THESE PRESENTEE POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR DE

L'UNIVERSITE DE BORDEAUX

ECOLE DOCTORALE SOCIETE, POLITIQUE, SANTE PUBLIQUE

SPECIALITE SCIENCES COGNITIVES ET ERGONOMIE : OPTION SCIENCES COGNITIVES

Par Thomas GALLICE

Optimisation de la rééducation de la déglutition et du sevrage de la trachéotomie chez le patient cérébro-lésé

Sous la direction de : Patrick DEHAIL (Université de Bordeaux)

Soutenue le : 10/12/2024

Membres du jury :

Mme WOISARD Virginie PU-PH Université de Toulouse	Présidente
M. VERIN Éric PU-PH Université de Rouen	Rapporteur
Mme CASSOUDESALLE Hélène MCU-PH Université de Bordeaux	Examinatrice
M. DEHAIL Patrick PU-PH Université de Bordeaux	Directeur de thèse

Membres invités :

M. BIAIS Matthieu PU-PH Université de Bordeaux	Invité
M. GUATTERIE Michel MCMK retraité	Invité

Titre : Optimisation de la rééducation de la déglutition et du sevrage de la trachéotomie chez le patient cérébro-lésé

Résumé : Les patients victimes de lésions cérébrales graves et hospitalisés en réanimation bénéficient fréquemment de la pose d'une trachéotomie. En phase aigüe, celle-ci présente de nombreux avantages et facilite notamment le sevrage de la ventilation mécanique, ainsi que la sortie des patients de la réanimation. Cependant, la présence d'une trachéotomie pose deux problèmes : elle est susceptible d'entrainer ou de majorer les troubles de la déglutition et elle peut être un frein à l'orientation des patients cérébro-lésés vers des structures de soins secondaires. Le sevrage de la trachéotomie apparait donc comme une étape indispensable à la rééducation du patient. Différents protocoles de sevrage existent mais ils s'appuient généralement sur l'expertise de certains professionnels ou sur une évaluation instrumentale. De plus, certaines pratiques du sevrage, comme l'utilisation du clapet phonatoire ne font pas consensus. Le sevrage de trachéotomie apparait ainsi comme complexe, dangereux et nécessitant des compétences et des ressources importantes. Nous avons créé un protocole de sevrage pluridisciplinaire en 5 étapes, basé uniquement sur des critères d'évaluations cliniques adaptés à chaque patient. Celui-ci peut être utilisé en autonomie, hors d'un service de réanimation et sans évaluation instrumentale. Son fonctionnement est celui d'un algorithme décisionnel. Nous avons testé ce protocole dans une étude de cohorte prospective incluant 30 patients cérébro-lésés et trachéotomisés. Nous avons obtenu un taux de décanulation de 90%, un taux de réussite de 100% et une durée moyenne de sevrage de 7.6 [ET : 4-6] jours. Conjointement, nous avons évalué l'effet du clapet phonatoire sur le débit aérien dans les voies aériennes supérieures, lors d'un sevrage de la trachéotomie. L'analyse des enregistrements polygraphiques, réalisés sur 15 patients cérébro-lésés trachéotomisés, montre que l'utilisation d'un clapet phonatoire, ballonnet dégonflé, est nécessaire à l'obtention d'un débit expiratoire dans les voies aériennes supérieures. Ce débit expiratoire est quant à lui indispensable à la réhabilitation de la déglutition. Le dégonflage du ballonnet seul semble être insuffisant pour rediriger l'air expiratoire vers les voies aériennes supérieures. En l'absence de clapet phonatoire, la trachéotomie apparait comme étant la voie la plus courte et offrant le moins de résistances à l'expiration. Dans l'objectif de déterminer les facteurs prédictifs d'une décanulation sans échec dans la population des patients cérébro-lésés, une revue systématique de la littérature a été conduite en parallèle de nos précédents travaux. Après avoir interrogé les bases de données suivantes : MEDLINE, EMBASE, CINAHL, Scopus, Web of Science, PEDro, OPENGREY, OPENSIGLE, Science Direct, CLINICAL TRIALS et Central, nous avons identifié 1433 articles, parmi lesquels 26 étaient éligibles à l'inclusion dans cette revue. Les facteurs prédictifs principaux étaient : un bon état neurologique, un traumatisme crânien (plutôt qu'un AVC ou une anoxie cérébrale), l'âge, une déglutition et une toux efficaces et l'absence d'infection pulmonaire. Les facteurs prédictifs secondaires étaient : une trachéotomie précoce, des lésions supra-tentorielles, l'absence de faiblesse musculaire acquise en réanimation et l'absence de lésion trachéale. L'identification de ces facteurs prédictifs permettra de cibler, parmi les patients cérébro-lésés trachéotomisés, ceux nécessitant une évaluation, une surveillance ou une prise en charge particulière.

Mots clés : lésions cérébrales acquises, trachéotomie, décanulation

Title : Optimization of the swallowing function, rehabilitation and tracheostomy weaning in brain injured patients

Abstract: Patients suffering from serious brain injuries and hospitalized in intensive care units frequently benefit from the insertion of a tracheostomy. In the acute phase, this has numerous advantages and notably facilitates weaning from mechanical ventilation, as well as the discharge of patients from intensive care unit. However, the presence of a tracheostomy poses two problems: it is likely to cause or increase swallowing disorders and it can be an obstacle to the discharge of brain-injured patients to secondary care structures. Weaning from tracheostomy therefore appears to be an essential step in the patient's rehabilitation. Different weaning protocols exist but they generally rely on the expertise of certain professionals or on an instrumental evaluation. Moreover, certain weaning practices, such as the use of the speaking valve, do not achieve consensus. Weaning from tracheostomy thus appears to be complex, dangerous and requiring significant skills and resources. We have created a multidisciplinary weaning protocol in 5 steps, based solely on clinical evaluation criteria adapted to each patient. This can be used independently, outside of an intensive care unit and without instrumental evaluation. This protocol works as a decision-making algorithm. We tested this protocol in a prospective cohort study including 30 brain-injured and tracheostomized patients. We obtained a decannulation rate of 90%, a success rate of 100% and an average weaning duration of 7.6 [SD: 4-6] days. Jointly, we evaluated the effect of the speaking valve on air flow in the upper airways during tracheostomy weaning. The analysis of polygraphic recordings, made on 15 brain-injured tracheostomized patients, shows that the use of a speaking valve with a deflated cuff is necessary to recreate an expiratory flow in the upper airways. This expiratory flow is essential for the rehabilitation of swallowing. Cuff deflation alone appears to be insufficient to redirect expiratory air to the upper airway. In the absence of a speaking valve, tracheostomy appears to be the shortest and easiest route for the expiratory flow. With the aim of determining the predictive factors of successful decannulation in the population of brain-injured patients, a systematic review of the literature was conducted in parallel with our previous work. After querying the following databases: MEDLINE, EMBASE, CINAHL, Scopus, Web of Science, PEDro, OPENGREY, OPENSIGLE, Science Direct, CLINICAL TRIALS and Central, we identified 1433 articles, of which 26 were eligible for inclusion in this review. The main predictive factors were: a high neurological level, traumatic lesions (rather than stroke or cerebral anoxia), age, effective swallowing and coughing and the absence of pulmonary infections. Secondary predictive factors were: early tracheostomy, supratentorial lesions, absence of critical illness polyneuropathy/myopathy and absence of tracheal lesions. The identification of these predictive factors can be useful to target among brain-injured tracheostomized patients, those requiring evaluation, monitoring or specific care.

Keywords : acquired brain injury, tracheostomy, decannulation

---

Unité de recherche

Équipe ACTIVE (vieillissement, maladies chroniques, technologie, handicap et environnement), Centre de recherche INSERM U1219, Université de Bordeaux – ISPED, 146 rue Léo-Saignat, 33076 BORDEAUX cedex, France

Remerciements :

Au Professeur Patrick Dehail. Merci pour votre confiance, votre soutien et vos conseils depuis le début de cette aventure. Depuis la création du premier protocole de recherche, puis le Master et enfin la thèse. Je vous suis très reconnaissant de m'avoir fait l'honneur d'accepter de diriger cette thèse et j'éprouve une grande fierté d'avoir été votre doctorant.

Au Professeur Virginie Woisard. Je vous suis très reconnaissant de me faire l'honneur d'être la présidente du jury de cette thèse. Merci pour vos encouragements ainsi que les conseils que vous m'avez donnés, en congrès ou lors du DIU de déglutition.

Au Professeur Éric Vérin. Vous me faites l'honneur d'être rapporteur de cette thèse et je vous en suis très reconnaissant. Je n'oublie pas non plus les précieux conseils que vous m'avez donné lors de nos rencontres en congrès. Ils m'ont été très utiles pour la publication de mes articles.

Au Docteur Hélène Cassoudesalle. Merci de me faire l'honneur d'être examinatrice de cette thèse, je t'en suis très reconnaissant. Merci d'avoir pris le temps de me conseiller et d'avoir partagé ton expérience de doctorante avec moi. Tes conseils m'ont été très utiles lors de la rédaction de cette thèse.

Au Professeur Matthieu Biais. Merci d'avoir accepté cette invitation, c'est un honneur pour moi d'avoir travaillé à tes côtés, hier en neuro-réanimation et aujourd'hui en réanimation chirurgicale. Merci pour ton aide dans mon parcours professionnel, ainsi que pour ta confiance.

A Monsieur Michel Guatterie. Merci pour l'honneur que tu me fais en acceptant cette invitation. Jamais cette thèse n'aurait été possible sans le parcours de compagnonnage que j'ai eu l'immense honneur de faire à tes côtés. En plus du formidable savoir que tu m'as transmis, c'est la curiosité, l'audace et l'esprit qui m'ont toujours le plus impressionné dans ta pratique. Merci d'avoir inspiré ce travail, merci pour tout ce que je te dois et surtout, merci pour ton amitié.

Merci à l'équipe médicale du service de neuro-réanimation, pour son soutien et sa compréhension lors de la mise en place des protocoles de recherche. En particulier au Dr Eric Verchère pour son soutien notamment dans la mise en place du protocole de coopération, au Dr

Hugues de Courson, pour ses précieux conseils d'ancien doctorant et au Dr Geoffroy Moucheboeuf sans qui il aurait été impossible de réaliser notre revue de la littérature.

Merci à l'équipe médicale des deux services de neurochirurgie, en particulier au Pr Cuny pour m'avoir poussé à écrire le premier protocole de recherche de cette thèse, ainsi que pour son soutien, notamment lors de mon Master, et au Dr Julien Engelhardt pour ses précieux conseils d'ancien doctorant.

Merci à mes collègues de l'HDJ déglutition. Au Dr Emmanuelle Cugy pour son soutien sans faille dans mes projets, ses conseils, sa patience et son immense disponibilité. Au Dr Solange Milhe de Saint Victor pour son soutien et pour m'avoir formé à la nasofibroscopie. A Mélanie Engelhardt pour son soutien, ses relectures poussées et notre collaboration. A Célia Ponsin pour la participation à nos débats.

A Olivier Branchard pour toute son aide dans l'élaboration des protocoles, ses conseils et son soutien. Merci également à toute son équipe d'ARC dont le travail a été indispensable lors de ces années de recherche.

A la DRCI et à l'USMR du CHU de Bordeaux pour leur soutien.

Au Dr Didier Cugy pour son aide précieuse dans le protocole TRACFLOW.

Au Pr Philipe Poisson pour sa participation, toujours bienveillante, à mon comité de suivi de thèse aux côtés du Pr Emmanuel Cuny.

A mon encadrement qui a toujours su se montrer compréhensif et qui m'a toujours encouragé dans mes diverses activités académiques. Merci à Emmanuelle Berteau, Isabelle Fourcade, Sophie Leclerc-Gramond et Sophie Toupet-Dézé.

Merci au Dr Valérie Berger, au Dr Noémie Duclos et au Dr Eric Sorita pour leur soutien et leur partage d'expérience académique.

A l'ensemble de mes collègues des différents services de réanimation et en particulier de neuro-réanimation qui ont participé activement à tous mes projets de recherche, en participant à

l’écriture des protocoles, en réalisant les inclusions et le suivi, en relisant mes articles et mon manuscrit. Mais aussi à ceux qui m’ont soutenu et encouragé : Merci à Cathy, Manuella, Estelle, Mathilde, César, Caroline, Raquel, Daniel, Andreia, Paul, Philippe, Thomas, Gonzalo, Marga, Bérangère, Daura, Marine, Sarah…la liste est longue, merci à vous tous.

Un merci particulier à Julie Laimay qui pour mille raisons, à rendu ce travail possible.

A ma famille et à mes proches, avec toute mon affection.

Table des matières

INTRODUCTION 15
PREMIERE PARTIE : État des connaissances 17
1. La déglutition 17
1.1. Considérations générales 17
1.2. Les trois phases de la déglutition 18
1.3. Contrôle neurologique de la déglutition 19
1.4. Coordination respiration-déglutition 21
1.5. Troubles de la déglutition lors de lésions cérébrales acquises 23
2. La trachéotomie 25
2.1. Définition et histoire de la trachéotomie 25
2.1.1. Définition 25
2.1.2. Histoire 27
2.2. Description de la trachéotomie 30
2.2.1. Parties extra et intra-trachéales de la canule de trachéotomie 30
2.2.2. Le ballonnet 31
2.2.3. Les chemises internes 34
2.2.4. Les canules fenêtrées 35
2.2.5. Les systèmes d'aspiration sous-glottiques 36
2.3. Techniques de mise en place de la trachéotomie 37
2.3.1. Les principales techniques 37
2.3.1.1. La technique chirurgicale 37
2.3.1.2. La technique percutanée 38
2.3.2. Trachéotomie percutanée *vs.* trachéotomie chirurgicale 38
2.4. Indications à la pose d'une trachéotomie 40
2.4.1. Indications générales 40
2.4.1.1. L'obstruction des voies aériennes supérieures 41
2.4.1.2. L'intubation prolongée 41
2.4.1.3. L'encombrement trachéo-bronchique permanent 42
2.4.1.4. La ventilation mécanique prolongée 42
2.4.2. Indications chez le patient cérébro-lésé 43
3. Épidémiologie 44

3.1. Épidémiologie dans la population générale 44
3.2. Épidémiologie dans la population des patients cérébro-lésés 46
4. Intérêt de la trachéotomie 48
4.1. Amélioration du confort et de l'hygiène buccale 48
4.2. Reprise précoce de l'alimentation *per os* et de la phonation 48
4.3. Réduction du travail respiratoire 49
4.4. Réduction de la fréquence des PAVM, de la durée de séjour et de la mortalité 49
4.5. Amélioration de la sécurité des patients 50
5. Complications liées à la trachéotomie 50
6. Problématiques liées à la trachéotomie 54
6.1. Iatrogénie de la trachéotomie 54
6.1.1. Troubles de la coordination respiration/ déglutition 55
6.1.2. Diminution de la pression sous-glottique 56
6.1.3. Atrophie musculaire du pharyngo-larynx 56
6.1.4. Modifications biomécaniques 56
6.2. Transfert des patients trachéotomisés hors de la réanimation 59
7. Le sevrage de la trachéotomie 60
7.1. Place de l'évaluation de la déglutition dans le sevrage de la trachéotomie 61
7.2. Place des procédures d'occlusion de la canule dans le sevrage de la trachéotomie. 62
7.3. Place du changement de canule dans le sevrage de la trachéotomie 64
7.4. Place de l'évaluation et de l'entrainement à la toux dans le sevrage de la trachéotomie 64
7.5. Exemple d'un protocole de sevrage de la trachéotomie 65
7.6. Sevrage de la trachéotomie et rééducation spécifique de la déglutition 67
7.7. Intérêt des approches multidisciplinaires dans le sevrage de la trachéotomie 68

DEUXIEME PARTIE : Nos travaux de recherche et articles publiés 70
Étude I : Sevrage de la trachéotomie et décanulation chez les patients cérébro-lésés : protocole DECATRAC 71
Étude II : Effet du clapet phonatoire sur le débit aérien nasal lors du sevrage de la trachéotomie : protocole TRACFLOW 88
Étude III : Facteurs prédictifs d'une décanulation réussie chez les patients cérébro-lésés et trachéotomisés : une revue systématique de la littérature 96

TROISIEME PARTIE : Discussion générale et perspectives 119
8. Synthèse des résultats 119
9. Perspectives 125
9.1. Perspectives professionnelles 125
9.1.1. Mise en place du protocole dans les services de réanimation du CHU de Bordeaux 125
9.1.2. Création d'un protocole de coopération entre professionnels de santé 127
9.1.3. Participation à la publication de recommandations formalisées d'experts… 135
9.2. Perspectives de recherche 136
9.2.1. Validation du protocole face à un protocole comprenant une évaluation instrumentale ? 136
9.2.2. Évaluation et traitement des SAS durant le sevrage de la trachéotomie ? 138
9.2.3. Sevrage de la trachéotomie chez le patient cérébro-lésé et électrostimulation sous-mentonnière transcutanée ? 139

CONCLUSION 140
BIBLIOGRAPHIE 142
ANNEXES 157
Annexe 1 : Fichier supplémentaire n° 1 du première article : livret de poche, à destination des soignants du protocole DECATRAC 157
Annexe 2 : Ficher supplémentaire n°2 du premier article : 7 niveaux de l'évaluation de la déglutition adaptés de la Dysphagia Outcome and Severity Scale (DOSS) 158
Annexe 3 : Fichier supplémentaire n°1 du troisième article : les différentes échelles d'évaluation relevées dans la revue de littérature 158

Liste des figures :

Figure 1 : les trois phases de la déglutition 19
Figure 2 : coordination respiration déglutition *(d'après Bautista, Sun et Pilowsky 2014)* : Centre dorsal de la déglutition (CDD), Centre ventral de la déglutition (CVD), Groupe respiratoire dorsal (GRD), complexe de Bötzinger (BOT), Générateur de pattern central respiratoire médullaire (GPCRm) 23
Figure 3 : trachéotomie et trachéostomie..... 27
Figure 4 : vue radiologique de trois-quarts d'un patient trachéotomisé ballonnet gonflé. La fausse route du produit de contraste (baryte) s'infiltre immédiatement en dessous du ballonnet (flèche orange), alors que celui-ci est correctement gonflé (flèche bleue) 32
Figure 5 : canule de trachéotomie à ballonnet bas volume/ haute pression 33
Figure 6 : canule de trachéotomie fenêtrée (à gauche) avec chemise interne non-fenêtrée (au centre), fenêtrée (à droite) et le mandrin de mise en place de la canule (entre les deux chemises internes)… 35
Figure 7 : problématique de la canule fenêtrée lors de l'aspiration endo-trachéale 36
Figure 8 : canule de trachéotomie équipée d'un système d'aspiration sous-glottique 37
Figure 9 : analyse multivariée de la mortalité intra-hospitalière chez les patients trachéotomisés après contrôle des caractéristiques suivantes : âge, assurance et co-morbidités. Odds ratio (OR) en abscisse *(d'après Shah et al. 2012*) 53
Figure 10 : onglet ICCA pour les paramètres de stabilité lors du sevrage de la trachéotomie en service de réanimation 127
Figure 11 : algorithme du parcours patient 131
Figure 11 bis : algorithme du parcours patient..... 132
Figure 11 ter : algorithme du parcours patient..... 133
Figure 12 : onglet ICCA du protocole de coopération déployé en neuro-réanimation du CHU de Bordeaux..... 134
Figure 13 : protocole d'évaluation naso-fibroscopique pour le sevrage de la trachéotomie *(d'après Warnecke et al. 2013)* 137

Liste des tableaux :

Tableau 1 : critères per-opératoires et contre-indications relatives à la pose de la trachéotomie percutanée *(d'après Cheung et Napolitano 2014)* 40
Tableau 2 : liste des complications de la trachéotomie *(d'après Cheung et Napolitano 2014)*..... 52
Tableau 3 : QsQ score : DEP : Débit expiratoire de pointe, PEM : Pression expiratoire maximale, PNP : pneumopathie *(d'après Santus et al. 2014*) 66

Liste des abréviations :

ANT : Aspiration naso-trachéale
ARS : Agence régionale de santé
AVC : Accident vasculaire cérébral
BOT : Complexe de Bötzinger
BPCO : Broncho pneumopathie chronique obstructive
CHU : Centre hospitalier universitaire
CDD : Centre dorsal de la déglutition
CI : Confidence interval
CME : Commission médicale d'établissement
CRF : Capacité résiduelle fonctionnelle
CRS-r : Coma recovery scale revised
CSIRMT : Commission des soins infirmiers de rééducation et médicaux-techniques
CVD : Centre ventral de la déglutition
DEP : Débit expiratoire de pointe
DIU : Diplôme inter-universitaire
DOSS : Dysphagia outcome and severity scale
E-DEC : Expiratory-decrementing
EIQ : Étendue interquartile
EMG : Electro-myographie
ET : Écart type
FC : Fréquence cardiaque
FDS : Functional dysphagia scale
FOIS : Functional oral intake scale

GC: Groupe contrôle

GCS : Glasgow coma scale

GI: Groupe interventionnel

GPC : Générateur de pattern central

GPCRm : Générateur de pattern central respiratoire médullaire

GRD : Groupe respiratoire dorsal

GTC : Global Tracheostomy Collaborative

HAS : Haute autorité de santé

HSA : Hémorragie sous-arachnoïdienne

IAH : Indice d'apnée hypopnée

ICCA : IntelliSpace Critical Care and Anesthesia

IDE : Infirmier(e) diplômé(e) d'état

IMC : Indice de masse corporelle

IRM : Imagerie par résonnance magnétique

JC : Jésus-Christ

MAR : Médecin anesthésiste réanimateur

MI-E : Mechanical in-exuflator

MKDE : Masseur kinésithérapeute diplômé d'état

MPR : Médecine physique et réadaptation

MRC : Medical research council

NHS : National Health Service

OHD : Oxygène à haut-débit

OR : Odds ratio

ORL : Oto-Rhino-Laryngologie

PAS : Penetration aspiration scale

PAVM : Pneumopathie acquise sous ventilation mécanique

PEM : Pression expiratoire maximale

PEP : Pression expiratoire positive

PES : Pharyngeal electrical stimulation

PIM : Pression inspiratoire maximale

POR : Peto odds ratio

PMSI : Programme de médicalisation des systèmes d'information

PNP : Pneumopathie

PPC : Pression positive continue

PPI : Pour préparations injectables

PVC : Poly-vinyle chloride

QsQ score : Quantitative and semi-quantitative score

QUIPS : Quality In Prognosis Study

RFE : Recommandations formalisées d'expert

RR : Risk Ratio

RR : Risque relatif

RUF : Responsable d'unité fonctionnelle

SDRA : Syndrome de détresse respiratoire aiguë

SAOS : Syndrome d'apnées obstructives du sommeil

SAS : Syndrome d'apnées du sommeil

SFAR : Société française d'anesthésie réanimation

SKR : Société de kinésithérapie de réanimation

SLA : Sclérose latérale amyotrophique

SRLF : Société de réanimation en langue française

SSO : Sphincter supérieur de l'œsophage

SSR : Soins de suite et de réadaptation

Swiss-OFS : Office fédéral de la statistique : Statistique des coûts par cas

VNI : Ventilation non invasive

ZEEP : Zero end expiratory pressure

INTRODUCTION

Les patients cérébro-lésés présentant des troubles de la vigilance, un retard de réveil, et/ ou des troubles de la déglutition, bénéficient fréquemment, dès la réanimation, de la mise en place d'une trachéotomie (Bosël 2014, Krishnamoorthy *et al.* 2019). Lorsque les états neurologiques et respiratoires de ces patients le permettent, il est nécessaire de débuter un sevrage de la trachéotomie, permettant ainsi une réhabilitation de la déglutition. Cependant, les contours de ce sevrage, tant du point de vue opérationnel que physiologique, restent à définir.

En raison des bénéfices apportés et du développement des techniques de trachéotomies percutanées en réanimation, le nombre de patients cérébro-lésés trachéotomisés est appelé à croître (Cheung et Napolitano 2014, Mehta *et al.* 2015). Cependant, la présence d'une trachéotomie à la sortie de réanimation pose un problème d'orientation de ces patients dans une filière de soins adaptée à leur état (Fernandez *et al.* 2008, Martinez *et al.* 2009). La gestion des patients porteurs d'une trachéotomie est lourde et peu de structures acceptent ces patients. En l'absence de contre-indication, il est donc souhaitable d'envisager systématiquement le sevrage de la trachéotomie chez ces patients. Ce sevrage améliore la déglutition et permet au patient de reprendre une respiration physiologique, une alimentation orale et une phonation, autant de besoins fondamentaux dont la restauration progressive favorise une récupération et un éveil de qualité. Paradoxalement, il n'existe pas de recommandations concernant le sevrage de trachéotomie en dehors de la réanimation (Trouillet *et al.* 2016). De nombreux protocoles de sevrage ont déjà été publiés mais ils s'appuient souvent sur une évaluation instrumentale, ce qui les rend difficilement transposables en dehors de services très spécialisés (Warnecke *et al.* 2013, Mariani *et al.* 2022).

Par ailleurs, bien qu'il ait été montré que le sevrage de trachéotomie améliore la déglutition, il n'existe pas à ce jour de consensus sur les mécanismes physiologiques qui sous-tendent ce phénomène, ainsi que sur les éléments prédictifs de la réussite ou de l'échec d'un tel sevrage.

Au travers de nos travaux de thèse, nous avons cherché à optimiser le sevrage de la trachéotomie et, par là même, la réhabilitation de la déglutition chez les patients cérébro-lésés :

- En proposant un protocole de sevrage de la trachéotomie simple et pluriprofessionnel, pouvant être mis en place en dehors d'un service de réanimation ;
- En déterminant quels éléments cliniques pourraient être prédictifs de la réussite ou de l'échec de la procédure de sevrage ;

- En apportant des données physiologiques permettant d'orienter le choix de la technique de sevrage.

L'augmentation du recours à la trachéotomie en réanimation entraine l'apparition d'enjeux de santé publique complexes. En effet, la gestion des patients cérébro-lésés trachéotomisés est parfois considérée comme difficile du fait de l'absence de recommandations scientifiques précises en dehors des services de réanimation. Proposer des outils opérationnels de sevrage basés sur des preuves scientifiques, ainsi que des marqueurs d'identification des patients présentant le plus de risques d'échec, permettrait d'améliorer la prise en charge des patients cérébro-lésés trachéotomisés tant sur le plan individuel (en raccourcissant les durées de sevrage par exemple), qu'institutionnel (en fluidifiant les parcours patients entre réanimation et secteur d'hospitalisation conventionnelle par exemple).

PREMIERE PARTIE : État des connaissances

1. La déglutition

1.1. Considérations générales :

La déglutition oropharyngée est une fonction sensorimotrice très complexe, reposant sur un contrôle neurologique, central et périphérique (Humbert *et al.* 2013). La déglutition est composée de nombreux événements précisément chronométrés, dont le but final est de transporter en toute sécurité de la salive ou le bol alimentaire ingéré de la bouche à l'estomac, tout en protégeant les voies respiratoires (Dodds 1989, Kidder 1995, Humbert *et al.* 2013).

Plus précisément, il est possible de décrire une déglutition volontaire, lorsque le sujet éveillé veut manger ou boire et une déglutition spontanée, survenant de manière automatico-réflexe lorsque le sujet est éveillé ou endormi. La déglutition automatico-réflexe permet d'évacuer du reflux gastrique, des débris alimentaires ou de la salive accumulés dans la bouche ou la cavité pharyngée (Sessle et Henry 1989, Shaker 1995, Ertekin 2011). La déglutition volontaire renvoie à la partie comportementale de la fonction de déglutition (c'est-à-dire l'alimentation et l'hydratation orale), tandis que la déglutition spontanée est probablement davantage un réflexe de protection (Ertkin et al 2001, Ertkin 2011). Dans les deux cas, la protection des voies respiratoires nécessite une coordination précise entre les fonctions respiratoire et de déglutition (Miller 1986, Palmer *et al.* 1992). En effet, il est impossible chez l'homme adulte d'avaler en respirant ou de respirer en avalant, ce qui signifie que chaque déglutition interrompt la respiration via une apnée réflexe rendue possible par une interaction entre la déglutition et les centres respiratoires du tronc cérébral (Robert 2004, Ertkin 2011, Cugy *et al.* 2018). Ainsi, malgré son aspect nutritif fondamental, il est juste de considérer que la fonction principale de la déglutition est la protection des voies respiratoires (Sessle et Henry 1989, Robert 2004, Bautista Sun et Pilowsky 2014). Dans une perspective évolutionniste, cela peut être attribué à la spécialisation différenciée des voies respiratoires supérieures et du tube digestif supérieur chez l'Homme. Pour Laitman et Reidenberg, la descente du larynx dans le cou au cours de l'évolution aurait permis la phonation et la parole chez l'Homme, mais aurait eu comme conséquence négative une exposition accrue des voies respiratoires aux fausses routes lors de la déglutition. Chez d'autres mammifères, le larynx positionné plus haut est presque intra-narial, responsable de deux voies quasi distinctes, respiratoire et digestive. A l'inverse, chez l'humain

adulte, la région pharyngée est un véritable carrefour aéro-digestif reliant les voies respiratoires, de déglutition ainsi que le site de production de parole (Laitman et Reidenberg 1993).

En raison de la coordination très précise nécessaire pour obtenir une déglutition réussie, son contrôle neuronal peut être considéré comme l'un des réseaux neuronaux intégratifs parmi les plus complexes du corps (Sessle et Henry 1989, Laitman et Reidenberg 1993). Malgré la complexité de son contrôle neuromusculaire (environ 50 paires de muscles sont activées séquentiellement (Cunningham et Sawchenko 1990)), la déglutition se fait de manière fluide et sans effort, à raison d'environ 1 000 déglutitions par jour (Dodds 1989).

1.2. Les trois phases de la déglutition :

La déglutition est classiquement divisée en trois phases : phase préparatoire/ orale, phase pharyngée et phase œsophagienne (Dodds 1989) (voir figure 1).
La phase préparatoire/ orale consiste à introduire et préparer le matériel alimentaire à l'intérieur de la cavité buccale, en mastiquant et en mélangeant celui-ci avec de la salive afin de lui donner la taille, la consistance et la texture appropriées. Le bol alimentaire est ensuite transporté à travers la bouche par des mouvements spécifiques de la langue (pressions verticales antéro-postérieures progressives de la langue sur le palais dur qui imitent un « péristaltisme buccal ») jusqu'à atteindre l'isthme oropharyngé (Dodds 1989, Kennedy et Kent 1988). La phase préparatoire/ orale est considérée comme étant en grande partie sous contrôle volontaire (Ertkin 2011, Broniatowski 1993).

La phase pharyngée consiste à propulser le bolus à travers le pharynx vers l'entrée de l'œsophage, tout en protégeant les voies respiratoires grâce à une inhibition centrale de la respiration, impliquant une fermeture de l'isthme vélo-pharyngé et une fermeture du larynx (Miller 1986). La propulsion du bolus se fait par une contraction « de type péristaltique » des constricteurs pharyngés et par la pression de la partie postérieure de la langue. La phase pharyngée est très rapide, de 0,5s à 0,7s. Elle est considérée comme purement réflexe (Dodds 1989, Robert 2004, Ertkin 2011, Seo, Oh et Han 2016).

Enfin, la phase œsophagienne correspond au transport du bolus à travers l'œsophage vers l'estomac grâce à une contraction péristaltique impliquant à la fois la musculature striée et lisse.

La phase œsophagienne est considérée comme purement involontaire et dépendante du système nerveux autonome (Miller 1986, Miller 1987, Bieger 1993, Buchholz 1996).

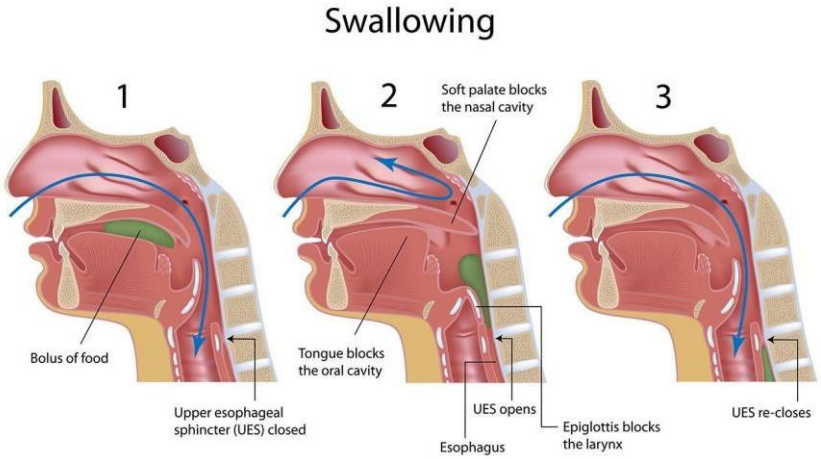


Figure 1 : les trois phases de la déglutition (source: everydayhealth.com)

1.3. Contrôle neurologique de la déglutition

La fonction de déglutition a la particularité de dépendre de deux niveaux de contrôle neuronal : l'un, involontaire, localisé dans le tronc cérébral et l'autre, volontaire, localisé, dans diverses aires corticales, avec l'existence d'une dominance hémisphérique (imprévisible et différente selon les sujets) (Leopold et Daniels 2010, Daniels *et al.* 2017, Cugy *et al.* 2018).

Le centre de déglutition du tronc cérébral se trouve à la surface du quatrième ventricule. Il est considéré comme un Générateur de pattern central (GPC). Il est composé de deux régions principales appariées, situées dans la moelle allongée (ou bulbe) : une première région postérieure, appelée Centre dorsal de la déglutition (CDD), composée de neurones prémoteurs de la déglutition. Cette région se situe dans le noyau du tractus solitaire, entouré de sa formation réticulaire. Et une seconde région antérieure, composée de formation réticulaire, située autour et au-dessus du noyau ambigu, appelée Centre ventral de la déglutition (CVD) (Miller 1986, Miller 1993, de Larminat et Dubreuil 1994, Ertekin 2011). Le CDD reçoit des informations sensorielles de la périphérie via les nerfs afférents (principalement les nerfs Wrisberg (VII bis), glossopharyngien (IX) et vague (X)) et des informations supra-nucléaires provenant du cortex (Kennedy et Kent 1988). Les interneurones du CDD sont considérés comme des « neurones générateurs » ou des « interneurones maîtres » (Miller 1993) et seraient responsables de

l'organisation et de l'initiation de la déglutition. Le CVD reçoit des impulsions nerveuses du CDD. Il est responsable de l'attribution et de la coordination du schéma de déglutition aux différents noyaux moteurs ponto-bulbaires (trijumeau moteur (V), facial (VII), IX, X, accessoire crânien (XIc), hypoglosse (XII) et racines antérieures de C2-C3), via des neurones de commutation ou « switching-neurones » pour les anglo-saxons (Miller 1986, Sessle et Henry 1989, Dodds 1989, Miller 1993, Ertekin 2011).

Lorsque le programme moteur de déglutition est déclenché par le GPC, la séquence motrice de la phase pharyngée se déroule jusqu'à atteindre son acte final et l'ordre de la séquence motrice est toujours le même, sans nécessité d'un « feedback » sensoriel (Lang 2009). En d'autres termes, la phase pharyngée spontanée peut être considérée comme la ligne de base, ou le « mode par défaut » d'un réflexe induit par le tronc cérébral (Kahrilas 1993, Steele et Miller 2010). Cependant les informations sensorielles provenant de la cavité buccale (principalement par le nerf trijumeau), ainsi que les voies supra-nucléaires, sont capables de moduler ce programme moteur avant son exécution. Ceci permet l'adaptation du programme de déglutition en fonction des caractéristiques du matériel ingéré (Kennedy et Kent 1988, Steele et Miller 2010, Humbert et German 2013). De plus, l'inhibition respiratoire centrale est une information corollaire transmise depuis les centres de déglutition au centre respiratoire bulbaire (Sessle et Henry 1989, Broniatowski 1993) (voir plus bas).

Le contrôle supra-nucléaire s'appuie sur diverses aires corticales centrées sur la zone motrice pharyngée du cortex moteur primaire, lui-même située à la partie inféro-latérale du gyrus précentral. Diverses études ont impliqué les régions suivantes dans le contrôle supra-nucléaire : l'opercule frontal et pariétal, la partie postérieure du gyrus frontal inférieur, le cortex frontal antéro-latéral, l'aire corticale de Broca, le cortex insulaire antérieur, le cortex fronto-orbitaire, le cortex prémoteur, le cortex moteur supplémentaire, le cortex cingulaire, le cortex sensorimoteur caudo-latéral, le gyrus temporal et les zones sous-corticales telles que l'hypothalamus, les champs tegmentaux ventraux du mésencéphale, l'amygdale, les noyaux gris centraux, le cervelet et enfin la substance blanche périventriculaire antérieure (Martin et Sessle 1993, Logeman *et al.* 1993, Daniels et Foundas 1997, Daniels 2000, Watanabe *et al.* 2004, Trupe *et al.* 2018). Ces influences corticales et sous-corticales se projettent vers le CDD principalement par la voie géniculée et sont capables de provoquer une déglutition volontaire. De plus, si le réflexe de déglutition bulbaire peut être considéré comme la boucle courte, la voie

cortico-nucléaire peut, quant à elle, être considérée comme la boucle longue dont le rôle est de moduler le réflexe de déglutition en fonction des informations périphériques (Robert 2004).

1.4. Coordination respiration-déglutition :

Les fonctions de déglutition et de respiration partagent au moins en partie une musculature ainsi qu'une zone anatomique de passage : le pharynx (Bautista, Sun et Pilowsky 2014). De plus, la déglutition implique la fermeture des voies aériennes et donc une interruption temporaire de l'activité respiratoire (Paydarfar *et al.* 1995). Une coordination fine entre la déglutition et la respiration apparait donc nécessaire.
Plusieurs mécanismes concourent à la réalisation d'une déglutition sécure : l'arrêt de la respiration lors de la déglutition, l'initiation de la déglutition sur une phase respiratoire spécifique, l'expiration, ainsi que la réinitialisation de la phase respiratoire après la déglutition (Bautista, Sun et Pilowsky 2014).

L'arrêt de la respiration ou « apnée de déglutition » est la conséquence de deux mécanismes : une adduction puissante des cordes vocales et la minimisation de la contraction diaphragmatique, qui se produit quelques secondes avant l'adduction des cordes vocales tout en se maintenant sur l'ensemble de la déglutition. La réduction de l'activité diaphragmatique n'est cependant pas complète et il persiste une petite activité appelée « respiration de déglutition » (le « swallow-breath » des anglo-saxons) perdurant tout le long de la déglutition. La fonction de cette activité respiratoire de déglutition ne fait pas consensus, mais elle pourrait être reliée à la préservation d'une capacité pulmonaire durant la déglutition, permettant ainsi le maintien d'une pression sous-glottique positive (Gross *et al.* 2012). Le complexe de Bötzinger (BOT), situé dans la partie ventro-latérale du bulbe, semble jouer un rôle important dans la régulation de l'activité diaphragmatique lors de la déglutition. L'adduction des cordes vocales lors de la déglutition semble, quant à elle, plutôt dépendre d'influx provenant des centres ventraux et dorsaux de la déglutition (Jean 2001, Bautista, Sun et Pilowsky 2014).

Chez l'humain, l'initiation de la déglutition se fait préférentiellement durant la phase post-inspiration/ expiration. A ce moment, le volume pulmonaire est supérieur à la Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) et permet donc, en cas de fausse route, de disposer d'une réserve d'air pulmonaire, nécessaire à la toux (Hardemark-Ceborg *et al.* 2010). McFarland *et al.* ont montré

que la déglutition était initiée avec un volume pulmonaire moyen de 244 ml au-dessus de la CRF (McFarland *et al.* 2016).

Par ailleurs, la déglutition est habituellement suivie d'une expiration. Celle-ci permet l'évacuation d'éventuels résidus pharyngo-laryngés post-déglutition (Bautista, Sun et Pilowsky 2014). Ce flux expiratoire semble donc dépendre à la fois de la « respiration de déglutition », de la réouverture des cordes vocales et enfin, de l'initiation de la déglutition en phase post-inspiration/ expiration (Bautista, Sun et Pilowsky 2014).

Le déclenchement d'une déglutition interrompt la respiration et entraine une remise en phase du rythme respiratoire (le « phase resetting » des anglo-saxons). Cette remise en phase correspond à l'introduction d'un nouveau rythme respiratoire débutant par l'expiration post déglutition. Plus précisément, si une déglutition se produit au milieu d'une inspiration, celle-ci est interrompue par l'apnée de déglutition. Bien que la phase inspiratoire n'ait pas été menée à son terme, celle-ci n'est pas poursuivie après la déglutition et une expiration lui fait immédiatement suite, débutant ainsi un nouveau cycle respiratoire (Paydarfar *et al.* 1995). Si une déglutition se produit en phase post-inspiration/ expiration ou en fin d'expiration, celle-ci se verra prolongée, immédiatement en suivant la déglutition (Bautista, Sun et Pilowsky 2014).

Afin de rendre compte de la coordination déglutition/ respiration ainsi que des réseaux neuronaux impliqués, Bautista, Sun et Pilowsky ont proposé le modèle suivant (voir figure 2) : l'initiation de la déglutition se produit dans le CDD (1), sous l'influence de générateurs de pattern centraux du Groupe respiratoire dorsal (GRD) et celle-ci est coordonnée de manière à se produire lors d'une phase respiratoire spécifique (2). La commande de déglutition est transmise du CDD au CVD qui va assurer la coordination spatio-temporelle de la contraction de la musculature linguo-pharyngo-laryngée (3). Conjointement, l'information est transmise du CDD au BOT (plus précisément aux neurones E-DEC (« Expiratory-decrementing »)) afin d'inhiber les neurones prémoteurs phréniques et minimiser ainsi la contraction diaphragmatique (4). Le GRD reçoit également la commande de déglutition et recrute le Générateur de pattern central respiratoire médullaire (GPCRm) afin d'opérer la remise en phase respiratoire post-déglutition commençant par une expiration (5) (Bautista, Sun et Pilowsky 2014).

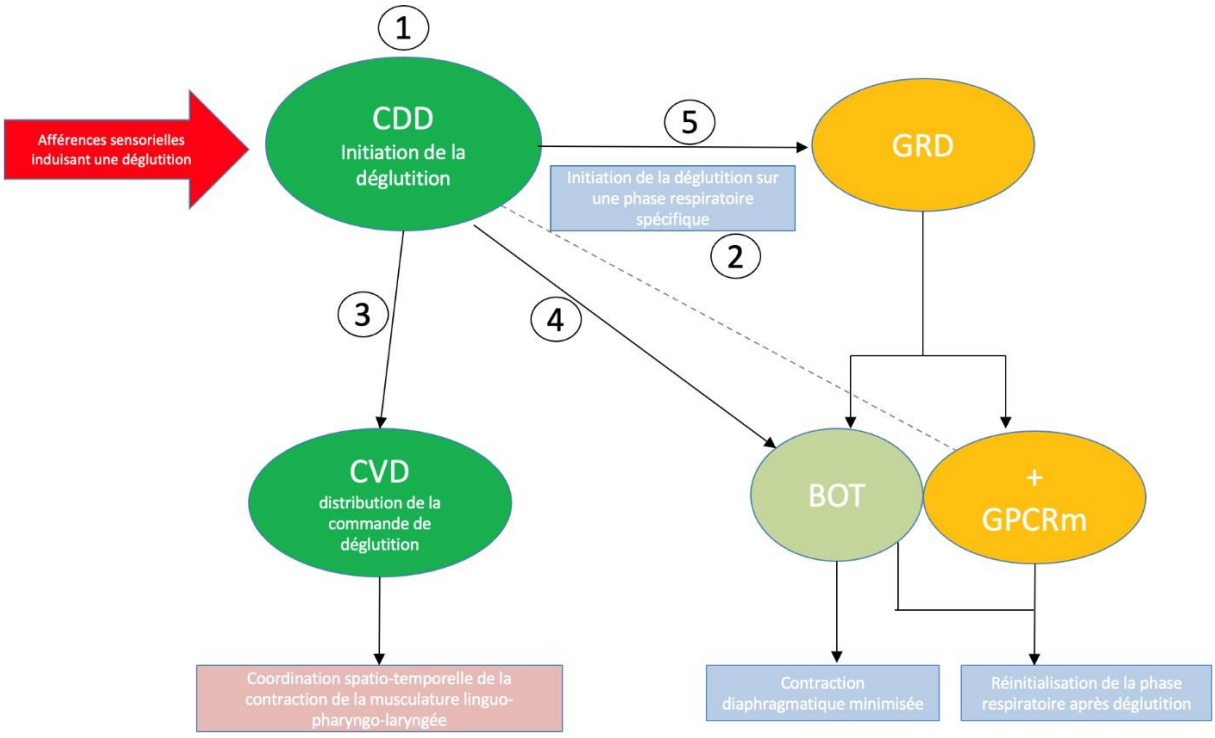


Figure 2 : coordination respiration déglutition *(d'après Bautista, Sun et Pilowsky 2014)* : Centre dorsal de la déglutition (CDD), Centre ventral de la déglutition (CVD), Groupe respiratoire dorsal (GRD), complexe de Bötzinger (BOT), Générateur de pattern central respiratoire médullaire (GPCRm)

1.5. Troubles de la déglutition lors de lésions cérébrales acquises :

En raison du contrôle neurologique de la fonction de déglutition, les troubles de la déglutition sont une complication très fréquente chez les patients atteints de lésions cérébrales acquises. Ceux-ci sont associés à un mauvais pronostic, ainsi qu'à une augmentation de la morbidité et de mortalité (Albert *et al.* 1992, Martin *et al.* 1994, Kim Lee et Lee 2017, Pacheco-Castilho *et al.* 2019).

Les troubles de la déglutition sont retrouvés chez 45 à 55 % des patients porteurs de lésions cérébrales acquises et jusqu'à 30 à 80% des patients en phase aigüe (Bösel 2014). La variabilité dans les incidences retrouvées dépend de la méthode d'évaluation utilisée. En effet, comparativement, l'incidence est de 37% à 45% pour les méthodes de screening, 51% à 55% pour les méthodes cliniques et 64% à 78% pour les méthodes instrumentales qui apparaissent

donc comme les plus sensibles (Martino *et al.* 2005). La localisation de la lésion semble également avoir un impact sur l'incidence. L'incidence serait plus basse chez les patients avec des lésions hémisphériques (39% à 40%) que chez les patients avec des lésions du tronc cérébral (51% à 55%) (Martino *et al.* 2005). De la même manière, la récupération de la fonction de déglutition peut varier selon la localisation des lésions. En effet, en cas de lésions supratentorielles, 50 % des patients s'améliorent en quelques semaines et seulement 10 à 12 % restent dysphagiques à un an. Comparativement, 58 % des patients restent dysphagiques à un an, en cas de lésions infratentorielles (Cugy *et al.* 2018, Park et Lee 2018). Ces différences s'expliquent facilement par le rôle majeur joué par le tronc cérébral dans le contrôle neuronal de la fonction de déglutition, les structures cérébrales supérieures n'étant impliquées que dans la modulation de la réponse réflexe (voir plus haut).

Plus précisément, les conséquences liées à la présence de troubles de la déglutition suite à une lésion cérébrale acquise sont la pneumopathie d'inhalation, la malnutrition/ dénutrition, la déshydratation, l'asphyxie, une augmentation de la durée de séjour hospitalière et une augmentation des coûts de santé (Martino *et al.* 2005, Foley *et al.* 2009, Altman, Yu et Schaefer 2010, Bonhilas *et al.* 2014, Patel *et al.* 2018, Dunn et Rumbach 2018).

Le risque relatif (RR) de pneumopathie chez les patients dysphagiques à la suite d'une lésion cérébrale est supérieur par rapport aux non dysphagiques (RR : 3.17 ; 95% Confidence interval (CI) : 3.36-39.77) et il est encore supérieur chez les patients dysphagiques faisant des fausses routes sous-glottiques par rapport à ceux n'en faisant pas (RR : 11.56 ; 95% CI : 3.36-39.77) (Martino et al 2005).

Dans la population des patients cérébro-lésés dysphagiques, la fréquence de la malnutrition est comprise entre 8.2% à 50%. Les patients cérébro-lésés dysphagiques sont significativement plus fréquemment atteints de malnutrition que les patients cérébro-lésés non dysphagiques (Odds ratio (OR) : 2.445 ; 95% CI : 1.264-4.649, $p<0.008$) (Foley *et al.* 2009).

Dans une étude de 2014, Bonilha *et al.* ont montré que la présence de troubles de la déglutition chez les patients atteints d'Accidents vasculaires cérébraux (AVC) était associée à un surcoût annuel de 4 510 $ par patient. Celui-ci était indépendant de l'âge, des comorbidités, de l'ethnicité et du temps de survie post-AVC (Bonilha *et al.* 2014).

Dans une étude de 2017 portant sur 6677 patients victimes d'un AVC ischémique, Joundi *et al.* ont montré que l'absence de dépistage des troubles de déglutition était associée à des augmentations des pneumopathies (OR : 4.71; 95% CI : 3.43-6.47), de la sévérité du handicap

(OR : 5.19; 95% CI, 4.48-6.02), de l'institutionnalisation en long séjour (OR : 2.79; 95% CI : 2.11-3.79) et de la mortalité à un an (OR : 2.42; 95% CI : 2.09-2.80). Ces résultats étaient obtenus après ajustement pour les facteurs confondants suivants : l'âge, le sexe, la sévérité de l'AVC, le niveau de dépendance pré-AVC, l'hypertension, la présence de coronaropathies, d'une défaillance cardiaque congestive, d'une Broncho pneumopathie chronique obstructive (BPCO) ou d'un asthme, d'un diabète sucré, de fibrillation atriale, d'un cancer, d'une pathologie rénale, d'une démence, d'un tabagisme actif, d'une maladie thrombo-embolique, de l'index de comorbidité de Charlson, du niveau de conscience et d'une hospitalisation préalable en service de long séjour (Joundi *et al.* 2017).
Enfin, une analyse des bases de données française (Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI)) et suisse (Office fédéral de la statistique : Statistique des coûts par cas (Swiss-OFS)) pour l'année 2012 a montré que la présence d'une dysphagie post-AVC était responsable d'une augmentation de la durée de séjour (23.7 *vs.* 11.8 jours en France et 14.9 *vs.* 8.9 jours en Suisse), ainsi que d'un surcoût d'environ 3 000 € en France et 14 000 CHF (soit environ 14 877 €) en Suisse (Muehlemann *et al.* 2019).

Ces données montrent la fréquence, l'importance et la sévérité des conséquences des troubles de la déglutition chez les patients cérébro-lésés.

2. La trachéotomie :

2.1. Définition et histoire de la trachéotomie :

2.1.1. Définition :

La terminologie utilisée dans la littérature scientifique ayant trait à la trachéotomie est variée et des termes semblables peuvent avoir des significations différentes en fonction de la langue utilisée par les différents auteurs. Aussi, il convient de définir ici les termes que nous emploierons dans ce manuscrit.

Le mot « *trachéostomie* » dérive de deux mots grecs désignant la trachée et l'action de « couper » ou « trancher » (Frost 1976). Une traduction littéraire pourrait être « je tranche la trachée ». Cependant, le terme « *trachéostomie* » renvoie à l'ouverture de la trachée avec

abouchement de celle-ci à la peau (Pierson 2005). Ceci implique l'ablation complète du larynx et la séparation définitive des voies aériennes et digestives en deux voies bien distinctes (Pierson 2005). Plutôt utilisée dans la chirurgie des cancer Oto-Rhino-Laryngés (ORL), cette technique ne concerne en général pas notre population de cérébro-lésés (Mudry et Fakhry 2023).

Le terme « *trachéotomie* » renvoie à l'acte d'ouvrir la trachée sans abouchement de celle-ci à la peau (Pierson 2005). C'est à dire qu'en dehors de l'ouverture de la trachée, il n'y a pas de modification majeure de l'anatomie, le carrefour aéro-digestif étant préservé. Ce terme renvoie également au dispositif de trachéotomie en tant que matériel médical : c'est-à-dire, la canule de trachéotomie en elle-même. C'est donc à ces deux définitions que nous ferons référence lors de l'emploi du terme trachéotomie (voir figure 3).
Le terme « *trachéostome* », quant à lui, désigne l'orifice de la trachée à travers la peau, que ce soit pour une « *trachéotomie* » ou une « *trachéostomie* » (Cheung et Napolitano 2014).

Il est à noter que dans la littérature anglo-saxonne, les termes « *tracheostomy* » et « *tracheotomy* » sont régulièrement utilisés pour la même signification et ce, de manière interchangeable (Pierson. 2005). Par ailleurs, le terme « *tracheostomy* » renvoie quant à lui, également au terme « *trachéotomie* » en tant que dispositif médical (la canule de trachéotomie).

Nous aborderons dans un chapitre dédié les différentes techniques de mise en place de la trachéotomie, ainsi que l'anatomie d'une canule de trachéotomie.

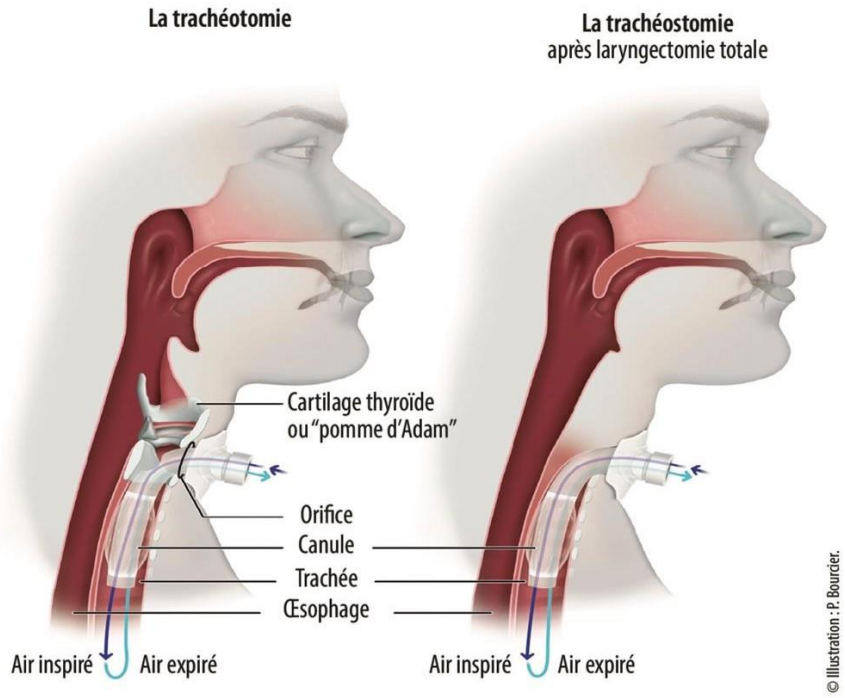


Figure 3 : trachéotomie et trachéostomie (source : www.edimark.fr)

2.1.2. Histoire :

L'histoire de la trachéotomie et de son développement s'étend sur plus de 3000 ans. Celle-ci a été décrite en détail par Frost dans son article de 1975 « *Tracing the tracheostomy* » comme pouvant être découpée en cinq périodes successives.

La première, qualifiée de « période de légende », remonte probablement à 1500 ans avant Jésus-Christ (JC) et se poursuit jusqu'au XVIème siècle. En effet, il est fait mention de la trachéotomie en tant qu'ouverture du larynx dans deux des plus anciens ouvrages médicaux connus : le livre sacré de médecine Hindoue, le « *Rig Veda* » (écrit entre 2000 et 1000 ans avant JC) et le « *Papyrus Ebers* » (écrit vers 1550 avant JC) décrivent ce qui semblerait être les premières trachéotomies. Plus tard, la technique est décrite ou pratiquée par Homère au VIIIème siècle avant JC, dans des cas d'étouffement : Alexandre le Grand, au IVème siècle avant JC, pour sauver de l'asphyxie un de ses soldats s'étouffant d'un os logé dans la gorge, lui aurait ouvert la trachée de la pointe de son épée. Enfin, Asclepiade de Bythinie, au Ier siècle avant JC (rapporté par Galien) aurait été le premier chirurgien à pratiquer la trachéotomie et à en décrire la technique. L'opération est confirmée par Arétée de Cappadoce dans son ouvrage : « *Traité des signes, des causes et cures des maladies aiguës et chroniques* », mais celui-ci condamne l'opération. Condamnation reprise plus tard au Vème siècle après JC par Caelius Aurelianus.

L'opération est décrite encore un peu plus tard, au VIIème siècle après JC, par Paulus Aegineta puis par Antyllus de Rome, ainsi qu'au même moment dans les traités de médecine arabe par Abu al-Qasim (ou Aboulcassis) et Ibn Zuhr (ou Avenzoar), dans lesquels elle est évoquée, plus comme possibilité thérapeutique que pratique réelle (Frost 1975).

La deuxième période se déroule approximativement entre le début du XVIème siècle et 1833. Celle-ci est qualifiée de « période de la peur » car, malgré des mentions régulières, la trachéotomie en tant que procédure chirurgicale est perçue comme inutile et dangereuse. Pourtant, durant cette période, de nombreuses innovations voient le jour mais elles seront rapidement écartées : l'utilisation d'un trocart et d'une canule de trachéotomie permanente par Sanatorius en 1590 ; l'utilisation d'une canule de trachéotomie avec ailettes par Fabricius au XVIIème siècle, puis d'une canule incurvée par son élève Casserius et enfin, l'utilisation d'une double canule, ancêtre probable de nos chemises internes par George Martin en 1770. Le terme « trachéotomie » est même utilisé pour la première fois par Heister en 1739. Parmi les indications rapportées durant cette période, on retrouve le traitement de l'angine (Giulemo de Saliceto, Ambroise Paré), la sténose trachéale (Rolandi), l'obstruction trachéale par corps étranger ou mucus (Fabricius, Nicholas Habicot), le traitement des oreillons (Severinus, Renatus Moreau), la prise en charge des noyés (William Buchan), ainsi que le traitement de la laryngo-trachéo-bronchite ou « croup ». La peur et la méfiance envers cette technique étaient telles, que de nombreux cas de patients décédés du fait d'un refus de pratiquer la trachéotomie ont été rapportés. Le plus fameux d'entre eux étant George Washington le 14 décembre 1799, mort d'une obstruction des voies aériennes supérieures (Frost 1975).

La troisième période commence probablement vers 1830. Elle est étroitement liée à la pandémie de diphtérie qui sévit du XVIIIème siècle à l'orée du XXème siècle. Trousseau rapporte avoir trachéotomisé 215 patients dont 47 survécurent à l'obstruction des voies aériennes causée par la diphtérie. Cette période est ainsi qualifiée par l'auteur de « période de dramatisation ». En effet, la trachéotomie est alors vue comme une opération pour les situations d'urgence : les situations de vie ou de mort. Généralement, il s'agit de cas d'obstruction des voies aériennes supérieures dus à la diphtérie, au « croup », à l'ingestion de corps étrangers, suite à des traumatismes, mais également lors des premières anesthésies générales. La trachéotomie est alors décrite comme le seul moyen de sécuriser les voies aériennes supérieures notamment par Snow et Tredelenburg. Durant cette période, de nombreux débats eurent lieu dans la littérature médicale et la procédure resta sujette à controverse jusqu'à l'article séminal de Chevalier

Jackson en 1909, intitulé sobrement « *Tracheotomy* ». Dans celui-ci, est exposé ce qui servira de base à la technique chirurgicale moderne de la trachéotomie ainsi que les principales indications et complications relatives à la procédure (Jackson 1909). Les avancées médicales ayant permis un contrôle de la pandémie de diphtérie, ainsi que le développement de l'intubation oro-trachéale, rendirent la trachéotomie d'urgence plus rare, signant ainsi la fin de cette période (Frost 1975).

La quatrième période décrite par Frost est elle aussi étroitement liée à l'apparition d'une autre épidémie : la poliomyélite, qui sévit de la fin du XIXème siècle jusqu'à la seconde moitié du XXème siècle, et dont l'atteinte de la musculature respiratoire pouvait être responsable de défaillances respiratoires sévères. En effet, Wilson en 1932, suggéra l'utilisation de la trachéotomie en tant que traitement prophylactique des infections respiratoires dans la poliomyélite. Cette période dite « période d'enthousiasme » repose sur deux découvertes : la démonstration par Carter et Giuseppi en 1951, de la réduction de l'espace mort physiologique par la trachéotomie et la démonstration par Motley, Rang et Gordon en 1948, de l'utilisation de la ventilation en pression positive intermittente dans le traitement des atteintes respiratoires. La ventilation en pression positive était initialement réalisée manuellement par des infirmières et des étudiants en médecine (Pierson. 2005). Ibsen développa avec succès le traitement de l'insuffisance respiratoire chez les patients atteints de poliomyélite par ventilation positive intermittente sur trachéotomie. Le développement concomitant des appareils de ventilation mécanique, fit de cette technique le traitement de référence de l'ensemble des insuffisances respiratoires sévères nécessitant une assistance ventilatoire. Le monde médical devint « trachéotomie-orienté ». Ces avancées correspondent également à l'émergence des premières unités de réanimation, dont les toutes premières en 1958, à Baltimore, Oxford et Toronto (Pierson 2005). Cependant, le vaccin de la poliomyélite découvert par Salk, ainsi que le développement de l'intubation oro-trachéale qui montra sa supériorité en termes de rapidité et de réduction des complications lors des situations urgentes mirent fin à cette période « d'enthousiasme incontrôlé » (Frost 1975).

Le développement de la trachéotomie aboutit donc pour Frost à la période qu'il qualifie de « moderne », où chaque indication, technique et procédure est systématiquement évaluée (Frost 1975). De nouvelles avancées techniques voient le jour : l'apparition des ballonnets dit à « basse-pression » permettant de réduire le risque d'érosion des muqueuses trachéales et donc l'utilisation de la trachéotomie associée à la ventilation mécanique au long cours chez les

patients insuffisants respiratoires chroniques (Pierson 2005). Et plus récemment, le développement des techniques de pose de trachéotomie per-cutanée, proposées initialement par Toye et Weinstein en 1969 (Walts *et al.* 2003, Pierson 2005), puis développées notamment par Ciagilia (Ciagilia. 1985). Cette avancée majeure rendit la trachéotomie plus accessible et plus sûre en la faisant sortir des blocs opératoires d'ORL. Celle-ci devint alors faisable au lit du patient en réanimation, entre autres, par des Médecins anesthésistes réanimateurs (MAR), contribuant ainsi à l'essor moderne de cette technique.

2.2. Description de la trachéotomie :

La trachéotomie est un dispositif médical proposé par de nombreux fabricants dans différentes matières, différentes dimensions et avec différentes caractéristiques techniques.
Historiquement, les premières canules de trachéotomie modernes étaient en métal (acier inoxydable ou argent). Malgré certains avantages notables (durabilité, propriétés antibactériennes, résistance à la formation d'un bio-film dans la lumière de la canule, nettoyage et stérilisation faciles…), celles-ci ont été abandonnées pour des canules en Poly-vinyle chloride (PVC), silicone ou polyuréthane en fonction des modèles (Hess et Altobeli 2014), notamment en raison de leur coût mais aussi de leur absence de ballonnet.
Les canules en PVC sont rigides alors que les canules en silicone sont souples, ce qui est supposé améliorer le confort, mais expose la canule à l'obstruction, si celle-ci est écrasée. Il existe également des canules souples mais armées d'un fil métallique spiralé permettant d'éviter son écrasement. Ces canules ne sont pas compatibles avec les examens en Imagerie par résonnance magnétique (IRM), ce qui rend leur utilisation limitée, notamment lors de la phase aigüe (Hess et Altobeli 2014).

2.2.1. Parties extra et intra-trachéales de la canule de trachéotomie :

Classiquement, une canule de trachéotomie est composée d'une partie extra-trachéale visible à l'extérieur du patient et d'une partie intra-trachéale inaccessible une fois posée.
La partie extra-trachéale comprend en général un connecteur de diamètre standard (15mm) permettant d'y adapter tout type de raccord et de relier le connecteur à un appareil de ventilation mécanique, mais aussi aux différents accessoires existants (filtre humidificateur, nez artificiel, clapet ou valve phonatoire, bouchon…). Latéralement et de part et d'autre du connecteur, on retrouve deux ailettes sur lesquelles vient s'attacher la bande de fixation qui retient la

trachéotomie au cou du patient, comme un collier. Ces ailettes sont généralement porteuses d'informations sur les caractéristiques de la trachéotomie, comme par exemple, les diamètres interne et externe de la canule (Hess et Altobeli 2014).

La partie intra-trachéale, plus longue, est en général incurvée afin de venir se placer dans la lumière trachéale. Le choix d'une canule aux bonnes dimensions et à la courbure adaptée est primordial. En effet, une canule trop courte peut être responsable d'une obstruction de l'extrémité distale par la face postérieure de la trachée, alors que l'extrémité distale d'une canule trop longue peut au contraire venir au contact de la face antérieure de celle-ci. La portion distale de la canule peut être porteuse d'un ballonnet (voir ci-dessous). Cette portion peut également comporter une fenêtre généralement située au niveau de la courbure dorsale de la canule (voir ci-dessous) (Hess et Altobeli 2014).

De même que la longueur de la canule, les diamètres interne et externe peuvent varier d'un modèle à l'autre. Le diamètre externe correspond au diamètre total de la canule alors que le diamètre interne correspond à la lumière de celle-ci. Un diamètre externe trop important peut réduire la lumière trachéale et augmenter les résistances à l'écoulement de l'air autour de la canule, alors qu'un diamètre interne trop petit peut entrainer une augmentation des résistances à l'écoulement de l'air dans la canule. Ces paramètres sont donc à prendre en compte dans le choix d'une canule, que ce soit lors de la pose ou lors d'un changement (Pryor et al 2016).

2.2.2. Le ballonnet :

Les canules de trachéotomie peuvent être pourvues d'un ballonnet situé sur le pourtour de la portion distale de la partie intra-trachéale de la canule. Les fonctions du ballonnet sont multiples : il assure l'étanchéité autour de la canule dans la trachée et permet donc une ventilation sans fuite en pression positive (Hess et Altobeli 2014). Dans une moindre mesure, il peut être une protection des voies aériennes sous-glottiques contre l'inhalation des éléments d'une fausse route. Du fait de sa position sous la glotte, le ballonnet n'empêche pas les fausses routes mais peut retenir, ou ralentir la progression des éléments inhalés (Hess 2005). Cependant, cette protection est généralement considérée comme relative, les éléments inhalés lors d'une fausse route pouvant s'infiltrer entre le ballonnet et la muqueuse trachéale contaminant ainsi les voies aériennes (Hess 2005, Fernandez-Carmona *et al.* 2011) (voir figure 3). Le ballonnet est même considéré comme en partie responsable des troubles de la déglutition induits par la

trachéotomie (Fernandez-Carmona *et al.* 2011). Ce point sera développé en détail dans un chapitre dédié. Il existe trois types de ballonnets : haut volume/ basse pression ; bas volume/ haute pression (canules dites à « ballonnet plaqué ») et en mousse (Hess et Altobeli 2014).

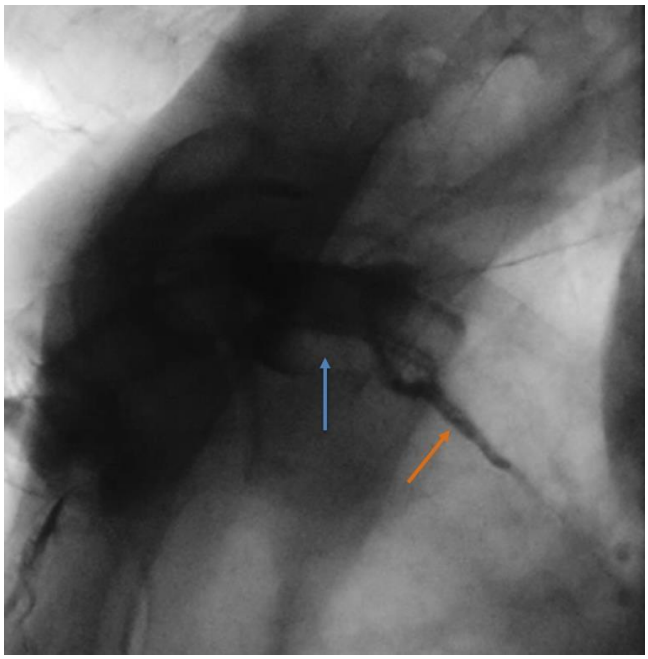


Figure 4 : vue radiologique de trois-quarts d'un patient trachéotomisé ballonnet gonflé. La fausse route du produit de contraste (baryte) s'infiltre immédiatement en dessous du ballonnet (flèche orange), alors que celui-ci est correctement gonflé (flèche bleue) (source : collection personnelle de l'auteur)

Les ballonnets haut volume/ basse pression sont les plus couramment utilisés et la pression à l'intérieur du ballonnet doit en général être maintenue entre 20 et 30 cmH2O. En effet, la pression de perfusion dans les capillaires trachéaux étant comprise entre 25 et 35 cmH2O, la pression du ballonnet doit être maintenue en dessous afin de prévenir les ulcérations de la muqueuse trachéale. Le seul moyen fiable d'obtenir la pression voulue est l'utilisation d'un manomètre. L'inconvénient des ballonnets haut volume/ basse pression est que, même parfaitement dégonflés, ceux-ci représentent malgré tout une résistance à l'écoulement de l'air autour de la canule. Cette résistance peut être un obstacle lors de l'utilisation d'un clapet phonatoire ou d'un bouchon (lors d'un sevrage de trachéotomie par exemple) (Hess et Altobeli 2014).

Les ballonnets bas volume/ haute pression (dits « plaqués ») sont construits en silicone. Le silicone étant perméable au passage des gaz, ce type de ballonnet doit être gonflé à l'eau stérile

afin d'éviter qu'ils ne se dégonflent. Les eaux Pour préparations injectables (PPI) sont préférées aux solutions salines qui sont susceptibles de détériorer le ballonnet et donc de mettre en jeu son efficacité. Son avantage indéniable est de ne présenter aucune résistance à l'air lorsqu'il est dégonflé. En effet, grâce à son élasticité, le silicone permet au ballonnet de se plaquer parfaitement autour de la canule, n'offrant ainsi aucune prise à l'air (voir figure 5). Cette caractéristique peut représenter un avantage lors de l'utilisation d'un clapet phonatoire ou d'un bouchon (Hess et Altobeli 2014).



Figure 5 : canule de trachéotomie à ballonnet bas volume/ haute pression (source : www.medicalexpo.fr)

Les canules à ballonnets gonflables sont pourvues d'un ballonnet témoin rattaché à la partie extra-trachéale de la canule de trachéotomie. Une ligne de gonflage relie le ballonnet témoin au ballonnet situé sur la portion intra-trachéale. Le ballonnet témoin est normalement le reflet de l'état de gonflage du ballonnet intra-trachéal. Cependant, seul un contrôle de la pression avec un manomètre (ballonnet haut volume/ basse pression), ou un contrôle du volume d'eau PPI (ballonnet bas volume/ haute pression) permet de s'en assurer (Hess et Altobeli 2014).

Enfin, il existe des ballonnets composés de mousse polyuréthane contenue dans une gaine silicone. Ce type de ballonnet, plutôt rare, est supposé assurer une pression inférieure à 27 cmH2O et serait donc utile en cas de risque d'ulcération ou de nécrose de la muqueuse trachéale (Hess et Altobeli 2014).

2.2.3. Les chemises internes :

Certaines canules de trachéotomie comportent une pièce amovible insérée à l'intérieur de la canule : la chemise interne. Celle-ci peut facilement être retirée pour être changée ou simplement nettoyée. Cependant, il n'y a pas d'évidence scientifique de l'utilité de la chemise interne quant à la prévention de la formation d'un bio-film dans la lumière de la canule ou de l'incidence des Pneumopathies acquises sous ventilation mécanique (PAVM) (Hess et Altobeli 2014). En revanche, en cas d'obstruction de la canule, la chemise interne peut être retirée facilement et permettre ainsi de reperméabiliser la lumière de la trachéotomie. L'obstruction d'une canule sans chemise interne oblige au changement complet et en urgence de la canule si le bouchon muqueux ne peut être retiré rapidement. En outre, le principal désavantage des chemises internes est la réduction du diamètre interne de la canule. Celle-ci serait responsable d'une augmentation non négligeable du travail respiratoire (Pryor *et al.* 2016). Cette augmentation du travail respiratoire peut être en partie responsable d'un échec de sevrage de la ventilation mécanique. Cependant, lorsque la canule est complètement obstruée durant le sevrage de la trachéotomie la respiration se fait uniquement autour de la canule (si la canule n'est pas fenêtrée). Le diamètre interne a alors ici peu d'importance.

Ces chemises internes peuvent être fenêtrées ou non fenêtrées. C'est à dire pourvues ou non d'une ou de plusieurs ouvertures situées à la face dorsale de la grande courbure de la chemise interne (voir figure 6). Pour être fonctionnelles, les chemises internes fenêtrées doivent être utilisées avec des canules fenêtrées (Hess et Altobeli 2014, Pandian *et al.* 2019).



Figure 6 : canule de trachéotomie fenêtrée (à gauche) avec chemise interne non-fenêtrée (au centre), fenêtrée (à droite) et le mandrin de mise en place de la canule (entre les deux chemises internes) (source : www.adom-materiel-medical.com).

2.2.4. Les canules fenêtrées :

Comme mentionné ci-dessus, certaines canules sont équipées d'une fenêtre à la face dorsale de la grande courbure de la portion intra-trachéale de la trachéotomie. La fenêtre est supposée améliorer le passage de l'air vers les voies aériennes supérieures, dont le larynx, lors de la réhabilitation de la phonation et/ ou de la déglutition, en réduisant les résistances (Hussey et Bishop 1996). Cependant, leur utilisation est controversée. En effet, la fenêtre peut être mal positionnée contre la paroi postérieure de la trachée, rendant ainsi son utilisation à la fois inefficace, mais également dangereuse. Le frottement répété du bord libre de la fenêtre contre la muqueuse trachéale peut être responsable de lésions de type granulome : complication redoutable de la trachéotomie (Hess et Altobeli 2014, Pandian *et al.* 2019). Des traumatismes de la muqueuse trachéale peuvent également être occasionnés à travers la fenêtre, lors d'aspirations endotrachéales. La fenêtre étant située en regard de l'orifice de la canule, le cathéter d'aspiration est susceptible de la traverser et de venir irriter, voire blesser directement la muqueuse (voir figure 7). Ce problème peut être évité avec l'utilisation d'une canule fenêtrée de type « grillagée » ou d'une chemise interne non-fenêtrée. Cependant cette dernière solution implique des changements de chemises internes et augmente donc le risque d'erreurs ou de mésusage.

La réduction des résistances à l'écoulement de l'air peut également être obtenue en réduisant la taille de la canule ou en utilisant des canules à ballonnet bas volume/ haute pression. Ces stratégies sont parfois préférées à l'utilisation d'une canule fenêtrée qui augmente notamment le risque de granulome (Christopher 2005, Hess et Altobeli 2014).

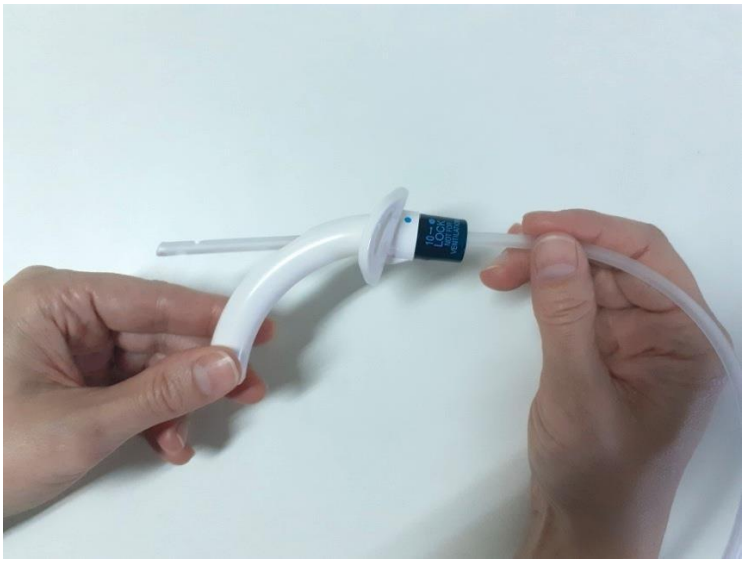


Figure 7 : problématique de la canule fenêtrée lors de l'aspiration endo-trachéale (source : collection personnelle de l'auteur)

2.2.5. Les systèmes d'aspiration sous-glottiques :

Certaines canules sont équipées d'un système d'aspiration sous-glottique (Fernandez-Carmona et al 2012). Une lumière indépendante circule dans la paroi de la grande courbure de la canule de trachéotomie et s'ouvre juste au-dessus du ballonnet. Une ligne d'aspiration est reliée à cette lumière et permet d'y connecter un système d'aspiration (voir figure 8). L'intérêt de ce système semble résider dans la possibilité d'évacuer par aspiration les sécrétions et/ ou les éléments inhalés lors d'une fausse route, retenus au-dessus du ballonnet lorsque celui-ci est gonflé. Une méta-analyse de 2016 a montré une diminution de l'occurrence des PAVM chez les patients intubés équipés d'aspiration sous-glottique (Caroff *et al.* 2016). Cependant, aucun effet n'a été démontré sur la durée de ventilation mécanique, la durée de séjour en réanimation, le nombre d'événements associés à la ventilation, la mortalité et l'utilisation d'antibiotiques (Caroff *et al.* 2016). De plus, même si l'aspiration sous-glottique d'une trachéotomie est comparable à celle d'une sonde d'intubation (en termes de position et de fonctionnement), il existe à ce jour peu de donnée chez les patients trachéotomisés.



Figure 8 : canule de trachéotomie équipée d'un système d'aspiration sous-glottique (source : www.mediflux.fr)

2.3. Techniques de mise en place de la trachéotomie :

2.3.1. Les principales techniques :

La mise en place d'une trachéotomie peut se faire principalement selon deux modalités : chirurgicale ou percutanée.

2.3.1.1. La technique chirurgicale :

La mise en place chirurgicale, historiquement la plus ancienne, est aussi probablement la plus complexe. D'un point de vue organisationnel, elle nécessite le transport du patient au bloc opératoire, la mobilisation d'une équipe chirurgicale (ORL ou maxillo-faciale principalement) ainsi que d'une équipe d'anesthésie (Cheung et Napolitano 2014).

Techniquement, sans détailler au-delà du cadre de cette thèse nous pouvons retenir que la procédure chirurgicale consiste à exposer chirurgicalement la trachée d'une incision transversale réalisée 2 à 3 cm au-dessus de la fourchette sternale, puis à réaliser une incision verticale de la trachée entre les 2ème et 4ème anneaux trachéaux. La canule de trachéotomie est ensuite insérée dans l'ouverture réalisée puis est sécurisée par la mise en place de la bande de fixation autour du cou du patient (Walts *et al.* 2003).

2.3.1.2. La technique percutanée :

La technique percutanée de mise en place de la trachéotomie dérive des travaux de Toy et Weinstein en 1969 (Walts *et al.* 2003) puis essentiellement de ceux de Ciaglia qui a perfectionné et formalisé la technique en 1985 (Ciaglia 1985). Elle est postérieure à la trachéotomie chirurgicale, ne nécessite pas de transport au bloc opératoire ni la mobilisation d'une équipe chirurgicale et réduit de fait les problématiques organisationnelles de programmation opératoire.

Techniquement, la procédure consiste en la réalisation d'une ponction entre les 2ème et 3ème anneaux trachéaux suivie d'une dilatation progressive du trachéostome jusqu'à obtention d'une ouverture suffisante pour l'insertion d'une canule de trachéotomie. Afin de guider le geste, notamment lors de l'introduction initiale de l'aiguille à travers le mur trachéal antérieur, cette technique se pratique généralement sous contrôle endoscopique (Ciaglia 1985, Walts 2003, Cheung et Napolitano 2014).

Différentes techniques ont été développées depuis les travaux princeps de Ciaglia : dilatation en une seule étape ou plusieurs, à l'aide d'un forceps ou d'un ballonnet, par rotation (PercuTwist), pose rétrograde ou antérograde… (Cheung et Napolitano 2014). Ici aussi, nous ne détaillerons pas plus avant ces techniques, ce sujet dépassant largement le cadre de cette thèse.

2.3.2. Trachéotomie percutanée *vs.* trachéotomie chirurgicale :

Dans une revue de littérature publiée en 2016 pour la Cochrane Library et portant sur 20 publications et un total de 1 652 patients, Brass *et al.* ne retrouvaient pas de différence significative entre la trachéotomie chirurgicale et la trachéotomie percutanée, concernant la mortalité directement liée à la procédure (Peto odds ratio (POR) : 0.52, 95% CI : 0.10-2.60, p= 0.42), ni sur les évènements intra-opératoires graves mettant en danger la vie des patients (risk ratio (RR) : 0.93, 95% CI : 0.57-1.53, p= 0.78), ni sur les évènements post-opératoires (RR : 0.72, 95% CI : 0.41-1.25, p= 0.24, 10).

Cependant, la trachéotomie percutanée apparaissait comme supérieure à la trachéotomie chirurgicale en réduisant les infections du site opératoire de 76% (RR : 0.24, 95% CI : 0.15-0.37, p< 0.00001) et le taux de mauvaises cicatrisations du trachéostome de 75% (RR 0.25, 95% CI : 0.07-0.91, p= 0.04).

Il n'y avait pas non plus de différence entre le taux de saignements graves (RR : 0.70, 95% CI 0.45-1.09, p= 0.12) et les obstructions de la canule de trachéotomie, les décanulations

accidentelles et les difficultés de changements de canule de trachéotomie (RR : 1.36, 95% CI 0.65-2.82, *p*= 0.42) (Brass *et al.* 2016).
Une méta-analyse plus récente réalisée sur 11 publications et pour un total de 1 338 trachéotomies (688 chirurgicales et 650 percutanées) retrouvait des résultats similaires concernant les infections du site opératoire (OR : 4.46; 95% CI : 2.84-7.02, *p*< 0.0001), mais retrouvait aussi une réduction des saignements post-opératoires (OR : 2.88; 95% CI : 1.62-5.12, *p*= 0.0003) (Meng, Shao et Zhu 2024).
Par ailleurs, la trachéotomie percutanée ne nécessitant pas l'utilisation d'un bloc opératoire ni la mobilisation d'une équipe d'anesthésie, celle-ci s'accompagne d'une diminution des coûts procéduraux d'environ 50% par rapport à la trachéotomie chirurgicale (Cheung et Napolitano 2014).

De par sa plus grande simplicité technique et organisationnelle, cette procédure a permis la réalisation de la trachéotomie au lit du malade dans la réanimation, directement par l'équipe de MAR (Walts 2003, Cheung et Napolitano 2014). En conséquence, elle est de plus en plus fréquemment utilisée en réanimation et pourrait être, selon certains auteurs, une des causes de l'augmentation de l'incidence de la trachéotomie observée depuis plusieurs années (Cheung et Napolitano 2014, Mehta *et al.* 2015) (voir plus bas).
Cependant, dans certains cas, la trachéotomie chirurgicale reste la technique de choix, notamment en cas de contre-indication à la trachéotomie percutanée. Les contre-indications sont regroupées dans le tableau 1.

Critères per-opératoires importants	Contre-indications relatives
Hyper-extension du cou possible Tolérance à l'hypercapnie et l'hypoxie transitoire Au moins 1cm de distance entre le cartilage cricoïde et la fourchette sternale	Nécessité d'obtenir un accès urgent aux voies respiratoires Anatomie difficile : obésité morbide avec un cou court, mouvements du cou limités, lésion médullaire cervicale avérée ou suspectée, vaisseaux sanguins aberrants, pathologies thyroïdiennes ou trachéales Troubles de la coagulation : temps de prothrombine ou temps d'activation partielle de la prothrombine > 1,5 fois le temps de référence, thrombocytopénie, numération plaquettaire < 50 000 c/µL Troubles majeurs des échanges gazeux : Pression expiratoire positive (PEP)>10 cmH2O ou FiO2> 60% Infection des tissus mous du cou au niveau du site d'insertion Nécessité d'utiliser une canule de trachéotomie avec extension distale ou proximale

Tableau 1 : critères per-opératoires et contre-indications relatives à la pose de la trachéotomie percutanée *(d'après Cheung et Napolitano 2014)*

2.4. Indications à la pose d'une trachéotomie :

2.4.1. Indications générales :

Il existe principalement quatre grandes indications à la mise en place d'une trachéotomie. Celles-ci ont été décrites par Durbin :

2.4.1.1. L'obstruction des voies aériennes supérieures :

Celle-ci peut être causée par une tumeur, un traumatisme, une infection, un corps étranger ou à la suite d'une chirurgie. La trachéotomie étant située dans la trachée, en dessous du larynx, elle permet de maintenir une filière respiratoire perméable, même en cas d'obstruction complète des voies aériennes supérieures. Dans cet esprit, la trachéotomie a même été proposée dans le traitement du Syndrome d'apnées obstructives du sommeil (SAOS) (Camacho *et al.* 2014). Malgré tout, les progrès récents des techniques non invasives comme la Pression positive continue (PPC) ou les orthèses d'avancée mandibulaires par exemple, ont rendu exceptionnelle l'utilisation de la trachéotomie dans le cadre du SAOS, celle-ci étant réservée à quelques patients sévères ne répondant pas à ces techniques (Camacho *et al.* 2014). Et pourtant, la trachéotomie n'est plus comme au XIXème siècle le traitement d'urgence de l'obstruction des voies aériennes supérieures. L'intubation ou éventuellement la crico-thyroïdectomie lui sont en général préférées du fait de leur plus grande rapidité et facilité de mise en œuvre. Elles comportent également moins de risques en situation d'urgence (Durbin 2010).

2.4.1.2. L'intubation prolongée :

En cas d'intubation prolongée, la canule d'intubation, qui est directement au contact des différentes structures du larynx et des voies aériennes supérieures, peut être responsable de lésions plus ou moins graves ou réversibles : ulcération des muqueuses, compressions nerveuses (des nerfs récurrent ou hypoglosse par exemple), plaies linguales, pharyngées ou laryngées, bris de dents, luxation des aryténoïdes (Lacau Saint Guily, Boisson-Bertrand, Monnier 2003, Fernandez-Carmona *et al.* 2012, Zuercher *et al.* 2019). Certaines de ces lésions peuvent entrainer des complications plus durables comme la sténose trachéale. La réduction de la lumière trachéale qu'elle entraine peut-être responsable d'un défaut permanent de perméabilité des voies aériennes pouvant conduire à la mise en place d'une trachéotomie permanente (Woliansky *et al.* 2021). Située en dessous du larynx qui est ainsi laissé libre de tout contact direct, la canule de trachéotomie permettrait de réduire l'incidence de ces complications. Cependant, la problématique majeure réside dans la difficulté à prévoir l'intubation prolongée et donc à proposer de manières pertinente et rapide la trachéotomie (Young *et al.* 2013). Le débat concernant la trachéotomie précoce dépasse le cadre de cette thèse, mais nous pouvons cependant retenir qu'une durée d'intubation prévisionnelle supérieure à 14 jours a été proposée comme critère de pose d'une trachéotomie (Durbin 2010).

2.4.1.3. L'encombrement trachéo-bronchique permanent :

En cas d'encombrement trachéo-bronchique permanent, nécessitant la réalisation d'aspirations trachéales fréquentes. En effet, chez un patient non intubé et non trachéotomisé l'évacuation des sécrétions trachéales, si elle est nécessaire, peut être réalisée par l'Aspiration naso-trachéale (ANT). Des techniques non invasives telles que l'insuflateur-exuflateur mécanique (« Mechanical in-exuflator (MI-E) » ou « cough assist » en anglais) existent, mais sont parfois inefficaces, rendant alors l'ANT obligatoire (Morelot-Pazani *et al.* 2019). Ce geste invasif, souvent traumatique, est parfois mal toléré par les patients. Il présente aussi un caractère aléatoire puisque le passage dans la trachée n'est jamais assuré. Effectivement, l'ANT consiste à introduire une canule d'aspiration par le nez jusque dans la trachée en passant par le carrefour aéro-digestif (Bennion 2004). Les différents réflexes de protection des voies aériennes tels que la toux, la fermeture glottique, la déglutition ou encore le réflexe nauséeux, auxquels viennent parfois s'ajouter des particularités anatomiques propres à chaque patient, font que le franchissement du larynx est parfois impossible. De plus, la pratique de l'ANT est réglementée et seuls les médecins et les Infirmier(e)s diplômé(e)s d'état (IDE) sont autorisés à la pratiquer (Komanski 2018). Les autres professionnels tels que les Masseurs kinésithérapeutes diplômés d'état (MKDE) peuvent réaliser une aspiration naso-pharyngée, c'est-à-dire s'arrêtant dans le pharynx, au-dessus du larynx (Code de la santé publique : Section 1 : Actes professionnels, article R4321-9. Source : www.legifrance.com). L'aspiration trachéale à travers la trachéotomie est, au contraire, faisable par tout soignant, y compris au domicile par les auxiliaires de vie, si ceux-ci ont bénéficié d'une formation (décret n°99-426 du 27 mai 1999. Source : www.legifrance.com). La canule de trachéotomie offre donc chez ces patients une voie d'abord permanente, facile d'accès, permettant des aspirations trachéales réalisables par tous les soignants, fréquentes, efficaces et moins traumatiques pour la sphère ORL.

2.4.1.4. La ventilation mécanique prolongée :

En cas de patient nécessitant une ventilation mécanique prolongée. La canule de trachéotomie permet d'assurer une ventilation efficace en court-circuitant les voies aériennes supérieures (Durbin 2010). Il existe cependant des solutions alternatives comme la Ventilation non invasive (VNI). Celle-ci se pratique à l'aide d'une interface non invasive dont il existe plusieurs types : le masque bucco-nasal (le plus fréquent), le masque nasal ou éventuellement l'embout buccal (Cammarota *et al.* 2022). Si le patient nécessite une ventilation en continu, celle-ci est possible en VNI mais peut entraver la communication et l'alimentation orale, puisque l'interface doit

être portée en permanence sur le visage. Par ailleurs, les voies aériennes supérieures ont un caractère instable, comparativement à la trachée dont la perméabilité de la lumière est assurée par la présence des anneaux trachéaux (Dorst et Ludolph 2019). Certaines pathologies, notamment neuro-musculaires (Sclérose latérale amyotrophique (SLA) de forme bulbaire par exemple), peuvent être responsables d'un accroissement de l'instabilité des voies aériennes supérieures, par réduction du tonus de la musculature glosso-pharyngo-laryngée. Cette instabilité peut conduire à un échec de la VNI et la mise en place d'une canule de trachéotomie peut alors être proposée comme interface alternative (Morelot-Panzani *et al.* 2019). L'appareil de ventilation mécanique est alors connecté directement sur la canule de trachéotomie au niveau du connecteur externe, libérant ainsi le visage du patient. La phonation et la déglutition sont alors possibles, y compris sous ventilation mécanique. Pour ce faire, il faut en général dégonfler le ballonnet, équiper le patient d'une valve phonatoire spécifique ou bien régler les paramètres de ventilation mécanique, dans le but de créer un flux aérien vers les voies aériennes supérieures (Hess 2005, Hess et Altobeli 2014). Ces techniques spécifiques aux patients trachéotomisés et ventilés dépassent le cadre de cette thèse et ne seront donc pas développées davantage.

2.4.2. Indications chez le patient cérébro-lésé :

La trachéotomie est parfois proposée en réanimation à la suite d'une lésion cérébrale (AVC, traumatisme crânien…) du fait de la forte incidence des troubles de la déglutition dans cette population. Celle-ci est estimée entre 30 et 80% lors de la phase aigüe (Bösel 2014).

La lésion cérébrale ainsi que la iatrogénie de la réanimation elle-même peuvent être responsables d'une dysphagie sévère nécessitant la mise en place d'une trachéotomie. La lésion cérébrale semble avoir une implication différente en fonction de sa sévérité ou de sa localisation. Bösel décrit deux types de patients pour lesquels la trachéotomie est indiquée : le premier, est le cas d'une lésion très sévère responsable de troubles majeurs de l'éveil et/ ou de la conscience, rendant impossible le retrait de la sonde d'intubation trachéale ; le second, est le cas d'une lésion d'importance modérée mais située sur un ou plusieurs des centres de la déglutition (dans la portion bulbaire du tronc cérébral par exemple) (Bösel 2014). Cette dernière, peut être responsable de troubles de la déglutition suffisamment sévères pour nécessiter la mise en place d'une trachéotomie. Dans les deux cas, le retrait de la canule pourra être envisagé en fonction de l'évolution de la problématique. Le volume, la sévérité et la

localisation des lésions semblent être des facteurs de mise en place d'une trachéotomie plus importants que le type même de la lésion cérébrale (ischémique, hémorragique, sous arachnoïdien, intra-ventriculaire…), en particulier, des lésions des centres de régulation de l'éveil et de la conscience (la réticulée du tronc cérébral, du thalamus, du système limbique par exemple), des centres respiratoires (centre respiratoires corticaux, bulbaires et pontiques) et de la déglutition (centre de la déglutition corticaux, pontique et bulbaire) ainsi que les voies de connections descendantes cortico-nucléaires (Bösel 2014).

3. Epidémiologie :

3.1. Epidémiologie dans la population générale :

Il existe peu de données épidémiologiques récentes sur la trachéotomie. Pourtant, dans une étude publiée en 2015 par Mehta *et al.* portant sur des données recueillies entre 1993 et 2012 aux États-Unis chez des adultes sous ventilation mécanique, les auteurs ont pu mettre en évidence une augmentation substantielle de l'utilisation de la trachéotomie. L'incidence de la trachéotomie ajustée à l'âge a ainsi augmenté de 106% sur cette période, passant de 16.7 à 34.3 trachéotomies pour 100 000 patients adultes. Le nombre total de patients trachéotomisés sur cette période était de 1 352 432, soit 9.1% des patients sous ventilation mécanique. Les auteurs décrivent deux périodes durant laquelle l'incidence de la trachéotomie est passée de 6.9% à 9.8% (1993-2008) puis a légèrement diminué pour atteindre 8.7% (2008-2012). Parmi les patients concernés par cette hausse, celle-ci était plus marquée chez les patients de chirurgie (OR, 2.29 ; 95% CI : 2.27-2.31), avec une hausse de l'incidence passant de 9.5% en 1993 à 15% en 2012. Cette hausse était bien supérieure à la hausse de la ventilation mécanique observée parallèlement (Cheung et Napolitano 2014). En comparaison, l'incidence de la trachéotomie chez les patients non chirurgicaux est passée de 5.7% en 1993 à 5.9% en 2007. Pour les auteurs, les facteurs pouvant rendre compte de cette hausse étaient une meilleure appréciation des complications liées à l'intubation prolongée et donc des avantages de la trachéotomie par rapport à celle-ci (réduction des besoins en sédation, nutrition et communication orale) ainsi que la diffusion des techniques percutanées de pose de la trachéotomie permettant aux MAR de la pratiquer au lit du patient, directement en réanimation (Ciaglia *et al.* 1985). Dans cette même étude, l'augmentation de l'incidence de la trachéotomie s'accompagnait également de diminutions de la durée médiane de séjour hospitalier (39 jours

en 1993 contre 26 en 2012 $p<0.0001$) et de la mortalité intra-hospitalière (38.1% *vs.* 14.7% $p<0.0001$), ainsi que d'une augmentation de la sortie des patients vers des structures de soins secondaires (40.1 *vs.*71.9% ; $p<0.0001$). Cependant, les différences entre les systèmes de santé états-unien et français rendent difficile l'extrapolation de ces résultats. Par exemple, certains auteurs ont déjà suggéré que le système de cotation et de remboursement de la trachéotomie aux Etats-Unis pouvait être en partie responsable d'une augmentation de cette pratique (Cheung et Napolitano 2014). Les patients bénéficiant du système Medicaid (OR 1.30, 95%CI : 1.16-1.35) ou d'une assurance privée (OR 1.26, 95%CI : 1.16-1.34) étaient ceux dont la probabilité de bénéficier d'une trachéotomie était la plus importante. Le type d'établissement de santé semble également jouer un rôle avec une plus forte probabilité de bénéficier d'une trachéotomie dans les hôpitaux de grande dimension par rapport aux hôpitaux de petite dimension (OR 1.35, 95%CI : 1.23-1.47) et dans les hôpitaux urbains et universitaires ou à vocation d'enseignement par rapport aux hôpitaux ruraux (OR 1.97, 95%CI : 51.73-2.24) (Mehta *et al.* 2015).

Dans une étude prospective réalisée en 2014 dans 459 unités de réanimations, dans 50 pays et sur 5 continents, mais portant uniquement sur des patients atteints du Syndrome de détresse respiratoire aigüe (SDRA), l'incidence de la trachéotomie était de 13%. Elle était plus fréquente dans les pays européens à forts revenus (15.7%), par rapport aux pays non-européens à forts revenus (9.7%) ou aux pays à revenus moyens (10.3%) (Abe *et al.* 2018). Dans cette étude, la trachéotomie était associée à une durée de séjour hospitalier et en réanimation plus longue et à une probabilité de survie augmentée par rapport aux patients non trachéotomisés, mais sans modification de la mortalité à 30 ou 90 jours. En dépit d'une incidence de la trachéotomie plus élevée dans cette étude que dans celle de Metha *et al.* citée plus haut, il reste difficile d'en tirer des conclusions définitives du fait de la spécificité des patients inclus dans l'étude de Abe *et al.* Pour ces derniers, cette différence serait due à l'inclusion exclusive de patients présentant des formes très sévères de SDRA (Abe *et al.* 2018). Comparativement, l'étude de Metha *et al.* incluait plus largement l'ensemble des patients sous ventilation mécanique, indifféremment de la pathologie initiale.

En 2015, Vargas *et al.* ont publié les résultats d'une enquête internationale interrogeant 429 praticiens de différentes spécialités (réanimation pour 71.9%) de 59 pays (européens pour 73.6% d'entre eux). Le nombre total de trachéotomies rapporté était de 17 894 pour une année (2012) et la principale technique utilisée était la trachéotomie percutanée (41.6%), suivie de la technique chirurgicale (24.1%) (Vargas *et al.* 2015). Les auteurs rapportent également que la

technique percutanée est la plus utilisée en Europe, essentiellement par des MAR et en réanimation, alors que la technique chirurgicale semble dominer dans les pays extra-européens, celle-ci étant alors plutôt pratiquée au bloc opératoire par des chirurgiens ORL (Vargas *et al.* 2015).

D'autres données disponibles nous indiquent que le nombre de patients trachéotomisés annuellement en Angleterre et au Pays de Galles est d'environ 15 000 patients (Mc Grath *et al.* 2020), de 7 000 patients en Australie et Nouvelle Zélande (Garrubba, Turner et Grieveson 2009) et de 30 000 par an au Japon (Ishisaki *et al.* 2022).

3.2. Epidémiologie dans la population des patients cérébro-lésés :

Dans une étude publiée en 2019 par Krishnamoortthy *et al.* portant sur les données recueillies dans une population de patients cérébro-lésés graves (AVC ischémiques/ hémorragiques, traumatismes crâniens et anoxies cérébrales) durant la période 2002-2006 aux Etats-Unis, l'incidence de la trachéotomie était de 32%, soit 30 455 patients trachéotomisés sur un total de 94 082 hospitalisations pour lésion cérébrale acquise grave. Une augmentation significative de l'incidence a été observée, passant de 28% en 2002 à 32.1% en 2011. Elle concernait l'ensemble des sous-types de lésions cérébrales acquises. Cette tendance est à rapprocher de celle décrite par Metha *et al.* aux Etats-Unis, dans la population générale, et portant sur une période similaire. Les patients victimes d'AVC représentaient 46.5% des patients trachéotomisés suivis par les patients victimes d'un traumatisme crânien (38.1%) et les patients victimes d'une anoxie cérébrale (15.4%). Dans cette étude, les comorbidités associées à la pose d'une trachéotomie étaient l'hypertension artérielle (43.2%), le diabète (19.6%), l'insuffisance cardiaque (16.4%) et la BPCO (15.5%). Les structures dans lesquelles la trachéotomie était la plus fréquemment pratiquée étaient des hôpitaux de grande dimension (OR 1.34, 95% CI : 1.18-1.53, $p<0.001$, comparativement aux petits hôpitaux), de type universitaire ou à vocation d'enseignement (OR 1.15, 95% CI : 1.06-1.25, $p=0.001$, comparativement aux hôpitaux non universitaires) et situés dans des centres urbains (OR 1.60, 95% CI : 1.33-1.92, $p<0.001$, en comparaison aux hôpitaux ruraux). L'augmentation de l'incidence de la trachéotomie était accompagnée d'une diminution significative de la mortalité intra-hospitalière passant ainsi de 19.3% en 2002 à 9.1% en 2011, ainsi que d'une augmentation significative de la sortie de ces patients vers des structures de soins secondaires, passant de 70.2% en 2002 à 83.1% en 2011. En revanche, il n'a pas été noté

d'augmentation du nombre de patients ayant pu bénéficier d'un retour à domicile, celui-ci restant très bas, probablement du fait de la charge que peuvent représenter ces patients à domicile (Krishnamoorthy *et al.* 2019).

Ici aussi, il faut prendre en considération les particularités du système de santé états-unien. En effet, dans cette étude, le fait de bénéficier du système Medicaid ou d'une assurance privée était associé à une augmentation de la probabilité de bénéficier d'une trachéotomie par rapport aux patients bénéficiant du système Medicare (OR 1.29, 95% CI : 1.19-1.39, p<0.001) (Krishnamoorthy *et al.* 2019). L'extrapolation de ces résultats sur notre système de santé reste donc très hasardeuse. En effet, en France, les soins dont peuvent bénéficier les patients ne sont pas conditionnés à la souscription à des systèmes d'assurance divers et variés et la prise en charge des frais de santé liés à une hospitalisation en réanimation relève de l'Assurance maladie et non pas de systèmes d'assurances privées (source : www.service-public.fr).

Dans la population des patients victimes de traumatismes crâniens, l'incidence de la trachéotomie est de l'ordre de 10% mais elle augmente si l'on considère la population des patients présentant un traumatisme crânien grave (score de Glasgow < 7). L'incidence de la trachéotomie est alors comprise entre 50% et 70% (Richard *et al.* 2005).

Pour mémoire, sur 5000 patients hospitalisés dans notre service de neuro-réanimation entre le 16/06/2016 (date de l'introduction de la trachéotomie per-cutanée) et le 08/04/2024, 145 patients ont bénéficié d'une trachéotomie (137 per-cutanées et 8 chirurgicales) (données non publiées du service).

Nous pouvons conclure qu'il existe une tendance réelle à l'augmentation du nombre de patients trachéotomisés et en particulier chez les patients cérébro-lésés. Cette tendance semble particulièrement marquée aux Etats-Unis et en Europe mais nous manquons cependant de données françaises. Par ailleurs, ces données sont antérieures à la pandémie de COVID 19. De part la charge importante que celle-ci a fait peser sur les services de réanimation, il est probable que les pratiques liées à la trachéotomie aient pu être modifiées. Globalement, l'incidence de la trachéotomie dans cette population est comprise entre 4% et 30% en fonction des études (Ahn *et al.* 2021, Evrard *et al.* 2021, Mahmood *et al.* 2021, Sancho *et al.* 2021, Molin et *al.* 2022).

4. Intérêt de la trachéotomie :

Les principaux bénéfices de la trachéotomie par rapport à l'intubation orotrachéale ont été listés dès 2010 par Durbin : amélioration du confort du patient, réduction des besoins en sédation, réduction du travail respiratoire, augmentation de la sécurité, amélioration de l'hygiène, probabilité de reprise alimentaire *per os* augmentée, reprise de la phonation plus précoce, meilleure fonction laryngée à long terme, sevrage de la ventilation mécanique plus rapide, réduction du risque de PAVM, baisse de la mortalité et réduction de la durée de séjour hospitalier et en réanimation (Durbin 2010).

4.1. Amélioration du confort et de l'hygiène buccale :

La trachéotomie permet de libérer les voies aériennes supérieures de la présence de la sonde d'intubation endotrachéale. Ceci est responsable de l'amélioration du confort ainsi que de la réduction des besoins en sédation (Nieszkowska *et al.* 2005). La trachéotomie facilite également l'hygiène buccale en favorisant l'accès à la cavité orale. Dans une étude publiée en 2008, et portant sur 123 patients en réanimation, les patients ayant bénéficié à la fois d'une intubation orotrachéale et d'une trachéotomie jugeaient la trachéotomie comme étant la technique la plus confortable et véhiculant une sensation de meilleur confort et d'hygiène buccale (Blot *et al.* 2008).

4.2. Reprise précoce de l'alimentation *per os* et de la phonation :

Par ailleurs, en libérant le laryngo-pharynx, la mise en place de la trachéotomie favorise également une reprise plus précoce de l'alimentation *per os* et de la phonation (Durbin 2010). Cependant, ces dernières doivent se faire sous certaines conditions (ballonnet dégonflé, canule obturée…) qui seront abordées en détail dans notre premier article. Le risque de lésions laryngées est également réduit car la trachéotomie n'est pas en contact direct avec le larynx (Lacau Saint Guily, Boison-Bertrand, Monnier 2003, Pierson 2005).

4.3. Réduction du travail respiratoire :

La réduction du travail respiratoire représenté par l'espace mort situé au-dessus de la trachéotomie est estimée à 30% (Chadda *et al.* 2002). La réduction des besoins en sédation associée à la réduction de travail respiratoire pourraient expliquer la diminution de la durée de ventilation mécanique observée avec la trachéotomie (Pierson 2005).

4.4. Réduction de la fréquence des PAVM, de la durée de séjour et de la mortalité :

L'amélioration de l'hygiène de la cavité orale et une reprise plus précoce de la fonction laryngée (phonation, toux, déglutition) pourraient favoriser la réduction de la fréquence des PAVM (Durbin 2010).

L'ensemble de ces bénéfices pourrait participer à la réduction de la durée de séjour intra-hospitalier et en réanimation ainsi que de la mortalité.

Cependant, certains auteurs avancent que la réduction de la durée de l'intubation endotrachéale et donc de la durée de la ventilation mécanique permise par la trachéotomie seraient responsables d'une réduction de l'incidence des PAVM (Gessler *et al.* 2015). En effet, dans une étude de 2015 portant sur 148 patients hospitalisés en neuro-réanimation pour Hémorragie sous-arachnoïdienne (HSA) grave, Gessler *et al.* ont comparé la durée de ventilation mécanique ainsi que l'incidence des PAVM entre les patients trachéotomisés précocement (entre le 1er et le 7ème jour) et ceux trachéotomisés plus tardivement (entre le 8ème et le 20ème jour) après leur admission. Les résultats montraient que pour le groupe « trachéotomie précoce », la durée de ventilation mécanique était significativement plus courte (17.4 *vs.* 22.3 j ; $p< 0.05$), et le nombre de PAVM était également significativement plus bas (48.7% *vs.* 68.8% ; $p= 0.03$; OR, 2.32; 95% CI : 1.1-4.9), comparativement au groupe « trachéotomie tardive » (Gessler *et al.* 2015), mais sans effet sur la durée de séjour en réanimation. Huang *et al.* obtiennent des résultats similaires en 2020 dans une étude portant sur 143 patients hospitalisés en neuro-réanimation suite à la prise en charge d'une lésion infra-tentorielle. Parmi ces 143 patients, 96 ont bénéficié d'une trachéotomie précoce (entre le 1er et le 10ème jour). Chez ces derniers, la durée de séjour en réanimation était significativement plus courte (médiane, 9 jours ; 95% CI : 3-16 jours) comparativement aux patients ayant bénéficié d'une trachéotomie tardive (entre le 10ème et le 20ème jour après admission) (médiane, 18 jours ; 95% CI : 13-27 jours), de même que l'incidence des PAVM (OR, 0.25; 95% CI : 0.09-0.73 ; $p= 0.011$) (Huang *et al.* 2020). Ces résultats posent également la question du moment de la trachéotomie (question qui dépasse le cadre de cette thèse). Cependant, la mise en place précoce de la trachéotomie, en réduisant la durée de l'intubation orotrachéale, pourrait contribuer à réduire la durée de ventilation mécanique, l'incidence des PAVM et donc la durée de séjour en réanimation.

4.5. Amélioration de la sécurité des patients :

L'augmentation supposée de la sécurité des soins apportée par la trachéotomie par rapport à l'intubation endotrachéale semble être plus controversée. En effet, dans une étude prospective réalisée en 2000 par Kapadia *et al.* incluant en réanimation, 5 046 patients intubés sur une durée totale de 9 289 jours et 79 patients trachéotomisés pour une durée totale de 843 jours, le tout sur une période de 4 ans, les auteurs ont retrouvé une proportion supérieure d'accidents chez les patients trachéotomisés que chez les patients intubés : 26 accidents chez les patients intubés (dont aucun sévère ou ayant entrainé le décès d'un patient), contre 10 chez les patients trachéotomisés (dont 6 avec des conséquences sévères dont 1 décès) (Kapadia *et al.* 2000). Par ailleurs, la sécurité des patients trachéotomisées en dehors de la réanimation a été remise en question par Martinez *et al.* En effet, la mortalité observée chez les patients trachéotomisés transférés hors réanimation était 3 fois supérieure à celle des patients décanulés avant leur sortie de réanimation. Dans cette étude, les facteurs associés à une augmentation de la mortalité en dehors de la réanimation étaient : l'absence de décanulation à la sortie de réanimation (OR 6.76, 95% CI : 1.21-38.46, p= 0.03), un Indice de masse corporelle (IMC)> 30kg/m^2 (OR 5.81, 95% CI : 1.24-27.24, p= 0.03), et la présence persistante de sécrétions (OR 7.27, 95% CI : 1.00-55.46, p= 0.05). La majorité de ces décès était due à des arrêts cardio-respiratoires inattendus, survenant principalement en deuxième partie de nuit, au petit matin, probablement du fait d'une surveillance moindre (Martinez *et al.* 2009). Cependant, ces résultats doivent être tempérés par ceux de Fernandez *et al.* pour qui l'augmentation de la mortalité hors réanimation était surtout présente chez les patients ayant le plus mauvais pronostic au moment de leur sortie de réanimation (Fernandez *et al.* 2008). En effet, un patient dont l'état n'a pas rendu possible la décanulation en réanimation est aussi probablement, un patient dont le pronostic de survie est très faible. Il apparait cependant que la sécurité des patients trachéotomisés repose sur une surveillance importante ou du moins spécifique ainsi que sur la formation des équipes. Ces deux points seront détaillés dans notre premier article.

5. Complications liées à la trachéotomie :

Les complications liées à la trachéotomie peuvent être classées en fonction de leur moment d'apparition : immédiates, précoces et tardives (Cheung et Napolitano 2014) (voir tableau 2).

Dans une étude observationnelle réalisée par Halum *et al.* dans 8 institutions d'Amérique du nord sur la période 2008-2009, le taux de complications immédiates (ou per-opératoires), précoces et tardives étaient respectivement de 1.4%, 5.6% et 7.1%. Parmi elles, la désaturation sévère (0.6%), l'hémorragie post-opératoire (2.6%) et la sténose trachéale (1.7%) étaient respectivement les complications immédiate, précoce et tardive les plus fréquentes. Par ailleurs, le risque de développer une sténose trachéale était 27.64 fois plus probable (95% CI : 9.12-83.82) pour les patients présentant un IMC> 30kg/m^2 et ayant été intubés avec une sonde d'intubation de taille supérieure à 7.5, que pour les patients non obèses. Pour les patients dont la durée d'intubation était supérieure à 1 semaine, le risque de développer une complication tardive et de développer une sténose trachéale était respectivement 1.42 fois plus probable (95% CI: 0.79-2.55) et 2.54 fois plus probable (95% CI : 0.81-7.89) que pour les patients ayant été intubés moins d'une semaine. La mortalité liée aux complications de la trachéotomie était de 0.85% soit 10 patients (5 décès per-opératoires, 4 bouchons muqueux post-opératoires et une décanulation accidentelle) et la mortalité toutes causes confondues était de 21.9%. Les trois principales causes de décès étaient le sepsis (30%), la défaillance multiviscérale (21%) et la défaillance respiratoire (19%) (Halum *et al.* 2012).

Complications immédiates	Complications précoces	Complications tardives
Hémorragie	Hémorragie	Sténose trachéale
Dommage structurel sur la trachée	Déplacement de la canule	Granulome
	Pneumothorax	Trachéomalacie
Échec de la procédure	Pneumomédiastin	Pneumonie
Épisode de fausse route	Emphysème sous-cutanée	Épisode de fausse route
Embolie gazeuse	Infection du trachéostome	Fistule trachéo-artérielle
Perte de la perméabilité des voies aériennes	Ulcération du trachéostome	Fistule trachéo-oesophagienne
	Décanulation accidentelle	
Décès	Dysphagie	Décanulation accidentelle
Hypoxémie/hypercapnie		Dysphagie

Tableau 2 : liste des complications de la trachéotomie *(d'après Cheung et Napolitano 2014)*

Cramer *et al.* ont étudié la mortalité associée aux complications liées à la trachéotomie, aux Etats-Unis et sur la période 2007-2016. Sur un total de 25 587 306 décès reportés sur cette période, seuls 623 (537 adultes et 86 enfants) étaient en relation avec des complications liées à la trachéotomie (0.0022% de la totalité des décès chez les adultes et 0.022% de la totalité des décès chez les enfants, soit 10 fois le taux de décès chez les adultes). La majorité de ces décès avaient lieu à l'hôpital (74.5%), principalement les week-ends (33.1%) et à un âge moyen de 60.7 ans contre 74 ans dans la population générale (Cramer *et al.* 2019).

Dans une étude publiée en 2012 et portant sur la période de l'année 2006, Shah *et al.* décrivent un taux de complications de 3.2% sur une population totale de 113 653 patients adultes trachéotomisés associé à une mortalité intra-hospitalière de 0.6%. La mortalité intra-hospitalière totale des patients trachéotomisés était de 19.2%. Le taux de complications et la mortalité étaient supérieurs dans les hôpitaux non universitaires ou n'ayant pas vocation à l'enseignement par rapport aux hôpitaux universitaires ou à vocation d'enseignement (complications : 3.7% *vs.* 3.1%, p=0.03 ; mortalité : 21% *vs.* 18.2% p<0.001). Les complications les plus fréquemment retrouvées étaient la fistule trachéo-oesophagienne ou l'hémorragie trachéale (59.3%), la sténose trachéale (25.8%) et l'infection de la trachéotomie (15.3%). La mortalité était plus importante chez les patients de plus de 50 ans ainsi que chez

les patients atteints de pathologies cardiaques et elle était moins importante chez les patients atteints de pathologies neurologiques (p<0.001) (voir figure 9) (Shah *et al.* 2012).

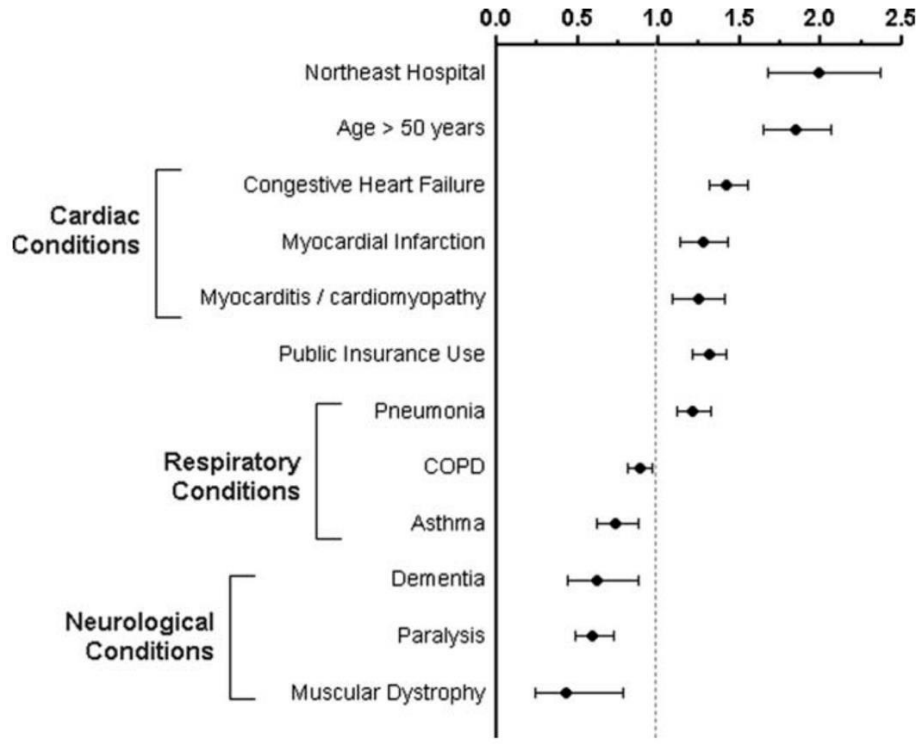


Figure 9 : analyse multivariée de la mortalité intra-hospitalière chez les patients trachéotomisés après contrôle des caractéristiques suivantes : âge, assurance santé et comorbidités. Odds ratio (OR) en abscisse *(d'après Shah et al. 2012)*

Par ailleurs, nous remarquons que la mortalité intra-hospitalière des patients trachéotomisés est en moyenne de 20%. C'est-à-dire, que seuls 80% des patients trachéotomisés survivent jusqu'à leur sortie de l'hôpital. Ceci témoigne de la fragilité de ces patients (Shah *et al.* 2012, Halum *et al.* 2012). Cependant, cette fragilité semble plutôt être le fait de la sévérité de la pathologie initiale que de la trachéotomie elle-même. En effet, il semble que les complications de la trachéotomie sont rarement la cause du décès (0.6% seulement pour Shah *et al.* et 0.85% pour Halum *et al.*), celle-ci étant plutôt liée à une aggravation de la pathologie initiale (Shah *et al.* 2012).

La mortalité liée aux complications de la trachéotomie apparait donc comme faible (Shah *et al.* 2012, Halum *et al.* 2012). Cependant, elle est plus importante dans les hôpitaux non universitaires ou n'ayant pas vocation d'enseignement (Shah *et al.* 2012), en dehors de la réanimation ainsi que les week-ends (Martinez *et al.* 2009, Cramer *et al.* 2019), c'est-à-dire

lorsque les effectifs sont réduits et donc la surveillance moindre. Ceci semble indiquer que la gestion de la trachéotomie nécessite des compétences particulières ainsi qu'une surveillance spécifique.

6. Problématiques liées à la trachéotomie :

6.1. Iatrogénie de la trachéotomie :

Si la trachéotomie peut être indiquée en cas de défaut de protection des voies aériennes, celle-ci peut elle-même être responsable d'une altération de la fonction de déglutition. Cet effet négatif pourrait être considéré comme une complication liée à la trachéotomie, mais du fait de son implication particulière dans le sevrage de la trachéotomie, nous avons choisi de traiter cette problématique à part.

La prévalence des troubles de la déglutition après trachéotomie est comprise entre 11% et 93% dans la littérature, en fonction de la méthode d'évaluation de la déglutition, du type de trachéotomie utilisée et du statut du ballonnet (gonflé *vs.* dégonflé) au moment de l'évaluation (Goldsmith 2000, Skoretz *et al.* 2020).
Dans une étude de 2015, Ceriana *et al.* ont observé en vidéo-radioscopie les caractéristiques, la réversibilité ainsi que le lien avec la pathologie initiale, des troubles de la déglutition retrouvés dans une population de 187 patients trachéotomisés pour détresse respiratoire (106 à la suite d'une lésion cérébrale et 81 à la suite de l'acutisation d'une atteinte respiratoire chronique). Les auteurs ont ainsi retrouvé une bascule incomplète de l'épiglotte, des stases pharyngées, des fausses routes supra-glottiques et infra-glottiques dans respectivement 48%, 32%, 33% et 28% des cas à l'admission et dans respectivement 41%, 19%, 2% et 17% des cas 4 semaines plus tard. L'amélioration notée à 4 semaines concernait toutes les caractéristiques décrites pour les patients cérébro-lésés (p<0.003) mais ne concernait que les fausses routes infra-glottiques chez les patients du groupe des pathologies respiratoires aigües/ chroniques (p<0.003) (Ceriana *et al.* 2015).

Les troubles de la déglutition induits par la trachéotomie dépendent essentiellement de deux grands types de mécanismes : un premier, plutôt mécanique et un second d'ordre physiologique ou neuro-adaptatif. D'un point de vue théorique, l'ensemble des impacts mécaniques et

physiologiques de la trachéotomie sur la déglutition et la protection des voies aériennes sont : une altération du réflexe de fermeture glottique, la déviation du débit aérien, une altération de la toux, une réduction de la pression sous-glottique, une réduction de l'ascension laryngée, une atrophie musculaire de sous-utilisation, une désafférentation du larynx et de l'hypopharynx et la persistance des effets de l'intubation endotrachéale (Goldsmith 2000).

6.1.1. Troubles de la coordination respiration/ déglutition :

En court-circuitant le carrefour aéro-digestif, la trachéotomie sépare les voies aériennes et digestives en deux voies bien distinctes. Ceci entraine un défaut de coordination entre la respiration et la protection des voies aériennes (la toux et la déglutition par exemple) (Goldsmith 2000). Dans une étude physiologique ancienne, réalisée à partir d'un modèle canin (15 chiens trachéotomisés de manière permanente et évalués par le biais de potentiels évoqués musculaires à 2, 6 et 8 mois post-trachéotomie), Sasaki *et al.* ont montré que la trachéotomie prolongée et donc le court-circuit chronique des voies aériennes supérieures entrainait : une augmentation du seuil de déclenchement à la réponse évoquée des adducteurs des cordes vocales, des décalages aléatoires de sa latence, une atténuation rapide de la réponse évoquée aux stimulations répétées du nerf laryngé supérieur et enfin une réduction de l'activité post-décharge. L'ensemble de ces facteurs était responsable d'une incoordination et d'une perte d'efficacité du réflexe de fermeture glottique, probablement du fait d'un changement dans l'organisation centrale de celui-ci (Sasaki *et al.* 1977). Ces résultats ont été par la suite confirmés chez l'homme par Shaker *et al.* Dans cette étude réalisée en vidéo-endoscopie, respirographie et Électro-myographie (EMG) sous-mentonnière avec 12 patients (6 volontaires sains et 6 patients trachéotomisés), la durée de l'adduction/ abduction des cordes vocales était significativement plus courte chez les patients trachéotomisés que chez des volontaires sains ($p<0.05$). De plus, la coordination des mouvements laryngés lors de la déglutition, l'apnée et les tracés EMG sous-mentonniers étaient altérés par la présence de la trachéotomie. Ces effets étaient globalement réversibles avec la décanulation, suggérant ici encore le rôle négatif de la trachéotomie sur la déglutition (Shaker *et al.* 1995). Pour Goldsmith, l'exclusion du larynx des voies respiratoires par la trachéotomie est responsable d'une perte de sensibilité laryngée et de l'hypopharynx. Celle-ci serait responsable d'un retard dans le déclenchement du réflexe de fermeture laryngée (Goldsmith 2000).

6.1.2. Diminution de la pression sous-glottique :

Chez un sujet sain, la résistance au flux expiratoire représentée par les cordes vocales permet de contrôler physiologiquement la sortie de l'air, lors de la phase expiratoire et donc d'en prolonger la durée. D'un point de vue théorique, lorsqu'un patient est trachéotomisé, l'expiration se fait par la canule, le larynx étant court-circuité. Ainsi, le contrôle de la phase expiratoire ne peut plus se faire comme en situation physiologique, ceci pouvant participer à un défaut de coordination entre respiration et déglutition. Par ailleurs, la perte de cette pression sous la glotte, appelée aussi « pression sous-glottique », rend compte de la perte d'efficacité de la toux chez les patients trachéotomisés, lorsque le ballonnet est gonflé et la trachéotomie ouverte (Goldsmith 2000, Eibling et Gross 1996). La toux reste ici possible mais ne peut se faire que par la trachéotomie ; la toux par les voies aériennes supérieures étant rendue impossible du fait de la présence d'un ballonnet gonflé. Dans une étude de 2023, Han *et al.* ont comparé, entre autres, la pression sous-glottique entre 15 patients cérébro-lésés trachéotomisés et faisant des fausses routes et 15 sujets sains non trachéotomisés. Chez ces derniers, la pression sous-glottique était comprise entre 5.26 et 8.39 cmH2O contre 0.41 à 0.68 cmH2O dans le groupe des patients trachéotomisés (p<0.0001). Ces résultats étaient corrélés avec une moins bonne fonction de déglutition évaluée en vidéo-radioscopie à l'aide de la Penetration aspiration scale PAS (rs = −0.775 ; p< 0.001) (Han *et al.* 2023).

6.1.3. Atrophie musculaire du pharyngo-larynx :

L'atrophie musculaire de sous-utilisation est également une cause avancée par certains auteurs concernant les troubles de la déglutition occasionnés par la trachéotomie. Celle-ci serait responsable d'une limitation de l'amplitude, de la force et de la vitesse des mouvements pharyngo-laryngés lors de la déglutition, ayant pour conséquence la présence de stases pharyngées mal évacuées par la déglutition ou la toux (Goldsmith 2000, Zuercher *et al.* 2019).

6.1.4. Modifications biomécaniques :

En ancrant le plan mobile trachéal au plan fixe de la peau, la trachéotomie réduit mécaniquement les mouvements antéro-supérieurs du larynx lors de la déglutition ainsi que la vitesse du déplacement de l'os hyoïde.

Dans une étude publiée en 2019, Seo *et al.* ont étudié grâce à la vidéo-radioscopie, les caractéristiques cinématiques de la déglutition sur 48 patients ayant subi un AVC (24

trachéotomisés et 24 non trachéotomisés). Chez les patients du groupe trachéotomie, le déplacement vertical maximal (15.23 ± 7.39 mm *vs.* 20.18 ± 5.70 mm, *p*= 0.011), la vélocité (54.99 ± 29.59 mm/s *vs.* 82.23 ± 37.30 mm/s, *p*= 0.011) et la vélocité bi-dimensionnelle (61.07 ± 24.89 mm/s *vs.* 84.40 ± 36.05 mm/s, *p*= 0.013) du larynx ainsi que la vélocité horizontale maximale de l'os hyoïde (36.77 ± 16.97 mm/s *vs.* 47.49 ± 15.73 mm/s, *p*= 0.032) étaient significativement plus faibles que dans le groupe sans trachéotomie. Par ailleurs, les auteurs notent que les effets négatifs de la trachéotomie étaient plus importants quand le ballonnet était gonflé que lorsqu'il était dégonflé. Ces résultats sur la cinématique s'accompagnaient, dans le groupe trachéotomie, d'une moins bonne fonction de déglutition, évaluée par la Functional oral intake scale (FOIS) (2.33 ± 1.40 vs 4.33 ± 1.79, *p*= 0.001). Dans cette étude rétrospective, les deux groupes ont été appariés pour l'âge, le sexe et le type d'AVC. Les auteurs concluent que la trachéotomie peut être un facteur inhibiteur quant à la récupération des troubles de la déglutition chez les patients ayant subi un AVC (Seo *et al.* 2019).

Dans une étude citée plus haut, Han *et al.* ont comparé, grâce à la manométrie haute résolution et la vidéo-radioscopie (échelle PAS), les caractéristiques biomécaniques suivantes : pression vélo-pharyngée maximale, pression basi-linguale maximale, pression résiduelle du Sphincter supérieur de l'œsophage (SSO), durée de relâchement du SSO et pression sous-glottique, entre deux groupes de patients appariés en âge : un groupe de 15 patients cérébro-lésés trachéotomisés et un groupe de 15 sujets sains non trachéotomisés. Les résultats montraient que le groupe de patients trachéotomisés avait une réduction significative de la pression vélo-pharyngée maximale (98.26 ± 61.57 *vs.* 139.41 ± 30.62 mmHg, *p*= 0.031), une augmentation significative de la pression résiduelle du SSO (12.66 ± 8.29 *vs.* −3.31 ± 5.80 mmHg, *p*< 0.001), une réduction significative de la durée de relaxation du SSO (454.40 ± 112.48 *vs.* 571.07 ± 65.56 ms, *p*= 0.002) et une réduction non significative de la pression basi-linguale maximale (111.83 ± 60.90 *vs.* 146.11 ± 24.02 mmHg, *p*= 0.057) par rapport au groupe de sujets sains. La pression vélo-pharyngée maximale (rs = −0.439; *p*= 0.015), la durée de relaxation du SSO (rs = −0.532; *p*= 0.002), la pression résiduelle du SSO (rs = 0.807; *p*< 0.001) et la pression sous-glottique (rs = −0.775; *p*< 0.001) étaient corrélées avec une moins bonne fonction de déglutition, évaluée avec le score PAS (Han *et al.* 2023). Ces éléments tendent à démontrer que la présence d'une trachéotomie est responsable de modifications physiologiques de la fonction de déglutition. Cependant, il reste difficile de définir dans cette étude la part des modifications de la déglutition liées à la trachéotomie et celle liée à la lésion cérébrale.

Dans cet esprit, l'étude suivante se révèle particulièrement intéressante, de par son approche méthodologique. En 2018, Park et Lee ont étudié les fonctions de toux et de déglutition chez des patients victimes d'AVC, avant et après décanulation (n=77). Chez les patients ayant été décanulés, la déglutition et la toux étaient évaluées en vidéo-radioscopie à l'aide des échelles Functional dysphagia scale (FDS) et PAS et grâce à un Débit expiratoire de pointe (DEP), 7 jours avant et 7 jours après la décanulation. Chez les patients non décanulés, ces évaluations étaient répétées régulièrement pendant 6 mois après leur AVC. Pour le groupe des patients ayant pu être décanulés, la déglutition et la toux étaient significativement améliorées après la décanulation (p<0.005). L'ensemble des patients inclus dans cette étude (décanulés et non-décanulés) a amélioré leurs fonctions de toux et de déglutition sur toute la durée de l'étude, mais cette amélioration était significativement plus importante dans le groupe de patients décanulés (Park et Lee 2018). Ceci suggère que l'amélioration de la déglutition et de la toux favorise la décanulation. En revanche, le fait que ces deux fonctions s'améliorent après la décanulation, dans le groupe des patients décanulés, semble soutenir l'idée que la trachéotomie est elle-même responsable d'une perte d'efficacité de la toux et de la déglutition.

Bien qu'étant une croyance assez répandue, la présence d'un ballonnet gonflé ne protège pas des fausses routes. Le ballonnet gonflé peut éventuellement limiter une inhalation massive en retenant une partie du bolus inhalé au-dessus du ballonnet. En revanche, cette stase finira invariablement, et quelle que soit la pression du ballonnet, par s'infiltrer de part et d'autre de celui-ci, et dans les voies aériennes basses (voir figure 4). Augmenter la pression du ballonnet, en plus d'être une mesure inefficace, fait prendre le risque de lésions trachéales. L'utilisation de trachéotomies équipées d'un système d'aspiration sous-glottique pourrait avoir ici toute sa place, notamment chez les patients dont les troubles de la déglutition sont tellement sévères qu'ils interdisent tout dégonflage du ballonnet (Fernandez-Carmona *et al.* 2012). Par ailleurs, et comme vu plus haut, la présence d'un ballonnet gonflé favorise la mise hors circuit des voies aériennes supérieures et donc la désafférentation laryngée et de l'hypopharynx ainsi que la perte de la pression sous-glottique (Goldsmith 2000, Hess 2005, Fernandez-Carmona *et al.* 2012, Skoretz *et al.* 2020). Ces dernières, sont des éléments importants de l'efficacité des mécanismes de protection tels que la toux et le réflexe de fermeture glottique (Eibling et Gross 1996, Goldsmith 2000, Zuercher *et al.* 2019).

6.2. Transfert des patients trachéotomisés hors de la réanimation :

Le nombre de lits de réanimation représente une ressource à la fois limitée et précieuse. En Europe, celui-ci est estimé à environ 11.5 lits pour 100 000 habitants avec d'importantes variations entre les différents pays (4.2 lits/ 100 000 habitants au Portugal – 29.2 lits/ 100 000 habitants en Allemagne). La France se situe parfaitement dans la moyenne européenne avec un ratio de 11.6 lits pour 100 000 habitants (Rhodes *et al.* 2012).

La préservation de cette ressource, et donc le maintien de lits disponibles, représente un défi organisationnel pour les services de réanimation afin de répondre aux besoins sans cesse croissants de la population (Rhodes *et al.* 2012, Romain *et al.* 2020).

Si la prise en charge des patients intubés relève exclusivement de la réanimation, il en va autrement pour les patients trachéotomisés qui peuvent tout à fait être transférés en secteurs conventionnels d'hospitalisation et même à domicile. Ainsi, la mise en place d'une trachéotomie est parfois envisagée comme solution pour les patients ne pouvant pas bénéficier d'une extubation, soit définitivement, soit dans un délai raisonnable (Durbin 2010). Cette solution permet alors d'envisager un transfert du patient en secteur conventionnel d'hospitalisation et de libérer, par là même, un lit de réanimation.

Cependant, et comme décrit plus haut, l'hospitalisation de patients trachéotomisés en dehors de la réanimation n'est pas sans poser de problème, en particulier concernant la sécurité de ces patients. Pour rappel, la mortalité est estimée comme étant 3 fois supérieure chez les patients trachéotomisés non décanulés et hospitalisés en dehors de la réanimation et semble survenir plutôt la nuit ou au petit matin, probablement chez les patients dont le pronostic de récupération est le plus faible (Fernandez *et al.* 2008, Martinez *et al.* 2009) (voir plus haut).

Une problématique de lits similaire existe pour les secteurs d'hospitalisation conventionnelle et le transfert vers une structure de soins secondaire (type unité de Soins de suite et de réadaptation (SSR), de rééducation polyvalente, d'hospitalisation en long séjour…) pose les mêmes difficultés. Lorsque nous avons débuté nos travaux de recherche en 2017 le nombre d'unités de soins secondaires en mesure d'accueillir des patients trachéotomisés en Nouvelle Aquitaine était de 13 avec seulement un ou deux lits par unité. Au moment de l'écriture de cette thèse, ce chiffre reste inchangé.

La prise en charge des patients trachéotomisés pose donc une véritable problématique organisationnelle et de parcours de soin. Si la trachéotomie peut faciliter le transfert hors de la réanimation, elle représente plutôt un obstacle au transfert de ces patients vers des structures de

soins secondaires. Que ce soit par les ressources en personnel nécessaires à la surveillance de ces patients, le savoir et les compétences techniques indispensables à la réalisation des soins et la conduite d'un sevrage de trachéotomie, la communication réduite avec le patient (en particulier chez les cérébro-lésés) ou encore la capacité à réagir en cas de complication, notamment suite à une décanulation : la prise en charge de ces patients est souvent considérée comme trop complexe ou trop dangereuse. Devant cette apparente complexité, le risque de défaut de prise en charge est alors possible, soit par absence de transfert vers une structure adaptée, soit par maintien prolongé de la trachéotomie.

Il semble alors que la protocolisation de la prise en charge de ces patients, la formation et le guidage des équipes ainsi que le travail pluridisciplinaire soient des outils essentiels pour essayer d'apporter des réponses pertinentes aux différentes problématiques posées par les patients cérébro-lésés trachéotomisés. C'est en ce sens et dans cette optique que nous avons mené nos travaux de recherche.

7. Le sevrage de la trachéotomie :

Dans de nombreux cas, la présence d'une trachéotomie n'est que provisoire et il peut être envisagé de la retirer, une fois la problématique initiale résolue (Beduneau, Bouchetemble et Muller 2007). Il est généralement admis que cette étape doit être précédée d'une étape dite « de sevrage ».

Bien que l'utilisation de protocoles de sevrage et de décanulation soit la norme dans la littérature scientifique, une équipe indienne a publié en 2012 une étude comparant la décanulation « abrupte », c'est-à-dire sans sevrage, à la décanulation guidée par un protocole de sevrage basé sur la diminution progressive du diamètre de la canule, ainsi que l'occlusion de celle-ci à l'aide de bandages. La population étudiée était celle des patients victimes de traumatismes crâniens sévères. Étonnamment, alors que légèrement supérieure dans le groupe sevré à l'aide d'un protocole, les taux de réussite étaient comparables entre les deux groupes (94% et 98,5% respectivement). Cependant, la décision de décanuler dépendait de facteurs cliniques tels que la toux réflexe, le nombre d'aspirations par jour, la radiographie des tissus mous du cou et une antibiothérapie de plus de 7 jours (Shrestha, Mohindra et Mohindra 2012). Même si dans cette étude les patients ne bénéficiaient pas d'un protocole de sevrage à proprement parler, une évaluation clinique était malgré tout réalisée afin de guider la décision. A notre connaissance, ces résultats n'ont jamais été répliqués dans une autre étude clinique.

Cependant, nous pouvons retenir que le sevrage de la trachéotomie s'appuie généralement sur des protocoles comprenant au minimum une épreuve de dégonflage du ballonnet à laquelle sont fréquemment associées des épreuves d'occlusion de la canule de durées variables. L'occlusion de la canule peut être complète, réalisée avec le doigt ou un bouchon, ou incomplète, réalisée avec un clapet ou valve phonatoire (Meideros *et al.* 2019).

Dans une revue de littérature portant sur 24 articles, les étapes de sevrage les plus fréquemment retrouvées étaient : l'évaluation de la déglutition (75%), l'occlusion de la canule (55%), la vérification de la perméabilité des voies aériennes (50%), la capacité à mobiliser les sécrétions trachéo-bronchiques (50%), le changement de canule (50%), le dégonflage du ballonnet (40%), l'entrainement du patient à la toux (40%) et l'utilisation d'une valve phonatoire (25%).
Les critères qui semblaient liés à une décanulation réussie étaient : patient indépendant de la ventilation mécanique et de l'humidification, pas ou peu de risque de fausse route, Glasgow coma scale (GCS)> 8, stabilité cardiaque avec une fréquence cardiaque (FC) < 140c/min, pas de dépendance aux vasopresseurs, température < 38°C, toux spontanée, capacité à mobiliser les sécrétions trachéo-bronchiques, fréquence respiratoire < 20c/min, saturation > 90% en air ambiant et enfin, patient alerte et coopératif.
Par ailleurs, les professionnels de santé impliqués dans le sevrage étaient principalement les médecins (70.8%), les orthophonistes (66.6%), les MKDE (41.6%) et les infirmier(e)s (41.6%) (Meideros *et al.* 2019).

7.1. Place de l'évaluation de la déglutition dans le sevrage de la trachéotomie :

Les méthodes d'évaluation de la déglutition retrouvées dans cette revue étaient : l'évaluation instrumentale (endoscopique ou vidéo-radioscopique), l'évaluation clinique (sans consensus quant à la méthode), le test au bleu d'Evans (ou « blue dye test ») et le test au bleu d'Evans modifié. L'évaluation de la déglutition était considérée comme nécessaire à l'appréciation de la capacité du patient à protéger ses voies aériennes (Meideros *et al.* 2019).
Un protocole de sevrage de la trachéotomie guidé par l'évaluation endoscopique obtenait des résultats supérieurs à un protocole basé uniquement sur l'évaluation clinique. Il permettait de proposer une décanulation à plus de patients que l'évaluation clinique seule. Le taux d'échec sur une population de 100 patients, dont 54 ont été décanulés, était de 1.9% (Warnecke *et al.* 2013). Nous discuterons plus en détail ce protocole dans la 3ème partie de cette thèse (voir plus bas).

Même si l'évaluation instrumentale est considérée comme étant l'évaluation de référence, elle pose la question de son accessibilité (Dziewas *et al.* 2021). En effet, il reste parfois difficile d'obtenir rapidement une évaluation endoscopique et encore plus vidéo-radioscopique (Mariani *et al.* 2022). De ce fait, faire dépendre la décanulation d'un patient d'une évaluation instrumentale pourrait entrainer une augmentation injustifiée du temps de sevrage. Dans cet esprit certains auteurs ont suggéré que l'évaluation instrumentale soit réservée aux cas les plus complexes (Mariani *et al.* 2022, Reverberi *et al.* 2019).

7.2. Place des procédures d'occlusion de la canule dans le sevrage de la trachéotomie :

Les procédures d'occlusion de la canule sont variées et la durée considérée comme nécessaire avant décanulation ne fait, là aussi, pas consensus. Globalement, l'étape d'occlusion était continue (de 24h à 48h) ou bien séquentielle (12h d'occlusion, suivie de 12h trachéotomie ouverte, suivie enfin de 24h d'occlusion avant décanulation) (Meideros *et al.* 2019). L'occlusion de la canule semble nécessaire pour évaluer la capacité du patient à respirer par les voies aériennes supérieures. Cependant, l'augmentation des résistances et donc du travail respiratoire, liés à l'occlusion, oblige à un compromis. La durée de l'occlusion doit permettre d'évaluer correctement les capacités respiratoires du patient sans pour autant le conduire à un épuisement respiratoire.

Le clapet phonatoire est une valve uni-directionnelle permettant l'entrée de l'air par la canule à l'inspiration. A l'expiration, la valve se referme et oblige l'air à remonter par les voies aériennes supérieures. L'intérêt est de permettre une ré-afférentation des voies aériennes supérieures et la restauration de la pression sous-glottique lors de l'expiration, tout en réduisant le travail inspiratoire (Hess 2005, O'Connor, Morris et Paratz 2019). Dans une revue de la littérature et méta-analyse, l'utilisation d'un clapet phonatoire réduisait le risque de fausses routes sous-glottiques (OR 0.122; 95% CI : 0.031-0.479 ; p= 0.003), et améliorait significativement l'olfaction, la gestion des sécrétions et la ventilation (O'Connor, Morris et Paratz 2019). Techniquement, la pression trachéale à l'expiration passive ne doit pas excéder 5cmH2O lors de l'utilisation d'un clapet phonatoire. Une valeur supérieure serait un indicateur de résistances à l'expiration trop élevées, signe d'un défaut de perméabilité des voies aériennes supérieures (Hess 2005).

Le bouchon, quant à lui, obstrue complètement la canule et oblige le patient à respirer uniquement par les voies aériennes supérieures. Cette dernière étape permet en général de

s'assurer que le patient est capable de respirer à travers l'espace mort représenté par la trachée et les voies aériennes supérieures situées au-dessus de la canule.

Cependant, l'utilisation du clapet et du bouchon peut être responsable d'une augmentation du travail respiratoire. En effet, l'espace mort au-dessus de la trachéotomie représente 30% de travail respiratoire supplémentaire (Chadda et al 2002). Il faut également y rajouter la résistance que représente la diminution de la lumière trachéale induite par la présence de la canule de trachéotomie.

Dans cet esprit, Hernandez Martinez *et al.* ont réalisé une étude sur 330 patients trachéotomisés et hospitalisés en réanimation, dans laquelle ils comparaient un protocole de sevrage basé sur l'utilisation en continu d'Oxygène à haut-débit (OHD) durant 24h (groupe interventionnel (GI), n=169) et un protocole basé sur l'occlusion de la canule durant 24h et l'utilisation intermittente d'OHD (groupe contrôle (GC), n=161). Dans cette étude, l'OHD était réalisée avec une température de 37°, un débit de 60L/min et un réglage de la FiO2 pour un objectif de saturation entre 92% et 95%. Dans les deux groupes, le ballonnet était maintenu dégonflé et l'OHD était positionné sur la canule à l'aide d'une interface spécifique. Dans le GI, la décision de décanuler était prise si le nombre d'aspirations par tranche de 8h était ≤ 2 sur une période de 24h. Dans le GC, la décision de décanuler dépendait de la capacité du patient à valider les 24h d'occlusion de la canule. Les résultats de cette étude montraient que la durée de sevrage était plus courte dans le GI par rapport au GC (médiane : 6 jours [Étendue interquartile (EIQ) : 5-7] *vs.* 13 jours [EIQ : 11-14]. La différence absolue entre les deux groupes était de 7 jours (95% CI, 5-9). De plus, dans le GI, l'incidence des Pneumopathies (PNP) (7 *vs.* 16) et des trachéobronchites (32 *vs.* 47) ainsi que la durée de séjour hospitalier (48 *vs.* 62) étaient plus faibles que dans le GC. Par ailleurs, il y avait moins de recanulations dans le GI que dans le GC (4 *vs.* 9). Les auteurs suggèrent que l'utilisation de l'OHD permet de réduire le travail respiratoire par rapport à l'utilisation du clapet phonatoire. De plus, contrairement à celui-ci, l'OHD permet le maintien de l'humidification et du réchauffage de l'air inspiré (Hernandez Martinez *et al.* 2020). De plus il est probable qu'un débit continu de 60L/min offre une résistance à l'expiration comparable à celle d'un clapet phonatoire et permette donc de rediriger une partie du flux expiratoire vers les voies aériennes supérieures. Cependant, l'utilisation de l'OHD nécessite de disposer d'un matériel coûteux et rarement présent en dehors des réanimations.

7.3. Place du changement de canule dans le sevrage de la trachéotomie :

Certains protocoles comprenaient un changement de canule systématique, soit vers une canule de diamètre inférieur, soit vers une canule fenêtrée, soit vers une canule sans ballonnet (Meideros *et al.* 2019). Dans tous les cas l'objectif est de réduire les résistances à l'écoulement de l'air afin de faciliter le sevrage (Hussey et Bishop 1996, Hess et Altobelli 2014).

7.4. Place de l'évaluation et de l'entrainement à la toux dans le sevrage de la trachéotomie :

La capacité pour le patient à mobiliser les sécrétions trachéales ou bronchiques et à les évacuer par les voies aériennes supérieures est également considérée comme une étape nécessaire au sevrage (Meideros *et al.* 2019). Elle peut être évaluée par la quantité et la qualité des sécrétions, le nombre d'aspirations ou une évaluation quantitative de la toux. Dans une étude réalisée chez des patients atteints de pathologies neuromusculaires, Bach et Saporito ont proposé comme valeur seuil un débit expiratoire de pointe (DEP) assisté par MI-E supérieur à 160L/min (Bach et Saporito 1996). Chez les patients cérébro-lésés, l'évaluation de la toux peut être difficile du fait d'une réduction de la participation active de ces patients. Dans cet esprit, Chan et al ont proposé une évaluation de la toux réflexe par DEP induit. Un spiromètre était connecté à l'extrémité de la trachéotomie et la toux était déclenchée en venant toucher la trachée à travers la canule par l'intermédiaire d'une sonde d'aspiration trachéale. Les auteurs proposaient une valeur seuil de DEP de 29L/min, mesurée ballonnet dégonflé (Chan *et al.* 2009).
L'assistance et l'entrainement à la toux étaient également proposés lorsque celle-ci était déficiente. Parmi les techniques retrouvées par Meideros *et al,* nous pouvons citer l'assistance manuelle à la toux (Meideros *et al.* 2019). Bach et Saporito proposent quant à eux l'assistance mécanique par l'intermédiaire du MI-E (Bach et Saporito 1996).
Comme la déglutition, la toux ou la capacité à mobiliser les sécrétions trachéo-bronchiques sont synonymes de protection des voies aériennes, la difficulté première résidant dans leur évaluation.

Meideros *et al.* concluent cette revue de littérature en suggérant que le dégonflage du ballonnet et l'évaluation de la perméabilité des voies aériennes étaient les deux étapes considérées comme primordiales dans le sevrage de la trachéotomie (Meideros *et al.* 2019). En effet, un défaut de perméabilité (granulome, sténose trachéale) représente un risque d'obstruction des voies aériennes et donc un risque majeur pour la sécurité du patient. Cette évaluation nécessite un

dégonflage du ballonnet afin d'évaluer la filière aérienne autour et au-dessus de la canule de trachéotomie. Cette étape n'était décrite que dans 40% des études incluses dans cette revue de littérature car certains auteurs la considéraient comme une étape préalable au sevrage et non une étape de celui-ci (Meideros *et al.* 2019).

7.5. Exemple d'un protocole de sevrage de la trachéotomie :

Dans une revue de littérature analysant 10 articles et publiée en 2014, Santus *et al.* retrouvent que l'efficacité de la toux et l'occlusion de la trachéotomie étaient considérées comme les critères principaux lors d'un sevrage de la trachéotomie (Santus *et al.* 2014). En s'appuyant sur les données analysées dans cette revue de littérature, les auteurs proposent un score de sevrage de la trachéotomie basé sur des paramètres Quantitatifs et semi-quantitatifs (QsQ score) (voir tableau 3). Ils déterminent également 3 critères majeurs et 8 critères mineurs auxquels ils attribuent des valeurs différentes (20 points pour les premiers contre 5 pour les seconds).

La probabilité d'une décanulation réussie sera considérée comme forte si le patient valide les 3 critères majeurs, les auteurs estimant que la probabilité d'une décanulation réussie est forte indépendamment des critères mineurs.

La probabilité d'une décanulation réussie sera considérée comme bonne si le patient ne valide qu'un ou deux critères majeurs, la validation de la majorité des critères mineurs étant nécessaire pour prédire une décanulation réussie, ou si tous les critères mineurs sont validés sans validation des critères majeurs.

Enfin, la probabilité d'une décanulation réussie sera considérée comme basse si aucun des critères majeurs et moins de 3 critères mineurs sont validés par le patient (Santus *et al.* 2014).

Paramètres	Valeur seuil	Absent	Conforme
	Paramètres quantitatifs objectifs (critères majeurs)		
Toux	PEM $\geq$ 40cmH20 DEP >160L/min	0	20
Occlusion de la canule	$\geq$ 24h	0	20
	Paramètres semi-quantitatifs (critères mineurs)		
Niveau d'éveil	Somnolent / éveillé	0	5
Sécrétions	Épaisses *vs.* fluides	0	5
Déglutition	Anormale/ normale	0	5
Capnie	paCO2 <60mmHg	0	5
Perméabilité des voies aériennes	Sténose trachéale < 50% en endoscopie	0	5
Age	< 70 ans	0	5
Indication de la trachéotomie	Autres/ PNP ou obstruction des voies aériennes	0	5
Comorbidités	Présentes ($\geq$1) ou absentes	0	5

Tableau 3 : QsQ score : DEP : Débit expiratoire de pointe, PEM : Pression expiratoire maximale, PNP : pneumopathie *(d'après Santus et al. 2014)*

En s'appuyant sur les travaux de Santus *et al.* et sur leur QsQ score, Enrichi *et al.* ont évalué ces critères dans une étude prospective incluant 74 patients cérébro-lésés trachéotomisés. L'occlusion de la canule (sensibilité 80%, spécificité 100%), l'évaluation endoscopique de la perméabilité des voies aériennes (sensibilité 100%, spécificité 30%), l'évaluation instrumentale de la déglutition (sensibilité 85%, spécificité 96%) et le test au bleu d'Evans ou « blue dye test » (sensibilité 65%, spécificité 85%) apparaissaient comme les plus pertinents. L'association de l'ensemble de ces critères dans un "cluster clinique" obtient une sensibilité de 100% associée à une spécificité de 82% (Enrichi *et al.* 2017).

7.6. Sevrage de la trachéotomie et rééducation spécifique de la déglutition :

Certains auteurs proposent la mise en place de programmes de rééducations spécifiques lors du sevrage de la trachéotomie.

Berney *et al.* ont réalisé une étude rétrospective portant sur 44 patients cérébro-lésés et trachéotomisés, hospitalisés en service de neurologie ou de neurochirurgie. Les auteurs évaluaient les effets de la mise en place d'un programme interdisciplinaire et coordonné d'interventions neurosensorielles. Ce programme était basé sur les concepts de Bobath ® et de la Facial oral tract therapy (FOTT®) (Frank *et al.* 2007). Ces différentes stimulations étaient réalisées concomitamment à un programme de ré-afférentation laryngée par dégonflage du ballonnet et occlusion de la canule. Un volet de formation des équipes était également prévu. Les résultats de cette étude montrent une réduction des échecs de sevrage de la trachéotomie après la mise en place de ce programme (9.1% *vs.* 27.3%), ainsi qu'une réduction de la durée de sevrage (12.75 *vs.* 19.13 jours) et du non-respect des normes de prise en charge des patients (30% *vs.* 45%) (Berney *et al.* 2014).

Des résultats similaires ont été obtenus par Bianchi, Barbara et Monini dans une étude portant sur 51 patients porteurs de lésions neurologiques centrales ou périphériques, parmi lesquels 36 étaient porteurs d'une trachéotomie. Ces patients étaient divisés en deux groupes : un groupe interventionnel (GI) où les patients ont bénéficié d'un protocole de réhabilitation de la déglutition et de sevrage de la trachéotomie, délivré par une équipe pluridisciplinaire et un groupe contrôle (GC) basé sur les pratiques courantes des services dans lesquels étaient admis les patients. Dans cette étude, la durée de sevrage de la trachéotomie et la récupération de la fonction de déglutition étaient plus rapides dans le GI que dans le GC (p<0.05) (Bianchi, Barbara et Monini 2014).

Enfin, une technique innovante a été proposée par Dziewas *et al.* dans le sevrage de la trachéotomie des patients cérébrolésés : la stimulation électrique pharyngée (Pharyngeal electrical stimulation (PES)) (Dziewas *et al.* 2018). Dziewas et al. ont évalué la PES dans une étude randomisée contrôlée prospective multicentrique, sur une population de 69 patients victimes d'AVC et trachéotomisés. Cette technique consiste à réaliser une stimulation sensitive pharyngée à l'aide d'une sonde nasogastrique équipée d'électrodes circulaires de stimulation. Dans cette étude, les patients du GI ont bénéficié d'une stimulation de 10 min par jour pendant 3 jours et les patients du GC recevaient une stimulation placebo sur une durée et à une fréquence identique au GI. Les résultats montraient que la proportion de patients éligibles à la

décanulation était supérieure dans le GI (49%) par rapport au GC (9%) (OR 7 ; 95% CI : 2.4-19.88 ; p=0·0008) (Dziewas *et al.* 2018).
Cependant, bien qu'efficaces, ces techniques de rééducation nécessitent du matériel coûteux et/ou des rééducateurs formés et présentent le risque de complexifier le sevrage de la trachéotomie.

7.7. Intérêt des approches multidisciplinaires dans le sevrage de la trachéotomie :

Afin de mieux encadrer le sevrage de la trachéotomie, de nombreux protocoles s'appuient sur une approche multidisciplinaire. Généralement, celle-ci prévoit l'intervention protocolisée de divers professionnels : médecins, orthophonistes, kinésithérapeutes, infirmier(e)s…, organisés en véritables « équipes de gestion de la trachéotomie » (Tobin et Santamaria 2008, Garuti *et al.* 2014, Mah *et al.* 2017, McGrath *et al.* 2020).
Dans une revue de la littérature réalisée en 2009, l'analyse des 3 articles inclus met en évidence une réduction de la durée de sevrage, de la durée de séjour hospitalier ainsi que des évènements indésirables (Garrubba, Turner et Grieveson 2009).
Dans une étude réalisée avec 280 patients trachéotomisés sur une période de 4 ans, les auteurs ont montré que la mise en place d'une équipe de gestion de la trachéotomie, dirigée par un MAR avait : réduit la durée de séjour en réanimation (19 [10-34] jours *vs.* 30 [13-52] jours, p<0.05), augmenté la proportion de patients décanulés à 43 jours (48% *vs.* 66%, p<0.05) et réduit la durée de sevrage après le transfert hors de la réanimation (7 [3-17] jours *vs.* 14 [7-31] jours). De plus, la probabilité pour les patients de bénéficier d'une décanulation augmentait de 24% après la mise en place de l'équipe de gestion de la trachéotomie (Tobin et Santamaria 2008).
MacGrath *et al.* ont publié en 2020 les résultats d'un programme de guidance pour améliorer la qualité de prise en charge des patients trachéotomisés, conduit pendant 3 ans dans 20 institutions britanniques. Le programme utilisé était celui du Global Tracheostomy Collaborative (GTC ; www.globaltrach.org) et comprenait 18 interventions regroupées autour de 3 thèmes principaux : la sécurité du patient, la qualité des soins centrée sur le patient et l'efficacité organisationnelle. Au terme de ces 3 années, les auteurs ont relevé une réduction significative du score de sévérité des incidents (p<0.01) mais aussi, une réduction de la durée de ventilation, de trachéotomie et de séjour hospitalier (p<0.01). La reprise de la phonation ainsi que de l'alimentation *per os* étaient réalisées en moyenne 7 jours plus tôt (p<0.001). Par ailleurs, l'anxiété et la dépression ont également été réduites respectivement de 44% et 55%

(p<0.01). D'un point de vue économique, l'ensemble de ces améliorations permettait d'obtenir une réduction des coûts de 33 251 £ par patient (soit 38 933 €), permettant une projection d'économies annuelles de 275 millions de livres sterling (soit 322 016 350 €) pour le service de santé britannique (National Health Service (NHS)) (McGrath *et al.* 2020).

La protocolisation de la prise en charge des patients trachéotomisés, le travail en équipe pluridisciplinaire ainsi que la formation des équipes apparaissent ici comme très efficaces pour la gestion des patients trachéotomisés. Nous nous appuierons sur ces principes dans notre premier travail de recherche.

DEUXIEME PARTIE : Nos travaux de recherche et articles publiés

Etude I : Sevrage de la trachéotomie et décanulation chez les patients cérébo-lésés : protocole DECATRAC.

Article 1 : Thomas Gallice, Emmanuelle Cugy, Christine Germain, Clément Barthélemy, Julie Laimay, Julie Gaube, Mélanie Engelhardt, Olivier Branchard, Elodie Maloizel, Eric Frison, Patrick Dehail, Emmanuel Cuny. 2023. A pluridisciplinary tracheostomy weaning protocol for brain-injured patients, outside the intensive care unit and without instrumental assessment : Results of a pilot study. Dysphagia, décembre. https://doi.org/10.1007/s00455-023-10641-7

Etude II : Effet du clapet phonatoire sur le débit aérien nasal lors du sevrage de la trachéotomie : protocole TRACFLOW.

Article 2 : Thomas Gallice, Emmanuelle Cugy, Didier Cugy, Julie Laimay, Olivier Branchard, Christine Germain, Patrick Dehail, Emmanuel Cuny et Julien Engelhardt. 2024. Effect of a speaking valve on nasal airflow during tracheostomy weaning: A case series. Neurocritical-care, mars. https://doi.org/10.1007/s12028-024-01966-8

Etude III : Facteurs prédictifs d'une décanulation réussie chez les patients cérébro-lésés et trachéotomisés : une revue systématique de la littérature.

Article 3 : Thomas Gallice, Emmanuelle Cugy, Olivier Branchard, Patrick Dehail et Geoffroy Moucheboeuf. 2024. Predictive factors for successful decannulation in patients with tracheostomies and brain injuries: A systematic review. Dysphagia, Janvier. https://doi.org/10.1007/s00455-023-10646-2

Etude I : Sevrage de la trachéotomie et décanulation chez les patients cérébro-lésés : protocole DECATRAC.

Le but de cette étude descriptive pilote était d'évaluer l'efficacité et la sécurité d'un protocole pluridisciplinaire de sevrage de la trachéotomie sans évaluation instrumentale (nasofibroscopie ou vidéo-radioscopie) et en dehors d'un service de réanimation. L'objectif principal était de déterminer la proportion de décanulations sans échec pour l'ensemble des patients trachéotomisés décanulés inclus, l'échec de décanulation était défini par une recanulation dans les 96 heures. Les objectifs secondaires étaient de déterminer la proportion de décanulations sans échec sur l'ensemble de la population de l'étude, de décrire les éventuels échecs de la procédure de sevrage, les procédures et traitements associés, l'état neurologique, et de l'évolution de la déglutition entre l'inclusion et la fin du séjour et enfin de suivre les patients sur une durée de 6 mois afin d'évaluer la mortalité, la tolérance à long terme et le parcours de soins.

Notre protocole de sevrage est le fruit d'un travail pluridisciplinaire entrepris dans le service de Neurochirurgie B du Centre hospitalier universitaire (CHU) de Bordeaux. Ce travail préalable, qui a réuni deux neurochirurgiens (Pr Emmanuel Cuny, Dr Vincent Jecko), une médecin de médecine physique et réadaptation (Dr Emmanuelle Cugy), un anesthésiste réanimateur (Dr Jacques Dartois), 3 kinésithérapeutes (l'auteur de cette thèse, Julie Laimay, Manuella Ballaguer), une orthophoniste (Mélanie Engelhardt), deux infirmier(e)s (Julie Gaube et Clément Barthélemy) et une cadre de santé infirmière (Juliette Jamet) était basé sur une revue rétrospective de l'ensemble des patients trachéotomisés pris en charge dans notre service entre 2014 et 2016, ainsi que sur une revue de la littérature existant au moment de ce travail. Cette réflexion pluridisciplinaire a débouché sur la création d'un protocole de sevrage de la trachéotomie en 5 étapes (de 0 à 4) conçu comme un outil décisionnel permettant de déterminer quel patient pourrait bénéficier d'une décanulation sans échec. La particularité de notre protocole est de s'appuyer sur des paramètres de surveillance individualisés pour chaque patient, de ne pas nécessiter d'évaluation instrumentale (type nasofibroscopie ou vidéo-radioscopie) et de comprendre un volet de formation aux équipes soignantes (infirmier(e)s et aides-soignant(e)s). L'objectif final était que notre protocole puisse être utilisé directement par une équipe paramédicale en autonomie et sous supervision médicale minimale (pour la validation de la décanulation et la mise en place des traitements).

Nous avons ainsi inclus consécutivement, de manière prospective et exhaustive 30 patients cérébro-lésés, trachéotomisés et non-ventilés entre le 20/06/2018 et le 20/12/2019, à leur sortie de réanimation vers les deux services de neurochirurgie du CHU de Bordeaux. Après inclusion dans l'étude, le protocole de sevrage était démarré et les patients étaient suivis de manière journalière par l'équipe paramédicale jusqu'à l'achèvement du sevrage caractérisé soit par la décanulation du patient soit par son impossibilité (déterminée par l'absence de décanulation dans les 3 mois suivant l'inclusion).

Sur les 30 patients inclus dans l'étude, 26 ont été décanulés avec un taux de réussite de 100% (95%CI : 87%-100%). Deux patients n'ont jamais atteint l'étape finale du sevrage (la décanulation) et 2 sont décédés durant la procédure de sevrage. Sur ces 2 décès, l'imputabilité de notre protocole ne peut pas être exclue pour l'un d'entre eux. La durée moyenne de sevrage était de 7.6 (ET : 4.6) jours avec une durée moyenne de trachéotomie de 42.5 (ET : 24.8) jours. Une moyenne de 2.3 (ET : 2.0) évènements intercurrents par patient a été enregistrée, dont les 4 plus fréquents étaient : la mise en jeu des muscles respiratoires accessoires, de l'anxiété, une augmentation des sécrétions salivaires et un stridor. Dans environ la moitié des cas, la présence d'un évènement intercurrent était associée à un retour en arrière dans le protocole et dans les trois quarts des cas à la mise en place d'un traitement ou d'une procédure associée.
A 6 mois, 27 patients étaient toujours vivants et aucun patient décanulé n'a été recanulé. Plus de la moitié d'entre eux étaient toujours hospitalisés.

Dysphagia
https://doi.org/10.1007/s00455-023-10641-7

ORIGINAL ARTICLE

A Pluridisciplinary Tracheostomy Weaning Protocol for Brain-Injured Patients, Outside of the Intensive Care Unit and Without Instrumental Assessment: Results of Pilot Study

Thomas Gallice[1,2,3,4] · Emmanuelle Cugy[3,5] · Christine Germain[6] · Clément Barthélemy[4] · Julie Laimay[1,4] · Julie Gaube[4] · Mélanie Engelhardt[3,7,8,9] · Olivier Branchard[1] · Elodie Maloizel[1] · Eric Frison[6] · Patrick Dehail[2,7] · Emmanuel Cuny[4,10]

Received: 29 September 2022 / Accepted: 6 November 2023
© The Author(s) 2023

Abstract
Concurrently to the recent development of percutaneous tracheostomy techniques in the intensive care unit (ICU), the amount of tracheostomized brain-injured patients has increased. Despites its advantages, tracheostomy may represent an obstacle to their orientation towards conventional hospitalization or rehabilitation services. To date, there is no recommendation for tracheostomy weaning outside of the ICU. We created a pluridisciplinary tracheostomy weaning protocol relying on standardized criteria but adapted to each patient's characteristics and that does not require instrumental assessment. It was tested in a prospective, single-centre, non-randomized cohort study. Inclusion criteria were age > 18 years, hospitalized for an acquired brain injury (ABI), tracheostomized during an ICU stay, and weaned from mechanical ventilation. The exclusion criterion was severe malnutrition. Decannulation failure was defined as recannulation within 96 h after decannulation. Thirty tracheostomized ABI patients from our neurosurgery department were successively and exhaustively included after ICU discharge. Twenty-six patients were decannulated (decannulation rate, 90%). None of them were recannulated (success rate, 100%). Two patients never reached the decannulation stage. Two patients died during the procedure. Mean tracheostomy weaning duration (inclusion to decannulation) was 7.6 (standard deviation [SD]: 4.6) days and mean total tracheostomy time (insertion to decannulation) was 42.5 (SD: 24.8) days. Our results demonstrate that our protocol might be able to determine without instrumental assessment which patient can be successfully decannulated. Therefore, it may be used safely outside ICU or a specialized unit. Moreover, our tracheostomy weaning duration is very short as compared to the current literature.

Keywords Acquired brain injury · Post intensive care unit · Rehabilitation · Tracheostomy weaning · Decannulation

✉ Thomas Gallice
thomas.gallice@chu-bordeaux.fr

[1] Neurosurgery Unit B, Bordeaux University Hospital, Pellegrin Hospital, 33000 Bordeaux, France

[2] Bordeaux Research Center for Population Health (BPH), Team: ACTIVE, University Bordeaux Segalen, UMR_S 1219, 33000 Bordeaux, France

[3] Physical and Rehabilitation Medicine Unit, Swallowing Evaluation Unit, Bordeaux University Hospital, Tastet-Girard Hospital, 33000 Bordeaux, France

[4] Neurological ICU, Bordeaux University Hospital, Pellegrin Hospital, 33000 Bordeaux, France

[5] Arcachon Hospital, Physical and Rehabilitation Medicine Unit, 33260 La Teste de Buch, France

[6] Medical Information Unit, Bordeaux University Hospital, Pellegrin Hospital, 33000 Bordeaux, France

[7] Physical and Rehabilitation Medicine Unit, Bordeaux University Hospital, Tastet-Girard Hospital, 33000 Bordeaux, France

[8] Physical and Rehabilitation Medicine Unit, Cognition and Language Unit, Bordeaux University Hospital, Tastet-Girard Hospital, 33000 Bordeaux, France

[9] Neuro-Vascular Unit, Bordeaux University Hospital, Pellegrin Hospital, 33000 Bordeaux, France

[10] Neurodegenerative Diseases Institute, CNRS, UMR 5293, 33000 Bordeaux, France

Published online: 07 December 2023

Introduction

Tracheostomy is a very common ICU procedure. Around 10% of the patients under mechanical ventilation will undergo tracheostomy [1]. In ABI patients, tracheostomy is also frequently performed due to an inability to protect the airway and a poor neurological status incompatible with safe swallowing, as well as to facilitate mechanical ventilation weaning, airway sputum management, and ICU discharge [2]. Tracheostomy tube insertion can be done surgically or using percutaneous technique such as described by Ciagila [3, 4]. Due to the large and quite recent adoption of the percutaneous technique allowing tracheostomy placement in the ICU [5–7], the amount of tracheostomized ABI patients is expected to increase. However, despite its numerous advantages in the ICU, tracheostomy itself may exacerbate dysphagia due to mechanical effects (e.g. reduced upper oesophagus sphincter opening, reduced hyo-laryngeal movements, local laryngeal, pharyngeal and oesophageal lesions, loss of subglottic pressure) and neurophysiological complications (e.g. impairment in swallowing/breathing coordination, laryngeal deafferentation, reduced laryngeal closure) [8–10]. Moreover, the presence of a tracheostomy at discharge from the ICU is problematic in orienting these patients into health facilities adapted to their condition (i.e. rehabilitation centres or secondary care units). The management of tracheostomized patients is considered a cumbersome process and few facilities accept these patients (partly because of a low patients/care givers ratio). In our French regional state (Nouvelle-Aquitaine with 6,010,289 inhabitants in 2019), only 13 secondary care centres are able to manage tracheostomized ABI patients (with only two or three beds per centre available for these type of patients). In addition, tracheostomy weaning in the ICU is well documented [2] but tends to extend the ICU cost and length of stay. These patients are thus frequently discharged from the ICU tracheostomized.

Due to its iatrogenic consequences on swallowing (described above), it is now widely accepted that, as soon as possible, tracheostomy weaning and tracheostomy tube removal must be considered in ABI tracheostomized patients [9]. This weaning improves swallowing and allows the patient to resume physiological breathing, oral nutrition, and phonation, all of which are fundamental needs, and also promotes rehabilitation and awakening [4, 10, 11]. Paradoxically, there are few recommendations for tracheostomy weaning. Existing guidelines are usually for ICU settings or are not specific of the ABI population [2, 12, 13]. The use of tracheostomy management bundle, tracheostomy specialised teams, and tracheostomy weaning or decannulation protocols seems to reduce decannulation failure, time to decannulation, and occurring of adverse events [12]. These protocols are usually based on cuff deflation and tube capping (with speaking valve or a plug) [14]. However, the choice of relevant clinical criteria remains debated, and the use of instrumental assessment is sometimes proposed in order to secure the decision [15].

In this study, we propose the evaluation of a pluridisciplinary protocol based on a standardized reliable, yet simple, clinical assessment adjusted to each patient's characteristics, with the aim of allowing for safe tracheostomy weaning for all patients. If proven safe and effective, a decannulation decision could be made through the use of our protocol in a secondary care unit, without requiring a systematic instrumental assessment.

Materials and Methods

This study was a prospective monocentric non-randomized single-arm cohort study (NCT03512054) approved by the ethical committee of our institution (notice number: 17 12 08).

After discharge from neurological or traumatic ICUs, patients were consecutively and exhaustively enrolled in our tracheostomy weaning protocol before the COVID-19 pandemic, between 20/06/2018 and 20/12/2019 from two neurosurgery units in a French university hospital (Bordeaux). All patients were considered stable at admission.

Inclusion criteria were age $\geq$ 18 years, hospitalized for an ABI, patient tracheostomized during an ICU stay and weaned from mechanical ventilation, written informed consent from the patient or associated legal representative, and the patient affiliated with or benefiting from the French healthcare system.

The exclusion criterion was severe malnutrition defined by the following: body mass index (BMI) < 16 kg/m^2 or albuminemia < 20 g/L for age < 70 years; BMI < 18 kg/m^2 or albuminemia < 30 g/L for age > 70 years (standard criteria at protocol's writing). Severe malnutrition was chosen as the only exclusion criterion due to its association with poorer functional outcome and increased risk for pneumonia and mortality [16].

Tracheostomy weaning was started immediately after discharge from the ICU and inclusion in the study.

Our tracheostomy weaning protocol consisted of a five-step decision-making logigram, created by our pluridisciplinary team including two neurosurgeons, a physical medicine and rehabilitation physician, an intensivist, three physiotherapists, a speech and language therapist, two nurses, and a health manager. This work was informed by a retrospective review of all of the tracheostomized patients managed in our department between 2014 and 2016 and a literature survey (unpublished results): we recorded 29 decannulations

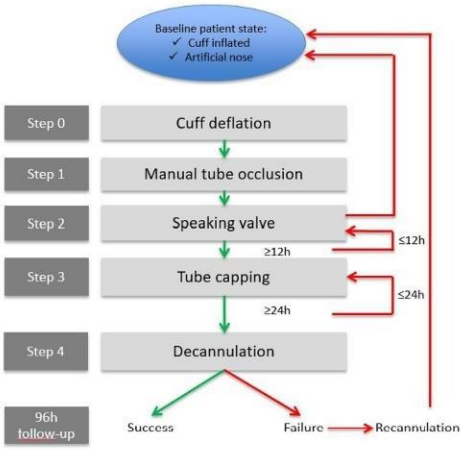


Fig. 1 Tracheostomy weaning procedure

without recannulation within a population of 37 ABI tracheostomized patients.

The five steps (0–4) consisted of 0/deflating the tracheostomy cuff, 1/manual occlusion of the cannula, 2/placement of a speaking valve for 12 h consecutively, 3/capping the cannula with a plug for 24 h consecutively, and 4/decannulation (final removal of the tracheostomy) (Fig. 1).

Steps 0 and 1 are performed consecutively to assess airway patency. In the case of reduced airway patency or symptoms thereof, tracheostomy downsizing can be performed. Step 2 is designed to promote swallowing rehabilitation [17, 18]. To prevent mucus thickening due to the absence of humidification while breathing through the speaking valve (step 2) [19], this step was reduced to only 12 h. Step 3 promotes swallowing rehabilitation and breathing through the upper airway. Breathing with a plugged tracheostomy (step 3) may increase ventilation workload (mainly because the tracheal lumen is reduced by the presence of the tracheostomy tube) [20]. The 24 h duration was thought to be appropriate, so as to avoid unnecessary prolongation of step 3, while still allowing for the identification of patients with upper-airway obstruction or instability (e.g. obstructive apnoea).

In case of unresolved swallowing or airway patency disorders, an instrumental assessment such as fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing (FEES) or video-fluoroscopic swallowing study (VFSS) could have been asked for. But the primary strategy was to manage the patients using only our tracheostomy weaning protocol.

Our tracheostomy weaning protocol was tailored to each patient, based on the patient's stability parameters acquired using our monitoring tool. After inclusion, the following vital parameters were recorded with the patient at rest: oxygen saturation, blood pressure, heart rate, respiratory rate, amount of secretion, body temperature, and patient response. Based on these parameters, we created for each patient a bundle of stability parameters, which consisted of the individual parameters, along with a range of minimal and maximal value tolerances (Fig. 2). If the patient fitted the stability parameters, s/he was considered ready to start the weaning protocol. Each step of the protocol was validated, based on the patient's stability parameters and successful completion of the step within the allotted time duration. If the patient failed to fit the stability parameters, s/he had to go back to the previous step until the stability parameters were met again. With this approach, each patient could go back and forth between steps, depending on his/her own stability parameters, until reaching the final decannulation step. Stability parameters were assessed at each nurse's visit (at least three times a day) or physiotherapist's visit (at least once a day). If a decision to go to the next step or to go back to the previous step was taken by the attending caregiver, then the stability parameters had to be assessed within at least 30 min after the step change. Stability parameters were recorded at each assessment.

If a patient was unable to reach the last step during a consecutive 3-month period, then it was determined that this patient was unable to finish the tracheostomy weaning protocol and as such was removed from the protocol (weaning failure). These patients were considered unsuitable for decannulation using our protocol. However, tracheostomy weaning could be continued over the 3-month period using our protocol but without data collection.

To provide maximum autonomy and empowerment regarding the protocol, nurses and paramedical staff were trained to use the tracheostomy protocol (approximately 3 h of courses including stability parameter monitoring, tracheostomy management, swallowing function, and so forth) and to manage intercurrent events that could occur during tracheostomy weaning. After training, a pocket written document containing a brief description of our

Stability parameters
- ✓ Apyrexia (body temperature < 38°5)
- ✓ Absence of emesis
- ✓ Oxygen saturation variation less than 5%, with a oxygen satuation remaining ≥ 88% without oxygenotherapy
- ✓ Oxygenotherapy ≤ 4 L/min
- ✓ Cardiac rate = - 20 bpm / + 30 bpm [45-130 bpm]
- ✓ Systolic arterial blood pressure = [90 – 160 mm Hg]
- ✓ Respiratory rate = +/- 10 cycles / min [8 – 30 cycles/min]
- ✓ ≤ 6 productive succioning/ 24h

Fig. 2 Stability parameters

protocol, the list of the principal intercurrent events, and how to manage them was given to the nurses and care assistants as a reminder (supplemental file 1).

In our protocol, decannulation is a collegial decision based on the stability parameters but as to be validated by the attending medical doctor. The decannulation process was performed by a team comprising a physiotherapist, a nurse, and the attending medical doctor.

Data collection included obtaining information on the decannulation status (failure, success, or never decannulated) and neurological status (at inclusion and unit discharge). Decannulation was considered successful if the patient was still decannulated 96 h after tracheostomy tube removal. Neurological status at inclusion and unit discharge was assessed using the Coma Recovery Scale revised (CRS-r) [21]. Then the patients were classified in terms of the following: 1/unresponsive wakefulness syndrome [CRS-r: 0–7], 2/minimal consciousness state [CRS-r: 8–15], or 3/able to communicate [CRS-r: 16–23]. The CRS-r is widely used to assess disorders of consciousness with ABI patients and is able to detect subtle disorder of consciousness improvements [22]. The severity of swallowing function status at inclusion and unit discharge was described using 7 levels derived from the Dysphagia Outcome Severity Scale (DOSS) (supplemental file 2), assessment was done clinically [23]. Type of lesion (supratentorial, infratentorial, or both) as described in the ICU medical files; reason for tracheostomy placement as described in the ICU medical files. Length of the tracheostomy weaning as the time between inclusion and decannulation; total time of tracheostomy as the time between insertion and decannulation, time between insertion and inclusion, and time between ICU discharge and inclusion in the tracheostomy weaning protocol. Number (total and number per patient) and type of intercurrent events during tracheostomy weaning. Number and type of treatments and associated procedures and their indications (treatment and associated procedures were decided collegially based on the protocol and had to be validated by a medical doctor). FEES during tracheostomy weaning or not. VFSS during tracheostomy weaning or not; presence of ethical limitations or not at inclusion. Type of lesion, type of tracheostomy, feeding status at discharge from ICU, pulmonary status at discharge from ICU, and functional status at discharge from ICU with modified Rankin score (mRS).

All patients also underwent a 6-month follow-up after inclusion to assess long-term tolerance (occurrence of life threatening events or no), vital status, and residency were recorded.

Aside from routine clinical evaluation, tracheostomy management, respiratory therapy, and physical therapy, the patients did not receive any specific evaluation or rehabilitation before and after inclusion.

The study sample size was guided by inclusion feasibility within the two neurosurgery units of Bordeaux University Hospital. The number of eligible patients was estimated retrospectively based on the unit records, and then increased depending on the observed inclusion pace. This was done to improve the analysis precision. Ultimately, we decided to include 30 patients over an 18-month period. Based on the estimated rate of 2–5% of patients unsuitable for decannulation, the predicted number of decannulated patients was 28.

Qualitative data are described in terms of the number of patients, percentage, and 95% confidence interval (CI) according to the exact binomial distribution. Quantitative data are described in terms of number of patients, mean, and standard deviation (SD). Analyses were performed with SAS® software (version 9.4; SAS Institute, Cary, NC, USA).

Results

After discharge from neurological or traumatic ICUs, 30 tracheostomized ABI patients (12 men) were consecutively and exhaustively enrolled between 20/06/2018 and 20/12/2019 from two neurosurgery units. The mean age was 51.1 (SD: 13.5) years. In all, 15 patients had a supratentorial ABI, 8 patients had an infratentorial ABI, and 7 patients had infratentorial and supratentorial ABI. Mean CRS-r at inclusion was 16.0 (SD: 6.7). The patients were classified as being in the following states: 6 (20%) in an unresponsive wakefulness syndrome, 4 (13%) in a minimal consciousness state, and 20 (67%) as able to communicate. All patients had a 1.0 DOSS score at inclusion.

Reasons for tracheostomy placement were as follows, in order of frequency: impossibility to perform extubation due to neurological status for 14 patients (47%), swallowing disorder for 12 patients (40%), respiratory rehabilitation for 3 patients (10%), and throat inflammatory process for 1 patient (3%). Mean time from tracheostomy to study inclusion was 35 (22.8) days. Mean time from ICU discharge to inclusion was 16.2 (SD: 18.1) days. Mean time for ICU length of stay was 40.2 (16.7) days. Mean time for mechanical ventilation duration was 24.5 (10.7) days.

Of the 30 patients included, 26 were decannulated. All decannulations (100%, 95% CI: 87% to 100%) were successful (see Fig. 3). Two patients were never able to reach the decannulation step after 3 months and were taken off of the weaning procedure according to our protocol (patients 7 and 28), and two patients (7%) died during the weaning period and before decannulation (patients 12 and 13) (Fig. 3). One death was due to pulmonary embolism complications unrelated to our protocol, and the other one was due to cardiorespiratory failure whose imputability to our protocol could not be excluded. Tracheostomy weaning was considered to have failed for this last patient. Thus, our decannulation rate

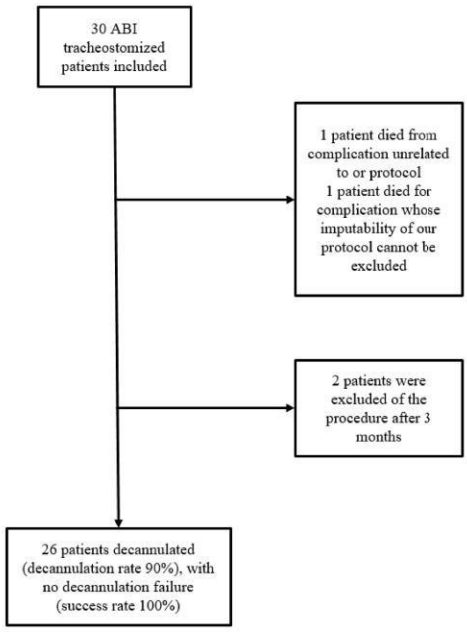


Fig. 3 Study flow chart

Table 1 Complete intercurrent events

Variable	Total		
Intercurrent event	*N*	68	
	Agitation	3	4%
	Anxiety	12	18%
	Excessive bronchial sputum	1	1%
	Saliva disorder	1	1%
	Dyspnoea	1	1%
	Pulmonary embolism	1	1%
	Gastro-oesophageal reflux	2	3%
	Hyperthermia	1	1%
	Hyponatremia	1	1%
	Irritative cough	1	1%
	Respiratory distress	2	3%
	Accessory respiratory muscles involvement	15	21%
	Increased saliva	7	10%
	Sepsis	2	2%
	Laboured audible breathing	7	10%
	Emesis	3	4%
	Pneumopathy	2	3%
	Mucus plug	1	1%
	Thick bronchial mucus	1	1%
	Death due to natural cause	1	1%
	Technical issues	2	3%
	Tracheal oedema	2	3%

estimated for 29 patients was 90% (95% CI 72, 6–97, 8%). Two auto-decannulations were recorded during tracheostomy weaning. Recannulation was performed in only one patient according to the stability parameters.

The mean duration of tracheostomy weaning (time between the start of tracheostomy weaning and decannulation) was 7.6 (SD: 4.6) days. The mean total tracheostomy time (time between tracheostomy insertion and decannulation) was 42.5 (SD: 24.8) days.

The mean CRS-r at unit discharge was 18.7 (SD: 6.3); 4 patients (15%) were classified as being in an unresponsive wakefulness syndrome, 2 patients (7%) as being in a minimal consciousness state, and 21 patients (78%) as being able to communicate. Mean DOSS at unit discharge was 3.1 (SD: 2.1).

In all, 68 intercurrent events were recorded, with a mean of 2.3 (SD: 2.0) per patient. The four most frequent events were accessory respiratory muscle involvement (21%), anxiety (18%), increase in saliva (10%), and stridor (10%). Complete intercurrent events are described in Table 1. Fifty-two percent of these events were associated with a step-back in tracheostomy weaning and 75% were associated with a treatment or an associated procedure setting. The four main indications for the treatments and associated procedures were accessory respiratory muscle involvement (22%), laboured audible breathing (15%), increase in saliva (12%), and anxiety (10%). Complete indications for treatments and associated procedures are described in Table 2. The four main treatments or associated procedures were aerosol therapy with adrenaline (epinephrine 1 mg) (31%), cannula downsizing (15%), scopoderm patch (scopolamine) (14%), and anxiolytics (10%). Complete treatments and the associated procedure are described in Table 3.

At 6 months, 27 patients (90%) were still alive. One of the non-decannulated patients died of a severe digestive complication unrelated to our protocol (patient 7). This death occurred after the patient had been taken off of the weaning procedure 3 months after inclusion, according to our protocol (Table 4). Fifteen patients (55%) were still hospitalized in a secondary care unit [rehabilitation centres (13 patients (50%)), specialized health care facilities (1 patient (4%)), long-term hospitalization centre (1 patient (4%))], 2 patients were still in hospital (7%), 7 patients (26%) were permanently discharged at home, one had day hospitalisation (4%), one had in-house hospitalisation (4%), and one had unknown residency (4%).

Of the 26 patients decannulated with our protocol, none of them were recannulated at 6 months.

Table 2 Complete indication for treatment or associated procedures

Variable	Total		
Indication	*N*	58	
	Anxiety	6	10%
	Excessive bronchial sputum	1	2%
	Saliva disorder	1	2%
	Pulmonary embolism	1	2%
	Gastro-oesophageal reflux	2	3%
	Hyperthermia	1	2%
	Hyponatremia	1	2%
	Irritative cough	1	2%
	Oedema	1	2%
	Respiratory distress	2	3%
	Accessory respiratory muscles involvement	13	22%
	Increased saliva	7	12%
	Sepsis	4	7%
	Laboured audible breathing	9	15%
	Pneumopathy	2	3%
	Mucus plug	2	3%
	Thick bronchial mucus	1	2%
	Technical issues	2	3%
	Tracheal oedema	1	2%

Discussion

The main findings of our study are that we were able to perform decannulation in 86% of the whole population, and 100% of our decannulations were successful. Another important finding is our tracheostomy weaning duration (7.6 [SD: 4.6] days), which appears to be rather short compared to the current literature (19–72 days) [24–27]. Conversely, our total tracheostomy time (42.5 [SD: 24.8] days) appears to be similar to what is commonly reported (25–74 days) [24, 28, 29].

Our results suggest that our protocol may be efficient for assessing which patient is ready to be successfully decannulated, such that most will reach decannulation. Indeed, a high decannulation success rate can be associated with very conservative weaning protocols, thus with a low decannulation rate. However, this was not the case in our study, in which almost all of the participants were decannulated and all of our decannulations were successful. However, such a high success rate could also be interpreted as a consequence of unnecessary tracheostomy and easier tracheostomy weaning as a result. Although, the mean CRS-r at inclusion was 16.0 (SD: 6.7) and one-third of our 30 patients were classified as being in an unresponsive wakefulness syndrome or minimal conscious state at inclusion, almost half of our patients were tracheostomized for "neurological status incompatible with extubation". In addition, other than having a low level of consciousness, swallowing disorders can lead to tracheostomy weaning failure [11, 15, 30]; in our study, all of our patients had impaired swallowing function at inclusion and almost half of our patients were tracheostomized for a "swallowing disorder". Notably, all of the patients in our cohort were included exhaustively and consecutively in 2 units that are used to receive all the brain-injured patients at ICU discharge (traumatic and non-traumatic ABI). Our hospital is the largest of our state and the only one receiving severe ABI patients in ICU. This means that almost all tracheostomized ABI patients were discharged from ICU in our 2 neurosurgery units at the time of the study. Thus, we believe that our study population is representative of tracheostomized ABI patients that clinicians are used to managing.

Many of our patients could have started the tracheostomy weaning protocol earlier and even might have been decannulated in the ICU. However, delaying tracheostomy weaning after ICU discharge to the ward was imposed by the study protocol, as we wanted to assess the safety and efficiency

Table 3 Complete treatments or associated procedures

Variable	Total		
Treatment or associated procedure	*N*	58	
	Aerosol therapy (adrenaline 1 mg)	18	31%
	Scopolamine	8	14%
	Anxiolytics	6	10%
	Cannula downsizing	9	15%
	Antibiotherapy	8	13%
	Treatment for gastro-oesophageal reflux	2	3%
	Treatment for hyponatremia	1	2%
	Treatment for pulmonary embolism	1	2%
	Oxygen therapy	1	2%
	Treatment for sputum excess	2	3%
	One-off tracheostomy weaning interruption	2	3%

Table 4 patient's characteristics

Patient	Decannulation status	CRS-r at inclusion	Ethical restriction at inclusion	FEES during tracheostomy weaning	VFSS during tracheostomy weaning	Vital status during tracheostomy weaning protocol	Etiology severity	Vital status at 6 months	Mechanical ventilation duration (days)	ICU length of stay (days)	Tracheostomy type at ICU discharge	Feeding status at ICU discharge	Pulmonary status at ICU discharge	Functional status at ICU discharge
1	Success	7	Yes	No	No	Alive	SAH (anterior communicating artery aneurysm) W5F4, CVS	Alive	14	40	Portex® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5
2	Success	23	No	No	No	Alive	SAH (left sylvian artery aneurysm) W5F4	Alive	18	26	Portex® 10	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5, left hemiplegia
3	Success	22	No	No	No	Alive	SAH (left postero inferior cerebellum artery aneurysm) W5F4, CVS	Alive	55	60	Portex® 10	Gastrostomy, NPO	Eupnea, O2 1 l/min	mRS 5
4	Success	21	No	No	No	Alive	Left cerebellar hemangioblastoma	Alive	11	20	Rusch® 10	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5, left hemiplegia, cerebellar ataxia, left PFP
5	Success	18	No	No	No	Alive	Pituitary macroadenoma	Alive	17	25	Rusch® 10	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2, history of asthma	mRS 4, left PFP
6	Success	5	No	No	No	Alive	Left temporal ICH	Alive	10	29	Rusch®10	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5, left hemiplegia
7	Never decannulated	9	Yes	No	No	Alive	Suprasellar cavernoma, post-surgical hemorrhage, right sylvian territory SAH	Deceased (digestive complication, out of protocol death)	31	92	Rusch® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5

Table 4 (continued)

Patient	Decannulation status	CRS-r at inclusion	Ethical restriction at inclusion	FEES during tracheostomy weaning	VFSS during tracheostomy weaning	Vital status during tracheostomy weaning protocol	Etiology severity	Vital status at 6 months	Mechanical ventilation duration (days)	ICU length of stay (days)	Tracheostomy type at ICU discharge	Feeding status at ICU discharge	Pulmonary status at ICU discharge	Functional status at ICU discharge
8	Success	19	No	No	No	Alive	SAH (anterior communicating artery aneurysm) W4F4	Alive	33	67	Rusch® 8.5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5
9	Success	20	No	Yes	No	Alive	SAH (right sylvian artery aneurysm) W5F4,CVS	Alive	33	38	Rusch® 8.5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5, left hemiplegia
10	Success	23	No	No	No	Alive	SAH (left internal carotid artery aneurysm), W2F4, CVS	Alive	25	45	Rusch® 8.5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 4, right hemiplegia
11	Success	5	No	No	No	Alive	SAH (right sylvian artery aneurysm), W5F4	Alive	19	39	Rusch® 8.5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5
12	Never decannulated	19	No	No	No	Deceased (pulmonary embolism)	Compressive giant basilar trunk aneurysm	–	20	25	Rusch® 10	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5
13	Never decannulated	3	Yes	No	No	Deceased (cardiorespiratory failure)	SAH (right sylvian artery aneurysm), W5F4	–	17	47	Rusch® 10	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5
14	Success	11	No	No	No	Alive	SAH (corpus callosum splenium AVM), W5F4	Alive	17	42	Rusch® 10	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5

Table 4 (continued)

Patient	Decannulation status	CRS-r at inclusion	Ethical restriction at inclusion	FEES during tracheostomy weaning	VFSS during tracheostomy weaning	Vital status during tracheostomy weaning protocol	Etiology severity	Vital status at 6 months	Mechanical ventilation duration (days)	ICU length of stay (days)	Tracheostomy type at ICU discharge	Feeding status at ICU discharge	Pulmonary status at ICU discharge	Functional status at ICU discharge
15	Success	17	No	No	No	Alive	Left frontotemporal ICH + left SDH (left sylvian artery aneurysm)	Alive	24	36	Rusch® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 4, right hemiplegia
16	Success	23	No	No	No	Alive	Fourth ventricle hemangioblastoma	Alive	40	43	Rusch® 10	Nasogastric feeding tube, NPO	Eupnea, O2 2 l/min	mRS 4, cerebellar ataxia
17	Success	17	No	No	No	Alive	SAH (basilar trunk aneurysm) W4F4, CVS	Alive	36	41	Rusch® 10	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5
18	Success	22	No	No	No	Alive	ICH, SAH (left sylvian aneurysm), W4F4	Alive	16	30	Shiley® 6LPC	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5, right hemiplegia
19	Success	19	No	No	No	Alive	Left pontocerebellar angle meningioma	Alive	27	30	Shiley® 6LPC	Gastrostomy, NPO	Eupnea, O2 3 l/min	mRS 5, right hemiplegia
20	Success	3	No	No	No	Alive	SAH (right internal carotid aneurysm), W5F4, CVS	Alive	27	40	Rusch® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 4, left hemiplegia
21	Success	22	No	No	No	Alive	Severe TBI	Alive	38	62	Rusch® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, O2 2 l/min	mRS 5
22	Success	6	Yes	No	No	Alive	SAH (right sylvian aneurysm), W5F4,	Alive	13	20	Rusch® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5, left hemiplegia

Table 4 (continued)

Patient	Decannulation status	CRS-r at inclusion	Ethical restriction at inclusion	FEES during tracheostomy weaning	VFSS during tracheostomy weaning	Vital status during tracheostomy weaning protocol	Etiology severity	Vital status at 6 months	Mechanical ventilation duration (days)	ICU length of stay (days)	Tracheostomy type at ICU discharge	Feeding status at ICU discharge	Pulmonary status at ICU discharge	Functional status at ICU discharge
23	Success	23	No	No	No	Alive	SAH (anterior communicating artery aneurysm), W4F4	Alive	26	36	Rusch® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, O2 2 l/min	mRS 4, right hemiplegia
24	Success	20	No	No	No	Alive	Left ICH	Alive	38	74	Rusch® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5
25	Success	18	Yes	No	No	Alive	SAH (right sylvian aneurysm), W5F4	Alive	11	38	Rusch® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5, left hemiplegia
26	Success	16	No	No	No	Alive	SAH (right internal carotid aneurysm)	Alive	36	38	Rusch® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5
27	Never decannulated	19	No	No	No	Alive	Posterior fossa astrocytoma	Alive	28	34	Shiley 6LPC	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2	mRS 5, left hemiplegia
28	Success	14	Yes	No	No	Alive	SAH (pericallosal artery aneurysm), W5F4, CVS	Alive	26	47	Rusch® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, O2 1 l/min	mRS 5
29	Success	12	No	No	No	Alive	SAH (right internal carotid aneurysm), W5F3	Alive	17	22	Rusch® 8,5	Gastrostomy, NPO	Eupnea, no O2, history of OAS	mRS 5, left hemiplegia
30	Success	23	No	No	No	Alive	Superior vermian ICH	Alive	12	21	Rusch® 8,5	Nasogastric feeding tube, NPO	Eupnea, no O2	mRS 4, cerebellar ataxia

AVM arteriovenous malformation, *CRS-r* coma recovery scale revised, *CVS* cerebral vasospasm, *FEES* fibreoptic endoscopic evaluation of swallowing, *ICH* intracerebral haemorrhage, *ICU* intensive care unit, *mRS* modified Rankin score, *NPO* nil per os, *PFP* peripheric facial paralysis, *SAH* subarachnoid haemorrhage, *SDH* subdural haemorrhage, *TBI* traumatic brain injury, *VFSS* video-fluoroscopic swallowing studies, *W*F* WFNS* World Federation of Neurosurgical Societies* Fischer*

of our tracheostomy weaning protocol outside of the ICU. Thus, our patients all benefited from "late" tracheostomy weaning (i.e. in which the mean time between tracheostomy insertion and inclusion was 35.0 [SD: 22.8] days).

Our results then clearly pose the "early vs. late" tracheostomy weaning dilemma. Generally, recent studies tend to advocate for early rehabilitation for ABI patients [31]. Are these concepts necessarily transposable to tracheostomy weaning? The ICU can arguably be considered the safest place to perform tracheostomy weaning. It provides a higher number of caregivers, monitoring facilities, and re-intubation or rescue procedures that can easily be performed by on-the-spot intensivists [2, 14]. Early tracheostomy weaning can therefore be started during the patient's ICU stay [14, 15]. However, ABI patients' critical statuses can be an obstacle and a cause of weaning failure in the acute phase [26]. By delaying tracheostomy weaning (i.e. mean delay was 35.0 [22.8] days in our study) at discharge from the ICU, our patients may have been able to attain respiratory, haemodynamic, and more importantly neurological stability. This may explain our very short tracheostomy weaning duration and high success rate. Moreover, before inclusion, all patients received routine physiotherapy and respiratory therapy delivered by the attending ICU physiotherapists. It is possible to consider that it has participated to the general improvement of these patients before inclusion. In a precedent study on a comparable population, early rehabilitation (motor, sensory and sometimes verticalisation) resulted in an earlier decannulation (61 vs 94 days for the delayed rehabilitation group). It has to be noted that our mean total time to decannulation remains shorter [3].

Concerns can be raised that because our protocol started only after ICU discharge, it could have been responsible of prolonged cannulation, which is thought to cause tracheal lesions such as tissue granulation, oedema, and tracheomalacia [32]. However, our total tracheostomy time is similar to what is found in the literature [24, 28, 29]. By delaying tracheostomy weaning, we did not shorten the total tracheotomy time, but tracheostomy weaning may have been easier, safer, and had a high success rate. Moreover, if tracheostomy weaning had been started in the ICU, it may have lengthened the ICU length of stay and increased hospitalization costs, as the ICU cost is higher than the ward cost (in our hospital, the cost of one day in the neurosurgery unit and in the neurological ICU are 655.86€ and 1115.39€, respectively). Our tracheostomy weaning protocol might be safe enough to be performed outside of the ICU without systematic instrumental examination, with a high success rate, and without lengthening of the total tracheostomy time. Thus, tracheostomized ABI patients could be discharged earlier from the ICU, without having completed or even started tracheostomy weaning. Counterintuitively, delayed tracheostomy weaning in ABI patients could be a potential resource that offers cost savings. However, our protocol needs to be tested against a FEES guided one in order to confirm this hypothesis.

One of the specificities of our protocol is the absence of systematic instrumental assessment such as FEES or VFSS, which are considered gold standard evaluations for swallowing disorders [33, 34]. They can be used as an effective tool to guide tracheostomy weaning; FEES, in particular, can be very useful for diagnosing vocal cords impairments or pharyngo-laryngeal lesions such as tissue granulations, all frequently associated with swallowing disorders and thus tracheostomy weaning failure [34–36]. Warnecke et al. have proposed a FEES-guided protocol that seems to be faster, safer, or with less false negatives [15]. Unfortunately, FEES is not always immediately available outside of the ICU or ear, nose, and throat (ENT) ward and depends almost exclusively on medical doctors in our country. VFSS for its part is not a bedside assessment and requires moving the patient to the radiology unit, which is not always appropriate at the acute or sub-acute phase. In our country (France) and in many others, relying on instrumental assessment only to manage all the tracheostomised patients with reasonable delay and to decide whether a patient should be decannulated or not would simply be impossible. Thus it might be responsible of unnecessary prolonged cannulation that are very risky too (38)(Cheung & Napolitano. 2014). One of our goals was to create a tracheostomy weaning protocol that can be used under medical supervision by a nonmedical team and that is based almost solely on clinical examination. Reverberi et al. stated that instrumental assessment is not always available or even feasible with ABI patients, and might be for selected cases only [9]. They suggested that most of the patients should be able to undergo a tracheostomy weaning protocol based only on clinical parameters [9]. Our aim was to create a protocol that is strong enough to minimise the risks (without ignoring them) for these patients and to detect which one really needs instrumental assessment. Thus, we replaced direct objective instrumental evaluation with indirect clinical assessment. For example, swallowing disorders and aspirations were revealed by respiratory signs such as an increase in suctioning and sputum, an increase in the respiratory rate, and/or an increase in the body temperature (as a consequence of lung infection). Default in airway patency (caused by tissue granulation or oedema, or by vocal cord paralysis for example) was revealed by respiratory noises such as a laboured audible breathing particularly if associated with an increased respiratory rate and/or accessory respiratory muscle involvement. Therefore, we did not consider FEES and VFSS as mandatory examinations, and management of intercurrent events was determined based directly on our clinical assessments. For example, cannula downsizing was performed at the first instance, to treat obstruction without a prior FEES. Nevertheless, in our protocol, FEES or VFSS could have been

planned for patients with unresolved suspicion of tracheal stenosis or unmanageable swallowing disorders. It happened only for one patient in our cohort during tracheostomy weaning (patient 9 with FEES only). FEES was performed by an ENT resident, as we suspected a tissue granulation after an episode of respiratory distress during the night; it did not reveal tissue granulation, and a mucus plug was suspected. In one study using FEES, it was found out that the presence of tracheal lesions (tissue granulation and oedema were by far the most common) was rarely the cause of decannulation failure [32]. In this study, treatment options were tube change, laser, systemic or nebulized steroid therapy or combined therapy [32]. It is what we proposed in our protocol. The difference is that we would start with steroid therapy or tube change without prior FEES and eventually relied on FEES in case of failure.

We could also have used the blue-dye test to detect silent aspirations. However, despite having an excellent specificity (100%), it is a very low sensitive test (10%) [37].

Swallowing disorders might have been misdiagnosed or underdiagnosed because of the lack of instrumental assessment. Pulmonary infection is one of the major complications of swallowing disorders and can lead to death or delayed discharge [38]. However, in our cohort, we only had 2 pneumonia (3% of the total intercurrent events). They were successfully treated by antibiotherapy (Table 1, 2, 3). A study conducted in a population of subarachnoid haemorrhage (SAH) tracheostomized patients had a post-tracheostomy pneumonia rate over 10% which is fairly higher than ours [29].

The absence of objective assessment could be seen as a limitation of this study, as well as the absence of swallowing rehabilitation. However, we believe that tracheostomy weaning might be seen as a good way to functionally assess swallowing disorders (with cuff deflation and tube capping and a careful monitoring) at least concerning airway protection and non-alimentary swallowing, and also the best way to offer swallowing rehabilitation. We choose not to assess alimentary deglutition during tracheostomy weaning because all our patients had enteral nutrition (mostly gastrostomy). Alimentary-swallowing could be easily tested later, after decannulation. Waiting for the patient to be able to perform alimentary deglutition in order to decannulate might be responsible of unnecessary prolonged cannulation if the patient is already able to manage saliva. Moreover, there are evidences that mild dysphagia is not a strong argument against decannulation in this population (Enrichi et al. 2017). We believe that our protocol is able to detect patients unable to manage saliva and/or with severe dysphagia (as they would not be able to pass through our protocol steps) and thus prevent them to be decannulated.

We did not include cough assessment as a criteria for decannulation. Many protocols suggest that a strong cough might be a good predictor of decannulation readiness [39]. Accuracy of such classification (weak vs strong) remains questionable until you perform cough instrumental assessment. Bach et Saporito have proposed a peak cough flow (PCF) > 160 l/min as a cut-off value [40]. However, the population was composed of neuromuscular patients (e.g. amyotrophic lateral sclerosis). Despite having serious disorders these patients have few cognitive disorders and are usually able to actively participate to such testing. ABI patients are rarely able to do so. To our knowledge, only one study has described an induced peak cough flow (IPCF) suitable for ABI patients [41]. Accuracy, sensitivity, and specificity for successful decannulation were, respectively, 75%, 85,7%, and 54,7% with an optimal cut-off point of 29 l/min [41]. Here again we wanted to create an easy tracheostomy weaning protocol. The IPCF described by Chan et al. needs specific material and can be difficult to perform. Thus we choose not to include a specific cough evaluation.

Concerning the intercurrent events, aside from anxiety, the main two of them (i.e. accessory respiratory muscle involvement and a laboured audible breathing) can be associated with reduced airway patency, which can have multiple causes (e.g. vocal cord paralysis or tissue granulation) [42, 43]. The most frequent treatments and associated procedures (i.e. aerosol therapy with adrenaline and downsizing cannula) performed in our study are directly linked to these main intercurrent events. Moreover, with a mean of 2.3 per patient, the number of intercurrent events was quite low in our study. These events appear to be easily identifiable with clinical assessment, not so frequent, and quite easy to manage. This highlights the fact that tracheostomy weaning of an ABI patient outside of the ICU may not be as overwhelming as once thought.

Interestingly, anxiety, a frequent intercurrent event in our study, was not as frequently treated with medication as accessory respiratory muscle involvement or a laboured audible breathing. In fact, anxiety was probably more of a one-off state for the patients than a general one, and it was likely to be associated with intercurrent events; thus, it does not appear to require long-term drug therapy for many of our patients. A caregiver's accompaniment or treatment for intercurrent events appears to have been sufficient to reduce anxiety in our patients. However, the use of anxiolytics may be helpful in some cases, particularly when the patient is not able to understand or to participate (e.g. in the case of comprehensive aphasia) [44, 45]. However in our study, anxiety was only clinically assessed by the whole team and decision to treat was taken collegially. This can be a cause of mis-diagnosis. But to our knowledge, there is no anxiety scale available for ABI patients with such disabilities and communication disorders.

Scopolamine has been used successfully to treat excess saliva, usually a sign of a swallowing disorder in which the

patient's swallowing frequency or efficiency is reduced. Because it thickens saliva and reduces its production, scopolamine must be used with caution to avoid mucus plug development. However, its use remains controversial and there is no clear evidence of its efficiency [46, 47].

The main limitations of our study were the relatively small number of patients in our cohort and its monocentric nature. Indeed, our protocol must be tested on a larger scale, in multiple centres and against a FEES-guided protocol. In effect, we believe that our high rate of successful decannulation does not rely only in our team's pre-existing experience with tracheostomy weaning, or in the skills of a few clinicians. Even if team-based or multidisciplinary tracheostomy weaning had already shown its superiority over standard care ones [48], the additional strength of our protocol seems to lie in its ability to precisely drive caregivers through the use of our logigram, giving them the tools to prevent, recognize, and manage adverse events associated with tracheostomy weaning in ABI patients. Moreover, decannulation can be considered a rather stressful event for caregivers, the patients, and their families. Thus, the framework provided by our procedure secures the weaning and decannulation processes. However, even with larger-scale multicentric studies, it will never be possible to create a protocol capable of preventing every tracheostomy weaning failure. A "zero risk" tracheostomy weaning and decannulation protocol will probably never exist. However, we believe that, with our protocol, the risk of failure can be controlled to the maximum extent and is worth the effort with regard to the benefits of decannulation for these patients. In addition, team education as planned in our protocol is probably one of the keys for implementing a safe and efficient procedure.

Our death rate is 6% (2 patients). It seems to be fairly acceptable considering that tracheostomized ABI patients are usually patients with very severe disabilities and poor outcomes. Moreover, it is quite comparable with the current literature (between 4 and 21% in the decannulation failure group in Küchler et al. [49], between 5 and 6% in Huang et al. [50]). Additionally, the overall mortality in tracheostomized patients has been shown to range from 22 to 45%, which is way over our mortality rate [51].

Of the two patients who died (patients 12 and 13), the question of the imputability of our protocol remains for one (patient 13). According to our protocol and the patient's stability parameters, tracheostomy weaning had been stopped. Although direct imputability could not have been established, it may be related to the low neurological status of this patient at inclusion (CRS-r = 3). Notably, five patients had a very low CRS-r at inclusion (below 7 and considered to be in an unresponsive wakefulness syndrome) and could have been decannulated (patients 1, 6, 11, 20, 22, see Table 4). In addition, this patient (patient 13) was considered a very severe case, with a poor recovery prognosis. Prior to inclusion, ethical decisions (limitation of active therapeutics) were considered accordingly by the medical staff and the patient's relatives. However, we decided to include this patient considering the potential benefits of decannulation. Moreover, here again, four patients had the same ethical restriction but were decannulated successfully and were still alive at 6 months (patients 1, 22, 25, and 28, Table 4). Notably, one patient who had ethical restrictions at the inclusion died during the 6-month follow-up (patient 7); however, this patient was not able to reach decannulation and was excluded from the tracheostomy weaning procedure after 3 months, according to our protocol. Evidence of clear predictive factors is still lacking to determine which patients are able to undergo tracheostomy weaning and decannulation. Thus, we chose to include patients regardless of their neurological status. Our protocol was used as a decision-making logigram, giving every patient a chance to reach decannulation.

At 6 months, 55% of our patients were still hospitalized. Considering our national care system and the severity of these patients, our proportion of hospitalized patients is not unusual. To note, some of them are even benefiting of home hospitalisation (1 patient) or day time hospitalisation (1 patient). Moreover, if these patients would not have been decannulated, it is very likely that they would have remained in our unit.

These days, despite the growing research, tracheostomy weaning and particularly decannulation in ABI patients still resemble more of an art form than a well-established science. Due to the lack of evidence, this procedure is usually considered to be unsafe or overwhelming outside of an ICU or specialized unit. In this study, we evaluated the feasibility of such a process using a protocol tailored to patients based on the stability of their condition, allowing every patient to undergo safe, yet efficient, tracheostomy weaning. The decannulation decision was made through the use of our protocol, without the help of systematic instrumental assessment such as FEES or VFSS. Given a decannulation rate of 90% and a success rate of 100% in this study, we believe that our protocol might be used outside of the ICU or specialized unit by a pluridisciplinary non-medical team under medical supervision. The safety and efficiency of the protocol are based on team education and coordination and should be evaluated against instrumental evaluation with a randomized controlled study. Because these are results of a pilot study, we think that we must warn the reader against a misuse of our protocol especially before a controlled study has been performed.

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at https://doi.org/10.1007/s00455-023-10641-7.

Acknowledgements Catherine Aubert, Manuella Ballaguer, Estelle Maheo, Caroline Greibill, Mathilde Melchior, Juliette Jamet, Dr Valérie

Berger, Pr Dominique Liguoro, Rupestre Zannou, Ouidad Ben Kacem, Pr Matthieu Biais, Dr Eric Verechère, Michel Guatterie, Isabelle Fourcade, Sophie Leclair-Gramond, and Emmanuelle Berteau are gratefully acknowledged.

Author Contributions Conceptualization: TG, EC, CB, JL, JG, ME, OB, and EC. Methodology: CG, OB, and EF. Formal analysis and investigation: TG, EC, CB, JL, JG, ME, OB, and EM. Writing—original draft preparation: TG. Writing—review and editing: TG, EC, CG, CB, JL, JG, ME, OB, and EFEC. Funding acquisition: TG, OB, and EC. Supervision: EC and PD.

Funding This work was supported by Bordeaux University Hospital (internal grant CHUBX 2017/31).

Declarations

Conflict of interest The authors have no competing interests to declare that are relevant to the content of this article.

Ethical Approval This study was approved by the ethical committee of our institution (notice number: 17 12 08) and a written informed consent was obtained from all the patients included in this study or their associated legal representatives.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

References

1. Enrichi C, Battel I, Zanetti C, Koch I, Ventura L, Palmer K, et al. Clinical criteria for tracheostomy decannulation in subjects with acquired brain injury. Respir Care. 2017;62(10):1255–63.
2. Trouillet JL, Collange O, Belafia F, Blot F, Capellier G, Cesareo E, et al. Trachéotomie en réanimation. Anesthésie Réanim. 2018;4(6):508–22.
3. Zivi I, Valsecchi R, Maestri R, Maffia S, Zarucchi A, Molatore K, et al. Early rehabilitation reduces time to decannulation in patients with severe acquired brain injury: a retrospective study. Front Neurol. 2018;9:559.
4. Kim YK, Choi JH, Yoon JG, Lee JW, Cho SS. Improved dysphagia after decannulation of tracheostomy in patients with brain injuries. Ann Rehabil Med. 2015;39(5):778–85.
5. Baudry J, Poissy J. Choix et gestion des différents types de canules de trachéotomie en réanimation. Réanim Mars. 2015;24(2):213–7.
6. de Lima Zanata I, Santos RS, Hirata GC. Tracheal decannulation protocol in patients affected by traumatic brain injury. Int Arch Otorhinolaryngol. 2014;18(2):108–14.
7. Seo HG, Kim JG, Nam HS, Lee WH, Han TR, Oh BM. Swallowing function and kinematics in stroke patients with tracheostomies. Dysphagia. 2017;32(3):393–400.
8. Ceriana P, Carlucci A, Schreiber A, Fracchia C, Cazzani C, Dichiarante M, et al. Changes of swallowing function after tracheostomy: a videofluoroscopy study. Minerva Anestesiol. 2015;81(4):9.
9. Reverberi C, Lombardi F, Lusuardi M, Pratesi A, Di Bari M. Development of the decannulation prediction tool in patients with dysphagia after acquired brain injury. J Am Med Dir Assoc. 2019;20(4):470-75.e1.
10. Hakiki B, Pancani S, Draghi F, Portaccio E, Tofani A, Binazzi B, et al. Decannulation and improvement of responsiveness in patients with disorders of consciousness. Neuropsychol Rehabil. 2020;26:1–17.
11. Park MK, Lee SJ. Changes in swallowing and cough functions among stroke patients before and after tracheostomy decannulation. Dysphagia. 2018;33(6):857–65.
12. Mussa CC, Gomaa D, Rowley DD, Schmidt U, Ginier E, Strickland SL. AARC clinical practice guideline: management of adult patients with tracheostomy in the acute care setting. Respir Care. 2021;66(1):156–69.
13. Mitchell RB, Hussey HM, Setzen G, Jacobs IN, Nussenbaum B, Dawson C, et al. Clinical consensus statement: tracheostomy care. Otolaryngol-Head Neck Surg. 2013;148(1):6–20.
14. Singh RK, Saran S, Baronia AK. The practice of tracheostomy decannulation—a systematic review. J Intensive Care. 2017;5(1):38.
15. Warnecke T, Suntrup S, Teismann IK, Hamacher C, Oelenberg S, Dziewas R. Standardized endoscopic swallowing evaluation for tracheostomy decannulation in critically Ill neurologic patients. Crit Care Med. 2013;41(7):1728–32.
16. Sabbouh T, Torbey MT. Malnutrition in stroke patients: risk factors, assessment, and management. Neurocrit Care. 2018;29(3):374–84.
17. O'Connor LR, Morris NR, Paratz J. Physiological and clinical outcomes associated with use of one-way speaking valves on tracheostomised patients: a systematic review. Heart Lung. 2019;48(4):356–64.
18. Suiter DM, McCullough GH, Powell PW. Effects of cuff deflation and one-way tracheostomy speaking valve placement on swallow physiology. Dysphagia. 2003;18(4):284–92.
19. Van Den Boer C, Lansaat L, Muller SH, Van Den Brekel MWM, Hilgers FJM. Comparative *ex vivo* study on humidifying function of three speaking valves with integrated heat and moisture exchanger for tracheotomised patients. Clin Otolaryngol. 2015;40(6):616–21.
20. Hernández Martínez G, Rodriguez ML, Vaquero MC, Ortiz R, Masclans JR, Roca O, et al. High-flow oxygen with capping or suctioning for tracheostomy decannulation. N Engl J Med. 2020;383(11):1009–17.
21. Giacino JT. Echelle de recuperation du coma version revue Française ©2008. 15.
22. Lucca LF, Lofaro D, Pignolo L, Leto E, Ursino M, Cortese MD, et al. Outcome prediction in disorders of consciousness: the role of coma recovery scale revised. BMC Neurol. 2019;19(1):68. https://doi.org/10.1186/s12883-019-1293-7
23. O'Neil KH, Purdy M, Falk J, Gallo L. The dysphagia outcome and severity scale. Dysphagia. 1999;14(3):139–45.
24. Berney L, Wasserfallen JB, Grant K, Levivier M, Simon C, Faouzi M, et al. Acute neurorehabilitation: does a neurosensory and coordinated interdisciplinary programme reduce tracheostomy weaning time and weaning failure? NeuroRehabilitation. 2014;34(4):809–17.
25. Ringrose H, Brown M, Walton K, Sivan M. Association between paroxysmal sympathetic hyperactivity and tracheostomy weaning in traumatic brain injury. NeuroRehabilitation. 2018;42(2):207–12.
26. Heidler MD, Salzwedel A, Jöbges M, Lück O, Dohle C, Seifert M, et al. Decannulation of tracheotomized patients after long-term mechanical ventilation—results of a prospective multicentric

study in German neurological early rehabilitation hospitals. BMC Anesthesiol. 2018;18(1):65.
27. Mitton K, Walton K, Sivan M. Tracheostomy weaning outcomes in relation to the site of acquired brain injury: a retrospective case series. Brain Inj. 2017;31(2):267–71.
28. Schneider H, Hertel F, Kuhn M, Ragaller M, Gottschlich B, Trabitzsch A, et al. Decannulation and functional outcome after tracheostomy in patients with severe stroke (DECAST): A Prospective Observational Study. Neurocrit Care. 2017;27(1):26–34.
29. Gessler F, Mutlak H, Lamb S, Hartwich M, Adelmann M, Platz J, et al. The impact of tracheostomy timing on clinical outcome and adverse events in poor-grade subarachnoid hemorrhage. Crit Care Med. 2015;43(11):2429–38.
30. Mortensen J, Kjeldsen SS, Honoré H, Pedersen AR. Using routinely gathered clinical data to develop a prognostic online tool for decannulation in subjects with acquired brain injury. Respir Care. 2020;65(11):1678–86.
31. Coleman ER, Moudgal R, Lang K, Hyacinth HI, Awosika OO, Kissela BM, et al. Early rehabilitation after stroke: a narrative review. Curr Atheroscler Rep. 2017;19(12):59.
32. Lanini B, Binazzi B, Romagnoli I, Chellini E, Pianigiani L, Tofani A, et al. Tracheostomy decannulation in severe acquired brain injury patients: the role of flexible bronchoscopy. Pulmonology. 2021. https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2021.05.006.
33. Robert D. Les troubles de la déglutition postintubation et trachéotomie. Réanimation. 2004;13(6–7):417–30.
34. Fernández-Carmona A, Peñas-Maldonado L, Yuste-Osorio E, Díaz-Redondo A. Exploration and approach to artificial airway dysphagia. Med Intensiva. 2012;36(6):423–33.
35. Hakiki B, Draghi F, Pancani S, Portaccio E, Grippo A, Binazzi B, et al. Decannulation after a severe acquired brain injury. Arch Phys Med Rehabil. 2020;101(11):1906–13.
36. Shreeharsha M. Tracheostomy, Decannulation, Respiratory obstruction, Prolonged mechanical ventilation, Spinal cord Injury. Res Otolaryngol. 2015
37. Cheung NH, Napolitano LM. Tracheostomy: epidemiology, indications, timing, technique, and outcomes discussion. Respir Care. 2014;59(6):895–919. https://doi.org/10.4187/respcare.02971
38. Linhares Filho TA, Arcanjo FPN, Zanin LH, Portela HA, Braga JM, Da Luz PV. The accuracy of the modified Evan's blue dye test in detecting aspiration in tracheostomised patients. J Laryngol Otol. 2019;133(4):329–32.
39. Martin BJW, Corlew MM, Wood H, Olson D, Golopol LA, Wingo M, et al. The association of swallowing dysfunction and aspiration pneumonia. Dysphagia. 1994;9(1):1–6.
40. Santus P, Gramegna A, Radovanovic D, Raccanelli R, Valenti V, Rabbiosi D, et al. A systematic review on tracheostomy decannulation: a proposal of a quantitative semiquantitative clinical score. BMC Pulm Med. 2014;14(1):201.
41. Bach JR, Saporito LR. Criteria for extubation and tracheostomy tube removal for patients with ventilatory failure. Chest. 1996;110(6):1566–71.
42. Chan LYY, Jones AYM, Chung RCK, Hung KN. Peak flow rate during induced cough: a predictor of successful decannulation of a tracheotomy tube in neurosurgical patients. Am J Crit Care. 2010;19(3):278–84.
43. Garuti G, Reverberi C, Briganti A, Massobrio M, Lombardi F, Lusuardi M. Swallowing disorders in tracheostomised patients: a multidisciplinary/multiprofessional approach in decannulation protocols. Multidiscip Respir Med. 2014;9(1):36.
44. Beduneau G, Bouchetemble P, Muller A. De la trachéotomie à la décanulation: quels sont les problèmes dans une unité de sevrage? Réanimation. 2007;16(1):42–8.
45. Edelkraut L, López-Barroso D, Torres-Prioris MJ, Starkstein SE, Jorge RE, Aloisi J, et al. Spectrum of neuropsychiatric symptoms in chronic post-stroke aphasia. WJP. 2022;12(3):450–69.
46. Knapp P, Campbell Burton CA, Holmes J, Murray J, Gillespie D, Lightbody CE, et al. Interventions for treating anxiety after stroke. Cochrane Database Syst Rev. 2017. https://doi.org/10.1002/14651858.CD008860.pub3.
47. Mato A, Limeres J, Tomás I, Muñoz M, Abuín C, Feijoo JF, et al. Management of drooling in disabled patients with scopolamine patches: transdermal scopolamine and drooling. Br J Clin Pharmacol. 2010;69(6):684–8.
48. Dziewas R, Allescher HD, Aroyo I, Bartolome G, Beilenhoff U, Bohlender J, et al. Diagnosis and treatment of neurogenic dysphagia—S1 guideline of the German Society of Neurology. Neurol Res Pract. 2021;3(1):23.
49. Garrubba M, Turner T, Grieveson C. Multidisciplinary care for tracheostomy patients: a systematic review. Crit Care. 2009;13(6):R177.
50. Küchler J, Wojak JF, Smith E, Brocke J, Abusamha A, Tronnier VM, et al. Management of tracheostomized patients after poor grade subarachnoid hemorrhage: disease related and pulmonary risk factors for failed and delayed decannulation. Clin Neurol Neurosurg sept. 2019;184:105419.
51. Huang HW, Zhang GB, Xu M, Chen GQ, Zhang XK, Zhang JT, et al. The impact of tracheostomy timing on clinical outcomes and adverse events in intubated patients with infratentorial lesions: early versus late tracheostomy. Neurosurg Rev. 2021;44(3):1513–22.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Thomas Gallice PT, MSc

Emmanuelle Cugy MD, MSc

Christine Germain MSc

Clément Barthélemy Nurse

Julie Laimay PT

Julie Gaube Nurse

Mélanie Engelhardt SLP

Olivier Branchard MSc

Elodie Maloizel MSc

Eric Frison MD, Ph-D

Patrick Dehail MD, Ph-D

Emmanuel Cuny MD

Etude II : Effet du clapet phonatoire sur le débit aérien nasal lors du sevrage de la trachéotomie : protocole TRACFLOW.

Le but de cette étude était d'évaluer l'effet du clapet phonatoire sur le débit aérien nasal, le travail respiratoire et la déglutition lors d'un sevrage de la trachéotomie dans une population de patients cérébro-lésés, ceci, afin d'apprécier l'intérêt de son utilisation. L'objectif principal de l'étude était de comparer le débit aérien nasal entre les deux situations suivantes : ballonnet dégonflé seul (étape 0 de notre protocole de sevrage) et ballonnet dégonflé avec clapet phonatoire (étape 2). Cette mesure était réalisée à partir du dégonflage du ballonnet et jusqu'à deux heures après la mise place du clapet phonatoire, ceci afin de mesurer l'effet initial de ce dernier et sa stabilité dans le temps. Les objectifs secondaires étaient de comparer le nombre de déglutitions ainsi que la mise en jeu des muscles inspiratoires accessoires (en tant que marqueurs d'une augmentation du travail respiratoire) entre les étapes 0 et 2.

Nous avons ainsi inclus consécutivement, de manière prospective et exhaustive, 15 patients cérébro-lésés, trachéotomisés et non-ventilés entre le 27/05/2019 et le 20/12/2019, à leur sortie de réanimation vers les deux services de neurochirurgie du CHU de Bordeaux. Ces patients étaient initialement inclus dans l'étude DECATRAC et les mesures de cette étude ancillaire ont donc été réalisées durant les 2 premières heures du sevrage de trachéotomie, tel que décrit plus haut (article I). Ces mesures ont été réalisées à l'aide d'un appareil de polygraphie (ResMed Nox™) équipé d'un capteur de débit nasal et d'une paire de sangles thoracique et abdominale. Le nombre de déglutitions ainsi que la mise en jeu des muscles inspirateurs accessoires ont été évalués cliniquement durant ces mêmes deux premières heures par le MKDE responsable de l'inclusion (l'auteur de cette thèse, Julie Laimay, Catherine Aubert et Manuella Ballaguer). Les résultats de l'enregistrement polygraphique ont ensuite été anonymisés et transmis pour analyse au Dr Didier Cugy.

Sur les 15 patients inclus, 3 ont présenté un défaut de perméabilité des voies aériennes supérieures dès l'étape 1 (occlusion manuelle de la trachéotomie, voir article I), incompatible avec la poursuite du sevrage et donc à l'analyse des données de la polygraphie. Douze patients ont donc été inclus dans l'analyse statistique. Nos résultats montrent que le débit nasal est significativement supérieur *(p*>0.05) dans la situation ballonnet dégonflé avec clapet phonatoire (étape 2) par rapport à la situation ballonnet dégonflé seul (étape 0), et ce, à la mise en place et à une heure. Nous ne retrouvons cependant pas de différence significative concernant le nombre

de déglutitions enregistrées (bien qu'une tendance à un nombre plus élevé à l'étape 2 ait été observée). Il apparait également que l'utilisation du clapet phonatoire n'ait pas entrainé de mise en jeu des muscles inspirateurs accessoires. Fait intéressant, l'utilisation du clapet phonatoire génère un débit nasal expiratoire comme attendu, mais aussi inspiratoire. A notre connaissance ceci n'a jamais été décrit dans la littérature.

Neurocrit Care
https://doi.org/10.1007/s12028-024-01966-8

NEUROCRITICAL CARE SOCIETY

BRIEF COMMUNICATION

Effect of a Speaking Valve on Nasal Airflow During Tracheostomy Weaning: A Case Series

Thomas Gallice[1,2,3,4*], Emmanuelle Cugy[2,5,6], Didier Cugy[7], Julie Laimay[3,4], Olivier Branchard[3], Christine Germain[8], Patrick Dehail[1,6], Emmanuel Cuny[10,3,9] and Julien Engelhardt[11,3]

© 2024 The Author(s)

In the intensive care unit (ICU), many patients with acquired brain injury (ABI) benefit from tracheostomy [1]. Tracheostomy weaning protocols typically include cuff deflation and tube capping [2–4]. However, the roles and importance of these steps are debated. The rationale behind tube capping is to recreate airflow through the upper airway that promotes laryngeal reafferentiation, natural heating, air filtration, humidification through the nose, swallowing, and improved subglottic pressure [5, 6] (Fig. 1). However, tube capping can increase the respiratory workload by reducing the tracheal lumen diameter because it forces the airflow around the cannula [7] (Fig. 1, step 2 and b). Therefore, this may be considered risky or too demanding [7]. Cuff deflation without tube capping is sometimes suggested instead of cuff deflation with tube capping [8], but it has not been proven that this sufficiently recreates the upper airway airflow necessary for tracheostomy weaning.

The objective of this study was to describe and compare the upper airway airflow, swallowing, and signs of increased respiratory workload under the following conditions: cuff deflation alone and cuff deflation with a speaking valve. To our knowledge, this comparison is novel.

This is a prospective case series (ClinicalTrials.gov NCT03512054) approved by ethics committee (Approval No. 17-12-08).

The inclusion criteria were age ≥ 18 years, hospitalization with ABI, tracheostomy performed in the ICU, weaned from mechanical ventilation (MV), scheduled for tracheostomy weaning, written informed consent from the patient or a legal representative, and patient access to the benefits of the French health care system.

The exclusion criterion was severe malnutrition defined as follows: body mass index < 16 kg/m^2 or albuminemia < 20 g/L for patients aged < 70 years; body mass index < 18 kg/m^2 or albuminemia < 30 g/L for patients aged > 70 years.

All patients underwent tracheostomy weaning following a five-step logigram: step 0, deflation of the tracheostomy cuff; step 1, brief manual occlusion of the cannula (a few seconds, 1 min maximum) to assess airway patency before speaking valve placement; step 2, placement of a speaking valve for a full 12 h; step 3, capping the cannula with a plug for a full 24 h; and step 4, decannulation (see Gallice et al. [9] for a full description of the protocol).

We compared the status of nasal airflow, swallowing, and the use of accessory respiratory muscles at step 0 (deflated cuff alone), the beginning of step 2 (deflated cuff with placement of a speaking valve), and 1 h after step 2. For each patient, we used polygraphy to continuously record the nasal respiratory flows (inspiratory and expiratory) and thoracic and abdominal movements during the first 2 h of tracheostomy weaning. Over this period, we expected that patients would complete steps 0 and 1 and that step 2 would commence and last at least 1 h after the start of the weaning process. We used a ResMed Nox Polygraph (PG) (San Diego, CA). We recorded nasal airflow using a nasal cannula. Each recording was obtained with the mouth closed to avoid signal loss associated with mouth breathing. We recorded thoracic and abdominal movements using thoracic and abdominal straps (Fig. 1, lower panel). We evaluated breathing status based on the movements of the abdominal and thoracic straps shown on the PG recording. Data were extracted from the PG

*Correspondence: thomas.gallice@chu-bordeaux.fr
[1] Aging, Chronic Diseases, Technology, Disability, and Environment Team, Bordeaux Research Center for Population Health, Bordeaux Segalen University, UMR_S 1219, 33000 Bordeaux, France
Full list of author information is available at the end of the article

Springer

(See figure on next page.)

Fig. 1 Upper panel: Tracheostomy with an inflated cuff. Airflow is possible only through the cannula (solid lines). Step 0, Airflow with a deflated cuff alone; solid lines: principal airflow routes (inspiratory and expiratory airflows through the cannula). Step 2, Airflow with a deflated cuff and a speaking valve; solid lines: the principal airflow routes (inspiratory airflow through the cannula, expiratory airflow through the nose); dashed lines: accessory airflow route (inspiratory airflow through the nose). Intermediate panel: An enlarged view of a tracheostomy tube inserted in the trachea. **a** The function of a speaking valve during inspiration; solid line, inspiratory airflow opens the valve and the air then goes through the cannula; dashed line, accessory inspiratory airflow through the upper airway. **b** The function of a speaking valve during expiration; expiratory airflow closes the valve and the air is then forced to pass through the upper airway. Lower panel: Example polygraph traces (patient 10): upper graph, nasal airflow; intermediate graph, respiratory inductance plethysmographic flow (RIP), and thus the reconstituted respiratory flow is based on the thoracic and abdominal movements; lower graph, the thoracic and abdominal movements. Step 0, Recording with a deflated cuff alone. Step 2, Recording with a deflated cuff and a speaking valve. Analyses employed clean 5-min samples at step 0, at the beginning of step 2, and 1 h thereafter if the patient remained in step 2 (black boxes). Vertical orange line, time of speaking valve placement. ant, anterior, RL, recording length (90 min), sup, superior

and anonymized in.edf format using ResMed Noxturnal software. Three stages of the entire recording were analyzed: step 0, the beginning of step 2, and 1 h thereafter if the patient remained in this step (step 2 plus 1 h) (Fig. 1, lower panel). Cuff deflation and the use of a speaking valve can cause intense coughing, which may affect the quality of data recording. Therefore, for each patient, we selected a clean sample of 5 min for each period for analysis. If it was impossible to obtain a clean 5-min sample, we selected a clean sample of the maximum possible duration. The data-processing module was specifically developed (by one of the authors, DC) for this study using the Xojo 2018 Release 2 computer-based tool integrated with signal display PGS-OSX software.

Activation of accessory inspiratory muscles (qualitative results: yes or no) at step 0 and step 2 was clinically observed and recorded by the physiotherapist who was implementing the protocol. These data served as indirect assessments of respiratory workload.

The numbers of spontaneous swallows were recorded at step 0 and step 2. A swallow was defined as a complete elevation of the larynx observed by the physiotherapist implementing the protocol. Observations were made during the first 5 min of steps 0 and 2. We also collected data on age, sex, tracheostomy model, Coma Recovery Scale revised score at inclusion, type of ABI, ICU length of stay, MV duration, time from intubation to tracheostomy weaning, functional status at ICU discharge, and lesion location (supratentorial, infratentorial, or both).

Statistical analysis employed SAS software (version 9.4; Cary, NC), with the two-sided type I error rate set to 0.05. The baseline quantitative patient characteristics are presented as numbers with means and standard deviations (SDs), or as medians with interquartile ranges (IQRs). Nasal airflows are given as means with SDs or as medians with minimum and maximum values. Given the characteristics of the sensor, the airflows were estimated using the pressures recorded by the nasal cannula and are thus expressed in cmH_2O. Airflows were compared between steps 0 and 2, steps 0 and 2 plus 1 h, and steps 2 and 2 plus 1 h using the Wilcoxon signed-rank test. The numbers of swallows at steps 0 and 2 were compared in the same manner.

Our results were as follows: after discharge from neurological or traumatic ICUs to two neurosurgery units, all of 15 patients (10 women) were consecutively and exhaustively enrolled from 27/05/2019 to 21/12/2019. Three patients (patients 4, 8, and 15) failed to pass step 1 (manual tube occlusion with a deflated cuff) or did not tolerate the procedure. They exhibited airway patency impairments incompatible with appropriate analysis of nasal airflow. Therefore, they were excluded from statistical analysis. One patient passed step 2 but failed to continue to step 2 plus 1 h (patient 14). For the 12 patients included in analysis, the median age was 53 years (IQR 40–60 years); the median Coma Recovery Scale revised was 18 (IQR 13–21); the mean time from intubation to tracheostomy weaning was 57 days (SD 26 days); the mean ICU length of stay was 41 days (SD 15 days); and the mean MV duration 28 h (SD 10 h). Eight patients had supratentorial lesions, five had infratentorial lesions, and two had both (Table 1).

All patients had been tracheostomized in the ICUs using a percutaneous technique. We used the following tracheostomy tubes: Rusch size 8.5 for ten patients (internal diameter [ID] 8.7 mm, outer diameter [OD] 10.3 mm), Rusch size 10 for two patients (ID 10.2 mm, OD 12.3 mm), and Shiley 6LPC for three patients (ID

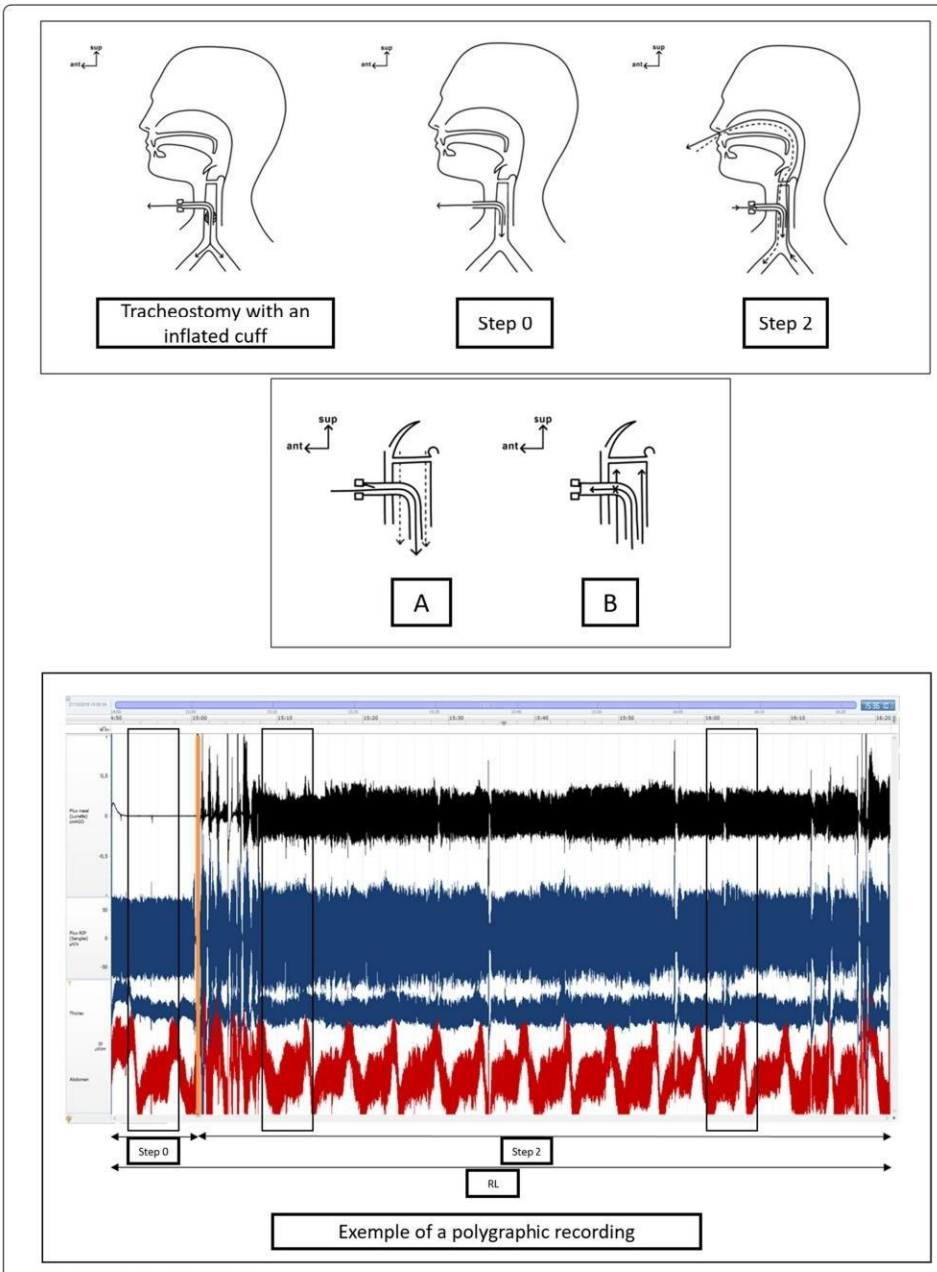


Fig. 1 (See legend on previous page.)

Table 1 Patient characteristics

Patient	Age	Sex	CRS-r	ICU LOS (d)	MV duration (d)	Time from intubation to TW (d)	Type of ABI	Functional status at ICU discharge	TW protocol	Model of tracheostomy
1	32	M	23	43	40	62	Fourth ventricle hemangioblastoma	mRS 4, cerebellar ataxia	Passed	Rusch 10
2	52	M	17	41	36	48	SAH (basilar trunk aneurysm)	mRS 5	Passed	Rusch 10
3	70	M	22	30	27	64	Left pontocerebellar angle meningioma	mRS 5, right hemiplegia	Passed	Shiley 6LPC
4	36	F	19	30	16	38	ICH, SAH (left sylvian aneurysm)	mRS 5, right hemiplegia	Failed at step 1	Shiley 6LPC
5	47	F	3	20	13	26	SAH (right internal carotid aneurysm)	mRS 5, left hemiplegia	Passed	Rusch 8.5
6	56	F	22	40	27	50	Severe TBI	mRS 4, left hemiplegia	Passed	Rusch 8.5
7	32	M	6	62	38	85	SAH (right sylvian aneurysm)	mRS 5	Passed	Rusch 8.5
8	65	F	23	36	26	56	SAH (anterior communicating artery aneurysm)	mRS 4, right hemiplegia	Failed at step 1	Rusch 8.5
9	27	F	20	74	38	115	Left ICH	mRS 5	Passed	Rusch 8.5
10	63	F	18	38	11	50	SAH (right sylvian aneurysm)	mRS 5, left hemiplegia	Passed	Rusch 8.5
11	61	F	16	38	36	47	SAH (right internal carotid aneurysm)	mRS 5	Passed	Rusch 8.5
12	46	F	19	34	28	62	Posterior fossa astrocytoma	mRS 5, left hemiplegia	Passed	Shiley 6LPC
13	59	F	14	47	26	56	SAH (pericallosa artery aneurysm)	mRS 5	Passed	Rusch 8.5
14	53	F	12	22	17	23	SAH (right internal carotid aneurysm)	mRS 5, left hemiplegia	Failed at step 2 + 1 h	Rusch 8.5
15	40	M	23	21	12	22	Superior vermian ICH	mRS 4, cerebellar ataxia	Failed at step 1	Rusch 8.5

ABI Acquired brain injury, *CRS-r* Coma recovery scale, revised, *F* Female, *ICH* Intracerebral hemorrhage, *ICU* Intensive care unit, *LOS* Length of stay, *M* Male, *mRS* Modified Rankin Score, *MV* Mechanical ventilation, *SAH* Subarachnoid hemorrhage, *TBI* Traumatic brain injury, *TW* Tracheostomy weaning

6.4 mm, OD 10.8 mm). When performing tube capping, we used Shiley speaking valves exclusively. Prigent et al. [10] demonstrated that the work of breathing was higher when the Rusch speaking valve rather than when the Shiley valve was used.

The complete results are presented in Table 2.

No involvement of accessory respiratory muscles was recorded at step 0 or step 2.

From our findings, a speaking valve with a deflated cuff significantly enabled nasal respiratory airflow without the involvement of accessory respiratory muscles compared with a deflated cuff alone (Table 2, Fig. 1). However, we did not find a significant difference in the numbers of swallows between the two conditions (despite a tendency toward a higher number of swallows when a speaking valve was placed; see Table 2). Conversely, in an earlier study, Kim et al. [11] found qualitative improvement of swallowing function with the use of a speaking valve; however, the number of swallows was not included in the study results.

The difference in nasal airflow might be explained by the fact that, without a speaking valve, the shortest and easiest route for the airflow would likely be through the cannula. Chadda et al. [12] reported that the dead space above the cannula accounted for 30% of the workload. Therefore, if tube capping is not used to force airflow through the upper airway, the patient may breathe only through the cannula, even with a deflated cuff. This is in line with the findings of Prigent et al. [13], who found that expiratory flow after swallowing was present when a speaking valve was placed but was negligible without a valve. The presence of an inspiratory nasal airflow with a speaking valve is surprising because, theoretically, inspiratory airflow would be expected solely through the tube [14] (Fig. 1, step 2, a, b). The use of a speaking valve likely increases the respiratory workload to a level that allows inspiratory airflow around the cannula, and then through the upper airway, but not enough to engage the accessory respiratory muscles. Further studies are needed to confirm this hypothesis. Moreover, we found that this effect was maintained at 1 h (step 2 plus 1 h), proving that it is not simply a brief effect of speaking valve placement.

The major limitation of this study was the small sample size, which precluded us from drawing firm conclusions. However, to our knowledge, this is the first time that nasal airflow has been recorded during tracheostomy weaning of patients with ABI. The PG used to record nasal airflow could be replaced by a pneumotachograph [12]. Instrumental assessments and esophageal pressures would aid swallowing and respiratory workload assessments [15, 16]. Such examinations require that patients are moved out of their units, invasive devices are used,

Table 2 Nasal airflows at step 0, step 2, and step 2 + 1 h and the numbers of swallows at step 0 and step 2

Variable	Step 0	Step 2	Step 2 + 1 h	Differences per patients	*P* value
Nasal airflow (step 0 vs. step 2) (cmH_2O)					
n	12	12			**0.0049***
Mean (SD)	0.25 (0.24)	0.82 (0.71)		0.57 (0.64)	
Median (Q1–Q3)	0.19 (0.06–0.38)	0.51 (0.28–1.29)		0.32 (0.10–1.10)	
Min, max	0.01, 0.80	0.18, 2.23		−0.21, 1.74	
Nasal airflow (step 0 vs. step 2 + 1 h) (cmH_2O)					
n (m.d.)	12		11(1)		**0.0293***
Mean (SD)	0.25 (0.24)		0.66 (0.61)	0.41 (0.59)	
Median (Q1 to Q3)	0.19 (0.06 to 0.38)		0.35 (0.19 to 1.14)	0.11 (0.00 to 0.86)	
Min, max	0.01, 0.80		0.01, 1.91	−0.45, 1.58	
Nasal airflow (step 2 vs. step 2 + 1 h) (cmH_2O)		12	11(1)		0.2324
n (m.d.)		12	11(1)		0.2324
Mean (SD)		0.82 (0.71)	0.66 (0.61)	−0.16 (0.46)	
Median (Q1 to Q3)		0.51 (0.28 to 1.29)	0.35 (0.19 to 1.14)	−0.06 (−0.42 to 0.00)	
Min, max		0.18, 2.23	0.01, 1.91	0.01, 1.91	
Number of swallowing/5 min					
n	12	12			0.2715
Mean (SD)	2.5 (2.4)	3.7 (2.8)		1.17 (3.04)	
Median (Q1 to Q3)	2 (1 to 5)	4 (2 to 5)		1.50 (−0.50 to 3.00)	
Min, max	0, 7	0, 10		−4.00, 7.00	

The *p* values are for the Wilcoxon signed-rank test, * bold values are for p values < 0.05

Max, maximum, m.d., missing data, min, minimum, Q1, quartile 1, Q3, quartile 3, SD, standard deviation

and patients can cooperate; additionally, they cannot be performed simultaneously. Thus, such assessments are at least difficult and may be dangerous when tracheotomy weaning is initiated.

To conclude, the use of a speaking valve with a deflated cuff restores airflow through the upper airway more effectively than cuff deflation alone (Fig. 1, step 0, step 2). A speaking valve restores not only the expiratory nasal airflow but also, to a lesser degree, the inspiratory nasal airflow (Fig. 1). Hence, because restoring airflow in the upper airway is considered key during swallowing rehabilitation of tracheostomized patients, our findings seem to favor the use of a speaking valve rather than cuff deflation alone during tracheostomy weaning.

Author details
[1] Aging, Chronic Diseases, Technology, Disability, and Environment Team, Bordeaux Research Center for Population Health, Bordeaux Segalen University, UMR_S 1219, 33000 Bordeaux, France. [2] Swallowing Evaluation Unit, Physical and Rehabilitation Medicine Unit, Tastet-Girard Hospital, Bordeaux University Hospital, 33000 Bordeaux, France. [3] Neurosurgery Unit B, Pellegrin Hospital, Bordeaux University Hospital, 33000 Bordeaux, France. [4] Neurological Intensive Care Unit, Pellegrin Hospital, Bordeaux University Hospital, 33000 Bordeaux, France. [5] Physical and Rehabilitation Medicine Unit, Arcachon Hospital, 33260 La Teste de Buch, France. [6] Physical and Rehabilitation Medicine Unit, Tastet-Girard Hospital, Bordeaux University Hospital, 33000 Bordeaux, France. [7] Sleep Medicine Unit, Pellegrin Hospital, Bordeaux University Hospital, 33000 Bordeaux, France. [8] Medical Information Unit, Pellegrin Hospital, Bordeaux University Hospital, 33000 Bordeaux, France. [9] Neurodegenerative Diseases Institute, Bordeaux University, 33000 Bordeaux, France. [10] CNRS, Neurodegenerative Diseases Institute, 33000 Bordeaux, France. [11] Polytechnic Institute of Bordeaux, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut de Mathématiques de Bordeaux, Bordeaux University, 33400 Bordeaux, France.

Author Contributions
Conceptualization: TG, EC, JL, DC; Methodology: CG, OB; Formal analysis and investigation: TG, DC; Writing—original draft preparation: TG; Writing—review and editing: TG, EC, DC, CG, JL, OB, EC, PD, JE; Funding acquisition: TG, OB; Supervision: EC, PD, JE. The final manuscript has been approved by all authors.

Source of Support
This study was funded by the Bordeaux University Hospital (internal grant CHUBX 2017/31).

Conflicts of interest
The authors declare no conflicts of interest.

Ethical Approval/Informed Consent
This study was approved by the ethical committee of our institution (Notice Number: 17-12-08). This study was performed in accordance with the ethical standards as laid down in the 1964 Declaration of Helsinki. A written informed consent was obtained from all the patients included in this study or their associated legal representatives.

Open Access
This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Received: 12 October 2023 Accepted: 21 February 2024
Published online: 20 March 2024

References

1. Bösel J. Tracheostomy in stroke patients. Curr Treat Options Neurol janv. 2014;16(1):274. https://doi.org/10.1007/s11940-013-0274-1.
2. Singh RK, Saran S, Baronia AK. The practice of tracheostomy decannulation—a systematic review. J Intensive Care. 2017;5(1):38. https://doi.org/10.1186/s40560-017-0234-z.
3. Pandian V, Miller CR, Schiavi AJ, Yarmus L, Contractor A, Haut ER, et al. Utilization of a standardized tracheostomy capping and decannulation protocol to improve patient safety: tracheostomy capping and decannulation protocol. Laryngoscope. 2014;124(8):1794–800. https://doi.org/10.1002/lary.24625.
4. Hess DR. Facilitating speech in the patient with a tracheostomy. Respir Care. 2005;50(4):7.
5. Robert D. Les troubles de la déglutition postintubation et trachéotomie. Réanimation. 2004;13(6–7):417–30. https://doi.org/10.1016/j.reaurg.2004.06.002.
6. Suiter DM, McCullough GH, Powell PW. Effects of cuff deflation and one-way tracheostomy speaking valve placement on swallow physiology. Dysphagia. 2003;18(4):284–92. https://doi.org/10.1007/s00455-003-0022-x.
7. Hernández Martínez G, Rodriguez ML, Vaquero MC, Ortiz R, Masclans JR, Roca O, et al. High-flow oxygen with capping or suctioning for tracheostomy decannulation. N Engl J Med. 2020;383(11):1009–17. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2010834.
8. Trouillet JL, Collange O, Belafia F, Blot F, Capellier G, Cesareo E, et al. Trachéotomie en réanimation. Anesth Réanim. 2018;4(6):508–22. https://doi.org/10.1016/j.anrea.2018.08.003.
9. Gallice T, Cugy E, Germain C, Barthélemy C, Laimay J, Gaube J, et al. A pluridisciplinary tracheostomy weaning protocol for brain-injured patients, outside of the intensive care unit and without instrumental assessment: results of pilot study. Dysphagia. 2023. https://doi.org/10.1007/s00455-023-10641-7.
10. Prigent H, Orlikowski D, Blumen MB, Leroux K, Legrand L, Lejaille M, et al. Characteristics of tracheostomy phonation valves. Eur Respir J mai. 2006;27(5):992–6.
11. Kyun KY, Heon LS, Won LJ. Effects of capping of the tracheostomy tube in stroke patients with dysphagia. Ann Rehabil Med. 2017;41(3):426–33. https://doi.org/10.5535/arm.2017.41.3.426.
12. Chadda K, Louis B, Benaïssa L, Annane D, Gajdos P, Raphaël J, et al. Physiological effects of decannulation in tracheostomized patients. Intensive Care Med. 2002;28(12):1761–7. https://doi.org/10.1007/s00134-002-1545-6.
13. Prigent H, Lejaille M, Terzi N, Annane D, Figere M, Orlikowski D, et al. Effect of a tracheostomy speaking valve on breathing–swallowing interaction. Intensive Care Med. 2012;38(1):85–90. https://doi.org/10.1007/s00134-011-2417-8.
14. Passy V. Passy-muir tracheostomy speaking valve. Otolaryngol Head Neck Surg. 1986;95(2):247–8. https://doi.org/10.1177/019459988609500224.
15. Dziewas R, Allescher HD, Aroyo I, Bartolome G, Beilenhoff U, Bohlender J, et al. Diagnosis and treatment of neurogenic dysphagia – S1 guideline of the German society of neurology. Neurol Res Pract. 2021;3(1):23. https://doi.org/10.1186/s42466-021-00122-3.
16. Bellani G, Pesenti A. Assessing effort and work of breathing. Curr Opin Crit Care. 2014;20(3):352–8. https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000089.

Etude III : Facteurs prédictifs d'une décanulation réussie chez les patients cérébro-lésés et trachéotomisés : une revue systématique de la littérature

Le but de cette revue systématique de la littérature était de rechercher des facteurs prédictifs d'une décanulation réussie, spécifiques à la population des patients cérébro-lésés. Cette population de patients présente des spécificités tant sur le plan physiopathologique que sur les causes nécessitant la mise en place d'une trachéotomie : nous pensons ici, aux troubles de l'éveil ainsi qu'au déficit de contrôle neuro-moteur de la déglutition et de la toux. Des revues de la littérature existaient préalablement à notre travail, mais celles-ci incluaient des études comprenant des patients aux étiologies hétérogènes (Santus *et al.* 2014, Meideros *et al.* 2019). Les spécificités des patients cérébro-lésés décrites plus haut nous laissent penser que les facteurs prédictifs de la décanulation seront eux aussi spécifiques. L'objectif principal de cette revue systématique de la littérature était de rechercher et d'identifier des facteurs prédictifs du succès ou de l'échec d'une décanulation. Les objectifs secondaires étaient de rechercher et d'identifier des facteurs prédictifs d'une décanulation difficile, facile ou retardée.

Nous avons réalisé une revue systématique de la littérature en interrogeant les bases de données suivantes MEDLINE, EMBASE, CINAHL, Scopus, Web of Science, PEDro, OPENGREY, OPENSIGLE, Science Direct, CLINICAL TRIALS and CENTRAL, à l'aide des équations de recherche décrites dans l'article 3. Cette revue a été réalisée entre le 16/03/2021 et le 01/06/2022 et a été enregistrée sur PROSPERO le 08/04/2021. L'évaluation du risque de biais a été faite en utilisant l'outil Quality in prognosis study (QUIPS) (Grooten *et al.* 2019). Cette revue a été réalisée en aveugle par deux chercheurs principaux : l'auteur de cette thèse et le Dr Geoffroy Moucheboeuf. Une troisième chercheuse, la Dr Emmanuelle Cugy, était sollicitée en cas de désaccord sur l'inclusion, l'évaluation ou l'analyse des articles. Un logiciel de traitement des entrées bibliographiques (Rayyan QCRI) permettant un tri en aveugle des articles par les deux chercheurs principaux a été utilisé.

Un total de 1433 articles a été identifié. Après exclusion des doublons et des articles non pertinents pour cette recherche, nous avons retenu et inclus 26 articles dans cette revue. Les populations étudiées étaient des patients cérébro-lésés de différentes étiologies pour 17 articles, des patients victimes d'un traumatisme crânien pour 5 articles, et des patients victimes d'un AVC pour 4 articles. Sur l'ensemble des articles retenus, deux stratégies de recherche étaient utilisées : soit l'évaluation prospective de facteurs prédictifs définis *a priori* par les auteurs (9

articles), soit l'évaluation rétrospective de facteurs prédictifs parmi de nombreuses variables collectées par les auteurs de ces études (17 articles).

Les facteurs prédictifs identifiés à l'issue de cette revue systématique de la littérature comprennent des facteurs intrinsèques présents avant ou après la survenue de la lésion cérébrale et un facteur extrinsèque présent seulement après la survenue de la lésion cérébrale.

Nous pouvons retenir que les principaux facteurs prédictifs d'une décanulation réussie sont un meilleur état neurologique, le type de lésion (un traumatisme crânien étant de meilleur pronostic qu'un AVC ou qu'une anoxie cérébrale), un âge plus jeune, des fonctions de déglutition et de toux efficaces ainsi que l'absence d'infection pulmonaire. D'autres facteurs prédictifs, plus secondaires et semblant dépendre des sous-groupes étiologiques ont également été identifiés : une trachéotomie précoce, des lésions supratentorielles, l'absence de faiblesse musculaire acquise de réanimation ainsi que l'absence de lésion trachéale.

A notre connaissance, cette revue systématique de la littérature est la première à identifier des facteurs prédictifs d'une décanulation réussie dans la population des patients cérébro-lésés.

Dysphagia
https://doi.org/10.1007/s00455-023-10646-2

REVIEW

Predictive Factors for Successful Decannulation in Patients with Tracheostomies and Brain Injuries: A Systematic Review

Thomas Gallice[1,2,3,4] · Emmanuelle Cugy[3,5,7] · Olivier Branchard[1] · Patrick Dehail[4,5] · Geoffroy Moucheboeuf[2,6,5]

Received: 2 January 2023 / Accepted: 14 November 2023
© The Author(s) 2024

Abstract
Neurological patients frequently have disorders of consciousness, swallowing disorders, or neurological states that are incompatible with extubation. Therefore, they frequently require tracheostomies during their stay in an intensive care unit. After the acute phase, tracheostomy weaning and decannulation are generally expected to promote rehabilitation. However, few reliable predictive factors (PFs) for decannulation have been identified in this patient population. We sought to identify PFs that may be used during tracheostomy weaning and decannulation in patients with brain injuries. We conducted a systematic review of the literature regarding potential PFs for decannulation; searches were performed on 16 March 2021 and 1 June 2022. The following databases were searched: MEDLINE, EMBASE, CINAHL, Scopus, Web of Science, PEDro, OPENGREY, OPENSIGLE, Science Direct, CLINICAL TRIALS and CENTRAL. We searched for all article types, except systematic reviews, meta-analyses, abstracts, and position articles. Retrieved articles were published in English or French, with no date restriction. In total, 1433 articles were identified; 26 of these were eligible for inclusion in the review. PFs for successful decannulation in patients with acquired brain injuries (ABIs) included high neurological status, traumatic brain injuries rather than stroke or anoxic brain lesions, younger age, effective swallowing, an effective cough, and the absence of pulmonary infections. Secondary PFs included early tracheostomy, supratentorial lesions, the absence of critical illness polyneuropathy/myopathy, and the absence of tracheal lesions. To our knowledge, this is the first systematic review to identify PFs for decannulation in patients with ABIs. These PFs may be used by clinicians during tracheostomy weaning.

Keywords Acquired brain injury · Decannulation · Predictive factors · Rehabilitation · Tracheostomy weaning

✉ Thomas Gallice
thomas.gallice@chu-bordeaux.fr

Emmanuelle Cugy
emmanuelle.cugy@chu-bordeaux.fr

Olivier Branchard
olivier.branchard@chu-bordeaux.fr

Patrick Dehail
patrick.dehail@chu-bordeaux.fr

Geoffroy Moucheboeuf
geoffroy.moucheboeuf@chu-bordeaux.fr

[1] Neurosurgery Unit B, Bordeaux University Hospital, Pellegrin Hospital, 33000 Bordeaux, France

[2] Neurological ICU, Bordeaux University Hospital, Pellegrin Hospital, 33000 Bordeaux, France

[3] Physical and Rehabilitation Medicine Unit, Swallowing Evaluation Unit, Bordeaux University Hospital, Tastet-Girard Hospital, 33000 Bordeaux, France

[4] Bordeaux Research Center for Population Health (BPH), Team: ACTIVE, University Bordeaux Segalen, UMR_S 1219, 33000 Bordeaux, France

[5] Physical and Rehabilitation Medicine Unit, Bordeaux University Hospital, Tastet-Girard Hospital, 33000 Bordeaux, France

[6] Traumatic and Surgical ICU, , Bordeaux University Hospital, Pellegrin Hospital, 33000 Bordeaux, France

[7] Physical and Rehabilitation Medicine Unit, Arcachon Hospital, 33260 La Teste de Buch, France

Published online: 08 January 2024

Introduction

During their stay in an intensive care unit (ICU), approximatively 10% of patients will require tracheostomies [1]. The clinical scenarios that are most likely to require tracheostomies include reduction of dead space during mechanical ventilation weaning, treatment of a consciousness disorder, treatment involving a neurological status that is incompatible with extubation, the need to counteract inefficient airway protection related to a neurological lesion and/or to ICU hospitalisation [1–3]. Tracheostomy weaning and its final step, decannulation, is a complex process. The procedure requires a weaning protocol and a trained multidisciplinary team (an intensivist, an ear nose and throat (ENT) specialist, physiotherapists, speech therapists, and nurses); it can be performed in the ICU or after ICU discharge [4–6]. Weaning protocols usually involve decision-making procedures that are based on clinical criteria and sometimes instrumental assessments [7–10]. However, many of these protocols heavily rely on expert opinion, and there are limited evidence-based guidelines for successful decannulation [2].

A systematic review by Santus et al. concluded that a strong cough and the ability to tolerate tube capping are predictive factors (PFs) for decannulation [3]. The same review described secondary PFs that may also be important. These secondary PFs included the level of oxygenation, capnia, the level of consciousness and neurological state, age, swallowing status, the quantity and quality of secretions, the duration of mechanical ventilation, the stability of haematic gases (PaO_2 and $PaCO_2$), the aetiology of respiratory failure, and comorbidities [3]. A literature review by Meideros et al. concluded that the following criteria were indicators for decannulation success: clinical and haemodynamic stability, high level of alert consciousness, no requirement for mechanical ventilation, no dependence on humidification, good secretion management, and the absence of bronchoaspiration [4]. Meideros et al. reported that swallowing, airway patency, and secretion management assessments were important steps in tracheostomy weaning [4].

However, these previous reviews included patients who had undergone tracheostomies for various reasons (e.g., respiratory, neurological, and swallowing disorders). In contrast, patients with acquired brain injuries (ABIs) may require tracheostomies for the treatment of a particular neurological defect [5]. Therefore, the factors that influence tracheostomy weaning and decannulation in such cases may be unique to this patient population. Here, we sought to identify PFs that may be used by clinicians to predict success, failure, or difficulties during tracheostomy weaning and decannulation. Validated PFs for these procedures will enable clinicians to provide better treatment.

Materials and Methods

We used the Population–Intervention–Control–Outcome (PICO) research strategy.

- Population: All patients were aged > 18 years and had ABIs from traumatic, vascular, encephalopathic, or oncological aetiologies. Patients were required to be free from mechanical ventilation, and articles describing patients with medullar lesions or neurodegenerative diseases were excluded.
- Intervention: Decannulation and/or tracheostomy weaning.
- Control: none.
- Outcome: PFs for decannulation success and/or failure and/or delayed and/or difficult and/or easy tracheostomy weaning.

To identify PFs, we evaluated sociodemographic (age and sex) and clinical data, aetiologies, ABI treatments, disease severity, related disabilities (cognitive and functional), comorbidities, medical and surgical history, and variables linked to tracheostomies (e.g., SpO_2 level, tube capping tolerance, and tracheostomy timing).

Interventions such as specific rehabilitation strategies (e.g., electric stimulation), specific assessments (e.g., use of flexible bronchoscopy), and specific weaning procedures (e.g., use of a team-based procedures) were not regarded as potential PFs. We searched for all types of articles, except for systematic reviews, meta-analyses, abstracts, and position articles. Eligible articles were published in English or French. Our principal outcome was the identification of PFs for successful or failed decannulation. Our secondary outcome was the identification of PFs for delayed decannulation or PFs for difficult or easy tracheostomy weaning.

We searched the following electronic databases: MEDLINE, EMBASE, CINAHL, Scopus, Web of Science, PEDro, OPENGREY, OPENSIGLE, Science Direct, CLINICAL TRIALS and CENTRAL. There were no restrictions on the date of publication. The first search was performed on 16 March 2021 (deadline, 16 March 2021). Searches were repeated on 1 June 2022 (with a date filter of 16 March 2021 or the 2021–2022 period, depending on the database), immediately prior to the final analyses and hand searching of the bibliographies.

- On MEDLINE, we searched (tracheostom* [MH] or tracheostom* [TIAB] or tracheostom*[OT] or tracheotom*[MH] or tracheotom*[TIAB] or tracheotom*[OT] or cannula*[MH] or cannula*[TIAB] or cannula*[OT]) and (brain injur*[MH] or brain injur*[TIAB] or brain injur*[OT] or stroke [MH] or

stroke [TIAB] or stroke [OT] or traumatic brain injur* [MH] or traumatic brain injur* [TIAB] or traumatic brain injur*[OT] or neuro* [MT] or neuro* [TIAB] or neuro* [OT] or neuro* or central nervous system [MT] or central nervous system [TIAB] or central nervous system [OT]) and (weaning or weaning [TIAB] or weaning [OT] or decannulation or decannulation [TIAB] or decannulation [OT] or tube removal or tube removal [TIAB] or tube removal [OT])

- On EMBASE, we searched «tracheostomy and decannulation and stroke or brain injury»
- On CINAHL, we searched «tracheostomy and decannulation and brain injury or post-stroke or stroke or head injury or traumatic brain injury or post-stroke or stroke or head injury or traumatic brain injury or acquired brain injury»
- On CENTRAL, we searched «tracheostomy and decannulation and stroke or brain injury»
- On OPENGREY/OPENSIGLE, we searched «tracheostomy and decannulation»
- On PEDro, we searched «tracheostomy and decannulation»
- On Web of Science, we searched «tracheostomy and decannulation»
- On CLINICAL TRIALS, we searched «tracheostomy and decannulation»
- On Scopus, we searched «tracheostomy and decannulation and (brain injury or stroke or CNS)»
- On Science Direct, we searched «tracheostomy and decannulation and (brain injury or stroke or CNS)»

Articles were entered into the Rayyan QCRI data management and extraction web application (http://rayyan.qcri.org). Duplicates were removed, and two reviewers (TG and GM) screened articles independently. Initial selection was based on the assessment of each article's title and abstract. If necessary, the entire article was read. Disagreements regarding article inclusion were resolved by discussion. Remaining disagreements were resolved by consensus, in consultation with a third reviewer (EC). The reasons for exclusion of each article were recorded.

Risk of bias (RoB) assessment was performed for each article by TG and GM independently, using the Quality in Prognosis Study (QUIPS) tool [6]. Consensus was sought between the two reviewers, and any disagreements were resolved by consultation with a third reviewer (EC). The QUIPS tool has a reported interrater agreement ranging between 70% and 89.5% (median 83.5%) [7]. This search strategy was registered on PROSPERO on 8 April 2021 (CRD42021246999).

Results

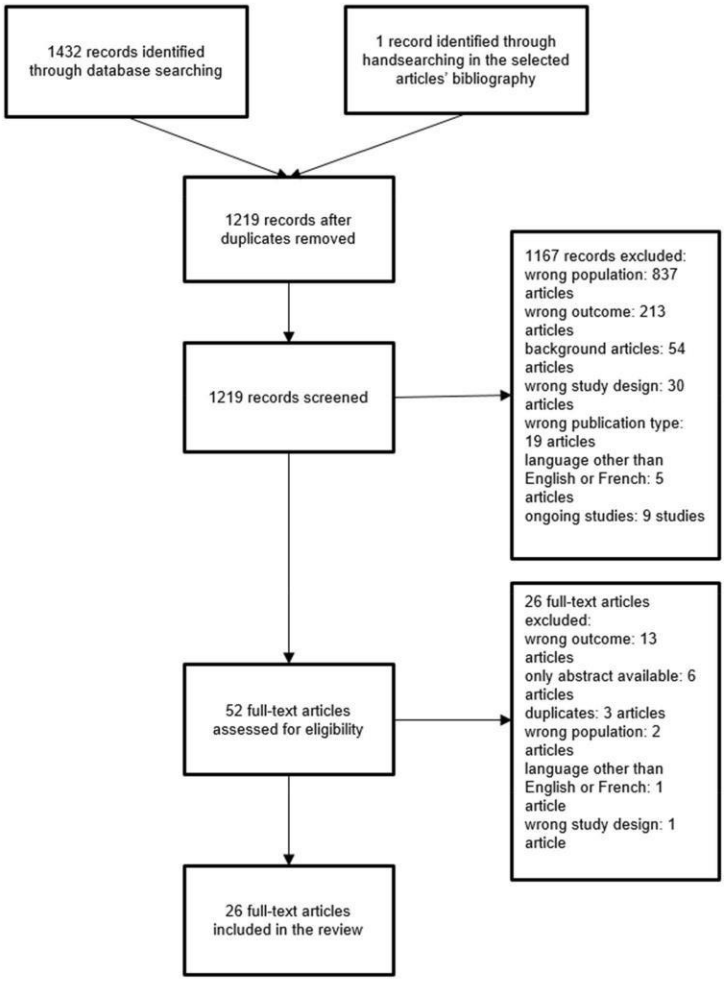
In total, 1433 articles were identified, and 214 duplicates were removed. Of the remaining 1219 articles, 1167 were excluded by screening. The reasons for exclusion were wrong population (837 articles), wrong outcome (213 articles), background articles (54 articles), wrong study design (30 articles), wrong publication type (19 articles), publication in a language other than English or French (5 articles: 1 in German, 1 in Japanese, and 3 in Mandarin Chinese), and ongoing investigation (9 articles). The full-text versions of 52 articles were assessed for eligibility, and 26 articles were excluded. The reasons for exclusion were wrong outcome (13 articles), publication as an abstract only (6 articles), duplicate publication (3 articles), wrong population (2 articles), publication in a language other than English or French (1 article in Mandarin Chinese), and wrong study design (1 article). Therefore, 26 full-text articles were included in this review (Fig. 1); 5 described patients with traumatic brain injuries (TBIs), 17 described patients with ABIs (various aetiologies), and 4 described patients with stroke.

There were two types of study design. In total, 9 studies assessed a predefined PF (7 for patients with ABIs, 1 for patients with TBIs, and 1 for patients with stroke), whereas 17 studies sought to identify PFs among many variables (10 for patients with ABIs, 4 for patients with TBIs, and 3 for patients with stroke). One of these 26 articles described a population of patients with ABIs but included a subgroup analysis for patients with stroke (Reverberi et al., 2018). Consequently, this study is described in both the ABI and stroke subgroups [20].

Among the 26 included studies, there were 15 retrospective monocentric observational studies, 8 prospective monocentric observational studies, 1 retrospective monocentric case–control observational study, 1 retrospective multicentric observational study, and 1 prospective multicentric observational study. According to the QUIPS tool, 10 articles had a low RoB, 10 articles had a moderate RoB, and 6 articles had a high RoB. Our interrater agreement was 65% after the first blinded round. Rating was different between the 2 reviewers for 9 articles. However agreement was found by consensus for all the articles.

The complete results are described in Table 1, where articles are first classified according to the population studied (TBI, ABI, or stroke), then classified according to the study design used (assessment of a predefined PF or identification of PFs among many variables). Hazard ratio (HR), odd ratio (OD), 95% confidence interval (CI), positive and negative likelihood ratio, sensitivity and specificity are reported when available. Complete RoB are reported in Table 2.

Fig. 1 Flow chart



Discussion

In this systematic review, we describe intrinsic and extrinsic PFs. Intrinsic PFs may be subdivided into PFs present before the ABI and PFs present only after the ABI. Only one extrinsic PF was identified; it was present only after the ABI.

Intrinsic PFs Present Before ABI

Age

Younger age is reportedly a PF for decannulation in 10 studies, including 7 from the ABI subgroup [15–21] and 4

Table 1 Results

Population	Study type	Authors/publication year	Study design	*N*	Predictive factors	Principal results	Risk of bias analysis (QUIPS tool)
Traumatic brain injury (TBI)	Identification of PFs among many variables	Jenkins et al. [8]	- Retrospective observational study	79	- Demographic and admission variables (e.g., BMI), comorbidity, TBI mechanism, GCS) - Patient's clinical variables (e.g., acute kidney failure, operating room trip, craniectomy, time with tracheostomy) - Stratification between decannulation prior to 90 days and after, and between variables present by hospital day 7 and prior to tracheostomy	PFs for lower likelihood of decannulation present on hospital day 7 prior to tracheostomy: - Diabetes (HR = 0.15; 95% CI (0.03–0.84); $p = 0.03$) - Acute kidney failure prior to day 7 (HR = 0.06; 95% CI (0.01–0.48); $p = 0.01$) - Craniotomy (HR = 0.25; 95% CI (0.06–1.02); $p = 0\ 05$) PFs for lower likelihood of decannulation present at any time during hospitalisation: - Reintubation (HR = 0.07; 95% CI (0.008–0.64); $p = 0.02$) - Aspiration (HR = 0.01; 95% CI (0.0–0.29); $p = 0.01$) - Craniotomy (HR = 0.00; 95% CI (0.0–0.39); $p = 0.02$) - Increased ventilator days after tracheostomy (HR = 0.74; 95% CI (0.572–0.947); $p = 0.02$) - Acute kidney injury (HR = 0.00; 95% CI (0.0–0.21); $p = 0.01$) PFs for higher likelihood of decannulation: - Increased age (HR = 1.12; 95% CI (1.008–1.214); $p = 0.03$) GCS at admission is not a PF for decannulation ($p = 0.88$)	Moderate
		Nowak et al. [14]	- Prospective observational study - No statistics available, only descriptive data	72	- Type of laryngeal and tracheal pathology found at endoscopy - Duration of intubation with endotracheal tube, tracheostomy tube, or both - Use of steroids and antibiotics during initial phases of management - Use and duration of a ventilator - Cognitive level at the time of decannulation - Cognitive function and airway outcome at 1-year follow-up examination	PFs for increased risk of mortality after decannulation: - RLAS level II and III PFs for longer time with tracheostomy: - Severe (laryngeal and tracheal) finding at endoscopy	High
		Klingbeil [17]	- Retrospective observational study - No statistics available, only descriptive data	44	Not clearly explained, descriptive article concerning retrospective study	PFs for no decannulation: - Injury severity - Tracheomalacia/tracheal stenosis PFs for failed decannulation: - Recurrent pneumonia - Palatal seizure - Laryngeal granulation - Tracheal stenosis	High

Table 1 (continued)

Population	Study type	Authors/publication year	Study design	*N*	Predictive factors	Principal results	Risk of bias analysis (QUIPS tool)
		Zanata et al. [15]	Prospective observational study	20	- Sex - GCS - Respiration (tube characteristic, cuff state) - Tracheal secretions (quality and quantity) - Phonation - Swallowing (clinical assessment, FOIS) - Coughing	PFs for decannulation: - Higher GCS - Tolerating tube capping - Low level of secretions - Absence of thick or yellowish secretions - Phonation - Absence of aspiration - Coughing	High
	Evaluation of predefined PFs	Ringrose et al. [39]	Retrospective observational study	51	PF: PSH vs no PSH	PSH associated with longer tracheostomy weaning	Moderate
Brain injury	Identification of PFs among many variables	Hakiki et al. [33] decannulation after severe ABI	- Retrospective observational study	351	Statistical analysis of 2 models (differences between the 2 models listed below are in italic) Model 1 - Aetiology - Presence of comorbidities - Pulmonary infection - Mechanical ventilation at admission - Tracheal alteration - Sepsis - FOIS at admission - *GCS at admission* - *CRS-r at admission* - Time between acute event and admission - LOS Model 2 - Aetiology - Presence of comorbidities - Pulmonary infections - Mechanical ventilation at admission - Tracheal alteration - Sepsis - FOIS at admission - *GCS < 8 or GCS > 8* - *Clinical state based on the CRS-r (i.e. E.MC, UWS, MCS)* - Time between acute event and admission - LOS	PFs for decannulation failure: - Sepsis (model 1: p = 0.001; HR, 0.526 and model 2: $p < .001$; HR, 0.448) - Tracheal alterations (model 1: $p = 0.004$; HR, 0.526; 95% CI (0.374–0.831) and model 2: $p = 0.013$; HR, 0.607; 95% CI (0.409–0.901)) - CRS-r at admission (model 1: $p = 0.001$; HR, 1.051; 95% CI (1.021–1.082)) - GCS < 8 at admission (model 2: $p = 0.040$; HR, 0.615; 95% CI (0.387 -0.978)) - E-MCS ($p = 0.006$; HR, 2.159; 95% CI (1.245 -3.745)) - MCS at admission ($p < 0.001$; HR, 2.617; 95% CI (1.584–4.324)) - Pulmonary infection (model 1: $p < 0.001$; HR, 0.302; 95% CI (0.199 -0.459) and model 2: $p < .001$; HR, 0.312; 95% CI (0.207–0.468)) PFs for delayed decannulation: - Pulmonary infection - Tracheal alteration - Sepsis PFs for shorter time to decannulation: - E-MCS and MCS vs UWS	Low
		Woo et al. (1989)	Prospective observational study	50	- Age - Type of injury - GCOS - Patient's ability to swallow - Duration of tracheostomy - Presence of glottic sensation	PFs for decannulation: - Higher GCOS level - Injury type (TBI > anoxia or cerebral bleeding) - Younger age	High

Table 1 (continued)

Population	Study type	Authors/publication year	Study design	*N*	Predictive factors	Principal results	Risk of bias analysis (QUIPS tool)
		Heidler et al. (2018)	- Prospective multicentric observational study	470	- Sociodemographic and clinical data (relevant neurological and internal diseases) - Duration of mechanical ventilation, tracheostomy technique, and nutrition - CRS-r - Early Rehabilitation Barthel Index - Bogenhausener Dysphagia Score - Complications during the decannulation and rehabilitation periods (pneumonia, sepsis, laryngeal oedema, tracheal stenosis, tracheomalacia)	PFs for increased likelihood of decannulation: - Dilatational tracheostomy technique (OR 1.66; 95% CI (1.17–2.35); $p=0.005$) - Oral diet (OR 3.80; 95% CI (2.00–7.21); $p<0.001$) - Higher alertness (CRS-r) (OR 3.07 per 7.18 CRS-R points; 95% CI (2.47–3.83); $p<0.001$) PFs for reduced likelihood of decannulation: - Age (older) (OR 0.68 per SD = 12.9 years; 95% CI (0.55–0.82); $p<0.001$) - Male (OR 0.68; 95% CI (0.36–0.78); $p=0.001$) - Longer mechanical ventilation (OR 0.57 per 33.2 days; 95% CI (0.45–0.70); $p<0.001$) - CIPN/M (OR 0.66; 95% CI (0.44–1.00); $p=0.049$) - Cardiac disease (especially chronic) (OR 0.5; 95% CI (0.32–0.78); $p=0.002$) - Pneumonia (OR 0.32; 95% CI (0.19–0.51); $p<0.001$) - Sepsis (OR 0.34; 95% CI (0.18–0.63); $p=0.001$) - Other complications (OR 0.18; 95% CI (0.10–0.32); $p<0.001$)	Low
		Mortensen et al. [30]	- Retrospective observational study	574	PFs chosen a priori by an expert panel depending on relevance and availability of hospital records: - Age (age groups: < 18, 18–40, 41–65, and > 65 years) - ABI diagnosis (stroke (ischaemic or haemorrhagic), TBI, SAH, encephalopathic brain injury, other injuries - Weeks from injury until admission to rehabilitation - EFA score	PFs for increased likelihood of successful decannulation: - Age < 18 years (generally younger age) (OR 4.23; 95% CI (2.36–7.52); $p<0.001$) - EFA score of 61–100 with swallowing function at admission (OR 4.67; 95% CI (2.96–7.38); $p<0.001$)	Low
		Lanini et al. [10]	Prospective observational study	194	- Sex - Age - GCS on admission - Cause of sABI (post-traumatic, post-anoxic, vascular, other) - Origin of patient (general, neurological, or cardiovascular ICU) - ICU LOS - Days from tracheostomy to rehabilitation unit - LOS in rehabilitation unit FBS was performed and tracheal lesions were treated if necessary	PFs for decannulation: - Younger age - Higher GCS on admission - Male - Shorter ICU LOS Reasons for decannulation failure: - Severe dysphagia with inability to manage oral secretions in 34 patients (47%) - Occurrence of acute events that prematurely stopped rehabilitation program in 22 patients (31%) - Late tracheostomy complications in 11 patients (15%) - Ineffective cough in 5 patients (7%) Decannulation failure is rarely caused by tracheal lesions	Moderate

Table 1 (continued)

Population	Study type	Authors/publication year	Study design	*N*	Predictive factors	Principal results	Risk of bias analysis (QUIPS tool)
		Mackiewicz-Nartowicz et al. [19]	Retrospective observational study	127	- Age - Sex - Aetiology (stroke, brain injury or cardiac arrest) - GCS in cases of trauma - Duration of tracheostomy - Tracheostomy complications - Concomitant diseases - Respiratory tract bacterial colonisation	PF for decannulation: - Age < 40 years PF for decannulation difficulties: - Longer time with tracheostomy	High
		Perin et al. (2017)	Retrospective observational study	45	- Age - Sex - BMI - GCS - ABI aetiology (stroke, trauma, cardiac arrest) - Date of pathological event - Gap between index event and first day of hospitalisation - LOS in neurorehabilitation - Comorbidities - Chest morphological alteration - Type of tracheostomy tube used (overall dimensions, cap, fenestration) - SpO_2 - Presence and quantity of pulmonary secretions - MIP - MEP - Respiratory frequency and pattern - Cardiac frequency - Presence of spontaneous cough - Cough strength Blood gas analysis	PFs for decannulation: - TBI > stroke > anoxic - Presence of cough (OR 6.769; CI 95% (1.24–36.84) - Presence of spontaneous cough (OR 10; CI 95% (1.86–53.75) No effect of GCS No statistical effect of respiratory secretions, but these were considered principal reason for no decannulation	High
		Lui et al. [35]	Retrospective observational study	131	- Age - Sex - GCS - Pupil size on admission - Disease - Neurosurgical intervention - Timing of tracheostomy - Past medical history of pulmonary diseases cardiovascular diseases - Smoking status - Post-tracheostomy vocal cord status - Pneumonia with positive sputum culture within 1 month after tracheostomy	PFs for difficult decannulation group TW > 3 months: - Low GCS on admission - Presence of vocal cord palsy at 3 months - Presence of pneumonia within 1 month after tracheostomy	Moderate

Table 1 (continued)

Population	Study type	Authors/publication year	Study design	*N*	Predictive factors	Principal results	Risk of bias analysis (QUIPS tool)
		Mannini et al. [11]	Retrospective observational study	327	- Demographic data (age, sex) - Clinical data (aetiology, lesion localisation, time from onset, BMI, comorbidities) - FIM - FOIS - CRS-r - GCS - LCF - DRS - Vital support (nasogastric feeding tube, enteral nutrition, mechanical ventilation) - CIPN/M - Tracheal alterations The entire study used a data-driven approach to evaluate decannulation probability and timing based on ensemble learning models	PFs for increased likelihood of decannulation: - Younger age (OR 0.97; 95% CI (0.95–0.99); $p < 0.001$) - Female sex (OR 0.61; 95% CI (0.38–0.97); $p < 0.05$) - Higher CRS-r (OR 1.09; 95% CI (1.05–1.09); $p < 0.001$) - Higher GCS (OR 1.12; 95% CI (1.05–1.20); $p < 0.001$) - Higher FIM (OR 1.09; 95% CI (1.0–1.15); $p < 0.001$) - Higher LCF (OR 1.50; 95% CI (1.23–1.84); $p < 0.001$) - Lower DRS (OR 0.90; 95% CI (0.86–0.94); $p < 0.001$) - Lower DRS disability index (OR 0.58, 95% CI (0.47–0.72); $p < 0.001$) - Supratentorial lesion (OR 3.29; 95% CI (1.33–8.06); $p < 0.05$) - Absence of UWS (OR 0.25; 95% CI (0.15–0.43); $p < 0.001$) - Nasogastric tube (OR 4.65; 95% CI (1.82–11.76); $p < 0.001$) PFs for decreased likelihood of decannulation: - PEG (OR 0.20; 95% CI (0.07–0.55); $p < 0.01$) PFs for longer time to decannulation: - Older age - Higher BMI - Low LCF - Low FOIS - Low GCS - Low CRS-r - Low FIM - Presence of nasogastric feeding tube - Need for mechanical ventilation at admission - UWS - Haemorrhagic aetiology PFs for shorter time to decannulation: - Traumatic aetiology - Supratentorial lesions - PEG - E-MCS When the algorithm was used, decannulation was successfully predicted with an accuracy of 84.8% (AUC = 0.85) and timing was successfully estimated with a median absolute error of 25.7 days (IQR = 25.6)	Low

Table 1 (continued)

Population	Study type	Authors/publication year	Study design	*N*	Predictive factors	Principal results	Risk of bias analysis (QUIPS tool)
		Reverberi et al. [28]	Retrospective observational study	463	- Demographics - Date of onset and pathogenesis of brain lesion (anoxia, stroke, trauma, other causes) - Presence of vegetative status or minimal consciousness state - Saliva aspiration - Voluntary and reflex cough - FOIS	PFs for decannulation: - TBI > other causes > stroke > anoxic (OR 1.70; 95% CI (1.20–2.43); $p = 0.003$) - No vegetative state (OR 4.45; 95% CI (1.61–12.34); $p = 0.004$) - Efficient cough (voluntary + reflex > voluntary > reflex > none). (OR 1.56; 95% CI (1.14–2.15); $p = 0.006$) - Age tertile (OR 1.84; 95% CI (1.19–2.83); $p = 0.006$) - Saliva aspiration (OR 3.22; 95% CI (1.63–6.38); $p = 0.001$) Creation of DecaPreT tool: a small set of variables was included (age, pathogenesis of ABI, saliva aspiration, voluntary and reflex cough, and consciousness level). The ROC AUC of DecaPreT was 0.836	Moderate
	Evaluation of predefined PFs	Chan et al. [29]	Prospective observational study	32	Principal PF: - IPCF Secondary PFs: - GCS - Secretion volume	PFs for successful decannulation: - IPCF with 29 L/min threshold: positive predictive value, 78.3%; sensitivity, 85.7%; specificity, 54.5% (OR 1.12; 95% CI (1.02–1.23); $p = 0.02$) No effect of GCS and secretion volume	Moderate

Table 1 (continued)

Population	Study type	Authors/publication year	Study design	*N*	Predictive factors	Principal results	Risk of bias analysis (QUIPS tool)
		Enrichi et al. [32]	Prospective observational study	74	8 PFs based on Santus guidelines: - Voluntary cough - Cough reflex test - 72-h tube capping - Swallowing, instrument assessment using PAS - Blue-dye test - Number of tracheal inhalations - Instrument assessment of airway patency - $SpO_2 > 95\%$ in ambient air - GCS ≥ 8 - Airway patency cluster (tube capping plus airway patency, instrument assessment) - Dysphagia cluster (blue-dye test plus swallowing, instrument assessment) - Clinical cluster (dysphagia cluster plus airway patency cluster)	PFs for decannulation: best values for sensitivity and specificity: - Tracheostomy tube capping (sensitivity, 80%; specificity, 100%; +LR NR; −LR 0.20 (0.08–0.48); $p = 0.001$; OR ∞) - Swallowing, instrument assessment using PAS ≤ 5 (sensitivity, 85%; specificity, 96.3%; +LR 22.95 (5.82–90.04); −LR 0.16 (0.05–0.44); $p = 0.001$; OR 122.90) - Number of tracheal suctions (≤2 every 8 h) (sensitivity, 70%; specificity, 92.6; +LR 9.45 (3.52–25.32); −LR 0.32 (0.16–0.63); $p = 0.001$; OR 26.94) - Blue-dye test (sensitivity, 65%; specificity, 85.1%; +LR 4.38 (2.14–8.97); −LR 0.41 (0.22–0.75); $p = 0.001$; OR 10.22) High specificity but low sensitivity: - Cough reflex test (sensitivity, 25%; specificity, 98%; +LR 13.50 (1.67–108.58); −LR 0.76 (0.59–0.98); $p = 0.001$; OR 16.83) - $SpO_2 > 95\%$ (sensitivity, 65%; specificity, 81.5%; +LR 3.51 (1.84–6.69); −LR; 0.43 (0.23–0.79); $p = 0.001$; OR 5.84) - GCS ≥ 8 (sensitivity, 55%; specificity, 92.6%; +LR 7.42 (2.67–20.65); −LR 0.48 (0.29–0.79); $p = 0.001$; OR 14.46) High sensitivity but low specificity: - Voluntary cough (sensitivity, 85%; specificity 31%; +LR 1.2 (0.95–1.66); −LR 0.47 (0.15–1.45); $p = 0.23$; OR 2.60) - Swallowing, instrument assessment using PAS = 1 (sensitivity, 85%; specificity 96.3; +LR 1.27 (0.98–1.66); −LR 0.45 (0.15–1.36); $p = 0.15$; OR 2.80) - Airway patency instrumental assessment (lumen ≥ 50%) (sensitivity, 100%; specificity, 30%; +LR NR; −LR 0.70; $p = 0.001$; OR ∞) . Airway patency cluster had high sensitivity (94.1%) and specificity (94.7%) (+LR 17.88 (5.91–54.14), −LR 0.06 (0.01–0.42); $p = 0.001$; OR ∞) Dysphagia cluster had high sensitivity (94.4%) and specificity (81.8%) (+LR 5.19 (2.93–9.2); −LR 0.07 (0.01–0.46); $p = 0.001$; OR 26.48). Decannulation clinical cluster had sensitivity of 100% and specificity of 82.5% (+LR 5.75 (3.25–10.01); −LR NR; $p = 0.01$; OR ∞)	Low

Table 1 (continued)

Population	Study type	Authors/publication year	Study design	*N*	Predictive factors	Principal results	Risk of bias analysis (QUIPS tool)
		Leto et al. (2021)	Retrospective observational study	273	Use of revised DecaPreT tool (Reverberi, 2018) with new PFs: - Age at time of injury - CRS-r - ICU LOS	Probability of safe decannulation with an AUC of approximately 90% using new model	Low
		Bellon et al. (2022)	Retrospective observational case–control study	44	PF: DOC improvement assessed with CRS-r	PF for decannulation: - Patients with DOC improvements were 11-fold more likely to be decannulated, compared with patients who lacked such improvements (OR 11.28; 95% CI (1.96–123.08); $p = 0.002$)	Low
		Haikki et al. [33] polyneuropathy	Retrospective observational study	224	PF: CIPN/M	PF for delayed decannulation: - CIPN/M (presence of CIPN/M did not influence decannulation success)	Low
		Huang et al. [41]	Retrospective observational study	143	PF: early tracheostomy (day 1–10) vs late tracheostomy (after day 10) (infratentorial lesions only)	PFs for early decannulation: - Early tracheostomy (HR, 0.5; 95% CI 0.4–0.8; $p = 0.003$) - Tracheostomy caused by airway problems (HR, 0.42; 95% CI 0.28–0.63; $p < 0.001$) - No respiratory adverse events (HR, 1.78; 95% CI 1.22–2.60; $p = 0.003$)	Moderate
		Mitton et al. (2017)	Retrospective observational study	106	PF: lesion localisation: supratentorial vs infratentorial	PFs for unsuccessful decannulation: - Infratentorial lesion (no difference in time to decannulation between groups) - Excessive secretion load - Recurrent aspiration pneumonia PFs for delayed decannulation: - Oropharyngeal secretion management - Respiratory infection - Respiratory secretion management	Moderate
	Identification of PFs among many variables	Park and Lee [21]	Prospective observational study	101	VFSS (with FDS and PAS), PCF	PFs for successful decannulation: - Improvement in swallowing and cough - FDS total - FDS pharyngeal - PAS - K-MMSE - KMBI - PCF	Moderate

Table 1 (continued)

Population	Study type	Authors/publication year	Study design	*N*	Predictive factors	Principal results	Risk of bias analysis (QUIPS tool)
		Schneider et al. [23]	Prospective observational study	53	- Demographics - Comorbidities - NIHSS at admission - GCS - mRS - Brain imaging data (CT) - MRI - Lesion type (ICH, IS, SAH) - Lesion level (supratentorial or infratentorial) - Lesion location (left hemisphere, right hemisphere, or bilateral/central) - ACS - SET score on day of tracheostomy - Tracheostomy method - Experience of intensivists/surgeons performing tracheostomy - Tracheostomy-related procedural and early complications - mRS and Barthel index scores at 3 and 12 months - Patient care status (hospital, rehabilitation clinic, home, nursing home) - Mechanical ventilation - Complications with tracheostomy - Cannulation status - Stoma status	PFs for decannulation: - Younger age (HR 0.95; 95% CI (0.91–0.98); $p = 0.002$) - Absence of sepsis (HR 4.43; 95% CI (1.33–14.79); $p = 0.008$)	Low
		Reverberi et al. [28]	Retrospective observational study	463 (stroke subgroup $n = 245$)	PF analysis for stroke subgroup: - Demographics - Brain lesion date of onset - Pathogenesis (classified as anoxia, stroke, trauma, and other causes) - Vegetative status - Minimal consciousness state - Saliva aspiration - Voluntary and reflex cough - FOIS	PFs for successful decannulation: - Younger age (OR 1.94; 95% CI (1.28–2.93); ($p = 0.002$)) - No saliva aspiration (OR 3.29; 95% CI (1.75–6.20); $p < 0.001$) - No vegetative status (OR 10.22; 95% CI (2.98–35.13); $p < 0.001$)) Efficient cough (OR 1.71; 95% CI (1.26–2.33) per each point increase in the coughing score ($p = 0.001$)) With these parameters, the ROC AUC of DecaPreT was 0.773	Moderate

Table 1 (continued)

Population	Study type	Authors/publication year	Study design	*N*	Predictive factors	Principal results	Risk of bias analysis (QUIPS tool)
		Küchler et al. [22]	Retrospective observational study	87	PFs: - Age - Sex - WFNS grade - Fisher grade - Presence of intracerebral or intraventricular haematoma - Acute hydrocephalus - Aneurysm location - Aneurysm obliteration (surgical vs endovascular) - Treatment-related complications - Decompressive craniectomy - Symptomatic CVS - Vasospasm-related infarction - Timing of tracheostomy - Pre-existing chronic lung disease - Pneumonia - mRS	PFs for delayed decannulation: - Older age (HR 2.11; 95% CI (1.22–3.64); $p=0.007$)) - WFNS grade IV–V (HR 2.04; 95% CI (1.11–3.74); $p=0.022$)) - Decompressive craniotomy (HR 2.16; 95% CI (1.23–3.77); $p=0.007$)) - Occurrence of pneumonia (HR 2.00; 95% CI (1.18–3.42); $p=0.011$)) PF for decannulation failure: - WFNS grade IV–V	Moderate
	Evaluation of predefined PFs	Gessler et al. [42]	Retrospective multicentric observational study	148	Principal PF: - Early (day 1–7) vs late (day 8–20) tracheostomy	PF for shorter decannulation: - Early tracheostomy (HR 0.5; 95% CI (0.31–0.79); $p=0.03$)) PFs for delayed decannulation: - Age > 65 years (HR 4.02; 95% CI (1.95–8.26); $p<0.001$)) - CVS (HR 1.65; 95% CI (1.03–2.63); $p=0.04$))	Low

ABI acquired brain injury, *ACS* airway care score, *AUC* area under the curve, *BMI* body mass index, *CI* confidence interval, *CIPN/M* critical illness polyneuropathy/myopathy, *CRS-r* Coma Recovery Scale-revised, *CT* computed tomography, *CVS* cerebral vasospasm, *DOC* disorder of consciousness, *DRS* Disability Rating Scale, *EFA* early functional abilities, *E-MCS* emergence from minimal consciousness state, *FBS* flexible bronchoscopy, *FDS* Functional Dysphagia Scale, *FIM* Functional Independence Measurement, *FOIS* Food Oral Intake Scale, *GCOS* Glasgow Coma Outcome Scale, *GCS* Glasgow Coma Scale, *HR* hazard ratio, *ICH* intracerebral haemorrhage, *IPCF* induced peak cough flow, *ICU* intensive care unit, *IQR* interquartile range, *IS* ischaemic stroke, *KMBI* Korean Modified Barthel Index, *K-MMSE* Korean Mini Mental State Examination, *LCF* level of cognitive functioning, *LOS* length of stay,—*LR* negative likelihood ratio, + *LR* positive likelihood ratio, *MCS* minimal consciousness state, *MEP* maximum expiratory pressure, *MIP* maximum inspiratory pressure, *MRI* magnetic resonance imaging, *mRS* modified Rankin Scale, *NIHSS* National Institutes of Health Stroke Score, *NR* not reported; *OR* odd ratio, *PAS* Penetration–Aspiration Scale, *PCF* peak cough flow, *PEG* percutaneous endoscopic gastrostomy, *PF* predictive factor, *PSH* paroxysmal sympathetic hyperactivity, *QUIPS* Quality in Prognosis Study, *RLAS* Rancho Los Amigos Scale, *ROC* receiver operating characteristic, *sABI* severe acquired brain injury, *SAH* subarachnoid haemorrhage, *SET* stroke-related early tracheostomy, *TBI* traumatic brain injury, *TW* tracheostomy weaning, *UWS* unresponsive wakefulness state, *VFSS* video fluoroscopic swallowing studies, *WFNS* World Federation of Neurosurgical Surgeons

Table 2 Complete RoB: low RoB are written en Italics, moderate RoB are written in Underline, high RoB are written in Bold

	Study participation	Study attrition	Prognosis factor measurement	Outcome measurement	Study confounding	Statistical analysis and reporting	Overall rating bias
Jenkins et al. [8]	*Low*	Moderate	*Low*	Moderate	Moderate	*Low*	Moderate
Nowak et al. [14]	*Low*	Moderate	**High**	**High**	Moderate	*Low*	**High**
Klingbeil [17]	*Low*	Moderate	**High**	**High**	**High**	**High**	**High**
Zanata et al. [15]	Moderate	**High**	Moderate	**High**	**High**	*Low*	**High**
Ringrose et al. [39]	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate
Hakiki et al. [33] Decannulation after severe ABI	*Low*	*Low*	*Low*	*Low*	*Low*	*Low*	*Low*
Woo, Kelly, Krishner (1986)	Moderate	**High**	**High**	Moderate	Moderate	Moderate	**High**
Heidler et al. (2018)	*Low*	*Low*	*Low*	*Low*	Moderate	*Low*	*Low*
Mortensen et al. [30]	Moderate	Moderate	*Low*	Moderate	*Low*	*Low*	*Low*
Lanini et al. [10]	Moderate	*Low*	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate
Mackiewicz-Narkowicz et al. [19]	**High**	**High**	**High**	**High**	**High**	**High**	**High**
Perin et al. (2017)	Moderate	**High**	Moderate	Moderate	**High**	*Low*	**High**
Lui et al. [35]	*Low*	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	*Low*	Moderate
Mannini et al. [11]	*Low*	*Low*	*Low*	Moderate	*Low*	*Low*	*Low*
Reverberi et al. [28]	*Low*	*Low*	*Low*	Moderate	Moderate	*Low*	Moderate
Chan et al. [29]	*Low*	Low	Moderate	**High**	Moderate	*Low*	Moderate
Enrichi et al. [32]	*Low*	*Low*	*Low*	Moderate	Moderate	*Low*	*Low*
Leto et al. (2021) low	*Low*	Moderate	*Low*	*Low*	*Low*	*Low*	*Low*
Bellon et al. (2022)	*Low*	Moderate	*Low*	Moderate	Moderate	*Low*	*Low*
Hakiki et al. [33] polyneuropathy	*Low*	*Low*	*Low*	*Low*	*Low*	*Low*	*Low*
Huang et al. [41]	Moderate	Moderate	*Low*	Moderate	Moderate	*Low*	Moderate
Mitton et al. (2017)	*Low*	Moderate	Moderate	Moderate	*Low*	*Low*	Moderate
Park and Lee [21]	*Low*	**High**	Moderate	*Low*	Moderate	*Low*	Moderate
Schneider et al. [23]	*Low*	Moderate	*Low*	Moderate	*Low*	*Low*	Low
Küchler et al. [22]	*Low*	Moderate	*Low*	**High**	Moderate	*Low*	Moderate
Gessler et al. [42]	*Low*	*Low*	*Low*	**High**	*Low*	*Low*	*Low*

from the stroke subgroup [20–24]. Younger age is usually associated with better overall health and fewer comorbidities. Notably, there is no definitive cut-off for age, although Küchler et al. and Gessler et al. proposed that ages > 60 years or 65 years, respectively, should be used as cut-offs for delayed decannulation [23, 24].

In contrast, one study of patients with TBIs found that older age was a PF for decannulation [8]. The authors hypothesised that this observation was related to the small number of physicians who performed tracheostomies on younger patients. Moreover, the study cohort lacked geriatric patients, which may have been influenced by the demographic characteristics of patients with severe TBIs (i.e., frequently younger men: 55% are 0–44 years old, whereas 29% are ≥ 65 years old) [9]. Moreover, fewer tracheostomies are performed on older patients with TBIs because of the higher risk associated with the procedure in patients who are aged ≥ 65 years (72% mortality) [9]. Thus, older patients

with tracheostomies may have better overall health or less severe TBIs.

Sex

The effect of sex was evaluated in 11 studies, and no effect was observed in 8 studies [8, 15, 20, 22, 23, 25, 27, 28]. Only one study found that male sex was a PF for decannulation [10], whereas two studies found that male sex was a PF for less frequent decannulation [16, 19]. However, selection bias may have been responsible for these observations because most patients were male in these studies (Heidler et al., 68%; Mannini et al., 64%; and Lanini et al., 63%).

Body Mass Index

Body mass index was evaluated in three studies; it was a PF for delayed decannulation in one study [11] but had no effect in two studies [25, 27]. A high body mass index can impair respiratory function and have a negative impact on tracheostomy weaning.

Intrinsic PFs Present Only After ABI

Neurological Status

In total, 14 studies found that a higher neurological status was the most important PF for decannulation [8, 9, 16, 18, 20, 23, 24, 28–34]. This finding is not surprising because swallowing is strongly dependent on neurological control [35–37]. Central lesions can impair swallowing centres in the brainstem or modulators in the cerebral hemispheres [12]. Moreover, diffuse lesions can severely impair alertness; therefore, dysphagia may occur regardless of whether swallowing centres are intact [13].

There is no consensus regarding the method for measurement of neurological status. Therefore, various scales were observed among studies in this review (see supplemental file 1 for a complete description of all the scales reported in this review).

In the TBI subgroup, Nowak et al. used the Rancho Los Amigos Scale (RLAS), a cognitive behavioural scale designed to evaluate patients with ABIs who are recovering from comas [14]. The RLAS used in Nowak et al. is the first iteration and comprises 8 levels: I No response to deep pain stimulus; II Generalized response to deep pain stimulus; III Localized response to deep pain stimulus; IV Confused, agitated; V Confused, inappropriate, not agitated; VI Confused, appropriate; VII Automatic, appropriate; VII Purposeful, appropriate. Jenkins et al. and Zanata et al. used the Glasgow Coma Scale (GCS) at admission [8] and at the latest assessment [15], respectively. The GCS is probably the most widely used behavioral scale used to assess the severity of TBI at the acute phase. It is composed of 3 subscale scores (eye-opening, verbal and motor). The total score is ranging from 3 to 15 (scores of 3–8 indicating a severe injury, 9–12 a moderate injury, and 13–15 a mild injury) [16]. Klingbeil did not report any scale [17]. In one study, craniotomy was a PF for a lower likelihood of decannulation [8]. Craniotomy may be associated with a worse neurological status because this surgical procedure is performed on patients with intracranial hypertension [18]. Conversely, Jenkins et al. found that GCS score at admission was not a PF for decannulation, presumably because of the many confounders involved at that time, such as the use of sedation [8].

In the ABI subgroup, the following scales were used: Coma Recovery Scale-revised (CRS-r) (at admission or later) in five studies [16, 19, 31, 33, 41], GCS (at admission or later; cut-off, GCS < 8) in eight studies [9, 15, 18, 19, 27, 28, 31, 42], and level of cognitive functioning (LCF) in one study [11]. Moreover, functional scales were used to assess disabilities related to the severity of ABIs. These included the Glasgow Coma Outcome Scale (GCOS), the Functional Independence Measurement (FIM), the Disability Rating Scale (DRS), and the Early Functional Abilities (EFA) scale. Better functional status was a PF for decannulation in three studies [17, 19, 21]. Improvements in the Disorders of Consciousness (DoC) or Emergence from Minimal Consciousness State (E-MCS) were also PFs for decreasing the time until decannulation [41]. However, three studies did not find that the GCS was a PF for decannulation [15, 27, 42]. This observation may be explained by the characteristics of each population: all patients with TBIs had a GCS score of < 6 at admission [19], or the correlation between a higher GCS and decannulation showed a tendency that failed to reach statistical significance [27, 42]. Importantly, the GCS was designed for patients with TBIs and may lack precision when applied to patients with ABIs (e.g. stroke). Therefore its use should be reserved for TBI patients. [16]. Conversely, the CRS-r was more reliable for predicting decannulation failure, difficulties, or delayed decannulation. The CRS-r is a standardized and validated assessment measure of the neurobehavioral status of brain-injured patients. It is also used to detect subtle improvements in disorders of consciousness [20]. It is composed of 6 subscales for assessment of oromotor, communication, auditory, visual, motor and alertness process. It is organized in 29 items. Patients can be rated between 0 (minimum score corresponding to an Unresponsible Wakefullness Syndrome (UWS) and 23 (maximum score, corresponding to a normal and complete conscious state) [20].

In the stroke subgroup, the results were less clear. Some of the indicators used were more relevant for the consequences or severity of a stroke (e.g., the Korean Mini Mental State Examination (K-MMSE) score, the Korean Modified Barthel Index (K-MBI), decompressive craniotomy, the

World Federation of Neurosurgical Societies (WFNS) scale, and the presence of cerebral vasospasm). The PFs associated with successful decannulation included a higher K-MMSE score, a higher K-MBI, and the absence of vegetative status [21]. PFs associated with delayed decannulation included decompressive craniotomy and cerebral vasospasm [23, 24]. One study found that a WFNS grade of IV–V was a PF for decannulation failure [22]. The GCS was only used in one of these studies [23] and was not a PF: the GCS score was higher in the decannulated group, but the difference was not statistically significant.

Lesion Localisation

Two studies [19] evaluated the impact of lesion localisation; they found that the presence of infratentorial lesions was a PF for decannulation failure, presumably because neurological control of swallowing is principally supported by brainstem structures [24]. Infratentorial lesions may damage these structures and impair swallowing.

Type of Lesion

Lesion type was a PF for decannulation failure in four studies [19–21, 27]. Patients who had lesions with traumatic rather than vascular causes were more likely to experience successful decannulation. Patients with anoxic lesions were least likely to experience successful decannulation, presumably because of the poor overall prognosis for anoxic patients [25].

Coughing

A strong cough was a positive PF in five studies [8, 18, 20, 27, 42]. Coughing protect the respiratory airway. When cough is impaired, patients experience a greater risk of pulmonary infections. Coughing clears the airway, but the vocal cords and inspiratory/expiratory muscles must exhibit sufficient function to maintain a strong cough [26]. An ABI can impair coughing [27] and increase the risk of pulmonary infections.

In the TBI subgroup, one study highlighted parameters associated with respiratory function that are assessed during tracheostomy weaning, including an effective cough, phonation, and the quality and quantity of tracheal secretions [15].

In the ABI subgroup, a strong cough was a PF for successful decannulation in three studies [20, 27, 42]. One study showed that a weak cough was a reason for decannulation failure [10]. Additionally, Reverberi et al. found that the combined presence of a voluntary cough and a reflex cough was a more reliable PF than the presence of a voluntary cough alone, followed by the presence of a reflex cough alone; the absence of coughing was a poor PF for decannulation [28]. The strength of a voluntary cough can be measured using a peak cough flow (PCF); a cut-off of 160 L/min has been proposed [7, 11]. However, this value is most relevant for patients with neuromuscular diseases, rather than patients with ABIs [2]. Moreover, reduced levels of alertness may hinder the assessment of a voluntary cough in patients with ABIs. Consequently, Chan et al. proposed the use of induced peak cough flow (IPCF) to assess cough strength [42] where the cough reflex is induced by touching the tracheal mucosa with a suction catheter through a tracheostomy tube; cough strength is recorded using an electronic peak flow meter. Chan et al. proposed a rather low peak flow rate threshold of 29 L/min [29].

In the stroke subgroup, two studies [20, 34] found that an effective cough was a PF for successful decannulation. To evaluate coughing, Park and Lee used the PCF measurement. However, only 31 of 101 patients were able to complete the measurement because of cognitive impairments [21]. This is similar with Chan et al. who proposed measuring IPCF because the assessment of PCF requires voluntary control [29]. Reverberi et al. emphasised the importance of an effective cough [20] for decannulation.

Swallowing

Effective swallowing was a positive PF in five studies [8, 18, 20, 27, 42]. Similar to an effective cough, effective swallowing protects the airway, whereas an impaired swallowing may increase the risk of pulmonary infections and thus decannulation failure.

In the TBI subgroup, one study highlighted parameters associated with swallowing function that are assessed during tracheostomy weaning: tube capping, safe swallowing (with no sign of aspiration), phonation, and the quality and quantity of tracheal secretions [15].

In the ABI subgroup, three studies found that effective swallowing was a PF for decannulation [9, 17, 18]. Lanini et al. reported that severe dysphagia and an inability to manage oral secretions resulted in decannulation failure in 34 patients (47%) [10]. Mortensen et al. assessed patients with different EFA scores combined with the swallowing item (i.e., 20–40 plus no swallowing, 20–40 plus swallowing, 41–60 plus no swallowing, 41–60 plus swallowing, 61–100 plus no swallowing, or 61–100 plus swallowing) [30]. They found that an EFA score of 61–100 combined with effective swallowing was a PF for successful decannulation. The EFA score is used to assess patients with severe disabilities, usually within the first 72 h after admission. It comprises 20 items in 4 categories (autonomic, oro-facial, sensorimotor and cognitive functions/abilities). More specifically the 6th and 7th items are referring respectively to the swallowing function and the tongue movements and chewing. The EFA total score is ranging from 20 to 100, higher scores

indicating better abilities. This score is a reliable tool to predict outcomes [31].

Enrichi et al. created a 'dysphagia cluster' comprising fibreoptic evaluation of swallowing using the Penetration–Aspiration Scale (PAS) score and a cut-off of ≤ 5 (i.e., swallowing difficulties with penetration but no aspiration), in combination with the blue-dye test (the positive criterion was the absence of a blue trace) [32]. Fibreoptic evaluation is used to assess penetration/aspiration and pharyngeal residues. The blue-dye test is used to assess aspiration alone. The two tests are complementary. The 'dysphagia cluster' exhibited 94.4% sensitivity and 81.8% specificity. Moreover Enrichi et al. also found that mild dysphagia, characterised by pharyngeal residues or penetration (PAS score, 2–5), was not a negative PF for decannulation [32]. Consequently, patients with mild dysphagia may benefit from decannulation. However, severe dysphagia is a negative PF for decannulation. Furthermore Enrichi et al. used clusters of clinical parameters to evaluate PFs for decannulation, including airway patency (tube capping and instrument assessment) and dysphagia (instrument assessment and the blue-dye test). Both clusters exhibited high specificity and sensitivity. The authors then combined these clusters (airway patency and dysphagia) to created the "clinical cluster", that had a sensitivity of 100% and a specificity of 82.5% [32]. This cluster was used to assess severe swallowing disorders and impaired airway patency, which can cause major problems during tracheostomy weaning.

In the stroke subgroup, two studies [20, 34] found that an effective swallowing was a PF for successful decannulation. Park and Lee evaluated improvements in swallowing using video fluoroscopic swallowing studies (VFSS), in combination with the Functional Dysphagia Scale (FDS) and the PAS [21]. Reverberi et al. emphasised the importance of the lack of saliva aspiration for decannulation, which was assessed using the blue-dye test [28].

Tracheal Lesions

Three studies, two involving patients with TBIs [29, 30] and one involving patients with ABIs [33], found that tracheal lesions were negative PFs for decannulation. Lesions such as granulomas, oedemas, and tracheomalacias may decrease airway patency [34], thereby hindering tracheostomy weaning (especially tube capping). However, one study [10] found that the presence of tracheal lesions rarely causes decannulation failure. In that study, only 11 of 194 patients could not be decannulated because of tracheal lesions that did not respond to treatment. However, tracheal lesions were present in 82% of the included patients. Therefore, lesions are very common, but the problem can usually be addressed by using a smaller cannula [2]. Enrichi et al. proposed an evaluation of airway patency based on tube capping and instrumental assessment [32]. However, they did not provide recommendations for the treatment of tracheal lesions or improvement of airway patency. One study found that vocal cord palsy was a PF for difficulties during decannulation [35]. Vocal cord palsy may be associated with aspiration, a weak cough, or decreased airway patency, leading to difficulties during tracheostomy weaning [12].

Pulmonary Infections

Five studies found that pulmonary infections were negative PFs for decannulation [16, 23, 28, 31]. In the ABI subgroup, pulmonary infections were PFs for decannulation failure, delayed decannulation, reduced likelihood of decannulation, and difficulties during decannulation in four studies [16, 28, 31]. Pulmonary infections can severely impair respiratory function, hindering tracheostomy weaning. Additionally, pulmonary infections may result from swallowing disorders [12]. Patients with severe swallowing disorders are more likely to develop pulmonary infections that make them ineligible for tracheostomy weaning and decannulation. Infection treatment alone may not ensure that these patients can be safely decannulated, and instrument-based swallowing evaluations may be necessary. In the stroke subgroup, one study found that pneumonia was a PF for delayed decannulation [22]. Another study found that the absence of sepsis was a PF for decannulation [23], whereas pneumonia was not. Although the difference was not statistically significant, there were more cases of pneumonia in the non-decannulated group (6 cases, $n = 34$) than in the decannulated group (1 case, $n = 19$). In total, there were only 7 cases of pneumonia in 53 patients. In the study by Küchler et al., 64 of 87 patients had pneumonia, including all patients in the non-decannulated group [22]. One explanation for this difference is that all patients in the first study had poor-grade subarachnoid haemorrhages. Indeed, Schneider et al. studied patients with severe stroke (median National Institutes of Health Stroke score, 32; interquartile range, 22.5–32) [23]. Nevertheless, the reason for the discrepancy between the two studies is unclear.

CIPN/M

Two studies found that CIPN/M was a PF for decreased likelihood of decannulation and for delayed decannulation [16]. Critical illness polyneuropathy (CIP), critical illness myopathy (CIM), or critical illness neuromyopathy (CINM) are different classifications of ICU-aquired weakness (ICU-AW). This condition is frequent in patients who survived to ICU stay with a prevalence of ~ 46%; 95% CI 43–49% [36]. It is 'a clinically detected weakness in critically ill patients in whom there is no plausible aetiology other than critical illness'. It is also considered to be an independent factor for

worse outcomes [37]. The presence of these critical illnesses can impair coughing, swallowing, and respiratory function, leading to difficulties during tracheostomy weaning. Nevertheless, CIPN/M is usually reversible. Therefore, Haikki et al. found that CIPN/M was a PF for delayed decannulation but not for decannulation failure [38].

Paroxysmal Sympathetic Hyperactivity (PSH)

In the TBI subgroup, one study found that PSH was a PF for delayed decannulation but was not associated with decannulation failure [39]. PSH frequently occurs in patients with TBIs [39]. These parasympathetic disorders (e.g., tachypnoea and tachycardia) can lead to difficulties during tracheostomy weaning [40]. However, in patients with TBIs, PSH usually subsides over time [40]. Therefore, PSH is a PF for delayed tracheostomy weaning but not for decannulation failure.

Extrinsic PF Present Only After ABI

Early Tracheostomies

Two studies found that an early tracheostomy is a positive PF for decannulation [24]. Early tracheostomies may promote rehabilitation and allow earlier consideration of decannulation. In the ABI subgroup, Huang et al. [41] found that an early tracheostomy (day 1 to 10) was a PF for early decannulation, compared with late tracheostomy (after day 10). Huang et al. only studied patients with infratentorial lesions, but those lesions had various aetiologies including gliomas, meningiomas, neurilemmomas, and vascular malformations [41]. In the stroke subgroup, Gessler et al. also found that an early tracheostomy was a PF for early decannulation [42].

Mechanical Ventilation

Six studies have tested mechanical ventilation as a PF. Results are unclear, probably because of the heterogeneity of the outcomes studies. Three studies found that the need for mechanical ventilation and a longer mechanical ventilation duration are PFs for a lower likelihood of decannulation or a delayed decannulation (Jenkins 2020; Heidler 2018, Manini 2021). Conversely, 3 studies did not find any relation between mechanical ventilation and decannulation. However in Nowak et al. mechanical ventilation duration was very short, ranging from 2 to 7 days. In Haikki et al. and in Schneider et al. it is only the presence of mechanical ventilation at admission that was studied, data on mechanical ventilation duration are not available. Therefore it is difficult to conclude on the impact on mechanical ventilation and mechanical ventilation duration on decannulation in this population. More studies are needed to answer this question.

Study Limitations

One of the main limitations of this review was that most included studies involved the identification of PFs among many potential variables. The tested variables often differed among studies, and some variables were only tested in one study. Additionally, the most frequently reported PF was neurological status; this was also the most frequently tested and (arguably) most anticipated PF. The frequency and expectation aspects are important sources of potential bias. Furthermore, many of these studies were retrospective, and only available data could be tested. Importantly, the data recorded may differ among studies because of distinct clinical environments and local procedures. Few studies focused on specific variables that were considered potential PFs a priori, and only one PF (early vs late tracheostomy) was tested twice [24, 53]. Additionally, only 10 of the 26 studies included in this review had a low RoB; most included studies were retrospective, and with many confounding factors. The outcomes considerably varied among studies; they included decannulation failure, delayed decannulation, likelihood of decannulation, and decannulation success. Importantly, these outcomes are not equivalent: a delayed decannulation may also be successful. Conversely, early decannulation may be followed by recannulation, and an increased likelihood of decannulation does not necessarily increase the likelihood of successful decannulation. Finally, tracheostomy weaning and decannulation protocols frequently differed among studies. For example, some studies used instrumental assessments and evaluated PFs that could not be compared with other studies. Similarly, decisions to decannulate were based on clinical factors that may have varied among studies. Confounding factors may also have arisen because of the different methods used.

Although it was largely based on retrospective observational studies that focused on different populations (i.e., patients with TBIs, ABIs, and stroke), this systematic review of the literature identified several PFs for successful decannulation in patients with brain injuries. These PFs included high neurological status, TBIs rather than stroke or anoxic brain lesions, younger age, effective swallowing, an effective cough, and the absence of pulmonary infections. Less frequently reported PFs that may be more applicable to aetiological subgroups included early tracheostomy, supratentorial lesions, the absence of CIPN/M, and the absence of tracheal lesions. These PFs may be used by clinicians before decannulation and during tracheostomy weaning. However, prospective studies with more reliable methodologies are needed to validate these PFs and identify others.

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at https://doi.org/10.1007/s00455-023-10646-2.

Author Contributions Conceptualization: TG, GM; Methodology: TG, GM; Article identification and analysis: TG, GM, EC; Article Writing—original draft preparation: TG; Writing—review and editing: TG, GM, EC; Technical support: OB; Supervision: PD.

Funding This systematic review was not funded by a grant.

Declarations

Competing Interests The authors have no competing interests to declare that are relevant to the content of this article.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

References

1. Durbin CGJ. Tracheostomy: why, when, and how? Respir Care. 2010;55(8):1056–68.
2. Singh RK, Saran S, Baronia AK. The practice of tracheostomy decannulation—a systematic review. J Intensive Care. 2017;5(1):38.
3. Santus P, Gramegna A, Radovanovic D, Raccanelli R, Valenti V, Rabbiosi D, et al. A systematic review on tracheostomy decannulation: a proposal of a quantitative semiquantitative clinical score. BMC Pulm Med. 2014;14(1):201.
4. de Medeiros GC, Sassi FC, Lirani-Silva C, de Andrade CRF. Critérios para decanulação da traqueostomia: revisão de literatura. CoDAS. 2019;31(6):e20180228.
5. Bösel J. Tracheostomy in stroke patients. Curr Treat Options Neurol. 2014;16(1):274.
6. Grooten WJA, Tseli E, Äng BO, Boersma K, Stålnacke BM, Gerdle B, et al. Elaborating on the assessment of the risk of bias in prognostic studies in pain rehabilitation using QUIPS—aspects of interrater agreement. Diagn Progn Res. 2019;3(1):5.
7. Hayden JA, Van Der Windt DA, Cartwright JL, Côté P, Bombardier C. Assessing bias in studies of prognostic factors. Ann Intern Med. 2013;158(4):280.
8. Jenkins R, Badjatia N, Haac B, Van Besien R, Biedlingmaier JF, Stein DM, et al. Factors associated with tracheostomy decannulation in patients with severe traumatic brain injury. Brain Inj. 2020;34(8):1106–11.
9. Majdan M, Plancikova D, Brazinova A, Rusnak M, Nieboer D, Feigin V, et al. Epidemiology of traumatic brain injuries in Europe: a cross-sectional analysis. Lancet Public Health. 2016;1(2):e76-83.
10. Lanini B, Binazzi B, Romagnoli I, Chellini E, Pianigiani L, Tofani A, et al. Tracheostomy decannulation in severe acquired brain injury patients: the role of flexible bronchoscopy. Pulmonology. 2021. https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2021.05.006.
11. Mannini A, Hakiki B, Liuzzi P, Campagnini S, Romoli A, Draghi F, et al. Data-driven prediction of decannulation probability and timing in patients with severe acquired brain injury. Comput Methods Progr Biomed. 2021;209:106345.
12. Dziewas R, Allescher HD, Aroyo I, Bartolome G, Beilenhoff U, Bohlender J, et al. Diagnosis and treatment of neurogenic dysphagia – S1 guideline of the German Society of Neurology. Neurol Res Pract. 2021;3(1):23.
13. Bremare A, Rapin A, Veber B, Beuret-Blanquart F, Verin E. Swallowing disorders in severe brain injury in the arousal phase. Dysphagia. 2016;31(4):511–20.
14. Nowak P, Cohn AM, Guidice MA. Airway complications in patients with closed-head injuries. Am J Otolaryngol. 1987;8(2):91–6.
15. de Zanata IL, Santos RS, Hirata GC. Tracheal decannulation protocol in patients affected by traumatic brain injury. Int Arch Otorhinolaryngol. 2014;18(2):108–14.
16. Bodien YG, Barra A, Temkin NR, Barber J, Foreman B, Vassar M, et al. Diagnosing level of consciousness: the limits of the Glasgow coma scale total score. J Neurotrauma. 2021;38(23):3295–305.
17. Klingbeil GEG. Airway problems in patients with traumatic brain injury. Arch Phys Med Rehabil. 1988;69:493.
18. Alvis-Miranda H, Castellar-Leones SM, Moscote-Salazar LR. Decompressive craniectomy and traumatic brain injury: a review. Bull Emerg Trauma. 2013;1(2):60–8.
19. Mackiewicz-Nartowicz H, Mackiewicz-Milewsk M, Lach S, Szymańska-Skrzypek A, Owczarek A, Sinkiewicz A. Decannulation factors in patients after serious brain injuries. Adv Palliat Med. 2008;7:69–72.
20. Lucca LF, Lofaro D, Pignolo L, Leto E, Ursino M, Cortese MD, et al. Outcome prediction in disorders of consciousness: the role of coma recovery scale revised. BMC Neurol. 2019;19(1):68.
21. Park MK, Lee SJ. Changes in swallowing and cough functions among stroke patients before and after tracheostomy decannulation. Dysphagia. 2018;33(6):857–65.
22. Küchler J, Wojak JF, Smith E, Brocke J, Abusamha A, Tronnier VM, et al. Management of tracheostomized patients after poor grade subarachnoid hemorrhage: disease related and pulmonary risk factors for failed and delayed decannulation. Clin Neurol Neurosurg. 2019;184:105419.
23. Schneider H, Hertel F, Kuhn M, Ragaller M, Gottschlich B, Trabitzsch A, et al. Decannulation and functional outcome after tracheostomy in patients with severe stroke (DECAST): a prospective observational study. Neurocrit Care. 2017;27(1):26–34.
24. Dodds WJ. The physiology of swallowing. Dysphagia. 1989;3(4):171–8.
25. Cullen NK, Crescini C, Bayley MT. Rehabilitation outcomes after anoxic brain injury: a case-controlled comparison with traumatic brain injury. PM&R. 2009;1(12):1069–76.
26. McCool FD. Global physiology and pathophysiology of cough. Chest. 2006;129(1):48S-53S.
27. Ward K, Seymour J, Steier J, Jolley CJ, Polkey MI, Kalra L, et al. Acute ischaemic hemispheric stroke is associated with impairment of reflex in addition to voluntary cough. Eur Respir J. 2010;36(6):1383–90.
28. Reverberi C, Lombardi F, Lusuardi M, Pratesi A, Di Bari M. Development of the decannulation prediction tool in patients with dysphagia after acquired brain injury. J Am Med Dir Assoc. 2019;20(4):470–5.
29. Chan LYY, Jones AYM, Chung RCK, Hung KN. Peak flow rate during induced cough: a predictor of successful decannulation of a tracheotomy tube in neurosurgical patients. Am J Crit Care. 2010;19(3):278–84.
30. Mortensen J, Kjeldsen SS, Honoré H, Pedersen AR. Using routinely gathered clinical data to develop a prognostic online tool for decannulation in subjects with acquired brain injury. Respir Care. 2020;65(11):1678–86.

31. Hankemeier A, Rollnik JD. The Early Functional Abilities (EFA) scale to assess neurological and neurosurgical early rehabilitation patients. BMC Neurol. 2015;15(1):207.
32. Enrichi C, Battel I, Zanetti C, Koch I, Ventura L, Palmer K, et al. Clinical criteria for tracheostomy decannulation in subjects with acquired brain injury. Respir Care. 2017;62(10):1255–63.
33. Hakiki B, Draghi F, Pancani S, Portaccio E, Grippo A, Binazzi B, et al. Decannulation after a severe acquired brain injury. Arch Phys Med Rehabil. 2020;101(11):1906–13.
34. Meenan K, Bhatnagar K, Guardiani E. Intubation-related laryngeal pathology precluding tracheostomy decannulation: incidence and associated risk factors. Ann Otol Rhinol Laryngol. 2021;130(9):1078–84.
35. Lui HCH, He Z, Zhuang TF, Ng CF, Wong GKC. Tracheostomy decannulation outcomes in 131 consecutive neurosurgical patients. British J Neurosurg. 2021. https://doi.org/10.1080/02688697.2021.1995591.
36. Stevens RD, Dowdy DW, Michaels RK, Mendez-Tellez PA, Pronovost PJ, Needham DM. Neuromuscular dysfunction acquired in critical illness: a systematic review. Intensive Care Med. 2007;33(11):1876–91.
37. Appleton R, Kinsella J. Intensive care unit-acquired weakness. Continuing Educ Anaesth Crit Care Pain. 2012;12(2):62–6.
38. Hakiki B, Draghi F, Scarpino M, Portaccio E, Romoli A, Mannini A, et al. Critical illness polyneuromyopathy: functional impact after severe acquired brain injuries. Acta Neurol Scand. 2020;142(6):574–84.
39. Ringrose H, Brown M, Walton K, Sivan M. Association between paroxysmal sympathetic hyperactivity and tracheostomy weaning in traumatic brain injury. NRE. 2018;42(2):207–12.
40. Meyfroidt G, Baguley IJ, Menon DK. Paroxysmal sympathetic hyperactivity: the storm after acute brain injury. Lancet Neurol. 2017;16(9):721–9.
41. Huang HW, Zhang GB, Xu M, Chen GQ, Zhang XK, Zhang JT, et al. The impact of tracheostomy timing on clinical outcomes and adverse events in intubated patients with infratentorial lesions: early versus late tracheostomy. Neurosurg Rev. 2021;44(3):1513–22.
42. Gessler F, Mutlak H, Lamb S, Hartwich M, Adelmann M, Platz J, et al. The impact of tracheostomy timing on clinical outcome and adverse events in poor-grade subarachnoid hemorrhage. Crit Care Med. 2015;43(11):2429–38.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

TROISIEME PARTIE : Discussion générale et perspectives :

8. Synthèse des résultats

Les résultats obtenus avec notre première étude tendent à démontrer que le sevrage de la trachéotomie des patients cérébro-lésés peut se réaliser en dehors d'un environnement très spécialisé tel que la réanimation et sans recourir systématiquement à une évaluation instrumentale. Un protocole de sevrage bien conduit, basé sur des paramètres de surveillance rigoureux et surtout adaptés à chaque patient (paramètres de stabilité dans l'article I), ainsi que la mise en place d'une formation aux équipes, semblent être les deux éléments déterminants la réussite de ce processus. Le taux de réussite de notre protocole est de 100% (95%CI :87%-100%), ce qui signifie qu'aucun des patients décanulés durant cette étude n'a été recanulé, et ce, y compris 6 mois après l'inclusion dans notre protocole. Par ailleurs, notre taux de décanulation est de 90% (95% CI : 72.6-97.8%). Cela semble montrer que l'utilisation de notre protocole permet à la fois, de déterminer quel patient peut être décanulé sans échec, mais aussi de mener une très grande majorité de patients jusqu'à la décanulation. Il apparait donc à la fois suffisamment sensible et suffisamment efficace. Un taux de réussite aussi élevé pourrait s'expliquer par des critères de décanulation très strictes, mais cela s'accompagnerait probablement d'un taux de décanulation beaucoup plus bas, ce qui n'est pas le cas dans notre étude.

Par ailleurs, la durée moyenne de sevrage, c'est-à-dire la durée entre l'inclusion et la décanulation, est de 7.6 [Écart type (ET) : 4.6] jours. Cette durée apparait comme relativement courte par rapport à la littérature (9 à 12 jours pour Hernandez *et al.* 2012, 17 jours pour Bianchi *et al.* 2014, 12 à 19 jours pour Berney *et al.* 2014, 64 jours pour Heidler *et al.* 2018, 72 jours pour Mitton *et al.* 2017). En revanche, la durée moyenne de trachéotomie (42.5 [ET : 24.8] jours), c'est-à-dire la durée entre la pose de la trachéotomie et la décanulation, apparait comme étant similaire aux données retrouvées dans la littérature (24 à 25 jours pour Berney *et al.* 2014, 42 à 54 jours pour Gessler *et al.* 2015, 74 jours pour Schneider *et al.* 2017). Même si nous avons différé le sevrage de la trachéotomie à la sortie de la réanimation, cela n'a pas induit d'allongement de la durée totale de trachéotomie. Au contraire, cela semble être responsable d'un sevrage plus court et plus sécure, car celui-ci a été entrepris au moment où le patient était considéré comme suffisamment stable pour quitter la réanimation. Cela semble également être responsable du faible nombre d'évènements intercurrents survenus pendant le sevrage de la

trachéotomie (en moyenne 2.3 [ET : 2.0]). La majorité de ceux-ci était sans gravité et facile à traiter.

Le taux d'échec de la décanulation est compris entre 2 et 32% en fonction des études et semble survenir principalement dans les premières 24h (Brunet *et al.* 2015). Néanmoins, la définition d'un échec de la décanulation ne semble pas faire consensus dans la littérature. En effet, à partir de quand la remise en place de la trachéotomie peut-elle être considérée comme un échec de décanulation ? Vingt-quatre heures, 48h, 72h, 96h, une semaine, la totalité de la durée de l'hospitalisation ? La recanulation ou la réintubation d'un patient dans les 24 premières heures semble indiquer une décanulation trop précoce, réalisée chez un patient ne remplissant probablement pas les critères nécessaires à une décanulation ; mais peut-on l'affirmer si elle survient à une semaine d'intervalle ? Chez un patient cérébro-lésé, une aggravation de l'état neurologique (hydrocéphalie, saignement) sans aucun lien avec la trachéotomie peut être responsable d'une dégradation respiratoire conduisant à une réintubation ou une recanulation. Par ailleurs, cette aggravation peut également avoir lieu dans les 24 premières heures, sans aucun lien avec la décanulation. Dans une revue de la littérature publiée en 2017 et portant sur 18 études, les auteurs ont relevé qu'une décanulation était considérée comme réussie, lorsqu'il n'y avait pas de recanulation entre 24h et 6 mois (Singh, Saran et Barionia 2017). D'un point de vue méthodologique, le choix d'une durée trop courte (*e.g.* 24h) nous aurait exposé à une sous-évaluation du risque d'échec, alors qu'une durée trop longue (*e.g.* la totalité de la durée de séjour) aurait pu au contraire le surestimer. Nous avons donc choisi une durée intermédiaire de 96h pour définir l'échec de décanulation, à laquelle nous avons ajouté une période de surveillance de 6 mois post-décanulation.

Notre protocole ne comprend pas d'évaluation de la fonction respiratoire et cette absence peut être considérée comme un manque dans l'évaluation et la surveillance clinique nécessaires au sevrage de la trachéotomie. En effet, plusieurs protocoles de sevrage publiés comprennent une gazométrie sanguine ou une évaluation instrumentale de la fonction respiratoire (Singh, Saran et Baronia 2017). Ce choix délibéré repose sur deux idées principales :

Premièrement, les patients de notre étude n'étaient inclus qu'à la condition d'être définitivement sevrés de la ventilation mécanique. C'est-à-dire que les gaz du sang étaient considérés comme normaux en respiration spontanée avant inclusion. Dans notre service de neuro-réanimation du CHU de Bordeaux, nous utilisons des épreuves de sevrage de type respiration spontanée sur tube au nez artificiel ou « Zero end expiratory pressure » (ZEEP). Dans notre procédure, le sevrage ventilatoire et le sevrage de la trachéotomie sont découplés.

En effet, nous considérons que ce dernier ne commence qu'après l'achèvement du premier. Certains auteurs parlent de sevrage de la trachéotomie à partir du moment où le patient est trachéotomisé mais toujours ventilé. Ils incluent donc le sevrage ventilatoire dans le sevrage de la trachéotomie, d'autant qu'il est possible de commencer à dégonfler le ballonnet y compris lorsque le patient est sous ventilation mécanique (Brunet *et al.* 2015, Küchler *et al.* 2019). Il nous semble que ceci relève plutôt d'une question de terminologie que de différences fondamentales de pratiques. Malgré tout, le sevrage de la ventilation mécanique est considéré comme indispensable à la décanulation (Beduneau, Bouchetemble et Muller 2007). A notre connaissance, il n'existe aucune publication proposant une stratégie de décanulation précoce avec un relais en VNI chez des patients non sevrés de la ventilation mécanique (en dehors de la population des patients neuro-musculaires (Bach *et al*. 2014)). Cette stratégie est par ailleurs parfois proposée pour l'extubation de patients considérés à haut risque d'échec, notamment par la présence d'une hypercapnie en fin d'épreuve de sevrage (Hernandez *et al.* 2022).

Deuxièmement, et considérant que nos patients étaient sevrés de la ventilation mécanique, notre objectif était de proposer un protocole de sevrage, basé uniquement sur une évaluation clinique, dans l'objectif de le simplifier au maximum. L'ajout d'une évaluation respiratoire ou d'examens paracliniques nous aurait éloignés de cet objectif.

Cependant, les patients victimes de lésions cérébrales acquises développent fréquemment des dysfonctions respiratoires. L'origine de ces dysfonctions respiratoires est multifactorielle, la principale étant le développement ou l'aggravation de troubles respiratoires du sommeil de type Syndrome d'apnée du sommeil (SAS) (Alexiev *et al.* 2018). A ce syndrome, s'ajoutent l'hypoxémie liée aux éventuelles fausses routes et infections pulmonaires, la diminution des mouvements thoraciques volontaires du côté du déficit moteur, la station allongée prolongée, notamment en réanimation, les traitements médicamenteux et la fragmentation du sommeil secondaire aux conséquences de l'AVC (*e.g.* la douleur, la dépression ou l'anxiété) (Alexiev *et al.* 2018). Dans la population de patients ayant survécu à un AVC, la prévalence des troubles respiratoires du sommeil est comprise entre 70.4% pour les SAS modérés (Indice d'apnée hypopnée (IAH > 5/h) et 30.1% pour les SAS sévères (IAH>30/h) (Dong *et al.* 2018). Parmi ces troubles, le SAOS est le plus fréquent, mais des apnées centrales ou une respiration de Cheyne-Stokes peuvent également être observées, notamment à la phase aigüe (Alexiev *et al.* 2018). Aussi, ces troubles respiratoires du sommeil se retrouvent chez 59.4% des patients ayant eu un AVC hémorragique, lors de la phase aigüe (Pontes-Neto *et al.* 2009), soit la majorité de la population de nos articles 1 et 2.

Il est largement admis que la présence de troubles respiratoires du sommeil augmente le risque de mortalité et est un facteur de mauvais pronostic fonctionnel à court et long terme (Alexiev *et al.* 2018). De plus, le dépistage et le traitement de ces troubles sont relativement faciles à mettre en œuvre. Une simple polygraphie ainsi que la mise en place d'un appareil de Pression positive continue (PPC) sont tout à fait réalisables en réanimation ou en secteur de soins conventionnel. Le patient est par la suite adressé à un médecin spécialiste pour la réévaluation et le suivi à distance. Ce type de prise en charge est d'ailleurs réalisé dans notre service de neuro-réanimation du CHU de Bordeaux.

Parallèlement, les patients hospitalisés en réanimation peuvent présenter une faiblesse musculaire acquise en réanimation, celle-ci étant également un facteur de mauvais pronostic fonctionnel (Hermans et Van den Berghe. 2015). Dans la population des patients victimes d'hémorragie sous-arachnoïdienne grave, la prévalence de ce trouble est estimée à environ 30% (Intiso *et al.* 2017). Ce trouble peut également avoir un impact négatif sur la fonction respiratoire, du fait d'une atteinte de la fonction diaphragmatique (Hermans et Van den Berghe. 2015). Dans une étude portant sur 116 patients hospitalisés en réanimation et ayant bénéficié d'au moins 7 jours de ventilation mécanique, De Jonghe *et al.* ont montré qu'une Pression inspiratoire maximale (PIM), une pression expiratoire maximale (PEM) et un score Medical research council (MRC) bas étaient des facteurs prédictifs indépendants d'une intubation prolongée. Par ailleurs, dans cette même étude, les auteurs trouvaient une corrélation significative entre la perte de force musculaire segmentaire et la diminution des valeurs de PIM et de PEM.

La faiblesse musculaire acquise en réanimation, fréquente dans notre population, peut, comme les troubles respiratoires du sommeil, être responsable d'une dysfonction respiratoire susceptible d'entraver la réalisation d'un sevrage de trachéotomie. Même si nos patients ont été inclus après le sevrage de la ventilation mécanique, nous ne devons pas confondre ce dernier avec l'absence de trouble respiratoire. Une prise en compte de cette problématique serait sûrement pertinente dans l'amélioration de notre protocole de sevrage. Nous verrons plus bas quelle perspective de recherche pourrait être développée.

Le sevrage de la trachéotomie et la décanulation ne devraient plus être considérés comme difficiles ou dangereux en dehors de la réanimation : ils ne nécessitent pas d'évaluation instrumentale systématique, occasionnent peu d'évènements intercurrents, et différer le sevrage en dehors de la réanimation permet de le réaliser avec des patients plus stables, et de ce fait, plus à même d'y participer. Nos résultats restent pourtant limités par le nombre de patients

inclus ainsi que par l'absence de groupe contrôle. Ces résultats restent à démontrer, probablement lors d'un nouvel essai contrôlé.

Les résultats obtenus dans notre seconde étude montrent l'importance de l'utilisation d'un clapet phonatoire lors du sevrage de la trachéotomie chez les patients cérébro-lésés. En effet, il apparait que seule la mise en place de celui-ci est à même de recréer un débit aérien dans les voies aériennes supérieures et donc au-dessus de la trachéotomie. Lorsque le ballonnet est seulement dégonflé, le débit aérien semble se diriger préférentiellement vers la canule de trachéotomie, et ce, malgré la fuite créée autour de celle-ci. Le clapet phonatoire s'ouvre à l'inspiration et se ferme à l'expiration, obligeant le débit aérien à se diriger vers les voies aériennes supérieures. En l'absence de résistance matérialisée par le clapet phonatoire, le débit aérien semble donc préférer le trajet le plus court et donc la canule de trachéotomie, privant les voies aériennes supérieures d'un flux expiratoire nécessaire à la réhabilitation de la déglutition et de la toux. L'apparition d'un débit aérien expiratoire dans les voies aériennes semble donc conditionnée à l'utilisation d'un clapet phonatoire.

Notre étude montre également que l'utilisation du clapet phonatoire, lorsque le ballonnet est dégonflé, permet l'apparition d'un débit aérien inspiratoire. Cela peut paraitre contre-intuitif du fait du fonctionnement du clapet phonatoire et il est à noter que nous n'attendions pas de tels résultats. Il est probable que la résistance à l'ouverture de la valve en inspiration soit responsable d'une augmentation du travail respiratoire, entrainant ainsi une dépression inspiratoire suffisante pour faire entrer l'air par les voies aériennes supérieures, malgré l'ouverture de la canule. Cette probable augmentation du travail respiratoire, nécessaire à l'ouverture de la valve, ne s'est pas accompagnée dans notre étude d'une mise en jeu des muscles inspirateurs accessoires. Nous pouvons supposer ici que l'utilisation du clapet phonatoire est donc nécessaire à la création d'un débit aérien expiratoire, mais aussi, et dans une moindre mesure, inspiratoire. Cet effet s'accompagne probablement d'une légère mais nécessaire augmentation du travail respiratoire. Ces résultats inattendus restent à confirmer par une évaluation objective du travail respiratoire que nous n'avions pas prévue initialement. Même si nos résultats sont limités par le faible nombre de patients et l'absence d'évaluation objective du travail respiratoire et de la déglutition, cette étude est la première à notre connaissance à explorer l'effet du clapet phonatoire sur les débits aériens dans cette catégorie de patients ainsi qu'à mettre en évidence l'existence d'un débit inspiratoire.

La revue systématique de la littérature réalisée pour notre troisième article, nous a permis de mettre en évidence le caractère prédictif de certains facteurs quant à la réussite ou à l'échec de la décanulation.

L'état neurologique des patients au moment du sevrage de la trachéotomie semble être le facteur le plus fréquemment retrouvé dans cette revue (Nowak *et al.* 1987, Klingbeil 1988, Zanata *et al.* 2014, Gessler *et al.* 2015, Enrichi *et al.* 2017, Park et Lee 2018, Kuchler *et al.* 2019, Reverberi *et al.* 2019, Hakiki *et al.* 2020, Heidler *et al.* 2020, Jenkins *et al.* 2020, Lanini *et al.* 2021, Lui *et al.* 2021, Leto *et al.* 2021). Pour l'ensemble des auteurs, un état neurologique bas est responsable d'un échec de décanulation ou bien d'un sevrage retardé ou difficile. Cependant, en raison de la grande hétérogénéité des échelles utilisées dans les différentes publications incluses, nous n'avons pas réussi à mettre en évidence un mode d'évaluation faisant consensus. Peu d'auteurs proposaient également des valeurs seuils. Les échelles Coma recovery scale revised (CRS-r) et GSC semblent être les plus utilisées (Mackiewicz-Nartowicz *et al.* 2008, Chan *et al.* 2010, Zanata *et al.* 2014, Enrichi *et al.* 2017, Perin *et al.* 2017, Heidler *et al.* 2018, Hakiki *et al.* 2020, Jenkins *et al.* 2020, Mannini *et al.* 2021, Leto *et al.* 2021, Lui *et al.* 2021, Lanini *et al.* 2021, Bellon *et al.* 2022). La CRS-r semble plus sensible et plus large d'utilisation que la GCS. Alors que la GCS est fréquemment utilisée en dehors de la stricte population des traumatisés crâniens, elle n'a cependant jamais été validée que pour ces patients-là (Bodien *et al.* 2021).

Les lésions infratentorielles pouvant toucher le bulbe (Mitton *et al.* 2017, Mannini *et al.* 2021) ainsi que les anoxies cérébrales (Woo et Kirshner 1989, Manini *et al.* 2017, Reverberi *et al.* 2019), de par leur mauvais pronostic de récupération fonctionnelle, semblent être des facteurs prédictifs d'un échec de la décanulation.

La capacité à tousser efficacement est également décrite comme facteur prédictif d'une décanulation réussie. Là aussi, le manque de données sur la définition d'une « toux efficace » ainsi que la quasi-absence de valeur seuil rendent l'utilisation de ce facteur prédictif difficile. Certains auteurs différencient toux volontaire, toux spontanée ou association des deux (Reverberi *et al.* 2019). D'autres proposent des évaluations à l'aide d'un débitmètre de pointe, soit avec la participation volontaire du patient quand celle-ci est possible (Singh *et al.* 2017, Park et Lee 2018), soit en déclenchant une toux réflexe (Chan *et al.* 2010).

La présence d'une déglutition efficace est fréquemment rapportée par les auteurs. Celle-ci protège les voies aériennes par son fonctionnement normal mais son atteinte peut nécessiter la mise en place d'une trachéotomie, qui peut quant à elle, être responsable de troubles de la déglutition. Cette fonction semble donc bien au centre des problématiques liées à la

trachéotomie. Cependant, là aussi, les auteurs précisent rarement les outils d'évaluation utilisés, ainsi que leurs valeurs seuils (Nowak *et al.* 1987, Zanata *et al.* 2014, Mortensen *et al.* 2020), Lanini *et al.* 2021). Quelques auteurs proposent tout de même l'utilisation d'un test au bleu d'Evans (« blue dye test ») seul (Reverberi *et al.* 2019), ou en association à l'évaluation fibroscopique et la PAS avec un seuil ≤ 5. Pour cette dernière association, les auteurs rapportent une sensibilité de 94.4% et une spécificité de 81.8% (Enrichi *et al.* 2017). Enfin, la PAS et la FDS sont utilisées en radioscopie de déglutition par Park et Lee (Park et Lee 2018).

Moins fréquemment, certains auteurs rapportent comme facteurs prédictifs d'un échec de décanulation ou d'une décanulation difficile, la présence de lésions trachéales (Klingbeil 1988, Nowak *et al.* 1987, Hakiki *et al.* 2020), d'infections pulmonaires (Klingbeil 1988, Schneider *et al.* 2017, Reverberi et al 2019, Hakiki *et al.* 2020), d'une faiblesse acquise en réanimation (Hakiki *et al.* 2020, Heidler *et al.* 2018), d'une hyperactivité sympathique paroxystique (Ringrose *et al.* 2018). Enfin, pour certains auteurs, la mise en place précoce de la trachéotomie semble être un facteur prédictif d'une décanulation réussie (Huang *et al.* 2021, Gessler *et al.* 2015).

L'absence de données comparables dans les articles retenus ne nous a pas permis de réaliser de méta-analyse et nous avons dû nous limiter à une analyse descriptive. De plus, un grand nombre de ces études sont de type rétrospectif (17 articles sur 26) et l'évaluation du risque de biais montre que seul 10 articles sur 26 ont un faible risque de biais. Bien que ces éléments limitent la portée des facteurs prédictifs mis en évidence dans notre article, nous pensons qu'ils peuvent guider le praticien lors d'un sevrage de la trachéotomie. A notre connaissance, cette revue est la première à mettre en évidence des facteurs prédictifs de la décanulation dans une population de patients cérébro-lésés.

9. Perspectives :

9.1. Perspectives professionnelles :

9.1.1. Mise en place du protocole dans les services de réanimation du CHU de Bordeaux :

Suite à la publication du premier article, notre protocole de sevrage de la trachéotomie a été mis en place dans les services de neuro-réanimation (sous la responsabilité du Dr Eric Verchère) et

de réanimation chirurgicale et traumatologique (sous la responsabilité du Pr Matthieu Biais) du CHU de Bordeaux. Ces deux services accueillent des populations de patients cérébro-lésés et certains d'entre eux bénéficient parfois d'une trachéotomie au décours de leur hospitalisation. Quelques modifications sur les paramètres de stabilité ont été apportées afin de s'adapter aux particularités de la surveillance des patients de réanimation : la fréquence cardiaque, mesurée à l'inclusion, variant au maximum de -20 bpm à +30 bpm par rapport à la fréquence moyenne, considérant des valeurs extrêmes de 45 et 150 bpm (contre 130 bpm de valeur maximale initialement) ; la pression artérielle systolique comprise entre : 90 mmHg et 170 mmHg (contre 160 mmHg de valeur maximale initialement) ; la fréquence respiratoire, mesurée à l'inclusion, variant au maximum de + à - 10 cycles/min, considérant des valeurs extrêmes de 8 et 35 cycles/min (contre 30 cycles/min de valeur maximale initialement). Ces modifications ont été réalisées sur demande des MAR du service, après consultation pluridisciplinaire et préalablement au déploiement du protocole.

Des onglets spécifiques concernant l'inclusion des patients, le relevé et la création des paramètres de stabilité ainsi que la surveillance horaire des patients ont été créés dans le logiciel de gestion des données utilisé dans les réanimations du CHU de Bordeaux : IntelliSpace critical care and anesthesia (ICCA) Philips ® (voir figure 10). Un programme de formation des équipes, d'un volume total d'environ 1h30, comprenant un volet théorique sur les troubles de la déglutition et la trachéotomie (45min) et un volet concernant l'utilisation du protocole (45 min) est également conduit et animé par les kinésithérapeutes de ces deux services de réanimation. L'objectif de ces formations est d'amener les professionnels de santé paramédicaux à une utilisation autonome de notre protocole basé sur le suivi des critères de stabilités. Les changements d'étapes (évolution vers l'étape suivante ou retour en arrière) peuvent ainsi être réalisés sans validation médicale. La validation médicale est requise seulement pour le démarrage du protocole et l'étape finale : la décanulation.

Il est à noter, que notre protocole de sevrage de la trachéotomie est toujours utilisé dans les deux services de neuro-chirurgie du CHU de Bordeaux. Cependant, suite à une réorganisation des parcours patients, les sevrages de la trachéotomie se réalisent maintenant presque exclusivement en neuro-réanimation et réanimation chirurgicale et traumatologique.

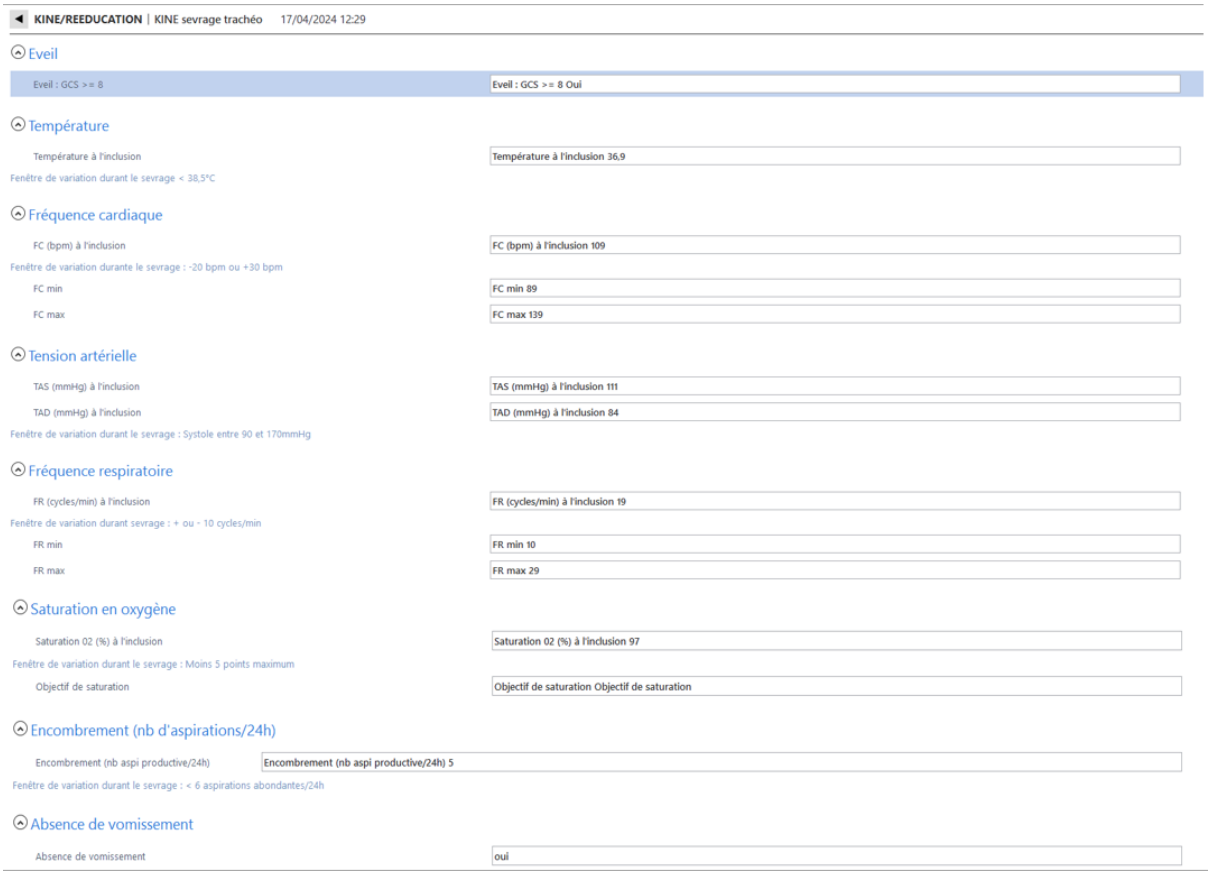


Figure 10 : onglet ICCA pour les paramètres de stabilité lors du sevrage de la trachéotomie en service de réanimation (source : collection personnelle de l'auteur).

9.1.2. Création d'un protocole de coopération entre professionnels de santé :

Les résultats de notre premier article et notamment notre taux de réussite, semblent montrer que le sevrage de trachéotomie peut se faire sans évaluation instrumentale dans une population de patients cérébro-lésés. Une des raisons pour laquelle nous n'avons pas inclus d'évaluations instrumentales est que celles-ci ne sont pas toujours facilement réalisables. La vidéo-radioscopie de déglutition par exemple, est un examen, certes de référence, mais nécessitant de disposer d'une salle de radioscopie équipée, d'équipes formées à l'acquisition et à l'interprétation des images ainsi que de déplacer le patient en service de radiologie. La fibroscopie de déglutition, autre examen de référence, présente quant à elle l'avantage de pouvoir être réalisée au lit du patient. Cet examen invasif consiste à introduire par la cavité nasale jusqu'au niveau du pharynx un flexible équipé d'une optique permettant ainsi une observation directe de la cavité pharyngée et du larynx, ainsi que l'acquisition d'images vidéo. Certains auteurs proposent d'utiliser cet outil afin de sécuriser le sevrage de la trachéotomie et

notamment la décanulation (Warnecke *et al.* 2013, Lanini *et al.* 2021). En effet, cet examen est le seul permettant une évaluation directe du laryngo-pharynx tout en restant facile à réaliser : c'est-à-dire ne nécessitant pas de déplacer des patients parfois fragiles et difficilement transportables. Cependant, cet acte ne fait pas partie du décret de compétences des MKDE et reste du domaine de la compétence médicale. Il nécessite donc en général de faire appel à des avis extérieurs au service. En l'absence de service ou d'équipe spécialisés ces avis sont fréquemment rendus par des internes de spécialité ORL peu confrontés et donc peu habitués aux spécificités de notre population. Par ailleurs, en cas d'existence d'équipe ou de consultation spécialisées dans l'évaluation des troubles de la déglutition, les délais pour obtenir un avis peuvent être incompatibles avec la réalité d'un sevrage de la trachéotomie.

Les MKDE sont habilités à réaliser l'évaluation des troubles de la déglutition ainsi que l'aspiration naso-pharyngée (Code de la santé publique : Section 1 : Actes professionnels, articles R4321-5 et R4321-9, source : www.legifrance.gouv). Ce dernier geste consiste à introduire par le nez, jusque dans le pharynx, une sonde flexible afin de venir aspirer des sécrétions et/ ou des mucosités, directement dans la cavité pharyngée et est régulièrement pratiqué par les MKDE hospitaliers (Komonski 2018). Ce geste invasif est très proche d'une nasofibroscopie dans sa réalisation. Cette dernière possède l'avantage de se faire sous guidage visuel direct, alors que l'aspiration naso-pharyngée est toujours réalisée « à l'aveugle ».

L'article L4011-4, modifié par LOI n°2020-1525 du 7 décembre 2020 – art. 97 rend possible, au sein d'un établissement de santé public ou privé, l'organisation de délégations de tâches médicales à des paramédicaux (source : www.legifrance.gouv). Ces délégations de tâches prennent la forme de protocoles de coopération locaux entre professionnels de santé et ne sont valables qu'au sein d'un même établissement ou groupement hospitalier. Ils doivent tout d'abord être présentés devant la Commission médicale d'établissement (CME) puis devant la Commission des soins infirmiers de rééducation et médicaux-techniques (CSIRMT). Une fois l'avis conforme rendu par ces deux instances, et par le directeur d'établissement, le protocole est transmis à l'Agence régionale de santé (ARS), puis à la Haute autorité de santé (HAS) pour information, ainsi qu'au comité national des coopérations interprofessionnelles.
En collaboration avec le Dr Eric Verchère (Responsable d'unité fonctionnelle (RUF) de la neuro-réanimation du CHU de Bordeaux) et accompagnés par Mme Sophie Leclerc-Grammond et Mme Emmanuelle Berteau, respectivement cadre de santé et cadre supérieure de santé en rééducation, nous avons créé et écrit un protocole de coopération local intitulé : « *Évaluation*

fonctionnelle de la déglutition par fibroscopie naso-pharyngée par un masseur-kinésithérapeute D.E en Secteur de Neuro-réanimation - Région Nouvelle Aquitaine ». Celui-ci propose qu'un MKDE du service de neuro-réanimation formé à l'évaluation de la déglutition (Diplôme inter-universitaire (DIU) déglutition) et au geste d'exploration fonctionnelle des troubles de la déglutition par un ORL phoniatre puisse réaliser ce geste technique.

Les bénéfices attendus pour le patient sont :

- Évaluer rapidement au lit du malade les troubles de la déglutition dans le plan glottique, pharyngé ou les deux, et leur pronostic évolutif, permettant d'orienter les choix médicaux et mettre en place rapidement une prise en charge adaptée des troubles observés (réalisation d'une trachéotomie et/ou pose d'une sonde de gastrostomie en cas de troubles de déglutition majeurs dont le pronostic évolutif est défavorable, sécurisation de la décision de décanulation…) ;
- Orienter vers une consultation ORL spécialisée (chirurgie, injection de toxine botulique...) ;
- Dépister précocement des troubles de la déglutition et mettre en place de manière précoce et optimale un traitement rééducatif (possibilité de reprise alimentaire plus précoce et adaptée, amélioration de l'autonomie et amélioration de la qualité de vie du patient).

Les bénéfices attendus pour le déléguant (le MAR/ Médecin de médecine physique et de réadaptation (MPR)) sont :

- Améliorer la capacité de réponse aux demandes d'évaluation des troubles de la déglutition sur le secteur de réanimation en s'appuyant sur les MKDE experts dans ce domaine ;
- Fluidifier le parcours patient en cas de nécessité d'une consultation déglutition en secteur de réanimation (raccourcir les délais d'attente pour les demandes de consultation spécialisée pour les patients de réanimation) ;
- Obtenir rapidement un avis sur les possibilités rééducatives des patients consultés ;
- Temps médical libéré par la délégation de l'acte technique de fibroscopie (environ 30mn par acte, installation et désinstallation comprises).

Les bénéfices attendus pour le délégué (le MKDE) sont :

- Vision clinique plus précise des troubles de la déglutition, par l'apport des images fibroscopiques ;
- Possibilité de proposer plus rapidement une prise en charge rééducative adaptée à ces troubles (optimisation et gain de temps dans les soins) ;
- Obtenir plus rapidement l'avis diagnostic du médecin ORL par transfert et analyses des images recueillies ;
- Montée en compétences dans la prise en charge des troubles de la déglutition.

Il est à noter que le MKDE ne réalise pas de diagnostic médical, mais seulement l'acquisition d'images vidéo ainsi qu'une évaluation fonctionnelle. Les images acquises sont revues et analysées avec les MAR et MPR du service mais aussi transmises, pour contre-analyse et interprétation médicale, aux médecins de la consultation spécialisée déglutition du CHU de Bordeaux (les Dr Emmanuelle Cugy (MPR) et Solange Milhe de Saint Victor (ORL phoniatre)).

Les qualifications requises pour le délégué (le MKDE participant à ce protocole) sont l'obtention du DIU de déglutition ou diplôme équivalent, la justification d'une expérience professionnelle d'exercice de la masso-kinésithérapie en réanimation supérieure ou égale à 3 ans et la justification d'une expérience dans l'évaluation et la prise en charge kinésithérapique des troubles de la déglutition supérieure ou égale à 3 ans. Sur le plan pratique, les MKDE doivent se former à la réalisation de la nasofibroscopie auprès de l'ORL phoniatre de la consultation spécialisée déglutition du CHU de Bordeaux. Cette formation représente un volume horaire de 15h de pratique et la réalisation de 15 nasofibroscopies de déglutition sous supervision médicale.
Ce protocole de coopération local a été présenté devant la CME du CHU de Bordeaux le 25/04/2023 puis devant la CSIRMT du CHU de Bordeaux le 10/05/2023. Ces deux instances ont rendu un avis favorable et nous avons déposé notre protocole à l'ARS le 16/08/2023. Il est à ce jour mis en place dans le service de neuro-réanimation et en cours de déploiement dans le service de réanimation chirurgicale et traumatologique du CHU de Bordeaux. L'algorithme du parcours patient est présenté ci-dessous (voir figures 11, 11bis et 11ter).

Algorithme Parcours Patient

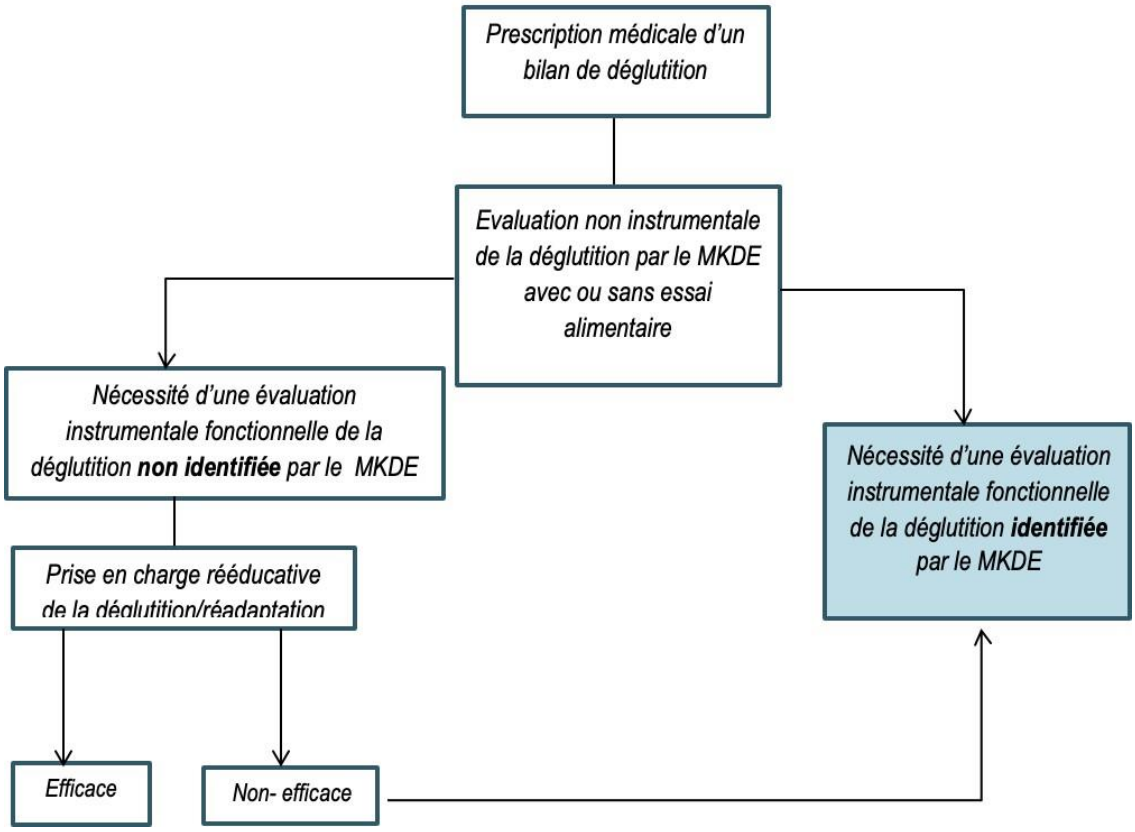


Figure 11 : algorithme du parcours patient

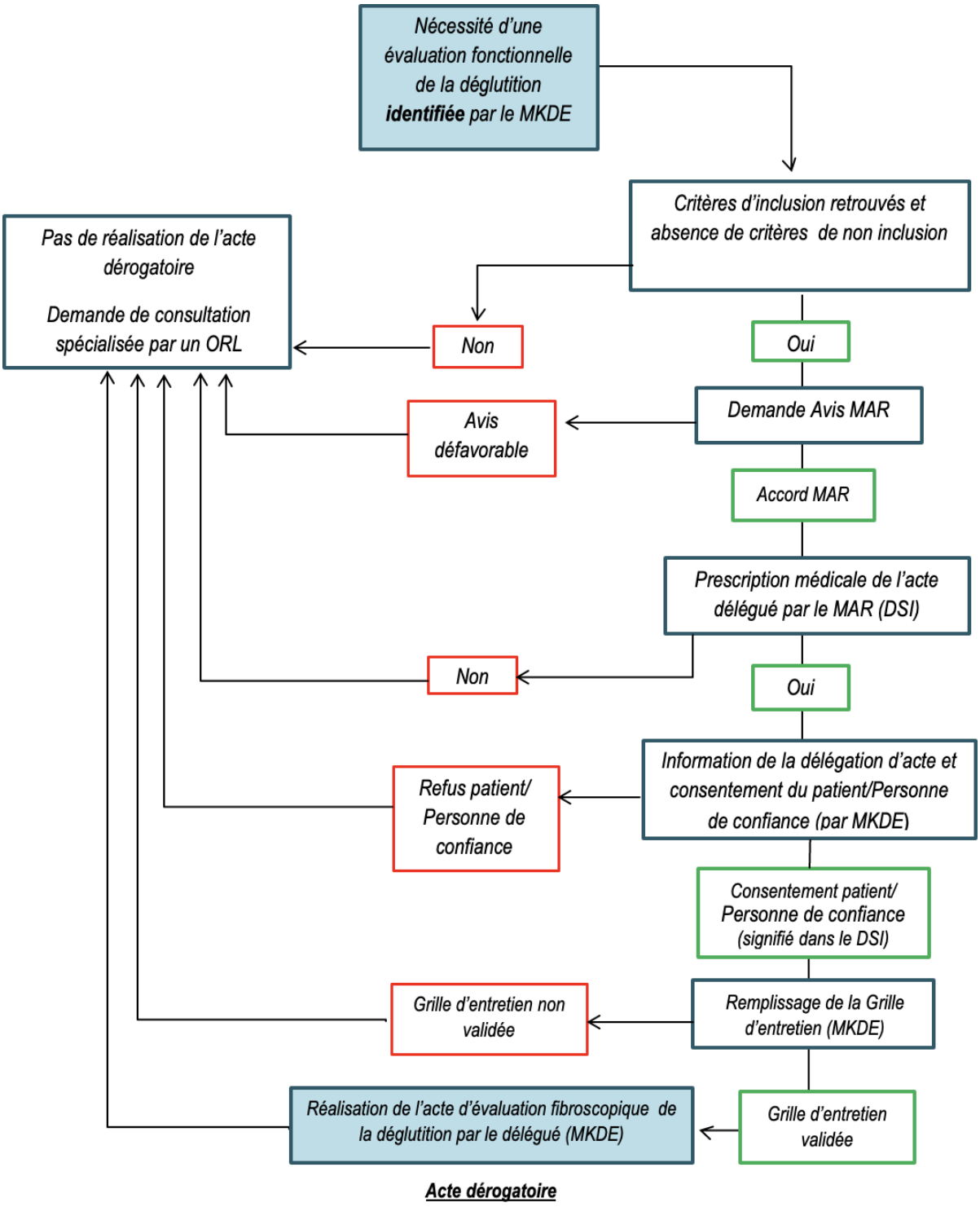


Figure 11 bis: algorithme du parcours patient

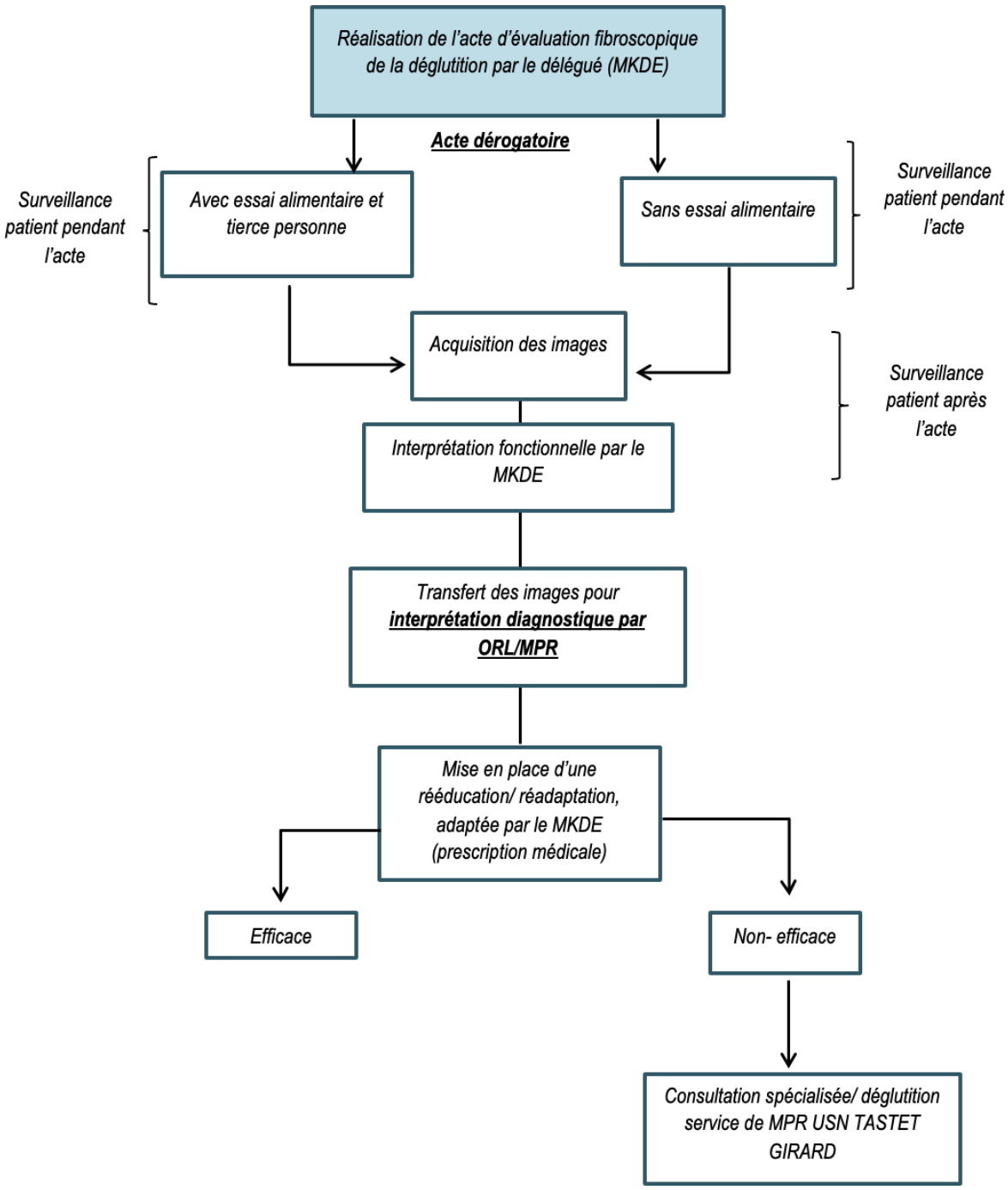


Figure 11 ter : algorithme du parcours patient

Afin de faciliter l'utilisation et la mise en place de ce protocole de coopération, nous avons créé un onglet spécifique dans le logiciel de gestion des données utilisé dans les réanimations du CHU de Bordeaux : ICCA (voir figure 12). Les images obtenues sont ensuite chargées en tant

que documents externes dans le logiciel de gestion des patients de l'ensemble du CHU de Bordeaux (réanimations et autres services) : Dxcare. Elles peuvent ainsi être consultées, en plus du compte rendu, par l'ensemble des équipes médicales et paramédicales.

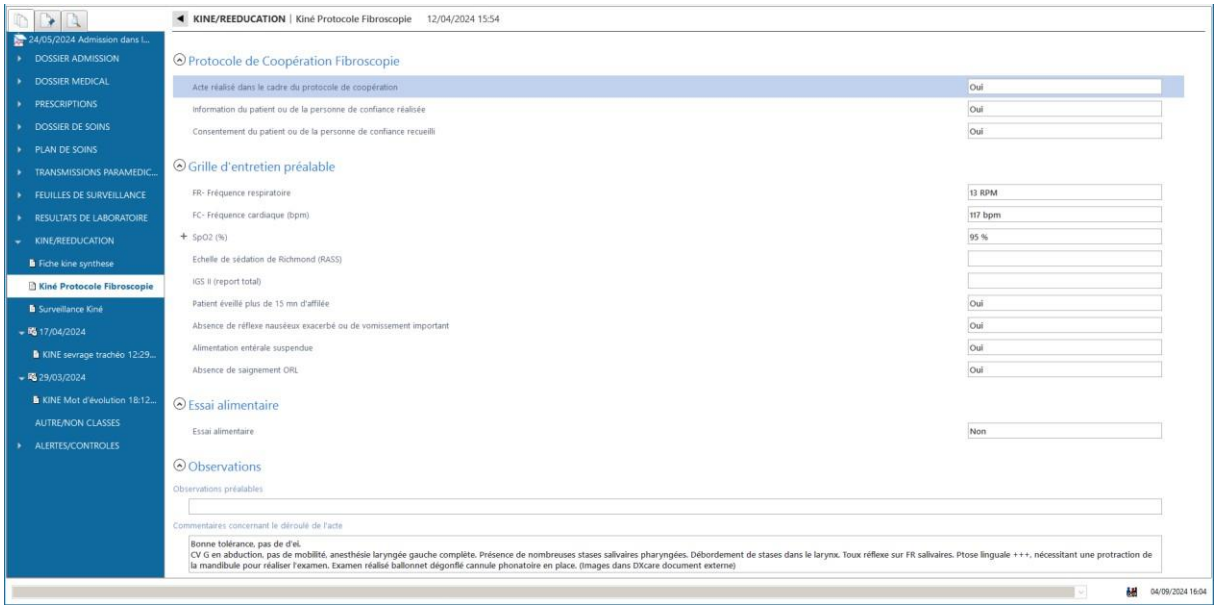


Figure 12 : onglet ICCA du protocole de coopération déployé en neuro-réanimation du CHU de Bordeaux (source : collection personnelle de l'auteur)

La possibilité, pour les MKDE délégués, de réaliser des nasofibroscopies pourra permettre de sécuriser la prise de décision lors du sevrage de la trachéotomie et notamment lors de la décanulation. Cette nouvelle technique pourra venir en appui de notre protocole de sevrage, en particulier lors du sevrage de cas jugés complexes (lésions du tronc cérébral et notamment du bulbe, locked-in-sydrome…).

Dans une étude rétrospective réalisée en 2019 dont l'objectif était l'évaluation d'un outil clinique prédictif du sevrage de la trachéotomie (DecaPret) et incluant 463 patients cérébro-lésés et trachéotomisés, Reverberi *et al.* proposent que l'utilisation de la nasofibroscopie lors d'un sevrage de la trachéotomie soit réservée à quelques patients sélectionnés. Pour la plupart d'entre eux, l'utilisation de paramètres cliniques doit être suffisant. Nous pensons que l'utilisation de notre protocole basé sur des paramètres de stabilité clinique adaptés individuellement à chaque patient permet un sevrage de la trachéotomie sans risque et une décanulation sans échec pour une grande majorité de patients cérébro-lésés (90% de taux de décanulation et 100% de taux de réussite dans notre article I). Parmi les 10% de patients non décanulés se trouvent probablement des patients avec des présentations cliniques complexes

chez qui l'apport de la nasofibroscopie pourrait orienter la prise de décision. Dans une étude récente publiée en 2021, Lanini *et al.* ont réalisé des nasofibroscopies systématiques dans une population de patients cérébro-lésés, trachéotomisés, admis dans leur service de rééducation. Sur 194 patients inclus dans leur étude, 82% avaient au moins une lésion trachéale responsable d'une impossibilité à décanuler pour 11 patients. Ces lésions sont décrites dans cet article comme des complications tardives de la trachéotomie. Les auteurs proposent que la nasofibroscopie soit un moyen efficace de détecter ces lésions et de proposer ainsi un traitement adapté (changement de trachéotomie, laser, corticothérapie systémique ou locale par aérosol, ou thérapies combinées). Dans notre premier article, l'utilisation uniquement de paramètres cliniques, n'est pas suffisante pour objectiver l'existence d'un défaut de perméabilité des voies aériennes en lien avec une lésion trachéale. La mise en place des traitements (changement de trachéotomie, aérosol-thérapie avec corticoïdes ou adrénaline) se faisait donc de manière probabiliste. L'intérêt de la nasofibroscopie semble ici évident afin de guider objectivement le traitement et la décanulation de patients présentant des complications tardives de la trachéotomie.

Dans leur étude de 2017, Enrichi *et al.* ont montré, dans une population de 74 patients cérébro-lésés, que l'évaluation nasofibroscopique de la déglutition (avec une valeur seuil ≤5 à la PAS) et de la perméabilité des voies aériennes (avec un diamètre de la lumière trachéale ≥50%) avaient une sensibilité et une spécificité de 85%, 96.3% et de 100%, 30% respectivement quant au succès de la décanulation. L'association des deux évaluations ainsi que l'obturation complète de la trachéotomie à l'aide d'un bouchon permettait d'obtenir une sensibilité et une spécificité de 100% et 82.5% respectivement. Ici encore, l'apport de la nasofibroscopie semble indéniable notamment en fin de sevrage lors de la décision de décanuler.

9.1.3. Participation à la publication de recommandations formalisées d'experts :

Au début de nos travaux de recherche, nous nous sommes appuyés sur les Recommandations formalisées d'experts (RFE) publiées en 2018 par la Société de réanimation de langue française (SRLF) et la Société française d'anesthésie et de réanimation (SFAR). Celles-ci concernaient la population des patients hospitalisés en réanimation (Trouillet *et al.* 2018). Nous avons eu l'honneur d'être sollicités pour faire partie du collège d'experts appelés à construire les

nouvelles RFE, organisées conjointement par la SRLF et la Société de kinésithérapie de réanimation (SKR). Celles-ci seront présentés lors du prochain congrès de la SRLF en 2025.

9.2. Perspectives de recherche :

9.2.1. Validation du protocole face à un protocole comprenant une évaluation instrumentale ?

Afin de démontrer les résultats obtenus dans notre premier article, notre protocole de sevrage de la trachéotomie doit faire l'objet d'une évaluation face à un protocole validé comprenant une évaluation instrumentale de type nasofibroscopique. Le déploiement, déjà effectif, de notre protocole dans deux réanimations du CHU de Bordeaux ainsi que la possibilité offerte aux MKDE par notre protocole de coopération de réaliser des naso-fibroscopies de déglutition ouvrent la voie à la réalisation d'un essai contrôlé. Le protocole de sevrage de la trachéotomie, basé sur l'utilisation de la nasofibroscopie et publié par Warnecke *et al.* en 2013 (voir figure 13), pourrait servir d'évaluation contrôle à notre protocole reposant uniquement sur des paramètres cliniques. Le protocole proposé par Warnecke *et al.* est composé de 5 étapes correspondant à 5 niveaux d'évaluation de la déglutition sous nasofibroscopie. La première étape consiste à apprécier la quantité de sécrétions dans le pharynx, la deuxième étape consiste à l'évaluation quantitative des mouvements de déglutitions spontanées, la troisième étape consiste à l'évaluation de la sensibilité laryngée et de la toux ; la quatrième étape consiste à l'évaluation fonctionnelle de la déglutition avec un bolus de texture type purée ; et enfin la cinquième et dernière étape consiste à l'évaluation fonctionnelle de la déglutition avec un bolus liquide. La réussite de la dernière étape est nécessaire pour autoriser une décanulation. Le taux d'échec de décanulation de ce protocole sur une série de 100 patients cérébro-lésés et trachéotomisés était de 1.9%.

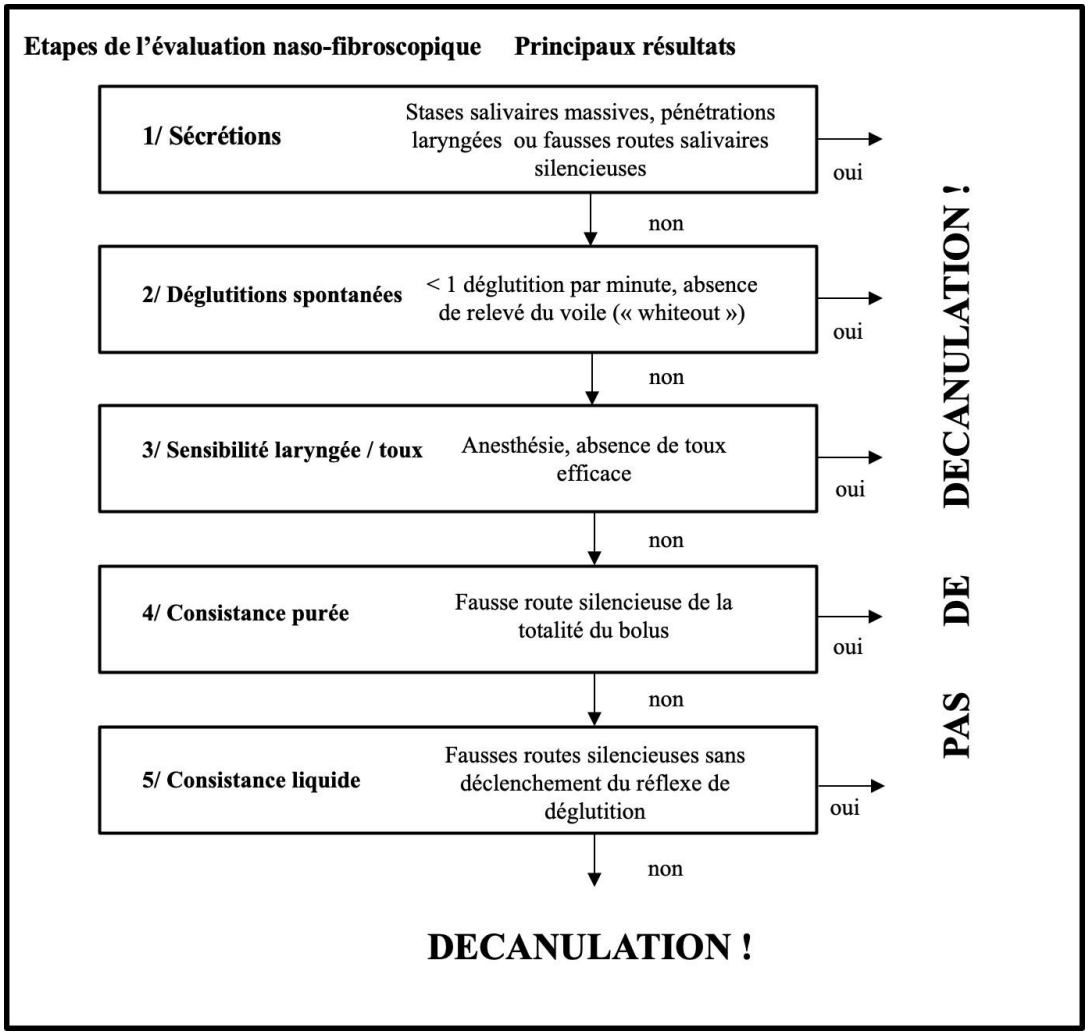


Figure 13 : protocole d'évaluation nasofibroscopique pour le sevrage de la trachéotomie *(d'après Warnecke et al. 2013)*

Il est à noter que ce protocole a déjà été proposé par Trouillet *et al.* en 2018 dans une RFE publiée conjointement par la SRLF et la SFAR. Le grade de cette proposition était « avis d'experts ». Le prérequis proposé par cette RFE était que le patient soit sevré de la ventilation mécanique 24h sur 24. Les conditions d'examen (inspirées de l'article de Warnecke *et al.*) étaient les suivantes : ballonnet dégonflé, aspiration préalable des sécrétions, position assise > 70°, aucune anesthésie afin de ne pas générer de troubles de la déglutition et enfin endoscopie par voie narinaire.

Afin de valider notre protocole, une méthodologie similaire à l'article de Warnecke *et al.* pourrait être utilisée. Les auteurs ont comparé une évaluation clinique à une évaluation nasofibroscopique. Ces deux évaluations étaient conduites en aveugle. La décision de décanulation était prise d'après les résultats apportés par l'évaluation instrumentale et comparée à celle suggérée par l'évaluation clinique seule. Les résultats montraient que sur 100 patients

cérébro-lésés et trachéotomisés, 54 étaient décanulés suite à l'évaluation nasofibroscopique alors que l'évaluation clinique proposait une décanulation pour seulement 29 patients. Nos résultats suggèrent qu'il serait intéressant de baser la décision de décanulation d'après notre protocole et de la comparer à une décision basée sur l'utilisation du protocole publié par Warnecke *et al.* Cette évaluation pourrait être réalisée juste avant la décanulation, c'est-à-dire une fois l'étape 3 de notre protocole validée (voir article I). Les images ainsi réalisées, pourraient être analysées en aveugle par l'équipe médicale spécialisée de la consultation déglutition du CHU de Bordeaux.

9.2.2. Évaluation et traitement des SAS durant le sevrage de la trachéotomie ?

Comme décrit plus haut, la population des patients cérébro-lésés ayant bénéficié d'une hospitalisation en réanimation est à haut risque de développer une dysfonction respiratoire. La présence ou l'aggravation d'un SAS préexistant à la lésion cérébrale semble être une des causes principales (voir plus haut).

Si la trachéotomie n'a aucun effet sur les apnées centrales, elle évite *de facto* les apnées obstructives (Camacho *et al.* 2014). En effet, la respiration se faisant par la trachéotomie, un défaut de perméabilité des voies aériennes supérieures, situées au-dessus de la trachéotomie, ne peut plus être responsable d'une apnée obstructive. Cependant, si cette affirmation est vraie lorsque la trachéotomie est « ouverte », la problématique de la perméabilité des voies aériennes supérieures doit nécessairement se manifester à nouveau lorsque la trachéotomie est obstruée (par l'utilisation d'un clapet phonatoire ou d'un bouchon).

Lors d'un sevrage de la trachéotomie, il est donc possible que cette problématique représente un obstacle au moment de l'obstruction de la canule (étapes 2 et 3 de notre protocole) et soit responsable d'un échec de sevrage de la trachéotomie. Il serait probablement intéressant de réaliser une polygraphie systématique au démarrage de l'étape 2 et de proposer un appareillage de type PPC pour les patients présentant un SAOS. Là aussi, nous pratiquons déjà avec succès ce type de prise en charge dans notre service de neuro-réanimation du CHU de Bordeaux, mais de manière non systématisée. Nous la réservons aux patients qui présentent des difficultés de sevrage aux étapes 2 et 3, non résolues par un changement de canule (en général pour une canule à ballonnet bas volume/ haute pression). Cette prise en charge novatrice pourrait elle aussi faire l'objet d'un protocole de recherche futur.

9.2.3. Sevrage de la trachéotomie chez le patient cérébro-lésé et électrostimulation sous-mentonnière transcutanée ?

Dans une étude randomisée contrôlée multicentrique, réalisée sur 69 patients trachéotomisés suite à un AVC, Dziewas *et al.* ont montré que la PES augmentait la proportion de patients éligibles à la décanulation (voir plus haut) (Dziewas et *al.* 2018). Cette technique favorise la réorganisation des régions corticales motrices en rapport avec la déglutition ainsi que le taux de substance P présent dans la salive, la substance P étant un neurotransmetteur impliqué dans le contrôle de la déglutition (Dziewas et *al.* 2018). Malheureusement, cette technique invasive de stimulation pharyngée est très coûteuse et est rarement disponible en pratique courante. Par ailleurs elle nécessite l'intervention de professionnels de rééducation formés à la technique.

Une technique alternative et non invasive pourrait être utilisée lors du sevrage de la trachéotomie chez les patients cérébrolées : l'électrostimulation sous-mentonnière transcutanée. Une étude expérimentale a été réalisée sur 9 sujets ayant préalablement subi une lésion virtuelle du cortex oro-pharyngé par stimulation magnétique transcrânienne. Dans cette étude, l'application d'une séance d'électrostimulation sous-mentonnière transcutanée à 80Hz, au seuil sensitif et d'une durée de 20 min, avait permis une réduction du temps de déclenchement de la déglutition. Les résultats des potentiels évoqués moteurs et de la cartographie corticale réalisés après la séance d'électrostimulation sous-mentonnière transcutanée montrent que cette technique a permis l'augmentation de l'excitabilité du cortex moteur oropharyngé. Les auteurs suggèrent que cette technique serait capable de produire des effets similaires chez les patients dysphagiques à la suite d'un AVC (Cugy *et al.* 2015). Nous utilisons déjà cette technique dans notre service de neuro-réanimation du CHU de Bordeaux, lors de la rééducation des patients cérébro-lésés, ou lors du sevrage de la trachéotomie des patients cérébro-lésés trachéotomisés. Cette dernière utilisation pourrait également faire l'objet d'un protocole de recherche.

CONCLUSION :

Dans ce travail et en nous appuyant sur la littérature scientifique existante, nous avons proposé un protocole original de sevrage de la trachéotomie dans la population des patients cérébro-lésés. Notre objectif était de rendre ce protocole à la fois suffisamment simple et suffisamment pertinent pour pouvoir être utilisé par une équipe paramédicale, en dehors d'une unité de réanimation et sans avoir recours à l'évaluation instrumentale. Pour ce faire, nous avons développé un algorithme décisionnel en 5 étapes, basé sur des critères de stabilité adaptés spécifiquement à chaque patient. Afin d'autonomiser les équipes paramédicales dans l'utilisation de notre protocole, celui-ci était accompagné d'un volet de formation. Pour évaluer notre protocole nous avons réalisé une étude prospective observationnelle. Les résultats de cette étude suggèrent que notre protocole est un outil efficace pour conduire un grand nombre de patients à la décanulation (taux de décanulation 90%) et ce, dans un temps apparaissant comme très court par rapport aux données de la littérature (durée moyenne de sevrage 7.6 (ET 4.6) jours). De plus, notre protocole apparaît suffisamment robuste et pertinent pour permettre une décanulation sans échec (taux de réussite 100%). Nous pensons qu'il pourrait être utilisé en toute sécurité dans des unités de soins secondaires. Ceci permettrait de fluidifier le parcours de soins de ces patients et donc, leur transfert vers des structures de soins plus adaptées à l'évolution de leurs besoins. Cependant, même si nos résultats sont encourageants, ils restent à démontrer dans une étude de type randomisée contrôlée, ou face à un protocole de sevrage de la trachéotomie basé sur une évaluation instrumentale.

Dans ce protocole de sevrage, une de nos étapes (l'étape 2) nécessite l'usage d'un clapet phonatoire. Nous avons donc cherché à évaluer, dans une étude expérimentale, la pertinence de cet accessoire par rapport au seul dégonflage du ballonnet. Nos résultats montrent que l'utilisation du clapet phonatoire est nécessaire à la ré-afférentation laryngée en recréant un flux d'air dans les voies aériennes supérieures. Ce flux d'air est présent sur le temps expiratoire, mais nous avons découvert qu'il existait aussi sur le temps inspiratoire, probablement du fait de l'augmentation des résistances provoquée par l'ouverture du clapet. A notre connaissance cet effet n'avait jamais été décrit dans la littérature. Le clapet phonatoire semble donc avoir toute sa place dans un protocole de sevrage de la trachéotomie à destination des patients cérébro-lésés.

De plus, afin d'améliorer la prise en en charge de ces patients et de mieux cibler ceux dont le sevrage pourrait présenter des difficultés particulières, nous nous sommes intéressés aux facteurs prédictifs de la décanulation au travers d'une revue systématique de la littérature. Les

facteurs prédictifs principaux retenus dans cette revue étaient : un bon état neurologique, un traumatisme crânien (plutôt qu'un AVC ou une anoxie cérébrale), un âge plus jeune, une déglutition et une toux efficaces et l'absence d'infections pulmonaires. Les facteurs prédictifs secondaires étaient : une trachéotomie précoce, des lésions supra-tentorielles, l'absence de faiblesse musculaire acquise en réanimation et l'absence de lésions trachéales. L'évaluation de ces facteurs prédictifs chez un patient cérébro-lésé trachéotomisé devrait permettre d'identifier *a priori* ceux nécessitant une évaluation dépassant le cadre de notre protocole de sevrage ; comme par exemple la nasofibroscopie. Celle-ci pourrait alors être réservée aux patients les plus à risque.

C'est dans cet esprit que nous avons développé, en parallèle de nos travaux de recherche, un protocole de coopération entre professionnels de santé permettant à un MKDE de réaliser des nasofibroscopies lors d'une évaluation de la déglutition. L'accès à cette technique de référence nous permettra, d'une part, de sécuriser la décision de décanulation chez les patients identifiés comme étant à risque d'échec et, d'autre part, d'envisager la validation de notre protocole de sevrage face à un protocole de sevrage guidé par la nasofibroscopie.

Nous avons cherché à rationaliser le sevrage de la trachéotomie au maximum afin de le rendre le moins complexe possible et donc plus facilement accessible à des services moins spécialisés qu'une unité de réanimation. Cependant, le sevrage de la trachéotomie reste une procédure nécessitant des compétences techniques et un savoir théorique et clinique importants. La création de recommandations, pour lesquelles nous avons été sollicités à l'issue de ce travail, ainsi que la formation, nous paraissent être deux des éléments fondamentaux pour l'amélioration de la prise en charge des patients cérébro-lésés trachéotomisés. D'autres pistes de recherche concernant le dépistage et le traitement du SAS, ou encore l'utilisation de l'électrostimulation sous-mentonnière transcutanée, lors d'un sevrage de la trachéotomie, pourraient également venir enrichir la pratique des cliniciens au contact de cette population.

BIBLIOGRAPHIE :

166 références

for the LUNG-SAFE Investigators and the ESICM Trials Group, Toshikazu Abe, Fabiana Madotto, Tài Pham, Isao Nagata, Masatoshi Uchida, Nanako Tamiya, Kiyoyasu Kurahashi, Giacomo Bellani, et John G. Laffey. « Epidemiology and Patterns of Tracheostomy Practice in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome in ICUs across 50 Countries ». *Critical Care* 22, nº 1 (décembre 2018): 195. https://doi.org/10.1186/s13054-018-2126-6.

Ahn, D, G J Lee, Y S Choi, J W Park, J K Kim, E J Kim, et Y H Lee. « Timing and Clinical Outcomes of Tracheostomy in Patients with COVID-19 ». *British Journal of Surgery* 108, nº 1 (27 janvier 2021): e27-28. https://doi.org/10.1093/bjs/znaa064.

Alberts, Mark J., Jennifer Horner, Linda Gray, et Scott R. Brazer. « Aspiration after Stroke: Lesion Analysis by Brain MRI ». *Dysphagia* 7, nº 3 (1 septembre 1992): 170-73. https://doi.org/10.1007/BF02493452.

Alexiev, Filip, Anne-Kathrin Brill, Sebastian R. Ott, Simone Duss, Markus Schmidt, et Claudio L. Bassetti. « Sleep-Disordered Breathing and Stroke: Chicken or Egg? » *Journal of Thoracic Disease* 10, nº S34 (décembre 2018): S4244-52. https://doi.org/10.21037/jtd.2018.12.66.

Altman, Kenneth W., Gou-Pei Yu, et Steven D. Schaefer. « Consequence of Dysphagia in the Hospitalized Patient: Impact on Prognosis and Hospital Resources ». *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery* 136, nº 8 (16 août 2010): 784. https://doi.org/10.1001/archoto.2010.129.

Article L4011-4, modifié par LOI n°2020-1525 du 7 décembre 2020 – art. 97. https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/article_jo/JORFARTI000042619948. Consulté le 08 août 2024.

Bach J, Saporito L, Shah H, Sinquee D. Decanulation of patients with severe respiratory muscle insufficiency: Efficacy of mechanical insufflation-exsufflation. J Rehabil Med. 2014;46(10):1037-41. https://doi.org/10.2340/16501977-1874

Bach, John R., et Lou R. Saporito. « Criteria for Extubation and Tracheostomy Tube Removal for Patients With Ventilatory Failure ». *Chest* 110, nº 6 (décembre 1996): 1566-71. https://doi.org/10.1378/chest.110.6.1566.

Bautista, Tara G., Qi-Jian Sun, et Paul M. Pilowsky. « The Generation of Pharyngeal Phase of Swallow and Its Coordination with Breathing ». In *Progress in Brain Research*, 212:253-75. Elsevier, 2014. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63488-7.00013-6.

Beduneau, G, P Bouchetemble, et A Muller. « De la trachéotomie à la décanulation: quels sont les problèmes dans une unité de sevrage? » *Réanimation* 16, nº 1 (février 2007): 42-48. https://doi.org/10.1016/j.reaurg.2006.12.007.

Bellon, Pablo A, Mauro J Bosso, Joaquín E Carnero Echegaray, Florencia Larocca, Julieta Gagliardi, Walter A Primosich, Hernán M Pavón, Rodrigo Di Yorio, et Jorge J Cancino. « Tracheostomy Decannulation and Disorders of Consciousness Evolution ». *Respiratory Care* 67, nº 2 (février 2022): 209-15. https://doi.org/10.4187/respcare.08301.

Bennion K. Clinical practice guideline nasotracheal suctioning. Respir Care 2004;49(9):1080–4.

Berney, Loric, Jean-Blaise Wasserfallen, Kathleen Grant, Marc Levivier, Christian Simon, Mohamed Faouzi, Roland Paillex, Valérie Schweizer, et Karin Diserens. « Acute Neurorehabilitation: Does a Neurosensory and Coordinated Interdisciplinary Programme Reduce Tracheostomy Weaning Time and Weaning Failure? » Édité par Harvey E. Jacobs. *NeuroRehabilitation* 34, nº 4 (26 juin 2014): 809-17. https://doi.org/10.3233/NRE-141081.

Bianchi, Alessandra, Maurizio Barbara, et Simonetta Monini. « Selective Rehabilitative Approach to Neurological Dysfunctions of the Oro-Pharyngo-Laryngeal Trivium ». *Acta Oto-Laryngologica* 134, nº 11 (novembre 2014): 1172-78. https://doi.org/10.3109/00016489.2014.936626.

Blot F, Similowski T, Trouillet JL, Chardon P, Korach JM, Costa MA, et al. Early tracheotomy versus prolonged endotracheal intubation in unselected severely ill ICU patients. Intensive Care Med 2008;34(10):1779-1787.

Bodien, Yelena G., Alice Barra, Nancy R. Temkin, Jason Barber, Brandon Foreman, Mary Vassar, Claudia Robertson, et al. « Diagnosing Level of Consciousness: The Limits of the Glasgow Coma Scale Total Score ». *Journal of Neurotrauma* 38, nº 23 (1 décembre 2021): 3295-3305. https://doi.org/10.1089/neu.2021.0199.

Bonilha, Heather Shaw, Annie N. Simpson, Charles Ellis, Patrick Mauldin, Bonnie Martin-Harris, et Kit Simpson. « The One-Year Attributable Cost of Post-Stroke Dysphagia ». *Dysphagia* 29, nº 5 (octobre 2014): 545-52. https://doi.org/10.1007/s00455-014-9543-8.

Bösel, Julian. « Tracheostomy in Stroke Patients ». *Current Treatment Options in Neurology* 16, nº 1 (janvier 2014): 274. https://doi.org/10.1007/s11940-013-0274-1.

Brass, Patrick, Martin Hellmich, Angelika Ladra, Jürgen Ladra, et Anna Wrzosek. « Percutaneous Techniques versus Surgical Techniques for Tracheostomy ». Édité par Cochrane Emergency and Critical Care Group. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 20 juillet 2016. https://doi.org/10.1002/14651858.CD008045.pub2.

Broniatowski, Michael. « Dynamic Control of the Larynx and Future Perspectives in the Management of Deglutitive Aspiration ». *Dysphagia* 8, nº 4 (1 septembre 1993): 334-36. https://doi.org/10.1007/BF01321773.

Brunet, J., M. Dufour-Trivini, B. Sauneuf, et N. Terzi. « Gestion de la décanulation : quelle prise en charge pour le patient trachéotomisé ? » *Réanimation* 24, nº 1 (janvier 2015): 20-28. https://doi.org/10.1007/s13546-014-1007-5.

Buchholz, David W. « Esophageal Dysfunction Due to Neurological Disorders ». *Dysphagia* 11, nº 1 (1 décembre 1996): 30-33. https://doi.org/10.1007/BF00385797.

Camacho, Macario, Victor Certal, Scott E. Brietzke, Jon-Erik C. Holty, Christian Guilleminault, et Robson Capasso. « Tracheostomy as Treatment for Adult Obstructive Sleep Apnea: A Systematic Review and Meta-Analysis ». *The Laryngoscope* 124, nº 3 (mars 2014): 803-11. https://doi.org/10.1002/lary.24433.

Cammarota, Gianmaria, Rachele Simonte, et Edoardo De Robertis. « Comfort During Non-Invasive Ventilation ». *Frontiers in Medicine* 9 (24 mars 2022): 874250. https://doi.org/10.3389/fmed.2022.874250.

Caroff, Daniel A., Lingling Li, John Muscedere, et Michael Klompas. « Subglottic Secretion Drainage and Objective Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis ». *Critical Care Medicine* 44, nº 4 (avril 2016): 830-40. https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001414.

Ceriana, P, A Carlucci, A Schreiber, C Fracchia, C Cazzani, M Dichiarante, B Cattani, C Fassio, D Segagni, et S Nava. « Changes of Swallowing Function after Tracheostomy: A Videofluoroscopy Study ». *MINERVA ANESTESIOLOGICA* 81, nº 4 (2015): 9.

Chadda, Karim, Bruno Louis, Lamine Benaïssa, Djillali Annane, Philippe Gajdos, Jean Raphaël, et Frédéric Lofaso. « Physiological Effects of Decannulation in Tracheostomized Patients ». *Intensive Care Medicine* 28, nº 12 (décembre 2002): 1761-67. https://doi.org/10.1007/s00134-002-1545-6.

Chan, Linda Y. Y., Alice Y. M. Jones, Raymond C. K. Chung, et K. N. Hung. « Peak Flow Rate During Induced Cough: A Predictor of Successful Decannulation of a Tracheotomy Tube in Neurosurgical Patients ». *American Journal of Critical Care* 19, nº 3 (1 mai 2010): 278-84. https://doi.org/10.4037/ajcc2009575.

Cheung, Nora H, et Lena M Napolitano. « Tracheostomy: Epidemiology, Indications, Timing, Technique, and OutcomesDiscussion ». *Respiratory Care* 59, nº 6 (juin 2014): 895-919. https://doi.org/10.4187/respcare.02971.

Christopher, Kent L. « Tracheostomy Decannulation ». *RESPIRATORY CARE* 50, nº 4 (2005): 4.

Ciaglia, P., Rita Firsching, et Cynthia Syniec. « Elective Percutaneous Dilatational Tracheostomy ». *Chest* 87, nº 6 (juin 1985): 715-19. https://doi.org/10.1378/chest.87.6.715.

Code de la santé publique : Section 1 : Actes professionnels, article R4321-5. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006913987. Consulté le 08 août 2024

Code de la santé publique : Section 1 : Actes professionnels, article R4321-9. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006913991. Consulté le 08 août 2024

Cramer, John D., Evan M. Graboyes, et Michael J. Brenner. « Mortality Associated with Tracheostomy Complications in the United States: 2007-2016: Tracheostomy-Related Mortality ». *The Laryngoscope* 129, nº 3 (mars 2019): 619-26. https://doi.org/10.1002/lary.27500.

Cugy, Emmanuelle, Anne-Marie Leroi, Julie Kerouac-Laplante, Patrick Dehail, Pierre-Alain Joseph, Emmanuel Gerardin, Jean-Paul Marie, et Éric Verin. « Effect of Submental Sensitive Transcutaneous Electrical Stimulation on Virtual Lesions of the Oropharyngeal Cortex ». *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* 59, nº 2 (avril 2016): 94-99. https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.10.010.

Cugy, E, M Engelhardt, T Gallice, L Nouard, S Milhe de Saint-Victor, et C Delleci. « Troubles de la déglutition après un accident vasculaire cérébral ». *La lettre du Neurologue* 22, nº 4 (s. d.): 7, 2018

Cunningham, Emmett T., et Paul E. Sawchenko. « Central Neural Control of Esophageal Motility: A Review ». *Dysphagia* 5, nº 1 (1 mars 1990): 35-51. https://doi.org/10.1007/BF02407391.

Daniels, Stephanie K., et Anne L. Foundas. « The Role of the Insular Cortex in Dysphagia ». *Dysphagia* 12, nº 3 (1 mai 1997): 146-56. https://doi.org/10.1007/PL00009529.

Daniels, Stephanie K. « Swallowing Apraxia: A Disorder of the Praxis System? » *Dysphagia* 15, nº 3 (1 juin 2000): 159-66. https://doi.org/10.1007/s004550010019.

Daniels, Stephanie K., Shweta Pathak, Shalini V. Mukhi, Carol B. Stach, Robert O. Morgan, et Jane A. Anderson. « The Relationship Between Lesion Localization and Dysphagia in Acute Stroke ». *Dysphagia* 32, nº 6 (1 décembre 2017): 777-84. https://doi.org/10.1007/s00455-017-9824-0.

Décret n°99-426 du 27 mai 1999 habilitant certaines catégories de personnes à effectuer des aspirations endotrachéales. https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000005627978. Consulté le 08 août 2024

De Jonghe, Bernard, Sylvie Bastuji-Garin, Marie-Christine Durand, Isabelle Malissin, Pablo Rodrigues, Charles Cerf, Hervé Outin, et Tarek Sharshar. « Respiratory Weakness Is Associated with Limb Weakness and Delayed Weaning in Critical Illness* »: *Critical Care Medicine* 35, nº 9 (septembre 2007): 2007-15. https://doi.org/10.1097/01.ccm.0000281450.01881.d8.

Déroulement d'une hospitalisation et prise en charge par l'Assurance maladie. https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F200 consulté le 20 août 2024.

Dodds, Wylie J. « The Physiology of Swallowing ». *Dysphagia* 3, nº 4 (1 décembre 1989): 171-78. https://doi.org/10.1007/BF02407219.

Dorst, Johannes, et Albert C Ludolph. « Non-Invasive Ventilation in Amyotrophic Lateral Sclerosis ». *Therapeutic Advances in Neurological Disorders*, s. d.

Dunn, Katrina, et Anna Rumbach. « Incidence and Risk Factors for Dysphagia Following Non-Traumatic Subarachnoid Hemorrhage: A Retrospective Cohort Study ». *Dysphagia* 34, nº 2 (avril 2019): 229-39. https://doi.org/10.1007/s00455-018-9934-3.

Durbin, Charles G Jr. « Indications for and Timing of Tracheostomy ». *RESPIRATORY CARE* 50, nº 4 (2005): 5.

Durbin, Charles G Jr. « Tracheostomy: Why, When, and How? » *Respiratory Care* 55, nº 8 (2010): 1056-68.

Dziewas, Rainer, Rebecca Stellato, Ingeborg Van Der Tweel, Ernst Walther, Cornelius J Werner, Tobias Braun, Giuseppe Citerio, et al. « Pharyngeal Electrical Stimulation for Early Decannulation in Tracheotomised Patients with Neurogenic Dysphagia after Stroke (PHAST-

TRAC): A Prospective, Single-Blinded, Randomised Trial ». *The Lancet Neurology* 17, nº 10 (octobre 2018): 849-59. https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30255-2.

Dziewas, Rainer, Hans-Dieter Allescher, Ilia Aroyo, Gudrun Bartolome, Ulrike Beilenhoff, Jörg Bohlender, Helga Breitbach-Snowdon, et al. « Diagnosis and Treatment of Neurogenic Dysphagia – S1 Guideline of the German Society of Neurology ». *Neurological Research and Practice* 3, nº 1 (décembre 2021): 23. https://doi.org/10.1186/s42466-021-00122-3.

Eibling, David E., et Roxann Diez Gross. « Subglottic Air Pressure: A Key Component of Swallowing Efficiency ». *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* 105, nº 4 (avril 1996): 253-58. https://doi.org/10.1177/000348949610500401.

Enrichi, Claudia, Irene Battel, Cristiano Zanetti, Isabella Koch, Laura Ventura, Katie Palmer, Francesca Meneghello, et al. « Clinical Criteria for Tracheostomy Decannulation in Subjects with Acquired Brain Injury ». *Respiratory Care* 62, nº 10 (1 octobre 2017): 1255-63. https://doi.org/10.4187/respcare.05470

Ertekin, Cumhur. « Voluntary Versus Spontaneous Swallowing in Man ». *Dysphagia* 26, nº 2 (1 juin 2011): 183-92. https://doi.org/10.1007/s00455-010-9319-8.

Ertekin, Cumhur, Nefati Kiylioglu, Sultan Tarlaci, A. Bulent Turman, Yaprak Secil, et Ibrahim Aydogdu. « Voluntary and Reflex Influences on the Initiation of Swallowing Reflex in Man ». *Dysphagia* 16, nº 1 (1 janvier 2001): 40-47. https://doi.org/10.1007/s004550000041.

Evrard, Diane, Igor Jurcisin, Maksud Assadi, Juliette Patrier, Victor Tafani, Nicolas Ullmann, Jean-François Timsit, et al. « Tracheostomy in COVID-19 Acute Respiratory Distress Syndrome Patients and Follow-up: A Parisian Bicentric Retrospective Cohort ». Édité par Sebastian Shepherd. *PLOS ONE* 16, nº 12 (22 décembre 2021): e0261024. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261024.

Fernandez, Rafael, Nestor Bacelar, Gonzalo Hernandez, Isabel Tubau, Francisco Baigorri, Gisela Gili, et Antonio Artigas. « Ward Mortality in Patients Discharged from the ICU with Tracheostomy May Depend on Patient's Vulnerability ». *Intensive Care Medicine* 34, nº 10 (octobre 2008): 1878-82. https://doi.org/10.1007/s00134-008-1169-6.

Fernández-Carmona, A., L. Peñas-Maldonado, E. Yuste-Osorio, et A. Díaz-Redondo. « Exploration and Approach to Artificial Airway Dysphagia ». *Medicina Intensiva (English Edition)* 36, nº 6 (août 2012): 423-33. https://doi.org/10.1016/j.medine.2012.09.001.

Foley, Nc, Re Martin, Kl Salter, et Rw Teasell. « A Review of the Relationship between Dysphagia and Malnutrition Following Stroke ». *Journal of Rehabilitation Medicine* 41, nº 9 (2009): 707-13. https://doi.org/10.2340/16501977-0415.

Frank, Ulrike, Mark Mäder, et Heike Sticher. « Dysphagic Patients with Tracheotomies: A Multidisciplinary Approach to Treatment and Decannulation Management ». *Dysphagia* 22, nº 1 (1 février 2007): 20-29. https://doi.org/10.1007/s00455-006-9036-5.

Frost, Elizabeth A. M. « Tracing the Tracheostomy ». *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* 85, nº 5 (septembre 1976): 618-24. https://doi.org/10.1177/000348947608500509.

Garrubba, Marie, Tari Turner, et Clare Grieveson. « Multidisciplinary Care for Tracheostomy Patients: A Systematic Review ». *Critical Care* 13, nº 6 (2009): R177. https://doi.org/10.1186/cc8159.

Garuti, Giancarlo, Cristina Reverberi, Angelo Briganti, Monica Massobrio, Francesco Lombardi, et Mirco Lusuardi. « Swallowing disorders in tracheostomised patients: a multidisciplinary/multiprofessional approach in decannulation protocols ». *Multidisciplinary Respiratory Medicine* 9, nº 1 (20 juin 2014): 36. https://doi.org/10.1186/2049-6958-9-36.

Gessler, Florian, Haitham Mutlak, Stefan Lamb, Michael Hartwich, Michael Adelmann, Johannes Platz, Juergen Konczalla, Volker Seifert, et Christian Senft. « The Impact of Tracheostomy Timing on Clinical Outcome and Adverse Events in Poor-Grade Subarachnoid Hemorrhage* »: *Critical Care Medicine* 43, nº 11 (novembre 2015): 2429-38. https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001195.

Goldsmith T. Evaluation and treatment of swallowing disorders following endotracheal intubation and tracheostomy. Int Anesthesiol Clin. 2000;38:219–42. https://doi.org/10.1097/00004311-200007000-00013

Grooten, Wilhelmus Johannes Andreas, Elena Tseli, Björn Olov Äng, Katja Boersma, Britt-Marie Stålnacke, Björn Gerdle, et Paul Enthoven. « Elaborating on the Assessment of the Risk of Bias in Prognostic Studies in Pain Rehabilitation Using QUIPS—Aspects of Interrater Agreement ». *Diagnostic and Prognostic Research* 3, nº 1 (décembre 2019): 5. https://doi.org/10.1186/s41512-019-0050-0.

Gross, Roxann Diez, Ricardo L. Carrau, William A. Slivka, Ronit G. Gisser, Libby J. Smith, David J. Zajac, et Frank C. Sciurba. « Deglutitive Subglottic Air Pressure and Respiratory System Recoil ». *Dysphagia* 27, nº 4 (décembre 2012): 452-59. https://doi.org/10.1007/s00455-011-9389-2.

Hakiki, Bahia, Silvia Pancani, Francesca Draghi, Emilio Portaccio, Ariela Tofani, Barbara Binazzi, Romoli Anna Maria, Maenia Scarpino, Claudio Macchi, et Francesca Cecchi. « Decannulation and Improvement of Responsiveness in Patients with Disorders of Consciousness ». *Neuropsychological Rehabilitation*, 26 octobre 2020, 1-17. https://doi.org/10.1080/09602011.2020.1833944.

Hakiki, Bahia, Francesca Draghi, Maenia Scarpino, Emilio Portaccio, Annamaria Romoli, Andrea Mannini, Tiziana Atzori, Francesco Lolli, Claudio Macchi, et Antonello Grippo. « Critical Illness Polyneuromyopathy: Functional Impact after Severe Acquired Brain Injuries ». *Acta Neurologica Scandinavica* 142, nº 6 (décembre 2020): 574-84. https://doi.org/10.1111/ane.13324.

Hakiki, Bahia, Francesca Draghi, Silvia Pancani, Emilio Portaccio, Antonello Grippo, Barbara Binazzi, Ariela Tofani, Maenia Scarpino, Claudio Macchi, et Francesca Cecchi. « Decannulation After a Severe Acquired Brain Injury ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 101, nº 11 (novembre 2020): 1906-13. https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.05.004.

Halum, Stacey L., Jonathan Y. Ting, Emily K. Plowman, Peter C. Belafsky, Claude F. Harbarger, Gregory N. Postma, Michael J. Pitman, et al. « A Multi-institutional Analysis of Tracheotomy

Complications ». *The Laryngoscope* 122, nº 1 (janvier 2012): 38-45. https://doi.org/10.1002/lary.22364.

Hårdemark Cedborg, A. I., K. Bodén, H. Witt Hedström, R. Kuylenstierna, O. Ekberg, L. I. Eriksson, et E. Sundman. « Breathing and Swallowing in Normal Man - Effects of Changes in Body Position, Bolus Types, and Respiratory Drive: Coordination of Breathing and Swallowing ». *Neurogastroenterology & Motility* 22, nº 11 (novembre 2010): 1201-e316. https://doi.org/10.1111/j.1365-2982.2010.01551.x.

Heidler, Maria-Dorothea, Annett Salzwedel, Michael Jöbges, Olaf Lück, Christian Dohle, Michael Seifert, Andrea von Helden, Wibke Hollweg, et Heinz Völler. « Decannulation of Tracheotomized Patients after Long-Term Mechanical Ventilation – Results of a Prospective Multicentric Study in German Neurological Early Rehabilitation Hospitals ». *BMC Anesthesiology* 18, nº 1 (décembre 2018): 65. https://doi.org/10.1186/s12871-018-0527-3.

Hermans, Greet, et Greet Van Den Berghe. « Clinical Review: Intensive Care Unit Acquired Weakness ». *Critical Care* 19, nº 1 (décembre 2015): 274. https://doi.org/10.1186/s13054-015-0993-7.

Hernández, G., R. Ortiz, A. Pedrosa, R. Cuena, C. Vaquero Collado, P. González Arenas, S. García Plaza, A. Canabal Berlanga, et R. Fernández. « The Indication of Tracheotomy Conditions the Predictors of Time to Decannulation in Critical Patients ». *Medicina Intensiva (English Edition)* 36, nº 8 (novembre 2012): 531-39. https://doi.org/10.1016/j.medine.2012.10.013.

Hernández, Gonzalo, Irene Paredes, Francisco Moran, Marcos Buj, Laura Colinas, María Luisa Rodríguez, Alfonso Velasco, et al. « Effect of Postextubation Noninvasive Ventilation with Active Humidification vs High-Flow Nasal Cannula on Reintubation in Patients at Very High Risk for Extubation Failure: A Randomized Trial ». *Intensive Care Medicine* 48, nº 12 (décembre 2022): 1751-59. https://doi.org/10.1007/s00134-022-06919-3.

Hernández Martínez, Gonzalo, Maria-Luisa Rodriguez, Maria-Concepción Vaquero, Ramón Ortiz, Joan-Ramon Masclans, Oriol Roca, Laura Colinas, et al. « High-Flow Oxygen with Capping or Suctioning for Tracheostomy Decannulation ». *New England Journal of Medicine* 383, nº 11 (10 septembre 2020): 1009-17. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2010834.

Hess, Dean R. « Facilitating Speech in the Patient With a Tracheostomy ». *RESPIRATORY CARE* 50, nº 4 (2005): 7.

Hess, Dean R, et Neila P Altobelli. « Tracheostomy TubesDiscussion ». *Respiratory Care* 59, nº 6 (juin 2014): 956-73. https://doi.org/10.4187/respcare.02920.

Huang, Hua-Wei, Guo-Bin Zhang, Ming Xu, Guang-Qiang Chen, Xiao-Kang Zhang, Jun-Ting Zhang, Zhen Wu, et Jian-Xin Zhou. « The Impact of Tracheostomy Timing on Clinical Outcomes and Adverse Events in Intubated Patients with Infratentorial Lesions: Early versus Late Tracheostomy ». *Neurosurgical Review* 44, nº 3 (juin 2021): 1513-22. https://doi.org/10.1007/s10143-020-01339-7.

Humbert, Ianessa A., et Rebecca Z. German. « New Directions for Understanding Neural Control in Swallowing: The Potential and Promise of Motor Learning ». *Dysphagia* 28, nº 1 (1 mars 2013): 1-10. https://doi.org/10.1007/s00455-012-9432-y.

Hussey, J.D., et Michael J. Bishop. « Pressures Required to Move Gas Through the Native Airway in the Presence of a Fenestrated vs a Nonfenestrated Tracheostomy Tube ». *Chest* 110, nº 2 (août 1996): 494-97. https://doi.org/10.1378/chest.110.2.494.

Intiso, Domenico, Filomena Di Rienzo, Andrea Fontana, Maurizio Tolfa, Michelangelo Bartolo, et Massimiliano Copetti. « Functional Outcome of Critical Illness Polyneuropathy in Patients Affected by Severe Brain Injury ». *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine* 53, nº 6 (décembre 2017). https://doi.org/10.23736/S1973-9087.17.04595-6.

Jackson, Chevalier. « TRACHEOTOMY »: *THE LARYNGOSCOPE* 19, nº 4 (avril 1909): 285???290. https://doi.org/10.1288/00005537-190904000-00003.

Jean, André. « Brain Stem Control of Swallowing: Neuronal Network and Cellular Mechanisms ». *Physiological Reviews* 81, nº 2 (1 avril 2001): 929-69. https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.2.929.

Jenkins, Ryne, Neeraj Badjatia, Bryce Haac, Richard Van Besien, John F. Biedlingmaier, Deborah M. Stein, Wan-Tsu Chang, Gary Schwartzbauer, Gunjan Parikh, et Nicholas A. Morris. « Factors Associated with Tracheostomy Decannulation in Patients with Severe Traumatic Brain Injury ». *Brain Injury* 34, nº 8 (2 juillet 2020): 1106-11. https://doi.org/10.1080/02699052.2020.1786601.

Joundi, Raed A., Rosemary Martino, Gustavo Saposnik, Vasily Giannakeas, Jiming Fang, et Moira K. Kapral. « Predictors and Outcomes of Dysphagia Screening After Acute Ischemic Stroke ». *Stroke* 48, nº 4 (avril 2017): 900-906. https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.015332.

Kahrilas, Peter J. « Pharyngeal Structure and Function ». *Dysphagia* 8, nº 4 (1 septembre 1993): 303-7. https://doi.org/10.1007/BF01321767.

Kapadia, Farhad N., Khusrav B. Bajan, et Krisy V. Raje. « Airway Accidents in Intubated Intensive Care Unit Patients: An Epidemiological Study »: *Critical Care Medicine* 28, nº 3 (mars 2000): 659-64. https://doi.org/10.1097/00003246-200003000-00010.

Kennedy, Jesse G., et Raymond D. Kent. « Physiological Substrates of Normal Deglutition ». *Dysphagia* 3, nº 1 (1 mars 1988): 24-37. https://doi.org/10.1007/BF02406277.

Kidder, Thomas M. « Esophago/Pharyngo/Laryngeal Interrelationships: Airway Protection Mechanisms ». *Dysphagia* 10, nº 4 (1 septembre 1995): 228-31. https://doi.org/10.1007/BF00431414.

Kim, Yong kyun, Sang-heon Lee, et Jang-won Lee. « Effects of Capping of the Tracheostomy Tube in Stroke Patients With Dysphagia ». *Annals of Rehabilitation Medicine* 41, nº 3 (juin 2017): 426-33. https://doi.org/10.5535/arm.2017.41.3.426.

Klingbeil, Gerda E.G. « Airway problems in patients with traumatic brain injury ». *Archive of Physical Medicine and Rehabilitation* 69 (1988).

Komonski, Ambre. « Pratique de l'aspiration nasotrachéale par les kinésithérapeutes hospitaliers ». *Kinésithérapie, la Revue* 18, nº 202 (octobre 2018): 3-8. https://doi.org/10.1016/j.kine.2018.04.012.

Küchler, Jan, Jann F. Wojak, Emma Smith, Jan Brocke, Abdulkareem Abusamha, Volker M. Tronnier, et Claudia Ditz. « Management of Tracheostomized Patients after Poor Grade Subarachnoid Hemorrhage: Disease Related and Pulmonary Risk Factors for Failed and Delayed Decannulation ». *Clinical Neurology and Neurosurgery* 184 (septembre 2019): 105419. https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2019.105419.

Krishnamoorthy, Vijay, Catherine L. Hough, Monica S. Vavilala, Jordan Komisarow, Nophanan Chaikittisilpa, Abhijit V. Lele, Karthik Raghunathan, et Claire J. Creutzfeldt. « Tracheostomy After Severe Acute Brain Injury: Trends and Variability in the USA ». *Neurocritical Care* 30, nº 3 (juin 2019): 546-54. https://doi.org/10.1007/s12028-019-00697-5.

Lacau Saint Guily, J, D Boisson-Bertrand, et P Monnier. « Lésions liées à l'intubation oro- et nasotrachéale et aux techniques alternatives : lèvres, cavités buccale et nasales, pharynx, larynx, trachée, œsophage ». *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 22 (août 2003): 81-96. https://doi.org/10.1016/S0750-7658(03)00163-1.

Laitman, Jeffrey T., et Joy S. Reidenberg. « Specializations of the Human Upper Respiratory and Upper Digestive Systems as Seen through Comparative and Developmental Anatomy ». *Dysphagia* 8, nº 4 (1 septembre 1993): 318-25. https://doi.org/10.1007/BF01321770.

Lang, Ivan M. « Brain Stem Control of the Phases of Swallowing ». *Dysphagia* 24, nº 3 (1 septembre 2009): 333-48. https://doi.org/10.1007/s00455-009-9211-6.

Lanini, Barbara, Barbara Binazzi, Isabella Romagnoli, Elisa Chellini, Lucrezia Pianigiani, Ariela Tofani, Raffaele Molino Lova, Lorenzo Corbetta, et Francesco Gigliotti. « Tracheostomy Decannulation in Severe Acquired Brain Injury Patients: The Role of Flexible Bronchoscopy ». *Pulmonology*, juillet 2021, S253104372100115X. https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2021.05.006.

Larminat, V de, et B Dureuil. « Modification du r flexe de ddglutition au cours de la pdriode p riop ratoire ». *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 13 (s. d.): 8.

Leopold, Norman A., et Stephanie K. Daniels. « Supranuclear Control of Swallowing ». *Dysphagia* 25, nº 3 (1 septembre 2010): 250-57. https://doi.org/10.1007/s00455-009-9249-5.

Leto, Elio, Danilo Lofaro, Lucia Francesca Lucca, Maria Ursino, Stefania Rogano, Paolo Scola, Paolo Tonin, Domenico Conforti, et Antonio Cerasa. « External Validation and Calibration of the DecaPreT Prediction Model for Decannulation in Patients with Acquired Brain Injury ». *Brain Sciences* 11, nº 6 (17 juin 2021): 799. https://doi.org/10.3390/brainsci11060799.

Logemann, Jeri A., Therese Shanahan, Alfred W. Rademaker, Peter J. Kahrilas, Richard Lazar, et Anita Halper. « Oropharyngeal Swallowing after Stroke in the Left Basal Ganglion/Internal Capsule ». *Dysphagia* 8, nº 3 (1 juin 1993): 230-34. https://doi.org/10.1007/BF01354543.

Lui, Hannaly Cheuk-hang, Zhexi He, Tin Fong Zhuang, Chat Fong Ng, et George Kwok-chu Wong. « Tracheostomy Decannulation Outcomes in 131 Consecutive Neurosurgical Patients ». *British Journal of Neurosurgery*, 3 novembre 2021, 1-5. https://doi.org/10.1080/02688697.2021.1995591.

Mackiewicz-Nartowicz, Hanna, Magdalena Mackiewicz-Milewsk, Sabina Lach, Anna Szymańska-Skrzypek, Arkadiusz Owczarek, et Anna Sinkiewicz. « Decannulation Factors in Patients after Serious Brain Injuries ». *Advances in Palliative Medicine*, 2008, sect. vol. 7, no. 2.

Mah, John W., Ilene I. Staff, Sylvia R. Fisher, et Karyn L. Butler. « Improving Decannulation and Swallowing Function: A Comprehensive, Multidisciplinary Approach to Post-Tracheostomy Care ». *Respiratory Care* 62, nº 2 (1 février 2017): 137-43. https://doi.org/10.4187/respcare.04878.

Mahmood, Kamran, George Z. Cheng, Keriann Van Nostrand, Samira Shojaee, Max T. Wayne, Matthew Abbott, Darrell Nettlow, et al. « Tracheostomy for COVID-19 Respiratory Failure: Multidisciplinary, Multicenter Data on Timing, Technique, and Outcomes ». *Annals of Surgery* 274, nº 2 (août 2021): 234-39. https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004955.

Mannini, Andrea, Bahia Hakiki, Piergiuseppe Liuzzi, Silvia Campagnini, Annamaria Romoli, Francesca Draghi, Claudio Macchi, et Maria Chiara Carrozza. « Data-Driven Prediction of Decannulation Probability and Timing in Patients with Severe Acquired Brain Injury ». *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 209 (septembre 2021): 106345. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.106345.

Mariani, Laura, Armando Cilfone, Maria Nicastri, Lucia Libera Pipitone, Federica Stella, Marco De Vincentiis, Antonio Greco, Patrizia Mancini, Lucia Longo, et Giovanni Ruoppolo. « Accuracy of Dysphagia Standard Assessment (DSA®) Bedside Screening Test: A Flowchart for Patient Eligibility ». *Neurological Sciences* 43, nº 9 (septembre 2022): 5411-19. https://doi.org/10.1007/s10072-022-06175-9.

Martin, Ruth E., et Barry J. Sessle. « The Role of the Cerebral Cortex in Swallowing ». *Dysphagia* 8, nº 3 (1 juin 1993): 195-202. https://doi.org/10.1007/BF01354538.

Martin, Bonnie J. W., Marilyn M. Corlew, Helen Wood, David Olson, Lawrence A. Golopol, Michael Wingo, et Nigar Kirmani. « The Association of Swallowing Dysfunction and Aspiration Pneumonia ». *Dysphagia* 9, nº 1 (1 décembre 1994): 1-6. https://doi.org/10.1007/BF00262751.

Martinez, Gonzalo Hernandez, Rafael Fernandez, Marcelino Sanchez Casado, Rafael Cuena, Pilar Lopez-Reina, Sergio Zamora, et Elena Luzon. « Tracheostomy Tube in Place at Intensive Care Unit Discharge Is Associated With Increased Ward Mortality ». *RESPIRATORY CARE* 54, nº 12 (2009).

Martino, Rosemary, Norine Foley, Sanjit Bhogal, Nicholas Diamant, Mark Speechley, et Robert Teasell. « Dysphagia After Stroke: Incidence, Diagnosis, and Pulmonary Complications ». *Stroke* 36, nº 12 (décembre 2005): 2756-63. https://doi.org/10.1161/01.STR.0000190056.76543.eb.

McFarland, D.H., B. Martin-Harris, A.-J. Fortin, K. Humphries, E. Hill, et K. Armeson. « Respiratory-Swallowing Coordination in Normal Subjects: Lung Volume at Swallowing Initiation ». *Respiratory Physiology & Neurobiology* 234 (décembre 2016): 89-96. https://doi.org/10.1016/j.resp.2016.09.004.

McGrath, Brendan A., Sarah Wallace, James Lynch, Barbara Bonvento, Barry Coe, Anna Owen, Mike Firn, et al. « Improving Tracheostomy Care in the United Kingdom: Results of a Guided Quality Improvement Programme in 20 Diverse Hospitals ». *British Journal of Anaesthesia* 125, nº 1 (juillet 2020): e119-29. https://doi.org/10.1016/j.bja.2020.04.064.

Medeiros, Gisele Chagas de, Fernanda Chiarion Sassi, Camila Lirani-Silva, et Claudia Regina Furquim de Andrade. « Critérios Para Decanulação Da Traqueostomia: Revisão de Literatura ». *CoDAS* 31, nº 6 (2019): e20180228. https://doi.org/10.1590/2317-1782/20192018228.

Meng, Xun, Yihao Shao, et Wenying Zhu. « Effect of Open Surgical and Percutaneous Dilatational Tracheostomy on Postoperative Wound Complications in Patients: A Meta-analysis ». *International Wound Journal* 21, nº 1 (janvier 2024): e14368. https://doi.org/10.1111/iwj.14368.

Miller, Arthur J. « Neurophysiological Basis of Swallowing ». *Dysphagia* 1, nº 2 (1 juin 1986): 91. https://doi.org/10.1007/BF02407121.

Miller, Arthur J. « Swallowing: Neurophysiologic Control of the Esophageal Phase ». *Dysphagia* 2, nº 2 (1 juin 1987): 72-82. https://doi.org/10.1007/BF02408137.

Miller, Arthur J. « The Search for the Central Swallowing Pathway: The Quest for Clarity ». *Dysphagia* 8, nº 3 (1 juin 1993): 185-94. https://doi.org/10.1007/BF01354537.

Mitton, Kay, Krystyna Walton, et Manoj Sivan. « Tracheostomy Weaning Outcomes in Relation to the Site of Acquired Brain Injury: A Retrospective Case Series ». *Brain Injury* 31, nº 2 (28 janvier 2017): 267-71. https://doi.org/10.1080/02699052.2016.1250951.

Molin, Nicole, Keith Myers, Ahmed M.S. Soliman, et Cecelia E. Schmalbach. « COVID-19 Tracheostomy Outcomes ». *Otolaryngology–Head and Neck Surgery* 167, nº 6 (décembre 2022): 923-28. https://doi.org/10.1177/01945998221075610.

Morelot-Panzini, Capucine, Gaëlle Bruneteau, et Jesus Gonzalez-Bermejo. « NIV in Amyotrophic Lateral Sclerosis: The 'When' and 'How' of the Matter ». *Respirology* 24, nº 6 (juin 2019): 521-30. https://doi.org/10.1111/resp.13525.

Mortensen, Jesper, Simon Svanborg Kjeldsen, Helene Honoré, et Asger Roer Pedersen. « Using Routinely Gathered Clinical Data to Develop a Prognostic Online Tool for Decannulation in Subjects With Acquired Brain Injury ». *Respiratory Care* 65, nº 11 (novembre 2020): 1678-86. https://doi.org/10.4187/respcare.07497.

Mudry, A., et N. Fakhry. « Themistocles Gluck and the Premises of Modern Total Laryngectomy ». *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases* 140, nº 4 (août 2023): 187-89. https://doi.org/10.1016/j.anorl.2022.11.001.

Nieszkowska, Ania, Alain Combes, Charles-Edouard Luyt, Hichem Ksibi, Jean-Louis Trouillet, Claude Gibert, et Jean Chastre. « Impact of Tracheotomy on Sedative Administration, Sedation Level, and Comfort of Mechanically Ventilated Intensive Care Unit Patients* ». *Critical Care Medicine* 33, nº 11 (novembre 2005): 2527-33. https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000186898.58709.AA.

Nowak, Peggyann, Arnold M. Cohn, et Mary Ann Guidice. « Airway Complications in Patients with Closed-Head Injuries ». *American Journal of Otolaryngology* 8, nº 2 (mars 1987): 91-96. https://doi.org/10.1016/S0196-0709(87)80030-3.

O'Connor, Lauren Rachel, Norman R Morris, et Jennifer Paratz. « Physiological and Clinical Outcomes Associated with Use of One-Way Speaking Valves on Tracheostomised Patients: A Systematic Review ». *Heart & Lung* 48, nº 4 (juillet 2019): 356-64. https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2018.11.006.

Pacheco-Castilho, Aline Cristina, Gabriela de Martini Vanin, Roberto Oliveira Dantas, Octávio Marques Pontes-Neto, et Rosemary Martino. « Dysphagia and Associated Pneumonia in Stroke Patients from Brazil: A Systematic Review ». *Dysphagia* 34, nº 4 (1 août 2019): 499-520. https://doi.org/10.1007/s00455-019-10021-0.

Palmer, Jeffrey B., Nathan J. Rudin, Gustavo Lara, et Alfred W. Crompton. « Coordination of Mastication and Swallowing ». *Dysphagia* 7, nº 4 (1 décembre 1992): 187-200. https://doi.org/10.1007/BF02493469.

Pandian, Vinciya, Sarah E. Boisen, Shifali Mathews, et Therese Cole. « Are Fenestrated Tracheostomy Tubes Still Valuable? » *American Journal of Speech-Language Pathology* 28, nº 3 (9 août 2019): 1019-28. https://doi.org/10.1044/2019_AJSLP-18-0187.

Park, Min Kyu, et Sook Joung Lee. « Changes in Swallowing and Cough Functions Among Stroke Patients Before and After Tracheostomy Decannulation ». *Dysphagia* 33, nº 6 (décembre 2018): 857-65. https://doi.org/10.1007/s00455-018-9920-9.

Patel, D A, S Krishnaswami, E Steger, E Conover, M F Vaezi, M R Ciucci, et D O Francis. « Economic and Survival Burden of Dysphagia among Inpatients in the United States ». *Diseases of the Esophagus* 31, nº 1 (1 janvier 2018). https://doi.org/10.1093/dote/dox131.

Paydarfar, D, R J Gilbert, C S Poppel, et P F Nassab. « Respiratory Phase Resetting and Airflow Changes Induced by Swallowing in Humans. » *The Journal of Physiology* 483, nº 1 (15 février 1995): 273-88. https://doi.org/10.1113/jphysiol.1995.sp020584.

Perin, Cecilia, Roberto Meroni, Vincenzo Rega, Giacomo Braghetto, et Cesare Cerri. « Parameters Influencing Tracheostomy Decannulation in Patients Undergoing Rehabilitation after Severe Acquired Brain Injury (sABI) ». *International Archives of Otorhinolaryngology* 21, nº 04 (octobre 2017): 382-89. https://doi.org/10.1055/s-0037-1598654.

Pierson, David J. « Tracheostomy and Weaning ». *RESPIRATORY CARE* 50, nº 4 (2005).

Pierson, David J. « Tracheostomy From A to Z: Historical Context and Current Challenges ». *RESPIRATORY CARE* 50, nº 5 (2005).

Pontes-Neto, Octavio M., Regina M.F. Fernandes, Heidi H. Sander, Larissa A.T. Da Silva, Débora C. Mariano, Fernando Nobre, Gustavo Simão, Draulio B. De Araujo, Antonio C. Dos Santos, et João P. Leite. « Obstructive Sleep Apnea Is Frequent in Patients with Hypertensive Intracerebral Hemorrhage and Is Related to Perihematoma Edema ». *Cerebrovascular Diseases* 29, nº 1 (2010): 36-42. https://doi.org/10.1159/000255972.

Pryor, Lee N, Claire E Baldwin, Elizabeth C Ward, Petrea L Cornwell, Stephanie N O'Connor, Marianne J Chapman, et Andrew D Bersten. « Tracheostomy Tube Type and Inner Cannula Selection Impact Pressure and Resistance to Air Flow ». *Respiratory Care* 61, nº 5 (mai 2016): 607-14. https://doi.org/10.4187/respcare.04396.

Reverberi, Cristina, Francesco Lombardi, Mirco Lusuardi, Alessandra Pratesi, et Mauro Di Bari. « Development of the Decannulation Prediction Tool in Patients With Dysphagia After Acquired Brain Injury ». *Journal of the American Medical Directors Association* 20, nº 4 (avril 2019): 470-475.e1. https://doi.org/10.1016/j.jamda.2018.09.022.

Rhodes, A., P. Ferdinande, H. Flaatten, B. Guidet, P. G. Metnitz, et R. P. Moreno. « The Variability of Critical Care Bed Numbers in Europe ». *Intensive Care Medicine* 38, nº 10 (octobre 2012): 1647-53. https://doi.org/10.1007/s00134-012-2627-8.

Richard, I., M.-A. Hamon, A.-L. Ferrapie, J. Rome, P. Brunel, et J.-F. Mathé. « Trachéotomie et traumatisme crânien grave : pour qui ? Pourquoi ? Quand ? Comment ? » *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 24, nº 6 (juin 2005): 659-62. https://doi.org/10.1016/j.annfar.2005.03.010.

Ringrose, Hollie, Mary Brown, Krystyna Walton, et Manoj Sivan. « Association between Paroxysmal Sympathetic Hyperactivity and Tracheostomy Weaning in Traumatic Brain Injury ». *NeuroRehabilitation* 42, nº 2 (12 mars 2018): 207-12. https://doi.org/10.3233/NRE-172276.

Robert, D. « Les troubles de la déglutition postintubation et trachéotomie ». *Réanimation* 13, nº 6-7 (septembre 2004): 417-30. https://doi.org/10.1016/j.reaurg.2004.06.002.

Romain, Marc, Moshe Vysokovsky, Peter Veron van-Heerden , Ilana Stav et Sigal Sviri. « Comparison of Patients Undergoing Tracheostomy in the Intensive Care Unit versus in the Wards » 229, nº 6 (décembre 1975): 1726. https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1975.229.6.1726.

Sancho, Jesus, Santos Ferrer, Carolina Lahosa, Tomas Posadas, Enric Bures, Pilar Bañuls, Lucia Fernandez-Presa, Pablo Royo, Mª Luisa Blasco, et Jaime Signes-Costa. « Tracheostomy in Patients with COVID-19: Predictors and Clinical Features ». *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 278, nº 10 (octobre 2021): 3911-19. https://doi.org/10.1007/s00405-020-06555-x.

Santus, Pierachille, Andrea Gramegna, Dejan Radovanovic, Rita Raccanelli, Vincenzo Valenti, Dimitri Rabbiosi, Michele Vitacca, et Stefano Nava. « A Systematic Review on Tracheostomy Decannulation: A Proposal of a Quantitative Semiquantitative Clinical Score ». *BMC Pulmonary Medicine* 14, nº 1 (décembre 2014): 201. https://doi.org/10.1186/1471-2466-14-201.

Sasaki CT, Suzaki M, Horiuchi M, Kirchner J. The effect of tracheostomy on the laryngeal closure reflex. Laryngoscope 1977;87:1428–1432. https://doi.org/10.1288/00005537-197709000-00003.

Schneider, Hauke, Franziska Hertel, Matthias Kuhn, Maximilian Ragaller, Birgit Gottschlich, Anne Trabitzsch, Markus Dengl, Marcus Neudert, Heinz Reichmann, et Sigrid Wöpking. « Decannulation and Functional Outcome After Tracheostomy in Patients with Severe Stroke (DECAST): A Prospective Observational Study ». *Neurocritical Care* 27, nº 1 (août 2017): 26-34. https://doi.org/10.1007/s12028-017-0390-y.

Seo, Han Gil, Byung-Mo Oh, et Tai Ryoon Han. « Swallowing Kinematics and Factors Associated with Laryngeal Penetration and Aspiration in Stroke Survivors with Dysphagia ». *Dysphagia* 31, nº 2 (1 avril 2016): 160-68. https://doi.org/10.1007/s00455-015-9670-x.

Sessle, Barry J., et James L. Henry. « Neural Mechanisms of Swallowing: Neurophysiological and Neurochemical Studies on Brain Stem Neurons in the Solitary Tract Region ». *Dysphagia* 4, nº 2 (1 juin 1989): 61-75. https://doi.org/10.1007/BF02407148.

Shah, Rahul K., Lina Lander, Jay G. Berry, Brian Nussenbaum, Albert Merati, et David W. Roberson. « Tracheotomy Outcomes and Complications: A National Perspective ». *The Laryngoscope* 122, nº 1 (janvier 2012): 25-29. https://doi.org/10.1002/lary.21907.

Shaker, Reza. « Airway Protective Mechanisms: Current Concepts ». *Dysphagia* 10, nº 4 (1 septembre 1995): 216-27. https://doi.org/10.1007/BF00431413.

Singh, Ratender Kumar, Sai Saran, et Arvind K. Baronia. « The Practice of Tracheostomy Decannulation—a Systematic Review ». *Journal of Intensive Care* 5, nº 1 (décembre 2017): 38. https://doi.org/10.1186/s40560-017-0234-z.

Skoretz, Stacey A., Nicole Anger, Leslie Wellman, Osamu Takai, et Allison Empey. « A Systematic Review of Tracheostomy Modifications and Swallowing in Adults ». *Dysphagia* 35, nº 6 (décembre 2020): 935-47. https://doi.org/10.1007/s00455-020-10115-0.

Steele, Catriona M., et Arthur J. Miller. « Sensory Input Pathways and Mechanisms in Swallowing: A Review ». *Dysphagia* 25, nº 4 (1 décembre 2010): 323-33. https://doi.org/10.1007/s00455-010-9301-5.

Tobin, Antony E, et John D Santamaria. « An Intensivist Led Tracheostomy Review Team Is Associated with Shorter Decannulation Times and Length of Stay: A Prospective Cohort Study ». *Critical Care* 12, nº 2 (2008): R48. https://doi.org/10.1186/cc6864.

Trouillet, Jean-Louis, Olivier Collange, Fouad Belafia, François Blot, Gilles Capellier, Eric Cesareo, Jean-Michel Constantin, et al. « Trachéotomie en réanimation ». *Anesthésie & Réanimation* 4, nº 6 (novembre 2018): 508-22. https://doi.org/10.1016/j.anrea.2018.08.003.

Trupe, Lydia A., Rachel W. Mulheren, Donna Tippett, Argye E. Hillis, et Marlís González-Fernández. « Neural Mechanisms of Swallowing Dysfunction and Apraxia of Speech in Acute Stroke ». *Dysphagia* 33, nº 5 (1 octobre 2018): 610-15. https://doi.org/10.1007/s00455-018-9879-6.

Walts, Peter A, Sudish C Murthy, et Malcolm M DeCamp. « Techniques of Surgical Tracheostomy ». *Clinics in Chest Medicine* 24, nº 3 (septembre 2003): 413-22. https://doi.org/10.1016/S0272-5231(03)00049-2.

Warnecke, Tobias, Sonja Suntrup, Inga K. Teismann, Christina Hamacher, Stephan Oelenberg, et Rainer Dziewas. « Standardized Endoscopic Swallowing Evaluation for Tracheostomy Decannulation in Critically Ill Neurologic Patients »: *Critical Care Medicine* 41, nº 7 (juillet 2013): 1728-32. https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31828a4626.

Watanabe, Yutaka, Shinichi Abe, Tatsuya Ishikawa, Yoshiaki Yamada, et Gen-yuki Yamane. « Cortical Regulation During the Early Stage of Initiation of Voluntary Swallowing in Humans ». *Dysphagia* 19, nº 2 (1 mai 2004): 100-108. https://doi.org/10.1007/s00455-003-0509-5.

Woliansky, Jonathan, Paul Paddle, et Debra Phyland. « Laryngotracheal Stenosis Management: A 16-Year Experience ». *Ear, Nose & Throat Journal* 100, nº 5 (juin 2021): 360-67. https://doi.org/10.1177/0145561319873593.

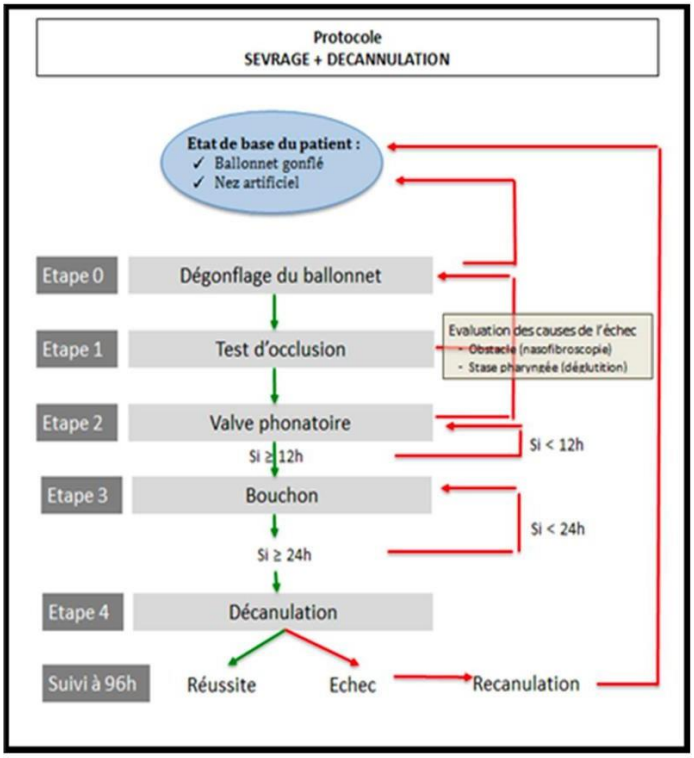
Young, Duncan, David A Harrison, Brian H Cuthbertson, et Kathy Rowan. « Effect of Early vs Late Tracheostomy Placement on Survival in Patients Receiving Mechanical Ventilation », s. d.

Zanata, Isabel de Lima, Rosane Sampaio Santos, et Gisela Carmona Hirata. « Tracheal Decannulation Protocol in Patients Affected by Traumatic Brain Injury ». *International Archives of Otorhinolaryngology* 18, nº 2 (avril 2014): 108-14. https://doi.org/10.1055/s-0033-1363467.

Zuercher, Patrick, Céline S. Moret, Rainer Dziewas, et Joerg C. Schefold. « Dysphagia in the intensive care unit: epidemiology, mechanisms, and clinical management ». *Critical Care* 23, nº 1 (28 mars 2019): 103. https://doi.org/10.1186/s13054-019-2400-2.

ANNEXES :

Annexe 1 : Fichier supplémentaire n° 1 du première article : livret de poche, à destination des soignants du protocole DECATRAC



Etude clinique DECATRAC

Code promoteur: CHUBX 2017/31
Promoteur: CHU de Bordeaux

Contacts

Investigateur coordonnateur
Thomas GALLICE – masseur kinésithérapeute référent
Service NEUROCHIRURGIE B
Hôpital Pellegrin - CHU de Bordeaux
☏ : 72 575
thomas.gallice@chu-bordeaux.fr

Co-investigateur
Manuella BALAGUER – masseur kinésithérapeute référent
Service NEUROCHIRURGIE A
Hôpital Pellegrin - CHU de Bordeaux
☏ : 70 035
manuella.balaguer@chu-bordeaux.fr

Infirmiers experts référents
Julie GAUBE ☏ : **95 574**
julie.gaube@chu-bordeaux.fr

Clément BARTHELEMY ☏ : **21 211**
clement.barthelemy@chu-bordeaux.fr

Service NEUROCHIRURGIE B
Hôpital Pellegrin - CHU de Bordeaux

Attachée de recherche clinique (ARC)
Ouidad HASNAOUI - BEN KACEM
Service NEUROCHIRURGIE B
Hôpital Pellegrin - CHU de Bordeaux
☏ : 21 312 - Fax : 95 984
ouidad.hasnaoui@chu-bordeaux.fr

Version du 0/02//2018

Conduite à tenir

Lors de la procédure de sevrage, différents événements peuvent se présenter. Voici la liste des principaux événements et la prise en charge à assurer.

Cas n°1 : Hyperthermie > 38,5°
Arrêt du sevrage et voir la conduite à tenir avec le médecin

Cas n°2 : Vomissements → risque important d'inhalation
Arrêt du sevrage : regonfler le ballonnet ET mettre le nez artificiel

Cas n°3 : Cornage ou stridor = bruit anormal lié au rétrécissement des voies aériennes, associé à une détresse respiratoire importante → agir immédiatement

-> 2 cas :

1) Sécrétions « bloquées » en fond de gorge ou sur le pourtour de la canule : utiliser l'aérosol de sérum physiologique et favoriser les efforts de toux → **doit permettre une amélioration immédiate**

2) Autre (ex: granulome, sténose trachéale) : normalement détectés aux étapes 0 - 1 (peu probable lorsque le sevrage en est déjà à l'étape 2 et 3) → **arrêt du sevrage** et réévaluation en équipe pluridisciplinaire de la suite de la prise charge.

Cas n°4 : Dégradation modérée des critères de stabilité à type de désaturation et/ou dégradation de la clinique respiratoire (tirage), augmentation de la fréquence respiratoire, de la fréquence cardiaque ou de la tension artérielle

-> Rechercher une cause

1) Encombrement
- nettoyer la canule (bouchon muqueux)
- Broncho-aspiration **(attention encombrement « silencieux » si antécédents de sécrétions très épaisses et collantes)**

Ces deux manœuvres doivent permettre **une amélioration rapide.**

Dans un second temps : évaluer s'il y a une majoration de l'encombrement **(rappel : maximum 6 aspirations productives** abondantes ou très abondantes **sur 24 heures**).

2) Fatigue respiratoire liée au sevrage
- évaluer un état d'anxiété ou d'agitation qui pourrait influencer négativement la clinique respiratoire
- discuter soit de l'ajout d'oxygène (max 4L), soit du retour à une étape précédente en fonction de la tolérance et des capacités actuelles du patient. Doit permettre une **amélioration relativement rapide** (30 minutes max)
- discuter en équipe pluridisciplinaire des causes

3) Dégradation de cause inconnue et autre que celles ci-dessus : **prévenir le médecin et discuter de l'arrêt du sevrage et de la conduite à tenir.**

Cas n°5 : Encombrement important (> 6 aspirations abondantes et très abondantes par 24h)
- Aspirer les sécrétions bronchiques
- Contacter le kinésithérapeute pour kinésithérapie respiratoire
- Effectuer un retour à l'état de base (ballonnet gonflé, nez artificiel)
- Puis discuter en équipe de :

1) Evaluer la qualité et la quantité de l'encombrement pour évaluer la cause
- est-ce des fausses routes à la salive ?
- une pneumopathie en cours d'installation ?

2) Est-ce une mauvaise gestion par le patient de ses sécrétions salivaires (stases buccales, « bavage », …)?
- discuter de la mise en place de Scopoderm®

3) Y-a-t-il des facteurs majorant des troubles de la déglutition qui pourraient être corrigés ?
- reflux gastro-œsophagiens : privilégier la position assise au maximum **(rappel : +30° minimum** pour tout patient trachéotomisé), mise en place de traitement
- sonde nasogastrique : discuter de la mise en place d'une gastrostomie
- mycose buccale : mise en place de traitement

Cas n°6: Auto-décanulation par le patient
1) Mettre le patient en position demi-assise avec le masque à oxygène à 6L
2) Donner l'alerte et faire appeler le médecin et le kiné en urgence
3) Surveiller en continu les constantes vitales, la saturation et la clinique respiratoire
4) En cas de détresse respiratoire aigüe : utiliser l'écarteur de Laborde qui se trouve dans le chariot d'urgence, augmenter le débit d'oxygène
5) Si le patient est stable, attendre l'arrivée du médecin qui doit être très rapide
6) En attendant l'arrivée du médecin, s'assurer qu'une canule de rechange de même modèle et de même diamètre soit prête à l'emploi

Cas n°7 : Décanulation programmée
Prévoir le matériel suivant:
- Masque à oxygène et débitmètre à oxygène
- Chariot d'urgence qui comprend BAVU et pince de Laborde
- Matériel de recanulation avec trachéotomie de même modèle et de même diamètre

Annexe 2 : Fichier supplémentaire n° 2 du première article : 7 niveaux de l'évaluation de la déglutition adaptés de la Dysphagia Outcome and Severity Scale (DOSS)

Seven level of swallowing status adapted from the Dysphagia Outcome and Severity Scale (DOSS) O'Neil 1999.

Level 1: Severe dysphagia: NPO: Unable to tolerate any P.O. safely
Level 2: Moderately severe dysphagia: Maximum assistance or use of strategies with partial P.O. only (tolerates at least one consistency safely with total use of strategies)
Level 3: Moderate dysphagia: Total assist, supervision, or strategies, two or more diet consistencies restricted
Level 4: Mild–moderate dysphagia: Intermittent supervision/cueing, one or two consistencies restricted
Level 5: Mild dysphagia: Distant supervision, may need one diet consistency restricted
Level 6: Within functional limits/modified independence
Level 7: Normal in all situations

Annexe 3 : Fichier supplémentaire n°1 du troisième article : les différentes échelles d'évaluation relevées dans la revue de littérature

Supplemental files 1: Scales found in the review (by order of citation in table 1)

Glasgow coma scale (GCS):
Best eye response (4)
1. No eye opening
2. Eye opening to pain
3. Eye opening to sound
4. Eyes open spontaneously

Best verbal response (5)
1. No verbal response
2. Incomprehensible sounds
3. Inappropriate words
4. Confused
5. Orientated

Best motor response (6)
1. No motor response.
2. Abnormal extension to pain
3. Abnormal flexion to pain
4. Withdrawal from pain
5. Localizing pain
6. Obeys commands

Jain S, Iverson LM. Glasgow Coma Scale. [Updated 2022 Jun 21]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513298/

Rancho Los Amigos Scale (RLAS) :

Level I: No Response: Total Assistance

- No response to external stimuli

Level II: Generalized Response: Total Assistance

- Responds inconsistently and non-purposefully to external stimuli
- Responses are often the same regardless of the stimulus

Level III: Localized Response: Total Assistance

- Responds inconsistently and specifically to external stimuli
- Responses are directly related to the stimulus, for example, patient withdraws or vocalizes to painful stimuli
- Responds more to familiar people (friends and family) versus strangers

Level IV: Confused/Agitated: Maximal Assistance

- The individual is in a hyperactive state with bizarre and non-purposeful behavior
- Demonstrates agitated behavior that originates more from internal confusion than the external environment
- Absent short-term memory

Level V: Confused, Inappropriate Non-Agitated: Maximal Assistance

- Shows increase in consistency with following and responding to simple commands
- Responses are non-purposeful and random to more complex commands
- Behavior and verbalization is often inappropriate, and individual appears confused and often confabulates
- If action or tasks is demonstrated individual can perform but does not initiate tasks on own
- Memory is severely impaired and learning new information is difficult
- Different from level IV in that individual does not demonstrate agitation to internal stimuli. However, they can show agitation to unpleasant external stimuli.

Level VI: Confused, Appropriate: Moderate Assistance

- Able to follow simple commands consistently
- Able to retain learning for familiar tasks they performed pre-injury (brushing teeth, washing face) however unable to retain learning for new tasks
- Demonstrates increased awareness of self, situation, and environment but unaware of specific impairments and safety concerns
- Responses may be incorrect secondary to memory impairments but appropriate to the situation

Level VII: Automatic, Appropriate: Minimal Assistance for Daily Living Skills

- Oriented in familiar settings
- Able to perform daily routine automatically with minimal to absent confusion
- Demonstrates carry over for new tasks and learning in addition to familiar tasks
- Superficially aware of one's diagnosis but unaware of specific impairments
- Continues to demonstrate lack of insight, decreased judgment and safety awareness
- Beginning to show interest in social and recreational activities in structured settings
- Requires at least minimal supervision for learning and safety purposes.

Level VIII: Purposeful, Appropriate: Stand By Assistance

- Consistently oriented to person, place and time
- Independently carries out familiar tasks in a non-distracting environment
- Beginning to show awareness of specific impairments and how they interfere with tasks, however, requires standing by assistance to compensate
- Able to use assistive memory devices to recall daily schedule

- Acknowledges other's emotional states and requires only minimal assistance to respond appropriately
- Demonstrates improvement of memory and ability to consolidate the past and future events
- Often depressed, irritable and with low frustration threshold

Level IX: Purposeful, Appropriate: Stand By Assistance on Request

- Able to shift between different tasks and complete them independently
- Aware of and acknowledges impairments when they interfere with tasks and able to use compensatory strategies to cope
- Unable to independently anticipate obstacles that may arise secondary to impairment
- With assistance able to think about consequences of actions and decisions
- Acknowledges the emotional needs of others with stand by-assistance.
- Continues to demonstrate depression and low frustration threshold

Level X: Purposeful, Appropriate: Modified Independent

- Able to multitask in many different environments with extra time or devices to assist
- Able to create own methods and tools for memory retention
- Independently anticipates obstacles that may occur as a result of impairments and take corrective actions
- Able to independently make decisions and act appropriately but may require more time or compensatory strategies
- Demonstrate intermittent periods of depression and low frustration threshold when under stress
- Able to appropriately interact with others in social situations

Lin K, Wroten M. Ranchos Los Amigos. [Updated 2022 Aug 22]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448151/

Functional Oral Intake Scale (FOIS) :

TUBE DEPENDENT (levels 1-3)

1 No oral intake
2 Tube dependent with minimal/inconsistent oral intake
3 Tube supplements with consistent oral intake

TOTAL ORAL INTAKE (levels 4-7)

4 Total oral intake of a single consistency
5 Total oral intake of multiple consistencies requiring special preparation
6 Total oral intake with no special preparation, but must avoid specific foods or liquid items
7 Total oral intake with no restrictions

Crary MA, Carnaby-Mann GD, Groher ME. Initial psychometric assessment of a functional oral intake scale for dysphagia in stroke patients. Arch Phys Med Rehabil 2005;86:1516-1520.

Coma Recovery Scale revised (CRS-r)

Auditory function scale
4 – Consistent Movement to Command
3 – Reproducible Movement to Command
2 – Localization to Sound

1 – Auditory Startle
0 – None
Visual function scale
5 – Object Recognition
4 – Object localization: Reaching
3 – Visual Pursuit
2 – Fixation
1 – Visual Startle
0 – None
Motor function scale
6 – Functional Object Use
5 – Automatic Motor Response
4 – Object Manipulation
3 – Localisation to Noxious Stimulation
2 – Flexion Withdrawal
1 – Abnormal Posturing
0 – None
Oromotor / Verbal function scale
3 – Intelligible Verbalization
2 – Vocalization/Oral Movement
1 – Oral Reflexive Movement
0 – None
Communication scale
2 – Functional: Accurate
1 – Non-functional: Intentional
0 – None
Arousal scale
3 – Attention
2 – Eye Opening w/o Stimulation
1 – Eye Opening with Stimulation
0 – Unarousable

Giacino JT. ÉCHELLE DE RÉCUPÉRATION DU COMA VERSION REVUE FRANÇAISE ©2008. :15.

Glasgow Coma Outcome Scale (GCOS) :
1. Dead: As a direct result of brain trauma, or … due to secondary complications or other complications
2. Vegetative State: Patients who remain unresponsive and speechless….
3. Severe Disability: The patient is conscious but needs the assistance of another person for some activities of daily living every day.…
4. Moderate Disability: Such a patient is able to look after himself at home, to get out and about to the shops and to travel by public transport. However, some previous activities, either at work or in social life, are now no longer possible by reason of either physical or mental deficit…
5. Good Recovery: This indicates the capacity to resume normal occupational and social activities, although there may be minor physical or mental deficits…social outcome should be included in the assessment here, such as leisure activities and family relationships

Wilson L, Boase K, Nelson LD, Temkin NR, Giacino JT, Markowitz AJ, Maas A, Menon DK, Teasdale G, Manley GT. A Manual for the Glasgow Outcome Scale-Extended Interview. J Neurotrauma. 2021 Sep 1;38(17):2435-2446. doi: 10.1089/neu.2020.7527. Epub 2021 Apr 6. PMID: 33740873; PMCID: PMC8390784

Early Rehabilitation Barthel Index (ERBI) :

Table 1 Items of the ERBI [6, 7].

Item	Value
intensive care supervision	−50
tracheostomy tube management and supervision	−50
intermittent (or continuous) mechanical ventilation	−50
confused patient (in need of supervision)	−50
behavioural disturbances (patient being a danger to himself or others)	−50
severe impairment of communication	−25
dysphagia patient in need of supervision	−50
sum	**0 to −325 points**
+Barthel index	**0 to +100 points**
=ERBI total (sum plus Barthel index)	**−325 to +100 points**

Rollnik JD. The Early Rehabilitation Barthel Index (ERBI). Rehabilitation 2011 ; 50 : 408-411

Bogenhauser Dysphagia Score (BOD) :

It is a German clinical swallowing examination.

Score	Characteristics
1	Completely oral, without impairment
2	Completely oral with unimportant impairment: Several consistencies and at least one liquid without compensation or compensation without diet
3	Completely oral with moderate impairment: several food consistencies and at least one liquid with compensation
4	Completely oral with severe impairment: Only one food consistency and/or pulpy liquid with or without compensation
5	Mostly oral: More than half of the daily nutrition, the remaining part via tube/parenteral
6	Partially oral: more than 10 tea spoons up to half of the daily portion, further nutrition via tube/parenteral
7	Little oral intake: 10 tea spoons or less daily, further nutrition via tube/parenteral
8	Exclusively via tube/parenteral

Arens C, Herrmann IF, Rohrbach S, Schwemmle C, Nawka T - GMS current topics in otorhinolaryngology, head and neck surgery (2015)

Dziewas R, Allescher HD, Aroyo I, Bartolome G, Beilenhoff U, Bohlender J, et al. Diagnosis and treatment of neurogenic dysphagia – S1 guideline of the German Society of Neurology. Neurol Res Pract. déc 2021;3(1):23.

Functional Independance Measure (FIM) :

Motor Domain:

1. Self-care (6 items)

– Eating
– Grooming
– Bathing
– Dressing – Upper body
– Dressing – Lower body
– Toileting

2. Sphincter control (2 items)

– Bladder management
– Bowel management

3. Transfers (3 items)

– Bed/Chair/Wheelchair
– Toilet
– Tub/Shower

4. Locomotion (2 items)

– Walk/Wheelchair
– Stairs

Cognitive Domain:

5. Communication (2 items)

– Comprehension
– Expression

6. Social cognition (3 items)

– Social interaction
– Problem solving
– Memory

Each item on the FIM is scored on a 7-point Likert scale, and the score indicates the amount of assistance required to perform each item (1 = total assistance in all areas, 7 = total independence in all areas)

https://strokengine.ca/en/assessments/functional-independence-measure-fim/

Level of cognitive functionning (LCF)

It is the same scale than the RLAS (see above)

Disability Rating Scale (DRS) :

Category	Item	Instructions	Score
Arousability, Awareness and Responsivity	Eye Opening	0 = *spontaneous* 1 = *to speech* 2 = *to pain* 3 = *none*	
	Communication Ability	0 = *oriented* 1 = *confused* 2 = *inappropriate* 3 = *incomprehensibl*	

		e 4 = *none*	
	Motor Response	0 = *obeying* 1 = *localizing* 2 = *withdrawing* 3 = *flexing* 4 = *extending* 5 = *none*	
Cognitive Ability for Self Care Activities	Feeding	0 = *complete* 1 = *partial* 2 = *minimal* 3 = *none*	
	Toileting	0 = *complete* 1 = *partial* 2 = *minimal* 3 = *none*	
	Grooming	0 = *complete* 1 = *partial* 2 = *minimal* 3 = *none*	
Dependence on Others	Level of Functioning	0 = *completely independent* 1 = *independent in special environment* 2 = *mildly dependent* 3 = *moderately dependent* 4 = *markedly dependent* 5 = *totally dependent*	
Psychosocial Adaptability	Employability	0 = *not restricted* 1 = *selected jobs* 2 = *sheltered workshop (non-competitive)* 3 = *not employable*	

Total DR Score	

Disability Categories

Total DR Score	Level of Disability
0	None
1	Mild
2-3	Partial
4-6	Moderate
7-11	Moderately Severe
12-16	Severe
17-21	Extremely Severe
22-24	Vegetative State
25-29	Extreme Vegetative State

Rappaport et al., (1982). Disability rating scale for severe head trauma patients: coma to community. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 63: 118-123

Functionnal Dysphagia Scale (FDS) :

Factor	Coded Value	Empty Cell	Score
Lip closure	Intact	0	10
	Inadequate	5	
	None	10	
Bolus formation	Intact	0	6
	Inadequate	3	
	None	6	
Residue in oral cavity†	None	0	6
	≤10%	2	
	10%-50%	4	
	≥50%	6	
Oral transit time*	≤1.5s	0	6
	>1.5s	6	
Triggering of pharyngeal swallow	Normal	0	10
	Delayed	10	
Larynegal elevation and epiglottic closure	Normal	0	12
	Reduced	12	
Nasal penetration†	None	0	12
	≤10%	4	
	10%-50%	8	
	≥50%	12	
Residue in valleculaeDagger;	None	0	12
	≤10%	4	
	10%-50%	8	
	≥50%	12	
Residue in pyriform sinuses‡	None	0	12

	≤10%	4	
	10%-50%	8	
	>50%	12	
Coating of pharyngeal wall after swallow	No	0	10
	Yes	10	
Pharyngeal transit time*	≤1.0s	0	4
	>1.0s	4	
Total			100

* Reference values from Logemann. † Relative percentage of the total bolus. ‡Relative percentage of the pertinent area on videofluoroscopic 2-dimensional view.

Han TR, Paik NJ, Park JW. Quantifying swallowing function after stroke: A functional dysphagia scale based on videofluoroscopic studies. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. mai 2001;82(5):677-82.

Penetration aspiration scale (PAS) :

Score	Description of events
1	Material does not enter airway
2	Material enters the airway, remains above the vocal folds, and is ejected from the airway
3	Material enters the airway, remains above the vocal folds, and is not ejected from the airway
4	Material enters the airway, contacts the vocal folds, and is ejected from the airway
5	Material enters the airway, contacts the vocal folds, and is not ejected from the airway
6	Material enters the airway, passes below the vocal folds, and is ejected into the larynx or out of the airway
7	Material enters the airway, passes below the vocal folds, and is not ejected from the trachea despite effort
8	Material enters the airway, passes below the vocal folds, and no effort is made to eject

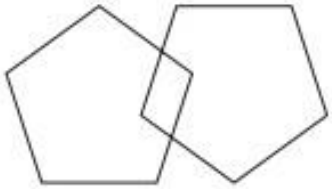
Alkhuwaiter M, Davidson K, Hopkins-Rossabi T, Martin-Harris B. Scoring the Penetration-Aspiration Scale (PAS) in Two Conditions: A Reliability Study. Dysphagia. 2022 Apr;37(2):407-416. doi: 10.1007/s00455-021-10292-6. Epub 2021 Apr 21. PMID: 33880656; PMCID: PMC8528890.

Korean Mini Mental State Examination (K-MMSE) :
It is the Korean translated version of the English MMSE

The Mini-Mental State Exam

Patient_____ Examiner _____ Date _____

Maximum	Score	
		Orientation
5	( )	What is the (year) (season) (date) (day) (month)?
5	( )	Where are we (state) (country) (town) (hospital) (floor)?
		Registration
3	( )	Name 3 objects: 1 second to say each. Then ask the patient all 3 after you have said them. Give 1 point for each correct answer. Then repeat them until he/she learns all 3. Count trials and record. Trials _____
		Attention and Calculation
5	( )	Serial 7's. 1 point for each correct answer. Stop after 5 answers. Alternatively spell "world" backward.
		Recall
3	( )	Ask for the 3 objects repeated above. Give 1 point for each correct answer.
		Language
2	( )	Name a pencil and watch.
1	( )	Repeat the following "No ifs, ands, or buts"
3	( )	Follow a 3-stage command: "Take a paper in your hand, fold it in half, and put it on the floor."
1	( )	Read and obey the following: CLOSE YOUR EYES
1	( )	Write a sentence.
1	( )	Copy the design shown.



_____ Total Score

ASSESS level of consciousness along a continuum _____

Alert Drowsy Stupor Coma

https://cgatoolkit.ca/Uploads/ContentDocuments/MMSE.pdf

Korean Modified Barthel Index (K-MBI):

This is a Korean translated version of the English MBI

Modified Barthel ADL index* Measure of physical disability used widely to assess behaviour relating to activities of daily living for stroke patients or patients with other disabling conditions. It measures what patients do in practice. Assessment is made by anyone who knows the patient well.

Bowels 0 = Incontinent or needs enemas 1 = Occasional accident (1x/wk) 2 = Continent	**Transfer (bed to chair and back)** 0 = Unable, no sitting balance 1 = Major help (1 or 2 people), can sit 2 = Minor help (verbal or physical) 3 = Independent
Bladder 0 = Incontinent or needs enemas 1 = Occasional accident (1x/wk) 2 = Continent	**Mobility** 0 = Immobile 1 = Wheelchair independent (including corners) 2 = Walks with the help of 1 person (physical or verbal help) 3 = Independent (may use aid)
Grooming 0 = Needs help with personal care 1 = Independent (including face, hair, teeth, shaving	**Dressing** 0 = Dependent 1 = Needs help – can do ~ ½ unaided 2 = Independent (including buttons, zips, laces, etc.)
Toilet Use 0 = Dependent 1 = Needs some help 2 = Independent	**Stairs** 0 = Unable 1 = Needs help (verbal or physical) 2 = Independent
Feeding 0 = Unable 1 = Needs help, e.g. cutting 2 = Independent	**Bathing** 0 = Dependent 1 = Independent (bath or shower)

Note

- <15 – usually represents moderate disability
- <10 – usually represents severe disability

Reference: Oxford Handbook of General Practice 3rd Edition

National Institutes of Health Stroke Score (NIHSS):

NIH STROKE SCALE

Patient Identification. ___ ___-___ ___ ___-___ ___ ___

Pt. Date of Birth ___ ___/___ ___/___ ___

Hospital _____(___ ___-___ ___)

Date of Exam ___ ___/___ ___/___ ___

Interval: [ ] Baseline [ ] 2 hours post treatment [ ] 24 hours post onset of symptoms ±20 minutes [ ] 7-10 days
[ ] 3 months [ ] Other _____(___ ___)

Time: ___ ___:___ ___ [ ]am [ ]pm

Person Administering Scale _____

Administer stroke scale items in the order listed. Record performance in each category after each subscale exam. Do not go back and change scores. Follow directions provided for each exam technique. Scores should reflect what the patient does, not what the clinician thinks the patient can do. The clinician should record answers while administering the exam and work quickly. Except where indicated, the patient should not be coached (i.e., repeated requests to patient to make a special effort).

Instructions	Scale Definition	Score
1a. Level of Consciousness: The investigator must choose a response if a full evaluation is prevented by such obstacles as an endotracheal tube, language barrier, orotracheal trauma/bandages. A 3 is scored only if the patient makes no movement (other than reflexive posturing) in response to noxious stimulation.	0 = **Alert;** keenly responsive. 1 = **Not alert;** but arousable by minor stimulation to obey, answer, or respond. 2 = **Not alert;** requires repeated stimulation to attend, or is obtunded and requires strong or painful stimulation to make movements (not stereotyped). 3 = Responds only with reflex motor or autonomic effects or totally unresponsive, flaccid, and areflexic.	_____
1b. LOC Questions: The patient is asked the month and his/her age. The answer must be correct - there is no partial credit for being close. Aphasic and stuporous patients who do not comprehend the questions will score 2. Patients unable to speak because of endotracheal intubation, orotracheal trauma, severe dysarthria from any cause, language barrier, or any other problem not secondary to aphasia are given a 1. It is important that only the initial answer be graded and that the examiner not "help" the patient with verbal or non-verbal cues.	0 = **Answers** both questions correctly. 1 = **Answers** one question correctly. 2 = **Answers** neither question correctly.	_____
1c. LOC Commands: The patient is asked to open and close the eyes and then to grip and release the non-paretic hand. Substitute another one step command if the hands cannot be used. Credit is given if an unequivocal attempt is made but not completed due to weakness. If the patient does not respond to command, the task should be demonstrated to him or her (pantomime), and the result scored (i.e., follows none, one or two commands). Patients with trauma, amputation, or other physical impediments should be given suitable one-step commands. Only the first attempt is scored.	0 = **Performs** both tasks correctly. 1 = **Performs** one task correctly. 2 = **Performs** neither task correctly.	_____
2. Best Gaze: Only horizontal eye movements will be tested. Voluntary or reflexive (oculocephalic) eye movements will be scored, but caloric testing is not done. If the patient has a conjugate deviation of the eyes that can be overcome by voluntary or reflexive activity, the score will be 1. If a patient has an isolated peripheral nerve paresis (CN III, IV or VI), score a 1. Gaze is testable in all aphasic patients. Patients with ocular trauma, bandages, pre-existing blindness, or other disorder of visual acuity or fields should be tested with reflexive movements, and a choice made by the investigator. Establishing eye contact and then moving about the patient from side to side will occasionally clarify the presence of a partial gaze palsy.	0 = **Normal.** 1 = **Partial gaze palsy;** gaze is abnormal in one or both eyes, but forced deviation or total gaze paresis is not present. 2 = **Forced deviation,** or total gaze paresis not overcome by the oculocephalic maneuver.	_____

Rev 10/1/2003

NIH STROKE SCALE

Patient Identification. ___ ___-___ ___ ___-___ ___ ___

Pt. Date of Birth ___ ___/___ ___/___ ___

Hospital _____(___ ___-___ ___)

Date of Exam ___ ___/___ ___/___ ___

Interval: [ ] Baseline [ ] 2 hours post treatment [ ] 24 hours post onset of symptoms ±20 minutes [ ] 7-10 days
[ ] 3 months [ ] Other _____(___ ___)

3. Visual: Visual fields (upper and lower quadrants) are tested by confrontation, using finger counting or visual threat, as appropriate. Patients may be encouraged, but if they look at the side of the moving fingers appropriately, this can be scored as normal. If there is unilateral blindness or enucleation, visual fields in the remaining eye are scored. Score 1 only if a clear-cut asymmetry, including quadrantanopia, is found. If patient is blind from any cause, score 3. Double simultaneous stimulation is performed at this point. If there is extinction, patient receives a 1, and the results are used to respond to item 11.	0 = **No visual loss.** 1 = **Partial hemianopia.** 2 = **Complete hemianopia.** 3 = **Bilateral hemianopia** (blind including cortical blindness).	_____
4. Facial Palsy: Ask – or use pantomime to encourage – the patient to show teeth or raise eyebrows and close eyes. Score symmetry of grimace in response to noxious stimuli in the poorly responsive or non-comprehending patient. If facial trauma/bandages, orotracheal tube, tape or other physical barriers obscure the face, these should be removed to the extent possible.	0 = **Normal** symmetrical movements. 1 = **Minor paralysis** (flattened nasolabial fold, asymmetry on smiling). 2 = **Partial paralysis** (total or near-total paralysis of lower face). 3 = **Complete paralysis** of one or both sides (absence of facial movement in the upper and lower face).	_____
5. Motor Arm: The limb is placed in the appropriate position: extend the arms (palms down) 90 degrees (if sitting) or 45 degrees (if supine). Drift is scored if the arm falls before 10 seconds. The aphasic patient is encouraged using urgency in the voice and pantomime, but not noxious stimulation. Each limb is tested in turn, beginning with the non-paretic arm. Only in the case of amputation or joint fusion at the shoulder, the examiner should record the score as untestable (UN), and clearly write the explanation for this choice.	0 = **No drift;** limb holds 90 (or 45) degrees for full 10 seconds. 1 = **Drift;** limb holds 90 (or 45) degrees, but drifts down before full 10 seconds; does not hit bed or other support. 2 = **Some effort against gravity;** limb cannot get to or maintain (if cued) 90 (or 45) degrees, drifts down to bed, but has some effort against gravity. 3 = **No effort against gravity;** limb falls. 4 = **No movement.** UN = **Amputation** or joint fusion, explain: _____ **5a. Left Arm** **5b. Right Arm**	_____ _____
6. Motor Leg: The limb is placed in the appropriate position: hold the leg at 30 degrees (always tested supine). Drift is scored if the leg falls before 5 seconds. The aphasic patient is encouraged using urgency in the voice and pantomime, but not noxious stimulation. Each limb is tested in turn, beginning with the non-paretic leg. Only in the case of amputation or joint fusion at the hip, the examiner should record the score as untestable (UN), and clearly write the explanation for this choice.	0 = **No drift;** leg holds 30-degree position for full 5 seconds. 1 = **Drift;** leg falls by the end of the 5-second period but does not hit bed. 2 = **Some effort against gravity;** leg falls to bed by 5 seconds, but has some effort against gravity. 3 = **No effort against gravity;** leg falls to bed immediately. 4 = **No movement.** UN = **Amputation** or joint fusion, explain: _____ **6a. Left Leg** **6b. Right Leg**	_____

Rev 10/1/2003

NIH STROKE SCALE

Patient Identification. ___ ___-___ ___ ___-___ ___ ___

Pt. Date of Birth ___ ___/___ ___/___ ___

Hospital _____(___ ___-___ ___)

Date of Exam ___ ___/___ ___/___ ___

Interval: [ ] Baseline [ ] 2 hours post treatment [ ] 24 hours post onset of symptoms ±20 minutes [ ] 7-10 days
[ ] 3 months [ ] Other _____(___ ___)

7. Limb Ataxia: This item is aimed at finding evidence of a unilateral cerebellar lesion. Test with eyes open. In case of visual defect, ensure testing is done in intact visual field. The finger-nose-finger and heel-shin tests are performed on both sides, and ataxia is scored only if present out of proportion to weakness. Ataxia is absent in the patient who cannot understand or is paralyzed. Only in the case of amputation or joint fusion, the examiner should record the score as untestable (UN), and clearly write the explanation for this choice. In case of blindness, test by having the patient touch nose from extended arm position.	0 = **Absent.** 1 = **Present in one limb.** 2 = **Present in two limbs.** UN = **Amputation** or joint fusion, explain: _____	_____
8. Sensory: Sensation or grimace to pinprick when tested, or withdrawal from noxious stimulus in the obtunded or aphasic patient. Only sensory loss attributed to stroke is scored as abnormal and the examiner should test as many body areas (arms [not hands], legs, trunk, face) as needed to accurately check for hemisensory loss. A score of 2, "severe or total sensory loss," should only be given when a severe or total loss of sensation can be clearly demonstrated. Stuporous and aphasic patients will, therefore, probably score 1 or 0. The patient with brainstem stroke who has bilateral loss of sensation is scored 2. If the patient does not respond and is quadriplegic, score 2. Patients in a coma (item 1a=3) are automatically given a 2 on this item.	0 = **Normal;** no sensory loss. 1 = **Mild-to-moderate sensory loss;** patient feels pinprick is less sharp or is dull on the affected side; or there is a loss of superficial pain with pinprick, but patient is aware of being touched. 2 = **Severe to total sensory loss;** patient is not aware of being touched in the face, arm, and leg.	_____
9. Best Language: A great deal of information about comprehension will be obtained during the preceding sections of the examination. For this scale item, the patient is asked to describe what is happening in the attached picture, to name the items on the attached naming sheet and to read from the attached list of sentences. Comprehension is judged from responses here, as well as to all of the commands in the preceding general neurological exam. If visual loss interferes with the tests, ask the patient to identify objects placed in the hand, repeat, and produce speech. The intubated patient should be asked to write. The patient in a coma (item 1a=3) will automatically score 3 on this item. The examiner must choose a score for the patient with stupor or limited cooperation, but a score of 3 should be used only if the patient is mute and follows no one-step commands.	0 = **No aphasia;** normal. 1 = **Mild-to-moderate aphasia;** some obvious loss of fluency or facility of comprehension, without significant limitation on ideas expressed or form of expression. Reduction of speech and/or comprehension, however, makes conversation about provided materials difficult or impossible. For example, in conversation about provided materials, examiner can identify picture or naming card content from patient's response. 2 = **Severe aphasia;** all communication is through fragmentary expression; great need for inference, questioning, and guessing by the listener. Range of information that can be exchanged is limited; listener carries burden of communication. Examiner cannot identify materials provided from patient response. 3 = **Mute, global aphasia;** no usable speech or auditory comprehension.	_____
10. Dysarthria: If patient is thought to be normal, an adequate sample of speech must be obtained by asking patient to read or repeat words from the attached list. If the patient has severe aphasia, the clarity of articulation of spontaneous speech can be rated. Only if the patient is intubated or has other physical barriers to producing speech, the examiner should record the score as untestable (UN), and clearly write an explanation for this choice. Do not tell the patient why he or she is being tested.	0 = **Normal.** 1 = **Mild-to-moderate dysarthria;** patient slurs at least some words and, at worst, can be understood with some difficulty. 2 = **Severe dysarthria;** patient's speech is so slurred as to be unintelligible in the absence of or out of proportion to any dysphasia, or is mute/anarthric. UN = **Intubated** or other physical barrier, explain:_____	_____

Rev 10/1/2003

NIH STROKE SCALE

Patient Identification. ___ ___-___ ___ ___-___ ___ ___

Pt. Date of Birth ___ ___/___ ___/___ ___

Hospital _____(___ ___-___ ___)

Date of Exam ___ ___/___ ___/___ ___

Interval: [ ] Baseline [ ] 2 hours post treatment [ ] 24 hours post onset of symptoms ±20 minutes [ ] 7-10 days
[ ] 3 months [ ] Other _____(___ ___)

11. Extinction and Inattention (formerly Neglect): Sufficient information to identify neglect may be obtained during the prior testing. If the patient has a severe visual loss preventing visual double simultaneous stimulation, and the cutaneous stimuli are normal, the score is normal. If the patient has aphasia but does appear to attend to both sides, the score is normal. The presence of visual spatial neglect or anosagnosia may also be taken as evidence of abnormality. Since the abnormality is scored only if present, the item is never untestable.	0 = **No abnormality.** 1 = **Visual, tactile, auditory, spatial, or personal inattention** or extinction to bilateral simultaneous stimulation in one of the sensory modalities. 2 = **Profound hemi-inattention or extinction to more than one modality;** does not recognize own hand or orients to only one side of space.	_____

_____

_____

Rev 10/1/2003

https://www.ninds.nih.gov/health-information/public-education/know-stroke/health-professionals

Barthel Index:

Activity	Score
FEEDING 0 = unable 5 = needs help cutting, spreading butter, etc., or requires modified diet 10 = independent	_____
BATHING 0 = dependent 5 = independent (or in shower)	_____
GROOMING 0 = needs to help with personal care 5 = independent face/hair/teeth/shaving (implements provided)	_____
DRESSING 0 = dependent 5 = needs help but can do about half unaided 10 = independent (including buttons, zips, laces, etc.)	_____
BOWELS 0 = incontinent (or needs to be given enemas) 5 = occasional accident 10 = continent	_____
BLADDER 0 = incontinent, or catheterized and unable to manage alone 5 = occasional accident 10 = continent	_____
TOILET USE 0 = dependent 5 = needs some help, but can do something alone 10 = independent (on and off, dressing, wiping)	_____
TRANSFERS (BED TO CHAIR AND BACK) 0 = unable, no sitting balance 5 = major help (one or two people, physical), can sit 10 = minor help (verbal or physical) 15 = independent	_____
MOBILITY (ON LEVEL SURFACES) 0 = immobile or < 50 yards 5 = wheelchair independent, including corners, > 50 yards 10 = walks with help of one person (verbal or physical) > 50 yards 15 = independent (but may use any aid; for example, stick) > 50 yards	_____
STAIRS 0 = unable 5 = needs help (verbal, physical, carrying aid) 10 = independent	_____
TOTAL (0–100):	_____

Mahoney FI, Barthel D. “Functional evaluation: the Barthel Index.” Maryland State Medical Journal 1965;14:56-61.

Modified Rankin Scale (mRS):
0 No symptoms at all
1 No significant disability despite symptoms; able to carry out all usual duties and activities
2 Slight disability; unable to carry out all previous activities, but able to look after own affairs without assistance
3 Moderate disability; requiring some help, but able to walk without assistance
4 Moderately severe disability; unable to walk without assistance and unable to attend to own bodily needs without assistance
5 Severe disability; bedridden, incontinent and requiring constant nursing care and attention
6 Dead
Rankin J. "Cerebral vascular accidents in patients over the age of 60." Scott Med J 1957;2:200-15 Bonita R, Beaglehole R. "Modification of Rankin Scale: Recovery of motor function after stroke." Stroke 1988 Dec;19(12):1497-1500

Airway Care Score (ACS):
Grading for the Airway Care Score

Grading	Cough to suction	Sputum quantity	Sputum character	Sputum viscosity	Suctioning frequency
0	Vigorous	None	Clear	Watery	>3 h
1	Moderate	1 pass	Tan	Frothy	Every 2-3 h
2	Weak	2 passes	Yellow	Thick	Every 1-2 h
3	None	≥3 passes	Green	Tenacious	<Every 1 h

Tanwar G, Singh U, Kundra S, Chaudhary AK, Kaytal S, Grewal A. Evaluation of airway care score as a criterion for extubation in patients admitted in neurosurgery intensive care unit. J Anaesthesiol Clin Pharmacol. 2019 Jan-Mar;35(1):85-91. doi: 10.4103/joacp.JOACP_362_17. PMID: 31057247; PMCID: PMC6495608.

Stroke-related Early Tracheostomy (SET) score:

Area of assessment	Situation	Points
Neurological function	Dysphagia	4
	Observed aspiration	3
	GCS on admission <10	3
Neurological lesion	Brainstem	4
	Space-occupying cerebellar	3
	Ischemic infarct $>2/3$ MCA territory	4
	ICH volume >25 ml	4
	Diffuse lesion	3
	Hydrocephalus	4
General organ function/ procedure	(Neuro)surgical intervention	2
	Additional respiratory disease	3
	$PaO_2/FiO_2 < 150$	2
	APS (of APACHEII) > 20	4
	LIS > 1	2
	Sepsis	3

Schönenberger, Silvia et al. "The Setscore To Predict Tracheostomy Need In Cerebrovascular Neurocritical Care Patients". *Neurocritical Care* 25.1 (2016): 94-104.

World Federation of Neurosurgical Surgeons (WFNS):

WFNS Grade	GCS Score	Motor Deficit
I	15	absent
II	14–13	absent
III	14–13	present
IV	12–7	present or absent
V	6–3	present or absent

*WFNS = World Federation of Neurological surgeons; SAH = subarachnoid hemorrhage; GCS = Glasgow Coma Scale.

Report of World Federation of Neurological Surgeons Committee on a Universal Subarachnoid Hemorrhage Grading Scale. J Neurosurg. 1988 Jun;68(6):985-6.

Fisher Score:

Fisher Grade	Description
Grade 0	No scan available
Grade 1	No blood detected
Grade 2	Diffuse deposition or thin layer. All vertical layers of blood <1mm thick
Grade 3	Localised clots and/or vertical layers of blood >1mm thick
Grade 4	Intraventricular or Intra parenchymal blood present

(Fisher, Kistler et al. 1980),

Fisher, C. M. M.D.; Kistler, J. P. M.D.; Davis, J. M. M.D.. Relation of Cerebral Vasospasm to Subarachnoid Hemorrhage Visualized by Computerized Tomographic Scanning. Neurosurgery 6(1):p 1-9, January 1980.