

Unité d'évaluation des technologies et
des modes d'intervention en santé (UETMIS)

Centre hospitalier de l'Université de Montréal

EMPLOI DE LA TOMODENSITOMÉTRIE MOBILE EN NEUROCHIRURGIE ET EN CHIRURGIE THORACIQUE EN PEROPÉRATOIRE

Revue rapide

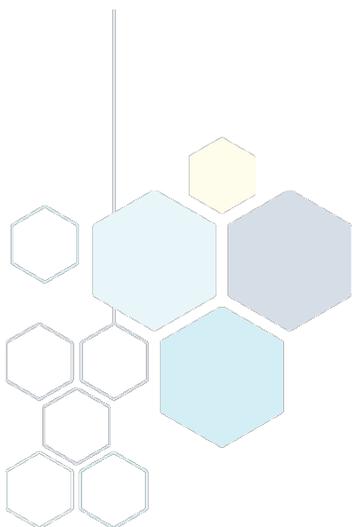
Préparée par

Simon Deblois

Amy Bergeron

Alfons Pomp

Juin 2023



Le contenu de cette publication a été rédigé et édité par l'Unité d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (UETMIS) du Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM). Ce document est également offert en format PDF sur le site Web du CHUM.

Auteurs : Simon Deblois, M.A., M. Sc., DESS (gestion)
Amy Bergeron, M.S.I.
Alfons Pomp, M.D., FRCSC., FACS

Pour se renseigner sur cette publication ou sur toute autre activité de l'UETMIS, s'adresser à :

Unité d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (UETMIS)
Direction générale (DG)
Centre hospitalier de l'Université de Montréal
Bureau B06.8057
1050, rue Saint-Denis
Montréal (Québec) H2X 3J3
Téléphone : 514 890-8000, poste 36132
Télécopieur : 514 412-7460
Courriel : detmis.chum@ssss.gouv.qc.ca

Comment citer ce document :

« Unité d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (UETMIS). Centre hospitalier de l'Université de Montréal. *Emploi de la tomographie mobile en neurochirurgie et en chirurgie thoracique en peropératoire. Revue rapide*. Préparée par Simon Deblois, Amy Bergeron et Alfons Pomp. Juin 2023 ».

ISBN 978-2-89528-160-3

La reproduction totale ou partielle de ce document est autorisée à condition que la source soit mentionnée.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	3
MISSION	5
REMERCIEMENTS	6
RÉSUMÉ	7
EXECUTIVE SUMMARY	8
ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES	9
1 INTRODUCTION	10
1.1 Description de la technologie.....	10
1.2 Questions de recherche.....	11
2 MÉTHODOLOGIE	11
2.1 Recherche bibliographique.....	11
2.2 Critères d'inclusion	12
2.2.1 Types de devis méthodologiques	12
2.2.2 Indications visées	12
2.2.3 Participants	12
2.2.4 Type d'intervention à l'étude	12
2.2.5 Comparateur(s)/contrôles	12
2.2.6 Résultats attendus	12
2.3 Critères d'exclusion	13
2.4 Appréciation de la qualité méthodologique.....	13
2.5 Type de synthèse effectuée.....	13
3 RÉSULTATS	13
3.1 Sélection des études et diagramme de flux PRISMA (12).....	13
3.2 Qualité méthodologique des études incluses	13
3.3 Présentation des résultats	16
3.3.1 Comparaisons effectuées	16
3.4 Résection d'un adénome pituitaire.....	23
3.4.1 Efficacité clinique	23
3.4.2 Innocuité.....	23
3.5 Mise en place de l'instrumentation spinale.....	23
3.5.1 Efficacité clinique	23
Précision de la mise en place de l'instrumentation spinale, qualité des images.....	23
Durée de l'intervention, durée de séjour à l'hôpital.....	23
Densité minérale des os (indice Hounsfield)	24
3.5.2 Innocuité.....	24
Exposition à la radiation.....	24
Complications	24

4	DISCUSSION	25
4.1	Efficacité clinique	25
	Mise en place de l'instrumentation spinale.....	25
	Résection de tumeurs cérébrales	25
	Autres interventions visées (résection de tumeurs osseuses et des tissus mous du rachis, évacuation d'hématomes cérébraux, ablation de tumeurs pulmonaires).....	25
4.2	Innocuité.....	26
5	CONCLUSION.....	26
6	LACUNES À COMBLER DANS L'ÉTAT DES CONNAISSANCES.....	27
7	RECOMMANDATIONS.....	27
8	RÉFÉRENCES.....	28
ANNEXE 1 - STRATÉGIE DE RECHERCHE DOCUMENTAIRE.....		31
	Medline [OVID].....	31
	Embase [OVID]	33
	CINAHL Complete [EBSCOhost].....	35
ANNEXE 2 - LISTE DES ÉTUDES EXCLUES, PAR MOTIF D'EXCLUSION.....		36
	Technologies de navigation autres que la tomodensitométrie mobile par AIRO	36
	Étude d'efficacité théorique	36
	Absence de comparateur	36
	Méthodologie inadéquate.....	36
	Indications cliniques autres que celles visées	37

Liste des tableaux et figures

Tableau 1 - Appréciation de la qualité méthodologique des onze études observationnelles incluses à l'aide de ROBINS-I.....	15
Tableau 2 - Caractéristiques générales des études recensées.....	17
Tableau 3 - Résultats primaires et secondaires extraits des études recensées.....	19
Figure 1 - Diagramme de flux PRISMA	14

MISSION

L'Unité d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (UETMIS) a pour mission de conseiller les décideurs du CHUM dans leurs choix de technologies et de modes d'intervention en santé, en basant sa méthodologie sur les données probantes, les pratiques les plus efficaces dans le domaine de la santé et l'état des connaissances actuelles. En outre, en conformité avec la mission universitaire du CHUM, elle travaille à diffuser les connaissances acquises au cours de ses évaluations, tant au sein de la communauté du CHUM qu'à l'extérieur, contribuant ainsi à l'implantation d'une culture d'évaluation et d'innovation.

En plus de s'associer aux médecins, aux pharmaciens, aux membres du personnel infirmier et aux autres professionnels du CHUM, l'UETMIS travaille de concert avec la communauté de pratique. Cette dernière est composée des unités d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé des autres centres hospitaliers universitaires, de l'Institut national d'excellence en santé et en services sociaux (INESSS) ainsi que du Réseau universitaire intégré de santé et de services sociaux de l'Université de Montréal (RUIS de l'UdeM).

L'UETMIS participe également au processus permanent d'amélioration continue de la performance clinique. Elle travaille de concert avec l'équipe de la gestion de l'information à élaborer des tableaux de bord, permettant une évaluation critique et évolutive des secteurs d'activités cliniques. L'UETMIS propose des pistes de solution, contribuant à accroître la performance clinique par une analyse des données probantes et des lignes directrices cliniques, de même que des pratiques exemplaires. Cette démarche est réalisée en collaboration avec les gestionnaires (administratifs et cliniques).

REMERCIEMENTS

L'Unité d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (UETMIS) remercie Dr Sung Joo Yuh, neurochirurgien, ainsi que Dr Moishe Liberman, chirurgien thoracique, pour leurs commentaires, lors de la révision de ce rapport.

Divulgence de conflit d'intérêts

Aucun conflit à signaler

RÉSUMÉ

Les outils de navigation par imagerie médicale peuvent être utilisés par les chirurgiens et les radiologues interventionnels pour faciliter le positionnement précis de l'instrumentation lors d'une opération spinale ainsi que le traitement de lésions cérébrales, notamment. Les améliorations récentes apportées à la technologie de tomodynamométrie mobile ont accru la précision et la rapidité d'acquisition de l'image radiologique. Cela devrait permettre, du moins en théorie, de réduire le temps passé en salle d'opération et l'exposition aux rayonnements ionisants et d'améliorer les résultats pour les patients.

L'objectif de cette revue rapide est d'apprécier la littérature publiée dans des revues scientifiques avec comité de pairs afin de déterminer l'efficacité clinique et l'innocuité de l'appareil de tomodynamométrie mobile AIRO par rapport à la fluoroscopie bidimensionnelle et tridimensionnelle et à d'autres outils de navigation actuellement utilisés pour le positionnement de l'instrumentation lors d'opérations spinales et pour la résection de tumeurs cérébrales et pulmonaires, afin de faciliter la prise de décision du CHUM quant à l'opportunité de l'acquérir pour ces indications.

Onze études observationnelles rétrospectives ont été recensées. La littérature actuelle, avec un risque modéré de biais, tend à soutenir l'utilisation du AIRO pour améliorer le positionnement de l'instrumentation lors d'opérations spinales et réduire l'exposition des patients aux radiations. Deux études concluent toutefois à une certaine augmentation du temps passé en salle d'opération par rapport à d'autres outils de navigation utilisant une technologie plus conventionnelle (fluoroscopie) ou aucune imagerie peropératoire. En ce qui concerne l'utilisation du AIRO pour la résection de tumeurs cérébrales ainsi que son utilisation pour le traitement d'autres pathologies (y compris les lésions pulmonaires), il y a une pénurie de littérature pertinente sur le sujet et aucune conclusion formelle ne peut être établie.

Le CHUM est un établissement de référence pour les soins quaternaires et l'acquisition d'une unité mobile AIRO est recommandée. D'autres études de bonne qualité sont nécessaires pour confirmer l'efficacité clinique et la sécurité de cet appareil. Une attention particulière devrait être portée à l'organisation du parcours de soins, afin d'optimiser le temps opératoire. D'autres études utilisant une méthodologie de recherche appropriée gagneraient également à être réalisées pour valider la pertinence du AIRO dans le traitement des tumeurs cérébrales et d'autres pathologies.

EXECUTIVE SUMMARY

Medical imaging navigation tools can be used by surgeons and interventional radiologists to assist in the accurate positioning of spinal instrumentation as well as with the treatment of cerebral and other lesions. Recent improvements of mobile CT scan technology have improved the precision and rapid acquisition of the radiologic image. This should permit, at least in theory, a reduction in operating room time with less exposure to ionizing radiation and improve patient outcomes.

The purpose of this rapid review is to appraise peer-reviewed literature aimed at assessing the clinical effectiveness and safety of the AIRO Mobile CT Scan, compared to two- and three-dimensional fluoroscopy and other navigation tools currently used for the positioning of spinal instrumentation as well as the resection of cerebral and lung tumors, to facilitate the decision by the CHUM whether to obtain an AIRO Mobile CT Scan.

Eleven retrospective observational studies were included. Current literature, with a moderate risk of bias, tends to support the use of the AIRO to improve spinal instrumentation positioning and reduce patient exposure to radiation. Two studies, however, conclude there is some increase in operating room time when compared with other navigation tools using more conventional technology (fluoroscopy) or no intra-operative imaging. As concerns the use of the AIRO for resection of cerebral tumors as well as its utilization for the treatment other pathologies (including lung lesions) there is a dearth of relevant literature on the subject and no formal conclusions can be ascertained.

The CHUM is a quaternary care referral institution and the acquisition of an AIRO mobile unit is recommended. Further good quality studies are needed to confirm the clinical efficiency and safety of this device - with a particular attention to improving the flow of patient care using this technology in order to decrease operating room time. More studies, using appropriate research methodology can also be performed to validate the AIRO's pertinence in the treatment of cerebral tumors and other pathologies.

ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

ACMTS	Agence canadienne des médicaments et des technologies de la santé
C	Groupe contrôle
Gycm²	Gray par centimètre carré (produit dose-surface)
I	Groupe d'intervention
IRM	Imagerie par résonance magnétique
mSv	millisievert
P	Score P
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
ROBINS-I	<i>Risk of Bias in Non-randomized Studies-of Interventions</i>
TCO	Tomographie par cohérence optique
TEP	Tomographie par émission de positrons
χ^2	Khi carré

1 INTRODUCTION

Les outils de navigation sont employés en radiologie depuis les années 1980, notamment en neurochirurgie et en chirurgie spinale. Ils permettent de guider précisément le chirurgien lors d'une intervention au cerveau ou à la colonne vertébrale. La navigation repose sur l'emploi de techniques d'imagerie, incluant l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et la tomodensitométrie. Elle est notamment employée pour la résection de tumeurs cérébrales, la mise en place d'instrumentation spinale et la vérification de la précision des positionnements de l'instrumentation (1, 2). La navigation vise à améliorer le ciblage des lésions, à réduire le temps opératoire et à minimiser la dose de radiation. Il convient de noter que la fluoroscopie, qui emploie des rayons X pour produire des images dynamiques reproduisant le mouvement du corps, est également employée pour ces indications. Une approche de navigation par imagerie, comme la tomodensitométrie, employant des images statiques en trois dimensions pour guider le chirurgien pendant l'intervention peut aussi être combinée à la fluoroscopie, qui elle, produit des images en deux ou trois dimensions (1).

Le développement et la mise en marché d'appareils de tomodensitométrie mobile pouvant être employés en peropératoire lors d'interventions au cerveau, pour la résection de tumeurs cérébrales, ou pour le positionnement d'instrumentation spinale, par exemple, font partie des progrès significatifs survenus dans le domaine des techniques de navigation peropératoire au cours des 10 dernières années. À ce jour, seulement deux appareils de tomodensitométrie mobile pouvant être employés à la fois pour des interventions au cerveau et pour le positionnement d'instrumentation spinale ont été homologués au Canada, soit le BodyTom Elite, de NeuroLogica (filiale de Samsung), et le AIRO TruCT, distribué par Stryker Corporation.

L'objectif de l'analyse présentée dans ce rapport est de présenter une revue rapide des principaux résultats se dégageant de la littérature publiée dans des revues scientifiques avec comité de pairs afin de guider la prise de décision quant à l'opportunité pour le CHUM d'acquérir l'appareil de tomodensitométrie mobile AIRO, pour des indications prédéterminées. Les questions de recherche qui suivent ont été posées.

1.1 Description de la technologie

Le AIRO est un appareil de tomodensitométrie mobile conçu pour être employé par les chirurgiens en peropératoire (3). Le modèle présentement commercialisé comporte une ouverture de 107 cm et offre une résolution à 32 coupes (3). Conçu également pour être employé en peropératoire par des chirurgiens, le BodyTom Elite offre aussi une résolution à 32 coupes, mais son ouverture de 85 cm est plus petite que celle du AIRO (4). La vitesse de reconstruction est de 48 images par seconde pour le AIRO et de 16 images par seconde pour le BodyTom Elite (3). Le AIRO est plus petit que le BodyTom Elite (195 cm sur 197 cm pour le AIRO contre 265 cm sur 206 cm pour le BodyTom Elite), ce qui lui confère une empreinte au sol plus petite. Le poids du AIRO est aussi moins important (800 kg pour le AIRO contre 1500 kg pour le BodyTom Elite), ce qui peut faciliter le transport de l'appareil.

La tomodensitométrie à faisceau conique est une autre approche de navigation employée en peropératoire (5). Le O-Arm de Medtronic emploie cette technologie, de même que le Zeego de Siemens (5). L'ouverture du O-Arm (69,9 cm) et celle du Zeego (81,5 cm) sont plus petites que celle des appareils de tomodensitométrie précités, et il en est de même pour leur champ de vision (56 cm pour le AIRO, 20 cm pour le O-Arm et 26 cm pour le Zeego) (5).

Le type C-Arm correspond à la forme du capteur d'images qui effectue une rotation autour du patient et regroupe plusieurs appareils produisant des images en deux ou en trois dimensions. Ils combinent la fluoroscopie et l'imagerie par rayons X. Ils permettent d'effectuer une cartographie vasculaire. Par ailleurs, selon l'algorithme de reconstruction qui est employé, les images peuvent contenir plusieurs artefacts, en raison de la vibration du capteur d'images.

1.2 Questions de recherche

- Quelle est l'efficacité clinique de l'appareil de tomodensitométrie mobile AIRO comparativement à la fluoroscopie en deux et trois dimensions et aux autres approches d'imagerie employées en peropératoire, pour les indications suivantes :
 - Mise en place d'instrumentation spinale, ainsi que vérification
 - Résection de tumeurs osseuses et des tissus mous du rachis
 - Résection de tumeurs cérébrales
 - Évacuation d'hématome cérébral
 - Ablation de tumeurs pulmonaires par voie endoscopique sous contrôle d'imagerie en temps réel
 - Résection des tumeurs pulmonaires ciblées sous contrôle scanographique ?
- Quelle est l'innocuité de l'appareil de tomodensitométrie mobile AIRO comparativement à la fluoroscopie en deux et trois dimensions et aux autres approches d'imagerie employées en peropératoire, pour les indications suivantes :
 - Mise en place d'instrumentation spinale, ainsi que vérification
 - Résection de tumeurs osseuses et des tissus mous du rachis
 - Résection de tumeurs cérébrales
 - Évacuation d'hématome cérébral
 - Ablation de tumeurs pulmonaires par voie endoscopique sous contrôle d'imagerie en temps réel
 - Résection des tumeurs pulmonaires ciblées sous contrôle scanographique ?

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Recherche bibliographique

Une stratégie de recherche documentaire a été élaborée par une bibliothécaire spécialisée (AB) avec la collaboration du premier auteur du rapport et d'un expert (Dr Sung-Joo Yuh). Les bases de données électroniques suivantes ont été consultées : MEDLINE (Ovid), EMBASE (Ovid) et CINAHL (EBSCOhost). Les stratégies de recherche apparaissent en annexe de ce rapport.

La recherche dans les bases de données bibliographiques a été limitée aux articles publiés en français ou en anglais, aux adultes. Les résumés de conférence, les lettres, les éditoriaux, les notes et les commentaires ont été exclus. La recherche visant les revues systématiques, les méta-analyses et les lignes directrices a été limitée aux articles publiés de 2017 à aujourd'hui.

Les filtres de recherche suivants ont été employés : McMaster University Health Information Research Unit Hedges pour les revues (sensibilité maximisée) (6), filtres de recherche de l'ACMTS pour les essais cliniques randomisés et les lignes directrices (7), filtres d'Avau et coll. (2021) pour les études d'observation adaptés à Ovid Medline, Ovid Embase et CINAHL Complete, avec des modifications mineures (8).

La recherche documentaire complète a été effectuée le 16 janvier 2023. Un total de 607 citations a été extrait des trois bases de données. Les doublons ont été supprimés dans EndNote par AB, en utilisant la méthode rapportée par W. Bramer (9). Après la suppression des doublons, il restait 406 citations à examiner.

2.2 Critères d'inclusion

2.2.1 Types de devis méthodologiques

- Revues systématiques avec ou sans méta-analyse
- Essais à répartition aléatoire
- Études observationnelles prospectives et rétrospectives

2.2.2 Indications visées

- Mise en place d'instrumentation spinale, ainsi que vérification
- Résection de tumeurs osseuses et des tissus mous du rachis
- Résection de tumeur cérébrale
- Évacuation d'hématome cérébral
- Ablation de tumeurs pulmonaires par voie endoscopique sous contrôle d'imagerie en temps réel
- Résection des tumeurs pulmonaires ciblées sous contrôle scanographique

2.2.3 Participants

- Adultes (≥ 18 ans)

2.2.4 Type d'intervention à l'étude

- Emploi de l'appareil de tomodensitométrie mobile AIRO en peropératoire, pour les indications visées.

2.2.5 Comparateur(s)/contrôles

- Pour chacune des indications visées, en peropératoire
 - Emploi de l'appareil de tomodensitométrie mobile BodyTom Elite
 - Emploi de la fluoroscopie en deux et trois dimensions
 - Emploi d'une autre technique de navigation peropératoire, dont les suivantes :
 - Tomodensitométrie à faisceau conique sans emploi de robot (par exemple, O-Arm)
 - Tomodensitométrie à faisceau conique robotisée (par exemple, Zeego)
 - Chirurgie ouverte sans navigation

2.2.6 Résultats attendus

- Efficacité clinique
 - Précision des enregistrements et des positionnements de l'instrumentation
 - Durée des interventions
- Innocuité
 - Exposition à la radiation
 - Complications
 - Nombre de patients réopérés à la suite de mauvais positionnements de vis
 - Complications neurovasculaires associées à des vis
 - Complications majeures
 - Toutes complications

2.3 Critères d'exclusion

- Séries de cas
- Éditoriaux
- Résumés de conférences
- Études incluant des patients pédiatriques

2.4 Appréciation de la qualité méthodologique

Comme on le verra dans la section suivante, aucun essai à répartition aléatoire ni aucune étude de synthèse n'ont été inclus dans cette revue rapide. Toutefois, la qualité méthodologique des études observationnelles incluses a été appréciée à l'aide de ROBINS-I (10). Cet outil a été choisi en raison de son caractère récent et du fait qu'il reflète les meilleures pratiques actuelles en recherche.

2.5 Type de synthèse effectuée

Compte tenu de l'échéancier de ce projet d'évaluation, il a été convenu d'effectuer une revue rapide de la littérature publiée dans des revues scientifiques avec comité de pairs. Comme on le verra plus loin, l'hétérogénéité observée quant aux caractéristiques des études incluses n'a pas permis le regroupement des résultats. Une revue rapide narrative a donc été effectuée, en s'inspirant d'une méthodologie employée par l'Agence canadienne des médicaments et des technologies de santé (ACMTS) (11), qui est une adaptation des meilleures pratiques de recherche pour la production de revues systématiques. Elle repose notamment sur la collaboration entre un analyste d'expérience et une bibliothécaire spécialisée.

3 RÉSULTATS

3.1 Sélection des études et diagramme de flux PRISMA (12)

L'application de la stratégie de recherche bibliographique a permis de relever 607 références dans les trois bases de données indexées précitées. Après le retrait des doublons, 406 références ont été examinées en vue de la sélection. Au terme du processus de sélection, 11 études observationnelles rétrospectives ont été retenues. De ces 11 études, une seule n'a pas été identifiée au moyen de la recherche bibliographique dans les bases de données, et provient d'une recherche complémentaire (13).

3.2 Qualité méthodologique des études incluses

Les études observationnelles rétrospectives incluses ont été jugées à risque de biais modéré à élevé, en tenant compte des critères de ROBINS-I. En effet, dix études ont été jugées à risque de biais élevé et une à risque sérieux, en raison notamment de la très faible taille de son échantillon (14). Le tableau 1 fait état des résultats de cette appréciation.

Figure 1 - Diagramme de flux PRISMA

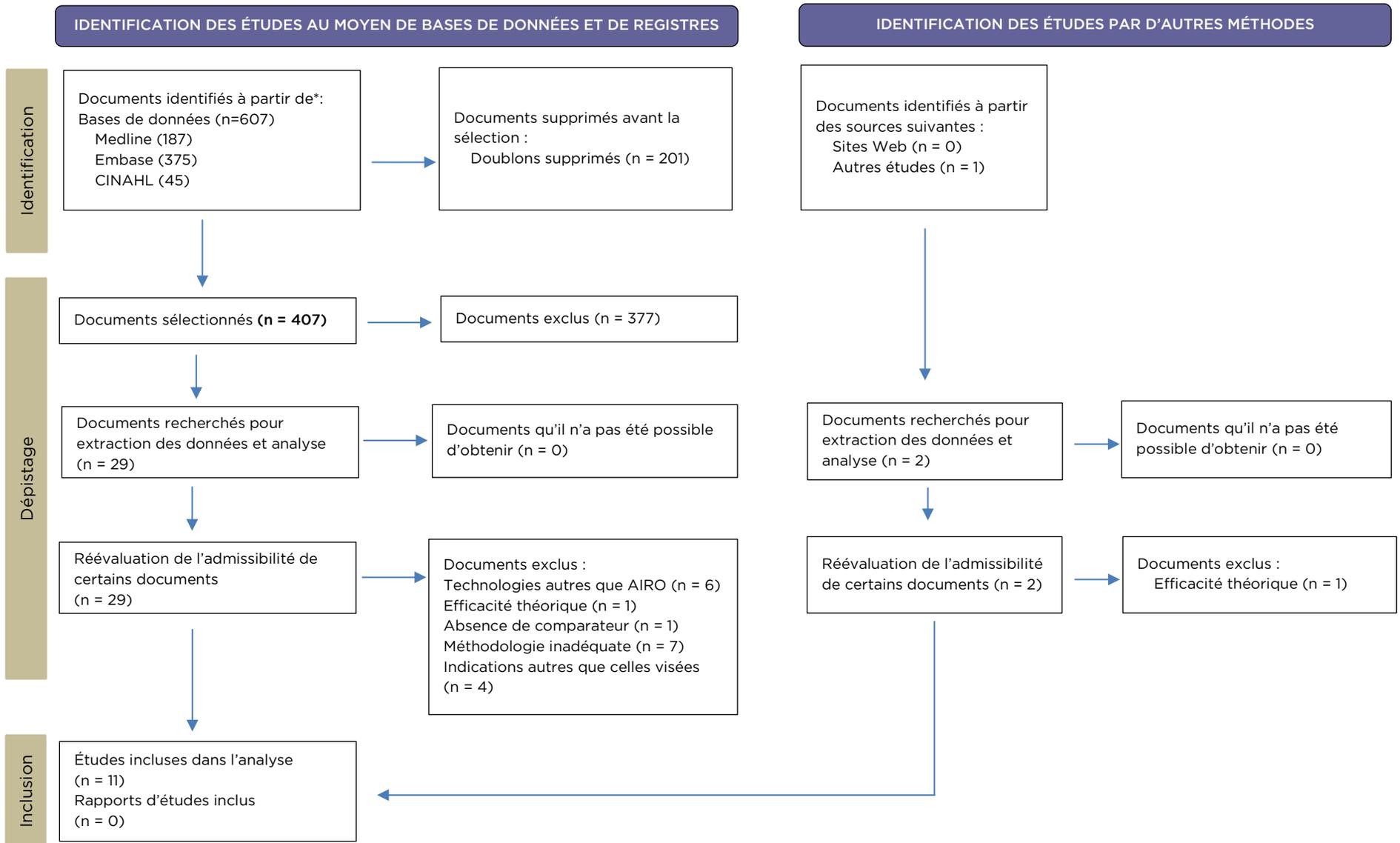


Tableau 1 - Appréciation de la qualité méthodologique des onze études observationnelles incluses à l'aide de ROBINS-I

RÉFÉRENCE	BIAIS DÛ À LA CONFUSION	BIAIS DANS LA SÉLECTION DES PARTICIPANTS À L'ÉTUDE	BIAIS DANS LA CLASSIFICATION DES INTERVENTIONS	BIAIS DÛ AUX ÉCARTS PAR RAPPORT AUX INTERVENTIONS PRÉVUES	BIAIS DÛ À DES DONNÉES MANQUANTES	BIAIS DANS LA MESURE DES RÉSULTATS	BIAIS DANS LA SÉLECTION DES RÉSULTATS COMMUNIQUÉS	APPRÉCIATION GLOBALE DU RISQUE DE BIAIS
Bertram et coll. (2021)	Modéré	Faible	Faible	Faible	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Bopp et coll. (2022)	Modéré	Faible	Faible	Faible	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Habib et coll. (2020)	Modéré	Faible	Faible	Faible	Modéré	Modéré	Faible	Modéré
Hubertus et coll. (2022)	Modéré	Faible	Faible	Faible	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Kendlbacher et coll. (2022)	Modéré	Faible	Faible	Faible	Faible	Modéré	Faible	Modéré
La Rocca et coll. (2022)	Modéré	Faible	Faible	Faible	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Mertens et coll. (2022)	Modéré	Faible	Faible	Faible	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Marzouk et coll. (2022)	Modéré	Faible	Faible	Faible	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Privalov et coll. (2021)	Sérieux	Faible	Faible	Faible	Faible	Modéré	Faible	Sérieux
Scarone et coll. (2018)	Modéré	Faible	Faible	Faible	Faible	Modéré	Faible	Modéré
Wang et coll. (2021)	Modéré	Faible	Faible	Faible	Faible	Modéré	Faible	Modéré

3.3 Présentation des résultats

Les tableaux 2 et 3 qui suivent font état des caractéristiques générales des études incluses et des résultats recensés pour les indications visées, respectivement.

Une étude a porté sur la résection d'un type de tumeur cérébrale, soit l'adénome pituitaire, une tumeur bénigne (2). Les 10 autres études incluses ont porté sur la mise en place d'instrumentation spinale. Toutes sont des études rétrospectives, soit 10 études observationnelles et une étude avec cas témoins appariés (15) dont la taille de l'échantillon varie de 10 (14) à 503 participants (5). Aucune étude comparative portant sur la résection de tumeurs osseuses et des tissus mous du rachis, sur l'évacuation d'hématomes cérébraux et sur l'ablation de tumeurs pulmonaires n'a été recensée.

Dans les études incluses, la navigation par tomodensitométrie mobile AIRO (groupe d'intervention) a été comparée à la fluoroscopie à deux ou trois dimensions, à la tomodensitométrie par faisceau conique sans robot (O-Arm), à la tomodensitométrie par faisceau conique avec robot (Zeego), à une autre approche de navigation ou à la chirurgie ouverte sans navigation, lors de l'intervention visée.

3.3.1 Comparaisons effectuées

Dans l'étude portant sur la résection d'adénome pituitaire, la comparaison a été effectuée avec l'approche classique par microscope (2).

Cinq des études portant sur la mise en place d'instrumentation spinale ont comparé la navigation par tomodensitométrie mobile à l'aide du AIRO avec la fluoroscopie à deux ou trois dimensions (1, 14, 16-18). Cinq études l'ont comparée à la tomodensitométrie par faisceau conique sans robot (O-Arm) (1, 5, 13, 19, 20) et deux l'ont comparée à la tomodensitométrie par faisceau conique avec robot (Zeego) (5, 19). Des comparaisons ont également été effectuées avec trois autres approches, soit une autre approche de guidage par robot (Excelsius GPS System) (18), la chirurgie ouverte sans navigation (18) et, enfin, un autre appareil de tomodensitométrie n'étant pas décrit comme mobile, mais pouvant être employé en peropératoire (Somatom Force) (15).

Dans les sections qui suivent, les résultats se dégageant des études seront présentés, par indication, en distinguant ceux portant sur l'efficacité clinique de ceux visant l'innocuité.

Tableau 2 – Caractéristiques générales des études recensées

RÉFÉRENCE	DEVIS	PARTICIPANTS	INTERVENTION	COMPARATEURS	RÉSULTATS ATTENDUS
Résection d'adénome pituitaire par opération nasale trans-sphénoïdale					
Bopp (2022)	Étude observationnelle rétrospective	Patients adultes	Emploi de la navigation par CT Scan AIRO pour la chirurgie trans-sphénoïdale de l'adénome hypophysaire	Approche classique par microscope	<ul style="list-style-type: none"> ■ Précision de l'enregistrement ■ Durée de l'intervention ■ Complications
Mise en place de vis pédiculaires					
Bertram (2021)	Étude observationnelle rétrospective	Patients ≥ 18 ans	Positionnement de l'instrumentation dorsale cervicale à l'aide du CT scan mobile (AIRO)	Instrumentation à l'aide de la fluoroscopie et du C-Arm	<ul style="list-style-type: none"> ■ Précision (échelle Gertzbein-Robbins modifiée)
Habib (2020)	Étude observationnelle rétrospective	Tous les patients qui ont subi une fixation postérieure, soit avec des vis pédiculaires uniquement, soit avec une combinaison de ces vis et de vis de masse latérales, entre les niveaux C3 et T5	iCT AIRO	Fluoroscopie par rayons X Tomodensitométrie à faisceau conique (O-arm)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Primaires : taux de vis placées avec précision pour chaque modalité d'imagerie peropératoire. ■ Secondaires : durée de l'intervention chirurgicale, nombre de vis repositionnées pendant l'opération et complications neurologiques ou vasculaires
Hubertus (2022)	Étude observationnelle rétrospective	Patients ≥ 18 ans avec tumeur du rachis	Mise en place d'implants PEEK renforcés de fibres de carbone radiotransparentes à l'aide du CT scan mobile AIRO	Mise en place d'implants PEEK renforcés de fibres de carbone radiotransparentes à l'aide de la tomographie à faisceau conique robotisée (Zeego) Ou Mise en place d'implants PEEK renforcés de fibres de carbone radiotransparentes à l'aide de la tomographie à faisceau conique (O-Arm)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Précision du positionnement ■ Durée médiane de l'intervention ■ Complications chirurgicales
Kendlbacher (2022)	Étude observationnelle rétrospective	≥ 18 ans	Mise en place et vérification d'instrumentation spinale à l'aide du AIRO	Mise en place et vérification d'instrumentation spinale à l'aide de la tomographie à faisceau conique robotisée (Zeego) Ou Mise en place et vérification d'instrumentation spinale à l'aide de la tomographie à faisceau conique (O-Arm)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Précision du positionnement ■ Durée médiane de l'intervention ■ Durée de séjour à l'hôpital ■ Réopération en raison de vis mal positionnées

RÉFÉRENCE	DEVIS	PARTICIPANTS	INTERVENTION	COMPARATEURS	RÉSULTATS ATTENDUS
La Rocca (2022)	Étude observationnelle rétrospective	≥ 18 ans	Mise en place et vérification d'instrumentation spinale à l'aide du AIRO	Mise en place et vérification d'instrumentation spinale guidée par fluoroscopie	<ul style="list-style-type: none"> ■ Précision du positionnement ■ Exposition à la radiation ■ Complications
Marzouk (2022)	Étude observationnelle rétrospective avec cas témoins appariés	≥ 18 ans	Mise en place et vérification d'instrumentation spinale à l'aide du AIRO	Emploi du CT scan peropératoire (SOMATOM force CT) et enregistrement peropératoire des surfaces	<ul style="list-style-type: none"> ■ Exposition à la radiation par des rayons X peropératoires (mesurée en tant que produit dose-zone (dap) en Gy\cdotcm²) ■ Exposition aux rayonnements des tomodensitogrammes requis (mesurée en tant que produit dose longueur (dlp) en mGy\cdotcm) ■ Durée de l'opération (mesurée en tant que temps de coupe-suture (ctst) en h)
Mertens (2022)	Étude observationnelle rétrospective	Patients ≥ 18 ans subissant une fusion intervertébrale lombaire	Des tomodensitomètres Canon ont été utilisés en préopératoire et le tomodensitomètre AIRO mobile a été utilisé en peropératoire pour le positionnement de l'instrumentation	Des tomodensitomètres Canon ont été utilisés en préopératoire et un tomodensitomètre à faisceau conique (CBCT) (O-Arm) a été utilisé en peropératoire pour le positionnement de l'instrumentation	<ul style="list-style-type: none"> ■ Valeurs observées de l'indice Hounsfield pour la mesure de la densité minérale des os ■ Exposition à la radiation
Privalov (2021)	Étude observationnelle rétrospective	≥ 17 ans	Navigation peropératoire avec le AIRO pour le positionnement d'instrumentation sacro-iliaque	Navigation peropératoire avec le C-Arm 3D Opération conventionnelle avec le C-Arm 3D Opération conventionnelle avec la fluoroscopie 2D	<ul style="list-style-type: none"> ■ Qualité subjective des images ■ Durée de l'opération ■ Durée de la fluoroscopie peropératoire ■ Complications peropératoires
Scarone (2018)	Étude observationnelle rétrospective	≥ 18 ans	Positionnement de l'instrumentation à l'aide du CT scan mobile AIRO	Positionnement de l'instrumentation à l'aide du O-Arm	<ul style="list-style-type: none"> ■ Proportion de patients avec au moins une vis mal positionnée ■ Durée de l'intervention ■ Exposition à la radiation
Wang (2021)	Étude observationnelle rétrospective	≥ 18 ans	Navigation peropératoire avec le AIRO pour le positionnement d'instrumentation lors d'une opération de fusion lombaire postérieure	Guidage par robot (ExcelsiusGPS system) Chirurgie ouverte sans navigation Opération minimalement invasive guidée par fluoroscopie	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pertes sanguines estimées (mL) ■ Durée de séjour (j) ■ Temps opératoire (min) ■ Complications postopératoires (%) ■ Exposition à la radiation (mGy)

Tableau 3 - Résultats primaires et secondaires extraits des études recensées

RÉFÉRENCE	NOMBRE	ÂGE	PRÉCISION	DURÉE DE L'INTERVENTION	EXPOSITION À LA RADIATION	COMPLICATIONS
Bertram (2021 b)	I : 59 patients (357 vis, 238 vis pédiculaires cervicales et 119 vis latérales de masse) C : 98 patients (632 vis, 69 vis pédiculaires cervicales et 1563 vis latérales de masse)	Âge moyen, ET I : 64,9 ± 14,3 C : 65 ± 5,72 P > 0,05	Précision avant correction peropératoire I : C1-C2 : 95,4 % (n = 61) Sous-axiale : 89 % (n = 261) Vis latérales de masse : 93,3 % (n = 111) P < 0,05 Vis pédiculaires cervicales : 89,6 % (n = 211) P < 0,001 C : C1-C2 : 90 Sous-axiale : 80,3 % Vis latérales de masse : 82 % Vis pédiculaires cervicales : 67 % Précision après correction peropératoire I : C1-C2 : 100 % (n = 64) Sous-axiale : 91,8 % (n = 269) Vis latérales de masse : 94,1 % (n = 112) Vis pédiculaires cervicales : 92,8 % (n = 221)			
Bopp (2022)	165 C : 81 I : 84	Âge moyen : C : 55,19 ± 19,24 I : 55,95 ± 17,65	Taux d'erreur d'enregistrement de la cible en mm (TRE) I : 0,76 ± 0,33 C : 1,85 ± 1,02 P = 0,001	Durée de l'intervention (min) : C : 71,28 ± 29,52 I : 69,87 ± 24,71 P = 0,739		Complications majeures : Aucune, dans chacun des deux groupes.

RÉFÉRENCE	NOMBRE	ÂGE	PRÉCISION	DURÉE DE L'INTERVENTION	EXPOSITION À LA RADIATION	COMPLICATIONS
Habib (2020)	82, 15 manquants (données sur 67 patients) 67 I : 19 (28,4 %) C : fluoroscopie 5 (7,5 %) O-Arm 43 (64,2 %)	Âge moyen : I : 60 (24-87) C : Fluoroscopie 70 (47-84) O-Arm 67 (17-87)	Taux de vis mal positionnées I : AIRO - 2,4 % C : Fluoroscopie - 9,1 % O-Arm : 9,7 % P = 0,0152, χ^2	Durée de l'intervention (min (écart-type)) : I : AIRO - 383 (127) C : fluoroscopie - 325 (68) O-Arm : 345 (140) P = 0,5390, χ^2		Nombre de patients réopérés pour des complications neurovasculaires associées à des vis : 0 dans les 3 modalités Nombre de vis repositionnées en peropératoire (N, %) I : AIRO : 5/163 (3) C : Fluoroscopie : 2/22 (0) O-Arm : 2/310 (0,6) P=0,0895, Anova Nombre de patients réopérés pour repositionner des vis (N, %) I : AIRO : 1/19 (5,2) C : Fluoroscopie : 0/5 (0) O-Arm : 0/45 (0) P=0,2631, Anova
Hubertus (2022)	33 patients I (AIRO) : 13 patients, 93 vis C : Robot : 13 patients, 99 vis Sans robot : 7 patients, 51 vis	I (AIRO) : 59 (18-76) C : Robot : 61 (43-85) Sans robot : 70 (60-79) P = 0,1227	Précision des vis (thoraciques et lombaires, N, %) I (AIRO) : 69 (74 %) C : Robot : 68 (69 %) Sans robot : 25 (49 %) P = 0,0064 (robot vs sans robot et AIRO vs sans robot)	Durée médiane de l'intervention I (AIRO) : 248 (110-387) C : Robot : 202 (105-350) Sans robot : 193 (78-487) P = 0,7312		Complications chirurgicales I (AIRO) : 4 (30 %) 4 SSI C : (robot) : 2 (15 %) SSI 2 (sans robot) : 2 (29 %) SSI 1 P=0,6376
Kendlbacher (2022)	503 patients I (AIRO) : 195 patients, 1219 vis C : Sans robot : 141 patients, 646 vis Robot : 167 patients, 808 vis	Âge médian I (AIRO) : 68 (57-75) C : Sans robot : 70 (59-77) Robot : 69 (58-77) P = 0,381	Précision des positionnements (%) I (AIRO) : 96,2 % C : Sans robot : 92,3 % Robot : 94,4 % P = 0,0012	Durée médiane de l'intervention I (AIRO) : 231 (188-311) C : Sans robot : 157 (118-201) Robot : 209 (158-272) P < 0,0001		2 ^e opération due à des vis mal positionnées (N, %) I (AIRO) : 1 (0,5 %) C : (sans robot) : 3 (2,1 %) (robot) : 1 (0,6 %) P=0,277
La Rocca (2022)	I (AIRO) : 91 patients	Âge médian I : 61 (37-75)	Proportion de vis correctement positionnées	Durée de l'intervention (min)	Dose d'exposition (mSv) I : 21,130 (10,840-30,390)	Complications (N, %) I : 5 (5,5 %)

RÉFÉRENCE	NOMBRE	ÂGE	PRÉCISION	DURÉE DE L'INTERVENTION	EXPOSITION À LA RADIATION	COMPLICATIONS
	C (fluoroscopie) : 101	C : 61 (23-75)	(classification Gertzbein-Robbins, A et B, N, %) I : Niveau A : 417 (92,7 %) Niveau B : 17 (3,7 %) P < 0,05, Test Z C (fluoroscopie) : Niveau A : 390 (77,7 %) Niveau B : 72 (14,3 %) P < 0,05, Test Z	I : 155 (90-290) C : 145 (55-320) P = 0,060	C : 1,504 (0,494-4,406) P < 0,001	C : 7 (6,9 %) P=0,771
Marzouk (2022)	I (AIRO) : 56 patients C (Somatom Force) : 56 patients	Âge moyen I : 73 ± 12 C : 72 ± 10		Temps médian de coupe à suturer (heures) I : 2,67 C : 2,36 P > 0,05	Exposition aux rayonnements des tomodensitogrammes requis (mesurée en tant que produit dose-longueur (dlp) en mGycm, médiane) I : 317 C : 425 P < 0,001 Exposition à la radiation par des rayons X peropératoires (mesurée en tant que produit dose-zone (dap) en Gycm ² , médiane) I : 89 C : 286 P < 0,001	
Mertens (2022)	I (AIRO) : 74 patients, 250 paires de vertèbres C (O-Arm) : 10 patients, 27 paires de vertèbres	Âge moyen I : 65,38 ± 12,28 (29-89) C : 70,4 ± 10,56 (47-80)			Indice de dose de tomodensitométrie pondéré (valeur moyenne, en mGy) I (pour 35 patients) : 12,70 ± 8,58 (3,05-35,93) C : 10,11 ± 6,957 (2,3-38,29) P = 0,1148	

RÉFÉRENCE	NOMBRE	ÂGE	PRÉCISION	DURÉE DE L'INTERVENTION	EXPOSITION À LA RADIATION	COMPLICATIONS
Privalov (2021)	I (AIRO) : 5 C : 3D C-Arm sans navigation : 2 3D C-Arm avec navigation : 3 Fluoroscopie 2D : 0	Âge moyen I (AIRO) : 52,24 ± 20,98 C : 3D C-Arm sans navigation : 50,89 ± 12,11 P = 0,81 3D C-Arm avec navigation : 49,93 ± 19,55 P = 0,73 Fluoroscopie 2D : 55,75 ± 19,00 P = 0,75, T-Test	Qualité des images (indice moyen, ET) I (AIRO) : 4,48 ± 0,65 C (3D C-Arm avec ou sans navigation) : 3,04 ± 0,69 P = 0,00, T-Test	Durée de l'opération (durée moyenne en minutes, ET) I (AIRO) : 189,22 ± 88,64 C : 3D C-Arm sans navigation : 153,22 ± 68,48 P = 0,31 3D C-Arm avec navigation : 201,27 ± 100,06 P = 0,70 Fluoroscopie 2D : 127,00 ± 70,28 P = 0,14		En peropératoire I (AIRO) : 5 C : 3D C-Arm sans navigation : 2, $\chi^2 = 0,02$, P = 0,88 3D C-Arm avec navigation : 3, $\chi^2 = 0,00$, P = 1,00 Fluoroscopie 2D : 0, $\chi^2 = 0,967$, P = 0,32
Scarone (2018)	(N = 263) I : AIRO : 97 Ouvrte : 75 (77,3 %) Percutanée : 22 (22,7 %) C : O-Arm : 166 Ouvrte : 140 Percutanée : 26 (15,7 %)	Âge moyen (ET) I : 63,0 (14,7) C : 64,7 (14,3) P = 0,3, T-test	Nombre et % de patients avec des vis mal positionnées (échelle Heary 4 et 5) I (AIRO) : 3 (3,1 %) IC de 95 % (0-6,9) C (O-Arm) : 3 (1,8 %) IC de 95 % (0-4,0) P = 0,7 (Fisher exact)	Durée moyenne de l'intervention (min, ET) I (AIRO) : 276,4 (81,5) C (O-Arm) : 278,8 (89,4) P = 0,8	En mSv (ET) I (AIRO) : 15,82 (6,6) C (O-Arm) : 19,12 (9,6) P = 0,02 (Test T) Nombre de patients I : 92 C : 51	Nombre de patients avec complications neurologiques ou vasculaires I (AIRO) : 1 (1,0 %) C (O-Arm) : 2 (1,2 %) P = 0,8, χ^2 Proportion de vis repositionnées en peropératoire I (AIRO) : 7 (1,4 %) C (O-Arm) : 37 (4,3 %) P = 0,003, χ^2
Wang (2021)	165 patients AIRO : 12 Robot : 62 Ouvrte : 56 MI avec fluoroscopie : 35	59,13 ± 13,18 AIRO : 63,42 ± 8,56 Robot : 61,74 ± 11,78 Ouvrte : 60,63 ± 13,9 MI avec fluoroscopie : 50,63 ± 12,48		Temps opératoire (min) AIRO : 303,5 ± 67,53 Robot : 264,85 ± 73,16 Ouvrte : 229,91 ± 60,03 MI avec fluoroscopie : 213,43 ± 60,46 P < 0,001	Radiation totale émise pour l'intervention (mGy) AIRO : 50,21 + 22,84 Robot : 59,84 + 32,48 Ouvrte : 22,56 + 22,62 MI avec fluoroscopie : 82,02 + 56,24 P < 0,001	Complications postopératoires (%) AIRO : 8,33 Robot : 19,35 Ouvrte : 14,29 MI avec fluoroscopie : 11,43 P = 0,644

3.4 Résection d'un adénome pituitaire

3.4.1 Efficacité clinique

Bopp et coll. (2022) ont observé une réduction significative du taux d'erreurs d'enregistrement des cibles en millimètres, avec un taux d'erreur de $0,76 \pm 0,33$ mm dans les interventions utilisant la navigation peropératoire par tomodensitométrie mobile avec AIRO et un taux d'erreurs de $1,85 \pm 1,02$ mm pour l'approche classique avec microscope, lors de résections d'adénomes pituitaires par chirurgie nasale trans-sphénoïdale ($P = 0,001$) (2). Aucune différence significative n'a été observée entre le groupe d'intervention et le groupe contrôle quant à la durée de l'intervention ($P = 0,739$) (2).

3.4.2 Innocuité

Aucune mesure de l'exposition à la radiation n'a été effectuée par Bopp et coll. (2022) (2). Toutefois, aucune complication majeure n'a été observée dans l'un ou l'autre des deux groupes (2).

3.5 Mise en place de l'instrumentation spinale

3.5.1 Efficacité clinique

Précision de la mise en place de l'instrumentation spinale, qualité des images

Sept études ont comparé la précision de la mise en place de l'instrumentation spinale et la qualité des images avec navigation par AIRO, d'une part, et la fluoroscopie et la tomodensitométrie à faisceau conique avec ou sans robot, d'autre part (1, 5, 13, 14, 16, 17, 19). Il convient de noter que dans l'une de ces études, il n'est pas clair à savoir si la technique chirurgicale employée est la chirurgie ouverte ou une approche minimalement invasive (5). Quatre principaux indicateurs ont été utilisés, soit la précision avant et après la correction peropératoire (16), la précision des positionnements (5, 17, 19), la proportion de patients avec un mauvais positionnement (vis mal positionnées) (13) et la qualité des images (14). En dépit de cette hétérogénéité quant aux indicateurs de mesure employés et le faible nombre d'études par indicateur (un à trois), les six études ayant apprécié la précision de l'instrumentation spinale sont favorables au groupe d'intervention. Une seule étude ne fait pas état de différence significative avec le comparateur (O-Arm) quant à la précision des positionnements de vis (13). Toutefois, cette même étude fait état d'une réduction du nombre de repositionnements de vis en peropératoire dans le groupe d'intervention, tel qu'indiqué en 3.5.2 (13).

L'étude ayant apprécié la qualité des images a observé une différence significative avec la fluoroscopie (C-Arm) avec ou sans navigation, favorable à la tomodensitométrie peropératoire à l'aide du AIRO ($P=0,00$) (14). Ses auteurs ont estimé que le AIRO offrait une excellente qualité d'image qui permet une évaluation fiable de la réduction des fractures et de la mise en place des vis, même dans des régions anatomiques complexes (14). Il convient de rappeler qu'il s'agit d'une étude qui a été jugée à risque de biais élevé, par ailleurs (14).

Durée de l'intervention, durée de séjour à l'hôpital

Huit études ont comparé la durée moyenne ou médiane de l'intervention entre une mise en place d'instrumentation spinale avec navigation par AIRO, d'une part, et la fluoroscopie, la tomodensitométrie à faisceau conique avec ou sans robot, une autre approche de navigation et la chirurgie ouverte sans navigation, d'autre part (1, 5, 13-15, 17-19). Deux des études ont observé des durées d'intervention (médiane ou moyenne) significativement plus importantes dans le groupe d'intervention (5, 18). Toutefois, les comparateurs n'étaient pas les mêmes dans les deux études, l'une ayant effectué des comparaisons avec la tomodensitométrie à faisceau conique avec (Zeego) ou sans robot (O-Arm) (5), et l'autre, avec un autre robot de guidage (ExcelsiusGPS system), la fluoroscopie et la chirurgie ouverte sans navigation (18). L'une d'elles a attribué la cause probable de la durée d'intervention accrue dans le groupe d'intervention à la mise en place des systèmes (18). Ces deux mêmes études ont également comparé la durée (médiane ou moyenne) de séjour à l'hôpital entre le AIRO d'une part, et les comparateurs d'autre part. Dans la première étude, la durée médiane de séjour était

significativement plus élevée dans le groupe d'intervention (16 (9-25) jours) que dans le groupe où l'on avait utilisé la tomodensitométrie à faisceau conique avec (Zeego) (14 (9-20) jours) ou sans robot (O-Arm) (11 (7-17) jours) ($P < 0,0001$) (5). Toutefois, l'autre étude n'a pas observé de différences significatives entre la navigation avec AIRO d'une part, et les comparateurs, d'autre part (18).

Dans six autres études, les différences entre une mise en place d'instrumentation spinale avec navigation par AIRO et cinq comparateurs, dont la tomodensitométrie à faisceau conique avec ou sans robot, la tomodensitométrie peropératoire à l'aide du Somatom Force, la fluoroscopie conventionnelle ou avec le C-Arm, n'étaient pas significatives quant à la durée de l'intervention (1, 13-15, 17, 19).

Densité minérale des os (indice Hounsfield)

Une étude portant sur la fusion chirurgicale de vertèbres lombaires a comparé la densité minérale des os à l'aide de l'indice Hounsfield dans un groupe avec navigation par AIRO, d'une part, avec un groupe où l'on avait utilisé la navigation par tomodensitomètre à faisceau conique (O-Arm) (20). Une mesure de l'indice a été effectuée en préopératoire à l'aide de tomodensitomètres Canon et ces valeurs ont été comparées avec les mesures obtenues en peropératoire, dans chacun des deux groupes. Dans le groupe d'intervention, une corrélation forte au rho de Pearson (corrélation linéaire entre deux variables) a été observée pour chacune des vertèbres lombaires (0,9514 (L1), 0,9438 (L2), 0,9571 (L3), 0,9525 (L4) et 0,9552 (L5)) et lorsque les valeurs de toutes les vertèbres sont regroupées (0,9528). Toutefois, dans le groupe contrôle, la corrélation observée au rho de Pearson n'était pas significative pour trois vertèbres (0,0996 (L2), 0,4561 (L3) et 0,43 (L4)) et pour les vertèbres regroupées (0,2924 (L1-4)) (20). Ses auteurs concluent que le AIRO peut permettre une mesure fiable de la densité minérale des os en contexte peropératoire, dans un contexte d'urgence ou lorsque la tomodensitométrie n'est pas facilement disponible en préopératoire, mais non le O-Arm (20).

3.5.2 *Innocuité*

Exposition à la radiation

Cinq études ont comparé l'exposition à la radiation dans le groupe où l'on avait utilisé la navigation par AIRO avec la fluoroscopie, la tomodensitométrie à faisceau conique (O-Arm), deux autres approches de navigation et la chirurgie ouverte sans navigation (13, 15, 17, 18, 20). Deux indicateurs ont été employés, soit la dose d'exposition (en mSv) (13, 17, 18) et l'exposition aux rayonnements ($Gy\text{cm}^2$) (15, 20). La dose d'exposition ou l'exposition aux rayonnements observée a été significativement inférieure dans le groupe d'intervention dans quatre études sur cinq (13, 15, 17, 18). Seule une étude n'a pas observé de différence significative quant à la dose d'exposition entre la navigation par AIRO et la navigation à l'aide d'un appareil à faisceau conique (O-Arm) (20).

Complications

Sept des études incluses ont comparé les complications dans les interventions avec navigation peropératoire par AIRO avec la fluoroscopie, la tomodensitométrie à faisceau conique avec ou sans robot, le guidage par robot Excelsius GPS et la chirurgie ouverte sans navigation, d'autre part (1, 5, 13, 14, 17-19). Une seule étude ayant effectué une comparaison avec la tomodensitométrie à faisceau conique (O-Arm) a observé une réduction significative du nombre de vis repositionnées dans le groupe d'intervention, avec 7 vis repositionnées (1,4 %), comparativement à 37 (4,3 %) dans le groupe contrôle ($P = 0,003$) (13). Dans toutes les autres études, les différences observées n'étaient pas statistiquement significatives.

4 DISCUSSION

4.1 Efficacité clinique

Mise en place de l'instrumentation spinale

La preuve appréciée tend à indiquer que l'emploi de la tomodensitométrie mobile effectuée à l'aide de l'appareil AIRO tend à augmenter la proportion de positionnements corrects de l'instrumentation spinale. Cela étant dit, quatre indicateurs de mesure différents ont été employés pour l'apprécier et quatre comparateurs différents ont été utilisés dans seulement six études, ce qui traduit une hétérogénéité marquée et tend à nuire à la qualité de cette preuve. Le risque de biais des études en appui à celle-ci est donc modéré. Par ailleurs, une étude théorique non incluse a aussi conclu que le protocole d'imagerie employé lors de la navigation par AIRO fournissait une qualité d'image inférieure à celle obtenue lors de la navigation par tomodensitométrie à faisceau conique (O-Arm), mais réduisait la dose effective de radiation (21). Parmi les six études ayant comparé le AIRO et le O-Arm quant à la précision de la mise en place de l'instrumentation, seulement une n'a pas observé de différence significative entre les deux groupes (13).

Six des huit études ayant comparé la durée de l'intervention avec le AIRO d'une part et la fluoroscopie et la tomodensitométrie à faisceau conique avec (Zeego) ou sans robot (O-Arm) d'autre part n'ont pas relevé de différences significatives quant à la durée de l'intervention. Toutefois, deux études à risque modéré de biais ont observé des durées d'intervention significativement plus importantes dans le groupe AIRO, en comparaison du Zeego, du O-Arm et d'un autre robot de guidage, de la fluoroscopie et de la chirurgie ouverte sans navigation (5, 18). Cette preuve limitée et marquée par l'hétérogénéité tend à indiquer que la navigation à l'aide d'un appareil de tomodensitométrie mobile AIRO en peropératoire peut augmenter la durée des interventions. Ainsi, une attention particulière devrait être portée quant à l'organisation du parcours de soins d'une intervention intégrant cette approche de navigation, de façon à réduire l'impact sur sa durée.

Les données colligées dans le cadre de cette revue rapide ne permettent pas d'affirmer avec assurance que l'emploi de la navigation par tomodensitométrie mobile peropératoire à l'aide d'AIRO peut avoir un impact sur la durée de séjour du patient à l'hôpital. Elles ne permettent pas non plus d'affirmer qu'elle fournit une mesure plus fiable de la densité minérale des os en contexte peropératoire que la tomodensitométrie à faisceau conique (O-Arm), lors de la mise en place de l'instrumentation spinale. Un effort de recherche additionnel permettrait de valider ces observations.

Résection de tumeurs cérébrales

La stratégie de recherche documentaire n'a permis d'identifier qu'une seule étude ayant comparé l'efficacité clinique de l'appareil de tomodensitométrie mobile AIRO avec celle de la fluoroscopie en deux et trois dimensions et d'autres approches de navigation employées en peropératoire pour la résection de tumeurs cérébrales, soit un adénome pituitaire (2). Bien que les résultats indiquent que l'emploi de cet appareil en peropératoire réduit le taux d'erreur d'enregistrement des *cibles* (*target registration error*), les observations gagneraient à être confirmées par de nouvelles études. En outre, cette preuve apparaît trop faible pour porter un jugement quant à l'efficacité clinique de cette approche de navigation pour la résection de tumeurs cérébrales de tous types.

Autres interventions visées (résection de tumeurs osseuses et des tissus mous du rachis, évacuation d'hématomes cérébraux, ablation de tumeurs pulmonaires)

Aucune étude comparative ayant apprécié l'efficacité clinique de l'appareil de tomodensitométrie mobile AIRO pour la résection de tumeurs osseuses et des tissus mous du rachis, l'évacuation d'hématomes cérébraux et l'ablation de tumeurs pulmonaires n'a été relevée dans le cadre de la présente recherche. Seule une petite série de neuf cas portant sur l'emploi de la tomodensitométrie mobile par AIRO pour la localisation de petites tumeurs pulmonaires, favorable à cette approche, a été trouvée (22). Ainsi, à l'heure actuelle, il n'est pas possible de se prononcer sur l'efficacité clinique de la tomodensitométrie mobile à l'aide de l'appareil AIRO lors de ces

interventions comparativement à d'autres approches de navigation couramment employées, ou de l'absence de navigation.

4.2 Innocuité

Cinq des onze études incluses dans la présente revue rapide ont comparé l'exposition à la radiation associée à l'emploi de la tomodensitométrie mobile par AIRO avec une autre approche de navigation ou de la chirurgie ouverte sans navigation. Toutes portent sur l'emploi de cette méthode pour la mise en place de l'instrumentation spinale. Dans quatre de ces études, toutes à risque modéré de biais, une réduction significative de la dose d'exposition ou de l'exposition aux rayonnements a été observée. Une étude comparant l'exposition à la radiation entre la tomodensitométrie mobile par AIRO, d'une part, et la tomodensitométrie à faisceau conique (O-Arm), d'autre part, a relevé une réduction de la dose d'exposition (13), alors que dans une autre, l'exposition aux rayonnements n'était pas significativement différente entre les deux groupes (20). Toutefois, une étude théorique ayant comparé les protocoles d'exposition à la radiation pour chacune de ces deux approches a observé une réduction significative de l'exposition à la radiation dans celui de la tomodensitométrie mobile avec AIRO (21). Compte tenu de l'hétérogénéité marquée associée au nombre de comparateurs (cinq au total) et d'indicateurs de mesure employés (deux indicateurs), il n'est pas possible de tirer des conclusions avec assurance quant à la mesure de l'exposition à la radiation associée à l'emploi de la tomodensitométrie mobile par AIRO pour la mise en place de l'instrumentation spinale. Par contre, les résultats appréciés tendent à indiquer que l'emploi de cette approche réduit l'exposition à la radiation pour ce type d'intervention. La mesure dans laquelle l'emploi du AIRO peut réduire l'exposition du personnel clinique à la radiation n'a pas été appréciée de façon systématique par les études incluses et des lacunes ont été soulevées quant à la mesure de l'exposition du personnel clinique à la radiation associée aux méthodes d'imagerie employées en peropératoire pour la mise en place de l'instrumentation spinale (18). On peut cependant estimer que l'emploi de la tomodensitométrie mobile par AIRO réduit l'exposition à la radiation du personnel clinique, puisqu'il offre la possibilité de sortir de la salle lors de la prise des images (14), comparativement à la fluoroscopie, pour la mise en place de l'instrumentation spinale (18).

Aucune étude clinique comparative n'a apprécié l'innocuité associée à l'emploi de la tomodensitométrie mobile par AIRO dans les autres interventions visées (résection de tumeurs cérébrales, résection de tumeurs osseuses et des tissus mous du rachis, évacuation d'hématomes cérébraux et ablation de tumeurs pulmonaires). Ainsi, il n'est pas possible d'estimer la mesure dans laquelle l'emploi de cette approche de navigation permettrait de réduire l'exposition à la radiation ou les complications dans ces interventions, comparativement à une autre approche de navigation ou à l'absence de navigation. De nouvelles études de très bonne qualité méthodologique permettraient de déterminer avec plus d'assurance à quel point l'emploi de la tomodensitométrie mobile par AIRO pourrait contribuer à réduire l'exposition à la radiation, pour toutes les interventions précitées.

En outre, bien que la majorité des études consultées n'ont pas permis d'observer de différences significatives quant aux complications entre le groupe d'intervention et les comparateurs lors de l'emploi de la tomodensitométrie par AIRO pour la mise en place de l'instrumentation spinale et la résection d'un adénome pituitaire, de telles études permettraient de tirer des conclusions quant à l'innocuité de la tomodensitométrie par AIRO, pour les interventions précitées.

5 CONCLUSION

En dépit des lacunes importantes observées, la preuve appréciée tend à indiquer que l'emploi de la tomodensitométrie mobile à l'aide de l'appareil AIRO augmente la proportion de positionnements corrects de l'instrumentation spinale. Deux études à risque modéré de biais ont observé des durées d'intervention significativement plus importantes dans le groupe avec AIRO comparativement à trois autres approches de navigation, à la fluoroscopie et à la chirurgie ouverte sans navigation. Ces données suggèrent que si le CHUM devait implanter la tomodensitométrie mobile par AIRO pour le positionnement de l'instrumentation spinale en peropératoire, une attention particulière devrait être portée quant à l'organisation du parcours de soins, de façon à réduire l'impact sur sa durée. Bien qu'elle comporte des lacunes significatives, la preuve tend également

à indiquer que l'emploi de la tomodensitométrie mobile par AIRO lors de la mise en place de l'instrumentation spinale réduit l'exposition à la radiation. Toutefois, compte tenu des lacunes observées relativement aux caractéristiques des études incluses et à l'état des connaissances, de nouvelles études de très bonne qualité gagneraient à être produites afin de confirmer avec plus d'assurance l'efficacité clinique et l'innocuité de cette approche, pour cette indication.

L'état des connaissances quant à la navigation par tomodensitométrie mobile par AIRO pour la résection de tumeurs cérébrales, de tumeurs osseuses et des tissus mous du rachis, l'évacuation d'hématomes cérébraux et l'ablation de tumeurs pulmonaires est très partiel : bien que comportant certaines données favorables à l'approche, une seule étude comparative portant sur la résection d'un type de tumeur cérébrale bénigne a été relevée (2). Il n'est pas possible de se prononcer quant à l'efficacité clinique et à l'innocuité de la tomodensitométrie mobile par AIRO pour la résection d'autres types de tumeurs cérébrales (incluant les tumeurs malignes), de tumeurs osseuses et des tissus mous du rachis, l'évacuation d'hématomes cérébraux et l'ablation de tumeurs pulmonaires, en tenant compte de la preuve appréciée dans le cadre de la présente revue rapide. Il va sans dire que de nouvelles études de très bonne qualité pourraient contribuer à guider la prise de décision clinique quant à l'opportunité d'employer cette technologie pour ces indications. Enfin, des études comparant l'efficacité clinique et l'innocuité pour ces indications des deux seuls appareils de tomodensitométrie mobile pouvant être employés en peropératoire et présentement homologués au Canada, soit le AIRO et le BodyTom Elite, seraient également opportunes.

6 LACUNES À COMBLER DANS L'ÉTAT DES CONNAISSANCES

- Aucune étude comparative de l'efficacité clinique et de l'innocuité de la tomodensitométrie mobile peropératoire à l'aide du AIRO pour la résection de tumeurs osseuses et des tissus mous du rachis, l'évacuation d'hématomes cérébraux et l'ablation de tumeurs pulmonaires n'a été relevée dans le cadre de la présente recherche. De nouvelles études de très bonne qualité méthodologique contribueraient à guider la prise de décision quant à l'opportunité d'adopter ou non cette approche d'imagerie pour ces indications.
- À l'exception d'une étude portant sur la résection d'adénomes pituitaires, aucune autre étude portant sur la résection de tumeurs cérébrales à l'aide de la tomodensitométrie mobile peropératoire par AIRO n'a été relevée. De nouvelles études de très bonne qualité méthodologique contribueraient à valider et à compléter l'état des connaissances se dégageant de l'étude de Bopp et coll. (2022) (2).
- Bien que 10 études portant sur la mise en place de l'instrumentation spinale à l'aide de la tomodensitométrie mobile peropératoire par AIRO aient été incluses, elles sont à risque modéré de biais, compte tenu de leur absence de randomisation et de leurs devis rétrospectifs. De nouveaux essais cliniques à répartition aléatoire contribueraient à valider les données et à compléter l'état des connaissances se dégageant des études précédentes. En outre, l'absence de standardisation quant aux indicateurs de résultats employés rend difficile la comparaison des résultats entre les différentes études.

7 RECOMMANDATIONS

- En dépit de ses lacunes importantes, la preuve documentaire consultée indique que l'appareil de tomodensitométrie mobile AIRO peut contribuer à augmenter la proportion de positionnements corrects de l'instrumentation, lors d'une opération spinale, ainsi qu'à réduire l'exposition à la radiation.
 - Pour ces raisons, il apparaît raisonnable de recommander l'emploi de l'appareil de tomodensitométrie mobile AIRO en peropératoire pour la mise en place de l'instrumentation lors d'opérations spinales, au CHUM.
- La preuve consultée suggère que l'emploi de l'appareil de tomodensitométrie mobile AIRO en peropératoire peut contribuer à augmenter la durée des interventions pour le positionnement de l'instrumentation spinale. Ainsi, si cet appareil devait être implanté au CHUM pour cette indication, une attention particulière devrait être portée à l'organisation du parcours de soins. À cet égard, une démarche d'optimisation, intégrant par exemple le Lean et le Six Sigma, le Kaizen, la marche Gemba et les diagrammes Ishikawa, pourrait être réalisée afin d'optimiser le processus de soins et de réduire les pertes de temps.

- Bien que comportant certaines données favorables, la preuve portant sur l'emploi de l'appareil de tomographie mobile AIRO en peropératoire pour la résection de tumeurs crâniennes est limitée à une seule étude à risque modéré de biais. Il n'est pas possible de recommander sur la base de cette preuve l'emploi de cet outil de navigation en peropératoire pour la résection de tumeurs crâniennes.
- Aucune étude comparative portant sur l'emploi de l'appareil de tomographie mobile AIRO en peropératoire lors de la résection de tumeurs pulmonaires n'a été relevée. Ainsi, il n'est pas possible de recommander l'emploi de cette technologie pour de telles indications, en tenant compte de la preuve consultée.
 - Toutefois, dans un contexte où cet outil de navigation serait implanté au CHUM pour le positionnement de l'instrumentation lors d'opérations spinales, il apparaîtrait opportun de l'implanter à titre de projet pilote, dans un contexte de recherche visant à en apprécier l'efficacité clinique et l'innocuité en peropératoire, lors de la résection de tumeurs crâniennes et de tumeurs pulmonaires.

8 RÉFÉRENCES

1. Habib N, Filardo G, Distefano D, Candrian C, Reinert M, Scarone P. Use of Intraoperative CT Improves Accuracy of Spinal Navigation During Screw Fixation in Cervico-thoracic Region. *Spine*. 2021;46(8):530-7.
2. Bopp MHA, Saß B, Pojskić M, Corr F, Grimm D, Kemmling A, et al. Use of Neuronavigation and Augmented Reality in Transsphenoidal Pituitary Adenoma Surgery. *J*. 2022;11(19):5590.
3. Brainlab AG. Airo 2013 [Available from: <https://www.brainlab.com/fr/news/airo/>].
4. Neurologica Corporation. BodyTom Elite 2023 [Available from: <https://www.neurologica.com/mobile-ct/bodytom-elite>].
5. Kendlbacher P, Tkatschenko D, Czabanka M, Bayerl S, Bohner G, Woitzik J, et al. Workflow and performance of intraoperative CT, cone-beam CT, and robotic cone-beam CT for spinal navigation in 503 consecutive patients. *Neurosurg*. 2022;52(1):E7.
6. McMaster University - Health Information Research Unit. Hedges [Available from: https://hiru.mcmaster.ca/hiru/HIRU_Hedges_home.aspx].
7. CADTH. CADTH Search Filters Database Ottawa2022 [Available from: <https://searchfilters.cadth.ca/>].
8. Avau B, Van Remoortel H, De Buck E. Translation and validation of PubMed and Embase search filters for identification of systematic reviews, intervention studies, and observational studies in the field of first aid. *J Med Libr Assoc*. 2021;109(4):599-608.
9. Bramer WM, Giustini D, de Jonge GB, Holland L, Bekhuis T. De-duplication of database search results for systematic reviews in EndNote. *Journal of the Medical Library Association: JMLA*. 2016;104(3):240.
10. Sterne JA, Hernán MA, Reeves BC, Savović J, Berkman ND, Viswanathan M, et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *bmj*. 2016;355.
11. Agence canadienne des médicaments et des technologies de santé (ACMTS). Health Technology Review. Rapid Review Process. Version: 2.0. 2022.
12. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Group P. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *International journal of surgery*. 2010;8(5):336-41.
13. Scarone P, Vincenzo G, Distefano D, Del Grande F, Cianfoni A, Presilla S, et al. Use of the Airo mobile intraoperative CT system versus the O-arm for transpedicular screw fixation in the thoracic and lumbar spine: a retrospective cohort study of 263 patients. *Journal of Neurosurgery: Spine*. 2018;29(4):397-406.

14. Privalov M, Beisemann N, Swartman B, Vetter SY, Grutzner PA, Franke J, et al. First experiences with intraoperative CT in navigated sacroiliac (SI) instrumentation: An analysis of 25 cases and comparison with conventional intraoperative 2D and 3D imaging. *Injury*. 2021;52(10):2730-7.
15. Marzouk MM, Afghanyar Y, Marzouk MM, Boussouf SH, Hartung P, Richter M. Comparison of radiation exposure and surgery time between an intraoperative CT with automatic surface registration and a preoperative CT with manual surface registration in navigated spinal surgeries. *Eur Spine J*. 2022;31(3):685-92.
16. Bertram U, Schmidt TP, Clusmann H, Albanna W, Herren C, Riabikin A, et al. Intraoperative Computed Tomography-Assisted Spinal Navigation in Dorsal Cervical Instrumentation: A Prospective Study on Accuracy Regarding Different Pathologies and Screw Types. *World Neurosurg*. 2021;149:e378-e85.
17. La Rocca G, Mazzucchi E, Pignotti F, Nasto LA, Galieri G, Olivi A, et al. Intraoperative CT-guided navigation versus fluoroscopy for percutaneous pedicle screw placement in 192 patients: a comparative analysis. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*. 2022;23(1) (no pagination).
18. Wang E, Manning J, Varlotta CG, Woo D, Ayres E, Abotsi E, et al. Radiation Exposure in Posterior Lumbar Fusion: A Comparison of CT Image-Guided Navigation, Robotic Assistance, and Intraoperative Fluoroscopy. *Global spine j*. 2021;11(4):450-7.
19. Hubertus V, Wessels L, Fruh A, Tkatschenko D, Nulis I, Bohner G, et al. Navigation accuracy and assessability of carbon fiber-reinforced PEEK instrumentation with multimodal intraoperative imaging in spinal oncology. *Sci*. 2022;12(1):15816.
20. Mertens R, Hecht N, Bauknecht HC, Vajkoczy P. The Use of Intraoperative CT Hounsfield Unit Values for the Assessment of Bone Quality in Patients Undergoing Lumbar Interbody Fusion. *Global spine j*. 2022:21925682221078239.
21. Casiraghi M, Scarone P, Bellesi L, Piliero MA, Pupillo F, Gaudino D, et al. Effective dose and image quality for intraoperative imaging with a cone-beam CT and a mobile multi-slice CT in spinal surgery: A phantom study. *Physica Medica*. 2021;81:9-19.
22. Liu C, Chien HC, Hsu PK, Hsu HS. The application of mobile computed tomography for the localization of small lung lesions. *Formosan Journal of Surgery*. 2022;55(3):116-20.

ANNEXES

ANNEXE 1 – STRATÉGIE DE RECHERCHE DOCUMENTAIRE

Telle qu'adaptée à chacune des bases de données bibliographiques suivantes.

Medline [OVID]

Ovid MEDLINE(R) and Epub Ahead of Print, In-Process, In-Data-Review & Other Non-Indexed Citations and Daily <1946 to January 13, 2023>

N°	RECHERCHES	RÉSULTATS
1	((mobile or intraop* or intra?op* or portabl*) adj3 (ct or computed tomograph*)).tw,kf.	2209
2	(bodytom or (airo adj2 (ict or ct or mobile or computed tomograph*))).tw,kf.	31
3	1 or 2 [concept du CT intra opératoire]	2211
4	(Randomized Controlled Trial or Controlled Clinical Trial or Pragmatic Clinical Trial or Clinical Study or Adaptive Clinical Trial or Equivalence Trial).pt.	681658
5	(Clinical Trial or Clinical Trial, Phase I or Clinical Trial, Phase II or Clinical Trial, Phase III or Clinical Trial, Phase IV or Clinical Trial Protocol).pt.	606991
6	Multicenter Study.pt.	329421
7	Clinical Studies as Topic/	777
8	exp Clinical Trial/ or exp Clinical Trials as Topic/ or Clinical Trial Protocol/ or Clinical Trial Protocols as Topic/	1260474
9	Multicenter Study/ or Multicenter Studies as Topic/ or "Multicenter Study (topic)"/	348335
10	Randomization/	106899
11	Random Allocation/	106899
12	Double-Blind Method/	174006
13	Double Blind Procedure/	0
14	Double-Blind Studies/	174006
15	Single-Blind Method/	32424
16	Single Blind Procedure/	0
17	Single-Blind Studies/	32424
18	Placebos/	35924
19	Placebo/	0
20	Control Groups/	1891
21	Control Group/	1891
22	Cross-Over Studies/ or Crossover Procedure/	54550
23	(random* or sham or placebo*).ti,ab,hw,kf.	1765595
24	((singl* or doubl*) adj (blind* or dumm* or mask*)).ti,ab,hw,kf.	263389
25	((tripl* or trebl*) adj (blind* or dumm* or mask*)).ti,ab,hw,kf.	1518
26	(control* adj3 (study or studies or trial* or group*)).ti,ab,hw,kf.	1882600
27	(clinical adj3 (study or studies or trial*)).ti,ab,hw,kf.	1403391

N°	RECHERCHES	RÉSULTATS
28	(Nonrandom* or non random* or non-random* or quasi-random* or quasirandom*).ti,ab,hw,kf.	52938
29	(phase adj3 (study or studies or trial*)).ti,ab,hw,kf.	173771
30	((crossover or cross-over) adj3 (study or studies or trial*)).ti,ab,hw,kf.	75558
31	((multicent* or multi-cent*) adj3 (study or studies or trial*)).ti,ab,hw,kf.	399565
32	allocated.ti,ab,hw.	81212
33	((open label or open-label) adj5 (study or studies or trial*)).ti,ab,hw,kf.	43208
34	((equivalence or superiority or non-inferiority or noninferiority) adj3 (study or studies or trial*)).ti,ab,hw,kf.	11524
35	(pragmatic study or pragmatic studies).ti,ab,hw,kf.	567
36	((pragmatic or practical) adj3 trial*).ti,ab,hw,kf.	7382
37	((quasiexperimental or quasi-experimental) adj3 (study or studies or trial*)).ti,ab,hw,kf.	11463
38	trial.ti,kf.	297062
39	or/4-38	3706934
40	exp animals/	26073294
41	exp animal experimentation/	10279
42	exp models animal/	636198
43	exp animal experiment/	10279
44	nonhuman/	0
45	exp vertebrate/	25340320
46	or/40-45	26075269
47	exp humans/	20990614
48	46 not 47	5084655
49	39 not 48 [Filtre de l'ACMTS pour les RCT https://searchfilters.cadth.ca/]	3314339
50	"Epidemiologic Studies"/ or ((case* adj2 control*) or cohort study or cohort analysis or follow-up study or observational study or longitudinal or retrospective or cross sectional or questionnaire* or survey).tw. [Filtre pour les études observationnelles adapté pour Ovid Medline de Avau, B., Van Remoortel, H., & De Buck, E. (2021). Translation and validation of PubMed and Embase search filters for identification of systematic reviews, intervention studies, and observational studies in the field of first aid. Journal of the Medical Library Association : JMLA, 109(4), 599-608. https://doi.org/10.5195/jmla.2021.1219]	2703822
51	49 or 50 [RCTs and observational studies]	5347795
52	3 and 51	579
53	limit 52 to yr="2021 -Current"	139
54	limit 3 to "reviews (best balance of sensitivity and specificity)" [McMaster Search Filter pour les revues systématiques https://hiru.mcmaster.ca/hiru/HIRU_Hedges_MEDLINE_Strategies.aspx#Reviews]	157
55	limit 54 to yr="2018 -Current"	58
56	53 or 55	190
57	limit 56 to (english or french)	187

Embase [OVID]

Embase <1974 to 2023 January 13>

Nº	RECHERCHES	RÉSULTATS
1	portable computed tomography scanner/	73
2	((mobile or intraop* or intra?op* or portabl*) adj3 (ct or computed tomograph*)).tw,kf.	3032
3	(bodytom or (airo adj2 (ict or ct or mobile or computed tomograph*))).tw,kf.	66
4	1 or 2 or 3	3082
5	(Randomized Controlled Trial or Controlled Clinical Trial or Pragmatic Clinical Trial or Clinical Study or Adaptive Clinical Trial or Equivalence Trial).pt.	0
6	(Clinical Trial or Clinical Trial, Phase I or Clinical Trial, Phase II or Clinical Trial, Phase III or Clinical Trial, Phase IV or Clinical Trial Protocol).pt.	0
7	Multicenter Study.pt.	0
8	Clinical Studies as Topic/	161553
9	exp Clinical Trial/ or exp Clinical Trials as Topic/ or Clinical Trial Protocol/ or Clinical Trial Protocols as Topic/ or exp "Clinical Trial (topic)"/	2156921
10	Multicenter Study/ or Multicenter Studies as Topic/ or "Multicenter Study (topic)"/	385970
11	Randomization/	95970
12	Random Allocation/	92112
13	Double-Blind Method/	177936
14	Double Blind Procedure/	202646
15	Double-Blind Studies/	160421
16	Single-Blind Method/	46850
17	Single Blind Procedure/	48926
18	Single-Blind Studies/	48926
19	Placebos/	334212
20	Placebo/	390562
21	Control Groups/	110585
22	Control Group/	110585
23	Cross-Over Studies/ or Crossover Procedure/	72668
24	(random* or sham or placebo*).ti,ab,hw,kf.	2444794
25	((singl* or doubl*) adj (blind* or dumm* or mask*)).ti,ab,hw,kf.	350151
26	((tripl* or trebl*) adj (blind* or dumm* or mask*)).ti,ab,hw,kf.	1975
27	(control* adj3 (study or studies or trial* or group*)).ti,ab,hw,kf.	10207695
28	(clinical adj3 (study or studies or trial*)).ti,ab,hw,kf.	6407906
29	(Nonrandom* or non random* or non-random* or quasi-random* or quasirandom*).ti,ab,hw,kf.	67025
30	(phase adj3 (study or studies or trial*)).ti,ab,hw,kf.	377019
31	((crossover or cross-over) adj3 (study or studies or trial*)).ti,ab,hw,kf.	67154
32	((multicent* or multi-cent*) adj3 (study or studies or trial*)).ti,ab,hw,kf.	489762

N°	RECHERCHES	RÉSULTATS
33	allocated.ti,ab,hw.	104506
34	((open label or open-label) adj5 (study or studies or trial*).ti,ab,hw,kf.	82204
35	((equivalence or superiority or non-inferiority or noninferiority) adj3 (study or studies or trial*).ti,ab,hw,kf.	17000
36	(pragmatic study or pragmatic studies).ti,ab,hw,kf.	837
37	((pragmatic or practical) adj3 trial*).ti,ab,hw,kf.	8015
38	((quasiexperimental or quasi-experimental) adj3 (study or studies or trial*).ti,ab,hw,kf.	18207
39	trial.ti,kf.	416202
40	or/5-39	14009474
41	exp animals/	29609567
42	exp animal experimentation/	2949940
43	exp models animal/	1673952
44	exp animal experiment/	2949940
45	nonhuman/	7160362
46	exp vertebrate/	28887102
47	or/41-46	31632526
48	exp humans/	24551709
49	exp human experiment/	610560
50	or/48-49	24553951
51	47 not 50	7079806
52	40 not 51	10965398
53	exp "clinical study"/ or exp "cohort analysis"/ or "case control".ab,ti. or "case-control".ab,ti. or ((case or cases) and (control or controls)).ab,ti. or "cohort study".ab,ti. or "cohort analysis".ab,ti. or "follow up study".ab,ti. or "follow-up study".ab,ti. or "observational study".ab,ti. or longitudinal.ab,ti. or retrospective.ab,ti. or "cross sectional".ab,ti. or questionnaire.ab,ti. or questionnaires.ab,ti. or survey.ab,ti. or "epidemiological study".ab,ti. [Filtre pour les études observationnelles adapté pour Ovid Medline de Avau, B., Van Remoortel, H., & De Buck, E. (2021). Translation and validation of PubMed and Embase search filters for identification of systematic reviews, intervention studies, and observational studies in the field of first aid. Journal of the Medical Library Association : JMLA, 109(4), 599-608. https://doi.org/10.5195/jmla.2021.1219]	13263641
54	52 or 53 [RCTs and observational studies]	16460537
55	4 and 54	2332
56	limit 55 to yr="2021 -Current"	467
57	limit 4 to "reviews (best balance of sensitivity and specificity)" [McMaster Search Filter https://hiru.mcmaster.ca/hiru/HIRU_Hedges_MEDLINE_Strategies.aspx#Reviews]	190
58	limit 57 to yr="2018 -Current"	64
59	56 or 58	514
60	limit 59 to (english or french)	497
61	limit 60 to (conference abstracts or conference abstract status or conference abstract or conference paper or "conference review" or book or book series or conference proceeding)	122
62	60 not 61	375

CINAHL Complete [EBSCOhost]

N°	QUESTIONS	RÉSULTATS
S14	S9 OR S13	45
S13	S3 AND S10 Opérateurs de restriction - Date de publication: 20180101-20231231; Langue: English, French	8
S12	S3 AND S10 Opérateurs de restriction - Date de publication: 20180101-20231231	8
S11	S3 AND S10	25
S10	PT (Meta Analysis or Review or Systematic Review) or ti (meta analysis or search) or ab (meta analysis or search)	548,046
S9	S3 AND S6 Opérateurs de restriction - Date de publication: 20210101-20231231; Langue: English, French	41
S8	S3 AND S6 Opérateurs de restriction - Date de publication: 20210101-20231231	41
S7	S3 AND S6	235
S6	S4 OR S5	1,974,648
S5	(MH "Epidemiological Research") OR TI ((case* N2 control*) or cohort study or cohort analysis or follow-up study or observational study or longitudinal or retrospective or cross sectional or questionnaire* or survey) OR AB ((case* N2 control*) or cohort study or cohort analysis or follow-up study or observational study or longitudinal or retrospective or cross sectional or questionnaire* or survey)	1,066,600
S4	((((MH "Experimental Studies+") OR (MH "Multicenter Studies") OR (MH "Random Sample+") OR (MH "Placebos") OR (MH "Control (Research)+") OR (MH "Crossover Design") OR ((TI random* OR AB random*) OR (TI sham OR AB sham) OR (TI placebo* OR AB placebo*)) OR (((TI singl* OR AB singl*) OR (TI doubl* OR AB doubl*)) W1 ((TI blind* OR AB blind*) OR (TI dumm* OR AB dumm*) OR (TI mask* OR AB mask*)) OR (((TI tripl* OR AB tripl*) OR (TI trebl* OR AB trebl*)) W1 ((TI blind* OR AB blind*) OR (TI dumm* OR AB dumm*) OR (TI mask* OR AB mask*)) OR ((TI control* OR AB control*) N3 ((TI study OR AB study) OR (TI studies OR AB studies) OR (TI trial* OR AB trial*) OR (TI group* OR AB group*)) OR ((TI clinical OR AB clinical) N3 ((TI study OR AB study) OR (TI studies OR AB studies) OR (TI trial* OR AB trial*)) OR ((TI Nonrandom* OR AB Nonrandom*) OR (TI "non random*" OR AB "non random*") OR (TI "non-random*" OR AB "non-random*") OR (TI "quasi-random*" OR AB "quasi-random*") OR (TI quasirandom* OR AB quasirandom*)) OR ((TI phase OR AB phase) N3 ((TI study OR AB study) OR (TI studies OR AB studies) OR (TI trial* OR AB trial*)) OR (((TI crossover OR AB crossover) OR (TI "cross-over" OR AB "cross-over")) N3 ((TI study OR AB study) OR (TI studies OR AB studies) OR (TI trial* OR AB trial*)) OR (((TI multicent* OR AB multicent*) OR (TI "multi-cent*" OR AB "multi-cent*")) N3 ((TI study OR AB study) OR (TI studies OR AB studies) OR (TI trial* OR AB trial*)) OR (TI allocated OR AB allocated) OR (((TI "open label" OR AB "open label") OR (TI "open-label" OR AB "open-label")) N5 ((TI study OR AB study) OR (TI studies OR AB studies) OR (TI trial* OR AB trial*)) OR (((TI equivalence OR AB equivalence) OR (TI superiority OR AB superiority) OR (TI "non-inferiority" OR AB "non-inferiority") OR (TI noninferiority OR AB noninferiority)) N3 ((TI study OR AB study) OR (TI studies OR AB studies) OR (TI trial* OR AB trial*)) OR ((TI "pragmatic study" OR AB "pragmatic study") OR (TI "pragmatic studies" OR AB "pragmatic studies")) OR (((TI pragmatic OR AB pragmatic) OR (TI practical OR AB practical)) N3 (TI trial* OR AB trial*)) OR (((TI quasiexperimental OR AB quasiexperimental) OR (TI "quasi-experimental" OR AB "quasi-experimental")) N3 ((TI study OR AB study) OR (TI studies OR AB studies) OR (TI trial* OR AB trial*)) OR TI trial)	1,216,245
S3	s1 or s2	631
S2	TI (bodytom or (airo N2 (ict or ct or mobile or computed tomograph*)) OR AB (bodytom or (airo N2 (ict or ct or mobile or computed tomograph*)))	8
S1	TI ((mobile or intraop* or intra?op* or portabl*) N3 (ct or computed tomograph*)) OR AB ((mobile or intraop* or intra?op* or portabl*) N3 (ct or computed tomograph*))	630

ANNEXE 2 – LISTE DES ÉTUDES EXCLUES, PAR MOTIF D'EXCLUSION

Technologies de navigation autres que la tomodensitométrie mobile par AIRO

Achey RL, Karsy M, Azab MA, Scoville J, Kundu B, Bowers CA, et al. Improved Surgical Safety via Intraoperative Navigation for Transnasal Transsphenoidal Resection of Pituitary Adenomas. *Journal of Neurological Surgery, Part B: Skull Base*. 2019;80(6):626-31.

Andersson H, Tamaddon A, Malekian M, Ydstrom K, Siemund R, Ullberg T, et al. Comparison of image quality between a novel mobile CT scanner and current generation stationary CT scanners. *Neuroradiology*. 2022.

Gonzalez-Vargas PM, Calero Felix L, Martin-Gallego A, Thenier-Villa JL, de la Lama Zaragoza AR, Conde Alonso C. Evaluation of the implantation of transpedicular screws in spinal instrumentation with free-hand technique and navigation-assisted with intraoperative computed tomography: An analytical-positional study. *Neurocirugia*. 2022;33(2):71-81.

Kudo H, Wada K, Kumagai G, Tanaka S, Asari T, Ishibashi Y. Accuracy of pedicle screw placement by fluoroscopy, a three-dimensional printed model, local electrical conductivity measurement device, and intraoperative computed tomography navigation in scoliosis patients. *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*. 2021;31(3):563-9.

Otomo N, Funao H, Yamanouchi K, Isogai N, Ishii K. Computed Tomography-Based Navigation System in Current Spine Surgery: A Narrative Review. *Medicina (Kaunas)*. 2022;58(2):05.

Restelli U, Anania CD, Porazzi E, Banfi G, Croce D, Fornari M, et al. An observational analysis of costs and effectiveness of an intraoperative compared with a preoperative image-guided system in spine surgery fixation: analysis of 10 years of experience. *J Neurosurg Sci*. 2022;66(4):350-5.

Étude d'efficacité théorique

Casiraghi M, Scarone P, Bellesi L, Piliero MA, Pupillo F, Gaudino D, et al. Effective dose and image quality for intraoperative imaging with a cone-beam CT and a mobile multi-slice CT in spinal surgery: A phantom study. *Physica Medica*. 2021;81:9-19.

Weir VJ, Zhang J, Bruner AP. Dosimetric characterization and image quality evaluation of the AIRO mobile CT scanner. *J Xray Sci Technol*. 2015;23(3):373-81.

Absence de comparateur

Liu C, Chien HC, Hsu PK, Hsu HS. The application of mobile computed tomography for the localization of small lung lesions. *Formosan Journal of Surgery*. 2022;55(3):116-20.

Méthodologie inadéquate

Alqurashi A, Alomar SA, Bakhaidar M, Alfiky M, Baeesa SS. Accuracy of Pedicle Screw Placement Using Intraoperative CT-Guided Navigation and Conventional Fluoroscopy for Lumbar Spondylosis. *Cureus*. 2021;13(8):e17431.

Kumar V, Baburaj V, Patel S, Sharma S, Vaishya R. Does the use of intraoperative CT scan improve outcomes in Orthopaedic surgery? A systematic review and meta-analysis of 871 cases. *Journal of Clinical Orthopaedics & Trauma*. 2021;18:216-23.

Mohammadshahi M, Alipouri Sakha M, Esfandiari A, Shirvani M, Akbari Sari A. Cost Effectiveness of Mobile versus Fixed Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging: A Systematic Review. *Iran J Public Health*. 2019;48(8):1418-27.

Ogiwara T, Goto T, Fujii Y, Hanaoka Y, Miyaoka Y, Koyama JI, et al. The Current Status in Intraoperative Image-Guided Neurosurgery Associated with Progressive Operating Rooms: A Retrospective Analysis. *World Neurosurg*. 2022;23:23.

Pennington Z, Cottrill E, Westbroek EM, Goodwin ML, Lubelski D, Ahmed AK, et al. Evaluation of surgeon and patient radiation exposure by imaging technology in patients undergoing thoracolumbar fusion: systematic review of the literature. *Spine J*. 2019;19(8):1397-411.

Sargut TA, Hecht N, Xu R, Bohner G, Czabanka M, Stein J, et al. Intraoperative imaging and navigated spinopelvic instrumentation: S2-alar-iliac screws combined with tricortical S1 pedicle screw fixation. *Eur Spine J*. 2022;31(10):2587-96.

Tejada Solis S, de Quintana Schmidt C, Gonzalez Sanchez J, Fernandez Portales I, Del Alamo de Pedro M, Rodriguez Berrocal V, et al. Intraoperative imaging in the neurosurgery operating theatre: A review of the most commonly used techniques for brain tumour surgery. *Neurocirugia*. 2020;31(4):184-94.

Indications cliniques autres que celles visées

Sabancı PA, Unal TC, Ozturk O, Dolen D, Dolas I, Peker B, et al. Effect of Intraoperative Computed Tomography on Ventriculoperitoneal Shunt Survival. *World Neurosurg*. 2021;153:e373-e9

Sass B, Pojskic M, Bopp M, Nimsy C, Carl B. Comparing Fiducial-Based and Intraoperative Computed Tomography-Based Registration for Frameless Stereotactic Brain Biopsy. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2021;99(1):79-89.

Umana GE, Scalia G, Graziano F, Maugeri R, Alberio N, Barone F, et al. Navigated Transcranial Magnetic Stimulation Motor Mapping Usefulness in the Surgical Management of Patients Affected by Brain Tumors in Eloquent Areas: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Neurol*. 2021;12:644198.

Thorsteinsdottir J, Sandner T, Biczok A, Forbrig R, Siller S, Bernasconi P, et al. Detection of impending perfusion deficits by intraoperative computed tomography (iCT) in aneurysm surgery of the anterior circulation. *Acta Neurochirurgica*. 2021;163(12):3501-14.