



**Direction de l'évaluation des technologies et
des modes d'intervention en santé
(DETMIS)**

LES SALLES OPÉRATOIRES HYBRIDES

**Document préparé par : Alain Lapointe
Luigi Lepanto**

Mai 2010

Les salles opératoires hybrides

Évaluation technologique préparée pour la
DETMIS par

Alain Lapointe
Luigi Lepanto

Mai 2010

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

DIRECTION

Docteur Luigi Lepanto, directeur

CHERCHEURS

Mouhcine Nassef, assistant de recherche

Alain Lapointe, conseiller cadre

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

Direction de l'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé

Centre hospitalier de l'Université de Montréal

Hôpital St-Luc

1058, rue St-Denis

Montréal (Québec) H2X 3J4

Téléphone : 514.890.8000 poste 36400

Courriel : luigi.lepanto.chum@ssss.gouv.qc.ca

Comment citer ce document :

Direction de l'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (DETMIS). Les salles opératoires hybrides. Évaluation technologique préparée par Alain Lapointe et Luigi Lepanto. Montréal 2010.

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

Mission

La Direction de l'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé du CHUM a pour mission de conseiller les décideurs sur leurs choix technologiques en se basant sur une méthodologie d'évaluation qui se fonde sur les données probantes et les règles de l'art.

Le premier mandat de la Direction de l'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé est de produire des données concernant l'efficacité, la sécurité et les coûts d'une technologie en regard de son adoption ou de son utilisation dans le CHUM. Le second mandat propose la rédaction de politiques d'adoption des technologies qui reflètent les valeurs de l'institution et l'importance qu'elle accorde aux résultats d'une évaluation. Ainsi, lorsqu'une politique d'adoption limite l'accessibilité à une nouvelle technologie, il est primordial que les professionnels de la santé concernés soient impliqués dans l'acceptation de cette politique.

Table des matières

Mission	i
Remerciements	iv
Sommaire.....	v
Executive summary	ix
Abréviations et acronymes	xii
Avant-propos	1
Introduction	1
Recherche de la littérature pertinente	2
Application en neurochirurgie	2
Efficacité clinique	2
Considérations physiques.....	4
Considérations organisationnelles.....	5
Discussion.....	5
Application en chirurgie cardiaque et vasculaire	6
Généralités	6
Modalités	7
Indications.....	7
Données probantes	8
Considérations physiques.....	9
Considérations organisationnelles.....	9
Activités au CHUM et avis des experts locaux.....	9
Étapes ultérieures	11
Conclusion	11
Références	13
Annexe A.....	15
Annexe B	17

Annexe C41
ANNEXE D.....43

Remerciements

La Direction de l'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé désire remercier les **D^{rs} Jean-Guy Villemure, Stéphane Elkouri, Jean-Bernard Masson et Ignacio Prieto** pour leur expertise en regard de la technologie évaluée et pour leur participation à la révision de ce rapport.

Sommaire

Une salle opératoire hybride peut être définie comme une salle d'opération comprenant une ou plusieurs modalités d'imagerie. L'implantation d'une salle opératoire hybride soulève plusieurs enjeux d'importance tels le choix des différentes interventions visées, le partage ou non de la modalité d'imagerie (ce qui a un impact direct sur la localisation géographique de la salle opératoire), la dimension optimale de cette salle, l'organisation physique de la salle, la puissance de l'aimant ainsi que les mesures de sécurité s'il s'agit d'un appareil IRM. Ce rapport présente ainsi l'utilisation de salles opératoires hybrides dans les contextes chirurgicaux suivants : 1) lors de neurochirurgies et 2) lors de chirurgies cardiaques ou vasculaires.

Pour identifier les articles pertinents touchant les salles hybrides, une revue de la littérature fut faite à partir de PubMed, INAHTA, Cochrane Database of Systematic Reviews, Embase et Google en utilisant une combinaison des mots clés appropriés. Aucune étude randomisée n'a été trouvée. Par contre, cette recherche nous a permis d'identifier 2 revues systématiques, 4 essais, 14 séries de cas et 2 études de cas.

Application en neurochirurgie

Le principe premier de la neurochirurgie est de cibler, accéder et exciser les lésions intracrâniennes sans endommager les tissus sains ou les vaisseaux sanguins. Ainsi, le défi de l'imagerie per opératoire n'est pas seulement de fournir une mise à jour de la position des structures du cerveau suite à une déformation de celui-ci au cours de l'opération, mais aussi d'offrir l'interactivité requise par les systèmes thérapeutiques guidés par l'imagerie ainsi qu'une information sur la qualité des gestes opératoires.

Selon notre revue de la littérature, les modalités d'imagerie per opératoires les plus utilisées en neurochirurgie sont l'IRM et l'angiographie avec reconstruction. Une des raisons pour l'utilisation per opératoire des modalités d'imagerie en neurochirurgie est l'évaluation objective de la chirurgie en cours, étant une sorte de contrôle de qualité du geste chirurgicale, que ce soit pour la résection d'une tumeur ou l'oblitération d'un anévrisme. Même si les données probantes sur l'efficacité de ces modalités d'imagerie per opératoires sont absentes, les résultats de plusieurs séries de cas ont tendance à montrer une certaine efficacité de ces systèmes.

Selon la littérature, l'introduction des aimants 3T rendra l'imagerie vasculaire propice pour les neurochirurgies vasculaires et endovasculaires. Il a déjà été démontré que l'imagerie per opératoire peut détecter de façon précoce les dommages ischémiques pendant la chirurgie. La diffusion ainsi que la perfusion IRM peuvent faciliter les chirurgies et embolisations des malformations vasculaires en permettant la surveillance étroite des vaisseaux qui sont manipulés.

Il semble que chaque installation IRM dans une salle opératoire a ses avantages et ses limitations résultant d'un compromis entre les contraintes spatiales pour une image de grande qualité d'une part, et la liberté de mouvement nécessaire pour l'intervention chirurgicale, d'autre part. L'enjeu au niveau de l'installation est de trouver le meilleur compromis entre l'accès chirurgical et une imagerie optimale. Cette réflexion est aussi valable pour un système de fluoroscopie transformant une salle opératoire en salle hybride.

La performance chirurgicale dans un champ magnétique de forte amplitude est une tâche complexe qui dépend du design de l'appareil IRM. Cet environnement empêche l'utilisation d'instruments chirurgicaux ferromagnétiques, des équipements d'anesthésie et des microscopes opératoires conventionnels. Ainsi, les facteurs qui influenceront le design des futurs blocs opératoires n'est pas uniquement la force du champ magnétique dans le cas d'un appareil IRM, mais aussi la flexibilité du positionnement du patient ainsi que la mobilité du chirurgien.

D'un point de vue coût-efficacité, il est intéressant de planifier l'utilisation des salles opératoires hybrides (équipement de fluoroscopie ou d'IRM) pour des fins diagnostiques et non seulement, thérapeutiques. En planifiant une salle IRM entre la salle de neurochirurgie et le département de radiologie, des patients peuvent être investigués lorsqu'aucune chirurgie n'est en cours. Par contre, la chirurgie dans un environnement magnétique est directement influencée par la puissance du champ qui impose des contraintes organisationnelles.

En résumé, malgré certains désavantages et risques inhérents, l'IRM per opératoire permet au neurochirurgien une mise à jour de la déformation du cerveau pendant la chirurgie, le renseigne sur la résection d'une tumeur en lui indiquant le niveau et la qualité de la résection, permet de bien guider les instruments jusqu'à la lésion présente et le renseigne enfin sur la présence de complications à la fin de la chirurgie.

Application en chirurgie cardiaque et vasculaire

À l'instar de la neurochirurgie, la chirurgie cardiaque et la chirurgie vasculaire expérimentent également avec le concept de salle d'intervention hybride, combinant les fonctionnalités d'une salle d'opération et des modalités d'imagerie intégrées. La modalité la plus utilisée dans les scénarios de salle hybride dédiée à la cardiologie et les maladies vasculaires est la fluoroscopie. Cette modalité est déjà utilisée pour les procédures endovasculaires cardiaques et périphériques. La majeure partie de la littérature porte sur cette combinaison. Quelques articles font état de l'apport possible de l'échographique, mais ceci ne présente pas les mêmes défis techniques et logistiques. La possibilité d'utiliser la résonance magnétique est évoquée par des chercheurs, mais pas nécessairement dans le cadre d'un bloc opératoire. Pour le moment, il y a peu d'indications où le CT aurait un bénéfice en péri-opératoire; toutefois, l'argument dominant étant que l'angiographie péri-opératoire identifie les erreurs techniques, le CT pourrait jouer un rôle intéressant.

Il y a deux indications générales : (i) angiographie coronarienne percutanée post-intervention chirurgicale afin de confirmer la réussite du pontage ou l'anastomose, avec une ré-intervention immédiate dans le cas de détection d'un défaut et (ii)

combinaison de chirurgie cardiaque et d'interventions endovasculaires par approche percutanée (e.g. prothèses endovasculaires coronariennes, aortiques ou périphériques). L'indication de procéder à une intervention hybride n'est pas facile à généraliser. Ce type d'intervention est planifié par une équipe multidisciplinaire incluant des cardiologues et des chirurgiens cardiovasculaires.

La revue de la littérature n'a pas permis d'identifier de revues systématiques, d'études randomisées, ou d'études comparatives. Il n'y a donc pas de données probantes de bonne qualité permettant d'affirmer que ces approches hybrides sont supérieures aux approches traditionnelles. Il est important de faire la distinction entre une approche hybride (i.e. pontage chirurgical combiné à une intervention percutanée) faite lors d'une même session dans la salle d'opération et une approche effectuée en deux temps. Aucune étude comparative n'existe évaluant ces deux approches. Il est donc impossible de déterminer si les coûts et les difficultés logistiques d'une salle hybride sont justifiés.

Il existe une vision prétendant que le nombre de patients pouvant bénéficier d'une approche hybride est très faible et risque de diminuer davantage avec le développement des approches chirurgicales minimalement invasives. Le potentiel offert par les salles hybrides doit être examiné à la lumière des développements dans le domaine de la chirurgie cardiaque minimalement invasive et les traitements percutanés car ces deux approches sont à la fois concurrentielles et complémentaires.

Les expériences locales publiées font valoir qu'une unité de fluoroscopie fixe représente l'infrastructure idéale pour une approche hybride dans le traitement de maladies cardiovasculaires. Les considérations physiques reliées à la stérilité des lieux et à la ventilation sont les mêmes que celles s'appliquant aux salles hybrides de neurochirurgie. Afin de maximiser l'investissement l'emplacement de salles hybrides ainsi que le partage entre différents spécialités doivent être considérés lors du processus de planification.

Selon l'avis unanime des experts, les chirurgies cardiaques et vasculaires, combinées à des procédures percutanées, nécessiteraient des installations semblables à celles des salles d'angiographie ou d'hémodynamique. Puisque ces procédures hybrides impliquent des équipes multidisciplinaires, les salles doivent être conçues en prévision du nombre d'intervenants présents. Un argument en faveur de salles opératoires hybrides plutôt que des salles hémodynamiques rehaussées est la possibilité de conversion d'une procédure hybride en chirurgie ouverte.

Pour déterminer le nombre de salles opératoires hybrides au CHUM, il est pertinent d'étudier les tendances et les prévisions des experts locaux pour identifier les besoins éventuels dans une perspective de 5 ou 10 ans. Actuellement, selon ces mêmes experts, une seule salle opératoire hybride comblerait les besoins combinés de la cardiologie, la chirurgie cardiaque et la chirurgie vasculaire.

L'absence d'études comparatives dans l'évaluation des salles hybrides dédiées aux interventions cardiaques ou vasculaires présente également un problème quant à l'élaboration de recommandations concernant l'implantation de ces

infrastructures. Dans ce cas, l'aspect hybride des interventions est un élément additionnel à considérer. Les modalités de traitement concernées sont à la fois complémentaires et concurrentielles. Un comité d'expert permettra de mieux prévoir l'évolution de la thérapie dans cette spécialité.

Il est probable que des systèmes sophistiqués de monitoring, incluant possiblement des modalités d'imagerie, seront intégrés dans les blocs opératoires. Les données probantes ne supportent pas une diffusion à large échelle de ces salles hybrides, maintenant; plutôt, il serait opportun de prévoir des projets pilotes qui serviront à confirmer les hypothèses avancées et à adresser les problèmes logistiques et organisationnels. Par conséquent, suite à la construction d'une salle opératoire hybride au CHUM, il serait opportun de mettre en place un processus d'évaluation en regard de l'efficacité clinique ainsi que du coût-efficacité de ce mode d'intervention.

Executive summary

A hybrid operating room can be defined as an operating room with one or more imaging modalities. The implantation of a hybrid operating room raises many issues such as sharing of the imaging modality with other departments, the size of the room, its physical planning as well as the size of the magnet and the necessary security measures if an MRI is to be installed. This report presents the utilization of a hybrid operating room in two surgical contexts: 1) neurosurgery and 2) cardiac and vascular surgery.

A literature review was performed in Pubmed, INAHTA, Cochrane Database of Systematic Reviews, Embase and Google to identify articles regarding hybrid operating rooms. No RCT were found on this subject but we identified 2 systematic reviews, 4 essays, 14 case series and 2 case studies.

Application in neurosurgery

The main objective of neurosurgery is to target, access and remove intracranial lesions without any damage to surrounding tissues or blood vessels. The challenge of intraoperative imaging is not only to identify the position of brain structures during neurosurgery but also to guide therapeutic systems and to present information on the quality of the surgery.

From the literature review, the most commonly used intraoperative modalities in neurosurgery are MRI imaging and fluoroscopic angiography with reconstruction. One important reason to use intraoperative imaging during neurosurgery is to ascertain the quality of the surgery during tumor resection or aneurysm obliteration. Although the evidence is not strong, the results of many case series tend to support the effectiveness of those systems.

Published reports suggest that 3T magnets will facilitate vascular imaging for vascular and endovascular neurosurgeries. It has been demonstrated that intraoperative imaging allows early detection of ischemic damage during surgery. Diffusion and MRI perfusion can facilitate vascular malformation embolization by allowing close surveillance of the treated vessels.

Each MRI installation in an operating room presents benefits and limitations resulting from a compromise between the spatial constraints necessary for the best possible image quality and the ease of movement necessary to perform surgery. These issues are also pertinent when considering the installation of a fluoroscopic system in a neurosurgery theatre.

Performing a surgical procedure in a high magnetic field is a complex task and depends on the design of the MRI system. This environment prohibits the use of ferromagnetic surgical instruments, anaesthesia machines and standard operating microscopes. Thus, factors that will influence the design of future operating rooms are not limited to the strength of the magnetic field, but includes the

flexibility to position the patient and the ease of access for the surgeon to perform the surgery.

From the point of view of cost-effectiveness, it is worth planning the use of hybrid operating rooms for therapeutic as well as diagnostic purposes. By positioning the MRI room between neurosurgery and the radiology department, patients can be investigated when no surgery is scheduled. But surgeries performed in a magnetic environment are influenced by the field strength that impose organizational constraints.

In summary, despite certain risks and limitations, MRI intraoperative imaging gives the surgeon information regarding brain deformations during the operative procedure, the extent and quality of tumour resection, allows him to guide his instruments to the lesion site and alerts him to the presence of possible complications.

Application in cardiac and vascular surgery

As in the case of neurosurgery, cardiac and vascular surgery specialists, at the CHUM, are experimenting with the concept of hybrid procedures, combining the advantages of an operating room and intraoperative imaging. Fluoroscopy is the most used imaging modality by cardiology and for vascular diseases and it is already used for cardiac and peripheral endovascular procedures. Most published literature refers to this approach. Some articles refer to the possible utilization of intraoperative ultrasound but the technical and organizational issues are not as challenging. The use of MRI imaging is mentioned by some investigators but not in the operating room environment. At the present time, there does not appear to be an interest for intraoperative CT imaging; however, with the ability to perform CT coronary angiography, CT imaging could play a more important role in this field.

There are two general uses of hybrid operating theatres: i) percutaneous coronarography following coronary bypass to confirm the success of the procedure allowing immediate re-intervention in the case of complications and ii), a combination of cardiac surgery and percutaneous endovascular procedures (e.g. endovascular coronary, aortic or peripheral stents). The indications for these procedures are difficult to generalize and they are usually planned on a case by case basis by a multidisciplinary team including cardiologists and cardiac surgeons.

The literature review did not identify systematic reviews, RCT or comparative studies. There is no strong evidence supporting the claim that hybrid procedures are better than the standard approach. It is important here to distinguish between a hybrid procedure (e.g. coronary bypass combined with a percutaneous intervention) performed during a single session in a hybrid suite and one performed sequentially in different environments (i.e. surgical suite and angiographic suite). No studies have been published comparing these 2 approaches. It is not possible, at this time, to determine if the costs and logistic difficulties associated with a hybrid environment are justified.

There is a school of thought that maintains that the development of minimally invasive procedures will decrease the need for hybrid procedures. The possibilities offered by hybrid procedures should be followed and analysed in light of developments in both minimally invasive procedures and percutaneous treatments since both approaches can be competitive or complementary.

Experience reported in the literature suggests that a fixed fluoroscopic unit is an ideal set up for a hybrid suite for the treatment of cardiovascular diseases. Physical requirements for this hybrid operating room regarding sterility and ventilation are the same as a hybrid operating room for neurosurgery. In order to maximize capital investment, thought should be given to the location and shared use of such an installation.

According to experts, cardiac and vascular surgeries combined with percutaneous procedures would require physical installations similar to those for angiographic or hemodynamic procedures. Since these procedures require a multidisciplinary team, the design of a hybrid operating room should consider this fact. An argument favouring hybrid operating suites over enhanced hemodynamic or angiographic suites is the possibility of converting a percutaneous procedure to an open surgery if needed.

To determine the number of hybrid operating rooms needed at the CHUM, local experts should be consulted to identify trends and help forecast the needs for the next 5 to 10 years. At present, these experts maintain that a single hybrid operating room can support the present combined needs of cardiology, cardiac surgery and vascular surgery.

It is difficult to make definite recommendations concerning the use of hybrid operating suites, given the lack of evidence. The nature of the intervention being a combination of open surgery and percutaneous treatments, developments in both fields must be monitored to assess the added value of a hybrid procedure. Since these treatment modalities can be both complementary and competitive, an expert panel should be formed to track future trends in these specialties.

Sophisticated monitoring systems, including imaging facilities, will probably be incorporated in future operating rooms. Current evidence does not support a large diffusion of the concept of hybrid operating rooms. It is recommended that following the construction of a hybrid operating room at the CHUM, to plan field evaluations to assess the clinical effectiveness and cost-effectiveness of this approach, to confirm assumptions of enhanced patient care and to address logistic and organizational issues.

Abréviations et acronymes

IRM : Imagerie par résonance magnétique

CT : Tomographie axiale

INAHTA : International Network of Agencies for Health Technology Assessment

T: Tesla

mT: milli-tesla

R_x: Radiologie

Les salles opératoires hybrides

Avant-propos

La demande de cette évaluation nous a été faite par la direction de CHUM Centre-ville pour la préparation du plan fonctionnel et technique du futur hôpital.

Ce rapport consiste en une revue de la littérature portant sur les articles publiés depuis l'an 2000 et traitant des salles opératoires hybrides dédiées à la neurochirurgie et la chirurgie cardiovasculaire. Étant donné l'absence de données probantes suffisantes, ce document se veut une revue narrative des articles retenus, avec une discussion visant à éclairer le lecteur.

Ainsi, le but de cette évaluation est de fournir aux décideurs les informations pertinentes leur permettant de planifier, s'il y a lieu, une ou plusieurs salles opératoires hybrides.

Introduction

Une salle opératoire hybride peut être définie comme une salle d'opération comprenant une ou plusieurs modalités d'imagerie (1). Ces modalités peuvent être la fluoroscopie, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et ses applications dérivées (IRM fonctionnelle, la spectroscopie, l'angiographie ou la vénographie), la tomographie axiale (CT) ou l'ultrasonographie (2). Plusieurs auteurs ont rapporté leur expérience avec une seule modalité d'imagerie (1, 3-14) ou parfois avec l'accessibilité à plusieurs modalités (3).

L'implantation d'une salle opératoire hybride soulève plusieurs enjeux d'importance tels le choix des différentes interventions visées, le partage ou non de la modalité d'imagerie (ce qui a un impact direct sur la localisation géographique de la salle opératoire), la dimension optimale de cette salle, l'organisation physique de la salle, la puissance de l'aimant ainsi que les mesures de sécurité s'il s'agit d'un appareil IRM.

Ce rapport présente ainsi l'utilisation de salles opératoires hybrides dans les contextes chirurgicaux suivants : 1) lors de neurochirurgies et 2) lors de chirurgies cardiaques ou vasculaires.

Recherche de la littérature pertinente

Pour identifier les articles pertinents touchant les salles hybrides, une revue de la littérature fut faite à partir de PubMed, INAHTA, Cochrane Database of Systematic Reviews, Embase et Google en utilisant une combinaison des mots clés « neurosurgery – angiography – MRI – operating room ». Cette revue s'étend de l'an 2000 au mois de septembre 2009 et comprend les articles publiés en français et en anglais. L'Annexe A présente la stratégie de recherche documentaire utilisée pour PubMed et The Cochrane Library.

Aucune étude randomisée n'a été trouvée. Par contre, cette recherche nous a permis d'identifier deux (2) revues systématiques (15, 16), quatre (4) essais (1, 2, 17, 18), quatorze (14) séries de cas (3-10, 12, 14, 19-22) et deux (2) études de cas (11, 13). L'Annexe B présente un tableau résumé des études cliniques qui étaient parfois présentées dans les articles retenus.

Application en neurochirurgie

Efficacité clinique

Selon Jolesz (23), le principe premier de la neurochirurgie est de cibler, accéder et exciser les lésions intracrâniennes sans endommager les tissus sains ou les vaisseaux sanguins. Depuis plusieurs années, les chirurgiens utilisent la neuronavigation basée sur les images préopératoires du cerveau pour procéder à l'excision des tumeurs intracrâniennes. Par contre, ces images préopératoires ne tiennent pas compte de la déformation du cerveau au cours de l'opération, déformations pouvant atteindre plus de 1 cm (16, 21).

Ainsi, le défi de l'imagerie per opératoire n'est pas seulement de fournir une mise à jour de la position des structures du cerveau suite à une déformation de celui-ci au cours de l'opération, mais aussi d'offrir l'interactivité requise par les systèmes thérapeutiques guidés par l'imagerie (23) ainsi qu'une information sur la qualité des gestes opératoires.

Selon notre revue de la littérature, les modalités d'imagerie per opératoires les plus utilisées en neurochirurgie sont l'IRM et l'angiographie avec reconstruction 3D (1-14, 21, 22). Un seul centre présente son expérience avec une salle opératoire permettant l'accès à l'angiographie, à l'IRM ainsi qu'au CT (3). Les auteurs justifient cette approche pour pallier aux faiblesses de chaque modalité prise séparément telle la vitesse d'acquisition, la résolution des tissus mous ou l'exposition aux radiations.

Une des raisons pour l'utilisation per opératoire des modalités d'imagerie en neurochirurgie est l'évaluation objective de la chirurgie en cours, étant une sorte de contrôle de qualité du geste chirurgicale, que ce soit pour la résection d'une tumeur ou l'oblitération d'un anévrisme (2-8, 10, 12, 14, 21).

Même si les données probantes sur l'efficacité de ces modalités d'imagerie per opératoires sont absentes, les résultats de plusieurs séries de cas ont tendance à montrer une certaine efficacité de ces systèmes. Ainsi, Lopez et al (14) rapportent que chez 191 patients opérés en neurochirurgie pour anévrismes, malformations artérioveineuses ou fistules artérioveineuses, 204 angiographies per opératoires ont montré la présence de pathologies résiduelles chez 46 patients (23%), ce qui a impliqué une correction chirurgicale. De même, Nimsky et al (6) mentionnent que lors de l'excision de gliomes chez 72 patients, la résection complète des tumeurs était réalisée chez 18 patients (25%) avant imagerie per opératoire. Après l'obtention d'images per opératoires, la résection complète était augmentée à 29 patients (37.9%).

Darakchiev et son équipe (7) rapportent que chez 30 patients opérés pour une résection totale de tumeurs, l'imagerie IRM per opératoire indiqua des tumeurs résiduelles chez 56% de ces patients. De même, Nimsky et al (8) mentionnent que chez 48 patients opérés pour un adénome pituitaire, l'imagerie IRM per opératoire a permis d'augmenter le pourcentage de résection complète de 56.2% (27 patients) à 87.5% (42 patients). Par contre, Hirschberg et son équipe (4) rapportent qu'après comparaison de 2 cohortes de 32 patients opérés pour gliomes de grade IV (une cohorte contrôle et une cohorte où l'on a utilisé l'imagerie IRM per opératoire), la différence de la survie moyenne de ces 2 cohortes n'est pas statistiquement significative (14.5 mois pour la cohorte contrôle et 12.1 mois pour la seconde cohorte) et que le devenir des patients (« outcome ») n'est pas meilleur pour les patients opérés avec images per opératoires. L'Annexe C présente un résumé des résultats des études cliniques.

Selon Jolesz (17), l'introduction des aimants 3T rendra l'imagerie vasculaire propice pour les neurochirurgies vasculaires et endovasculaires. Il a déjà été démontré que l'imagerie per opératoire peut détecter de façon précoce les dommages ischémiques pendant la chirurgie. La diffusion ainsi que la perfusion IRM peuvent faciliter les chirurgies et embolisations des malformations vasculaires en permettant la surveillance étroite des vaisseaux qui sont manipulés. Jolesz (17) souligne aussi que lors de chirurgies d'anévrismes, la visualisation 3D de la lésion peut aider en montrant la position des clips ainsi que l'embranchement de l'anévrisme avec les vaisseaux adjacents, sous différents angles.

Ce point de vue est aussi partagé par Nimsky et son équipe (8) qui souligne que la qualité des images per opératoires obtenues avec un appareil IRM de haute intensité sont nettement supérieures à celles d'un appareil IRM de faible intensité. L'utilisation de l'imagerie per opératoire par cette équipe a permis, selon leur étude, une augmentation du taux de résection complète des tumeurs de 56,2% à 87.5%. Nimsky et al (8) concluent en mentionnant que l'imagerie per opératoire ne permet pas seulement une indication des tumeurs toujours

présentes pour une meilleure résection mais minimise aussi les risques de complications et confirme les sites de biopsies.

Considérations physiques

Selon Foroglou et al (2), chaque installation IRM dans une salle opératoire a ses avantages et ses limitations résultant d'un compromis entre les contraintes spatiales pour une image de grande qualité d'une part, et la liberté de mouvement nécessaire pour l'intervention chirurgicale, d'autre part. L'enjeu au niveau de l'installation est de trouver le meilleur compromis entre l'accès chirurgical et une imagerie optimale. Cette réflexion est aussi valable pour un système de fluoroscopie transformant une salle opératoire en salle hybride.

D'un point de vue pratique, Jankovski et al (21) nous font part de leur expérience découlant de l'installation d'un appareil IRM de 3T. Pour plus d'efficacité et pour un meilleur investissement, il fut décidé d'utiliser l'appareil IRM aussi pour des fins diagnostiques, ce qui imposa la construction de 2 salles dédiées, soit une salle opératoire de 50 m² et une salle pour l'appareil IRM de 33 m², ces salles étant séparées par une salle intermédiaire de 15 m². Comme le champ magnétique est puissant (3T), la salle d'opération fut construite à l'extérieur du champ magnétique de 0.1 mT, ce qui a permis l'utilisation du matériel opératoire conventionnel. L'Annexe C présente une liste de contraintes physiques et organisationnelles concernant l'installation d'un appareil IRM au bloc opératoire, selon Jankovski et al (21).

Murayama et al (12) décrivent l'installation d'un appareil d'angiographie biplan au bloc opératoire de leur institution. Leur installation consiste en une salle opératoire (12 m x 10 m) attenante à une salle de contrôle Rx ainsi qu'une salle informatique. Enfin, Truwit et al (13) rapportent l'installation d'un appareil IRM 3T où l'on retrouve une salle isolée de 54 m² pour l'IRM (incluant une surface de 15.5 m² pour la chirurgie, à l'arrière de l'aimant), une salle de contrôle de 27.9 m², une salle de 16.3 m² pour l'équipement informatique et une salle de préparation de 11.2 m².

La performance chirurgicale dans un champ magnétique de forte amplitude est une tâche complexe qui dépend du design de l'appareil IRM. Cet environnement empêche l'utilisation d'instruments chirurgicaux ferromagnétiques, des équipements d'anesthésie et des microscopes opératoires conventionnels (Darakchiev et al (7)). Ainsi, les facteurs qui influenceront le design des futurs blocs opératoires n'est pas uniquement la force du champ magnétique dans le cas d'un appareil IRM, mais aussi la flexibilité du positionnement du patient ainsi que la mobilité du chirurgien (Jolesz (17)).

Considérations organisationnelles

D'un point de vue coût-efficacité, il est intéressant de planifier l'utilisation des salles opératoires hybrides (équipement de fluoroscopie ou d'IRM) pour des fins diagnostiques et non seulement, thérapeutiques. C'est d'ailleurs l'approche utilisée par plusieurs auteurs (2, 3, 7, 21). En planifiant une salle IRM entre la salle de neurochirurgie et le département de radiologie, des patients peuvent être investigués lorsqu'aucune chirurgie n'est en cours. Matsumae et al (3) rapportent d'ailleurs que leur salle d'intervention combinée IRM-CT-angiographie fut utilisée couramment en mode diagnostic au cours des 10 premiers mois d'opération de la façon suivant : 1) 36 examens/jour en mode CT, 2) 16 examens/jour en mode IRM et 3) un examen angiographique/jour.

Par contre, la chirurgie dans un environnement magnétique est directement influencée par la puissance de ce champ qui dépend de la distance avec l'isocentre de l'aimant (7). Nous pouvons ainsi distinguer trois (3) zones d'interférences magnétiques : i) la zone 1 qui s'étend de l'isocentre jusqu'à la ligne de 20G (ou 10 mT); seulement les équipements qui sont compatibles avec les champs magnétiques peuvent y être utilisés (incluant les systèmes de monitoring et d'anesthésie); ii) la zone 2 qui s'étend de la ligne 20G jusqu'à la ligne 5G (ou 0.5 mT); permet l'utilisation de la plupart des équipements en neurochirurgie mais exige un microscope opératoire compatible avec les champs magnétiques; et iii) la zone 3, la plus éloignée, qui s'étend à partir de la ligne 5G (ou 0.5 mT); à partir de ce point, tous les équipements standards peuvent être utilisés.

Malgré son utilité croissante, Foroglou et al (2) soulignent quelques désavantages de l'IRM per opératoire : i) les systèmes IRM sont dispendieux comparés aux ultrasons et même au CT per opératoire, mais le coût-efficacité peut être amélioré en permettant son utilisation pour le diagnostic; ii) le positionnement du patient est plus complexe et requiert un certain temps pour l'installation; ces auteurs rapportent un temps chirurgical de 30 min supérieur au temps d'une chirurgie classique, mais permet par ailleurs une chirurgie plus précise des tumeurs; iii) il y a des limitations au niveau des instruments qui peuvent être utilisés dans un champ magnétique et iv) il existe un niveau de risque potentiel à travailler dans un champ magnétique.

Discussion

Selon Foroglou et al (2), l'imagerie per opératoire est la troisième innovation technologique la plus importante en neurochirurgie après la coagulation bipolaire et le microscope opératoire. En regard de l'IRM per opératoire, malgré certains désavantages et risques inhérents, cette modalité permet au neurochirurgien une mise à jour de la déformation du cerveau pendant la chirurgie, le renseigne sur la résection d'une tumeur en lui indiquant le niveau et la qualité de la résection, permet de bien guider les instruments jusqu'à la lésion présente et le renseigne enfin sur la présence de complications à la fin de la chirurgie. Puisque les systèmes d'imagerie per opératoires fournissent au

neurochirurgical des informations de plus en plus pertinentes, le succès d'une intervention chirurgicale dépendra de plus en plus de l'habileté du chirurgien (15).

Même si le coût-efficacité de l'acquisition de systèmes d'imagerie per opératoires (fluoroscopie ou IRM) peut être amélioré en permettant l'utilisation de ces équipements pour des fins diagnostiques, seules les études randomisées ayant comme critère d'évaluation l'issue de ces technologies sur la santé, sauront nous renseigner sur la pertinence économique de cette approche.

Un point intéressant soulevé par Field et al (1) est à l'effet que ce n'est pas uniquement la proximité d'équipements multidisciplinaires qui fait d'une salle opératoire hybride un environnement unique, mais c'est aussi dû au fait qu'elle provoque une approche collaborative des médecins pour le management de maladies complexes.

Selon plusieurs auteurs, les développements futurs des systèmes per opératoires en neurochirurgie sont fort prometteurs (15, 16, 19, 23). Par exemple, la planification virtuelle de la chirurgie permettra d'identifier une route chirurgicale précise avec un minimum de dissection des tissus et une craniotomie appropriée. Déjà, une étude de Stadie et al (19) rapporte l'utilisation d'un système intégrant les images du CT pour les tissus durs et mous, les images angiographiques CT et IRM pour les structures veineuses et artérielles et les images IRM pour le détail des tissus mous. Ce système intègre les données précédentes en un concept 3D virtuel où les images sont projetées de façon stéréoscopique sur des lunettes à cristaux liquides. Le chirurgien manipule ainsi ces informations à partir de senseurs placés sur ses mains.

Enfin, la robotique est appelée à jouer un rôle intéressant en neurochirurgie (15) et comme le souligne Peters (16), le plus grand défi pour l'adoption de systèmes de navigation basés sur l'image n'est pas la technologie en soi, mais plutôt l'interface usager qui ne doit pas se fonder sur le clavier ou la souris...

Application en chirurgie cardiaque et vasculaire

Généralités

À l'instar de la neurochirurgie, la chirurgie cardiaque et la chirurgie vasculaire expérimentent également avec le concept de salle d'intervention hybride, combinant les fonctionnalités d'une salle d'opération et des modalités d'imagerie intégrées. Le concept d'une approche hybride avait été lancé par Angelini dans les années 1990 en proposant de combiner la chirurgie minimalement invasive à des procédures endovasculaires guidées par

fluoroscopie ou par échographie (24). Toutefois, les données probantes sur ce sujet sont, à toutes fins utiles, absentes.

La littérature nous fournit de nombreuses revues narratives et d'expériences locales. Il est néanmoins possible de dresser un tableau des orientations futures possibles ainsi que des enjeux à considérer dans l'éventualité d'un déploiement de ce type d'infrastructure. Il est également possible d'identifier les indicateurs pertinents qui devront être analysés, soit rétrospectivement soit prospectivement, dans le cadre d'une évaluation rigoureuse.

Modalités

La modalité la plus utilisée dans les scénarios de salle hybride dédiée à la cardiologie et les maladies vasculaires est la fluoroscopie. Cette modalité est déjà utilisée pour les procédures endovasculaires cardiaques et périphériques. La majeure partie de la littérature porte sur cette combinaison. Quelques articles font état de l'apport possible de l'échographique, mais ceci ne présente pas les mêmes défis techniques et logistiques. L'échographie étant d'emblée une modalité relativement peu dispendieuse, accessible et très mobile, son utilisation poserait peu de problème. Reste à déterminer les indications.

La possibilité d'utiliser la résonance magnétique est évoquée par des chercheurs, mais pas nécessairement dans le cadre d'un bloc opératoire (25). Pour le moment, il y a peu d'indications où le CT aurait un bénéfice en péri-opératoire; toutefois, l'argument dominant étant que l'angiographie péri-opératoire identifie les erreurs techniques, le CT pourrait jouer un rôle intéressant (l'aspect non-invasif de l'angio-CT pourrait présenter un avantage dans le contexte de la chirurgie cardiaque). Par contre, les problèmes techniques et la logistique de combiner un CT à une salle d'opération s'avèrent des défis importants.

Indications

Il y a deux indications générales : (i) angiographie coronarienne percutanée post-intervention chirurgicale afin de confirmer la réussite du pontage ou l'anastomose et une ré-intervention immédiate dans le cas de détection d'un défaut et (ii) combinaison de chirurgie cardiaque et d'interventions endovasculaires par approche percutanée (e.g. prothèses endovasculaires coronariennes, aortiques ou périphériques).

L'indication de procéder à une intervention hybride n'est pas facile à généraliser. Ce type d'intervention est planifié par une équipe multidisciplinaire incluant des cardiologues et des chirurgiens cardiovasculaires. Chaque cas est un cas d'espèce et une minorité de patients bénéficierait d'une telle approche. Ceci dépend également de l'évolution des techniques chirurgicales dans le cas d'intervention sur les artères coronaires. Il y a quelques années, certains territoires n'étaient pas disponibles par voie laparoscopique. Ceci n'est plus vrai et la pertinence d'une approche hybride à long terme est loin d'être assurée. Dans le cas d'angiographie de contrôle, il y a également des modalités non-invasives (26).

Données probantes

La revue de la littérature (voir annexe) n'a pas permis d'identifier de revues systématiques, d'études randomisées, ou d'études comparatives. Il n'y a donc pas de données probantes de bonne qualité permettant d'affirmer que ces approches hybrides sont supérieures aux approches traditionnelles.

Il est important de faire la distinction entre une approche hybride (i.e. pontage chirurgical combiné à une intervention percutanée) faite lors d'une même session dans la salle d'opération et une approche effectuée en deux temps. Aucune étude comparative n'existe évaluant ces deux approches. Il est donc impossible de déterminer si les coûts et les difficultés logistiques d'une salle hybride sont justifiés. Plusieurs études rétrospectives et comparatives non-randomisées ont été identifiées, portant sur l'approche hybride faite en deux temps. De Cannière et co-auteurs ont effectué une étude comparative non-randomisée impliquant 2 groupes de 20 patients (27). Le premier groupe a subi une intervention hybride en deux temps et le deuxième groupe a subi un double pontage chirurgical. Ils ont trouvé que pour une survie comparable, la cohorte ayant subi une intervention hybride a eu une durée de séjour moins longue aux soins intensifs, une diminution des besoins en transfusions sanguines, moins de douleur, une meilleure qualité de vie et un retour au travail plus rapide. Les coûts moyens pour chaque cohorte étaient semblables. La question n'est pas si l'approche est valable, mais plutôt s'il est préférable d'effectuer une chirurgie ouverte combiné à une procédure percutanée lors d'une même session dans un milieu adapté (i.e. salle hybride) ou d'effectuer les 2 procédures dans leurs environnements propres en deux temps.

Dans une étude de cohorte rétrospective avec un groupe comparatif, Zhao et co-auteurs ont voulu répondre à 2 questions : i) y a-t-il un avantage à effectuer une intervention hybride en un seul temps dans un bloc opératoire et ii) l'angiographie percutanée, effectuée en péri-opératoire, est-elle indiquée? (28) Parmi les variables étudiées dans les 2 groupes, les auteurs ont mesuré les besoins en transfusions en postopératoire, l'incidence d'insuffisances rénales, l'incidence d'accidents cérébrovasculaires, l'incidence de complications cardiaques (e.g. insuffisance aigue, arythmies), la mortalité, et la durée de séjour. Aucune différence significative n'a été démontrée. Ils admettent que l'approche hybride peut également s'effectuer en 2 temps, et pas nécessairement dans une salle hybride. Parmi les avantages potentiels évoqués, il y a la possibilité de ré-intervention chirurgicale immédiate dans le cas d'une procédure percutanée infructueuse ou d'une complication lors de la procédure percutanée. La ré-intervention immédiate, si la coronarographie démontre un résultat inadéquat, est également évoquée. Ces mêmes auteurs admettent que les patients pouvant bénéficier d'une approche hybride sont difficiles à identifier et ne représenteraient qu'une minorité de patients devant subir une intervention chirurgicale. Dans leur cohorte, seulement 18% des patients ont subi une telle intervention. Cette proportion est confirmée par d'autres auteurs (1, 29).

Il existe une vision alternative prétendant que le nombre de patients pouvant bénéficier d'une approche hybride est très faible et risque de diminuer davantage avec le développement des approches chirurgicales minimalement invasives (30). Des territoires vasculaires, initialement inaccessibles par ces techniques, le sont devenus avec le temps (31). Le potentiel offert par les salles hybrides doit être examiné à la lumière des développements dans le domaine de la chirurgie cardiaque minimalement invasive et les traitements percutanés car ces deux approches sont à la fois concurrentielles et complémentaires.

L'argument selon lequel la coronographie per-opératoire pourrait être bénéfique est soulevé par le taux d'échecs au pontage chirurgical (8% des pontages des mammaires internes et jusqu'à 25% des greffons veineux après 1 an). Mais dans la seule étude comparative, Zhao et co-auteurs ont effectué une coronographie per-opératoire chez les 2 groupes; ce qui distinguait les groupes était l'approche hybride en 1 temps ou 2 temps. Il n'est pas démontré que l'angiographie per-opératoire diminue l'incidence d'échecs, ceux-ci étant multifactoriels (32).

Considérations physiques

Les expériences locales publiées font valoir qu'une unité de fluoroscopie fixe représente l'infrastructure idéale pour une approche hybride dans le traitement de maladies cardiovasculaires (1, 33). Les considérations physiques liées à la stérilité des lieux et à la ventilation sont les mêmes que celles évoquées dans la discussion des salles d'opération hybrides en neurochirurgie.

L'emplacement de celles salles doit prendre en considération le taux d'utilisation et le partage entre diverses spécialités. La fluoroscopie est une modalité qui sert déjà dans le bloc opératoire, par exemple, en urologie et orthopédie. Il serait concevable de prévoir une utilisation multidisciplinaire afin de rentabiliser l'investissement dans une telle salle.

Considérations organisationnelles

La mise en chantier de salles hybrides implique la constitution d'équipes multidisciplinaires car les interventions visées impliquent plusieurs champs d'expertise. La radioprotection des patients et du personnel doit être une préoccupation lors de l'organisation et de la conduite de ces interventions hybrides car les spécialistes amenés à travailler dans ces salles ne sont pas toujours conscients des risques inhérents de l'exposition aux radiations.

Activités au CHUM et avis des experts locaux

Aujourd'hui, il se pratique au CHUM des interventions dites hybrides. Ceci est déjà le cas en chirurgie vasculaire où des interventions chirurgicales combinées à des procédures percutanées, sont effectuées parfois en salle d'opération, parfois dans les salles d'angiographie traditionnelles. Il est donc

pertinent de faire la distinction entre chirurgie cardiaque et chirurgie vasculaire. Depuis longtemps, l'urologie et l'orthopédie font usage d'appareils mobiles de fluoroscopie lors de procédures en salles d'opération. Quoique cette modalité puisse être adéquate pour ces spécialités, il est l'avis unanime des experts locaux, consultés au CHUM, que la chirurgie cardiaque et vasculaire combinée à des procédures percutanées, nécessiterait des installations semblables à celles des salles d'angiographie ou d'hémodynamie. Les procédures hybrides impliquent des équipes multidisciplinaires et les salles devraient être conçues en prévision du nombre d'intervenants présents.

L'implantation de valves cardiaques est déjà réalisée en salle d'hémodynamique, impliquant un chirurgien cardiaque et un cardiologue. L'avis des experts est que la salle actuelle est très petite pour ce genre d'intervention. Les différentes chirurgies qui pourraient être réalisées en salle hybride sont : 1) l'implantation de valves percutanées, 2) la plastie de la valve mitrale, 3) la dilatation et le pontage des coronaires, et 4) la vérification post-op de l'intégrité d'un pontage. La revue de la littérature a relevé des points de vue divergents concernant l'utilité de la coronographie per-opératoire. De l'avis des experts locaux, la vérification des anastomoses coronariennes se fait dans un premier temps par des méthodes non-invasives (i.e. Doppler). Lorsqu'un problème est détecté, il y a révision, mais si le problème n'est pas corrigé, une coronarographie devient nécessaire. Ceci survient dans une minorité de cas, mais les cas où cela serait nécessaire sont difficiles, voir impossibles à prévoir. Un argument en faveur de salles d'opération hybrides, plutôt que des salles hémodynamiques rehaussées, est la possibilité de conversion d'une procédure hybride en chirurgie ouverte. Le risque est faible, mais difficile à prévoir à l'avance.

Lors de la détermination des besoins en salles opératoires hybrides, il est important d'analyser la volumétrie des cas qui pourraient bénéficier de telles installations. Les interventions qui se pratiqueront dans ces salles sont des interventions multidisciplinaires, donc le nombre de salles nécessaires sera déterminé par le nombre de patients prévu conjointement par les différentes spécialités. L'avis des responsables de la chirurgie cardiaque, de la chirurgie vasculaire, et de la cardiologie du CHUM est qu'une seule salle hybride répondrait à la volumétrie actuelle. Il est pertinent d'étudier les tendances et les prévisions, avec ces mêmes experts, afin de déterminer les besoins éventuels dans 5 et 10 ans. Le volume de patients pouvant bénéficier de salles hybrides sera composé de 2 catégories générales : 1) des procédures d'emblée hybride et 2) des procédures percutanées avec risque de conversion en chirurgie ouverte. La première catégorie est plus facile à prévoir, mais la deuxième implique la possibilité d'effectuer des examens diagnostiques per-opératoire invasifs (e.g. coronarographie) ou non-invasifs (e.g. Doppler) et une stratification du risque préopératoire afin de mieux sélectionner les patients.

Étapes ultérieures

Il serait pertinent de maintenir une veille technologique avec des revues périodiques de la littérature. Un groupe de travail composé de cliniciens et de membres de la DETMIS pourrait être constitué. La DETMIS pourrait effectuer des évaluations terrains pour des projets déjà implantés au CHUM. Puisque des procédures hybrides sont déjà en cours dans le CHUM il serait pertinent d'établir un registre des interventions pratiquées afin de construire une banque de données pouvant guider le CHUM dans l'élaboration d'une vision à long terme de ce type d'installations.

Il est essentiel de bien identifier les indicateurs qui devront être mesurés. Ceux-ci incluent la durée des interventions, le taux de conversion en chirurgie ouverte, le taux de complications per-opératoires et postopératoires, la durée de séjour, les indices de survie et de qualité de vie post-intervention, ainsi que les données démographiques et cliniques des patients. Des indicateurs reflétant la satisfaction des intervenants et les défis organisationnels devront également être évalués. Quoiqu'un registre permette la collecte de ces paramètres, l'idéal serait de mettre sur pied une étude comparative. Seule une étude comparative de 2 groupes de patients présentant des caractéristiques similaires mais soumis à des traitements différents (i.e. procédure traditionnelle vs procédure hybride), permettrait de démontrer la supériorité d'une approche par rapport à l'autre. Une étude comparative permettrait aussi d'identifier des sous-groupes pouvant bénéficier d'une approche par rapport à l'autre.

Conclusion

Si l'on se fonde sur les études publiées dans la littérature, les données existantes sur l'efficacité clinique de l'imagerie per opératoire demeurent préliminaires. La majorité des études publiées semblent indiquer des bénéfices intéressants au niveau de la neurochirurgie en permettant l'acquisition d'informations pertinentes qui renseignent le chirurgien sur la qualité de son intervention, mais la seule étude comparative identifiée ne révèle aucune différence statistiquement significative au niveau des changements neurologiques postopératoires ainsi qu'au niveau du taux de survie.

L'absence d'études comparatives dans l'évaluation des salles hybrides dédiées aux interventions cardiaques ou vasculaires présente également un problème quant à l'élaboration de recommandations concernant l'implantation de ces infrastructures. Dans ce cas, l'aspect hybride des interventions est un élément additionnel à considérer. Les modalités de traitement concernées sont à la fois complémentaires et concurrentielles. Un comité d'expert permettra de mieux prévoir l'évolution de la thérapie dans cette spécialité.

Il est probable que des systèmes sophistiqués de monitoring, incluant possiblement des modalités d'imagerie, seront intégrés dans les blocs opératoires. Les données probantes ne supportent pas une diffusion à large échelle de ces salles hybrides, maintenant; plutôt, il serait opportun de prévoir des projets pilotes qui serviront à confirmer les hypothèses avancées et à adresser les problèmes logistiques et organisationnels. Par conséquent, suite à la construction d'une salle opératoire hybride au CHUM, il serait opportun de mettre en place un processus d'évaluation en regard de l'efficacité clinique ainsi que du coût-efficacité de ce mode d'intervention. Tel que discuté, il est l'avis des responsables de la chirurgie cardiaque, de la chirurgie vasculaire, et de la cardiologie du CHUM qu'une seule salle hybride répondrait à la volumétrie actuelle. Dans l'éventualité de la construction d'une telle salle, un registre devrait être créé pour cataloguer les interventions et les indicateurs pertinents. Ceci permettrait de confirmer les bénéfices potentiels et l'identification des patients qui profiteraient le plus d'une intervention dans de telles infrastructures. Les indicateurs qui devront être mesurés incluent la durée des interventions, le taux de conversion en chirurgie ouverte, le taux de complications per-opératoires et postopératoires, la durée de séjour, les indices de survie et qualité de vie post intervention ainsi que les données démographiques et cliniques des patients. Des indicateurs reflétant la satisfaction des intervenants et les défis organisationnels devront également être évalués. La mise sur pied d'une étude comparative rigoureuse faciliterait la collecte de données probantes.

RÉFÉRENCES

1. Field ML, Sammut J, Kuduvali M, Oo A, Rashid A. Hybrid theatres: nicety or necessity? *J R Soc Med.* 2009 Mar;102(3):92-7.
2. Foroglou N, Zamani A, Black P. Intra-operative MRI (iop-MR) for brain tumour surgery. *Br J Neurosurg.* 2009 Feb;23(1):14-22.
3. Matsumae M, Koizumi J, Fukuyama H, Ishizaka H, Mizokami Y, Baba T, et al. World's first magnetic resonance imaging/x-ray/operating room suite: a significant milestone in the improvement of neurosurgical diagnosis and treatment. *J Neurosurg.* 2007 Aug;107(2):266-73.
4. Hirschberg H, Samset E, Hol PK, Tillung T, Lote K. Impact of intraoperative MRI on the surgical results for high-grade gliomas. *Minim Invasive Neurosurg.* 2005 Apr;48(2):77-84.
5. Iseki H, Muragaki Y, Nakamura R, Ozawa N, Taniguchi H, Hori T, et al. Intelligent operating theater using intraoperative open-MRI. *Magn Reson Med Sci.* 2005;4(3):129-36.
6. Nimsky C, Ganslandt O, Fahlbusch R. 1.5 T: intraoperative imaging beyond standard anatomic imaging. *Neurosurg Clin N Am.* 2005 Jan;16(1):185-200, vii.
7. Darakchiev BJ, Tew JM, Jr., Bohinski RJ, Warnick RE. Adaptation of a standard low-field (0.3-T) system to the operating room: focus on pituitary adenomas. *Neurosurg Clin N Am.* 2005 Jan;16(1):155-64.
8. Nimsky C, Ganslandt O, Von Keller B, Romstock J, Fahlbusch R. Intraoperative high-field-strength MR imaging: implementation and experience in 200 patients. *Radiology.* 2004 Oct;233(1):67-78.
9. Irie K, Murayama Y, Saguchi T, Ishibashi T, Ebara M, Takao H, et al. Dynact soft-tissue visualization using an angiographic C-arm system: initial clinical experience in the operating room. *Neurosurgery.* 2008 Mar;62(3 Suppl 1):266-72; discussion 72.
10. Ayad M, Ulm AJ, Yao T, Eskioglu E, Mericle RA. Real-time image guidance for open vascular neurosurgery using digital angiographic roadmapping. *Neurosurgery.* 2007 Sep;61(3 Suppl):55-61; discussion -2.
11. Willems PW, van Walsum T, Woerdeman PA, van de Kraats EB, de Kort GA, Niessen WJ, et al. Image-guided vascular neurosurgery based on three-dimensional rotational angiography. Technical note. *J Neurosurg.* 2007 Mar;106(3):501-6.
12. Murayama Y, Saguchi T, Ishibashi T, Ebara M, Takao H, Irie K, et al. Endovascular operating suite: future directions for treating neurovascular disease. *J Neurosurg.* 2006 Jun;104(6):925-30.
13. Truwit CL, Hall WA. Intraoperative magnetic resonance imaging-guided neurosurgery at 3-T. *Neurosurgery.* 2006 Apr;58(4 Suppl 2):ONS-338-45; discussion ONS-45-6.
14. Lopez KA, Waziri AE, Granville R, Kim GH, Meyers PM, Connolly ES, Jr., et al. Clinical usefulness and safety of routine intraoperative angiography for patients and personnel. *Neurosurgery.* 2007 Oct;61(4):724-9; discussion 9-30.
15. Albayrak B, Samdani AF, Black PM. Intra-operative magnetic resonance imaging in neurosurgery. *Acta Neurochir (Wien).* 2004 Jun;146(6):543-56; discussion 57.
16. Peters TM. Image-guidance for surgical procedures. *Phys Med Biol.* 2006 Jul 21;51(14):R505-40.
17. Jolesz FA. Future perspectives for intraoperative MRI. *Neurosurg Clin N Am.* 2005 Jan;16(1):201-13.
18. McPherson CM, Sawaya R. Technologic advances in surgery for brain tumors: tools of the trade in the modern neurosurgical operating room. *J Natl Compr Canc Netw.* 2005 Sep;3(5):705-10.

19. Stadie AT, Kockro RA, Reisch R, Tropine A, Boor S, Stoeter P, et al. Virtual reality system for planning minimally invasive neurosurgery. Technical note. *J Neurosurg*. 2008 Feb;108(2):382-94.
20. Caversaccio M, Langlotz F, Nolte LP, Hausler R. Impact of a self-developed planning and self-constructed navigation system on skull base surgery: 10 years experience. *Acta Otolaryngol*. 2007 Apr;127(4):403-7.
21. Jankovski A, Francotte F, Vaz G, Fomekong E, Duprez T, Van Boven M, et al. Intraoperative magnetic resonance imaging at 3-T using a dual independent operating room-magnetic resonance imaging suite: development, feasibility, safety, and preliminary experience. *Neurosurgery*. 2008 Sep;63(3):412-24; discussion 24-6.
22. Gasser T, Ganslandt O, Sandalcioglu E, Stolke D, Fahlbusch R, Nimsky C. Intraoperative functional MRI: implementation and preliminary experience. *Neuroimage*. 2005 Jul 1;26(3):685-93.
23. Jolesz FA. Neurosurgical suite of the future. II. *Neuroimaging Clin N Am*. 2001 Nov;11(4):581-92.
24. Angelini GD, Wilde P, Salerno TA, Bosco G, Calafiore AM. Integrated left small thoracotomy and angioplasty for multivessel coronary artery revascularisation. *Lancet*. 1996 Mar 16;347(9003):757-8.
25. Ratnayaka K, Faranesh AZ, Guttman MA, Kocaturk O, Saikus CE, Lederman RJ. Interventional cardiovascular magnetic resonance: still tantalizing. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2008;10(1):62.
26. Takami Y, Ina H. A simple method to determine anastomotic quality of coronary artery bypass grafting in the operating room. *Cardiovasc Surg*. 2001 Oct;9(5):499-503.
27. de Canniere D, Jansens JL, Goldschmidt-Clermont P, Barvais L, Decroly P, Stoupel E. Combination of minimally invasive coronary bypass and percutaneous transluminal coronary angioplasty in the treatment of double-vessel coronary disease: Two-year follow-up of a new hybrid procedure compared with "on-pump" double bypass grafting. *Am Heart J*. 2001 Oct;142(4):563-70.
28. Zhao DX, Leacche M, Balaguer JM, Boudoulas KD, Damp JA, Greelish JP, et al. Routine intraoperative completion angiography after coronary artery bypass grafting and 1-stop hybrid revascularization results from a fully integrated hybrid catheterization laboratory/operating room. *J Am Coll Cardiol*. 2009 Jan 20;53(3):232-41.
29. Peels JO, Jessurun GA, Boonstra PW, Ebels T, van Veldhuisen DJ, van der Horst IC, et al. Hybrid approach for complex coronary artery and valve disease: a clinical follow-up study. *Neth Heart J*. 2007;15(10):327-8.
30. Murphy GJ, Bryan AJ, Angelini GD. Hybrid coronary revascularization in the era of drug-eluting stents. *Ann Thorac Surg*. 2004 Nov;78(5):1861-7.
31. Grandjean JG. Hybrid cardiac procedure: the ultimate cooperation. *Neth Heart J*. 2007;15(10):327-8.
32. Colombo A, Latib A. Surgeons and interventional cardiologists in a collaborative environment. *J Am Coll Cardiol*. 2009 Jan 20;53(3):242-3.
33. Sikkink CJ, Reijnen MM, Zeebregts CJ. The creation of the optimal dedicated endovascular suite. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2008 Feb;35(2):198-204.

ANNEXE A

PubMed

Neurochirurgie

La stratégie de recherche suivante fut exécutée le 23 juin 2009.

Limites : à partir de 2000 jusqu'à aujourd'hui

- #1 ("2000" [Publication Date] : "3000" [Publication Date])
AND (("Angiography" [Mesh] OR "Magnetic Resonance
Angiography" [Mesh] OR "Radionuclide Angiography"
[Mesh] OR "Fluorescein Angiography" [Mesh] OR
"Angiography, Digital Subtraction" [Mesh] OR "Cerebral
Angiography" [Mesh])) Limits: Humans
 - #2 ("2000" [Publication Date] : "3000" [Publication Date])
AND (("Neurosurgery" [Mesh] OR "Neurosurgical
Procedures" [Mesh])) Limits: Humans
 - #3 Operating room Limits: Humans
 - #4 ("2000" [Publication Date] : "3000" [Publication Date])
AND (("Magnetic Resonance Spectroscopy" [Mesh] OR
"Magnetic Resonance Imaging, Interventional" [Mesh] OR
"Magnetic Resonance Imaging" [Mesh] OR "Diffusion
Magnetic Resonance Imaging" [Mesh] OR "Magnetic
Resonance Imaging, Cine" [Mesh] OR "Echo-Planar
Imaging" [Mesh])) Limits: Humans
- #1 AND #2
#1 AND #2 AND #3
#1 AND #2 AND #3 AND #4

Chirurgie Cardiaque

((("Cardiovascular Surgical Procedures"[Mesh] AND "Diagnostic Techniques,
Cardiovascular"[Mesh]) AND "Operating Rooms"[Mesh]) AND "Cardiac
Surgical Procedures"[Mesh])

Une recherche manuelle à partir des références des articles initialement répertoriés par la stratégie de recherche a également été effectuée.

The Cochrane Library 2008

La stratégie de recherche suivante fut exécutée le 11 septembre 2009.

- #1 neurosurgery and mri and operating room

#2

neurosurgery and angiography and operating room

ANNEXE B

Salles opératoires hybrides

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
Field ML et al ⁸ (2009)	Essai		<ul style="list-style-type: none"> - Thoracic endovascular aneurysm repair. - Transfemoral and transapical aortic valve replacement. - opération simultanée d'anévrismes aortiques et des coronaires. 	<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> - volume important de la salle d'opération; - système d'imagerie puissant avec reconstruction 3D; - fonctionnalité de la salle (passage à la chirurgie ouverte, s'il y a lieu) - équipement permanent pour la salle; <p>Désavantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> - coût important; - ↑ possible des infections; - anesthésie prolongée <p>Conclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'aspect le plus important découlant d'une salle hybride est la collaboration interdisciplinaire des professionnels qu'elle provoque. 		<ul style="list-style-type: none"> - Présentation des activités de la 1^{ère} année. - Salle dédiée aux opérations cardiovasculaires (open surgery and catheter-based interventions).
Foroglou et al ¹⁹ (2009)	Essai			<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas besoin d'images avant biopsie - Le shift du cerveau n'est plus important - Les biopsies peuvent souvent être faites en temps réel - Après la biopsie, l'imagerie peut renseigner sur la présence d'une hémorragie - planification de la trajectoire et la position finale de la sonde. <p>Désavantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Approche dispendieuse mais dont le coût peut 		<ul style="list-style-type: none"> - Article présentant les avantages majeurs de l'imagerie per opératoire en neurochirurgie par IRM

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
				<p>être diminué en partageant l'appareil IRM pour le diagnostic et en considérant une durée d'hospitalisation moindre et moins de complications.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le positionnement du patient dans l'anneau IRM peut prendre 30 min de plus que pour une chirurgie traditionnelle. - La disponibilité d'instruments non ferromagnétiques tend à augmenter. - Danger inhérent d'un champ magnétique intense. 		
Irie et al ¹² (2008)	Série de cas	<ul style="list-style-type: none"> - 100 études de 93 patients (50h, 43f) avec âge moyen 52 ans. - maladie cérébrovasculaire, masses intracrâniennes, maladies spinales 	<ul style="list-style-type: none"> - reconstruction 3D à partir à partir d'images CT. - 55 premières études : image intensifier; 45 autres : détecteur flat-panel - tous les patients : CT 16 coupes à l'admission. 	<ul style="list-style-type: none"> - Même si les images obtenues par DynaCT ne montraient pas un contraste aussi bon qu'au CT, celles-ci étaient adéquates lors de l'opération. - Les images DynaCT étaient très utiles lors d'embolisation de rupture d'anévrismes cérébraux, de drainage ventriculaire. - les images avec faibles contrastes radiographiques étaient de qualité inférieure à celles d'un CT, mais les artefacts étaient un problème. <p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permet des images CT dans un contexte d'angiographie sans déplacer le patient. - Images obtenues en temps réel et permet d'identifier une hémorragie possible. 	4	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluation de l'efficacité clinique et des limites d'un système d'imagerie Siemens (DynaCT) qui produit des images 3D CT à partir d'un système d'angiographie en neurochirurgie. - Système qui intègre les fonctionnalités neurochirurgicales et endovasculaires. - La comparaison des images avec le CT ne fut pas possible car le logiciel étudié était amélioré constamment.

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
				<ul style="list-style-type: none"> - la procédure d'angiographie, le diagnostic et l'opération se font dans la même salle. - Ce système peut permettre la navigation. <p>Limites :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les artefacts et les problèmes de calibration limitent la qualité de l'image. - La différence de contraste est inférieure à celle du CT dans les zones de faibles contrastes radiographiques. - Le temps de reconstruction des images est de 5-10 min. - La dose totale de radiation est d'environ 236 mGy comparativement à 50 pour le CT. <p>Conclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - En neurochirurgie, le logiciel DynaCT sera un outil pratique pour la navigation, la chirurgie stéréotaxique et l'ablation des tumeurs. - Ce logiciel permet de détecter rapidement des complications durant les procédures endovasculaires et chirurgicales. 		
Stadie et al ¹³ (2008)	Série de cas	<ul style="list-style-type: none"> - 106 patients ayant subi une neurochirurgie (meningioma, cavernoma, aneurysm, gliome, etc.) - âge inconnu - sélection inconnue des patients 	<ul style="list-style-type: none"> - Questionnaires pré et post chirurgie remplis par 13 chirurgiens sur 106 cas opérés entre oct 2002 et avril 2006. - 	<ul style="list-style-type: none"> - Dans 24 cas sur 106 (23%), la planification virtuelle a apporté un changement significatif p.r. à la planif. 2D. - Après chirurgie, ce changement de planif. s'est révélé être le meilleur choix. - De façon générale, les 	4	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluation de l'utilité clinique du système Dextroscope après 106 cas.

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
				<p>chirurgiens ont trouvé que le travail préopératoire de planification virtuelle apportait une toute nouvelle compréhension de l'anatomie des patients.</p> <ul style="list-style-type: none"> - C'est une modélisation personnalisée de l'approche chirurgicale. - De façon rétrospective, les chirurgiens ont mentionné que l'utilisation de la neuronavigation n'était pas requise dans 50% des cas. <p>Conclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'utilisation d'un environnement virtuel deviendra un outil courant pour la planification personnalisée de l'approche opératoire permettant un minimum de dissection, une craniotomie petite et une trajectoire optimum. 		
Ayad et al ¹⁴ (2007)	Série de cas	<ul style="list-style-type: none"> - 38 procédures chirurgicales faites sur 35 patient en 3 ans par un chirurgien utilisant la soustraction angiographique (SA) pour neuronavigation. - Description complète des 35 patients et du type d'intervention pour chaque patient. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les 38 interventions sont présentées dans un tableau. - De façon générale, il y eut 7 fistules, 21 AVM crâniens, 2 cranial dural AVF, 2 carotid-cavernous fistulae, 1 distal middle cerebral artery mycotic aneurysm et 5 nouveau-nés avec une malformation Galen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune complication n'est rapportée. - Dans tous les cas (sauf les 5 interventions sur les nouveaux-nés), une confirmation angiographique de l'oblitération de la lésion fut obtenue. - Il semble que l'intégration des techniques endovasculaires et neurochirurgicales devient de plus en plus populaire par l'augmentation du nombre de salles hybrides utilisant un 	4	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluation de la technique « mapping angiographique » ou « soustraction angiographique » lors de résections de lésions vasculaires intracrânielles et spinales.

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
				<p>équipement angiographique de grande qualité.</p> <p>Conclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La neuronavigation angiographique est une technique simple qui permet une localisation précise des lésions vasculaires spinales et crâniennes devant être réséquées. - L'équipement requis est simplement celui utilisé pour l'angiographie per opératoire de routine. 		
Caversaccio et al ¹⁵ (2007)	Série de cas	- Aucune description des données patients.	<ul style="list-style-type: none"> - étude de 406 interventions faites entre 1997 et 2006 avec l'équipement développé. - détails des 406 interventions sous forme de tableau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune complication majeure rapportée. - Aucune amélioration de la qualité de vie des patients après chirurgie n'a été observée. 	4	<ul style="list-style-type: none"> - Revue de l'expérience des 10 dernières années avec un instrument développé pour planifier, naviguer et former les étudiants lors de chirurgies à la base du crâne (Bernese Surgical Gate ORL). - Système basé sur un guidage par infrarouges (3D Localizer) qui permet la localisation en temps réel des instruments. - Représentation de la localisation d'un instrument et des images endoscopiques sur un même moniteur pendant la chirurgie.
Willems et al ¹⁶ (2007)	Étude de cas	- 2 patients, seulement, sans plus de données démographiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Après positionnement d'un cathéter dans la carotide irriguant l'anévrisme, 100 images sont acquises en 8 sec lors d'une rotation de 180 degrés d'un C-arm (avec l'injection d'un colorant). Une image 3D est alors reconstruite. - 2 patients opérés pour anévrismes cérébrales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Démonstration que l'on peut utiliser l'angiographie rotationnelle 3D pour la navigation en établissant une correspondance entre l'environnement spatial de la salle d'opération et l'image obtenue. - Par contre, la précision de la navigation laisse à désirer à cause de différents facteurs, ce qui fut observé chez un patient où l'erreur était importante. 	5	<ul style="list-style-type: none"> - Étude présentant une technique de navigation en temps réel utilisant l'angiographie rotationnelle 3D et un système de pointeur.

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
				Conclusion : - Des améliorations futures devront être apportées à cette approche pour une compréhension de la présentation per opératoire de la physiopathologie vasculaire.		
Murayama et al ¹⁷ (2006)	Série de cas	- Non définie	- 332 procédures exécutées entre nov 2003 et mars 2005 (100 embolisations d'anévrismes, 32 embolisations artériovéneuses, 13 angioplasties ou placements de stents, 9 embolisations de tumeurs, etc..)	- L'on mentionne uniquement que le nouveau système a été utilisé avec succès dans 332 procédures. - (discussion de 2 cas. seulement). Discussion : - Même si le C-arm portatif est adéquat pour les chirurgies vasculaires, la qualité des images est insuffisante pour les interventions neurovasculaires. - La salle hybride endovasculaire présente plusieurs avantages p.r. à une salle d'angiographie conventionnelle : 1. si l'embolisation échoue, le neurochirurgien peut immédiatement démarrer une chirurgie 2. le support des anesthésistes est meilleur. 3. advenant l'apparition de complications, des manœuvres chirurgicales peuvent immédiatement être réalisées. 4. des interventions combinées endovasculaires et chirurgicales peuvent	4	- L'on souligne les avantages d'une salle combinée endovasculaire et neurochirurgie équipée d'un appareil angiographique bi-plan (Axiom Artis BA de Siemens, rehaussé par une unité de flat panels). - Des facilités 3D DS angiographie et microchirurgie sont présentes. - Le C-arm bi-plan comprend une unité de plancher pour plan frontal et un plafonnier pour plan latéral, permettant la fluoroscopie bi-plan. - Pour la visualisation des tissus mous, le nouveau logiciel DynaCT a été installé. - Une salle de 12m x 10m est recommandée pour une salle hybride.

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
				<p>être faites en parallèle</p> <p>5. l'imagerie post-opératoire avec CT peut être remplacée par une acquisition par C-arm 3D et le logiciel DynaCT</p> <p>6. comme l'équipement et la salle d'op sont du ressort de la neurochirurgie, il y a peu de conflit avec la radiologie.</p>		
Truwit et al ¹⁸ (2006)	Étude de cas	- 4 patients (aucune donnée démographique)	- neurobiopsie chez 4 patients	- aucune complication rapportée	4	- L'objectif premier du « Minnesota MR-guided therapy program » était de démontrer la faisabilité de faire des interventions endovasculaires et neurochirurgicales dans une salle de IRM 3T conventionnelle avec soustraction angiographique à l'extérieur de la ligne de 5 G
Matsumae et al ³ (2007)	Série de cas	- aucune description des patients opérés	- interventions chirurgicales pour lésions intraparenchymales (gliomes, tumeurs cervicales, lymphomes)	<ul style="list-style-type: none"> - le temps de préparation pour l'IRM est de 15 min et le temps de préparation pour la chirurgie est moins de 20 min. - aucune complication rapportée. - la sécurité IRM est assurée par l'inf-chef. - cette suite peut aussi être utilisée pour la radiologie interventionnelle non neurologique. - l'IRM et le CT sont disponibles pour tout autre intervention durant l'opération dans la salle d'angio. - lors des 10 premiers mois de fonctionnement, le CT a été utilisé environ 36 fois/jr, l'IRM, 16 cas/jr et l'angio, 1 fois/jr pour des examens de routine. 	4	<ul style="list-style-type: none"> - Présentation d'une suite combinée MRI/CT/angio ainsi que d'une expérience de 10 mois avec cette suite. - Présence d'une table d'opération articulée qui permet le passage du patient, soit dans la salle de l'IRM ou soit dans la salle du CT. - intérêt de placer une telle suite près de l'urgence pour l'utilisation de l'IRM et le CT 24 hres/jr. - Le coût de la table d'opération peut atteindre 700 000\$.

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
				<ul style="list-style-type: none"> - Limitations : 1. les patients ne peuvent être placés sur le côté 2. le temps requis pour transférer un patient pour IRM est de 30 min. 3. si la suite est utilisée, un patient de l'urgence devra être acheminé vers une autre modalité d'imagerie. 		
Lopez et al ²⁰ (2007)	Série de cas	<ul style="list-style-type: none"> - une cohorte de 191 patients sur lesquels on procéda à 204 angiogrammes consécutifs sur une période de 2 ans. - 149 hommes (78%) et 42 femmes (22%) - une seconde cohorte de 18 patients ont permis des mesures d'exposition aux rayons X. 	<ul style="list-style-type: none"> - Angiographie peropératoire de façon consécutive sur les patients nécessitant une neurochirurgie pour anévrismes, malformations artério-veineuses et fistules artériovéneuses. - Calcul du % de pathologies importantes, % de ces cas qui ont nécessité une autre chirurgie et % de complications. - des 204 interventions, 92% durant la chirurgie pour anévrismes 5% pour malformations artério-veineuses et 3% pour fistules artério-veineuses. 	<ul style="list-style-type: none"> - 23% (46) des 204 angiogrammes démontrèrent une pathologie « relevant » (ou positive findings) <ul style="list-style-type: none"> - 12% étaient des lésions résiduelles - 6% étaient des cas d'occlusions - 5% étaient des cas de vasospasmes angiographiques - 10% (21) des patients avec Positive Findings furent opérés. - complications dans moins de 1% - la dose de radiation moyenne/intervention pour les médecins était de 1.018 ± 0.2973 microsievverts et de 0.988 ± 0.2261 microsievverts pour les techniciens. - pas de différence significative entre ces 2 groupes. <p>Conclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les résultats supportent l'utilisation de l'angiographie per opératoire par le nombre de cas positifs ainsi qu'un niveau de 	3	<ul style="list-style-type: none"> - Description d'études où l'on démontre l'apparition de nouvelles hémorragies si les lésions sont traitées de façon incomplète.

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
				dose de radiation négligeable et comparable à celui d'une salle d'angiographie classique.		
Jolesz FA ²¹ (2005)	Essai					<ul style="list-style-type: none"> - L'IRM per opératoire fut introduite en 1993. Depuis, c'est une technique acceptée en neurochirurgie. - La raison principale pour le lent déploiement de cette technologie au bloc opératoire n'est pas son coût élevé mais l'absence de définition des exigences pour les divers types de IRM. - Les applications chirurgicales ne sont pas clairement établies. - L'introduction de l'IRM au bloc opératoire a élargi les horizons des chirurgies de la dimension 2D à 3D. - La raison principale de l'introduction de l'IRM au bloc opératoire est pour tenir compte des déformations du cerveau et ainsi corriger les erreurs de neuronavigation. - De nos jours l'impact le plus important de l'IRM en neurochirurgie est au niveau de la chirurgie des gliomes. Mais il reste à déterminer si la précision des marges permet une meilleure résection et qu'elle est l'issue sur la santé. - Les autres modalités de l'IRM sont aussi très intéressantes : fonctional MRI, diffusion MRI, diffusion tensor imaging, MR angiography et MR spectroscopy. - Une contradiction inhérente de l'IRM est la qualité des images et la configuration ouverte de l'anneau. - Un des premiers développements pour tenir compte de cette contradiction est le système en double beigne où la tête du

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
						<p>patient est dans les 2 champs de force des beignes (0.5T). 2 chirurgiens peuvent opérer et le patient est fixe.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La solution ultime pour permettre un accès illimité au patient est l'approche « tabletop magnet » où l'aimant est sous la table d'opération. Mais les désavantages sont un champ magnétique limité, un petit volume d'imagerie homogène et un gros aimant sous la table. - Les 2 configurations d'aimant disponibles (aimant suspendu de 1.5T ou aimant ouvert de 0.12T) imposent que la chirurgie soit faite à l'extérieur des aimants. La table d'opération doit ainsi entrer et sortir de l'aimant. - La tendance pointe vers un IRM de 3T au bloc. - La force du champ magnétique n'est pas le seul critère pour choisir l'aimant. La flexibilité du positionnement du patient et la mobilité du chirurgien sont aussi critiques. Ces facteurs influenceront le design des futurs blocs opératoires avec navigation. - Les bénéfices de l'imagerie per opératoire est l'information en temps réel de la morphologie du cerveau qui est disponible au chirurgien, l'aidant ainsi à prendre les meilleures décisions opératoires. - L'introduction des aimants 3T permettra l'imagerie vasculaire pour guider les chirurgies vasculaires et endovasculaires. - (description des avantages lors de divers types de chirurgies vasculaires). - La fusion des différentes modalités d'imagerie avec l'IRM est fondamentale pour la neuronavigation. Sans cela, nous ne verrons pas d'effet majeur sur

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
						<p>l'issu de la maladie.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un des bénéfices importants de l'IRM per opératoire est le suivi des déformations du cerveau pendant la chirurgie. - Un développement futur important serait une intégration complète des équipements de thérapie dans l'environnement interventionnel/per opératoire de l'IRM. Ceci permettrait d'utiliser des méthodes pour localiser, viser et monitorer les procédures thérapeutiques en cours. - L'utilisation robotique pour la chirurgie pourra être possible à partir d'un système de guidage. - À ce jour, la modélisation des déformations du cerveau lors de la chirurgie n'est pas fiable, ce qui impose plusieurs sessions d'imagerie pendant la chirurgie. - Les ultrasons focusés par IRM pourraient être une approche intéressante au niveau de la chirurgie. - Par contre, l'objectif ultime de l'Image-guided therapy delivery systems est l'intégration de toutes les informations disponibles.
Iseki et al ⁵ (2005)	Série de cas	- Aucune donnée	- 323 neurochirurgies faites entre mars 2000 et août 2005.	<ul style="list-style-type: none"> - Taux de survie à 4 ans de 100% pour gliome grade II et de 80% pour gliome grade III. - Le taux de résection des tumeurs malignes est le déterminant principal des résultats futurs lors de ce type de chirurgie. Les auteurs rapportent un taux de survie à 5 ans de 14.8 à 10.8% lorsque le taux de résection est moins que 75%, 22.5% lorsque ce taux est plus grand que 95% et 40.9% lorsque la tumeur est complètement enlevée. 	4	<ul style="list-style-type: none"> - L'aménagement de la salle d'op (5,8m x 4,2m) comprend un aimant permanent de 0,3T (Airis II de Hitachi), ouvert. - Le positionnement rapproché de la ligne 5 gauss permet l'utilisation des instr. chirurgicaux conventionnels. - Un système de neuronavigation permet une précision de 1 mm. - L'utilisation des images per opératoires permet une localisation précise des contours de la tumeur pour sa résection. - Actuellement, l'ultrasonographie, le CT et l'IRM sont utilisés pour l'imagerie per opératoire. - En ce qui concerne les images ordinaires pour la chirurgie, les

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
Hirschberg et al ⁴ (2005)	Série de cas	<ul style="list-style-type: none"> - 32 patients choisis parmi 150 ayant eu une crâniotomie pour gliomes grade IV; chirurgies faites entre janvier 1999 et juin 2002. - Aucune mention du choix des 32 patients. - Comprend 10 femmes et 22 hommes avec âge moyen de 60.5 ans. 	<ul style="list-style-type: none"> - Patients opérés pour gliomes grade IV. - Les patients des 2 cohortes reçurent des traitements de radiothérapie. - Des images post-opératoires étaient acquises entre les jours 1 et 3 après l'opération et comparées avec les images per opératoires. - Les patients furent suivis de façon clinique et radiologique pendant les 3 premiers mois. 	<ul style="list-style-type: none"> - Chez les patients opérés avec images per opératoires, 27 patients (88%) avaient des images de bonne qualité tandis que 5 patients avaient des images trop mauvaises pour indiquer des tumeurs résiduelles. - Par contre, des tumeurs résiduelles ne pouvaient être identifiées que dans 22 (81%) des 27 patients. - Aucun décès ou complication n'est rapporté de chaque cohorte pour les 14 jours suivant la chirurgie. - La durée moyenne de la chirurgie avec images per opératoires était de 5 hres, significativement plus longue que la durée pour la chirurgie classique (3.4 hres) - Il n'y avait pas de différence significative entre les 2 cohortes en termes de changements neurologiques ($p > 0.05$). - La survie moyenne pour la cohorte avec IRM était de 14.5 mois et pour la cohorte contrôle, 12.1 mois, ce qui n'est pas statistiquement significatif ($p = 0.14$). <p>Discussion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Selon les auteurs, leur étude ne montre pas que le devenir des patients est meilleur lorsqu'opérés avec images per opératoires. 	4	<p>scanners IRM de faibles et hauts champs magnétiques permettent des images de qualité comparable.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Étude comparant des patients opérés avec imagerie per opératoire IRM (vertical MRI scanner, Signa SP/i 0.5T GE) et opérés de façon classique. - La localisation de la sonde par tracking optique fait partie intégrante du montage de l'aimant. - Puisque l'aimant est ouvert, le chirurgien opère le patient sans avoir à le déplacer pour acquérir les images.

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
				<ul style="list-style-type: none"> - Ces auteurs mentionnent de même que l'IRM ne peut détecter le degré de diffusion d'une tumeur à l'interface tumeur/cerveau. - Même si l'IRM est la modalité qui donne les meilleures images, l'intégration des ultrasons avec neuronavigation ou le guidage par fluorescence sont deux modalités à surveiller. 		
Nimsky et al ^o (2005)	Série de cas	<ul style="list-style-type: none"> - 313 patients opérés (avec images IRM haute intensité) entre avril 2002 et février 2004 - aucune indication démographique 	<ul style="list-style-type: none"> - 118 procédures transsphénoïdales, 47 procédures « burr hole » et 148 craniotomies. - 	<ul style="list-style-type: none"> - Pour les procédures transsphénoïdales, le taux de résection a pu être augmenté de 56.7% à 83.8% chez 20 patients, suite à la visualisation de la tumeur restante. - Pour les procédures « burr hole », l'imagerie haute intensité IRM permet l'exclusion de l'hémorragie intracérébrale et la confirmation du site de biopsie. - Concernant les patients opérés pour résection de gliomes (72), l'IRM confirma la résection initiale complète chez 18 patients (25%); la poursuite de la chirurgie suite à l'IRM positive résulta en un taux de 40.3% de résection complète. - Parmi les 29 patients montrant une résection complète, 11 (37%) résections étaient attribuables à l'imagerie IRM qui montrait encore des tumeurs. 	4	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de l'IRM au bloc opératoire lors de neurochirurgies. - Modification de la salle d'opération en août 2001 pour installer un IRM haute intensité (Magnetom Sonata 1.5T, Siemens) couplé à un système de neuronavigation.

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
				<ul style="list-style-type: none"> - Une indication intéressante pour l'IRM per opératoire est la chirurgie de l'épilepsie. - L'erreur moyenne de neuronavigation variait entre 0.3 et 2.9 mm. - Chez 170 patients opérés avec neuronavigation, la neuronavigation fut mise à jour en temps réel chez 42 patients (24.7%) permettant l'identification des tumeurs résiduelles et une compensation pour le déplacement du cerveau. - La navigation fonctionnelle (ajout des données fonctionnelles aux données de navigation) est un important add-on à l'IRM per opératoire. - La spectroscopie IRM peut aussi nous informer sur le contour diffus de la tumeur. - Une autre application de l'IRM per opératoire haute intensité est l'angiographie IRM. - L'IRM per opératoire haute intensité est définitivement supérieure à l'IRM à faible champ à cause de la qualité supérieure des images. 		
McPherson et al ²² (2005)	Essai					<ul style="list-style-type: none"> - La stéréotaxie sans cadre utilise la modélisation par ordinateur pour atteindre les mêmes résultats que la stéréotaxie avec cadre, mais sans les inconvénients. - Cette technologie s'est montrée très fiable lors de biopsies ou d'interventions chirurgicales.

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
						<ul style="list-style-type: none"> - Par contre, la stéréotaxie sans cadre perd de la précision à mesure que la chirurgie progresse car le cerveau se déforme : résection des tumeurs, perte de liquide, utilisation de rétracteurs. - L'ultrasonographie per opératoire est aussi utile pour localiser les lésions et les tumeurs résiduelles mais ne peut pénétrer le crâne. Elle a aussi de la difficulté à localiser les tumeurs chez les patients ayant reçu de la radiothérapie. - L'IRM est considérée comme le gold standard pour l'imagerie des tumeurs. - Selon ces auteurs, une récente rétrospective comparant les patients opérés avec et sans IRM montre une survie augmentée pour les patients opérés pour un gliome de faible intensité. - Malgré des inconvénients comme un coût élevé et des temps opératoires plus longs, de nouvelles modalités se sont ajoutées telles l'IRM fonctionnelle, l'imagerie par diffusion et la spectroscopie IRM. - Le mapping du cortex cérébral permet aussi au chirurgien d'identifier les régions du cerveau responsables des fonctions élevées. - Les nouveaux endoscopes permettent une meilleure vision et sont surtout utilisés au niveau des ventricules. - La robotique pourrait aussi jouer un rôle important en neurochirurgie en permettant au chirurgien de faire de la microchirurgie à l'extérieur de l'aimant.
Darakchiev et al ⁷ (2005)	Série de cas	- Les premiers 30 patients pour traitement d'un	- Chirurgie transsphénoïdale pour adénome	- Parmi les 30 patients opérés, une 2 ^e exploration pour	4	- Revue de l'utilisation de l'IRM à faible champ pour la chirurgie des adénomes pituitaires ainsi qu'un

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
		<p>adénome pituitaire, entre 1998 et 2004.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 18 hommes, 12 femmes âgés entre 24 et 74 ans - 26 patients avec un diagnostic de tumeurs et 4 patients avec récurrence après résection d'une tumeur. 	<p>pituitaire avec IRM per opératoire.</p>	<p>résection de tumeurs résiduelles fut faite chez 19 patients et une 3^e, chez 3 patients, suite à une IRM per opératoire.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 15 des 16 patients avec difficultés visuelles ont montré une amélioration après opération. - Parmi les patients opérés pour résection totale d'une tumeur, l'IRM per op a identifié des tumeurs résiduelles dans 56% des cas. <p>Discussion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - IRM peut être partagé avec l'urgence et la radiologie, entre autres. - Coût des salles d'opération rapprochées : 1.5 M\$ - Coût de fonctionnement annuel : 250 000\$ - Le temps ajouté à la chirurgie est environ 30 min par intervention. 		<p>suivi additionnel sur les patients opérés.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Description de leur expérience avec IRM (Hitachi AIRIS II, 0.3T) dans une salle attenante à une salle de neurochirurgie où les cas lourds sont opérés; par contre il est possible de faire des interventions moins lourdes dans la salle même de l'IRM, à l'extérieur de la zone 5G. - Selon ces auteurs, les avantages de l'imagerie IRM per opératoire en neurochirurgie est la possibilité d'excision maximale de la tumeur, artefacts minimum avec l'IRM post-op et la planification rapide de traitements additionnels. - Le design le plus intéressant d'une salle d'op avec IRM per opératoire est une zone de chirurgie à l'extérieur de la ligne 5G où l'on peut utiliser les instruments ferromagnétiques; une rotation de la table et une translation vers l'aimant permettrait l'acquisition d'images IRM.
Albayrak et al ²³ (2004)	Revue systématique					<ul style="list-style-type: none"> - Le CT prit sa place comme instrument diagnostique incontournable en neurochirurgie au début des années 1970 et devint une importante modalité pour la stéréotaxie sans cadre. - Par contre, la stéréotaxie avec cadre demeure l'approche préférée lorsque la tumeur est < 10 mm. - De même, la neuronavigation basée sur la stéréotaxie est sujette à des erreurs et ne peut suivre adéquatement la chirurgie car les données ont été acquises avant la chirurgie. - Pour des raisons différentes, le CT, l'ultrasonographie, la radiographie et la fluoroscopie ont des limites pour la neurochirurgie. - L'IRM devient de plus en plus la

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
						<p>modalité de choix en neurochirurgie pour distinguer les tissus normaux et anormaux avec une excellent sensibilité et spécificité.</p> <ul style="list-style-type: none"> - De même, il est possible de coupler d'autres modalités à l'IRM soit l'IRM fonctionnel, la diffusion IRM, la spectroscopie IRM, l'angiographie IRM et la veinographie IRM. - Le cerveau se déforme jusqu'à 1 cm pendant la chirurgie. - L'IRM permet ainsi de suivre les déplacements du cerveau. - L'IRM pourrait devenir le gold standard pour la résection des gliomes (low grade) et des adénomes pituitaires. - Les auteurs concluent en mentionnant que l'IRM combinée à la navigation sans cadre a été une aide précieuse à la neurochirurgie. Par contre, les bénéfices estimés doivent être confirmés par de plus larges études randomisées. - (présentation du système utilisé à the Brigham and Women's Hospital à Boston ainsi que d'autres systèmes en utilisation) <p>Discussion</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dans le futur les systèmes à champs magnétiques importants s'imposeront par la qualité des images. - L'addition de l'IRM fonctionnelle, l'imagerie par perfusion et diffusion ainsi que la spectroscopie IRM seront standards dans le futur. - L'utilisation de la robotique est appelée à jouer un rôle en neurochirurgie. - Puisque l'IRM permet au chirurgien d'apprécier la déformation du cerveau au cours d'une intervention, le succès de cette intervention dépendra de

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
Nimsky et al ⁹ (2004)	Série de cas	<ul style="list-style-type: none"> - 200 patients opérés entre avril 2002 et juillet 2003 dont 116 hommes (45.0 ans) et 84 femmes (47.6 ans) - Âge moyen global : 46.1 ans (7-84 ans) - Parmi les diagnostics : adénomes pituitaires (65), gliomes (63), craniopharyngioma (11), épilepsie cryptogénique (22) - Aucune indication sur le choix des patients. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'IRM per opératoire fut utilisée pour 77 procédures transsphénoïdales, 100 craniotomies et 23 procédures « burr hole ». - 	<ul style="list-style-type: none"> - L'imagerie IRM démarrait 2 min après le OK du chirurgien. - Le temps de préparation pour la neuronavigation était moins de 10 min. - Les images obtenues p.r. aux images de faibles champs étaient clairement supérieures. - L'utilisation de l'IRM s'est traduite par une modification de la stratégie chirurgicale chez 55 patients (27.5%). - L'IRM per op résulta en une augmentation du taux de résection complète des tumeurs de 56.2% à 87.5%. - 4 patients ont développé une infection et ont été revus. 	4	<p>plus en plus sur l'habileté du chirurgien.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Article qui présente l'expérience clinique de ces chercheurs avec l'IRM haute intensité per opératoire chez 200 patients. - IRM : 1.5T Magnetom Sonata Maestro Class de Siemens
Jankovski et al ²⁴ (2008)	Série de cas	<ul style="list-style-type: none"> - 21 premiers patients opérés en neurochirurgie dans une nouvelle salle hybride, entre mars et juin 2006. - âge : entre 3 et 80 ans (moyenne 51 ans). 	<ul style="list-style-type: none"> - Patients opérés pour gliomes (6), méningiomes (3), adénome pituitaire (3), tumeur intravasculaire (2), métastases (3), épilepsie (3) et schwannome (1). 	<ul style="list-style-type: none"> - Pour les 21 patients, il y eut 26 acquisitions d'images IRM per op. - Aucun accident électromagnétique. - Aucun accident pendant le transfert du patient. - Brûlures observées chez 2 patients dues à la transpiration résultant de leur contact avec une surface plastifiée. - En moyenne, le temps opératoire additionnel moyen pour les 10 derniers cas dû à l'IRM a été de 78 ± 20 min, incluant un temps moyen de 34.1 min pour l'acquisition des images IRM. - Pour 3 des 20 cas 	4	<ul style="list-style-type: none"> - Les auteurs mentionnent la présence de la déformation per opératoire du cerveau. - Depuis la première utilisation d'un appareil IRM en salle d'op, deux concepts ont évolués : <ul style="list-style-type: none"> o 1) Rafraichissement en continu des images per opératoires et le chirurgien opère en même temps; obligation que tous les instruments utilisés soient compatibles IRM. o 2) Prise des images IRM de façon non-continue où le patient est glissé dans l'aimant; deux approches ont été développées soit IRM avec aimants de 1.5 ou 3T et aimants faibles intensités; l'utilisation d'aimants de faible puissance permet l'utilisation

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
				<p>retenus, l'interprétation IRM impliqua une seconde résection.</p> <ul style="list-style-type: none"> - D'un point de vue chirurgicale, la résolution spatiale est le paramètre le plus important relatif à la qualité de la résection chirurgicale. - Il y a une différence notable entre un aimant de 1.5 et 3 T au niveau de la résolution spatiale. - Selon ces auteurs, une seule acquisition des images IRM est requise par patient pour confirmer la qualité de la résection, les systèmes de navigation étant performants. - Même si on note un temps additionnel pour la chirurgie, ceci constitue un bénéfice additionnel pour le patient. 		<p>d'instruments non-IRM compatibles; le principal désavantage des aimants puissants est l'arrêt de la chirurgie pour la prise des images; ce concept est le plus utilisé.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour atteindre un coût-efficacité élevé, 2 salles furent planifiées : une pour l'IRM et une seconde pour la chirurgie; on pouvait ainsi partager l'IRM pour le diagnostic et utiliser des instruments chirurgicaux standards. - (excellente description des critères de design pour la mise en place d'un IRM pour utilisation per opératoire) - La salle d'op mesure 50 m² et la salle IRM, 33 m²; les 2 salles sont séparées par une mini-salle de 15 m². - La qualité de l'air dans la salle d'op et la salle IRM est identique. - Puisque l'IRM peut être utilisé en recherche et en diagnostic, la qualité de l'air n'a donc pas à être de qualité « opératoire » lorsque l'appareil est utilisé en ces modes; il faut donc être en mesure de contrôler la positivité de la pression de l'air (positive pressure). - Historiquement, l'IRM per opératoire fut développée conjointement avec les systèmes de neuronavigation pour plus de précision.
Gasser et al ²⁵ (2005)	Série de cas	- 4 patientes âgées de 19-64 ans (moyenne 39 ans)	<ul style="list-style-type: none"> - Neurochirurgie pour corriger des lésions près du cortex moteur. - Application de stimuli électriques pour suivre les zones sensibles du cerveau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le résultat de la stimulation identifia la même structure cervicale que le système de neuronavigation. <p>En conclusion, selon ces auteurs, l'IRM fonctionnelle per opératoire est une méthode sécuritaire pour suivre les déformations</p>	4	

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
Peters T ²⁶ (2006)	Revue systématique			du cerveau per opérateires.		<ul style="list-style-type: none"> - Première utilisation de l'imagerie pour localiser un objet dans un individu : 13 janvier 1896 en Angleterre! - La chirurgie est parfois extensive pour atteindre le site réel de la maladie (ex. pontage coronarien). - Les systèmes de navigation basés sur l'image ont leur racine dans les procédures stéréotaxiques neurochirurgicales. - À moins d'une anomalie intracrânienne, une radiographie standard ne peut montrer les différences de contraste pour les tissus mous. - Pour améliorer la visualisation, la pneumo-ventriculographie et la ventriculographie furent développées. - Les 2 limitations de la radiographie conventionnelle sont 1) la perte de la profondeur et 2) la distorsion des structures, les Rx étant issus d'un point. - Puisque différentes modalités d'imagerie ont leur propre information, il était logique de combiner toutes ces informations pour la planification de la chirurgie. - La précision atteinte avec les frameless stereotaxic systems est de 0.5 à 1.5 mm. - Il y a un enjeu à convertir les informations 2D obtenues en temps réel (ex. ultrasons, images fluoroscopiques) en 3D car l'information 3D du CT et IRM ne peuvent être facilement obtenues per opératoire. - Des études ont démontré que le déplacement du cerveau lors d'une chirurgie peut atteindre 2 cm. - (description de différentes approches pour utiliser l'IRM en

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
						<p>salle d'op.)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Même si les systèmes IRM per opératoires sont utilisés depuis plus de 10 ans, l'efficacité de ces systèmes est toujours mise en question en termes de coût-efficacité, patient outcome, résolution de l'image ou de la compatibilité opératoire. - Le CT connaît une certaine utilisation récente au bloc opératoire en permettant la reconstruction d'images 3D à partir de l'acquisition d'images angiographiques per opératoire en rotation. Ils sont utilisés pour des chirurgies vasculaires. - Les ultrasons sont utilisés de façon per opératoire en conjonction avec d'autres modalités d'imagerie tel l'IRM. - Lorsqu'un appareil IRM est utilisé per op, les causes les plus probables de distorsion dans l'image sont le manque d'homogénéité dans le champ magnétique, la présence de non-linéarités spatiales dans les gradients ou une perturbation du champ magnétique par une influence interne ou externe. <p>Conclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le plus grand défi pour l'adoption de systèmes de navigation basés sur l'image n'est pas la technologie mais l'interface usager. - La fusion des différentes images ou données doit se faire de façon automatique, avec une intervention minimum de l'utilisateur. De même, l'interface avec ces systèmes ne soit pas reposer sur un clavier ou une souris... - L'intégration de ces technologies de navigation avec le système d'information hospitalier jouera un rôle important pour l'acceptation

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
						<p>de ces systèmes.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La manipulation des informations 3D devra être développée si nous ne voulons pas que les développements des nouveaux outils (systèmes de visualisation, interaction ultra rapide, etc) ne soient perdus. - Toutes les images qui se trouvent dans la base de données du patient doivent être disponibles immédiatement dans la salle d'op et corrélées avec les images per opératoires. - Un des points les plus importants des systèmes de navigation basés sur l'image est leur facilité à repérer les instruments utilisés dans le champ opératoire et de les situer par rapport aux images et au patient. - Le développement de nouveaux systèmes devra se faire à partir des besoins du chirurgien et non, de l'adaptation de systèmes existants en imagerie aux besoins du bloc opératoire.
Angelini GD Lancet. 1996 ²⁴	Série de cas	adultes	Pontage et dilatation coronarienne : Intervention hybride, soit lors de la même scéance, soit lors de séances séparées			
de Canniere, D et al. (2001) ²⁷	étude comparative non-randomisée impliquant 2 groupes de 20 patients comparables	adultes	Pontage et dilatation coronarienne : premier groupe a subi une intervention hybride en deux temps et le deuxième groupe a subi un double pontage chirurgical. Les procédures n'étaient effectuées dans une salle hybride mais plutôt de façon séquentielle.	pour une survie comparable, la cohorte ayant subi une intervention hybride a eu une durée de séjour moins longue aux soins intensifs, une diminution des besoins en transfusions sanguines, moins de douleur, une meilleure qualité de vie et un retour au travail plus rapide	3	La question n'est pas si cette approche est valable, seulement s'il est préférable de l'effectuer en un temps lors de la même procédure ou en deux temps.

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation ¹	Commentaires
Zhao, D. X. et al. (2009) ²⁸	étude de cohorte rétrospective avec groupe comparatif	adultes	Pontage et dilatation coronarienne. Les auteurs ont voulu répondre à 2 questions : i) y a-t-il un avantage à effectuer une intervention hybride en un seul temps dans un bloc opératoire et ii) l'angiographie percutanée, effectuée en péri-opératoire, est-elle indiquée?	avantages potentiels évoqués : la possibilité de ré-intervention chirurgicale immédiate dans le cas d'une procédure percutanée infructueuse ou d'une complication lors de la procédure percutanée, la ré-intervention immédiate, si la coronarographie démontre un résultat inadéquat. Les patients pouvant bénéficier d'une approche hybride sont difficiles à identifier et ne représenteraient qu'une minorité de patients devant subir une intervention chirurgicale. Dans leur cohorte, seulement 18% des patients ont subi une telle intervention.	3	
Peels, J. O. et al. (2007) ²⁹	Prospective, série de cas		Pontage chirurgical, dilatation coronarienne percutanée ou valvuloplastie chirurgicale		3	Approche hybride, mais pas dans le contexte d'une salle hybride.
Murphy, G. J. et al. (2004) ³⁰	éditorial					le nombre de patients pouvant bénéficier d'une approche hybride est très faible et risque de diminuer davantage avec le développement des approches chirurgicales minimalement invasives
Grandjean, J. G. (2007) ³¹	éditorial					Des territoires vasculaires, initialement inaccessibles par ces techniques, le sont devenus avec le temps
Colombo, A. and A. Latib (2009) ³²	éditorial					Il n'est pas démontré que l'angiographie per-opératoire diminue l'incidence d'échecs, ceux-ci étant multifactoriels
Sikkink, C. J. et al. (2008) ³³	Revue, non-systématique					Revue de littérature sur l'organisation et l'infrastructure nécessaire pour une salle hybride

Auteurs	Étude	Population	Intervention	Résultats	Évaluation¹	Commentaires
						fonctionnelle.

¹. L'évaluation des articles a été faite à partir du document « Levels of Evidence (Centre for Evidence-Based Medicine, Oxford, May 2001) »

ANNEXE C

Études cliniques

Auteurs	Paramètres	Résultats de l'intervention
Ayad et al ¹⁴ (2007)	Oblitération de la lésion vasculaire	Lors de 38 procédures exécutées chez 35 patients, 37 oblitérations complètes ont été atteintes. Aucune complication n'a été observée.
Lopez et al ²⁰ (2007)	Pathologies résiduelles	Parmi 204 angiogrammes per opératoires pour occlusions d'anévrismes, 46 (23%) ont montré des pathologies résiduelles qui ont nécessité une nouvelle intervention chez 21 patients (10%). Complications notées chez moins de 1%.
Iseki et al ⁵ (2005)	Taux de survie	Après 323 neurochirurgies avec imagerie IRM per opératoire, le taux de survie pour les gliomes grade II et III étaient de 100% et 80%, respectivement, par comparaison aux taux de 70% et 27% rapportés dans le Report of Brain Tumor Registry of Japan (1969-1993).
Hirschberg et al ⁴ (2005)	Changements neurologiques post-opératoires Taux de survie	Après comparaison de 2 cohortes de 32 patients opérés pour des gliomes de grade IV (une cohorte avec imagerie IRM per opératoire et une cohorte contrôle), aucune différence statistiquement significative n'a été notée au niveau des changements neurologiques post-opératoires ($p>0.05$) ainsi qu'au niveau du taux de survie ($p=0.14$). Aucune complication ainsi qu'aucun décès per opératoire n'ont été notés.
Nimsky et al ⁶ (2005)	Taux de résection complète	L'imagerie IRM lors de la résection de gliomes chez 72 patients a permis d'augmenter le pourcentage de résection totale de 18 patients (25%) à 29 patients (37,9%) après une reprise de l'intervention. Aucun accident ferromagnétique ni relié à la présence de champs magnétiques.
Darakchiev et al ⁷ (2005)	Taux de résection complète	Lors d'une neurochirurgie chez 30 patients présentant des macroadénomes pituitaires, l'IRM per opératoire démontra la présence de tumeurs résiduelles chez 56% des patients où l'on visait une « gross total resection » et chez 77% des patients dont l'objectif de la chirurgie était une « subtotal resection ».
Nimsky et al ⁹ (2004)	Taux de résection complète	L'imagerie per opératoire IRM effectuée lors de 200 interventions chirurgicales a permis une modification de la stratégie chirurgicale chez 55 patients (27,5%). L'imagerie per opératoire IRM permet une augmentation du taux de résection complète des tumeurs de 56,2% (27 lésions sur 48) à 87,5% (42 lésions sur 48).
Jankovski et al ²⁴ (2008)	Taux de résection complète	L'imagerie per opératoire IRM permet d'identifier une zone de tumeurs résiduelles chez 3 patients sur 20. Aucun accident électromagnétique ni relié au transport du patient.
Zhao, D. X., M. Leacche, et al. (2009) ²⁸	21 paramètres, dont les besoins en transfusions en postopératoire, l'incidence d'insuffisance rénale, l'incidence d'accident	Seules différences significatives CPK et CK-MB à 48 heures plus élevé dans le groupe hybride ($p=0.01$).

	cérébrovasculaire, l'incidence de complication cardiaque (e.g. insuffisance aigue, arythmie), la mortalité, et la durée de séjour.	
--	--	--

ANNEXE D

Salle opératoire hybride

Pré requis pour l'installation d'un appareil IRM

Neurochirurgie :	<ul style="list-style-type: none">• Le transfert du patient doit se faire sans heurt.• La table de transfert doit permettre un nombre important de positions pour la chirurgie.• L'espace doit être suffisant autour de la table pour installer le matériel requis pour le transport ou la chirurgie.• Il doit être possible d'exécuter certaines procédures chirurgicales dans la salle IRM.
Anesthésiologie :	<ul style="list-style-type: none">• Il doit être possible de contrôler/surveiller les paramètres vitaux du patient et de le ventiler à tout moment au cours de l'intervention, quel que soit le type d'appareil IRM installé.
Soins infirmiers et biotechnologie :	<ul style="list-style-type: none">• L'accès aux fournitures des divers endroits de storage doit être facile, de même que l'accès au champ opératoire.• L'équipement doit être ergonomique.
Neuroradiologie :	<ul style="list-style-type: none">• Pour minimiser les accidents, tout objet ferromagnétique doit être proscrit à l'intérieur des lignes de champ magnétique de 0.5 mT.• Pour assurer une image de qualité, tout objet ferromagnétique doit être éliminé à l'intérieur des lignes de champ magnétique de 0.1 mT.• Pour obtenir un champ magnétique homogène, l'aimant doit être situé de façon symétrique par rapport à la structure du bâtiment.• Toute source potentiel d'interférences électromagnétiques doit être exclue de la cage de Faraday.• Pour prévenir toute infiltration d'hélium dans la salle opératoire, la pression de l'air dans la salle opératoire doit être légèrement supérieure à celle de la salle IRM.• L'équipement IRM doit idéalement être disponible pour des fins thérapeutiques et diagnostiques.
Hygiène :	<ul style="list-style-type: none">• La qualité de l'air dans la salle IRM doit être équivalente à celle de la salle opératoire, soit 25 changements à l'heure, une filtration avant la sortie et une pression positive dans la salle IRM lorsqu'utilisée comme salle opératoire.• La stérilité du champ opératoire doit être maintenue lors du transfert du patient entre les deux salles.• Toutes les surfaces de la salle opératoire et de la salle IRM pourront facilement être nettoyées.
Architecture :	<ul style="list-style-type: none">• Les exigences architecturales doivent être respectées pour la salle opératoire et la salle IRM.
Acoustique :	<ul style="list-style-type: none">• Puisque le niveau sonore permis dans une salle opératoire est d'environ 40 dB, la salle opératoire doit être isolée de façon acoustique par rapport à la salle IRM où on peut mesurer un niveau sonore > 100dB.

