



Compétences non techniques en neurochirurgie

Pierre-Louis Hénaux

► To cite this version:

Pierre-Louis Hénaux. Compétences non techniques en neurochirurgie. Médecine humaine et pathologie. Université de Rennes, 2019. Français. NNT : 2019REN1B012 . tel-02285407

HAL Id: tel-02285407

<https://theses.hal.science/tel-02285407v1>

Submitted on 12 Sep 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE DE RENNES 1
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 605

Biologie Santé

Spécialité : *Analyse et Traitement de l'Information et des Images Médicales*

Par

Pierre-Louis HENAU

Compétences non techniques en neurochirurgie

Thèse présentée et soutenue à Rennes, le 1^{er} avril 2019

Unité de recherche : U1099 LTSI MediCIS Modélisation des connaissances et procédures chirurgicales et interventionnelles

Rapporteurs avant soutenance :

Pierre-Hugues ROCHE PU-PH, AP-HM-Hôpital Nord

Françoise DARSES PU, Institut de Recherche Biomédicale des Armées

Composition du Jury :

Président : Xavier MORANDI PU-PH, CHU Rennes

Rapporteurs : Pierre-Hugues ROCHE PU-PH, AP-HM-Hôpital Nord

Françoise DARSES PU, Institut de Recherche Biomédicale des Armées

Examineurs : Christine CHAUVIN PU, Université de Bretagne Sud

Estelle MICHINOV PU, Université de Rennes 2

Pierre POTTIER PU-PH, Université de Nantes

Dir. de thèse : Laurent RIFFAUD PU-PH, CHU Rennes

Co-dir. de thèse : Pierre JANNIN DR, Université Rennes 1

Remerciements

A Mélina, mon épouse et Eugénie et Jean, mes deux enfants.

A mes parents.

Je remercie les Professeurs Pierre-Hugues Roche et Françoise Darses d'avoir accepté d'être rapporteurs de ce travail.

Je remercie les Professeurs Christine Chauvin et Pierre Pottier d'avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie le Professeur Estelle Michinov pour sa collaboration et pour avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie le Professeur Laurent Riffaud et Mr Pierre Jannin pour leur accompagnement tout au long de ce travail de thèse.

Je remercie l'ensemble de l'équipe MediCIS pour leur aide, les nombreux et riches échanges, leur soutien et tous les bons moments passés ensemble.

Je remercie le Professeur Xavier Morandi et l'ensemble de l'équipe du service de Neurochirurgie du CHU de Rennes sans lesquels ce travail n'aurait pas vu le jour.

Je remercie le Docteur Carol-Anne Moulton et l'ensemble du Wilson Centre de l'Université de Toronto (Ontario, Canada) pour m'avoir accueilli pendant l'année universitaire 2016-2017. Je les remercie pour les très nombreux échanges autour de la formation médicale et pour m'avoir fait découvrir les richesses de la recherche qualitative.

Je remercie le Professeur Mark Bernstein de m'avoir accueilli dans le service de Neurochirurgie du Toronto Western Hospital (Toronto, Ontario, Canada).

Je remercie le Professeur Michael D. Cusimano de m'avoir accueilli dans le service de Neurochirurgie du St. Michael's Hospital (Toronto, Ontario, Canada).

Table des matières

Introduction.....	4
Chapitre 1 : Etat de l'art.....	9
1.1 Les compétences non techniques en chirurgie.....	10
1.1.1. Les compétences techniques	10
1.1.2. Taxonomie et évaluation des compétences non techniques	11
1.2 Les spécificités de la neurochirurgie.....	19
1.1.1. Les enjeux techniques	19
1.1.2. Les enjeux cliniques.....	19
1.3 Non-technical skills in Neurosurgery : a systematic review of the literature	20
1.4. Conclusion	39
Chapitre 2 : Compétences interpersonnelles - le travail en équipe et la communication.....	40
2.1 Les interruptions de flux de travail	41
2.2 Le travail d'équipe et la familiarité au sein d'une équipe.....	41
2.3. Relationships Between Expertise, Crew Familiarity and Surgical Workflow Disruptions: An Observational Study	42
2.4. Conclusion.....	53
Chapitre 3: Compétences cognitives - Représentation mentale durant le planning chirurgical pré-opératoire	54
3.1 La représentation mentale	55
3.2 Le planning chirurgical pré-opératoire.....	56
3.3 La méthodologie de la théorisation enracinée	57
3.4 Taking a Snapshot of the Surgeon's Mind: The Role of Mental Representation during Preoperative Surgical Planning.....	58
3.5. Conclusion	71
Conclusion.....	72
Perspectives d'étude.....	76
Références	80
Résumés en français.....	96

Introduction

Depuis les années 1990, le terme de compétence est venu s'inviter dans la majorité des conversations de formation médicale à travers le monde(1). Cela fait suite logiquement à un changement de paradigme initié également dans le monde de l'éducation en général. Ce passage d'une éducation basée sur l'instruction à une approche par compétence a des racines à la fois sociologiques et politiques. La personnalisation et la responsabilisation sont des pierres angulaires de cet apprentissage par compétence. Les curriculums des études médicales se sont ainsi transformés au fil du temps(2). Les listes de compétences ont remplacé progressivement les programmes autrefois ordonnancés de façon temporelle et par thème. Même si le terme compétence pourrait se définir comme une capacité maîtrisée, force est de constater que ce terme a de nombreux synonymes. La littérature anglo-saxonne qui est la plus riche dans le domaine de l'exploration de la formation médicale basée sur les compétences emploie de façon indifférenciée les termes *skill*, *competency*, *proficiency*, *ability*, toutes regroupant le même concept. Pour une clarification du discours, nous utiliserons préférentiellement tout au long de ce manuscrit dans les parties écrites en français le terme compétence et dans les parties écrites en anglais le terme *skill*.

Dans son usage courant, le terme compétence a plutôt une valeur positive sous-tendant une qualité de l'individu compétent. Cependant, définir un individu ou un professionnel compétent dans le contexte du travail demeure difficile. Ce terme de compétent aura des définitions tout à fait différentes selon l'interlocuteur rencontré. Prenons l'exemple d'un chirurgien qui est le sujet qui nous intéresse dans ce travail ; il est fort à parier que la majorité de la population le définisse compétent vis à vis du caractère technique de sa compétence. La dextérité des chirurgiens est une des premières caractéristiques qui se dégage de cette profession du point de vue de la population. De nombreux éléments de langage courant sous-tendent cette hypothèse comme « une frappe chirurgicale » dans le milieu du sport définie par une action d'une précision millimétrique, ou bien « une bonne patte chirurgicale » qui définit de façon imagée la dextérité du chirurgien. Néanmoins, on sent bien qu'à travers cette définition de la compétence on ne définit finalement que le bout de la chaîne (*i.e.* le résultat final de la chirurgie). Comme dans d'autres pans de la médecine d'ailleurs, la formation médicale est avant tout une formation qui privilégie l'individu avant le collectif(1). Les médecins sont à fortiori formés et évalués sur leurs niveaux individuels de connaissances et d'habiletés. Là encore utiliser cette lentille pour approcher et tenter de définir le concept de compétence est insuffisant.

Le domaine de la chirurgie de par son environnement sensible, ses enjeux de qualité et de sécurité se rapproche naturellement d'autres univers tels que l'industrie nucléaire, l'aviation civile et le domaine militaire. Ces autres domaines ont compris bien avant le milieu médical que l'individu était certes important dans ces environnements sensibles et complexes mais devait être également appréhendé dans son interaction avec les autres individus. Ainsi la technicité voire même la connaissance déclarative de chaque individu composant un élément de l'ensemble d'individus interagissant ensemble ne suffisaient pas à atteindre des niveaux suffisants de sécurité. En 1999, le rapport *To Err Is Human: Building a Safer Health System* rédigé par l'U.S. Institute of Medicine (3) a mis au devant de la scène la problématique des erreurs en médecine et a aidé au développement d'une culture de sécurité au sein de cette profession. Ce rapport fait date depuis lors. L'étude du facteur humain et de facto des compétences non techniques (CNT) dans le milieu médical s'est donc tout à fait naturellement accélérée après la publication de ce rapport. Il est à noter que plus de 70% des événements indésirables graves seraient liés à des problèmes humains de coordination et de communication(4). Les CNT peuvent se définir comme une « combinaison de savoirs cognitifs, sociaux, et des ressources personnelles complémentaires des savoir-faire procéduraux qui contribuent à une performance efficiente et sûre »(5). Le terme CNT a de nombreux synonymes dans la littérature. On utilise tout autant les termes anglais de *soft skills*, *behavioral skills*, *human factors* que leurs équivalents francophones de savoir être par opposition au savoir-faire. Dans le domaine médical, la première discipline à s'être intéressée à l'étude de ces CNT est l'anesthésiologie-réanimation. De part un travail qui se doit d'être collaboratif, les spécialités chirurgicales leur ont emboîtés le pas et s'y sont intéressés au fil des années(6). En commençant par s'intéresser aux situations de crises avec le concept de Crisis Resource Management (CRM) provenant du domaine aéronautique(7), les études se sont diversifiées dans le domaine général des CNT. La *Surgical Safety Checklist* fait maintenant partie intégrante depuis 2009(8) de la plupart des blocs opératoires à travers le monde. Personne ne viendrait actuellement remettre celle-ci en cause, ni n'oserait revenir en arrière en terme de sécurité.

Malgré tous ces développements, des points d'interrogation demeurent et des domaines restent encore inexplorés. L'équipe INSERM MediCIS - UMR U1099 LTSI de l'Université de Rennes 1 (Rennes, France), depuis plusieurs années, à travers une collaboration avec le service de Neurochirurgie du CHU de Rennes, cherche à travers ses travaux à mieux définir les différences compétences chirurgicales nécessaires. A travers une meilleure évaluation de celles-

ci, l'étape suivante est un meilleur enseignement de celles-ci, un raccourcissement des courbes d'apprentissage et la proposition d'une assistance informatique pour le chirurgien dans son quotidien. Avec ce travail de thèse, nous avons cherché à participer à cette meilleure compréhension de ces compétences chirurgicales en se focalisant sur les CNT à travers l'exemple de la neurochirurgie, afin de dégager des pistes d'amélioration de la qualité et sécurité des soins au quotidien et proposer des pistes d'enseignement spécifiques de ces compétences pour les futurs professionnels de ce domaine.

La première partie de ce travail fait un état des lieux de la littérature sur les CNT en chirurgie. Après des définitions générales et un positionnement de ces compétences vis-à-vis notamment des compétences techniques et procédurales, nous présentons une revue systématique de la littérature des CNT dans le domaine spécifique de la neurochirurgie. La deuxième partie de ce travail s'intéresse quant à elle aux compétences interpersonnelles en focalisant le propos sur le travail en équipe et la communication. Le concept de familiarité au sein d'une équipe est exploré. Pour ce faire, nous présentons une étude observationnelle qui a été réalisée en environnement réel de bloc opératoire de neurochirurgie portant sur les interruptions de tâches (IT) et le travail d'équipe. Ces IT sont en effet des événements itératifs entraînant la mobilisation de CNT au sein d'un groupe de professionnels. Nous profitons de cette étude pour introduire le concept d'expertise et ses implications dans la définition des compétences. La troisième partie est consacrée aux compétences cognitives. Ces compétences plus personnelles sont en étroite relation avec les théories psychologiques de l'apprentissage(9). Alors que nous avons fait le choix dans la deuxième partie d'utiliser un paradigme de recherche expérimental de type quantitatif, nous utilisons dans cette troisième partie une approche qualitative provenant des sciences humaines et sociales. Nous avons choisi cette approche de recherche mixte quantitative et qualitative afin d'essayer d'aborder de la façon la plus transversale ce phénomène complexe que sous-tendent les CNT. Cette troisième étude, reposant sur des entretiens de neurochirurgiens de différents niveaux d'expertise, a pour objectif de mieux comprendre la représentation mentale que se fait le chirurgien lors de son planning pré-chirurgical. Elle a été réalisée au sein du laboratoire *The Wilson Centre* de l'Université de Toronto (Ontario, Canada). Nous introduisons cette méthodologie particulière qu'est la théorisation enracinée au début de cette troisième partie et justifions l'emploi de cette méthodologie pour ce travail. Enfin nous discutons à la fin de ce manuscrit les limites de notre

travail, les perspectives de futures études et les enjeux pédagogiques, d'assistance chirurgicale et d'amélioration continue de la qualité et de la sécurité des soins en chirurgie.

Chapitre 1 : Etat de l'art

1.1 Les compétences non techniques en chirurgie.

Les CNT chirurgicales ont fait l'objet d'un nombre croissant de publications dans la littérature ces dernières années(6,10–15). Leurs caractères non techniques et l'approche multidisciplinaire qui en est faite rendent difficile leur description dans une taxonomie unifiée. Elles peuvent tout autant intéresser des chercheurs travaillant dans le domaine de la psychologie, des sciences de l'éducation, de la chirurgie, de la qualité et la sécurité des soins, de l'ergonomie, organisation et espaces de travail, de l'expertise ou encore même venant des sciences humaines et sociales au sens large. Nous avons choisi de les décrire dans ce manuscrit en se référant à la taxonomie de Yule *et.al* proposée en 2006(16).

1.1.1. Les compétences techniques

Même si le métier de chirurgien apparaît avant tout comme un exercice purement technique (17), il ne l'est pas exclusivement car réalisé dans un environnement sensible. Pour pouvoir évoluer dans cet environnement sensible et ainsi maintenir un haut niveau de qualité et de sécurité, il doit à la fois développer des compétences techniques et non techniques (13).

Les compétences techniques chirurgicales peuvent être de 3 ordres :

- Les **compétences motrices** et la **dextérité** sont des prérequis indispensables à la réalisation de tâches minutieuses et souvent complexes(18). Une intervention chirurgicale même bien préparée peut aboutir à un mauvais résultat en cas de problème technique. Prenons par exemple le cas d'une anastomose vasculaire microchirurgicale. Une suture vasculaire sous microscope opératoire qui posséderait un défaut technique conduirait *de facto* à une thrombose local sur le site d'anastomose avec une ischémie d'aval. Dans le cas d'une artère vascularisant le cerveau, il en découlerait un accident vasculaire cérébral avec une morbidité plus ou moins grave selon le territoire infarci.
- La dextérité est un élément technique indispensable mais non suffisant cependant. L'ordonnancement des différents gestes chirurgicaux dans le temps pour constituer ce que l'on appelle une procédure chirurgicale fait appel aux **connaissances procédurales**. Une intervention chirurgicale pour être efficiente doit être réalisée dans un ordre logique, avec une philosophie de « marche en avant », sans retours en arrière avec une économie des gestes(19). Chaque intervention doit comporter un

noyau procédural identique utilisé de façon automatique qui permet au chirurgien un certain degré de décharge cognitive et un gain de temps lui permettant de pouvoir ralentir et se focaliser sur les points difficiles de l'intervention chirurgicale. La durée d'une intervention chirurgicale doit être idéalement la plus courte possible afin de ne pas s'exposer à une charge cognitive trop élevée trop longue qui pourrait altérer sa performance. Par ailleurs, il est bien reconnu actuellement que la durée d'une intervention chirurgicale augmente le risque d'infections du site opératoire.

- Par ailleurs les connaissances procédurales ne suffisent pas non plus pour réaliser un geste technique de qualité. Le fait de savoir comment faire ne suffit pas. Il faut aussi comprendre pourquoi on réalise un geste. Ce mécanisme fait appel aux **connaissances déclaratives**(20). En effet le fait pour un apprenant de reproduire par mimétisme un geste chirurgical par exemple ne lui permettra pas d'atteindre un niveau d'expertise. En effet sans connaissance déclarative, il ne pourra pas faire face à l'inattendu. L'exemple de la chirurgie des méningiomes intracrâniens permet de distinguer ce qu'on entend par connaissances déclaratives et connaissances procédurales. Le fait de comprendre où se situe la base d'insertion d'un méningiome intracrânien permet d'en déduire son mode de vascularisation (connaissances déclaratives) et ainsi d'adapter son approche chirurgicale en commençant par supprimer ses apports vasculaires et diminuer ainsi le saignement per-opératoire (connaissances procédurales).

1.1.2. Taxonomie et évaluation des compétences non techniques

1.1.2.1. Taxonomie

Yule *et.al* ont proposé en 2006(16) une taxonomie permettant de distinguer les différentes CNT en 2 grandes catégories. La première catégorie correspond aux CNT interpersonnelles ou encore appelées sociales. Ce sont des compétences qui permettent d'agir au sein d'un collectif. La deuxième catégorie correspond à des compétences plus personnelles et qu'ils qualifient de cognitives.

1.1.2.1.1. Les compétences interpersonnelles.

Toutes ces compétences ont comme caractéristique la capacité qu'a le professionnel d'interagir avec d'autres professionnels de son environnement immédiat ou plus éloigné. Dans le cas d'un chirurgien, ces autres professionnels pourront être les membres d'une équipe prenant en charge un patient en salle d'opération (anesthésistes ou infirmières de bloc opératoire par exemple) ou ses collègues chirurgiens ou d'autres spécialités (radiologie par exemple). Ainsi on peut distinguer les compétences suivantes. La **communication**(4,21,22) est la faculté de transmettre un message ou une information. Elle peut être de nature verbale ou non verbale. En chirurgie, une grande partie de la communication peut être de nature non verbale chez des équipes dont les membres se connaissent très bien. Cela renvoie au concept de familiarité au sein d'une équipe que nous développerons dans la deuxième partie de ce manuscrit. Le **leadership**(22–26) correspondant à une autorité ou à une posture de direction est une compétence que le chirurgien doit développer afin de pouvoir l'exercer à certains moments stratégiques d'une intervention chirurgicale (période de crise, moment sensible) afin de pouvoir aboutir à une cohésion et coordination de groupe optimale. Le métier de chirurgien même si il peut apparaître de l'extérieur assez solitaire, il en est tout autrement en réalité. Le **travail en équipe**(4,22,27–33) est le quotidien dans cette profession. Une intervention chirurgicale nécessite la mobilisation de nombreux acteurs autour du patient. Chaque pièce du puzzle est essentielle afin d'aboutir à un travail de qualité. Une intervention chirurgicale doit être préparée du point de vue individuel par un chirurgien mais doit également l'être du point de vue collectif au sein de l'équipe qui va prendre en charge le patient au bloc opératoire. Le rôle du **briefing, du planning et de la préparation**(8,34–39) est essentiel avant le début d'une intervention chirurgicale pour être sûr que l'ensemble de l'équipe a intégré l'objectif de celle-ci et que chacun a bien compris son rôle respectif dans son déroulement. L'utilisation de la *surgical safety checklist*(8) est l'un des garants de l'acquisition de ce type de compétences. La multiplicité des intervenants autour d'un patient en salle d'opération nécessite également d'acquérir des compétences de **gestion du personnel** afin de pouvoir favoriser la coordination de tous ces intervenants de façon efficace et efficiente. Dans des situations sortant de la routine ou de niveaux de difficulté élevés, le chirurgien peut être amené à discuter de certains dossiers avec ses collègues pour **demandeur conseil**(16). Il en est de même lorsqu'une intervention chirurgicale ne se déroule pas comme prévu avec notamment des complications, le **feedback**(40) d'un de ses collègues est nécessaire pour essayer de comprendre l'origine de ces complications et les prévenir pour les futures interventions. Dans ces cas précis, le chirurgien quand il sort de sa zone de confort doit pouvoir mobiliser ces compétences. Les conditions

d'exercice de la chirurgie que ce soit sur des interventions programmées compliquées à haut risque, ou des interventions plus simples mais se déroulant dans un environnement bruyant, dans la précipitation, en urgence ou de nuit oblige le professionnel à mobiliser d'autres compétences telles que **faire face à la pression, le stress ou la fatigue**(10,41–45).

1.1.2.1.2. Les compétences cognitives.

Toute activité technique quelle qu'elle soit nécessite un effort cognitif préalable. L'importance de cet effort et l'attention qui y est portée dépendra du caractère routinier ou non de la tâche exécutée(46). Cela renvoie aux concepts d'automaticité, de transition d'un mode automatique à un mode volontaire et aux concepts d'attention que nous développerons plus loin(47). Un chirurgien se doit avant le début d'une intervention chirurgicale d'avoir un **niveau de préparation mentale**(16) optimal. **L'évaluation des risques**(16,48) potentiels d'une intervention doit être réalisée à partir de ses connaissances déclaratives sur les risques décrits dans la littérature pour ce type d'intervention mais aussi par rapport à son expérience personnelle de complications vécues notamment(49). Les risques ayant été normalement bien évalués, **l'anticipation des problèmes**(16) devra être recherchée. Cette compétence(50) est développée de façon concomitante de la compétence technique précédemment décrite avec le concept de la « marche en avant ». Tout problème potentiellement anticipé sera plus facile à résoudre. Pour autant, tous les problèmes ne pourront pas être anticipés et le chirurgien, pour faire face à ces situations devra développer des **stratégies d'adaptation** et savoir faire preuve de **flexibilité**(49). A tout moment, il doit pouvoir appréhender l'ensemble de la situation allant du champ opératoire à l'ensemble de l'environnement de la salle d'opération, afin de faire face à d'éventuels problèmes. Nous développerons cette compétence spécifique appelée **connaissance de la situation**(51–54) dans la troisième partie de ce manuscrit. La **prise de décision**(35,48,51,55–59) est une compétence cognitive extrêmement développée chez les chirurgiens et dans différentes facettes de leur exercice. La prise de décision intervient généralement très précocement au moment où le chirurgien rencontre pour la première fois un patient. Habituellement la question à laquelle le chirurgien doit répondre est celle de l'indication chirurgicale ou non pour telle pathologie. Il doit ensuite choisir un type d'intervention ou un type de voie d'abord, quand il en a plusieurs à disposition, pour programmer son geste. Les prises de décision sont ensuite multiples tout au long de la prise en charge d'un patient que ce soit en pré-, per- ou post-opératoire. Du point de vue cognitif, le

chirurgien doit développer également une compétence de **répartition de la charge de travail**(60,61). En effet la sursollicitation, le caractère multitâche de la profession amène le chirurgien à effectuer des tâches tout en pensant à d'autres tâches. Ceci nécessite le développement d'une bonne répartition de toutes ces activités quotidiennes et un certain degré de cloisonnement.

1.1.2.2. Evaluation

Les 3 principales échelles actuellement utilisées pour évaluer objectivement et quantitativement les CNT sont l'OTAS (Observational Teamwork Assessment for Surgery)(62) (Figure 1), la NOTECHS (NonTECHnical Skills)(15) (Figure 2) et la NOTSS (Non Technical Skills for Surgeons)(63) (Figure 3). L'OTAS évalue essentiellement le travail d'équipe à l'aide de 5 items : la communication, le leadership, la coopération, la coordination et la surveillance. La NOTECHS classe les CNT en 4 catégories (leadership et management, travail d'équipe et coopération, résolution de problème et prise de décision et conscience de la situation). Un score de 5 points est attribué pour chaque catégorie avec une échelle de 1 (très faible) à 5 (très élevée). La NOTSS correspond à des interviews de chirurgiens consultants qui révèlent 5 catégories principales de CNT (conscience de la situation, prise de décision, tâches de management, leadership, communication et esprit d'équipe). A l'intérieur de chaque catégorie il existe 2 ou 3 éléments de CNT dépendant de la spécialité chirurgicale conduisant à un score sur 14 éléments de compétences séparés.

OBSERVATIONAL TEAMWORK ASSESSMENT FOR SURGERY®**Surgical Team – Intra-Operative Phase**

RATING ANCHORS	BRIEF ANCHOR DEFINITION
6	Exemplary behaviour; very highly effective in enhancing team function
5	Behaviour enhances highly team function
4	Behaviour enhances moderately team function
3	Team function neither hindered nor enhanced by behaviour
2	Slight detriment to team function through lack of/inadequate behaviour
1	Team function compromised through lack of/inadequate behaviour
0	Problematic behaviour; team function severely hindered

BEHAVIOUR	DEFINITION	RATING SCALE						
COMMUNICATION	Quality and quantity of information exchanged among team members	0	1	2	3	4	5	6
COORDINATION	Management and timing of activities and tasks	0	1	2	3	4	5	6
COOPERATION/ BACK UP BEHAVIOUR	Assistance provided among members of the team, supporting others, and correcting errors	0	1	2	3	4	5	6
LEADERSHIP	Provision of directions, assertiveness, and support among members of the team	0	1	2	3	4	5	6
MONITORING/ SITUATIONAL AWARENESS	Team observation and awareness of ongoing processes	0	1	2	3	4	5	6

	EXAMPLE/SAMPLE BEHAVIOURS
COMMUNICATION	Asks team if all prepared to begin the operation Requests and instructions to team communicated clearly and effectively Provides information to whole team on progress Surgeon informs the team of technical difficulties and /or changes of plan
COORDINATION	Gives prior notification of requirements to Scrub Nurse to enhance timing of instrument exchange Surgeons co-ordinate use of equipment, such as camera in minimal access surgery providing adequate view of operating field Contribute to smooth exchange of instruments and provisions with Scrub Nurse
COOPERATION/ BACK UP BEHAVIOUR	Reacts positively to questions and requests from Nursing group Responds to requests or questions from Anaesthetic group Helps with smooth instrument exchange with Scrub Nurse Supports Surgical group assistants and compensates for lack of experience
LEADERSHIP	Instructions and explanations provided to assistants Advises Anaesthetist if unfamiliar with operative techniques (e.g. tube insertion) to call for senior help Supervision provided for staff lacking familiarity with tasks or equipment
MONITORING/ SITUATIONAL AWARENESS	Check table positioning and positions of members Assistants monitor direction of light Checks team condition Aware of patient condition including anaesthesia

Figure 1. Outil d'évaluation type OTAS (62)

Surgeon (initials):

Date: _____

Session: _____

Assessor (initials/specialty):

Is this a self-rating? Yes/NO

REVISED NOTECHS SCALE

Please follow the key below and circle the number corresponding to the Surgeon's performance

NA-not applicable

1 Not done	2 Not done well	3	4	5	6 Done very well
---------------	--------------------	---	---	---	---------------------

CATEGORY	ELEMENT								
COMMUNICATION AND INTERACTION	(a) Instructions to assistant clear and polite	NA	1	2	3	4	5	6	
	(b) Waited for acknowledgment from the assistant	NA	1	2	3	4	5	6	
	(c) Instructions to scrub nurse clear and polite	NA	1	2	3	4	5	6	
	(d) Waited for acknowledgement from the scrub nurse	NA	1	2	3	4	5	6	
VIGILANCE/ SITUATION AWARENESS	(a) Monitored patient's parameters throughout the procedure	NA	1	2	3	4	5	6	
	(b) Awareness of anaesthetist	NA	1	2	3	4	5	6	
	(c) Actively initiates communication with anaesthetist during crisis periods	NA	1	2	3	4	5	6	
TEAM SKILLS	(a) Maintains a positive rapport with the whole team	NA	1	2	3	4	5	6	
	(b) Open to opinions from other team members	NA	1	2	3	4	5	6	
	(c) Acknowledges the contribution made by other team members	NA	1	2	3	4	5	6	
	(d) Supportive of other team members	NA	1	2	3	4	5	6	
	(e) Conflict handling – eg. concentrates on what is right rather than who is right	NA	1	2	3	4	5	6	
LEADERSHIP AND MANAGEMENT SKILLS	(a) Adherence to best practise during the procedure – eg. does not permit corner cutting by self or team	NA	1	2	3	4	5	6	
	(b) Time management – eg. appropriate time allocation without being too slow or rushing team members	NA	1	2	3	4	5	6	
	(c) Resource utilisation – i.e. appropriate task-load distribution and delegation of responsibilities	NA	1	2	3	4	5	6	
	(d) Debriefing the team – i.e. provides details and feedback to the entire team about the procedure	NA	1	2	3	4	5	6	
	(e) Authority/assertiveness	NA	1	2	3	4	5	6	
DECISION MAKING- Surgical CRISIS	(a) Prompt identification of the problem	NA	1	2	3	4	5	6	
	(b) Informed team members - promptly, clearly and to all team members	NA	1	2	3	4	5	6	
	(c) Outlines strategy/ institutes a plan – i.e. asks scrub nurse for suction, instruments, suture material	NA	1	2	3	4	5	6	
	(d) Anticipates potential problems and prepares a contingency plan – eg. asks anaesthetist to order blood, calls for help	NA	1	2	3	4	5	6	
	(e) Option generation - takes the help of the team (seeks team opinion)	NA	1	2	3	4	5	6	

Figure 2. Outils d'évaluation type NOTECHS (15)

Hospital Trainer name Date Operation

Trainee name

Category	Category rating*	Element	Element rating*	Feedback on performance and debriefing notes
Situation Awareness		Gathering information		
		Understanding information		
		Projecting and anticipating future state		
Decision Making		Considering options		
		Selecting and communicating option		
		Implementing and reviewing decisions		
Communication and Teamwork		Exchanging information		
		Establishing a shared understanding		
		Co-ordinating team activities		
Leadership		Setting and maintaining standards		
		Supporting others		
		Coping with pressure		

* 1 Poor; 2 Marginal; 3 Acceptable; 4 Good; N/A Not Applicable

1 Poor Performance endangered or potentially endangered patient safety, serious remediation is required
 2 Marginal Performance indicated cause for concern, considerable improvement is needed
 3 Acceptable Performance was of a satisfactory standard but could be improved
 4 Good Performance was of a consistently high standard, enhancing patient safety; it could be used as a positive example for others
 N/A Not Applicable

Figure 3. Outil d'évaluation type NOTSS (63)

1.1.3. Autres perspectives d'analyse des compétences non techniques.

Nous avons décrit précédemment une taxonomie et des méthodes d'évaluation des CNT qui obéissent aux règles de la méthodologie de recherche quantitative. Cette méthodologie repose sur la formulation d'hypothèses que l'on cherche à vérifier de façon déductive. Il s'agit d'une méthode hypothético-déductive. Les critères de jugement dans les systèmes d'évaluation précédemment présentés sont pondérés de façon numérique afin que l'on puisse les évaluer par une méthode quantitative. L'étude du facteur humain peut s'avérer complexe et les hypothèses pas toujours disponibles au début d'une étude. Ainsi il existe un autre pan de la littérature provenant principalement des sciences humaines et sociales qui aborde le problème d'une façon différente(64–69). L'idée est plutôt de partir des données du terrain, puis par un mécanisme d'induction d'agrèger ces données afin d'élaborer des théories. Ces méthodes appartiennent plutôt au domaine de la recherche qualitative(67,70). Elles obéissent à un paradigme assez opposé au paradigme expérimental. Cependant ces approches inductive et déductive partagent un continuum scientifique qui les rend complémentaires (Figure 4). La méthodologie de théorisation enracinée(71,72) représente un exemple de ces approches qualitatives. Nous la détaillerons dans la partie 3 puisqu'il s'agit de la méthode que nous avons choisi pour l'analyse des compétences cognitives durant le planning pré-chirurgical.

Compétences Non techniques en Neurochirurgie

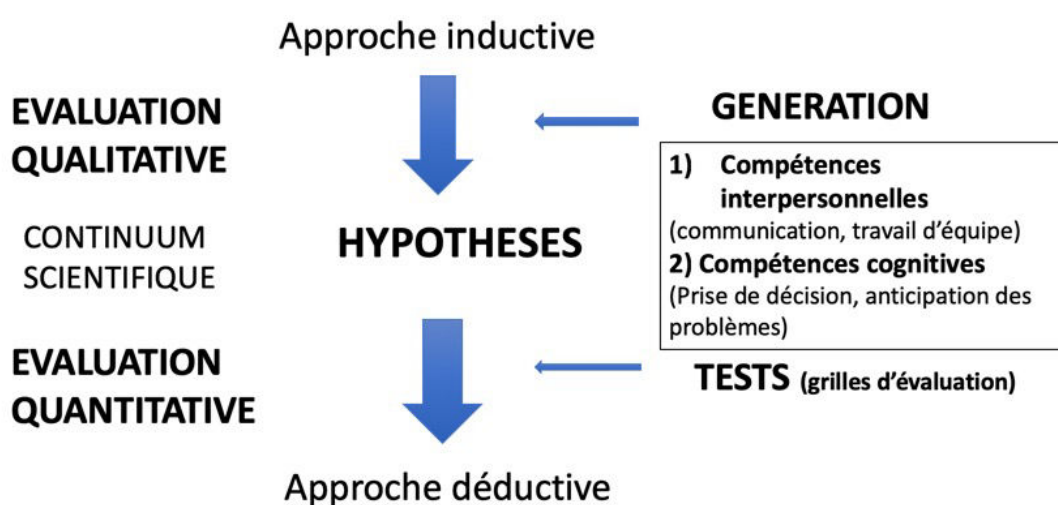


Figure 4. Evaluation qualitative et quantitative des compétences non techniques en neurochirurgie

1.2 Les spécificités de la neurochirurgie

1.1.1. Les enjeux techniques

La neurochirurgie partage beaucoup de points communs par rapport aux autres spécialités chirurgicales mais possède tout de même des spécificités. En premier lieu, du point de vue technique, le chirurgien intervient sur des champs relativement petits. Les zones d'exposition du névraxe ou du système périphérique sont réduites au minimum. La radiologie per-opératoire ou les systèmes de navigation sont une aide pour le chirurgien pour centrer son incision. La taille des lésions à opérer et leur caractère potentiellement profond justifient dans un bon nombre de cas l'utilisation d'une magnification optique à l'aide d'un microscope opératoire. Les possibilités de manipulation ou de rétraction du tissu nerveux étant extrêmement contraintes, le chirurgien se doit de préparer ses voies d'abord en amont afin de s'adapter à ces contraintes de rétraction. Enfin l'ensemble des contraintes techniques sus-citées oblige le chirurgien à un acte assez solitaire où l'aide opératoire n'est pas indispensable dans la majorité des cas et est le plus souvent un simple observateur.

1.1.2. Les enjeux cliniques

La neurochirurgie est une discipline qui intervient sur l'ensemble du système nerveux (central et périphérique). La fragilité du système nerveux, la plasticité neuronale variable en fonction des différents individus et sa petite taille le rendent assez vulnérable à toute intervention chirurgicale. Ainsi tout acte chirurgical sur celui-ci sera potentiellement à risque neurologique. On distingue à la fois dans le système nerveux central des régions éloquentes (*i.e.* pour lesquelles le risque d'aggravation neurologique est élevé) des zones dites « muettes » (*i.e.* pour lesquelles le risque d'aggravation neurologique est plus faible). La neurochirurgie expose à la fois à des risques vitaux et fonctionnels neurologiques. Les risques fonctionnels neurologiques peuvent aller d'une petite zone d'anesthésie sur un membre à une tétraplégie. Ainsi on comprend que ces enjeux sur la vie des patients sont grands et peuvent amener le neurochirurgien à se questionner régulièrement du point de vue éthique quant à la justification

de son intervention et influencer fortement sur ses compétences non techniques (*i.e.* gestion du stress).

1.3 Non-technical skills in Neurosurgery : a systematic review of the literature

Pierre-Louis Hénau^{1,2}, MD; Pierre Jannin², PhD ; Laurent Riffaud^{1,2}, MD, PhD

¹Department of Neurosurgery, Rennes University Hospital, 2, rue Henri Le Guilloux 35033 Rennes, Cedex 9, France

²INSERM MediCIS, Unit U1099 LTSI, Rennes 1 University, Faculty of Medicine, 2 Avenue du Professeur Léon Bernard, 35043 Rennes Cedex, France

Accepté pour publication dans World Neurosurgery

Abstract

Background

Undesirable events in the neurosurgery operating theatre are surprisingly less often the result of a technical error than of a dysfunction linked to non-technical skills (NTS). The essential aim of our study was a systematic literature study published on NTS in neurosurgery. The secondary objective was identification of a list of NTS more specific to neurosurgery in order to define on that basis the training needs of neurosurgery trainees.

Methods

MEDLINE and The Cochrane Database of Systematic Reviews were searched according to the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis) statement. Research initially identified 2132 articles. 21 were eligible for systematic study. Data were extracted from the articles regarding study design, sample size, NTS assessed, assessment tools and the key results were collected.

Results

Interpersonal skills (communication, teamwork), cognitive skills (decision making, situation awareness) and personal resource factors (coping with stress or fatigue) were specifically identified. No article used assessment tools such as NOTECHS, NOTSS or OTAS. They were

carried out in a real environment in 11 cases, in a simulated environment in 9 cases and during theoretical teaching in 1 case.

Conclusions

Very few studies have been carried out concerning neurosurgical NTS, despite increasing numbers of articles over the last few years on NTS in other domains of surgery. Society today is concentrating more and more on the quality and safety of medical care. The development and application of NTS assessment tools is therefore essential in order to provide assistance in the training of future neurosurgeons.

Introduction

Neurosurgery is a discipline requiring knowledge of numerous hyperspecialist domains such as vascular, tumoral, malformation, degenerative and spinal pathologies. As well as this declarative knowledge of neurosurgical pathologies and their associated indications for operation, the surgeon has to acquire technical skills both in accordance with good practice and under ongoing development, for example microsurgery, computer-assisted surgery(73–79) and robotics(80). Even with perfect mastery of this knowledge and of the technical skills (TS) involved, a certain number of undesirable events (UE) are to be observed in the neurosurgery operating theatre(81–88). These events may have irreversible consequences involving serious functional deficits or even life-threatening situations(41,89). Surprisingly, they are less often the result of a technical error than of a dysfunction linked to non-technical skills (NTS)(13). This relationship between NTS and UE has led the surgical community to explore in greater depth safety and quality issues with increasing numbers of publications on NTS over the last few years. NTS can be divided into two groups according to the taxonomy developed by Yule et al.(16). The first includes interpersonal skills : communication, leadership, teamwork, briefing, planning and preparation, resource management, requests for advice and feedback, attitudes to pressure, stress and fatigue. The second group covers cognitive skills including awareness of the situation, mental disposition, risk assessment, anticipation of problems, decision-making, adaptation strategies, flexibility or workload. In real conditions, interpersonal skills and cognitive skills may be involved simultaneously. For example, poor communication between the surgeon and the anesthesiologist during an unexpected haemorrhage in the operating theatre (NTS involved: communication and situational awareness) may have life-threatening consequences. Publications on this subject still rely for the moment on non-

standardized methods. NTS assessment is rendered problematical by a methodology difficult to put into practice (necessitating robust psychometric testing) involving multiple variables which are themselves not easily controlled(15,90–98). However, it is certain that NTS exercise a positive or negative influence on TS depending on whether or not they are applied(13). The safety and quality of care is a universal and increasing preoccupation among the population(81,89,99–102): surgeons have taken this into account and, as in other sensitive domains such as the army(103) or navy, they are beginning to develop “firewall” tools such as checklists(8,81,104–107). These NTS, still ill-defined, are only just beginning to emerge in surgeon training objectives and are even less present in the confidential world of neurosurgery(2,11,26,61,93,108–117).

The essential aim of our study was a systematic study of the literature published on NTS in the neurosurgical domain. The secondary objective was identification, from the existing literature, of a list of NTS more specific to neurosurgery in order to define on that basis the training needs of neurosurgery trainees.

Material and methods

We conducted a systematic review following the PRISMA statement(118). Ethics committee approval was not required for our research protocol. We did not register our review protocol in the PROSPERO database.

Using the databases PubMed-MEDLINE and The Cochrane Database of Systematic Reviews, we combined two A and B categories using the Boolean operator “AND”, Category A was the following : Adaptation, Psychologic OR Adjustment, Psychological OR Behavior, Adaptive OR Coping Behavior OR Coping Skills OR Psychological Adaptation OR Psychological Adjustment OR skills, Category B was: neurosurgery OR neurosurgical procedures. We defined the following limits: publication date between January 1980 and December 2018 ; articles concerning studies on humans, excluding those on animals ; publications in English and French. The final research was carried out on 2nd January 2019. The lists of article references included were also researched to find other references such as grey literature (unpublished studies with limited distribution, for example conference abstracts) and published studies not identified using our initial search strategy. This led us to add 2 articles for which we made a complete assessment of the text. We assessed the collected quotations, sifting through the titles

and abstracts to identify the pertinent articles on the basis of the following predefined inclusion criteria :

1) Data concerning NTS OR interpersonal behaviour OR leadership OR teamwork OR planning and preparation OR feedback OR stress and pressure OR fatigue OR cognitive skills OR anticipation of problems OR decision-making OR flexibility OR adaptation strategies

AND

2) Data concerning the neurosurgical domain

AND

3) Data on training needs OR teaching OR simulation systems including robotics. These criteria were chosen to identify the articles specifically examining NTS in neurosurgery, the resulting training needs and the integration of these skills to simulation systems.

The data was extracted from the articles concerned using a structured data résumé (Figure 1), to ensure coherent assessment of each article. Using this method, details of the study design, the size of the sample, the NTS assessed, the assessment tools and the key results were collected.

Name of first author

Year of publication

Population

Study design

Environment

Non-technical skills assessed

Interpersonal skills

Communication

Leadership

Teamwork

Briefing/Planning/Preparation

Resource management

Seeking advice and feedback

Coping with pressure/stress/fatigue

Cognitive skills

Situation awareness
Mental readiness
Risk assessment
Anticipation of problems
Decision-making
Adaptation strategies and flexibility
Workload distribution

Assessment tools for NTS

NOTSS
NOTECHS
OTAS
Others

Key results

Figure 1 Résumé of structured data for article analysis

Results

Selection of articles

The diagram summarizing the research strategy is shown in Figure 2.

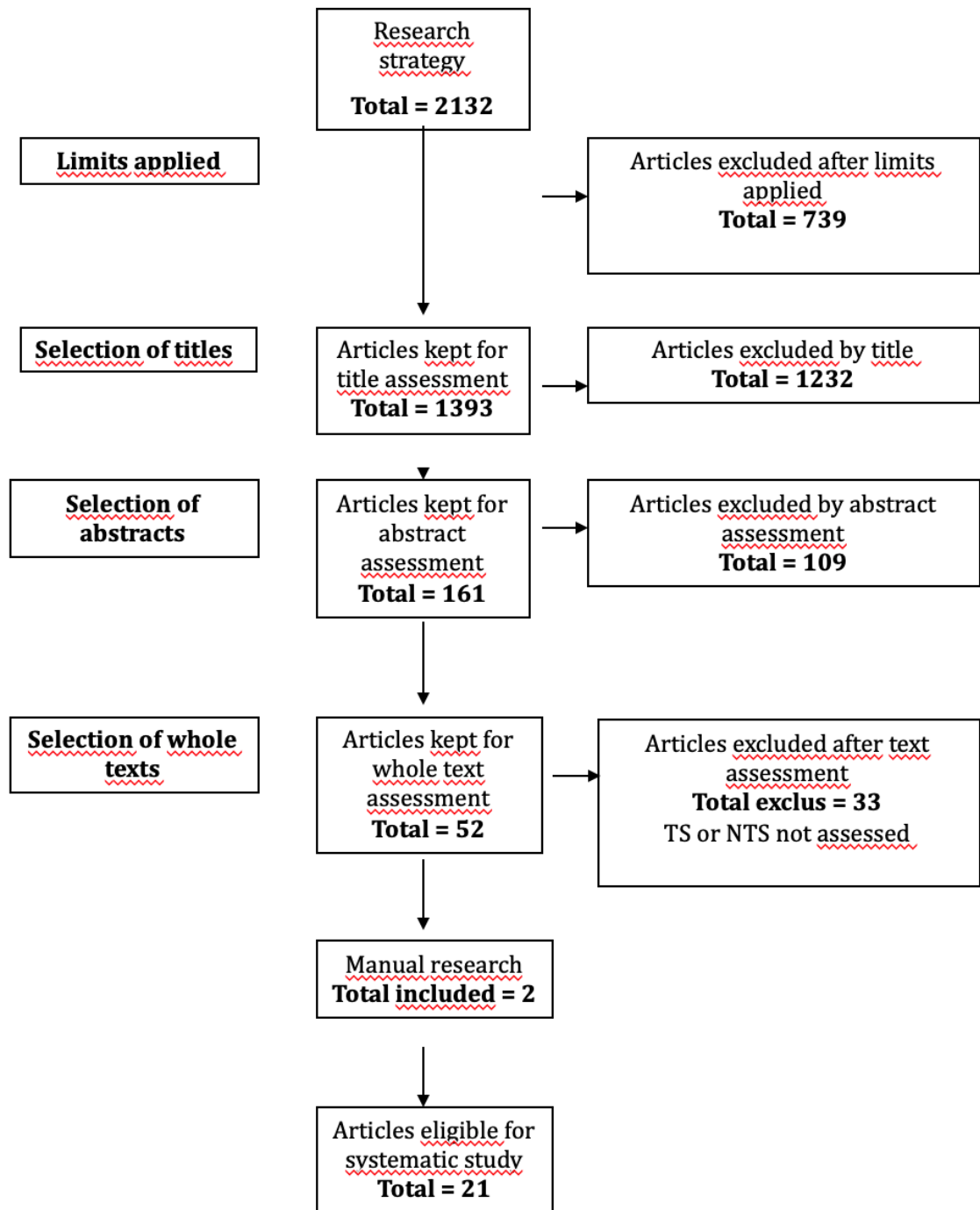


Figure 2 Diagram of analysis of articles

Research initially identified 2132 articles. In all, 21 articles were eligible for systematic study (Table 1).

Populations studied

12 articles concerned analysis of neurosurgery residents(24,26,35,59,61,117,119–124). 12 others studied senior neurosurgeons(14,35,36,38,39,59,101,103,121,125–127) and 3 others directors of training (also senior neurosurgeons)(61,121,123). Six others dealt with the whole team of a neurosurgery operating theatre(14,36,38,39,103,126) and one article studied the whole team of a neurosurgery department(101).

Study designs

7 were experimental studies(24,35,119,120,122,124,127), 7 were surveys(26,38,59,61,117,121,123), 5 were interventional studies(36,39,101,103,125), and 2 were observational studies(14,126).

Environment

These studies were carried out :

- in a real environment in 11 cases : 10 in the operating theatre(14,36,38,39,61,101,103,121,123,126), 1 in a neurosurgery department(101), and 4 in consultation(61,121,123,125),
 - in a simulated environment in 9 cases(24,35,59,117,119,120,122,124,127),
 - during theoretical teaching in 1 case(26).

Non-technical surgical skills assessed

Interpersonal NTS were specifically assessed in 9 studies(24,26,61,101,122,124–127).

Cognitive NTS were specifically evaluated in 9 studies(14,35,36,38,39,59,61,119,120). Finally, neurosurgery NTS were assessed overall in 6 studies without differentiation between the two types(36,103,117,120,121,123).

Assessment tools and key results of each study

None of the articles selected used assessment tools such as NOTECHS, NOTSS or OTAS, all of which have all been established as valid in the literature concerning assessment of NTS in surgery.

Studies in a real environment

Neurosurgery interns complained of lack of teaching on behaviour and interpersonal relations in a questionnaire designed by Cusimano *et al.*(61) given to a population of 30 interns. Open questions with content analysis and double-scale quantification were carried out both among neurosurgery interns and among heads of teaching programmes. These revealed a positive correlation between excessive workload and voluntary withdrawal, and between dismissal and interpersonal skills during the neurosurgery internship. According to Pathak *et al.*(125) Senior neurosurgeons demonstrated good productivity and flexibility, but appeared to have difficulty in remaining objective and making themselves understood in consultation. This study was carried out during neurosurgery consultations, and the sample included 12 senior neurosurgeons with at least 10 years' experience. The surgeon was assessed by an outside observer using an assessment scale including : productivity, flexibility, objectivity and comprehensibility. Fargen *et al.*(36) studied the effect of the introduction of a checklist for neurointerventional procedures in neurovascular pathology. 71 procedures were carried out 4 weeks before the introduction of the checklist and 60 others 4 weeks after it. The checklist brought about a significant improvement in communication within the team and a significant reduction in the number of undesirable events. Ferroli *et al.*(103) assessed a notification system inspired by aviation and applied to the neurosurgical domain. The entire team of a neurosurgery department participated in the study and reported incidents occurring in the service. 14 incidents were reported and analyzed. 9 were due to human factors and 3 to questions of organization. Lau *et al.*(101) assessed and installed a safety education video in a neurosurgery department. It had been made over several months by a multidisciplinary team including neurosurgeons, anaesthetists, nurses and professionals from the quality and video domains. This team ensured that all the safety parameters involved in a neurosurgical procedure were collected and formalized in video format. McLaughlin *et al.*(38) examined the interest of establishing a checklist before the beginning of an operation. 98,9% of those questioned judged this to be in the interest of the patient's safety, and 97,8% thought it increased team spirit. All members of the team judged that the surgeon should be present at the time of the checklist and according 76,3% thought that the surgeon should carry it out in person. Osvald *et al.*(39) studied the impact of the introduction of a checklist in a neurosurgery operating theatre. 8795 surgical procedures were carried out without checklist between January 2007 and December 2010, with two error reports : one procedure on the wrong side of the skull and one at the wrong level on the lumbar vertebrae. Between January 2011 and June 2012 no errors of side or level were reported. Couat *et al.*(126) through an observational study of the operating theatre using video analysis and ethographical

methods, demonstrated that 33% of errors committed in the operating theatre were at least partly caused by poor communication or organisation management. Michinov *et al.*(14) in an operating theatre observational study of deep brain stimulation showed that explicit coordination, awareness of the situation and leadership are the NTS most involved in deep brain stimulation by the neurosurgeon. What is more, these aspects of behaviour differ according to the time of operation and the other members of the theatre team with whom the surgeon is communicating. Brandman *et al.*(123) also used a survey which underlined the fact that heads of programmes considered NTS more important than did the interns, with an emphasis on the disclosure of bad news. Interns focussed more on obtaining the patients' consent. Both heads of programmes and interns considered the communication of red flags as critical. The survey carried out by Khan *et al.*(121) made it clear that according to interns the current environment does not leave enough place for the teaching of NTS. For them NTS appears more important than it does for their tutors, both quantitatively and qualitatively. Teachers judge that too much teaching time is spent on NTS, and students think the contrary.

Studies in a simulated environment

Sakamoto *et al.*(127) carried out an experimental study on 5th-year medical students which showed that expert feedback improved technical performance in surgical anastomosis, without lengthening operating time. Trainees with feedback achieved higher scores than neurosurgeons. Tanweer *et al.*(59) demonstrated through a survey that neurosurgical decision-making is essentially similar from both the patient's and the neurosurgeon's point of view. Morineau *et al.*(35) showed a significant association between expert decision-making and conflict reduction and management of conflict control based on knowledge essentially contributed by experts. Harnof *et al.*(124) in an experimental study of neurosurgical interns in simulated interviews with patients and their families showed the realistic qualities of the actors and their efficiency in NTS communication training. Haji *et al.*(122) showed the importance of simulation in the teaching of teamwork, communication, dealing with pressure, stress and fatigue to first-year neurosurgery interns. Hunt *et al.*(24), also using simulation, demonstrated that leadership and teamwork are essential for a successful career in neurosurgery. Training camps improved the trainee's awareness of his own behaviour and motivation. Three-quarters of participants understood how to apply this in daily life. Ganju *et al.* specifically studied the effects of fatigue on neurosurgery interns(119). They subjected 7 neurosurgery interns to 4 sessions of 6 pre- and post-duty surgical exercises in a simulated environment. Fatigue appeared to reduce performance to a certain extent, particularly in “day after duty” interns. Memory and attention

were the functions most impaired. Fluidity of gesture and operation duration were also affected by fatigue. Selden *et al.*(117) carried out an opinion poll on 186 neurosurgery interns following practical and theoretical teaching of multiple NTS, in a simulated environment. The teaching of NTS received 100% approval from trainee neurosurgeons, particularly the sections on leadership. Finally, Ciporen *et al.*(120) in an experimental study on interns in neurosurgery and anaesthetics showed no significant difference in NTS between the two groups. Understanding information and dealing with pressure were important elements. Leadership was more obvious among the neurosurgical interns, but not significantly so. The anaesthetist interns were better at collecting information and considering different options.

Study during theoretical teaching

Pettit *et al.*(26) used an opinion poll on theoretical teaching of one hour per month given to 11 neurosurgery interns. Pre-tests and post-tests revealed both quantitative and qualitative improvements in knowledge concerning leadership.

Table 1. Characteristics of the studies assessing non-technical skills in neurosurgery

First author	Year of publication	Population	Type of study	Environment	Non-technical skills assessed	Tools for assessment	Key results
Cusimano ⁶¹	1999	Teaching hospital neurosurgeons and interns in neurosurgery	Qualitative	Real	Interpersonal skills and workload	Qualitative analysis of questionnaires Double scale content analysis	Positive correlation between excess workload and voluntary withdrawal and between dismissal and interpersonal skills during the neurosurgery internship
Pathak ¹²⁵	2000	Professors of neurosurgery	Interventional study	Real environment and consultations	Leadership	External observation scale for patterns of leadership and language	Good productivity and flexibility, moderate objectivity and comprehensibility
Morineau ³⁵	2009	Neurosurgery interns, registrars and professors	Experimental study	Simulation	Decision-making	Number of conflicts and checks reported by each neurosurgeon Skills /Rule / Knowledge approach	Significant link between the expert undertaking tasks and checking of conflicts, Regulation of conflict control essentially based on experts' knowledge
Pettit ²⁶	2011	Neurosurgery interns	Survey	Theoretical teaching	Leadership	Opinion poll	Training in the importance of leadership and the means to develop it.
Ganju ¹¹⁹	2012	Neurosurgery inters	Semi-experimental study	Simulation	Dealing with fatigue, cognitive skills	Fluidity of gestures, time taken and cognitive errors	No significant reduction in skills during simulated surgical procedures after on-call service.
Selden ¹¹⁷	2012	Professors of neurosurgery and first-year neurosurgery	Survey	Simulation	Multiple non-technical skills	Opinion poll	Teaching appreciated by interns for the improvement of their knowledge and their technical and non-technical skills .

interns							
Ferrol ¹⁰³	2012	Neurosurgery operating theatre team	Interventional study	Real environment – operating theatre	Multiple non-technical skills	Incidence of undesirable events and analysis of their causes by methods originating in aviation	The majority of incidents were linked to human or organisational factors
Lau ¹⁰¹	2012	Duty neurosurgery team	Interventional study	Real environment	Communication and teamwork	Analysis of perioperative safety video	The perioperative safety video improves safety in the operating theatre and raises the team's awareness of safety issues
Oszvald ³⁹	2012	Neurosurgery operating theatre team	Interventional study	Real event – operating theatre	Communication, teamwork preparation, risk assessment, anticipation of problems	Number of undesirable events	The surgical safety checklist improves communication within the team and reduces the number of undesirable events
Harnof ¹²⁴	2013	Neurosurgery interns	Experimental study	Simulation – interviews with patients and their families	Communication	Feedback questionnaires (Likert scale)	Realistic actors, efficient training in interpersonal communication skills
Couat ¹²⁶	2013	Neurosurgery operating theatre team	Observational study	Real environment - operating theatre	Communication, resource management	Analysis of videos and direct observation using ethnographical methods (notes taken from observation on site)	33% of errors in the operating theatre are at least partly due to poor communication or organisational management
Fargen ³⁶	2013	Neurosurgery operating theatre team	Interventional study	Real environment - operating theatre	Communication, teamwork preparation, risk assessment, anticipation of problems	Communication and number of undesirable events	The surgical safety checklist improves communication within the team and reduces the number of undesirable events

McLaughlin ³⁸	2013	Neurosurgery operating theatre team	Survey	Real environment - operating theatre	Communication, teamwork preparation, risk assessment, anticipation of problems	Opinion poll	The surgical safety checklist improves communication within the team and reduces the number of undesirable events
Michinov ¹⁴	2014	Neurosurgery operating theatre team and patient	Observational study	Real environment - operating theatre	Cooperation and teamwork, awareness of the situation, explicit coordination, decision-making and leadership	Behavioural marker system for assessing neurosurgeons' non-technical skills (BMS - NNTS)	Explicit coordination, awareness of the situation and leadership are the non-technical skills most implicated in deep brain stimulation surgery by the neurosurgeon. Moreover these behaviours vary with the time of the operation and the other member of the surgical team with whom he is communicating.
Tanweer ⁵⁹	2015	Neurosurgery interns, registrars and professors	Survey	Simulation	Decision-making	Questionnaire	In neurosurgical decision-making the point of view of the patient and of the neurosurgeon are essentially equivalent.
Brandman ¹²³	2015		Survey	Real environment – common practice	All non-technical skills	Online questionnaire, Likert scale, open-ended questions	Programme directors placed non-technical communication skills at a higher level than interns, with emphasis on announcing bad news. Interns focussed more on obtaining patients' consent. Both programme directors and interns considered red-flag communication as critically important
Haji ¹²²	2015	First-year neurosurgery interns	Pre- and post-test model	Simulation	Teamwork, communication, dealing with	Multiple-choice questionnaire	Significant differences between pre- and post-test but not on the retention test

					pressure, stress and fatigue		
Hunt ²⁴		Neurosurgery interns	Pre- and post-test model	Simulation	Leadership	Questionnaire and personality assessment (Hogan Personality Inventory)	Leadership and teamwork are essential for success in a neurosurgeon's career, This training session improves interns' awareness of their own behaviour and motivation. $\frac{3}{4}$ of trainees understood how to apply this in daily practice.
Khan ¹²¹	2018	Neurosurgery interns and teaching neurosurgeons	Survey	Real environment : teaching/ curriculum	All non-technical skills	Questionnaire with quantitative and qualitative analysis	Interns feel that the current environment leaves little place for the acquisition of non-technical skills. They give greater importance to the learning of non-technical skills than their teachers do, both quantitatively and qualitatively. Teachers feel that too much time is given to non-technical skills, and the trainees believe the contrary.
Sakamoto ¹²⁷	2018	5th-year medical students and neurosurgeons	Experimental study	Simulation	Feedback	Comparison of a surgical act of vascular anastomosis with and without feedback	Expert feedback improves the technical performance of anastomosis without prolonging operation time. Trainees with feedback had higher scores than the neurosurgeons.
Ciporen ¹²⁰	2018	Neurosurgery and anaesthetic interns	Experimental study	Simulation	Awareness of the situation, decision-making, communication, teamwork, leadership, dealing with pressure	Non-technical skills observation scale	No significant difference in non-technical skills between interns in neurosurgery and anaesthetics. Understanding information and dealing with pressure were important. Leadership was more important for neurosurgery interns, but not significantly. Anaesthetics interns performed better in

collecting information and considering
different options.

Discussion

This systematic review of the literature on NTS is to our knowledge the first which specifically concerns neurosurgery. Analysis of these skills is scattered through the literature, and they are frequently assessed individually without use of an up-to-date unified domain taxonomy. Articles reporting on the assessment of one or several NTS appear very limited in number (21). Specific training needs are difficult to define for the moment since these NTS have not yet been properly formalized. However, the much more abundant literature on the subject in other surgical disciplines offers the possibility of interpolation with the neurosurgical domain.

Methodological limits of existing studies in neurosurgery

The methodology of the studies selected after our research did not offer a high standard of proof. Few of them used specific statistical tests. We found no articles using specific surgery NTS assessment methods whose robustness and validity had been demonstrated in the literature. The 3 principal scales currently used for objective assessment of NTS are the OTAS (Observational Teamwork Assessment for Surgery)(62), the NOTECHS (NonTECHnical Skills)(15) and the NOTSS (Non Technical Skills for Surgeons)(63). The OTAS(62) essentially assesses the work of the team on the basis of 5 criteria : communication, leadership, cooperation, coordination and surveillance. The NOTECHS(15) classifies NTS in 4 categories : leadership and management, teamwork and cooperation, problem-solving, and decision-making and awareness of the situation. A score of 5 points is given for each category with a scale from 1 (very low) to 5 (very high). The NOTSS corresponds to interviews with consultant surgeons who show five main categories of NTS (awareness of the situation, decision-making, management tasks, leadership, communication and team spirit). Within each category there are 2 or 3 NTS elements depending on the surgical speciality, leading to a score covering 14 separate elements of skill. In some studies all the NTS are assessed together and in others only one or a few of the skills are examined. These factors make it difficult to interpret the results of all these studies. The ideal solution would be an overarching assessment scale with proportionally divided sub-sections to allow all the parameters of the NTS to be taken into account. Ten of these studies were carried out in a simulated environment or during teaching. The 11 others were done in a simulated environment, in the operating theatre or in consultation. There exist no studies comparing neurosurgery NTS in a simulated environment with a real environment such as the operating theatre. The scope of the evaluation of these NTS proposed

here focused on the healthcare activity in real or simulated environment but does not include all the NTS required in this profession.

The methodological heterogeneity of the studies included in our work made it impossible to assess risk of bias in individual studies, summary measures, synthesis of results, risk of bias across studies and additional analysis as suggested in the PRISMA statement.

Literature on surgical NTS

Although there are numerous synonyms in the literature describing surgical NTS, the 4 essential domains most often described are communication, decision-making, leadership and teamwork(13,15,16,23,48,57,63,128–131). There also exists a subdivision of surgical NTS into two major groups : cognitive skills and interpersonal skills(16).

Several specific skills among the interpersonal NTS have been studied separately, in particular stress(41). Stress can apparently have both positive and negative effects. A moderate level of stress(92) results in improved performance through increase in concentration. It can however endanger levels of performance when it becomes overwhelming. Pressure gives similar results to stress in a majority of cases. Surprisingly, fatigue (through sleep loss particularly post-duty)(119) can bring about contradictory results. Some studies clearly show a slowdown in task performance, clumsiness and even numbers of supplementary errors, and difficulty in concentrating. Other studies highlight contrary conclusions, with more rapid procedure time, better gesture ergonomics and fewer errors. An element of disinhibition is probably the reason for this, with fewer conflicts in a fatigue situation, and more pragmatic attitudes. Therefore, assessment in stress or fatigue conditions is very important in order to have objective data on this topic. There is a major issue in the context of the respect of the weekly working hours imposed by the European directives, while at the same time neurosurgery is impaired by an insufficient surgical demography in France.

Interpersonal communication(36) and communication with the patient are among the least studied areas in the literature. Most articles highlight the beneficial effects of feedback from a more experienced surgeon in terms of quality, gesture ergonomics, operation time and numbers of errors. In the rest of the literature NTS are analysed as a whole(13,15,16,23,25,48,62,63,89–92,97,128,130,132,133), using scales to examine the different skills. Overall, a close link is shown to exist between teamwork and the number of undesirable events occurring in the

operating theatre. These articles underline the necessity for maximum communication among the whole team before, during and after a surgical procedure in order to reduce the risk of errors(36,89,96,100–103,129).

Repercussions and prospects

The utility of a good knowledge of NTS and of their assessment was demonstrated in the work of Hull *et al* in 2012(13). NTS appear to have a positive influence on TS : they apparently improve the quality of care and patient outcome by improving safety and efficiency in the operating theatre. This study was carried out on a panel of several different types of specialist surgery.

Good mastery of NTS in neurosurgery has obvious pedagogical implications. A better understanding and definition of these skills in each specialist surgical domain, particularly in neurosurgery, would enable those responsible for teaching to identify more clearly the training needs for surgeons in that domain. The next step would be inclusion of NTS as specific subjects in educational programmes(2,35,93,113–115,117). This is beginning to be done in the United States by the Accreditation Council for Graduate Medical Education (ACGME)(116). The ACGME indicated for each of the specialties the "milestones" to be achieved by residents in training in each of the six "core competencies" required in the training course. Those dedicated to neurosurgery are particularly detailed in the March 2018 version of these recommendations(134). Including NTS learning in neurosurgery can be envisaged at two points in the training period : during internship (initial training) and/or as ongoing education in the context of continuing professional development (CPD). Confining learning of these skills exclusively to one or another particular stage of the learning process seems unduly simplistic. Placing the acquisition of these skills at the beginning of internship training would be more valuable, since these are general skills which can be applied from the outset of daily surgical activity. They do not necessarily require previous specific declarative knowledge such as complex anatomical elements, which could represent a technical obstacle for a young resident operating, for example, on a brain tumour in a difficult location. It also appears more logical for students to acquire these skills as early as possible to optimize patient safety, for the same reason as they learn basic technical skills (for example, how to hold an instrument properly). It is also essential to include NTS in CPD, since acquisition of these skills is not yet systematic in early training. Surgery, and neurosurgery in particular, is often taught by mentoring, the

main teaching tool being the role model. In spite of many hours spent in the operating theatre or with patients, a neurosurgery intern may at times find it difficult to understand the difficulties facing the surgeon and the cognitive conflicts he experiences(35). On the other hand, the surgeon may have difficulty in transmitting the skills he has learnt by experience, which seem natural to him since he cannot formalize them and make them explicit. Understanding NTS more clearly, formalizing them and rendering them explicit, will greatly improve the training of young neurosurgeons by helping them to identify problems at an early stage, so as to optimize patient safety(135) and accelerate their learning curve.

NTS are also an important subject in the research domain. Initially, applying recognised measuring scales (NOTECHS, NOTSS, OTAS) to neurosurgery could render it possible to pursue the study of their feasibility and assess their reliability and variability in a specific context. Neurosurgery is a complex and specific surgical discipline which nonetheless shares similar difficulties and NTS with other surgical specialties, while retaining its own particular aspects. Studying NTS in neurosurgery opens the possibility of enriching the taxonomy in this domain. The concepts of morbidity and mortality within neurosurgical procedures are of extreme importance. Many operations may carry a risk of life-threatening consequences or of life-changing functional handicaps. They involve cognitive conflicts which are difficult for the surgeon to manage, the more so as the procedure often takes place in the context of an emergency. One example is a patient's recovery from anaesthesia after an operation for cranio-cerebral pathology. Several different scenarios are possible : 1) A patient without preoperative neurological signs may on recovery present new disabilities which may or may not disappear (induced handicap) ; 2) A patient with no preoperative vigilance disorders may not recover consciousness after anaesthesia and risks falling into a chronic coma state ; 3) Fortunately in the majority of cases the patient recovers consciousness without new disabilities, or with an improvement compared to preoperative neurological signs. It can easily be understood that in these different situations stress management, risk assessment and pressure are not the same. Stress management continues until the patient's recovery from anaesthesia ; it does not end when the surgical procedure is finished.

Different methods of intervention to improve safety in operating theatres have been appearing over the last few years, particularly since 2009 with the Surgical Safety Checklist(8). Other specific checklists have been developed in neurosurgical specialist areas such as vascular neurosurgery or deep brain stimulation(107). In terms of public health, surgical errors are responsible for a significant increase in morbidity, a deterioration in the quality of life and

increased expenditure(8,82,84–89,96,101,102,105,136). These checklists have been developed(8,104–107) in order to reduce the number of avoidable errors, with the constant purpose of improving the quality of care and the safety of patients.

Conclusions

After this systematic review of the literature, it appears that very few studies have been carried out concerning neurosurgical NTS, in spite of increasing numbers of articles over the last few years on NTS in other domains of surgery. Moreover, this literature is very diverse in comparison with studies on TS. The complexity of the methodology required to ensure robust assessment tools is probably the reason for this disparity. Society today is concentrating more and more on the quality and safety of medical care, particularly in the domain of neurosurgery. The development and application of these assessment tools is therefore essential. They will also provide important and still underestimated assistance in the training of future neurosurgeons, thus ensuring that all the skills necessary to the profession are effectively transmitted.

1.4. Conclusion

Les CNT en neurochirurgie sont étudiées de façon assez diverse dans la littérature. Les environnements d'études, les compétences étudiées ainsi que la méthodologie utilisée varient d'une publication à l'autre. Cette variabilité peut traduire d'une part l'émergence et l'intérêt pour le moment encore débutant de l'étude de ces CNT dans la discipline qu'est la neurochirurgie et d'autre part une problématique globale plus complexe d'analyse de ces compétences de haut niveau qui rendent incomplète leur analyse à travers une grille d'évaluation purement quantitative. Suite à cet état de l'art, nous avons ainsi décidé de nous intéresser aux CNT en gardant en mémoire la dichotomie des CNT interpersonnelles et cognitives qui permet d'organiser schématiquement notre propos. Nous gardons cependant en mémoire que ces CNT sont des compétences de haut niveau dont le caractère interpersonnel ou social est souvent indissociable du caractère cognitif et que l'un ou l'autre de ces 2 sous-ensembles interagissent entre eux.

Chapitre 2 : Compétences interpersonnelles - le travail en équipe et la communication

Le travail d'équipe et la communication sont des CNT interpersonnelles qui doivent être maîtrisées afin de faire face aux interruptions de tâches qui peuvent être nombreuses dans un environnement sensible de bloc opératoire. Après avoir défini les concepts d'interruptions de flux de travail et de familiarité au sein d'une équipe, nous exposerons dans ce chapitre les relations qui existent entre cette familiarité au sein des équipes chirurgicales, la survenue des interruptions de flux de travail et l'expertise des acteurs du bloc opératoire. Ce travail est focalisé sur le binôme chirurgien-infirmier de bloc opératoire.

2.1 Les interruptions de flux de travail

Le « flux de travail chirurgical » est défini comme l'automatisation de l'ensemble ou d'une part du processus opérationnel dans la prise en charge chirurgicale des patients, durant lequel chaque document, information, images ou tâches se passent d'un participant à un autre en vue d'initier une ou action selon un panel de règles procédurales(137). Une interruption de flux de travail est caractérisée par des déviations de la progression naturelle d'une opération, pouvant ainsi compromettre la sécurité de cette opération (138,139). Les interruptions au bloc opératoire peuvent être divisées en interruptions liées à la communication, accessibilité, disposition matérielle, hasards environnementaux, interruptions générales et défaillance d'équipement (138,140,141). Elles peuvent être la résultante de nombreux facteurs: environnementaux, travail d'équipe, organisationnel et politique institutionnelle (138,140,142–145). Les défaillances de communication au bloc opératoire peuvent survenir dans environ 30% des échanges au sein des équipes et un tiers de ces causes d'interruptions mettent en danger la sécurité des patients (146). Les erreurs chirurgicales sont étroitement liées aux nombre d'interruptions (4,138). Même si l'introduction de la “Surgical Safety Checklist” de l'OMS a aidé à diminuer la morbi-mortalité chirurgicale (8), son incorporation dans le flux de travail chirurgical reste compliqué (37). De plus, ces interruptions peuvent entraîner une augmentation de la charge de travail pour les membres de l'équipe (60).

2.2 Le travail d'équipe et la familiarité au sein d'une équipe

Il a été montré que le travail d'équipe était un moyen essentiel pour réduire ces interruptions (138). Des recherches dans d'autres environnements sensibles comme l'aviation ont mis en évidence le fait que les équipages à faible familiarité pouvaient impacter négativement la sécurité (147). La familiarité au sein d'une équipe peut être caractérisée par le fait que les

membres de cette même équipe se connaissent bien et travaillent souvent ensemble, ce qui leur confère une certaine proximité. Les concepts d'équipe et d'équipage nécessitent d'être différenciés dans l'environnement chirurgical puisqu'ils définissent respectivement un plus grand groupe de personnes habitués à travailler ensemble (i.e. équipe) et un groupe spécifique travaillant ensemble pour une intervention chirurgicale spécifique (i.e. analogie à la notion d'équipage). En se plaçant dans cette perspective, la théorie de mémoire transactive souligne le fait que les membres d'une équipe avec plus d'expérience de travail ensemble ont plus tendance à demander et accepter du soutien d'un autre membre de l'équipe que ceux qui ont moins d'expérience de travailler ensemble (27). Toujours selon cette théorie de mémoire transactive (148–150), la familiarité au sein des équipes permet le développement de modèles mentaux partagés permettant coordination, crédibilité, spécialisation et ainsi amélioration de la performance globale de l'équipe. Au contraire, le manque de familiarité parmi les équipes de cliniciens pré-hospitaliers était associé avec une plus grande incidence d'accidents du travail dans un environnement de soins d'urgences (151). Dans la littérature en psychologie et ergonomie, des études ont démontré l'effet positif de cette familiarité entre les membres d'une équipe chirurgicale sur la durée opératoire et le nombre d'incidents (152,153). Pour autant d'autres études montrent aussi les effets positifs de l'interchangeabilité des membres au sein des équipes. Des études plus récentes suggèrent un « effet de courbe en U » pour expliquer les effets de la familiarité sur les performances, et le nombre d'erreurs. En d'autres termes, au-delà d'un certain seuil, la familiarité agirait de façon délétère sur les performances en entraînant des conduites trop rigides ou automatisées. Dans ce cas la diminution des interactions entre les membres d'équipes trop familières pourrait alors nuire à l'adaptation en cas d'évènements inattendus. Les données actuelles suggèreraient donc qu'il convient de considérer des facteurs modérateurs importants pour mieux comprendre les effets de la familiarité dans les équipes au bloc opératoire.

2.3. Relationships Between Expertise, Crew Familiarity and Surgical Workflow Disruptions: An Observational Study

Pierre-Louis Henaux^{1,2}, MD, Estelle Michinov³, PhD, Julie Rochat³, MPsy, Brivael Hémon³, MPsy, Pierre Jannin², PhD, Laurent Riffaud^{1,2}, MD, PhD

1. Department of Neurosurgery, Rennes University Hospital, 2, rue Henri Le Guilloux 35033 Rennes, Cedex 9, France - pierre-louis.henaux@chu-rennes.fr; laurent.riffaud@chu-rennes.fr
2. INSERM MediCIS, Unit U1099 LTSI, Rennes 1 University, Faculty of Medicine, 2 Avenue du Professeur Léon Bernard, 35043 Rennes Cedex, France - pierre.jannin@univ-rennes1.fr
3. Univ Rennes, LP3C (Laboratoire de Psychologie : Cognition, Comportement, Communication) - EA 1285, F-35000 Rennes, France – estelle.michinov@univ-rennes2.fr; julie.rochat@univ-rennes2.fr; brivael.hemon@univ-rennes2.fr

Publié dans : World J Surg. 2019 Feb;43(2):431-438. doi: 10.1007/s00268-018-4805-5

Abstract

Background

Teamwork is an essential factor in reducing workflow disruption (WD) in the operating room. Team familiarity (TF) has been recognized as an antecedent to surgical quality and safety. To date, no study has examined the link between team members' role and expertise, TF and WD in surgical setting. This study aimed to examine the relationships between expertise, surgeon-scrub nurse familiarity and WD.

Methods

We observed a convenience sample of 12 elective neurosurgical procedures carried out by 4 surgeons and 11 SN with different levels of expertise and different degrees of familiarity between surgeons and SN. We calculated the number of WD per unit of coding time to control for the duration of operation. We explored the type and frequency of WD, and the differences between the surgeons and SN. We examined the relationships between duration of WD, staff expertise and surgeon-scrub nurse familiarity.

Results

9.91% of the coded surgical time concerned WD. The most frequent causes of WD were distractions (29.7%) and colleagues' interruptions (25.2%). This proportion was seen for SN, whereas teaching moments and colleagues' interruptions were the most frequent WD for surgeons. The WD was less high among expert surgeons and less frequent when surgeon was familiar with SN.

Conclusions

The frequency of WD during surgical time can compromise surgical quality and patient safety. WD seems to decrease in teams with high levels of surgeon-scrub nurse familiarity and with

development of surgical expertise. Favoring TF and giving feedback to the team about WD issues could be interesting ways to improve teamwork.

Introduction

“Surgical workflow” is defined as the automation of a whole or a part of a business process in the surgical management of patients, during which documents, information, images or tasks are passed from one participant to another in order to initiate action according to a set of procedural rules(137). A workflow disruption (WD) is characterized by deviations from the natural progression of an operation, thus possibly compromising operation safety (138,139). Disruptions in the operating room (OR) can be subdivided into communication, usability, physical layout, environmental hazards, general interruptions and equipment failures(138,140,141). They may be the result of a number factors: environmental, teamwork, organizational and institutional policies(138,140,142–145). Communication failures in the OR can occur in approximately 30% of team exchanges and a third of these causes of WD endanger patient safety (146). Surgical errors are strongly related to the number of WD (4,138). Even if the introduction of the World Health Organization Surgical Safety Checklist has helped decrease surgical morbidity and mortality (8), its incorporation into surgical workflow remains challenging (37). In addition, WD can lead to increased workload for team members (60).

Teamwork has been shown as an essential means to reduce WD (138). Research in other high-risk settings such as the aviation field has highlighted the fact that limited familiarity between teammates can lead to negative safety outcomes (147). Lack of familiarity among prehospital clinician teammates has been associated with greater incidence of workplace injury in emergency care settings (151). Studies in surgical context have shown that team familiarity (TF) improves team performance (152) and reduces morbidity(153). Team and crew concepts need to be distinguished in surgical settings because they defined respectively a larger group of people usually worked together (*i.e.* team) and a specific group of people working together for a specific surgical procedure (*i.e.* crew). From this perspective, transactive memory theory stresses that team members with more experience of working together are more likely to request and accept backup from one another than those with less experience of working together(27).

To the best of our knowledge, no study has focused on the link between TF, team members’ role and expertise and WD in surgical settings. If experts in surgery are well-identified in their

community, there is a lack of consensus concerning the very essence of their expertise(154). The aim of this study was to examine the relationships between expertise, surgeon-scrub nurse familiarity and WD.

Material and Methods

Description of the participants and the operative procedure

We made audio and video recordings of 4 neurosurgeons and 11 SN from the same neurosurgical department of the University hospital during surgical approaches for 12 identical surgical procedures. The neurosurgeons were men aged from 32 to 53 years (mean 38.5 years) and the SN were women aged from 26 to 53 years (mean 36.5 years). The recordings began in March and ended in July 2016. The protocol and design of the study was approved by the local ethics committee and informed consent was obtained from all participants. The procedure was the same in all recordings and consisted in an anterior cervical discectomy and fusion (ACDF). Simple surgical procedures that involved 1 or 2 intervertebral discs were included in the study but more complex procedures such as 3 discs or C2C3 / C7T1 levels were excluded.

Description of the recorded data

Workflow disruptions

Recordings were analyzed using the Observer[®] XT 12 software (Noldus Information Technologies, Wageningen, The Netherlands). The two coders observing the video recordings were two doctoral students in human factors and psychology. They coded the first part of the procedure comprising the approach to the cervical spine by anterolateral cervicotomy. This phase of the surgery represented the phase where the communication and coordination of the crew members was the strongest. The taxonomy was developed from tools used in previous studies on flow interruptions in OR (140,141,155) and enriched by pilot observations of the dyad surgeon–SN in our department. For instance, four out of six main categories of the RIPCHORD-TWA (Realising Improved Patient Care through Human-Centered Operating Room Design - Threat Window Analysis) framework presented by Cohen et al. appear in our coding scheme, i.e. communication, coordination, equipment and interruptions (155). Nevertheless, elements of those tools were adapted to fit the observation of the surgeon and scrub nurse dyad, instead of the entire team. Our observation tool distinguishes five flow

disruption categories: (1) verbal communication issues; (2) coordination issues; (3) equipment issues; (4) interruptions from environment; (5) distractions, and includes a total of 11 elements (Table 1).

Table 1. Taxonomy developed for coding Workflow Disruptions including categories, elements with definitions and examples

Categories	Elements	Definition and examples
Communication issues	Repetition	Participants have to repeat a sentence For example, the surgeon repeats because the SN did not hear the first time
	Misunderstanding	Erroneous comprehension or poor interpretation of a request For example, the SN does not give the tool requested by the surgeon
Coordination issues	Lack of response	Delay or absence of response from a member of the dyad For example, the SN is taking some time; the surgeon looks up
	Confusion	Doubt or clumsiness in the manipulation of a tool For example, the surgeon drops a tool. The SN hesitates before giving a tool
	Problem of (or poor) anticipation	Gap between the expectations of the participants For example, the SN prepares an instrument, whereas the surgeon requests another one
Equipment issues	Equipment dysfunction	An instrument is not operational For example, a rongeur is blocked
	Lack of equipment	A tool is missing or unavailable For example, the surgeon needs a tool which has not been sterilized yet
Interruptions	Interruption by colleagues	Another member of the staff disturbs the workflow For example, the circulating nurse asks the SN a question while giving her a tool. The surgeon looks at another team member because they are talking
	Interruption by beeper/phone/alarm (alerts)	A participant is interrupted by a phone call, a beeper or the alarm of an instrument in the OR For example, the alarm of an anesthetic instrument is ringing, the surgeon asks for information
	Teaching moment	The surgeon explains something to the resident For example, the resident asks for details about a part of the surgical procedure
Distractions	Distraction	The participant is not focused on its task or is showing signs of fatigue or boredom For example, the surgeon is looking away (at the clock, the window). The SN is yawning

SN scrub nurse

Coding of the video recordings started after training of the 2 coders in the use of the Observer[®]. A random sample of 4 videos was coded by two doctoral students in human factors and psychology in order to test inter-rater reliability. The analyses of the two coders were compared, and the inter-observer agreement was calculated. This inter-rater reliability was achieved by calculating Cohen's kappa coefficients and by using confusion matrix from the Observer[®]. The reliability analysis showed that kappa coefficients were acceptable (average kappa = 0.70). Kappa coefficients were 0.55 for video 1, 0.78 for video 2, 0.76 for video 3, and 0.71 for video 4. Analysis of the confusion matrix for each video showed that disagreements between the two coders concerned mainly the video 1, for "distractions" (10 disagreements) and "lack of equipment" (4 disagreements). For video 2, we observed 8 disagreements between coders, for "distractions" (5 disagreements) and "teaching moments" (3 disagreements). For video 3, we

observed 6 disagreements between coders for “distractions” (3 disagreements) and “interruption by colleagues” (3 disagreements). For video 4, we observed 8 disagreements between coders s for “distractions” (3 disagreements) and “interruption by colleagues” (5 disagreements) (Table 2).

Table 2. Disagreements between the two coders

	Video 1	Video 2	Video 3	Video 4
Kappa coefficients	0.55	0.78	0.76	0.71
Disagreements numbers	14	8	6	8
Disagreements types	Distractions (10), lack of equipment (4)	Distractions (5), teaching moments (3)	Distractions (3), interruption by colleagues (3)	Distractions (3), interruption by colleagues (5)

Degree of expertise of the participants

We determined the level of experience from the number of ACDF interventions carried out during the previous 6 months in our specific sample, and by the evaluations of the members of the unit. In our sample, we distinguish three levels of expertise. One junior surgeon has carried out 5 ACDF interventions and 4 scrub nurses fewer than 5 interventions during the last six months (low level of expertise). Two surgeons have carried out 13 and 15 ACDF interventions and 3 scrub nurses from 6 to 8 ACDF interventions (intermediate level of expertise). One senior surgeon has carried out 40 ACDF interventions and 3 scrub nurses more than 10 ACDF interventions (high level of expertise).

Degree of surgeon-scrub nurse familiarity

The degree of familiarity between the surgeons and SN was defined according the number of times one participant worked with the other during the 6 months before the study, according to operating logs (156). The degree of familiarity was a continuous variable and varied from 1 to 5 joint surgeries (mean 2.7, SD 0.98).

Statistical analyses

All statistical analyses were performed using SPSS with a significance level of $p < 0.05$. The total number of WD and their cumulative duration per unit of coded time was computed and related to the length of each surgical approach in order to estimate the percentage devoted to WD. Dyadic communication between the surgeon and SN was analyzed first by calculating the total number of WD across all 12 surgical procedures. Thereafter, frequency of each element

within each of the WD categories was computed. Frequency of each WD element according to the chronology of the surgical approach (i.e. “beginning, middle or end”) was also calculated. Number, type and duration of WD were evaluated respectively for surgeons and SN in order to identify potential differences between these two specific populations. For this study, ANOVAs or non-parametric tests (Chi-square test, χ^2) were used. Furthermore, correlational analysis was conducted to analyze the relationships between the duration of WD and the surgeons’ and nurses’ expertise, surgeon-scrub nurse familiarity, the duration of the surgery and the time of day.

Results

Duration and frequency of workflow disruptions

The total surgical time coded was 180 min (Mean = 15.42 min, with a variation for each case from 10 min to 18 min). 9.91% of the coded surgical time concerned WD. Among the 12 surgical procedures, the cumulative duration of WD was 17.84 min (Mean = 1.49 min, with a variation for each case from 0.52 min to 4.45 min, only 2 cases with 2.60 min and 4.45 min). The total number of WD was 155 (Mean = 12.92, with a variation for each case from 5 to 22 WD). The data revealed some variability between WD categories (Figure 1). More than half of observed WD were caused by distractions (29.7%) and interruptions by colleagues (25.2%).

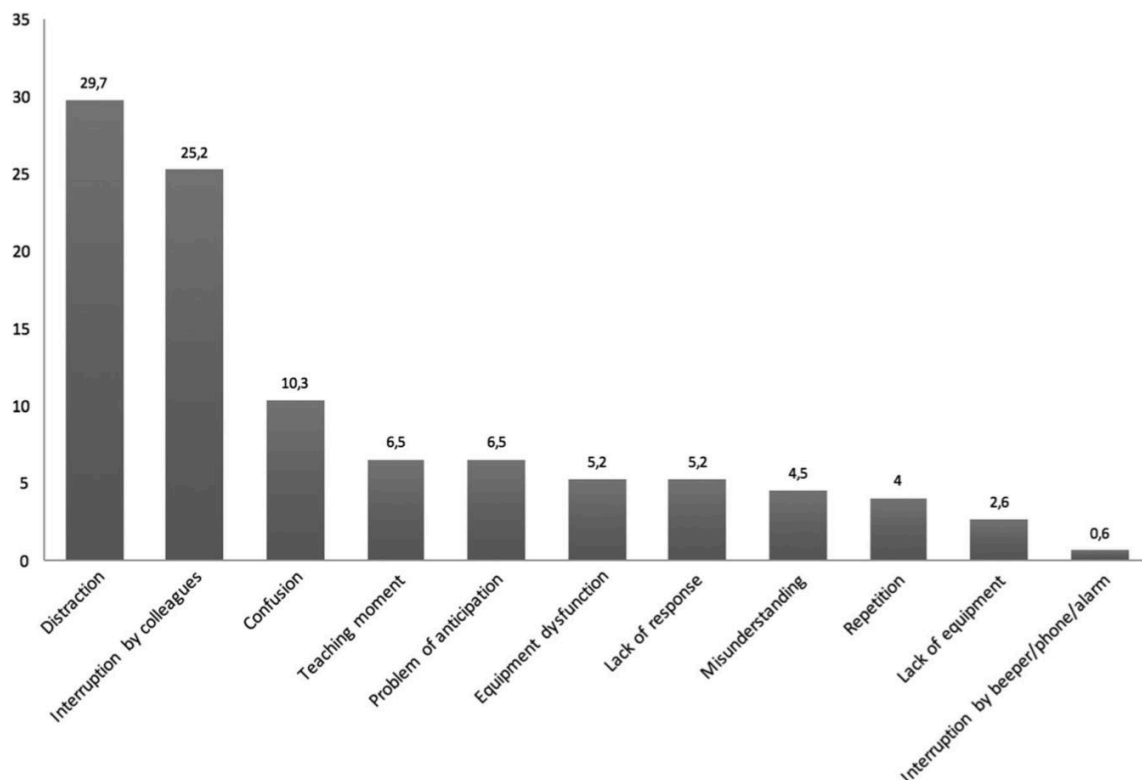


Figure 1. Percentages of workflow disruptions (Percentage global)

Workflow disruptions according to chronology of the surgical approach

Frequency of certain WD categories and elements varied according to the section time of the surgical approach ($\chi^2(20, 155) = 32.15, p < .04$). Equipment dysfunctions were more frequent at the beginning than in the middle / end of the surgical approach (beginning: $n = 5$; middle: $n = 1$; end: $n = 2$). Communication and coordination issues were more frequent in the middle / end than at the beginning (misunderstanding: beginning: $n = 0$; middle: $n = 3$; end: $n = 4$ / problem of anticipation: beginning: $n = 0$; middle: $n = 6$; end: $n = 4$ / lack of response: beginning: $n = 1$; middle: $n = 1$; end: $n = 6$). No differences were observed for the remaining WD categories and elements.

Variations of workflow disruptions among surgeons and scrub nurses

Additional analyses showed that the duration of WD varied significantly between the 2 groups of participants ($F(1, 154) = 3.82, p < .05$): duration of WD was significantly longer in the group of surgeons ($M = 9.69, SD = 13.45$) than in the group of scrub nurses ($M = 5.83, SD = 9.91$). Interruptions by colleagues were the most common disrupting factor for both groups, but the distribution of WD behaviors differed significantly between the 2 groups ($\chi^2(10, 155) = 57.32, p < .0001$). As we can see in Figure 2, SN demonstrated both a greater frequency of WD ($n = 112$) and a different distribution of these WD compared to surgeons: circumstances of distraction ($n = 43$) and interruptions by colleagues ($n = 24$) were over-represented. On the other hand, WD among the group of surgeons were 3 times less frequent ($n = 43$) and mainly represented by interruptions by colleagues ($n = 15$) and teaching moments.

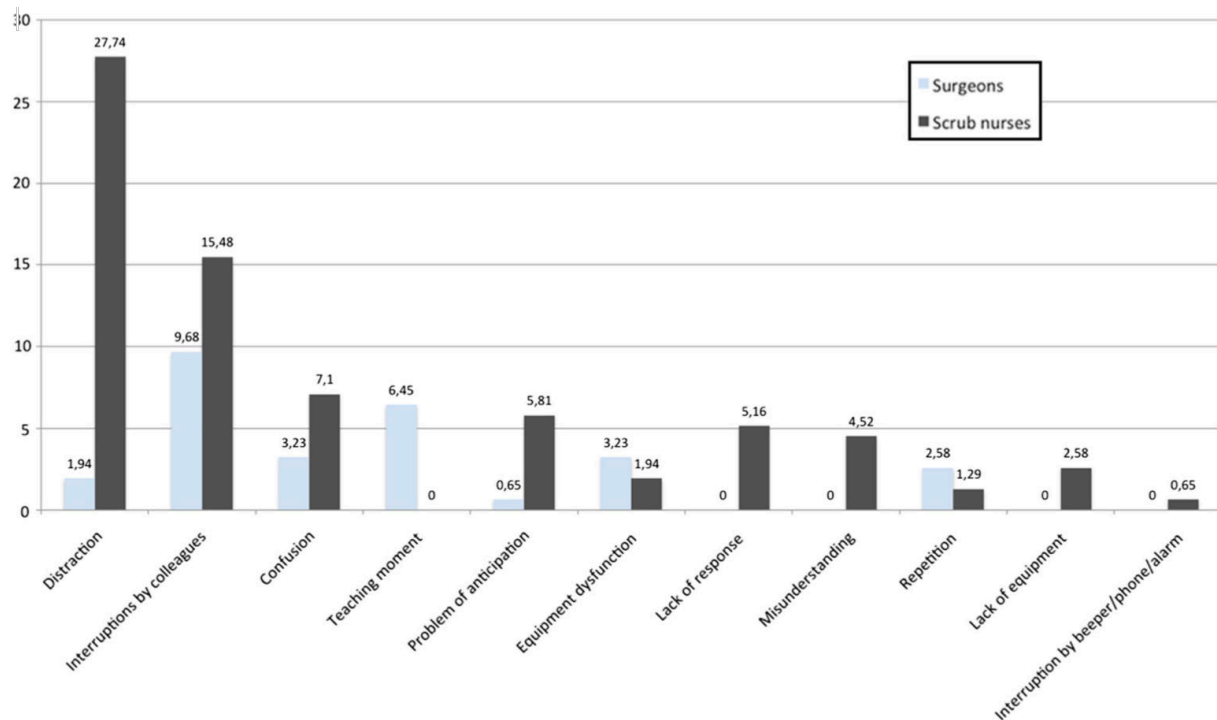


Figure 2. Variations of workflow disruptions among surgeons and scrub nurses

Relationships between expertise, surgeon-scrub nurse familiarity and workflow disruptions

Results of the correlational analysis (Table 3) revealed that the expertise of surgeons correlated negatively with the duration of WD ($r = -.18$, CI 95% [-0.328, -0.024]) and the duration of surgical approach ($r = -.27$, CI 95% [-0.41, -0.118]). In other words, duration of WD and duration of the surgical procedure were significantly shorter in expert surgeons. The duration of surgical approach was also negatively correlated with the time of day ($r = -.35$, CI 95% [-0.481, -0.204]): in the afternoon, the duration of the intervention was shorter than in the morning.

The degree of expertise among surgeons-SN dyads was negatively correlated ($r = -.44$, CI 95% [-0.558, -0.304]), and the familiarity among these dyads was positively related ($r = .82$, CI 95% [-0.865, -0.761]). Similarly, familiarity was low in dyads consisting of SN with high levels of expertise and surgeons with low levels of expertise ($r = -.18$, CI 95% [-0.328, -0.024]).

Finally, as expected, familiarity between surgeons and SN correlated negatively with duration of WD ($r = -.19$, CI 95% [-0.337, -0.034]): WD were less frequent when surgeon was familiar with SN.

Table 3. Relationships between expertise, surgeon-scrub nurse familiarity, duration of workflow disruptions, duration of surgical approach and time of the day (Spearman correlation)

	1	2	3	4	5	6
1. Expertise of surgeons ^a	1					
2. Expertise of scrub nurses ^a	-.44 ($p < .0001$)	1				
3. Familiarity	.82 ($p < .0001$)	-.18 ($p < .05$)	1			
4. Duration of workflow disruptions	-.18 ($p < .05$)	.05	-.19 ($p < .01$)	1		
5. Duration of surgical approach	-.27 ($p < .01$)	-.02	.06	.12	1	
6. Time of the day ^b	-.11	-.12	-.12	-.14	-.35 ($p < .0001$)	1

$N = 155$

^aExpertise: 1 = low level, 2 = intermediate level, 3 = expert

^bTime of day: 1 = morning, 2 = afternoon

Discussion

This study aimed to examine surgeons-scrub nurses' WD during a neurosurgical intervention (ACDF) and their relationships with expertise and surgeon-scrub nurse familiarity. To our knowledge, this is the first study focusing on the relationship between these factors in the surgical context.

Overall, WD represented 9.91% of the coded surgical time and was essentially due to interruptions by colleagues and distraction. Interruptions by colleagues were in line with previous findings (60). Cohen, in 2016 (155), evaluated number of WD in a cardiac surgery OR population excluding surgeons. Interruptions accounted for the highest proportion of WD involved (48.6%). The frequency of WD in our study was lower than in Cohen's (25%), but similar to another study conducted in a different context. For example, Allers *et al.* (144), showed that WD in prostate surgery assisted by robotics, accounted for 9% of the operative time.

Interestingly, a major cause of interruption, not clearly reported in previous studies(138,146), was related to problems of concentration among SN specifically. Firstly, a possible explanation relates to the routine nature of the surgery recorded, which is low-risk and frequent in hospital context, thus leading to a loss of situational awareness among SN. Widmer *et al.* (157) described case-irrelevant communication (CIC) as another source of distraction. They categorized CIC into work-related CIC or social CIC. Their frequencies varied according to the phases and difficulty of the surgery. Teaching moments between surgeons and their fellow assistants could be a source of communication failure and WD. However, despite the fact that the role of simulation in surgery is not questionable, it is not sufficient for the learning of surgery. Protected time for learning in a real environment, *i.e.* in the OR, must be accepted in academic hospitals. Contrary to previous studies (138,141,158), some common types of WD

related to coordination problems, communication failures or equipment dysfunction did not appear in the present study. Lastly, duration of the surgery was shorter in the afternoon possibly because of stronger time constraints due to the presence of OR end time.

Another important result of this study is the relationship between expertise, surgeon-scrub nurse familiarity and surgical WD. Actually, in our study looking specifically at the surgeon-SN crews, the number of WD decreased as the level of expertise among neurosurgeons increased and the number of WD decreased while familiarity between surgeons and SN increased. Even if this relationship between WD and surgeons-Scrub familiarity is a small size effect, this result confirms some of those observed in previous studies (144,152,158–160). For example, Parker *et al.* (158) have shown that miscommunications occurred more frequently in teams where a new staff surgeon was present. Moreover, Elbardissi *et al.* (159) showed that collaboration between a fellow and an attending surgeon who were more familiar allowed reduction of times of clamping in cardiac surgery. A number of studies (37,148) suggest the importance of coordination and anticipation between surgeons and SN in workflow and team performance. According to the theory of transactive memory (149,150), team familiarity permits development of a shared mental model allowing coordination, credibility and specialization and therefore increasing team performance. The ability of the SN to understand subtle differences among neurosurgeons allows them to get ready for probable challenges and reduce the influence of WD that could hinder team performance (161).

Sieweke *et al.* (162) in the sports field, established a U-shaped relationship between the coordination errors in the team and the familiarity among the team with a moderating effect of the team leader on this relationship. In our study, we also observed this relationship between the expertise of neurosurgeon and WD. Crew familiarity effect is less influential when a SN assists an expert surgeon. The influence of familiarity seems to be stronger for the non-expert surgeons.

Despite the interest of the present findings, some limitations should be highlighted. This pilot study contains a limited number of interventions, focused only on a University hospital, in a neurosurgery department. Future studies with a larger sample are needed with the examination of team familiarity in the OR. Some variables are not mastered : variation of technical skills according to the degree of expertise for example. Neither have we carried out a specific analysis as in other studies on expert leadership vs. novice leadership and workload (60,151).

The identification and categorization of surgical WD could also suggest some practical means to improve the OR environment, such as simulation based teamwork training in order to

limit interruptions by colleagues. Interventions to reduce WD in the OR should consider the specific needs of participants. Finally, this study confirms the relationship between WD and familiarity between surgeons and nurses. OR staff need to be more vigilant with regard to introduction of new team members in order to limit WD numbers which could impair patient safety.

2.4. Conclusion.

Cette deuxième partie nous a permis d'explorer les CNT interpersonnelles ou sociales à travers deux prismes. L'analyse des interruptions de tâches permet d'avoir un reflet matérialisable et quantifiable des interactions des membres d'une équipe chirurgicale au sein d'un bloc opératoire. Quand on analyse les interruptions de tâches, on analyse indirectement plusieurs CNT interpersonnelles au premier rang duquel le travail d'équipe et la communication. Ces interruptions de tâches sont des éléments quantifiables qui peuvent à la fois être utilisées dans des études en environnement simulé qu'en environnement réel. Elles sont à la fois un reflet de la mobilisation des CNT mais peuvent également elles-mêmes être des facteurs modulateurs des CNT en influant par exemple la charge du travail. Par ailleurs la familiarité au sein d'une équipe est un phénomène qui regroupe et fait intervenir plusieurs CNT interpersonnelles à la fois. Ceci illustre la difficulté qui existe quand on s'intéresse à l'étude des CNT. Ainsi l'analyse de CNT interpersonnelles individuelles telles que le leadership ou la communication peuvent être pertinentes et être des leviers de possibles changements de comportements individuels au sein d'une équipe. Cependant ces changements de comportement individuel ne sont pas suffisants si on ne tient pas compte d'une analyse à un niveau plus macroscopique des composantes d'une équipe (*i.e.* familiarité au sein d'une équipe). Distinguer les compétences interpersonnelles des compétences cognitives afin d'avoir une vision la plus détaillée des CNT est nécessaire mais cela entraîne une distinction purement schématique car comme mentionné plus haut les interactions des unes vers les autres sont permanentes. L'exemple du modèle mental partagé décrit dans ce travail est une illustration de ce lien qui existe entre ces CNT cognitives et interpersonnelles.

Chapitre 3: Compétences cognitives - Représentation mentale durant le planning chirurgical pré-opératoire

3.1 La représentation mentale

Les chirurgiens dans leur pratique quotidienne sont amenés à résoudre des problèmes complexes. Durant ces tâches complexes, un certain nombre d'événements inattendus et menaçant le pronostic vital peuvent survenir. La dextérité ainsi que d'autres compétences techniques, les connaissances fondamentales et procédurales, même si elles sont indispensables, ne sont pas suffisantes pour atteindre cet objectif. Même si elles ne semblent pas être au premier plan, les CNT et en particulier les CNT cognitives jouent un rôle très important dans la pratique quotidienne des chirurgiens. La première partie d'une procédure chirurgicale commence avant même d'entrer au bloc opératoire. La représentation mentale que le chirurgien se fait d'un problème est essentielle. Cette RM est directement liée à la prise de décision. Beaucoup de définitions des représentations mentales existent et varient en fonction de la perspective adoptée (principalement philosophique ou psychologique. Une des théories largement reconnue en psychologie cognitive est de distinguer, à l'intérieur de cette représentation mentale, les représentations propositionnelles, les modèles mentaux et l'imagerie mentale. L'imagerie mentale semble jouer un rôle majeur par le biais de l'anatomie. Cette représentation mentale évolue généralement au cours du développement de l'expertise. Le rôle du chirurgien a longtemps été réduit à une performance technique au bloc opératoire. Son rôle ne doit cependant pas être réduit à cela. Une partie importante des compétences des chirurgiens sont cognitives et peuvent être assimilées à de la résolution de problèmes complexes. La création de programmes d'évaluation base sur les compétences au Canada (163) et aux États-Unis (164) a conduit à élargir la définition de la profession. Les CNT incluant les compétences cognitives sont de plus en plus étudiées en chirurgie par le lien étroit qu'elles entretiennent avec la survenue d'événements indésirables (3). Cependant, même si ces compétences sont nécessaires, elles ne sont pas suffisantes pour définir l'expertise en chirurgie. Il n'y a pas de consensus quant à la définition exacte de l'expertise en chirurgie. (137,165–168). Une définition de la performance d'un expert en chirurgie, parmi d'autres, est la capacité qu'il a de reproduire de façon consistante une performance supérieure sur une tâche donnée et à la demande. (169). Une distinction sémantique est également nécessaire entre l'expertise adaptative et l'expertise de routine (170). L'expertise adaptative est la capacité d'appliquer de la connaissance efficacement pour la résolution de problèmes nouveaux ou de cas atypiques. Ericsson et al. ont mis l'accent sur le caractère délibéré de la pratique (169) comme effort

prolongé pour améliorer la performance tout en négociant ses contraintes motivationnelles et extérieures.

Les termes « représentation mentale » ne font pas forcément partie du langage naturelle des chirurgiens. Cependant un certain nombre d'éléments confortent l'hypothèse que cette activité cognitive est une composante clé de l'expertise. (171). Certaines théories philosophiques (172) et psychologiques essayent de mieux définir les représentations mentales avec des caractéristiques communes mais aussi des idées opposées. Une théorie répandue en psychologie cognitive est celle des modèles mentaux (173). Un modèle mental peut-être défini comme un état entre la représentation propositionnelle et l'imagerie mentale. Une représentation propositionnelle peut être comparée au langage naturel. Le modèle mental est un ensemble d'outils que nous utilisons pour penser. Chaque modèle mental propose un cadre différent que l'on peut utiliser pour avoir un certain regard sur un problème individuel. Parmi les descriptions courantes de représentations mentales, l'imagerie mentale quant à elle semblent jouer un rôle majeur en chirurgie par le biais de l'anatomie. L'imagerie mentale, du point de vue psychologique, peut-être définie comme une simulation ou la re-crédation d'expériences perceptives à travers des modalités sensorielles (174). Kosslyn et al. (174), dans leur théorie informatique d'imagerie et de haut niveau de perception visuelle ont décrit plus en détail l'imagerie mentale. Dans la littérature sportive et chirurgicale, d'autres concepts similaires méritent d'être considérés comme la pratique mentale ou répétition mentale. (175).

3.2 Le planning chirurgical pré-opératoire

Le planning pré-opératoire chirurgical est un exemple de représentation mentale d'un problème complexe et en particulier dans le cas d'une chirurgie d'exérèse de tumeur intracrânienne. L'objectif de la chirurgie, dans ces cas, est de procéder à l'exérèse la plus large possible de la tumeur et d'éviter les zones fonctionnelles pour prévenir le risque d'aggravation neurologique post-opératoire. De bien des manières (résolution de problèmes, prise de décision ou jugement) le planning préopératoire chirurgical peut être comparé au raisonnement clinique. Depuis les années 1990, le domaine de la recherche en raisonnement clinique s'intéresse de plus en plus au fait qu'il existerait une disponibilité de représentations mentales multiples de la connaissance chez les experts médicaux. Certes, les experts ont plus de connaissance, mais principalement une connaissance mieux organisée et plus accessible. (171). Les différentes formes de représentations mentales dans ce contexte sont la connaissance provenant des sciences fondamentales (176), la connaissance formelle des probabilités de survenue des

maladies, des scénarios et de la connaissance expérientielle (exemples représentatifs) (171). Le planning chirurgical préopératoire est un exemple d'une connexion étroite entre la représentation mentale et la prise de décision. Deux études dans le domaine neurochirurgical illustrent ce propos; en assumant le fait que la représentation mentale est la première étape avant la prise de décision. Bernstein et al. ont exploré la prise de décision dans le planning chirurgical préopératoire en s'appuyant sur un cas opératoire difficile. Dans cette étude, la moitié des neurochirurgiens recommandaient la même approche quand l'autre moitié recommandaient 9 approches différentes pour une même lésion (55). Morineau et al. (35) ont exploré la prise de décision durant le planning chirurgical préopératoire dans un contexte neurochirurgical en utilisant 2 indicateurs cognitifs : les conflits et le contrôle cognitif. Ils ont reporté une augmentation des conflits avec la complexité chirurgicale dans la population d'experts. Ils ont également reporté un nombre important de conflits dans la population de chirurgiens assistants indépendamment de la complexité du geste chirurgical. Le contrôle basé sur la connaissance pour réguler les conflits était principalement produit par les experts. (35). Le jugement chirurgical a été exploré par Moulton et al. et plus particulièrement le phénomène de « ralentissement »(46,177,178). Le planning préopératoire chirurgical est aussi un moment approprié pour explorer ce phénomène. Il est défini comme une transition entre le mode routinier et le mode volontaire en chirurgie. « ralentir quand on le devrait » est un phénomène cognitif et social (46). Même si l'aspect cognitif de ce phénomène semble être plus évident Durant le planning chirurgical préopératoire, il peut devenir social si il est partagé avec d'autres personnes (autres chirurgiens dans un cas complexe par exemple). Il n'en demeure pas moins que l'aspect cognitif du planning préopératoire chirurgical reste encore sous-exploré et en particulier d'un point de vue qualitatif.

3.3 La méthodologie de la théorisation enracinée

Cela fait maintenant plus de 50 ans que la méthodologie de la théorisation enracinée (MTE) a fait son apparition (179). Il s'agit d'une approche qualitative inductive qui a pour objectif de générer des théories. A travers un ensemble de procédures, elle a cependant comme objectif d'aboutir à un résultat défini. De prime abord, cette méthodologie semblerait en opposition au paradigme scientifique dominant qu'est le raisonnement logico-déductif, celui-ci utilisant un cadre théorique préexistant puis vérifiant des hypothèses de façon statistique afin d'élaborer des conclusions extrapolables à d'autres populations(72). L'objectif de la MTE est en effet tout autre. Il s'agit de générer des théories qui sont « enracinées » dans les données

recueillies sur le terrain. Cette collecte de données se fait selon une méthodologie préétablie. Elle diffère cependant des autres méthodologies quantitatives par le fait qu'elle considère que où la recherche quantitative se cantonne à rechercher une vérité unique, la MTE considère que la vérité unique n'existe pas et que les vérités peuvent être plurielles. Ces différentes vérités le sont par la différente posture, le différent contexte ou la vision différente que peuvent avoir des personnes d'un problème complexe. Là où les termes « preuves » et « vérité » sont des pierres angulaires de la démarche expérimentale, la MTE se cantonne par sa posture d'exploration d'un problème complexe à plutôt viser une exploration et une interprétation afin de générer des théories explicatives basées sur les concepts émergents des données recueillies sur le terrain. Cette méthodologie est donc adaptée à la compréhension de la complexité du comportement humain. Ainsi cette démarche inductive ne s'oppose pas aux démarches scientifiques expérimentales plus largement utilisées mais permet au contraire une complémentarité en générant des hypothèses issues du terrain que l'on peut ensuite tester par des approches quantitatives.

3.4 Taking a Snapshot of the Surgeon's Mind: The Role of Mental Representation during Preoperative Surgical Planning

1. PL Henaux, Department of Neurosurgery, Rennes University Hospital, Rennes, France;
INSERM MediCIS, Unit U1099 LTSI, Rennes 1 University, Rennes, France
pierre-louis.henaux@chu-rennes.fr
2. M Bernstein, Division of Neurosurgery, Toronto Western Hospital, UHN, Toronto, Canada
Mark.Bernstein@uhn.ca
3. MD Cusimano, Department of Neurosurgery, St Michael Hospital, Toronto, Canada
CUSIMANOM@smh.ca
4. N Woods, The Wilson Centre, UHN, Toronto, Canada
Nikki.Woods@utoronto.ca
5. P Jannin, INSERM MediCIS, Unit U1099 LTSI, Rennes 1 University, Rennes, France
pierre.jannin@univ-rennes1.fr
6. L Riffaud, Department of Neurosurgery, Rennes University Hospital, Rennes, France;
INSERM MediCIS, Unit U1099 LTSI, Rennes 1 University, Rennes, France
laurent.riffaud@chu-rennes.fr
7. Carol-Anne Moulton, The Wilson Centre, UHN, Toronto, Canada

Abstract

Purpose

A critical aspect of surgical expert judgment is the ability to accurately mentally represent the purpose of the surgical procedure. At this time, we do not have an appreciation of how surgery is represented in the surgeon's mind. The objective of this study was to explore how surgeons mentally represent the operative procedure preoperatively.

Method

We conducted a constructivist grounded theory study in order to analyze 20 semi-structured 60-minute interviews with 20 neurosurgeons from Canadian and French Academic centers and presenting different levels of expertise. Data were collected and analyzed in an iterative fashion until reaching thematic saturation.

Results

Participant surgeons were able to discuss their mental representation (MR) of an operative case. The analogy for mental representation we used was the snapshot. We have identified a dynamic aspect of this MR during preoperative planning. First, we described the creation and the construction of the matured snapshot as a process with input from various sources to land on the final snapshot. Then, we highlighted some lenses through which the surgeon looked (*i.e.* comfort zone, safety and teaching lenses) and that can alter surgeon's snapshots. And third, the socialization of the snapshot (*i.e.* sharing of the snapshots with others' owns snapshots) was described.

Conclusion

We have described a phenomenon called 'snapshot of the surgeon's mind' in this exploratory study. This illustration of MR during surgical planning seems to be both conscious and unconscious. This non technical competency included many cognitive skills and social skills as well.

Introduction

The role of the surgeon has long been reduced to technical performance in the operating room (OR). The surgeon's role must not be reduced to dexterity or technical skills (TS), however. Thus, a body of literature, more particularly on surgical judgment (46,50,139) demonstrates that a significant amount of a surgeon's skills are cognitive and must be considered in relation to complex thinking, decision making, and problem-solving. The creation of competency-based assessment programs in Canada and in the United States has tried to enlarge surgical profession's definition (163,164). Yet surgical training programs are still restricted to teaching of TS, decision making (35,55,142) and clinical reasoning (171) in most skills labs. Nevertheless, surgical educators push forward teaching of non-technical skills (NTS) (63) because of the obvious link that is now described between human factors and adverse events in surgery (8). Indeed, adverse events are more related to non-technical issues than technical issues. At this time, interpersonal skills (communication, teamwork) are mostly taught among NTS. By contrast, cognitive skills are less understood, that way they are less taught. Over the last decade we explored surgical cognition and how this cognitive aspect was part of surgical expertise in real environment (49,50,167,168,170,171). Despite this, we do not really have appreciation how surgery is represented in the surgeon's mind.

From a philosophical or cognitive psychological perspective, mental representation (MR) can be defined as a hypothetical internal cognitive symbol that represents external reality (180). By extension, we can apply the concept of MR in surgery as a cognitive process upstream of decision making and TS. Consistent with this, mental practice or motor/mental rehearsal are other similar concepts interesting to consider (181). These concepts are only the tip of the iceberg in the complex phenomenon of MR. Most studies about mental rehearsal in surgical literature have focused on skill acquisition among novices and few of them addressed in how expert surgeons use it to optimize surgical preparation thus far (175). MR can be distinguished from these similar concepts and be considered as the first cognitive step before mental rehearsal by reflecting more on the meaning of the complex problem facing the surgeon before a procedure than the procedural steps themselves. Mental rehearsal is a practical exercise that needs to be prepared by an in-depth reflection to these issues previously. A critical aspect of surgical judgment (46) is the ability of accurately mentally representing the purpose of the surgical procedure (16,17). MR determines the details of this procedure, plans what decisions would be made, as well as what approaches would be taken and whether a procedure fits within a surgeon's comfort zone (49). Therefore, MR is critical to our understanding of surgical expertise. Some authors are touching upon these phenomenon while studying decision making

(35,55,142), surgical intuition, clinical reasoning (171), problem solving (176). However, we should understand the essence of all these cognitive skills. MR is a process which underpins all these skills. As a first step, even though MR is involved all at once in the preoperative, intraoperative and postoperative course, we decided to focus on the preoperative planning phase for the proposal of this study.

The main objective of this study was to explore how the surgeon mentally represents the operative procedure preoperatively. In other words, we wish to explore how we can have access to this MR of the surgical procedure.

Method

This study was conducted with neurosurgeons working at three academic centers (Toronto Western Hospital, Saint Michael's Hospital and Rennes University Hospital) affiliated respectively with the University of Toronto (Ontario, Canada) and University of Rennes (France). After obtaining appropriate research ethics board approval, surgeons were contacted by e-mail and their voluntary participation in this study was requested.

This qualitative study followed a constructivist grounded theory methodology (169,174,175) to explore the role of MR during preoperative surgical planning. We used a purposive sampling strategy in order to ensure that a range of experience levels were included in the sample. This sampling did not aim to compare responses between these groups with different levels of expertise but rather to guarantee a sufficient sample of neurosurgeons was selected to adequately understand the area of interest. A snow-balling strategy (*i.e.* asking interviewees to indicate potential next participants) was used to identify neurosurgeons who might have a valuable perspective to add and being able to enrich the data. Data collection continued until saturation (*i.e.* the point at which we were not able to add any new information in the conceptual framework despite additional interviews).

Informed consent was obtained prior to the interview. Interviews were conducted by one of the investigators (Pierre-Louis Henaux) and lasted approximately 60 minutes. All 20 interviews consisted in face-to-face interviews except five conducted by phone. There were two parts in the semi-structured interviews:

- 1) A clinical vignette of intracranial tumor with brief summary of relevant medical history, symptoms and signs associated to imaging (magnetic resonance imaging (MRI)). Each surgeon could view all the cerebral MRI sequences and all slices with the viewer OsiriX® with the imaging report available. All these data were anonymized. We first asked the surgeons to draw

a diagram depicting their MR of the case, then a semi-structured interview with guided discussion was conducted.

2) A semi-structured interview about MR in general was then conducted.

Interviews were audiorecorded and transcribed. Interviews were conducted in English or French according to the interviewees' preferences. The original interview guide was adapted as interviews progressed, and emerging themes were explored in successive interviews in order to refine, clarify, and elaborate our framework. After developing a first analysis of the ten first interviews during lab meetings, we refined the questionnaire and started a new series of interviews during which a simplified framework (See attached file Framework 1 second part interviews) was presented to the following interviewed surgeon. In the later interviews, we shared the preliminary results and in progress conceptual framework with the interviewees (*i.e.* member checking process). Member checking process aimed to validate our results through an exploration of the credibility of our results (182). Interview transcripts were read by the study team and discussed at study team meetings with preliminary impressions noted. Data were compiled into categories and some theoretical concept emerged. Data collection, thematic analysis of transcripts, and identification of preliminary themes were conducted in an iterative manner. Emergent factors were identified (inductive analysis) (71,179,183). Data were coded using NVivo software (2016; QSR International Pty Ltd). We used a reflexive approach throughout the length of the study. Regular meetings with a larger research team were organized to elaborate and refine the conceptual framework. Interviews and data analysis took place at the same time, following an iterative process. We tried to understand our area of interest through a reflexive approach more than finding a consensus between all the interviewers' results or interviewees' impression. We paid attention to possible assumptions from investigators with a surgical background on the perspective from their colleagues during the analysis and interpretation of the data.

Results

General findings

Twenty 60 minutes semi-structured interviews were conducted with the following distribution: 9 experts, 6 fellows and 5 residents. Seventeen subjects were males. Ten had been in practice 10 years or less and 10 had been in practice more than 10 years.

Participant surgeons were able to discuss their mental representation of an operative case. The analogy for mental representation we used was the snapshot. We adopted this term “snapshot” from one of our participants, who explained his process of preoperative planning:

“After seeing his imaging, when I meet a patient for the first time, I try to envision, a glimpse of OR, where the tumor is, how vascular it is. I try to rehearse. It is like taking a snapshot of the microscope, you know, but from my own imagination.” - R2

A snapshot could be defined as a picture in the surgeon’s mind that represents the important information from the surgeon’s perspective that pertains to a particular case.

Creation of the snapshot

The construction of the matured snapshot is a process with input from various sources to land on the final snapshot. Participants described a dynamic process (Figure 1) by which this representation was constructed and matured over time that included data gathering, visual imagery, retrieval from memory, experience, and discussion with colleagues. This process seemed to start when the surgeon was first introduced to the case (often in the clinic) and progressed through various levels of complexity and clarity until the matured representation was constructed. The development of the matured representation involved several less matured ‘snapshots’ along the way (see attached file Conceptual Framework). The maturity process was dependent upon moments of directed attention, whether it be during clinical encounters, engaging in mental rehearsal, searching the literature, or discussing with a colleague. It became clear from our data that the construction of the snapshot is a process that requires time and input from various sources. However, for some very experienced surgeons doing very simple cases, this maturity might be automated even in the clinic or when she/he reads the referral note.

The snapshot continues to develop with the technical aspect of the surgical procedure. This snapshot is still immature and needs to be refined within a shorter or a longer period depending on the complexity of the surgery. According to the level of expertise and/or the complexity of the case, this step will be more or less deliberate. During this interval, the surgeon can discuss the case with some of his/her surgical and/or imaging colleagues. He/she may also ask for complementary investigations, such as a MRI or angiogram. Unlike the “in clinic” snapshot, which is bounded in time by the actual clinical encounter, the time period of this second phase

depends on several factors, including how urgent the case is, the complexity of the case and/or the cooling-off period. We labeled this interval the maturation period.

The main cognitive processes seeming to be involved during this specific phase of maturation is visual, conscious, deliberate and fits in with the concept of *Mental Imagery*. One participant described building a 3D representation in his mind in order to mentally engage with the surgery he will do. A fellow described in detail this deliberate phase of mental construction of the surgical procedure:

‘I try to draw a mental picture mainly rather than a schematic drawing....Initially in my early period of surgery I used to envision the 3D dimension of the tumor and try to envision a 3D module operating on the tumor to know what is the extent and where is the tumor.’ – F2

Patient positioning is a cornerstone of this 3D representation. That influences a lot the way the surgeon visually imagines the surgical procedure, as one of the experts from our population said:

‘The first step of positioning is crucial for cases like that, extremely important. How I decide for this patient or what is the exact criteria for positioning for example? I don’t know that I can say! But I want to tell you that I don’t let anyone position a patient...I am always there for the positioning.’ – E2

This tridimensional visualization is also grounded in a preliminary understanding of the surgical anatomy. A fellow emphasized the role of anatomy in building a mental picture of the surgical procedure and even more the distinction between descriptive anatomy and surgical anatomy:

‘Anatomy is a key and particularly surgical anatomy. I have studied anatomy in detail for many years now. It is very important and in particular correlation between normal anatomy and imaging. In pathology normal anatomy is distorted.’ – F3

The delay necessary for maturation of this mental representation varies taking into account the complexity of the case, the surgeon’s experience or the deadline for the surgery:

‘When the decision has been made to pursue with surgery, then there is generally a span of time between that decision and the actual Operating Room time. During this span of time, let’s say, you know, there are a lot of things going on, somethings that I actively think about. My routine evolves here the day before or the morning of. Generally, I have a very good memory of what we are going to do but I do review the films in every cases and I think it is a must. I cannot do that. I review the films in every cases and I think of the major points that are relevant for that case.’ – E2

The surgeon henceforth can use this available mature MR in order to have an activity of mental rehearsal. An expert emphasized this point:

‘For me, it is a matter of the night before going over the images and then mentally going through the steps sometimes it happens where I’m going to sleep. I’d go mentally through every step that I’d be doing for this patient. Positioning, that ‘d be the incision, the bone removal and the actual dissection that I’d be doing, looking at the potential involvement of the transverse sinus and the dissection.’ –E4

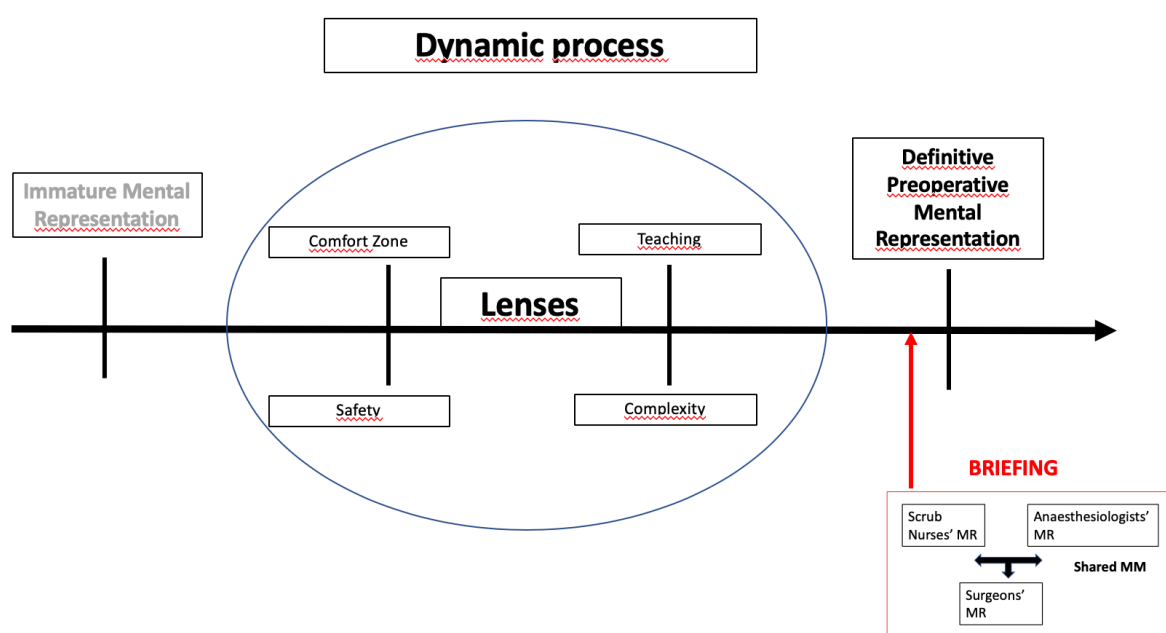


Figure 1. Snapshot of the surgeon’s mind: a framework

Lenses influencing the snapshot

The second cognitive process seems to be more abstract, unconscious and innate and fits in more with the concept of lenses. Several lenses can be identified in the context of preoperative surgical planning. We demonstrate some examples of them below:

- *Comfort zone lens.* A fellow described influence of the comfort zone on preoperative surgical decision making:

‘The problem with neurosurgery is so variable and it varies so much between surgeons depending on their own expertise. The best approach is not necessarily the best approach in the hands of this surgeon or in the hands of another one. You need to be comfortable in this approach. If you are not comfortable with this approach, even though it is the

right approach you will chose another approach (more comfortable for you) to minimize the risk and it will better for the patient.’ – F4

The complexity of the procedure is related to comfort zone. Participants spoke about this as being important to the development of their first impression. A fellow described this influencing factor as follows:

‘The first thing that I was looking for in the imaging is to be sure this is not to deep lesion like acoustic or petroclival lesion or some difficult stuff like that.’ – F3

- *Safety lens.* An expert explained how a decision to remove or not one part of a major vessel of the intracranial space can influence the postoperative morbidity. This safety issue influences directly decision making:

‘The essential decision making that you have to decide, I think, preoperatively it is probably to have this idea rather than during the time surgery: are you going to consider taking the transverse sinus. It looks like she has a torcular, so she has a sinus on the other side, she looks communicating. There is the option of if the sinus is involved to taking the transverse sinus completely or over the sigmoid. But my feeling would be I’ probably not take the transverse sinus. I’d leave tumor in the transverse sinus and not take the sinus because of the risk of draining veins which are going to the sinus and result in venous infarction.’ – E4

- *Teaching Model.* One of the experts mentioned the teaching context that faces a surgeon working in an academic hospital, as all the participants of our study do:

‘It depends on the level of the resident as well so who’s helping me determines because there is a visualization that you do it safely but there is also a responsibility to teach and so that can range of many things to . Ok this is a very junior person so I’m going to teach them. I’m gonna do most of the operation but I’ll let them maybe open the bone and the skin and review the principle of like a case like this I may review the principle of air embolism management or sinus bleeding management or something like that. That’s also prepared before.’ – E3

Socialization of the snapshot

Several situations may result in snapshots sharing between some staff members. We called that phenomenon “socialization of the snapshot”.

Discussion with colleagues and/or seeking advice from them seems to depict a common feature for in training surgeons comparatively to expert surgeons:

‘As a junior surgeon, I will discuss this case with my colleague before going through the preoperative planning just to be sure I choose the right things. In posterior fossa, there is many ways to plan a craniotomy (midline or paramedian incision, more lateral in case of CPA lesion, or some kind of flap’ – F3

Then, a surgeon’s mature MR is confronted with fellows’, residents’, scrub nurses’ and anaesthesiologists’ MR’s during the briefing. One after the other one expose their own MR and potential issues about the case. Feedback from other members of the team can ultimately refine the surgeon’s MR. Briefing is an opportunity for each one in better apprehending understanding of each other. Thus, the surgeon is ready to start the surgical procedure after having made a reconciliation of his/her own MR with them from other members of the staff:

‘The good thing for example in a teaching hospital is that our MR can be challenged by residents and fellows and it is really great. I think it is a worry that all surgeons have, whether your thought provide the right options. But I think in that way, we continue learning.’ - E1

Finally, participants needed to situate all of the previous information in the context of the particular patient and his/her own views and decision making. Feedback from the patient about the possible surgical procedure may influence the way the surgeon thinks about the problem. One fellow mentioned this issue:

‘The [next] step is just to talk with the patient because if the patient doesn’t want surgery we don’t go deep in details and so forth...We need to better understand if the patient consent or not to surgical treatment.’ – F5

Discussion

In this exploratory study, we have described a phenomenon called Snapshot of the surgeon's mind. The MR of surgery during planning seemed to be both conscious and unconscious. It mobilized many cognitive skills and evolved according to the timing of surgical planning.

An accurate MR of the surgery to be performed is a key and a prerequisite for the smooth running of surgery under optimal conditions of safety. Thus it affects the potential errors that can appear in the operating room(138). This MR can be described from several perspectives: anatomical representation of a surgical procedure or physiological or sociological MR of a surgical procedure. If we take an example of a neurosurgical case that represents our study

population, the MR of a surgery which may potentially impaired neurological status will not be the same depending on the profession of the patient. A neurological deficit considered acceptable in certain occupational categories may be unacceptable or even incompatible with the pursuit of some professional activities in other cases.

MR of a problem has been described both in music (184) and sports literature (175) and more broadly in the literature of the sciences of education (185). To be interested in how a learner represents a complex problem is a way to improve the transmission of knowledge. Indeed, at a time when the trend is to globalize the whole of the transmission of knowledge, it would be necessary to identify and personalize this knowledge according to the representation made by each learner. Mental rehearsal is also a neighboring concept and is particularly recognized in the sports field (175). It is currently accepted in the sports arena that the mental representation of the match or sport event prior to this specific event has the effect of a potential improvement in the athlete's performance. This positive reinforcement is beginning to be transposed into the surgical field where conventional surgical scenario mental rehearsal experiments seem to have a positive effect on the course of surgical procedures (181). This preoperative mentalization has both an automatic and unconscious character and may also sometimes require significant concentration phases with deliberate and effortful visualization of the surgical procedure in advance. Imagining the surgical field with three-dimensional preoperative anatomic construction involves cognitive skills related to the scientific field of mental imagery. Initially described by Kosslyn (174), these cognitive phenomena can partly explain how a surgeon can imagine a potential field of operation with the help of two-dimensional images and using geometric transformation of translation, rotation or distortion or deformation. Despite the growing computerization and development of computer-assisted surgical assistance, this effort of mental construction remains necessary. This, however, seems closely linked to the experience and complexity of a surgical procedure. A routine and simple intervention requires very little preparation since the surgeon tends to reproduce gestures extremely codified and met many times. When this mental representation is more abstract and more automatic and thus harder to verbalize, the theory of mental models (173) helps us to understand it. Mental models are a kind of cognitive pathway that are integrated into the functioning of the human brain and may be activated quickly in order to deal with complex problems in an efficient way. On the other hand, they are difficult to verbalize, as is the case in our study, and get very close to the experience. It is about multiple means developed throughout the experience to solve more or

less complex problems and which can be associated with each other. They can be visible from outside by observers but hardly reported by the people observed.

MR of the surgery is different for each of the participants in an operating room and plays an essential role in communication and teamwork (186). Thus MR is a cognitive phenomenon that underpins all non-technical interpersonal skills (16) and thus influences them strongly. Thus, a scrub nurse, anesthetist or surgeon will not have the same MR of the procedure. Each of the missions of these different stakeholders is different and thus the representation that is made of the intervention is very strongly related to the mission of this specific stakeholder. Thus, for example, an anesthesiologist will not have to mentally visualise all the surgical anatomy since he will not need it immediately. On the contrary, a nurse in the operating room will need to focus on the anatomy to be able to follow the procedure as closely as possible and to be able to anticipate the surgeon's actions. The anesthesiologist will be much more attentive to identify the different phases or steps of the surgical workflow (137) to be able to adapt his/her anesthesia and less focus on very precise actions of this workflow. Nevertheless, a common MR is necessary for all these health professionals in order to work side by side throughout the intervention. The briefing is the perfect time to share these different visions (*i.e.* MR) of the surgical procedure and possibly clear up areas of darkness or identify essential points that could have been forgotten by other professionals (34). This briefing time is found in other professions such as civil aviation or even in the sports field (collective or individual with times of exchange with coach). Unconsciously this phase of briefing is facilitated by a phenomenon described in the teamwork that is shared mental models (156). In teams that knowing each other well, provides a common foundation that is a kind of framework of MR and that corresponds to these shared mental models. This allows the teams to already speak the same language and especially to avoid re-explaining a certain number of buried things unconsciously.

Once the process of maturation of MR is complete we can define this phenomenon as definitive MR (187). This last preoperative snapshot corresponding to a definitive MR may be altered by intraoperative findings. Thus, MR will be refreshed. In other words, this MR is part of situational awareness and is about to be juxtaposed with the external world – *i.e.* what he/she sees/does during the operation. This phenomenon of situational awareness, described by Endsley (53) and included in taxonomies as a non-technical cognitive skill (16), is an extension of this MR constructed throughout the surgical planning. At this time, the health professional,

and if we take the example of the surgeon, will be found in a situation of comparison of reality as it is conveyed to her/him by her/his five senses and compare it to her/his preoperative representation of this surgical reality. At this moment, the pre-surgical MR, which was a cognitive construction, will be modified step after step taking into account new information that will be brought to it and make a kind of refreshing in real time of this MR. As a surgeon builds expertise (154,188), he/she will find that their MR's either tend to be fairly accurate, or in the cases where they aren't, they will incorporate that learning into their "library of experience" and may use these instances to change future practice.

This work dealt with safety issues but surgical education issues as well. That is why we decided to include learners in this study. Furthermore, some concepts are easier to verbalize for a less expert surgeon. Experts have sometimes difficulties in verbalizing some concepts that are automatic in their daily practice. This discussion around the clinical vignette could be, for the interviewer, also a way to clarify his/her further questions, building on this example of intracranial tumor surgery planning. This first part was partly to get participants to go through the process of MR. Because it's an indistinct concept, actually taking them through this exercise was also a valuable way to illustrate the concept. We wanted not just to get the content of what they said (though we did look at that) but also to get them thinking like we wanted them to. Focusing on the MR during the pre-surgical planning allows us to understand all the non-technical skills (16) necessary for the surgeon to perform a surgical procedure in good conditions because this phenomenon underpins each one of them. It also makes it possible to focus on the quality of care and the safety of patients since, contrary to an idea commonly accepted, adverse events related to surgery as well as more generally related to care are secondary to human factors issues and not technical issues (3). After this phase of identification of this phenomenon of MR, it is now necessary to try to better understand how this phenomenon evolves according to the level of expertise in a population of surgeons in training. Better understanding of what is happening in the minds of surgeons in the future will undoubtedly improve the constitution of curriculum adapted to each level of the learners to further improve their performance and thus improve the safety of patients. Another perspective would be to look at the differences that exist between the various health professionals intervening in the OR with the aim of favoring the relations between them and thus to optimize the performances of a surgical team.

3.5. Conclusion

Cette troisième étude focalisée sur l'aspect cognitif des compétences non techniques a permis de renforcer l'idée de continuum qui existait entre les compétences interpersonnelles et les compétences cognitives en soulignant leur caractère indissociable. Le rôle du briefing, du planning et de la préparation en est un bon exemple. Ce continuum s'est également observé dans notre méthodologie utilisée qui était inductive par rapport à notre deuxième travail qui était hypothético-déductif. Là encore, il apparaît difficile de pouvoir assurer une description complète et exhaustive des CNT par une approche purement quantitative. La complexité de ces compétences de haut niveau nécessite de ne pas avoir seulement des hypothèses préétablies qu'on vérifie par des moyens statistiques mais également de pouvoir partir du terrain (l'environnement réel d'évolution des professionnels de santé) pour pouvoir établir des théories qui sont un reflet de ces pratiques de terrain. Ainsi l'approche inductive utilisée dans cette troisième partie, même si elle n'utilise pas les mêmes paradigmes que la méthodologie utilisée dans la deuxième partie de notre travail, vient se positionner en complément des approches quantitatives précédemment décrites. Cet aller-retour entre ces deux approches permet un enrichissement de l'analyse du phénomène exploré. L'approche inductive utilisée permet de générer des hypothèses qui peuvent tout à fait être analysées dans un second temps par une approche quantitative. Cette approche inductive permet également de générer des théories dont l'évaluation ne peut pas se faire de façon quantitative de par l'essence qualitative des données qu'elle génère.

Conclusion

Au terme de ce travail, nous avons confirmé le besoin qui existait de mieux comprendre les CNT en neurochirurgie. Le facteur humain en chirurgie est un phénomène complexe avec de multiples variables à prendre en compte. Nous avons exposé plusieurs méthodes pour étudier ce facteur humain. Ce travail démontre tout d'abord la faisabilité de l'association de méthodes de recherche provenant de cultures très différentes (*i.e.* méthodes qualitatives provenant des sciences humaines et sociales et méthodes quantitatives provenant de la méthodologie expérimentale) afin d'appréhender ce phénomène complexe. Certains marqueurs comportementaux et événements (exemple des interruptions de tâches) sont évaluablement au bloc opératoire. Ceux-ci sont le reflet de CNT ou sont des facteurs déclenchants qui mobilisent ces CNT et qui sont ainsi une menace potentielle pour la qualité et la sécurité des interventions chirurgicales. Cependant ces marqueurs restent insuffisants pour explorer la complexité du phénomène étudié. Une approche complémentaire qualitative est ainsi nécessaire.

Au travers de notre **revue systématique de la littérature des CNT en neurochirurgie**, nous avons identifié un nombre croissant de publications sur ce sujet mais restant cependant moindre que dans les autres spécialités chirurgicales. La prise de conscience des responsables universitaires des programmes de formation des internes de neurochirurgie ainsi que l'engouement des apprenants eux-mêmes pour cette thématique est le témoin d'un besoin de formation à ce niveau. Les compétences interpersonnelles restent pour le moment surreprésentées dans les études présentes dans la littérature. Les méthodologies à mettre en œuvre pour étudier les compétences cognitives étant plus complexes, ceci peut expliquer cette disparité. Concernant la méthodologie utilisée, les approches quantitatives restent majoritaires. L'intérêt croissant de la société actuelle vis à vis de la qualité et de la sécurité des soins dans le monde médical, et en particulier dans le domaine de la neurochirurgie, rend nécessaire le développement et l'utilisation de ces moyens d'évaluation. Un tel développement permettrait sans doute d'apporter une aide importante et encore sous-estimée à la formation des futurs neurochirurgiens et de couvrir ainsi parfaitement tous les champs de compétence de la profession.

Dans notre deuxième partie consacré à la **communication** et au **travail d'équipe**, nous avons comptabilisé les interruptions de tâches et exploré comment celles-ci variaient au sein d'un binôme neurochirurgien-infirmière de bloc opératoire durant une chirurgie programmée

routinière (arthrodèse cervicale antérieure) selon le degré de familiarité de ce binôme et selon le niveau d'expertise de celui-ci. Les interruptions de tâches représentaient environ 10% du temps chirurgical et étaient majoritairement secondaires à des interruptions par des collègues ou des moments de distraction. L'identification de ces interruptions de tâches et leur caractérisation permettent de fournir des pistes pour améliorer le travail en équipe au sein d'un bloc opératoire. Toute intervention correctrice visant à réduire ces interruptions nécessite cependant une discussion préalable avec les intervenants du bloc opératoire afin de caractériser spécifiquement leurs besoins. Cette étude a également mis en évidence le lien qui existait entre le nombre d'interruptions et la familiarité au sein des équipes. Ceci mettait en lumière de façon indirecte la valeur ajoutée de la compétence développée au sein d'un groupe par rapport à la simple juxtaposition de multiples compétences individuelles. Ainsi les membres d'une équipe d'un bloc opératoire doivent rester vigilants lors de l'introduction d'un nouveau membre au sein d'une équipe afin de limiter les potentielles interruptions que cela pourrait générer et les problèmes de sécurité qui pourraient en découler.

Dans notre troisième partie nous avons exploré le domaine de l'expertise chirurgicale dans son versant cognitif, le jugement chirurgical et tout particulièrement la **représentation mentale** que se faisait un chirurgien avant d'opérer. Une approche méthodologique qualitative de type théorisation enracinée a été utilisée consistant en la réalisation d'entretiens semi-dirigés de neurochirurgiens de différents niveaux d'expertise. Nous avons cherché ainsi à accéder à cette représentation mentale qu'ils se faisaient de la chirurgie et à comprendre les mécanismes qui sous-tendaient la création de cette représentation. Nous avons utilisé l'analogie de la représentation mentale et de la « photographie ». Nous avons mis en évidence un processus dynamique de la création de cette représentation mentale depuis un stade immature jusqu'à un stade plus mature voire définitif. Nous avons ensuite montré que selon la « lentille » que les chirurgiens utilisaient, la « photographie » pouvait être différente. Cette représentation mentale pouvait être différente selon qu'elle était construite en utilisant un prisme basé sur la zone de confort du chirurgien ou bien sur la sécurité du patient par exemple. Enfin nous avons exposé le phénomène de socialisation de cette représentation mentale. En d'autres termes nous avons développé l'idée que la communication ou le travail d'équipe était pour partie composé de confrontations de représentations mentales de différents membres d'une équipe. A travers ce travail sur les compétences cognitives, nous avons ainsi montré que bien qu'il existe une distinction taxonomique entre les CNT interpersonnelles et cognitives, celles-ci interagissent les unes sur les autres ce qui rend difficile leur analyse de façon isolée.

Perspectives d'étude

Tenant compte de l'ensemble de ces résultats, nous pouvons identifier 4 principaux axes sur lesquels travailler afin d'approfondir notre connaissance de ces CNT et de pouvoir utiliser cette connaissance afin d'affiner les méthodes pédagogiques à mettre en œuvre et développer des outils d'aide à la chirurgie au bloc opératoire.

- 1) Notre premier travail de **revue systématique de la littérature des CNT en neurochirurgie** a permis d'identifier le manque d'études qui existaient dans le domaine des CNT dans le domaine de la neurochirurgie contrairement à d'autres disciplines chirurgicales. Par ailleurs, il était difficile de faire ressortir une ou plusieurs CNT qui seraient plus mobilisées en neurochirurgie. L'inhomogénéité de l'ensemble des études sélectionnées du point de vue de leur méthodologie était à la fois une richesse de par les différentes possibilités d'approche de ces compétences particulières mais rendait à contrario leurs comparaisons difficiles. Les perspectives de recherche découlant de ce premier travail seraient de conduire des études visant à analyser sur des grandes séries d'interventions neurochirurgicales, à partir de grilles validées dans l'analyse des CNT (type NOTECHS, NOTSS ou OTAS), les CNT qui sont les plus mobilisées en environnement réel afin de pouvoir dans un second temps mettre en place des études plus spécifiques sur ces CNT essentielles identifiées en neurochirurgie. Par ailleurs, il serait intéressant de développer dans les évaluations des ateliers de simulation l'aspect non technique des apprentissages. Afin d'avoir des éléments objectifs de comparaison, l'utilisation de grilles type NOTECHS, NOTSS ou OTAS semble la plus adaptée.
- 2) Notre travail exploratoire observationnel sur les **interruptions de tâches dans le travail en équipe** et leurs corrélations avec la familiarité d'une équipe de bloc opératoire et l'expertise des membres de cette équipe pourrait être poursuivi sur un mode plus expérimental. L'idée serait de garder cet indicateur d'interruptions de tâches mais de voir comment il varie en fonction d'autres variables contrôlées toujours en environnement réel. L'impact des interruptions de tâches sur la charge de travail nécessiterait également d'être mieux exploré. Du point de vue pédagogique, la simulation serait un outil intéressant afin d'évaluer comment les interruptions de tâches peuvent impacter la réalisation de gestes techniques en chirurgie et comment le feedback peut permettre une prise de conscience des apprenants sur ce phénomène et leur donner des clés pour contourner ce problème. Un des projets de l'équipe MediCIS

en cours sur ce sujet de la simulation est le projet S3PM: Synthesis and Simulation of Surgical Process Models. Il s'agit d'un projet de simulation dans un environnement de réalité virtuelle. Le premier objectif de ce projet est d'étudier des méthodes pour calculer et représenter des modèles de procédures chirurgicales générales à partir d'une population de descriptions individuelles de procédures chirurgicales représentées par des modèles de procédures chirurgicales spécifiques. Le deuxième objectif est d'étudier et adapter des outils de simulation pour l'exécution de modèles de procédures génériques et au final étudier l'efficacité de cette approche globale dans une application spécifique (i.e. formation chirurgicale). Par ailleurs la familiarité au sein des équipes est actuellement un modèle qui tend à disparaître au bénéfice d'une approche plus individuelle où chaque personne reconnue compétente est alors potentiellement interchangeable. La compétence individuelle est ainsi plus valorisée et reconnue que la compétence d'un groupe. D'autres perspectives de travaux avec des méthodes plus qualitatives pourraient être envisagées en ce sens afin de mieux comprendre ce qu'on entend par compétences interprofessionnelles au sein d'un bloc opératoire. Nous pourrions également prolonger la discussion sur ce qui définit exactement l'efficacité et l'efficience d'un groupe de professionnels dans un environnement de bloc opératoire. D'autres études à plus grande échelle seraient également intéressantes afin d'essayer de déterminer quel est l'impact du manque de familiarité dans le bon fonctionnement d'un bloc opératoire. Ceci permettrait de vérifier ou non l'hypothèse que la familiarité au sein d'une équipe chirurgicale peut être un gage de qualité et de sécurité des soins. Cette hypothèse est actuellement plutôt remise en cause avec le développement de politiques de favorisation de la polyvalence au sein des équipes paramédicales dans les centres hospitaliers.

- 3) Nous avons, à travers notre étude sur la **représentation mentale** de la chirurgie, exploré un pan des processus cognitifs mis en place lors du planning pré-chirurgical. Ce travail pourrait être poursuivi par l'exploration du point de vue qualitatif de la confrontation de cette représentation mentale avec la réalité de l'intervention chirurgicale. Ce type de travail permettrait en fait une meilleure compréhension de la façon dont la compétence liée à la « connaissance de la situation » se met en place chez un chirurgien. Des études qualitatives sur les confrontations des représentations mentales des différents acteurs d'un bloc opératoire nous permettraient également une meilleure compréhension du

travail d'équipe. L'impact du développement de la réflexivité pourrait également être étudiée dans le domaine de la chirurgie. Du point de vue pédagogique, le rôle de ce travail cognitif préopératoire est encore trop peu évalué et nécessiterait d'être étudié plus largement. Ceci pourrait se faire en développant plus largement la réalisation de dictée anticipée de compte-rendu opératoire et cela dès le commencement de l'internat de neurochirurgie. Cette dictée anticipée pourrait se faire dans le cadre d'un environnement simulé voire même en environnement réel. Pour optimiser l'effet positif que pourrait avoir cette dictée anticipée de compte rendu-opératoire, l'accompagnement de l'apprenant est essentiel. Ainsi, il apparaît incontournable que cette dictée anticipée soit confrontée à la vision intra-opératoire puis débriefée en fin d'intervention chirurgicale par un chirurgien plus expérimenté. L'étape supplémentaire serait de pouvoir évaluer le retentissement de la réalisation de cette dictée anticipée de compte-rendu opératoire sur les compétences techniques et procédurales durant une intervention chirurgicale. En d'autres termes, l'objectif d'une telle étude serait d'évaluer comment la représentation mentale influence-t-elle le déroulement d'une intervention chirurgicale.

- 4) Tous les jours, **l'assistance numérique** nous aide de façon croissante dans tous les gestes de la vie courante. Paradoxalement, cette assistance numérique peut altérer les interactions des acteurs d'un bloc opératoire voire même les surcharger cognitivement. Même si il apparaît évident que l'assistance numérique (intelligence artificielle, robotique, lunettes connectées...) peut aider le chirurgien et l'ensemble de son équipe, l'impact de celle-ci sur les CNT n'a pas encore fait l'objet d'évaluation approfondie. Il en va de même quant à l'impact de ces outils numériques sur la qualité et la sécurité des soins. Dans la même dynamique que l'essor de la *surgical safety checklist* et de son impact sur la morbidité et mortalité chirurgicale, il nous paraît de plus en plus nécessaire de conduire des travaux sur l'impact de ces nouvelles technologies sur la qualité et la sécurité des soins en se focalisant sur leur impact sur les CNT des acteurs.

Références

1. Hodges BD, Hodges BD, Lingard L, editors. *The Question of Competence: Reconsidering Medical Education in the Twenty-First Century*. Ithaca, NY: Cornell University Press; 2012. 240 p. (The Culture and Politics of Health Care Work).
2. Long DM. Competency-based residency training: the next advance in graduate medical education. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. 2000 Dec;75(12):1178–83.
3. Institute of Medicine (US) Committee on Quality of Health Care in America. *To Err is Human: Building a Safer Health System* [Internet]. Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, editors. Washington (DC): National Academies Press (US); 2000 [cited 2016 Aug 17]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK225182/>
4. Leonard M, Graham S, Bonacum D. The human factor: the critical importance of effective teamwork and communication in providing safe care. *Qual Saf Health Care*. 2004 Oct;13(Suppl 1):i85–90.
5. *Safety at the Sharp End: A Guide to Non-Technical Skills* [Internet]. CRC Press. [cited 2019 Jan 25]. Available from: <https://www.crcpress.com/Safety-at-the-Sharp-End-A-Guide-to-Non-Technical-Skills/Flin-OConnor/p/book/9780754646006>
6. Agha RA, Fowler AJ, Sevdalis N. The role of non-technical skills in surgery. *Ann Med Surg*. 2015 Dec;4(4):422–7.
7. O'Connor P, Campbell J, Newon J, Melton J, Salas E, Wilson KA. Crew Resource Management Training Effectiveness: A Meta-Analysis and Some Critical Needs. *Int J Aviat Psychol*. 2008 Oct 16;18(4):353–68.
8. Haynes AB, Weiser TG, Berry WR, Lipsitz SR, Breizat A-HS, Dellinger EP, et al. A Surgical Safety Checklist to Reduce Morbidity and Mortality in a Global Population. *N Engl J Med*. 2009 Jan 29;360(5):491–9.
9. Norman GR, Monteiro SD, Sherbino J, Ilgen JS, Schmidt HG, Mamede S. The Causes of Errors in Clinical Reasoning: Cognitive Biases, Knowledge Deficits, and Dual Process Thinking. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. 2017 Jan;92(1):23–30.
10. Arora S, Sevdalis N, Nestel D, Woloshynowych M, Darzi A, Kneebone R. The impact of stress on surgical performance: A systematic review of the literature. *Surgery*. 2010 Mar;147(3):318-330.e6.
11. Flin R, Yule S, Paterson-Brown S, Maran N, Rowley D, Youngson G. Teaching surgeons about non-technical skills. *The Surgeon*. 2007 Apr 1;5(2):86–9.
12. Gordon M, Darbyshire D, Baker P. Non-technical skills training to enhance patient safety: a systematic review. *Med Educ*. 2012 Nov 1;46(11):1042–54.

13. Hull L, Arora S, Aggarwal R, Darzi A, Vincent C, Sevdalis N. The Impact of Nontechnical Skills on Technical Performance in Surgery: A Systematic Review. *J Am Coll Surg*. 2012 Feb;214(2):214–30.
14. Michinov E, Jamet E, Dodeler V, Haegelen C, Jannin P. Assessing neurosurgical non-technical skills: an exploratory study of a new behavioural marker system. *J Eval Clin Pract*. 2014 Oct;20(5):582–8.
15. Sharma B, Mishra A, Aggarwal R, Grantcharov TP. Non-technical skills assessment in surgery. *Surg Oncol*. 2011 Sep;20(3):169–77.
16. Yule S, Flin R, Paterson-Brown S, Maran N. Non-technical skills for surgeons in the operating room: a review of the literature. *Surgery*. 2006 Feb;139(2):140–9.
17. Reznick RK. Teaching and testing technical skills. *Am J Surg*. 1993 Mar;165(3):358–61.
18. Reznick RK, MacRae H. Teaching Surgical Skills — Changes in the Wind. *N Engl J Med*. 2006 Dec 21;355(25):2664–9.
19. Riffaud L, Neumuth T, Morandi X, Trantakis C, Meixensberger J, Burgert O, et al. Recording of surgical processes: a study comparing senior and junior neurosurgeons during lumbar disc herniation surgery. *Neurosurgery*. 2010 Dec;67(2 Suppl Operative):325–32.
20. Berge T ten, Hezewijk R van. Procedural and Declarative Knowledge: An Evolutionary Perspective. *Theory Psychol* [Internet]. 2016 Aug 17 [cited 2019 Jan 26]; Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0959354399095002>
21. Lingard L, Reznick R, Espin S, Regehr G, DeVito I. Team communications in the operating room: talk patterns, sites of tension, and implications for novices. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. 2002 Mar;77(3):232–7.
22. Bearman M, O'Brien R, Anthony A, Civil I, Flanagan B, Jolly B, et al. Learning Surgical Communication, Leadership and Teamwork Through Simulation. *J Surg Educ*. 2012 Mar;69(2):201–7.
23. Henrickson Parker S, Flin R, McKinley A, Yule S. The Surgeons' Leadership Inventory (SLI): a taxonomy and rating system for surgeons' intraoperative leadership skills. *Am J Surg*. 2013 Jun;205(6):745–51.
24. Hunt MA, Heilman CB, Shutran M, Wu JK. Commentary: An Introduction to Leadership Self-Assessment at the Society of Neurological Surgeons Post-Graduate Year 1 Boot Camp: Observations and Commentary. *Neurosurgery*. 2017 01;80(3):E201–4.
25. Parker SH, Yule S, Flin R, McKinley A. Surgeons' leadership in the operating room: an

observational study. *Am J Surg*. 2012 Sep;204(3):347–54.

26. Pettit JE, Dahdaleh NS, Albert GW, Greenlee JD. Neurosurgery resident leadership development: an innovative approach. *Neurosurgery*. 2011 Feb;68(2):546–50; discussion 550.

27. Kurmann A, Keller S, Tschan-Semmer F, Seelandt J, Semmer NK, Candinas D, et al. Impact of Team Familiarity in the Operating Room on Surgical Complications. *World J Surg*. 2014 Dec 1;38(12):3047–52.

28. Manser T. Teamwork and patient safety in dynamic domains of healthcare: a review of the literature. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2009 Feb 1;53(2):143–51.

29. McCulloch P, Rathbone J, Catchpole K. Interventions to improve teamwork and communications among healthcare staff. *Br J Surg*. 2011 Apr 1;98(4):469–79.

30. Phitayakorn R, Minehart RD, Hemingway MW, Pian-Smith MCM, Petrusa E. The relationship between intraoperative teamwork and management skills in patient care. *Surgery*. 2015 Nov;158(5):1434–40.

31. Robertson E, Morgan L, New S, Pickering S, Hadi M, Collins G, et al. Quality Improvement in Surgery Combining Lean Improvement Methods with Teamwork Training: A Controlled Before-After Study. *PloS One*. 2015;10(9):e0138490.

32. Tibbs SM, Moss J. Promoting Teamwork and Surgical Optimization: Combining TeamSTEPPS With a Specialty Team Protocol. *AORN J*. 2014 Nov;100(5):477–88.

33. Weigl M, Weber J, Hallett E, Pfandler M, Schlenker B, Becker A, et al. Associations of Intraoperative Flow Disruptions and or Teamwork during Robotic Assisted Radical Prostatectomy. *Urology*. 2018 Jan 22;

34. Leong KBMSL, Hanskamp-Sebregts M, Wal RA van der, Wolff AP. Effects of perioperative briefing and debriefing on patient safety: a prospective intervention study. *BMJ Open*. 2017 Dec 1;7(12):e018367.

35. Morineau T, Morandi X, Moëllic NL, Diabira S, Riffaud L, Haegelen C, et al. Decision Making During Preoperative Surgical Planning. *Hum Factors J Hum Factors Ergon Soc*. 2009 Feb 1;51(1):67–77.

36. Fargen KM, Velat GJ, Lawson MF, Firment CS, Mocco J, Hoh BL. Enhanced staff communication and reduced near-miss errors with a neurointerventional procedural checklist. *J Neurointerventional Surg*. 2013 Sep 1;5(5):497–500.

37. Gillespie BM, Marshall AP, Gardiner T, Lavin J, Withers TK. Impact of workflow on the use of the Surgical Safety Checklist: a qualitative study. *ANZ J Surg*. 2016 Nov 1;86(11):864–7.

38. McLaughlin N, Winograd D, Chung HR, Van de Wiele B, Martin NA. Impact of the Time-Out Process on Safety Attitude in a Tertiary Neurosurgical Department. *World Neurosurg*. 2014 Nov;82(5):567–74.
39. Oszvald Á, Vatter H, Byhahn C, Seifert V, Güresir E. “Team time-out” and surgical safety-experiences in 12,390 neurosurgical patients. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E6.
40. Trehan A, Barnett-Vanes A, Carty MJ, McCulloch P, Maruthappu M. The impact of feedback of intraoperative technical performance in surgery: a systematic review. *BMJ Open*. 2015 Jun 1;5(6):e006759.
41. Arora S, Hull L, Sevdalis N, Tierney T, Nestel D, Woloshynowych M, et al. Factors compromising safety in surgery: stressful events in the operating room. *Am J Surg*. 2010 Jan;199(1):60–5.
42. Arora S, Sevdalis N, Nestel D, Tierney T, Woloshynowych M, Kneebone R. Managing intraoperative stress: what do surgeons want from a crisis training program? *Am J Surg*. 2009 Apr;197(4):537–43.
43. Bajunaid K, Mullah MAS, Winkler-Schwartz A, Alotaibi FE, Fares J, Baggiani M, et al. Impact of acute stress on psychomotor bimanual performance during a simulated tumor resection task. *J Neurosurg*. 2016 Mar 11;126(1):71–80.
44. Wetzel CM, Kneebone RL, Woloshynowych M, Nestel D, Moorthy K, Kidd J, et al. The effects of stress on surgical performance. *Am J Surg*. 2006 Jan;191(1):5–10.
45. Bernardo A. Establishment of Next-Generation Neurosurgery Research and Training Laboratory with Integrated Human Performance Monitoring. *World Neurosurg*. 2017 Oct;106:991–1000.
46. Moulton CE, Regehr G, Mylopoulos M, MacRae HM. Slowing down when you should: a new model of expert judgment. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. 2007 Oct;82(10 Suppl):S109-116.
47. Kahneman D. *Attention and Effort*. First Edition edition. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall; 1973. 240 p.
48. Pauley K, Flin R, Yule S, Youngson G. Surgeons’ intraoperative decision making and risk management. *Am J Surg*. 2011 Oct;202(4):375–81.
49. Zilbert NR, Murnaghan ML, Gallinger S, Regehr G, Moulton C-A. Taking a Chance or Playing It Safe: Reframing Risk Assessment Within the Surgeon’s Comfort Zone. *Ann Surg*. 2015 Aug;262(2):253–9.
50. Zilbert NR, St-Martin L, Regehr G, Gallinger S, Moulton C-A. Planning to avoid trouble

in the operating room: experts' formulation of the preoperative plan. *J Surg Educ*. 2015 Apr;72(2):271–7.

51. Cristancho SM, Apramian T, Vanstone M, Lingard L, Ott M, Forbes T, et al. Thinking like an expert: surgical decision making as a cyclical process of being aware. *Am J Surg*. 2016 Jan 1;211(1):64–9.

52. Endsley MR. Measurement of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Hum Factors*. 1995 Mar 1;37(1):65–84.

53. Endsley MR. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Hum Factors*. 1995 Mar 1;37(1):32–64.

54. Endsley MR, Garland DJ. *Situation Awareness Analysis and Measurement*. CRC Press; 2000. 371 p.

55. Bernstein M, Khu KJ. Is there too much variability in technical neurosurgery decision-making? Virtual Tumour Board of a challenging case. *Acta Neurochir (Wien)*. 2009 Apr;151(4):411–2; discussion 412–413.

56. Cristancho SM, Vanstone M, Lingard L, LeBel M-E, Ott M. When surgeons face intraoperative challenges: a naturalistic model of surgical decision making. *Am J Surg*. 2013 Feb;205(2):156–62.

57. Flin R, Youngson G, Yule S. How do surgeons make intraoperative decisions? *Qual Saf Health Care*. 2007 Jun 1;16(3):235–9.

58. Pugh CM, Santacaterina S, DaRosa DA, Clark RE. Intra-operative decision making: more than meets the eye. *J Biomed Inform*. 2011 Jun;44(3):486–96.

59. Tanweer O, Wilson TA, Kalhorn SP, Golfinos JG, Huang PP, Kondziolka D. Neurosurgical decision making: personal and professional preferences. *J Neurosurg*. 2015 Jan 9;122(3):678–91.

60. Weigl M, Müller A, Vincent C, Angerer P, Sevdalis N. The association of workflow interruptions and hospital doctors' workload: a prospective observational study. *BMJ Qual Saf*. 2012 May 1;21(5):399–407.

61. Cusimano MD, Yonke AM, Tucker WS. An analysis of attrition from Canadian neurosurgery residency programs. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. 1999 Aug;74(8):925–31.

62. Hull L, Arora S, Kassab E, Kneebone R, Sevdalis N. Observational teamwork assessment for surgery: content validation and tool refinement. *J Am Coll Surg*. 2011 Feb;212(2):234–243.e1–5.

63. Yule S, Flin R, Maran N, Rowley D, Youngson G, Paterson-Brown S. Surgeons' Non-

technical Skills in the Operating Room: Reliability Testing of the NOTSS Behavior Rating System. *World J Surg*. 2008 Feb 8;32(4):548–56.

64. Clark PG. Narrative in interprofessional education and practice: implications for professional identity, provider–patient communication and teamwork. *J Interprof Care*. 2014 Jan 1;28(1):34–9.

65. Konrad SC, Browning DM. Relational learning and interprofessional practice: Transforming health education for the 21st century. *Work*. 2012 Jan 1;41(3):247–51.

66. Tavares W, Ginsburg S, Eva KW. Selecting and Simplifying: Rater Performance and Behavior When Considering Multiple Competencies. *Teach Learn Med*. 2016 Jan 2;28(1):41–51.

67. Tavakol M, Sandars J. Quantitative and qualitative methods in medical education research: AMEE Guide No 90: Part I. *Med Teach*. 2014 Sep;36(9):746–56.

68. Teherani A, Martimianakis T, Stenfors-Hayes T, Wadhwa A, Varpio L. Choosing a Qualitative Research Approach. *J Grad Med Educ*. 2015 Dec;7(4):669–70.

69. Bordage G. Moving the field forward: going beyond quantitative-qualitative. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. 2007 Oct;82(10 Suppl):S126-128.

70. Hanson JL, Balmer DF, Giardino AP. Qualitative research methods for medical educators. *Acad Pediatr*. 2011 Oct;11(5):375–86.

71. Corbin J, Strauss A. *Basics of Qualitative Research (3rd ed.): Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory* [Internet]. 2455 Teller Road, Thousand Oaks California 91320 United States: SAGE Publications, Inc.; 2008 [cited 2017 Feb 10]. Available from: <http://methods.sagepub.com/book/basics-of-qualitative-research>

72. Luckerhoff J. *Méthodologie de la théorisation enracinée* [Internet]. Presses de l'Université du Québec; 2012 [cited 2016 Aug 22]. Available from: <https://muse.jhu.edu/book/25209>

73. Alaraj A, Charbel FT, Birk D, Tobin M, Tobin M, Luciano C, et al. Role of cranial and spinal virtual and augmented reality simulation using immersive touch modules in neurosurgical training. *Neurosurgery*. 2013 Jan;72 Suppl 1:115–23.

74. Chan S, Conti F, Salisbury K, Blevins NH. Virtual reality simulation in neurosurgery: technologies and evolution. *Neurosurgery*. 2013 Jan;72 Suppl 1:154–64.

75. de Ribaupierre S, Wilson TD. Construction of a 3-D anatomical model for teaching temporal lobectomy. *Comput Biol Med*. 2012 Jun;42(6):692–6.

76. Fargen KM, Siddiqui AH, Veznedaroglu E, Turner RD, Ringer AJ, Mocco J. Simulator

based angiography education in neurosurgery: results of a pilot educational program. *J Neurointervent Surg*. 2012 Nov;4(6):438–41.

77. Filho FVG, Coelho G, Cavaleiro S, Lyra M, Zymberg ST. Quality assessment of a new surgical simulator for neuroendoscopic training. *Neurosurg Focus*. 2011 Apr;30(4):E17.

78. Haji FA, Dubrowski A, Drake J, de Ribaupierre S. Needs assessment for simulation training in neuroendoscopy: a Canadian national survey. *J Neurosurg*. 2013 Feb;118(2):250–7.

79. Malone HR, Syed ON, Downes MS, D'Ambrosio AL, Quest DO, Kaiser MG. Simulation in neurosurgery: a review of computer-based simulation environments and their surgical applications. *Neurosurgery*. 2010 Oct;67(4):1105–16.

80. Nathoo N, Pesek T, Barnett GH. Robotics and neurosurgery. *Surg Clin North Am*. 2003 Dec;83(6):1339–50.

81. Ladak A, Spinner RJ. Redefining “wrong site surgery” and refining the surgical pause and checklist: taking surgical safety to another level. *World Neurosurg*. 2014 Jun;81(5–6):e33–35.

82. Mitchell P, Nicholson CL, Jenkins A. Side errors in neurosurgery. *Acta Neurochir (Wien)*. 2006 Dec;148(12):1289–92; discussion 1292.

83. Walcott BP, Redjal N, Coumans J-VCE. Infection following operations on the central nervous system: deconstructing the myth of the sterile field. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E8.

84. Wong JM, Ziewacz JE, Panchmatia JR, Bader AM, Pandey AS, Thompson BG, et al. Patterns in neurosurgical adverse events: endovascular neurosurgery. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E14.

85. Wong JM, Ziewacz JE, Ho AL, Panchmatia JR, Kim AH, Bader AM, et al. Patterns in neurosurgical adverse events: open cerebrovascular neurosurgery. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E15.

86. Wong JM, Ziewacz JE, Ho AL, Panchmatia JR, Bader AM, Garton HJ, et al. Patterns in neurosurgical adverse events: cerebrospinal fluid shunt surgery. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E13.

87. Wong JM, Panchmatia JR, Ziewacz JE, Bader AM, Dunn IF, Laws ER, et al. Patterns in neurosurgical adverse events: intracranial neoplasm surgery. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E16.

88. Wong JM, Bader AM, Laws ER, Popp AJ, Gawande AA. Patterns in neurosurgical adverse events and proposed strategies for reduction. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E1.

89. Ajlan AM, Harsh GR. The human factor and safety attitudes in neurosurgical operating rooms. *World Neurosurg.* 2015 Jan;83(1):46–8.
90. Arora S, Ahmed M, Paige J, Nestel D, Runnacles J, Hull L, et al. Objective structured assessment of debriefing: bringing science to the art of debriefing in surgery. *Ann Surg.* 2012 Dec;256(6):982–8.
91. Arora S, Miskovic D, Hull L, Moorthy K, Aggarwal R, Johannsson H, et al. Self vs expert assessment of technical and non-technical skills in high fidelity simulation. *Am J Surg.* 2011 Oct;202(4):500–6.
92. Hull L, Arora S, Kassab E, Kneebone R, Sevdalis N. Assessment of stress and teamwork in the operating room: an exploratory study. *Am J Surg.* 2011 Jan;201(1):24–30.
93. Hull L, Arora S, Symons NRA, Jalil R, Darzi A, Vincent C, et al. Training faculty in nontechnical skill assessment: national guidelines on program requirements. *Ann Surg.* 2013 Aug;258(2):370–5.
94. Mitchell L, Flin R, Yule S, Mitchell J, Coutts K, Youngson G. Evaluation of the Scrub Practitioners’ List of Intraoperative Non-Technical Skills system. *Int J Nurs Stud.* 2012 Feb;49(2):201–11.
95. Mitchell L, Flin R, Yule S, Mitchell J, Coutts K, Youngson G. Development of a behavioural marker system for scrub practitioners’ non-technical skills (SPLINTS system). *J Eval Clin Pract.* 2013 Apr;19(2):317–23.
96. Russ S, Arora S, Wharton R, Wheelock A, Hull L, Sharma E, et al. Measuring safety and efficiency in the operating room: development and validation of a metric for evaluating task execution in the operating room. *J Am Coll Surg.* 2013 Mar;216(3):472–81.
97. Russ S, Hull L, Rout S, Vincent C, Darzi A, Sevdalis N. Observational teamwork assessment for surgery: feasibility of clinical and nonclinical assessor calibration with short-term training. *Ann Surg.* 2012 Apr;255(4):804–9.
98. Yule S, Flin R, Paterson-Brown S, Maran N, Rowley D. Development of a rating system for surgeons’ non-technical skills. *Med Educ.* 2006 Nov;40(11):1098–104.
99. Fallah A, Ibrahim GM, Bernstein M. The “SAAFE” neurosurgical sign-out. *World Neurosurg.* 2014 Apr;81(3–4):e21–23.
100. Hull L, Arora S, Amaya AC, Wheelock A, Gaitán-Duarte H, Vincent C, et al. Building global capacity for patient safety: a training program for surgical safety research in developing and transitional countries. *Int J Surg Lond Engl.* 2012;10(9):493–9.
101. Lau CY, Greysen SR, Mistry RI, Han SJ, Mummaneni PV, Berger MS. Creating a

culture of safety within operative neurosurgery: the design and implementation of a perioperative safety video. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E3.

102. Muzumdar D. Safety in the operating room: neurosurgical perspective. *Int J Surg Lond Engl*. 2007 Aug;5(4):286–8.

103. Ferroli P, Caldiroli D, Acerbi F, Scholtze M, Piro A, Schiariti M, et al. Application of an aviation model of incident reporting and investigation to the neurosurgical scenario: method and preliminary data. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E7.

104. Da Silva-Freitas R, Martín-Laez R, Madrazo-Leal CB, Villena-Martin M, Valduvieto-Juaristi I, Martínez-Agüeros JÁ, et al. [Establishment of a modified surgical safety checklist for the neurosurgical patient: Initial experience in 400 cases]. *Neurocir Astur Spain*. 2012 Mar;23(2):60–9.

105. McConnell DJ, Fargen KM, Mocco J. Surgical checklists: A detailed review of their emergence, development, and relevance to neurosurgical practice. *Surg Neurol Int*. 2012;3:2.

106. Rahmathulla G, Recinos PF, Traul DE, Avitsian R, Yunak M, Harper NT, et al. Surgical briefings, checklists, and the creation of an environment of safety in the neurosurgical intraoperative magnetic resonance imaging suite. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E12.

107. Zuckerman SL, Green CS, Carr KR, Dewan MC, Morone PJ, Mocco J. Neurosurgical checklists: a review. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E2.

108. Dedy NJ, Bonrath EM, Zevin B, Grantcharov TP. Teaching nontechnical skills in surgical residency: a systematic review of current approaches and outcomes. *Surgery*. 2013 Nov;154(5):1000–8.

109. Dumont TM, Horgan MA. The surgical skills laboratory residency interview: an enjoyable alternative. *J Surg Educ*. 2012 Jun;69(3):407–10.

110. Fallah A, Ebrahim S, Haji F, Gillis C, Girgis F, Howe K, et al. Surgical activity of first-year canadian neurosurgical residents. *Can J Neurol Sci*. 2010 Nov 1;37(6):855–60.

111. Fernando N, McAdam T, Cleland J, Yule S, McKenzie H, Youngson G. How can we prepare medical students for theatre-based learning? *Med Educ*. 2007 Oct;41(10):968–74.

112. Haase J, Boisen E. Neurosurgical training: more hours needed or a new learning culture? *Surg Neurol*. 2009 Jul 1;72(1):89–95.

113. Heros RC. Neurosurgical education: the “other” competencies. The 2003 presidential address. *J Neurosurg*. 2003 Oct;99(4):623–9.

114. Kabwama S. Opportunities to improve undergraduate neurosurgery career interest, knowledge and skills: lessons from the BAPRAS undergraduate courses. *Br J Neurosurg*. 2011

Dec;25(6):783–4.

115. Kaufman HH, Wiegand RL, Tunick RH. Teaching surgeons to operate--principles of psychomotor skills training. *Acta Neurochir (Wien)*. 1987;87(1–2):1–7.
116. Mazzola CA, Lobel DA, Krishnamurthy S, Bloomgarden GM, Benzil DL. Efficacy of neurosurgery resident education in the new millennium: the 2008 Council of State Neurosurgical Societies post-residency survey results. *Neurosurgery*. 2010 Aug;67(2):225–32; discussion 232–233.
117. Selden NR, Orogitano TC, Burchiel KJ, Getch CC, Anderson VC, McCartney S, et al. A National Fundamentals Curriculum for Neurosurgery PGY1 Residents: The 2010 Society of Neurological Surgeons Boot Camp Courses. *Neurosurgery*. 2012 Apr 1;70(4):971–81.
118. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JPA, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ*. 2009 Jul 21;339:b2700.
119. Ganju A, Kahol K, Lee P, Simonian N, Quinn SJ, Ferrara JJ, et al. The effect of call on neurosurgery residents' skills: implications for policy regarding resident call periods. *J Neurosurg*. 2011 Dec 2;116(3):478–82.
120. Ciporen J, Gillham H, Noles M, Dillman D, Baskerville M, Haley C, et al. Crisis Management Simulation: Establishing a Dual Neurosurgery and Anesthesia Training Experience. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2018 Jan;30(1):65–70.
121. Khan A, Doke T, Boeris D. Nurturing the Next Generation of Neurosurgeons: How Important Are Nontechnical Skills? *World Neurosurg*. 2018 Dec;120:e227–33.
122. Haji FA, Clarke DB, Matte MC, Brandman DM, Brien S, Ribaupierre S de, et al. Teaching for the Transition: the Canadian PGY-1 Neurosurgery 'Rookie Camp.' *Can J Neurol Sci*. 2015 Jan;42(1):25–33.
123. Brandman DM, Haji FA, Matte MC, Clarke DB. Needs Assessment for Incoming PGY-1 Residents in Neurosurgical Residency. *Can J Neurol Sci J Can Sci Neurol*. 2015 Jan;42(1):17–24.
124. Harnof S, Hadani M, Ziv A, Berkenstadt H. Simulation-based interpersonal communication skills training for neurosurgical residents. *Isr Med Assoc J IMAJ*. 2013 Sep;15(9):489–92.
125. Pathak A, Pathak N, Kak VK. Ideal ward round making in neurosurgical practice. *Neurol India*. 2000 Sep;48(3):216–22.
126. Couat J-F, Cegarra J, Rodsphon T, Geeraerts T, Lelardeux C, Sol J-C, et al. A

prospective video-based observational and analytical approach to evaluate management during brain tumour surgery at a university hospital. *Neurochirurgie*. 2013 Oct;59(4–5):142–8.

127. Sakamoto Y, Okamoto S, Shimizu K, Araki Y, Hirakawa A, Wakabayashi T. Comparative Prospective Study of Microvascular Anastomosis Training by Self-Learning or with Expert Instruction. *World Neurosurg*. 2018 Oct;118:e818–24.

128. Neil-Dwyer G, Varma TR, Lang DA. Mechanisms to improve teamworking in neurosurgery. *Acta Neurochir Suppl*. 2001;78:135–8.

129. Sekhar LN, Mantovani A. Teamwork mentality in neurosurgical teams to improve patient safety. *World Neurosurg*. 2015 Jan;83(1):41–3.

130. Yule S, Paterson-Brown S. Surgeons' non-technical skills. *Surg Clin North Am*. 2012 Feb;92(1):37–50.

131. Zuckerman SL, France DJ, Green C, Leming-Lee S, Anders S, Mocco J. Surgical debriefing: a reliable roadmap to completing the patient safety cycle. *Neurosurg Focus*. 2012 Nov;33(5):E4.

132. Yule S, Flin R, Paterson-Brown S, Maran N, Rowley D. Development of a rating system for surgeons' non-technical skills. *Med Educ*. 2006 Nov 1;40(11):1098–104.

133. Henrickson Parker S, Yule S, Flin R, McKinley A. Towards a model of surgeons' leadership in the operating room. *BMJ Qual Saf*. 2011 Jul;20(7):570–9.

134. *NeurologicalSurgeryMilestones.pdf* [Internet]. [cited 2019 Mar 27]. Available from: <https://www.acgme.org/Portals/0/PDFs/Milestones/NeurologicalSurgeryMilestones.pdf?ver=2019-02-28-093643-277>

135. Lane-Fall MB, Davis JJ, Clapp JT, Myers JS, Riesenber LA. What Every Graduating Resident Needs to Know About Quality Improvement and Patient Safety: A Content Analysis of 26 Sets of ACGME Milestones. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. 2018 Jun;93(6):904–10.

136. Marcus H, Vakharia V, Kirkman MA, Murphy M, Nandi D. Practice Makes Perfect? The Role of Simulation-Based Deliberate Practice and Script-Based Mental Rehearsal in the Acquisition and Maintenance of Operative Neurosurgical Skills. *Neurosurgery*. 2013 Jan 1;72(suppl_1):A124–30.

137. Jannin P, Morandi X. Surgical models for computer-assisted neurosurgery. *NeuroImage*. 2007 Sep 1;37(3):783–91.

138. Wiegmann DA, ElBardissi AW, Dearani JA, Daly RC, Sundt III TM. Disruptions in surgical flow and their relationship to surgical errors: An exploratory investigation. *Surgery*. 2007 Nov;142(5):658–65.

139. Al-Hakim L, Xiao J, Sengupta S. Ergonomics perspective for identifying and reducing internal operative flow disruption for laparoscopic urological surgery. *Surg Endosc*. 2017 Apr 28;1–14.
140. Palmer G, Abernathy JH, Swinton G, Allison D, Greenstein J, Shappell S, et al. Realizing Improved Patient Care through Human-centered Operating Room DesignA Human Factors Methodology for Observing Flow Disruptions in the Cardiothoracic Operating Room. *J Am Soc Anesthesiol*. 2013 Nov 1;119(5):1066–77.
141. Shouhed D, Blocker R, Gangi A, Ley E, Blaha J, Margulies D, et al. Flow Disruptions During Trauma Care. *World J Surg*. 2014 Feb 1;38(2):314–21.
142. Sevdalis N, Healey AN, Vincent CA. Distracting communications in the operating theatre. *J Eval Clin Pract*. 2007 Jun;13(3):390–4.
143. Sevdalis N, Wong HWL, Arora S, Nagpal K, Healey A, Hanna GB, et al. Quantitative analysis of intraoperative communication in open and laparoscopic surgery. *Surg Endosc*. 2012 Oct 1;26(10):2931–8.
144. Allers JC, Hussein AA, Ahmad N, Cavuoto L, Wing JF, Hayes RM, et al. Evaluation and Impact of Workflow Interruptions During Robot-assisted Surgery. *Urology*. 2016 Jun;92:33–7.
145. Rivera-Rodriguez AJ, Karsh B-T. Interruptions and distractions in healthcare: review and reappraisal. *Qual Saf Health Care*. 2010 Aug 1;19(4):304–12.
146. Lingard L, Espin S, Whyte S, Regehr G, Baker GR, Reznick R, et al. Communication failures in the operating room: an observational classification of recurrent types and effects. *Qual Saf Health Care*. 2004 Oct 1;13(5):330–4.
147. Webber SS, Klimoski RJ. Crews: A Distinct Type of Work Team. *J Bus Psychol*. 2004 Mar 1;18(3):261–79.
148. Kang E, Massey D, Gillespie BM. Factors that influence the non-technical skills performance of scrub nurses: a prospective study. *J Adv Nurs*. 2015 Dec 1;71(12):2846–57.
149. Wegner DM. Transactive memory: A contemporary analysis of the group mind. In: *Theories of group behavior*. G. Mullen & G. Goethals (Eds.). New York: Springer-Verlag.; p. 185–208.
150. Michinov E, Olivier-Chiron E, Rusch E, Chiron B. Influence of transactive memory on perceived performance, job satisfaction and identification in anaesthesia teams. *BJA Br J Anaesth*. 2008 Mar 1;100(3):327–32.
151. Thomas MJW, Petrilli RM. Crew Familiarity: Operational Experience, Non-Technical

- Performance, and Error Management. *Aviat Space Environ Med*. 2006 Jan 1;77(1):41–5.
152. Patterson PD, Weaver MD, Landsittel DP, Krackhardt D, Hostler D, Vena JE, et al. Teammate familiarity and risk of injury in emergency medical services. *Emerg Med J*. 2016 Apr 1;33(4):280–5.
153. Maruthappu M, Duclos A, Zhou CD, Lipsitz SR, Wright J, Orgill D, et al. The impact of team familiarity and surgical experience on operative efficiency: a retrospective analysis. *J R Soc Med*. 2016 Apr 1;109(4):147–53.
154. Alderson D. Developing expertise in surgery. *Med Teach*. 2010 Oct 1;32(10):830–6.
155. Cohen TN, Cabrera JS, Sisk OD, Welsh KL, Abernathy JH, Reeves ST, et al. Identifying workflow disruptions in the cardiovascular operating room. *Anaesthesia*. 2016 Aug 1;71(8):948–54.
156. Smith-Jentsch KA, Kraiger K, Cannon-Bowers JA, Salas E. Do familiar teammates request and accept more backup? Transactive memory in air traffic control. *Hum Factors*. 2009 Apr;51(2):181–92.
157. Widmer LW, Keller S, Tschan F, Semmer NK, Holzer E, Candinas D, et al. More Than Talking About the Weekend: Content of Case-Irrelevant Communication Within the OR Team. *World J Surg*. 2018 Jan 9;
158. Parker SEH, Laviana AA, Wadhera RK, Wiegmann DA, Sundt TM. Development and Evaluation of an Observational Tool for Assessing Surgical Flow Disruptions and Their Impact on Surgical Performance. *World J Surg*. 2010 Feb 1;34(2):353–61.
159. ElBardissi AW, Duclos A, Rawn JD, Orgill DP, Carty MJ. Cumulative team experience matters more than individual surgeon experience in cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013 Feb;145(2):328–33.
160. Daniel Patterson P, Arnold RM, Abebe K, Lave JR, Krackhardt D, Carr M, et al. Variation in Emergency Medical Technician Partner Familiarity. *Health Serv Res*. 2011 Aug 1;46(4):1319–31.
161. Koh RYI, Park T, Wickens CD. An investigation of differing levels of experience and indices of task management in relation to scrub nurses' performance in the operating theatre: Analysis of video-taped caesarean section surgeries. *Int J Nurs Stud*. 2014 Sep;51(9):1230–40.
162. Sieweke J, Zhao B. The impact of team familiarity and team leader experience on team coordination errors: A panel analysis of professional basketball teams. *J Organ Behav*. 2015 Apr 1;36(3):382–402.
163. Frank JR, Langer B. Collaboration, communication, management, and advocacy:

teaching surgeons new skills through the CanMEDS Project. *World J Surg.* 2003 Aug;27(8):972–8; discussion 978.

164. Dunnington GL, Williams RG. Addressing the new competencies for residents' surgical training. *Acad Med J Assoc Am Med Coll.* 2003 Jan;78(1):14–21.

165. Sadideen H, Alvand A, Saadeddin M, Kneebone R. Surgical experts: Born or made? *Int J Surg.* 2013 Nov 1;11(9):773–8.

166. Schaverien MV. Development of expertise in surgical training. *J Surg Educ.* 2010 Feb;67(1):37–43.

167. Kirkman MA. Deliberate practice, domain-specific expertise, and implications for surgical education in current climes. *J Surg Educ.* 2013 Jun;70(3):309–17.

168. Gélinas-Phaneuf N, Del Maestro RF. Surgical expertise in neurosurgery: integrating theory into practice. *Neurosurgery.* 2013 Oct;73 Suppl 1:30–8.

169. Ericsson KA. Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains. *Acad Med J Assoc Am Med Coll.* 2004 Oct;79(10 Suppl):S70-81.

170. Mylopoulos M, Farhat W. “I can do better”: exploring purposeful improvement in daily clinical work. *Adv Health Sci Educ Theory Pract.* 2015 May;20(2):371–83.

171. Norman G. Research in clinical reasoning: past history and current trends. *Med Educ.* 2005 Apr;39(4):418–27.

172. Pitt D. Mental Representation. In: Zalta EN, editor. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* [Internet]. Fall 2013. 2013 [cited 2016 Sep 26]. Available from: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2013/entries/mental-representation/>

173. Johnson-Laird PN. *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press; 1986. 513 p.

174. Kosslyn SM, Thompson WL, Ganis G. *The Case for Mental Imagery.* 1 edition. New York: Oxford University Press; 2009. 256 p.

175. Cocks M, Moulton C-A, Luu S, Cil T. What surgeons can learn from athletes: mental practice in sports and surgery. *J Surg Educ.* 2014 Apr;71(2):262–9.

176. Woods NN, Brooks LR, Norman GR. The value of basic science in clinical diagnosis: creating coherence among signs and symptoms. *Med Educ.* 2005 Jan;39(1):107–12.

177. Moulton C, Regehr G, Lingard L, Merritt C, MacRae H. Slowing down to stay out of trouble in the operating room: remaining attentive in automaticity. *Acad Med J Assoc Am Med Coll.* 2010 Oct;85(10):1571–7.

178. Moulton C, Regehr G, Lingard L, Merritt C, Macrae H. “Slowing down when you should”: initiators and influences of the transition from the routine to the effortful. *J Gastrointest Surg Off J Soc Surg Aliment Tract*. 2010 Jun;14(6):1019–26.
179. Glaser B, Strauss A. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. New York: Aldine Transaction; 1999. 271 p.
180. Morgan, Alex. *Representations gone mental*. Synthese.
181. Louridas M, Bonrath EM, Sinclair DA, Dedy NJ, Grantcharov TP. Randomized clinical trial to evaluate mental practice in enhancing advanced laparoscopic surgical performance. *Br J Surg*. 2015 Jan 1;102(1):37–44.
182. Birt L, Scott S, Cavers D, Campbell C, Walter F. Member Checking: A Tool to Enhance Trustworthiness or Merely a Nod to Validation? *Qual Health Res*. 2016 Nov 1;26(13):1802–11.
183. Charmaz K. *Constructing Grounded Theory*. 2 edition. London ; Thousand Oaks, Calif: SAGE Publications Ltd; 2014. 416 p.
184. Schaefer RS. Mental Representations in Musical Processing and their Role in Action-Perception Loops. *Empir Musicol Rev*. 2015 Jan 5;9(3–4):161–76.
185. Custers EJ, Regehr G, Norman GR. Mental representations of medical diagnostic knowledge: a review. *Acad Med*. 1996 Oct;71(10).
186. Salas E, DiazGranados D, Weaver SJ, King H. Does Team Training Work? Principles for Health Care. *Acad Emerg Med*. 2008 Nov 1;15(11):1002–9.
187. Freyd JJ. Dynamic mental representations. *Psychol Rev*. 1987 Oct;94(4):427–38.
188. Ericsson KA, Krampe RT, Tesch-romer C. The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychol Rev*. 1993;363–406.

Résumés en français

Les compétences non techniques en neurochirurgie : une revue systématique de la littérature

Introduction

Certains événements indésirables peuvent être observés au bloc opératoire malgré des connaissances déclaratives parfaitement acquises et des compétences techniques maîtrisées. Ils peuvent entraîner un préjudice fonctionnel grave voire une complication vitale. Curieusement, ils sont moins souvent secondaires à une erreur technique qu'à un dysfonctionnement relevant du domaine des compétences non techniques (CNT). L'objectif principal de notre travail était de réaliser une étude systématique de la littérature publiée sur les CNT dans le domaine de la neurochirurgie. L'objectif secondaire était d'identifier, à partir de la littérature existante, une liste de CNT qui seraient plus spécifiques de la neurochirurgie et définir ainsi les besoins de formation qui en découlent pour les plus jeunes neurochirurgiens en formation.

Matériel et méthode

Nous avons interrogé les bases de données PubMed-MEDLINE et The Cochrane Database of Systematic Reviews de janvier 1980 à janvier 2019. La recherche a d'abord permis de trouver 2132 articles. 1393 articles ont été retenus après mise en place des limites. Après un processus de sélection systématique par titres, résumés et textes entiers, 21 articles ont été retenus pour cette revue systématique. Les données ont été extraites des articles inclus en utilisant un résumé de données structurées incluant le schéma de l'étude, la population, la compétence non technique évaluée, les outils d'évaluation et les résultats clés.

Résultats

Les CNT identifiées regroupaient les relations interpersonnelles (communication, travail d'équipe), les tâches cognitives (prise de décision, perception de la décision) et les facteurs de ressources personnelles (réactions en cas de stress ou de fatigue). Aucune étude sélectionnée n'a utilisé d'outils d'évaluation validés type NOTECHS, NOTSS ou OTAS. Elles étaient menées en environnement réel dans 11 cas, en environnement simulé dans 9 cas et en condition d'enseignement théorique dans un cas.

Conclusion

Les CNT en neurochirurgie font encore l'objet de très peu de travaux malgré le nombre croissant d'études ces dernières années dans d'autres spécialités chirurgicales. L'intérêt croissant de la société actuelle vis à vis de la qualité des soins et de la sécurité dans le monde médical ainsi que l'aide importante et encore sous-estimée qu'ils apporteraient à la formation des futurs neurochirurgiens rend nécessaire le développement et l'utilisation de ces moyens d'évaluation.

Relations entre l'expertise, la familiarité de l'équipe et les interruptions de flux de travail chirurgical: une étude observationnelle

Contexte

Le travail d'équipe est un facteur essentiel pour réduire les interruptions du flux de travail au bloc opératoire. La familiarité au sein d'une équipe a été reconnue comme un préalable à la qualité et la sécurité chirurgicale. A ce jour, aucune étude n' a cependant examiné le lien qui existait entre le rôle des membres d'une équipe, l'expertise, la familiarité de l'équipe et les interruptions dans l'environnement chirurgical. Cette étude avait pour objectif d'examiner la relation entre l'expertise, la familiarité du binôme chirurgien-infirmier(e) de bloc opératoire (IBO) et les interruptions du flux de travail.

Méthodes

Nous avons observé un échantillon de 12 interventions neurochirurgicales programmées réalisées par 4 chirurgiens et 11 IBO avec différents niveaux d'expertise et différents degrés de familiarité entre chirurgiens et IBO. Nous avons calculé le nombre d'interruptions de flux de travail par unité de temps codé contrôle par rapport à la durée d'une intervention chirurgicale. Nous avons exploré le type et la fréquence de ces interruptions, et les différences entre les chirurgiens et les IBO. Nous avons également examiné les relations entre la durée de ces interruptions, l'expertise du personnel et la familiarité du binôme chirurgien-IBO.

Résultats

9.91% du temps chirurgical codé concernait des interruptions du flux de travail. Les causes les plus fréquentes d'interruptions étaient les distractions (29.7%) et les interruptions par les collègues (25.2%). Cette proportion était vue pour les IBO, alors que les moments d'enseignement et les interruptions par les collègues étaient les interruptions les plus fréquentes pour les chirurgiens. Ces interruptions étaient moins fréquentes chez les chirurgiens experts et quand il y avait une familiarité au sein du binôme chirurgien-IBO.

Conclusions

La fréquence des interruptions de flux de travail pendant une intervention chirurgicale peut compromettre la qualité et la sécurité de cette dernière. Ces interruptions semblent décroître

dans les équipes avec un haut niveau de familiarité du binôme chirurgien-IBO et avec le développement de l'expertise chirurgicale. Favoriser la familiarité au sein des équipes et faire part de commentaires à une équipe à propos des problèmes engendrés par les interruptions de tâches pourraient être des moyens intéressants d'améliorer le travail en équipe.

Prendre une photographie de l'esprit du chirurgien : le rôle de la représentation mentale durant le planning chirurgical pré-opératoire

Objectif

Un des aspects critiques du jugement chirurgical des experts est la capacité à se représenter mentalement avec précision l'objectif d'une procédure chirurgicale. A ce jour, nous ne savons pas apprécier comment la chirurgie est représentée dans l'esprit des chirurgiens. L'objectif de cette étude était d'explorer comment les chirurgiens se représentaient mentalement une intervention chirurgicale dans la phase pré-opératoire.

Méthode

Nous avons mené une étude utilisant la méthodologie constructiviste de la théorisation enracinée portant sur l'analyse de 20 entretiens semi-dirigés avec 20 neurochirurgiens provenant de services académiques canadiens et français et de différents niveaux d'expertise. Les données ont été collectées et analysées de façon itérative jusqu'à atteindre une saturation thématique.

Résultats

Les chirurgiens participants étaient capables d'exposer leur représentation mentale (RM) d'un cas opératoire. L'analogie utilisée pour la RM était celle d'un instantané en photographie. Nous avons identifié un aspect dynamique de cette RM durant le planning pré-chirurgical. En premier lieu, nous avons décrit la création et la construction de l'instantané mature comme un processus se nourrissant de sources variées pour aboutir à l'instantané final. Puis, nous avons mis l'accent sur des lentilles à travers lesquelles le chirurgien regardaient (*i.e.* zone de confort, lentilles de sécurité ou d'enseignement) et qui pouvaient modifier l'instantané du chirurgien. En troisième lieu, la socialisation de cette représentation mentale (*i.e.* partager cet instantané avec d'autres instantanés d'autres personnes) a été décrit.

Conclusion

Nous avons décrit un phénomène nommé "instantané photographique de l'esprit du chirurgien" dans cette étude exploratoire. Cette illustration de la RM pendant le planning pré-chirurgical

semble être à la fois consciente et inconsciente. Cette compétence non technique incluait également à la fois beaucoup d'aptitudes cognitives et interpersonnelles.

Titre : Compétences non techniques en neurochirurgie

Mots clés : Compétences non techniques ; Neurochirurgie ; Interruptions de tâches ; Travail d'équipe ; Expertise ; Représentation mentale

Résumé : Le domaine de la chirurgie de par son environnement sensible, ses enjeux de qualité et de sécurité se rapproche naturellement d'autres univers tels que l'industrie nucléaire, l'aviation civile et le domaine militaire. La technicité voire même la connaissance déclarative de chaque individu composant un élément de l'ensemble d'individus interagissant ensemble dans ces environnements ne suffisent pas à atteindre des niveaux suffisants de sécurité. Plus de 70% des événements indésirables graves seraient liés à des problèmes humains de coordination et de communication. Les compétences non techniques (CNT) sont ainsi nécessaires pour assurer une performance efficiente et sûre. La première partie de ce travail fait un état des lieux de la littérature sur les CNT en chirurgie. Après des définitions générales et un positionnement de ces compétences vis-à-vis notamment des compétences techniques et procédurales, nous présentons une revue systématique de la littérature des CNT dans le domaine spécifique de la neurochirurgie. La

deuxième partie de ce travail s'intéresse quant à elle aux compétences interpersonnelles en focalisant le propos sur le travail en équipe et la communication. Le concept de familiarité au sein d'une équipe est exploré. Pour ce faire, nous présentons une étude observationnelle qui a été réalisée en environnement réel de bloc opératoire de neurochirurgie portant sur les interruptions de tâches et le travail d'équipe. Ces interruptions de tâches sont en effet des événements itératifs entraînant la mobilisation de CNT au sein d'un groupe de professionnels. La troisième partie est consacrée aux compétences cognitives avec une étude reposant sur des entretiens de neurochirurgiens de différents niveaux d'expertise ; celle-ci ayant pour objectif de mieux comprendre la représentation mentale que se fait le chirurgien lors de son planning opératoire pré-chirurgical. La méthodologie qualitative de la théorisation enracinée est utilisée dans cette partie et nous justifions son emploi pour ce travail.

Title : Non technical skills in neurosurgery

Keywords : Non technical skills ; Neurosurgery ; Interruptions; Teamwork; Expertise; Mental representation

Abstract : The field of surgery with its sensitive environment, its quality and safety issues is naturally close to other work environments such as the nuclear industry, civil aviation and the armed forces. The technical expertise and even the declarative knowledge of each individual component of the set of individuals interacting together in these environments are not sufficient to achieve sufficient safety levels. More than 70% of serious adverse events are due to human coordination and communication issues. Non-technical skills (NTS) are thus essential to ensure efficient and safe performance. The first part of this work is a review of the literature on NTS in surgery. After giving general definitions and positioning these skills with respect to technical and procedural skills, we present a systematic review of the CNT literature in the

specific field of neurosurgery. The second part of this work focuses on interpersonal skills: on teamwork and communication. The concept of crew familiarity is explored. In order to achieve this, we present an observational study carried out in a real neurosurgical operating room environment dealing with workflow disruptions and involving teamwork. These workflow disruptions are iterative events leading to the mobilization of NTS within a group of professionals. The third part is dedicated to cognitive skills with a study based on interviews of neurosurgeons with different levels of expertise. The aim is to better understand the surgeon's mental representation during preoperative surgical planning. Grounded theory approach, a qualitative methodology, is used in this part and we justify its use for this work.