

DISPOSITIFS MÉDICAUX
& PROGRÈS EN

ROBOTIQUE

Sommaire

3

PRÉFACE

5

Robotique médicale et chirurgicale :
toujours au service des professionnels de
santé

6

ROBOTIQUE MÉDICALE

Une technique de stimulation de pointe

10

ROBOTIQUE CHIRURGICALE GÉNÉRALE

Un robot qui prolonge les gestes du chirurgien

16

ROBOTIQUE CHIRURGICALE EN ORTHOPÉDIE

Une main d'une grande précision

17

ROBOTIQUE CHIRURGICALE EN NEUROCHIRURGIE

La précision du geste chirurgical

21

ROBOTIQUE INTERVENTIONNELLE

Un dispositif, des disciplines

24

GLOSSAIRE

Les mots techniques ou scientifiques expliqués
sont accompagnés dans le texte du symbole ⓘ

26

SOURCES ET REMERCIEMENTS

Préface

La chirurgie **augmentée**



Jacques MARESCAUX

Président de l'IRCAD, Directeur général de l'IH (Strasbourg)

Les avancées impressionnantes de la robotique et des sciences de l'informatique influent sur toutes les activités humaines. Appliquée à la médecine et à la chirurgie, une telle bulle technologique a permis de conceptualiser un paradigme révolutionnaire connu sous le nom de médecine de précision. Dans ce concept de précision, l'en-

semble du parcours de santé du patient est numérique et contrôlé par des approches automatisées et ce, du dépistage et du diagnostic au traitement et au suivi.

Le niveau de précision requis pour optimiser les soins de santé dépasse les limites de la médecine fondée sur les preuves ainsi que la capacité des meilleurs professionnels de santé.

La prolifération des données, aussi appelée Big Data, n'est pas seulement une expression devenue virale qui résume le niveau de connaissances exponentielles. C'est aussi le point de départ vers une meilleure prise de conscience des limites du cerveau humain et vers une compréhension d'une substitution phénoménale des machines aux fonctions humaines.

Un patient peut générer à lui seul une quantité immense de données de biochimie[®], de génomique[®], de protéomique[®], de métabolomique[®] et d'imagerie. Ces données spécifiques au patient peuvent désormais être organisées et décryptées en quelques secondes par des super ordinateurs équipés de technologies cognitives et humanoïdes appelées Intelligence Artificielle (IA), capables de créer des algorithmes théranostiques[®] automatisés et personnalisés d'une précision inégalée.

Nous sommes dans une période de transition dans laquelle les médecins occupent toujours le rôle principal et exploitent les technologies de pointe. Toutefois, il est facile d'avoir un aperçu du futur de la médecine et de la pratique chirurgicale orientée vers un processus autonome et complètement robotisé.

Riches de cette vision et de cette perception du futur, nous concentrons nos recherches sur cette médecine de précision et sur le rôle du chirurgien doté de capacités intellectuelles, visuelles et manuelles augmentées.

Nos projets en cours visent à utiliser l'Intelligence Artificielle pour augmenter le cerveau du chirurgien afin de tracer un parcours de santé optimisé et spécifique au patient et de veiller à ce qu'il n'y ait aucun acte non requis pendant le traitement, l'hospitalisation et la convalescence.

Le chirurgien peut avoir aussi un œil augmenté, à travers des modalités d'imagerie de pointe lui permettant de voir au-delà du visible. Les >>>

>>> concepts de réalité virtuelle et de réalité augmentée permettent de créer des avatars ④ des patients, par reconstruction 3D des images préopératoires, telles que les scanners et les résonances magnétiques. Les avatars peuvent être utilisés par le chirurgien afin d'effectuer une exploration virtuelle avant le geste chirurgical, permettant de visualiser l'anatomie, normale et pathologique, de manière beaucoup plus immédiate et efficace que par visualisation standard 2D des images. De surcroît, les avatars numériques peuvent servir pour simuler la procédure, avant de l'effectuer afin d'évaluer à l'avance et sans risque pour le patient, la stratégie la mieux adaptée.

Pour finir, le modèle 3D virtuel du patient peut être utilisé durant l'acte chirurgical tel un GPS pour aider le chirurgien dans la navigation. Le modèle virtuel, en fait, peut être fusionné avec les images réelles du patient pour obtenir une réalité augmentée montrant en transparence les organes non apparents. D'autres techniques d'imagerie peuvent augmenter l'œil du chirurgien pour lui permettre de voir le microscopique en temps réel, telle que la microscopie par confocale. Ceci permet d'obtenir un diagnostic de cancer durant l'acte chirurgical, tel qu'une analyse histologique *in vivo* et donc d'agrémenter le processus décisionnel du chirurgien. Pour finir, l'œil du chirurgien peut être augmenté par des

caméras à vision infrarouge lui permettant de voir l'invisible. C'est le concept de la chirurgie guidée par la fluorescence, une technique en plein essor permettant de visualiser des cancers de manière univoque grâce à l'administration au patient de substances fluorescentes spécifiques pour les tumeurs.

Les sciences robotiques ont fourni les technologies pour donner au chirurgien une main augmentée, capable d'exécuter des gestes difficiles avec une finesse et une précision hors norme. Au temps présent, les plateformes robotisées fonctionnent dans une configuration maître-esclave où le chirurgien exécute le mouvement qui est élaboré et filtré par l'interface robotique et répliqué par les effecteurs de manière conforme mais sans les tremblements ou les imperfections du mouvement humain tout court. Dans un futur pas si lointain, les plateformes robotisées, dotées d'Intelligence artificielle et capable de comprendre l'environnement et l'anatomie 3D du patient, seront en mesure d'effectuer des gestes de manière complètement autonome.

Pour conclure, dans notre vision, l'état actuel des développements ouvre la voie à la fusion de la robotique de l'Intelligence artificielle, des big data, des systèmes d'imagerie avancée et des nanotechnologies ④ de façon transdisciplinaire et transhumaine ④. ■

Robotique médicale et chirurgicale : toujours au service des professionnels de santé

En France, comme dans de nombreux autres pays industrialisés, on compte de plus en plus de dispositifs robotisés dans les hôpitaux. Ces équipements, qui soulèvent encore parfois quelques craintes, offrent pourtant de larges et prometteuses perspectives.

Robot... Que de fantômes nourris par les hommes autour des robots et de la robotique ! Au point qu'ils sont nombreux à s'en méfier, voire à redouter la place grandissante qu'ils pourraient prendre dans la société et ce, au détriment de l'Homme. Pourtant, sans la main du professionnel de santé,


le robot n'est rien, comme le précise le Centre national de ressources textuelles et lexicales (CNRTL). En effet, le robot est défini comme un « appareil effectuant, grâce à un système de commande automatique à base de microprocesseur, une tâche précise pour laquelle il a été conçu >>>



>>> dans le domaine industriel, scientifique ou domestique ». Ainsi, en médecine comme en chirurgie, si le robot a bien une certaine autonomie dans la réalisation d'un geste, celle-ci lui a été cédée et programmée par le professionnel de santé. Le robot ne prend pas l'initiative d'actions intelligentes, il les imite.

TRENTE ANS D'INNOVATIONS PROMETTEUSES

Dans le secteur de la médecine au sens large, c'est d'abord en chirurgie que la robotique moderne a fait son apparition. Les premières expérimentations, qui eurent lieu dans les années 80, reposaient sur des robots importés du secteur industriel et adaptés au monde médical. C'est d'ailleurs dans les secteurs de la neurochirurgie, de l'orthopédie et de l'urologie qu'elles furent menées. Puis, dès la fin de cette décennie et le début de la suivante, des robots exclusivement destinés à la chirurgie furent mis au point afin de répondre à un besoin médical bien identifié : par exemple, ôter une tumeur, stimuler une zone précise et délimitée du corps humain, accéder à une partie du corps difficile et/

ou délicate etc. Ils étaient dès lors spécifiquement adaptés au geste du chirurgien et/ou aux besoins du patient. Ainsi, contrairement aux robots industriels, les robots médicaux sont en perpétuelle interaction avec le professionnel de santé (par des commandes vocales du chirurgien ou par l'intermédiaire d'un ordinateur). Bientôt, des techniques d'imagerie furent également ajoutées à ces robots. Dès la fin des années 90, la robotique fut également utilisée lors d'interventions en gynécologie ou encore en cardiologie. L'Opération Lindbergh, en 2001, menée par le Professeur Marescaux qui opéra depuis New-York, aux États-Unis, une patiente se trouvant à Strasbourg, marque un nouveau tournant dans la robotique médicale avec le succès de cette intervention à distance. Au fil des années suivantes et jusqu'à aujourd'hui, les performances (vision 3D et réalité augmentée, finesse et précision des équipements, invasivité toujours moindre, soft robotique ) et champs d'action des robots ne cessèrent d'être développés et ce, à une vitesse grandissante. Toutefois, il reste encore à lever certains freins parmi lesquels, en première ligne, le coût de ces dispositifs.

L'HOMME AU CŒUR DU DISPOSITIF

L'arrivée de la robotique en médecine ouvre donc de très larges perspectives et laisse imaginer d'autres progrès, tant dans la précision et l'invasivité des actes chirurgicaux que, par conséquent, dans les bénéfices pour les patients (réduction du temps d'hospitalisation, diminution des douleurs et des effets secondaires). De fait, le robot médical reste un dispositif de coopération du praticien, seul maître à bord. Plus encore, l'Homme ne peut être supplanté par le robot dans le domaine médical car la relation humaine entre le praticien et son patient ne saurait être remplacée. Cela pose bien entendu la question de la formation technique nécessaire pour les professionnels de santé (médecins, chirurgiens mais aussi infirmiers) ainsi que celle des frontières entre les disciplines et les métiers. La communication sur les avantages mais aussi les limites de la robotique médicale et chirurgicale est donc primordiale auprès des patients comme des professionnels de santé. ■

ROBOTIQUE MÉDICALE

Une technique de stimulation de pointe

Si la robotique est aujourd'hui essentiellement utilisée et connue en matière de chirurgie, elle a également fait son entrée dans le domaine médical où elle permet la mise en œuvre de procédures complexes ainsi qu'une approche et une prise en charge des patients plus personnalisées.

À QUOI ÇA SERT ?

On entend par robotique médicale l'utilisation d'un robot par les cliniciens pour aider les diagnostics et/ou les actes thérapeutiques. Son objectif est d'assister le professionnel de santé pour la réalisation de gestes techniques médicaux au sens large, lesquels peuvent regrouper des gestes chirurgicaux (*voir les chapitres correspondants*) ou des gestes médicaux dans le but de se montrer moins invasif. La robotique médicale permet d'améliorer un certain nombre de gestes techniques identifiés comme pouvant l'être, notamment en répétabilité et en précision. De manière générale, l'objectif final de la robotique médicale est d'assister l'opérateur pour lui permettre non seulement de réaliser un geste plus précis et répétable mais aussi d'éviter à au professionnel de santé les tâches pénibles et, ainsi, libérer du temps. La robotique médicale est particulièrement utilisée en radiologie interventionnelle^⑤, pour les procédures percutanées^⑥, pour l'assistance à l'examen échographique, la radiothérapie et la radiologie de diagnostic (*voir le livret consacré à l'histoire de l'innovation en imagerie*). Mais l'une de ses utilisations les plus innovantes a trait à la stimulation magnétique transcrânienne (TMS).

COMMENT ÇA MARCHE ?

De manière globale, en robotique, le chirurgien dirige la manœuvre du robot depuis une console en sui-

vant sur son écran les images qui lui sont renvoyées. Dans le cadre de la stimulation magnétique transcrânienne spécifiquement, il s'agit d'appliquer une bobine sur la tête du patient afin de stimuler certaines zones précises du cerveau. Or, il est nécessaire d'assurer le contact permanent avec la tête, de respecter une grande précision dans les zones stimulées ainsi qu'une grande reproductibilité, particulièrement chez les patients qui ont besoin de nombreuses séances. La robotique associée au guidage par l'image permet de gagner en précision d'exécution, en particulier en compensant les éventuels mouvements du patient et en ajustant en permanence la position et l'orientation de la bobine de stimulation. En effet, lorsque la bobine est positionnée soit manuellement, soit avec un support fixe, le patient peut bouger, ce qui peut entraîner alors une perte de contact avec la cible. Ainsi, la procédure est devenue plus précise et l'opérateur est libéré d'une tâche répétitive et pénible, ce qui lui permet de se consacrer à des tâches à plus forte valeur ajoutée. A noter que cette technologie peut également être utilisée pour d'autres usages, lorsqu'il s'agit de positionner et d'orienter avec précision un dispositif médical, une sonde à ultrasons, par exemple.

UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

L'histoire de la robotique médicale commence il y a environ 25 ans et a effectué, en seulement un peu plus de deux décennies, un véritable bond en >>>

>>> avant technologique. Et si la robotique s'est beaucoup développée en chirurgie, le domaine non invasif – où sont également nécessaires des gestes techniques – n'est pas en reste, notamment via des systèmes robotisés pour positionner des endoscopes et des cathéters ou encore, des bobines pour la TMS. « Les premiers robots se sont en effet développés en chirurgie dans les années 80, raconte le Pr Michel de Mathelin, Directeur de ICube à l'Université de Strasbourg. La plupart des essais sont partis de robots industriels qui ont ensuite été modifiés pour la chirurgie. Ainsi, en France, c'est à Grenoble que fut développé le premier robot de stimulation profonde au niveau du cerveau ainsi qu'en orthopédie. Les ingénieurs sont partis du principe que les robots utilisés dans l'industrie le sont pour effectuer des gestes précis avec une répétabilité parfaite et donc de faire mieux que la main de l'homme ». Reste que, malgré ce constat, les fameux robots utilisés dans l'industrie n'ont pas été conçus pour être intégrés dans une salle d'opération : n'étant pas censés être à proximité de l'ouvrier, ils étaient notamment d'une taille extrêmement imposante et fonctionnaient bien souvent dans des cages fermées. Or, le chirurgien doit, lui, être au plus près de son patient... En outre, ces robots industriels ont été conçus pour gagner en rapidité : « Or, en chirurgie où l'on ne cherche pas à être rapide, ces dispositifs peuvent alors se montrer potentiellement dangereux, poursuit Michel de Mathelin. Plus encore, le robot industriel répète à l'infini un mouvement précis qu'on lui a appris car, sur la chaîne, il est



toujours face aux mêmes objets, de même taille et au même endroit. Ce n'est pas le cas pour les patients qui sont tous différents... » Ainsi dans les années 80, les efforts furent donc portés sur les moyens de piloter les robots. La solution de la neuronavigation fut alors envisagée : des caméras permettaient de voir des repères fixés sur les patients puis la position était triangulée dans l'espace avant que l'information ne soit transférée. Néanmoins, ces systèmes de repérage présentaient alors comme limite de ne pas être d'une grande précision.

L'AVÈNEMENT DES ROBOTS SPÉCIFIQUEMENT MÉDICAUX

Les années 90 marquent un réel bond en avant avec la télémanipulation, principalement utilisée en robotique chirurgicale (*voir le chapitre consacré*). Pour la première fois, les robots furent spécialement conçus pour la chirurgie mini-invasive et non issus de l'industrie. Côté robotique médicale, les choses prirent un tournant essentiel il y a une dizaine d'années : à la demande du Dr Jack Foucher, MCU-PH au Centre de neuro-modulation non invasive de Strasbourg (CEMNIS), le laboratoire strasbourgeois ICube créa un robot sur mesure selon un cahier des charges précis et dédié à la stimulation magnétique transcrânienne, domaine dans lequel rien n'existait alors en robotique (*voir encadré*). Le robot était utilisé pour déplacer la charge sans se fatiguer, en contrôlant la force et en gagnant en précision. Si le dispositif est révolutionnaire, il reste récent et, >>>

LE REGARD DE L'EXPERT

Docteur Jack Foucher, MCU-PH au CEMNIS

« Notre aventure a commencé en 2002 avec un projet de recherche sur les hallucinations résistantes dans les psychoses. Notre but était de stimuler l'ensemble des régions mises en évidence grâce à une nouvelle technique d'imagerie par RMN® et non un seul point afin d'obtenir une meilleure efficacité. Mais nous nous sommes heurtés à un problème de taille en raison du poids de la bobine utilisée. Ce n'était pas réalisable, même à moyen terme, par un opérateur humain. Il existait déjà un robot proposé pour la rTMS (littéralement « répétitive Transcranial Magnetic Stimulation » ou Stimulation magnétique transcrânienne répétitive, ndlr), mais il était issu de l'industrie automobile et donc trop dangereux pour faire évoluer la bobine de point en point au contact de la tête d'un patient. Nous avons alors mené un travail conjoint avec une équipe de chercheurs universitaires dirigée par Michel de Mathelin pour mettre au point une solution robotique dédiée à cette application médicale. Nous

avons établi un cahier des charges pour élaborer un dispositif robotique capable de réaliser exactement le protocole thérapeutique dessiné par le médecin et cela, en toute sécurité pour le patient. Un premier robot de recherche nous a permis d'entreprendre les phases de test et de validation, en particulier pour la sécurité. Nous avons pu ainsi démontrer la supériorité du robot par rapport à l'opérateur humain en termes de précision et reproductibilité, sans compter l'absence de fatigue. Cela a conclu la phase universitaire. A ce stade, une spin-off du laboratoire est née pour en faire un produit commercial intégrant les améliorations issues des tests, le marquage CE et un design refondu. Depuis juillet 2016, cette nouvelle génération de robots, disponible au sein d'un service de soins du CHU de Strasbourg, nous permet de réaliser des protocoles de stimulation personnalisée pour chaque sujet et guidée par de nouvelles techniques d'imagerie. »



>>> en pratique, son utilisation n'est pas encore très élargie dans le domaine médical. Néanmoins, les recherches en robotique médicale se sont intensifiées ces dernières années, en France et en Europe. La révolution dans le domaine a eu lieu et il existe désormais de plus en plus de robots collaboratifs disponibles. Aujourd'hui, le professionnel de santé peut déjà travailler avec ces dispositifs sans risque ni pour lui ni pour le patient. Par ailleurs, la robotique collaborative va permettre l'émergence d'un grand nombre d'applications possibles dans le domaine médical à des coûts raisonnables.

UNE LÉGITIMITÉ À ASSEoir DANS LES ANNÉES À VENIR

Il y a fort à parier qu'à plus ou moins long terme tous les gestes techniques médicaux pourront être robotisés car les robots sont très polyvalents. Si la crainte persiste aujourd'hui encore de voir le robot prendre la place du professionnel de santé, il faut voir la révolution robotique comme une opportunité d'amélioration. Ainsi, à chaque fois qu'un geste technique peut être amélioré et fiabilisé, du temps hospitalier est libéré pour des tâches à plus forte valeur ajoutée et les ressources dégagées peuvent être réallouées. Mais, si la robotisation des équipements médicaux permet d'améliorer la qualité des procédures, ses bénéfices cliniques (baisse du nombre des complications et de la durée des hospitalisations par exemple) et en termes de coûts restent à démontrer dans les années à venir. ■

ROBOTIQUE CHIRURGICALE GÉNÉRALE

Un robot qui prolonge les gestes du chirurgien

Ce type d'équipement, qui n'a aucunement vocation à remplacer le chirurgien, est une assistance robotisée qui permet de réaliser des interventions chirurgicales complexes et délicates de manière moins invasive, principalement au niveau de l'abdomen, du thorax et du bassin. Pour la plus grande satisfaction des patients.

À QUOI ÇA SERT ?

Il ne faut pas imaginer que la typologie de ce robot chirurgical dont il est question ici est un androïde à blouse blanche tout droit sorti de *Star Wars* ou *Terminator*. Aussi fantastiques soient elles, ces machines ne sont pas destinées à prendre le pouvoir ou à opérer toutes seules. Elles restent sous la dépendance du chirurgien qui, en la télémanipulant, est seul maître à bord. « Il ne s'agit pas d'un robot au sens classique du terme, confirme le D^r Thomas Blanc, chirurgien à l'Hôpital Necker-Enfants malades, à Paris. *S'il n'a de cesse de repousser les limites de la chirurgie, il ne remplace en aucun cas le chirurgien, lequel reste au cœur de l'intervention.* »

De fait, la chirurgie générale robot-assistée - l'appellation la plus employée par les praticiens et les industriels du secteur - ne fait finalement que reproduire les mouvements de la main humaine. Elle sert d'interface entre le malade et le chirurgien et va permettre à ce dernier de réaliser des gestes qu'il ne pouvait effectuer en chirurgie mini-invasive. Essentiellement utilisée pour des opérations délicates comme la prostatectomie[Ⓜ], la néphrectomie[Ⓜ] partielle, la chirurgie colique[Ⓜ] et du rectum, l'ablation de l'utérus, la lobectomie[Ⓜ] pulmonaire, elle fait appel aux techniques de la coelioscopie[Ⓜ].

MOINS D'EFFETS SECONDAIRES

Le principal bénéficiaire de cette avancée technologique est le patient puisque les dispositifs utilisés en robotique chirurgicale, de par leur précision,

entraînent souvent moins d'effets secondaires. L'intervention étant moins invasive et moins traumatisante, les douleurs post-opératoires, les pertes sanguines, les risques d'infection et, parfois, la durée d'hospitalisation sont fortement réduits. « Les enjeux pour les patients sont immenses, note le D^r Blanc. *En accédant à des zones difficilement accessibles en temps normal, le robot a permis d'accomplir de grands progrès. Aujourd'hui, les personnes opérées récupèrent plus vite et jouissent d'une meilleure qualité de vie.* »

Pour des opérations particulièrement délicates comme une ultra-dissection[Ⓜ] de la prostate par exemple, les dispositifs robotiques permettent d'obtenir une précision extrême. En résumé, si l'assistance robotisée en chirurgie générale fait aussi gagner un temps considérable lors des interventions, c'est son large éventail de possibilités qui retient l'attention : l'équipement marie les bénéfices de la chirurgie ouverte (en termes de vision et de confort) aux bénéfices de la coelioscopie (cicatrices moins visibles, temps opératoire diminué). « *Le chirurgien gagne en précision dans le geste, les petits tremblements ne se répercutent plus sur les instruments, bref l'amélioration clinique est en tout point évidente* », conclut le chirurgien de Necker.

COMMENT ÇA MARCHE ?

De grandes mains d'acier pour des gestes de velours : dans les salles d'opération, la >>>

>>> présence de dispositifs robotisés n'étonne plus personne parmi les membres du corps médical. Seuls certains patients se disent encore impressionnés par cette machine constituée de bras capables de reproduire intuitivement les mouvements de la main du chirurgien.

Les robots chirurgicaux offrent à la fois des programmes d'imagerie, de commandes et, bien entendu, de gestes techniques pour réaliser l'opération. Le praticien se trouve quant à lui à quelques mètres de la table d'opération derrière une console et un écran. Il gagne en confort puisqu'il est désormais assis sur un siège d'où il actionne un ensemble de commandes qui lui permettent de déplacer les outils à distance. Son geste ne change pas d'un iota. « *En coelioscopie, on opère avec des "baguettes" et sans profondeur de champ (en 2D). En chirurgie robotique, grâce aux instruments à la vision 3D HD, les sutures, notamment, sont plus faciles à effectuer. D'une manière générale, les interventions autrefois réservées aux chirurgiens experts deviennent plus accessibles* », fait remarquer le D^r Blanc.

CHIFFRE CLÉ

1 sur 3

D'ici 2021, 1 intervention chirurgicale sur 3 sera réalisée par des robots aux Etats-Unis, soit plus du double comparé à 2016

(Source : Reuters, cité par Les Echos, 2016)



Système chirurgical robot-assisté avec table d'opération mobile

UN SIMULATEUR POUR FORMER LES JEUNES CHIRURGIENS

Les robots de chirurgie générale offrent aux chirurgiens une visualisation claire de la zone à opérer, une grande dextérité, une précision importante et un excellent confort ergonomique. Ils sont munis d'instruments qui se plient et qui pivotent avec plus

d'aisance que la main humaine. Le chirurgien a alors tout loisir d'effectuer des gestes chirurgicaux complexes.

Il existe par ailleurs désormais des simulateurs permettant aux jeunes chirurgiens de se former à l'utilisation de ces dispositifs robotisés en toute sécurité aux différentes étapes d'une intervention et de les

CHIFFRE CLÉ

80%

Aux États-Unis, plus de 80 % des opérations de la prostate sont réalisées par chirurgie robotique.

(Source : Les Echos, 2016)

autonomiser ainsi plus rapidement. L'utilisateur commande à la main des pinces, lesquelles reproduisent fidèlement les mouvements des doigts et des poignets du chirurgien. Ce dernier commande et peut, comme dans une auto-école, intervenir à tout moment lorsque l'élève commet une mauvaise manipulation. « *Si la courbe d'apprentissage en chirurgie robotique est plus rapide, des heures et des heures de pratique sont indispensables pour être opérationnel* », insiste l'expert.

UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

L'origine du robot spécialisé en chirurgie générale est militaire. Dans les années 80, au moment même où l'arrivée de la coelioscopie bouleversa la manière d'opérer, le Darpa – l'agence de recherche du Pentagone – demanda à différentes institutions comme le MIT (l'institut de technologie du Massachussets) et la Nasa de rechercher de nouvelles solutions chirurgicales afin de pouvoir soigner à distance les blessés sur les champs

LE SAVIEZ-VOUS ?

UN ROBOT QUI OPÈRE DÉSORMAIS LES ENFANTS

C'est une première en France. En juin 2016, l'Hôpital Necker-Enfants malades, à Paris, s'est doté d'un robot spécialisé pour les opérations chirurgicales en pédiatrie. Le premier patient a été opéré en octobre de la même année, avec succès. Cet équipement de pointe est synonyme de nouveau bond en avant dans la Chirurgie mini-invasive (CMI), et améliore la qualité de vie des jeunes patients. Hospitalisation moins longue, diminution des douleurs post-opératoires et des séquelles esthétiques... Les chances d'éviter des traumatismes psychologiques liés à l'intervention s'en trouvent augmentées. Grâce à sa haute technologie, le robot apporte trois avantages majeurs qui élargissent de fait les possibilités de cette

pratique chez l'enfant : un grossissement de l'image, une vision 3D et haute définition de l'image, enfin la gestuelle fine dans un espace restreint. Ce type de dispositif peut être utilisé dans toutes les spécialités pédiatriques (urologie, chirurgie viscérale et pelvienne, oncologie, ORL) pour des interventions complexes de chirurgie ablative ou reconstructive et même en microchirurgie cardiaque. Rappelons que si la chirurgie mini-invasive a bénéficié de progrès considérables au cours des quinze dernières années, l'adoption de ces techniques restait plus limitée dans le secteur pédiatrique et ce, malgré la miniaturisation constante des instruments.

de bataille. Des avancées significatives furent alors faites pour voir un homme et manipuler des instruments tout en restant éloigné de lui. C'est sur la base des nouvelles licences technologiques développées par ces institutions que des applications civiles ont pu être commerciali-

sées dès les années 90. En 1999, le Dr Jochen Binder réalise la première prostatectomie robot-assistée en Allemagne, bientôt suivi du Pr Abbou au CHU Henri Mondor à Créteil. Dans le courant des années 2000 et 2010, des améliorations successives furent apportées >>>

Robot avec
technologie IFHU



LA ROBOTIQUE POUR TRAITER LE CANCER

Pr Sebastien Crouzet HEH Lyon

« Il existe également un robot qui utilise les Ultrasons Focalisés de Haute intensité (HIFU). Ces derniers vont permettre d'obtenir la destruction des cellules cancéreuses par effet thermique, grâce à la chaleur pure. Pour cela, le dispositif concentre les ondes émises et focalise l'énergie sur une zone précise préalablement définie, suite à la fusion élastique des examens antérieurement effectués (IRM, biopsie) et de l'échographie

réalisée en temps réel. Cette technique permet de **traiter uniquement le foyer cancéreux, sans affecter les parties saines de la prostate ou les organes adjacents.** Cela permet ainsi de **diminuer la morbidité.** La durée du traitement varie entre 30 minutes et 1 heure en fonction du volume. Il peut se faire en ambulatoire et peut donc être une alternative à la chirurgie et à la radiothérapie »

>>> aux dispositifs robotisés parmi lesquelles la vision 3D HD. Au fil des années, ces améliorations ont permis de mettre au point des dispositifs toujours plus précis autorisant des interventions d'une grande délicatesse telle que la chirurgie du rectum. La précision et la technicité de ces dispositifs réduisent considérablement l'invasivité des actes. Ils offrent désormais la possibilité d'intervenir dans des zones du corps humain difficiles d'accès ou encore de mener des interventions complexes et multiples.



Système chirurgical robot-assisté

CHIFFRE CLÉ

40 %

En 2015, en France, le taux de prostatectomies totales robot-assistées s'est élevé à 40 %.

(source : Haute Autorité de santé)



FOCUS

LES OPÉRATIONS CHIRURGICALES À DISTANCE : PLUSIEURS ESSAIS CONCLUANTS

Le 7 septembre 2001, la science a traversé l'Atlantique sans escale. Baptisée Opération Lindbergh, la première intervention chirurgicale à distance – une ablation de la vésicule biliaire – était effectuée par l'équipe de l'Institut de recherche contre les cancers de l'appareil digestif (Ircad). A l'aide d'un robot, le Pr Jacques Marescaux, basé à New-York, opérait une patiente qui se trouvait... au CHU de Strasbourg, à plus de 7 000 kilomètres. En 2008, les cardiologues du centre hospitalier de Laval réussissaient

une première en France : une angioplastie coronaire® en collaboration avec leurs collègues du CHU d'Angers qui ont assisté à l'intervention à travers deux écrans vidéos. Plus récemment, le 26 septembre 2016, des chercheurs australiens de l'université Deakin ont présenté un robot contrôlable à distance qui possède le sens du toucher. L'objectif sera de l'utiliser pour opérer à distance des blessés dans les zones de guerre ou lors de catastrophes naturelles.

L'INTÉRÊT DES JEUNES GÉNÉRATIONS

Reste à savoir comment ces dispositifs, qui font désormais partie de l'arsenal thérapeutique de la chirurgie dans les pays industrialisés (on compte une centaine dans les hôpitaux français), peuvent encore évoluer. Pour le Dr Thomas Blanc, « les seuls progrès possibles portent sur la miniaturisation des instruments. Mais ce sont de menus détails ». En revanche, ce qui ne relève pas du détail est l'intérêt qu'il suscite auprès des jeunes générations de chirurgiens. Nombreux sont les internes aujourd'hui à vouloir être formés en chirur-

gie à robot-assistée plutôt qu'en chirurgie ouverte. « Il ne s'agit pas de défendre l'idée selon laquelle une opération avec un robot serait meilleure mais à chirurgien égal, le robot apporte un plus incontestable, estime le praticien de l'Hôpital Necker. Tous ceux qui ont opéré avec l'aide d'un robot ne veulent plus faire que ça. Faire une laparoscopie® pendant quatre ou cinq heures, debout, les bras tendus, est exténuant. Avec le robot, le chirurgien est assis et les interventions sont plus courtes. Il y a une efficacité médico-économique incontestable. » ■

ROBOTIQUE CHIRURGICALE EN ORTHOPÉDIE

Une main d'une grande précision

Cette pièce à main dotée d'une commande robotique aide le chirurgien à réaliser des interventions portant sur les os (ou le squelette) et sur l'appareil locomoteur[®]. Ce dispositif permet de gagner en précision dans ce type d'interventions, notamment dans le cadre de la pose d'un implant.

À QUOI ÇA SERT ?

Ce type de dispositifs, qui a vu le jour au début des années 2010, définit la dimension et la position de l'implant qui conviennent le mieux à chaque patient. Il permet aussi de virtualiser la pathologie puis de retranscrire au détail près le résultat escompté par le chirurgien. *« J'utilise cet outil depuis 2013 car il rend le geste plus précis, confie le Pr Sébastien Lustig, chirurgien orthopédiste à l'Hôpital de la Croix Rousse (Lyon). Il est agile même si un temps d'adaptation est nécessaire, et a été conçu pour une chirurgie sûre, reproductible et confortable. »*

COMMENT ÇA MARCHE ?

Il s'agit d'un système semi-autonome de chirurgie robot-assistée : le chirurgien conserve donc le contrôle en permanence. Il se compose d'un système informatique complexe, d'un écran tactile, de commandes de contrôle, d'une caméra infrarouge amovible et d'une instrumentation robotisée stérilisable. Il est à noter que cette technologie ne nécessite pas d'imagerie préalable. La représentation de l'anatomie du patient se fait en peropératoire à l'aide de pointeurs réfléchissants fixés sur la ou les parties à opérer et sur la pièce à main robotisée. L'ordinateur demande au chirurgien des points de référence pour modéliser en 3D sur l'écran tactile la zone du patient où intervenir. Le

praticien peut ensuite tester virtuellement différents implants afin d'obtenir le meilleur positionnement anatomique et le meilleur équilibre ligamentaire[®].

La fraise, sorte de râpe fixée sur la pièce manipulée à la main, ne sort de sa canule de protection que face à l'os qu'il faut travailler. Si elle est sur une zone à conserver, elle se rétracte immédiatement. Le système permet en quelque sorte de sculpter la forme de l'implant dans l'os du patient, d'être peu invasif et de positionner la prothèse en s'affranchissant des limites des instrumentations conventionnelles. Il n'y a par exemple aucun guide de coupe à positionner, ni de réglage à mesurer et à contrôler. *« On fait tout virtuellement et l'on demande à la pièce à main de transposer ce que l'on veut obtenir comme résultat. La fraise sculpte les implants dans l'os. Le chirurgien n'a plus qu'à positionner l'implant définitif »,* relate le Pr Lustig.

UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

La première génération de ce type de dispositifs est apparue au début des années 2010 en Europe puis aux États-Unis. Le robot fournit des outils d'optimisation de l'implantation qui améliorent le vécu de l'opération pour le chirurgien et le patient porteur de prothèses *« L'objectif principal de cet outil est de simplifier les procédures difficiles et fortement instrumentées tout en les rendant moins invasives et plus précises »,* résume le Pr Lustig. ■

ROBOTIQUE CHIRURGICALE NEUROCHIRURGIE

La précision du geste chirurgical

Dédié aux chirurgies mini-invasives sur le crâne et la colonne vertébrale, ce dispositif robotisé offre une assistance précise et fiable, sans le modifier, le protocole opératoire classique du praticien.

À QUOI ÇA SERT ?

Capable d'intervenir sur le système nerveux central avec une précision infra-millimétrique[®] et de guider l'instrument du neurochirurgien sur la trajectoire optimale, ce type de robot, utilisé lors d'opérations sensibles du cerveau ou de la colonne vertébrale, a contribué à réduire la durée des interventions, la taille des incisions (chirurgie mini-invasive) et, partant, le risque d'infection ainsi que la période de récupération des patients. En neurochirurgie stéréotaxique et fonctionnelle (*lire encadré ci-contre*), ce type de dispositifs est à la pointe.

« Il s'agit d'un bras robotisé qui permet à la fois de définir des trajectoires dans le cerveau, préalables à l'implantation d'électrodes. C'est là que réside la valeur ajoutée du produit. Il permet d'effectuer des biopsies[®] cérébrales, explique le Pr Stephan Chabardès, neurochirurgien au CHU Grenoble-Alpes. Avec ce robot, plus de 80 % des chirurgies crâniennes peuvent être réalisées. Ce n'est pas un hasard si un nombre croissant de centres hospitaliers font appel à lui : il apporte un regain de précision et de sécurisation au geste opératoire. »

Ce type de dispositifs permet, entre autres exploits, de soulager les symptômes de la maladie de Parkinson, la dystonie[®] généralisée, le tremblement essentiel[®] (qui touche 300 000 personnes en France), les troubles obsessionnels compulsifs (TOC), le Syndrome de Gilles de la Tourette (SGT) et les crises d'épilepsie. Pour cette dernière maladie, par exemple, « on fait appel à la Stéréo-

électroencéphalographie (SEEG), soit la mise en place d'électrodes intracérébrales dans le cadre du bilan préopératoire de certaines épilepsies, qui va repérer les foyers épileptogènes[®] chez les patients gravement atteints, poursuit le Pr Chabardès. On implante alors une dizaine d'électrodes reliées au système d'enregistrement électroencéphalographique que l'on laisse huit à dix jours dans différentes régions du cortex[®]. »

DES INTERVENTIONS PLUS COURTES

L'intervention est planifiée en amont et le repérage se fait par laser. Le repérage de la tête du patient se fait à l'aide d'un laser, ce qui évite d'immobiliser la tête du patient dans une boîte de contention. >>>


À SAVOIR

NEUROCHIRURGIE STÉRÉOTAXIQUE ET FONCTIONNELLE : QU'EST-CE QUE ?

La neurochirurgie stéréotaxique et fonctionnelle vise à ajuster les fonctions du système nerveux. Elle permet de définir la position d'une structure grâce à un système de coordonnées dans l'espace (X, Y, Z) et de l'atteindre pour procéder à un traitement, une biopsie etc.

>>> Ensuite, le chirurgien opère à l'aide du bras robotisé, programmé pour intervenir notamment dans des zones de sécurité définies par le chirurgien afin de préserver, entre autres, les vaisseaux sanguins. Avec ce type de robot, un geste bien planifié débouche sur un geste exécuté précisément. « *On a affaire ici à une sorte de GPS, précise le Dr Michel Lefranc, neurochirurgien au CHU Amiens-Picardie. Grâce à l'imagerie médicale (scanner ou IRM), le praticien peut planifier l'acte chirurgical et positionner son instrument exactement comme il l'entend.* » Le robot va ensuite guider sa main et atteindre les cibles qui ont été identifiées sur les images préopératoires. Pendant l'opération, le chirurgien peut visualiser en temps réel ses instruments sur l'imagerie. « *Avant l'arrivée de ce robot, en 2011, une SEEG prenait une journée contre seulement trois heures aujourd'hui. Les progrès réalisés en l'espace de quelques années sont inouïs* », observe le médecin.

COMMENT ÇA MARCHE ?

A côté du chirurgien, le robot l'assiste pour guider et manipuler les instruments. « *Le bras robotisé n'agit jamais tout seul. Non seulement ce n'est pas sa vocation mais en outre, la législation ne le permet pas, précise le Pr Chabardès. C'est le praticien lui-même qui tient le bras avec un retour d'effort - l'effet haptique  - lui permettant de réaliser le geste opératoire d'une manière classique.* » Avec



le robot, le cadre stéréotaxique, cet anneau disgracieux fixé sur le crâne du patient pour lui maintenir la tête, a disparu.

« UNE VÉRITABLE TROISIÈME MAIN »

Lors de la première étape, un scanner (ou une IRM) est réalisé pour obtenir l'imagerie du patient. La technologie robotique combinée à un système de mesure laser permet de localiser le patient dans l'espace et de faire la relation entre les données de l'imagerie et le patient. Ensuite le chirurgien va planifier son geste chirurgical en reproduisant une trajectoire et en définissant un point d'entrée et un point cible. Par exemple, lors d'une biopsie effectuée dans le cerveau pour une tumeur, le point d'entrée sera le trou fait au niveau du crâne, tandis que le point cible sera le bout de l'aiguille qui servira à effectuer le prélèvement. L'appareil est alors capable de positionner son bras robotique au-dessus de la cible à atteindre de façon à ce que le chirurgien n'ait plus qu'à introduire son instrument dans le crâne pour implanter ou prélever ce dont il a besoin. « Cette assistance est une véritable troisième main qui a la particularité de ne jamais trembler et de ne jamais déborder de la zone de sécurité », souligne l'expert du CHU de Grenoble.

UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

En matière de robotique neurochirurgicale, le CHU Grenoble-Alpes fait figure de pionnier. C'est dans

cet établissement que le Pr Alim-Louis Benabid a commencé, dès 1987, à travailler de concert avec des industriels au développement de bras robotisés chirurgicaux. Cette année-là, la stimulation cérébrale profonde à haute fréquence (SHF) a été inventée pour réduire les symptômes de la maladie de Parkinson. Cette technique permet de diminuer les besoins en médicaments et d'améliorer considérablement les différents symptômes de la maladie. « Autrefois, les électrodes étaient implantées dans le thalamus[Ⓞ] pour réduire le tremblement, raconte le Pr Chabardès. Mais grâce à des technologies nouvelles, elles ont été déplacées dans le noyau sous-thalamique[Ⓞ] afin de s'attaquer de front aux trois principaux symptômes de la maladie de Parkinson : la kinésie[Ⓞ], la rigidité et le tremblement. »

« PRESQUE UNE ROUTINE »

En 1989, l'informatique est ajoutée au dispositif robotique, favorisant une meilleure planification, une plus grande précision et une simplification dans l'exécution. « Ces cinq ou six dernières années, nous avons fait un vrai bond en avant, insiste le praticien grenoblois. Le bras robotisé est si sophistiqué, qu'implanter des électrodes deviendrait presque une routine. » Malgré tout, des améliorations sont encore possibles. Dans un avenir très proche, on peut imaginer que les bras robotisés proposeront un meilleur traitement de l'image et auront un aspect moins encombrant tout en conservant leur rigidité légendaire pour ne rien

STIMULATION CÉRÉBRALE PROFONDE CONTRE LA MALADIE DE PARKINSON

La maladie de Parkinson est la maladie neurodégénérative la plus fréquente après la maladie d'Alzheimer. Ainsi, selon l'Institut du cerveau et de la moelle épinière, elle touche plus de 150 000 personnes en France, plus de 1,2 millions de personnes en Europe et plus de 6,3 millions de personnes dans le monde. Pour soulager les symptômes de la maladie, les neurochirurgiens recourent de plus en plus à la Stimulation cérébrale profonde (SCP). Cette technique consiste, grâce à l'apport du robot, à implanter deux électrodes dans une zone bien précise du cerveau qui reçoit des stimulations électriques. La SCP n'est envisagée que lorsque le traitement médicamenteux n'est plus efficace.

perdre en ergonomie. « Aujourd'hui, l'ouverture du crâne, le fraisage[Ⓞ] et la pénétration des électrodes sont assurés par le chirurgien. Et si, demain, ces gestes étaient directement pilotés par le robot ? », suggère le Pr Chabardès. ■

UN ROBOT CAPABLE D'INTERVENIR AUSSI SUR LE RACHIS

Les fonctionnalités avancées en matière de planification, de navigation et de guidage dynamique permettent également au robot de réaliser des chirurgies mini-invasives du rachis dans le cadre du traitement du rachis dégénératif, de la traumatologie, de déformités ou de tumeurs de la colonne vertébrale. Là encore, ce dispositif améliore de manière significative le bien-être du patient au moyen d'interventions moins invasives ; optimise la précision du guidage des instruments grâce à la dextérité du bras robotisé ; suit en temps réel une trajectoire planifiée malgré les mouvements du corps du patient ; apporte au praticien une meilleure perception du champ chirurgical grâce au repérage en temps réel des instruments sur les images peropératoires ; renforce la sécurité des procédures chirurgicales grâce à la précision et à la répétabilité de la technologie robotique.



ROBOTIQUE INTERVENTIONNELLE

Un dispositif, des disciplines

La robotique interventionnelle peut avoir diverses applications et intervenir dans toutes les spécialités chirurgicales et interventionnelles. Sa place ne cesse de grandir.

À QUOI ÇA SERT ?

Le but est à chaque fois le même : atteindre la zone à opérer ou à observer de la manière la plus précise possible tout en étant le moins invasif possible et opérer sans ouverture en minimisant les traumatismes tissulaires. En cardiologie, par exemple, cela consiste à réaliser des actes chirurgicaux sur les cavités, les vaisseaux et les valves cardiaques sans recourir à la chirurgie à cœur ouvert. Les progrès accomplis en matière de robotique, notamment la robotisation du cathétérisme^⑤, permettent désormais aux cardiologues ou aux urologues, comme aux radiologues, de recourir à un cathéter et aux rayons X afin de pouvoir atteindre à n'importe quelle partie du corps, si difficile d'accès soit-elle. Ainsi, en télémanipulant le cathéter à distance, les profes-

sionnels de santé ne sont plus exposés aux rayons X. Or, quand ils sont munis d'un tablier plombé, celui-ci ne recouvre pas entièrement le corps et, d'autre part, il est également extrêmement lourd. Les bénéfices sont donc multiples pour les professionnels de santé : meilleure ergonomie au travail, protection contre les risques d'irradiation, amélioration drastique de la sécurité. Du côté du patient aussi les avantages sont nombreux car le travail des professionnels de santé gagne en qualité et en précision. Il est donc exposé aux rayons X pendant moins longtemps qu'auparavant, on lui injecte moins d'iode et on lui pose moins de stents car ceux-ci sont d'emblée bien posés. En un mot, la robotique en cardiologie interventionnelle permet aujourd'hui d'être toujours moins invasif et toujours plus précis. En chirurgie, le robot va conduire >>>



>>> des instruments miniaturisés et très précis introduits au travers de trocarts[Ⓞ] et d'orifices punctiformes[Ⓞ]. Il peut être couplé à une vision magnifiée en 3D ou à la réalité augmentée qui apporte au chirurgien la superposition de la situation de son instrument par rapport aux structures reconstituées, le tout en temps réel et calculé grâce à une acquisition préalable par scanner ou IRM. D'autres robots peuvent optimiser l'implantation d'une prothèse osseuse en calculant le plan de coupe osseuse optimal, voire en le réalisant.

COMMENT ÇA MARCHE ?

Le robot n'a pas d'autonomie : on parle en effet de télémanipulation. C'est l'opérateur qui réalise un geste optimisé ou qui garde le contrôle sur un geste automatisé. En chirurgie vasculaire, il s'agit de réaliser une micro-incision par laquelle le cathéter est introduit dans les vaisseaux grâce à des

LE SAVIEZ-VOUS ?

Le terme robot est apparu pour la première fois en 1921, dans la pièce du dramaturge tchécoslovaque Karel Capek « R.U.R (Rossumovi Univerzalni Roboti) ». Le mot robot est en réalité un néologisme tiré du mot tchèque « robota » qui signifie « travail, corvée ».



instruments souples et allongés. Le cathéter est guidé jusqu'à la zone d'intervention grâce à un câble qui le rigidifie pour permettre sa progression et qui est doté d'une pointe très souple afin de ne pas endommager d'artères. Le professionnel de santé intervient quant à lui depuis un cockpit distant et protégé où il est assis (et non plus debout comme auparavant) devant plusieurs écrans qui lui permettent d'intervenir et de contrôler. Le robot chirurgical abdominal ou thoracique est aussi commandé par une console à proximité du patient mais d'autres robots monobloc sont au contact.

UNE HISTOIRE D'INNOVATIONS

« Le premier robot reposant sur ce genre de technique a en fait été utilisé par l'armée américaine pour mener des opérations dans des zones irradiées où un chirurgien ne pouvait pas se rendre,

relate le Pr Philippe Grise, chef du service urologie du CHU de Rouen. *Le robot était commandé à distance. Mais il faut préciser que l'appareil est resté un concept et n'a alors pas connu de développement particulier.* » Néanmoins, les réflexions menées dans divers domaines, dont l'armée, sur les technologies de pointe se retrouvèrent par la suite dans le monde médical. Avec l'explosion des pathologies cardiovasculaires et des cancers (notamment de la prostate), le besoin de gagner en précision (du geste et de l'image) et en sécurité dans les interventions devient une priorité. C'est pourquoi, dans les années 2010, la robotisation interventionnelle est entrée en scène. « *La robotisation permet d'augmenter la dextérité du chirurgien et la précision de son geste*, explique le Pr Grise. *Elle rend également possible des opérations qui ne l'étaient pas jusque-là, comme celle de nodules pulmonaires[Ⓞ] de petite taille.* » Les béné-

CHIFFRE CLÉ

8 fois supérieur

Les cardiologues et radiologues interventionnels ont un taux de cancer 8 fois supérieur au reste de la population, un taux de cataracte 9 fois supérieur et des troubles musculo-squelettiques (dus au tablier plombé qui pèse 10 kilos) 6 fois supérieur.

fices pour les patients sont également multiples, précise l'expert : « L'ensemble de ces techniques robotiques permet de pratiquer une chirurgie mini-invasive, moins agressive et plus précise. Cela entraîne de facto une diminution de la durée d'hospitalisation, des douleurs et des effets secondaires. »

DES FRONTIÈRES DE PLUS EN PLUS FLOUES

Dans le futur, la robotique interventionnelle va jouer un rôle de plus en plus important, en particulier en médecine vasculaire, une discipline qui concentre les plus grandes urgences, qu'elles soient hémorragiques ou thrombotiques[Ⓞ] (délivrance, déchoilage, accident de la route, rupture de la rate etc.). Et ce, d'autant plus que le facteur temps est un facteur majeur du pronostic vital fonctionnel et que le meilleur traitement est l'embolisation[Ⓞ] et donc le recours au cathétérisme. Or, la robotique inter-

ventionnelle fait gagner ce temps précieux en opérant à distance et en évitant ainsi de transférer le patient depuis son site d'accueil d'urgence. Mais ce recours grandissant à la robotique interventionnelle n'est pas sans poser des questions quant à son impact sur l'organisation des soins et sur les professions de santé elles-mêmes, comme le prévoit le Pr Grise : « La robotique interventionnelle intervient déjà dans des champs étendus qui pourront s'étendre encore plus demain. Il n'y a pas de limite en termes de spécialités concernées. Plus encore, la robotique va transcender la notion même de discipline médicale, laquelle va devoir se restructurer. Il en va de même pour les métiers : par exemple, les métiers de l'imagerie, tels que le radiologue, vont rejoindre les métiers du geste tels que le chirurgien. Il va falloir repenser et redéfinir les contours des métiers pour travailler ensemble. » Une réflexion qui ne s'arrête d'ailleurs pas aux frontières des métiers médicaux mais concerne également les métiers paramédicaux : vont en effet devoir être instaurées de nouvelles coopérations interprofessionnelles qui, pour être mises en place, nécessiteront une formation à l'utilisation du robot. Enfin, « il sera probablement nécessaire d'engager une réflexion éthique avec l'ensemble des acteurs impliqués, dont les associations de patients et d'usagers, afin de garantir la pérennité de la relation humaine entre le professionnel de santé et le patient. Il est certain que la consultation d'annonce sera d'autant plus importante pour rassurer sur l'activité humaine et la place du robot. » ■

UN ENTRAÎNEMENT DE HAUT NIVEAU

Il existe des simulateurs pour permettre aux chirurgiens de s'entraîner à la manipulation des robots. « On reproduit, au moyen d'une console opératoire, des opérations reconstituées, exactement comme le font les pilotes d'avion pour s'entraîner au vol, explique le Professeur Grise. C'est très important d'un point de vue éthique et quant à une éventuelle inquiétude du patient. Cela répond à un critère essentiel dans la tradition médicale française : jamais la première fois sur le patient. Jadis, on regardait faire le maître, puis on l'aidait avant de faire seul. La simulation permet d'apprendre et répéter les gestes, à l'envi. En outre, cela offre un avantage pour la formation puisque les simulateurs indiquent les performances et permettent donc d'évaluer les chirurgiens. » Assurément, demain, ce sera là une exigence légale voire de la part des assurances. La preuve en est que la simulation commence à intégrer les cursus même si elle n'est pas obligatoire.

(Sources : British Medical Journal, Circ Cardiovasc Interv, Cardiovascular Revascularization Medicine, The American Journal of Cardiology, BMC Public Health, Journal of the American College of Cardiology)

GLOSSAIRE

ABLATIVE (CHIRURGIE)

Qui consiste à retirer un organe, un ensemble de tissus ou un corps étranger par voie chirurgicale.

ANGIOPLASTIE CORONAIRE

Dilatation d'une artère coronaire sténosée grâce au gonflement d'un ballonnet, introduit dégonflé par l'intermédiaire d'un guide métallique dans l'artère rétrécie.

AVATAR

Changement ou Transformation d'un objet ou d'un individu qui en a déjà subi plusieurs.

BIOCHIMIE

Science consacrée à l'étude de la composition et des réactions chimiques de la matière vivante et des substances qui en sont issues.

BIOPSIE (CÉRÉBRALE)

Prélèvement de tissu cérébral réalisé par intervention neurochirurgicale.

CATHÉTÉRISME

Mise en place d'un cathéter dans une artère ou dans une veine pour opacifier son territoire avant de la radiographier ou pour effectuer un geste thérapeutique.

CHIRURGIE COLIQUE

Chirurgie du colon.

CŒLIOSCOPIE

Visualisation directe de la cavité abdominale préalablement distendue par un pneumopéritoine et des organes qui s'y trouvent au moyen d'un endoscope introduit par voie transabdominale.

CORTEX

Partie périphérique des hémisphères cérébraux, siège des fonctions nerveuses les plus élaborées.

DYSTONIE

Contraction involontaire et douloureuse figeant tout ou partie du corps dans une position anormale.

EMBOLISATION

Technique consistant à injecter dans une artère un matériel permettant de l'obstruer complètement.

EQUILIBRE LIGAMENTAIRE

Propriété d'une articulation dont les ligaments sont stables et bien axés.

EPILEPTOGÈNE

Qui provoque une crise d'épilepsie.

FRAISAGE

Action d'évaser l'entrée d'un trou en vue, notamment, d'y loger la tête d'une vis.

GÉNOMIQUE

Relatif à l'ensemble du matériel génétique, c'est-à-dire des molécules d'ADN, d'une cellule.

HAPTIQUE

Se dit de ce qui concerne la sensibilité cutanée.

INFRA-MILLIMÉTRIQUE

D'une taille inférieure à un millimètre.

KINÉSIE

Activité musculaire, mouvement.

LAPAROSCOPIE

Examen endoscopique à visée diagnostique permettant, après création d'un pneumopéritoine, une exploration visuelle directe de la cavité péritonéale ou du petit bassin et, éventuellement, la pratique de biopsies à ventre fermé.

LOBECTOMIE PULMONAIRE

Ablation chirurgicale d'un lobe du poumon.

LOCOMOTEUR (APPAREIL)

Ensemble des organes permettant de se déplacer.

MÉTABOLOMIQUE

Etude de l'ensemble des voies métaboliques d'une cellule ou d'un tissu.

NANOTECHNOLOGIE

Technologie qui s'exerce à l'échelle du nanomètre (10-9).

NÉPHRECTOMIE

Ablation totale ou partielle d'un rein ou des deux reins.

NODULE PULMONAIRE

Masse arrondie ou ovalaire, de taille variable entre 1 à 30 mm de diamètre, située dans le parenchyme pulmonaire, mise en évidence par les examens radiologiques.

ORL (OTORHINOLARYNGOLOGIE)

Discipline médicale ayant pour but l'étude de l'anatomie, de la physiologie et de la pathologie de l'oreille, des fosses nasales, du pharyngolarynx, et plus globalement de la face et du cou.

PERCUTANÉ

Qualifie un mode d'administration de certaines substances ou de médicaments consistant en une application locale sur la peau, le produit diffusant dans tout l'organisme à partir de cette application.

PROSTATECTOMIE

Ablation, partielle ou totale, de la glande prostatique.

PROTÉOMIQUE

Etude du protéome, l'ensemble des protéines d'un organisme, d'un fluide biologique, d'un organe, d'une cellule ou même d'un compartiment cellulaire.

PUNCTIFORME

En forme de point.

RADIOLOGIE INTERVENTIONNELLE

Ensemble des techniques utilisées en radiologie et imagerie médicale à visée thérapeutique.

RMN**(RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE)**

Propriété physique de certains noyaux atomiques, en particulier ceux d'hydrogène, consistant en l'émission d'un signal spécifique sous l'effet conjoint d'une exposition à un champ magnétique très intense et d'une excitation intermittente par une onde de radiofréquence.

SOFT ROBOTIQUE

Aussi appelée robotique molle. Robotique conçue à partir de matériaux souples, élastiques ou déformables.

SOUS-THALAMIQUE

Relatif à la région du diencéphale (la région centrale du cerveau) située sous le thalamus.

THALAMUS

Structure du cerveau participant à la réception des informations nerveuses.

THÉRANOSTIQUE

Néologisme issu de la contraction des termes thérapie et diagnostic pour désigner le couplement de ces deux notions dans un même système.

TRANSHUMAIN

Qui incite l'individu à sans cesse vouloir repousser ses capacités et les limites de sa condition en misant plus particulièrement sur les sciences et les techniques.

TREMBLEMENT ESSENTIEL

Mouvement anormal le plus fréquent, prédominant aux membres supérieurs, apparaissant au maintien de l'attitude, voire lors du mouvement lent mais disparaissant au repos.

TROCART

Instrument servant à pratiquer une paracentèse ou toute autre ponction d'un organe creux ou d'une collection liquidienne.

THROMBOTIQUE

Qui se rapporte à la thrombose, c'est-à-dire l'obstruction partielle ou totale par un caillot du flux sanguin.

ULTRA-DISSECTION

Dissection extrêmement minutieuse.

SOURCES

Principales sources ayant contribué à la rédaction de ce document.

ARTICLES

Da Vinci, le robot des chirurgiens, Les Echos, septembre 2016

Ces robots qui améliorent la précision chirurgicale, Le Figaro, avril 2011

Un hôpital pédiatrique s'équipe d'un robot chirurgical, une première en Europe, Sciences et Avenir, décembre 2016

Pour la première fois, un robot opère des enfants à l'hôpital Necker, Paris Match, décembre 2016

Jacques Marescaux : le chirurgien n'est pas un robot, L'Express, avril 2008

Rosa, le robot chirurgical du cerveau, Libération, avril 2015

Chirurgie : l'étonnant robot Rosa, Futura-sciences.com, février 2017

Au CHU de Grenoble, Rosa le robot opère votre cerveau, france3regions.fr, janvier 2017

La robotique médicale, Le Nouvel Economiste, mars 2013

ARTICLES SCIENTIFIQUES

Brain and Neck Tumors Among Physicians Performing Interventional Procedures, Ariel Roguin, Jacob Goldstein, Olivier Bar, and James A. Goldstein, 2013

Occupational Health Hazards of Interventional Cardiologists in the Current Decade : Results of the 2014 SCAI Membership Survey, Lloyd W. Klein, Yolande Tra, Kirk N. Garratt, Wayne Powell, Georgina Lopez-Cruz, Charles Chambers, James A. Goldstein On Behalf of the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, 2015

Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation : retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS), D B Richardson et al., British Medical Journal, 2015

Occupational Health Risks in Cardiac Catheterization Laboratory Workers, M.G. Andreassi et al., Circ Cardiovasc Interv, 2016

Occupational hazard of interventional cardiology, N.R. Smilowitz et al., Cardiovascular Revascularization Medicine, 2013

Brain and Neck Tumors Among Physicians Performing Interventional Procedures, A. Roguin et al., The American Journal of Cardiology, 2013

Retrospective evaluation study of lens injuries and dose, Duran et al. RELID, BMC Public Health, 2011

Occupational health hazard of working in the interventional laboratory, N. Orme et al., Journal of the American College of Cardiology, 2015

RAPPORTS ET DOCUMENTS

Bilan de l'enquête concernant les robots chirurgicaux Da Vinci de la société Intuitive Surgical à destination des professionnels de santé, ANSM, 2014

Robotique chirurgicale, support de cours, Guillaume Morel, UPMC, septembre 2014

La prostatectomie totale robot-assistée, une technique possible mais sans valeur ajoutée démontrée par rapport aux autres modalités opératoires, HAS, décembre 2016

L'Odyssee du futur, AFU, mars 2017

Dernières avancées en robotique médicale : Projets MARGE, GABIE et IRASIS, CNRS

La robotique : quels impacts sur la médecine de demain, Observatoire de l'hospitalisation privée, synthèse de séminaire, octobre 2015

REMERCIEMENTS

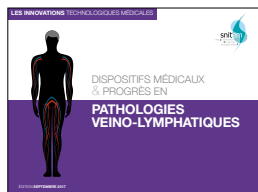
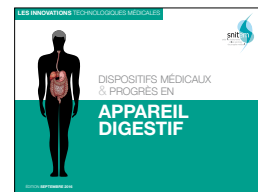
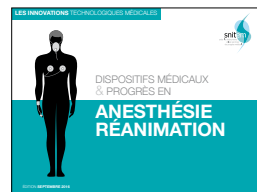
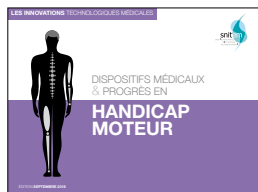
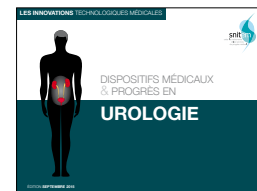
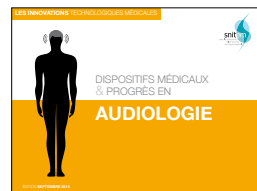
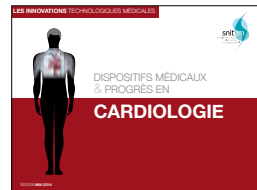
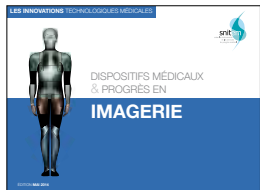
La réalisation de ce document a été rendue possible grâce à la disponibilité et aux apports de nombreux acteurs.

Qu'ils en soient tous ici remerciés, en particulier, par ordre alphabétique :

Philippe Bencteux, président, Robocath • **Michel Berg**, président et CEO, Axilum Robotics SAS • **D^r Thomas Blanc**, chirurgien pédiatre et responsable du programme de chirurgie robotique pédiatrique à l'hôpital Necker-Enfants malades (AP-HP), Paris • **P^r Stephan Chabardes**, neurochirurgien, CHU Grenoble Alpes • **Vincent Delaunay**, responsable des affaires médico-économiques Belgique France, Intuitive Surgical • **D^r Jack Foucher**, MCU-PH au Centre de neuro-modulation non invasive, Strasbourg • **P^r Philippe Grise**, directeur Medical, Medical Training Center CHU, Rouen • **Thomas Lecluze**, responsable du développement du segment genou (ventes et marketing) et des nouvelles technologies, Smith & Nephew • **D^r Michel Lefranc**, neurochirurgien, CHU Amiens-Picardie • **P^r Sébastien Lustig**, chirurgien orthopédiste à l'hôpital de la Croix Rousse, Lyon • **P^r Michel de Mathelin**, directeur de l'cube, Université de Strasbourg • **Sophie Munoz-Vincent**, directrice de la communication, Zimmer Biomet Robotics • **Pierre Reboul**, Directeur EDAP TMS France • **Christophe Sibillin**, directeur Général, Zimmer Biomet Robotics.

Dans la même collection

Documents téléchargeables sur le site du Snitem www.snitem.fr



Quand l'épopée de l'innovation des dispositifs médicaux se confond avec l'extraordinaire histoire de la robotique.

SNITEM

Maison de la Mécanique
39, rue Louis Blanc
CS30080
92038 La Défense Cedex

Tél. : 01 47 17 63 88

www.snitem.fr
info@snitem.fr

