



ELSEVIER

Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



RAPPORT ET RECOMMANDATIONS DE L'ANM

Rapport 21-13. Formation des chirurgiens/des équipes chirurgicales à la chirurgie robot-assistée. État de la situation actuelle. Propositions d'améliorations[☆]

Training of surgeons/surgical teams in robot-assisted surgery. Current status. Proposed improvements

J. Hubert*, P. Vouhe, D. Poitout¹

Académie nationale de médecine, 16, rue Bonaparte, 75006 Paris, France

Disponible sur Internet le 15 décembre 2021

MOTS CLÉS

Robot ;
Chirurgie robotique ;
Enseignement ;
Simulation ;
Compétences ;
Évaluation ;
Formation

Résumé

Contexte. – La robotique chirurgicale connaît un développement exponentiel, avec 6000 robots da Vinci (Intuitive Surgical®, Sunnyvale, CA, USA) actuellement implantés dans le monde. L'apparition de firmes concurrentes laisse prévoir une diffusion de cette technologie dans la plupart des blocs opératoires. Comme pour toutes les nouvelles technologies se pose la question d'une formation adaptée des utilisateurs et celle de la validation des compétences.

Objectif. – Évaluer les conditions actuelles de formation des équipes chirurgicales à l'utilisation du robot et, en l'absence actuelle de toute réglementation spécifique, apporter des recommandations.

Méthode. – Plus de 30 auditions d'experts extérieurs ou membres de l'ANM ont été réalisées par les membres de la Commission XV, ainsi qu'une analyse de la littérature.

Résultats. – Les besoins de formations techniques et non techniques concernent toute l'équipe : chirurgien, aide, infirmières, anesthésiste, techniciens et également formateurs. Les moyens de formation sont multiples, bénéficiant de la simulation et bientôt de l'intelligence artificielle, mais doivent être optimisés et standardisés. Comme en aéronautique ou en conduite automobile, la séparation des fonctions entre constructeur/utilisateur/formateur/certificateur est un gage d'indépendance et de sécurité, garantissant la protection des patients, mais également celle des chirurgiens, hôpitaux et industriels.

[☆] Un rapport exprime une prise de position officielle de l'Académie nationale de médecine. L'Académie dans sa séance du mardi 7 décembre 2021, a adopté le texte de ce rapport par 99 voix pour, 0 voix contre et 5 abstentions.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : j.hubert@chru-nancy.fr (J. Hubert).

¹ Auteur décédé.

Conclusion. – La formation à ces nouvelles interfaces chirurgicales reste encore balbutiante et réclame amélioration, structuration et réglementation, sous le contrôle d’une entité nationale/internationale.

© 2021 l’Académie nationale de médecine. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Robot;
 Robotic surgery;
 Teaching;
 Simulation;
 Skills;
 Assessment;
 Education;
 Training

Summary

Background. – Surgical robots are experiencing an exponential development, with 6000 da Vinci robots (Intuitive Surgical®, Sunnyvale, CA, USA) currently installed worldwide. The introduction of competing companies suggests that this technology will spread to most operating rooms. As with all new technologies, the question of appropriate user training and validation of skills arise.

Objective. – To evaluate the present conditions for training surgical teams in the use of the robot and, in the current absence of any specific regulations, to provide recommendations.

Method. – More than 30 interviews of external experts or members of the ANM were carried out by the members of Commission XV, as well as a literature review.

Results. – The needs for technical and non-technical training apply to the whole team: surgeon, assistants, nurses, anaesthetists, technicians, and also proctors. The tools for training are multiple, taking advantage of simulation and soon of artificial intelligence, but need to be optimized and standardized. As in aeronautics or automobile practice, the split of roles between manufacturer/user/trainer/certifier is a guarantee of independence and safety, ensuring the protection of patients but also that of surgeons, hospitals and manufacturers.

Conclusion. – Training methods in these new surgical interfaces is still in its infancy and requires improvement, structuring and regulation, under the control of a national/international entity.

© 2021 l’Académie nationale de médecine. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Abréviations

ANSM	Agence nationale de sécurité du médicament
CMR	Cambridge Medical Robotics
CNAM	Caisse Nationale d’assurance maladie
dVSS	da Vinci Skills Simulator
EIG	Backspacevènement indésirable grave
FLS	Fundamentals in Laparoscopic Surgery
FRS	Fundamentals in Robotic Surgery
FOH	Facteurs organisationnels et humains
GEARS	Global Evaluative Assessment of Robotic Skills
HAS	Haute Autorité de santé
HD	Haute définition
IA	Intelligence artificielle
IDE	Infirmier diplômé d’État
IADE	Infirmier anesthésiste diplômé d’État
IBODE	Infirmier de bloc opératoire diplômé d’État
IRCAD	Institut de recherche contre les cancers de l’appareil digestif
IS	Intuitive Surgical®
J&J	Johnson & Johnson
MACSF	Mutuelle d’assurance de corps sanitaire français
NTS	Non-Technical Skills
ORSI	OLV Robotic Surgery Institute
R-OSATS	Robotic-Objective Structured Assessments of Technical Skills
R3C	Réforme du 3 ^e cycle
SHAM	Société hospitalière d’assurance mutuelle

Introduction

La robotique chirurgicale est née à la fin des années 1990 et a rapidement connu un développement exponentiel, avec 6000 robots da Vinci (Intuitive Surgical®, Sunnyvale, CA, USA) implantés dans le monde en début 2021 et 1,2 million d’interventions réalisées en 2020 [1].

Avec l’apparition de firmes concurrentes et la réduction des coûts, on peut prévoir une diffusion de cette technologie dans tous les blocs opératoires et une utilisation dans de multiples spécialités (urologie, gynécologie, chirurgie digestive, thoracique, vasculaire, pédiatrique, ORL...).

Le développement de ce dispositif d’assistance chirurgicale sophistiqué pose, comme pour toutes les nouvelles technologies, la question d’une formation adaptée et également celle de la validation des compétences.

En effet, l’utilisation du robot n’est pas intuitive, comme le laisserait entendre le nom de la firme conceptrice. Au contraire il impose d’acquérir des compétences techniques spécifiques ainsi que non techniques, par toute l’équipe, en particulier en raison de la distance introduite entre le chirurgien à la console et le patient.

Pour une technique innovante et aussi disruptive les méthodes d’apprentissage classiques par compagnonnage doivent être repensées, en s’inspirant des expériences médico-chirurgicales passées (cœliochirurgie) ou de cultures différentes comme l’aéronautique où l’interface homme-machine et les coûts techniques ont imposé depuis longtemps cette adaptation des méthodes de formation.

Objectif

Évaluer les conditions actuelles de formation des équipes chirurgicales à l'utilisation du robot et, en l'absence actuelle de toute réglementation spécifique, apporter des recommandations.

Le rapport est centré sur la robotique à orientation viscérale, mais ouvre la porte vers les robots dans d'autres spécialités chirurgicales, la radiologie interventionnelle, l'impact de l'Intelligence Artificielle en thérapeutique interventionnelle en général...

Méthodologie

Plus de 30 auditions d'experts extérieurs ou membres de l'ANM ont été réalisées du 24 septembre 2019 au 22 décembre 2020, interrompues plusieurs mois en raison de la pandémie (reprises en visioconférence).

Ont ainsi été recueillis lors de ces auditions (liste détaillée en [annexe 1](#)) les avis :

- de collègues d'enseignants, des doyens, des présidents de CME ;
- de directeurs d'hôpitaux ;
- de l'ANSM, de la CNAM, de la HAS ;
- d'assureurs ;
- d'écoles d'Ibode² ;
- d'utilisateurs : urologues, digestifs, gynéco ;
- de fabricants de robots ;
- de fabricants de simulateurs ;
- de l'aéronautique : Air France & Armée de l'Air.

Une analyse de la littérature a été réalisée à partir des mots clés « robot, surgery, simulation, training, education, credentialing, skills, assessment, team training ».

État des lieux de la chirurgie robotique

Qu'est-ce qu'un robot chirurgical ?

Le terme « robot » dérive du tchèque « *robota* », qui veut dire « travail, corvée ». Il a été utilisé la première fois en 1921 dans une pièce de Karel Capek où un savant avait créé un humanoïde capable d'accomplir tous les travaux d'un homme.

Le terme de « robot » chirurgical est consacré par l'usage bien qu'il soit mal adapté, car il n'est pas une machine programmée, capable d'accomplir des tâches de façon autonome. C'est en fait un télémanipulateur pour la chirurgie laparoscopique, sorte de pantographe qui reproduit à distance et en temps réel les mouvements imprimés par le chirurgien aux manettes de commande, mais équipé d'une interface informatique qui optimise son geste ([Fig. 1](#)).

Les robots en chirurgie viscérale

Le robot Da Vinci

Commercialisé depuis 1999 par Intuitive Surgical®, Sunnyvale, Californie, ce robot comporte 4 bras télécommandés :

- un bras central portant l'endoscope avec deux canaux optiques séparés (œil droit–œil gauche) reliés à 2 caméras tri-ccd et procurant ainsi une réelle vision en 3 dimensions de qualité HD ;
- 3 bras portant les instruments interchangeables

Le chirurgien qui est assis à une console à quelques mètres du patient manipule deux manettes commandant les extrémités des instruments endocorporels, contrôle la caméra, actionne la coagulation mono/bipolaire...

Grâce aux articulations endocorporelles (Endowrist®) des instruments et l'interface informatique ses gestes peuvent être aussi minutieux que sous microscope en chirurgie ouverte, sans tremblement et par des mini-incisions.

Depuis le robot da Vinci standard à 3 bras du tout début, 5 générations se sont succédées, chacune avec d'importantes améliorations : S (à 3 puis 4 bras), Si, Xi, X, et le SP (single port).

Les concurrents qui apparaissent sur le marché

Aux USA & Canada, *Medtronic* et *Johnson & Johnson*, deux sociétés déjà présentes mondialement dans le domaine du matériel.

En Asie : *Meerecompany* en Corée du sud ; *Medcaroid* au Japon ; *Suzhou Kangduo Robotics* en Chine.

En Europe : *CMR* en Grande-Bretagne ; *Avatera* en Allemagne ; *Distalmotion* en Suisse ; *Telelap Alf-x/Transenterix* conçu en Italie.

Par contre, aucune société ne s'est investie dans la robotique chirurgicale en France.

Ces concurrents ont tous des choix techniques spécifiques et cette absence de standardisation rendra délicat le passage d'un robot à un autre pour le chirurgien.

Contexte juridique & formation à la chirurgie robotique

En France, les événements indésirables graves (EIG) liés à la robotique, sources de procédures médico-légales sont peu nombreux.

Rapportée à toutes les déclarations chez SHAM leur fréquence est de 1/1000 : 17 dossiers recensés sur la période 2014 à 2020. La MACSF rapportait 9 dossiers sur la période 2010-2019.

On peut cependant suspecter que ces EIG sont sous-estimés, car difficiles à identifier, faute de codage spécifique jusque récemment : les codes d'extension (avec/sans assistance robotique) n'ont été mis en ligne par la CNAM que le 16 juillet 2019.

L'importance de la formation dans la prévention des EIG a néanmoins été soulignée à diverses occasions :

- l'ANSM, suite à une enquête réalisée en 2013 concernant les robots chirurgicaux da Vinci, soulignait que 45 % des

² Ibode : infirmier(e) de bloc opératoire diplômé(e) d'État.

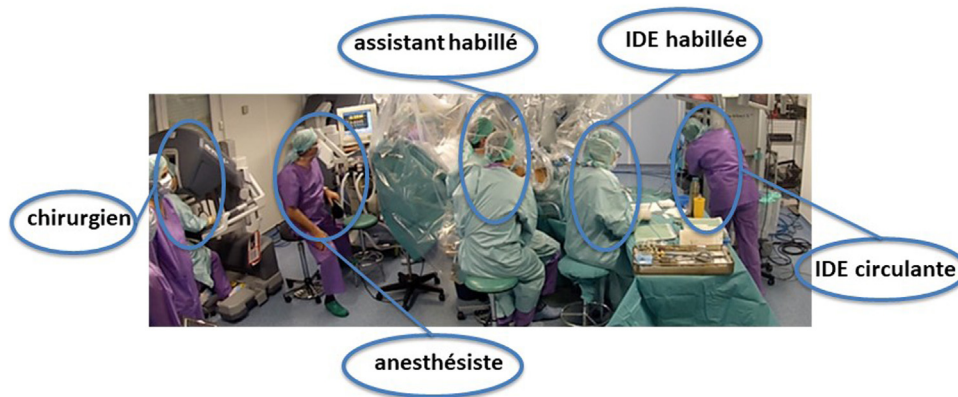


Figure 1 Organisation du bloc opératoire autour du robot. Le chirurgien est assis à la console, à quelques mètres du reste de l'équipe. Assistant et infirmière restent habillés stérilement auprès du patient.

EIG étaient fortement corrélés à l'expérience et à la formation du chirurgien ou de l'équipe ;

- une première condamnation d'un établissement pour une chirurgie robotique trop longue a eu lieu en 2016. Le compte rendu juridique de la MACSF pointait le fait que la durée, anormalement longue, de l'intervention résultait de l'apprentissage de la chirurgie coelioscopique robotisée par le médecin opérateur, qui n'était pas familier de cette technique [2] ;
- le rapport de la HAS sur la chirurgie robot-assistée (2016) souligne que « l'un des objectifs majeurs lors de la diffusion d'une nouvelle technologie est d'assurer la sécurité des patients et de réduire les risques durant la période d'apprentissage » et recommande de standardiser le contenu des formations initiale et continue de l'équipe chirurgicale.

Aux USA des procès sont intentés contre des hôpitaux pour avoir autorisé des chirurgiens insuffisamment formés à opérer ou contre des chirurgiens pour défaut d'information comme celui ne pas avoir informé leurs patients qu'ils étaient dans leur courbe d'apprentissage... [3].

La société Intuitive Surgical fait également l'objet de plaintes, presque toutes secondaires à des complications chirurgicales mais peu fréquemment à une défaillance du dispositif [4].

Formation en chirurgie robotique : besoins et moyens

Ce nouvel outil, interface entre le chirurgien et le patient, impose un travail à distance, sans contrôle de l'environnement du champ opératoire, et nécessite d'acquérir des automatismes très spécifiques.

Les différents besoins de formation en robotique

Selon son rôle dans l'équipe, une formation spécifique est nécessaire pour chacun des différents acteurs.

Formation technique de base du chirurgien

C'est le « *technical knowledge* » des américains, aboutissant aux « *basic privileges* », c'est à dire la formation du chirurgien à la manipulation du robot.

La relation entre le chirurgien et son patient passe par une interface « maître - esclave » (console de commande - robot) inédite en médecine, certes améliorée par l'informatique, mais qui demande une familiarisation avec l'interface (manettes, caméra, pédales...) et l'acquisition d'automatismes, préalable à tout geste chirurgical robotique, comme lors de l'apprentissage de la conduite automobile ou du pilotage aérien.

Au terme de cette formation technique, commune à toutes les spécialités (correspondant au permis de conduire automobile ou au « lâcher » en aéronautique), le chirurgien peut réaliser ses premières interventions.

Formation avancée du chirurgien

« *procedural knowledge* » conduisant aux « *advanced privileges* ».

Après la réalisation d'interventions simples, la phase de perfectionnement va amener le chirurgien à effectuer progressivement des interventions nouvelles ou de complexité croissante. Cette formation est, elle, spécifique à chaque spécialité et à chaque type d'intervention.

Formation de l'aide (interne) : « *patient-side surgeon* », futur chirurgien

Le rôle de l'aide opératoire est très important en chirurgie robotique ; sa compétence peut influencer sur la qualité de l'intervention [5,6].

Comme il travaille dans les conditions de la laparoscopie standard (vision 2D, instruments rigides, mouvements inversés...) un prérequis pour un aide qualifié est une formation à cette technique, qui a sa propre courbe d'apprentissage. Il doit ensuite acquérir des compétences spécifiques nécessitant une formation dont les modalités sont encore mal établies [7].

L'activité côté patient a un double avantage : elle familiarise le futur chirurgien aux étapes de la procédure opératoire, et elle nécessite le développement de compétences propres à l'assistant (résolution de problèmes du côté du patient pour assurer le bon déroulement de la procédure), la

compréhension de l'ergonomie et la gestion de la restriction d'accès créée par les bras robotiques, toutes compétences qui lui seront utiles lorsqu'il sera à la console [8].

Une telle formation devra répondre aux enjeux de la nouvelle maquette du 3^e cycle (phases socle, approfondissement, consolidation), à ceux du financement de la formation par simulation (rendue obligatoire par l'arrêté R3C du 21 avril 2017) et aux enjeux de l'accès aux centres de formation & simulation pour respecter une égalité des chances à la formation [9].

Formation de l'Ibode instrumentiste

Les Écoles d'Ibode qui délivrent la formation initiale à la robotique ont des programmes très inégaux, en nombre d'heures et de moyens, variant d'une région à l'autre.

La voie de la formation continue reste encore prédominante, par un compagnonnage assuré par des Ibode référents, in situ, mais rarement standardisée sur la forme et le temps imparti.

Plus d'un tiers des professionnels travaillant en chirurgie robotique affirment ne pas maîtriser suffisamment le robot [10].

Formation de l'IDE/Ibode circulante

L'infirmière circulante a un rôle important dans la manipulation du robot, la distribution à l'instrumentiste du matériel, la gestion des problèmes techniques... Les personnels doivent ainsi s'approprier l'outil technologique et être impliqués dans les formations et la rédaction des protocoles [11].

Formation de l'équipe (NTS, Non Technical Skills)

L'introduction de nouvelles technologies dans un bloc opératoire pose des défis qui vont au-delà des compétences cliniques requises pour mener à bien une opération en toute sécurité [12]. Ces compétences non techniques sont celles en matière de communication, de travail en équipe, de conscience de situation et de leadership et ne sont qu'exceptionnellement prises en compte lors des formations dans le domaine médical.

Formation des techniciens

À l'heure actuelle, aucune formation spécifique du personnel de la stérilisation n'est formellement organisée, alors que des nouvelles techniques (Sterad...) sont nécessaires, que les instruments du robot nécessitent une gestion spécifique et qu'ils ont un impact direct sur l'activité du bloc [13].

Les ingénieurs biomédicaux, présents dans tous les hôpitaux équipés de robots, ne bénéficient d'aucune formation spécifique.

Formation des formateurs/proctors

La présence d'un chirurgien expérimenté capable de guider un novice dans ses premières interventions a toujours été la base de l'apprentissage en chirurgie, ouverte ou laparoscopique. Ce besoin persiste en robotique et a montré son utilité. Lors de l'introduction de nouvelles technologies, l'équipe locale est par définition non formée et ne dispose pas de chirurgien senior expérimenté susceptible d'encadrer un débutant.

Le recours à un « *proctor* » est devenu la règle, mais selon un processus qui est actuellement entièrement géré par l'industriel (choix du proctor, nombre d'interventions encadrées, chirurgien qui en bénéficie...).

Ce « *proctoring* » qui amène un chirurgien expert à se rendre dans un bloc opératoire étranger et à faire partie de l'équipe de façon ponctuelle pose plusieurs questions :

- il n'existe aucun texte officiel ni aucune autorité permettant de valider sa qualité d'expert. Actuellement, un chirurgien est considéré par la société IS comme éligible pour remplir ce rôle après avoir effectué 20 procédures du type qu'il va encadrer ;
- la disponibilité du proctor est aussi un paramètre à considérer ; il doit en effet se libérer de ses activités cliniques pour se rendre dans le bloc opératoire de l'apprenant ;
- des qualités pédagogiques sont indispensables, traditionnellement apportées par des enseignements de pédagogie médicale pour les chirurgiens universitaires, mais non requises en robotique ;
- la responsabilité médico-légale du proctor est réelle [14], mais le plus souvent occultée [15].

Il n'existe pas de données sur la meilleure façon de former les formateurs en chirurgie robotique, mais un besoin à définir et valider un programme de formation standard des proctors [16].

Les moyens techniques de formation

Les programmes de formation en chirurgie robotique peuvent bénéficier d'une longue tradition issue de la chirurgie ouverte et de la laparoscopie, à laquelle s'ajoutent les nouvelles technologies, possibles grâce à l'informatique introduite dans cette nouvelle approche chirurgicale.

Le *e-learning*, apprentissage « en ligne », est un moyen d'apprentissage largement utilisé par les jeunes générations, et qui a été adapté à la robotique.

Il existe des modules en ligne développés par le fabricant du robot da Vinci qui présentent les concepts de base du système (<https://www.davincisurgerycommunity.com>).

Un module de formation théorique en ligne gratuit (<https://frsurgery.org/frs-curriculum/>) a été créé par les sociétés savantes en charge du projet FRS (*Fundamentals in Robotic Surgery*), et propose une source indépendante du/des fabricant(s). À terme il devrait héberger les données sur tous les types de robots chirurgicaux.

Les simulateurs : Mimic dVTrainer, Flex-X, XTT, 3DS RobotiX Mentor, dVSS...

La simulation existe depuis des décennies pour les pilotes en aéronautique, ainsi que dans de multiples domaines comme le natisme, l'automobile...

En robotique chirurgicale, tout comme en conduite automobile, il est nécessaire d'acquérir les réflexes qui permettent de dédier son attention à la route – i.e. au champ opératoire – sans avoir à réfléchir comment changer de vitesse, mettre en route les essuie-glaces, les clignotants... – i.e. débrayer les instruments du robot, déplacer la caméra, coaguler... -.

Cette étape de base est identique pour toutes les spécialités utilisatrices du robot.

Si des simulateurs de laparoscopie sont apparus assez tôt (Symbionix/3D Sytem), le premier simulateur robot de la société Mimic® n'a été créé qu'en 2008.

La simulation est une modalité pédagogique qui offre de nombreux avantages : coût faible, accessibilité importante, apprentissage centré sur les performances techniques individuelles (*proficiency-based*). Elle permet une évaluation simple, automatique et objective. Elle a prouvé son intérêt pour améliorer les performances au bloc opératoire [17].

Ces sociétés de simulation chirurgicale ne disposent malheureusement que de budgets réduits par rapport aux sociétés conceptrices de jeux vidéo ou de simulation aéronautique, ce qui explique certains manques de réalisme dans la simulation de dissection ou de temps chirurgicaux complexes.

Le « *Dry-lab* », laboratoire dit « sec », ou sur matériel inanimé

Basé sur des exercices utilisant du matériel inanimé, il a été largement validé pour la formation de base à la chirurgie robotique et constitue un excellent complément à la formation sur simulateur pour l'acquisition de compétences plus avancées [18].

Différents modèles sont disponibles :

- les modèles du FLS (*Fundamentals of Laparoscopic Surgery*) utilisables pour la formation robotique [19] ;
- le modèle M-Sim de la société *Mimic Technologies* (Seattle, WA, USA) a développé à partir de travaux de recherche du Dr C. Perrenot [20] ;
- les modèles en silicone ou en impression 3D, d'un réalisme croissant, mais encore insuffisant pour se passer de modèles de *wet-lab*. Réalisés à partir d'images de scanner d'un patient ils permettront à l'avenir de préparer une intervention spécifique à ce patient [21].

Le « *Wet-lab* », laboratoire dit « humide »

Il correspond à une formation technique réalisée sur tissus réels : animal anesthésié ou modèle anatomique humain.

L'intérêt du travail sur un animal anesthésié est de pouvoir effectuer des procédures complexes dans un environnement réaliste très proche d'une procédure sur un patient réel (dissection vasculaire, circulation et respiration, mobilité des organes, etc.).

Cette pratique soulève des problèmes éthiques et a été abandonnée pour l'enseignement dans plusieurs pays. Il reste cependant et pour l'instant un modèle indispensable, mais qui doit être pour l'équipe chirurgicale une dernière étape avant de débiter les interventions en clinique humaine.

Afin d'observer une stricte éthique animale, toute utilisation des animaux à des fins scientifiques doit se conformer à la Directive 2010/63/UE qui a énoncé, pour la première fois dans la législation de l'Union européenne, le principe des « trois R » :

- remplacer le recours à l'animal par des méthodes *in vitro* ou *in silico* chaque fois que cela est possible ;
- réduire le nombre d'animaux ;

- raffiner : optimiser et améliorer les conditions d'entretien des animaux et celles de la pratique expérimentale dans le sens du respect de l'animal [22].

Le travail sur matériel issu du don du corps est une nécessité pour certaines spécialités comme l'ORL où l'anatomie très spécifique n'est retrouvée sur aucun modèle animal. Un nouveau modèle avec circulation sanguine et ventilation pulsatile (système Simlife®) [23] semble être l'ultime amélioration de la simulation, pour l'apprentissage de procédures très complexes.

La chirurgie « *live* » ou « $\frac{1}{2}$ *live* »

Ce sont d'excellentes opportunités de formation, car elles permettent aux chirurgiens d'assister à une opération menée par des opérateurs de renommée mondiale et d'interagir avec eux en temps réel. Mais en étant source de distraction du chirurgien et d'augmentation du niveau de son anxiété, elles posent des problèmes éthiques [24]. Des vidéo-transmissions décalées dans le temps, mais réalisées dans les conditions du direct sont probablement une solution répondant aux impératifs éthiques.

Le *proctoring* des premiers cas

Le compagnonnage au bloc opératoire reste une base de la formation d'un chirurgien. Cette aide pendant les premières interventions est traditionnellement apportée par un chirurgien senior de l'équipe ; en l'absence de mentor local, un recours à un expert extérieur est proposé par le fabricant du robot. Ce chirurgien expert est choisi et rémunéré par cette société.

Cet encadrement se heurte à plusieurs difficultés déjà évoquées.

La rédaction de guidelines et de recommandations en matière de *proctoring* est nécessaire pour protéger les chirurgiens, les *proctors*, les institutions et, surtout, les patients [12].

Le robot à double console

Les chirurgiens encadrants considèrent qu'un des plus grands défis de l'enseignement de la robotique au bloc opératoire est la nécessité d'abandonner le contrôle total de la console au stagiaire [25]. La double console, bien qu'entraînant une augmentation substantielle du coût, permet au mentor de superviser efficacement, d'intervenir et de prendre le relais sans que le stagiaire ait à quitter sa console [26] ; elle pourrait devenir indispensable dans les blocs opératoires à vocation universitaire.

Les moyens humains

Un programme de formation de plusieurs jours mobilise plusieurs formateurs tout au long des sessions ; il est cependant difficile de mobiliser plusieurs experts en chirurgie robotique, leurs emplois du temps ne permettant pas de consacrer les dizaines d'heures nécessaires à cet encadrement et aux évaluations.

Différentes solutions peuvent être discutées.

L'enseignement à distance

Le e-learning a remplacé une majorité de cours magistraux et d'évaluation des pré-requis.

Le télémentoring chirurgical est une technologie en pleine évolution qui permet à un expert de donner des conseils sans être physiquement présent dans la salle d'opération : il peut voir les mêmes images que le chirurgien qui opère et fournir des conseils d'expert en temps réel.

La délégation de tâches/principe de subsidiarité

Dans l'armée de l'Air, les moniteurs qui animent les séances d'instruction du personnel navigant sur simulateur de vol sont des personnels dits « non-navigants ». Ce principe dit de subsidiarité permet de disposer à moindre coût de personnes sélectionnées et formées aux fonctions spécifiques d'enseignement.

Ce principe a déjà été évalué au cours des études médicales, vétérinaires et de chirurgie générale sous la forme d'une évaluation par les pairs [27].

Des formateurs spécialisés en chirurgie robotique peuvent également assurer cette fonction, tant qu'il ne s'agit pas de véritables gestes chirurgicaux.

L'évaluation à distance par *Crowdsourcing*

Terme anglais qui peut être traduit par « travail collaboratif de masse », le crowdsourcing consiste à faire travailler sur un sujet un grand groupe de personnes, issues du grand public, originaires de n'importe où dans le monde, sans nécessairement d'expérience ou de formation médicale préalable. Ils reçoivent une formation spécifique pour les tâches qu'ils choisissent d'accomplir puis une compensation financière.

Leur formation consiste en l'appropriation de grilles d'évaluation de vidéos d'exercices de chirurgie robotique reconnues, comme R-OSATS [28] ou GEARS) [29] puis d'évaluer les exercices réalisés par les stagiaires.

Il a été montré que ces évaluations structurées des compétences techniques étaient fortement corrélées aux évaluations par des chirurgiens experts [30].

Les formations existantes

Formation technique : le savoir-faire

La formation en robotique est actuellement dominée par les industriels qui se sont arrogé le droit de délivrer une formation obligatoire dont ils contrôlent le programme, les formateurs et les objectifs, outrepassant la directive européenne 93/42/CE modifiée définissant le rôle des fabricants de dispositifs médicaux : « *apporter les informations nécessaires pour qu'il soit utilisé correctement et en toute sécurité* ».

Formation autodidacte

Elle est indispensable pour les chirurgiens ne pouvant bénéficier de formations organisées, et possible si un simulateur dVSS a été acquis avec le robot, mais :

- cela pose le problème de l'accessibilité du simulateur puisque celui-ci étant solidaire de la console du robot, il ne peut être utilisé qu'en dehors des heures d'ouverture du bloc (soit les soirs & week-ends) [31] ;
- en l'absence de moniteur capable de corriger les erreurs ou les mauvaises habitudes, cela peut mener à un training négatif ;
- la communauté apprenante formée par les stagiaires d'une même session de formation permet une progression plus rapide et efficace par la mise en commun de connaissances entre pairs.

Formation délivrée par *Intuitive Surgical*

La société IS impose aux chirurgiens des hôpitaux acquérant un robot de suivre leur propre formation, ce qui n'a aucune base légale. Elle décide des chirurgiens et équipes à former, ce qui n'est pas neutre.

Les formations sont assurées par des techniciens et ont pour but de familiariser le chirurgien à l'usage de l'outil, grâce au simulateur (dVSS) accroché à la console et à du travail sur cochon.

En Europe ces formations sont hébergées dans deux centres, ORSI en Belgique et l'IRCAD à Strasbourg.

La formation que la société qualifie de « commerciale » (non qualifiante, afin de ne pas engager sa responsabilité sur les compétences du chirurgien en fin de formation), se termine par la délivrance d'un certificat attestant le suivi des pré-requis techniques et de la formation technique et l'assimilation par le chirurgien des techniques présentées.

Les résultats de ces formations sont connus et publiés [32–34] et montrent tous, quelle que soit la spécialité, des courbes d'apprentissage où le chirurgien atteint une durée opératoire en plateau après 20 à 50 interventions (Fig. 2).

Sans préjuger du résultat de la chirurgie qui peut être excellent, ces durées opératoires accrues montrent une familiarisation insuffisante avec l'outil robotique et suggèrent fortement que l'acquisition des automatismes s'est faite pendant les premières interventions.

L'objectif d'une formation de qualité serait d'extraire du bloc opératoire la partie initiale de cette courbe, avant d'opérer des patients, en accord avec la Haute Autorité de Santé qui énonce comme objectif éthique prioritaire dans son rapport [35] : « jamais la première fois sur un patient ».

Autres fabricants

Lors des auditions, tous les industriels venant à la robotique ont exprimé leur souci d'apporter des formations de qualité aux équipes utilisatrices.

Certains ont déjà une expérience de la formation en cœlioscopie ou avec d'autres matériels (J&J, Medtronic) alors que les autres montent des programmes de novo.

Les DIU, diplômes inter-universitaires

Certaines initiatives avec une réflexion pédagogique poussée ont abouti à des formations universitaires comme celui créé à Nancy (et les universités associées de Lyon, Tours, Nice) en 2008, ouvert aux chirurgiens & Ibodes, proposant des formations aux compétences de base et utilisant toute la panoplie des moyens pédagogiques actuels.

Ces programmes ont été adaptés dans d'autres centres de formation comme le Nicholson Center, à Orlando, USA.

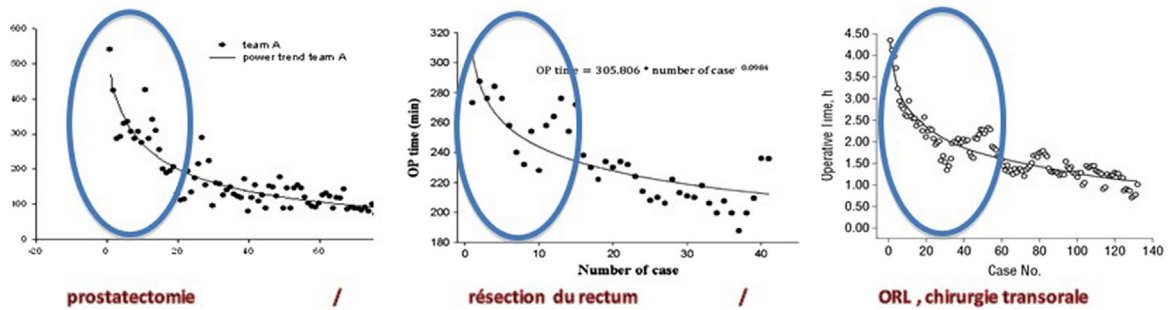


Figure 2 Courbes d'apprentissage en chirurgie robotique dans différentes spécialités.

Les « Masterclasses »

Ce sont des formations destinées aux pratiques avancées de chirurgiens formés à la robotique et souhaitant réaliser des interventions de complexité croissante ou de nouvelles procédures :

- beaucoup existent, mais sont décevantes, basées sur des démonstrations vidéo par des opérateurs experts. Leur but devrait être de permettre au chirurgien de s'entraîner en petits groupes de manière à quitter le centre de formation en maîtrisant la technique ;
- des master-classes de qualité restent à développer dans chaque spécialité et pour chaque intervention avec des programmes cohérents sur le plan pédagogique. Elles doivent faire appel à de la théorie (e-learning), à des interventions en direct (« live ») ou en vidéos sélectionnées, à de la simulation avec des exercices pertinents, à du drylab sur des modèles adéquats et enfin à du wetlab, dernière étape avant de passer à la chirurgie humaine.

Les formations non techniques : le savoir-être

Les formations en chirurgie se focalisent trop sur les aspects techniques alors que de multiples autres aspects, bien connus et pris en compte dans les formations en aéronautique, mériteraient une attention de la part des enseignants.

Le team training

La téléchirurgie impose de nouveaux modes de fonctionnement de l'équipe chirurgicale :

le chirurgien n'est plus au milieu de son équipe, mais à quelques mètres du champ opératoire et les yeux plongés dans la visionneuse.

Les informations sensorielles du chirurgien assis à sa console sont amputées de tout ce qui transite habituellement par le canal visuel (près de 80 % dans la vie courante). Seul le canal audio lui permet de communiquer avec le reste de l'équipe. Il est donc nécessaire de développer un mode de communication sécurisé – comme en aéronautique – utilisant ce canal audio.

Le travail en équipe et une bonne communication améliorent la performance de l'équipe, la charge cognitive de l'opérateur et les résultats cliniques [36].

La gestion des situations d'urgence

Les pannes du robot sont des événements rares, en particulier sur les dernières générations qui bénéficient d'une

maintenance préventive et d'un contrôle à distance. Comme pour toutes les technologies introduites au bloc opératoire une connaissance de la gestion des problèmes techniques permet d'améliorer la sécurité des patients [11]. La conversion en chirurgie ouverte avec retrait des bras du robot en cas d'urgence vasculaire nécessite un entraînement spécifique [37].

L'évaluation des compétences

En chirurgie robotique, l'évaluation des compétences ne protège pas des EIG³, mais permet d'assurer au patient que son chirurgien a les compétences nécessaires pour l'opérer.

Cette évaluation ne peut pas se résumer à un nombre de cas réalisés ou à un nombre d'heures de simulateur et se doit d'être objective [38], basée sur les compétences.

Comme en aéronautique ou en conduite automobile, la séparation des fonctions entre constructeur/utilisateur/formateur/certificateur est un garant d'indépendance et de sécurité en chirurgie robotique (Fig. 3).

Outre son intérêt pour le patient, cette indépendance sous la forme d'une validation universitaire pourra avoir un effet protecteur pour le chirurgien, son établissement ainsi que le fabricant du robot en cas de problème médico-légal.

Il n'existe actuellement aucun système d'accréditation normalisé permettant d'évaluer la compétence des chirurgiens [15], alors que des moyens existent pour une évaluation répondant à ces critères d'objectivité, d'indépendance, de disponibilité, d'économie de moyens humains. De multiples communications, dans toutes les spécialités utilisatrices du robot, appellent à la création de tels programmes de formation standardisés avec des évaluations formelles des compétences. On peut prévoir que d'ici quelques années les données automatisées traitées permettront de mesurer avec précision l'expertise des chirurgiens et d'anticiper les résultats chirurgicaux [39].

Formation théorique/e-learning

L'évaluation des pré-requis est faite en ligne et revue à l'arrivée aux sessions de formation.

³ EIG : évènement indésirable grave.

	Constructeur	Utilisateur	Formateur	Certificateur
Automobile	Renault, VW ...	Conducteur	Auto-école	Ministère de l'Intérieur (inspecteur)
Aviation	Airbus, Boeing...	Pilote	Ecole privée, exploitant	Direction générale de l'Aviation civile
Chirurgie robotique	CMR, Intuitive...	Chirurgien	Organisme de formation (privé ou public)	Universités / Académie / Sociétés savantes

Figure 3 La séparation des fonctions: un garant d'indépendance et de sécurité.

Formation technique initiale

Sur simulateur, l'évaluation peut être réalisée de façon automatique sur de nombreux paramètres qui mesurent la qualité du geste : temps, économie de mouvements, lâchers d'objet, collisions, instruments hors champ de vision, force excessive, ergonomie, volume de sang perdu, nombre de vaisseaux blessés, taux de coagulation inapproprié.

La progression d'un exercice au suivant est basée sur la compétence, le passage nécessitant d'avoir validé 80 % du score des experts à l'exercice précédent.

Dry-lab (exercices inanimés réalisés avec le vrai robot)

Ces exercices exigent beaucoup de temps et d'efforts tant de la part des stagiaires que des formateurs/évaluateurs.

Une conférence de consensus « *Fundamentals of Robotic Surgery* » a défini les 25 items de formation fondamentaux qui doivent être évalués.

Cette étude a amené à créer un modèle, le dôme FRS [40] qui, avec 7 exercices différents permet de tester les capacités qui ont ainsi été identifiées.

Cette évaluation peut être faite en direct ou sur une vidéo par l'expert. La possibilité d'un *crowdsourcing* permettant de limiter le temps d'expert a également été explorée [30].

L'enregistrement des mouvements des extrémités des instruments grâce à des capteurs spécifiques, et en les comparant à ceux des experts pour un même exercice est également une possibilité d'automatisation de l'évaluation [41].

Les nouveaux fabricants auditionnés semblent plus ouverts que la société Intuitive à ouvrir les API (*Application Programming Interface*) de leurs robots et permettront plus facilement cette étude des mouvements.

Wetlab et premiers cas cliniques

Le travail sur animal anesthésié ou modèle anatomique se rapproche plus du compagnonnage classique qui prend toute sa place lors des premières chirurgies sur des patients. Il nécessite la présence de chirurgiens experts apportant leurs conseils et évaluant les performances des stagiaires.

Pour plus d'objectivité et de reproductibilité, cette évaluation doit se faire en utilisant des grilles validées (R-OSATS ou GEARS).

Évaluation continue de la pratique et registre

La tenue d'un registre est un moyen classique de répondre à une évaluation continue, principe qui peut bénéficier des progrès de l'informatique et de l'introduction d'une touche d'intelligence artificielle.

Les sociétés auditionnées comme Medtronic et J&J proposent des solutions d'enregistrement automatique des vidéos de toutes les interventions, anonymisées vis-à-vis du patient, transférées sur le cloud, donc de capacité infinie, et consultables à la demande par des proctors.

Recertification

La requalification et la formation périodique sont obligatoires à tous les stades de la carrière d'un pilote. Pour chaque pilote de l'Armée de l'Air, 5 séances de simulateur de vol sont obligatoires chaque année [42].

Cette pratique de recertification, systématique ou après une longue période de non-activité n'est pas entrée en pratique dans les blocs opératoires, mais le développement de la simulation permettra probablement d'envisager ce type de remise à niveau, ou encore un « *warm-up* » avant une intervention lorsque le chirurgien n'a pas une pratique régulière sur le robot.

Conclusion

Apparue il y a presque 20 ans, la chirurgie robotique est passée d'un stade confidentiel à une diffusion ubiquitaire. Elle est même probablement appelée à remplacer la laparoscopie classique du fait de l'apparition des nouvelles plateformes qui vont démocratiser cette technologie.

La formation à ces nouvelles interfaces chirurgicales reste par contre balbutiante et réclame amélioration, structuration et réglementation, sous le contrôle d'une entité nationale/internationale.

Avec plus de 900 nouveaux robots implantés par an, les besoins de formation qui concernent toute l'équipe chirurgicale sont immenses.

Recommandations

À partir du rapport établi, l'Académie nationale de médecine émet les recommandations suivantes :

- toute équipe chirurgicale (chirurgiens, aide-opérateurs, infirmières) pratiquant des actes de chirurgie robot-assistée doit bénéficier d'une formation complète, graduée et standardisée, technique et non-technique, concernant les aspects fondamentaux de l'utilisation d'un robot et les spécificités de chaque spécialité chirurgicale ;
- une formation de base en chirurgie robot-assistée doit être intégrée dans la maquette de la formation initiale de tous les jeunes chirurgiens ;
- la formation à la chirurgie robot-assistée ne peut pas être confiée aux seuls industriels mais doit, en collaboration avec ces derniers, être organisée, réalisée, évaluée et validée sous le contrôle des instances universitaires et des sociétés savantes ;
- étant donné l'importance des moyens humains (formateurs chirurgiens et non-chirurgiens) et matériels (techniques de simulation, intelligence artificielle) impliqués, la création de centres de formation labellisés (au niveau national, voire européen) est indispensable.

Déclaration de liens d'intérêts

D. Poitout et P. Vouhe déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts. J. Hubert ne déclare pas de conflit d'intérêt concernant ce travail, mais un lien avec Medtronic et Surgical Science.

Annexe 1. Personnalités auditionnées

Assurances Professionnelles

MACSF : Dr Thierry Houselstein

MEDIRISQ : Dr Didier Legeais

SHAM : Dr Denis de Valmont & Mme Mélanie Autran

ANSM Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des Produits de Santé

Mr Pascal Di Donato, Directeur, Mme Sophie Ardiot, Evalueur, ANSM. Direction des dispositifs médicaux, des cosmétiques et des dispositifs de diagnostic in vitro

CNAM Caisse Nationale d'Assurance Maladie

Dr Jacques Meurette, président de la commission de Hiérarchisation des actes CNAMTS

HAS Haute Autorité de Santé

Dr Cédric Carbonneil, Chef du Service Évaluation des Actes Professionnels

Directeurs Généraux de CHU

Mr Serge Morel, Directeur Général du Groupe Hospitalo-Universitaire APHP. Centre-Université de Paris

Mr Jean-Patrick Lajonchère, Directeur de l'hôpital St Joseph, Paris. Membre de l'ANM

Conférence des Présidents de CME de CHU

Pr François René Pruvot, Président de la Conférence des Présidents de CME de CHU

Pr Dominique Rossi, Président de la CME de l'APHMarseille

Conférence des Doyens de Médecine

Pr Jean Sibillia, Président de la Conférence des Doyens

UNAIBODE Union Nationale des Associations d'Infirmier(ière)s de Bloc Opérateur Diplômé(e)s d'Etat

Mme Magali Delhoste, présidente, Mme Sylvie Caoduro, Mme Nadine Briche, Ibodes

Affaires Juridiques APHP

Mmes Magali Richard-Piauger & Soisic Iroz & Pr Jacques Belghiti, membre de l'ANM

Industriels, fabricants de robots

Avatera

Mr Gilles Pratabuy, Marketing consultant avateramedical GmbH

CMR

Dr Mark Slack, Chief Medical Officer

Mme Jessica Butterworth, EU Professional Education Manager, CMR Surgical

Dexter/Distalmotion

Mr Florent Bertheau, Sales Manager France, Distalmotion SA

Intuitive Surgical

Mr Julien Lacaux, Directeur Formation—EU

Mr Vincent Delaunay, Directeur des affaires médico-économiques

Medtronic

Mme Fiona Morrison, Regional Director PACE, Surgical Robo/c Platform, EMEA

Mr Guy Laplante, Director, Global Medical Affairs

Medicaroid

Mr Alexander Schwarz, Business Development Manager

Johnson & Johnson

Mr Rick Lombardi, Senior Manager Professional Education
Pr Philippe Grange, Director Clinical and Medical Affairs

Fabricants de simulateurs en robotique

Mimic

Mr Christopher Simmonds, Vice President Business Development, Mimic Technologies, Inc

3D System/Twin Medical

Mr Jérôme Esteves, General Manager, Twin Medical

Aéronautique

Air France

Mr Julien Masuyer, Pilote de ligne, Formateur en facteurs humains,

Armée de l'Air

Mr Jean Pierre Henry, Navigateur Mirage 2000, Formateur en facteurs humain

Sociétés savantes & utilisateurs

Collège d'Urologie :

Pr Alain Ruffion, président/Pr J. Hubert membre de l'ANM

SCGP Société de Chirurgie Gynécologique Pelvienne

Pr Hervé Fernandez, président

SERGS Society of European Robotic Gynaecological Surgery

Dr Delphine Hudry, Chirurgien Gynécologue, CLCC Lille

Collège de Chirurgie viscérale et digestive

Dr Laura Beyer-Berjot, MCU-PH Marseille

AFUF Association des Urologues en Formation

Dr Gaëlle Fiard, MCU-PH à Grenoble, ancienne présidente de l'AFUF

Dr Benjamin Pradere, président de l'AFUF
Académie vétérinaire de France
 Pr André Laurent Parodi, membre de l'ANM
ARS Idf Référent thématique robotique chirurgicale
 Dr Jean-Claude Couffignal, Chirurgien thoracique et vasculaire, Ancien chef de pôle médico-chirurgical, Argenteuil
Expert FOH
 Mr Claude Valot, Consultant Gestion des Risques et Facteurs Organisationnels et Humains

Références

- [1] <https://www.intuitive.com/en-us/about-us/company> [consulté 26/03/2021].
- [2] <https://www.macsf-exerciceprofessionnel.fr/Responsabilite/Actes-de-soins-technique-medicale/condamnation-hopital-chirurgie-robotique>.
- [3] Lee YL, Kilic GS, Phelps JY. Medicolegal review of liability risks for gynecologists stemming from lack of training in robot-assisted surgery. *J Minim Invasive Gynecol* 2011;18(4):512–5.
- [4] Alemzadeh H, Raman J, Leveson N, Kalbarczyk Z, Iyer RK. Adverse Events in Robotic Surgery: A Retrospective Study of 14 Years of FDA Data. *PLoS One* 2016;11(4):e0151470.
- [5] Thiel DD, Lannen A, Richie E, Dove J, Gajjarwala NM, Igel TC. Simulation-based training for bedside assistants can benefit experienced robotic prostatectomy teams. *J Endourol* 2013;27(2):230–7.
- [6] Sgarbura O, Vasilescu C. The decisive role of the patient-side surgeon in robotic surgery. *Surg Endosc* 2010;24(12):3149–55.
- [7] Bresler L, Perez M, Hubert J, Henry JP, Perrenot C. Residency training in robotic surgery: The role of simulation. *J Visc Surg* 2020;157(3 Suppl 2):S123–9.
- [8] Sridhar AN, Briggs TP, Kelly JD, Nathan S. Training in robotic surgery—an overview. *Curr Urol Rep* 2017;18:58.
- [9] Green CA, Mahuron KM, Harris HW, O'Sullivan PS. Integrating robotic technology into resident training: challenges and recommendations from the front lines. *Acad Med* 2019;94(10):1532–8.
- [10] Pograjec A, Hubert J. Le rôle de l'IBODE en chirurgie robotique urologique. *Prog Urol* 2019;29(15):899–903.
- [11] Sewberath Misser N, van Zaane B, Jaspers JEN, Gooszen H, Versendaal J. Implementing Medical Technological Equipment in the OR: Factors for successful Implementations. *J Healthc Eng* 2018;2018:8502187.
- [12] Catchpole K, Bisantz A, Hallbeck MS, Weigl M, Randell R, Kosack M, et al. Human factors in robotic assisted surgery: lessons from studies "in the Wild". *Appl Ergon* 2019;78:270–6.
- [13] Souders CP, Catchpole KR, Wood LN, et al. Reducing operating room turnover time for robotic surgery using a motor racing pit stop model. *World J Surg* 2017;41(8):1943–9.
- [14] Lee YL, Kilic G, Phelps JY. Liability exposure for surgical robotics instructors. *J Minim Invasive Gynecol* 2012;19(3):376–9.
- [15] Zorn KC, Gautam G, Shalhav AL, et al. Training, credentialing, proctoring and medicolegal risks of robotic urological surgery: recommendations of the society of urologic robotic surgeons. *J Urol* 2009;182(3):1126–32.
- [16] Collins JW, Levy J, Stefanidis D, et al. Utilising the Delphi Process to Develop a Proficiency-based Progression Train-the-trainer Course for Robotic Surgery Training. *Eur Urol* 2019;75(5):775–85.
- [17] Aghazadeh MA, Mercado MA, MichaPan MM, Miles BJ, Goh AC. Performance of robotic simulated skills tasks is positively associated with clinical robotic surgical performance. *BJU Int* 2016;118:475–81.
- [18] Raison N, Gavazzi A, Abe T, Ahmed K, Dasgupta P. Virtually competent: a comparative analysis of virtual reality and dry-lab robotic simulation training. *J Endourol* 2020;34(3):379–84.
- [19] Peters JH, Fried GM, Swanstrom LL, Soper NJ, Sillin LF, Schirmer B, et al. Development and validation of a comprehensive program of education and assessment of the basic fundamentals of laparoscopic surgery. *Surgery* 2004;135(1):21–7.
- [20] Perrenot C, Perez M, Tran N, Jehl JP, Felblinger J, Bresler L, et al. The virtual reality simulator dV-Trainer® is a valid assessment tool for robotic surgical skills. *Surg Endosc* 2012;26(9):2587–93.
- [21] Checcucci E, De Cillis S, Porpiglia F. 3D-printed models and virtual reality as new tools for image-guided robot-assisted nephron-sparing surgery: a systematic review of the newest evidences. *Curr Opin Urol* 2020;30(1):55–64.
- [22] Avis inter-académique sur la protection des animaux utilisés à des fins, scientifiques. *Bull Acad Natl Med* 2017;201:589–94.
- [23] Danion J, Breque C, Oriot D, Faure JP, Richer JP. SimLife® technology in surgical training — a dynamic simulation model. *J Visc Surg* 2020;157(3 Suppl 2):S117–22.
- [24] Finch W, Masood J, Buchholz N, Turney BW, Smith D, Wiseman O. Would You Want to Be the Patient? "Live Surgical Broadcast" or "As-Live Unedited Surgical Broadcast". *J Endourol* 2015;29(7):821–9.
- [25] Turner SR, Mormando J, Park BJ, Huang J. Attitudes of robotic surgery educators and learners: challenges, advantages, tips and tricks of teaching and learning robotic surgery. *J Robot Surg* 2020;14(3):455–61.
- [26] Smith AL, Scott EM, Krivak TC, Olawaiye AB, Chu T, Richard SD. Dual-console robotic surgery: a new teaching paradigm. *J Robot Surg* 2013;7(2):113–8.
- [27] Lemke M, Lia H, Gabinet-Equihua A, Sheahan G, Winthrop A, Mann S, et al. Optimizing resource utilization during proficiency-based training of suturing skills in medical students: a randomized controlled trial of faculty-led, peer tutor-led, and holography-augmented methods of teaching. *Surg Endosc* 2020;34(4):1678–87.
- [28] Siddiqui NY, Galloway ML, Geller EJ, et al. Validity and reliability of the robotic objective structured assessment of technical skills. *Obstet Gynecol* 2014;123(6):1193–9.
- [29] Goh AC, Goldfarb DW, Sander JC, Miles BJ, Dunkin BJ. Global evaluative assessment of robotic skills: validation of a clinical assessment tool to measure robotic surgical skills. *J Urol* 2012;187(1):247–52.
- [30] Polin MR, Siddiqui NY, Comstock BA, et al. Crowdsourcing: a valid alternative to expert evaluation of robotic surgery skills. *Am J Obstet Gynecol* 2016;215(5):644.e1–7.
- [31] Julian D, Tanaka A, Mattingly P, Truong M, Perez M, Smith R. A comparative analysis and guide to virtual reality robotic surgical simulators. *Int J Med Robot* 2018;14(1), <http://dx.doi.org/10.1002/rcs.1874> [Epub 2017 Nov 10. PMID: 29125206].
- [32] Guru KA, Kuvshinoff BW, Pavlov-Shapiro S, Bienko MB, Aftab MN, Brady WE, et al. Impact of robotics and laparoscopy on surgical skills: a comparative study. *J Am Coll Surg* 2007;204(1):96–101.
- [33] White HN, Frederick J, Zimmerman T, Carroll WR, Magnuson JS. Learning curve for transoral robotic surgery: a 4-year analysis. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 2013;139(6):564–7.
- [34] Park JS, Choi G-S, Lim KH, Jang YS, Jun SH. Robotic-assisted versus laparoscopic surgery for low rectal cancer: case-matched analysis of short-term outcomes. *Ann Surg Oncol* 2010;17(12):3195–202.
- [35] Granry JC, Moll MC. HAS 2012. Rapport de mission. État de l'art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2012-01/simulation.en.sante_-_rapport.pdf.
- [36] Sexton K, Johnson A, Gotsch A, Hussein AA, Cavuoto L, Guru KA. Anticipation, teamwork and cognitive load: chasing efficiency

- during robot-assisted surgery. *BMJ Qual Saf* 2018;27(2): 148–54.
- [37] Ballas DA, Cesta M, Gothard D, Ahmed R. Emergency undocking curriculum in robotic surgery. *Cureus* 2019;11(3):e4321.
- [38] Darzi A, Smith S, Taffinder N. Assessing operative skill. Needs to become more objective. *BMJ* 1999;318(7188):887–8.
- [39] Hung AJ, Chen J, Gill IS. Automated performance metrics and machine learning algorithms to measure surgeon performance and anticipate clinical outcomes in robotic surgery. *JAMA Surg* 2018;153(8):770–1.
- [40] Satava RM, Stefanidis D, Levy JS, et al. Proving the effectiveness of the fundamentals of robotic surgery (FRS) skills curriculum. *Ann Surg* 2020;272(2):384–92.
- [41] Tausch TJ, Kowalewski TM, White LW, McDonough PS, Brand TC, Lendvay TS. Content and construct validation of a robotic surgery curriculum using an electromagnetic instrument tracker. *J Urol* 2012;188(3):919–23.
- [42] Sommer KJ. Pilot training: what can surgeons learn from it? *Arab J Urol* 2014;12(1):32–5.