

Année 2017/2018

N°

Thèse

Pour le

DOCTORAT EN MEDECINE

Diplôme d'État

par

Ibtissam KASSITE ALUALIDI

Née le 24 janvier 1988 à CASABLANCA

LA FORMATION EN CHIRURGIE ROBOTIQUE : ÉTAT DE L'ART

Présentée et soutenue publiquement le **16 avril 2018** devant un jury composé de :

Président du Jury :

Professeur Hubert LARDY, Chirurgie Viscérale Urologique et Plastique Pédiatrique, Faculté de Médecine – Tours

Membres du Jury :

Professeur Théodora BEJAN-ANGOULVANT, Pharmacologie Clinique, Faculté de Médecine – Tours

Professeur Franck BRUYÈRE, Urologie, Faculté de Médecine – Tours

Professeur Laurent FOURCADE, Chirurgie Viscérale Pédiatrique, Faculté de Médecine – Limoges

Directeur de thèse : Docteur Aurélien BINET, Chirurgie Viscérale Urologique et Plastique Pédiatrique, CCA, Faculté de Médecine – Tours

UNIVERSITE FRANCOIS RABELAIS
FACULTE DE MEDECINE DE TOURS

DOYEN

Pr. Patrice DIOT

VICE-DOYEN

Pr. Henri MARRET

ASSESSEURS

Pr. Denis ANGOULVANT, *Pédagogie*
Pr. Mathias BUCHLER, *Relations internationales*
Pr. Hubert LARDY, *Moyens – relations avec l'Université*
Pr. Anne-Marie LEHR-DRYLEWICZ, *Médecine générale*
Pr. François MAILLOT, *Formation Médicale Continue*
Pr. Patrick VOURC'H, *Recherche*

SECRETAIRE GENERALE

Mme Fanny BOBLETER

DOYENS HONORAIRES

Pr. Emile ARON (†) – 1962-1966
Directeur de l'Ecole de Médecine - 1947-1962
Pr. Georges DESBUQUOIS (†) - 1966-1972
Pr. André GOUAZE - 1972-1994
Pr. Jean-Claude ROLLAND – 1994-2004
Pr. Dominique PERROTIN – 2004-2014

PROFESSEURS EMERITES

Pr. Daniel ALISON
Pr. Catherine BARTHELEMY
Pr. Philippe BOUGNOUX
Pr. Pierre COSNAY
Pr. Etienne DANQUECHIN-DORVAL
Pr. Loïc DE LA LANDE DE CALAN
Pr. Noël HUTEN
Pr. Olivier LE FLOCH
Pr. Yvon LEBRANCHU
Pr. Elisabeth LECA
Pr. Gérard LORETTE
Pr. Roland QUENTIN
Pr. Alain ROBIER
Pr. Elie SALIBA

PROFESSEURS HONORAIRES

P. ANTHONIOZ – A. AUDURIER – A. AUTRET – P. BAGROS – G. BALLON – P. BARDOS – J.L. BAULIEU – C. BERGER – JC. BESNARD – P. BEUTTER – P. BONNET – M. BROCHIER – P. BURDIN – L. CASTELLANI – B. CHARBONNIER – P. CHOUTET – C. COUET – J.P. FAUCHIER – F. FETISSOF – J. FUSCIARDI – P. GAILLARD – G. GINIES – A. GOUAZE – J.L. GUILMOT – M. JAN – J.P. LAMAGNERE – F. LAMISSE – J. LANSAC – Y. LANSON – J. LAUGIER – P. LECOMTE – G. LELORD – E. LEMARIE – G. LEROY – Y. LHUINTRE – M. MARCHAND – C. MAURAGE – C. MERCIER – J. MOLINE – C. MORAINÉ – J.P. MUH – J. MURAT – H. NIVET – L. POURCELOT – P. RAYNAUD – D. RICHARD-LENOBLE – M. ROBERT – J.C. ROLLAND – D. ROYERE – A. SAINDELLE – J.J. SANTINI – D. SAUVAGE – B. TOUMIEUX – J. WEILL

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

ANDRES Christian.....	Biochimie et biologie moléculaire
ANGOULVANT Denis.....	Cardiologie
ARBEILLE Philippe.....	Biophysique et médecine nucléaire
AUPART Michel.....	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BABUTY Dominique	Cardiologie
BALLON Nicolas.....	Psychiatrie ; addictologie
BARILLOT Isabelle	Cancérologie ; radiothérapie
BARON Christophe.....	Immunologie
BEJAN-ANGOULVANT Théodora	Pharmacologie clinique
BERNARD Anne.....	Cardiologie
BERNARD Louis	Maladies infectieuses et maladies tropicales
BODY Gilles.....	Gynécologie et obstétrique
BONNARD Christian.....	Chirurgie infantile
BONNET-BRILHAULT Frédérique	Physiologie
BRILHAULT Jean	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BRUNEREAU Laurent	Radiologie et imagerie médicale
BRUYERE Franck	Urologie
BUCHLER Matthias	Néphrologie
CALAIS Gilles	Cancérologie, radiothérapie
CAMUS Vincent.....	Psychiatrie d'adultes
CHANDENIER Jacques.....	Parasitologie, mycologie
CHANTEPIE Alain	Pédiatrie
COLOMBAT Philippe.....	Hématologie, transfusion
CONSTANS Thierry.....	Médecine interne, gériatrie
CORCIA Philippe	Neurologie
COTTIER Jean-Philippe	Radiologie et imagerie médicale
DE TOFFOL Bertrand.....	Neurologie
DEQUIN Pierre-François	Thérapeutique
DESTRIEUX Christophe.....	Anatomie
DIOT Patrice	Pneumologie
DU BOUEXIC de PINIEUX Gonzague	Anatomie & cytologie pathologiques
DUCLUZEAU Pierre-Henri	Endocrinologie, diabétologie, et nutrition
DUMONT Pascal	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
EL HAGE Wissam	Psychiatrie adultes
EHRMANN Stephan	Réanimation
FAUCHIER Laurent	Cardiologie
FAVARD Luc	Chirurgie orthopédique et traumatologique
FOUQUET Bernard	Médecine physique et de réadaptation
FRANCOIS Patrick	Neurochirurgie
FROMONT-HANKARD Gaëlle	Anatomie & cytologie pathologiques
GOGA Dominique.....	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
GOUDEAU Alain.....	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
GOUPILLE Philippe	Rhumatologie
GRUEL Yves	Hématologie, transfusion
GUERIF Fabrice	Biologie et médecine du développement et de la

reproduction	
GUYETANT Serge	Anatomie et cytologie pathologiques
GYAN Emmanuel	Hématologie, transfusion
HAILLOT Olivier	Urologie
HALIMI Jean-Michel	Thérapeutique
HANKARD Régis	Pédiatrie
HERAULT Olivier	Hématologie, transfusion
HERBRETEAU Denis	Radiologie et imagerie médicale
HOURIOUX Christophe	Biologie cellulaire
LABARTHE François	Pédiatrie
LAFFON Marc	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale, médecine d'urgence
LARDY Hubert	Chirurgie infantile
LARIBI Saïd	Médecine d'urgence
LARTIGUE Marie-Frédérique	Bactériologie-virologie
LAURE Boris	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
LECOMTE Thierry	Gastroentérologie, hépatologie
LESCANNE Emmanuel	Oto-rhino-laryngologie
LINASSIER Claude	Cancérologie, radiothérapie
MACHET Laurent	Dermato-vénéréologie
MAILLOT François	Médecine interne
MARCHAND-ADAM Sylvain	Pneumologie
MARRET Henri	Gynécologie-obstétrique
MARUANI Annabel	Dermatologie-vénéréologie
MEREGHETTI Laurent	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
MORINIERE Sylvain	Oto-rhino-laryngologie
MOUSSATA Driffa	Gastro-entérologie
MULLEMAN Denis	Rhumatologie
ODENT Thierry	Chirurgie infantile
OUAISSI Mehdi	Chirurgie digestive
OULDAMER Lobna	Gynécologie-obstétrique
PAGES Jean-Christophe	Biochimie et biologie moléculaire
PAINTAUD Gilles	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
PATAT Frédéric	Biophysique et médecine nucléaire
PERROTIN Dominique	Réanimation médicale, médecine d'urgence
PERROTIN Franck	Gynécologie-obstétrique
PISELLA Pierre-Jean	Ophtalmologie
PLANTIER Laurent	Physiologie
QUENTIN Roland	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
REMERAND Francis	Anesthésiologie et réanimation, médecine d'urgence
ROINGEARD Philippe	Biologie cellulaire
ROSSET Philippe	Chirurgie orthopédique et traumatologique
RUSCH Emmanuel	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
SAINT-MARTIN Pauline	Médecine légale et droit de la santé
SALAME Ephrem	Chirurgie digestive
SAMIMI Mahtab	Dermatologie-vénéréologie
SANTIAGO-RIBEIRO Maria	Biophysique et médecine nucléaire

SIRINELLI Dominique.....	Radiologie et imagerie médicale
THOMAS-CASTELNAU Pierre	Pédiatrie
TOUTAIN Annick	Génétique
VAILLANT Loïc	Dermato-vénéréologie
VELUT Stéphane	Anatomie
VOURC'H Patrick	Biochimie et biologie moléculaire
WATIER Hervé	Immunologie

PROFESSEUR DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

LEBEAU Jean-Pierre
LEHR-DRYLEWICZ Anne-Marie

PROFESSEURS ASSOCIES

MALLET Donatien	Soins palliatifs
POTIER Alain	Médecine Générale
ROBERT Jean	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

BAKHOS David.....	Physiologie
BARBIER Louise	Chirurgie digestive
BERHOUE Julien	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BERTRAND Philippe	Biostatistiques, informatique médical et technologies de communication
BLANCHARD-LAUMONNIER Emmanuelle	Biologie cellulaire
BLASCO Hélène.....	Biochimie et biologie moléculaire
BRUNAUT Paul	Psychiatrie d'adultes, addictologie
CAILLE Agnès	Biostatistiques, informatique médical et technologies de communication
CLEMENTY Nicolas	Cardiologie
DESOUBEAUX Guillaume.....	Parasitologie et mycologie
DOMELIER Anne-Sophie	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
DUFOR Diane	Biophysique et médecine nucléaire
FOUQUET-BERGEMER Anne-Marie.....	Anatomie et cytologie pathologiques
GATAULT Philippe	Néphrologie
GAUDY-GRAFFIN Catherine	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
GOUILLEUX Valérie	Immunologie
GUILLON Antoine.....	Réanimation
GUILLON-GRAMMATICO Leslie.....	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
HOARAU Cyrille	Immunologie
IVANES Fabrice.....	Physiologie
LE GUELLEC Chantal	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique

MACHET Marie-Christine	Anatomie et cytologie pathologiques
PIVER Éric.....	Biochimie et biologie moléculaire
REROLLE Camille	Médecine légale
ROUMY Jérôme	Biophysique et médecine nucléaire
TERNANT David.....	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
ZEMMOURA Ilyess.....	Neurochirurgie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

AGUILLON-HERNANDEZ Nadia.....	Neurosciences
BOREL Stéphanie	Orthophonie
DIBAO-DINA Clarisse	Médecine Générale
LEMOINE Maël	Philosophie
MONJAUZE Cécile	Sciences du langage - orthophonie
PATIENT Romuald	Biologie cellulaire
RENOUX-JACQUET Cécile	Médecine Générale

CHERCHEURS INSERM - CNRS - INRA

BOUAKAZ Ayache.....	Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 930
CHALON Sylvie	Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 930
COURTY Yves.....	Chargé de Recherche CNRS – UMR INSERM 1100
DE ROCQUIGNY Hugues	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 966
ESCOFFRE Jean-Michel.....	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 930
GILLOT Philippe	Chargé de Recherche INRA – UMR INRA 1282
GOUILLEUX Fabrice	Directeur de Recherche CNRS – UMR CNRS 7292
GOMOT Marie	Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 930
HEUZE-VOURCH Nathalie.....	Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
KORKMAZ Brice.....	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
LAUMONNIER Frédéric.....	Chargé de Recherche INSERM - UMR INSERM 930
LE PAPE Alain	Directeur de Recherche CNRS – UMR INSERM 1100
MAZURIER Frédéric.....	Directeur de Recherche INSERM – UMR CNRS 7292
MEUNIER Jean-Christophe.....	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 966
PAGET Christophe	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
RAOUL William.....	Chargé de Recherche INSERM – UMR CNRS 7292
SI TAHAR Mustapha	Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
WARDAK Claire.....	Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 930

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

Pour l'Ecole d'Orthophonie

DELORE Claire Orthophoniste
GOUIN Jean-Marie Praticien Hospitalier
PERRIER Danièle..... Orthophoniste

Pour l'Ecole d'Orthoptie

LALA Emmanuelle Praticien Hospitalier
MAJZOUB Samuel Praticien Hospitalier

Pour l'Ethique Médicale

BIRMELE Béatrice Praticien Hospitalier

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des Maîtres de cette Faculté,
de mes chers condisciples
et selon la tradition d'Hippocrate,
je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur
et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent,
et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux
ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira
les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira
pas

à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres,

je rendrai à leurs enfants
l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.
Que les hommes m'accordent leur estime
si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre
et méprisé de mes confrères
si j'y manque.

Remerciements

À mon Maître et Président de jury,

Monsieur le Professeur LARDY,

Vous me faites l'honneur de présider ce jury et de juger ce travail.

Je vous remercie pour cela et également pour m'avoir soutenue et accompagnée tout au long de mon internat. Votre humanité, votre humilité sont un exemple pour moi. Vos conseils précieux et vos critiques constructives me guident dans mon parcours. C'est avec plaisir que j'apprends de votre expertise technique et humaine, j'ai été honorée d'être votre interne.

Soyez assuré de ma reconnaissance et de tout mon respect.

À mes Maîtres et Juges,

À Madame le Professeur BEJAN-ANGOULVANT,

Merci d’avoir accepté de juger cette thèse et de m’avoir dirigée pour le travail sur la revue systématique de la littérature. Merci de votre disponibilité, de votre rigueur et gentillesse. Recevez ici le témoignage de ma sincère reconnaissance et de mon profond respect.

À Monsieur le Professeur FOURCADE,

Merci d’avoir accepté de juger ce travail. Votre expertise et votre amour pour la chirurgie robotique sont reconnus de tous. Recevez ici le témoignage de mon profond respect.

À Monsieur le Professeur BRUYÈRE,

Merci d’avoir accepté de juger ce travail.
Soyez assuré de mon profond respect.

À Monsieur le Docteur BINET,

Merci de m’avoir dirigée pour ce travail et accompagnée sur ce long chemin.
Merci également pour ta gentillesse, tes encouragements, ta confiance et ta pédagogie.

À mes parents,

Merci pour tous vos sacrifices et merci d'avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Vous avez toujours cru en moi et su que j'y arriverai. Rien au monde ne suffira pour exprimer toute ma gratitude.

À mon mari Achraf et ma fille Yousra,

Vous êtes le moteur qui me fait avancer.

Achraf, tu as toujours cru en moi et tu m'as toujours soutenue. Grace à ton amour et toi à mes côtés, j'ai toujours su que j'y arriverai peu importe les obstacles.

Yousra, ton arrivée au monde a fait de moi la femme la plus heureuse au monde, et tous ces moments de joie que tu m'as fait vivre seront à jamais gravés dans ma mémoire.

À mes amies « marocaines »,

Zineb, Leila et Yasmine, déjà là bien avant le début de cette aventure médicale et toujours là pour moi malgré la distance.

À mes amies de fac,

Marie, Imane, Marine et Elodie pour nos années d'externat, pour nos révisions ensemble et les moments de détente.

Aux chirurgiens qui m'ont beaucoup appris,

A Vincent Arnault, Kevin Kraft, Thierry Villemagne, Zeynal Anil, Marcel Auguste, Mathilde Soule, Luc Dalmaso, Caroline Szwarc, Karim Braik, Anne Letouze, Jean Christophe Thomas, Céline Bourbao et tous les médecins que j'ai croisé pendant mon internat, merci pour tous ce que vous m'avez appris, vos conseils et vos critiques constructives m'auront été précieux.

À toutes celles et tous ceux qui m'ont accompagnée,

À tous mes co-internes, aux infirmières, aides-soignantes, ASH, secrétaires, de Tours, Blois et Dreux. Merci de m'avoir aidée et accompagnée tout au long de mon internat, merci de m'avoir transmis un peu de votre expérience et de votre sensibilité.

Résumé

La chirurgie robotique s'inscrit dans le cadre d'une révolution chirurgicale dont le point de rupture est l'avènement de la chirurgie coelioscopique. Cependant, elle nécessite un apprentissage spécifique et ne peut pas se concevoir comme une simple transposition de la coelioscopie. Notre travail a pour but de décrire « l'état de l'art » de la formation en chirurgie robotique en 2017.

La première partie de ce travail retrace l'histoire de la chirurgie mini-invasive et du robot chirurgical. Elle décrit les différents outils participant à l'apprentissage en chirurgie robotique et à l'acquisition des compétences techniques et non techniques, puis elle souligne les difficultés de la formation en chirurgie robotique.

La deuxième partie est dédiée au concept de la « courbe d'apprentissage », concept initialement développé dans l'industrie, et son application de plus en plus répandue dans le domaine de l'apprentissage en chirurgie robotique. Pour cela, une revue systématique de la littérature est réalisée afin de souligner la variété et l'hétérogénéité de ce concept et des indicateurs de performances décrits dans la littérature. Par la suite, la courbe d'apprentissage de la procédure la plus développée en chirurgie pédiatrique : la pyéloplastie robot-assistée dans le cadre du syndrome de la jonction pyélo-urétérale, est définie en évaluant un indicateur de performance « composite ».

Enfin la troisième partie rapporte les possibilités d'améliorer cette courbe d'apprentissage en chirurgie robotique notamment en développant des programmes de formation structurés.

Mots clés : chirurgie robotique, courbe d'apprentissage, formation.

Abstract

Robotic surgery is part of a surgical revolution whose breaking point is the advent of laparoscopic surgery. However, it requires specific learning and cannot be conceived as a simple transposition of laparoscopy. Our work aims to describe the "state of the art" of robotic surgery training in 2017.

The first part of this work traces the history of minimally invasive surgery and the surgical robot. We described the various tools involved in learning robotic surgery, the acquisition of technical and non-technical skills, and we highlighted the difficulties of training in robotic surgery.

The second part is dedicated to the concept of "learning curve", a concept initially developed in the industry, and its more widespread application in the field of learning in robotic surgery. For this, a systematic review of the literature is carried out to highlight the variety and heterogeneity of this concept and the performance indicators described in the literature. Subsequently, the learning curve of the most developed procedure in pediatric surgery: robot-assisted pyeloplasty for uretero-pelvic junction obstruction is defined by evaluating a "composite" performance indicator.

Finally, the third part reports the possibilities to improve this learning curve in robotic surgery, notably by developing structured training programs.

Keywords: robotic surgery, learning curve, training.

Table des matières

Introduction	16
Chapitre I	21
I). Histoire de la chirurgie mini-invasive	22
A). Une histoire d'innovations... ..	22
B). Histoire du robot chirurgical	25
II). Les outils de formation en chirurgie robotique	30
A. Outils techniques	30
B. Acquisition des compétences non techniques en chirurgie robotique.....	40
III). Difficultés de la formation en chirurgie robotique	42
1). Complications et opinion publique	42
2). Déclaration des effets indésirables graves liés au robot	43
3). Apprentissage d'équipe	45
4). Difficulté d'accès, d'encadrement et de disponibilité matérielle	46
Chapitre II	53
I). La courbe d'apprentissage	54
II). Revue systématique	61
III). Étude rétrospective:.....	90
Chapitre III	117
Comment améliorer la courbe d'apprentissage ?	118
Conclusion	125
Annexes	126

Introduction

L'apprentissage actuel de la chirurgie se base sur un modèle instauré par le Dr William Stewart Halsted (1852-1922), considéré comme le père de la chirurgie aux Etats-Unis (1,2). Basé sur le compagnonnage et sur l'enseignement au lit du patient ou en per-opératoire, il comprend plusieurs étapes bien codifiées : assister la procédure exécutée par le professeur, réaliser l'intervention sous la supervision du sénior, répéter la procédure, et enfin la maîtriser. Historiquement les interventions étaient enseignées aux étudiants, groupés autour du champ opératoire, cherchant à visualiser le geste chirurgical.

Dans les années 1980, avec le développement de la cœliochirurgie et par manque de chirurgiens expérimentés, l'apprentissage de cette technique très différente de la voie ouverte n'a pas été codifié pendant des années (3). Ces méthodes traditionnelles d'apprentissage de la chirurgie, fondées sur le tutorat en salle d'intervention, sont apparues non adaptées à l'apprentissage de la chirurgie laparoscopique. Passé l'enthousiasme initial, sont apparus rapidement des accidents liés à la voie d'abord et le problème de qualification des opérateurs (4), amenant à reconsidérer la stratégie d'apprentissage.

Une évolution s'est secondairement faite dans les mentalités sur l'apprentissage. Les points de vue éthique, médico-légal et financier ont fait évoluer les sociétés savantes de chirurgie qui ont réfléchi à de nouveaux moyens d'enseignement (3). La communauté chirurgicale a alors réalisé que la phase initiale d'apprentissage pouvait être acquise en dehors du bloc opératoire avec retour au patient une fois la compétence reconnue.

Depuis, la formation s'est structurée, faisant appel à un entraînement sur pelvi-trainer, sur simulateurs ou sur l'animal (3). Une forme de compagnonnage reste également possible compte tenu de la proximité physique du chirurgien et de son aide.

Avec le développement rapide de la chirurgie robotique et l'extension progressive des indications chirurgicales dans diverses spécialités, un entraînement spécifique pour l'acquisition de compétences propres à cette technique et à ses limitations devient nécessaire. En effet, l'utilisation d'un robot nécessite, pour tous les chirurgiens, quelque soit leur expérience clinique, de se familiariser avec l'utilisation technique de la console du robot. L'apprentissage aux dépens du patient n'est plus concevable à l'heure actuelle sur le plan éthique, juridique et financier (5). En fait, pour la sécurité du patient et la protection juridique des praticiens, il est indispensable que le chirurgien bénéficie d'une formation validée avant de débiter une nouvelle pratique chirurgicale.

Dans une première partie nous retracerons l'**histoire de la chirurgie mini-invasive, et du robot chirurgical**. Nous ferons un état des lieux des différents **outils participant à l'apprentissage** en chirurgie robotique et à l'acquisition des compétences techniques et non techniques, puis nous soulignerons les **difficultés de la formation** en chirurgie robotique.

La deuxième partie sera dédiée au concept de la « courbe d'apprentissage », concept initialement développé dans l'industrie, et son application de plus en plus répandue dans le domaine de l'apprentissage en chirurgie robotique. Pour cela nous avons réalisé une **revue systématique de la littérature** afin de souligner la variété et l'hétérogénéité de ce concept et des indicateurs de performances décrits dans la littérature. Par la suite, nous avons donné une **définition de la courbe d'apprentissage** de la procédure la plus développée en chirurgie pédiatrique : la pyéloplastie robot-assistée (PRA) dans le cadre du syndrome de la jonction pyélo-urétérale. Pour cela, nous avons défini un indicateur de performance « composite », regroupant différents

paramètres considérés comme pertinents et essentiels pour évaluer la performance d'un chirurgien pour une procédure reconstructrice telle que la PRA.

Enfin dans une troisième partie, nous verrons **comment peut-on améliorer cette courbe d'apprentissage** en chirurgie robotique notamment en développant des programmes de formation structurés. Le but serait l'introduction de cette nouvelle technologie de manière efficace et sûre, et sans compromettre les résultats fonctionnels et oncologiques pour les patients.

Références:

1. Tan SY, Uyehara P. William Stewart Halsted (1852-1922): father of American surgery. Singapore Med J. 2010 Jul;51(7):530–1.
2. Cameron JL. William Stewart Halsted. Our surgical heritage. Ann Surg. 1997 May;225(5):445–58.
3. Mariette C. Apprentissage de la chirurgie laparoscopique: quelles méthodes pour le chirurgien en formation? J Chir (Paris). 2006 Jul 1;143(4):221–5.
4. Cuschieri A. Whither minimal access surgery: tribulations and expectations. Am J Surg. 1995 Jan;169(1):9–19.
5. Foote JR, Valea FA. Robotic surgical training: Where are we? Gynecol Oncol. 2016;143(1):179–83.

Chapitre I

I). Histoire de la chirurgie mini-invasive

A). Une histoire d'innovations...

La chirurgie mini-invasive s'intègre dans une histoire chirurgicale faite d'innovations constantes, de l'époque préhistorique où des gestes tels que la craniotomie ([image 1](#)) et l'amputation étaient réalisés (1) jusqu'au XX^e-XXI^e siècle avec l'avènement de la téléchirurgie (chirurgie à distance du patient).



[Image 1](#) : Crâne de jeune fille trépanée au silex, Néolithique (3500 av. J.-C.) ; la patiente a survécu.

(https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_chirurgie#/media/File:Crane-trepanation-img_0507.jpg)

Durant de nombreuses décennies, la chirurgie ne se concevait que par de grandes incisions selon le dogme « *à grande incision, grand chirurgien...* ». L'avènement de la chirurgie mini-invasive est à mettre en parallèle avec l'essor des nouvelles techniques d'imagerie médicale et le développement d'outils chirurgicaux sophistiqués.

L'histoire de cette chirurgie de précision débute au XX^e siècle avec une première laparoscopie effectuée en 1901, par Georg Kelling ([image 2](#)), un chirurgien allemand dans le but d'examiner la cavité abdominale d'un chien. En 1910, elle est appliquée sur

l'homme, par Christian Jacobeus, dans le cadre d'une démarche diagnostique ([image 3](#)). Cette approche chirurgicale connut un essor considérable au fil des années avec l'invention du câble de fibre optique en 1954, de la source lumineuse en 1960 et du système de lentille à barreau, en 1966.



Image 2 : Georg Kelling, pionnier de la laparoscopie

https://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=PMC3015224_jsls-1-1-83-g01&req=4

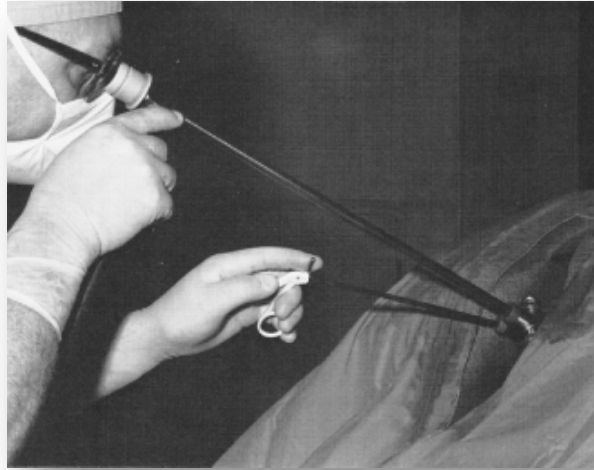


Image 3 : Les débuts de la laparoscopie

<https://veteriankey.com/foundations-of-laparoscopy/>

L'introduction de l'imagerie intégrée qui facilite une meilleure observation des structures internes, a également contribué au développement de la laparoscopie et ce dans différentes spécialités chirurgicales.

Initialement la chirurgie coelioscopique était essentiellement utilisée par les gynécologues à visée diagnostique. Elle a été introduite en chirurgie digestive par le Dr Mouret, chirurgien viscéral à Lyon (2) formé à la coelioscopie lors de son passage en chirurgie gynécologique. Il a donc, en 1987, réalisé la première cholécystectomie par voie coelioscopique, dans le même temps opératoire qu'un geste gynécologique. Cette innovation a secondairement été développée par les Prs Dubois (Paris) et Perissat (Bordeaux) qui ont, eux, promu la technique en France puis dans le monde (3). La coelioscopie connut secondairement un essor considérable. Elle est actuellement considérée comme le «Gold Standard» pour de nombreuses interventions réalisées très couramment : cholécystectomie (4,5), appendicectomie (6), cure de hernie hiatale (7), chirurgie colique (8)...

Les compétences requises en chirurgie laparoscopique sont différentes de celles nécessaires en chirurgie ouverte, plus proches de l'endoscopie que de la laparotomie traditionnelle (9). Le chirurgien doit entrer dans la cavité péritonéale par une plus petite incision, utiliser des instruments avec cinq degrés de liberté obligatoirement dans l'axe de l'instrument et dont seule l'extrémité est visible, s'accoutumer à l'effet de levier et à la vision en deux dimensions sur un écran à distance, avec un retour de forces limité (10) et une dépendance vis à vis d'un aide parfois inexpérimenté.

L'approche laparoscopique possède donc des limitations qui lui sont propres de par l'introduction d'une interface technique simple entre le patient et le chirurgien. C'est cette interface qui est utilisée par la robotique, interface qui devient alors électromécanique et informatique, permettant la digitalisation du geste chirurgical et de l'image (9). Ainsi, la chirurgie robotique s'intègre dans une évolution naturelle et logique de la chirurgie mini-invasive, en apportant une solution aux limites de cette dernière, améliorant ainsi la dextérité du chirurgien et la précision de l'acte chirurgical.

B). Histoire du robot chirurgical (11,12)

L'histoire de la chirurgie robotique débute dans les années soixante-dix avec le concept de téléprésence initié par Scott Fisher, pionnier de la réalité virtuelle, au centre de recherche Ames de la National Aeronautics and Space Administration (NASA). Ce dernier met au point un système de vision binoculaire monté sur un casque, le *head mounted display* (HMD) ([image 4](#)) qui permet l'immersion dans un environnement virtuel tridimensionnel. Sous l'impulsion du chirurgien plasticien Joseph Rosen, l'ingénieur Phil Green développe un système de télémanipulation robotique pour la microchirurgie au Stanford Research Institute (SRI). La combinaison de ces deux idées,

téléprésence et télémanipulation robotisée marque le début de la téléchirurgie, ou chirurgie à distance.



Image 4 : Head mounted display

<https://cinegears.com/product/cinegears-lucid-pro-vr-360-head-mounted-display/>

Les robots sont entrés dans le monde chirurgical il y a plus de 20 ans, s'adressant d'abord aux disciplines chirurgicales disposant de repères anatomiques fixes, comme la neurochirurgie ou l'orthopédie. Le robot Programmable Universal Machine for Assembly ([PUMA[®], image 5](#)), un robot industriel développé par Unimation (Westinghouse Electric, Pittsburg, PA) est utilisé en 1985 pour la manipulation d'instruments chirurgicaux lors de biopsies cérébrales stéréotaxiques (12,13), puis pour la résection d'astrocytomes du thalamus (14).



Image 5 : PUMA®

<http://teresaescrig.com/a-more-or-less-concise-historical-evolution-of-robotics-and-artificial-intelligence-from-plato-to-the-1990s/>

En 1992, le système Integrated Surgical Systems Inc., Sacramento, CA ([ROBODOC®](#), [image 6](#)) en orthopédie est utilisé lors de la mise en place d'une prothèse totale de hanche pour augmenter la précision du fraisage du fût fémoral (15), programmée selon une planification pré-opératoire basée sur l'imagerie, et actualisée en temps réel en fonction des données per-opératoires.

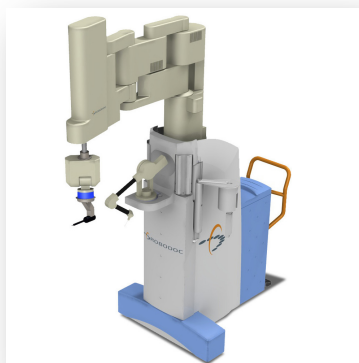


Image 6 : ROBODOC®

<http://compassdesign.com/robodoc1/>

En 1998, le système robotique [ZEUS®](#) (Computer Motion, Inc.) a été utilisé pour la première intervention laparoscopique entièrement robotisée (anastomose des trompes de Fallope, Cleveland, États-Unis). Ce système est sous contrôle d'un chirurgien via un centre de commande et animé par trois bras robotiques (16). La même année, la première chirurgie robot-assistée par le [da Vinci®](#) (Intuitive Surgical, Inc.) a été réalisée : un pontage coronarien à Leipzig, en Allemagne (17).

En 1999, le premier système [Da Vinci®](#) a été introduit sur le marché pour la pose de valves mitrales en chirurgie cardiaque. En 2006, le [Da Vinci S®](#) a été commercialisé et en 2009 le [Da Vinci SI®](#), avec une véritable amélioration de la vision HD, a fourni la double console. La quatrième génération, le [Da Vinci Xi®](#) a été commercialisé en début d'année 2014 aux États-Unis. Cette nouvelle génération est dotée d'une nouvelle architecture de bras conçue pour faciliter l'accès anatomique à partir de pratiquement n'importe quelle position opératoire, permettant ainsi une chirurgie multi-quadrant et multisite ([image 7](#)).

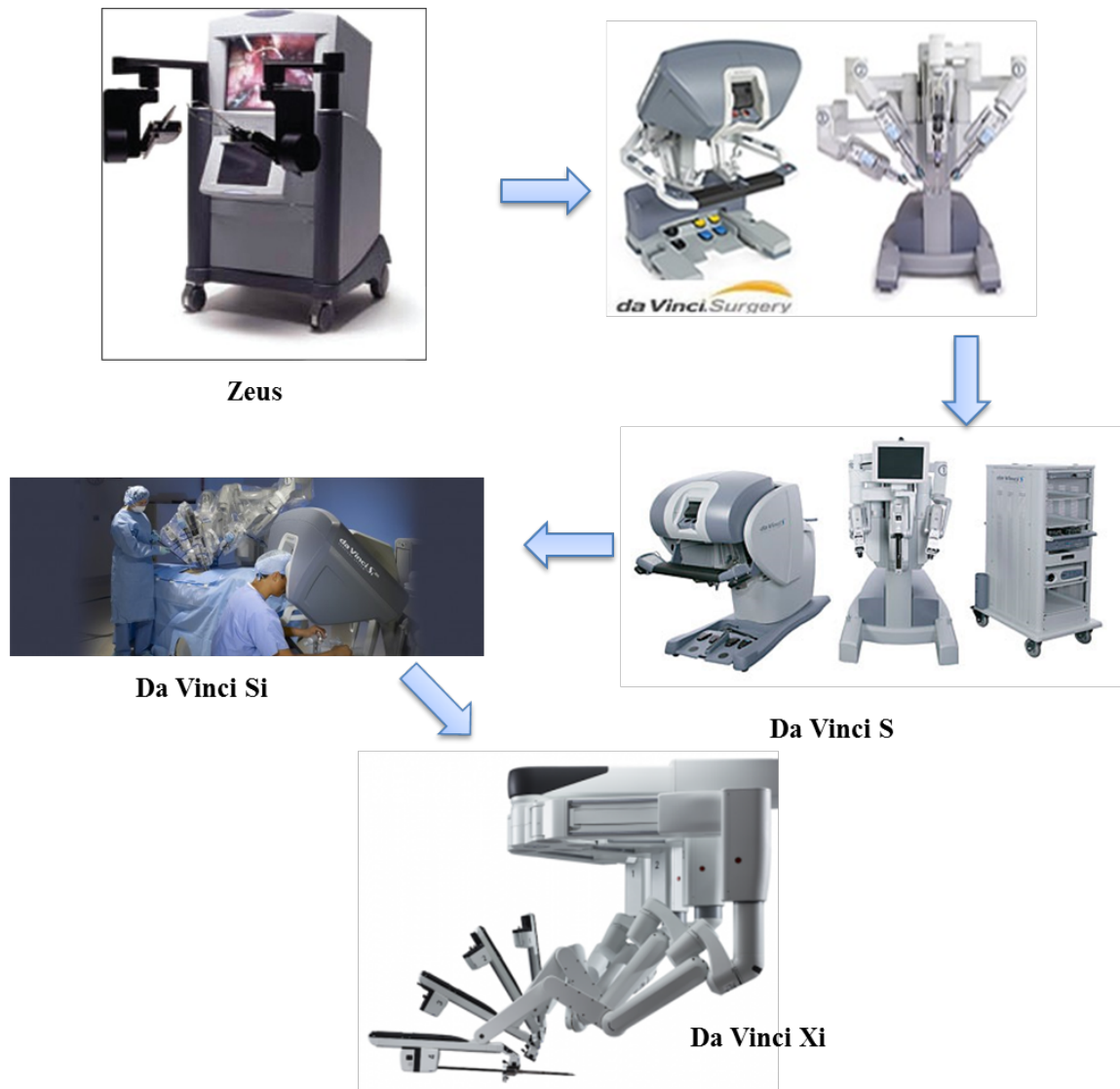


Image 7 : Le robot chirurgical : un dispositif évolutif

Zeus : <http://tperobotiqueetmedecine.e-monsite.com/pages/presentation-de-la-robotique-1/robots-et-fonctionnements-1/robots-chirurgicaux/>

Da Vinci : <http://www.chirurgiebariatrique.com/robotique.htm>

Da Vinci S : <http://urologie-davody.fr/cancer-de-la-prostate/prostatectomie-robotisee/chirurgie-robotisee-avec-da-vinci/>

Da Vinci Si : <http://urologie-davody.fr/cancer-de-la-prostate/prostatectomie-robotisee/les-versions-s-et-si-du-robot-da-vinci/>

Da Vinci Xi : <https://www.la-tour.ch/fr/docteurs-et-specialites/specialites-medicales/chirurgie-robotisee/images-du-robot-da-vinci-xi/>

II). Les outils de formation en chirurgie robotique

Un objectif éthique devrait être prioritaire : « *jamais la première fois sur le patient* ». Cette phrase, issue d'un rapport de la Haute Autorité de Santé (HAS) remis en Janvier 2012 illustre bien les enjeux actuels de la formation des personnels médicaux (18).

A. Outils techniques

1). SIMULATIONS

La simulation en santé comme définie dans le rapport de la HAS de janvier 2012 correspond à l'utilisation d'un matériel, de la réalité virtuelle ou d'un patient standardisé pour reproduire des situations de soin dans le but d'enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques. Cependant, le rapport de la HAS fait état d'une sous-utilisation de la simulation pour la formation initiale, le perfectionnement et l'évaluation des professionnels de santé, notamment en chirurgie (18).

Comme en aéronautique où les simulateurs ont permis de longue date d'évaluer les aptitudes au vol des candidats pilotes, la simulation peut avoir un rôle important dans l'évaluation des compétences dans le cadre de l'enseignement de la chirurgie robotique. Elle permet d'augmenter l'efficacité de l'entraînement chirurgical et de diminuer les coûts de la salle d'opération et potentiellement améliorer la sécurité du patient (19).

Les 3 principaux domaines utilisés pour la simulation en chirurgie sont : modèle cadavérique et animal : *wet lab*, modèle inanimé : *dry lab* et la *réalité virtuelle* ([Annexe](#)

1). Dans les 2 premiers modèles, la tâche est exécutée habituellement dans une boîte en utilisant des vrais instruments. Dans le dernier modèle, la tâche est effectuée sur une plate-forme assistée par un ordinateur et dans des environnements virtuels produits artificiellement.

a). Simulateurs de réalité virtuelle (image 8):



Image 8 : Simulateur de réalité virtuelle : dV Trainer®

<http://mimicsimulation.com/programs/>

Les simulateurs de réalité virtuelle permettent une évaluation fondée sur l'observation directe. Ils permettent d'évaluer de façon subjective la qualité des performances, comme le ferait un instructeur, en prenant en compte le temps de réalisation du geste, les erreurs réalisées, les économies de mouvements et de coagulation, mais aussi la dextérité psychomotrice. Le retour à propos des erreurs

commises permettrait l'amélioration des performances. Cependant, des moyens de mesure objectifs de la dextérité opératoire en simulation de réalité virtuelle restent à développer (20).

Il existe actuellement 5 types de simulateurs de réalité virtuelle :

SimSurgery Educational Platform Robot® (SEP) (SimSurgery, Oslo, Norvège)
Da Vinci Skills Simulator® (dVSS) (Intuitive Surgical, Sunnyvale, Canada).
Robotic Surgical Simulator® (RoSS) (Roswell Park Cancer Institute® (Buffalo, New York, États-Unis)
ProMIS® hybrid simulator (Canadian Aviation Electronics Healthcare, Canada)
Mimic dV-Trainer® (dVT) (Mimic Technologies, Seattle, États-Unis)

Avant qu'un simulateur chirurgical ne puisse être utilisé pour évaluer les compétences des chirurgiens, il doit bénéficier de tests initiaux de validation à travers une variété de paramètres. Cette évaluation peut être subjective (validité apparente et de contenu) et objective (validité de construction, concurrente et prédictive) :

- Validité apparente = réalisme du simulateur.
- Validité de contenu = le système enseigne-t-il ce qu'il est supposé enseigner ?
- Validité de construction = capacité à différencier les novices et les experts.
- Validité concurrente = dans quelle mesure les résultats sur le simulateur sont liés aux résultats lors d'un test de référence dans le même domaine ?
- Validité prédictive = dans quelle mesure la performance sur le simulateur prédit la performance future en clinique ?

Depuis 2006, de nombreuses études se sont intéressées à l'étude de la validité des simulateurs (21), mais actuellement il n'existe pas de consensus pour l'utilisation des simulateurs dans le cadre d'une formation structurée.

b). Limites des études évaluant la validité des différents simulateurs :

- Absence d'essais randomisés contrôlés comparant les différents simulateurs robotiques (22).
- Absence de définition standardisée des validités: utilisation de différents questionnaires, différentes échelles d'évaluation subjective (échelle Likert, Echelle Visuelle Analogique) ou absence de précision de l'échelle utilisée pour évaluer le réalisme des simulateurs (23, 24).
- Forte variabilité entre les études rendant difficile des comparaisons valides : absence de définition et de classification commune de l'expérience des participants impliqués dans les études (nombre de cas de chirurgie robot-assistée réalisés par année ? nombre d'heures passées à la console ?)
- Absence de définition standardisée des tâches qui confèrent la validité de construction.
- Absence de définition standardisée des méthodes d'évaluation (22).
- Absence de suivi pour confirmer les résultats initiaux par la suite.

Selon Perrenot et al (25), une bonne formation par simulation nécessite : un debriefing, des objectifs pédagogiques identifiés, l'utilisation d'outils validés, et une intégration dans un processus de formation multimodal, d'encadrement, de pratique répétée avec des exercices de difficulté croissante et des stratégies d'apprentissage variées.

2). ENSEIGNEMENT MULTIMODAL : LE DIPLÔME INTER-UNIVERSITAIRE (DIU) DE CHIRURGIE ROBOTIQUE

La formation académique multimodale, multidisciplinaire apporte à tous les apprenants, (avec un temps d'apprentissage variable), l'acquisition de la gestuelle de base pour le maniement du robot. Le compagnonnage par des experts leur permet de débiter en robotique. La HAS souligne également l'importance de cette approche dans le domaine de la santé (18).

Le DIU de chirurgie robotique est un outil pédagogique proposé par Nancy depuis 2008. Avec son approche multimodale, il propose une formation basée sur les simulateurs de chirurgie robotique, la micro-chirurgie, le Dry-lab et le Wet-lab au robot. En effet, il fait appel à différents moyens pédagogiques dont le simulateur dV-Trainer®.

L'étape préclinique est l'objectif principal de l'enseignement (24).

Elle vise à :

- Familiariser le chirurgien avec l'interface robotique
- Lui faire acquérir les réflexes spécifiques à son utilisation
- Lui faire réaliser les actes chirurgicaux de base
- Former l'ensemble de l'équipe puisque l'instrumentiste a un rôle primordial dans cette chirurgie à distance (le chirurgien est dé-stérilisé, à quelques mètres du patient).

Elle fait appel :

- **AU SIMULATEUR dV-TRAINER® :**

Chaque apprenant suit à son rythme un programme d'entraînement progressif basé sur la compétence acquise, c'est-à-dire que l'apprenant répète chaque exercice jusqu'à obtenir une note suffisante définie par un seuil de 90 % de la note moyenne des experts. La validation d'un exercice donne accès à l'exercice suivant. Le programme se

compose ainsi de trente exercices répartis en six niveaux de difficulté croissante permettant d'acquérir successivement les gestes de bases, les gestes avancés, les sutures, et la manipulation du quatrième bras.

- À LA MICROCHIRURGIE :

Les nombreuses similitudes constatées entre la pratique du robot et la microchirurgie ont amené à proposer 4-5 heures de microchirurgie dans la formation (27).

- À UN ENTRAÎNEMENT SUR ROBOT DA VINCI®:

Dans un premier temps un entraînement sur modèles inanimés (*dry lab*) comportant des exercices de base et de la chirurgie sur organes *ex-situ*. Ce n'est qu'après avoir prouvé leur maîtrise du robot que les apprenants passent à la chirurgie sur cochon (*wet lab*), en réalisant des interventions proches de celles qu'ils réaliseront dans leur spécialité. Pour certaines spécialités où le modèle animal est peu réaliste (ORL...), un entraînement sur cadavre est proposé.

L'étape clinique vise à débiter la pratique chirurgicale sur l'homme. Elle s'amorce en fin de DIU où les apprenants assistent à des interventions de leur spécialité dans les universités partenaires. Cette partie est principalement assurée par la société *Intuitive Surgical* qui dispose d'experts se déplaçant dans les blocs opératoires pour encadrer les premières interventions sur les patients.

3).TRAINING DOUBLE CONSOLE OU MENTORING CONSOLE : (21,28)

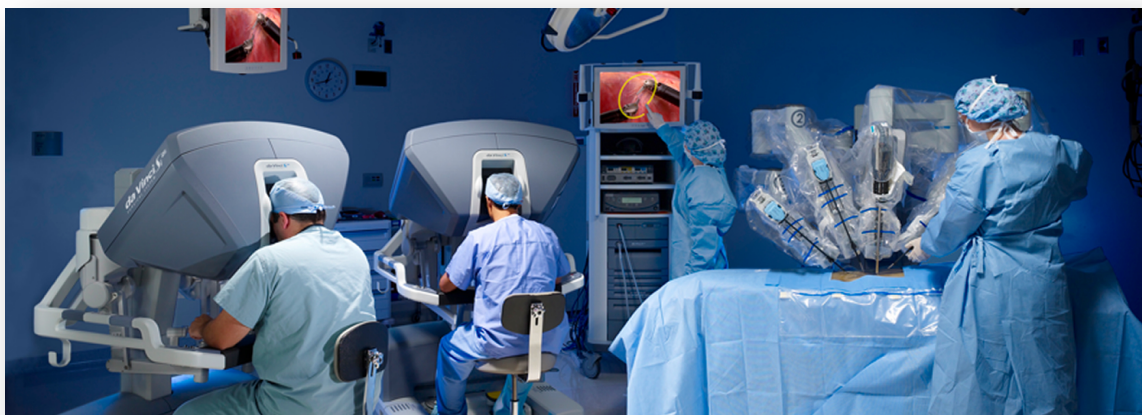


Image 9 : la double-console, Intuitive Surgical Inc

<http://chru-orl-montpellier.com/fr/13372577935702-chirurgie-au-robot-.html>

Le travail en double console est une opportunité d'apprentissage sans précédent, comparable à ce qui se fait pour l'aviation et pour le système « d'auto-école » pour la conduite d'un véhicule sur la route. Le formateur suit pas à pas, avec le même champ de vision, la progression du geste chirurgical et peut reprendre le contrôle de l'intervention si nécessaire, sans aucun mouvement supplémentaire ni modification de l'installation (image 9).

En chirurgie robotique, l'apprenant et le mentor fonctionnent à une distance physique encore plus grande qu'en chirurgie laparoscopique, ce qui peut sembler dangereux en considérant l'action délicate de certaines manœuvres effectuées, en particulier avec la perte de retour de force. C'est la raison pour laquelle le système chirurgical Da Vinci® de la société Intuitive Surgical a développé une configuration en "double console". C'est un outil permettant aux chirurgiens de surmonter de nombreux

inconvenients de l'entraînement chirurgical robotique. En effet, la double console permet au chirurgien d'échanger le contrôle des instruments robotiques immédiatement et à tout moment.

La double console est un bon outil d'enseignement qui présente des avantages uniques, notamment par rapport à la laparoscopie conventionnelle. Même si les enseignants et les apprenants sont physiquement à distance, ils sont toujours en communication via le microphone des consoles. Les deux chirurgiens ont la même vue, et le chirurgien apprenant peut être guidé par le chirurgien mentor par échange intermittent de toutes les commandes, le pointeur tridimensionnel, le troisième bras et les réajustements fréquents de la caméra. Cette méthode d'enseignement est efficace dans le temps, et la perception d'être écarté de la procédure disparaît presque entièrement.

La possibilité d'échanger rapidement et à plusieurs reprises des instruments grâce à la double console est un excellent outil pour dépasser la difficulté liée à l'absence de retour de force, puisque le chirurgien sénior peut enseigner au chirurgien junior l'exposition correcte et la manipulation des tissus. Et ce, dans la mesure où ce dernier peut en apprendre davantage sur la traction maximale en comparant ses actions avec celles du sénior.

Enfin, en fonctionnant avec seulement deux bras tandis que le sénior manoeuvre le troisième bras, le chirurgien junior peut construire progressivement sa propre expérience à la console. Laisser la manipulation du troisième bras au sénior rend son utilisation plus dynamique et améliore également l'exposition chirurgicale. Peu à peu, le chirurgien junior peut acquérir une responsabilité croissante en contrôlant le troisième bras, au besoin, de manière indépendante.

Les inconvenients de la double-console sont dus au coût accru d'une console

supplémentaire et à la nécessité d'un assistant supplémentaire.

4). MICROCHIRURGIE:

La micro-chirurgie est considérée comme un bon outil d'entraînement à la pratique du robot. Un travail récent relate l'influence de l'expertise en micro-chirurgie sur les performances des chirurgiens au dV-Trainer® (27).

Objectif et méthodes de l'étude :

Pour Perez et al, il existe des similitudes entre la pratique de la microchirurgie et la chirurgie robotique tant dans la gestuelle que dans la présence d'une interface entre le chirurgien et le site opératoire.

Les auteurs ont initié une étude comparative afin de valider l'inclusion de séances de micro-chirurgie dans l'apprentissage de la chirurgie robotique. Ils ont comparé les performances de 11 chirurgiens pratiquant couramment de la micro-chirurgie sans expérience en chirurgie robotique (Micro Surgery Group: MSG) et de 38 chirurgiens témoins (Control Groupe: CG) novices en micro-chirurgie et en chirurgie robotique. Les deux groupes de sujets devaient réaliser 5 exercices qui constituent selon un panel d'experts les bases du training en chirurgie robotique sur le dV-Trainer®.

Le dV-Trainer® attribue une note globale sur 100 tenant compte de 7 critères de performance : temps de réalisation des exercices, économie de mouvement, temps pendant lequel le chirurgien applique une force excessive sur un instrument, instrument hors de champ, espace de travail des mains du chirurgien pendant un exercice représenté par la distance moyenne entre les instruments et le centre de l'espace de travail, nombre de collisions entre les instruments ou entre les instruments et l'environnement, et nombres d'objets lâchés pendant les exercices.

Résultats :

Les MSG ont obtenu de meilleurs résultats pour tous les exercices et pour tous les critères comparativement au CG. En effet, les MSG ont atteint un score final total de 67,79% comparativement aux CG qui ont atteint un score de 58,07% ($p=0,008$).

Tous les micro-chirurgiens ayant participé à cette étude ont admis une grande similitude d'ergonomie entre la pratique de la micro-chirurgie et de la chirurgie robotique. Ces similitudes sont particulièrement fortes pour les items position assise (100%), position des avant-bras (91%), système de vision binoculaire (81%), espace de travail (73%) et travail des poignets (73%). L'absence de retour de force ne constitue un handicap que pour la moitié des chirurgiens (55%).

Conclusion :

Les chirurgiens du MSG obtenaient un meilleur score global et était plus rapides pour réaliser les exercices sur le simulateur comparé aux chirurgiens du CG. Ces meilleurs résultats suggèrent pour les auteurs que l'expérience en micro-chirurgie augmente l'habileté dans l'apprentissage de la chirurgie robotique.

Selon les auteurs, la micro-chirurgie présente des similitudes en terme d'espace de travail de vision binoculaire, de technique, d'ergonomie, avec l'apprentissage de la robotique pouvant expliquer ces meilleurs résultats.

Ainsi, ils concluent que l'entraînement en micro-chirurgie améliorerait la gestuelle de base en chirurgie robotique. Etant donné qu'un tel entraînement est peu coûteux il pourrait être facilement intégré dans un programme de formation structuré.

B. Acquisition des compétences non techniques en chirurgie robotique

La formation et l'évaluation des compétences non techniques sont primordiales pour la chirurgie robot-assistée, étant donné que le chirurgien est retiré du champ opératoire immédiat. Malgré cela, les compétences non techniques sont négligées dans les programmes de formation à la chirurgie robotique, en mettant plutôt l'accent sur l'acquisition de compétences techniques.

Les principales compétences non techniques indispensables pour un chirurgien sont la communication, le travail d'équipe, le leadership et la prise de décision (figure 1) (29).

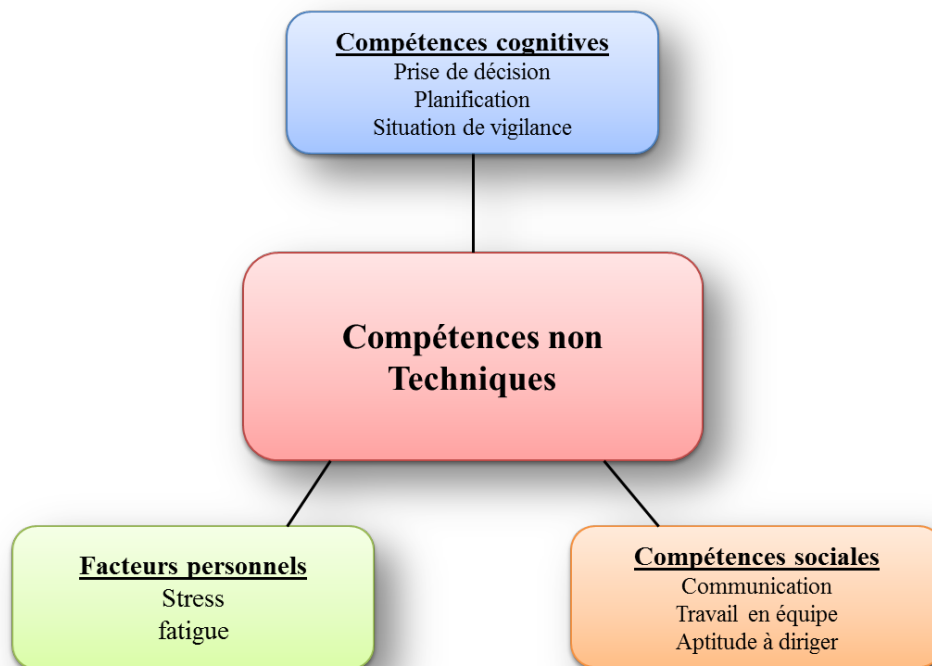


Figure 1 : Composantes des compétences non techniques en chirurgie robotique (30)

Pour l'enseignement des compétences non techniques, Brunckhorst et al. propose deux modalités principales: théorique et pratique (en simulation) (30).

Théorique : enseignement des différentes composantes des compétences non techniques et l'observation d'incidents avec l'analyse de vidéo (30,32). Cependant des compétences cognitives difficiles telles que la prise de décision et la planification ne peuvent être développées dans ce contexte.

Pratique : la simulation peut offrir un moyen de pratiquer et développer ses compétences dans le cadre d'un programme de formation structuré, et permet ainsi un transfert de ses compétences acquises vers l'environnement opératoire.

Sans oublier les méthodes de formation plus traditionnelles qui gardent une place importante au bloc opératoire pour consolider ces compétences non techniques, basées sur les opportunités de débriefing après des incidents critiques en salle d'opération.

III). Difficultés de la formation en chirurgie robotique

Le développement rapide de la chirurgie robotique a plusieurs fois été confronté, en France et aux États-Unis, au débat sur une formation insuffisante ou inadéquate des chirurgiens. Même si elle a pour but d'allier les avantages de la chirurgie mini-invasive et les avantages de la chirurgie ouverte conventionnelle, la chirurgie robotique nécessite un apprentissage spécifique et ne peut pas se concevoir comme une simple transposition de la cœlioscopie.

1). Complications et opinion publique

Du fait du nombre importants de blessures iatrogènes causées par l'utilisation incorrecte des robots da Vinci® en 2013, la société Intuitive Surgical était impliquées dans plus de 100 procès en 2014 et accusée de formation insuffisante des chirurgiens dans la quête d'augmenter ses ventes (33).

Le New York Times, en particulier, a révélé qu'un tiers des décès et 43 % des lésions internes surviennent aux cours de procédures robot assisté (34). En 2015, Cooper et al. ont publié des données suggérant une sous-déclaration des complications robot-chirurgicales à la FDA (Food and Drug Administration) (35). En effet, ils rapportent 71 décès et 174 lésions engageant le pronostic vital, sur une période de 12 ans. Le Wall Street Journal et le New York Times ont publié des articles traitant de la sécurité du robot chirurgical et condamne l'évaluation insuffisante de ce dernier (34, 36).

C'est la raison pour laquelle la création d'un curriculum pour la formation et l'évaluation des chirurgiens de manière fiable n'est plus juste une question d'accréditation mais aussi une question d'intérêt public.

2). Déclaration des effets indésirables graves liés au robot

(37)

L'ANSM (Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé) a réalisé une enquête concernant les robots chirurgicaux Da Vinci® de la société Intuitive Surgical auprès des centres utilisateurs français. Cette enquête fait suite à la publication d'une étude américaine (35) évoquant une sous-déclaration des effets indésirables liés à l'utilisation du robot.

En matériovigilance, l'ANSM reçoit chaque année entre 15 et 25 déclarations d'incidents ou de risque d'incidents avec le robot Da Vinci®, dont la moitié est signalées par le fabricant. En octobre 2013, aucun incident grave n'avait été signalé à l'ANSM, les signalements rapportaient des problèmes de rupture d'instruments ou de pannes du robot sans conséquence grave directe pour le patient.

L'enquête a été réalisée du 5 au 15 novembre 2013 auprès de 69 établissements de santé équipés d'au moins 1 robot Da Vinci® en France. Cette enquête a été envoyée aux établissements de santé et aux 2 sociétés savantes de gynécologie et d'urologie. Il a été demandé aux établissements de santé d'indiquer le nombre et le type de procédures chirurgicales réalisées avec un robot Da Vinci® depuis sa mise en service dans l'établissement, ainsi que le détail des effets indésirables graves (EIG) et décès éventuellement rencontrés pendant ou après l'utilisation du robot.

57 % des établissements sollicités ont répondu à l'enquête soit 39 établissements de santé.

Résultats de l'enquête :

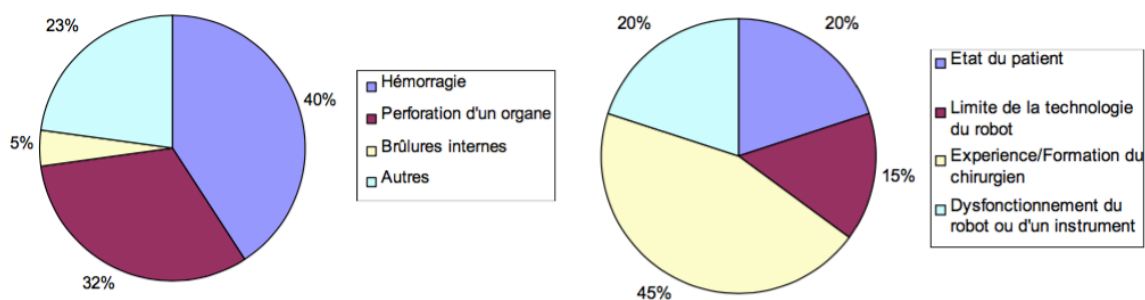


Figure 2 : répartition des EIG et de leurs causes selon l'enquête de l'ANSM (37)

Les EIG rencontrés sont majoritairement des hémorragies et perforations d'organes ([figure 2](#)). Les autres EIG décrits sont par exemple des étirements de racines nerveuses, syndrome des loges, oedèmes,... Ces derniers sont décrits comme pouvant être liés à une durée d'intervention prolongée du fait d'un opérateur situé au début de sa courbe d'apprentissage d'utilisation du robot.

L'analyse des réponses de l'enquête comparées aux signaux de matériovigilance indique que l'imputabilité du robot est difficile à déterminer dans la survenue de l'EIG. L'EIG pouvant dépendre du geste chirurgical indépendamment de l'utilisation du robot. Cependant, une des causes le plus souvent rapportée (45%) est **l'expérience et la formation du chirurgien**.

Il est mentionné dans 15 % des cas que la cause des EIG est la limite de la technologie du robot (absence de retour de force, limitation du champ de vision,...).

Conclusion de l'enquête :

Cette enquête souligne l'importance de la formation et de la courbe d'apprentissage des opérateurs notamment dans ce contexte de forte expansion de l'utilisation du robot dans des domaines chirurgicaux de plus en plus variés. La **formation de l'ensemble de l'équipe** utilisatrice (chirurgien, aide opératoire) est le facteur principal qu'il convient de considérer.

L'enquête montre aussi que les établissements de santé réalisant le plus grand nombre d'interventions, ont déclaré le moins d'effets indésirables graves, ce qui peut montrer l'influence de l'expérience dans la pratique sur les EIG.

Cette enquête précise aussi la nécessité d'une **formation complète** avant la réalisation d'une intervention chirurgicale et d'un **suivi régulier** dans le cadre de la formation continue.

3). Apprentissage d'équipe

L'apprentissage en chirurgie robotique n'est plus un apprentissage individuel de chirurgien à chirurgien mais un apprentissage d'équipe avec des contraintes nouvelles et une réflexion sur la coordination de chaque membre de l'équipe au sein d'un environnement contraint par le robot. Il existe donc une certaine difficulté de mise en place surtout dans ce contexte de plateau technique mutualisé avec les autres équipes chirurgicales (26).

Une étude de la Haute Autorité de Santé (18) a montré que 26% des causes d'évènements indésirables sont liées au facteur équipe. Les problèmes de communications entre professionnels représentent à eux seuls un tiers de ces

dysfonctionnements. D'autant plus en chirurgie robotique où la séparation physique du mentor et de l'apprenant peut être un obstacle à la communication et à la supervision (9).

4). Difficulté d'accès, d'encadrement et de disponibilité matérielle

La chirurgie robotique se conçoit souvent, compte tenu des coûts opératoires, que pour des procédures complexes. Il est donc extrêmement difficile de s'entraîner sur un geste d'emblée difficile à réaliser.

Par ailleurs le mode compagnonnage qui se conçoit encore en coelioscopie, est plus difficile à mettre en pratique en chirurgie robotique. En effet, le chirurgien est isolé à la console du robot. Il ne peut pas montrer quelque chose dans le viseur à un éventuel apprenant sans se retirer de la console et donc perdre toute maîtrise du geste. Au contraire, en coelioscopie, il est simple de laisser ou de prendre en main une pince ou un crochet. Le geste peut facilement être partagé entre deux chirurgiens. Cependant, le contrôle du robot n'est pas aisé. Il faut apprendre à manipuler la console et les bras, gérer les pannes classiques et adapter son geste à la procédure robotique.

Ces problèmes sont contrecarrés par le développement de la double console (28). Cependant du fait du coût accru d'une console supplémentaire, tous les centres ne peuvent pas y avoir accès.

Aussi, l'apport pédagogique de la chirurgie robotisée est sous-utilisé pour la formation chirurgicale initiale des internes (38).

Ainsi, pour Perrenot et al. (25), une pédagogie idéale face à ces enjeux doit répondre à trois exigences :

- Limiter le nombre d'erreurs
- Réduire la courbe d'apprentissage sur le patient

- Certifier chaque compétence du chirurgien et de l'équipe.

Références :

1. Antiquity Journal [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <http://www.antiquity.ac.uk/projgall/buquet322/>
2. Profiles in laparoscopy: Mouret, Dubois, and Perissat: the laparoscopic breakthrough in Europe (1987-1988). - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10444020>
3. Dulucq J-L, Wintringer P, Perissat J, Mahajna A. Completely laparoscopic total and partial gastrectomy for benign and malignant diseases: a single institute's prospective analysis. *J Am Coll Surg*. 2005 Feb;200(2):191–7.
4. Périssat J, Collet D, Belliard R, Desplantez J, Magne E. Laparoscopic cholecystectomy: the state of the art. A report on 700 consecutive cases. *World J Surg*. 1992 Dec;16(6):1074–82.
5. Soper NJ, Stockmann PT, Dunnegan DL, Ashley SW. Laparoscopic cholecystectomy. The new “gold standard”? *Arch Surg*. 1992 Aug;127(8):917-921; discussion 921-923.
6. Heinzelmann M, Simmen HP, Cummins AS, Largiadèr F. Is laparoscopic appendectomy the new “gold standard”? *Arch Surg*. 1995 Jul;130(7):782–5.
7. Eyuboglu E, Ipek T. Laparoscopic floppy Nissen fundoplication: 16 years of experience from the historical clinic of Rudolph Nissen. *Hepatogastroenterology*. 2011 Oct;58(110–111):1607–10.
8. McKay GD, Morgan MJ, Wong S-KC, Gatenby AH, Fulham SB, Ahmed KW, et al. Improved short-term outcomes of laparoscopic versus open resection for colon and rectal

- cancer in an area health service: a multicenter study. *Dis Colon Rectum*. 2012 Jan;55(1):42–50.
9. Mariette C. Apprentissage de la chirurgie laparoscopique: quelles méthodes pour le chirurgien en formation? *Journal de Chirurgie*. 2006 Jul 1;143(4):221–5.
 10. Hanna GB, Shimi SM, Cuschieri A. Randomised study of influence of two-dimensional versus three-dimensional imaging on performance of laparoscopic cholecystectomy. *Lancet*. 1998 Jan 24;351(9098):248–51.
 11. Pugin F, Bucher P, Morel P. History of robotic surgery : From AESOP® and ZEUS® to da Vinci®. *Journal of Visceral Surgery*. 2011 Oct 1;148(5, Supplement):e3–8.
 12. Yates DR, Vaessen C, Chartier-Kastler E, Richard F, Haertig A, Bitker M-O, et al. Histoire de la robotique en chirurgie : une évolution progressive vers une révolution chirurgicale. *La Presse Médicale*. 2012 Apr 1;41(4):427–33.
 13. Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA, Hayati S. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1988 Feb;35(2):153–60.
 14. Drake JM, Joy M, Goldenberg A, Kreindler D. Computer- and robot-assisted resection of thalamic astrocytomas in children. *Neurosurgery*. 1991 Jul;29(1):27–33.
 15. Cowley G. Introducing “Robodoc”. A robot finds his calling--in the operating room. *Newsweek*. 1992 Nov 23;120(21):86.
 16. Falcone T, Goldberg J, Garcia-Ruiz A, Margossian H, Stevens L. Full robotic assistance for laparoscopic tubal anastomosis: a case report. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 1999 Feb;9(1):107–13.

17. Autschbach R, Onnasch JF, Falk V, Walther T, Krüger M, Schilling LO, et al. The Leipzig experience with robotic valve surgery. *J Card Surg*. 2000 Feb;15(1):82–7.
18. simulation_en_sante_-_rapport.pdf [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-01/simulation_en_sante_-_rapport.pdf
19. Effect of residents' previous laparoscopic surgery experience on initial robotic suturing experience. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22973522>
20. Abboudi H, Khan MS, Aboumarzouk O, Guru KA, Challacombe B, Dasgupta P, et al. Current status of validation for robotic surgery simulators - a systematic review. *BJU Int*. 2013 Feb;111(2):194–205.
21. Schreuder HWR, Wolswijk R, Zweemer RP, Schijven MP, Verheijen RHM. Training and learning robotic surgery, time for a more structured approach: a systematic review. *BJOG*. 2012 Jan;119(2):137–49.
22. Korets R, Mues AC, Graversen JA, Gupta M, Benson MC, Cooper KL, et al. Validating the use of the Mimic dV-trainer for robotic surgery skill acquisition among urology residents. *Urology*. 2011 Dec;78(6):1326–30.
23. Gavazzi A, Bahsoun AN, Van Haute W, et al. Face, content and construct validity of a virtual reality simulator for robotic surgery (SEP robot). *Ann R Coll Surg Engl* 2011;93:152–6.
24. Hung AJ, Zehnder P, Patil MB, et al. Face, content and construct validity of a novel robotic surgery simulator. *Urology* 2011;186: 1019–24.

25. Perrenot C, Perez M. Les outils d'apprentissage en chirurgie robotique. *Oncologie*. 2016 May 1;18(5):277–86.
26. Hubert J, Perrenot C, Trand N, Felblingere J, Perez M. Simulation chirurgicale (dv-trainer) et formation chirurgicale robotique. *E-mémoire de L'Académie Nationale de Chirurgie*. 2012 Jan 1;11:80–4.
27. DDOC_T_2012_0113_PEREZ.pdf [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2012_0113_PEREZ.pdf
28. Bachmann R, Léonard D, Abbes Orabi N, Remue C, Kartheuser A. Innovations en Chirurgie colorectale. *Que retenir de 2015? Louvain médical*. 2016;135:65.
29. Raison N, Wood T, Brunckhorst O, Abe T, Ross T, Challacombe B, et al. Development and validation of a tool for non-technical skills evaluation in robotic surgery-the ICARS system. *Surg Endosc*. 2017 Dec;31(12):5403–10.
30. Effective non-technical skills are imperative to robot-assisted surgery - Brunckhorst - 2015 - *BJU International* - Wiley Online Library [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bju.12934/full>
31. Non-technical skills training to enhance patient safety: a systematic review. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23078681>
32. Dawe SR, Pena GN, Windsor JA, Broeders J a. JL, Cregan PC, Hewett PJ, et al. Systematic review of skills transfer after surgical simulation-based training. *Br J Surg*. 2014 Aug;101(9):1063–76.

33. Da Vinci Robot Lawsuit News: Bernstein Liebhard LLP Comments on Intuitive Surgical's Decision to Replace Defective da Vinci Surgical Instrument [Internet]. PRWeb. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <http://www.prweb.com/releases/da-vinci-lawsuit/da-vinci-complications/prweb10827163.htm>
34. Rabin RC. New Concerns on Robotic Surgeries [Internet]. Well. 1378761322 [cited 2018 Feb 17]. Available from: [//well.blogs.nytimes.com/2013/09/09/new-concerns-on-robotic-surgeries/](http://well.blogs.nytimes.com/2013/09/09/new-concerns-on-robotic-surgeries/)
35. Cooper MA, Ibrahim A, Lyu H, Makary MA. Underreporting of robotic surgery complications. *J Healthc Qual.* 2015 Apr;37(2):133–8.
36. UCM374095.pdf..pdf [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <https://www.fda.gov/downloads/MedicalDevices/ProductsandMedicalProcedures/SurgeryandLifeSupport/ComputerAssistedSurgicalSystems/UCM374095.pdf>.
37. 7bbc135f1a183ab2873686b2175bb8b4.pdf [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from:http://ansm.sante.fr/var/ansm_site/storage/original/application/7bbc135f1a183ab2873686b2175bb8b4.pdf
38. Menager N-E, Coulomb M-A, Lambaudie E, Michel V, Mouremble O, Tourette C, et al. [Interest of robot-assisted laparoscopy in the initial surgical training: Resident survey]. *Gynecol Obstet Fertil.* 2011 Nov;39(11):603–8.

Chapitre II

I). La courbe d'apprentissage

1). DANS L'INDUSTRIE...

L'idée de mesurer l'amélioration d'une tâche répétée dans le temps a été décrite pour la première fois en 1885 par le psychologue allemand Herman Ebbinghaus (1). Le terme « courbe d'apprentissage » ou « learning curve » a été utilisé pour la première fois en 1909 par Bryan et Harter, se référant à un diagramme traçant l'acquisition d'un langage graphique au fil du temps (2).

La courbe d'apprentissage (CA) a été décrite de manière précise en 1936 par l'ingénieur américain Theodore Paul Wright afin d'estimer les temps de production pour des avions assemblés en série. Il décrit le concept selon lequel la répétition d'une même activité entraîne une réduction du temps et de l'effort. L'apprentissage est plus marqué lors des premières répétitions, puis diminue graduellement. L'amélioration devient moins perceptible avec l'accroissement des répétitions.

Au cours des 70 dernières années, l'analyse de la CA a été largement utilisée par les industries manufacturières et de plus en plus par les analystes de l'industrie énergétique pour modéliser leurs expériences antérieures et projeter les coûts futurs (3–7).

2). DANS LE DOMAINE CHIRURGICAL...

En chirurgie, le terme « courbe d'apprentissage » est de plus en plus utilisé pour dénoter le processus d'acquisition de connaissances et d'amélioration des compétences dans l'exécution d'une intervention chirurgicale (8,9). Elle a été définie de manière variable comme le nombre de cas requis pour acquérir des compétences techniques similaires à celles d'un

chirurgien sénior ou « modèle » ou, dans l'optique de comparer deux approches chirurgicales, elle peut également être définie comme le temps nécessaire pour atteindre un niveau comparable d'expertise technique dans les deux approches (10).

Le processus de la CA peut être illustré par une courbe avec 3 composantes : le point de départ, la pente puis le plateau (figure 3) (11).

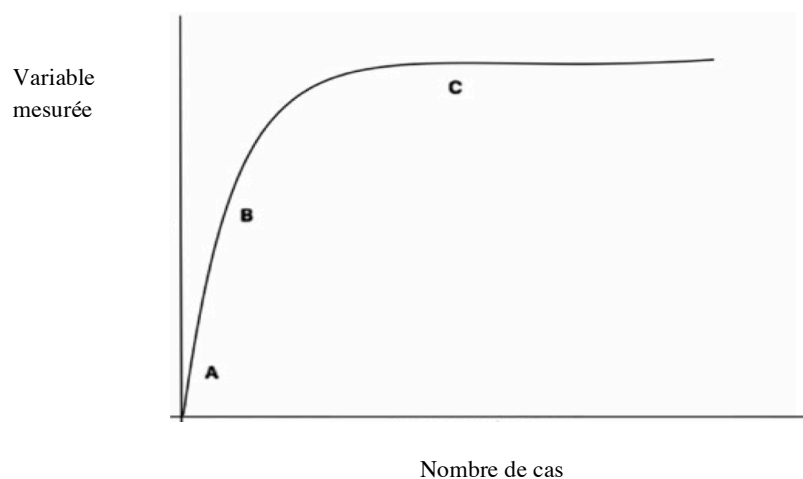


Figure 3 : la courbe d'apprentissage en chirurgie selon Andolfi (11)

A = Point de départ:

Chaque personne a sa propre expérience et sa performance innée qui définissent le niveau d'expertise initial en terme d'exécution d'une nouvelle procédure.

B = Pente:

Vitesse à laquelle une personne apprend une nouvelle tâche. La pente varie selon la procédure, la personne, le nombre et la fréquence d'intervention. C'est la phase d'acquisition des compétences

C = Plateau:

Lorsque les variations du paramètre mesuré ne sont plus significatives. C'est la phase d'expertise.

Selon Kruger et al., Il y a une étape critique dans tous les processus d'apprentissage, qui est la transition d'une phase où la supervision est réduite (phase de non qualification

consciente = le chirurgien est conscient de sa qualification imparfaite) à une confiance accrue d'un chirurgien (phase de non qualification inconsciente = le chirurgien est plus confiant mais inconsciemment non qualifié) (12).

3). COMMENT MESURER LA PERFORMANCE ?

Dans l'industrie, les mesures de performance sont souvent évidentes (temps de production, coûts et contrôle de la qualité). Cependant, il est plus difficile d'évaluer la performance d'un clinicien. Les indicateurs de performances liées à une technique chirurgicale se divisent en deux catégories :

-Les mesures du processus chirurgical, comprennent des facteurs opératoires tels que le temps opératoire, la perte de sang et la qualité de l'exérèse chirurgicale pour les chirurgies oncologiques par l'implication des marges de résection et le nombre de ganglions lymphatiques prélevés.

-Les conséquences sur le patient, comprennent les facteurs postopératoires tels que la durée de l'analgésie, les besoins transfusionnels, la durée du séjour en réanimation ou en soins intensifs, la durée du séjour à l'hôpital, le taux de morbidité et le taux de mortalité (13).

4). POURQUOI MESURER LA COURBE D'APPRENTISSAGE ?

La CA pour la chirurgie (amélioration des résultats chirurgicaux avec l'expérience croissante du chirurgien) reste avant tout un concept théorique. Elle est difficile à définir et, en réalité, elle ne finit jamais, car la pratique chirurgicale augmente parallèlement à l'expérience (16).

La CA est surtout un **outil d'évaluation** particulièrement important en chirurgie où un flux constant de nouvelles compétences doit être acquis de manière sûre et efficace. Elle doit être mesurée pour **orienter la pratique** et mener à une **amélioration de la performance** de façon globale. Cela est encore plus important dans le cas d'une technologie innovatrice qui évolue dans le temps telle que la chirurgie robotique (13).

La mesure de la CA permet un **suivi des compétences**. Elle doit faire partie intégrante du contrôle de la qualité. Idéalement, un comité de pairs doit suivre la qualité-performance et réagir à des événements sentinelles afin d'apporter des correctifs si nécessaires (14).

Une compréhension détaillée de la CA pour une technique ou une technologie donnée est essentielle, en raison des **nombreuses implications** directes sur les résultats cliniques, les besoins de formation, la sécurité des patients et l'économie des soins de santé (10,11,14).

Enfin, l'évaluation de la CA permettrait de **cartographier les progrès des chirurgiens formés**, notamment lors de programmes de formation structurés : le chirurgien peut effectuer une tâche chirurgicale en simulation ou sous supervision avant de l'exécuter indépendamment (11).

5). IMPLICATIONS EN CHIRURGIE ROBOTIQUE

Comme l'utilisation du robot continue d'être de plus en plus répandue, les chirurgiens doivent continuer à étudier leur propre performance afin de construire une base plus solide sur laquelle les autres peuvent construire leurs attentes (10,14).

En raison de son importance dans le processus de prise de décision pour les chirurgiens, dans la littérature, l'attention est maintenant concentrée sur la CA et l'utilisation du robot comme outil d'enseignement. En effet, de plus en plus d'articles s'intéressent à la CA

en chirurgie robotique, peut-être avec une reconnaissance croissante de l'importance de la CA en ce qui concerne la formation et l'évaluation des nouvelles procédures et des nouveaux dispositifs. Cependant, les limites méthodologiques de ces articles sont essentiellement dues à l'absence de définition standardisée de la CA et l'absence de méthodes standardisées pour la mesurer (13,15). Par conséquent, il est difficile d'identifier les paramètres et les critères idéaux pour évaluer les résultats de l'expérience initiale avec une nouvelle intervention chirurgicale (16).

De ce fait, nous avons réalisé une revue systématique de la littérature concernant la CA en chirurgie robotique. En effet nous avons effectué une étude descriptive sur la définition, l'analyse et la mesure de la CA ainsi que les critères utilisés pour « mesurer » la compétence chirurgicale.

Références :

1. Ebbinghaus (1885) H. Memory: A Contribution to Experimental Psychology. *Ann Neurosci*. 2013 Oct;20(4):155–6.
2. PsycNET Record Display - PsycNET [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <http://psycnet.apa.org/record/1926-02867-001>
3. Argote L, Epple D. Learning curves in manufacturing. *Science*. 1990 Feb 23;247(4945):920–4.
4. THE LEARNING CURVE: HISTORICAL REVIEW AND COMPREHENSIVE SURVEY - Yelle - 1979 - Decision Sciences - Wiley Online Library [Internet]. [cited 2018 Feb 10]. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1540-5915.1979.tb00026.x/abstract>
5. Rubin ES, Taylor MR, Yeh S, Hounshell DA. Learning curves for environmental technology and their importance for climate policy analysis. *Energy*. 2004 Jul 1;29(9):1551–9.
6. Grübler A, Nakićenović N, Victor DG. Dynamics of energy technologies and global change. *Energy Policy*. 1999 May 1;27(5):247–80.
7. van der Zwaan B, Rabl A. Prospects for PV: a learning curve analysis. *Solar Energy*. 2003 Jan 1;74(1):19–31.
8. Cook JA, Ramsay CR, Fayers P. Using the literature to quantify the learning curve: a case study. *Int J Technol Assess Health Care*. 2007;23(2):255–60.
9. Subramonian K, Muir G. The “learning curve” in surgery: what is it, how do we measure it and can we influence it? *BJU Int*. 2004 Jun;93(9):1173–4.

10. Kaul S, Shah NL, Menon M. Learning curve using robotic surgery. *Curr Urol Rep*. 2006 Mar;7(2):125–9.
11. Andolfi C, Umanskiy K. Mastering Robotic Surgery: Where Does the Learning Curve Lead Us? *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 2017 May;27(5):470–4.
12. Kruger J, Dunning D. Unskilled and unaware of it: how difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *J Pers Soc Psychol*. 1999 Dec;77(6):1121–34.
13. Harrysson IJ, Cook J, Sirimanna P, Feldman LS, Darzi A, Aggarwal R. Systematic review of learning curves for minimally invasive abdominal surgery: a review of the methodology of data collection, depiction of outcomes, and statistical analysis. *Ann Surg*. 2014 Jul;260(1):37–45.
14. Khan N, Abboudi H, Khan MS, Dasgupta P, Ahmed K. Measuring the surgical “learning curve”: methods, variables and competency. *BJU Int*. 2014 Mar;113(3):504–8.
15. Abboudi H, Khan MS, Aboumarzouk O, Guru KA, Challacombe B, Dasgupta P, et al. Current status of validation for robotic surgery simulators - a systematic review. *BJU Int*. 2013 Feb;111(2):194–205.
16. Philippou P, Waine E, Rowe E. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy versus open: comparison of the learning curve of a single surgeon. *J Endourol*. 2012 Aug;26(8):1002–8.

II). Revue systématique

A systematic review of the Learning Curve in robotic surgery: range and heterogeneity

Soumis à: *Surgical Endoscopy*

Surgical Endoscopy

A systematic review of the Learning Curve in robotic surgery: range and heterogeneity --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	SEND-D-18-00266
Full Title:	A systematic review of the Learning Curve in robotic surgery: range and heterogeneity
Article Type:	Review Article
Manuscript Classifications:	SYSTEMS/EDUCATION/TECHNOLOGY/POLICY/ETHICS; Robotics
Corresponding Author:	Ibtissam KASSITE Hopital Gatien de Clocheville tours, FRANCE
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Hopital Gatien de Clocheville
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Ibtissam KASSITE
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Ibtissam KASSITE
	Theodora BEJAN-ANGOULVANT
	Hubert LARDY
	Aurélien BINET

Abstract

Background: with the rapid adoption of the robotic surgery, more and more learning curve (LC) papers are being published but there is no set definition of what should constitute a rigorous analysis and represent a true LC. A systematic review of the robotic surgical literature was undertaken to determine the range and heterogeneity of parameters reported in studies assessing the LC in robotic surgery.

Methods: the search was conducted in July 2017 in PubMed. All studies reporting a learning curve in robotic surgery were included. 268 (25%) of the identified studies met the inclusion criteria.

Results: 102 (38%) studies did not define nor explicitly state the LC with appropriate evidence; 166 studies were considered for quantitative analysis. 46 different parameters of 6 different outcome domains were reported with a median of 2 parameters (1-8) and 1 domain (1-5) per study. Overall, 3 domains were only technical and 3 domains were both technical and clinical/patient-centered outcomes. The 2 most commonly reported domains were operative time (146 studies [88%]) and intra-operative outcomes (31 studies [19%]). Postoperative outcomes (16 studies [9%]) and surgical success (11 studies [7%]) were reported infrequently. Purely technical outcomes were the most frequently used to assess LC (131 studies [79%]).

Conclusions: The outcomes reported in studies assessing LC in robotic surgery are extremely heterogeneous and are most often technical indicators of surgical performance rather than clinical and patient-centered outcomes. There is no single outcome that best represents the surgical success. A standardized multioutcome approach to assessing LC is recommended.

Keywords: Learning curve; robotic surgery; surgical outcomes; proficiency

Introduction

Robotic surgery has spread across many surgical fields, nearly replacing open surgery for many procedures such as radical prostatectomy and abdominal sacrocolpopexy for vaginal prolapse (1) . With the rising adoption of robotics in surgery in recent years, the issue of training and acquisition of skills becomes pertinent. The high operational costs, lack of standardized techniques, and relatively limited availability of robotic systems makes it difficult for surgeons interested in robotic surgery to gain experience (2).

Studies have been done to evaluate the learning curve (LC) required to acquire robotic skills, gain mastery, and proficiency. Although the term “learning curve” refers to the process of gaining knowledge and improving skills in performing specific tasks or surgical procedures, the method in which the learning curve is measured varies and depends on the study setting (3).

Despite many publications there is still no consensus on how many procedures are needed to overcome the initial learning period. Indeed, there is a great variability in reporting the LC to achieve proficiency. This great variability is due to the lack of a standard definition of the learning curve and appropriate outcome measure.

We undertook a systematic review of the surgical literature to determine the range and heterogeneity of parameters reported in studies assessing the LC in robotic surgery and to comprehensively appraise the literature on the learning curve for robotic surgery in order to identify what is the true LC et how it was defined, described and measured.

Methods

Search Strategy

A systematic review methodology was adopted for the study, following the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement. We searched PubMed database from inception to July 11, 2017. We undertook a systematic search of published original articles that reported results related to the learning curve in robotic surgery. We used combinations of the following free and medical subject heading (MeSH) terms related to the intervention and outcome, without language restrictions: "*Robotic Surgical Procedures/methods*", "*Robotic Surgical Procedures/education*", "*robotic surgical procedures*", "*robot assisted surgery*", "*robotic surgery*", "*robot assisted laparoscopy*", and "*Learning Curve*".

Study selection and data extraction

After a first selection process based on the title and abstract (IK), the full-text articles and abstracts were retrieved and read to determine whether the studies met the inclusion criteria. Original articles were included if authors reported any results related to the learning curve in robotic surgery in humans. We also searched the references of eligible articles and main review papers to identify any other studies not retrieved by the original search. Two reviewers (IK, AB) independently screened all articles retrieved by the search and came to a consensus regarding inclusion. We considered all published articles on the use of the robot in all surgical specialties, however only papers in English and French were included. Letters, case reports, comments, editorials, systematic reviews, reviews, and studies involving laboratory models, simulators, or cadavers were excluded.

Before the review process, a first data extraction variable list was generated; this list was further completed and validated by consensus between 3 authors (IK, TBA, AB) during the review of the first 3 full-text articles. During a first round, two authors (IK, TBA) independently extracted data from a subset of 10 articles to ensure that the data collection followed the determined protocol. At this stage, any disagreements were discussed and resolved by consensus with a third author (AB). We extracted the following characteristics from each included article: publication year, sample size, surgical specialty, and type of surgery (oncologic or not). Our main focus was toward any parameter used to delineate the learning curve, whether and how it was defined by the authors in the “methods” section, as well as the LC itself, whether and how it was defined in “methods” section, and whether and how it was really analyzed. Since this review’s main objective was the description of the learning curve as reported in published articles, no quality assessment of the included studies was performed.

Statistical analysis:

Parameters used to describe the learning curve were extracted from all included articles and categorized into parameter domains. Any endpoint reported separately was extracted. The list of domains was a priori defined after discussions and consensus between three authors (IK, TBA, AB), but was revised during the review process. The endpoints were then grouped according to the final list of domains: operative time, intra-operative outcomes, postoperative outcomes, complications, oncological outcomes, surgical success outcomes (combination of multiple parameters). All endpoints and outcome domains were further categorized as purely *technical* indicators (e.g. operative time, transfusion rate), *clinical* (defined as medical outcome of a patient’s condition, e.g. mortality) and *patient-centered* outcomes (reported on by patients and caregivers, typically related to how the patients

function or feel in relation to a health condition, e.g. continence). Some outcome domains were *composite*, that is, they included parameters that straddled several categories—technical, and clinical/patient-centered (e.g. complications, surgical success).

We conducted a systematic and complete review of all reported outcomes and of the learning curve. We used descriptive statistics to summarize the data. Statistical analyses of frequency were conducted with Microsoft Excel.

Results

Search results and characteristics of included articles

A total of 1065 relevant references were found, and after screening, 319 full-text articles were assessed for eligibility. We further excluded 71 references (abstract only, comments, systematic reviews, or studies involving laboratory models or simulators) and reviewed 248 full-length articles, which provided another 20 related articles, giving a total of 268 references considered in this review (**Figure 1**).

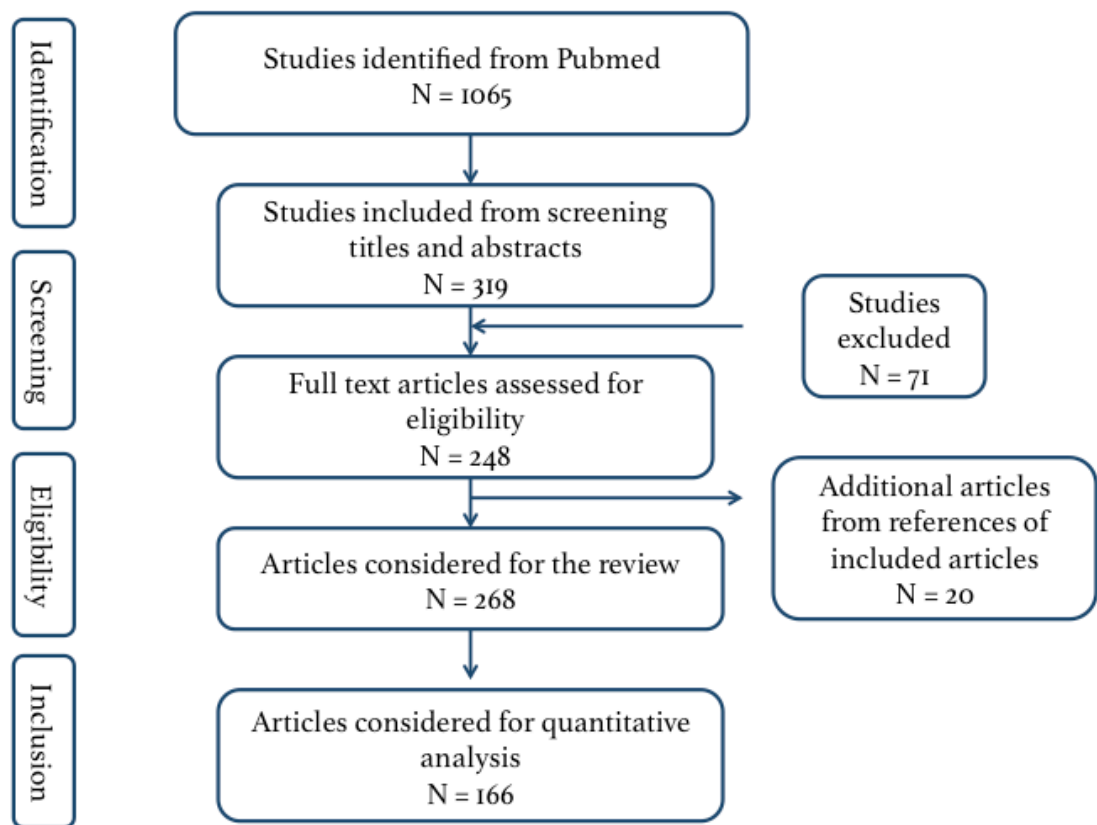


Figure 1: Flow diagram of the literature search process.

In 102 studies (38%) the learning curve was mentioned in the title, abstract, or objectives but was neither explicitly defined nor analyzed; therefore we did not consider these studies for further analysis. Sixty-four other studies (24%) did not explicitly define the learning curve in their methodology, but they assessed it in their results. A total of 102 studies (38%) gave a definition of the learning curve and presented results, but only 79 of them (29%) analyzed the learning curve in accordance with an a priori definition.

Finally, 166 studies were considered for quantitative analysis. The main characteristics of these studies are presented in **Table 1**: the majority of the studies was single center (91%), included less than 250 patients (85%) and evaluated the performance of 5 or fewer surgeons (77%).

Study characteristics	Number of studies N=166
Year of publication Median (range)	2013 (2003-2017)
Single center	152
multicenter	12
Non specified	2
Sample size 1-50 patients 50-100 patients 100-250 patients >250 patients	45 34 62 25
Total patients included	28 822
Surgeons <i>Number of surgeon(s) per study</i> 1 1-5 ≥5 Team Non specified <i>Previous surgical experience and training</i> Described Not described	93 36 11 13 13 134 32
Total surgeons included	285
Type of procedures Oncological Non oncological	116 50
Specialty <i>General surgery</i> Foregut Colorectal Solid organs Biliary <i>Urology</i> <i>Gynecology</i> <i>Ear Nose and Throat</i> <i>Cardiothoracic</i> <i>Vascular</i> <i>Neurosurgery</i> <i>Orthopedic</i>	58 27 17 8 6 49 32 11 8 3 3 2

Table 1: Studies' main characteristics.

Learning curve analysis

Twenty studies were not comparative (12%). Forty-four studies (27%) compared robotic procedure with other surgical techniques (open surgery, laparoscopy, endoscopy or thoracoscopy), 94 studies (57%) compared a surgeon's early and late experience, and 8 studies compared surgeons with different experiences.

One hundred and thirty-nine studies (83%) reported a graphical representation of the learning curve, 4 studies reported the data in the form of a table, and 23 studies (14%) reported the learning curve only as narrative within the text of the article.

Graphical representation of the learning curve comprised column charts (5 studies), scatter plots (11 studies), line charts (47 studies), cumulative sum (CUSUM) charts (33 studies), best-fit curve (9 studies) and a combination of these (34 studies, 20%).

One hundred and six studies (64%) undertook statistical analysis of their learning curve data: cumulative sum (CUSUM) analysis (35 studies), regression analysis (39 studies), moving average method (13 studies), analysis of variance (12 studies), and other statistical methods (7 studies).

Learning curve outcomes

Across 166 studies, 46 endpoints were reported 337 times and classified into 6 outcome domains (**Table 2 and Figure 2**). These were categorized as purely technical (32 parameters [69%]), patient-centered (5 parameters [11%]), composite (5 parameters [11%]) and clinical (4 parameters [9%]). The number of parameter per study ranged from 1 to 8, with a median of 2 per study. The outcome domains were ranged from 1 to 5, with a median of 1 outcome domain per study. Overall, 3 domains were only technical (**Table 2 and Figure 2**) and 3 domains were composite (both technical and clinical/patient-centered outcomes). The 2

most commonly reported domains were operative time (146 studies [88%] and intra-operative outcomes (31 studies [19%]). Postoperative outcomes (16 studies [9%] and surgical success (11 studies [7%] were reported infrequently.

Operative time and complications outcomes had 14 and 11 different endpoints respectively (**Table 2**). Intraoperative, postoperative, oncological, and surgical success outcomes had 8, 7, 4 and 2 endpoints respectively. The endpoints were not always clearly defined by the authors (in 63% for operative time, 61% for postoperative outcomes, 56% for oncological outcomes, 29% for complications, and 27 % for intraoperative outcomes) except for surgical success outcomes (100 %) (**Figure 2**).

Figure 2 shows the number of parameters for 6 outcome domains and their frequency across the 166 studies analyzed. **Figure 3** depicts the proportion of studies that reported each parameter. Time outcomes were the most frequently reported in the considered studies (65% of outcomes reported). Indeed, various combination of operative time can be seen in one study explaining the frequency of 220 in the 166 studies (**Table 2**). Complication and intra-operative outcomes were reported respectively 31 times (9%) and 37 times (11%).

The number of studies that reported a minimum of one technical parameter was 131 (79%). Thirty-two studies (19%) reported at least one combined technical and clinical parameter and only 3 studies (2%) reported clinical indicators.

Eighty-four studies (50%) specified several outcomes as primary outcomes and 82 (50%) specified one unique primary outcome. The unique primary parameter was operative time in 65 studies (39%) (**Table 3**), surgical success in 8 studies (5%), complication outcome in 2 studies, oncological outcome in 3 studies, intra-operative outcome in 3 studies, post-operative outcome in one study. Sixty-eight studies (41%) did not define the outcome(s) used for analyzing the learning curve (**Table 3**). Eleven studies combined several outcomes into a single composite outcome (**Table 4**).

Parameters measures	Frequency	Outcome domains	Categories of outcome
Transfusion rate	3	1-complication	1-technical
Occurrence of bladder entry	1	1-complication	1-technical
Rate of misplacement screw	1	1-complication	1-technical
Console time	28	2-operative time	1-technical
Docking time	22	2-operative time	1-technical
Lymph node dissection time	5	2-operative time	1-technical
Operative time	96	2-operative time	1-technical
Placement of port	2	2-operative time	1-technical
Preparation time	2	2-operative time	1-technical
Specific procedural time	20	2-operative time	1-technical
Robotic time	5	2-operative time	1-technical
Room time	6	2-operative time	1-technical
Room turnover	2	2-operative time	1-technical
Ret up time	7	2-operative time	1-technical
Total operating time	21	2-operative time	1-technical
Total robotic times	2	2-operative time	1-technical
Variables operative time	2	2-operative time	1-technical
Length of hospital stay	9	3-postoperative	1-technical
Renal function	2	3-postoperative	1-technical
Post-operative peritoneal drainage	1	3-postoperative	1-technical
Conversion	5	4-intraoperative	1-technical
Complexity	1	4-intraoperative	1-technical
Difficulty index	1	4-intraoperative	1-technical
Bleeding risk	1	4-intraoperative	1-technical

Estimated blood loss	20	4-intraoperative	1-technical
Pedicle screw placement rate	1	4-intraoperative	1-technical
Warm ischemia time	7	4-intraoperative	1-technical
Risk of outliers	1	4-intraoperative	1-technical
Biochemical recurrence rate	3	5-oncological	1-technical
Lymph nodes harvest	7	5-oncological	1-technical
Oncological outcome	1	5-oncological	1-technical
Positive surgical margin	14	5-oncological	1-technical
30 days complications	1	1-complication	2-clinical
Complication	11	1-complication	2-clinical
Mortality	1	1-complication	2-clinical
Postoperative hospitalization	1	1-complication	2-clinical
Incontinence	1	1-complication	3-patient-centered
Early continence	1	3-postoperative	3-patient-centered
Potency rates	3	3-postoperative	3-patient-centered
Continence	3	3-postoperative	3-patient-centered
Sexual function	1	3-postoperative	3-patient-centered
Intra-operative and post-operative complications	2	1-complication	4-composite
Intra-operative complications	1	1-complication	4-composite
Overall complications	1	1-complication	4-composite
Achievement rate	1	6-surgical success	4-composite
Failure/succes	10	6-surgical success	4-composite

Table 2: List of 46 endpoints reported, classification (6 domains and 4 categories) and frequency among 166 studies conducted for analysing the LC in robotic surgery

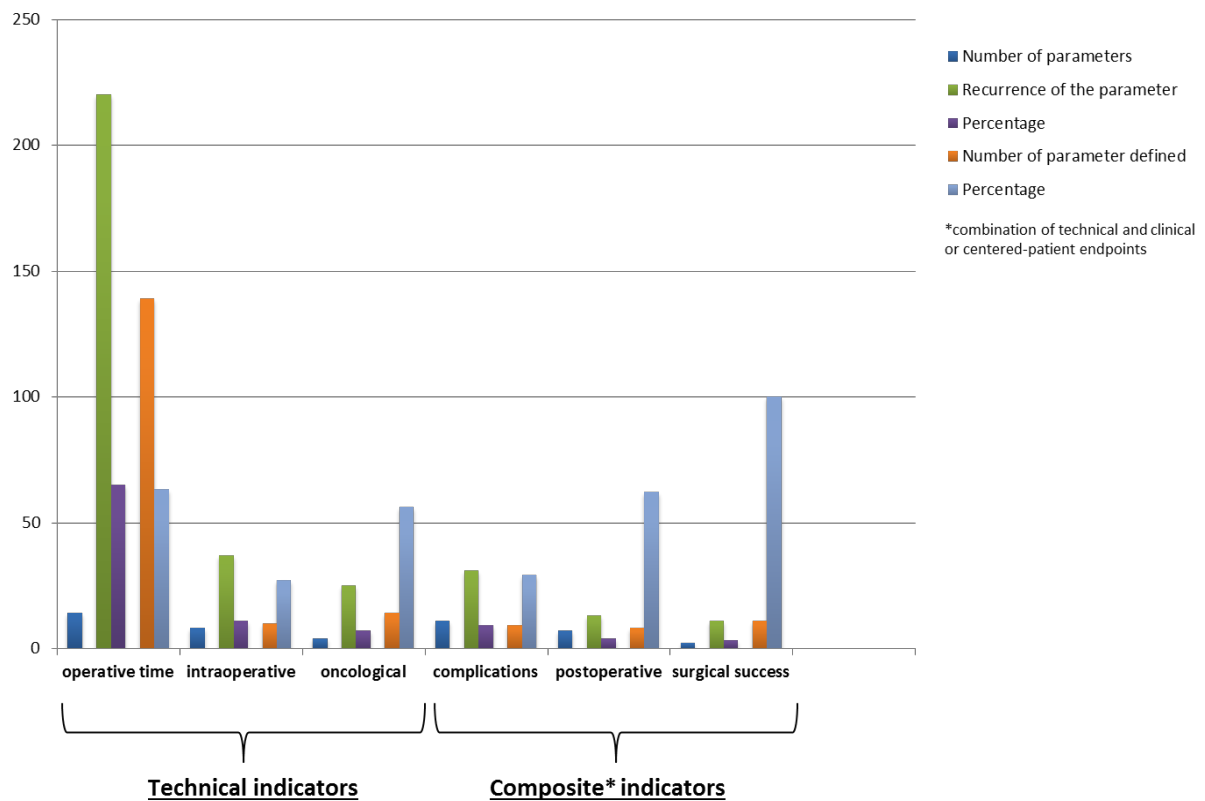


Figure 2: number of parameters (frequency and definition) for each outcome domain reported in 166 studies

Outcome domains

- Surgical success
- Oncological
- Postoperative
- Complications
- Intra operative
- Operative time

NB: Proportion are expressed in a x10 log scale to display proportion <1%

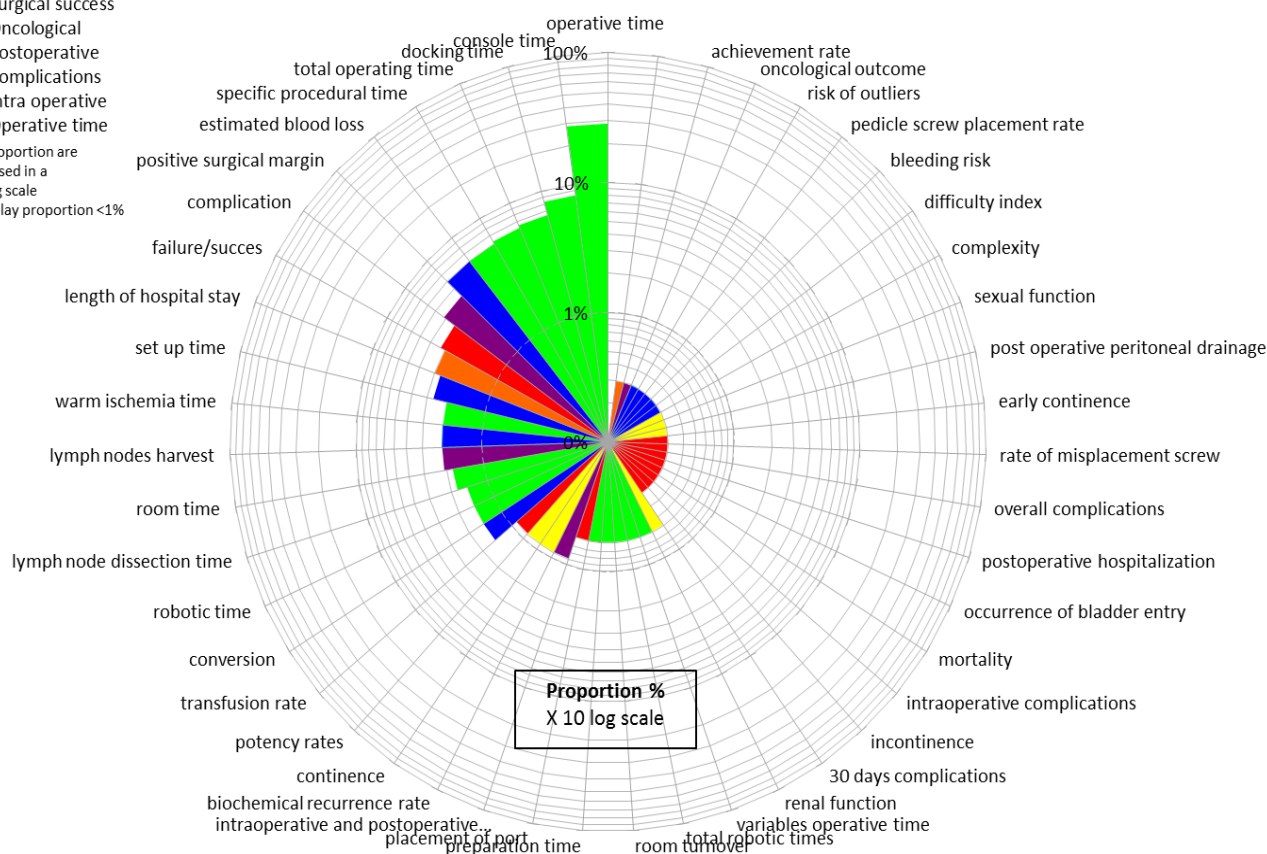


Figure 3: Proportion of studies reporting each parameter (166 studies, 6 outcome domains)

Nb parameters	Studies n (%)	Defined n (%)	Not defined n (%)
1 outcome	82 (49%)	47 (57)	35 (42)
composite	8	8	0
2 outcomes	39 (23)	26 (67)	13 (33)
≥ 3 outcomes	45 (27)	25 (55)	20 (45)

Nb: number

Table 3: Summary of LC parameters in studies that analyzed the learning curve (n=166)

Study	Composite outcome	Definition
Jimenez RM(33)	Success	Any surgical procedure which did not show any of the following parameters or events: conversion to open surgery, intraoperative complication, postoperative complication nor mortality
Kim HI (34)	Failure	A surgical failure was defined as conversion to laparoscopic or open surgery due to technical problems; failure to harvest an adequate number of lymph nodes for staging (<16 nodes); resection margin involvement; and major postoperative complications including mortality, intra-abdominal bleeding, pancreatitis, omental infarction, anastomotic leak, stenosis, and intraluminal bleeding.
Renaud M (23)	Success	Success was recorded if the patient did not have one of the following parameters: conversion to open procedure, total operative time > 180 min, postoperative morbid event > Clavien grade I, hospitalization duration > 8 days, and rehospitalization within 3 months after surgery.
Parisi A (35)	Failure	Failure was defined as the occurrence of one of the following events: any intraoperative or postoperative complications, conversion to open surgery or laparoscopy, mortality, hospital readmission, need for surgical reintervention, prolonged operating time (+2 SD above the mean), prolonged hospital stay (+1.5 SD above the mean), fewer than 12 lymph nodes harvested, or positive specimen margins (PSM).
Yang SY(36)	Success	Surgical success was defined as follows: no conversion to laparoscopic or open surgery for any reason, an adequate number of lymph nodes for staging harvested, considered to be 16 nodes or more, negative resection margin, no major postoperative complications before 30 days or discharge, and no outpatient complications requiring readmission.
Xie Y (37)	« MIC » rate	MIC rate: margin status, ischemia time and complications
Park EJ (38)	Failure	Conversion, R1 resection, occurrence of postoperative complications, the number of harvested lymph nodes less than 12, and local recurrence.

		Surgical failure was defined if even one of these parameters occurred
Benizri E (39)	Success	Success was recorded if the patient did not have any of the following parameters: total operative time >260 min, conversion to open procedure, postoperative morbid event > Clavien grade III, or reoperation within 1 month
Thompson JE (40)	Trifecta of superior early continence, sexual function, and pT2 PSM risk	Quality of life for urinary sexual domains measured by Expanded Prostate Cancer Index Composite score. PSM defined as tumour involving the inked margin of the cut surface.
Sudan R (21)	Composite outcome	Postoperative leak, high estimated blood loss (defined as greater than 1 standard deviation (SD) above the mean estimated blood loss and not by the need for blood transfusion), and conversion to open procedure
Paulucci DJ (41)	Trifecta achievement rate	Negative surgical margins, no perioperative complications and warm ischemia time ≤ 25 minutes

Table 4: Studies reporting a learning curve based on composite outcomes.

Discussion

This review shows that there is a large heterogeneity in analyzing the LC in robotic surgery, since there is variable statistical analysis, variable methodology of LC assessment, variable presentation of the LC (graphically/narrative, column charts/scatter plots/line charts/cumulative sum (CUSUM) charts/best-fit curve...), and no set definition of a true LC.

Moreover, this review highlighted a lack of rigor in most studies, since only 29% of included studies analyzed the LC as they defined it in their methodology. In the other studies, there is neither clear definition nor analysis at all of the LC even if the term learning curve appeared in the title and the abstract. Also, the LC statistical analysis wasn't specified by the authors in 36% of the studies included.

Also, there is a wide heterogeneity of outcome domains reported across studies and, within each outcome domain; there is a large variability in the definitions and endpoints used. Such inconsistencies in outcome reporting obscure assessments of the LC. These outcomes may be broadly grouped into 6 main areas: various combinations of operative times, intra-operative outcomes, post-operative outcomes, complications, oncological outcomes in oncology studies, and surgical success outcomes. Technical indicators (79%) of surgical proficiency (operative time, intraoperative and oncological outcomes) were much more common compared to clinical indicators (2%). Only 32 studies (19%) combined technical and clinical or patient-centered outcomes to assess LC. Thus the relevance of current studies to reflect surgical performance based on purely technical indicators may be disputable. Operative time was the most widely used outcome (65%) for analyzing the robotic learning curve in the literature, followed by intraoperative outcomes (11%) and complications (9%). This could be possibly related to the simplicity of data collection. Yet, operative time is probably the most complex parameter since it involves every step of the procedure during the skin-to-skin time. As seen in this review, there are 14 different endpoints for operative time.

This suggests that there is a lack of universal agreement on which operative time variable is the most relevant for the learning process (3): Console time? Docking and console time? Skin-to-skin operative time? Actually, the operative time may be subdivided into specific components such as initial robotic system setup, trocar insertion, docking, and console time according to the steps of procedures. A recent analysis by Lim et al (4) revealed that each specific robotic procedure has its own unique learning curve. The efficiency for docking and trocar placement (10th case), hysterectomy (8th case), cuff closure (21st case), pelvic lymph node dissection (55th case), and para-aortic lymph node dissection (17th case) stabilized after a varying number of cases.

Some authors focused on console time to better capture the surgeon's growth and improvement, since the early inexperience of the team resulted in many confounders for total operative time and docking time (5). As to setup time and docking time, it can be reduced quickly, when working in a high-volume setting with a dedicated team(6). That is why we think that operative time used ambiguously without a clear definition, which is the case in 37 % as seen in this review, is not a direct indicator of the surgeon's learning, since it is variable with different surgical assistants (7).

Operative time may be easily measured and compared but it is not necessarily the most appropriate marker of the learning curve. The learning curve should not be confined to achieving acceptable operative times since speed does not equate to proficiency, but should refer to other important parameters for patient care such as oncologic or functional outcomes (8). As seen in this review, operative time was frequently (65 studies [39%]) used as the only factor to determine LC. Thus, we think that operative time alone could be potentially harmful if operative results are compromised. However, if a surgeon performing a new procedure has demonstrated an acceptable outcome for all his patients, the operating speed would be a fair reflection of the entire learning process.

Confounders

There is neither an accepted standard for measurement of learning curve, nor is there a definition of the point at which learning is said to be complete (3). As a matter of fact, the learning curve can vary considerably depending on *surgeon-related*, *patient-related*, *procedure-related*, and *institution-related factors*. Actually, analyzing these endpoints by themselves without accounting for procedure complexity or surgeon and patient dependent variables may be misleading.

Surgeon-related factors

As seen in this review, previous surgical experience and training prior to adopting robotic surgery has not been well described in 32 studies (20 %). This could limit the external validity and the generalization of the results reported in these studies and may introduce bias based on a surgeon's experience. Indeed, the learning curve is likely to vary between individual surgeons based on: *surgical skills* (manual dexterity and anatomical knowledge) (9), *background* (experience in laparoscopy), *surgical experience with a similar technology*, *familiarity with the procedure*, and *the level of mentorship* (10). Indeed, Lee et al suggest that extensive experience and understanding of both laparoscopic and open procedure undoubtedly help to overcome the steep learning curve in using the robotic console (11). Also, the learning curve of a surgeon who is inherently gifted or has advanced training in complex minimally invasive surgery techniques will be different from that of a novice surgeon (12).

Institution-related factors

Surgery frequency and experience of the surgeon with the described surgical technique, institutional resources or work environment (13) and the use of the double console can influence the LC. External factors may contribute to the learning curve too, such as the level of training and experience with robotic surgery of the surgical assistant, operating room

nurses, anesthesiologists, and technical staff. Also, an academic institution has several fellows and residents who need to be taught while these procedures were being performed (14). Renaud et al analyzed the influence of surgeon experience, bedside first assistant level, and patient factors on operative time and postoperative complications, determining that both surgeon experience and bedside first assistant level affected operative duration, but surgeon experience was the most significant factor for reducing complication rates (14). D'Annibale et al found that the presence of a senior surgeon instead of a resident as the first assistant resulted in a significantly reduced operative time (15).

Patient-related factors

The learning curve will also vary substantially depending on patient-related factors. Indeed, body characteristics, comorbidities, complex anatomy (depth and narrowness of the pelvis for rectal and prostate surgery) and disease variation (tumor size, prostate volume and neoadjuvant therapy which can causally affect the surgical margin) can affect the learning process (16). Park found that gender is an important factor related to operation time for robotic gastrectomy ($P = 0.032$), possibly because females have less visceral fat than males with the same Body Mass Index (17). Also, the inclusion of simpler cases to begin with robotic surgery, as suggested by some authors, can lead to a faster adaptation to robotic surgery (18). As experience accrues, the surgeons might begin to accept more difficult cases. The difficulties of the procedures undertaken, therefore, represent a potentially confounding variable that may mask a relationship between experience and efficiency.

Procedure-related factors

The internal or external collisions of robotic instruments in the perioperative phase, may interfere with the operative procedure and there may be a need to reset the robotic instrument arms (4). Additional procedures, such as adhesiolysis, can be required before the actual operation begins. Thus, the time spent on these procedures varies according to the

complexity and severity of each case. Technical changes of the procedure during the learning curve can affect the outcome. For example, during radical prostatectomy, subtle technical refinement to attenuate the lateral displacement of the neurovascular bundle and resultant stretch neuropathy improves sexual function within 12 months of robot assisted radical prostatectomy (19).

At last, many studies had presented surgical outcomes without standardized definitions. As seen in this review, 68 studies (41%) did not clearly define the outcome(s) used for analyzing the LC. For example, regarding the outcome “complications”, there is a wide discrepancy in complication rates between centers that use a Clavien classification system and those that do not (20).

Recommendations

Confounding factors should be considered in order to minimize bias. As a matter of fact, where operative time is to be employed as a surrogate of proficiency, patient and pathology characteristics should be similar during study, and the caseload of a single surgeon should be represented in the study, so that it can provide a comprehensive learning curve. Also, where confounding factors do exist, such factors should be adjusted for with appropriate statistical modeling in order to minimize bias (12,21).

In this review, 73 studies (44%) employed outcome data that either represented the work of more than one surgeon or a surgical “team” or failed to specify the number of primary surgeons involved. It is acknowledged that individuals learn at different rates, and thus, it is presumptive to assume that their learning curves will be equivalent. The prior experience of a learner, can impact not only their starting point on the curve but also the rate at which they learn (3). Thus, if the case work of multiple surgeons with different levels of

prior experience is represented in the outcome data, then the latter should be statistically adjusted/modeled to take account of such confounding factors before it is presented as an “aggregate” learning curve for that procedure (22).

Also, we strongly recommend that future studies define learning curves for individual procedures, instead of gynecological or colorectal operations as a whole because procedures differ in their complexities (23).

Evaluating the performance of standardized, non-patient tasks such as threading a hole, stacking coins, suturing, and knot-tying also may be used to assess a learning curve. These provide a degree of objectiveness to the evaluation because they are not limited by the variations in patient anatomy during actual surgery and they may be used by everyone, from the surgically naïve medical student to the experienced senior surgeon (3).

There is a great heterogeneity in the robotic surgical literature regarding the definition of the LC and the outcome chosen by the authors to measure proficiency, as this article has attempted to elucidate. There is no single outcome that best represents the success of a procedure but there are multiple factors that lead to a successful procedure, which include the skills and experience of the surgeon, those of the operative team and also the varying complexity of individual cases. An ideal analysis would include these aspects in a multivariate analysis (24,25). Only 11 studies combined several outcomes into one composite parameter to provide a comprehensive view of the learning process.

At last, it is important to not forget that learning in surgery does not occur according to a single trajectory, or line. Training is now becoming more refined, involving a stepwise process of knowledge and practice (26).

Limitations and strengths of the review

This work provides a comprehensive and detailed analysis of the range and consistency of outcome domains and endpoints reported in studies assessing LC in robotic surgery; however, this review has some limitations. There is the possibility that, given the breadth of the topic, the search strategy might have missed some articles appropriate for inclusion. The variability and lack of detail in the methodology and results reporting of the included studies limited the ability in this review to undertake meaningful synthesis and comparative analysis of learning curve endpoints. Also we did not appraise the risk of bias in the included studies given our focus on the reporting of parameters—not the results.

“Ideal” learning curve assessment?

We think that there is no one perfect/ideal learning curve definition or one perfect/ideal outcome to measure surgical proficiency. With the findings of this review, we suggest that the best way to evaluate one procedure’s learning curve is a composite analysis, taking into account:

- *operative time* (console time or specific procedural time are the most representative of the surgeon’s work and the less influenced by the confounders aforementioned);
- AND a direct indicator of *success* relevant to the procedure studied (oncological outcomes for cancer surgery, functional outcomes for reconstructive surgery...);
- AND a direct indicator of *complications*.

These three outcomes should be clearly defined and specified, and as many confounders as possible must be taken into consideration for the analysis to be meaningful and less misleading.

Conclusion

In the robotic surgical literature, there is neither a set nor a true LC definition. Analyses of the learning curve are not rigorous, and this limits their usefulness to the reader. The outcomes reported in studies assessing LC in robotic surgery are extremely heterogeneous and are most often technical indicators of surgical performance such as operative time or estimated blood loss, rather than clinical and patient-centered outcomes such as postoperative patient outcomes, which are important when assessing the effect of the learning curve on the system and patient as a whole. Also, the terms used were ambiguous, lacking clear definition and being open to interpretation.

There should be an established consensus about how studies should assess the learning curve. Efforts to ensure consistent reporting of the LC and the parameters measuring surgical proficiency will improve the value of LC studies to guide surgeon's decision-making process, so that they can investigate their own performance and build more solid foundation on which others can build their expectation, as the use of the robot continues to be more pervasive. In the meantime, efforts are being made to enhance robot-specific training in the simulation centers. Curricula are being developed for use with the robotic surgical simulators that aim to train users to proficiency standards. As these systems become more developed and widely utilized, perhaps a robotic revolution will follow the widespread adoption of laparoscopy, and training will take place during residencies and fellowships.

References

1. Catchpole K et al. Safety, efficiency and learning curves in robotic surgery: a human factors analysis. *Surg Endosc.* 2016;30(9):3749-3761.
2. De la Fuente SG et al. Initial experience from a large referral center with robotic-assisted Ivor Lewis esophagogastrectomy for oncologic purposes. *Surg Endosc.* 2013;27(9):3339-3347.
3. Kaul S, Shah NL, Menon M. Learning curve using robotic surgery. *Curr Urol Rep.* 2006;7(2):125-129.
4. Lim PC, Kang E, Park DH. A comparative detail analysis of the learning curve and surgical outcome for robotic hysterectomy with lymphadenectomy versus laparoscopic hysterectomy with lymphadenectomy in treatment of endometrial cancer: a case-matched controlled study of the first one hundred twenty two patients. *Gynecol Oncol.* 2011;120(3):413-418.
5. Oviedo RJ, Robertson JC, Alrajhi S. First 101 Robotic General Surgery Cases in a Community Hospital. *JSLs.* 2016;20(3).
6. Al-Hathal N, El-Hakim A. Perioperative, oncological and functional outcomes of the first robotic prostatectomy program in Quebec: Single fellowship-trained surgeon's experience of 250 cases. *Can Urol Assoc J.* 2013;7(9-10):326-332.
7. Kuo L-J et al. Clinical outcomes of robot-assisted intersphincteric resection for low rectal cancer: comparison with conventional laparoscopy and multifactorial analysis of the learning curve for robotic surgery. *Int J Colorectal Dis.* 2014;29(5):555-562.
8. Philippou P, Waine E, Rowe E. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy versus open:

- comparison of the learning curve of a single surgeon. *J Endourol.* 2012;26(8):1002-1008.
9. Wagenhoffer et al. Switching from Endoscopic Extraperitoneal Radical Prostatectomy to Robot-Assisted Laparoscopic Prostatectomy: Comparing Outcomes and Complications. *Urol Int.* 2015;95(4):380-385.
 10. Doumerc N et al. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy: analysis of an experienced open surgeon's learning curve after 300 procedures. *J Robot Surg.* 2010;3(4):229-234.
 11. Lee GS et al. Robotic single-site adrenalectomy. *Surg Endosc.* 2016;30(8):3351-3356.
 12. Sudan R et al. Multifactorial analysis of the learning curve for robot-assisted laparoscopic biliopancreatic diversion with duodenal switch. *Ann Surg.* 2012;255(5):940-945.
 13. Schreuder HWR et al. From open radical hysterectomy to robot-assisted laparoscopic radical hysterectomy for early stage cervical cancer: aspects of a single institution learning curve. *Gynecol Surg.* 2010;7(3):253-258.
 14. Renaud M et al. Multifactorial analysis of the learning curve for totally robotic Roux-en-Y gastric bypass for morbid obesity. *Obes Surg.* 2013;23(11):1753-1760.
 15. D'Annibale et al. Robotic adrenalectomy: technical aspects, early results and learning curve. *Int J Med Robot.* 2012;8(4):483-490.
 16. Yao A et al. Anatomical dimensions using preoperative magnetic resonance imaging: impact on the learning curve of robot-assisted laparoscopic prostatectomy. *Int J Urol.* 2015;22(1):74-79.

17. Park SS et al. Rapid adaptation of robotic gastrectomy for gastric cancer by experienced laparoscopic surgeons. *Surg Endosc*. 2012;26:60–67.
18. Bareeq RA et al. The role of surgical simulation and the learning curve in robot-assisted surgery. *J Robot Surg*. 2008;2(1):11-15.
19. Efanov M et al. Comparative analysis of learning curve in complex robot-assisted and laparoscopic liver resection. *HPB (Oxford)*. 2017;19(9):818-824.
20. Dindo D, Demartines N, Clavien P-A. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg*. 2004;240(2):205-213.
21. Park EJ et al. Multidimensional analyses of the learning curve of robotic low anterior resection for rectal cancer: 3-phase learning process comparison. *Surg Endosc*. 2014;28(10):2821-2831.
22. Macdonald AL, Haddad M, Clarke SA. Learning Curves in Pediatric Minimally Invasive Surgery: A Systematic Review of the Literature and a Framework for Reporting. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 2016;26(8):652-659.
23. Jiménez-Rodríguez RM et al. Learning curve for robotic-assisted laparoscopic rectal cancer surgery. *Int J Colorectal Dis*. 2013;28(6):815-821.
24. Xu R et al. The teaming curve: a longitudinal study of the influence of surgical team familiarity on operative time. *Ann Surg*. 2013;258(6):953-957.
25. Cook JA, Ramsay CR, Fayers P. Using the literature to quantify the learning curve: a case study. *Int J Technol Assess Health Care*. 2007;23(2):255-260.

26. Harrysson IJ et al. Systematic review of learning curves for minimally invasive abdominal surgery: a review of the methodology of data collection, depiction of outcomes, and statistical analysis. *Ann Surg.* 2014;260(1):37-45.
27. Kim H-I et al. Rapid and safe learning of robotic gastrectomy for gastric cancer: multidimensional analysis in a comparison with laparoscopic gastrectomy. *Eur J Surg Oncol.* 2014;40(10):1346-1354.
28. Parisi A et al. Robotic right hemicolectomy: Analysis of 108 consecutive procedures and multidimensional assessment of the learning curve. *Surg Oncol.* 2017;26(1):28-36.
29. Yang SY et al. Surgical Outcomes After Open, Laparoscopic, and Robotic Gastrectomy for Gastric Cancer. *Ann Surg Oncol.* 2017;24(7):1770-1777.
30. Xie Y et al. Associating the learning curve and tumor anatomical complexity with the margins, ischemia, and complications rate after robot-assisted partial nephrectomy. *Int J Surg.* 2016;36(Pt A):219-224.
31. Benizri EI et al. Short-term perioperative outcomes after robot-assisted and laparoscopic distal pancreatectomy. *J Robot Surg.* 2014;8(2):125-132.
32. Thompson JE et al. Superior quality of life and improved surgical margins are achievable with robotic radical prostatectomy after a long learning curve: a prospective single-surgeon study of 1552 consecutive cases. *Eur Urol.* 2014;65(3):521-531.
33. David J. Paulucci et al. Robotic partial nephrectomy: continued refinement of outcomes beyond the initial learning curve. *BJU Int.* 2017 ;119(5):748-754.

III). Étude rétrospective:

The learning curve of robot-assisted laparoscopic pyeloplasty in children: a multioutcome approach

Soumis à: *Urology*

Elsevier Editorial System(tm) for Urology
Manuscript Draft

Manuscript Number: URL-D-18-00372

Title: THE LEARNING CURVE OF ROBOT-ASSISTED LAPAROSCOPIC PYELOPLASTY IN CHILDREN: A MULTIOUTCOME APPROACH

Article Type: Pediatric Urology

Section/Category: Pediatric

Keywords: Learning curve; Pediatric surgery; Robot-assisted pyeloplasty; Cusum analysis; Surgical proficiency.

Corresponding Author: Mrs. ibtissam kassite, M.D

Corresponding Author's Institution: CHU Clocheville

First Author: ibtissam kassite, M.D

Order of Authors: ibtissam kassite, M.D; karim braik; thierry villemagne; quentin ballouhey; stéphanie benardeau; hubert lardy; aurélien binet

Abstract:**Objective:**

To analyse the learning curve (LC) for robotic assisted laparoscopic pyeloplasty (RALP) for ureteropelvic junction obstruction in children, using a multioutcome approach and accounting for patient complexity.

Methods:

Data on the first serie of children undergoing RALP between November 2007 and Necember 2017 at our institution were prospectively collected. We retrospectively analysed patient complexity factors and peri-operative data including operative time (OT). The learning curve was analysed using cumulative sum (CUSUM) methodology for OT and a composite parameter (combination of 3 parameter: OT adjusted for patient complexity factors (AOT), complications and surgical success).

Main results:

Two surgeons without any experience in robotic surgery performed 42 consecutive RALP in 41 patients. Median age at surgery was 5 years (6 months-15 years) and mean OT was $200 \pm 72,8$ min. CUSUM chart demonstrated biphasic LC for OT and multiphasic LC for composite factor. Based on the CUSUM analysis for composite outcome, the learning curve for RALP could be divided into 3 different phases: phase 1, the learning period (1-12 cases); phase 2, the consolidation period (13-22 cases); and phase 3, representing the period of increased competence (23-39th case).

Conclusion

We demonstrate numerous distinctly shaped learning curves depending of the outcome measures and well-defined learning phase transition points. We account for patient complexity factors, which can influence surgical outcomes. Since there is no perfect indicator of proficiency, a multioutcome approach was adopted to provide a comprehensive view of the learning process for RALP. More than 41 cases are needed to achieve mastery.

Keywords: Learning curve. Pediatric surgery. Robot-assisted pyeloplasty. Cusum analysis. Surgical proficiency

Introduction:

Adoption of laparoscopic pyeloplasty into common practice was limited by a steep learning curve, with practitioners citing anatomical limitations in the pediatric population, difficulty with instrument maneuverability, and challenges of intracorporeal suturing as contributing factors(1–3). The surgical robot was introduced to alleviate the difficulty of laparoscopic surgery and to facilitate the expansion of minimally invasive surgery for more complicated procedures(4). Over 80% of minimally invasive pediatric pyeloplasty procedures are now performed using a robot-assisted approach(2,5).

Because of its importance in the decision-making process for surgeons, the learning curve (LC) in robotic surgery has been increasingly addressed in various studies. However, the learning curve for pediatric robot-assisted laparoscopic pyeloplasty (RALP) remains ill-defined. As a matter of fact, defining the learning curve for reconstructive procedures represents a unique challenge. The factors available for evaluation of proficiency are somewhat limited, especially compared to oncological cases, which have several variables, such as margin status, number of lymph nodes, functional outcomes (continence, potency) and mortality(6). To date, previous pediatric studies analysing the LC of RALP used operative time as the only factor to assess proficiency. Nevertheless, this is not a reliable measure of learning and operative time alone may not be a useful indicator of good practice (7). Also, there are multiple factors that affect the surgical outcomes including the skills and experience of the surgeon, the operative team and also the varying complexity of individual cases(8).

As such, this study aims to give one definition of the LC for pediatric RALP by adopting a multidimensional approach and accounting for patient complexity factors. We used the *Cumulative sum* (CUSUM) method to analyze the LC with respect to operative time adjusted

(AOT) for patient complexity factors and a multi-outcome parameter (composite outcome). At last, we compared the learning curve phases with respect to surgical outcomes.

Methods

Patients:

We reviewed the medical records of all children who underwent RALP between November 2007 and December 2017 in our department. All the data were collected through a retrospective review of prospectively collected data. We didn't exclude patients undergoing redo pyeloplasty or additional procedures in order to minimize selection bias. This study was approved by the local institutional review board.

Two senior surgeons were dedicated to robotic surgery in our institution and provided their experience of their first consecutive cases performed. They both have prior experience in conventional pediatric laparoscopy but no experience neither in laparoscopic pyeloplasty nor in robotic surgery. After the purchase of the da Vinci robot (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA, USA), surgeons and chief operating nurses were provided with a brief training in robotic surgery by the manufacturer at the IRCAD/EITS Laparoscopic Surgical Training Center.

All parents, before surgery, signed informed consent after they were informed of the novelty of the RALP and our level of experience with it.

Recorded data included patient demographics, preoperative, intraoperative, and short/long-term postoperative data (including length of stay, days to no need for analgesic, readmissions, re-interventions, and follow-up check-up).

UPJO management and procedure:

Indications for RALP were symptomatic UPJO, increasing antero-posterior renal pelvis diameter, or deteriorating renal function with or without urinary tract infection. All patients were

investigated pre-operatively with renal ultrasonography and diuretic MAG3 renogram. In our center, Anderson Hynes pyeloplasty was performed for patients with intrinsic obstructions, and transposition of lower pole crossing vessel was performed for patients with extrinsic compression of the pelviureteric junction by aberrant vessels (**Figure1**).

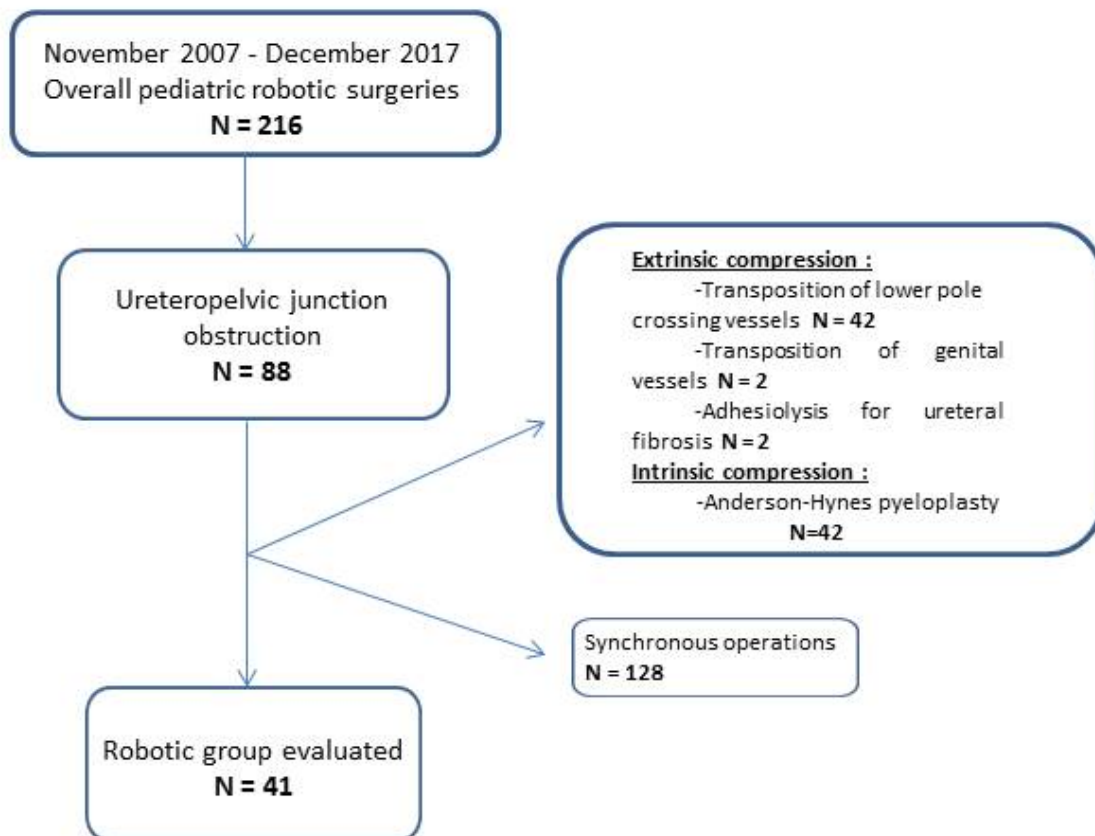


Figure 1: Flow chart of patient selection

The RALP program was initiated in November of 2007. For Anderson-Hynes pyeloplasty, the patient was placed laterally, and 4 or 5 trocars were inserted for a transperitoneal approach. After detachment of the colon, the pelvis, the ureter, and the ureteropelvic junction were

dissected as in an open approach. The pelvis was divided and the pyeloplasty was started by a running absorbable 5-0 suture. The ureteropelvic junction and redundant pelvis were then trimmed and the ureter divided obliquely and spatulated by incising its posterior margin. The anastomosis between the spatulated ureter and renal pelvis began with an interrupted absorbable 6-0 suture. After the first two stitches, a guide wire was inserted via a catheter percutaneously, and a double-J stent was placed over it.

Parameters and learning curve:

Operative time (OT) was defined as the time from the first incision to the abdominal closure. Because the stable operation time can be affected by clinical variables (8), we collected confounding factors related to patient complexity. This includes previous abdominal surgery, difficult anatomy (defined as lack of working space, posterior pelvis), any requirement for additional procedures (adhesiolysis, endoscopy, lithiasis extraction ...) and prior stenting, as previously reported(8,9).

Conversion was defined as an unintended extension of a minilaparotomy above 3–4 cm during the operation. Complications were regarded as any deviation from the expected post-operative course and graded according to the Clavien-Dindo classification (10).

The primary metric selected for evaluating competency in RALP was a composite outcome, which was defined by a combination of operative time adjusted (AOT) for patient complexity factors, complications and surgical success. We defined RALP success as hydronephrosis stability, improvement or disappearance on postoperative ultrasonography, resolution of clinical symptoms, no evidence of worsening renal function, and no need for

additional endoscopic or surgical intervention of the ureteropelvic junction. The secondary metrics were OT and AOT.

We defined the LC as a process of competence acquisition that varies depending on the proficiency indicator of interest. It's a graphic representation of the temporal relationship between the surgeon's gaining mastery of a specifically assigned task and the chronological number of cases performed(11). Since there is no single perfect marker of proficiency, we chose to study our learning process depending on the composite outcome.

Statistical analysis:

In this study, cumulative sum (CUSUM) analysis was the decisive method to determine the learning curve with respect to operation times (OT), adjusted operative time (AOT) and composite parameter.

CUSUM is a statistical process control tool for quantitative assessment of consecutive performances over time with reference to an agreed standard (12). It is appreciated as a preferred statistical method for monitoring and evaluating outcomes following the introduction of any newly implemented surgical technique or technology (13,14). CUSUM charts have been shown to be more efficient in detecting small shifts in the mean of a process (15). It is also useful to detect data for trends, which cannot be discernable with other approaches (11).

We used the principles described by Montgomery: the CUSUM score of the first case was the difference between the first case outcome and the target outcome for all cases. The CUSUM score for the second case was the summation of the previous case's CUSUM added to the difference between the second case outcome and target outcome of all cases. This process

continued until the last case (15,16). For operative time, the targetvalue was not assigned as the respective group mean value as reported previously, but was set at 150 minutes as reported in a recent meta-analysis of three RALP studies including 256 pediatric cases by Ekin et al (17).

The composite factor was estimated using the following equation: $AOT \times Rc \times Rs$, where AOT is the operative time adjusted for patient complexity factors, Rc is the complications ratio and Rs is the success ratio. The CUSUMCOMPOSITE target value was then assigned as no complications ($Rc=1$) and no failure ($Rs=1$).

CUSUM Charts and best-fit curves:

The whole series is plotted from left to right on the horizontal axis according to case sequence. The curve moves up for each positive event and down for each negative event. Each case number represents the previously aggregated events. Parameters assessed were operating time (CUSUMOT), adjusted operative time (CUSUMAOT), and composite parameter (CUSUMCOMPOSITE).

The raw data for operative time, adjusted operative time and composite factor were then plotted against chronological case and best-fit modeled (regression model).

Comparisons between case experience and surgical outcomes were assessed using the two-tailed Student's t-test and the Mann–Whitney U test. Statistical significance was regarded as $P < 0.05$.

Results:

Two hundred sixteen consecutive patients underwent robot-assisted pediatric surgeries between November 2007 and December 2017 in our department. Among these 216 patients, 41 children with a mean age of 6 ± 4.2 years underwent robot-assisted laparoscopic pyeloplasty for UPJO (**Figure 1**). The youngest patient was 6 months of age, and the smallest patient weighed 7.8 kg. No patients were lost to follow up. The median duration of follow up was 5.2 years (range 7 months – 7 years).

The mean operative time was 200 ± 72.8 . Postoperative complications categorized by the Clavien–Dindo classification showed 6 cases (14.3 %) of grade III and 1 case of grade II (2.3 %). Conversion occurred in 3 patients (7.1%). Hydronephrosis disappeared in 13 patients (31%), improved in 23 cases (55%) and remained stable in 1 patient. In 2 patients, worsening of hydronephrosis occurred after double J stenting removal.

Learning curve analysis:

Once we applied CUSUM methodology, the CUSUMOT demonstrated a biphasic LC. Slow initial LC was seen that had inflection points at cases 23, followed by extended periods of proficiency (downward trend), indicating a relatively constant rate of proficiency gain during the learning phase, followed by a similarly constant rate of proficiency refinement and/or maintenance without gaining mastery (**Figure 2A**).

CUSUMAOT showed a multiphasic curve with 2 inflection points, found at 19th and 33rd cases. These two peaks allowed for identification of 3 different phases of the LC. In the first phase, a positively steeply sloping curve appeared until the 19th case, indicating the process of

overcoming the learning period. It was followed by a steep negatively sloping curve indicating a period of gaining competence and consolidation, that continues up to the 33rd case. The second phase was followed by a flatter phase indicating a period of gaining mastery that persisted to the 39th case (**Figure 2B**).

CUSUMCOMPOSITE learning curve showed 2 cut-off points. Thus, we could differentiate three phases in the graph: phase 1 (the initial 12 cases), phase 2 (13-22nd cases), and phase 3 (23-39th cases). Phase 1 indicated a steep sloping curve. Phase 2 displayed flatter and more prolonged learning phase. These two phases of learning were followed by a steep negatively sloping curve (phase 3) indicating a proficiency gain period without achieving highest skills or mastery (**Figure 2C**).

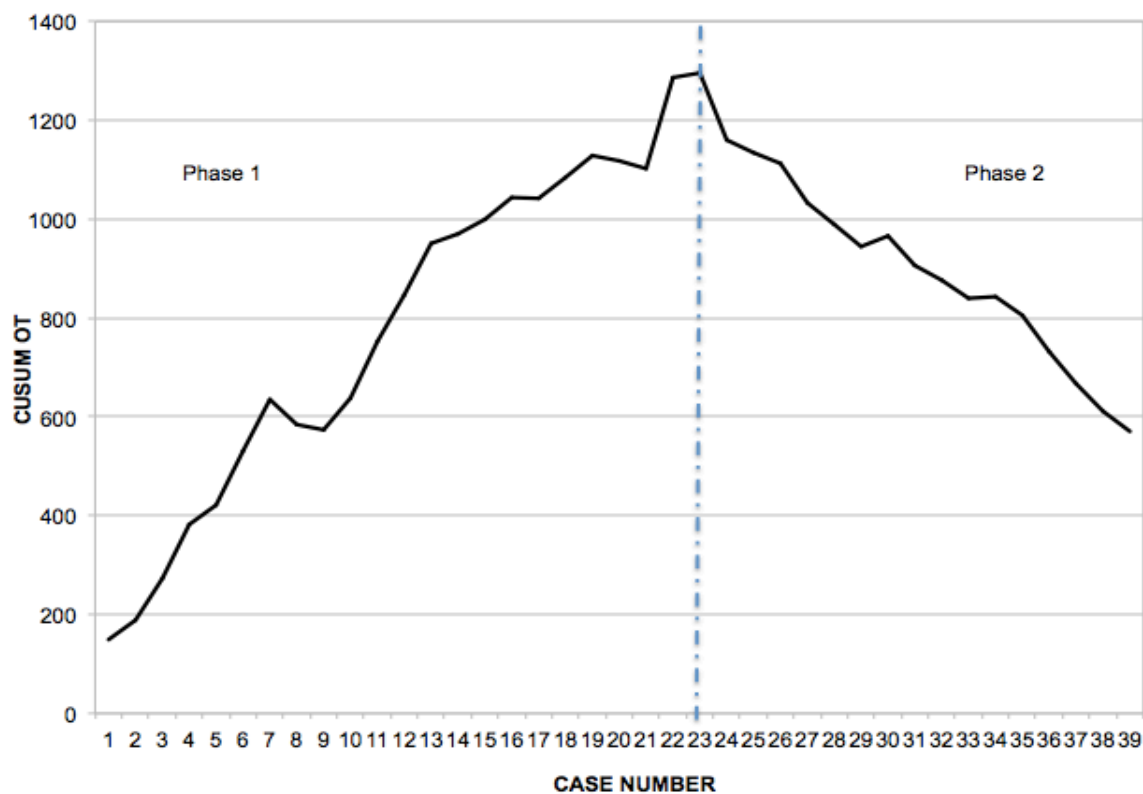


Figure 2A: Cumulative sum (CUSUM) chart for operative time plotted against case number

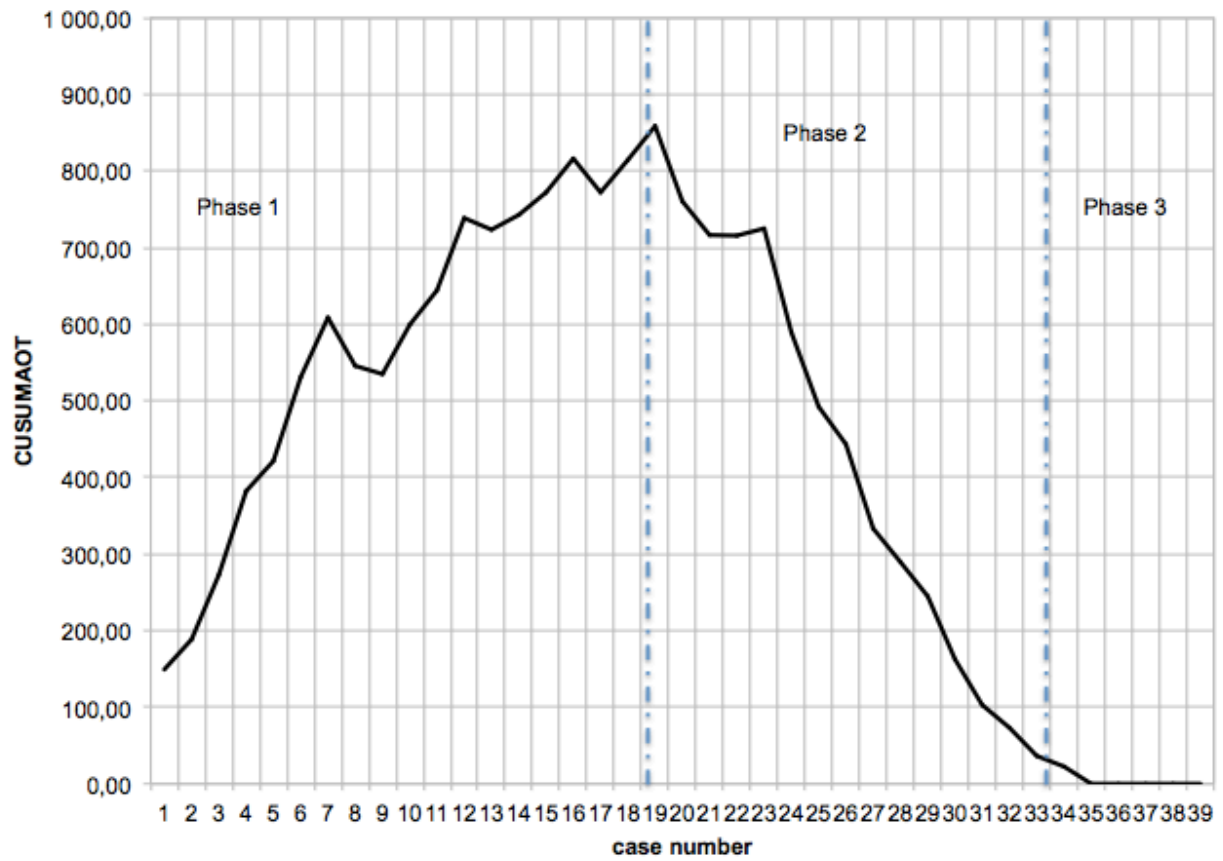


Figure 2B: Cumulative sum (CUSUM) chart for adjusted operative time plotted against case number

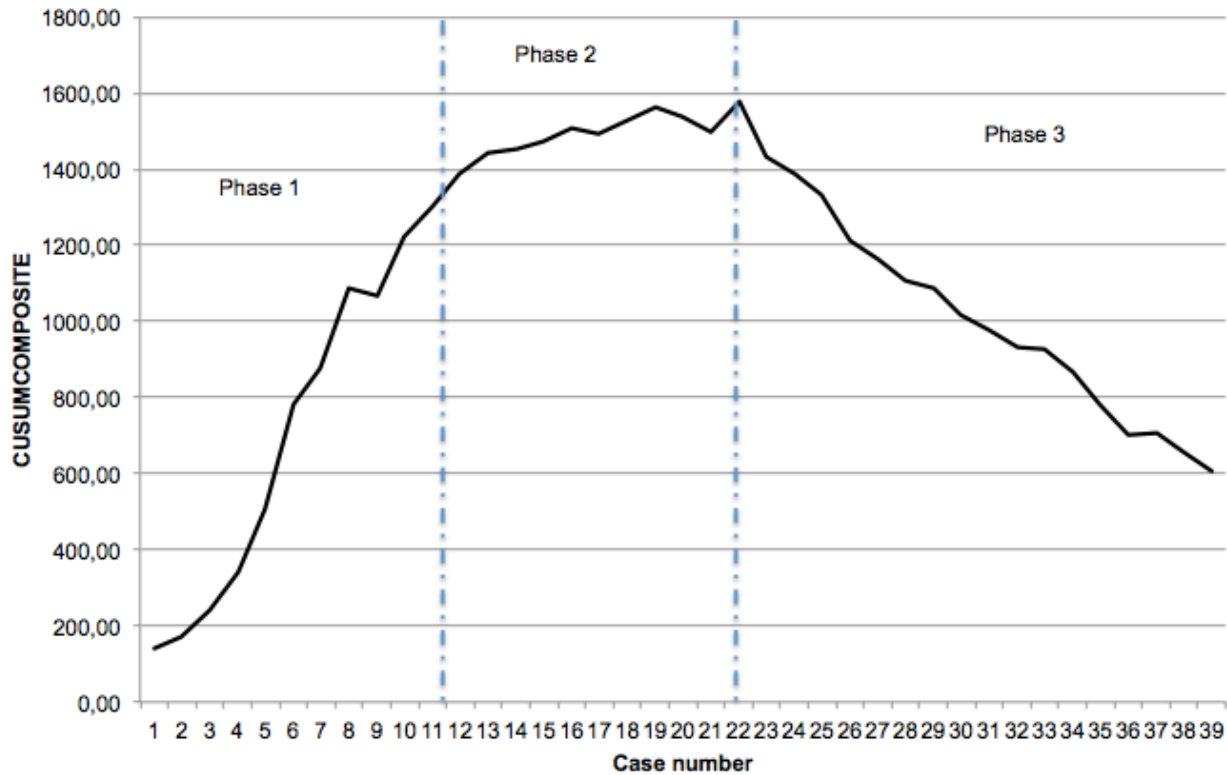


Figure 2C: Cumulative sum (CUSUM) chart for composite factor plotted against case number

The raw operative times, AOT and composite factor were plotted in chronological case order and best-fit modeled (**Figure 3**). It was useful to apprehend the overall trend of the LC depending on each parameter. The trend line showed a decrease in all parameter with experience and had similar patterns. AOT and composite curve showed the steepest slope. Linear regression lines-of-best-fit was less informative than the CUSUM chart and failed to show critical point of the LC, such as peaks and well-differentiated phases. Thus, meaningful conclusions cannot be drawn from raw data plotted by chronological cases.

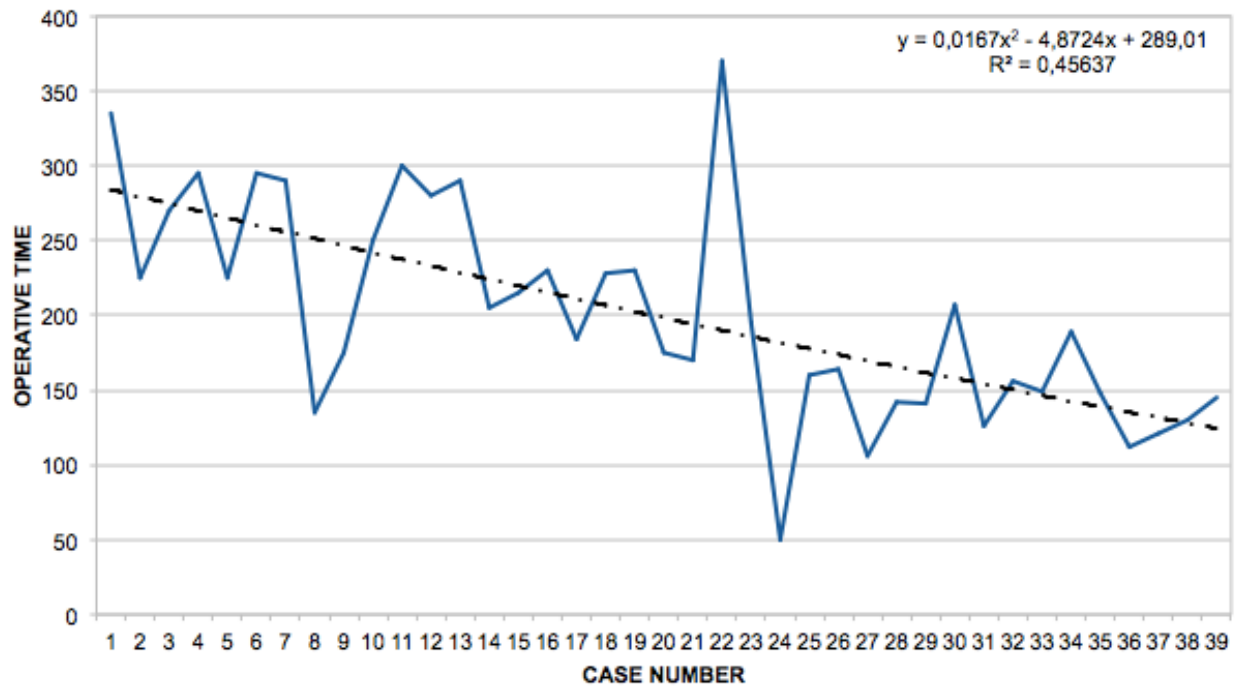


Figure 3A: overall trend line: raw operative time plotted against case number (solid line), the dashed line represents the curve of best fit for the plot (a second-order polynomial regression model)

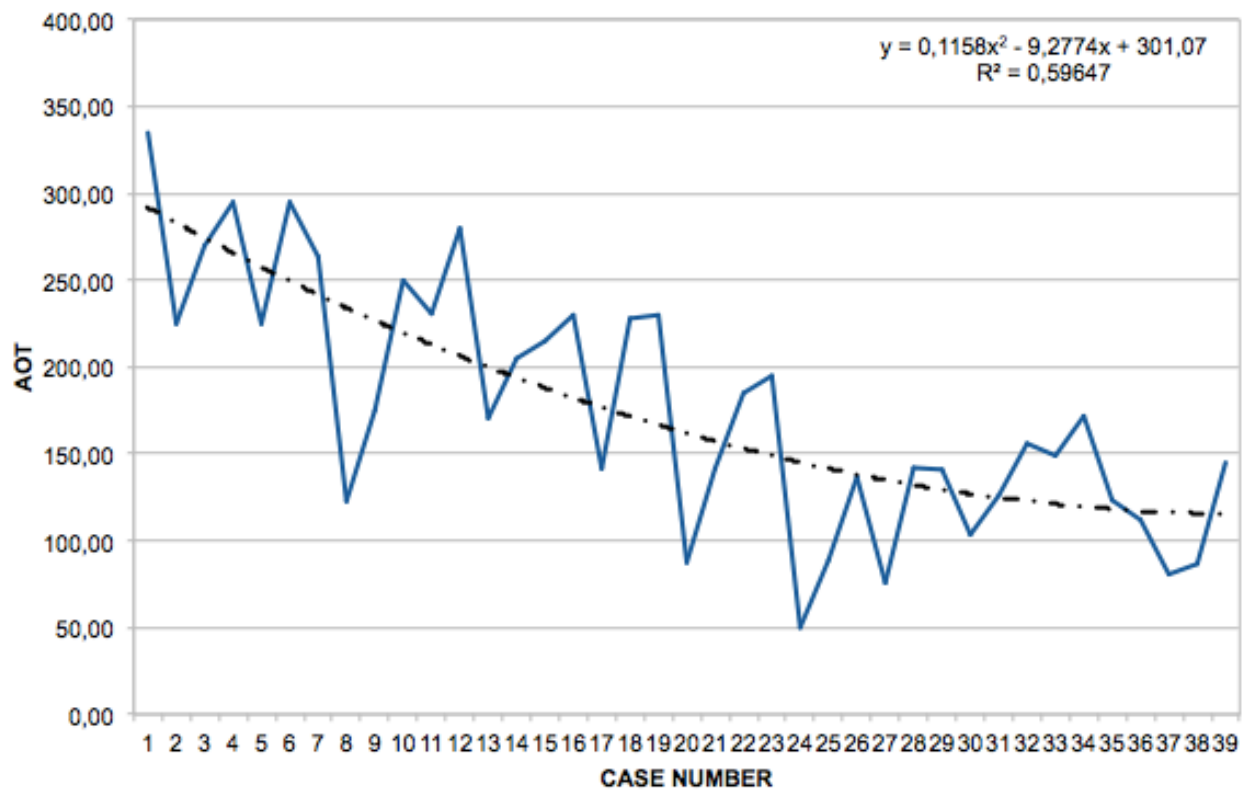


Figure 3B: overall trend line: raw adjusted operative time plotted against case number (solid line), the dashed line represents the curve of best fit for the plot (a second-order polynomial regression model)

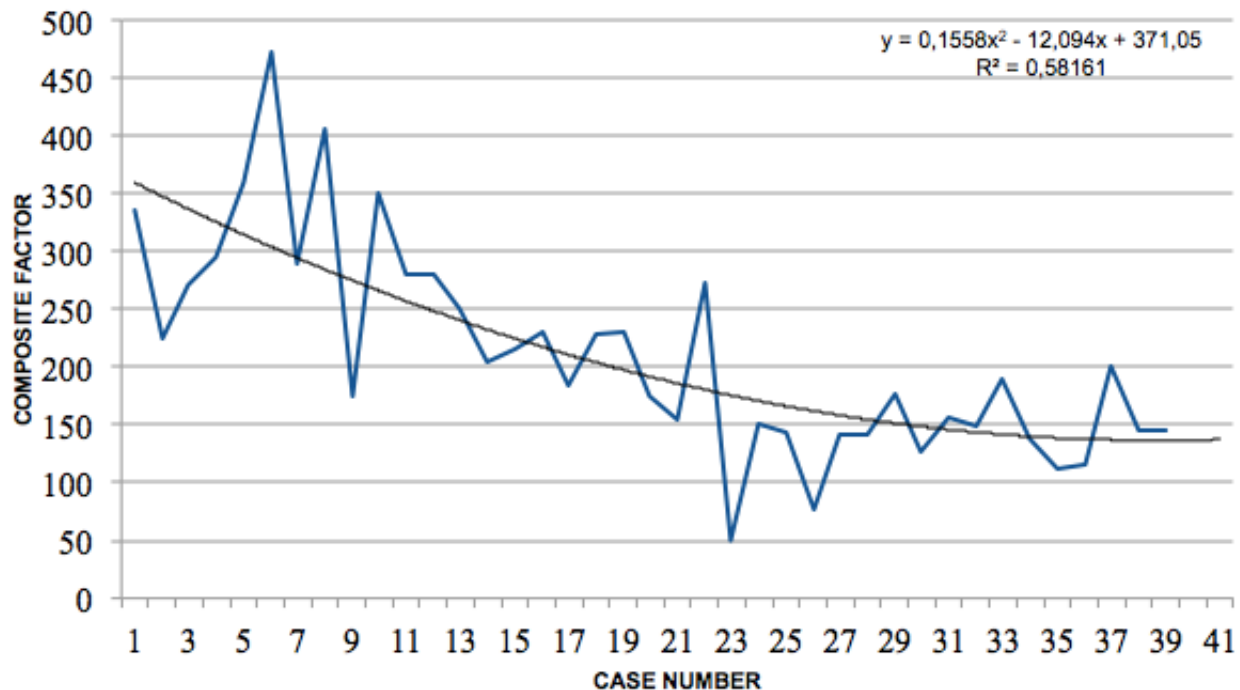


Figure 3C: overall trend line: raw composite factor plotted against case number (solid line), the dashed line represents the curve of best fit for the plot (an second-order polynomial regression model)

Learning curve effect:

We considered composite factor as the primary metric for evaluating competency. Therefore we compared phases 1 and 2 combined (steep and flatter learning phase) with phase 3 (gaining proficiency period). Interphase comparisons of intraoperative parameters and short/medium-term showed a significant reduction in operative time, length of stay, and postoperative pain ($P = 0.0001 - 0.0076 - 0.039$, Student's t-test). As regards the complications and success results, it did not yield statistically significant differences. This means that the three phases showed homogeneity in relation to those surgical endpoints ([Annexe 2](#)).

Discussion

The first step in the evaluation of the LC of any surgical intervention is the selection of an appropriate outcome measure that indirectly acts as a proxy in the measurement of the ability of a surgeon to perform that particular task on a temporal basis. The present study provided a multidimensional evaluation of the LC in pediatric RALP for UPJO by addressing multiple indicators of surgical performance. These included operative time, intra-operative and postoperative complications, and surgical success. The first one addressed the technical efficiency and the latter two represented patient outcomes and quality assurance as a surrogate marker of clinical effectiveness.

To date, pyeloplasty is one of the leading applications of robotic surgery in children, and utilization of RALP has increased steadily since the initial case reports were published in 2005(2,18–20). With the adoption of new techniques, it is important to assess the effect on the surgeon's learning curve. Moreover, this assessment is needed to inform surgical training and evaluate new surgical procedures (21). Multiple reports on RALP have been published, but few have evaluated the learning curve of this procedure. **Table 1** summarizes previous reports of the learning curve for RALP in children (6,9,12,22). According to these studies, the number of cases needed to overcome the LC varies from 15 to 58, likely due to the disparate outcomes measured (6,12). For surgeons with prior laparoscopic experience and no prior robotic experience, initial LC for RAL pyeloplasty appears to be 15 to 20 cases with respect to operative time (defined as total operating room time) according to Sorensen et al (6). Cundy et al reported the LC of a single surgeon with extensive background experience in conventional pediatric laparoscopic surgery, which transitioned beyond the learning phase at cases 10, 15, 42, 57, and 58 for set-up time,

docking time, console time, operating time, and total operating room time respectively (12). No other numerical value of RALP learning curve was reported.

Yet, these studies do not account for multiple factors that can influence surgical outcomes such as surgeon's skills, patient complexity, and experience of the patient care team (8). As such, we attempted to provide a comprehensive view of the learning process for RALP, combining the expected parameters of the learning process into a single hybrid variable (composite parameter) and generating a curve outlining the change in the composite outcome and accounting for patient complexity factor. To do so, cumulative sum analysis was adopted. This method is originally devised for monitoring performance and detecting areas for improvement in the industrial sector. It was adopted by the medical profession in the 1970's to analyze the LC for surgical procedures (23). Cumulative sum analysis transforms raw data into the running total of data deviations from their group mean, enabling investigators to visualize the data for trends not discernable with other approaches. An important benefit of CUSUM analysis is that it is able to identify subtle, slow, sustained degradation in a process thought to be under control (24). Also, the case-by-case change and progress in learning is an important indicator of successful team development and adoption of the technology (24).

There is a great deal of complexity in defining an ideal LC and there is no single outcome that best represents the success of a procedure. There are multiple factors that lead to a successful procedure. We assert that other aspects of surgical outcome also should be included to assess the results of surgical management.

Author	Year of publication	Study duration	Sample size	Age (mean) m (month) y (year)	Youngest case (range)	Follow up (range)	Number of surgeons	Surgeon's experience	LC definition	Marker of proficiency	Parameter used to analyse LC	Number of cases needed to achieve proficiency
Sorensen MD	2011	2006-2009	33	9,2 y	NS	17 (11-23) m	2	20 laparoscopic case per year minimal laparoscopic pyeloplasty experience no robotic experience	time needed to achieve similar outcome of success, operative time and complications compared to the outcome of open pyeloplasty	safety operative outcomes	total operating room time	15-20
Tasian GE	2013	2006-2010	100	73,5 m	1 month	23,7 (22-25) m	5	4 fellows with prior experience with robotic surgery in adults 1 attending with prior experience in robotic pediatric surgery	improvement in robotic console time that occurs with mentored operative experience	surgical complications surgical outcomes	console time	no numerical value
Cundy TP	2015	mars 2006-oct 2010	90	6,9 y	30 months	3,9 (0,6-7,9) y	1	extensive background in conventional pediatric laparoscopy including pyeloplasty	NS	NS	set up time (st) console time (ct) docking time (dt) operative time (ot) total operative time (tot) complications	st: 10 ct:42 dt:15 ot:57 tot:58 No significant difference between case experience and frequency of complications
Reinhardt S	2017	may 2014-dec 2015	25	10 y	4 years	NS	1	fellow in pediatric urology with prior robotic console training	NS	NS	console time	no numerical value
current study	november 2007-december 2017		41	6,1 y	6 months	5,2 y (7m-7 y)	2	no prior experience in robotic surgery or laparoscopic pyeloplasty extensive background in conventional laparoscopy	process of competence acquisition that vary depending on the proficiency indicator of interest	operative time (skin-to-skin) operative time adjusted for patient complexity factors (AOT) composite factor	operative time (OT) adjusted operative time (AOT) composite factor (CF)	OT: 23 AOT:19 CF:22

Table 1: Published series on learning curve of robot-assisted laparoscopic pyeloplasty for ureteropelvic junction obstruction in children

Our CUSUM chart showed 3 different LC depending on the outcome selected. The differences between the CUSUM_{OT} and the CUSUM_{AOT} demonstrated that the OT is a complex endpoint that varies depending on multiple factors such as surgeon's skills, assistant's skills and patient complexity (8). Some authors focused on console time to better capture the surgeon's growth and improvement (25). We couldn't analyze console time since this data was missing in the medical record of all the patients. However, console time can be affected by confounding factors such as patient complexity or the bed-side first assistant level (26). In our study, the latter was constant since it was always one of the two senior surgeons dedicated to robotic surgery (in a two attending approach). The residents were second assistants.

When we compare the CUSUM_{AOT} and the CUSUM_{COMPOSITE} charts, the LC depending on the AOT showed that mastery phase was achieved, whereas the LC depending on composite factor demonstrated that more than 39 cases are needed to achieve the highest skills. The surgical success of a reconstructive procedure such as RALP should not be confined to achieving acceptable operative times since speed does not equate to proficiency as our CUSUM analysis attempted to elucidate, but should refer to other important parameters for patient care. We think that the composite factor is the endpoint that best represents the surgical success of RALP as a whole.

Limitations:

Yet, our study has some limitations. CUSUM analysis continues to be used in LC assessment but the limitation remains that the investigator has to determine the acceptable failure rate for the outcome that is being studied. In our study, an agreed upon failure rate has been established by consensus between all the surgeons of our department. This may obviously

decreases the external validity and the generalizability of our results. Also, as two surgeons were involved in all the cases reported (in a two attending approach), it is particularly difficult to ascertain an individual surgeon's learning curve. Consequently, this LC represents that of a 'group' of surgeons performing RALP in similar fashion. Even if they both have the same experience in laparoscopy and no experience in robotic surgery, there is an inherent part of proficiency for every surgeon.

Nevertheless, the present study is the first to assess the learning curve using a multidimensional approach for RALP, accounting for confounding factors related to patient complexity and represents one of the largest series of pediatric RALP in the literature that analyses LC. In our initial robotic experience we attempted several complex cases such as those expected to have adhesions from prior surgeries, pretested cases, or increase the extent of certain procedures such as adhesiolysis, lithiasis extraction, endoscopy; which minimize case selection bias. Indeed, there is a natural tendency to progress from selected to unselected patients, and to cases of increasing complexity as overall confidence and proficiency builds towards the tail end of the LC (6).

Conclusion

The LC is difficult to approach objectively, because of the lack of standardized outcome reporting. By combining multiple parameters, we gave an objective analysis of the learning process in RALP. Although it seems that we have attained mastery in operative time, achieving mastery of a pediatric reconstructive procedure likely takes far more than the 41 cases that we evaluated.

Références :

1. Valla JS, Breaud J, Griffin SJ, Sautot-Vial N, Beretta F, Guana R, et al. Retroperitoneoscopic vs open dismembered pyeloplasty for ureteropelvic junction obstruction in children. *J Pediatr Urol*. 2009 Oct;5(5):368–73.
2. Monn MF, Bahler CD, Schneider EB, Whittam BM, Misseri R, Rink RC, et al. Trends in robot-assisted laparoscopic pyeloplasty in pediatric patients. *Urology*. 2013 Jun;81(6):1336–41.
3. Liu DB, Ellimoottil C, Flum AS, Casey JT, Gong EM. Contemporary national comparison of open, laparoscopic, and robotic-assisted laparoscopic pediatric pyeloplasty. *J Pediatr Urol*. 2014 Aug;10(4):610–5.
4. Park S-S, Kim M-C, Park MS, Hyung WJ. Rapid adaptation of robotic gastrectomy for gastric cancer by experienced laparoscopic surgeons. *Surg Endosc*. 2012 Jan;26(1):60–7.
5. Ficarra V, Iannetti A, Vianello F, Mottrie A. Different pyeloplasty approaches, similar excellent results. *Eur Urol*. 2014 Feb;65(2):453–4.
6. Sorensen MD, Delostrinos C, Johnson MH, Grady RW, Lendvay TS. Comparison of the learning curve and outcomes of robotic assisted pediatric pyeloplasty. *J Urol*. 2011 Jun;185(6 Suppl):2517–22.
7. Khan N, Abboudi H, Khan MS, Dasgupta P, Ahmed K. Measuring the surgical “learning curve”: methods, variables and competency. *BJU Int*. 2014 Mar;113(3):504–8.
8. Sudan R, Bennett KM, Jacobs DO, Sudan DL. Multifactorial analysis of the learning curve for robot-assisted laparoscopic biliopancreatic diversion with duodenal switch. *Ann Surg*. 2012 May;255(5):940–5.

9. Tasian GE, Wiebe DJ, Casale P. Learning curve of robotic assisted pyeloplasty for pediatric urology fellows. *J Urol*. 2013 Oct;190(4 Suppl):1622–6.
10. Dindo D, Demartines N, Clavien P-A. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg*. 2004 Aug;240(2):205–13.
11. Bokhari MB, Patel CB, Ramos-Valadez DI, Ragupathi M, Haas EM. Learning curve for robotic-assisted laparoscopic colorectal surgery. *Surg Endosc*. 2011 Mar;25(3):855–60.
12. Cundy TP, Gattas NE, White AD, Najmaldin AS. Learning curve evaluation using cumulative summation analysis-a clinical example of pediatric robot-assisted laparoscopic pyeloplasty. *J Pediatr Surg*. 2015 Aug;50(8):1368–73.
13. Biau DJ, Resche-Rigon M, Godiris-Petit G, Nizard RS, Porcher R. Quality control of surgical and interventional procedures: a review of the CUSUM. *Qual Saf Health Care*. 2007 Jun;16(3):203–7.
14. Van Rij AM, McDonald JR, Pettigrew RA, Putterill MJ, Reddy CK, Wright JJ. Cusum as an aid to early assessment of the surgical trainee. *Br J Surg*. 1995 Nov;82(11):1500–3.
15. Montgomery DC. *Introduction to Statistical Quality Control*. 6 edition. Hoboken, N.J: Wiley; 2008. 752 p.
16. Mackenzie H, Miskovic D, Ni M, Parvaiz A, Acheson AG, Jenkins JT, et al. Clinical and educational proficiency gain of supervised laparoscopic colorectal surgical trainees. *Surg Endosc*. 2013 Aug;27(8):2704–11.
17. Ekin RG, Celik O, Ilbey YO. An up-to-date overview of minimally invasive treatment methods in ureteropelvic junction obstruction. *Cent European J Urol*. 2015;68(2):245–51.

18. Kane TD, Brown MF, Chen MK, Members of the APSA New Technology Committee. Position paper on laparoscopic antireflux operations in infants and children for gastroesophageal reflux disease. American Pediatric Surgery Association. J Pediatr Surg. 2009 May;44(5):1034–40.
19. Lee RS, Retik AB, Borer JG, Peters CA. Pediatric robot assisted laparoscopic dismembered pyeloplasty: comparison with a cohort of open surgery. J Urol. 2006 Feb;175(2):683–687; discussion 687.
20. Atug F, Woods M, Burgess SV, Castle EP, Thomas R. Robotic assisted laparoscopic pyeloplasty in children. J Urol. 2005 Oct;174(4 Pt 1):1440–2.
21. Harrysson IJ, Cook J, Sirimanna P, Feldman LS, Darzi A, Aggarwal R. Systematic review of learning curves for minimally invasive abdominal surgery: a review of the methodology of data collection, depiction of outcomes, and statistical analysis. Ann Surg. 2014 Jul;260(1):37–45.
22. Reinhardt S, Ifaoui IB, Thorup J. Robotic surgery start-up with a fellow as the console surgeon. Scand J Urol. 2017 Aug;51(4):335–8.
23. Wohl H. The cusum plot: its utility in the analysis of clinical data. N Engl J Med. 1977 May 5;296(18):1044–5.
24. Noyez L. Cumulative Sum Analysis: A Simple And Practical Tool For Monitoring And Auditing Clinical Performance. Health Care : Current Reviews. 2013 Dec 30;2(1):1–3.
25. Oviedo RJ, Robertson JC, Alrajhi S. First 101 Robotic General Surgery Cases in a Community Hospital. JSLS. 2016 Jul ;20(3): e2016.00056.

26. Renaud M, Reibel N, Zarnegar R, Germain A, Quilliot D, Ayav A, et al. Multifactorial analysis of the learning curve for totally robotic Roux-en-Y gastric bypass for morbid obesity. *Obes Surg*. 2013 Nov;23(11):1753–60.

Chapitre III

Comment améliorer la courbe d'apprentissage ?

La compréhension de la «courbe d'apprentissage» permet d'améliorer la formation en réduisant sa durée et son coût. Comme avec l'introduction de toute nouvelle technologie chirurgicale, un programme de formation structuré doit être développé pour assurer de meilleurs résultats chirurgicaux et la sécurité des patients, dans la mesure où ces derniers ne doivent pas être compromis pendant le processus d'apprentissage. En effet, l'utilisation d'un robot nécessite pour tous les chirurgiens, quelque soit leur expérience clinique, de se familiariser avec l'utilisation technique de la console du robot. L'acquisition de connaissances techniques de base est un préalable nécessaire avant de développer des habiletés techniques procédurales. À ce jour, il n'existe aucun programme de formation validé pour la chirurgie robotique.

1). MODALITÉS DE FORMATION (1–3)

L'évolution actuelle se fait vers une pratique première de la chirurgie dans le monde virtuel des simulateurs (phase préclinique) suivie par une phase de *bedside-assisting*, puis une phase de *proctoring* et enfin une phase de *mentoring* à la console.

=> La phase préclinique est une phase de compréhension de la technologie du robot, d'apprentissage des solutions de dépannage en cas de dysfonction du dispositif, et d'acquisition des compétences techniques de base grâce à des modèles de simulation inanimés ou virtuel. C'est une phase de formation didactique et technique, adaptée aux compétences initiales du chirurgien

apprenant.

=> La phase bedside-assisting = aide opératoire, est une phase d'observation de cas réels en salle d'opération.

=> La phase proctoring = encadrement, permet à l'apprenant d'assister le chirurgien mentor, en ce qui concerne l'installation, le placement des trocars, le docking, les éventuelles complications et leur prise en charge ainsi que les différentes étapes de la procédure. Selon Du Pouget et al., l'implication précoce d'un chirurgien junior n'ayant pas suivi d'entraînement spécifique, mais bénéficiant de l'encadrement d'un chirurgien senior, ne compromettrait pas les résultats observés tout en permettant une courbe d'apprentissage plus rapide avec un taux de complications opératoires proche de celui observé par un binôme sénior (4).

=> La phase mentoring à la console, permet à l'apprenant de commencer à exécuter des séquences de la procédure avec un intérêt particulier de la double-console pour la collaboration apprenant-mentor (2,5). Idéalement, l'opération est divisée en plusieurs étapes de difficulté croissante : il s'agit du concept «*stepwise learning*» (3).

2). STEPWISE LEARNING

Le principe est que la procédure est divisée en différentes étapes, qui sont réalisées à plusieurs reprises jusqu'à ce que l'opérateur soit compétent. En précisant la difficulté relative de chaque séquence et en définissant un ordre séquentiel de formation, cela permet l'apprentissage séquentiel, suivant la complexité plutôt que l'ordre linéaire de la procédure chirurgicale. Une fois que l'apprenant est « compétent » dans toutes les étapes et peut les effectuer en temps opportun, ils peuvent être mis en place et toute la procédure peut être complétée.

Ce concept a été appliquée en urologie pour la prostatectomie radicale robot-assistée (PRRA) (6,7) et en chirurgie digestive pour la pancréatectomie distale (8). Selon la performance initiale du chirurgien apprenant, *l'apprentissage par étape* ou *stepwise learning*, permet d'accélérer considérablement le processus d'apprentissage et la maîtrise des étapes clés d'une procédure peut être atteinte sans compromettre les résultats oncologiques ou fonctionnels et avec une durée opératoire appropriée (4). Cela permet aussi l'initiation des jeunes internes à la chirurgie robotique tout en maintenant la sécurité du patient. Cependant, il est important de préciser la difficulté relative de chaque étape et de définir un ordre séquentiel de formation de difficulté progressivement croissante (9,10)

Ce concept de formation implique une supervision appropriée, une responsabilisation progressive, ainsi qu'un débriefing en temps réel permettant d'optimiser l'apprentissage. Un examen pour tester l'acquisition des objectifs de chaque phase peut être utile avant de passer à la phase suivante, et ce, en déterminant des critères d'évaluation objectifs de la performance (2).

3). COMMENT ÉVALUER LA PERFORMANCE ?

La performance peut être évaluée en utilisant des scores d'évaluation objectifs.

- GEARS Global Evaluative Assessment of Robotic Skill score (11,12)

Cet outil d'évaluation standardisé présente une excellente cohérence, fiabilité et validité selon Goh et al. (12), dans la mesure où il est capable de différencier les niveaux d'expertise chirurgicale robotique. C'est une méthode objective validée pour la performance robotique intra-opératoire.

Dans l'étude de Valdis et al. (11), l'outil de notation de GEARS s'est avéré être un meilleur indicateur de la compétence robotique globale par rapport aux systèmes de notation basés sur le temps. Ce n'est pas spécifique à une procédure chirurgicale robotique particulière, mais tient compte de l'efficacité globale de la chirurgie robotique. De plus, GEARS tient compte de la perception de profondeur, la dextérité bimanuelle, la sensibilité à la force, l'autonomie et le contrôle robotique, ce qui en fait un outil d'évaluation beaucoup plus robuste que les systèmes de notation basés sur le temps.

De même, pour l'évaluation des compétences non techniques, différentes échelles de notation existent telles que le Non-Technical Skills for Surgeons (NOTSS) rating system, the Observational Teamwork Assessment for Surgery (OTAS) scale and the Non-Technical Skills (NOTECHS) scale évaluant la communication, le travail en équipe, la vigilance, la prise de décision, la coopération et l'attitude face aux situations imprévisible (13).

En conclusion, selon les données de la littérature (2,14,15), il faut établir un plan de formation :

1). Lister les compétences spécifiques à la chirurgie robotique :

la conférence de consensus « Fundamentals of Robotic Surgery » (plus de 24 experts internationaux en chirurgie robotique) a pour cela défini les 25 items de formation fondamentaux, mais la liste sera personnalisée selon l'expérience antérieure du chirurgien (16) ([Annexe 3](#)).

2). Choisir les outils de formation précliniques (cours théoriques, exercices inanimés, entraînements sur tissus, animal et/ou cadavre et simulation virtuelle) et cliniques (observation, aide opératoire, compagnonnage).

3). Standardiser les outils d'évaluation et la certification des professionnels de santé : de nombreux outils existent : GEARS, check-lists, évaluation automatisée sur simulateur, analyse des mouvements, analyse des données du robot, ...

Le but étant d'organiser un programme de formation, personnalisé selon les objectifs et les moyens financiers de chaque équipe chirurgicale, faisant appel à plusieurs modalités et incluant des évaluations standardisées, et ce, afin d'introduire cette nouvelle technologie en toute sécurité au bloc opératoire.

Références :

1. Guzzo TJ, Gonzalgo ML. Robotic surgical training of the urologic oncologist. *Urol Oncol*. 2009 Apr;27(2):214–7.
2. Schreuder HWR, Wolswijk R, Zweemer RP, Schijven MP, Verheijen RHM. Training and learning robotic surgery, time for a more structured approach: a systematic review. *BJOG Int J Obstet Gynaecol*. 2012 Jan;119(2):137–49.
3. Bach C, Miernik A, Schönthaler M. Training in robotics: The learning curve and contemporary concepts in training. *Arab J Urol*. 2014 Mar;12(1):58–61.
4. Masson E. Intérêt du compagnonnage chirurgical durant la période d'apprentissage de la prostatectomie radicale robot-assistée [Internet]. EM-Consulte. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <http://www.em-consulte.com/article/1105322/interet-du-compagnonnage-chirurgical-durant-la-per>
5. Bachmann R, Léonard D, Abbes Orabi N, Remue C, Kartheuser A. Innovations en Chirurgie colorectale. Que retenir de 2015? *Louvain Méd*. 2016;135:65.
6. Detailed analysis of operating time learning curves in robotic prostatectomy by a novice surgeon. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22035342>
7. Menon M, Tewari A, Peabody J. Vattikuti Institute Prostatectomy: Technique. *J Urol*. 2003 Jun 1;169(6):2289–92.
8. Napoli N, Kauffmann EF, Perrone VG, Miccoli M, Brozzetti S, Boggi U. The learning curve in robotic distal pancreatectomy. *Updat Surg*. 2015 Sep;67(3):257–64.

9. Establishing a robotic prostatectomy programme: The impact of mentoring using a structured approach. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16686699>
10. Orvieto MA, Large M, Gundeti MS. Robotic paediatric urology. *BJU Int*. 2012 Jul 1;110(1):2–13.
11. Valdis M, Chu MWA, Schlachta C, Kiaii B. Evaluation of robotic cardiac surgery simulation training: A randomized controlled trial. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2016 Jun;151(6):1498–1505.e2.
12. 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 Jan;187(1):247–52.
13. Surgeons' non-technical skills. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22269259>
14. Perrenot C, Perez M. Les outils d'apprentissage en chirurgie robotique. *Oncologie*. 2016 May 1;18(5):277–86.
15. Fisher RA, Dasgupta P, Mottrie A, Volpe A, Khan MS, Challacombe B, et al. An over-view of robot assisted surgery curricula and the status of their validation. *Int J Surg Lond Engl*. 2015 Jan;13:115–23.
16. Fundamentals of Robotic Surgery – Consensus Conference 1: Outcomes Measures [Internet]. [cited 2018 Feb 17]. Available from: <http://frsurgery.org/curriculum-development/consensus-conference-1-outcomes-measures/>

Conclusion

La chirurgie robotique s'intègre dans une évolution naturelle et logique de la chirurgie mini-invasive. Cependant, elle est confrontée à des contraintes liées à la nécessité d'un apprentissage spécifique. En effet, la formation en chirurgie robotique est confrontée à des difficultés d'accès, d'encadrement, de disponibilité matérielle, d'opinions publiques, de survenues d'effets indésirables graves liés au robot... Pour faire face à tous ces enjeux, il convient de diminuer la « courbe d'apprentissage » sur le patient et certifier les compétences du chirurgien et de toute l'équipe utilisatrice du robot grâce à des programmes de formations structurés, multimodaux et adaptés aux chirurgiens.

Beaucoup d'études se sont intéressées au coût du robot et de sa maintenance, de plus en plus d'études évaluent la courbe d'apprentissage liée au robot, mais qu'en est-il du coût de cette courbe d'apprentissage ?

Annexes

Annexe 1

Types de simulation *:

Simulation	Avantages	Inconvénients	Meilleures indications
Pelvitainer (Dry lab)	Peu onéreux Réutilisable Peu risqué	Faible réalisme Faible validité externe Tâches de base seulement	Compétences de base
Réalité virtuelle	Réutilisable Capture de données Evaluation objective	Coût Maintenance	Compétences de base Aptitudes procédurales
Modèle animal (wet lab)	Réalisme	Coût Problèmes éthiques Usage unique Différences anatomiques	Dissection Procédure entière
Cadavre humain (wet lab)	Réalisme important Anatomie vraie	Coût Disponibilité	Dissection Procédure

*Reznick RK, MacRae H. Teaching surgical skills – changes in the wind. *N Engl J Med* 2006;355:2662-9.

Annexe 2

Interphase comparisons of intraoperative parameters and short/long-term outcomes

	Phase 1 and 2 n = 21	Phase 3 n = 18	Phases 1 and 2 vs Phase 3 (p-value)
Operative time (min) Mean \pm SD	238.2 \pm 53	156.2 \pm 64	0.0001
Length of stay (days) Mean \pm SD	5.4 \pm 4.1	2.7 \pm 2.5	0.0076
Time to no need for analgesic (days) Mean \pm SD	2.1 \pm 0.9	1.6 \pm 1.5	0.039
Complications*	4 (19)	3 (17)	NS
Success*	20 (95)	17(94)	NS

* Data are expressed as number (percentage) of patients

SD : standard deviation

NS : not significant

**Liste des taches et des erreurs à mesurer, définies lors de la conférence de
consensus « Fundamentals of Robotic Surgery »^{1,2}**

Situation Awareness

Eye-Hand Instrument Coordination

Needle Driving

Atraumatic Handling

Safety of Operative Field

Camera

Clutching

Dissection-Fine & Blunt

Closed Loop Communication

Docking

Knot Tying

Instrument Exchange

Suture Handling

Energy Sources

Cutting

Foreign Body Management

Ergonomic Position

Wrist Articulation

Robotic Trocars

System Setting

Multi-Arm Control

Operating Room Set-Up

Respond to Robot System Error

Undocking

Transition to Bedside Assist

Les 25 items sont divisés en 3 sections : pre-, per-, et post-opératoires.

Pre-operative	Intra-operative		Post-operative
System settings	Energy sources	Eye-hand instrument coordination	Transition to bedside assistant
Docking	Clutching	Atraumatic tissue handling	Undocking
Ergonomic positioning	Camera control	Cutting	
Robotic trocars	Instrument exchange	Fine & blunt dissection	
OR set-up	Foreign body management	Needle Driving	
Closed loop comms	Multi-arm control	Suture handling	
Situation awareness	Wrist articulation	Safety of operative field	
Respond to system errors	Knot tying		

¹ R.M. Satava, R. Smith, V. Patel, Fundamentals of Robotic Surgery: Outcomes Measures and Curriculum Development, SLS 2012; Boston, MA, 2012.

² R.M. Satava, R. Smith, V. Patel (Eds.), Fundamentals of Robotic Surgery: Summary of the Ongoing Project, Society of Laparoendoscopic Surgeons Annual Meeting, 2012. Boston.

Vu, le Directeur de Thèse

Vu, le Doyen
De la Faculté de Médecine de
Tours
Tours, le

KASSITE ALUALIDI Ibtissam

131 pages – 8 tableaux – 6 figures – 7 graphiques – 9 images.

Résumé :

La chirurgie robotique s'inscrit dans le cadre d'une révolution chirurgicale dont le point de rupture est l'avènement de la chirurgie coelioscopique. Cependant, elle nécessite un apprentissage spécifique et ne peut pas se concevoir comme une simple transposition de la cœlioscopie. Notre travail a pour but de décrire « l'état de l'art » de la formation en chirurgie robotique en 2017.

La première partie de ce travail retrace l'histoire de la chirurgie mini-invasive et du robot chirurgical. Elle décrits les différents outils participant à l'apprentissage en chirurgie robotique et à l'acquisition des compétences techniques et non techniques, puis elle souligne les difficultés de la formation en chirurgie robotique.

La deuxième partie est dédiée au concept de la « courbe d'apprentissage », concept initialement développé dans l'industrie, et son application de plus en plus répandue dans le domaine de l'apprentissage en chirurgie robotique. Pour cela, une revue systématique de la littérature est réalisée afin de souligner la variété et l'hétérogénéité de ce concept et des indicateurs de performances décrits dans la littérature. Par la suite, la courbe d'apprentissage de la procédure la plus développée en chirurgie pédiatrique : la pyéloplastie robot assistée dans le cadre du syndrome de la jonction pyélo-urétérale, est définie en évaluant un indicateur de performance « composite ».

Enfin la troisième partie rapporte les possibilités d'améliorer cette courbe d'apprentissage en chirurgie robotique notamment en développant des programmes de formation structurés.

Mots clés : chirurgie robotique, courbe d'apprentissage, formation.

Jury :

Président du Jury :	Professeur Hubert LARDY
Directeur de thèse :	Docteur Aurélien BINET
Membres du Jury :	Professeur Théodora BEJAN-ANGOULVANT
	Professeur Franck BRUYERE
	Professeur Laurent FOURCADE

Date de soutenance : 16 avril 2018