UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Archive ouverte UNIGE
https://archive-ouverte.unige.ch

Thèse 2022

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Essor de la chirurgie robotique en Gynécologie et exemple d'application en chirurgie du prolapsus génital

Shabanov, Stas

How to cite

SHABANOV, Stas. Essor de la chirurgie robotique en Gynécologie et exemple d'application en chirurgie du prolapsus génital. Doctoral Thesis, 2022. doi: 10.13097/archive-ouverte/unige:161616

This publication URL: https://archive-ouverte.unige.ch/unige:161616
Publication DOI: 10.13097/archive-ouverte/unige:161616

© This document is protected by copyright. Please refer to copyright holder(s) for terms of use.

Section de *médecine Clinique*

Département Gynécologie-Obstétrique

Service de Gynécologie

Thèse préparée sous la direction du Pr Patrick Dällenbach

"Essor de la chirurgie robotique en Gynécologie et exemple d'application en chirurgie du prolapsus génital"

Thèse

présentée à la Faculté de Médecine
de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de Docteur en Médecine
par

Stas SHABANOV

de

France

Thèse n° _____

Genève
2021

Dällenbach P, Alec M, Boulvain M, Shabanov S. Outcomes of robotically assisted laparoscopic lateral suspension (RALLS) with mesh for anterior and apical prolapse. J Robot Surg. 5 avr 2021

REMERCIEMENTS

Je remercie chaleureusement mon directeur de thèse, le Professeur Patrick Dällenbach, pour m'avoir guidé dans la réalisation de ce projet, de la conception de l'étude à la rédaction de cette thèse. Merci pour votre rigueur et vos conseils avisés.

Je remercie également mon co-directeur de thèse, le Professeur Patrick Petignat pour m'avoir soutenu dans ce projet comme dans les précédents et j'espère ceux à venir.

Je remercie enfin la Dre Milena Alec et le Pr Michel Boulvain pour cette belle collaboration qui a permis de mener à bien et de publier cette étude.

Je souhaiterais également remercier toutes les personnes dont le soutien m'a été précieux tout au long de ce travail :

- Toute l'équipe de la maternité des HUG pour la formation de qualité que j'ai reçue et leur volonté d'encourager la recherche et l'enseignement dès le début de l'internat.

- Tous mes collègues de la maternité d'Yverdon et en particulier le Dr Philippe Brossard. Merci d'avoir cru en moi, merci pour votre confiance au quotidien et votre enseignement chirurgical me permettant de progresser de jour en jour.

- Merci à ma famille et mes proches pour leur soutien depuis toujours et à chaque étape de ma carrière. Merci à ma mère et à ma marraine pour m'avoir permis d'exercer le plus beau métier au monde ; à mon frère pour m'avoir montré la voie ; à ma compagne Antonia pour son soutien et la relecture et enfin à mes amis et collègues de médecine de toujours, Paul-Henri et Marco.

A mon père … parti beaucoup trop tôt.

TABLES DES MATIERES

Résumé.....6

I Introduction.....7

II Essor de la chirurgie robotique laparoscopique.....10
1- La naissance de l'endoscope.....10
2- L'avènement de la cœlioscopie.....12
3- Le développement de la médecine robotique.....14
4- Les systèmes robotiques utilisés de nos jours.....15
5- Les domaines d'utilisation de la chirurgie robotique laparoscopique.....22
5.1- Utilisation en chirurgie viscérale.....22
5.2- Utilisation en urologie.....23
5.3- Utilisation en gynécologie.....23

III Exemple d'application de la chirurgie robotique en chirurgie du prolapsus génital.....25
1- Définition et prévalence du prolapsus génital.....25
2- Prise en charge du prolapsus génital.....28
2.1- Prise en charge conservatrice.....28
2.2- Prise en charge chirurgicale.....28

IV Revue de la littérature sur la prise en charge des prolapsus génitaux par voie haute et présentation de l'étude.....30
1- Introduction.....30
2- Matériels et méthodes.....31
3- Résultats.....31
4- Conclusion.....36
5- Présentation de l'étude.....36

V Étude originale: Outcomes of robotically assisted laparoscopic lateral suspension (RALLS) with mesh for anterior and apical prolapse.....39

VI Discussion et perspectives.....47

Bibliographie.....50

RESUMÉ

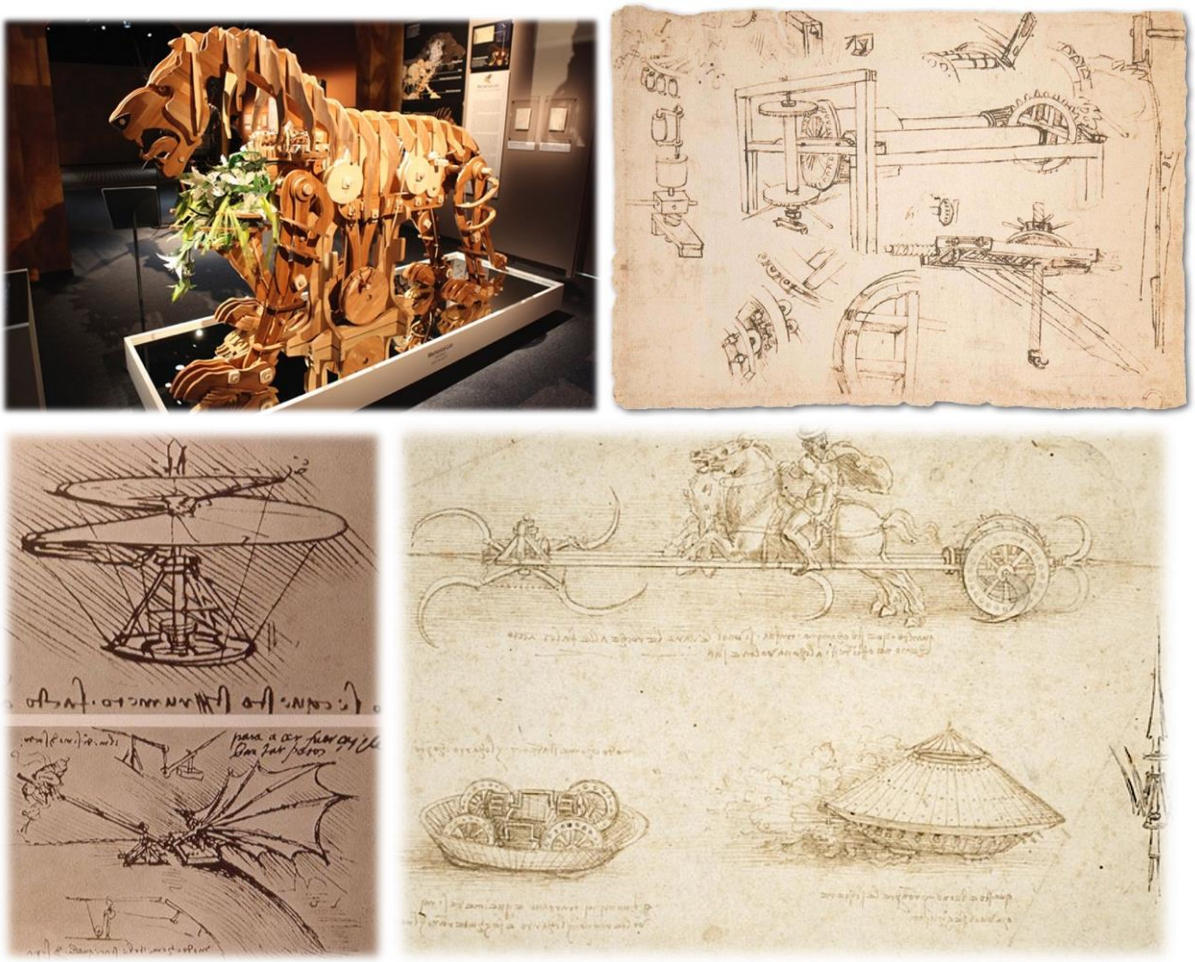
La robotique moderne n'a que quelques dizaines d'années mais a d'ores et déjà atteint des performances allant au-delà des limites des capacités humaines. La robotique progresse chaque jour à tel point que son application aujourd'hui paraît sans limites. Elle représente une avancée majeure indiscutable dans tous les domaines dont elle fait partie et notamment en médecine et plus particulièrement en chirurgie.

L'objectif de ce travail est de décrire les étapes du développement du robot chirurgical, de faire le point sur les différents systèmes robotiques utilisés actuellement en chirurgie et plus particulièrement en gynécologie et d'illustrer à travers une étude d'une série de cas qu'elle peut être utilisée de manière sûre et efficace dans la prise en charge d'un prolapsus du compartiment antérieur et moyen.

La promontofixation est le gold standard dans la prise en charge du prolapsus des compartiments antérieur et moyen. Cependant, la dissection du promontoire expose à de potentielles complications pouvant mettre en jeu le pronostic vital. Afin d'éviter ce risque, la suspension latérale prothétique représente une technique alternative. L'assistance robotique peut être utile dans les deux techniques. L'objectif de l'étude présentée dans cette thèse est d'évaluer les résultats de suspension latérale prothétique robot-assistée pour le prolapsus des compartiments antérieur et moyen.
Entre mars 2012 et janvier 2018, 59 patientes consécutives ont bénéficié de suspension latérale prothétique robot-assistée avec l'utilisation d'une prothèse en polypropylène titanisé. Entre août 2017 et septembre 2019 toutes les patientes ont été contactées pour l'évaluation des résultats. Nous avons réalisé un examen clinique et demandé aux patientes de remplir un questionnaire de satisfaction globale PGI-I (Patient Global Impression of Improvement).
Cinquante-quatre patientes (91.5%) se sont rendues disponibles pour le suivi. L'âge moyen était de 58.5 ans (28.8–79.8). Aucune complication peropératoire n'a été relevée. Le suivi moyen était de 33.6 mois (11.2–74.1). Le taux objectif (défini par l'absence de prolapsus au-delà de l'hymen) et subjectif (PGI-I ≤ 2) de guérison étaient respectivement de 83.3% et 77.2%. Cinq femmes (9.3%) ont été réopérées pour une récidive de prolapsus. Il n'y a pas eu d'érosion du matériel prothétique. Parmi les 20 patientes présentant une incontinence urinaire d'effort en préopératoire, 12 (60%) ont été guéries sans prise en charge complémentaire. Seulement 2 femmes (10%) ont nécessité la pose d'une TVT pour une incontinence urinaire d'effort de stade 2 persistante. Deux femmes (5.9%) ont développé une incontinence urinaire d'effort de novo, mais aucune n'a nécessité de prise en charge chirurgicale complémentaire.
La suspension latérale prothétique robot-assistée pour le prolapsus représente une alternative sûre et efficace à la promontofixation.

I INTRODUCTION

L'étude détaillée de l'anatomie du corps d'un être vivant, faisant suite aux dissections de cadavres, poussa l'homme à tenter de reproduire os et articulations par des barres et des poulies dans le seul but d'imiter de manière primitive quelques mouvements simples dont l'être vivant était doté. C'est la naissance des automates. Comment ne pas citer Léonard de Vinci, qui au XVIe siècle, inspiré par ses études anatomiques, aurait construit un lion automatique grandeur nature capable de coordonner les mouvements de ses membres et même de ses mâchoires.
D'autres automates, dessinés par Da Vinci, permettait de soulever et transporter les charges lourdes, de braver les lois de la pesanteur et d'être invincible sur un champ de bataille.



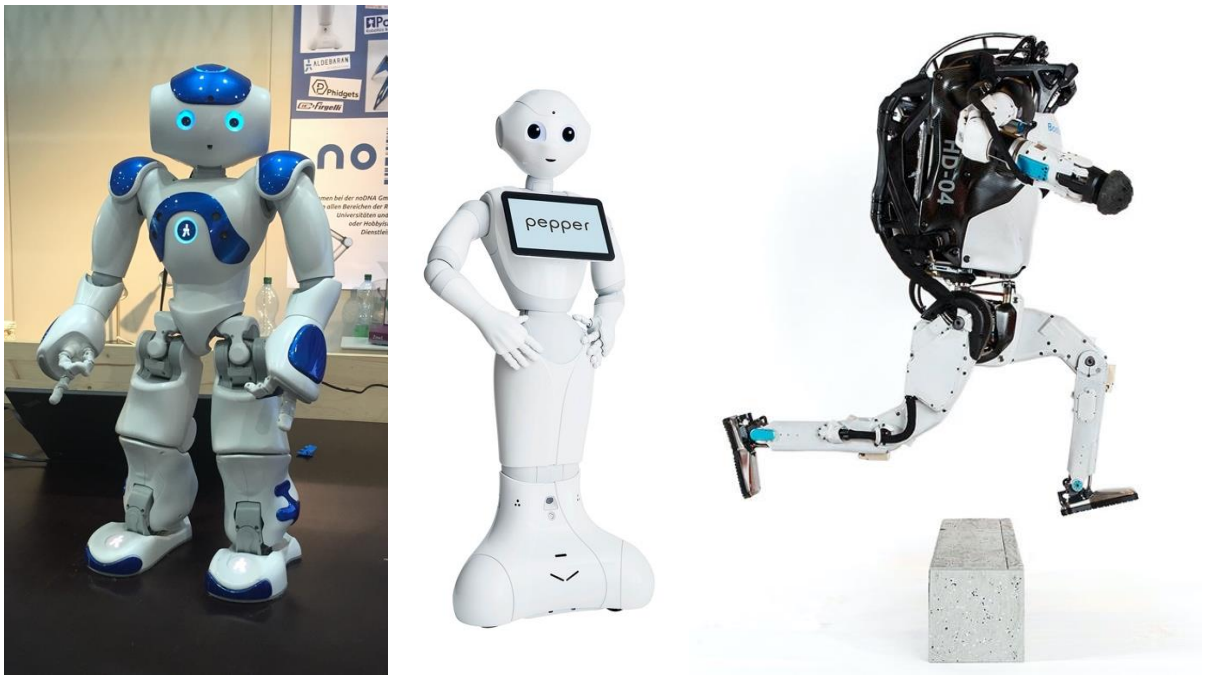
Schémas des machines de Léonard Da Vinci rassemblés au sein du *Codex Atlanticus* et la maquette du lion automatique.

L'âge d'or des automates est sans doute le XVIIIe siècle qui marque le début de la révolution industrielle. La mécanisation commence dans les entreprises, avec le désir des patrons d'augmenter la productivité des employés en rendant certaines taches pénibles plus simples de réalisation grâce aux automates. Cette recherche d'efficacité sera le moteur principal du boom de l'innovation technologique du XIXe et XXe siècles.
Les automates - du grec *automatos*, qui se meut de soi-même - sont des machines qui, au moyen de dispositifs mécaniques, pneumatiques, hydrauliques, électriques ou électroniques, sont capables d'actes imitant ceux des corps animés en obéissent à un programme préétabli.

Les robots, en revanche, ont des organes sensoriels (capteurs), recueillant des informations de l'environnement qui vont influencer l'activité de leurs organes moteurs (les actionneurs). Un robot est un dispositif mécatronique (alliant mécanique, électronique et informatique) conçu pour accomplir automatiquement des tâches imitant ou reproduisant, dans un domaine précis, des actions humaines. Il est capable d'adapter son comportement à l'environnement.

Le terme Robot apparait pour la première fois en 1920, inventé par l'auteur de science-fiction tchèque Karel Čapek. Il s'agit d'un terme dérivé du mot tchèque « Robota » signifiant travail, corvée. L'industrie automobile est la première à employer les robots à grande échelle. Ceux-ci permettent la réalisation des tâches répétitives, difficiles ou dangereuses pour l'homme telles que la soudure ou la peinture.

Les robots peuvent avoir différentes formes tels qu'un bras robotique, un rover, un drone… ou bien avoir une forme humanoïde. Ceux-ci sont développés à des fins très diverses allant de l'accueil du public dans des magasins, les hôtels ou les hôpitaux (tel que le robot Pepper de SoftBank Robotics), l'éducation (tel que le robot Nao développé par Aldebaran Robotics) jusqu'à l'usage militaire (développement du robot Atlas par Boston Dynamics).



Nao, Pepper et Atlas

De nos jours, les robots concernent de plus en plus de domaines tels que l'industrie, l'aviation (drones…), l'exploration spatiale (bras robotisés sur les stations spatiales, rovers, sondes d'exploration…), l'armée (déminage, robot d'assaut…), la domestique (aspirateurs, tendeuses à gazon, accueil…), agriculture (robots de récolte) … sans oublier la médecine.

Les années 1980 marquent le début de l'ère robotique en médecine avec développement des premiers robots destinés à l'orthopédie et la neurochirurgie. Les robots dédiés à la laparoscopie sont directement inspirés de l'industrie de l'espace, avec l'utilisation de bras robotisés permettant la manipulation extrêmement précise des instruments et ouvrant le champ de la chirurgie mini-invasive aux espaces restreints et difficiles tels que le retro péritoine.

Les robots chirurgicaux actuels ne sont pas des robots au sens propre du terme, car certes ce sont des dispositifs mécatroniques ayant des capteurs et des actionneurs, mais ceux-ci sont sous contrôle permanent de l'opérateur qui est à l'origine de chaque geste effectué par le robot. Ainsi, la chirurgie actuelle n'est pas véritablement robotisée mais assistée par l'informatique. De ce fait on parle de *télémanipulateurs* dont le robot Da Vinci, le plus utilisé actuellement, fait partie. Avec le développement incessant de nouvelles technologies, on pourrait assister dans le futur à la mise en service de robots chirurgicaux autonomes dotés d'une intelligence artificielle, pouvant prendre en compte toute la complexité de l'anatomie et de la physiologie d'un être humain.

Mais avant qu'un robot puisse opérer de manière indépendante, les chirurgiens pourront bénéficier d'une assistance robotique semi autonome avec présentation des bons instruments au chirurgien au moment opportun, une exposition correcte en respectant la fragilité de chaque tissu, une manipulation autonome de la camera par un bras robotisé… L'intégration de l'imagerie pré opératoire et les connaissances anatomiques liées à l'intelligence artificielle pourront permettre aux robots de réaliser un guidage précis pour le chirurgien réalisant la dissection délicate d'une tumeur. Ceci aura un impact réel sur la qualité de la chirurgie oncologique en améliorant l'espérance de vie des patients.

La crise actuelle du coronavirus a mis en lumière toutes les possibilités et les avantages de l'utilisation des robots dans le domaine médical. Ainsi, au Japon, de nombreux patients atteints du Covid-19 ont été accueillis en première instance par des robots au sein des hôpitaux, limitant ainsi le risque de contamination pour le personnel soignant. Des chirurgies urgentes ont pu être réalisées par des laparoscopies robot-assistées sur des patients hautement contagieux grâce au système Da Vinci, permettant de réduire le nombre de personnes au contact direct du malade pendant une période prolongée (1).

La robotique moderne n'a que quelques dizaines d'années mais a d'ores et déjà atteint des performances allant au-delà des limites des capacités humaines. La robotique progresse chaque jour à tel point que son application aujourd'hui paraît sans limites. Elle représente une avancée majeure indiscutable dans tous les domaines dont elle fait partie et notamment en médecine et plus particulièrement en chirurgie.

Nous ne devons pas attendre pour participer à ce progrès, car attendre c'est prendre le risque d'être dépassé.

L'objectif de ce travail est de décrire les étapes du développement du robot chirurgical en cœlioscopie, de faire le point sur les différents systèmes robotiques utilisés actuellement en chirurgie viscérale et plus particulièrement en gynécologie et d'illustrer à travers une étude d'une série de cas qu'elle peut être utilisée de manière sûre et efficace dans la prise en charge d'un prolapsus du compartiment antérieur et moyen.

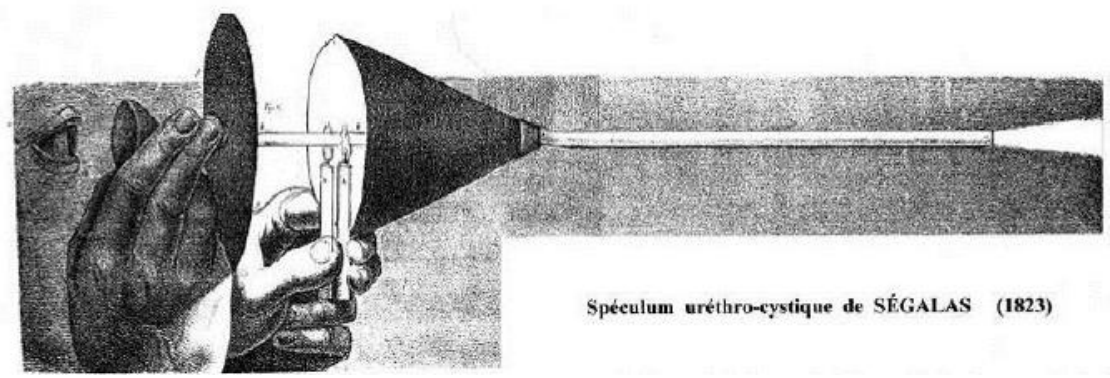
II ESSOR DE LA CHIRURGIE ROBOTIQUE LAPAROSCOPIQUE

1 LA NAISSANCE DE L'ENDOSCOPE

Bien que la volonté d'observer le corps humain de l'intérieur existe depuis les siècles, l'intégration de la laparoscopie en tant que technique chirurgicale est récente. Le terme "laparoscopie" vient des mots grecs *laparo* et *scopie* signifiant respectivement *"paroi"* et *"regarder"*. L'endoscope un outil permettant de regarder à l'intérieur d'une cavité inaccessible à l'œil (2).

On attribue aux médecins arabes du Xe siècle d'avoir observé pour la première fois le col utérin grâce aux premiers réflecteurs de lumière. Il faut attendre 1805 pour qu'un médecin allemand Philipp Bozzini puisse observer l'urètre d'un être humain grâce à son "*Lichtleiter"*. Cet appareil, constitué d'un miroir réfléchissant la lumière de bougie et d'un tube pouvant être introduit dans les cavités a permis à son inventeur de visualiser la vessie, les calculs urinaires mais aussi des tumeurs. Cependant Bozzini fut réprimandé pour son invention, considéré comme "un jouet"(3).

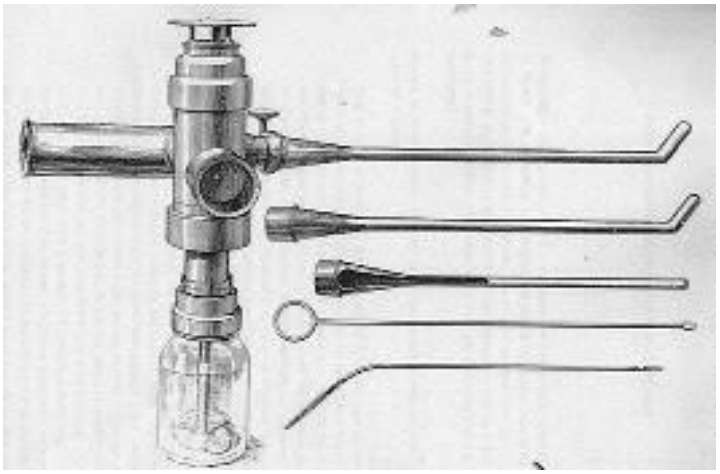
En 1826, Pierre Simon Ségalas a présenté à l'Académie des Sciences de Paris un spéculum urétro-cystique. Les 2 cylindres concentriques en argent et l'éclairage fourni par 2 bougies permettent d'améliorer la précision de la vision de l'opérateur.



Spéculum uréthro-cystique de SÉGALAS (1823)

(Source : http://histoire-medecine.univ-lyon1.fr)

C'est en 1853 qu'un chirurgien et urologue français Jean Desormaux inventa le premier endoscope fonctionnel. "*Cet instrument est construit de façon à porter la lumière au fond des cavités à travers une ouverture étroite et de permettre en même temps à la vue de distinguer les objets qui s'y trouvent. Il se compose d'une sonde de forme variable, que l'on introduit dans les organes; d'un tube qui se fixe sur cette sonde et renferme dans son intérieur un miroir métallique incliné à 45 degrés sur l'axe de l'instrument, de manière à réfléchir, à travers la sonde, la lumière fournie par une lampe placée sur le côté de l'appareil ; d'une petite lampe, dont la flamme placée au centre de courbure d'un réflecteur sphérique, envoie la lumière sur le miroir incliné; enfin d'une lentille placée entre le miroir et la lampe pour faire converger les rayons à l'extrémité de la sonde*" écrit-il dans le compte rendu des Séances de l'Académie des Sciences en 1855.



L'endoscope de Desormaux : le système d'éclairage constitué d'une lampe à pétrole permettant un éclairage constant. Plusieurs gaines droites ou coudées pouvaient y être montées avec possibilité d'introduction d'une lame coudée pour l'urétrotomie. Source : urofrance.org

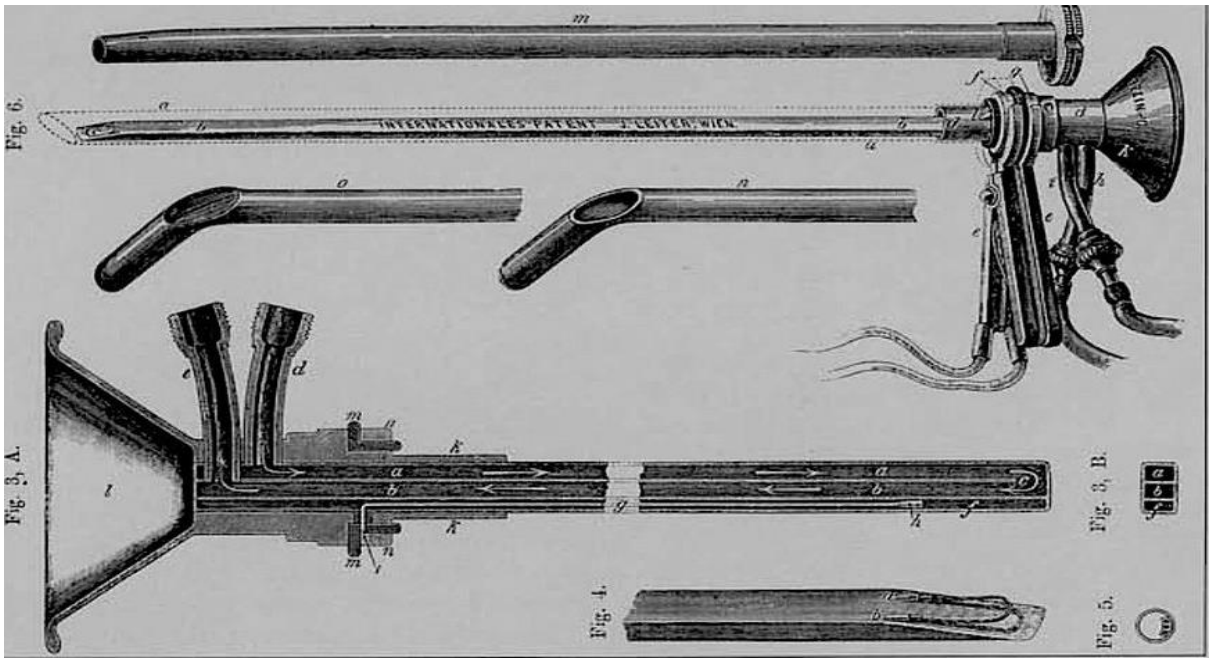
Bien que révolutionnaire, l'accueil de l'endoscope fut mitigé, considéré comme relevant de la recherche et des expérimentations extravagantes pouvant entraver la *"vraie"* chirurgie, *"celle qui saigne, celle qui tue"*.

Cependant cet instrument a permis à son inventeur de non seulement *"l'étude des maladies de l'urètre et de la vessie"* mais également d'explorer le col utérin, le rectum, le pharynx, les fosses nasales ainsi qu'un kyste ovarien fistulisé à la peau.

Le principal défaut de l'endoscope de Desormaux fut l'échauffement excessif de l'instrument en provenance de la source de la lumière avec risque important des blessures thermiques du patient et de l'opérateur.

La solution a été trouvée par un chirurgien de Dresde Maximilian Carl-Friedrich Nitze. Celui-ci a eu l'idée d'apporter la lumière directement au fond de la cavité. Étant donné que la seule source de lumière disponible à l'époque était un fil de platine incandescent, un système de refroidissement s'imposait pour éviter toute brûlure. C'est alors qu'en collaboration avec un fabricant de Vienne, Joseph Leiter, Nitze imagine un circuit de refroidissement par un courant d'eau froide. Il inventa également un nouveau système optique, constitué de 3 lentilles, idée entièrement nouvelle qui inaugure l'ère de l'endoscopie moderne en 1877.

L'invention de la lampe à incandescence par Thomas Edison en 1879 à largement contribué au développement de l'endoscopie, bien qu'il ait fallu attendre plusieurs années avant que celle-ci ne soient adaptées à l'endoscope de Nitze.

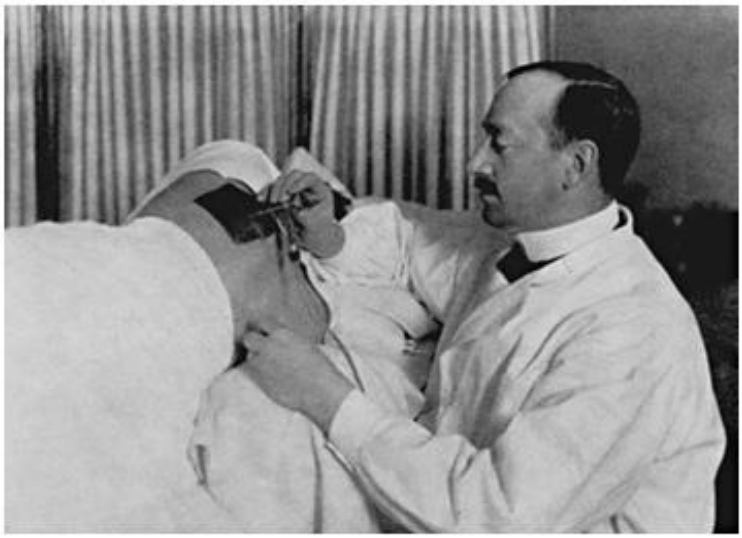


L'endoscope de Nitze (Source: researchgate.net)

2 L'AVÈNEMENT DE LA CŒLIOSCOPIE

C'est au début du XXe siècle et plus précisément en 1901 que la première laparoscopie a été réalisée. C'est un chirurgien allemand de Dresde, George Kelling qui explore la cavité péritonéale. Il nomme cette procédure la "*cœlioscopie*". Initialement pratiquée sur les chiens vivants, cette procédure consistait à insuffler la cavité péritonéale de l'animal par de l'oxygène filtré à travers du coton stérile puis à inspecter la cavité grâce à un cystoscope de Nitze.

Cette méthode fut appliquée à l'homme par Jacobeus en 1912 seulement d'abord dans le thorax puis dans l'abdomen. On parla alors de la "*laparoscopie*". Cependant ce mode n'a connu aucun succès à l'époque.



Jacobeus pratiquant une endoscopie
(source: researchgate.net)

Il faut attendre les années 1940 pour que l'intérêt de la laparoscopie soit révélé par Raoul Palmer. Ce chirurgien français, spécialisé dans le traitement de l'infertilité féminine, développe cette méthode afin d'éviter des lourdes conséquences de la laparotomie. La mobilisation utérine par une sonde radiologique a permis pour la première fois une excellente visualisation des organes gynécologiques et notamment de l'ensemble trompe-ovaire. Jusqu'aux années 1950, l'exploration coelioscopique s'effectuait en anesthésie locale. Le développement de l'éclairage par tige de quartz et la mise au point de l'électrocoagulation ont permis la réalisation des premiers gestes intrapéritonéaux par cœlio-chirurgie, dépassant ainsi le stade d'une simple exploration dans les années 1960.

C'est ainsi qu'en 1961 les prémisses de la fécondation in vitro ont eu lieu, avec le prélèvement de l'ovocyte par cœlio-chirurgie (4).

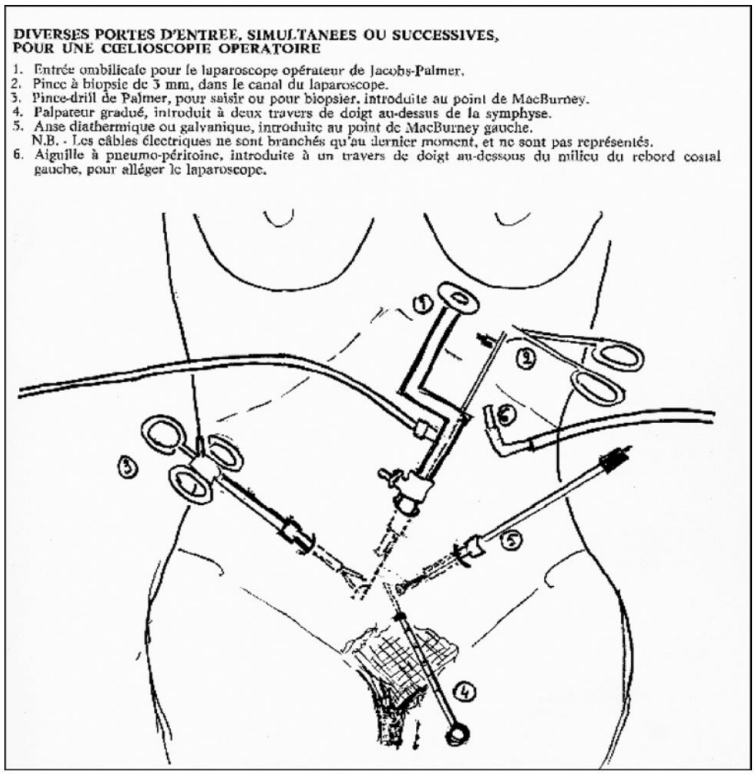


Schéma de Raoul Palmer

Les années 1970 marquent le développement des fibres optiques et de capteurs CCD (Charged Coupling Devices) permettant l'obtention d'un excellent éclairage et la conversion de la lumière visible en un signal analogique pouvant être amplifié, numérisé et traité avec l'obtention d'une image numérique visible sur un écran. Ceci a pour conséquence une large diffusion de la technique innovante pouvant être enregistrée et présentée aux différents congrès. L'espacement des orifices des trocarts a permis l'obtention d'une meilleure ergonomie chirurgicale et la réalisation d'interventions plus complexes. Ainsi en 1972, Hubert Manhès, réalisa le premier traitement d'une grossesse extra-utérine par laparoscopie (5).

Longtemps réservée aux gynécologues, la cœlio-chirurgie s'exporte progressivement vers d'autres spécialités et notamment la chirurgie digestive. Après les interventions de l'adhésiolyse et d'occlusion sur bride, un chirurgien lyonnais, Philippe Mouret réalisa une cholécystectomie en 1987 (6).

C'est en 1988 qu'un gynécologue américain de nom d'Harry Reich réalisa la première hystérectomie laparoscopique (7). Le développement de la chirurgie laparoscopique est en plein essor et à peine 3 ans plus tard, en 1991, Pelosi réalisa la première hystérectomie laparoscopique par voie ombilicale unique (8).

3 LE DÉVELOPPEMENT DE LA MÉDECINE ROBOTIQUE

Les années 1980 marquent le début de l'ère de la chirurgie robotique. Celle-ci commence avec “Arthrobot” en 1983 développée à Vancouver par l’équipe du Dr James McEwen et du Dr Brian Day. Ce robot, destiné à la chirurgie orthopédique, a fait son entrée au bloc opératoire le 12 mars 1984. Très rapidement s'en suit le développement d'autres robots chirurgicaux notamment destinés à la neurochirurgie comme le Puma 560 (1985) et le Neuromate (1989). Ce dernier et l’un des premiers robots qualifiés de “semi-actif” du fait de son système robotisé à bras articulés, associé à un ordinateur. Ces robots permettent la réalisation des biopsies stéréotaxiques ou la mise en place des implants d'électrodes après repérage et intégration des images scannographiques. Ils permettent ainsi d'avoir un repérage ultra précis et d'éliminer le tremor du chirurgien pouvant avoir de graves conséquences dans ce type d'interventions.

Neuromate (Source : renishaw.fr)

Au début des années 1990 la NASA sponsorise le développement d’un bras robotique permettant aux astronautes du Shuttle d’effectuer des réparations délicates dans des endroits peu accessibles. Ceci aboutit au développement du bras robotisé AESOP par la société Computer Motion qui deviendra en quelques années le leader de la chirurgie robotique. AESOP devient le premier instrument robotique approuvé par la FDA en 1994. Ce système permettait la mobilisation de la caméra laparoscopique par la commande vocale émise par le chirurgien.
En 1995 le prototype du nouveau système nommé Zeus est présenté par Computer Motion avec des premiers tests sur des animaux réalisés en 1996. Ce système comprenant 3 bras robotisés contrôlés par un chirurgien à travers une console à distance est le premier système de chirurgie robotiques laparoscopique mini-invasive tel qu’on connaît actuellement.

AESOP (Source : researchgate.net)

En 1998 la première intervention chirurgicale gynécologique a eu lieu avec le système Zeus. Il s’agissait d’une ré-anastomose laparoscopique tubaire réalisée à Cleveland (9).

Système Zeus (Source : researchgate.net)

4 LES SYSTÈMES ROBOTIQUES UTILISÉS DE NOS JOURS

DA VINCI SURGICAL SYSTEM

Créée à la fin des années 1980, Intuitive Surgery a bénéficié en 1990 d'un soutien de la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) pour le développement d'un robot chirurgical pouvant permettre aux chirurgiens d'opérer à distance des soldats blessés au front.
Le système initial de nom de "Lenny" en référence à la jeunesse de Léonard de Vinci est développé en 1997. S'ensuivent des prototypes "Leonardo" et "Mona". Le version finale, nommé *da Vinci Surgical System,* est initialement commercialisée en Europe avec réalisation d'un premier pontage coronarien à cœur fermé en Allemagne en 1998.

En 2000 la FDA approuve le système da Vinci dont les ventes ne cessent d'augmenter malgré 8 procès engagés par le rival Computer Motion (développeur du Zeus) contre Intuitive Surgery. Finalement le 7 mars 2003 les deux compagnies fusionnent sous le nom d'Intuitive Surgery avec abandon du système Zeus au profit du da Vinci qui devient le leader mondial incontesté de la chirurgie robotique.

(Source : researchgate.net)

Le système da Vinci est composé de :

- Une base mobile comprenant plusieurs bras articulés interactifs sur lesquels sont montés des instruments chirurgicaux et la caméra. Ceux-ci sont introduits dans l'abdomen du patient en début d'intervention.
- Une ou deux consoles chirurgicales se trouvant généralement dans la même pièce. Elles permettent la télémanipulation des bras articulés par un ou deux chirurgiens, grâce aux moniteurs 3D et aux joysticks en forme de pinces.
- D'un système vidéo haute résolution en trois dimensions permettant la réalisation de tâches nécessitant une précision extrême.

Les avantages par rapport à la chirurgie coelioscopique standard consistent principalement en:

- L'augmentation des axes de mobilité des instruments robotiques (7 axes versus 4) améliorant grandement la précision des gestes,
- filtrage des tremblements et la stabilisation des instruments par le système robotique améliorant la sécurité et la dextérité du chirurgien,
- meilleure vision chirurgicale grâce à la vision stéréoscopique et à l'agrandissement,
- meilleure ergonomie pour le chirurgien,
- possibilité de réaliser des interventions à distance ou de bénéficier d'une aide d'un collègue se trouvant à des milliers des kilomètres,
- pertes sanguines réduites,
- moins de douleur post opératoire du fait de la diminution de forces appliquées sur la paroi diminuant le traumatisme pariétal et possibilité de travailler à pression plus basse,
- système de simulation intégré améliorant la courbe d'apprentissage,
- courbe d'apprentissage plus rapide par rapport à la laparoscopie conventionnelle,
- disponibilité des instruments d'électro-chirurgie sous forme "rotative".

Les désavantages du système da Vinci sont dus principalement à :

- son coût élevé à l'achat et l'entretien (instruments limités à 10 utilisations),
- augmentation du temps opératoire lié à l'installation et la désinstallation du robot,

- absence de retour de force,
- robot imposant,
- nécessité d'entraînement chirurgical spécifique,
- nécessite une équipe paramédicale entraînée,
- impossibilité de mobiliser le patient après le docking (problème partiellement résolu avec le dernier modèle).
- risque de panne mécanique (limité grâce aux systèmes redondants) (10).

Nous verrons son utilisation actuelle dans le chapitre suivant.

SENHANCE SURGICAL ROBOTIC SYSTEM

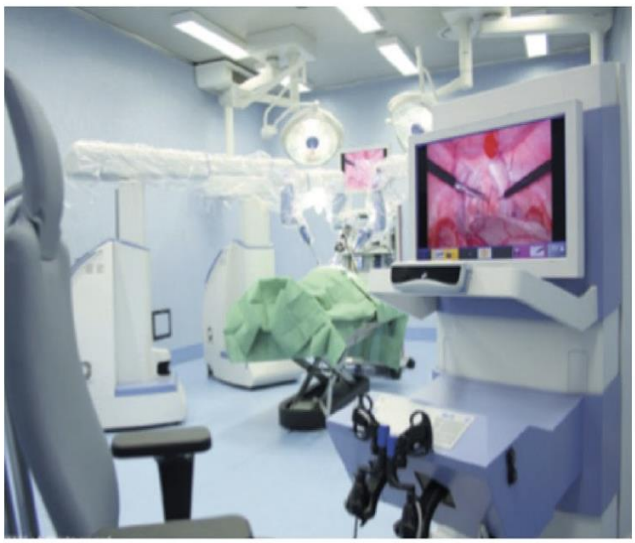
Le système robotique Senhance (nom de code Telelap ALF-X) a été développé par la compagnie TransEnterix Inc., (Morrisville, North Carolina) et a obtenu l'approbation de la FDA en 2017.
C'est une nouvelle plateforme robotique qui comprends un cockpit, plusieurs bras robotiques indépendants et un "nœud" de télécommunication (11).

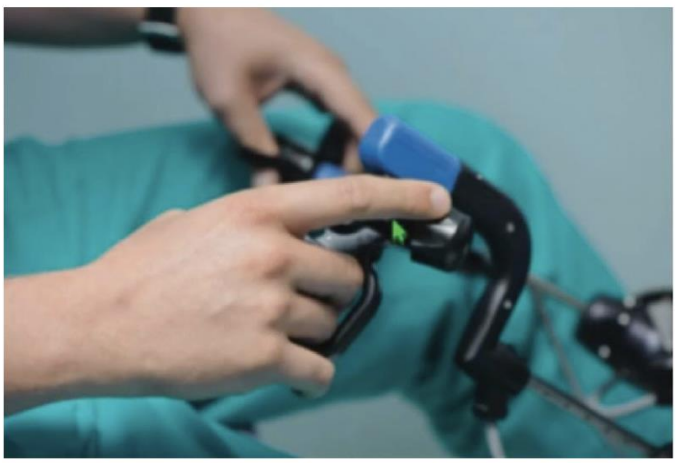
Système Senhance (Source : TransEnterix Inc)

Elle se différencie du système da Vinci sur plusieurs points :

- La console est remplacée par un “cockpit”.
- Un écran HD à vision tridimensionnelle est placé devant le chirurgien qui porte des lunettes 3D pour une vision stéréoscopique.
- Il n’y a pas de manettes en forme de pinces mais des poignées identiques à celles des instruments laparoscopiques standards (donc avec moins de degrés de libertés).
- “Eye tracking” caméra permettant l’adaptation de l’image en fonction du regard du chirurgien.
- **Présence d’un retour de force**.
- Les instruments sont réutilisables un grand nombre de fois.
- Les bras sont séparés et peuvent être utilisées de manière indépendante.

La sécurité et la faisabilité de ce système en gynécologie a été décrite dans plusieurs publications des équipes italiennes (12–14) .





Bloc opératoire équipé du système Senhance

(Source : TransEnterix Inc)

LE SYSTÈME HOMINIS

Plus récemment un autre dispositif robotique nommé Hominis développé par Memic a obtenu l'autorisation de la FDA pour la chirurgie par abord vaginal. Ce dispositif est composé de 2 bras robotisés de type "humanoïdes" introduits dans la cavité péritonéale par voie vaginale reliés à un "Kit d'Accès Vaginal" de taille réduite et d'une console comprenant 2 joysticks simulant les mouvements des épaules, des coudes et des poignées du chirurgien. Les pinces multi-usages aux extrémités des bras robotisés servent de dissecteurs, de pinces à préhension, de pinces à coaguler et enfin sont capables de couper le tissu grâce au courant monopolaire.
Une série récente de 30 hystérectomies a montré l'efficacité et la sécurité de ce système avec un taux de complications imputable au système et un taux de conversion nuls (15).
L'avantage de ce système réside dans sa ta taille très réduite par rapport aux systèmes Da Vinci et Senhance et dans la capacité des bras robotisés à reproduire les mouvements exacts des bras humains.
En revanche, le système Hominis est limité à un port comprenant 2 instruments par voie vaginale. Il ne dispose pas de système vidéo dédié ni de dispositif permettant la création du pneumopéritoine. En cas de nécessité d'un instrument supplémentaire (aspiration, pince supplémentaire...), celui-ci doit être introduit par voie laparoscopique. Il nécessite ainsi la mise en place d'un trocart multiport au niveau ombilical. Il s'agit donc d'une technique mixte (vaginale et laparoscopique) avec l'ajout des risques spécifiques liés à chaque technique.

Le système Hominis (Source : memicmed.com)

LE SYSTÈME VIKY

Le système VIKY a été développé par une entreprise française Endocontrol. Il ne s'agit pas d'un robot chirurgical à proprement parler mais de dispositifs robotiques à commande vocale.
Deux dispositifs sont actuellement sur le marché :

- **VIKY EP** est un porte-endoscope motorisé destiné aux coeliochirurgies. Il permet le contrôle direct du positionnement de la caméra avec un affichage stable et contrôlé du site opératoire avec des caméras 3D, HD, UHD. Le système robotique élimine les tremblements de la caméra et la fatigue oculaire surtout au cours des procédures longues (16).
- **VIKY UP** est un porte-manipulateur utérin motorisé, destiné aux chirurgies gynécologiques sous cœlioscopie. Il permet le contrôle vocal de la manipulation utérine. Tout comme lors de la manipulation par un assistant, le système autorise une exposition utérine optimale en antéversion, rétroversion et en latéral tout en assurant

une mise en tension constante.

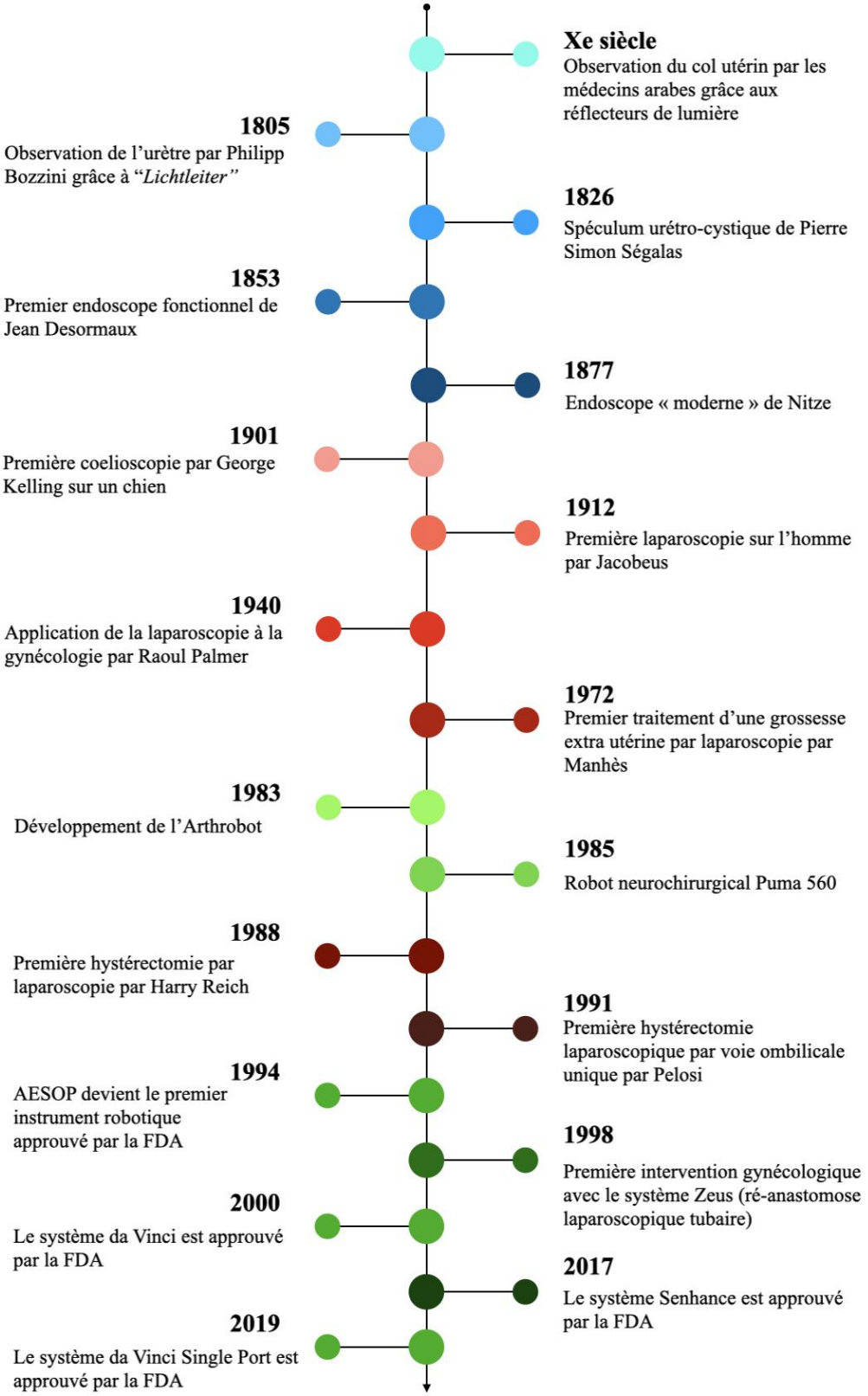
Les deux systèmes permettent de s'affranchir d'un assistant supplémentaire rendant accessible la chirurgie mini-invasive aux petites équipes (14).

VIKY EP et VIKY UP (source Endocontrol Medical)

AUTRES SYTEMES ROBOTIQUES

Le début des années 2020 marque une véritable explosion dans la mise sur le marché de nouveaux systèmes robotiques. Pas moins de 7 nouveaux systèmes à l'heure actuelle sont en cours de certification en Europe ou aux États-Unis. On peut ainsi citer, parmi d'autres, le système robotique Dexter développé par l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne en Suisse qui a obtenu la certification européenne en 2020 et est en attente de l'approbation de la FDA.
Un autre système développé par le géant Medtronic dénommé Hugo Ras est sur le point d'obtenir sa certification en septembre 2021.
On constate ainsi que l'industrie de la robotique chirurgicale connaît un développement exponentiel ces dernières années et ce dans le monde entier.

Chronologie du développement de laparoscopie et de la robotique médicale.



5- LES DOMAINES D'UTILISATION DE LA CHIRURGIE ROBOTIQUE LAPAROSCOPIQUE

Plusieurs méta-analyses ont comparé les résultats des interventions laparoscopiques robot-assistées (Robot-assisted Laparoscopic Surgery ou RLS) aux interventions laparoscopiques classique (17,18).
Ces publications mettent en évidence une diminution de pertes sanguines et de la durée d'hospitalisation comme seul avantage des RLS par rapport à la laparoscopie conventionnelle. Celle-ci semble être significativement plus avantageuse pour la durée opératoire, le nombre total des complications et le coût.
On estime à environ 0,6 % le taux d'événements indésirables directement imputable au système robotique ou aux instruments (19). Ce chiffre semble être indépendant de la phase d'apprentissage du chirurgien.
Malgré ces constatations, le nombre d'interventions robot-assistées ne cesse d'augmenter. Ceci est dû probablement aux avantages pour les opérateurs (meilleure ergonomie, précision des gestes, meilleure vision) et à l'effet "innovation" de la chirurgie robotique.
En 2018 on estime près de 4500 systèmes DaVinci à travers le monde dont 2900 aux États-Unis.
Nous allons voir quelques exemples d'utilisations actuelles de RLS en chirurgie viscérale, urologie et gynécologie.

5.1- UTILISATION EN CHIRURGIE VISCÉRALE

Chirurgie bariatrique

La chirurgie bariatrique est devenue rapidement une indication courante dans la chirurgie robotique. Les interventions de type bypass gastrique nécessitent la réalisation des anastomoses digestives dans un espace restreint (eu égard à l'obésité morbide des patients).
La chirurgie robotique permet une diminution des pressions intra abdominales, la réalisation des sutures de manière plus aisée (et moins fatigante) pour le chirurgien. Il n'y a pas de différences au niveau des complications par rapport à la laparoscopie classique. Cependant, un surcoût d'environ 3500 dollars a été constaté lors des analyses économiques (20).

Chirurgie colorectale

La chirurgie robotique constitue une approche sûre et efficace de la prise en charge d'un cancer du rectum. Elle est aussi efficace que la laparoscopie en termes de résultats oncologiques et de complications post-opératoires (21).
Des méta-analyses mettent en évidence de meilleures marges distales de résection par rapport à la tumeur, la diminution de saignements et un séjour hospitalier réduit (22,23).
A noter que le taux de conversion en laparotomie est également inférieur à celui de la laparoscopie classique (24).

Chirurgie gastro-duodénale et pancréatique

La chirurgie robotique semble améliorer les résultats de l'approche mini-invasive d'une duodéno-pancréatectomie en améliorant le curage ganglionnaire et en diminuant la morbidité post-opératoire ainsi que le nombre de jours d'hospitalisation (25).
Lors de l'opération mini invasive de Heller, selon une méta-analyse récente, la chirurgie robotique est associée à un taux significativement inférieur de perforation peropératoire de l'œsophage. Elle est ainsi plus sûre que la laparoscopie classique (26).

5.2- UTILISATION EN UROLOGIE

De nombreuses interventions urologiques sont réalisées de nos jours à l'aide du robot Da Vinci. Celui-ci a permis d'augmenter le taux de interventions mini-invasives par rapport aux interventions réalisées couramment en chirurgie ouverte.
Ainsi il a été démontré que la chirurgie robotique était comparable en termes de complications, marges opératoires, durée de séjour et la qualité du curage ganglionnaire par rapport à la chirurgie ouverte en cystectomie radicale pour un cancer vésical. Elle est associée à une diminution de pertes sanguines (27).
On note également moins de complications postopératoires en cas de néphrectomie partielle robot-assistée comparée à la chirurgie à ciel ouvert ou laparoscopie standard (28).
Finalement, la chirurgie robotique contribue à de meilleurs résultats fonctionnels lors de la prostatectomie radicale avec mise en évidence de manière significative d'une meilleure récupération de la fonction érectile ainsi que de la continence (29).
Pour conclure on constate qu'en uro-oncologie, la chirurgie robotique est comparable à la laparoscopie ou la chirurgie ouverte pour les résultats oncologiques et en terme de complications, tout en permettant d'améliorer les résultats fonctionnels (30).

5.3- UTILISATION EN GYNÉCOLOGIE

La technologie robotique permet l'acquisition des compétences pour la réalisation des procédures laparoscopiques complexes telles que les urétérolyses, des dissections rétro péritonéales, les sutures laparoscopiques et les hystérectomies mini-invasives sur des utérus larges.

La première intervention robotique réalisée en gynécologie était accomplie par Falcone en 1998 grâce au système Zeus. Il s'agissait d'une ré-anastomose tubaire chez une patiente de 33 ans 2-geste, 2-pare avec antécédent de ligature tubaire.
La chirurgie robotique s'est révélée particulièrement intéressante en gynécologie en permettant la réalisation des gestes fins dans les espaces limitées.
Actuellement, la chirurgie robotique est largement utilisée en gynécologie. Les interventions telles que l'hystérectomie, myomectomies, ré-anastomoses tubaires et promontofixations.
Elle est également utilisée dans le traitement chirurgical des pathologies gynécologiques malignes et notamment dans les cancers de l'endomètre et du col de l'utérus.
En décembre 2014 une revue de la Cochrane Library a mis en évidence des interventions plus longues de 42 min en moyenne par rapport à la laparoscopie conventionnelle mais des séjours hospitaliers plus courts (31).
Des méta-analyses plus récentes mettent en évidence la supériorité de la chirurgie robotique par rapport à la laparoscopie conventionnelle en onco-gynécologie. Ainsi, lors des interventions pour cancer de l'endomètre, on ne note pas de différence au niveau du temps opératoire. En revanche l'hospitalisation est plus courte, le saignement est réduit, de même pour le taux de conversion en laparotomie ainsi que pour le taux général des complications(18,32).
De même lors des hystérectomies pour la prise en charge du cancer cervical, la chirurgie robotique diminue les saignements et réduit le séjour hospitalier tout en étant comparable à la prise en charge laparoscopique classique en termes de résultats oncologiques (33,34).

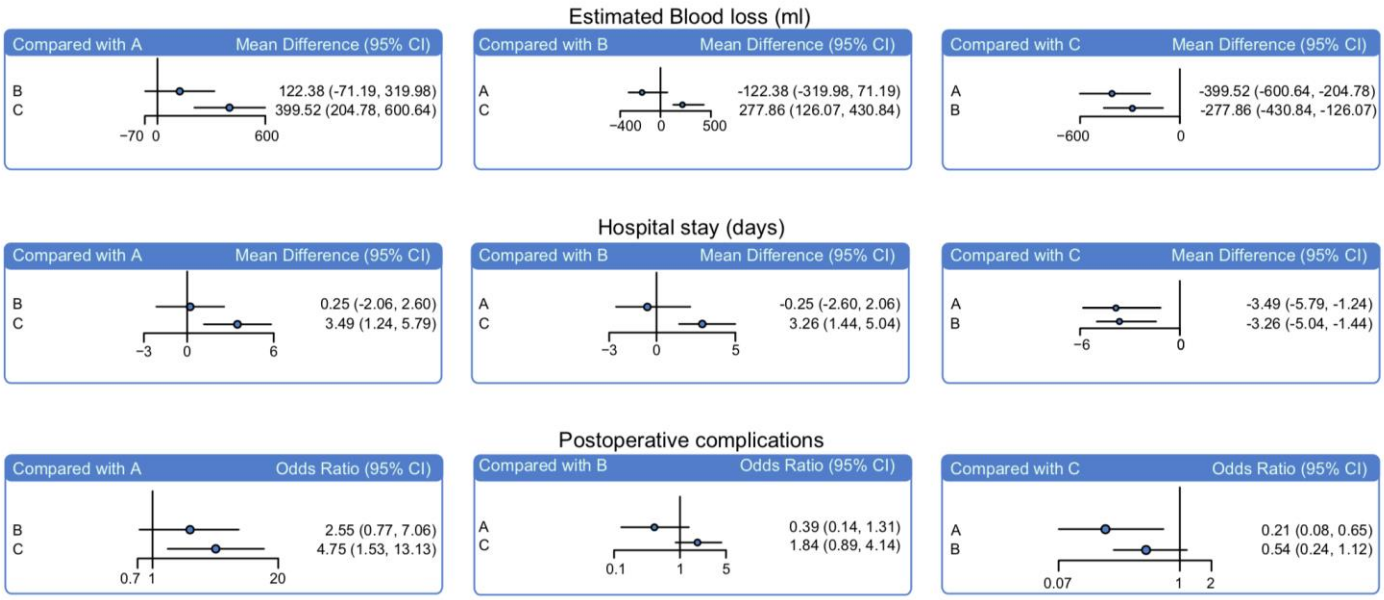


Fig 3. Relative relationship forest plots of estimated blood loss (ml), hospital stay (days) and postoperative complications of RRH, LRH and ORH in the treatment of early-stage CC. Note: A = RRH (robotic radical hysterectomy); B = LRH (laparoscopic radical hysterectomy); C = ORH (open radical hysterectomy).

D'après *"Robotic radical hysterectomy is superior to laparoscopic radical hysterectomy and open radical hysterectomy in the treatment of cervical cancer"* , Yue-Mei Jin et al. 2018

III EXEMPLE D'APPLICATION DE LA CHIRURGIE ROBOTIQUE EN CHIRURGIE DU PROLAPSUS GÉNITAL

1- DÉFINITION ET PRÉVALENCE DU PROLAPSUS GÉNITAL

Définition : le prolapsus génital féminin est défini comme une herniation d'un ou plusieurs organes abdomino-pelviens à travers le plancher pelvien repoussant les parois vaginales. Il peut affecter les trois compartiments génitaux (antérieur - vessie, moyen - utérus et postérieur - rectum) de manière isolée ou concomitante. D'autres structures telles que les intestins (entérocèle) ou le cul de sac de douglas (élytrocèle) peuvent également faire hernie à travers le plancher pelvien.

Plusieurs **facteurs de risque** ont été mis en évidence :

- Âge
- Parité
- Surpoids
- Élévation chronique de la pression abdominale (toux chronique, constipation, port de charges lourdes...)
- Ethnie (prévalence moindre dans la population africaine).

Dans la majorité de cas les prolapsus ont tendance à s'aggraver au cours du temps.

La prévalence du prolapsus augmente avec l'âge. On estime qu'elle dépasse les 50 % chez les patientes de plus de 50 ans (35,36) et que plus de de 10 % de femmes subiront une chirurgie de prolapsus avant l'âge de 70 ans. Ce chiffre ne reflète pas la prévalence réelle dans la population générale car il est communément admis que seuls les prolapsus symptomatiques doivent être pris en charge. Il s'agit donc d'une pathologie très répandue présentant un problème de santé publique.

Le principal symptôme du prolapsus génital est le ressenti par la patiente d'une "boule vaginale" péjorée lors des efforts. Le prolapsus peut également occasionner une pesanteur pelvienne et être à l'origine de troubles urinaires et digestifs. Ainsi une incontinence urinaire à type d'urgenturie est fréquemment associée à la cystocèle de stade I et II. A l'inverse, une cystocèle prononcée peut masquer une incontinence urinaire d'effort par compression extrinsèque de l'urètre suite au mouvement de bascule postérieure de la vessie, voire être à l'origine de dysurie et des difficultés mictionnelles nécessitant dans des cas extrêmes une réduction manuelle systématique pour permettre une miction.

Le prolapsus génital peut être à l'origine d'un inconfort sexuel plus ou moins prononcé, voire des douleurs. Une souffrance psychologique peut également être induite à cause de la modification de la perception corporelle.

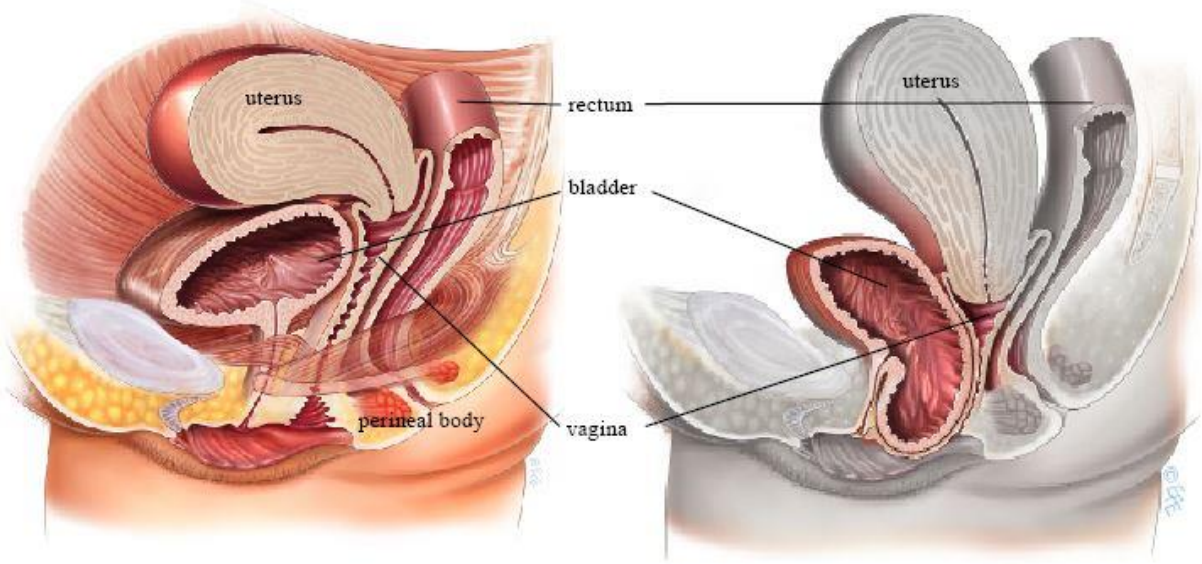


Schéma anatomique d'une cystocèle (Source : http://yourpelvicfloor.org/)

Le diagnostic est posé lors d'un examen clinique gynécologique. Il se base sur la méthode POPQ (*pelvic organ prolapse quantification*) présentée en 1996 (37).
Cette méthode qui consiste en mesure avec une réglette de 9 points dans la cavité vaginale et au niveau vulvaire permet une description précise et reproductible des prolapsus génitaux féminins. Elle est considérée comme le *gold standard* actuel.

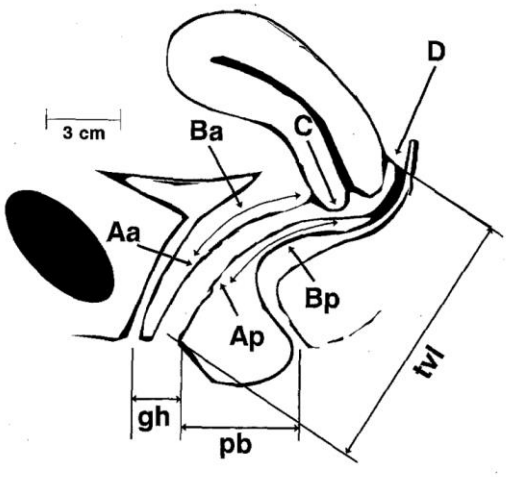


Fig. 1. Six sites (points *Aa, Ba, C, D, Bp,* and *Ap*), genital hiatus *(gh),* perineal body *(pb),* and total vaginal length *(tvl)* used for pelvic organ support quantitation.

anterior wall **Aa**	anterior wall **Ba**	cervix or cuff **C**
genital hiatus **gh**	perineal body **pb**	total vaginal length **tvl**
posterior wall **Ap**	posterior wall **Bp**	posterior fornix **D**

Fig. 2. Three-by-three grid for recording quantitative description of pelvic organ support.

POPQ (Bump et al. 1996)

Une fois les mesures effectuées les prolapsus sont classés en 4 stades comme suit.

Stade 0	Stade I	Stade II	Stade III	Stade IV
Pas de prolapsus. Les points Aa, Ap, Ba,et Bp sont à -3 cm. Les points C et D sont entre TVL et TVL-2 cm	Le point le plus distal du prolapsus est < -1 cm par rapport au niveau de l'hymen	Le point le plus distal du prolapsus est entre -1 et + 1cm par rapport au plan de l'hymen	Le point le plus distal du prolapsus est > +1 cm par rapport au niveau de l'hymen. Il ne doit pas dépasser (TVL-2) cm	Prolapsus complet. Le point le plus distal est > (TVL-2) cm

Cependant cette méthode diagnostique peut s'avérer longue et complexe pour un praticien peu entrainé. Alors une méthode simplifiée a été proposée par IUGA *(International Urogynecology Association)* et validée par Swift et al. en 2006 (38).

Cette technique serait plus simple d'utilisation dans la pratique quotidienne. Elle consiste en évaluation de 4 points "à vue" :

- paroi vaginale antérieure,
- paroi vaginale postérieure,
- apex/voûte vaginale,
- col.

Le prolapsus sont également classés en 4 stades comme suit :

Stade I	Stade II	Stade III	Stade IV
Le point le plus distal du prolapsus est < -1 cm par rapport au niveau de l'hymen	Le point le plus distal du prolapsus est entre -1 et + 1cm par rapport au plan de l'hymen	Le point le plus distal du prolapsus est > +1 cm par rapport au niveau de l'hymen sans consister en une éversion complète de la cavité vaginale ou procidence complète de l'utérus	Prolapsus complet de la voute vaginale ou de l'utérus. Cela implique l'extériorisation complète de la muqueuse vaginale

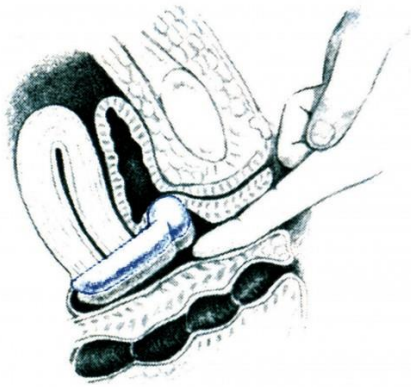
2- PRISE EN CHARGE DU PROLAPSUS GÉNITAL

2.1 PRISE EN CHARGE CONSERVATRICE

Un prolapsus complètement asymptomatique ne nécessite aucun traitement particulier et peut être traité de **manière expectative**. Un suivi clinique régulier avec la recherche active des symptômes liés au prolapsus est alors instauré. Une oestrogénisation locale est indiquée permettant l'amélioration des certains symptômes tels que le prurit, la dysurie et la sécheresse vaginale.

En cas de prolapsus symptomatique chez des patientes en âge avancé, ayant de nombreuses comorbidités ou des contre-indications à une prise en charge chirurgicale, le **pessaire** est une solution envisageable. Il s'agit d'un dispositif en caoutchouc pouvant avoir des formes et tailles différentes. Celui-ci est introduit dans la cavité vaginale par la patiente ou un soignant à l'aide d'une crème à base d'œstrogènes. Celui-ci peut être utilisé "à la demande" (activité sportive…) chez des patientes jeunes en attente d'un traitement chirurgical ou au long cours avec un changement tous les 2-3 mois. Le pessaire peut être à l'origine d'infections vaginales et d'érosions de la muqueuse. Sa tolérance au long cours est médiocre et la prise en charge chirurgicale devrait être proposée à chaque fois que possible.

Différents types de pessaires
(source: Cooper Surgical)



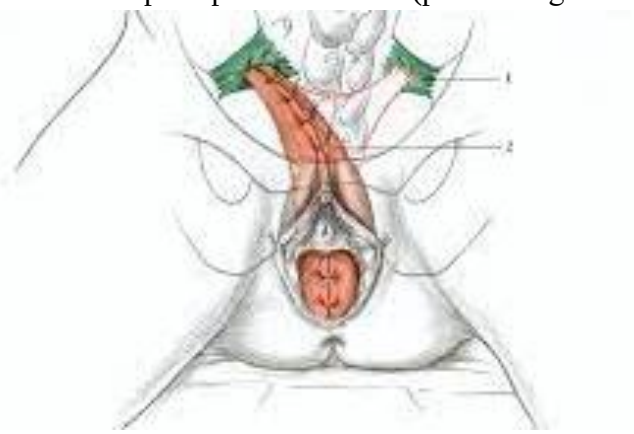
Positionnement du pessaire

2.2 PRISE EN CHARGE CHIRURGICALE

Environ 20 % des femmes bénéficieront d'une prise en charge chirurgicale du prolapsus pelvien au cours de leur vie (39). Le succès chirurgical au long cours est estimé à 80% - 90 % (40).
L'indication opératoire pour la prise en charge d'un prolapsus pelvien est liée à sa symptomatologie et la diminution de la qualité de vie en relation avec les altérations

fonctionnelle et/ou les restrictions dans les activités quotidiennes de la patiente. Les complications liées au prolapsus (ulcérations, infections urinaires chroniques …) sont les facteurs incitant une prise en charge chirurgicale dans les meilleurs délais.
De nombreuses techniques ont été décrites, que ce soit par voie vaginale, abdominale ou laparoscopique (dont robot-assistées), avec ou sans hystérectomie, avec ou sans renforcement prothétique. Le choix de la technique doit tenir compte de la nature du prolapsus, du terrain de la patiente ainsi que du fait qu'il s'agisse d'une cure primaire ou de récidive.
L'hystérectomie n'est plus recommandée actuellement dans la prise en charge du prolapsus et ne doit être réalisée qu'en cas de pathologie utérine.

Les procédures par voie vaginale sont pour la plupart moins invasives que les interventions abdominales ce qui peut être particulièrement intéressant chez des patientes en état général diminué et à haut risque opératoire. Elles peuvent concerner un ou plusieurs compartiments. Parmi les techniques les plus répandues, on peut citer la colporraphie antérieure (pour l'étage antérieur), la colpopérinéorraphie (pour l'étage postérieur) ou la sacro-spinofixation selon Richter permettant la fixation du dôme vaginal au ligament sacro-spinal après une hystérectomie. Il est à noter que la prise en charge d'un des compartiments peut être à l'origine d'une récidive de prolapsus au niveau des compartiments non opérés.
Chez des patientes polymorbides, n'ayant plus d'activité sexuelle une prise en charge radicale par la réalisation d'un colpocleisis (fermeture vaginale plus ou moins complète) peut être discutée.



Sacro-spinofixation

En ce qui concerne l'utilisation des treillis, depuis l'alerte de la US Food and Drug Administration en 2011 l'utilisation des prothèses synthétiques par voie vaginale a été fortement remise en question et ne trouve actuellement d'indication qu'en cas de prise en charge des récidives et devrait être placée par un chirurgien expérimenté. Ceci est lié à des complications notamment liées à des érosions des prothèses et des lésions vésicales ou rectales. Bien que l'avis d'experts n°61 de décembre 2018 de la Société Suisse de Gynécologie et Obstétrique préconise que "[…] les treillis demeurent toutefois une option pour la correction chirurgicale du prolapsus, en premier lieu pour la sacrocolpopexie (la mieux établie), mais également pour la correction du prolapsus par voie vaginale en cas de risque de récidive accru, et […] chez les patientes âgées, lors d'antécédents chirurgicaux, en cas d'adhérences et d'obésité morbide", la FDA les a qualifié comme dispositifs à haut risque en 2014 et les a interdit en 2019.

La prise en charge du prolapsus par voie haute est discutée au chapitre suivant.

IV - REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LA PRISE EN CHARGE DES PROLAPSUS GENITAUX PAR VOIE HAUTE ET PRESENTATION DE L'ETUDE

1- INTRODUCTION

La promontofixation ou sacrocolpopexie est actuellement la technique de référence pour le traitement des prolapsus du dôme vaginal après hystérectomie pour les patientes jeunes et actives sexuellement avec un taux de succès d'environ 90 % (41). C'est en 1958 que pour la première fois une technique de fixation du dôme vaginal au sacrum a été décrite par Hugier et Scali (42) puis par Lane en 1962 (43). Initialement la prothèse était fixée au niveau des vertèbres S3-S4 pour recréer une angulation vaginale physiologique. Cependant en raison des hémorragies sévères cette technique fut abandonnée au profit d'une fixation plus basse au niveau S1-S2 après repérage des vaisseaux sacraux médians.

La sacrocolpopexie mini invasive est réalisée pour la première fois en 1994 grâce aux progrès de la cœlio-chirurgie (44). Cependant son exécution par laparoscopie reste une procédure complexe ce qui est un facteur limitant pour de nombreux chirurgiens. La dissection du promontoire peut s'avérer difficile, en particulier chez les patientes obèses. Des complications mettant en jeu le pronostic vital (lésions vasculaires) ont été décrites. Des lésions urétérales, nerveuses (plexus hypogastrique) et des spondylodiscites sont également rapportées.

La première sacrocolpopexie par voie laparoscopique robot-assistée a été décrite par Di Marco et al. en 2004 (45). On estime que la robotique a permis d'augmenter le nombre de promontofixations mini-invasives ces dernières années en donnant accès à cette technique aux chirurgiens se sentant moins à l'aise en laparoscopie conventionnelle (31).

Les prothèses utilisées pour la promontofixation ont également subi une évolution considérable au fil des années. Initialement de forme conique, elles ont adapté progressivement la forme en Y utilisée actuellement. Plusieurs matériaux ont également été testés et utilisés pour la fabrication des prothèses (polyéthylène, téréphtalate polyéthylène, polytétrafluoroéthylène...) avec un taux d'érosion conséquent. Les mèches actuelles, en polypropylène macroporeux, réduisent significativement ce risque (46).

En 1967, Kapandji a décrit une technique alternative de suspension latérale du prolapsus de l'apex vaginal par laparotomie évitant la dissection du promontoire et limitant ainsi les risques associés à la sacrocolpopexie. La technique consistait à fixer le fascia vaginal antérieur et l'isthme utérin aux épines iliaques antéro-supérieures avec une prothèse (47).

Depuis lors, cette technique a été adaptée à la laparoscopie et modifiée avec une suspension plus latérale et plus haut située au niveau transpariétal (48). De nos jours, elle bénéficie également des avantages que procure l'assistance robotique.

Le but de cette revue de la littérature est de comparer les résultats objectifs et subjectifs, ainsi que les complications de la sacrocolpopexie par laparotomie (abdominal sacrocolpopexy – ASC), laparoscopique simple (LSC) ou robot-assistée (RALSC) et dans un second temps de la suspension latérale prothétique laparoscopique (LLS) et de la suspension latérale prothétique laparoscopique robot assistée (RALLS).

2- MATERIELS ET METHODES

Nous avons réalisé une revue de la littérature des 30 dernières années portant sur les principales techniques de prise en charge des prolapsus par voie haute. Nous avons effectué une recherche dans la base de données PubMed avec les mots clés suivants : "pelvic organ prolapse", "promontofixation", "sacrocolpopexy", "sacral colpopexy", "lateral suspension" et "robotic surgery". Les articles dont les objectifs étaient d'analyser les résultats et/ou les complications ont été retenus.

3- RESULTATS

Comparaison entre sacrocolpopexie par laparotomie (abdominal sacrocolpopexy – ASC), par laparoscopie simple (LSC) ou robot-assistée (RALSC)

La revue de la Cochrane de 2016 définit la sacrocolpopexie abdominale comme le "gold standard" pour la prise en charge en charge du prolapsus génital (41).

Le taux de guérison objectif est défini dans la plupart des études comme POP-Q $\leq$ 2 et/ou prolapsus ne dépassant pas l'hymen. Pour l'ASC le taux de guérison pour la prise en charge du compartiment antérieur et moyen est d'environ 95 %. Ce taux est retrouvé dans les grandes séries de Benson en 1996 (49) , Lo en 1998 (50) et confirmé par Maher en 2004 (51) avec un suivi moyen de 2 ans. Illiano et al (52) décrit un taux de récurrence de 6 % sur une période de 60 mois.

L'essor de la laparoscopie dans les années 1990 permet l'adaptation de la technique à la chirurgie dite mini invasive avec des résultats similaires. Ainsi pour la LSC, le taux de guérison objectif se situe entre 90 et 100 % (53–55).

De nombreuses études plus récentes suggèrent que la voie laparoscopique robot-assistée est aussi efficace que la voie laparoscopique simple (54,56–58). En effet, des études randomisées comparant la LSC et RALSC retrouvent une efficacité similaire à un an avec un taux de succès avoisinant les 98 % (59–61). Une large série récente portant sur 450 femmes opérées par LSC ou RALSC retrouve un taux de guérison objectif de 88.6 % à 3 mois avec 1.3 % de patientes nécessitant une reprise chirurgicale (62). La revue de littérature de la Cochrane sur la chirurgie robotique en gynécologie de 2019 (63) ne retrouve pas de différence en termes d'efficacité ni de complications entre la LSC et la RALSC. Cependant la durée d'hospitalisation est réduite de 1/3 de jour pour les patientes opérées par la voie laparoscopique robot-assistée.

Bien qu'il soit généralement admis que la chirurgie robotique présente un coût élevé lié à l'exploitation du robot, une étude récente a retrouvé un coût similaire entre ACS (12'695 $) et RALSC (13'107 $) (64) . Ceci est dû à un rétablissement plus rapide et une hospitalisation plus courte et à une diminution du taux de complications (65). Cependant la voie laparoscopique simple, reste bien plus avantageuse du point de vue financier.

Ainsi, dans la prise en charge du compartiment antérieur et moyen la LSC et RALSC sont aussi efficaces que l'ASC avec un taux de guérison moyen de l'ordre de 90 % pour les trois techniques.

Mais les principales différences entre ces techniques sont liées au taux de complications ce qui donne un très grand avantage aux techniques mini-invasives.

Une analyse nationale américaine de 2018 portant sur 4362 cas a comparé les complications peropératoires et à court terme (30 jours) entre la promontofixation par voie ouverte et par voie mini-invasive (LSC et RALSC) (65). Les variables étudiées étaient : le taux général des complications, les infections du site opératoire, la durée de l'hospitalisation, la transfusion sanguine, le taux de réadmission et le taux de ré-opérations. Il en résulte que la voie mini invasive par laparoscopie simple ou robot assistée présente de manière significative par rapport à la voie ouverte (Tableau 1) :

- un taux général de complications plus faible (5.1 % vs 7.6 %),
- moins d'infections du site opératoire
- une hospitalisation plus courte de 1 jour en moyenne
- un taux de transfusion plus faible (0.5% vs 1.4 %)
- un taux de réadmissions et de ré-opérations dans les 30 premiers jours plus faible.

Endpoint	OR (95% CI)	p-value
30-day complication (n=4355) [1]	0.46 (0.28, 0.76)	0.002
Blood transfusion (n=4355) [2]	0.33 (0.15, 0.74)	0.007
Prolonged length of hospitalization (>90th percentile, >3d) (n=4355) [3]	0.16 (0.12, 0.23)	<0.001
Readmission(n=3656) [a,4]	0.62[b] (0.41, 0.96)	0.03
Reoperation(n=3665)[a,5]	0.76 (0.40, 1.43)	0.39

Tableau 1 : analyse multivariée des résultats de la voie mini-invasive.

D'après Brian J. Linder et al., « A National Contemporary Analysis of Perioperative Outcomes of Open versus Minimally Invasive Sacrocolpopexy », The Journal of Urology 200, no 4 (octobre 2018): 862-67

Ces résultats avaient déjà été suggérés par de nombreuses études dont une étude randomisée contrôlée de 2017 (66) comparant la LSC et la promontofixation par laparotomie sur 74 patientes (Tableau 2).

On constate que le taux général des complications des LSC est plus faible, que le saignement est moindre et que la durée du séjour hospitalier est divisée par 2 par rapport aux ASC.

De manière plus générale, la dissection du promontoire lors de la promontofixation est une étape critique qui nécessite des compétences chirurgicales avancées. Cette étape s'accompagne d'un risque de complications sévères telles que des lésions vasculaires menaçant la vie, des ostéomyélites et des lésions nerveuses (67).

Au long cours, l'amarrage de la prothèse au niveau du promontoire peut être à l'origine de spondylodiscites dans 0.2% - 1% des cas (68). Le taux d'érosion de la prothèse varie entre 2% et 5.5 % avec comme principaux facteurs de risque un status post hystérectomie/réalisation d'hystérectomie en peropératoire et utilisation d'une prothèse autre que de type 1 (68–71).

	Laparoscopic sacrocolpopexy N = 36	Open abdominal sacrocolpopexy N = 37	*p-value*
Operative time (minutes)			
Median (IQR)	125 (108–135)	115 (94–129)	*.31*
Estimated blood loss (ml)			
Median (IQR)	86 (10–100)	200 (100–300)	*<.001*
Hospital stay (days)			
Median (IQR)	2 (2–3)	4 (3–5)	*<.001*
Complications during surgery (n/m)	5.6% (2/36)	0% (0/36)	*.15*
Bladder lesion (conversion)	1	0	
Bleeding (conversion)	1	0	
Complications during admission (n/m)	5.6% (2/36)	18.9% (7/37)	*.06*
Fatal bowel perforation	0	1	
Wound dehiscence	0	2	
Pulmonary embolism	0	1	
Ileus	0	3	
Wound infection	1	0	
Pyelonephritis (re-admission)	1	0	

Tableau 2 : Résultats cliniques

D'après Coolen AWM, van Oudheusden AMJ, Mol BWJ, van Eijndhoven HWF, Roovers JWR, Bongers MY. Laparoscopic sacrocolpopexy compared with open abdominal sacrocolpopexy for vault prolapse repair: a randomised controlled trial. Int Urogynecol J. 2017 Oct;28(10):1469-1479. doi: 10.1007/s00192-017-3296-5. Epub 2017 Apr 17. PMID: 28417153; PMCID: PMC5606943.

Comparaison entre la sacrocolpopexie et la suspension latérale prothétique

La technique de suspension latérale prothétique par laparotomie décrite par Kapandji en 1967 a également bénéficié de l'essor de la cœlio-chirurgie dans les années 1990. La première grande série de LLS a été publiée par J.B Dubuisson en 2002 (72). Cette série portant sur 47 patientes avec un suivi moyen de 15.2 mois décrit un taux d'échec de 6.4% (récidive de prolapsus de degré 2) et un taux de satisfaction subjectif de 89.3 %. Ces résultats encourageants et comparables à ceux de la promontofixation sont confirmés par une plus grande série portant sur 73 patientes (73). Le suivi moyen est plus long (19 mois) et les résultats sont jugés comme satisfaisants dans 87.7% des cas et seulement 5 patientes sur 73 ont été réopérées.

Suite à la généralisation de cette technique dans les années 2010, des séries plus larges comme celle d'Eperon et al. de 2011 (377 patientes) (74) et de Veit-Rubin et al. de 2017 (417 patientes) (75) confirment une excellente efficacité de la suspension latérale prothétique avec des taux de guérison objectifs de 89.1% et 91.6% respectivement.

En ce qui concerne les complications, aucune conversion en laparotomie n'a été répertoriée. Les principales complications décrites comprennent des lésions vésicales (0.8 %), des hernies sur trocart (0.6 %), des hématomes vaginaux (0.21% - 0.26%). Un cas de de fistule utérovaginale a été reportée (75). Aucune complication sévère menaçant la vie directement amputable à la technique de LLS n'a été relevée.

A contrario, la LSC est une procédure techniquement difficile surtout à cause de la nécessité de dissection des espaces pelviens profonds et la dissection du promontoire pour une fixation correcte de la prothèse. Les instruments laparoscopiques et leur limitation des axes de mouvement rendent ces pas difficiles et une courbe d'apprentissage longue est nécessaire. Toutes ces contraintes sont à l'origine de complications potentiellement sérieuses. En effet, l'identification du ligament pré-sacral peut s'avérer difficile en particulier chez des patientes obèses et la proximité des structures anatomiques " délicates" peut être à l'origine de lésions sévères. Ainsi on considère que le taux de lésions urétérales lors des LSC est de l'ordre de 1% (67). Un saignement majeur est reporté dans 4.4% des procédures et est lié la présence des structures vasculaires dans la zone de dissection tels que la bifurcation aortique et cave ainsi que des vaisseaux sacrés médians. La prise en charge de lésions vasculaires est particulièrement difficile dans cette zone et peut mener dans de très rares cas au décès.

Les complications digestives sont également assez fréquentes, de l'ordre de 2.6 % (62) . Elles sont principalement liées aux iléus paralytiques et aux hernies sur orifices de trocarts. D'autres lésions digestives plus graves comme des plaies digestives ou érosion transrectale de la prothèse avec nécessité de résection digestive ont été rapportées (76). La série de Hach et al. portant sur 101 RALSC fait état de lésions digestives peropératoires dans 3% des cas (77). Coolen et al. décrit même un décès suite à une perforation digestive lors d'une ASC (66).

Le taux d'érosion de la prothèse varie entre 0-5% pour la promontofixation laparoscopique simple ou robot assistée sans différence entre les deux techniques (66) et la large méta-analyse de Grevez et al. portant sur les séries publiées entre 1990 et 2019 retient le chiffre de 3% (78). Ce taux est comparable à celui des LLS mais largement supérieur à celui des RALLS (Tableaux 3 et 4). Ceci est probablement lié à l'utilisation actuelle exclusivement des prothèses en polypropylène macroporeux contrairement aux premières séries sur les LLS et LSC qui utilisaient du Mersilène ou d'autres prothèses à caractère microporeux (46).

Concernant les durées opératoires, celles-ci varient de 125 - 229 min pour LSC versus 90-201 min pour LLS (75,79) et de 226 - 269 min pour RALSC (80,81) versus 117 -206 min pour RALLS (82,83). On constate que la réalisation de la suspension latérale est plus rapide par rapport à la promontofixation que ce soit par laparoscopie simple ou robot-assistée.

Ainsi au cours des dernières décennies la suspension latérale prothétique devient une alternative sûre et efficace qui peut représenter une alternative à la promontofixation.

Comparaison entre la suspension latérale prothétique laparoscopique (LLS) et la suspension latérale prothétique laparoscopique robot-assistée (RALLS)

Pour LLS et RALLS le taux de guérison objectif pour le traitement du prolapsus du compartiment antérieur et moyen est comparable à celui de la promontofixation et est de 86.2 – 100% (tableau 3). Le taux de ré-interventions au long cours se situe entre 0% et 7.4%. Cependant, il s'agit dans la majorité des cas de la prise en charge du rectocèle, le compartiment postérieur n'étant pas traité lors des LLS et RALLS.

Le résultat subjectif évalué par le score PGI-I (Patient Global Impression of Improvement) se situe entre 82.9% et 94.7% pour LLS. Aucune étude avant 2018 n'a étudié les résultats subjectifs pour la RALLS.

Enfin, nous pouvons remarquer que le taux d'érosions de matériel prothétique en LLS, initialement de l'ordre de 6 % dans les années 2000, tend à diminuer avec le temps. Ceci est lié à la généralisation des prothèses en polypropylène macroporeux et à l'amélioration de la technique chirurgicale. Le taux d'érosion est de 2.5 % pour la série de RALLS Simoncini de 2016 (82) et est nul pour la série de Dällenbach de 2014 (83) et avec toutefois un suivi des patientes relativement court.

Pour les LLS, le taux de complications peropératoire est estimé à 1.3 % - 8.5% (tableau 3). Il est nul pour les RALLS car ce sont des approches plus récentes qui ont bénéficié de l'expérience acquise préalablement en laparoscopie.

Étude	Nombre de cas (N)	Suivi moyen (mois)	Taux de guérison objectif (%)	Taux de guérison subjectif (%)	Ré-opérations (%)	Conversion en laparotomie (%)	Complications peri-opératoires tous types confondus (%)	Érosions (%)
Dubuisson et al. 2002- LLS (72)	47	15.2	93.6	89.3	2.1	0	8.5	6.4
Dubuisson et al. 2007-LLS(73)	73	19	87.7	NC	6.8	0	0	5.5
Dubuisson et al. 2011-LLS(84)	218	17.8	86.2	NC	4.6	0	5.5	6
Eperon et al. 2011 - LLS(74)	377	15.7	89.1	94.7	4.7	0	3.5	3.4
Dällenbach,Veit 2014 - RALLS(83)	10	1.7	100	NC	0	0	0	0
Veit-Rubin et al. 2015 – LLS (79)	245	90	88.2	82.9	7.4	NC	1.3	1.2
Simoncini et al. 2016- RALLS (82)	40	1	100	NC	0	0	0	2.5
Veit-Rubin et al. 2017 – LLS (75)	417	86.4	91.6	85	7.3	NC	2.2	4.3

Tableau 3 : Résumé des principaux résultats de toutes les séries de LLS et RALLS publiées entre 2002 et 2016

4- CONCLUSION

La revue de la littérature nous montre que la suspension latérale prothétique est une alternative à la promontofixation pour la prise en charge des prolapsus génitaux du compartiment antérieur et moyen avec une efficacité comparable. En revanche, le taux de complications per opératoire et au long cours parait plus faible. A l'heure du début de notre étude en 2017, une seule série sur RALLS avait été publiée par Simoncini (82) toutefois avec une cohorte relativement petite de 40 patientes et un suivi très court de 1 mois. La technique décrite se différencie également de celle utilisée dans notre service. En effet, la disposition des trocarts de manière plus latérale a permis d'éliminer 2 incisions supplémentaires servant au passage des pinces de Manhès pour la traction des bras de la prothèse. Ce décalage des trocarts est rendu possible par l'assistance robotique qui permet de pallier au manque d'ergonomie qui aurait eu lieu en laparoscopie standard.

Ainsi, certaines questions sur la RALLS restent en suspens en 2017:

- La RALLS est-elle aussi efficace que la LLS au long cours ?
- Quel est le taux d'érosion pour la RALLS au long cours ?
- Quel est le taux de guérison subjectif pour la RALLS ?
- Y a-t-il d'autres avantages de la RALLS par rapport à la LLS ?
- Est-ce que le développement d'une technique standardisée aurait un bénéfice sur les résultats anatomiques et sur la réduction des complications ?

Notre étude avait pour objectif de répondre à ces questions.

5- PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

Nous avons mené une étude (cf infra) afin d'analyser les résultats anatomiques et fonctionnels de la suspension latérale prothétique laparoscopique robot-assistée lors du prolapsus de la paroi vaginale antérieure et de l'utérus sur une série de 59 patientes opérées consécutivement dans notre service entre 2012 et 2018. Toutes les femmes ont été revues à 6 semaines post - opératoire puis de manière annuelle. Entre août 2017 et septembre 2019, toutes les patientes ont été contactées et revues en consultation avec réalisation d'un examen clinique (POP-Q) et évaluation de leur satisfaction au long cours au moyen du questionnaire PGI-I.

Les principaux résultats de notre étude révèlent qu'il s'agit d'une technique sûre, aucune complication peropératoire n'ayant été constatée. Les taux de guérison objectif et subjectif étaient respectivement de 83.3% et 77.2 % avec un suivi moyen de 33.6 mois. 9.3 % de patientes ont nécessité une réintervention pour prolapsus. Aucune érosion de la prothèse n'a été constatée.

Les résultats de la suspension latérale prothétique robot-assistée sont comparables à ceux de la laparoscopie standard avec un taux de reprise pour récidive du compartiment antérieur et moyen d'environ de 3.5 %. Cette technique, grâce la conservation de l'utérus et une dissection vaginale plus précise, nous a permis de réduire complètement le risque d'érosion tout en maintenant le vagin dans son axe anatomique. La disparition des érosions est probablement aussi liée à l'utilisation de nouvelles prothèses en polypropylène macroporeux.

Notre étude révèle également la disparition de symptômes d'incontinence urinaire d'effort chez 60 % des femmes symptomatiques en pré opératoire. Ceci est lié probablement au "lifting" du

fascia vésico-vaginal améliorant le soutien sous-urétral.

L'un des avantages de la chirurgie robotique est de pouvoir placer les trocarts de manière plus latérale par rapport à la laparoscopie standard ce qui évite 2 incisions supplémentaires pour la sortie des bras de la prothèse décrites dans la technique originale de Dubuisson (85). Ceci a également pour conséquence la réduction de la douleur postopératoire et la prévention des lésions nerveuses de la paroi abdominale.

L'assistance robotique offre par ailleurs une meilleure ergonomie pour l'opérateur pour la dissection vésico-vaginale et la fixation de la prothèse. Les saignements sont par ailleurs minimisés et les pressions d'insufflation intra abdominale peuvent être réduites ce qui bénéficie notamment aux patientes âgées (86). De plus, la robotique facilite la prise en charge des patientes présentant une obésité abdominale. Ceci permet la prise en charge d'un plus grand nombre de patientes par voie mini-invasive.

Notre étude était la première étude portant sur les résultats au long terme de patientes traitées par RALLS et confirme la faisabilité et la sécurité de la technique ainsi que son efficacité dans la prise en charge des prolapsus de compartiments antérieurs et moyens.

Étude	Nombre de cas (N)	Suivi moyen (mois)	Taux de guérison objectif (%)	Taux de guérison subjectif (%)	Ré-opérations (%)	Conversion en laparotomie (%)	Complications peri-opératoires tous types confondus (%)	Érosions (%)
Martinello et al. 2019 – LLS	48	24	92	80	8.3	NC	0	0
Chatziioannidou et al. 2021 – LLS	88	40.8	87.3	96.2	5.1	0	1.3	0
Mereu et al. 2019 – LLS et RALLS	120	24	94.2	89	6.4	0	0	0.8
Russo et al. 2019 – RALLS	115	28	88.7	82	11.3	0	0	0.9
Dällenbach et al. 2021 – RALLS	59	33.6	83.3	77.2	9.3	0	0	0

Tableau 4 : Résumé des principaux résultats des séries récentes de LLS et RALLS (2019 – 2021)

Dans les séries les plus récentes (tableau 4), Mereu et Russo retrouvent un taux d'érosion de 0.8% et 0.9% respectivement. Ceci est probablement lié à l'utilisation des fils non résorbables pour la fixation de prothèses. Selon notre expérience l'utilisation des fils non résorbables n'est pas nécessaire car la réaction inflammatoire immédiate et la fibrose induite suffisent au maintien au long cours de la prothèse.

Le taux de ré-opérations dans notre série est inférieur à celui de la série de Russo publiée en 2019 mais reste dans la moyenne. Ce taux est de manière générale assez disparate car il concerne surtout la prise en charge du compartiment postérieur. Or, certaines études excluent les patientes présentant une atteinte de celui-ci initialement.

Cependant, le taux de ré-opérations qui ne concerne que le compartiment antérieur et moyen est de 3.7% et reste comparable à celui décrit pour les LSC et RALSC (87). En revanche, le taux de complications graves pour les RALSC s'élève à 3% en per opératoire et 2 % en post-opératoire (59). Ce taux est nul pour les RALLS.

Dans une série récente de Vandendriessche (88) portant sur 464 patientes traitées par LSC avec un suivi de 4 ans, le taux de récurrence était de 5.1% et le taux d'érosion de 2.8% .

Ainsi, nous pouvons conclure que la RALLS est une technique sûre et efficace pour la prise en charge du prolapsus des compartiments antérieur et apical et est associée à une amélioration des symptômes liés à l'incontinence urinaire d'effort. Notre étude apporte une réponse sur les résultats anatomiques et fonctionnels satisfaisants à court et surtout à long terme. Ces résultats sont similaires à ceux de la promontofixation tout en réduisant les risques de complications graves telles que des lésions digestives, vasculaires et nerveuses, ainsi que des ostéomyélites.

IV ÉTUDE ORIGINALE

Journal of Robotic Surgery
https://doi.org/10.1007/s11701-021-01234-3

ORIGINAL ARTICLE

Outcomes of robotically assisted laparoscopic lateral suspension (RALLS) with mesh for anterior and apical prolapse

Patrick Dällenbach[1] · Milena Alec[1] · Michel Boulvain[1] · Stas Shabanov[1]

Received: 22 October 2020 / Accepted: 29 March 2021
© The Author(s) 2021

Abstract
Abdominal sacral colpopexy/hysteropexy is the gold standard for the treatment of vaginal apex support. However, dissection of the promontory may expose to potentially life-threatening complications. To avoid this risk, laparoscopic lateral suspension with mesh is an alternative. Robotic assistance may be helpful in both techniques. The objective of our study was to evaluate outcomes of robotically assisted laparoscopic lateral suspension (RALLS) with mesh for anterior and apical pelvic organ prolapse (POP). From March 2012 to January 2018, 59 consecutive patients underwent RALLS using titanized polypropylene mesh. Between August 2017 and September 2019, all patients were contacted to assess outcome. We performed a clinical exam and asked them to complete the patient global impression of improvement (PGI-I) questionnaire. Fifty-four patients (91.5%) were available for follow-up. Mean age was 58.5 years (28.8–79.8). There were no perioperative complications. The mean follow-up was 33.6 months (11.2–74.1).The objective cure rate (no prolapse beyond hymen) and the subjective cure rate (PGI-I ≤ 2) were 83.3% and 77.2%, respectively. Five women (9.3%) were reoperated for POP recurrence. There was no erosion. Of the 20 women complaining of stress urinary incontinence (SUI) preoperatively, 12 (60%) were cured without any additional SUI procedure. Only two women (10%) required TVT for persistent grade 2 SUI. Two women (5.9%) developed de novo SUI, but none of them required an operation. RALLS repair for POP with mesh is safe and effective and may represent an alternative to sacral colpopexy/hysteropexy.

Keywords Pelvic organ prolapse · Sacrocolpopexy · Hysteropexy · Apical prolapse · Robotic surgery · Lateral suspension with mesh

Abbreviations

ASCP	Abdominal sacral colpopexy
LSCP	Laparoscopic sacrocolpopexy
RALSCP	Robotically assisted laparoscopic sacrocolpopexy
POP	Pelvic organ prolapse
POP-Q	Pelvic organ prolapse quantification system
LLS	Laparoscopic lateral suspension
RALLS	Robotically assisted laparoscopic lateral suspension
TVT	Tension-free vaginal tape
BMI	Body mass index
HT	Hormonal replacement therapy
UI	Urinary incontinence
SUI	Stress urinary incontinence
UUI	Urge urinary incontinence
MUI	Mixed urinary incontinence
IQ	Interquartile
TH	Total hysterectomy
SH	Subtotal hysterectomy
VAS	Visual analogue scale
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease

✉ Patrick Dällenbach
patrick.dallenbach@hcuge.ch

[1] Urogynecology Unit, Division of Gynecology, Department of Pediatrics, Gynecology and Obstetrics, Geneva University Hospitals, 30 boulevard de la Cluse, 1211 Geneva 14, Switzerland

Introduction

Pelvic organ prolapse (POP) is a frequent condition impairing women's quality of life. The lifetime risk of undergoing POP surgery is estimated to be close to 20% [1]. Abdominal sacral colpopexy/hysteropexy (ASCP) is the gold standard for the treatment of apical vaginal and uterine prolapse [2]. During the last 2 decades, the developments of minimally invasive access by laparoscopy have reduced

Published online: 05 April 2021

morbidity associated with transabdominal procedure [3]. More recently, access to robotic assistance made conversion from open to laparoscopic surgery more feasible without impairing results [4]. However, a difficult step for this procedure is the dissection of the sacral promontory to access the anterior longitudinal ligament where the mesh will be fixed. Although rare, sacrocolpopexy is associated with potentially serious complications such as life-threatening vascular injuries, ureteric damage, vertebral osteomyelitis, and nerve injuries resulting in chronic constipation and pain [5]. In 1967, Kapandji first described an alternative method to the ASC, which avoided the dissection of the sacral promontory and thus reduced its related risks. The procedure consisted in attaching the anterior vaginal wall and the uterine isthmus to the anterior–superior iliac spine with a mesh [6]. In the end of the nineties, the procedure was developed laparoscopically and modified with a higher and more lateral suspension [7, 8]. Dubuisson case series showed similar results to those of ASC, with an erosion rate of about 6% and a reoperation rate for recurrence close to 10% [8–10]. One of the weaknesses of these studies was the variability of surgical approaches including the use of various prostheses attached to the vaginal fascia with permanent sutures or with glue. Associated procedures were also not standardized sometimes using mesh to treat posterior defect, sometimes posterior colporrhaphy or McCall culdoplasty, with a large proportion of women having concomitant subtotal hysterectomy or preventive Burch colposuspension.

With the advances in robotic surgery, we performed the intervention using the da Vinci® robotic system. From the start of our robotic experience, we standardized the procedure, thereby avoiding unnecessary hysterectomy and always used the same mesh and fixation technique. The robotic assistance allowed us to avoid the step of lateral transparietal passage of the dissector to pull up the lateral arms of the mesh reducing the number of scars [11]. The robotic assistance improved vision and ergonomics, reducing discomfort and fatigue of the surgeon.

The aim of this study was to analyze the anatomical and functional results of RALLS in a continuous series of women operated in our clinic. A secondary objective was to evaluate if a standardized technique using macroporous titanized polypropylene mesh and non-permanent sutures to fix it on the vaginal fascia may lower the erosion rate reported in previous laparoscopic studies.

Materials and methods

From March 2012 to January 2018, we performed RALLS repair with mesh in 59 consecutive women with symptomatic anterior vaginal wall and apical prolapse. The detailed technique is described and illustrated in our previous video article with a specific step-by-step procedure [11]. We consecutively used three da Vinci system (S, Si, and Xi by Intuitive surgical®) as they were progressively updated in our institution over the study period. The surgical procedure was the same with the three systems but the 12 mm umbilical trocar with da Vinci S and Si system became an 8 mm trocar with the Xi system. Docking was easier with the Xi system and we were able to displace the 10 mm paraumbilical assistant trocar to the suprapubic area. The two 8 mm lateral trocars were placed very laterally, 5 cm above the anterosuperior iliac spine. This allowed the assistant to pull up the lateral arms of the mesh through the trocars, avoiding supplementary incision and transparietal passage of the lateral arms of the mesh as it is performed in the standard laparoscopic technique. The very lateral position of the trocars was made feasible by robotic assistance. All patients were given preoperative prophylactic antibiotics (Mefoxitin—2 g intravenously) at induction of anesthesia. All patients were operated by a single surgeon (PD) experimented in laparoscopic surgery and trained in robotic surgery, assisted by residents in training. We used the same titanised macroporous polypropylene mesh for all patients (TiLOOP® "Prof Dubuisson"® 9X 41.5 cm, 65 g/m^2). The mesh was fixed to the vesicovaginal fascia (Fig. 1) with non-permanent sutures of 2–0 polyglactin 910 (Vicryl™ 2-0, JB needle, by Ethicon), and fixed to the anterior cervix and the isthmus uteri with two permanent polyester 0 sutures (Ethibon Excel™ 0, CT-1 needle by Ethicon). Peritoneum of the vesicovaginal fold was closed with a simple overlock of uninterrupted polyglactin 910 suture (Vicryl™ 0, CT-2 needle by Ethicon) (Fig. 2). All patients had postoperative fractional heparin. A vaginal swab with oestrogen cream (Oestogynaedron®) was placed in the vagina for the night and removed by next morning.

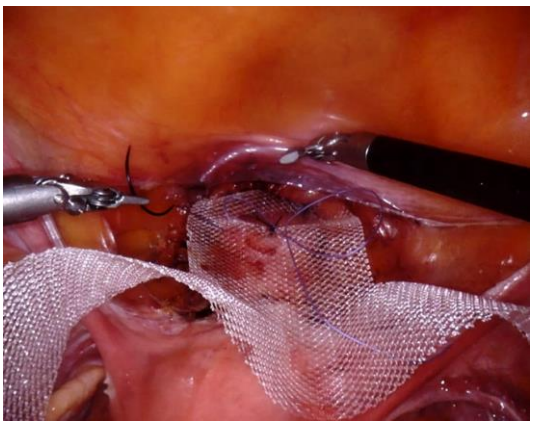


Fig. 1 TiLOOP® titanised macroporous polypropylene mesh fixed to the vesicovaginal fascia with non-permanent sutures

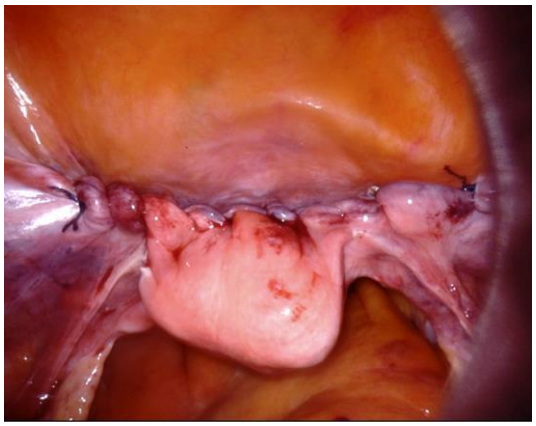


Fig. 2 Final appearance after hysteropexy by robotically assisted laparoscopic lateral suspension

All women had preoperative urodynamics and POP assessment using the Pelvic Organ Prolapse Quantification system (POP-Q) [12].They all had a postoperative 6 weeks assessment with clinical examination and a patient global impression of improvement (PGI-I) questionnaire for subjective evaluation of the procedure [13]. Between August 2017 and September 2019, all patients were contacted by two of the authors (SS and MA) by phone or letter to come to our clinic. We performed a clinical exam with POP-Q assessment and asked them to refill a patient global impression of improvement (PGI-I) questionnaire to evaluate long-term satisfaction with the procedure. Nowadays, many authors agree that clinically relevant POP are the ones overpassing the hymen, we used this definition for anatomical failure [14, 15]. Subjective failure was defined as PGI-I > 2.

This study was approved by the Institutional Ethics committee of the Geneva University Hospitals (protocol number 2017-00446). All patients gave their informed consent. We collected variables including age, weigh, height, parity, number of vaginal deliveries, menopausal status, the presence of diabetes, asthma, smoking, COPD, heart disease, constipation, or sexual activity, and history of a previous surgery for POP or urinary incontinence. Preoperative, perioperative, and longer term data were collected in case report forms for each patient. We systematically searched for complications such as mesh erosion, de novo SUI, reoperation for SUI or recurrent POP, and de novo dyspareunia.

We performed descriptive statistics. We used mean with standard deviation (SD), and the range to describe the general characteristics of our cohort. When more appropriate, we used median with interquartile (IQ) range. Medians were compared with Mann–Whitney test. $P < 0.05$ was considered to be statistically significant. Data analysis was performed using SPSS 25 statistical software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Table 1 Characteristics of the study population ($N = 54$)

Characteristics	
Age (y) mean ± SD (range)	58.5 ± 10.4 (28.8–79.8)
Height (cm) mean ± SD (range)	163 ± 5.7 (151–174)
Weight (kg) mean ± SD (range))	71.2 ± 12.4 (49–107)
BMI (kg/m^2) mean ± SD (range)	26.9 ± 4.6 (18.7–37.5)
BMI > 30 *n* (%)	13 (24.1)
Parity mean ± SD (range)	2.3 ± 1.0 (0–7)
Nulliparous *n* (%)	1 (1.9)
Primiparous *n* (%)	8 (14.8)
Multiparous (≥ 2 deliveries) *n* (%)	45 (83.3)
Menopause *n* (%)	43 (79.6)
Hormonal replacement therapy *n* (%)	13 (24.1)
Diabetes *n* (%)	11 (20.4)
Hypertension or cardiopathy	12 (22.2)
COPD	4 (7.4)
Smoking > 5 cig/day *n* (%)	10 (18.5)
Constipation *n* (%)	15 (27.8)
Sexual activity *n* (%)	33 (61.1)
Previous abdominal surgery	31 (57.4)
Previous POP surgery *n* (%)	7 (13.0)
Previous UI surgery *n* (%)	1 (1.9)

Results

POP repair was successfully completed in all 59 women without any perioperative complication. Five women were lost to follow-up. Two had moved abroad, and three had invalid addresses and phone numbers. Finally, 54 women of the cohort (91.5%) were available for analysis.

The characteristics of our study population are presented in Table 1. Most patients were postmenopausal and overweight. More than half had previous abdominal surgery, but none had previous hysterectomy. Seven patients (13.0%) had previous POP surgery (three anterior colporrhaphy and six posterior colporrhaphy) and one (1.9%) had previous operation for SUI (laparoscopic Burch colposuspension). Fifty-three patients (98.1%) had preoperative POP stage 3 or 4 and symptoms of UI were present in 50% of women. Preoperative urinary and fecal incontinence rate are presented in Table 2. The median operative time (from installation of uterine mobilization system to dressing of the wounds), was 180.0 min (IQ 155.0–204.8). The median operative time of the robotic procedure was 114 min (IQ 99.3–129.0). For the first twenty cases, the median operative time was 203.5 min (IQ 183.3–213.8), compared to 156.5 min (IQ 146.3–171.0) for the last twenty ($P < 0.001$). The median

Table 2 Preoperative urinary or fecal incontinence of the study population

Characteristics	$N=54$ (%)
Urinary incontinence	27 (50.0)
Pure stress urinary incontinence	10 (18.5)
Pure urge urinary incontinence	7 (13.0)
Mixed urinary incontinence	10 (18.5)
Stress urinary incontinence *n* (%)	20 (37.0)
Grade1	12 (22.2)
Grade 2	8 (14.8)
Grade 3	0
Occult stress incontinence at urodynamics *n* (%)	12 (22.2)
Fecal incontinence	4 (7.4)

Table 3 Perioperative characteristics ($N=54$)

Characteristics	
Operative time (min) median IQ range	180.0 (155–204.8)
First twenty patients median IQ range	203.5 (183.3–213.8)
Last twenty patients median IQ range	156.5.0 (146.3–171.0)
Robotic time (min) median IQ range	114 (99.3–129.0)
First twenty patients median IQ range	126.5 (106.8–135.8)
Last twenty patients median IQ range	110.0 (95.5–124.3)
Docking time (min) median IQ range	8.0 (5.0–11.0)
First twenty patients median IQ range	8.0 (7.0–11.0)
Last twenty patients median IQ range	6.0 (4.3–10.0)
Concomitant procedures *n* (%)	
Adhesiolysis *n* (%)	16 (29.6)
Posterior colporrhaphy *n* (%)	6 (11.1)
Subtotal hysterectomy *n* (%)	1 (1.9)
SUI surgery *n* (%)	0
Bilateral salpingectomy *n* (%)	6 (11.1)
Estimated blood loss (ml) mean ± SD (range)	20.8 ± 55.6 (0–300)
Intraoperative complication *n* (%)	0
Conversion to laparoscopy or laparotomy *n* (%)	0

IQ interquartile, *SD* standard deviation

robotic time for the first twenty women was 126.5 min (IQ 106.8–135.8) compared to 110.0 (IQ 95.5–124.3) for the last twenty ($P=0.046$). Perioperative characteristics are presented in Table 3. More than half of the patients had an associated surgical procedure, including six having a posterior colporrhaphy, but no concomitant SUI surgery. Mean estimated blood loss was 20.8 ml ± 55.6 (0–300 ml). There was no bladder, ureteral, or bowel injury, nor conversion in laparoscopy or laparotomy, and no supplementary trocar was added during the procedure. Mean VAS pain score was 2.8 (SD 1.9) and 1.9 (SD 1.7) on the first and second postoperative day, respectively. There was no postoperative fever or hematoma. Three women (5.6%) experienced urinary tract infection. The median length of postoperative stay was 2.5 days (IQ 2.0–3.0). Only one patient, known for a chronic cardiopathy, had a prolonged stay (15 days) for segmental pulmonary embolism.

The mean follow-up was 33.6 ± 18.8 months (11.2–74.1). Anatomical results are presented in Tables 4 and 5. The objective cure rate (no prolapse beyond hymen in any compartment) was 98.1% at 6 weeks and 83.3% at long-term evaluation. The subjective cure rate (PGI-I ≤ 2) was 94.4% and 77.2% at short- and long-term follow-up, respectively (Table 6). Five women (9.3%) of the cohort required reoperation for POP recurrence. Two of them were operated before our study assessment. They had posterior compartment repair within the first year after the initial procedure. One woman was treated 10 months after first procedure for stage 2 rectocele by posterior colporrhaphy. The other patient had rectopexy and posterior mesh sacrocolpopexy 9 months after first operation for stage 3 rectocele and enterocele, with anal gas incontinence. Three women were operated during the months following our evaluation. One patient was treated 65 months after the first procedure for stage 3 rectocele and enterocele by vaginal repair. Two women presented with middle compartment recurrence with enlarged and long cervix, one of which had myomatous symptomatic uterus. Both women were treated by robotically assisted laparoscopic total hysterectomy with high uterosacral

Table 4 Comparison between pre and postoperative POP ($N=54$)

Stage	Preoperative	Early postoperative Mean 1.6 months	Late postoperative Mean 33.6 months
Stage 0	0	26 (48.1)	11 (20.4)
Stage 1	0	17 (31.5)	8 (14.1)
Stage 2			
Above hymen	1(1.9)	10 (18.5)	26 (48.1)
Beyond hymen	0	1 (1.9)	2 (3.7)
Stage 3	51 (94.4)	0	7 (13.0)
Stage 4	2 (3.7)	0	0
POP beyond hymen	53 (98.1)	1 (1.9)	9 (16.7)

Table 5 Detailed anatomical results ($N=54$)

Stage	Preoperative	Early postoperative (mean 1.6 months)	Late postoperative at (mean 33.6 months)
Anterior compartment (cystocele)			
0	0	50 (92.6)	32 (59.3)
1	3 (5.6)	2 (3.7)	4 (7.4)
2 above hymen	2 (3.7)	2 (3.7)	15 (27.8)
2 beyond hymen	3 (5.6)	0	2 (3.7)
3	45 (83.3)	0	1 (1.9)
4	1 (1.9)	0	0
Middle compartment (uterine prolapse)			
0	0	49 (90.7)	40 (74.1)
1	2 (3.7)	2 (3.7)	8 (14.8)
2 above hymen	21 (38.9)	3 (5.6)	2 (3.7)
2 beyond hymen	6 (11.1)	0	0
3	24 (44.4)	0	4 (7.4)[a]
4	1 (1.9)	0	0
Posterior compartment (rectocele)			
0	22 (38.6)	31 (57.4)	23 (42.6)
1	26 (48.1)	16 (29.6)	9 (16.7)
2 above hymen	4 (7.4)	6 (11.1)	20 (37.0)
2 beyond hymen	1 (1.9)	1 (1.9)	0
3	1 (1.9)	0	2 (3.7)[b]
4	0	0	0

Results are presented as *n* (%)

[a]One patient treated by pessary, two required laparoscopic total hysterectomy with high uterosacral suspension

[b]One enterocele treated with pessary, and one with vaginal repair

Table 6 Subjective outcome (Patient Global Impression of Improvement PGI-I)

PGI-I score	Early postoperative mean 1.6 months ($N=54$)	Long term mean 33.6 months ($N=54$)
PGI-I ≥ 2	51 (94.4)	44 (77.2)
1—Very much better	43 (79.6)	34 (63.0)
2—Much better	8 (14.8)	10 (18.5)
3—A little better	3 (5.6)	5 (9.3)
4—No change	0	3 (5.6)
5—A little worse	0	1 (1.9)
6—Much worse	0	1 (1.9)
7—Very much worse	0	0

Results are presented as *n* (%)

suspension of the vaginal vault, 31 and 54 months after the first procedure. There was no reoperation on the anterior compartment. However, we observed three cystoceles slightly overpassing the hymen margin, but all women were asymptomatic and did not require further surgical repair. Two women, one with stage 3 rectocele and one with stage 3 uterine prolapse, chose pessary instead of a reoperation. There was no mesh erosion at short- or long-term follow-up. Among the 20 women complaining of SUI preoperatively, 12 (60%) were cured at long-term follow-up. Two of them (10%), with preoperative grade 2 SUI, had TVT 12 and 46 months after the first operation, respectively. Two of the thirty-four other women (5.9%) developed de novo SUI, but none of them required SUI surgery. There were two women (3.7%) describing de novo dyspareunia at short- and long-term assessment. Eleven women (20.4%) presented constipation at short and long-term follow-up compared to fifteen (27.8%) preoperatively.

Discussion

To our knowledge, this is the first reported series of RALLS with long-term outcomes. Our study confirms the feasibility and safety of this technique, and its effectiveness to treat anterior and apical POP with good objective and subjective long-term results. It allows preservation of the uterus which is important to many women [16]. Preserving uterus reduces operative time, mesh exposure, and blood loss without differences in POP recurrence [17]. Perioperative complications, including the risk associated with morcellation and the long-term risk of mesh erosion, are reduced by avoiding total hysterectomy [18–20]. LLS is well suited for hysteropexy and follows natural lateral attachment of the uterus. It maintains the vagina in a normal anatomical situation, which is not the case with sacrospinous hysteropexy, and to a lesser extent with sacrohysteropexy in which there is a slight right lateral traction on the mesh.

One of the objectives of this study was to evaluate if a standardized procedure using the same macroporous polypropylene mesh fixed to the vesicovaginal fascia only with non-permanent sutures would reduce the 6% risk of erosion described in previous LLS studies [8, 10]. With a mean follow-up close to three years, we observed no erosion. As the use of mesh is currently controversial, this is very reassuring information. Robotic assistance allows one to dissect the vesicovaginal space very precisely with almost no bleeding. It might participate to the absence of erosion. However, the type of mesh probably plays the most important role [21]. Mereu et al. in a recent 2 years follow–up, LLS series of 120 women using the same titanized polypropylene mesh observed only one erosion (0.8%). They do not describe the method of mesh fixation on the vagina but as they state that they followed the technique described by Dubuisson, they probably used permanent (polyester sutures). We believe that the use of permanent sutures such as polyester, used in previous laparoscopic LLS and LSCP studies, could increase

the risk of vaginal erosion by conducting bacteria from the vagina to the mesh if the suture is too close to the vaginal mucosa. This was the case in Baines et al. recent study where vaginal exposure to polyester led to prosthetic erosions after LSCP [22]. Moreover, we believe the inflammatory reaction mediated by the mesh and neofibrosis to be responsible for the long-term support, thus rending permanent sutures unnecessary. We showed in a previous report that mesh type and posterior mesh placement represent risk factors for erosion [21]. Therefore, we decided not to place any mesh material in the posterior compartment. This strategy is sustained by the fact that the posterior compartment is best treated by vaginal access and does not require mesh material [23]. In this study, we decided to treat posterior defect only if it was symptomatic and discussed a two-step approach with patients to treat rectocele secondarily if necessary. Similar to Mereu et al. recent study, we often observed moderate asymptomatic rectocele during follow-up: 53.7% rectocele stage 1 or 2 not overpassing the hymen in our study compare to 18.3% in their study [24]. The difference may be due to their choice to exclude women with posterior defect to whom sacrocolpopexy was offered. However, in our study, only two patients required posterior compartment repair within the first postoperative year and only one over the following years of follow-up. We believe POP to be a functional pathology and it is important to treat only symptomatic prolapse not to do more harm than benefit to our patients. Moreover, posterior colporrhaphy is a simple procedure that can be done on an outpatient basis later if necessary. This strategy avoids the unnecessary use of mesh in the posterior compartment which is the case in standard sacrocolpopexy.

Mereu et al. reoperation rate for POP recurrence was 6.8% compared to 9.3% in our study. The difference is probably due to the selection of cases as previously discussed. If we exclude posterior compartment recurrence, the reoperation rate in the apical and anterior compartment drops down to 3.7% in our cohort. In comparison, in the Dubuisson 2011 series, the rate of reoperation for recurrence was 4.6% which was very similar. This rate is also similar to reoperation rates after LSCP and RALSCP. Sarlos et al. in a series of 101 LSCP patients treated with anterior and posterior mesh had a reoperation rate for recurrence of 3.5% at long-term follow-up. However, they experienced rather serious perioperative complications such as three rectal injuries, one with septic peritonitis, one with conversion in laparotomy, and one mechanical ileus also requiring laparotomy which is not the case with LLS or RALLS. In a systematic review of RALSCP by Serati et al., they described 3% (0–19) of intraoperative and 2% (0–8%) of severe postoperative complications, along with mesh erosion rates of 2% (0–8%) and a reoperation rate for recurrence of 3.3% [25]. In a large LSCP review with more than 1000 patients with a mean follow-up of 2 years, they had a 6.2% reoperation rate for POP recurrence [26]. In a more recent French LSC series of 464 women with a mean follow-up of 4 years, the reoperation rate for POP recurrence was 5.1% and mesh related reoperation rate was 2.8% [27]. Among our reoperations for POP recurrence, two women presented with hypertrophic and elongated cervix and required hysterectomy with high uterosacral suspension. Both already had hypertrophic cervix before first intervention and we believe it might represent a risk factor for failure with this technique.

In case of SUI or occult SUI at urodynamics, we used a two-step strategy. Our patients agreed on treating them secondarily only if SUI was still bothering them after POP repair. This strategy is supported by current medical literature [28, 29]. An interesting and unexpected result of our study was the large proportion (60%) of cure of preoperative SUI. A similar improvement of preoperative SUI without concomitant SUI surgery was also observed in a recent LSCP study [30]. We hypothesize that an anterior vaginal mesh, by lifting up vesicovaginal fascia, may improve suburethral hammock suspension. We observed only two cases (5.9%) of de novo SUI which is close to the rate of 2.5% found in a recent LLS study [24].

In the only other published RLLS series, Simoncini et al. reproduced each step of the standard LLS making a 3 mm skin incision 2 cm above and 2 cm laterally to the anterior superior iliac spine [31]. As described in our first report of the technique, we believe it is unnecessary with robotic assistance [11]. Indeed, an interesting benefit of robotic surgery is the fact that with the help of computerized assistance, it is possible for the surgeon to introduce trocars on the abdominal wall that are ergonomically inaccessible in standard laparoscopy. We placed our lateral trocars very laterally to be able to pull the arms of the mesh through the same abdominal wall incisions. By avoiding the step of the transparietal passage of the laparoscopic forceps used to pull the lateral arms of the mesh, it allowed us to reduce the number of incisions of the standard LLS technique. We believe that apart from aesthetic considerations, it may also potentially reduce postoperative pain. It may also help avoid potential damage to abdominal wall nerve of the lumbar plexus, in particular the iliohypogastric and ilioinguinal nerves that run between the muscles of the abdominal wall. To fix the mesh, Simoncini et al. used three rows of sutures, using long-term absorbable 2–0 monofilament suture for the first two rows (Maxon®), and a third row of non-absorbable 2–0 sutures (Prolene® Ethicon) on the upper part around the cervix. One patient presented immediate extrusion of one suture and required removal of underlying mesh. As discussed earlier, we believe that short-term absorbable suture is better suited than long-term or permanent sutures to fix the mesh to the vesicovaginal fascia. It reduces the risk of erosion without impairing results. Fibrosis will form and fix the mesh in the very first postoperative days.

Another data highlighted by our study is the learning curve necessary to improve efficiency of RALLS. In comparing the first twenty and last twenty procedures, we observed a significant reduction in the median total operative and console time. From our experience we estimate that 25–30 procedures are required to reduce and stabilize console time and total surgery time which is quite similar to the learning curve of RALSCP [32].

The limitation of our study is that it is the experience of a single institution with a single surgeon, without any control group, which limits generalization of the results. The number of patients is small and larger series are required to confirm and disseminate the technique to other centres.

The strength of our study is to provide a standardized series initiated from the beginning of our robotic experience with a long-term follow-up and the availability of precise preoperative, perioperative, and postoperative data. Our robotic program included a continuously updated computerized register which allowed us to collect specific perioperative data.

Conclusions

RALLS POP repair with mesh is a safe and effective technique for the treatment of anterior vaginal wall and uterine prolapse, and is often associated with improvement of SUI. Anatomical and functional results are similar to the standard LLS technique. By avoiding promontory dissection, RALLS may have several advantages over RALSCP by reducing perioperative risks such as bowel, vascular and nerve injuries as well as osteomyelitis. It may represent a useful alternative in cases of pelvic kidney, bony abnormalities, and difficult promontory dissection such as fatty presacral space with difficulties reaching the longitudinal ligament. In case of a concomitant posterior defect, secondary worsening is possible and a standard colporrhaphy made at the same time or in a second step should be discussed with the patient.

Acknowledgements The authors thank Dr. M Francis Dällenbach for correcting English language in the article. This study was conducted with the support of the Department of Pediatrics, Gynecology and Obstetrics of the University of Geneva.

Author contributions PD: protocol development, data collection and analysis, and manuscript writing. SS: Protocol development, data collection and management, and manuscript writing. MA: data collection and management and manuscript writing. MB: data analysis and review of manuscript writing. All authors read and approved the final manuscript.

Funding Open Access funding provided by Université de Genève.

Declarations

Conflict of interest Dr. Patrick Dällenbach, Dr. Milena Alec, Prof. Michel Boulvain and Dr. Stas Shabanov declare that they have no conflict of interest or financial ties to disclose.

Ethics approval This study was approved by the Institutional Ethics committee of the Geneva University Hospitals (protocol number 2017–00446). All procedures followed were in accordance with the ethical standards of the responsible committee on human experimentation (institutional and national) and with the Helsinki Declaration of 1975, as revised in 2000.

Consent to participate Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

References

1. Smith FJ, Holman CD, Moorin RE, Tsokos N (2010) Lifetime risk of undergoing surgery for pelvic organ prolapse. Obstet Gynecol 116(5):1096–1100. https://doi.org/10.1097/AOG.0b013e3181f73729
2. Maher C, Feiner B, Baessler K, Christmann-Schmid C, Haya N, Brown J (2016) Surgery for women with apical vaginal prolapse. Cochrane Database Syst Rev 10:CD012376. https://doi.org/10.1002/14651858.CD012376
3. Wattiez A, Mashiach R, Donoso M (2003) Laparoscopic repair of vaginal vault prolapse. Curr Opin Obstet Gynecol 15(4):315–319. https://doi.org/10.1097/01.gco.0000084246.09900.06
4. Geller EJ, Parnell BA, Dunivan GC (2012) Robotic vs abdominal sacrocolpopexy: 44-month pelvic floor outcomes. Urology 79(3):532–536. https://doi.org/10.1016/j.urology.2011.11.025
5. Nygaard IE, McCreery R, Brubaker L, Connolly A, Cundiff G, Weber AM, Zyczynski H, Pelvic Floor Disorders N (2004) Abdominal sacrocolpopexy: a comprehensive review. Obstet Gynecol 104(4):805–823. https://doi.org/10.1097/01.AOG.0000139514.90897.07
6. Kapandji M (1967) Treatment of urogenital prolapse by colpo-isthmo-cystopexy with transverse strip and crossed, multiple layer, ligamento-peritoneal douglasorrhaphy. Ann Chir 21(5):321–328
7. Cornier E, Madelenat P (1994) The M. Kapandji hysteropexy: a laparoscopic technic and preliminary results. J Gynecol Obstet Biol Reprod (Paris) 23(4):378–385
8. Dubuisson JB, Eperon I, Jacob S, Dubuisson J, Wenger JM, Dallenbach P, Kaelin-Gambirasio I (2011) Laparoscopic repair of pelvic organ prolapse by lateral suspension with mesh: a continuous series of 218 patients. Gynecol Obstet Fertil 39(3):127–131. https://doi.org/10.1016/j.gyobfe.2010.12.007

9. Dubuisson JB, Jacob S, Chapron C, Fauconnier A, Decuypere F, Dubernard G (2002) Laparoscopic treatment of genital prolapse: lateral utero-vaginal suspension with 2 meshes. Results of a series of 47 patients. Gynecol Obstet Fertil 30(2):114–120. https://doi.org/10.1016/s1297-9589(01)00277-6
10. Dubuisson JB, Yaron M, Wenger JM, Jacob S (2008) Treatment of genital prolapse by laparoscopic lateral suspension using mesh: a series of 73 patients. J Minim Invasive Gynecol 15(1):49–55. https://doi.org/10.1016/j.jmig.2007.11.003
11. Dallenbach P, Veit N (2014) Robotically assisted laparoscopic repair of anterior vaginal wall and uterine prolapse by lateral suspension with mesh: initial experience and video. Int Urogynecol J 25(8):1137–1139. https://doi.org/10.1007/s00192-014-2349-2
12. Bump RC, Mattiasson A, Bo K, Brubaker LP, DeLancey JO, Klarskov P, Shull BL, Smith AR (1996) The standardization of terminology of female pelvic organ prolapse and pelvic floor dysfunction. Am J Obstet Gynecol 175(1):10–17. https://doi.org/10.1016/s0002-9378(96)70243-0
13. Srikrishna S, Robinson D, Cardozo L (2010) Validation of the Patient Global Impression of Improvement (PGI-I) for urogenital prolapse. Int Urogynecol J 21(5):523–528. https://doi.org/10.1007/s00192-009-1069-5
14. Swift S, Woodman P, O'Boyle A, Kahn M, Valley M, Bland D, Wang W, Schaffer J (2005) Pelvic Organ Support Study (POSST): the distribution, clinical definition, and epidemiologic condition of pelvic organ support defects. Am J Obstet Gynecol 192(3):795–806. https://doi.org/10.1016/j.ajog.2004.10.602
15. Swift S (2005) Pelvic organ prolapse: is it time to define it? Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct 16(6):425–427. https://doi.org/10.1007/s00192-005-1372-8
16. Frick AC, Barber MD, Paraiso MF, Ridgeway B, Jelovsek JE, Walters MD (2013) Attitudes toward hysterectomy in women undergoing evaluation for uterovaginal prolapse. Female Pelvic Med Reconstr Surg 19(2):103–109. https://doi.org/10.1097/SPV.0b013e31827d8667
17. Meriwether KV, Antosh DD, Olivera CK, Kim-Fine S, Balk EM, Murphy M, Grimes CL, Sleemi A, Singh R, Dieter AA, Crisp CC, Rahn DD (2018) Uterine preservation vs hysterectomy in pelvic organ prolapse surgery: a systematic review with meta-analysis and clinical practice guidelines. Am J Obstet Gynecol 219(2):129-146e122. https://doi.org/10.1016/j.ajog.2018.01.018
18. Cundiff GW, Varner E, Visco AG, Zyczynski HM, Nager CW, Norton PA, Schaffer J, Brown MB, Brubaker L, Pelvic Floor Disorders N (2008) Risk factors for mesh/suture erosion following sacral colpopexy. Am J Obstet Gynecol 199(6):688e681-685. https://doi.org/10.1016/j.ajog.2008.07.029
19. Tan-Kim J, Menefee SA, Luber KM, Nager CW, Lukacz ES (2011) Prevalence and risk factors for mesh erosion after laparoscopic-assisted sacrocolpopexy. Int Urogynecol J 22(2):205–212. https://doi.org/10.1007/s00192-010-1265-3
20. Stine JE, Clarke-Pearson DL, Gehrig PA (2014) Uterine morcellation at the time of hysterectomy: techniques, risks, and recommendations. Obstet Gynecol Surv 69(7):415–425. https://doi.org/10.1097/OGX.0000000000000088
21. Dallenbach P, De Oliveira SS, Marras S, Boulvain M (2016) Incidence and risk factors for mesh erosion after laparoscopic repair of pelvic organ prolapse by lateral suspension with mesh. Int Urogynecol J 27(9):1347–1355. https://doi.org/10.1007/s00192-016-2974-z
22. Baines G, Price N, Jefferis H, Cartwright R, Jackson SR (2019) Mesh-related complications of laparoscopic sacrocolpopexy. Int Urogynecol J 30(9):1475–1481. https://doi.org/10.1007/s00192-019-03952-7
23. Mowat A, Maher D, Baessler K, Christmann-Schmid C, Haya N, Maher C (2018) Surgery for women with posterior compartment prolapse. Cochrane Database Syst Rev 3:CD012975. https://doi.org/10.1002/14651858.CD012975
24. Mereu L, Tateo S, D'Alterio MN, Russo E, Giannini A, Mannella P, Pertile R, Cai T, Simoncini T (2020) Laparoscopic lateral suspension with mesh for apical and anterior pelvic organ prolapse: a prospective double center study. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol 244:16–20. https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2019.10.026
25. Serati M, Bogani G, Sorice P, Braga A, Torella M, Salvatore S, Uccella S, Cromi A, Ghezzi F (2014) Robot-assisted sacrocolpopexy for pelvic organ prolapse: a systematic review and meta-analysis of comparative studies. Eur Urol 66(2):303–318. https://doi.org/10.1016/j.eururo.2014.02.053
26. Ganatra AM, Rozet F, Sanchez-Salas R, Barret E, Galiano M, Cathelineau X, Vallancien G (2009) The current status of laparoscopic sacrocolpopexy: a review. Eur Urol 55(5):1089–1103. https://doi.org/10.1016/j.eururo.2009.01.048
27. Vandendriessche D, Sussfeld J, Giraudet G, Lucot JP, Behal H, Cosson M (2017) Complications and reoperations after laparoscopic sacrocolpopexy with a mean follow-up of 4 years. Int Urogynecol J 28(2):231–239. https://doi.org/10.1007/s00192-016-3093-6
28. Baessler K, Christmann-Schmid C, Maher C, Haya N, Crawford TJ, Brown J (2018) Surgery for women with pelvic organ prolapse with or without stress urinary incontinence. Cochrane Database Syst Rev 8:CD013108. https://doi.org/10.1002/14651858.CD013108
29. Schierlitz L, Dwyer PL, Rosamilia A, De Souza A, Murray C, Thomas E, Hiscock R, Achtari C (2014) Pelvic organ prolapse surgery with and without tension-free vaginal tape in women with occult or asymptomatic urodynamic stress incontinence: a randomised controlled trial. Int Urogynecol J 25(1):33–40. https://doi.org/10.1007/s00192-013-2150-7
30. Christmann-Schmid C, Bruehlmann E, Koerting I, Krebs J (2018) Laparoscopic sacrocolpopexy with or without midurethral sling insertion: Is a two- step approach justified? A prospective study. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol 229:98–102. https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2018.08.009
31. Simoncini T, Russo E, Mannella P, Giannini A (2016) Robotic-assisted apical lateral suspension for advanced pelvic organ prolapse: surgical technique and perioperative outcomes. Surg Endosc 30(12):5647–5655. https://doi.org/10.1007/s00464-016-4924-8
32. van Zanten F, Schraffordt Koops SE, Pasker-De Jong PCM, Lenters E, Schreuder HWR (2019) Learning curve of robot-assisted laparoscopic sacrocolpo(recto)pexy: a cumulative sum analysis. Am J Obstet Gynecol 221(5):483 e481-483. https://doi.org/10.1016/j.ajog.2019.05.037

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

V DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Sans aucun doute, à ce jour, nous pouvons dire que la robotique fait partie intégrante de notre quotidien. Elle se révèle souvent plus efficace et bien plus performante que l'être humain et est largement utilisée en industrie. La médecine n'échappe pas à la règle. Depuis plus de 40 ans, les robots chirurgicaux tendent à améliorer la précision chirurgicale et à amplifier les capacités du chirurgien. Dans la majorité de cas il s'agit de télémanipulateurs qui remplacent les instruments déjà existants tels que le scalpel, la pince, le porte aiguille, le mobilisateur, la caméra de scopie… Ce ne sont que des instruments robotisés télé manipulés et c'est bien le chirurgien qui commande les robots à travers une console ou par la voix. Il n'y a pas de gestes réalisés de manière autonome contrairement aux robots industriels.

Le principaux avantages des robots chirurgicaux actuels destinés à la laparoscopie sont :

- offrir la vision 3D précieuse pour une meilleure dissection, meilleure manipulation des instruments et une courbe d'apprentissage plus rapide ;

- offrir 7 degrés de mobilisation des instruments au lieu de seulement 4 permises par laparoscopie. La gestuelle des instruments robotiques se rapproche bien plus de celle de la main humaine par rapport à la laparoscopie ;

- diminuer le nombre de conversions en laparotomie ;

- diminuer la pression abdominale et diminuer ainsi la douleur post opératoire. Des études récentes ont montré que l'intensité de la douleur post opératoire dépendait directement de la pression abdominale per opératoire. Dans ce but le chirurgien doit s'efforcer à opérer à la pression minimale qui lui permettrait d'opérer en sécurité. En laparoscopie standard cette pression est généralement entre 10 et 12 mmHg. La robotique, du fait de l'effet "chapiteau" (la paroi abdominale étant en partie suspendue par les bras robotiques liés aux trocarts) peut être amenée à 8 mmHg ;

- améliorer l'ergonomie du chirurgien. Ceci a pour conséquence de diminuer la fatiguer et améliorer la précision des gestes à réaliser. A long terme elle peut réduire les lombalgies et autres problèmes articulaires et éviter une retraite anticipée du chirurgien. Ceci peut avoir également un impact financier quand on sait que le coût de formation d'un chirurgien s'élève à des centaines de milliers de francs et plus de 10 années.

Les principaux désavantages des robots actuels consistent en leur coût élevé avec un surcout significatif pour chaque intervention, l'encombrement des systèmes, un temps d'intervention plus élevé en raison d'installation du matériel plus lente et l'absence de retour de force pour certains.

Ces désavantages à notre avis ne sont que provisoires. En effet avec le passage de brevets dans le domaine public des systèmes historiques tels que DaVinci, on pourrait s'attendre à l'émergence de nouveaux systèmes sur le marché. Ceci aura pour conséquence de développer une concurrence avec tous les avantages qui en découlent, à savoir une réduction des prix et accélération du développement de nouvelles technologies. La miniaturisation des systèmes devrait également avoir lieu dans les années à venir. La robotique chirurgicale suit le même cheminement que la Hi-Tech et devient de plus en plus compacte et de plus en plus

performante.

La chirurgie robotique peut également apporter un bénéfice aux nouvelles techniques chirurgicales mini invasives (89).

Actuellement de plus en plus de procédures peuvent être réalisées par les voies naturelles (vaginale en l'occurrence en gynécologie). Il s'agit de vNOTES (vaginal - Natural Transluminal Endoscopic Surgery). Elle permet une prise en charge sans cicatrice apparente, la seule incision étant au niveau de la cavité vaginale. Le principal avantage étant la réduction des douleurs post opératoires. Des interventions telles que la salpingectomie, l'annexectomie ou l'hystérectomie sont réalisables. La chirurgie robotique pourrait accélérer le développement de cette technique grâce aux avantages décrits précédemment.

Procédure vNOTES

Les procédures LESS (Laparoendoscopic Single-site Surgery) consistent en la réalisation des interventions laparoscopiques à travers un trocart unique généralement introduit au niveau de l'ombilic. La camera et les instruments sont introduits au niveau d'une plateforme unique généralement en silicone. La première hystérectomie laparoscopique par voie ombilicale unique a été réalisée en 1991 par Pelosi. Le développement de cette technique a été freiné du fait des difficultés techniques. Récemment le développement de nouvelles caméras et d'instruments angulables a ressuscité l'intérêt envers cette technique. Récemment, en 2019, Intuitive Surgical a obtenu l'autorisation de la FDA pour son nouveau système DaVinci SP.

DaVinci SP (Source : Intuitive Surgical)

Le système est réduit à un seul bras permettant l'insertion à travers un trocart unique d'une caméra 3D de haute résolution et de 3 instruments avec 5 degrés de libertés et une angulation permettant garantir la sécurité. Cette technique est applicable à l'ensemble des interventions gynécologiques (90).

L'avenir de la chirurgie gynécologique consiste probablement en la combinaison de ces trois techniques à savoir LESS, NOTES et la chirurgie robotique permettant la réalisation de la majorité des interventions gynécologiques par voie vaginale, sans cicatrice apparente en travaillant en sécurité grâce à la bonne angulation des instruments robotiques. C'est le concept de chirurgie mini-invasive en gynécologie.

En conclusion, la laparoscopie ne représente probablement qu'une étape de transition entre la chirurgie ouverte et la chirurgie robotique mini invasive qui est sans aucun doute l'avenir.

BIBLIOGRAPHIE

1. Zemmar A, Lozano AM, Nelson BJ. The rise of robots in surgical environments during COVID-19. Nat Mach Intell. oct 2020;2(10):566-72.
2. Spaner SJ, Warnock GL. A Brief History of Endoscopy, Laparoscopy, and Laparoscopic Surgery. J Laparoendosc Adv Surg Tech. 1 déc 1997;7(6):369-73.
3. Gomella LG, Strup SE. History of laparoscopy: urology's perspective. J Endourol. févr 1993;7(1):1-5.
4. Schlogel G. [Raoul Palmer and the coelio-surgical adventure from 1940 to 1995]. Hist Sci Medicales. 1996;30(2):281-7.
5. Bruhat M, Manhes H. Trial treatment of extra-uterine pregnancy during celioscopy. Nouv Presse Med. 10 sept 1977;6(29):2606.
6. Polychronidis A, Laftsidis P, Bounovas A, Simopoulos C. Twenty years of laparoscopic cholecystectomy: Philippe Mouret--March 17, 1987. JSLS. mars 2008;12(1):109-11.
7. Reich H, DeCAPRIO J, McGLYNN F. Laparoscopic Hysterectomy. J Gynecol Surg. janv 1989;5(2):213-6.
8. Pelosi MA, Pelosi MA. Laparoscopic hysterectomy with bilateral salpingo-oophorectomy using a single umbilical puncture. N J Med J Med Soc N J. oct 1991;88(10):721-6.
9. 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. févr 1999;9(1):107-13.
10. The SAGES-MIRA Robotic Surgery Consensus Group, Herron DM, Marohn M. A consensus document on robotic surgery. Surg Endosc. févr 2008;22(2):313-25.
11. Schmitz R, Willeke F, Barr J, Scheidt M, Saelzer H, Darwich I, et al. Robotic Inguinal Hernia Repair (TAPP) First Experience with the New Senhance Robotic System. Surg Technol Int. 15 2019;34:243-9.
12. Gueli Alletti S, Rossitto C, Fanfani F, Fagotti A, Costantini B, Gidaro S, et al. Telelap Alf-X-Assisted Laparoscopy for Ovarian Cyst Enucleation: Report of the First 10 Cases. J Minim Invasive Gynecol. oct 2015;22(6):1079-83.
13. Fanfani F, Restaino S, Gueli Alletti S, Fagotti A, Monterossi G, Rossitto C, et al. TELELAP ALF-X Robotic-assisted Laparoscopic Hysterectomy: Feasibility and Perioperative Outcomes. J Minim Invasive Gynecol. oct 2015;22(6):1011-7.
14. Gueli Alletti S, Rossitto C, Cianci S, Restaino S, Costantini B, Fanfani F, et al. Telelap ALF-X vs Standard Laparoscopy for the Treatment of Early-Stage Endometrial Cancer: A Single-Institution Retrospective Cohort Study. J Minim Invasive Gynecol. avr 2016;23(3):378-83.
15. Lowenstein L, Mor O, Matanes E, Lauterbach R, Boulus S, Weiner Z, et al. Robotic Vaginal Natural Orifice Transluminal Endoscopic Hysterectomy for Benign Indications. J Minim Invasive Gynecol. 1 mai 2021;28(5):1101-6.
16. Jarry J, Moreau Gaudry A, Long JA, Chipon E, Cinquin P, Faucheron JL. Miniaturized Robotic Laparoscope-Holder for Rectopexy: First Results of a Prospective Study. J Laparoendosc Adv Surg Tech. 11 mars 2013;23(4):351-5.
17. Roh HF, Nam SH, Kim JM. Robot-assisted laparoscopic surgery versus conventional laparoscopic surgery in randomized controlled trials: A systematic review and meta-analysis. PLoS ONE. janv 2018;13(1):e0191628.
18. Xie W, Cao D, Yang J, Shen K, Zhao L. Robot-assisted surgery versus conventional laparoscopic surgery for endometrial cancer: a systematic review and meta-analysis. J Cancer Res Clin Oncol. oct 2016;142(10):2173-83.

19. Alemzadeh H, Raman J, Leveson N, Kalbarczyk Z, Iyer RK. Adverse Events in Robotic Surgery: A Retrospective Study of 14 Years of FDA Data. PloS One. 2016;11(4):e0151470.
20. Bailey JG, Hayden JA, Davis PJB, Liu RY, Haardt D, Ellsmere J. Robotic versus laparoscopic Roux-en-Y gastric bypass (RYGB) in obese adults ages 18 to 65 years: a systematic review and economic analysis. Surg Endosc. févr 2014;28(2):414-26.
21. Li L, Zhang W, Guo Y, Wang X, Yu H, Du B, et al. Robotic Versus Laparoscopic Rectal Surgery for Rectal Cancer: A Meta-Analysis of 7 Randomized Controlled Trials. Surg Innov. août 2019;26(4):497-504.
22. Liao G, Zhao Z, Deng H, Li X. Comparison of pathological outcomes between robotic rectal cancer surgery and laparoscopic rectal cancer surgery: A meta-analysis based on seven randomized controlled trials. Int J Med Robot [Internet]. oct 2019 [cité 15 avr 2020];15(5). Disponible sur: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rcs.2027
23. Simillis C, Lal N, Thoukididou SN, Kontovounisios C, Smith JJ, Hompes R, et al. Open Versus Laparoscopic Versus Robotic Versus Transanal Mesorectal Excision for Rectal Cancer: A Systematic Review and Network Meta-analysis. Ann Surg. juill 2019;270(1):59-68.
24. Hoshino N, Sakamoto T, Hida K, Sakai Y. Robotic versus laparoscopic surgery for rectal cancer: an overview of systematic reviews with quality assessment of current evidence. Surg Today. juill 2019;49(7):556-70.
25. Ricci C, Casadei R, Taffurelli G, Pacilio CA, Ricciardiello M, Minni F. Minimally Invasive Pancreaticoduodenectomy: What is the Best "Choice"? A Systematic Review and Network Meta-analysis of Non-randomized Comparative Studies. World J Surg. mars 2018;42(3):788-805.
26. Milone M, Manigrasso M, Vertaldi S, Velotti N, Aprea G, Maione F, et al. Robotic versus laparoscopic approach to treat symptomatic achalasia: systematic review with meta-analysis. Dis Esophagus. 13 déc 2019;32(10):1-8.
27. Tang J-Q, Zhao Z, Liang Y, Liao G. Robotic-assisted versus open radical cystectomy in bladder cancer: A meta-analysis of four randomized controlled trails. Int J Med Robot. févr 2018;14(1):e1867.
28. Poinas G, Long J-A, Rébillard X, Descotes J-L. Place de la néphrectomie partielle assistée par robot : revue de la littérature à l'heure d'une demande de nomenclature spécifique. Prog En Urol. déc 2018;28(16):890-9.
29. Allan C, Ilic D. Laparoscopic versus Robotic-Assisted Radical Prostatectomy for the Treatment of Localised Prostate Cancer: A Systematic Review. Urol Int. 18 juill 2015;96(4):373-8.
30. Steffens D, Thanigasalam R, Leslie S, Maneck B, Young JM, Solomon M. Robotic Surgery in Uro-oncology: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. Urology. août 2017;106:9-17.
31. Liu H, Lawrie TA, Lu D, Song H, Wang L, Shi G. Robot-assisted surgery in gynaecology. Cochrane Gynaecological, Neuro-oncology and Orphan Cancer Group, éditeur. Cochrane Database Syst Rev [Internet]. 10 déc 2014 [cité 15 avr 2020]; Disponible sur: http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD011422
32. Ind T, Laios A, Hacking M, Nobbenhuis M. A comparison of operative outcomes between standard and robotic laparoscopic surgery for endometrial cancer: A systematic review and meta-analysis. Int J Med Robot. déc 2017;13(4):e1851.
33. Shazly SAM, Murad MH, Dowdy SC, Gostout BS, Famuyide AO. Robotic radical hysterectomy in early stage cervical cancer: A systematic review and meta-analysis. Gynecol Oncol. août 2015;138(2):457-71.
34. Jin Y-M, Liu S-S, Chen J, Chen Y-N, Ren C-C. Robotic radical hysterectomy is

superior to laparoscopic radical hysterectomy and open radical hysterectomy in the treatment of cervical cancer. Liu Q, éditeur. PLOS ONE. 19 mars 2018;13(3):e0193033.
35. Swift SE. The distribution of pelvic organ support in a population of female subjects seen for routine gynecologic health care. Am J Obstet Gynecol. 1 août 2000;183(2):277-85.
36. Hendrix SL, Clark A, Nygaard I, Aragaki A, Barnabei V, McTiernan A. Pelvic organ prolapse in the Women's Health Initiative: gravity and gravidity. Am J Obstet Gynecol. juin 2002;186(6):1160-6.
37. Bump RC, Mattiasson A, Bø K, Brubaker LP, DeLancey JOL, Klarskov P, et al. The standardization of terminology of female pelvic organ prolapse and pelvic floor dysfunction. Am J Obstet Gynecol. juill 1996;175(1):10-7.
38. Swift S, Morris S, McKinnie V, Freeman R, Petri E, Scotti RJ, et al. Validation of a simplified technique for using the POPQ pelvic organ prolapse classification system. Int Urogynecology J. 12 oct 2006;17(6):615-20.
39. Smith FJ, Holman CDJ, Moorin RE, Tsokos N. Lifetime Risk of Undergoing Surgery for Pelvic Organ Prolapse: Obstet Gynecol. nov 2010;116(5):1096-100.
40. Occelli B, Narducci F, Cosson M, Ego A, Decocq J, Querleu D, et al. [Abdominal colposacroplexy for the treatment of vaginal vault prolapse with or without urinary stress incontinence]. Ann Chir. 1999;53(5):367-77.
41. Maher C, Feiner B, Baessler K, Christmann-Schmid C, Haya N, Brown J. Surgery for women with anterior compartment prolapse. Cochrane Database Syst Rev [Internet]. 30 nov 2016 [cité 22 juin 2020];2016(11). Disponible sur: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6464975/
42. Huguier J, Scali P. [Posterior suspension of the genital axis on the lumbosacral disk in the treatment of uterine prolapse]. Presse Med. 3 mai 1958;66(35):781-4.
43. Lane FE. Repair of posthysterectomy vaginal-vault prolapse. Obstet Gynecol. juill 1962;20:72-7.
44. Nezhat CH, Nezhat F, Nezhat C. Laparoscopic sacral colpopexy for vaginal vault prolapse. Obstet Gynecol. nov 1994;84(5):885-8.
45. Di Marco DS, Chow GK, Gettman MT, Elliott DS. Robotic-assisted laparoscopic sacrocolpopexy for treatment of vaginal vault prolapse. Urology. févr 2004;63(2):373-6.
46. Daellenbach PP. To mesh or not to mesh: a review of pelvic organ reconstructive surgery [Internet]. University of Geneva; 2014 [cité 9 août 2021]. Disponible sur: https://archive-ouverte.unige.ch/unige:41536
47. Kapandji M. [Treatment of urogenital prolapse by colpo-isthmo-cystopexy with transverse strip and crossed, multiple layer, ligamento-peritoneal douglasorrhaphy]. Ann Chir. mars 1967;21(5):321-8.
48. Cornier E, Madelenat P. [The M. Kapandji hysteropexy: a laparoscopic technic and preliminary results]. J Gynecol Obstet Biol Reprod (Paris). 1994;23(4):378-85.
49. Benson JT, Lucente V, McClellan E. Vaginal versus abdominal reconstructive surgery for the treatment of pelvic support defects: A prospective randomized study with long-term outcome evaluation. Am J Obstet Gynecol. déc 1996;175(6):1418-22.
50. Lo T-S, Wang AC. Abdominal Colposacropexy and Sacrospinous Ligament Suspension for Severe Uterovaginal Prolapse: A Comparison. J Gynecol Surg. janv 1998;14(2):59-64.
51. Maher CF, Qatawneh AM, Dwyer PL, Carey MP, Cornish A, Schluter PJ. Abdominal sacral colpopexy or vaginal sacrospinous colpopexy for vaginal vault prolapse: a prospective randomized study. Am J Obstet Gynecol. janv 2004;190(1):20-6.
52. Illiano E, Giannitsas K, Zucchi A, Di Biase M, Del Zingaro M, Bini V, et al. Sacrocolpopexy for posthysterectomy vaginal vault prolapse: long-term follow-up. Int Urogynecology J. oct 2016;27(10):1563-9.

53. Pan K, Zhang Y, Wang Y, Wang Y, Xu H. A systematic review and meta-analysis of conventional laparoscopic sacrocolpopexy versus robot-assisted laparoscopic sacrocolpopexy. Int J Gynaecol Obstet Off Organ Int Fed Gynaecol Obstet. mars 2016;132(3):284-91.
54. Coolen A-LWM, Bui BN, Dietz V, Wang R, van Montfoort APA, Mol BWJ, et al. The treatment of post-hysterectomy vaginal vault prolapse: a systematic review and meta-analysis. Int Urogynecology J. déc 2017;28(12):1767-83.
55. Costantini E, Mearini L, Lazzeri M, Bini V, Nunzi E, di Biase M, et al. Laparoscopic Versus Abdominal Sacrocolpopexy: A Randomized, Controlled Trial. J Urol. juill 2016;196(1):159-65.
56. Nemirovsky A, Herbert AS, Gorman EF, Malik RD. A systematic review of best practices for the perioperative management of abdominal sacrocolpopexy. Neurourol Urodyn. juin 2020;39(5):1264-75.
57. Kenton K, Mueller ER, Tarney C, Bresee C, Anger JT. One-Year Outcomes After Minimally Invasive Sacrocolpopexy. Female Pelvic Med Reconstr Surg. oct 2016;22(5):382-4.
58. Betschart C, Cervigni M, Contreras Ortiz O, Doumouchtsis SK, Koyama M, Medina C, et al. Management of apical compartment prolapse (uterine and vault prolapse): A FIGO Working Group report. Neurourol Urodyn. févr 2017;36(2):507-13.
59. Serati M, Bogani G, Sorice P, Braga A, Torella M, Salvatore S, et al. Robot-assisted Sacrocolpopexy for Pelvic Organ Prolapse: A Systematic Review and Meta-analysis of Comparative Studies. Eur Urol. août 2014;66(2):303-18.
60. Zhao Y, St Martin B. Robotic-assisted laparoscopic sacrocolpopexy: Initial Canadian experience. Can Urol Assoc J J Assoc Urol Can. juin 2020;14(6):E257-63.
61. Hudson CO, Northington GM, Lyles RH, Karp DR. Outcomes of robotic sacrocolpopexy: a systematic review and meta-analysis. Female Pelvic Med Reconstr Surg. oct 2014;20(5):252-60.
62. Mueller MG, Jacobs KM, Mueller ER, Abernethy MG, Kenton KS. Outcomes in 450 Women After Minimally Invasive Abdominal Sacrocolpopexy for Pelvic Organ Prolapse. Female Pelvic Med Reconstr Surg. août 2016;22(4):267-71.
63. Lawrie TA, Liu H, Lu D, Dowswell T, Song H, Wang L, et al. Robot-assisted surgery in gynaecology. Cochrane Database Syst Rev. 15 avr 2019;4:CD011422.
64. Anand M, Weaver AL, Fruth KM, Borah BJ, Klingele CJ, Gebhart JB. Perioperative Complications and Cost of Vaginal, Open Abdominal, and Robotic Surgery for Apical Vaginal Vault Prolapse. Female Pelvic Med Reconstr Surg. févr 2017;23(1):27-35.
65. Linder BJ, Gershman B, Bews KA, Glasgow AE, Occhino JA. A National Contemporary Analysis of Perioperative Outcomes for Vaginal Vault Prolapse: Minimally Invasive Sacrocolpopexy Versus Nonmesh Vaginal Surgery. Female Pelvic Med Reconstr Surg. 2019;25(5):342-6.
66. Coolen A-LWM, van Oudheusden AMJ, Mol BWJ, van Eijndhoven HWF, Roovers J-PWR, Bongers MY. Laparoscopic sacrocolpopexy compared with open abdominal sacrocolpopexy for vault prolapse repair: a randomised controlled trial. Int Urogynecology J. oct 2017;28(10):1469-79.
67. Nygaard IE, McCreery R, Brubaker L, Connolly A, Cundiff G, Weber AM, et al. Abdominal sacrocolpopexy: a comprehensive review. Obstet Gynecol. oct 2004;104(4):805-23.
68. Infectious complications of promontofixation, a systematic review of the literature | Elsevier Enhanced Reader [Internet]. [cité 7 mai 2021]. Disponible sur: https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0399077X20307319?token=3C1C54D03B29F2DF4EB175D86CFFC0A7442CE53D5938A0882CBDE46714B849FBA36171633AAD56E9BD

7BD73A9B69D9A2&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210507080938
69. Gluck O, Blaganje M, Veit-Rubin N, Phillips C, Deprest J, O'reilly B, et al. Laparoscopic sacrocolpopexy: A comprehensive literature review on current practice. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. févr 2020;245:94-101.
70. Szymczak P, Grzybowska ME, Wydra DG. Comparison of laparoscopic techniques for apical organ prolapse repair - a systematic review of the literature. Neurourol Urodyn. nov 2019;38(8):2031-50.
71. Quiboeuf E, Nidecker S, Ballanger P, Hocké C. Expositions prothétiques vaginales après chirurgie du prolapsus. Étude descriptive sur 43cas : épidémiologie et prise en charge thérapeutique. Prog En Urol. déc 2015;25(17):1232-40.
72. Dubuisson JB, Jacob S, Chapron C, Fauconnier A, Decuypere F, Dubernard G. [Laparoscopic treatment of genital prolapse: lateral utero-vaginal suspension with 2 meshes. Results of a series of 47 patients]. Gynecol Obstet Fertil. févr 2002;30(2):114-20.
73. Dubuisson J-B, Yaron M, Wenger J-M, Jacob S. Treatment of genital prolapse by laparoscopic lateral suspension using mesh: a series of 73 patients. J Minim Invasive Gynecol. févr 2008;15(1):49-55.
74. Eperon I, Luyet C, Yaron M, Dubuisson J, Dubuisson J-B. [Laparoscopic management of genital prolapse by lateral suspension using mesh: a series of 377 patients]. Rev Med Suisse. 26 oct 2011;7(314):2084, 2086-8.
75. Veit-Rubin N, Dubuisson J-B, Gayet-Ageron A, Lange S, Eperon I, Dubuisson J. Patient satisfaction after laparoscopic lateral suspension with mesh for pelvic organ prolapse: outcome report of a continuous series of 417 patients. Int Urogynecology J. nov 2017;28(11):1685-93.
76. Kemp MM, Slim K, Rabischong B, Bourdel N, Canis M, Botchorishvili R. Transrectal Mesh Erosion Requiring Bowel Resection. J Minim Invasive Gynecol. juill 2017;24(5):717-21.
77. Hach CE, Krude J, Reitz A, Reiter M, Haferkamp A, Buse S. Midterm results of robot-assisted sacrocolpopexy. Int Urogynecology J. sept 2015;26(9):1321-6.
78. Grevez T, Vanalderwerelt V, Bruyère F. Infectious complications of promontofixation, a systematic review of the literature. Infect Dis Now. 1 mars 2021;51(2):107-13.
79. Veit-Rubin N, Dubuisson J-B, Lange S, Eperon I, Dubuisson J. Uterus-preserving laparoscopic lateral suspension with mesh for pelvic organ prolapse: a patient-centred outcome report and video of a continuous series of 245 patients. Int Urogynecology J. mars 2016;27(3):491-3.
80. Chang C-L, Chen C-H, Chang S-J. Comparing the outcomes and effectiveness of robotic-assisted sacrocolpopexy and laparoscopic sacrocolpopexy in the treatment of pelvic organ prolapse. Int Urogynecology J. 24 mars 2021;
81. Yang J, He Y, Zhang X, Wang Z, Zuo X, Gao L, et al. Robotic and laparoscopic sacrocolpopexy for pelvic organ prolapse: a systematic review and meta-analysis. Ann Transl Med [Internet]. mars 2021 [cité 7 mai 2021];9(6). Disponible sur: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8039662/
82. Simoncini T, Russo E, Mannella P, Giannini A. Robotic-assisted apical lateral suspension for advanced pelvic organ prolapse: surgical technique and perioperative outcomes. Surg Endosc. déc 2016;30(12):5647-55.
83. Dällenbach P, Veit N. Robotically assisted laparoscopic repair of anterior vaginal wall and uterine prolapse by lateral suspension with mesh: initial experience and video. Int Urogynecology J. août 2014;25(8):1137-9.
84. Dubuisson J-B, Eperon I, Jacob S, Dubuisson J, Wenger J-M, Dallenbach P, et al. [Laparoscopic repair of pelvic organ prolapse by lateral suspension with mesh: a continuous

series of 218 patients]. Gynecol Obstet Fertil. mars 2011;39(3):127-31.
85. Dubuisson J-B, Eperon I, Jacob S, Dubuisson J, Wenger J-M, Dallenbach P, et al. Réparation cœlioscopique des prolapsus des organes pelviens par suspension prothétique latérale : une série continue de 218 patientes. Gynécologie Obstétrique Fertil. mars 2011;39(3):127-31.
86. S M, M B, A F-F, Je B, R B. Effects of Low Intraperitoneal Pressure on Quality of Postoperative Recovery after Laparoscopic Surgery for Genital Prolapse in Elderly Patients Aged 75 Years or Older. J Minim Invasive Gynecol [Internet]. mai 2021 [cité 14 mai 2021];28(5). Disponible sur: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32979535/
87. Sarlos D, Brandner S, Kots L, Gygax N, Schaer G. Laparoscopic sacrocolpopexy for uterine and post-hysterectomy prolapse: anatomical results, quality of life and perioperative outcome-a prospective study with 101 cases. Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct. oct 2008;19(10):1415-22.
88. Vandendriessche D, Sussfeld J, Giraudet G, Lucot J-P, Behal H, Cosson M. Complications and reoperations after laparoscopic sacrocolpopexy with a mean follow-up of 4 years. Int Urogynecology J. févr 2017;28(2):231-9.
89. Dällenbach P, Petignat P, Dubuisson JB, Wenger JM. [LESS, NOTES and robotic surgery in gynecology: an update and upcoming perspectives]. Rev Med Suisse. 27 oct 2010;6(268):2024, 2026-9.
90. Robotic single-port surgery using the da Vinci SP® surgical system for benign gynecologic disease: A preliminary report | Elsevier Enhanced Reader [Internet]. [cité 4 juill 2020]. Disponible sur: https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1028455920300127?token=0417E9FEC80BCFB1F15B41161B47DC829E61DDF3D78FAE6638C822E34701DBD698BCF2484ED646BCAA40FAAA717A5C66