



**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

SCUOLA DI MEDICINA E CHIRURGIA
Scuola di Specializzazione in Chirurgia pediatrica
U.O. Chirurgia Pediatrica – Prof. M. Lima

Master Universitario di II livello

Minimally Invasive and Robotic Pediatric Surgery

Chirurgia Robotica
La nostra esperienza in età pediatrica

Relatore
Chiar.mo Prof. Mario Lima

Presentata
Dr. Giosuè Mazzero

Indice:

- Introduzione	3
- Origine e Storia del Robot in Chirurgia	13
- Le piattaforme chirurgiche robotiche “master-slave”	20
- Impatto della chirurgia robotica	24
- Costi	38
- Considerazioni anestesologiche	41
- Learning curve e Training	42
- La nostra esperienza	46
- Discussione	52
- Bibliografia	56

[Digitare il testo]

Introduzione

L'evoluzione in campo chirurgico è dovuta ad un susseguirsi di strategie finalizzate a migliorare le condizioni lavorative del chirurgo e di conseguenza anche lo stato pre, intra e post-operatorio del paziente. Senza dubbio la robotica ha rappresentato una rivoluzione per la chirurgia ed in particolare per quella mininvasiva.

Chirurgia a cielo aperto

Nella chirurgia tradizionale il chirurgo può manipolare il tessuto con le proprie mani o con gli strumenti chirurgici, pertanto, sfruttando la destrezza del braccio naturale, egli ha un feedback tattile e visivo diretto .

Tuttavia gli svantaggi della chirurgia tradizionale sono molteplici e riguardano sia il paziente che il chirurgo. In particolare, al fine di ottenere una buona visione e manualità, l'incisione chirurgica dovrà essere sufficientemente ampia. Questo provocherà un maggior rischio di infezione e sanguinamento, maggior dolore post-operatorio con conseguente allungamento dei tempi di recupero e la presenza di una cicatrice più evidente con possibili ripercussioni psicologiche sul paziente. D'altra parte il chirurgo presenterà una visione dell'anatomia limitata all'incisione chirurgica.

Chirurgia laparoscopica manuale

Per venire incontro alle esigenze del paziente, alla fine degli anni Ottanta è stata introdotta la chirurgia laparoscopica manuale. Tale procedura prevede l'uso di strumenti sottili, lunghi e rigidi provvisti alla punta di uno specifico utensile e di un'ottica. Essi vengono introdotti attraverso delle porte di accesso grazie a degli strumenti guida definiti trocar.

[Digitare il testo]

L'avvento di tale tecnica ha sancito il passaggio dalla chirurgia tradizionale alla chirurgia minimamente invasiva (MIS). Si tratta di una forma di chirurgia rispettosa dei tessuti con un indiscusso vantaggio estetico che è ormai diventata una realtà consolidata tanto da rappresentare il trattamento gold standard per diverse patologie di pertinenza chirurgica. A maggior ragione nel paziente pediatrico, questo obiettivo estetico diventa di primaria importanza, data la ridotta superficie corporea e la precoce età in cui vengono eseguiti questi interventi. Tra i vari vantaggi acquisiti dal paziente con la MIS rispetto alla chirurgia tradizionale sono anche da annoverare il minor dolore post-operatorio e il ritorno più rapido alle attività quotidiane. Tutto questo si riflette in una riduzione dei costi sia sul sistema sanitario che sulla società. D'altra parte tra gli svantaggi del paziente possiamo considerare la necessità di ventilazione meccanica e la durata maggiore dell'anestesia, secondaria ad una maggior tempo operatorio.

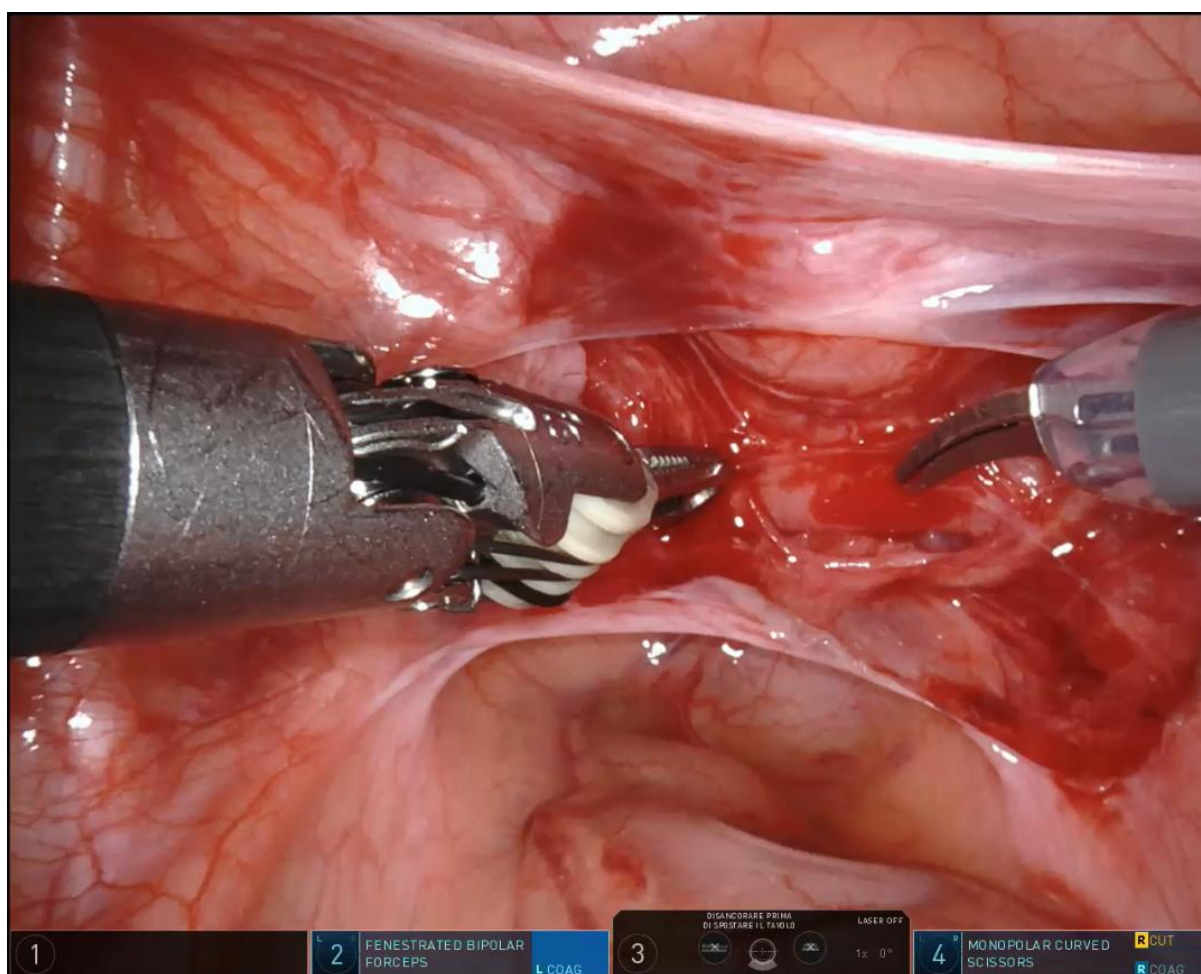
Se da un lato la MIS avvantaggia il paziente, dall'altro il lavoro del chirurgo diventa più impegnativo sia a causa dell'ergonomia non ottimale sia per un aumento delle limitazioni visive e motorie. Nello specifico le informazioni visive vengono catturate da un'ottica che riduce la risoluzione, la fedeltà del colore e il campo visivo (visione monoculare con "effetto serratura"), oltre che fornire una visione non tridimensionale. I movimenti saranno limitati e invertiti (spostando l'handle dello strumento a destra, la punta va a sinistra e viceversa), con riduzione dei gradi di libertà (DOF). Infine non si ha più il contatto diretto tra paziente e chirurgo ma sono presenti due mediatori rappresentati dalla videocamera e dagli strumenti laparoscopici, con conseguente feedback tattile e visivo indiretto. Molti lavori hanno inoltre sottolineato un aumento della fatica operatoria dovuta alla necessità di mantenere delle posizioni obbligate e innaturali.

Gran parte dei limiti sopra elencati sono stati risolti dalla chirurgia robotica.

[Digitare il testo]

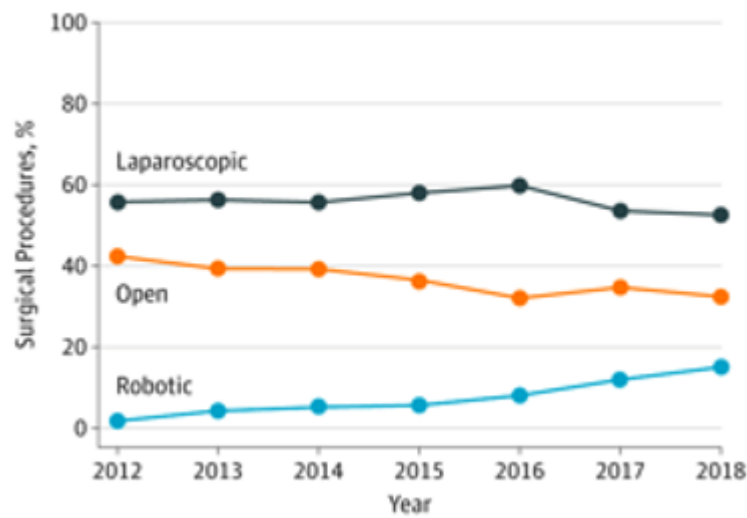
Chirurgia robotica

La chirurgia robotica è una nuova ed entusiasmante realtà che ha travolto la professione chirurgica per il suo potenziale apparentemente illimitato. Da tecnologia primariamente propugnata dagli interessi commerciali, essa si è rapidamente trasformata in una risorsa importante nella pratica clinica, tanto da rappresentare un requisito fondamentale per centri che attendono di esser riconosciuti come eccellenze nel campo della chirurgia mini-invasiva.



[Digitare il testo]

Difatti nel solo triennio 2007-2010, il numero di procedure robotiche eseguite a livello mondiale è quasi triplicato, passando da circa 80.000/anno a 250.000/anno. Questo dato è confermato da un numero crescente di pubblicazioni, come dimostrano i dati riportati dalla Intuitive Surgical Inc., azienda creatrice del Da Vinci® Surgical System, la piattaforma chirurgica robotica attualmente più

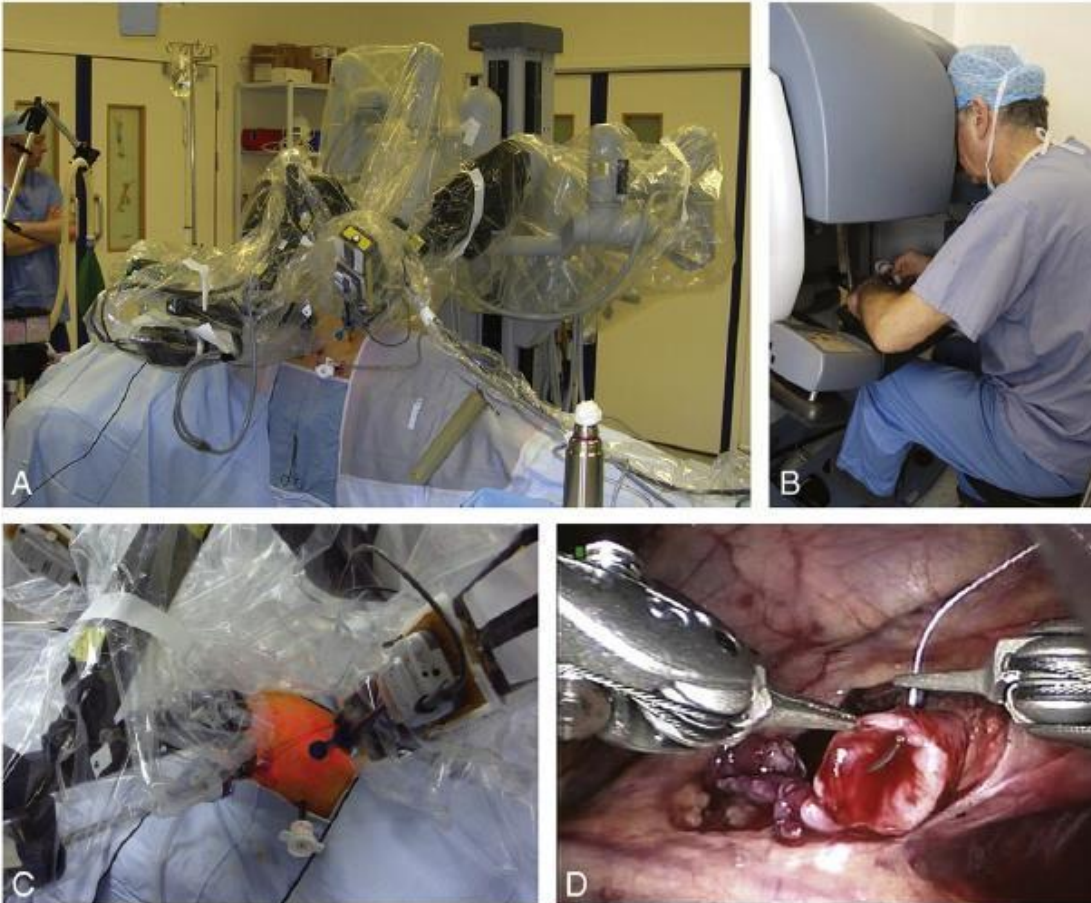


utilizzata a livello mondiale.

Temporal Trends in the Proportional Use of Robotic, Laparoscopic, and Open Surgery.

Data are from the Michigan Surgical Quality Collaborative from January 1, 2012, through June 30, 2018. These data reflect practices at all hospitals included in the study

[Digitare il testo]

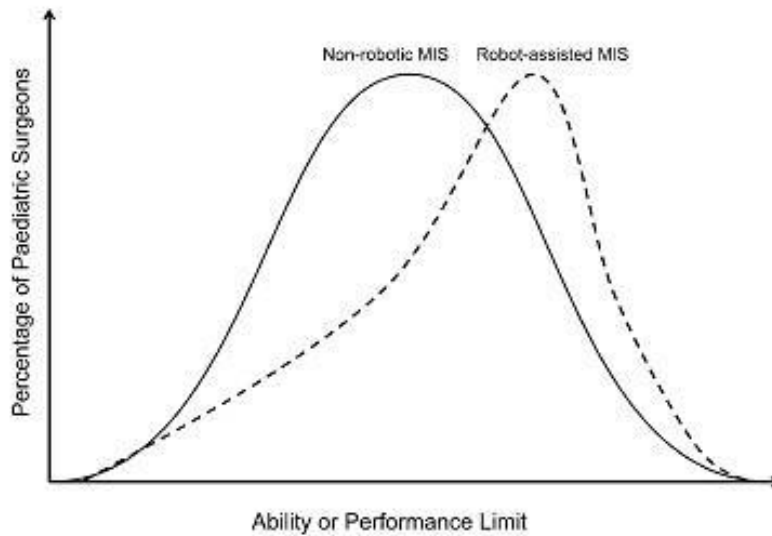


(A) il carrello paziente già agganciato al tavolo operatorio, (B) la console chirurgica, (C) la disposizione dei trocar con il paziente in una posizione di decubito laterale modificata, (D) visione endoscopica dell'inizio dell'anastomosi ureterale.

La chirurgia robot assistita prosegue lungo il sentiero già battuto dalla chirurgia mini-invasiva convenzionale, proponendosi di superare le ben note limitazioni della tecnica convenzionale: la visualizzazione bidimensionale, il ridotto numero di gradi di libertà di movimento, la coordinazione occhio-mano non intuitiva, la perdita del feedback aptico, il tremore essenziale della mano e la postura scarsamente ergonomica del chirurgo.

Tutti i vantaggi introdotti dalla chirurgia robotica si riflettono in uno spostamento a destra della curva che descrive la performance tecnica complessiva dei chirurghi e nel permettere ampiamente un approccio mininvasivo in circostanze dove non sarebbe altrimenti possibile.

[Digitare il testo]



Surgeons performance curve in Non-robotic MIS and Robot-assisted MIS

Storicamente la comunità chirurgica pediatrica ha sempre mostrato grande resistenza e scetticismo nell'adozione delle nuove tecnologie che invece sono state più facilmente e più velocemente implementate nella medicina dell'adulto. Nel caso specifico della chirurgia robot assistita, le motivazioni di questa opposizione sono più che giustificate: il ridotto campo operatorio, la complicata gestione anestesiologicala del paziente e le varie problematiche specifiche del bambino, prima su tutte, le dimensioni ridotte del paziente. Inoltre il Da Vinci® venne inizialmente progettato per il paziente adulto e ha visto il suo primo impiego nel 1985 in neurochirurgia per l'esecuzione di una biopsia stereotassica. Contemporaneamente, nello stesso anno, veniva eseguita la prima colecistectomia per via laparoscopica.

Tutto ciò ci spiega perché inizialmente l'introduzione del robot nella chirurgia pediatrica è stata sospinta principalmente da ragioni industriali piuttosto che essere trainata da una necessità clinica. Per non parlare poi dei costi nettamente più elevati rispetto alla chirurgia mini-invasiva convenzionale e la chirurgia open, motivo per cui essa può essere adoperata in un contesto

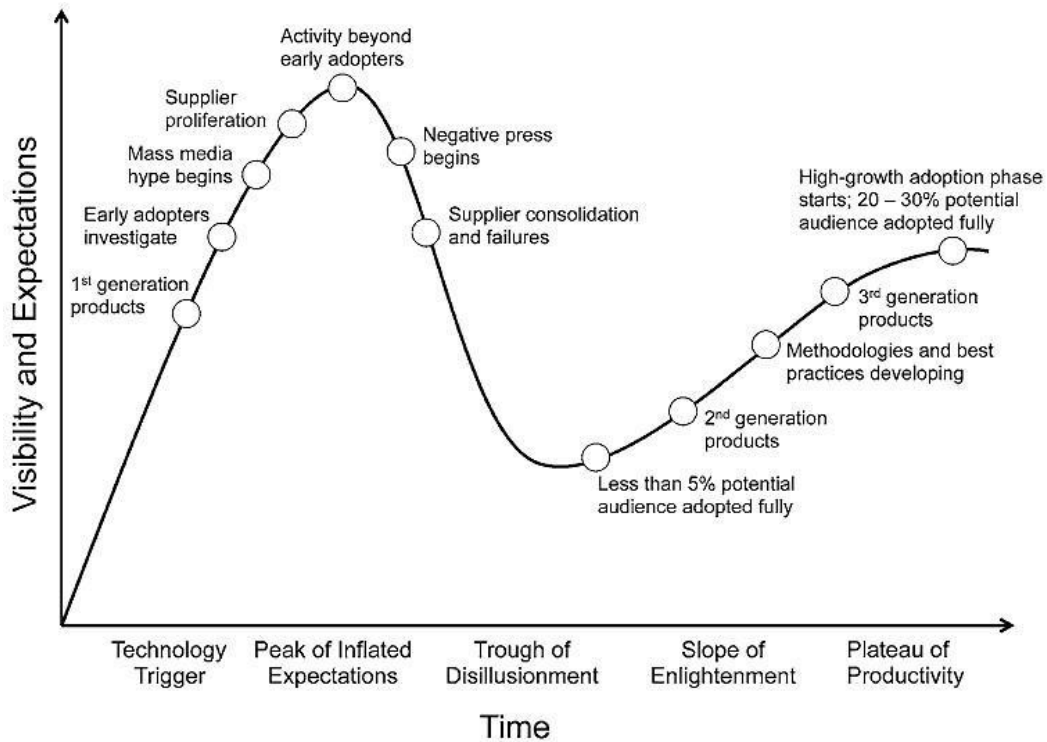
[Digitare il testo]

pediatrico soltanto in centri di terzo livello che condividono il robot tra le varie specialità chirurgiche in maniera da distribuire e ammortizzare i costi altrimenti troppo elevati, sia per l'acquisto del robot che per il suo mantenimento .

Per valutare come l'applicazione di una tecnologia innovativa evolve nel tempo, una società di consulenza, analisi e ricerca nel campo dell'Information Technology (Gardner Inc.,CT,USA) ha sviluppato un modello chiamato Hype Cycle (lett. ciclo dell'esagerazione). In particolare l'Hype Cycle di Gartner articola il ciclo di vita di una tecnologia in cinque fasi fondamentali, riprodotte su di una curva.

Fase 1	Una nuova tecnologia viene avviata e l'attenzione dei media scatena una notevole pubblicità. Spesso non esistono ancora prodotti utilizzabili e non c'è prova della validità commerciale della tecnologia.
Fase 2	La pubblicità iniziale dà luogo ad una serie di storie iniziali di successo - spesso accompagnate da un sacco di casi di fallimento. Alcune imprese agiscono; anche se molte non lo fanno.
Fase 3	L'interesse nella tecnologia svanisce quando la sperimentazione e l'implementazione non producono i risultati sperati. I produttori della tecnologia entrano in crisi o falliscono. Gli investimenti continuano solo per quelle imprese sopravvissute grazie al miglioramento delle tecnologie di prodotto per soddisfare gli utenti.
Fase 4	Incomincia a diffondersi ampiamente e a cristallizzarsi la consapevolezza di come la tecnologia possa avvantaggiare le imprese in diversi modi. Gli sviluppatori della tecnologia creano prodotti di seconda e terza generazione. Un numero crescente di imprese finanzia progetti pilota, mentre quelle conservatrici restano prudenti.
Fase 5	L'adozione della tecnologia è la principale tendenza che prende sempre più piede. Vengono stabiliti più dettagliatamente i criteri di valutazione dell'affidabilità dei fornitori. L'applicabilità e la rilevanza della tecnologia per il mercato di massa stanno chiaramente producendo frutti

[Digitare il testo]

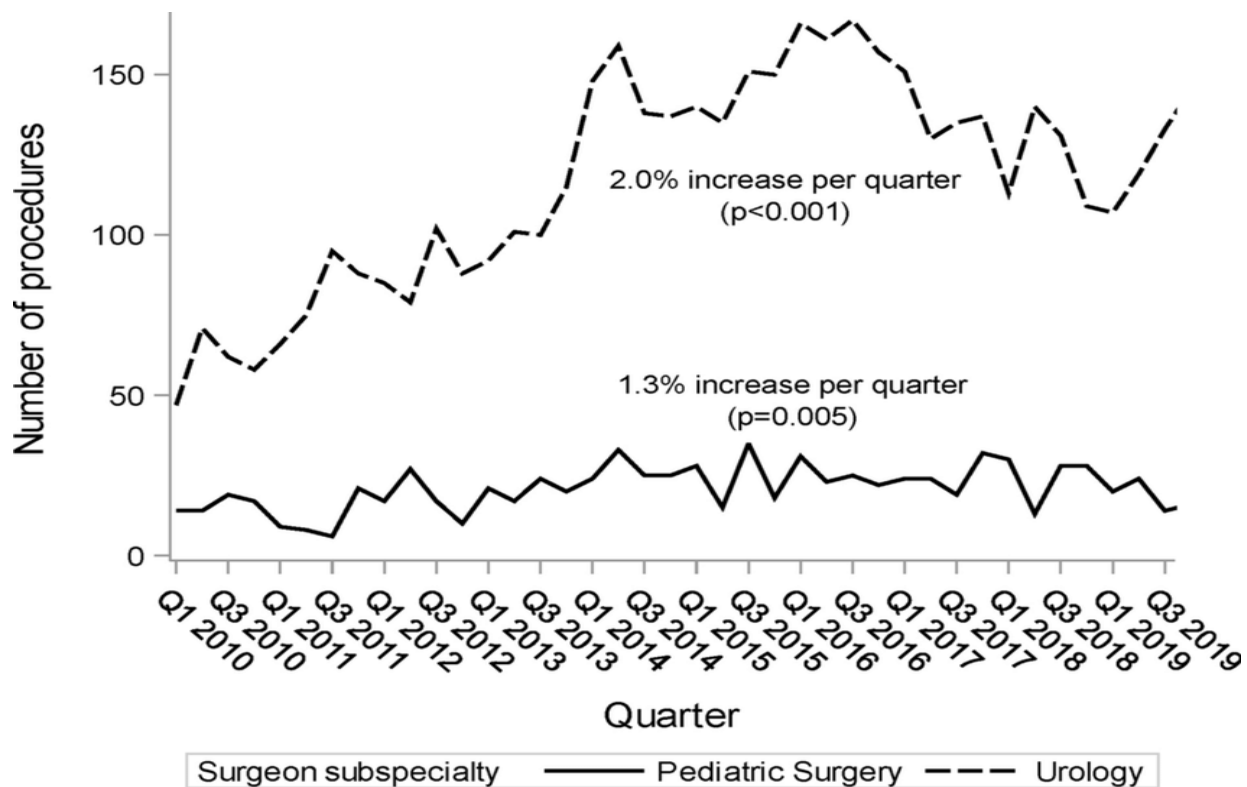


Gartner Hype Cycle curve. *Cundy et al. 2015*

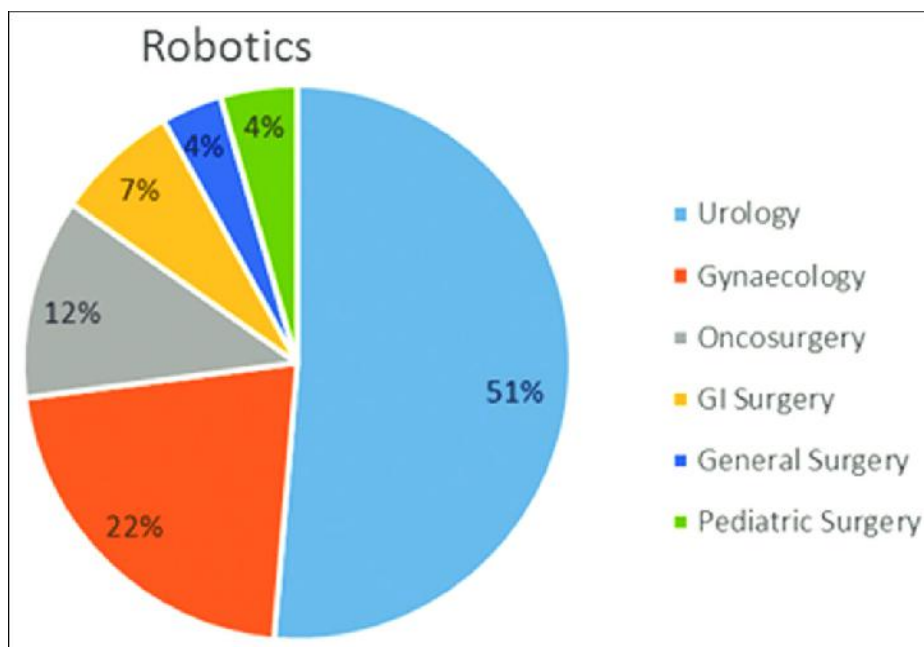
La recente emergenza nella letteratura scientifica di un sentimento di minor entusiasmo e, in alcuni casi, dissonanza nei confronti della chirurgia robotica, anche nelle specialità dell'adulto, colloca questa tecnologia ormai nelle fasi successive al picco iniziale della Hype Cycle curve.

Ciò nonostante, a partire dal primo caso riportato di un intervento eseguito interamente con l'assistenza del robot nel bambino: una funduplicatio descritta da Meininger et al. nell'aprile del 2001, l'impiego della tecnologia robotica si è rapidamente espansa nella chirurgia pediatrica. In particolare nell'ultima decade, essa è stata applicata con successo ad una vasta varietà di interventi gastrointestinali, genitourinari e toracici in neonati e bambini, dimostrando la sicurezza e la fattibilità di questo approccio (l'urologia rappresenta il terreno più fertile per il suo sviluppo e la pieloplastica, l'intervento più frequentemente eseguito nel bambino). Il numero di procedure roboticamente assistite eseguite ogni anno è in costante aumento con nessun segnale di una futura inversione di tendenza.

[Digitare il testo]



Trends in robotic surgery utilization by surgical subspecialties.



Statistics of robotic surgery across specialities

[Digitare il testo]

Una transizione di successo dalla laparoscopia alla robotica necessita di alcuni passaggi fondamentali che includono: la creazione di un'equipe specifica per la chirurgia robotica, i cui membri devono sottoporsi ad un adeguato training ed essere ben informati su come impostare il robot e affrontare problematiche intra-operatorie. Il chirurgo deve inoltre aver acquisito un'adeguata competenza e confidenza con la piattaforma robotica oltre che la capacità di coadiuvare la selezione dei pazienti da indirizzare alla robotica evitando i casi più complessi nelle fasi iniziali. Durante i primi interventi è importante avere abbastanza tempo a disposizione in maniera da procedere con cautela e senza fretta. Infine una volta terminata la procedura, un debriefing con l'intero team può essere di notevole aiuto nel ridimensionare i problemi, infondere entusiasmo per questa tecnologia innovativa e permettere l'ideazione di checklist e protocolli .

Va infine enfatizzato che i margini di evoluzione di questa nuova tecnologia sono ancora ampi e parzialmente esplorati. Infatti la chirurgia robotica è al momento applicata solo in alcune tipologie di interventi e solo alcuni centri con un alto numero di interventi possono permettersi di coprire gli elevati costi di acquisto e manutenzione del robot. Tuttavia con il crescente utilizzo di questa innovativa tecnologia, i costi diventeranno progressivamente più accessibili e il robot potrà essere utilizzato anche in centri con numeri ridotti di procedure. Infine alcune limitazioni riscontrate nel bambino, soprattutto legate alle sue ridotte dimensioni, potranno essere superate costruendo una strumentazione adatta ai più piccoli pazienti.

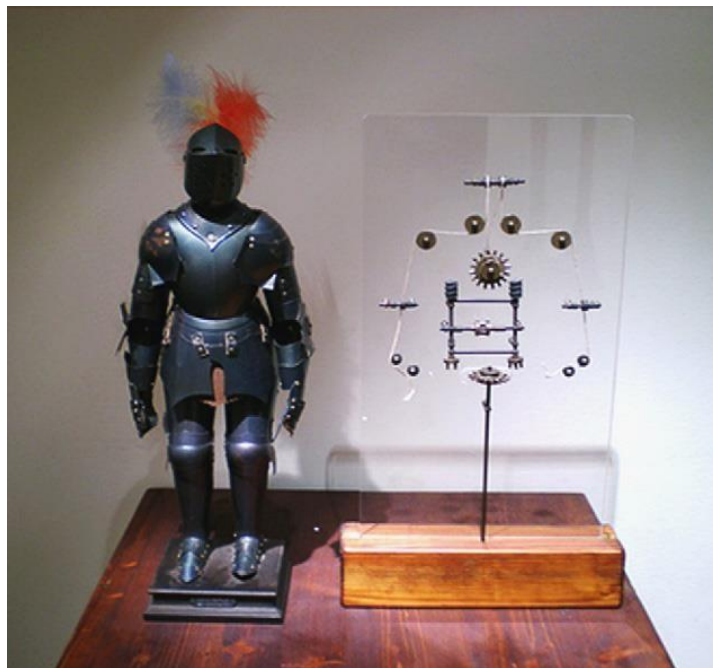
Possiamo quindi con sicurezza auspicare che in un futuro prossimo si assisterà ad una rapida diffusione ed evoluzione di questa tecnologia verso forme sempre più complesse e, probabilmente, più accessibili a centri di minori dimensioni con al contempo l'ampliamento delle applicazioni nella pratica chirurgica.

[Digitare il testo]

Origine e Storia del Robot in Chirurgia

Come testimoniano alcune leggende della mitologia classica, l'idea di riprodurre se stesso attraverso l'uso di un automa capace di agire autonomamente compiendo un lavoro normalmente svolto dall'uomo, è presente nell'immaginario dell'essere umano da circa 2000 anni.

Il nome del più complesso robot chirurgico attualmente in uso, si ispira al grande genio italiano Leonardo da Vinci, infatti, proprio a quest'ultimo sono stati attribuiti degli appunti che contengono il progetto dettagliato per la costruzione di un cavaliere meccanico in grado di imitare alcuni semplici movimenti umani.



“Il guerriero in metallo” - Leonardo da Vinci. *Valero et al.2011*

Tuttavia, fu solo nel 1738 che Jacques de Vaucanson costruì il primo robot funzionante, un androide in grado di suonare il flauto autonomamente.

Il termine *robot* venne coniato nel 1921 dallo sceneggiatore e giornalista cecoslovacco

[Digitare il testo]

Karel Čapek. Esso deriva dal ceco *robota*, che sta per “lavoro forzato”. Infatti, nell’opera più famosa dell’autore, il robot era ideato come un essere che eseguiva autonomamente compiti semplici e ripetitivi

Occorre sottolineare come l’attuale realtà robotica in ambito chirurgico non corrisponda all’immaginario dello sceneggiatore suddetto, in quanto il robot non esegue alcuna operazione automaticamente, ma risponde ai comandi del chirurgo. Questo *modus operandi* viene ben evidenziato dall’espressione inglese “*master-slave*”, letteralmente “padrone-servitore”, in cui emerge appunto la relazione esistente tra il chirurgo “master” ed il robot “slave”.

Successivamente, nel 1942, Isaac Asimov, uno dei principali autori di fantascienza, formulò le tre leggi della robotica:

1. Un robot non può recare danno a un essere umano né può permettere che, a causa del proprio mancato intervento, un essere umano riceva danno.
2. Un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, purché tali ordini non contravvengano alla Prima Legge.
3. Un robot deve proteggere la propria esistenza purché questa autodifesa non contrasti con la Prima o con la Seconda Legge.

A partire dagli anni del Dopoguerra, i robot fecero progressivamente il loro ingresso nel campo industriale, aerospaziale e militare.

Negli anni Ottanta, grazie alla collaborazione tra Scott Fisher (PhD) e Joseph Rosen (MD), nacque l’ Head Mounted Display (HMD), un casco binoculare che consentiva la visione in 3D di un ambiente virtuale, e con esso fu coniato anche il concetto di *telepresenza*, cioè il proiettare se stessi in un mondo virtuale.

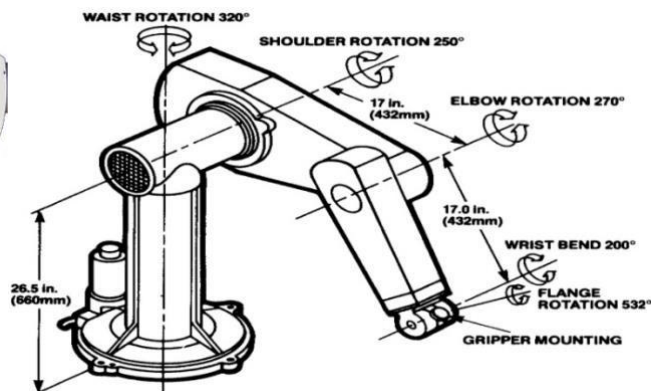
[Digitare il testo]



Scott Fisher prova il primo Head Mounted Display nel 1985. *Satava 2002*

Successivamente, grazie alla collaborazione dei due pionieri suddetti con l'ingegnere Phil Green (PhD), nel 1994, su sponsorizzazione della DARPA (Defense Advanced Research Project Agency), nacque il "Green Telepresence Surgery System", un manipolatore estremamente abile nell'eseguire microanastomosi. Si era giunti quindi allo sviluppo della *telechirurgia*. Sfruttando tale idea, un notevole impulso arrivò dall'esercito degli Stati Uniti d'America, che finanziò la ricerca per lo sviluppo di un prototipo che permettesse di "portare il chirurgo virtualmente al fronte", operando dal più vicino ospedale un soldato ferito e caricato su di un veicolo.

Contemporaneamente a queste spinte pionieristiche, era già avvenuto il primo ingresso del robot nel mondo della chirurgia con il PUMA 560® (Programmable Universal Machine for Assembly), impiegato per la prima volta per eseguire biopsie neurochirurgiche stereotassiche.



[Digitare il testo]

Struttura e funzionamento del PUMA 560®.

In seguito a tale evento, lo sviluppo di nuovi robot in campo chirurgico non si è più arrestato. Per citarne alcuni abbiamo il PROBOT®, ideato specificamente per eseguire la TURP, e il ROBODOC®, primo robot ad essere stato approvato dalla Food and Drug Administration per gli interventi di sostituzione protesica totale dell'anca.

Una grande spinta nella creazione dei più complessi sistemi robotici, arrivò nel 1994 grazie alla realizzazione di AESOP 1000® (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning), un braccio robotico sul quale era montato un endoscopio che consentiva al chirurgo di manovrare autonomamente la telecamera, evitando la necessità di un assistente. Come messo in evidenza da diversi studi, AESOP 1000® e i suoi successivi modelli, si sono dimostrati presto un valido aiuto per il chirurgo, nonostante alcune limitazioni

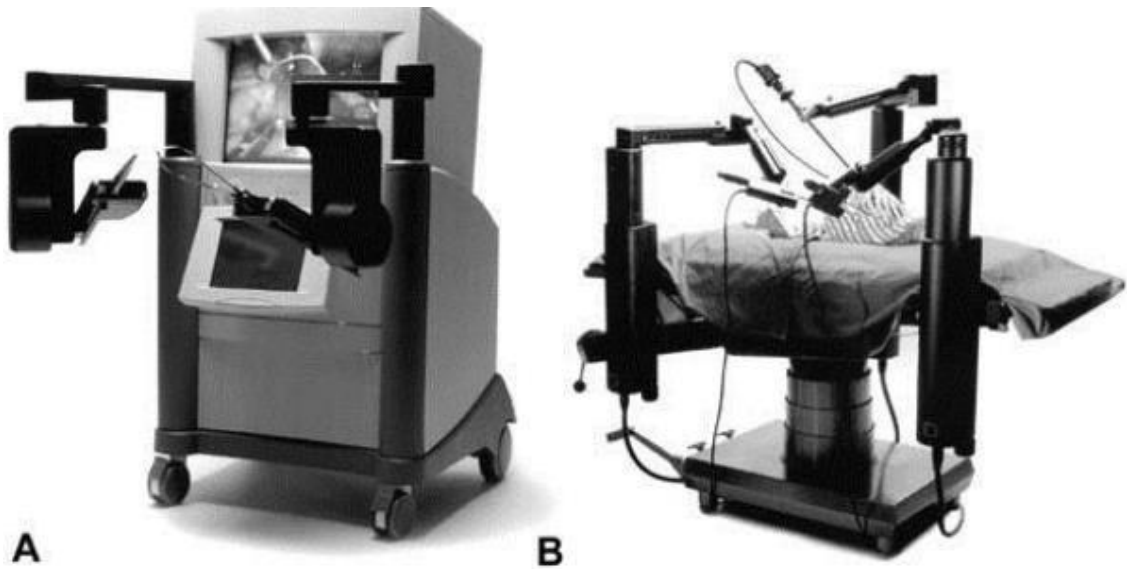


AESOP 3000®.

[Digitare il testo]

Agli inizi degli anni Novanta, al MIT (Massachusetts Institute of Technology), un professore e un suo studente, indirizzarono le proprie ricerche verso la realizzazione di strumenti in grado di superare il grande limite del robot, cioè la mancanza di feedback tattile. Nacque così il Black Falcon, il primo robot in grado di restituire un feedback di forza.

AESOP e Black Falcon sono a tutti gli effetti i precursori dello ZEUS® Surgical System (Computer Motion Inc., Goleta, CA), commercializzato a partire dal 1998 e composto da due sottosistemi: una console di controllo alla quale siede il chirurgo e tre bracci robotici posizionati sul tavolo operatorio. Due di questi bracci sono manovrati mediante joystick dal chirurgo, anche a distanza, e possono montare diversi strumenti con 4 possibili movimenti, mentre il terzo braccio monta l'ottica dotata di un sistema di controllo vocale. Proprio con Zeus venne eseguito il primo intervento transatlantico a Strasburgo da un chirurgo che si trovava fisicamente a New York.



ZEUS® Surgical System, (A) console di controllo, (B) bracci robotici agganciati al tavolo operatorio. *Ghezzi et al.* 2016

[Digitare il testo]

Attualmente il robot chirurgico più utilizzato è il Da Vinci Si®, sviluppato dalla Intuitive Surgical (California). In particolare il primo prototipo fu il Da Vinci® Surgical System, approvato dalla FDA nel 2000 e che si componeva della console di controllo, di una torre con due bracci operativi, un braccio ottico e di un sistema video. Nel 2006 fu la volta del Da Vinci S® System che consentiva una maggiore ampiezza di movimento. Infine il Da Vinci Si®, commercializzato a partire dal 2009, presenta un sistema video HD, un quarto braccio, miglioramenti nel controllo manuale e a pedale degli strumenti e la possibilità di disporre di due console di controllo.



La principale peculiarità del Da Vinci surgical system, che permise ad esso di surclassare lo ZEUS surgical system, sta proprio nel sistema di visione. Infatti ogni occhio del chirurgo seduto alla console è collegato ad uno dei due endoscopi che si trovano all'interno dell'ottica e le immagini provenienti da ciascuno di questi, non vengono integrate ma giungono separatamente agli occhi del chirurgo in maniera che ogni occhio abbia il suo corrispondente campo visivo.

Caratteristiche dei principali sistemi chirurgici robotici. *Kalan et al. 2010*

[Digitare il testo]

Robot	Approvazione FDA	Gradi di libertà di movimento	Caratteristiche uniche
AESOP	1994	7	Controllo vocale, primo endoscopio robotico
ZEUS	2001	4	Capacità di eseguire interventi in telepresenza a lunga distanza
da Vinci	2000	7	Prima vera interfaccia 3D omnicomprensiva, strumenti simulano movimenti della mano umana

Ciò che colpisce maggiormente di questa storia è la presenza di eventi fondamentali che hanno rivoluzionato gran parte della pratica chirurgica tradizionale e che si sono susseguiti a distanza molto ravvicinata l'uno dall'altro. Pertanto in un futuro non troppo lontano, possiamo aspettarci altri numerosi ed innovativi eventi che cambieranno il volto della chirurgia come forse ancora non riusciamo ad immaginare.

Impatto della chirurgia robotica

La chirurgia robotica annovera tutti i vantaggi della chirurgia mininvasiva, fornendo però un ulteriore passo tecnologico in avanti. Essa infatti aggiunge una pletera di vantaggi che vengono maggiormente messi in risalto quando è necessaria una fine dissezione o una ricostruzione chirurgica.

Nello specifico, i principali vantaggi della chirurgia robotica rispetto alla mini-invasiva tradizionale sono:

1. *Migliore visione.* Visione in 3D con ampia possibilità di magnificazione. Attualmente è disponibile in commercio un endoscopio con un diametro di 8 mm, che si presterebbe meglio se fosse più piccolo.
2. *Maggior capacità di movimento.* Gli strumenti robotici permettono sette gradi di libertà di movimento, in confronto ai quattro della chirurgia laparoscopica tradizionale, ripristinando così l'allineamento occhio-mano ed un movimento più intuitivo.
3. *Stabilizzazione degli strumenti nel campo operatorio.* La rigidità degli strumenti laparoscopici amplifica il tremore essenziale, accentuando così gli errori del chirurgo. La piattaforma robotica invece filtra il tremore essenziale fino a 6 Hz.
4. *Maggiore ergonomia per il chirurgo.* Il chirurgo è comodamente seduto alla console chirurgica, da dove manovra il carrello paziente.

[Digitare il testo]



Questi indiscutibili vantaggi offerti dalla chirurgia robotica sono però controbilanciati da tutta una serie di svantaggi da tenere presente:

1. *Maggiori costi e tempi operatori.* Con un prezzo di listino di un milione di dollari, a cui vanno poi aggiunte le spese di mantenimento, il loro costo è quasi proibitivo. Per questo motivo molti sostenitori del robot credono che tale spesa può essere giustificata solo sulla base di un ampio utilizzo e quindi di un elevato volume di procedure. Le prospettive future riguardo i costi relativi al robot sono controverse: secondo alcuni, il progresso tecnologico e la maggiore esperienza acquisita con i sistemi robotici, ne abatteranno i costi; secondo altri la ricerca tecnologica in questo campo, ora volta a superare le attuali limitazioni, porterà inevitabilmente ad un incremento dei costi.
2. *Addizionale training specifico per il robot.* È necessario costituire un'equipe dedicata con un'adeguata formazione nel settore. Tuttavia la disponibilità del robot ad un numero limitato di centri riduce le opportunità di formazione.

[Digitare il testo]

3. *Le dimensioni del sistema* richiedendo pertanto una sala operatoria sufficientemente ampia
4. *La ridotta disponibilità della strumentazione.* Non sono disponibili per la piattaforma robotica, tutti gli strumenti che abbiamo nella chirurgia mini invasiva tradizionale.
5. *Mancanza del feedback aptico.* Questa carenza viene parzialmente compensata dalla visione in 3D, ma potrebbe essere superata in un futuro molto prossimo.
6. *Rischio di difetti meccanici e malfunzionamento durante la chirurgia*
7. La possibilità di fare una chirurgia a tutto campo è più difficile, in genere il robot garantisce una chirurgia a singolo target, a meno che la piattaforma non venga scollegata dal paziente, per poi eseguire nuovamente il posizionamento e il docking.

	CHIRURGIA MINI-INVASIVA CONVENZIONALE	CHIRURGIA ROBOT-ASSISTITA
<i>Vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none">● <i>Tecnologia ampiamente sviluppata</i>● <i>Affidabile e ubiquitaria</i>● <i>Efficacia ben dimostrata</i>	<ul style="list-style-type: none">● <i>Visione 3D</i>● <i>Maggiore libertà di movimento</i>● <i>Eliminazione dell'effetto fulcro</i>● <i>Eliminazione del tremore fisiologico</i>● <i>Posizione ergonomica</i>● <i>Possibilità di eseguire interventi a distanza</i>● <i>Esecuzione di microanastomosi</i>● <i>Breve learning curve</i>
<i>Svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none">● <i>Riduzione del feedback tattile</i>● <i>Visione 2D</i>● <i>Grado di movimento limitato</i>● <i>Effetto fulcro</i>● <i>Amplificazione del tremore fisiologico</i>● <i>Lunga learning curve</i>	<ul style="list-style-type: none">● <i>Assenza di feedback tattile</i>● <i>Costi elevati</i>● <i>Vantaggi ancora non dimostrati</i>● <i>Necessità di un team dedicato</i>● <i>Dimensione dei device</i>● <i>Aumento dei tempi operatori</i>

Vantaggi e Svantaggi: Chirurgia Mini-invasiva Convenzionale versus Chirurgia Roboticamente Assistita. *Lanfranco et al. 2004*

[Digitare il testo]

Le piattaforme chirurgiche robotiche “master-slave”: ZEUS® e da Vinci® Surgical Systems.

Per comprendere le attuali e future potenzialità delle nuove tecnologie in ambito chirurgico, è necessario conoscerne accuratamente il funzionamento.

Nello scenario odierno della chirurgia robotica, il Da Vinci ® Surgical System possiede il monopolio indiscusso dei robot chirurgici “master-slave”, diventando l’unica piattaforma robotica impiegata in chirurgia. Tuttavia nei settori ultra specialistici, non costituisce ad oggi la prima scelta e le applicazioni rimangono decisamente ristrette.

ZEUS® Robotic Surgical System (ZRSS)

ZEUS® è la prima piattaforma robotica master-slave progettata ed è stata adoperata per la prima volta nel 1998 per eseguire un’anastomosi della tuba di Falloppio.

Essa è composta da due sottoinsiemi: una console di controllo e tre bracci robotici montati al tavolo operatorio, di cui uno è AESOP, l’ottica con controllo vocale, caratteristica principale che lo differenzia dal robot Da Vinci.

Un importante punto a sfavore dello ZEUS sono le dimensioni eccessive dei bracci che risultano troppo ingombranti in una sala operatoria e determinano un alto numero di collisioni quando i trocar vengono mal posizionati

Da Vinci® Surgical System

Il Da Vinci® (Intuitive Surgical, Inc., Sunnyvale, CA), assieme allo ZRSS®, è l’unico robot chirurgico ad aver ottenuto l’approvazione della FDA e degli organi europei alla commercializzazione negli USA e in Europa. Attualmente rappresenta la piattaforma robotica chirurgica maggiormente utilizzata.

[Digitare il testo]



L'approvazione dalla FDA per l'impiego del da Vinci® nelle procedure laparoscopiche (addominali) giunge il 17 luglio 2000. Nel marzo del 2001 riceve l'approvazione per interventi non cardiocirurgici in toracoscopia, mentre nel giugno del 2001 viene approvato l'impiego per quella che costituisce attualmente la procedura chirurgica più frequentemente effettuata con tale device, la prostatectomia.

Il sistema da Vinci®, con particolare riferimento alla versione più recente, il da Vinci Xi®, piattaforma in dotazione dell'Ospedale Santa Chiara di Trento, è costituito da tre subunità fisicamente distinte:

1. *La console chirurgica*
2. *Il carrello paziente, sul quale sono montati i bracci del robot*
3. *Il carrello visione*

[Digitare il testo]



da Vinci Xi® Surgical System, (da sinistra a destra) carrello paziente, carrello visione, console chirurgica.

La console chirurgica (di controllo)

I robot chirurgici hanno dato avvio ad un profondo processo di cambiamento nella chirurgia che si riflette anche nella posizione assunta dal chirurgo, che non è più in piedi al tavolo operatorio ma comodamente seduto alla propria console, con importanti risvolti dal punto di vista ergonomico. Ciò rappresenta un duplice vantaggio per il chirurgo che così, non solo mantiene una posizione comoda da seduto con i gomiti appoggiati su appositi supporti, ma vede preservato anche l'allineamento occhio-mano.

[Digitare il testo]



Console chirurgica.

La console, posizionata al di fuori del campo sterile, è il centro di controllo dell'intero sistema. È dotata di una visione 3D Full HD, ad alta definizione, nella quale il chirurgo si immerge appoggiando la testa sul **visore**. Si tratta di un notevole passo in avanti rispetto alla chirurgia mini-invasiva convenzionale che nella visione bidimensionale e, dunque, nella perdita della profondità dell'immagine, trova uno dei principali limiti. Una soluzione che certamente agevola l'esecuzione di manovre complesse.

Il chirurgo, seduto comodamente davanti alla console, controlla gli strumenti *EndoWrist*® e l'endoscopio posizionati sul carrello paziente, impugnando i due **masters**. Questi rispondono in maniera precisa e rapida ai movimenti di dito e polso. Interessante notare che la trasmissione dell'input motorio ai bracci è vincolata al contatto del chirurgo con il sistema binoculare: il distacco da esso perciò comporta la disattivazione dei bracci.

[Digitare il testo]

Con questo sistema si supera un altro grande limite della chirurgia endoscopica convenzionale, ovvero i movimenti limitati e controintuitivi degli strumenti, che qui vengono rimpiazzati da un meccanismo che consente al chirurgo un maggior numero di gradi di libertà di movimento, ripristinando così naturalezza.

Al centro del bracciolo della console chirurgica è situata il **touchpad** da cui è possibile modificare le varie funzioni del sistema. Sui lati del bracciolo invece, a sinistra sono situati i comandi per la regolazione ergonomica della console e a destra i pulsanti di accensione e arresto di emergenza.

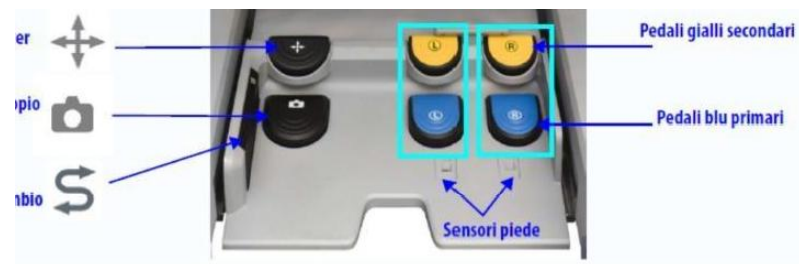


Touchpad.

Alla base della console troviamo collocata la **pedaliera** che consente al chirurgo di:

- Prendere il controllo del braccio dell'endoscopio o dei diversi bracci operativi
- Riposizionare i master escludendo il movimento degli strumenti
- Attivare i diversi tipi di elettrificazione a seconda del blocco pedali di cui si ha il controllo.

[Digitare il testo]



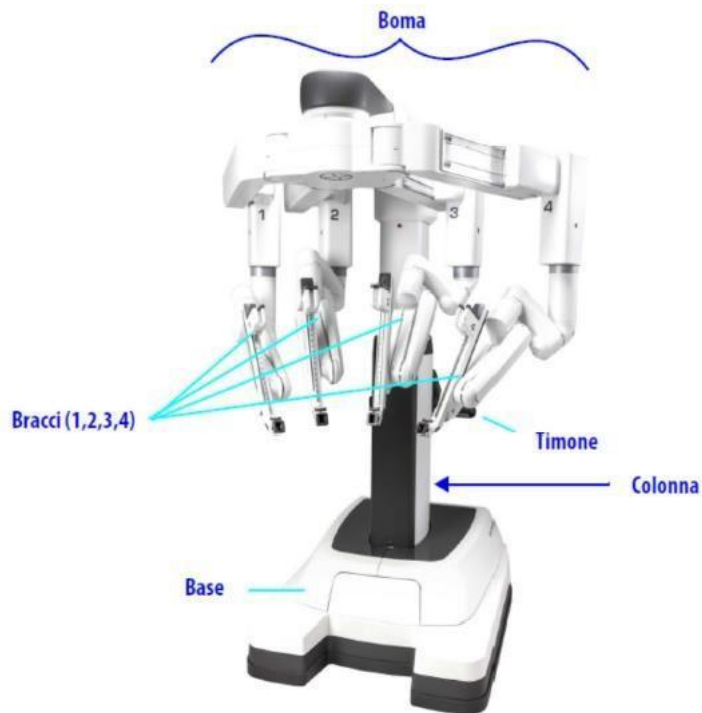
Pedaliera.

Il carrello paziente

A lato del tavolo operatorio viene posizionato il carrello paziente (il componente operatorio di Xi) e, dal momento che esso si trova all'interno del campo sterile, prima dell'intervento, deve essere ricoperto mediante apposite guaine monouso.

Il carrello si compone di boma, 4 bracci, una colonna di sostegno, un timone per la mobilizzazione, un touchpad e una base.

[Digitare il testo]



Carrello paziente.

Il timone per la mobilizzazione, fondamentale nella fase di **docking**, presenta, in corrispondenza delle maniglie, un touchpad ed un cursore per la selezione preoperatoria della tipologia di intervento, che costituisce una guida nella gestione del carrello stesso.

I quattro bracci (Fig.12) sono dedicati al supporto degli strumenti e dell' endoscopio. Essi riproducono esattamente i movimenti dei master manovrati in console dal chirurgo con una latenza impercettibile, correggendo il tremore umano fino a 6 Hz e scalando il movimento. Gli strumenti vengono di volta in volta montati da un assistente a seconda delle esigenze.

[Digitare il testo]

Ogniqualvolta si monta un nuovo strumento, questo viene automaticamente riportato nella posizione del precedente, temporaneamente memorizzata dal sistema.



Bracci robotici.

Su ogni braccio sono presenti tre pulsanti:

- *Rilascio strumento*: consente di ridirezionare ed inserire lo strumento eseguendo movimenti intorno al centro remoto, attivo durante l'intervento.
- *Rilascio porta*: movimentata l'intero braccio sui tre assi (su/giù, avanti/indietro, destra/sinistra), attivo durante l'intervento.
- *Distanza paziente*: consente di aumentare o diminuire il range di movimento del braccio premendo rispettivamente + o - e di allontanare il braccio dal paziente o dai bracci adiacenti se necessario, attivo durante l'intervento.
- È presente poi una quarta funzione di "grab and move" che permette di movimentare l'intero braccio semplicemente afferrandolo dal segmento distale, favorendo così

[Digitare il testo]

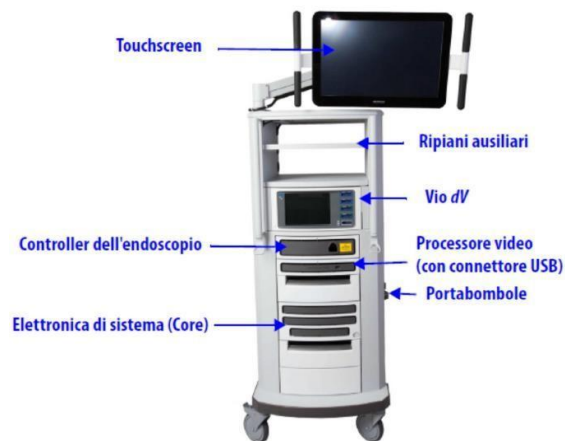
contemporaneamente i movimenti dell'*instrument clutch* e del *port clutch*. Funzione che è inattiva durante l'intervento.

➤ Sui bracci 1 e 4 è presente un ulteriore pulsante di *boma rotation* che consente di ruotare tutto il boma, inattivo durante l'intervento.

Il carrello visione

Il carrello visione è il centro di raccolta ed elaborazione dati (core) di tutto il sistema.

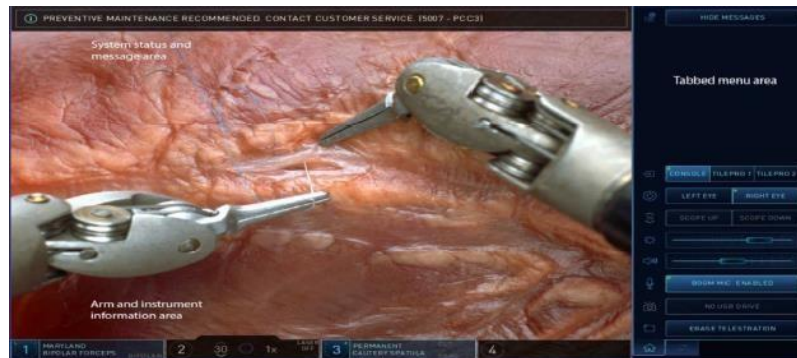
Posizionato fuori dal campo, comprende un monitor touchscreen da 24 pollici, un generatore di corrente monopolare e bipolare ERBE VIO dV integrato, processore video, controller dell'endoscopio e ripiani regolabili utilizzabili per riporre ulteriori attrezzature chirurgiche.



Carrello visione.

Il **monitor touchscreen** consente l'accesso a tutte le informazioni e alle impostazioni del sistema.

[Digitare il testo]



Monitor touchscreen

ERBE VIO *dV* (VIO *dV*) è un'unità elettrochirurgica (ESU) integrata utilizzabile con strumenti *da Vinci Xi* e non (laparoscopici, bisturi elettrici, ecc.).

Il sistema di visione (InSite Vision®) consente di ottenere un'immagine ad alta definizione, in 3D ed ingrandita fino a 10 volte, del campo operatorio. L'endoscopio è in grado di riprogrammare automaticamente la propria temperatura in modo da evitare l'appannamento, una circostanza frequente in endoscopia che comporta la temporanea sospensione della procedura per ripulire la lente o l'apertura dei trocar, normalmente a tenuta stagna, per far uscire il vapore.

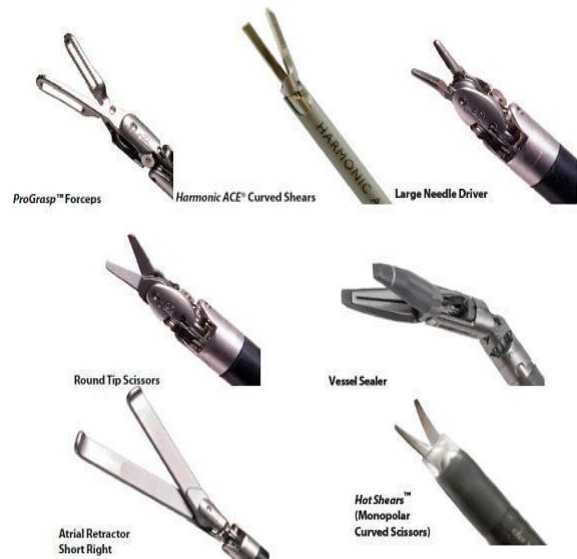
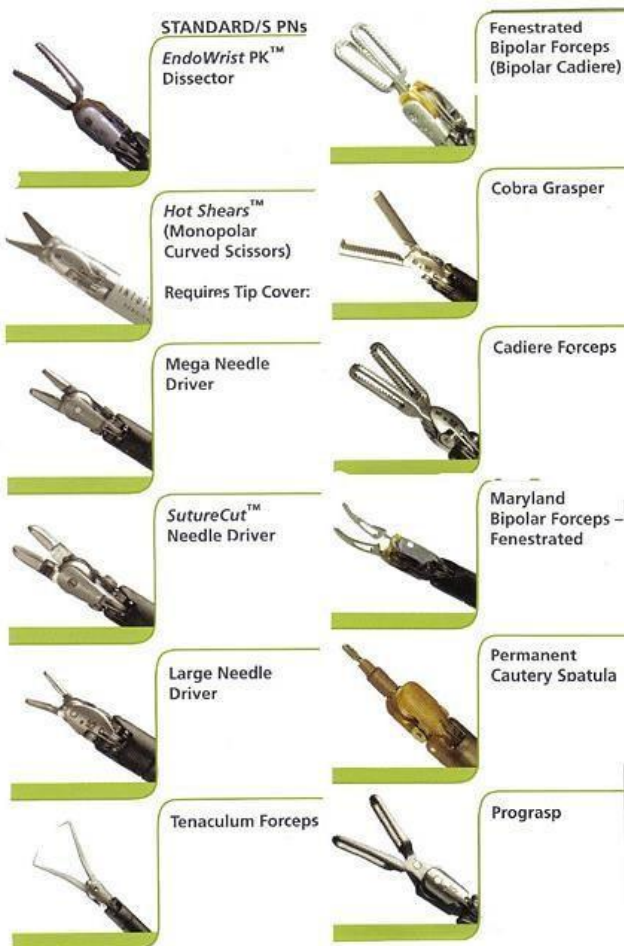
Il sistema fornisce oltre mille fotogrammi al secondo e filtra ogni immagine attraverso un processore video che elimina il rumore di fondo.

L'ultima versione del robot da Vinci offre la funzione Telestration®, ovvero la possibilità per una seconda persona (ad esempio il trainer) di effettuare annotazione sull'immagine osservata dal chirurgo agendo direttamente sul touchscreen presente in sala operatoria, coadiuvando in questo modo con chi sta operando.

[Digitare il testo]

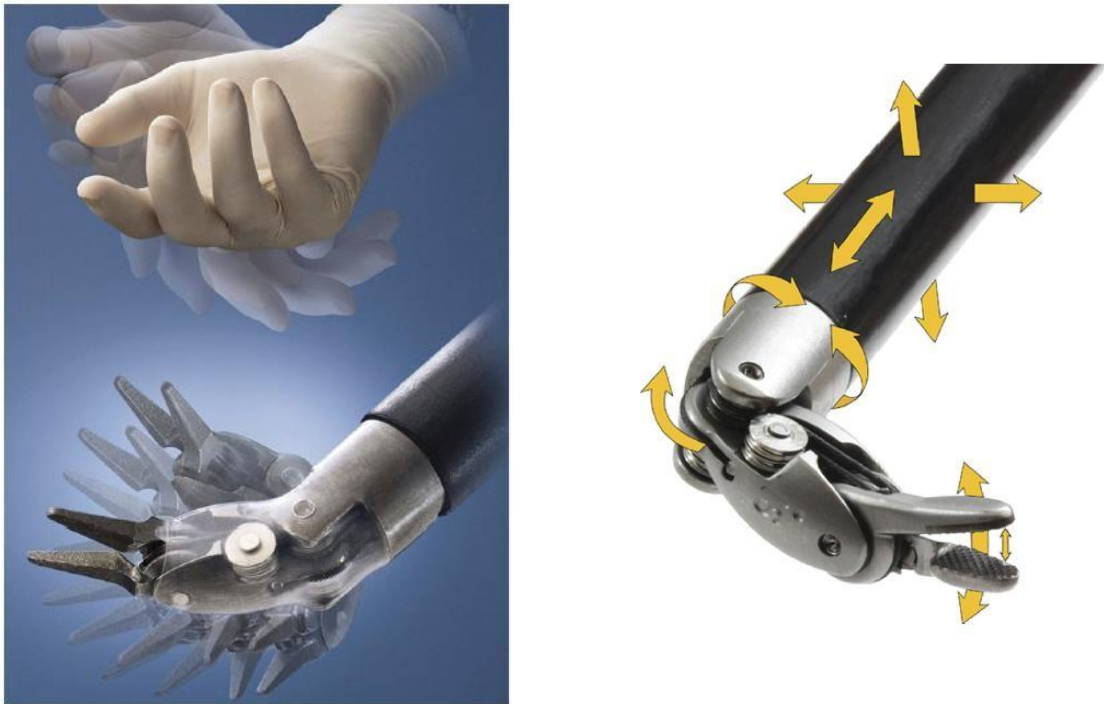
Gli strumenti

Gli strumenti impiegati in chirurgia robotica segnano un deciso passo avanti rispetto agli strumenti laparoscopici convenzionali. L'obiettivo è stato ed è quello di rendere il braccio robotico il più possibile simile al polso ed alla mano del chirurgo. Ciò consente di effettuare in maniera decisamente più agevole suture o dissezioni e di intervenire in maniera mini-invasiva in contesti altrimenti difficilmente accessibili, come ad esempio nel caso di spazi ristretti nel bambino o di interventi di tipo ricostruttivo.



[Digitare il testo]

La tecnologia *EndoWrist*® risponde a tale esigenza, fornendo strumenti estremamente mobili capaci di simulare i più fini movimenti del polso. Essi hanno un diametro di 8 mm e una lunghezza di circa 60 cm. Sono dotati di un polso (wrist) che gli permette una libertà di movimento su sette assi e un'articolazione di 180°; possono inoltre ruotare di 540° . Essi consentono così sette gradi di libertà di movimento, contro i quattro di uno strumento laparoscopico tradizionale: traslazione, rotazione, primo e secondo snodo della testa dello strumento, presa.



Confronto tra strumenti EndoWrist® e la mano umana, l'aumentato numero di gradi di libertà degli strumenti EndoWrist®.

Zender et al. 2010. Fig.17 La libertà di movimento permette di riprodurre fedelmente i movimenti della mano del chirurgo.

Zender et al. 2010

[Digitare il testo]

Inoltre il sistema amplifica i movimenti di dita e polso del chirurgo filtrando contemporaneamente il tremore che, al contrario, viene amplificato dalla rigidità degli strumenti laparoscopici convenzionali.

Un'importante sfida per la robotica in campo pediatrico è la miniaturizzazione degli strumenti e dei bracci, le cui dimensioni costituiscono un significativo ostacolo all'impiego del robot nel bambino piccolo e nel neonato. Nel bambino più piccolo, infatti, le dimensioni corporee sono tali da determinare collisioni tra i bracci robotici durante il movimento degli stessi. Va tuttavia segnalato come in tempi recenti, siano divenuti disponibili strumenti da 5 mm ed endoscopi da 8 mm.



Strumenti del da Vinci da 5 e 8 mm

[Digitare il testo]



Strumento tradizionale non robotico da 3 mm per il paziente pediatrico (sinistra) e strumento robotico da 8 mm (destra), posti a fianco di un neonato. *Cundy et al. 2015*

[Digitare il testo]

Le ottiche

Il sistema ad alta definizione (HD) *da Vinci Xi* è compatibile con due ottiche , una da 30° e una da 0°. Si tratta di ottiche con camera integrata aventi un diametro di 8 mm. Grazie alla tecnologia “chip on the tip”, l’immagine video del sito chirurgico viene catturata direttamente sulla punta dell’ottica e questo assicura una visualizzazione più naturale delle parti anatomiche inquadrare.



Ottiche.

[Digitare il testo]

Costi della chirurgia robotica

Nonostante la sua popolarità e i potenziali benefici, a fronte degli elevati costi di acquisizione e gestione, la chirurgia robotica rimane una tecnologia solo parzialmente sfruttata. Infatti, sono proprio gli elevati costi a carico del sistema sanitario a rappresentare uno dei principali ostacoli all'adozione e all'uso del robot. Questo giustifica il fatto che al momento solo centri di terzo livello con un ampio volume di casi possano supportare tali spese.

I costi da considerare al momento dell'introduzione di un'innovazione possono essere suddivisi in:

- costi diretti: acquisto, manutenzione, installazione, formazione del personale, personale presente in sala operatoria al momento della procedura e materiale sanitario.
- costi indiretti: sterilizzazione degli strumenti e pulizia della sala.

I costi possono anche essere suddivisi in:

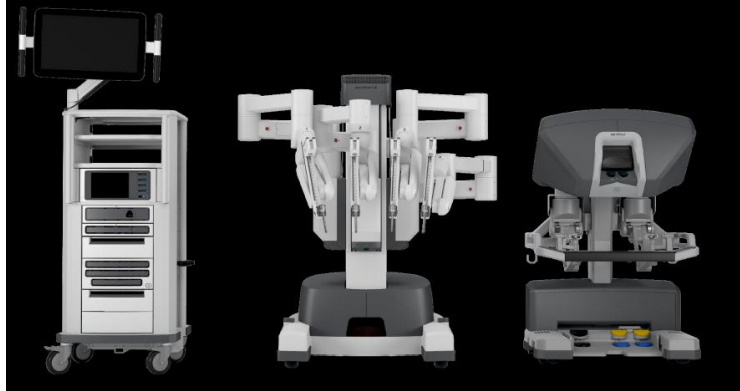
- costi fissi: manutenzione e ammortamento
- costi variabili che si modificano a seconda del caso trattato: degenza, personale e costi indiretti.

Le tecniche per una valutazione completa dei costi sono:

- Analisi di minimizzazione dei costi: confronto tra i costi di due o più alternative terapeutiche con la medesima efficacia. In letteratura moltissimi studi hanno valutato gli aspetti economici dell'impiego della chirurgia robotica rispetto agli approcci chirurgici tradizionali quali la chirurgia laparoscopica e la chirurgia laparotomica nelle diverse specialità chirurgiche.
- Analisi costo efficacia: il costo è misurato in termini monetari, mentre l'efficacia in termini di vite salvate, casi prevenuti o trattati efficacemente.
- Analisi costo beneficio: sia l'uno che l'altro sono misurati in termini monetari.

[Digitare il testo]

- Analisi costi utilità: i costi sono espressi in termini monetari mentre l'utilità in termini di "quality adjusted-life years".



Nonostante l'eterogeneità dei vari parametri presi in considerazione, gli studi in letteratura concordano che la chirurgia robotica è associata a costi più elevati rispetto alla chirurgia convenzionale (laparotomia e laparoscopia). Il maggior costo della chirurgia robotica è dovuto principalmente a tre fattori: il costo iniziale di acquisizione, il costo di manutenzione e il costo della strumentazione chirurgica necessaria, caratterizzata, inoltre, da una vita di utilizzo limitata. Pertanto si evince come un adeguato numero di interventi al mese, costituisca un elemento imprescindibile per l'ammortamento del costo di acquisto del robot, in quanto verrebbe ripartito in tante quote quante sono gli interventi. Da qui la necessità di destinare le piattaforme robotiche a centri con un'affluenza notevole e che possano quindi rendere il robot economicamente sostenibile. Una possibile soluzione, adottata già da molti centri, è che il robot venga pertanto condiviso tra le varie specialità di chirurgia di uno stesso ospedale. D'altra parte, disporre di una casistica numerosa, fa sì che la curva di apprendimento del chirurgo sia più rapida con conseguente riduzione dei tempi operatori e quindi dei costi.

[Digitare il testo]

Gioca un ruolo indiscusso anche il monopolio sulla produzione di piattaforme robotiche. A livello mondiale infatti il robot chirurgico più utilizzato è il da Vinci, sviluppato dalla Intuitive Surgical Inc., che di fatto ne detiene l'esclusiva. Pertanto si può pensare che in un prossimo futuro, grazie alla commercializzazione di device prodotti da aziende concorrenti, si potrà assistere ad una riduzione dei costi.

Aspetto Anestesiologico

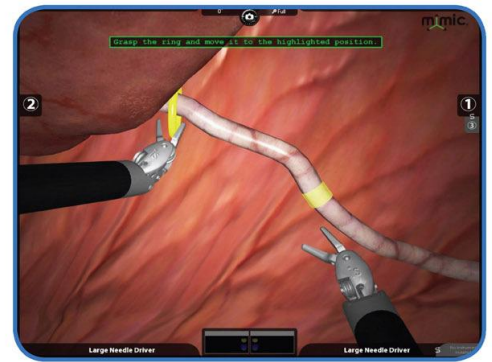
Alcuni tra i limiti della chirurgia robotica rappresentano un'importante problematica anche dal punto di vista anestesiologico. In particolare, il notevole allungamento dei tempi operatori e di conseguenza anche del tempo di anestesia, potrebbe mettere a rischio la salute del paziente, specie quando complicato o pediatrico. Inoltre la posizione chirurgica, spesso innaturale e mantenuta per tempi prolungati, potrebbe arrecare gravi problematiche cardio respiratorie, oltre che danni nervosi e tissutali. Bisogna anche considerare che una volta eseguito il docking, l'accesso diretto al paziente, ai suoi accessi vascolari e ai sensori per i parametri vitali potrebbe essere limitato o addirittura negato all'anestesista e qualora si rendesse necessario modificare la posizione del paziente, bisognerebbe scollegare il sistema robotico, aumentando ulteriormente i già prolungati tempi operatori. Per questi motivi diventa fondamentale pianificare accuratamente la posizione del paziente, del tavolo operatorio, del sistema robotico, dei macchinari di ventilazione e di tutta l'equipe di sala prima dell'inizio dell'intervento chirurgico, al fine di poter fronteggiare le difficoltà che intercorrono durante la procedura nel modo migliore possibile.

Learning curve e training in chirurgia robotica

La curva di apprendimento (learning curve) è una rappresentazione grafica dei miglioramenti acquisiti da un soggetto nell'esecuzione di una specifica procedura nel corso del tempo. Tale concetto fu introdotto per la prima volta da un ingegnere aeronautico nel 1936, il quale evidenziò come le ore necessarie per costruire uno specifico componente di un aeroplano, diminuivano in modo proporzionale all'aumentare del quantitativo di parti prodotte. Introduce in questo modo il concetto di learning curve, attualmente divenuto intuitivo, secondo cui la performance migliora con il tempo e la pratica. Tale concetto ha assunto un ruolo fondamentale in medicina, soprattutto in chirurgia, e misura come l'apprendimento, valutato in termini di risultati ottenuti, si modifica con l'esperienza: il chirurgo si allontana dal punto di partenza, raggiunge un certo livello di performance, lo stabilizza e diventa indipendente. Successivamente tale curva va incontro ad un ulteriore deterioramento dopo il raggiungimento di un certo livello di esperienza probabilmente dovuto all'acquisizione di un'eccessiva confidenza o a causa dell'esecuzione di procedure più complesse.



[Digitare il testo]



Diversi anni fa la chirurgia laparoscopica rappresentava una nuova tecnica chirurgica che necessitava di un training dedicato. Attualmente tale tecnica è diventata il gold standard per moltissime procedure e il suo apprendimento rappresenta parte integrante dei requisiti raggiunti da uno specializzando in chirurgia. Oggi è la chirurgia robotica ad essere innovativa e quindi necessita di un training specifico per molti chirurghi. Tanti studi analizzano le differenze tra la learning curve della laparoscopia e quella della chirurgia robotica. Essi concordano sul fatto che la curva di apprendimento della laparoscopia è notevolmente più lenta rispetto a quella della chirurgia robotica, soprattutto quando vengono analizzate alcune specifiche procedure come l'esecuzione di nodi di sutura. Inoltre, rispetto alla laparoscopia tradizionale, i requisiti richiesti ad un chirurgo comprendono molto più che l'intervento chirurgico in sé. Infatti chiavi essenziali per la corretta riuscita della procedura sono la

[Digitare il testo]

meticolosa pianificazione del posizionamento dei trocar e il posizionamento del robot per il docking.

Da questo nasce la necessità di creare un team di professionisti dedicati specificatamente alla chirurgia robotica in modo da garantire l'efficienza operativa (riduzione dei tempi operatori) e, soprattutto, una riduzione dei rischi di eventi avversi peri-operatori. Attualmente non esiste un metodo standardizzato per ottenere credenziali e certificazioni nel contesto della chirurgia robotica. In letteratura non è chiaro il passaggio e le modalità con cui la certificazione viene legata agli aspetti formativi in termini di eventuali esami da superare oppure la presenza di un sistema che accrediti enti o soggetti al rilascio delle certificazioni unitamente ad eventuali upgrade legati all'uso del robot nella pratica clinica. Negli studi non viene menzionata neppure l'esistenza o meno di diversi livelli di certificazione che certifichino quindi un livello di competenza raggiunto dal chirurgo. C'è anche la necessità di correlare le competenze alla learning curve e come essa possa essere inserita in un percorso di certificazione. Spesso i requisiti per essere certificati, pur variando tra i diversi centri, sono basati su un numero minimo di procedure da portare a termine. Tuttavia analizzando i vari articoli, risulta chiaro che non è possibile definire un numero di operazioni che un chirurgo novello dovrebbe fare prima di diventare esperto. Senza dubbio i chirurghi necessitano di fare esperienza su dei simulatori divenendo autonomi prima di iniziare ad operare sui pazienti in sala operatoria.

Un simulatore è uno strumento educativo che permette performance interattive dell'allievo, in un ambiente che ricrea o mima uno scenario clinico di vita reale. In particolare esso dovrebbe rispondere ai seguenti requisiti: realismo dello strumento, utilità come strumento di training, capacità del software di distinguere la performance del soggetto dilettante da quello esperto, comparazione rispetto al training eseguito direttamente sul paziente, capacità di prevedere la performance del chirurgo in sala operatoria. Nel 2011 la Intuitive Surgical Inc. in

[Digitare il testo]

collaborazione con la Mimic Technologies, ha introdotto il da Vinci Si Surgical Skills Simulator (dVSS) che permette di effettuare la simulazione di interventi chirurgici e l'esecuzione dei moduli-base utilizzando lo stesso device impiegato in sala operatoria. Tale simulatore è ottimale anche per i giovani chirurghi che tuttora sono costretti ad acquisire una maggiore perizia attraverso tentativi supervisionati e eventuali errori compiuti su pazienti reali. La chirurgia robotica risponde a questo scoglio secolare, proponendosi come strumento innovativo per permettere lo sviluppo delle capacità chirurgiche tramite la simulazione di tutte le procedure che possono essere eseguite via robot. In particolare Mehta et al. nel 2017 ha condotto uno studio analizzando la learning curve nell'uso della chirurgia robotica confrontando due gruppi: uno di adolescenti ed un altro di specializzandi in chirurgia generale. Da tale studio si evince una conclusione significativa cioè che la formazione chirurgica di base non influenza le prestazioni del simulatore robotico. Inoltre, come già evidenziato da altri autori, sebbene le abilità laparoscopiche giovino i chirurghi generali nell'esecuzione di compiti più complessi, le loro prestazioni nei compiti più elementari erano inferiori a quelle degli utenti senza alcuna esperienza.

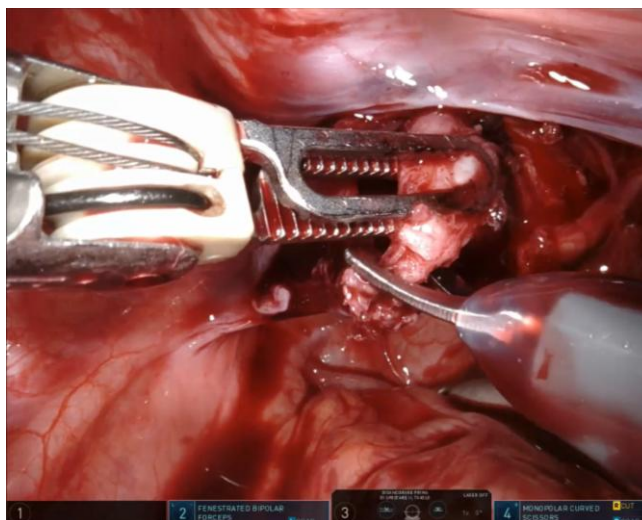
[Digitare il testo]

La nostra esperienza

Presso il centro di Chirurgia Pediatrica dell' APSS Ospedale Santa Chiara Trento, sono stati operati con tecnica robotica 15 pazienti sotto i 16 anni.

La nostra esperienza in chirurgia robotica è iniziata circa due anni fa, dove per il primo anno un chirurgo pediatra ha seguito costantemente tutte le settimane interventi di chirurgia urologica, ginecologica e generale con tecnica robotica.

Un accordo inter-divisionale a permesso ti assistere passo passo tutti momenti dell'attività: dalla preparazione del paziente sul letto operatorio al docking del boma robotico, all'uso della consolle.



Il robot utilizzato presso il nostro ospedale è un da Vinci Xi accessoriato anche di software per la simulazione.

I colleghi che sono stati affiancati, eseguendo circa 300 procedure l'anno con l'ausilio del



[Digitare il testo]

robot, hanno sviluppato una notevole esperienza sull'uso di questa tecnologia innovativa. Tale periodo è stato quindi fondamentale, ribadendo non solo per comprendere l'uso della consolle ma anche per apprendere la posizione migliore di paziente e trocar a seconda del tipo di intervento e soprattutto come effettuare il docking del robot. Un approccio graduale che fin da subito è stato importante per notare la notevole differenza con la laparoscopia e per obbligarsi a “dimenticare” i meccanismi di quest'ultima. Il posizionamento del paziente può essere l'anello di congiunzione tra le due tecniche ma già dalla scelta di dove inserire i trocar operativi si evince questa differenza.

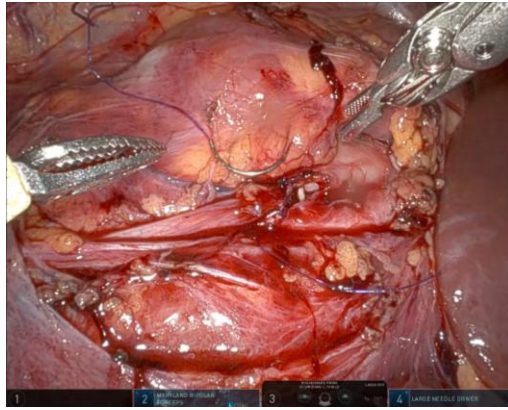
Queste sono tutte procedure che se non pianificate attentamente prima dell'intervento potrebbero portare a notevole allungamento dei tempi operatori e di conseguenza anche al tempo di anestesia generale a cui il paziente è sottoposto.

Altra parte fondamentale dell'iniziale approccio al robot è stata la possibilità di utilizzare il simulatore integrato al da Vinci Xi. Il chirurgo preposto del nostro team si è infatti esercitato con costanza potendo sperimentare su se stesso come le ormai sviluppate capacità nella laparoscopia tradizionale non siano prerequisiti fondamentali alla pratica della chirurgia robotica.

In particolare tale periodo di training è stato sfruttato per imparare i rudimenti delle manipolazioni mediante i joystick, la gestione dell'ottica;

mediante strumenti fisici da simulazione invece, si è cominciato ad intuire le forze in gioco, come disporre i bracci e come gestire il boma nel suo complesso.

[Digitare il testo]



L'uso del simulatore ha anche permesso di abituarsi ad operare in una situazione insolita per il chirurgo tradizionale, cioè lontano dal tavolo operatorio in una posizione molto più ergonomica.



[Digitare il testo]

Materiali e metodi

Da circa un anno a questa parte, presso la Chirurgia Pediatrica dell'Ospedale Santa Chiara di Trento, sono stati operati 15 pazienti con il Robot.

Sono state eseguite procedure in ambito urologico, ginecologico e gastrointestinale.

Nello specifico contiamo:

- 7 pieloplastiche secondo Anderson e Hynes;
- 2 nefrectomie totali;
- 2 asportazioni di cisti paratubariche;
- 2 asportazione di cisti ovariche;
- 1 asportazione di utricolo prostatico;
- 1 duplicazione cistica intestinale;

In nessuno dei 15 casi si sono verificate complicanze intra o post operatorie e non è mai stato necessario convertire la tecnica in open.

Interessante l'utilizzo nell'intervento di asportazione dell'utricolo prostatico del verde di indocianina che, colorando il residuo stesso, ha permesso l'individualizzazione per poi separarlo dalle strutture circostanti con maggiore sicurezza e facilità.

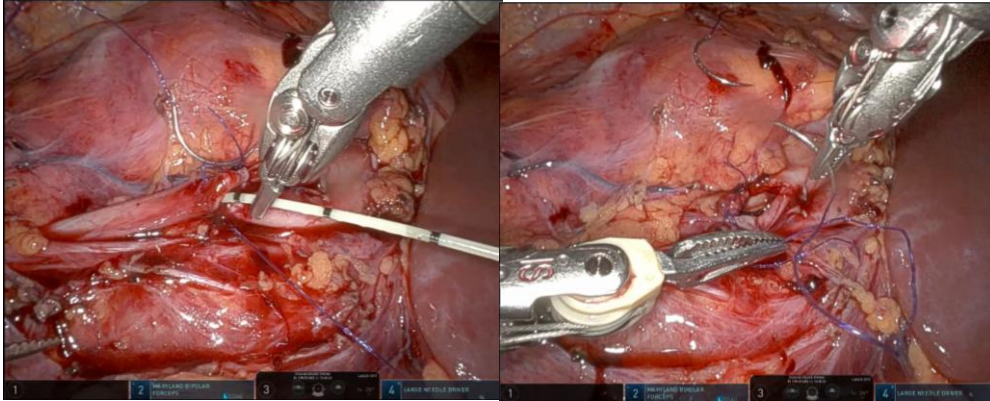


L'età dei pazienti è stata variabile dai 3 anni ai 16 anni ed il peso da 13 kg a 90 kg.

Per quanto riguarda i chirurghi oltre al primario solo un altro operatore dell'equipe chirurgica è stato impiegato nell'uso del robot: dal docking iniziale, all'uso effettivo della console.

[Digitare il testo]

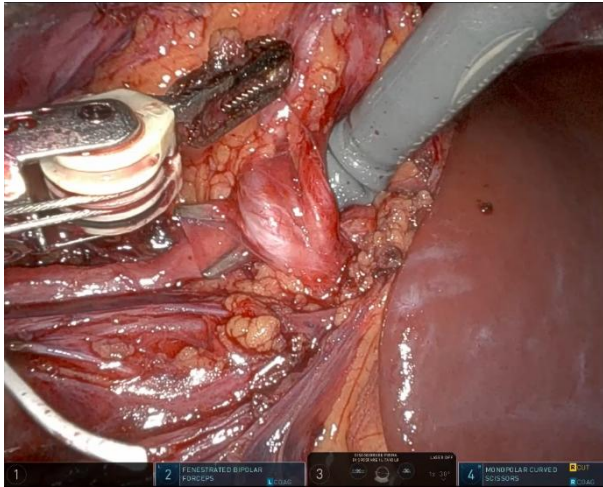
Dopo il 15° intervento, un altro operatore è stato impiegato per il docking del boma. Quest'ultimo operatore ha comunque seguito come aiuto al tavolo fino ai primi interventi.



Per i primi interventi è stata impiegata l'equipe di sala della chirurgia generale, costituita da infermieri e assistenti già esperti in procedure eseguite con il robot. Successivamente è stata adoperata l'equipe specifica della chirurgia pediatrica. Da questa alternanza si è reso evidente anche come il training robotico non sia appannaggio solo del chirurgo, ma la presenza di un'equipe esperta gioca un ruolo chiave nella buona riuscita dell'intervento e nella riduzione dei tempi operatori. Infatti una delle prime difficoltà riscontrate è stata proprio la pianificazione della posizione migliore da far assumere al paziente e il posizionamento del robot. Di notevole importanza è anche la collaborazione tra anestesisti e chirurghi pediatri, infatti una volta posizionato il robot, l'accesso al paziente diventa più difficile e un'attenta organizzazione sul posizionamento dello strumentario anestesilogico può rendere il lavoro di entrambi più agevole. Seppur con pochi numeri ancora a disposizione per confrontare tecniche robotiche versus tecniche laparoscopiche, è risultato fin da subito evidente come la differenza dei tempi operativi dipenda in gran parte dall'esperienza nel posizionare il paziente e dall'iniziale posizionamento della macchina. Possiamo dire che ci vogliono almeno quattro interventi perché il meccanismo sia rodato. Oltre a questo, la maggior difficoltà è stata adattare l'ingombro di trocar da 8 mm e i 4 bracci (a volte 3) al soma di pazienti con così tanta differenza di dimensioni e peso.

[Digitare il testo]

La parte pratica dell'uso dei joystick, grazie alle simulazioni precedenti e all'intuitività del sistema si è dimostrata fin da subito agevole, con riduzione graduale ma abbastanza veloce dell'iniziale



disagio dovuto al deficit di ritorno di forza.

L'agilità ed il grado di movimento degli strumenti robotici, uniti alla realtà immersiva della visione 3D hanno reso agevole lo sviluppo di questa disciplina.

Permane comunque la difficoltà nel riuscire a posizionare le porte d'ingresso degli strumenti nei

pazienti di piccole dimensioni evitando che i bracci conflittino tra loro; questo dovuto sicuramente ad una nostra iniziale esperienza ma anche alle dimensioni degli strumenti coinvolti.

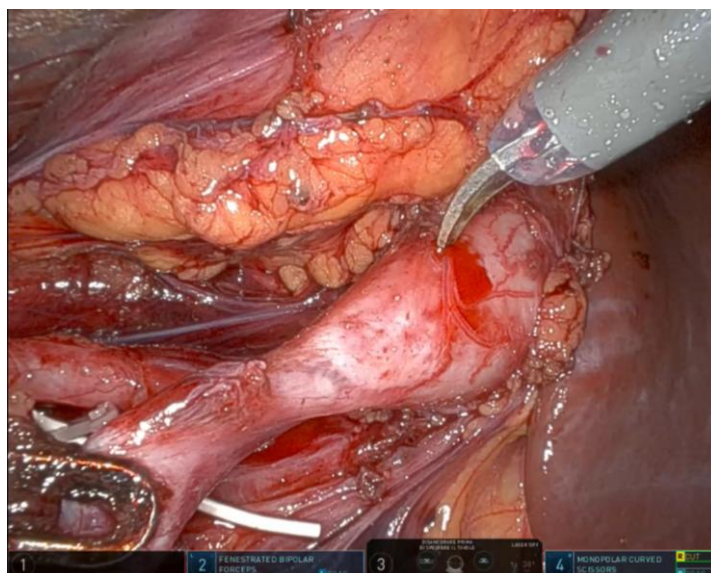
[Digitare il testo]

Discussione

La chirurgia robotica è ormai una realtà, e con le sue potenzialità si sta espandendo mostrando sempre meno limiti al suo utilizzo. Essa prosegue lungo il sentiero già battuto dalla chirurgia mini-invasiva, proponendosi di superare le ben note limitazioni della tecnica convenzionale.

Come spesso succede in chirurgia, tale tecnica è stata inizialmente destinata a pazienti adulti sia per numeri che per dimensioni, mentre la comunità pediatrica ha mostrato un iniziale scetticismo a causa delle stesse motivazioni (piccole dimensioni e piccoli numeri).

Superate del diffidenze iniziali, a partire dal primo intervento riportato da Meininger et al. nel 2001 (Si trattava di una funduplicatio secondo Nissen e fu eseguita ben 10 anni dopo l'avvento della chirurgia robotica), si è assistito ad un trend in ascesa nel numero interventi e di pubblicazioni che ne dimostrano la sicurezza e la fattibilità.



Gli stessi ostacoli erano emersi più di vent'anni fa quando fu introdotta la chirurgia laparoscopica; In particolare ad essa erano state mosse diverse critiche, tra le quali la difficile manipolazione dei

[Digitare il testo]

tessuti in spazi ristretti, la discrepanza tra le dimensioni del bambino e quelle degli strumenti allora disponibili e i costi nettamente superiori a quelli della tecnica open.

La storia quindi fa ben immaginare che in un futuro essa rappresenterà la prima scelta in alcune procedure chirurgiche così com'è stato per la laparoscopia.

Tuttavia al momento si è ancora lontani dal raggiungimento di tale obiettivo e in parte ciò è dovuto al costo di acquisto e manutenzione del da Vinci (principale esponente dei robot chirurgici). Al fine di superare tali ostacoli molti ospedali hanno adottato la strategia di condividere il robot tra le varie specialità al fine di ammortizzare i costi.

La problematica assume anche un aspetto etico se consideriamo che l'introduzione di una tecnologia così costosa in ambito sanitario potrebbe ampliare drasticamente la forbice dell'ineguaglianza sanitaria. Tuttavia possiamo ben immaginare come in un prossimo futuro i costi si ridurranno sia per la nascita di nuove aziende concorrenti alla Intuitive Surgical Inc., che di fatto oggi detiene praticamente il monopolio nella produzione di piattaforme robotiche, sia per l'acquisizione di esperienza da parte dell'èquipe di sala con conseguente minor spreco di risorse.

I vantaggi comunque offerti da questa tecnologia innovativa non possono essere trascurati poiché hanno permesso di fare un balzo in avanti rispetto alla chirurgia mini invasiva tradizionale e pertanto è probabile che in futuro le qualità del robot diventino imprescindibili per eseguire una chirurgia pediatrica per alcuni tipi di interventi.

Nel caso specifico della chirurgia pediatrica attualmente l'unico sistema robotico approvato per uso pediatrico è il da Vinci Surgical System annoverando nell'ultimo modello solo strumenti da 8mm. Nonostante le limitazioni descritte, l'uso della chirurgia robotica in ambito pediatrico ha avuto un incremento esponenziale specialmente in ambito urologico.

[Digitare il testo]

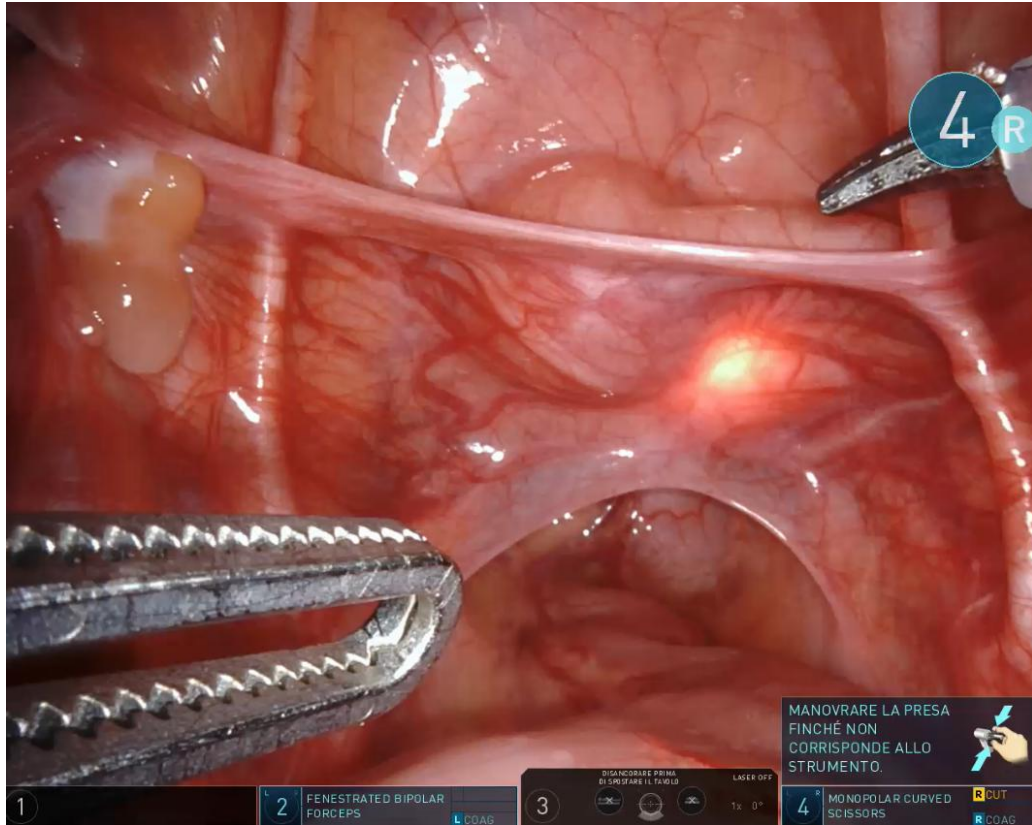
Più recentemente la Senhance robotics system (Transenterix, Morrisville,NC) ha cominciato ad offrire strumenti di circa 3 mm, che potrebbero rendere la chirurgia robotica applicabile anche su pazienti di minori dimensioni.

Comunque grazie ad alcune sue qualità come il “motion scaling”, la chirurgia robotica può sopperire alle difficoltà nel raggiungere o muoversi nei ristretti spazi anatomici dei neonati o dei bambini più piccoli.

L’aspetto del training non va sottovalutato come in tutte le discipline chirurgiche e nel caso della chirurgia robotica comprende anche la fase di docking e quindi coinvolge non solo il chirurgo ma anche l’èquipe di sala. Importante per noi sottolineare questo aspetto in quanto riducendo i tempi “non operatori” si riduce di conseguenza il tempo a qui è sottoposto un paziente all’anestesia, si riducono le facili critiche, aumenta la possibilità di sfruttare la sala per altre procedure.

Dal punto di vista manuale, la chirurgia robotica è più intuitiva e di facile apprendimento rispetto alla chirurgia laparoscopica con cui condivide solo la filosofia di fondo e quindi la mini invasività.

[Digitare il testo]



In conclusione dalla nostra esperienza si evince come la chirurgia robotica rappresenti una tecnica fattibile e versatile per pazienti sopra i 10 kg.

Ancora qualche dubbio e difficoltà permangono per bambini di dimensioni minori ma in un prossimo futuro, con l'implementazione di uno strumentario consono, con un maggior ventaglio di scelta, si potranno ridurre i costi ed aumentare le indicazioni, aiutando la chirurgia robotica ad uscire dallo stesso vortice di critiche e diffidenze di cui godeva la tecnica laparoscopica ormai vent'anni fa.

Bibliografia

- [1] D. D. Meininger, C. Byhahn, K. Heller, C. N. Gutt, and K. Westphal, "Totally endoscopic Nissen fundoplication with a robotic system in a child.," *Surg. Endosc.*, vol. 15, no. 11, p. 1360, 2001.
- [2] G. E. Tasian, D. J. Wiebe, and P. Casale, "Learning curve of robotic assisted pyeloplasty for pediatric urology fellows," *J. Urol.*, vol. 190, no. 4 SUPPL, pp. 1622–1626, 2013.
- [3] A. N. Sridhar, T. P. Briggs, J. D. Kelly, and S. Nathan, "Training in Robotic Surgery— an Overview," *Curr. Urol. Rep.*, vol. 18, no. 8, p. 58, 2017.
- [4] M. A. Orvieto, M. Large, and M. S. Gundeti, "Robotic paediatric urology," *BJU International*, vol. 110, no. 1. pp. 2–13, 2012.
- [5] D. M. Gaba, "The future vision of simulation in health care.," *Qual. Saf. Health Care*, vol. 13 Suppl 1, no. Suppl 1, pp. i2-10, 2004.
- [6] M. N. Jonsson *et al.*, "ProMIS can serve as a da Vinci(R) simulator--a construct validity study.," *J. Endourol.*, vol. 25, no. 2, pp. 345–350, 2011.
- [7] T. Kesavadas *et al.*, "Validation of Robotic Surgery Simulator (RoSS)," in *Studies in Health Technology and Informatics*, 2011, vol. 163, pp. 274–276.
- [8] S. A. Seixas-Mikelus, T. Kesavadas, G. Srimathveeravalli, R. Chandrasekhar, G. E. Wilding, and K. A. Guru, "Face validation of a novel robotic surgical simulator," *Urology*, vol. 76, no. 2, pp. 357–360, 2010.
- [9] M. A. Liss *et al.*, "Validation, Correlation, and Comparison of the da Vinci Trainer™ and the da Vinci Surgical Skills Simulator™ Using the Mimic™ Software for Urologic Robotic Surgical Education," *J. Endourol.*, vol. 26, no. 12, pp. 1629–1634, 2012.
- [10] T. Alzahrani *et al.*, "Validation of the da vinci surgical skill simulator across three surgical disciplines:A pilot study," *J. Can. Urol. Assoc.*, vol. 7, no. 7–8, 2013.
- [11] G. Whittaker *et al.*, "Validation of the RobotiX Mentor Robotic Surgery Simulator.," *J. Endourol.*, vol. 30, no. 3, pp. 338–346, 2015.
- [12] H. Abboudi *et al.*, "Current status of validation for robotic surgery simulators a systematic review," *BJU International*, vol. 111, no. 2. pp. 194–205, 2013.

[13] R. Korets *et al.*, “Validating the use of the Mimic dV-trainer for robotic surgery skill acquisition among urology residents,” *Urology*, vol. 78, no. 6, pp. 1326–1330, 2011.

[14]

[15] J. I. Camps, “The use of robotics in pediatric surgery: My initial experience,” *Pediatr. Surg. Int.*, vol. 27, no. 9, pp. 991–996, 2011.

[16] R. Valero *et al.*, “Robotic surgery: History and teaching impact,” *Actas Urológicas Españolas (English Ed.)*, vol. 35, no. 9, pp. 540–545, 2011.

[17] R. M. Satava, “Surgical robotics: the early chronicles: a personal historical perspective.,” *Surg. Laparosc. Endosc. Percutan. Tech.*, vol. 12, no. 1, pp. 6–16, 2002.

[18] I. Asimov, *I, robot*. Greenwich, CT, 1950.

[19] I. Asimov, *Runaround. Astounding science fiction*. New York, 1942.

[20] S. B. Jones and D. B. Jones, “Surgical aspects and future developments of laparoscopy,” *Anesthesiology Clinics of North America*, vol. 19, no. 1, pp. 107–124, 2001.

[21] S. S. Fisher, M. McGreevy, J. Humphries, and W. Robinett, “Virtual environment display system,” *Proc. 1986 Work. Interact. 3D Graph. - I3D '86*, pp. 77–87, 1987.

[22] B. Davies, “A review of robotics in surgery.,” *Proc. Inst. Mech. Eng. H.*, vol. 214, no. 1, pp. 129–140, 2000.

[23] V. Patel, “Robotic-assisted laparoscopic dismembered pyeloplasty,” *Urology*, vol. 66, no. 1, pp. 45–49, 2005.

[24] B. L. Davies, R. D. Hibberd, M. J. Coptcoat, and J. E. Wickham, “A surgeon robot prostatectomy--a laboratory evaluation.,” *J. Med. Eng. Technol.*, vol. 13, no. 6, pp.

273–7, 1989.

[25] H. a Paul *et al.*, “Development of a surgical robot for cementless total hip arthroplasty.,” *Clinical orthopaedics and related research*, no. 285, pp. 57–66, 1992.

[26] S. Kalan *et al.*, “History of robotic surgery,” *Journal of Robotic Surgery*, vol. 4, no. 3, pp. 141–147, 2010.

[27] “Robodoc. CUREXO technology. <http://www.robodoc.com/about.html>.” .

[28] R. M. Satava, “Virtual reality and telepresence for military medicine.,” *Ann. Acad. Med. Singapore*, vol. 26, no. 1, pp. 118–120, 1997.

- [29] S. Unger, H. Unger, and R. Bass, "AESOP robotic arm," *Surg Endosc*, vol. 8, p. 1131, 1994.
- [30] J. M. Sackier and Y. Wang, "Robotically assisted laparoscopic surgery - From concept to development," *Surg. Endosc.*, vol. 8, no. 1, pp. 63–66, 1994.
- [31] H. Johanet, "[Voice-controlled robot: a new surgical aide? Thoughts of a user].," *Ann. Chir.*, vol. 52, no. 9, pp. 918–921, 1998.
- [32] F. Pugin, P. Bucher, and P. Morel, "History of robotic surgery : From AESOP® and ZEUS® to da Vinci®," *J. Visc. Surg.*, vol. 148, no. 5, pp. e3–e8, 2011.
- [33] L. R. Kavoussi, R. G. Moore, J. B. Adams, and A. W. Partin, "Comparison of Robotic Versus Human Laparoscopic Camera Control," *J. Urol.*, vol. 154, no. 6, pp. 2134– 2136, 1995.
- [34] L. Mettler, M. Ibrahim, and W. Jonat, "One year of experience working with the aid of a robotic assistant (the voice-controlled optic holder AESOP) in gynaecological endoscopic surgery.," *Hum. Reprod.*, vol. 13, no. 10, pp. 2748–50, 1998.
- [35] L. K. Jacobs, V. Shayani, and J. M. Sackier, "Determination of the learning curve of the AESOP robot," *Surg. Endosc.*, vol. 11, no. 1, pp. 54–55, 1997.
- [36] J. Marescaux *et al.*, "Transatlantic robot-assisted telesurgery.," *Nature*, vol. 413, no. 6854, pp. 379–80, 2001.
- [37] J. Himpens, G. Leman, and G. Cardiere, "Telesurgical laparoscopic cholecystectomy," *Surg Endosc*, vol. 12, p. 1091, 1998.
- [38] A. R. Lanfranco, A. E. Castellanos, J. P. Desai, and W. C. Meyers, "Robotic surgery: a current perspective.," *Ann. Surg.*, vol. 239, no. 1, pp. 14–21, 2004.
- [39] G. I. Barbash and S. A. Glied, "New technology and health care costs--the case of robot-assisted surgery.," *N. Engl. J. Med.*, vol. 363, no. 8, pp. 701–4, 2010.
- [40] Y. S. Kwoh, J. Hou, E. A. Jonckheere, and S. Hayati, "A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 35, no. 2, pp. 153–160, 1988.
- [41] C. Blum and D. Adams, "Who did the first laparoscopic cholecystectomy?," *J. Minim. Access Surg.*, vol. 7, no. 3, p. 165, 2011.
- [42] K. H. Fuchs, "Minimally invasive surgery," *Endoscopy*, vol. 34, no. 2. pp. 154–159, 2002.
- [43] F. Friedmacher and H. Till, "Robotic-Assisted Procedures in Pediatric Surgery: A

Critical Appraisal of the Current Best Evidence in Comparison to Conventional

Minimally Invasive Surgery,” *J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech.*, vol. 25, no. 11, pp.

936–943, 2015.

[44] J. J. Meehan and A. Sandler, “Pediatric robotic surgery: A single-institutional review of the first 100 consecutive cases,” *Surg. Endosc.*, vol. 22, no. 1, pp. 177–82, 2008.

[45] F. Brody and N. G. Richards, “Review of robotic versus conventional laparoscopic surgery,” *Surg Endosc*, vol. 28, pp. 1413–1424, 2014.

[46] S. Tsuda *et al.*, “SAGES TAVAC safety and effectiveness analysis: da Vinci®

Surgical System (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA),” *Surg. Endosc. Other Interv. Tech.*, vol. 29, no. 10, pp. 2873–2884, 2015.

[47] Y. J., “The robot has no role in elective colon surgery,” *JAMA Surg*, vol. 149, no. 184, 2014.

[48] Z. M. Weissman JS, “COMparative effectiveness research on robotic surgery,” *JAMA*, vol. 309, no. 7, pp. 721–722, 2013.

[49] T. P. Cundy, H. J. Marcus, A. Hughes-Hallett, S. Khurana, and A. Darzi, “Robotic surgery in children: adopt now, await, or dismiss?,” *Pediatric Surgery International*, vol. 31, no. 12, pp. 1119–1125, 2015.

[50] G. T. Sung and I. S. Gill, “Robotic laparoscopic surgery: A comparison of the da Vinci and Zeus systems,” *Urology*, vol. 58, no. 6, pp. 893–898, 2001.

[51] B. Kiaii *et al.*, “Robot-assisted computer enhanced closed-chest coronary surgery:

preliminary experience using a Harmonic Scalpel and ZEUS,” *Hear. Surg. forum.*, vol. 3, no. 3, pp. 194–197, 2000.

[52] D. H. Boehm *et al.*, “Early experience with robotic technology for coronary artery surgery,” in *Annals of Thoracic Surgery*, 1999, vol. 68, no. 4, pp. 1542–1546.

[53] D. H. Boehm *et al.*, “Clinical use of a computer-enhanced surgical robotic system for endoscopic coronary artery bypass grafting on the beating heart,” *Thorac. Cardiovasc. Surg.*, vol. 48, no. 4, pp. 198–202, 2000.

[54] F. T. *et al.*, “Full robotic assistance for laparoscopic tubal anastomosis: A case report,” *J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech. - Part A*, vol. 9, no. 1, pp. 107–113, 1999.

[55] T. Leal Ghezzi and O. Campos Corleta, “30 Years of Robotic Surgery,” *World J. Surg.*, vol. 40, no. 10, pp. 2550–2557, 2016.

- [56] “US Food and Drug Administration (2000) 510 (k) clearances.” [Online]. Available: <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfpmn/pmn.cfm?ID>. [Accessed: 30-Oct2015].
- [57] L. Panait, S. Shetty, P. A. Shewokis, and J. A. Sanchez, “Do laparoscopic skills transfer to robotic surgery?,” *J. Surg. Res.*, vol. 187, no. 1, pp. 53–58, 2014.
- [58] Y. Chaussy, F. Becmeur, H. Lardy, and D. Aubert, “Robot-assisted surgery: current status evaluation in abdominal and urological pediatric surgery,” *J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech. A*, vol. 23, no. 6, pp. 530–8, 2013.
- [59] V. B. Kim *et al.*, “Early experience with telemanipulative robot-assisted laparoscopic cholecystectomy using da Vinci,” *Surg. Laparosc. Endosc. Percutan. Tech.*, vol. 12, no. 1, pp. 33–40, 2002.
- [60] S. O. Hassan *et al.*, “Conventional laparoscopic vs robotic training: Which is better for Naive users? A randomized prospective crossover study,” *J. Surg. Educ.*, vol. 72, no. 4, pp. 592–599, 2015.
- [61] J. L. Ferguson, T. M. Beste, K. H. Nelson, and J. a Daucher, “Making the transition from standard gynecologic laparoscopy to robotic laparoscopy,” *JSLs*, vol. 8, no. 4, pp. 326–8, 2004.
- [62] D. M. Herron, M. Marohn, and T. S.-M. R. S. C. Group, “A consensus document on robotic surgery,” *Surg. Endosc.*, vol. 22, no. 2, pp. 313–325, 2008.
- [63] M. Kroh and S. Chalikonda, “Essentials of robotic surgery,” *Essentials Robot. Surg.*, pp. 1–218, 2015.
- [64] A. Sood *et al.*, “Robotic surgical skill acquisition: What one needs to know?,” *J Minim Access Surg*, vol. 11, no. 1, pp. 10–15, 2015.
- [65] K. C. Zorn *et al.*, “Training, Credentialing, Proctoring and Medicolegal Risks of Robotic Urological Surgery: Recommendations of the Society of Urologic Robotic Surgeons,” *J. Urol.*, vol. 182, no. 3, pp. 1126–1132, 2009.
- [66] J. Y. Lee, P. Mucksavage, C. P. Sundaram, and E. M. McDougall, “Best Practices for Robotic Surgery Training and Credentialing,” *J. Urol.*, vol. 185, no. 4, pp. 1191–1197, 2011.
- [67] B. K. Sachdeva AK, Buyske J, Dunnington GL, Sanfey HA, Mellinger JD, Scott DJ, Satava R, Fried GM, Jacobs LM, “A new paradigm for surgical procedural training,” *Curr Probl Surg.*, vol. 48, no. 12, pp. 854–968, 2011.
- [68] A. Mehta *et al.*, “Can teenage novel users perform as well as General Surgery residents upon initial exposure to a robotic surgical system simulator?,” *J. Robot. Surg.*, 2017.

- [69] Y. LOTAN, J. A. CADEDDU, and M. T. GETTMAN, "THE NEW ECONOMICS OF RADICAL PROSTATECTOMY: COST COMPARISON OF OPEN, LAPAROSCOPIC AND ROBOT ASSISTED TECHNIQUES," *J. Urol.*, vol. 172, no. 4, pp. 1431–1435, 2004.
- [70] V. R. Patel, "Essential elements to the establishment and design of a successful robotic surgery programme," *Int. J. Med. Robot. Comput. Assist. Surg.*, vol. 2, no. 1, pp. 28–35, 2006.
- [71] G. Turchetti, I. Palla, F. Pierotti, and A. Cuschieri, "Economic evaluation of da Vinci-assisted robotic surgery: A systematic review," *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, vol. 26, no. 3, pp. 598–606, 2012.
- [72] B. J. Park and R. M. Flores, "Cost Comparison of Robotic, Video-assisted Thoracic Surgery and Thoracotomy Approaches to Pulmonary Lobectomy," *Thoracic Surgery Clinics*, vol. 18, no. 3, pp. 297–300, 2008.
- [73] C. Bolenz *et al.*, "Cost Comparison of Robotic, Laparoscopic, and Open Radical Prostatectomy for Prostate Cancer," *Eur. Urol.*, vol. 57, no. 3, pp. 453–458, 2010.
- [74] I. El Nakadi *et al.*, "Evaluation of da Vinci Nissen fundoplication clinical results and cost minimization," *World J. Surg.*, vol. 30, no. 6, pp. 1050–1054, 2006.
- [75] S. Breitenstein, A. Nocito, M. Puhan, U. Held, M. Weber, and P.-A. Clavien, "Robotic-assisted versus laparoscopic cholecystectomy: outcome and cost analyses of a case-matched control study," *Ann. Surg.*, vol. 247, no. 6, pp. 987–993, 2008.
- [76] A. L. Desouza *et al.*, "Total mesorectal excision for rectal cancer: the potential advantage of robotic assistance," *Dis. Colon Rectum*, vol. 53, no. 12, pp. 1611–1617, 2010.
- [77] N. Zhou *et al.*, "Outcomes of pancreatoduodenectomy with robotic surgery versus open surgery," *Int. J. Med. Robot.*, vol. 7, no. 2, pp. 131–7, 2011.
- [78] A. D'Annibale *et al.*, "Full robotic gastrectomy with extended (D2) lymphadenectomy for gastric cancer: Surgical technique and preliminary results," *J. Surg. Res.*, vol. 166, no. 2, 2011.
- [79] A. Horiguchi, I. Uyama, and S. Miyakawa, "Robot-assisted laparoscopic pancreaticoduodenectomy," *J. Hepatobiliary. Pancreat. Sci.*, vol. 18, no. 2, pp. 287–291, 2011.
- [80] H. Hur, J. Y. Kim, Y. K. Cho, and S.-U. Han, "Technical feasibility of Robot-Sewn anastomosis in robotic surgery for gastric cancer," *J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech.*, vol. 20, no. 8, pp. 693–697, 2010.

- [81] P. Štádler, L. Dvoracek, P. Vitasek, and P. Matous, "Robotic vascular surgery, 150 cases," *Int. J. Med. Robot. Comput. Assist. Surg.*, vol. 6, no. 4, pp. 394–398, 2010.
- [82] F. Huettner, D. Dynda, M. Ryan, J. Doubet, and D. L. Crawford, "Robotic-assisted minimally invasive surgery; A useful tool in resident training - The Peoria experience, 2002-2009," *Int. J. Med. Robot. Comput. Assist. Surg.*, vol. 6, no. 4, pp. 386–393, 2010.
- [83] J. B. Mahida *et al.*, "Utilization and costs associated with robotic surgery in children," *J. Surg. Res.*, vol. 199, no. 1, pp. 169–176, 2015.
- [84] J. E. Anderson, D. C. Chang, J. K. Parsons, and M. A. Talamini, "The first national examination of outcomes and trends in robotic surgery in the United States," *J. Am. Coll. Surg.*, vol. 215, no. 1, pp. 107–114, 2012.
- [85] J. D. Sammon *et al.*, "Robot-assisted versus open radical prostatectomy: The differential effect of regionalization, procedure volume and operative approach," *J. Urol.*, vol. 189, no. 4, pp. 1289–1294, 2013.
- [86] T. P. Cundy, L. Harling, H. J. Marcus, T. Athanasiou, and A. W. Darzi, "Meta analysis of robot-assisted versus conventional laparoscopic fundoplication in children," *Journal of Pediatric Surgery*, vol. 49, no. 4, pp. 646–652, 2014.
- [87] M. Anderberg, C. C. Kockum, and E. Arnbjornsson, "Paediatric Robotic Surgery in Clinical Practice: A Cost Analysis," *Eur. J. Pediatr. Surg.*, vol. 19, no. 5, pp. 311–315, 2009.
- [88] J. R. Lee, "Anesthetic considerations for robotic surgery," *Korean Journal of Anesthesiology*, vol. 66, no. 1, pp. 3–11, 2014.
- [89] S. Baltayan, "A brief review: Anesthesia for robotic prostatectomy," *Journal of Robotic Surgery*, vol. 2, no. 2, pp. 59–66, 2008.
- [90] E. R. Mariano, L. Furukawa, R. K. Woo, C. T. Albanese, and J. G. Brock-Utne, "Anesthetic concerns for robot-assisted laparoscopy in an infant," *Anesth. Analg.*, vol. 99, no. 6, pp. 1665–1667, 2004.
- [91] J. T. Mills, M. B. Burris, D. J. Warburton, M. R. Conaway, N. S. Schenkman, and T. L. Krupski, "Positioning injuries associated with robotic assisted urological surgery," *J. Urol.*, vol. 190, no. 2, pp. 580–584, 2013.
- [92] V. Darlong, N. Kunhabdulla, R. Pandey, C. Punj, R. Garg, and R. Kumar, "Hemodynamic changes during robotic radical prostatectomy," *Saudi J. Anaesth.*, vol. 6, no. 3, p. 213, 2012.

[93] D. Schrijvers *et al.*, "Pulmonary gas exchange is well preserved during robot assisted surgery in steep Trendelenburg position," *Acta Anaesthesiol. Belg.*, vol. 60, no. 4, pp.

229–233, 2009.

[94] K. Gupta, Y. Mehta, A. Sarin Jolly, and S. Khana, "Anaesthesia for robotic gynaecological surgery," *Anaesth. Intensive Care*, vol. 40, no. 4, pp. 614–621, 2012.

[95] M. Lestar, L. Gunnarsson, L. Lagerstrand, P. Wiklund, and S. Odeberg-Wernerman,

"Hemodynamic perturbations during robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy in 45° trendelenburg position," *Anesth. Analg.*, vol. 113, no. 5, pp. 1069–1075, 2011.

[96] D. M. Gainsburg, D. Wax, D. L. Reich, J. R. Carlucci, and D. B. Samadi,

"Intraoperative management of robotic-assisted versus open radical prostatectomy.," *JSLs*, vol. 14, no. 1, pp. 1–5, 2010.

[97] L. G. Josephs, J. R. Este-McDonald, D. H. Birkett, and E. F. Hirsch, "Diagnostic laparoscopy increases intracranial pressure.," *J. Trauma*, vol. 36, no. 6, pp. 815-8-9, 1994.

[98] H. Awad *et al.*, "The effects of steep trendelenburg positioning on intraocular pressure during robotic radical prostatectomy," *Anesth. Analg.*, vol. 109, no. 2, pp. 473–478, 2009.

[99] J. J. Chi, J. E. Mandel, G. S. Weinstein, and B. W. O'Malley, "Anesthetic Considerations for Transoral Robotic Surgery," *Anesthesiology Clinics*, vol. 28, no. 3. pp. 411–422, 2010.

[100] G. Wang *et al.*, "Anesthesia management of totally endoscopic atrial septal defect repair with a robotic surgical system," *J. Clin. Anesth.*, vol. 23, no. 8, pp. 621–625, 2011.

[101] B. Steenwyk and R. Lyerly, "Advancements in Robotic-Assisted Thoracic Surgery," *Anesthesiology Clinics*, vol. 30, no. 4. pp. 699–708, 2012.

[102] J. Zender and C. Thell, "Developing a Successful Robotic Surgery Program in a Rural Hospital," *AORN J.*, vol. 92, no. 1, pp. 72–86, 2010.

[103] G. De Lambert *et al.*, "How to successfully implement a robotic pediatric surgery program: Lessons learned after 96 procedures," *Surg. Endosc. Other Interv. Tech.*, vol.

[104] 27, no. 6, pp. 2137–2144, 2013.

[105] R. S. Lee, A. B. Retik, J. G. Borer, and C. A. Peters, "Pediatric robot assisted laparoscopic dismembered pyeloplasty: Comparison with a cohort of open surgery," *J. Urol.*, vol. 175, no. 2, pp. 683–687, 2006.

- [106] E. G. G. Verdaasdonk, L. P. S. Stassen, M. Van Der Elst, T. M. Karsten, and J. Dankelman, "Problems with technical equipment during laparoscopic surgery: An observational study," *Surg. Endosc. Other Interv. Tech.*, vol. 21, no. 2, pp. 275–279, 2007.
- [107] Dankelman J., Cornelis A., Grimbergen. *Engineering for Patient Safety: Issues in Minimally Invasive Procedures*. s.l. : Lawrence Erlbaum, 2005.
- [108] Sensing and manipulation problems in endoscopic surgery. Tendick F., Jennings R. W., Tharp G., Stark L. 1993, Vol. Presence 2.
- [109] Berguer R, Forkey DL, Smith WD. ergonomic problems associated with laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 1999; 13:466.
- [110] Tiago Leal Ghezzi, Oly Campos Corleta. *30 Years of Robotic Surgery*
- [111] Zarate Rodriguez JG, Zihni AM, Ohu I, et al. Ergonomic analysis of laparoscopic and robotic surgical task performance at various experience levels. *Surg Endosc* 2019,33(6); 1938-43
- [112] Chang C, Steinberg Z, Shah A, et al. Patient positioning and port placement for robot-assisted surgery. *J Endourol* 2014;28(6):631–8.
- [113] Turchetti G, Palla I, Pierotti F, et al. Economic evaluation of da Vinci-assisted robotic surgery: a systematic review. *Surg Endosc* 2012;26(3):598–606.
- [114] Toledo L, Gossot D, Fritsch S, et al. Study of sustained forces and the working space of endoscopic surgery instruments. *Ann Chir* 1999;53(7):587–97.
- [115] Meininger DD, Byhahn C, Heller K, et al. Totally endoscopic Nissen fundoplication with a robotic system in a child. *Surg Endosc* 2001.
- [116] Bergholz R, Botden S, Verweij J, et al. Evaluation of a new robotic-assisted laparoscopic surgical system for procedures in small cavities. *J Robot Surg* 2019.
- [117] Cundy TP, Shetty K, Clark J, et al. The first decade of robotic surgery in children. *J Pediatr Surg* 2013;48(4):858–65.
- [118] Intuitive Surgical., *da Vinci® Surgical System User's Manual*. Sunnyvale, CA: 2007.
- [119] M. Cavalli, "www.aosp.bo.it." [Online]. Available: <http://www.aosp.bo.it/content/unrobot-sala-operatoria-ridurre-complicanze-e-tempi-di-recupero>.
- [120] "www.bologna.repubblica.it." [Online]. Available: http://bologna.repubblica.it/cronaca/2015/03/19/news/al_sant_orsola_ti_opera_il_robot_109959094/.

[121] S.-D. Moutte, C. Brudvik, and T. Morken, "Physicians' use of pain scale and treatment procedures among children and youth in emergency primary care - a cross sectional study," *BMC Emerg. Med.*, vol. 15, no. 1, p. 33, 2015.

[122] H. Breivik *et al.*, "Assessment of pain," *British Journal of Anaesthesia*, vol. 101, no. 1, pp. 17–24, 2008.

[123] S. Poletajew *et al.*, "Interobserver variability of Clavien-Dindo scoring in urology," *Int. J. Urol.*, vol. 21, no. 12, pp. 1274–1278, 2014.

[124] D. C. Winter, "The cost of laparoscopic surgery is the price of progress," *Br. J. Surg.*, vol. 96, no. 4, pp. 327–328, 2009.

[125] Q. Ballouhey *et al.*, "A comparison of robotic surgery in children weighing above and below 15.0 kg: size does not affect surgery success," *Surg. Endosc.*, vol. 29, no. 9, pp.

2643–2650, 2015.

[126] T. P. Cundy *et al.*, "The first decade of robotic surgery in children," *J. Pediatr. Surg.*, vol. 48, no. 4, pp. 858–865, 2013.

[127] D. Bansal, W. R. Defoor, P. P. Reddy, E. A. Minevich, and P. H. Noh, "Complications of robotic surgery in pediatric urology: A single institution experience," *Urology*, vol. 82, no. 4, pp. 917–920, 2013.

[128] Q. Ballouhey *et al.*, "Assessment of paediatric thoracic robotic surgery," *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.*, vol. 20, no. 3, pp. 300–303, 2015.

[129] M. Anderberg, C. C. Kockum, and E. Arnbjörnsson, "Robotic fundoplication in children," *Pediatr. Surg. Int.*, vol. 23, no. 2, pp. 123–127, 2007.

[130] D. S. Yee, A. M. Shanberg, B. P. Duel, E. Rodriguez, L. Eichel, and D. Rajpoot,

"Initial comparison of robotic-assisted laparoscopic versus open pyeloplasty in children," *Urology*, vol. 67, no. 3, pp. 599–602, 2006.