

INDICE

1. INTRODUZIONE

- 1.1 Origini storiche del “robot” e curiosità pag. 2
- 1.2 Chirurgia miniinvasiva: dalla laparoscopia alla chirurgia robotica pag. 6
- 1.3 Cenni dell’evoluzione della chirurgia robotica pag. 11

2. IL SISTEMA ROBOTICO DA VINCI

- 2.1 Descrizione del sistema pag. 15
- 2.2 Vantaggi pag. 18
- 2.3 Limiti pag. 19

3. LA CHIRURGIA ROBOTICA IN ETA’ PEDIATRICA

- 3.1 Premessa pag. 20
- 3.2 Applicazioni attuali pag. 22
- 3.3 Considerazioni speciali pag. 25

3.4 LA GASTROPLASTICA ANTIREFLUSSO (FUNDOPLICATIO):

- 3.4.1 Il reflusso gastroesofageo (GER) pag. 27
- 3.4.2 Indicazioni pag. 35
- 3.4.3 Tipologie pag. 36
- 3.4.4 La “Fundoplicatio” secondo Nissen pag. 36
 - 3.4.4.1 La “Fundoplicatio” laparoscopica pag. 41
 - 3.4.4.2 La “Fundoplicatio” con tecnica robotica pag. 43

4. INTRODUZIONE e OBIETTIVO DELLO STUDIO SPERIMENTALE pag. 45

5. MATERIALI E METODI pag. 46

6. RISULTATI pag. 47

7. DISCUSSIONE pag. 48

“Esse autem chirurgus debet ... manu strenua, stabili, nec umquam intremescente ...; acie
oculorum acri claraque ...”

(Aulo Celso, *De medicina*)

1. INTRODUZIONE

1.1 Origine storiche del “robot” e curiosità

L’idea di costruire una macchina, in grado di sostituire alcune delle attività dell’uomo, è antica: le origini possono essere ricercate nella mitologia egizia e greca.

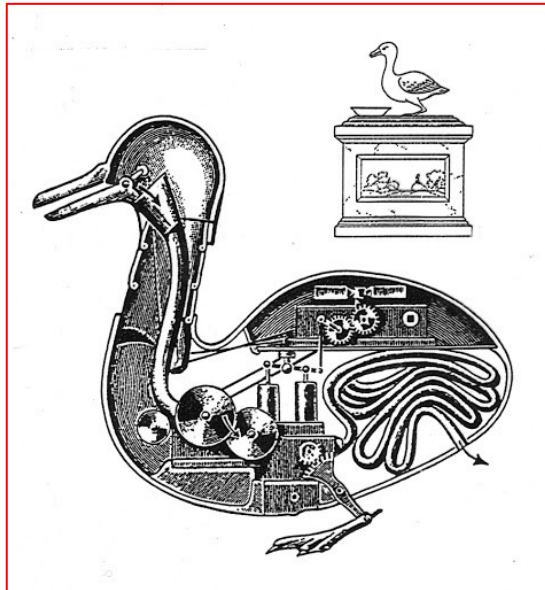
Il primo “automata” (creatura simile al robot) descritto nella letteratura “antica” (1300 a.C.) può essere considerata la statua di Memnon, re d’Etiopia ucciso, secondo Omero, da Achille “il Pelide”, ed eretta “maestosa” sulle rive del Nilo, che veniva azionata dal sorgere del sole ed era in grado di emettere suoni.

Nella mitologia greca, Efesto, il Dio del fuoco, dei vulcani, di tutti gli artigiani che lavoravano i metalli, e della scultura, era un Dio molto creativo; era noto per aver creato automi e robot, menzionati anch’essi nell’Iliade di Omero, per farli lavorare come schiavi nelle sue officine, e per Talos, un gigante invulnerabile, “killer robot”, interamente fatto di rame donato come regalo di nozze a Europa e Giove, suo marito, e messo al servizio del re di Creta, Minosse, con il compito di proteggere l’isola dai nemici lanciando sassi infuocati.

Tra i miti, c’è anche quello di Pigmalione, scultore greco, e di Galatea, per la sua statua di avorio alla quale lavorò per molti anni: quest’ultima raffigurava una donna talmente perfetta che se ne innamorò e Afrodite, le donò la vita con un bacio.

Gli antichi Greci nutrono un forte interesse per la tecnologia, a partire da Talete di Mileto (624 – 546 a.C.) filosofo, ingegnere, astronomo fino ad arrivare ad Aristotele, che era interessato soprattutto alla biologia e alla zoologia ma nel libro della “Meccanica” riflette su ciò che accade all’arte con l’aiuto della scienza, a servizio dell’uomo. Nel libro della “Politica”, invece, asserisce come la schiavitù sia necessaria per sostenere economicamente le città e legittima la guerra come strumento per trovare schiavi ma aggiunge che se ogni strumento fosse in grado di lavorare da solo, e se la navetta di un telaio potesse tessere sola, non ci sarebbe bisogno né di schiavi e né di padroni.

Archita di Taranto (428 – 347 a.C) matematico e filosofo della scuola pitagorica, creò un volatile meccanico chiamato “il Piccione” alimentato a vapore.

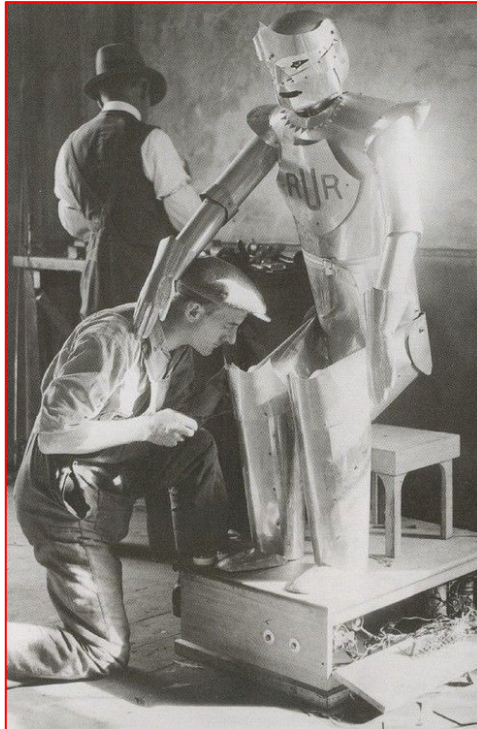


Alcuni anni dopo Ctesibio (285-222 a.C), ingegnere greco, costruì un organo a canne e il primo orologio idraulico con figure in movimento.

Nella tradizione ebraica, si parla invece del “Golem”, un essere antropomorfo, creato da materia inanimata; e lo stesso Adamo, creato a immagine e somiglianza di Dio, indica l’atavica idea dell’uomo di creare umanoidi.

Prima del Rinascimento, vero e proprio, San Alberto Magno (1206 – 1380), creò una statua in bronzo, in grado di parlare da sola, mentre Leonardo Da Vinci, creò un robot – umanoide, utilizzato nelle battaglie in grado di alzarsi, muovere le braccia e il collo. (1)

Il termine “robot” proviene dalla parola ceca “robota” che vuol dire schiavo, persona sottoposta ai lavori forzati, termine “utilizzato” per la prima volta dallo scrittore Karel Čapek, nella sua opera teatrale R.U.R. (sigla di *Rossumovi univerzální roboti*, traducibile come “I robot universali di Rossum” 1920). All'origine dell'intreccio storiografico, c'è la scoperta dello scienziato-filosofo Rossum (rozum significa “ragione”), che trova la formula di quella sostanza chimica che serve per dare vita alla materia. Il nipote di Rossum, ingegnere, decide quindi di “utilizzare” la scoperta per dare avvio alla produzione industriale di automi. Crea così la fabbrica dei “Rossum's Universal Robots”, esseri artificiali destinati a eliminare il lavoro dalla vita degli uomini.



Quando i Robot, per un errore di progettazione diventano troppo simili agli uomini, riescono a ribellarsi, uccidono i detentori del potere e della formula che sta alla base della loro creazione.

Cinquanta anni dopo circa, il primo robot industriale diventa realtà e nel 1972, il Robot Institute of America definisce il robot come *“un manipolatore multifunzionale e riprogrammabile, progettato per muovere materiali, parti, attrezzi o dispositivi specialistici attraverso movimenti programmati variabili, per l'esecuzione di una varietà di compiti.”* (2)

Il robot industriale è quindi poi diventato, con il passare del tempo e il progresso tecnologico che lo ha visto protagonista di non poche innovazioni ed evoluzioni, il mezzo tecnologico di produzione per eccellenza nei più svariati segmenti di mercato; il suo impiego è infatti ormai imprescindibile e di importanza fondamentale.

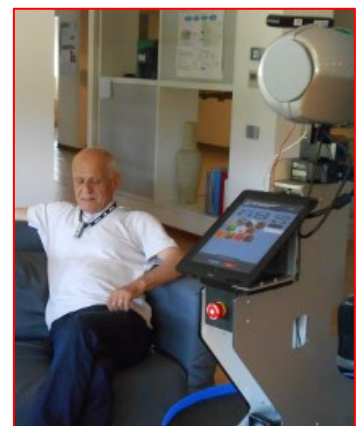
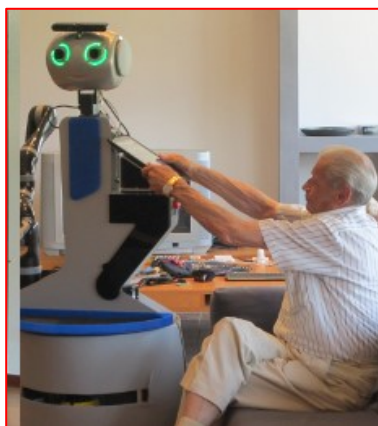
È possibile suddividere le aree di ricerca ed applicazione della robotica in **diverse categorie**:

I **robot industriali**, i primi in ordine di applicazione, hanno oggi un vastissimo impiego in tutti i settori della produzione. Essi infatti consentono di ridurre costi e tempi di produzione e di poter modulare i costi in base ai volumi di produzione necessari. Nel campo della robotica industriale esistono manipolatori per decine di applicazioni differenti, solo per citarne alcune: verniciatura, assemblaggio, pulizia, ispezione, saldatura, montaggio, movimentazione, taglio, controllo qualità, e rilevamento; ed

il numero di applicazioni sembra destinato ad aumentare con il tempo e l'autonomia raggiunta da questi dispositivi.



I **robot sociali**, individuano una nuova applicazione della robotica destinata ad essere nel futuro uno strumento di interazione sociale. Eliminata la barriera della sicurezza, tramite una serie accurata di norme e di certificazioni, i robot possono entrare a far parte della vita sociale. Ad oggi lo sviluppo dei robot sociali è ancora limitato, si va da alcuni esempi commerciali a risultati perlopiù sperimentali. Robot per il gioco (il Sony Aibò, Mitsubishi Wakamaru, i Lego Mindstorm), per il cinema (l'animatronica) e l'assistenza agli anziani (domotica), sono ormai diffusi. Di più recente ricerca invece sono i robot per l'interazione artistica, lo sport e la musica.



In **ambito medico**, l'impiego della robotica sta rivoluzionando sia la pratica chirurgica (Computer Aided Surgery) che quella di clinica (fisioterapia, assistenza tecnologica). Nel corso degli ultimi anni diversi sistemi robotici sono stati progettati e commercializzati per completare gli apparati di chirurgia mini-invasiva, con strumentazione robotica in grado di rendere naturale ed intuitivo il processo di

intervento. Il sistema Da Vinci (Intuitive Surgical), ad esempio, consente a un chirurgo seduto in una postazione prossima al paziente di operare come se le sue mani fossero realmente delle pinze all'interno del corpo del paziente. Un complesso sistema robotico provvede a raccogliere i movimenti delle dita del chirurgo e a trasmettere ad un sistema robotico di chirurgia mini-invasiva che opera sul corpo del paziente. Un sistema di camere stereoscopiche consente inoltre al chirurgo di vedere direttamente all'interno del corpo del paziente. Il sistema produce notevoli effetti positivi: riduce tempi di recupero, riduce complicazioni dovute a infezioni post-operatorie, limita lo stress fisico; tuttavia richiede una squadra medica altamente specializzata. (3)

Le origini della chirurgia robotica si fondano sulla "forza" e sulle "debolezze" dei suoi predecessori: la laparoscopia.

1.2 Chirurgia miniinvasiva: dalla laparoscopia alla chirurgia robotica

Il termine laparoscopia deriva dal greco *λαπάρα* cioè "addome" e *σκοπέω* "osservo", indicando quindi l'azione di esplorare la cavità addominale, attraverso una piccola apertura della parete.

I primi tentativi di esplorazione delle cavità naturali del corpo, risalgono agli antichi medici greci, e in "rappresentanza" di tutti, a Ippocrate, il quale riferì di aver utilizzato uno "speculum" per visualizzare e recidere un condiloma rettale. (4)

Tuttavia le origini della laparoscopia vengono fatte risalire all'inizio del secolo scorso, in particolare ad un chirurgo tedesco di Dresda, Georg Kelling, (1866-1945): interessato all'anatomia e fisiologia del tratto gastrointestinale; all'inizio del XX secolo focalizzò la sua attenzione sul problema delle emorragie digestive, al tempo fatali e non sempre clinicamente evidenti. L'unico metodo per stabilire una diagnosi certa e provvedere al trattamento era praticare una laparotomia esplorativa, la quale, osservò Kelling, portava spesso ad un peggioramento delle condizioni del paziente. Per questo motivo, propose una soluzione non chirurgica al problema del sanguinamento: insufflazione di aria ad alta pressione all'interno della cavità addominale; una tecnica da lui chiamata "Luffttamponade" (tamponamento-aereo). Fu poi nel 1901 che eseguì la prima laparoscopia da lui denominata "celioscopia" come metodo per studiare la reazione degli organi interni allo pneumoperitoneo creato dal suo "celioscopio" nell'addome di un cane. (5)

Fu però Hans Christian Jacobaeus (1879-1937), un medico svedese, ignaro delle ricerche di Kelling ad eseguire una più estesa ricerca mediante la laparoscopia e a rendere famosa la metodica. Professore di clinica medica (dal 1916) all'istituto Karolinska di Stoccolma, si occupò per molto tempo, del morbo di Paget e legò il suo nome agli studi sul trattamento terapeutico della tubercolosi polmonare cavitaria mediante pneumotorace. Da ciò, scaturì l'interesse per le procedure toracoscopiche e laparoscopiche; il suo equipaggiamento tecnico era simile a quello utilizzato da Kelling e consisteva di un cistoscopio che utilizzava sia per la cavità toracica che addominale e di uno speciale "trocar"; i "trocars" erano e sono comunque ancora, dispositivi costituiti da una "cannula" alla cui estremità esterna sono presenti una valvola di ingresso per il gas e una valvola di ritenzione che ne eviti la fuoriuscita. Questa "cannula" viene "abitata" da un mandrino appuntito o con punta smussa, che permette allo strumento di penetrare attraverso la parete addominale o toracica. Pubblicò i primi risultati nel 1910 sulla rivista "Münchener Medizinischen Wochenschrift": in 17 pazienti con ascite, previa anestesia locale sulla parete addominale, inserì un "trocar" e, dopo avere parzialmente drenato il liquido e insufflato aria filtrata, esaminò la cavità inserendo un cistoscopio in un trocar; nel 1912 precisò poi come le operazioni nei pazienti con ascite, fossero più semplice e prive di complicanze, mentre in quelli senza ascite il rischio di lesione intestinale fosse molto più elevato. (6)

Nei successivi 50 anni, vennero messi a punto degli strumenti specifici per consentire un'accurata esplorazione della cavità peritoneale: Richard Zollhofer, un ginecologo svizzero, (1924) al posto dell'ossigeno o dell'aria filtrata, utilizzò la CO₂ per ottenere lo pneumoperitoneo, in virtù del suo rapido assorbimento e del minimo rischio di "esplosione". (7)

Heinz Kalk, gastroenterologo tedesco e fondatore della scuola tedesca di laparoscopia, ideò un sistema di lenti (1929) che consentiva di avere una migliore visione obliqua a 135°: fino a quel momento infatti alcuni dei migliori endoscopi in circolazione, permettevano un angolo di visione tra gli 80° e gli 85°; negli anni '50 invece introdusse routinariamente l'utilizzo della metodica del doppio trocar, di cui è considerato il fondatore. Attualmente ne vengono utilizzati diversi: il primo "trocar" viene utilizzato per creare un "port", cioè un accesso, nel quale viene introdotto un laparoscopio, mentre un numero variabile tra uno e tre "trocars" aggiuntivi viene utilizzato per creare degli accessi per strumenti chirurgici (forbici e pinze) o per drenare liquidi.

John Ruddock, medico americano di Los Angeles, nel 1934 presentò il suo primo “peritoneoscopio” il quale consisteva in un evacuatore di fluidi equipaggiato con una valvola che bloccava l’aria, un ago per lo pneumoperitoneo, un bisturi con fodero e otturatore che agiva da “trocar”, un "Telescopio" (14-pollici, ottica preobliqua) e delle forbici da biopsia. Ruddock prese in prestito l’idea di combinare le forbici da biopsia con un peritoneoscopio dagli urologi. Così ottenne con successo campioni da differenti organi (il fegato, la milza, lo stomaco, l’omento e il peritoneo). (8)

Nel 1937 il medico ungherese Janos Veress, sviluppò un ago atraumatico per l'introduzione del gas in addome, derivato da un modello primitivamente impiegato per lo pneumotorace; nello stesso periodo il ginecologo parigino Raoul Palmer, raccomandò di monitorare la pressione intraddominale.

Agli inizi degli anni '60, fu introdotto l'uso della sorgente luminosa fredda che avrebbe ridotto e di molto, il rischio di ustioni intestinali da contatto con superfici luminose convenzionali incandescenti; seguì poi l'avvento delle fibre ottiche e dei sistemi ottici di visione.

Grazie al ginecologo tedesco Kurt Semm (1927–2003), si varcò il confine tra laparoscopia diagnostica e chirurgica: negli anni 70 guidò un team di ricerca all'università di Kiel e iniziò a trattare alcune patologie con un approccio laparoscopico. Sviluppò a questo proposito, un dispositivo di insufflazione automatico, uno strumento per l'irrigazione e l'aspirazione, uno per la termocoagulazione e forbici laparoscopiche; descrisse quindi tecniche per l'esecuzione dell'ovariectomia e della miomectomia. Uno dei suoi maggiori contributi fu l'esecuzione della prima appendicectomia laparoscopica nel 1983. (9)

Ispirato dal successo di Semm, il chirurgo tedesco Erich Mühe si convinse della possibilità di eseguire anche una colecistectomia per via laparoscopica: in particolare collaborando con Hans Frost, impiegato della compagnia tedesca WISAP, produttrice di strumenti medici, mise a punto il c.d. “Galloscopio” uno strumento unico completo di ottica, canali operativi, luce e valvole in grado di mantenere lo pneumoperitoneo. Con questo, il 12 settembre 1985, nell’arco di due ore, eseguì per la prima volta una colecistectomia laparoscopica, attribuita erroneamente al medico francese Philippe Mouret che la eseguì solo due anni dopo (1987) all’ospedale di Lione. (10) L’esperienza francese proseguì al termine degli anni '80 con il chirurgo François Dubois di Parigi, il quale, ignaro dell'intervento di Mouret, eseguì, con grande orgoglio, una colecistectomia attraverso una mini –

laparotomia. Condivise la sua esperienza con l'infermiera di sala, Claire Jeauptre, la quale non fu sorpresa della dimensione dell'incisione, che aveva già visto eseguire da Mouret a Lione.

La colecistectomia laparoscopica (LC) venne portata avanti da un terzo fronte in Francia, a Bordeaux: il professore Jacques Perissat utilizzò la litotrissia intracorporea, introducendo lo strumento direttamente nella colecisti e rimase affascinato dall'idea di eseguirla in alternativa o insieme alla LC.

Il successo dei francesi si diffuse rapidamente e nel 1989 Perissat presentò il video della propria operazione alla Società Americana di Chirurgia Endoscopica Gastrointestinale (SAGES) a Louisville, in Kentucky, attirando grande attenzione.

Fu così che la "Scuola di Bordeaux" da lui fondata cominciò ad organizzare corsi d'aggiornamento e a contribuire a diffondere la colecistectomia laparoscopica in tutto il mondo, rendendola il "Gold Standard" per il trattamento delle diverse patologie dell'organo. (11)

Da questo momento in poi la lista delle procedure chirurgiche eseguite per via laparoscopica è cresciuta notevolmente, di pari passo con le innovazioni tecnologiche e l'abilità tecnica dei chirurghi.

In brevissimo tempo numerosi studi hanno evidenziato come questo tipo di tecnica, consenta al paziente un decorso post operatorio più rapido, con meno dolore e più precoce rialimentazione, un notevole vantaggio estetico, fornito dalle minime cicatrici che ne derivano, e tempi di convalescenza e ripresa lavorativa accorciati con evidenti vantaggi socioeconomici.(12, 13)

Pioneristica fu l'inizio dell'utilizzo della chirurgia laparoscopica (MIS) agli inizi degli anni 70 in Chirurgia Pediatrica; e per più di due decenni il "potenziale" dell'approccio miniinvasivo non fu sfruttato dal punto di vista chirurgico ma solamente diagnostico. Tra gli ostacoli più importanti c'erano le dimensioni degli strumenti che richiedevano incisioni molto ampie e tali da preferire l'esecuzione dell'intervento con tecnica open. (14)

Tra la fine degli anni 90' e gli inizi del 2000 emersero numerosi "innovatori": Steven Rothenberg, chirurgo pediatrico, da oltre 30 anni attivo a Denver in Colorado e considerato uno dei pionieri della MIS, Keith Georgeson, chirurgo generale e poi pediatrico a Spokane (Washington), George W. Holcomb per oltre 35 anni chirurgo pediatrico a Nashville, scomparso il 28 giugno 2019. Essi applicarono la chirurgia laparoscopica in bambini e poi addirittura in neonati, ottenendo buoni risultati nel trattamento dell'atresia e acalasia esofagea, nell'esecuzione della gastropastica antireflusso

(funduplicatio), della piloromiotomia extramucosa per stenosi ipertrofica del piloro, della procedura di Ladd nelle occlusioni intestinali da malrotazione (15)

Lo sviluppo “qualitativo” ma soprattutto “quantitativo” dei classici elementi della MIS (telescopio, trocars, suturatrici, strumenti per insufflare CO₂), resero le procedure più sicure ed applicabili anche nella popolazione pediatrica; non solo, quando le stesse tecniche furono applicate a lattanti e di peso anche inferiore ai 5 Kg, nacque la chirurgia mininvasiva Neonatale. (16)

Oggi l'approccio laparoscopico o torascopico è descritto e applicato ad innumerevoli patologie pediatriche, con vantaggi simili a quelli riscontrati nell'adulto: migliore visualizzazione ed “amplificazione” delle diverse strutture anatomiche, riduzione del dolore post operatorio, del rischio di infezioni, della deiscenza della ferita, minor propensione a creare aderenze (intraperitoneali) post operatorie e diminuzione della durata della degenza ospedaliera. (17, 18, 19)

Tuttavia sia nell'adulto sia nel bambino, esistono dei limiti alla tecnica laparoscopica, che la “comunità scientifica” ha tentato negli anni di superare o di rendere comunque meno evidenti: (20)

- Mancanza di “feedback” tattile
- Visione 2 D con perdita della visione stereoscopica
- Perdita della “coordinazione occhio/mano”: il chirurgo deve coordinare due assi quello degli occhi con il monitor e quello delle mani e degli strumenti con il paziente: muovere gli strumenti laparoscopici guardando un monitor bidimensionale posto su un diverso asse risulta poco intuitivo.
- Presenza di fulcri fissi (cosiddetto “effetto fulcro”) su cui si muovono gli strumenti con conseguente:
 - Restrizione dei gradi di libertà: la principale caratteristica dei sistemi meccanici è quella di essere costituiti da più corpi (membri), collegati fra loro in modo opportuno. In conseguenza di tali legami (vincoli) risultano limitate le possibilità di movimento di ciascun membro relativamente agli altri, ossia il numero dei gradi di libertà del singolo membro e di tutta la catena cinematica. In virtù dell'effetto fulcro creato dal trocar inserito nella cavità addominale, i movimenti della punta dello strumento sono limitati a 4 gradi di libertà (DOF, *degree of freedom*): cioè 3 gradi di libertà di rotazione nel punto di inserzione e un grado di libertà di traslazione attraverso il punto di inserzione. In altri

termini lo strumento ha la possibilità di ruotare lungo tre assi perpendicolari (definiti imbardata, beccheggio e rollio) e un'unica possibilità di traslare.

- Discrepanza dell'ampiezza di movimento esterno (leva esterna) ed interno (leva interna dei trocar
- Difficoltà di raggiungere la destrezza tecnica, specie in interventi complessi anche per il potenziamento del tremore fisiologico
- Congiunture ergonomiche a volte sfavorevoli.

1.3 Cenni di evoluzione della chirurgia robotica

Diversi autori non sono concordi nell'identificare la prima procedura chirurgica robot-assistita eseguita in una sala operatoria, ma per molti l'onore spetta al dottor Yik San Kwoh e alla sua équipe del Memorial Medical Center di Long Beach in California: nel 1985 durante una biopsia cerebrale percutanea fecero ricorso alla Programmable Universal Machine for Assembly (PUMA ®, versione 560), un'evoluzione del robot industriale della Unimation Inc. sviluppato da Victor Scheinman nel 1978 (PUMA 200). Per l'uso chirurgico, era stato interfacciato con uno scanner tomografico: una volta identificato l'obiettivo della biopsia sull'immagine dello scanner, un programma calcolava i movimenti del robot per posizionare la sonda e prelevare il campione di tessuto. Rispetto alla procedura manuale, l'uso di PUMA risultava in un intervento meno invasivo, più accurato e veloce. (21) Nonostante la sua precisione, il sistema non sembrava adatto alla chirurgia a causa di alcuni inconvenienti, quali la sicurezza, il tempo richiesto per il suo set up e il limitato spazio di lavoro. (22)

Nel 1988, sulla scorta dell'accuratezza e del successo ottenuto con PUMA, l'urologo B.L. Davies e la sua équipe eseguirono una resezione prostatica transuretrale (TURP) utilizzando lo stesso sistema (23): ciò portò alla fine allo sviluppo del PROBOT, un robot progettato dalla Integrated Surgical Supplies Ltd appositamente per l'esecuzione di TURP. In sostanza, consentiva di precisare il volume di tessuto da rimuovere, per poi asportarlo automaticamente senza l'intervento del chirurgo. (22)

In realtà già nel 1983, il sistema "Arthrobot," venne sviluppato presso l'*UCB Hospital di Vancouver* dal team di ingegneria biomedica guidata dal dr. James McEwen come strumento per manipolare, su comando vocale, la posizione dell'arto durante gli interventi in artroscopia. (2)



Di lì a poco, molti interventi di artroplastica totale dell'anca, vennero eseguiti utilizzando il primo robot approvato dalla Food and Drug Administration (FDA), il ROBODOC (Integrated Surgical Systems, Sacramento, CA) or ACROBOT: tale sistema fu sviluppato per la preparazione delle cavità femorali, basandosi su dati ottenuti da scansioni intraoperatorie. Le immagini venivano trasformate poi in coordinate spaziali, che costituivano il percorso del robot. Il vantaggio da ottenere con tale sistema fu individuato nella maggiore stabilità della protesi a lungo termine, per effetto della migliore adattabilità all'osso (24)

Tuttavia nessuno di questi sistemi venne messo a punto per integrare procedure laparoscopiche, fino a quando nacque il concetto di “telepresenza”. Il significato più generale del termine “telepresenza” (letteralmente *presenza a distanza*) è “comunicazione in tempo reale con un luogo fisicamente remoto”. Nell’accezione più ristretta, comunemente accettata, è definita “telepresenza” la capacità di “vedere e operare a distanza”: per cui la “presenza” non si intende in un ambiente artificiale generato dal computer (quella che viene comunemente chiamata ‘realtà virtuale’), ma ‘*presenza*’ in un luogo fisico reale e remoto (25). A coniare il termine fu Scott Fisher, noto artista e designer che lavorò per anni alla NASA per lo sviluppo di sistemi evoluti di realtà virtuale: egli definì la telepresenza “una tecnologia che consentirebbe agli operatori a distanza di ricevere un “feedback” sensoriale sufficiente a sentirsi sul posto e in grado di compiere varie operazioni” consentendo al soggetto di controllare non solo la simulazione, ma anche la realtà, dandogli la possibilità di manipolare a distanza la realtà fisica che gli si presenta attraverso le immagini che sono sia rappresentazioni della realtà remota sia strumenti per intervenire su di essa. Il corpo del teleoperatore viene trasmesso, in tempo reale, in un altro luogo dove può agire (teleazione), riparando ad esempio una stazione spaziale, effettuando degli scavi sottomarini o bombardando una

base militare. Quindi grazie alla telepresenza non si deve essere fisicamente presenti in un determinato luogo per incidere sulla realtà. (26)

Egli mise a punto il primo Head Mounted Display (HMD) (in italiano “schermo montato sulla testa”), il quale “immergeva” lo spettatore in una realtà virtuale in “3 Dimensioni”.



Su suggerimento del chirurgo plastico, Joseph Rosen, l'ingegnere biomedico Phil Green sviluppò un sistema robotico di “telemancipolazione” per la microchirurgia allo Stanford Research Institute (SRI): Green già dalla fine degli anni '60 si impegnò nella realizzazione di numerose invenzioni che resero gli ultrasuoni uno strumento diagnostico a tutti gli effetti (ecografia). Poi negli anni '80 appunto, integrò i progressi fatti nell'ambito delle microcamere, della robotica e dei sistemi controllati da remoto per creare un prototipo in grado di permettere al chirurgo di avere la sensazione tattile e visiva di trovarsi con le mani nel paziente, sebbene si trovasse lontano da lui. (27)

La combinazione di queste due idee, cioè telepresenza e telemancipolazione robotica, ha segnato l'inizio della telechirurgia (o chirurgia da remoto), un concetto che l'esercito americano tentò di sviluppare per poter eseguire interventi chirurgici a distanza, difficili nelle zone di guerre.

In particolare la Computer Motion, Inc. di Santa Barbara, CA, utilizzò i fondi messi a disposizione dall'esercito per sviluppare AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning), un braccio robotico controllato prima da pedali o manualmente (AESOP 1000, 1994) e poi dalla voce del chirurgo (AESOP 2000, 1996) per manipolare una videocamera endoscopica: negli interventi laparoscopici, infatti il chirurgo perde la propria visuale corretta, in quanto la lente che trasmette l'immagine allo schermo, viene manipolata da un assistente. AESOP venne utilizzato per la prima volta nel 1993 e nel 1994 venne registrato come primo robot chirurgico nella storia, dall'FDA. (28)

Non soddisfatta, la Computer Motion volle creare un robot in grado di riprodurre i movimenti del chirurgo: nacque così il sistema ZEUS, dotato di tre bracci di cui uno rappresentato da un endoscopio, controllato da comandi vocali (come il sistema AESOP); gli altri due con 4 gradi di libertà invece venivano manipolati alla consolle da un "joystick". (29)



L'immagine del campo chirurgico veniva visualizzata o in 2D su uno schermo standard oppure in 3D attraverso l'utilizzo di lenti polarizzate. Venne utilizzato per la prima volta nel luglio del 1998 alla Cleveland Clinic, in Ohio per eseguire un'anastomosi di una tuba di Falloppio (30), mentre nel 1999 in Canada in un intervento di sostituzione coronarica a cuore aperto. (31)

Nel 2001 a New York, utilizzando il software SOCRATES, il chirurgo Jacques Marescaux eseguì una colecistectomia su un paziente a Strasburgo, in un'operazione nota come "Operation Lindberg".(32) In seguito però le procedure vennero sempre effettuate su brevi distanze, in quanto la chirurgia da remoto richiede un sistema in grado di trasferire dati ad alta velocità per ottenere delle immagini di buona qualità e con minimo ritardo tra l'inizio del movimento e la visualizzazione del feedback su monitor.

Nel 2003 a seguito di una lunga battaglia legale, la "Computer Motion Inc." si fuse con la Intuitive Surgical Inc. e interruppe lo sviluppo di ZEUS. (33)

Nel 1997 la "Intuitive Surgical Incorporated" perfezionò il da Vinci, un robot "master slave".

In ambito chirurgico, ci sono tre tipi di sistemi robotici: automatici ("active"), semi – automatici (semi – active) e master – slave. I primi (es. piattaforme PROBOT e ROBODOC) sono dotati di un'intelligenza artificiale, che permette di eseguire procedure in maniera autonoma, sotto la

supervisione del chirurgo. I sistemi semi – automatici hanno sia componenti autonome che guidate dal chirurgo, mentre i master slave dipendono totalmente dall'azione di quest'ultimo. (24)

Il primo Da Vinci era dotato di 3 bracci, di cui uno per la camera e gli altri due per gli strumenti, i quali grazie alla presenza di uno snodo fisico, erano dotati di sette gradi di libertà. Ciò combinato alla visione 3D e alla tecnologia “force feedback” il chirurgo ha l'impressione di essere immerso nel campo operatorio.

Fu con questo “sistema” che Jacques Himpens and Guy Cardiere eseguirono la prima colecistectomia robot –assistita a Bruxelles, mentre l'anno successivo all'università di Leipzig, in Germania, vennero eseguiti diversi interventi di rivascolarizzazione cardiaca. (2)

Sebbene progettato per la cardiocirurgia, i risultati ottenuti in quest'area non furono soddisfacenti quanto quelli in chirurgia generale: in Europa nell'arco di 3 anni vennero eseguiti circa 300 interventi tra colecistectomie e funduplicatio per dimostrare la sicurezza di questa nuova tecnologia, approvata dall'FDA per interventi di chirurgia addominale il 17 Luglio 2000. (27)

Dal momento della sua concezione, il robot si è gradualmente evoluto dal primo sistema a tre bracci a quello a 4 bracci, più leggero e versatile definito “modello S”.

2. IL SISTEMA ROBOTICO DA VINCI

2.1 Descrizione del sistema

Il “robot da Vinci” è la piattaforma più evoluta per la chirurgia mininvasiva presente oggi sul mercato. Fiore all'occhiello della tecnologia robotica, è disponibile in due sistemi:

- **da Vinci Si:** considerato fin dal suo arrivo sul mercato (1999) il “gold standard” per le procedure di media complessità in campi chirurgici definiti, quali urologia, ginecologia e chirurgia generale in un singolo quadrante.



- **da Vinci Xi:** innovazione del sistema Si, introdotto in Italia nel 2014, si propone come lo strumento ideale per la chirurgia ad alta complessità in campi chirurgici ampi e multi-quadrante, permettendo una libertà di movimento estrema. Queste caratteristiche lo rendono adatto per gli interventi in ambito urologico, ginecologico e di chirurgia generale complessa, massimizzando gli accessi anatomici e garantendo una visione 3D-HD.



È costituito da tre componenti principali: la console chirurgica, il carrello paziente e il carrello visione.

1. **Console chirurgica:** è il centro di controllo del sistema da Vinci Xi. Tramite la console, posizionata esternamente al campo sterile, il chirurgo controlla l'endoscopio 3D e gli strumenti EndoWrist per mezzo di due manipolatori (master) e di pedali. Gli strumenti EndoWrist® del daVinci Xi hanno un diametro di 8mm e una lunghezza di circa 60cm. Sono dotati di un polso (wrist) che permette una libertà di movimento su sette assi e una rotazione di quasi 360°. Nella gamma degli strumenti robotici possiamo trovare portaghi, forbici cauterizzate e a freddo, pinze da presa e dissectori bipolari di diverse tipologie.

Nel visore stereo, le punte degli strumenti si allineano con le mani del chirurgo che impugnano i manipolatori

L'operatore alla console chirurgica ha inoltre la possibilità di passare dalla vista a schermo intero a una modalità a più immagini (visualizzazione TilePro™), che mostra l'immagine 3D del campo operatorio insieme ad altre due immagini (ecografo, ECG..) fornite da ingressi ausiliari.



2. **Carrello paziente:** è il componente operativo del sistema da Vinci e si compone di quattro braccia dedicate al supporto di strumenti e endoscopio. Il sistema da Vinci fa uso di una tecnologia a centro remoto, un punto fisso nello spazio attorno al quale si muovono le braccia del carrello paziente. Questa tecnologia consente al sistema di manipolare gli strumenti e gli endoscopi all'interno del sito chirurgico minimizzando la forza esercitata sulla parete corporea del paziente. Nella parte posteriore del carrello, in corrispondenza alle maniglie per la movimentazione, il sistema da Vinci Xi dispone di un touchpad e comandi per la selezione pre-operatoria della tipologia di intervento, in base alla quale le braccia vengono automaticamente posizionate. È possibile inoltre effettuare posizionamenti manuali, in termini di altezza ed avanzamento rispetto alla base e di rotazione del gruppo di braccia, fino ad un massimo di 270°.



- 3. Carrello visione:** contiene l'unità centrale di elaborazione e processamento dell'immagine. Comprende un monitor touchscreen da 24 pollici, un elettrobisturi ERBE VIO dV per l'erogazione di energia monopolare e bipolare e ripiani regolabili per attrezzature chirurgiche ausiliarie opzionali, quali insufflatori. Il sistema da Vinci Xi comprende anche un sistema video ad alta definizione (full HD).



2.2 Vantaggi

La chirurgia robotica “condivide” i ben noti vantaggi della chirurgia miniinvasiva tra cui: poche e piccole incisioni, minor dolore, minor rischio di infezione, minore degenza in ospedale, rapidi tempi di recupero e cicatrici di ridotte dimensioni; se ne aggiungono altri, tra i quali quelli che superano i molti ostacoli della chirurgia laparoscopica:

- Ripristino e miglioramento della coordinazione occhio/mano; (20)
- Aumento del numero dei gradi di libertà a 6, di cui 3 per la posizione e 3 per l'orientamento, il che incrementa l'abilità del chirurgo nel manipolare gli strumenti e quindi i tessuti organici; (20, 33)
- Eliminazione del tremore fisiologico attraverso appropriati filtri hardware e software; (33,34)
- Posizione ergonomica da parte del chirurgo: spesso durante gli interventi laparoscopici i chirurghi riferiscono dolore o intorpidimento nelle braccia, nel polso o nelle mani, mentre alla consolle è possibile riposizionare le mani senza spostare le estremità degli strumenti; (20)

- Possibilità di modulare l'ampiezza dei movimenti del chirurgo attraverso un "downscaling": ampi movimenti compiuti alla consolle possono essere trasformati in micromovimenti nel paziente, rendendo più preciso e fluido il gesto chirurgico; (33)
- Possibilità di avere una visione 3D del campo operatorio; (35,36,37)
- Facilitare quelle procedure rimaste sempre al di fuori del dominio del chirurgo, come per esempio fra le tante, la sutura di dotti biliari di piccolo calibro;
- Possibilità di eseguire interventi in spazi anatomici ristretti come ad esempio nella cavità pelvica;(33)
- Possibilità di lavorare a distanza dal paziente. (20)

2.3 Limiti

È assodato come la chirurgia robotica sia stata accolta con grande entusiasmo da molti e si sia inserita in un'ampia varietà di ambiti chirurgici.

Tuttavia si discute ancora molto sull'evidenza di una maggiore sicurezza e di migliori risultati sui pazienti rispetto alle procedure laparoscopiche; inoltre per questi sistemi, i "trial" clinici randomizzati sono ancora insufficienti sia dal punto di vista qualitativo sia quantitativo. (38)

Essendo una delle tecnologie più innovative in campo chirurgico, non sorprende che sia uno degli approcci più dispendiosi dal punto di vista economico (39,40). I costi dipendono sia dalla spesa iniziale per l'acquisto, sia dalla durata dell'operazione, dagli strumenti utilizzati, dall'assistenza tecnica e sono soggetti come in ogni libero mercato, sia alla disponibilità dagli acquirenti sia alla presenza o meno di concorrenza, per cui l'antagonismo tra aziende in grado di sviluppare nuovi sistemi ridurrebbe e di molto, da un lato i costi e dall'altro potrebbe portare a miglioramenti tecnologici (41) E' certo però, di come i costi possano essere in parte compensati dalla riduzione della morbidità perioperatoria e dal fatto che le degenze medie ospedaliere siano decisamente più brevi. (38, 42)

Altri aspetti da considerare dal punto di vista tecnico sono le dimensioni e l'assenza del feedback tattile. La mole del sistema, infatti impedisce un trasporto agevole: per cui ridurre il peso del macchinario, aprirebbe la possibilità di offrilo ad ambienti distanti. (43)

Le attuali piattaforme, inoltre, non forniscono feedback tattile al chirurgo (20): ciò implica che il chirurgo debba sopperire alla mancanza di questo attraverso la vista, il che si accompagna ad un maggior carico di lavoro dal punto di vista mentale ma soprattutto si aggiunge agli aspetti di cui tener

conto nella curva di apprendimento della procedura. La speranza è che le forze sperimentate dal macchinario durante l'intervento possano essere convertite in un segnale elettrico in grado di modificare la forma del "joystick" in mano al chirurgo in modo che possa ricevere una sensazione simile a quella del tatto. In realtà con l'esperienza il cervello umano impara a compensare e le modifiche dell'immagine ad "alta definizione" trasmettono tutte le informazioni necessarie per evitare errori da eccessiva trazione o pressione. (41)

La carenza di centri e di programmi di training specifici rappresenta un altro limite importante. Molte scuole di specializzazione, infatti, ancora non prevedono l'insegnamento all'uso del robot durante gli anni di corso, a fronte comunque di risultati interessanti per quello che riguarda la curva di apprendimento (termine che viene utilizzato per descrivere quel processo di acquisizioni di conoscenze e abilità in ambito chirurgico, ma non solo) molto più veloce ed adeguata (44) ; infatti nelle procedure robot assistite, quest'ultima varia ampiamente e dipende dall'esperienza e dall'expertise del chirurgo che "insegna", dal tipo di intervento e dal "volume" (quantità) delle procedure; le analisi più ampie sono quelle che derivino per esempio, dalla prostatectomia radicale con tecnica robotica, appunto, e dimostrano un rapido apprendimento a fronte però di un numero di procedure cospicuo (45)

Ultimo aspetto da considerare è la necessità di contenere il ritardo fra la trasmissione delle immagini e la risposta motoria in un tempo inferiore a 200 millisecondi, oltre il quale la sicurezza dell'intervento potrebbe essere pregiudicata. In ogni caso, in caso di "emergenza", il "team" al tavolo operatorio può staccare il carrello robotico e continuare autonomamente l'intervento in laparoscopia o con conversione alla tecnica "aperta", tramite una manovra che richiede pochi secondi. L'incidenza di conversione dipende essenzialmente dalla difficoltà intrinseca dell'intervento e dall'esperienza del chirurgo operatore.

3. LA CHIRURGIA ROBOTICA IN AMBITO PEDIATRICO

3.1 Premessa

Il primo intervento di chirurgia robotica in età pediatrica, eseguito in Germania al "Goethe University Hospital Center", è stato poi pubblicato da Dirk Meininger, l'anestesista che aveva partecipato all'intervento, nel 2001; nell'articolo, si descriveva l'utilizzo di questa tecnologia per una "Funduplicatio" secondo la tecnica di Nissen su una bambina di 10 anni. (46)

Da quel momento in poi, si è assistito ad un'ampia diffusione della Chirurgia Robotica, in molte branche della Chirurgia pediatrica quali l'urologia, la chirurgia generale, l'otorinolaringoiatria e l'ortopedia (47) con la "promessa" di adattarsi bene ai bambini, i quali necessitano di dissezioni e suture molto fini; a differenza infatti dell'adulto, la chirurgia in questo ambito è per lo più ricostruttiva e procedure delicate e precise potrebbero beneficiare enormemente dei suoi vantaggi (48)

Negli ultimi 20 anni, è stata pubblicata una grande quantità di articoli a supporto della sicurezza e dell'applicabilità della RAS (Robotic Assisted Surgery) nella popolazione pediatrica con incrementi del 236,6 % ogni anno a partire dal 2016 (49): Carsten Gutt dell'Università di Heidelberg, sempre in Germania, nel 2002 ha riportato uno studio retrospettivo che analizzava 14 procedure (11 funduplicatio, 2 colecistectomie e 1 salpingo – ooforectomia) eseguite in pazienti pediatriche con il robot "da Vinci"; Azad Najmaldin a Leeds in Inghilterra, nel 2007 ha pubblicato uno studio con i dati relativi a 50 diversi interventi eseguiti su 40 pazienti pediatriche, sottolineandone le grandi possibilità offerte da questa tecnologia ma anche la necessità di ulteriori studi per definirne i limiti.

John J. Meehan del Seattle Children's Hospital (2008), ha considerato retrospettivamente una serie di 100 operazioni (89 addominali e 11 toraciche) eseguite da due chirurghi, che comprendevano 24 procedure diverse: ne è emerso di quanto sia necessaria una più breve curva di apprendimento rispetto alla laparoscopia, nonché la necessità di personale di sala specializzato e di un'accurata selezione dei pazienti (minimo 2,5 kg di peso). Aayed R. Alqahtani alcuni anni dopo ha pubblicato invece uno studio retrospettivo che contava 144 interventi per lo più Funduplicatio gastriche (39), colecistectomie (34), bendaggio gastrico (15) e splenectomie (13); nel 2013 Thomas P. Cundy dell'Università di Adelaide in Australia, ha analizzato i dati di 137 studi che includevano interventi toracici, gastrointestinali e genitourinari per un totale di 1840 pazienti: ancora una volta in ambito pediatrico, la pieloplastica (672) e la funduplicatio (424) risultavano più praticate e negli anni recenti, rispetto al passato, un numero crescente di interventi urologici. (50)

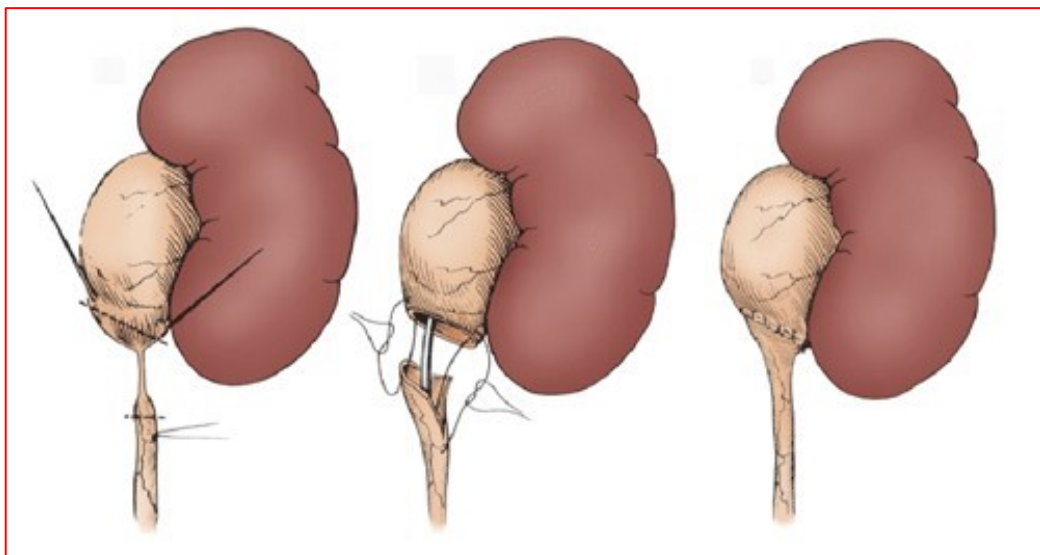
I dati sul suo utilizzo rimangono, per ora, limitati ad esperienze di singoli centri, ma l'interpretazione di questo aspetto richiede attenzione. Diversi studi hanno dimostrato come la "produzione" letteraria e le diverse citazioni correlate, non possano essere interpretate allo stesso modo per tutte le specialità. Per esempio è chiaro che "topics" come articoli che riguardino l'Insufficienza Miocardica Acuta o le neoplasie abbiano molta più visibilità, il che si traduce in un maggior numero di citazioni

per queste pubblicazioni, al contrario di specialità come la RAS pediatrica dove il numero di specialisti è esiguo. (49)

3.2 Applicazioni attuali

Chirurgia urologica

L'Urologia pediatrica è stata ed è la specialità che svolge un ruolo da "leader" nello sviluppo della RAS (51 52,53,54, 55) : i dati più recenti indicano come chi si occupi di Chirurgia robotica, veda una grande risorsa in essa, in virtù della possibilità di poter effettuare complesse procedure ricostruttive con una più rapida curva di apprendimento rispetto all'usuale chirurgia laparoscopica. L'intervento più praticato la "pieloplastica secondo Anderson Hynes", considerato storicamente il "Gold Standard" per il trattamento dell'ostruzione del giunto pieloureterale (53), ed eseguito con tecnica "open" fino al 1995 anno in cui Peters et al pubblicano alcune procedure eseguite in laparoscopia, dimostrando tuttavia la difficoltà e la lunga curva di apprendimento di questa tecnica (56). Con lo sviluppo della Chirurgia robotica e del sistema "da Vinci" nel 2000, si è assistito ad un netto miglioramento in termini di precisione chirurgica e abilità tecnica nella gestione della patologia, tanto che nella popolazione adulta, la pieloplastica robot – assistita ha sostituito pressochè del tutto quella "open" (57) e ci si aspetta di quanto lo stesso possa accadere anche nei pazienti pediatrici.



Pur non essendo disponibili "trials" clinici randomizzati, la pieloplastica è l'unica procedura che per la quale le linee guida dell'associazione europea di Urologia pediatrica riconoscano che "se affidata

a mani esperte, presenti uno stesso e ottimo risultato qualora eseguita in modalità laparoscopica, open o robotica". (58) L'operazione è stata descritta sia con approccio "transperitoneale" che "retroperitoneale": tra i due, il primo è quello più praticato, mentre il secondo pur conservando alcune procedure dell'approccio "open", risulta più complicato da eseguire per il ridotto spazio di lavoro; Chung Yeung di Hong Kong nel 2001 lo ha descritto per la prima volta, confermando che la difficoltà nel completare l'anastomosi in uno spazio più "piccolo", ha portato ad un più alto tasso di conversione (59).

Studi comparativi con la chirurgia "open", hanno dimostrato un diminuito decorso post operatorio e un ridotto uso di analgesici ma tempi chirurgici più lunghi; mentre rispetto all'approccio laparoscopico, l'approccio robotico ha dimostrato comunque un minore decorso post operatorio e meno complicanze. Sono disponibili diverse tecniche sia per il posizionamento dei "ports" che per l'approccio alla giunzione pieloureterale e la relativa decisione di solito, viene presa caso per caso (51).

Oltre a questa, tra le procedure più praticate rientrano: il reimpianto degli ureteri (RALUR, robotic-assisted laparoscopic ureteral reimplantation) indicato per correggere il reflusso vescico urinario, la nefrectomia, e procedure ricostruttive complesse come appendicostomia di Mitrofanoff e la cistoplastica di ampliamento (48,54,58)

Per quanto concerne la RALUR, seppur la chirurgia "open" rimanga il "Gold standard" con un elevato e indiscutibile "tasso" di successo, il ricorso all'approccio mininvasivo sta aumentando in virtù della minore degenza in ospedale, il ridotto utilizzo di analgesici e il migliore risultato estetico; infine, gli elevati costi associati potrebbero essere ammortizzati riducendo i costi indiretti associati alla procedura. (50)

La nefrectomia, sia totale sia parziale, trova indicazione nei bambini sia per condizioni "maligne" (molto più rare) sia benigne e per queste ultime viene raccomandata se la scintigrafia renale con DMSA dimostri una funzione renale inferiore al 10%. Attualmente il "Gold Standard", risulta l'approccio "open", associato tuttavia a tempi più lunghi di degenza, maggiori morbidità, ed elevate dosi di analgesico nel post operatorio (60, 61, 62)

Ad oggi non è noto se la RAS possa diventare il “Gold Standard” per la nefrectomia totale, a causa dei costi ancora elevati ma per quella parziale, che presenta un maggior grado di complessità tecnica, potrebbe diventarlo a breve. Complessivamente la procedura risulta fattibile, ben tollerata e vantaggiosa e probabilmente con l'esperienza si potrebbero ridurre i tempi operatori. (60)

Questa tipologia di intervento chirurgico che preveda un accesso alla pelvi renale e che si svolgano in spazi limitati potrebbero ben adattarsi all'approccio robotico (54).

Chirurgia generale

La RSA nella chirurgia pediatrica generale non ha ancora raggiunto uno sviluppo pari a quello dell'urologia. Le procedure fino ad ora riportate in letteratura includono l'epatectomia, l'escissione delle cisti del coledoco, la Funduplicatio gastrica, la proctectomia con anastomosi ileale pouch anale (51) Come nel caso dell'adulto, gli interventi di ernioplastica inguinale sono molto comuni ma vengono di solito eseguiti con tecnica “open” attraverso una piccola incisione; raramente vengono praticati per via laparoscopica (54)

La Funduplicatio gastrica per la correzione della malattia da Reflusso GastroEsofageo, è di gran lunga l'intervento più praticato (53,63,64) (*vd Capitolo Funduplicatio*); per quanto riguarda la colecistectomia, come per molti interventi demolitivi, è stato osservato che l'utilizzo della robotica è discutibile a causa dei costi notevoli della procedura e dello scarso beneficio clinico del paziente. Tuttavia potrebbero giovare del suo utilizzo situazioni più complesse per esempio in caso colecistite cronica: in questi pazienti, risulterebbe più facile identificare le diverse strutture anatomiche e agire sui tessuti infiammati (53)

In linea generale, l'utilità della RAS in ambito gastroenterologico sembra però potersi “estendere” a molte procedure, in particolare a quelle più “complesse” ma è chiaro come siano necessari ulteriori studi comparativi per confermare i risultati preliminari (47,54)

Miscellanea

Sono state riportate in letteratura procedure tecnicamente complesse eseguite in pazienti pediatrici con l'ausilio del robot incluse rimozione dei dotti di Muller e Wolff e cisti delle vescicole seminali (65), correzione dell'ernia diaframmatica congenita (66, 67) portoenteroanastomosi secondo Kasai (68),

rimozione delle cisti del coledoco (69), litotomia (70) e chiusura dei difetti del setto interatriale in cardioChirurgia (71)

Tutte le procedure sono tecnicamente “fattibili” e tra i vantaggi evidenziati ci sono la possibilità di eseguire fini dissezione di strutture anatomiche vulnerabili. Tuttavia, in virtù dei più lunghi tempi operatori, elevati costi e un discutibile vantaggio clinico, la chirurgia robotica non rappresenta ancora un’alternativa alla tradizionale chirurgia miniinvasiva (54)

3.3 CONSIDERAZIONI SPECIALI PER LE PROCEDURE PEDIATRICHE

L’approccio della RAS pediatrica è simile per certi aspetti a quello nell’adulto ma ci sono alcune caratteristiche che ne definiscano l’unicità e la sfida continua, sia dal punto di vista della tecnica operatoria sia della sicurezza.

In primo luogo, con il termine “docking”, si intendono l’avvicinamento e posizionamento del robot sul campo chirurgico: si tratta di un momento molto delicato per il quale è assolutamente necessario acquisire una certa “familiarità” per ridurre la durata dell’anestesia, per minimizzare il rischio di lesioni, per prevenire l’urto tra gli strumenti e soprattutto per offrire una corretta visione al chirurgo “operatore” (72)

Azad Najmaldin e Brice Antao sempre a Leeds, hanno registrato sui loro primi 50 casi, un tempo medio di 12 minuti di “docking”, sceso nei casi non complicati a meno di 5 minuti (73)

Nella popolazione adulta, secondo alcuni autori, che hanno riportato un tempo medio di 10 minuti anche per diverse procedure, uno dei fattori più importanti per ridurre il tempo di “docking” è certamente l’esperienza del chirurgo (74,75) Altri autori considerano invece le dimensioni e la gamma degli strumenti disponibili quali fonte di sfida e complicazioni quando si operino bambini piccoli e neonati. Paragonati agli strumenti da 3 mm utilizzati routinariamente negli interventi laparoscopici più avanzati, gli strumenti da 8 e 12 mm disponibili per il sistema Da Vinci offrono minore possibilità di eseguire manovre in spazi ridotti (72)

Tra le limitazioni che si riscontrano in ambito pediatrico, inoltre, ci sono: un più rapido svuotamento gastrico che aumenta la distensione addominale, con difficoltà nell’accesso e nella visualizzazione degli spazi, la posizione della vescica (più spostata in sede addominale); una maggiore lassità della

parete addominale il che aumenta il rischio di lesioni dei visceri o dei vasi durante l'accesso (55); queste "situazioni" sono da tenere in considerazione per il posizionamento dei "ports": mentre nell'adulto la distanza è standard, circa 8 – 10 cm l'uno dall'altro, nel bambino non può essere così. Non esiste una modalità standardizzata di posizionamento rispetto a determinate procedure (in genere si tende a posizionarli intorno alla videocamera con distanze variabili a seconda di quanto sia più o meno "grande" il bambino). Il posizionamento del primo dei "trocar" sotto "visione diretta" (in laparoscopia non è sempre così) aiuta a ridurre il rischio di sanguinamento e di lesione accidentale dei visceri (l'emorragia nel bambino può non essere immediatamente visibile a causa del ridotto volume circolante) (76)

A differenza dell'adulto, non viene richiesto un posizionamento "standardizzato" per avere la massima esposizione del sito chirurgico.

In breve:

- Posizione Trendelenburg: viene utilizzata negli interventi chirurgici sulla pelvi e sul colon – retto, in modo da allontanare i visceri in senso craniale;
- Posizione AntiTrendelenburg: viene utilizzata per interventi quali colecistectomia, gastrectomia, funduplicatio secondo Nissen; i visceri in questo caso "shiftano" verso la pelvi;
- Posizione semilaterale: utilizzata spesso nella chirurgia renale e delle ghiandole surrenaliche. (77)

L'insufflazione di gas in una cavità "chiusa", l'aumento quindi della pressione addominale, il conseguente assorbimento di CO₂, la posizione "assunta" dal paziente rappresentano le maggiori "sfide" che deve affrontare l'anestesista durante l'intervento chirurgico robot-assistito; concomitanti, infatti, possono coesistere: alterazione della ventilazione, della funzione cardiovascolare e vasodilatazione cerebrale (58,78) Va tenuto quindi presente, di come le pressioni di insufflazione siano necessariamente età dipendenti: 0 - 2 anni, 8 - 10 mmHg; 2 - 10 anni, 10 - 12 mmHg; 10 – 18 anni, 12- 15 mmHg

Per concludere, la pressione di insufflazione e il conseguente aumento della pressione addominale, possono rappresentare in particolari circostanze, un motivo di "conversione" dell'intervento, di insorgenza di complicanze e di parziale "fallimento" della procedura robotica, soprattutto nei pazienti

più piccoli e nei neonati dove lo spazio operatorio sia limitato e gli strumenti a disposizione siano relativamente grandi (72)

Altri accorgimenti da adottare potrebbero essere ad esempio l'uso di particolari supporti oppure ancora i "trocars" con del materiale adesivo per prevenire lo spostamento (55).

2.2 LA GASTROPLASTICA ANTIREFLUSSO (FUNDOPLICATIO)

3.4.1. IL REFLUSSO GASTROESOFAGEO (Gastro-Esophageal Reflux, GER)

Introduzione

Per reflusso gastroesofageo (Gastro-Esophageal Reflux, GER) si intende il passaggio involontario del contenuto gastrico nell'esofago: si tratta, comunque, di un "fenomeno" fisiologico e molto frequente nei primi mesi di vita. È determinato dalla brevità della porzione addominale dello sfintere esofageo inferiore, con scarsa angolazione tra la parte terminale dell'esofago e lo stomaco (angolo di His), da una relativa incontinenza del cardias e da una temporanea discinesia motoria dell'ultima porzione dell'esofago (79)



Solo se la quantità di materiale che refluisce sia abbondante e particolarmente "acida" compaiono sintomi e si potrebbe la "malattia da reflusso gastro esofageo" (Gastro-Esophageal Reflux Disease, GERD) che deve essere diagnosticata e trattata, ma nella maggior parte dei casi, in bambini che non abbiano altre patologie concomitanti, questo non si verifica e il reflusso gastroesofageo scompare spontaneamente intorno ai 6 – 12 mesi.

Tuttavia la definizione, essendo centrata sui sintomi e sul paziente, è soggetta a numerose “considerazioni”: nella pratica clinica, infatti, potrebbe essere difficile differenziare il GER dalla GERD e i termini vengono utilizzati in maniera intercambiabile sia dai professionisti sia dai genitori. Sebbene la fisiopatologia e la clinica specialmente nei bambini più grandi possano sembrare simili a quelli dell'adulto, occorre tenere a mente una più ampia serie di sintomi gastrointestinali ed extra esofagei, nonché di complicanze che possano intercorrere nell'età pediatrica. (80)

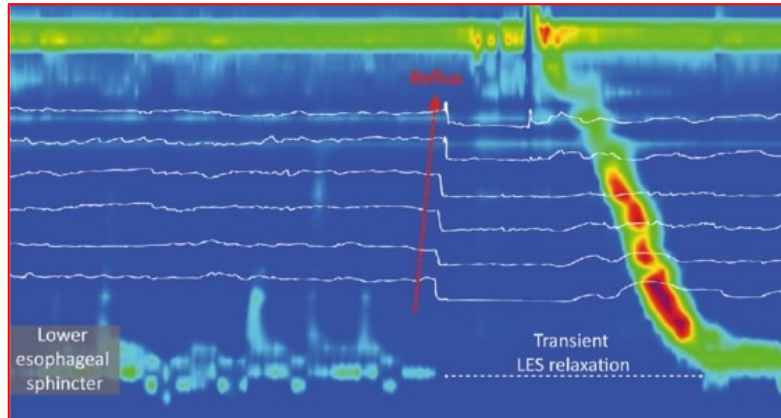
Epidemiologia

I dati epidemiologici suggeriscono che il GER si verifichi nel 50 % dei lattanti al di sotto dei 2 mesi di vita, nel 60 – 70 % di quelli tra i 3 – 4 mesi e nel 5% di quelli entro i 12 mesi, con un rapporto maschio femmina di 2:1. Inoltre coloro che vengano allattati al seno hanno minore probabilità di insorgenza e comunque presentano maggiore rapidità di risoluzione rispetto a chi venga allattato artificialmente. Il reflusso gastroesofageo è più comune nei bambini con obesità, deficit neurologici, anomalie del tratto gastroIntestinale, in quelli affetti da ernia diaframmatica congenita e/o anomalie cromosomiche e in coloro che siano affetti da fibrosi cistica e malattie interstiziali polmonari (81). Tra quelli affetti da deficit neurologici, il difetto primario potrebbe essere legato ad una disregolazione nel controllo dello sfintere esofageo inferiore, risultando quindi estremamente difficile da trattare. (82)

Patogenesi

A determinare il reflusso gastroesofageo concorrono numerosi fattori:

- Ridotta funzione anti – reflusso dello sfintere esofageo inferiore (LES): che non è tanto legata al tono dello sfintere stesso, di solito normale anche in presenza di reflusso, quanto piuttosto ad un aumentato numero di “rilasciamenti” inappropriati e transitori (Transient Lower Esophageal Sphincter Relaxation – TLESR) che si verifichino in assenza di peristalsi esofagea “primaria” (quella innescata dalla deglutizione) oppure in presenza di peristalsi “secondaria” (innescata dalla dilatazione dell'esofago senza deglutizione).



I TLESR sono scatenati dall'aumento della pressione addominale, in condizioni fisiologiche, e hanno la funzione di permettere anche l'eruttazione. (79)

Per chiarezza la pressione normale del LES è di circa 5 – 20 mmHg ed è 4 mmHg o più elevata rispetto a quella gastrica: per cui quando la prima eguaglia la seconda o è addirittura inferiore (0 – 2 mmHg) ciò risulta in un passaggio di materiale dallo stomaco all'esofago. (81)

- Maggiore ampiezza dell'angolo di His per brevità della porzione addominale dell'esofago;
- Aumento della pressione addominale per obesità, pianto e/o sforzi;
- Eccessiva distensione dello stomaco da iperalimentazione e/o aereofagia;
- Posizione supina.

Alcuni fattori concorrono poi ad aggravare il problema

- Ridotta efficienza della peristalsi, ossia del meccanismo di "svuotamento" esofageo, per alterazioni della motilità esofagea: ridotta ampiezza, ripetitività e/o simultaneità delle onde peristaltiche. Le alterazioni della peristalsi possono essere primitive o dovute ad alterazioni del sistema nervoso orto e paraSimpatico.
- Ridotta salivazione (come avviene normalmente durante il sonno): la saliva, infatti, grazie al pH alcalino, neutralizza il residuo di materiale acido che rimane nel lume esofageo dopo la "svuotamento" dell'organo;
- Rallentamento dello svuotamento gastrico per "liquidi", provocato da alterazioni della motilità del fondo gastrico. Ma ben più grave è l'alterazione dello svuotamento gastrico per i "solidi" per alterazione della funzione della porzione antroPilorica dello stomaco. In entrambi i casi, la distensione gastrica favorisce in via riflessa una maggiore frequenza di TLESR, un

aumento di secrezione di gastrina e quindi di acido cloridrico. Il ristagno gastrico aumentato infine permette a una maggiore quantità di liquido di refluire nell'esofago (79)

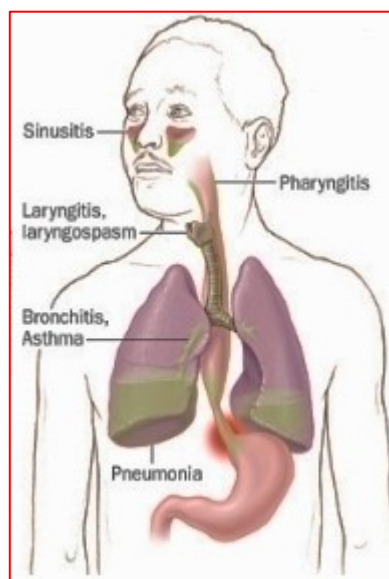
- Tipologia di formula utilizzata per l'allattamento artificiale: in un piccolo gruppo di lattanti è stato osservato come formule ad elevata osmolalità aggravino il reflusso, prolungando gli episodi di TLESR a causa della distensione gastrica. (82)

Infine, altri elementi anatomici contribuiscono alla funzione antireflusso del LES, in particolare il legamento crurale del diaframma, la cui contrazione attiva, mediata dal nervo frenico, impedisce completamente il reflusso, che infatti non è mai possibile durante l'inspirazione, momento in cui potrebbe essere più grave per la possibilità di aspirazione nel tratto respiratorio del materiale refluito (79).

Clinica

La Malattia da Reflusso GastroEsofageo (GERD)

Le linee guida distinguono le manifestazioni cliniche di GERD nei lattanti nati a termine (meno di 1 anno) da quelle dei bambini con più di un anno d'età e degli adolescenti (83) Nei lattanti a termine sono inclusi rigurgito o vomito associati a irritabilità anoressia o rifiuto del pasto, diminuzione dell'accrescimento, disfagia, deglutizione dolorosa ed "inarcamento" della schiena durante l'allattamento. Inoltre si possono aggiungere dei sintomi extraesofagei quali tosse, soffocamento, "wheezing" e/o sintomi che interessino le alte vie respiratorie.



Nei bambini tra 1 e 5 anni di età i sintomi più comuni sono rigurgito, vomito, dolore addominale, anoressia e rifiuto del cibo, probabilmente per l'associazione tra il pasto e il dolore. Questo fatto, associato alle difficoltà nell'alimentarsi, agli episodi di vomito possono condurre a ridotto aumento di peso o addirittura a malnutrizione. Più raramente si possono riscontrare quadri particolari come la ruminazione e la sindrome di Sandifer, caratterizzata da particolari movimenti di lateralizzazione e torsione del collo (simili a convulsioni atipiche) e anemizzazione.

I bambini di età superiore a 5 anni e gli adolescenti presentano un quadro clinico più simile a quello degli adulti e lamentano pirosi, dolore epigastrico, dolore toracico, disfagia, eruttazione acida. In bambini in età scolare, potrebbe essere importante indagare i sintomi chiedendo direttamente al paziente piuttosto che fare affidamento su ciò che viene detto dai genitori. I sintomi extraesofagei nei bambini più grandi e negli adolescenti includono tosse notturna, wheezing polmoniti ricorrenti, tosse, sinusite cronica, laringite o erosioni dentali.

L'esame obiettivo è caratterizzato da sintomi a bassa specificità e mostra dolorabilità e dolenzia alla palpazione della regione epigastrica e della zona immediatamente sottoxifoidea. Se il reflusso gastroesofageo è di lunga durata può essere complicato da esofagite e il sintomo predominante può essere un ridotto accrescimento ponderale (79)

Diagnosi

In accordo con le attuali linee guida, non esiste un unico test per una diagnosi affidabile di GERD: questa risulta spesso dalla combinazione tra valutazione clinica e test diagnostici (84):

- **Questionari relativi ai sintomi:** pur essendo stati sviluppati appositi questionari, nessun sintomo o gruppo di sintomi ad oggi consente con certezza di diagnosticare GERD e/o di “predire” la risposta al trattamento. In particolare nella prima infanzia, tende a presentarsi con una “plethora” di sintomi non chiaramente attribuibili solo alla malattia da reflusso gastroesofageo, e che possono mimare quindi altre condizioni patologiche; di conseguenza in età inferiore ai 2 anni, l'indagine clinica deve essere orientata sempre, ad escludere patologie più gravi. A questo scopo vengono indagati una serie di “red flags” che richiedono ulteriori indagini: vomito biliare, sanguinamento gastrointestinale (ematemesi, ematochezia), vomito incoercibile, comparsa del vomito dopo i 6 mesi di vita, diarrea, costipazione, febbre, letargia, epatosplenomegalia, “bulging” delle fontanelle bregmatiche, crisi epilettiche,

micro/macrocefalia, dolorabilità/distensione addominale, documentate/ sospette patologie genetiche/del metabolismo.

Al contrario i bambini più grandi e gli adolescenti tendono a presentare sintomi più simili agli adulti per cui è possibile eseguire una diagnosi clinica di GERD con maggiore sensibilità e specificità.

- **Test con inibitori di pompa protonica (PPI, proton pump inhibitor):** si tratta di uno strumento terapeutico e diagnostico prezioso per GERD e consiste nella somministrazione del farmaco per un breve periodo di tempo (2 – 4 settimane) che può essere prolungata fino a 12 settimane in presenza di un miglioramento clinico. La riduzione di almeno il 50 % della gravità dei sintomi dopo il trattamento viene considerato altamente suggestivo di GERD ma l'approccio viene riservato agli adolescenti con sintomi tipici e senza segnali di allarme in quanto non esistono evidenze solite che supportino il test nei neonati o nella prima infanzia. Anzi in questi gruppi di pazienti la prescrizione della terapia potrebbe portare ad effetti collaterali quali la sindrome da contaminazione batterica del tenue (SIBO, small intestine bacterial overgrowth), aumentato rischio di infezioni gastrointestinali (gastroenterite acuta, infezioni da C.Difficile, candidemia ed enterocolite necrotizzante) ed extraintestinali (infezioni delle basse vie respiratorie, polmoniti)
- **Endoscopia e biopsia esofagea:** dovrebbe essere riservata ai pazienti con sintomi refrattari o allarmanti di GERD, per escludere complicazioni o fare diagnosi differenziale: in particolare esame l'esame istologico consente di differenziare GERD dall'esofagite eosinofila (EoE, eosinophilic esophagitis), dove è fondamentale la biopsia di differenti zone del corpo dell'esofago.
- **Esame radiologico dopo pasto baritato:** le attuali linee guida non raccomandano l'esecuzione di questa indagine in maniera routinaria, nel sospetto di GERD. In pazienti selezionati però potrebbe escludere condizioni quali l'acalasia oppure nei neonati potrebbe rivelare malrotazioni, membrane duodenali, stenosi del piloro.
- **Ph – metria delle 24h:** ad oggi viene eseguita dopo inserimento di un sondino nasogastrico, dotato di elettrodi sensibili ai cambiamenti del pH, posizionati nella parte distale dell'esofago. È un esame di solito ben tollerato che si può fare a qualunque età e fornisce informazioni utili per la diagnosi e per la terapia. Si valutano (79):
 - La percentuale del tempo in cui il pH esofageo è inferiore a 4: indice di reflusso (IR)

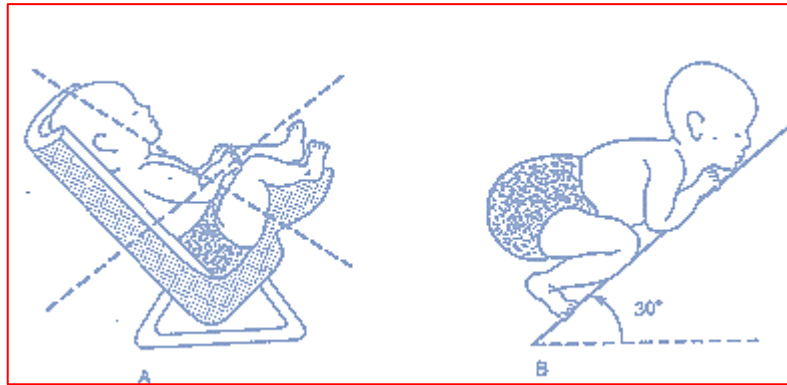
- Il numero di reflussi totali
- Il numero di reflussi lunghi (superiori a 5 al minuto)
- I minuti di durata del reflusso più lungo
- Il momento di comparsa del reflusso in rapporto al pasto o al sonno
- La relazione tra sintomi che il bambino presenta durante la pHmetria ed eventuali reflussi (indice sintomatico)

Se il pH esofageo dovesse risultare inferiore a 4 persiste per un periodo inferiore al 5% (IR<5%), la pH – metria si considera normale; se per un periodo tra il 5 e il 10%, si considera lieve; se invece per un periodo superiore al 15 – 20 % si considera moderato – grave.

- **Ph-Impedenziometria:** attualmente le due indagini vengono eseguite contemporaneamente per valutare la presenza di reflusso e l'associazione tra GER e sintomi; inoltre nonostante i costi elevati rappresenta il test di scelta per distinguere gli episodi di reflusso acido ($\text{pH} < 4$), debolmente acido ($4 < \text{pH} < 7$) e alcalino ($\text{pH} > 7$).
Si tratta di un esame più sensibile per la valutazione dell'indice sintomatico, cioè della percentuale di sintomi effettivamente dovuti al reflusso. Tuttavia non sono ancora stati definiti i valori normali del bambino (84).
- **Manometria:** non è indicata nell'algoritmo diagnostico ma potrebbe essere utile per escludere disordini della motilità esofagea (acalasia e spasmo esofageo) e confermare il sospetto clinico di sindrome della ruminazione.

Trattamento medico

Secondo le linee guida del National Institute for Health and Care Excellence (NICE), la gestione iniziale di GER e GERD prevede inizialmente un "management" di natura comportamentale. In particolare nei lattanti si raccomanda di mantenere la posizione supina con la testa inclinata di 30° ma di non utilizzarla durante il sonno (i lattanti dovrebbero dormire supini) (85).



In quelli allattati al seno con frequenti rigurgiti e “distress” o agitazione, è importante valutare se questa modalità sia corretta o meno, mentre in coloro che vengano allattati con latte artificiale, è possibile ridurre il volume dei pasti, e quindi offrire pasti di minore quantità ma più frequenti (mantenendo una quantità giornaliera adeguata di latte); oppure provando ad addensare il latte con altri “alimenti” (amido di riso, di mais, farina o semi di carruba).

È importante considerare che un sottogruppo di lattanti con allergia alle proteine del latte vaccino potrebbe presentare rigurgito e vomito, mimando la condizione del GER. Le due condizioni, l’allergia al latte vaccino e la malattia da reflusso gastroEsofageo potrebbero comunque coesistere (86) per cui sia la North American Society for Pediatric GastroEnterology (NASPGHAN) e European Society for Paediatric Gastroenterology Hepatology and Nutrition (ESPGHAN) raccomandano unitamente alla terapia posturale, un periodo di 2 – 4 settimane di alimentazione a base di latte artificiale con formula idrolizzata e ipoallergenica o a base di amminoacidi. In quei lattanti che vengano allattati, le madri dovrebbero considerare l’eliminazione delle proteine del latte vaccino e di altre sostanze potenzialmente allergeniche (noci, uova e cioccolato) (80)

In coloro nei quali l’approccio precedente non abbia migliorato i sintomi, è possibile considerare la terapia con “alginato” per un periodo di 1-2 settimane alternati ad alcuni periodi di sospensione.

Altri approcci non farmacologici includono la riduzione del peso corporeo in caso di sovrappeso/obesità, evitare il fumo passivo e attivo, evitare di assumere alcol, e di mangiare subito prima di andare a dormire e limitare nella dieta alcuni tipi di cibi come quelli piccanti o eccessivamente grassi (che rallentino lo svuotamento gastrico), ridurre la caffeina, la menta e il cioccolato (riducono la pressione del LES). Ovviamente alcune di queste misure sono ristrette soltanto ad alcune classi di età (soprattutto bambini e adolescenti).

Si deve poi prendere in considerazione una terapia per 4 settimane con inibitori di pompa protonica (PPI) o farmaci anti recettori H₂ dell'istamina (H₂RA) nei casi seguenti:

- In coloro che non siano in grado di “riferire” circa i loro sintomi (lattanti, bambini piccoli o quelli con neurodisabilità) e che presentino rigurgito associato ad uno o più dei seguenti sintomi: difficoltà di alimentazione (rifiuto dei pasti, conati di vomito o soffocamento), agitazione, arresto o scarsa crescita;
- In bambini/adolescenti con pirosi persistente, dolore retrosternale o epigastrico;
- In caso di esofagite da reflusso diagnosticata con endoscopia, valutare la “risposta” alla terapia di 4 settimane con PPI o H₂RA e considerare di rivolgersi ad uno specialista per un successivo controllo endoscopico se i sintomi non si dovessero risolvere o se si dovessero ripresentarsi dopo l'interruzione del trattamento

In genere la scelta tra PPI e H₂RA prevede di considerare la disponibilità di preparati adatti all'età, la preferenza del genitore e del bambino e il costo del farmaco. Si sottolinea inoltre di non somministrare metoclopramide e domperidone (procinetici) per trattare GER o GERD senza una consulenza specialistica, tenendo conto dei potenziali effetti avversi. (85)

3.4.2 Indicazioni alla gastroplastica antireflusso

Sulla base delle linee guida della ESPGHAN e della NASPGHAN (80), la chirurgia antireflusso e quindi la funduplicatio può essere considerata in quei lattanti e bambini con GERD e:

- Complicazioni della GERD che mettono a rischio la vita (ad esempio arresto cardiorespiratorio) dopo fallimento di un'ottimale terapia medica.
- Sintomi refrattari all'ottimale terapia medica, dopo avere accuratamente escluso altre patologie sottostanti.
- Presenza di malattie croniche (come ad esempio fibrosi cistica o deficit neurologico) con un rischio significativo di sviluppare complicanze relative alla GERD (ad esempio polmonite da aspirazione). In particolare nei bambini con deficit neurologico, che necessitano di un intervento di gastrostomia per alimentarsi e nei quali vi è il timore di possibili aspirazione del materiale gastrico, le due procedure vengono eseguite in un unico intervento.
- Necessità di una farmacoterapia cronica per il controllo dei segni e dei sintomi associati alla GERD.

In linea generale l'indicazione primaria alla chirurgia antireflusso nell'età infantile è il fallimento della terapia medica e trova spazio in condizioni quali (87)

- Ernia iatale da scivolamento
- Esofagite complicata: Barrett, stenosi, ulcerazione
- Recidiva dopo fallimento di terapia chirurgica
- RGE secondario ad ostruzione aborale
- RGE in seguito a chirurgia per atresia esofagea
- Affiancata a chirurgia per acalasia
- Ab-ingestis
- Apnee con rischio SIDS

3.4.3 Tipologie di gastroplastica antireflusso

I principi generali della chirurgia antireflusso prevedono di aumentare la porzione di esofago intraaddominale, avvicinare i pilastri destro e sinistro del diaframma, accentuare l'angolo di His mediante plicatura del fondo attorno all'esofago intraaddominale, aumentando così la barriera pressoria a livello della giunzione esofago-gastrica. (88)

La realizzazione di questi obiettivi può avvenire mediante diverse tecniche chirurgiche:

- **Funduplicatio secondo Nissen – Rossetti** (*vd paragrafo successivo*)
- **Funduplicatio secondo Thal**: inizialmente venne proposta da Thal e successivamente negli Stati Uniti, Keith W. Ashcraft del Children's Mercy Hospital in Kansas City ne divenne grande promotore. Schematicamente la procedura prevede di mobilizzare l'esofago e di mobilizzarlo verso il basso attraverso lo iato diaframmatico che viene poi "chiuso" dietro l'esofago stesso, includendo parte di esso nella sutura. Successivamente si realizza la "Funduplicatio": con una prima fila di 3 punti, la parete anteriore dello stomaco viene suturata a quella anteriore dell'esofago a circa metà della porzione intraddominale. La seconda fila di 3 punti invece ancora la parete anteriore dello stomaco alla parte più alta dell'esofago intraddominale e al diaframma

In questo modo la plicatura del fondo gastrico avvolge anteriormente la parete esofagea coprendo un angolo di 270°. (89)

- **Fundoplicatio secondo Boix-Ochoa:** di base è una modifica della tecnica di Thal e nacque nel 1983 con l'obiettivo di ripristinare i meccanismi anatomici alla base della prevenzione del reflusso, ricostruendo la giunzione cardio – iatale.



La procedura prevede la mobilizzazione dell'esofago il quale viene poi ancorato allo iato diaframmatico con 3 punti non riassorbibili e quindi i pilastri posteriori del diaframma vengono avvicinati con solo uno o due punti (per evitare un'eccessiva tensione). A questo punto si realizza un "lembo" gastrico che copra l'esofago distale e il pilastro destro del diaframma: si disseziona e si mobilizza la grande curvatura dello stomaco in modo tale che la parte più alta del fondo gastrico possa essere posizionata senza alcuna tensione oltre il pilastro destro in modo da creare un neo angolo di His. Si conclude la procedura con 3 punti di sutura posizionati a triangolo tra il fondo e la superficie inferiore del diaframma. (90)

- **Fundoplicatio secondo Dor:** ad oggi la procedura viene eseguita a protezione della miotomia secondo la tecnica di Heller nell'intervento per il megaesofago in quanto consente al chirurgo di coprire la mucosa esofagea esposta, assicura di avere una barriera antireflusso e minimizza il rischio di disfagia in un esofago ad alto rischio di dismotilità intrinseca.



Si tratta di una “Funduplicatio” anteriore che riveste la parete dell’esofago con un angolo di 180°: viene realizzata con due file di suture: la prima (si parte da sinistra) comprende 3 punti; il punto più alto comprende il fondo dello stomaco, la parete dell’esofago e il pilastro sinistro del diaframma e gli altri due includono solo il fondo gastrico e la parte sinistra della parete dell’esofago. In questo modo il fondo gastrico va rivestire la miotomia, e la seconda fila di sutura (anch’essa costituita di 3 punti ma questa volta si parte da destra) viene realizzata tra il fondo e la parte destra della parete dell’esofago; solamente il primo punto va a includere il pilastro destro del diaframma, mentre gli altri due vengono posti tra la rima anteriore dello iato e la parte superiore della funduplicatio (91)

- **Funduplicatio secondo Toupet:** il chirurgo André Toupet descrisse la propria procedura nel 1963, e la adattò negli anni successivi fino a quando negli anni 80 guadagnò diversi sostenitori.



In questo caso la “plicatura” del fondo gastrico viene realizzata avvolgendo posteriormente la parete dell’esofago con un angolo di 180°: dopo la mobilizzazione dell’esofago, vengono realizzate 3 file di suture, di cui la prima tra il lembo gastrico e il pilastro destro del diaframma, la seconda tra il fondo dello stomaco e la parte destra dell’esofago e la terza tra il lembo gastrico e la parte sinistra dell’esofago. (92)

3.4.4. La fundoplicatio secondo Nissen

Rudolph Nissen (1896 – 1981) era un chirurgo tedesco la cui importanza storica risiede nei suoi lavori nell’ambito della chirurgia toracica e perché per “primo”, eseguì con successo una “pneumectomia” in un essere umano; comunque “resta” la gastroplastica antireflusso la tecnica che l’ha reso famoso in tutto il mondo; procedura che venne utilizzata per la prima volta in un giovane paziente con un’ulcera nell’esofago che stava penetrando il pericardio (93).

A partire dalla prima pubblicazione (1956), molti studi hanno avvalorato l’efficacia della Fundoplicatio secondo Nissen nel migliorare le pericolose complicanze legate alla GERD quali la scarsa crescita, le polmoniti da aspirazione, apnea, asma, esofagite con dolore, sanguinamento e formazione di stenosi. La popolarità della procedura è andata di pari passo con i tentativi di ridurre complicanze quali la disfagia, la “gas bloat syndrome” (cioè una distensione gastrica post-operatoria dolorosa con impossibilità all’eruttazione), la “dumping syndrome” o sindrome da svuotamento rapido, rottura o dislocazione del lembo gastrico e ernia paraesofagea.

Nella procedura laparotomica originale proposta da Nissen, l'esofago distale veniva mobilizzato in maniera tale da ottenere un segmento di esofago addominale di una buona lunghezza che veniva successivamente avvolto (passando da dietro) con la faccia posteriore del fondo gastrico.

La cosiddetta "plicatura", veniva successivamente chiusa con 4 o 5 punti staccati, uno o più dei quali includeva anche la parete dell'esofago. Durante la procedura, nell'esofago veniva lasciato un sondino nasoGastrico e i pilastri del diaframma non veniva toccati. (91)

La procedura venne eseguita sia tramite un approccio addominale sia toracico. Nel 1965 Nissen e il suo allievo, Mario Rossetti, sottolinearono come l'approccio toracico fosse giustificato solo in casi eccezionali tra cui ulcera cronica del cardias, stenosi esofagea e carcinoma, tutti scenari per lo più non presenti nei bambini: in più l'approccio addominale era ed è tecnicamente più semplice e meno traumatico soprattutto nella popolazione pediatrica. (94)

Successivamente vennero apportate alcune modifiche all'intervento tra le quali: l'utilizzo della faccia anteriore dello stomaco per realizzare la "plicatura", l'ampia mobilizzazione del fondo gastrico, la fissazione del lembo gastrico per evitare la sua dislocazione, la chiusura dei pilastri del diaframma (definita anche "cruroplastica"), la creazione di un lembo parziale e l'associazione con piloroplastica e/o gastrostomia in un sottogruppo di pazienti. In particolare nel 1968 Rossetti propose di utilizzare la faccia anteriore dello stomaco: questa modifica permette ora di modellare in maniera più precisa il lembo gastrico, per cui poi divenne la tecnica di scelta nell'Ospedale dove lavorava anche Nissen, appunto. (91)

A metà degli anni '80 Philip E. Donahue e Tom Ryan DeMeester, due chirurghi americani, proposero una procedura definita "short floppy Nissen": questa consisteva in un'ampia mobilizzazione del fondo gastrico, ottenuta grazie alla sezione dei vasi gastrici brevi, una addominalizzazione dell'esofago distale, "cruroplastica" e confezionamento di un lembo breve (2 cm anziché 5) posto poi ad abbracciare l'esofago. Queste modifiche ridussero significativamente il tasso di disfagia e di gas bloat syndrome. (95)

Il chirurgo Bernard Dallemagne fu il primo ad eseguire una Funduplicatio secondo Nissen laparoscopica alla Clinica Saint Joseph a Liege in Belgio, nel gennaio 1991 (96) e un anno dopo il chirurgo americano Keith E. Georgeson eseguì la stessa procedura in Nuova Scozia in Canada (97). Da quel momento in poi la LARS (Laparoscopic antireflux surgery) negli adulti sostituì pressoché

completamente l'approccio "open", con eccellente "outcome" clinico e tassi di successo tra il 90 e il 100% (91).

La prima LARS riportata in ambito pediatrico risale al 1993 e venne eseguita dall'Americano Thom E. Lobe a Memphis in Tennessee in un bambino di 10 anni, obeso con dolore e apnea legati al reflusso gastroesofageo e non responsivi al trattamento medico: l'intervento ebbe esito positivo e il bambino venne dimesso 24 ore dopo. (98)

Attualmente rappresenta il terzo intervento più praticato nella chirurgia pediatrica ma solo di recente si sono resi disponibili ampi studi ma esclusivamente di tipo retrospettivo: non sono ancora disponibili RCT (91).

Fu sempre in Belgio che nel maggio 1998 su due adulti venne eseguito l'intervento di Funduplicatio, mediante l'utilizzo di un robot (99), mentre come è noto come lo stesso intervento in chirurgia pediatrica venne pubblicato nel 2001 da Meininger (46).

3.4.5. La funduplicatio con tecnica laparoscopica

La Funduplicatio eseguita per via laparoscopica rappresenta un intervento fondamentale per la formazione di un chirurgo e spesso viene utilizzato per valutarne l'abilità nonché per stabilirne la curva di apprendimento (100).



Per la Funduplicatio secondo Nissen con tecnica laparoscopica, il paziente è posizionato "in fondo" al tavolo operatorio, mentre il chirurgo si posiziona ai piedi del paziente. Nei lattanti, le gambe sono posizionate a mo' di "rana" mentre nei bambini più grandi, si utilizzano dei gambali con delle imbottiture in maniera da mantenere la posizione "litotomica". Il monitor viene posizionato all'altezza del torace del paziente. Guidati da una videocamera, inserita attraverso la cicatrice ombelicale,

vengono posizionati cinque “trocars”: quelli di lavoro vengono posizionati a metà dei quadranti destro e sinistro, e sempre nel quadrante di destra all’incrocio con la linea cutanea emiclaveare un retrattore epatico, mentre nella parte più alta del quadrante sinistro un retrattore gastrico (101)

L’addome viene insufflato con tecnica chiusa e utilizzando un ago di Veress attraverso un’incisione sottombelicale ad anello; nel caso fosse presente una cicatrice chirurgica in questa area, si utilizza un sito alternativo per evitare il problema delle eventuali e pregresse aderenze intestinali. Le pressioni di insufflazioni variano tra i 10 e i 15 mmHg in base al peso del paziente e alla sua funzione respiratoria: in ogni caso la saturazione di ossigeno e “l’end tidal CO₂” vengono costantemente monitorati. Anche la selezione degli strumenti e dei “trocars” avviene sulla base del peso e delle caratteristiche fisiche del bambino: se minore di 10 kg si ricorre a strumenti di 3 mm da 18 a 20 cm di lunghezza, mentre se maggiore di 10 kg sono sufficienti strumenti di lunghezza. Per quando riguarda gli endoscopi, per bambini più grandi vengono utilizzati quelli da 30° di lunghezza standard di 5 mm di diametro, mentre per i bambini più piccoli quelli da grandangolo di 2,7 e 4 mm di diametro, con una lunghezza di 20 cm. (100)

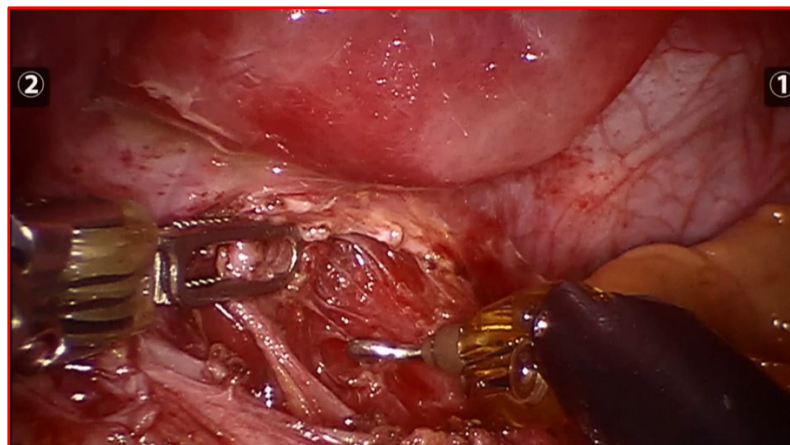
La tecnica chirurgica è stata messa a punto nell’arco di vent’anni: il lobo sinistro del fegato viene sollevato per esporre la giunzione gastroesofagea; a questo punto lo stomaco viene retratto verso sinistra da un assistente e quindi viene inciso il legamento gastroepatico. Poi lo stomaco viene portato verso destra e con un cauterizzatore elettrico o un “sealing device” laparoscopico vengono sezionati i vasi gastrici brevi: è sufficiente una piccola mobilitazione dello stomaco per ottenere un lembo gastrico privo di tensione. A questo punto a partire da destra, facendo attenzione a non ledere il nervo vago, viene creata una finestra retroesofagea. Il pilastro destro del diaframma viene sezionato in modo da identificare chiaramente la giunzione gastroesofagea e ci si assicura di avere una porzione di esofago addominale di adeguata lunghezza. Lo stomaco viene quindi portato dietro la finestra retroesofagea, precedentemente creata e per assicurarsi che non sia andato incontro a torsione viene praticata quella che viene definita “manovra del lustrascarpe” (*shoeshine maneuver*). A questo punto la Funduplicatio viene completata con 3 suture: quella superiore comprende una piccola parte della faccia anteriore dell’esofago e il pilastro destro, mentre le due inferiori solo la prima. Il lembo dovrebbe avere dimensioni di circa 2 – 3 cm e dovrebbe essere orientato a ore 11.

Le complicazioni dell’intervento includono ernia iatale, scivolamento del lembo, ripresentazione della GERD, disfagia persistente e gas bloat syndrome; i fattori di rischio per l’insorgenza includono

giovane età, ernia iatale pre – operatoria, conati di vomito e dilatazione dell'esofago post operatori.
(101)

3.4.6. La fundoplicatio con tecnica robotica

La Fundoplicatio rappresenta una procedura ideale per approcciarsi alla chirurgia robotica pediatrica e insieme alla colecistectomia è uno degli interventi mini invasivi più comuni praticati in questo ambito; rappresenta poi un ottimo “esempio” di come la dimensione del paziente possa influenzare il posizionamento dei “ports”. Quando infatti ne viene selezionata la localizzazione, occorre sempre ricordare che nella chirurgia robotica, tutto si basa sull'angolazione dei bracci tra di loro e non tanto sulla loro distanza, per evitarne la collisione: l'angolo tra la videocamera, il braccio destro e quello sinistro dovrebbe essere di 45°, il che determina un angolo di 90° tra i bracci di lavoro (in genere nei bambini più piccoli si tende a posizionare più lateralmente questi ultimi). Il carrello robotico viene collocato alla testa del paziente e si utilizzano una camera da 8 mm e strumenti da 3 mm.



La dissezione inizia esponendo lo iato e se necessario sezionando i vasi gastrici brevi; se possibile si cerca di preservarne quanti più possibili in quanto una delle più comuni complicanze nella Fundoplicatio è la perforazione gastrica, causata da un danno alla grande curvatura nel momento in cui si toccano i vasi gastrici brevi; successivamente si cerca di ricavare il lembo gastrico e se il fondo non è sufficientemente mobile, si possono sempre sezionare un maggior numero di vasi.

Una volta completata la procedura, ha inizio la creazione della finestra retroesofagea cercando di non danneggiare il nervo vago: di solito per compiere questo passaggio e anche per afferrare il fondo dello stomaco si utilizza una pinza “Maryland” da 5 mm. Quindi si valuta lo iato esofageo: se i pilastri

sono troppo lontani tra loro, vengono riavvicinati utilizzando un filo non assorbibile: tuttavia i difetti più ampi necessitano di un “patch” di correzione del difetto.

A questo punto si afferra la parte di fondo che è stata mobilizzata precedentemente e si porta posteriormente all'esofago, cominciando a confezionare un lembo con punti staccati non riassorbibili, di circa 3 cm di lunghezza.

Rispetto alla procedura laparoscopica che ha una curva di apprendimento di circa e\o almeno 25 casi, la procedura robotica potrebbe averne “una” di meno di 5 casi; inoltre utilizzandola come intervento propedeutico all'apprendimento, essendo la frequenza relativamente alta, si avrebbe la possibilità di eseguire numerose esperienze in un lasso di tempo ridotto. Potrebbe inoltre essere vantaggiosa nel caso di ri - funduplicatio oppure nei bambini in cui è già presente una gastrostomia.

(102)

Thomas P. Cundy dell'Imperial College di Londra, in una metanalisi del 2013 che prendeva in esame la RF (Robot assisted Funduplicatio) e la LF (Laparoscopic Funduplicatio) non ha registrato significative differenze in termini di “outcome” intraoperatorio, durata della degenza in ospedale, complicanze post operatorie e durata totale dell'operazione; tuttavia sono stati sottolineati i costi elevati della RF da un lato e la minore analgesia richiesta nel post operatorio dall'altro (62)

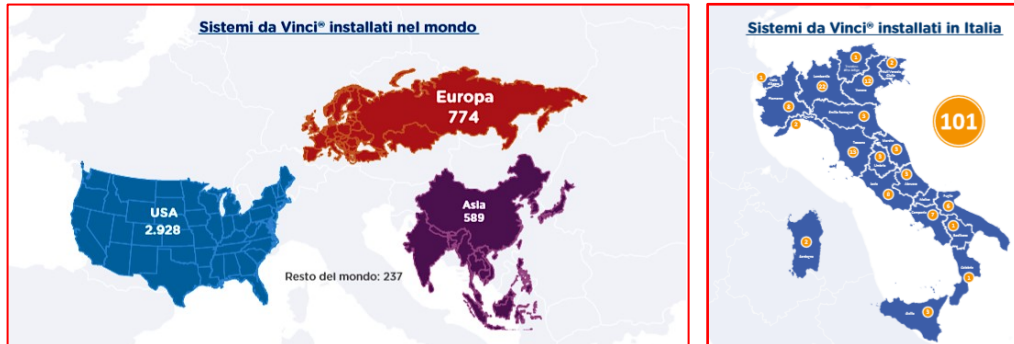
Mette Hambræus dello Skane University Hospital di Lund in Svezia è giunto ad una simile conclusione sottolineando tra i vantaggi della RF la più breve curva di apprendimento (103)

Abdulrahman Albassam della King Saud University in Arabia Saudita in un'analisi comparativa ha invece sottolineato come non essendovi differenze in termini di riduzione dei sintomi, durata della degenza e complicazioni, la RF non offre maggiori benefici rispetto alla LF (104)

John J Meehan nel 2008 suggerì invece come la Funduplicatio con tecnica robotica sia un'eccellente procedura per aprire il chirurgo all'ambito robotico (“Pediatric robotic surgeons need to learn how to walk before they can run”) utilizzandola come punto di partenza per l'esecuzione di procedure più complesse (102)

4. INTRODUZIONE e OBIETTIVO DELLO STUDIO SPERIMENTALE

Nel mondo, fino al mese di Giugno del 2018, risultavano installati più di 4.500 sistemi robotici “da Vinci”; in Italia, nello stesso periodo, erano esattamente 101 i robot chirurgici “operativi”.



E proprio nel nostro Paese, nel 2017 sono state effettuate 17.462 procedure con tecnica robotica in prevalenza ovviamente nella popolazione adulta; e nell'anno successivo sono stati confermati i dati supposti di più di 20.000 interventi.



Lo scopo del nostro studio è quello di confermare la sicurezza, l'efficacia e i vantaggi della Fundoplicatio secondo Nissen eseguita con l'ausilio del robot, in età pediatrica.

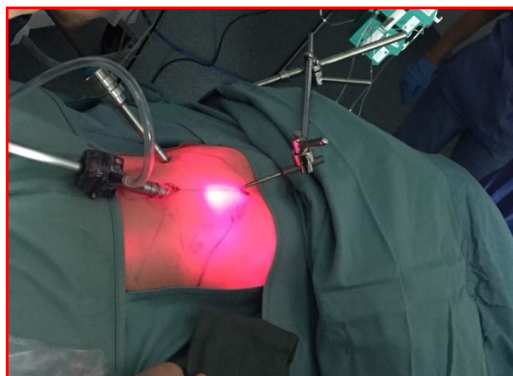


5. MATERIALI E METODI

Dal dicembre del 2016 fino ad oggi, presso il reparto di Chirurgia Pediatrica del Presidio di Alta Specializzazione materno infantile “G. Salesi” di Ancona nelle Marche, sono stati sottoposti a Funduplicatio secondo Nissen con tecnica robotica otto pazienti, di cui 5 di sesso femminile.



Cinque di questi presentavano GERD e uno di loro, con un grave “deficit” neurologico, presentava una gastrostomia percutanea (PEG).



La più piccola di questi pazienti di circa un anno di età, era affetta da pregressa atresia esofagea con stenosi residua resistente a dilatazioni progressive e GERD; due pazienti presentavano ernia iatale sintomatica con severi deficit dal punto di vista respiratorio.

Al momento dell'intervento il peso dei pazienti era compreso tra 9 e 43 kg, mentre l'età era appunto tra 1 anno e 15 giorni e 12 anni e 9 mesi, con un'età media di circa 10,3 anni; mentre l'altezza tra 78 cm e 133 cm.

Materiali e metodi		
Età	Peso	Altezza
8 anni 1 mese	25 Kg.	132 cm.
1 anno	9,5 Kg.	78 cm.
7 anni 8 mesi	12 Kg.	110 cm.
9 anni 2 mesi	22 Kg.	116 cm.
8 anni 8 mesi	43 Kg.	133 cm.
8 anni 11 mesi	18 Kg.	119 cm.
4 anni 3 mesi	13 Kg.	98 cm.
12 anni 9 mesi	16 Kg.	128 cm.


 SOD di Chirurgia Pediatrica e delle Specialità Chirurgiche
 Presidio Ospedaliero di Alta Specializzazione Materno Infantile "G. Salesi" - Ancona

6. RISULTATI

La durata dell'intervento è stata compresa tra 1 ora e 50 minuti e 3 ore e 5 minuti, comprendendo in questa tutte le procedure preoperatorie e anche il posizionamento di gastrostomia percutanea, con una progressiva riduzione una volta acquisito lo "skill" necessario.

Durata dell'intervento	
1 M	2 ore e 50 minuti (+g)
2 F	1 ora 50 minuti
3 F	2 ore 30 minuti
4 M	3 ore e 5 minuti
5 F	2 ore 10 minuti
6 F	2 ore e 55 minuti (+g)
7 M	2 ore 5 minuti
8 F	2 ore e 10 minuti (+g)


 SOD di Chirurgia Pediatrica e delle Specialità Chirurgiche
 Presidio Ospedaliero di Alta Specializzazione Materno Infantile "G. Salesi" - Ancona

Il dolore post operatorio è stato ben controllato con la sola somministrazione di paracetamolo endovena (15mg/Kg. x 4/die).

La degenza post operatoria è stata compresa tra 2 e 6 giorni, considerando poi che i giorni di degenza "maggiori" hanno compreso complicanze legate alla patologia di base nei pazienti cerebropatici.

Non si sono verificate complicanze relative alla procedura chirurgica e in nessun paziente è stata necessaria la conversione a tecnica laparoscopica o “open”.

Ad una mediana di “follow up” di 23 mesi, tutti i pazienti si presentano asintomatici in assenza di recidiva di malattia.

7. DISCUSSIONE

La Funduplicatio secondo Nissen con tecnica robotica presenta un'efficacia ed una sicurezza sovrapponibili agli standard rispetto allo stesso tipo di procedura eseguita con laparoscopica;



presenta un maggiore precisione ed è di facile esecuzione. Le diverse proprietà di questo tipo di chirurgia, rendono, inoltre, più breve la curva di apprendimento a tale metodica, anche se ad approcciarsi alla chirurgia robotica sono prevalentemente operatori esperti già in chirurgia laparoscopica, per cui tale passaggio risulta più naturale. Gli indiscutibili vantaggi di tale metodica, in Chirurgia Pediatrica, vanno però ancora soppesati ai suoi costi: senza entrare nel dettaglio, va sottolineato che oltre al costo complessivo del Robot (composto da console chirurgica, carrello paziente e carrello visione), vanno aggiunti quelli degli strumenti specifici e per la loro manutenzione. Le evidenze scientifiche dimostrano però, come la minore ospedalizzazione e inferiori necessità di ulteriori cure o terapie (terapia antibiotica o antidolorifica) riescano ad ammortizzare le spese della chirurgia robotica rispetto alla tradizionale chirurgia laparotomica.

BIBLIOGRAFIA

1. Iavazzo C, Gkegke XE, Iavazzo PE, Gkegkes ID. Evolution of robots throughout history from Hephaestus to Da Vinci Robot. *Acta Med Hist Adriat*. 2014;12(2):247-258.
2. Marino MV, Shabat G, Gulotta G, Komorowski AL. From Illusion to Reality: A Brief History of Robotic Surgery. *Surg Innov*. 2018;25(3):291-296.
3. Avizzano C.A.(2005), La robotica, in *Pianeta Galileo 2005*, a cura di Peruzzi A, Firenze, Regione Toscana, pp. 285 – 299
4. Antoniou SA, Antoniou GA, Koutras C, Antoniou AI. Endoscopy and laparoscopy: a historical aspect of medical terminology. *Surg Endosc*. 2012;26(12):3650-3654. doi:10.1007/s00464-012-2389-y
5. Litynski GS. Laparoscopy--the early attempts: spotlighting Georg Kelling and Hans Christian Jacobaeus. *JSLs*. 1997;1(1):83-85.
6. Hatzinger M, Kwon ST, Langbein S, Kamp S, Häcker A, Alken P. Hans Christian Jacobaeus: Inventor of human laparoscopy and thoracoscopy. *J Endourol*. 2006;20(11):848-850. doi:10.1089/end.2006.20.848
7. Nezhat C. Nezhat's History of Endoscopy – A Historical Analysis of Endoscopy's Ascension since Antiquity (2nd edition). *Endo:Press*, Tuttlingen, Germany, 2011, cap. 13
8. Litynski GS. Laparoscopy between the world wars: the barriers to trans-atlantic exchange. Spotlighting Heinz Kalk and John C. Ruddock. *JSLs*. 1997;1(2):185-188.
9. Antoniou SA, Antoniou GA, Antoniou AI, Grandrath FA. Past, Present, and Future of Minimally Invasive Abdominal Surgery. *JSLs*. 2015;19(3):e2015.00052. doi:10.4293/JSLs.2015.00052
10. Hima, H.S.. (2003). Minimally invasive (laparoscopic) surgery - The future of general surgery. *Surgical endoscopy*. 16. 1647-52. 10.1007/s00464-001-8275-7.
11. Blum CA, Adams DB. Who did the first laparoscopic cholecystectomy?. *J Minim Access Surg*. 2011;7(3):165-168. doi:10.4103/0972-9941.83506
12. Berci G. Sakier J.M.: "A new endoscopic treatment for symptomatic gallbladder disease" *Gastr Endosc Clin North Am* 1:191, 1991
13. Mc Sherry C. K.: "Cholecystectomy: the gold standard" *Am J Surg* 158: 174-178, 1989

14. Tam, Paul. (2000). Laparoscopic surgery in children. *Archives of disease in childhood*. 82. 240-3.
15. Experience with minimally invasive surgery in infants Rothenberg, Steven S et al.
The American Journal of Surgery, Volume 176, Issue 6, 654 - 658
16. Blinman T, Ponsky T. Pediatric minimally invasive surgery: laparoscopy and thoracoscopy in infants and children. *Pediatrics*. 2012;130(3):539-549. doi:10.1542/peds.2011-2812
17. Zdichavsky M, Schmidt A, Luithle T, Manncke S, Fuchs J. Three-dimensional laparoscopy and thoracoscopy in children and adults: A prospective clinical trial. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2015;24(3):154-160. doi:10.3109/13645706.2014.968171
18. Ure BM, Jesch NK, Glüer S. What's new in minimally invasive paediatric surgery?. *Eur J Pediatr Surg*. 2002;12(6):361-365. doi:10.1055/s-2002-36854
19. Ponsky TA, Ponsky JL. Advances in minimally invasive surgery. *Gastroenterology*. 2009;136(4):1171-1173. doi:10.1053/j.gastro.2009.02.029
20. Stylopoulos N, Rattner D. Robotics and ergonomics. *Surg Clin North Am*. 2003;83(6):1321-1337. doi:10.1016/S0039-6109(03)00161-0
21. Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA, Hayati S. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1988;35(2):153-160. doi:10.1109/10.1354
22. Badaan, Shadie & Stoianovici, Dan. (2011). *Robotic Systems: Past, Present, and Future*. 10.1007/978-1-84882-114-9_59.
23. Davies BL, Hibberd RD, Coptcoat MJ, Wickham JE. A surgeon robot prostatectomy—a laboratory evaluation. *J Med Eng Technol*. November–December, 1989;13(6): 273–277.
24. Lane T. A short history of robotic surgery. *Ann R Coll Surg Engl*. 2018;100(6_sup):5-7. doi:10.1308/rcsann.suppl1.5
25. Lev Manovich, *Il linguaggio dei nuovi media*, Milano, Edizioni Olivares, 2002, p. 211
26. Scott Fisher, "Visual Interface Environments", in Brenda Laurel (a cura di), *The Art and Human-Computer Interface Design*, Reading (Mass.), Addison-Wesley, 1990, p. 427.
27. Leal Ghezzi T, Campos Corleta O. 30 Years of Robotic Surgery. *World J Surg*. 2016;40(10):2550-2557. doi:10.1007/s00268-016-3543-9
28. Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg*. 2004;239(1):14-21. doi:10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d

29. George EI, Brand TC, LaPorta A, Marescaux J, Satava RM. Origins of Robotic Surgery: From Skepticism to Standard of Care. *JSLs*. 2018;22(4): e2018.00039. doi:10.4293/JSLs.2018.00039
30. Hashizume M, Konishi K, Tsutsumi N et al (2002) A new era of robotic surgery assisted by a computer-enhanced surgical system. *Surgery* 131(11):S330–S333
31. 16. Reichenspurner H, Damiano RJ, Mack M, et al. Use of the voice-controlled and computer-assisted surgical system ZEUS for endoscopic coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1999;118:11-16.
32. Marescaux J, Leroy J, Gagner M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature*. 2001;413:379-380.
33. Cadière, M.D., Ph.D., G., Himpens, M.D., J., Germain, O. et al. Feasibility of Robotic Laparoscopic Surgery: 146 Cases. *World J Surg* **25**, 1467–1477 (2001). <https://doi.org/10.1007/s00268-001-0132-2>
34. Roh HF, Nam SH, Kim JM (2018) Robot-assisted laparoscopic surgery versus conventional laparoscopic surgery in randomized controlled trials: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 13(1): e0191628. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191628>
35. O'Neill M, Moran PS, Teljeur C, et al. Robot-assisted hysterectomy compared to open and laparoscopic approaches: systematic review and meta-analysis. *Arch Gynecol Obstet*. 2013;287(5):907-918. doi:10.1007/s00404-012-2681-z
36. Lin S, Jiang HG, Chen ZH, Zhou SY, Liu XS, Yu JR. Meta-analysis of robotic and laparoscopic surgery for treatment of rectal cancer. *World J Gastroenterol*. 2011;17(47):5214-5220. doi:10.3748/wjg.v17.i47.5214
37. Storz P, Buess GF, Kunert W, Kirschniak A. 3D HD versus 2D HD: surgical task efficiency in standardised phantom tasks. *Surg Endosc*. 2012;26(5):1454-1460. doi:10.1007/s00464-011-2055-9
38. Knight J, Escobar PF. Cost and robotic surgery in gynecology. *J Obstet Gynaecol Res*. 2014;40(1):12-17. doi:10.1111/jog.12197
39. Amodeo A, Linares Quevedo A, Joseph JV, et al. Robotic laparoscopic surgery: cost and training. *Minerva Urol Nefrol*. 2009;61:121–128
40. Teljeur C, O'Neill M, Moran PS, et al. Economic evaluation of robot-assisted hysterectomy: a cost-minimisation analysis. *BJOG*. 2014;121:1546–1553

41. Matsuyama T, Kinugasa Y, Nakajima Y, Kojima K. Robotic-assisted surgery for rectal cancer: Current state and future perspective. *Ann Gastroenterol Surg.* 2018;2(6):406-412. Published 2018 Sep 5. doi:10.1002/ags3.12202
42. Higgins RM, Frelich MJ, Bosler ME, Gould JC. Cost analysis of robotic versus laparoscopic general surgery procedures. *Surg Endosc.* 2017;31(1):185-192. doi:10.1007/s00464-016-4954-2
43. Lendvay TS, Hannaford B, Satava RM. Future of robotic surgery. *Cancer J.* 2013;19(2):109-119. doi:10.1097/PPO.0b013e31828bf822
44. Kaul, Sanjeev & Shah, Nikhil & Menon, Mani. (2006). Learning curve using robotic surgery. *Current urology reports.* 7. 125-9. 10.1007/s11934-006-0071-4.
45. Schreuder H, Verheijen R. Robotic surgery. *BJOG* 2009;116:198–213.
46. Meininger DD, Byhahn C, Heller K, Gutt CN, Westphal K. Totally endoscopic Nissen fundoplication with a robotic system in a child. *Surg Endosc.* 2001;15(11):1360. doi:10.1007/s00464-001-4200-3
47. Mahida JB, Cooper JN, Herz D, et al. Utilization and costs associated with robotic surgery in children. *J Surg Res.* 2015;199(1):169-176. doi:10.1016/j.jss.2015.04.087
48. Esposito C, Masieri L, Castagnetti M, et al. Current Status of Pediatric Robot-Assisted Surgery in Italy: Epidemiologic National Survey and Future Directions [published online ahead of print, 2020 Jan 9]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A.* 2020;10.1089/lap.2019.0516. doi:10.1089/lap.2019.0516
49. Fernandez N, Farhat WA. A Comprehensive Analysis of Robot-Assisted Surgery Uptake in the Pediatric Surgical Discipline. *Front Surg.* 2019;6:9. Published 2019 Mar 12. doi:10.3389/fsurg.2019.00009
50. Mattioli G., Petralia P, “From Laparoscopy to Robotic Surgery: Sense and Nonsense” in Mattioli G, Petralia P, editors. *Pediatric Robotic Surgery.* 1st. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2017
51. Denning NL, Kallis MP, Prince JM. Pediatric Robotic Surgery. *Surg Clin North Am.* 2020;100(2):431-443. doi:10.1016/j.suc.2019.12.004
52. Meehan JJ, Sandler A. Pediatric robotic surgery: A single-institutional review of the first 100 consecutive cases. *Surg Endosc.* 2008;22(1):177-182. doi:10.1007/s00464-007-9418-2

53. Chaussy Y, Becmeur F, Lardy H, Aubert D. Robot-assisted surgery: current status evaluation in abdominal and urological pediatric surgery. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 2013;23(6):530-538. doi:10.1089/lap.2012.0192
54. Cave J, Clarke S. Paediatric robotic surgery. *Ann R Coll Surg Engl*. 2018;100(Suppl 7):18-21. doi:10.1308/rcsann.supp2.18
55. Howe A, Kozel Z, Palmer L. Robotic surgery in pediatric urology. *Asian J Urol*. 2017;4(1):55-67. doi:10.1016/j.ajur.2016.06.002
56. Peters CA, Schluskel RN, Retik AB. Pediatric laparoscopic dismembered pyeloplasty. *J Urol*. 1995;153:1962–1965.
57. Monn MF, Bahler CD, Schneider EB, Sundaram CP. Emerging trends in robotic pyeloplasty for the management of ureteropelvic junction obstruction in adults. *J Urol*. 2013;189(4):1352–7.
58. Spinoit AF, Nguyen H, Subramaniam R. Role of Robotics in Children: A brave New World!. *Eur Urol Focus*. 2017;3(2-3):172-180. doi:10.1016/j.euf.2017.08.011
59. Peters A.C., Sheth K. , Pediatric Robotic Pyeloplasty in Mattioli G, Petralia P, editors. *Pediatric Robotic Surgery*. 1st. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2017
60. Nguyen H. T., Smith S.C , Robotic Assisted Laparoscopic Complete and Partial Nephrectomy in Children, in Mattioli G, Petralia P, editors. *Pediatric Robotic Surgery*. 1st. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2017
61. Subramaniam R. Current Use of and Indications for Robot-assisted Surgery in Paediatric Urology. *Eur Urol Focus*. 2018;4(5):662-664. doi:10.1016/j.euf.2018.08.020
62. Sávio LF, Nguyen HT. Robot-assisted laparoscopic urological surgery in children. *Nat Rev Urol*. 2013;10(11):632-639. doi:10.1038/nrurol.2013.220
63. Cundy TP, Harling L, Marcus HJ, Athanasiou T, Darzi AW. Meta analysis of robot-assisted versus conventional laparoscopic fundoplication in children. *J Pediatr Surg*. 2014;49(4):646-652. doi:10.1016/j.jpedsurg.2013.12.014
64. Cundy TP, Rowland SP, Gattas NE, White AD, Najmaldin AS. The learning curve of robot-assisted laparoscopic fundoplication in children: a prospective evaluation and CUSUM analysis. *Int J Med Robot*. 2015;11(2):141-149. doi:10.1002/rcs.1610
65. Desautel MG, Stock J, Hanna MK. Mullerian duct remnants: surgical management and fertility issues. *JUrol*. 1999;162(3):1008–1013

66. Meehan JJ, Sandler A. Robotic repair of a Bochdalek congenital diaphragmatic hernia in a small neonate: robotic advantages and limitations. *J Pediatr Surg* 2007; 42(10): 1,757–1,760.
67. Meehan JJ, Torres JE. Robotic repair of Morgagni congenital diaphragmatic hernia in an infant. *J Robot Surg.* 2008;2(2):97-9.
68. Meehan JJ, Elliott S, Sandler A. The robotic approach to complex hepatobiliary anomalies in children: preliminary report. *J Pediatr Surg.* 2007;42(12):2110-2114. doi:10.1016/j.jpedsurg.2007.08.040
69. Woo R, Le D, Albanese CT, Kim SS. Robot assisted laparoscopic resection of a type I choledochal cyst in a child. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A.* 2006;16(2):179–183
70. Lee RS, Passerotti CC, Cendron M, et al. Early results of robot assisted laparoscopic lithotomy in adolescents. *J Urol.* 2007;177(6): 2306–2310
71. Baird CW, Stamou SC, Skipper E, Watts L. Total endoscopic repair of a pediatric atrial septal defect using the da Vinci robot and hypothermic fibrillation. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2007;6(6):828–829
72. Alizai N., Najmaldin A., Wang K. Y., Paediatric Robotic Surgery: Complications in Mattioli G, Petralia P, editors. *Pediatric Robotic Surgery.* 1st. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2017
73. Najmaldin A, Antao B. Early experience of tele-robotic surgery in children. *Int J Med Robot.* 2007;3(3):199–202
74. Iranmanesh P, Morel P, Wagner OJ, Inan I, Pugin F, Hagen ME. Set-up and docking of the da Vinci surgical system: prospective analysis of initial experience. *Int J Med Robot.* 2010;6(1):57–60.
75. Iranmanesh P, Morel P, Buchs NC, Pugin F, Volonte F, Kreaden US, Hagen ME. Docking of the da Vinci Si Surgical System® with single-site technology. *Int J Med Robot.* 2013;9(1):12–6.
76. van Haasteren G, Levine S, Hayes W. Pediatric robotic surgery: early assessment. *Pediatrics.* 2009;124(6):1642-1649. doi:10.1542/peds.2008-3822
77. Pelizzo G, Operating Room Setting and Robotic Instrumentation. in Mattioli G, Petralia P, editors. *Pediatric Robotic Surgery.* 1st. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2017

78. De Waal EE, Kalkman CJ. Haemodynamic changes during low-pressure carbon dioxide pneumoperitoneum in young children. *Paediatr Anaesth.* 2003;13(1):18-25. doi:10.1046/j.1460-9592.2003.00973.x
79. Oderda G.(2013), Apparato digerente, *Pediatria Pratica* , Bona G., Miniero R., IX edizione, Torino, Minerva Medica, pp. 101 – 144
80. Rosen R, Vandenplas Y, Singendonk M, et al. Pediatric Gastroesophageal Reflux Clinical Practice Guidelines: Joint Recommendations of the North American Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition and the European Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 2018;66(3):516-554. doi:10.1097/MPG.0000000000001889
81. Leung AK, Hon KL. Gastroesophageal reflux in children: an updated review. *Drugs Context.* 2019;8:212591. Published 2019 Jun 17. doi:10.7573/dic.212591
82. Faubion WA Jr, Zein NN. Gastroesophageal reflux in infants and children. *Mayo Clin Proc.* 1998;73(2):166-173. doi:10.1016/S0025-6196(11)63650-1
83. Sherman PM, Hassall E, Fagundes-Neto U, et al. A global, evidence-based consensus on the definition of gastroesophageal reflux disease in the pediatric population. *Am J Gastroenterol.* 2009;104(5):1278–1295, quiz 1296
84. Rybak A, Pesce M, Thapar N, Borrelli O. Gastro-Esophageal Reflux in Children. *Int J Mol Sci.* 2017;18(8):1671. Published 2017 Aug 1. doi:10.3390/ijms18081671
85. National Institute of Health and Care Excellence (NICE). Clinical knowledge summaries on gastroesophageal reflux disease in children available on www.nice.org.uk/guidance/NG1
86. Czinn SJ, Blanchard S. Gastroesophageal reflux disease in neonates and infants: when and how to treat. *Paediatr Drugs.* 2013;15(1):19–27. <http://doi.org/10.1007/s40272-012-0004-2>
87. Schier F. Indications for laparoscopic antireflux procedures in children. *Semin Laparosc Surg.* 2002;9(3):139-145.
88. Gastroesophagealreflux: Surgical perspective. J. Garza, T. Jaksic M. Mc Guian, Dpt of Surgery, Children's hospital of Boston and Harvard university Medical School.Dec 30, 200
89. Bax N.M.A., van der Zee D.C., Laparoscopic Anterior Fundoplication of the Stomach According to Thal (2004) in Esposito C., Montupet P., Rothenberg S. (eds) *The Gastroesophageal Reflux in Infants and Children.* Springer, Berlin, Heidelberg

90. Boix Ochoa J., Broto J., Boix-Ochoa Procedure (2004) in Esposito C., Montupet P., Rothenberg S. (eds) *The Gastroesophageal Reflux in Infants and Children*. Springer, Berlin, Heidelberg
91. Guys J.M., Castagnetti M., Benmiloud F., A Retrospective Analysis of Fifty Years of Open Surgery in the Treatment of Gastroesophageal Reflux (2004) in Esposito C., Montupet P., Rothenberg S. (eds) *The Gastroesophageal Reflux in Infants and Children*. Springer, Berlin, Heidelberg
92. Montupet P. Toupet's Procedure (2004), in Esposito C., Montupet P., Rothenberg S. (eds) *The Gastroesophageal Reflux in Infants and Children*. Springer, Berlin, Heidelberg
93. Liebermann-Meffert D. Rudolf Nissen (1896-1981)-perspective. *J Gastrointest Surg*. 2010;14 Suppl 1:S58-S61. doi:10.1007/s11605-009-1019-z
94. Nissen R, Rossetti M (1965) Surgery of hiatal and other diaphragmatic hernias. *J Int Coll Surg* 43:663–674
95. Andrade V.L.A, Herbella F.A.M, Historical Notes on the Surgical Treatment of GERD (2020) in Di Corpo M., Patti M.G, Schlottmann F. in *Foregut Surgery: Achalasia, Gastroesophageal Reflux Disease and Obesity*, Springer Nature, 2019
96. Dallemagne B, Weets JM, Jehaes C, et al (1991) Laparoscopic Nissen fundoplication. Preliminary report. *Surg Laparosc Endosc* 1:138–143
97. Georgeson KE (1993) Laparoscopic gastrostomy and fundoplication. *Pediatr Ann* 92:675–677
98. Lobe TE, Schropp KP, Lunsford K. Laparoscopic Nissen fundoplication in childhood. *J Pediatr Surg*. 1993;28(3):358-361. doi:10.1016/0022-3468(93)90231-9
99. Cadière GB, Himpens J, Vertruyen M, et al. Nissen fundoplication done by remotely controlled robotic technique. *Ann Chir* 1999;53:137–141
100. Rothenberg, Nissen's Procedure (2004), in Esposito C., Montupet P., Rothenberg S. (eds) *The Gastroesophageal Reflux in Infants and Children*. Springer, Berlin, Heidelberg
101. Slater BJ, Rothenberg SS. Gastroesophageal reflux. *Semin Pediatr Surg*. 2017;26(2):56-60. doi:10.1053/j.sempedsurg.2017.02.007
102. Meehan J., Gastric Fundoplication, in Mattioli G, Petralia P, editors. *Pediatric Robotic Surgery*. 1st. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2017
103. Hambræus M, Arnbjörnsson E, Anderberg M. A literature review of the outcomes after robot-assisted laparoscopic and conventional laparoscopic Nissen fundoplication for gastro-

esophageal reflux disease in children. *Int J Med Robot.* 2013;9(4):428-432.
doi:10.1002/rcs.1517

104. Albassam AA, Mallick MS, Gado A, Shoukry M. Nissen fundoplication, robotic-assisted versus laparoscopic procedure: a comparative study in children. *Eur J Pediatr Surg.* 2009;19(5):316-319. doi:10.1055/s-0029-1220680