Gestione anestesiologicala del bambino in chirurgia robotica

Carmelo Minardi, Eleonora Bertone, Marinella Astuto

Anestesia e Rianimazione I, Azienda Ospedaliero Universitaria Policlinico "G. Rodolico - San Marco", Catania

Introduzione

I progressi raggiunti nel campo dei sistemi e strumenti robotici hanno contribuito, specie nell'ultimo decennio, ad una forte espansione di questa chirurgia minimamente invasiva anche ai piccoli pazienti. Sebbene le problematiche gestionali da dover affrontare siano pressoché simili a quelle di una laparoscopia convenzionale (entrambe le metodiche richiedono l'insufflazione di CO₂ per consentire l'esecuzione dell'intervento chirurgico), l'anestesista sarà chiamato a dover superare nuove sfide che richiederanno le conoscenze riguardanti l'anatomia e la fisiologia del bambino e le competenze necessarie per gestire rapidamente eventuali complicanze.

Nei pazienti pediatrici le pressioni e i volumi di insufflazione richiesti, durante lo pneumoperitoneo, sono inferiori (date le piccole dimensioni dell'addome e la lassità delle pareti addominali).

La sommatoria tra l'aumento della pressione intra-addominale, l'assorbimento di CO₂, la necessità di un posizionamento chirurgico specifico, può provocare un impatto neuroendocrino e meccanico in grado di inficiare la funzione cardiopolmonare⁽¹⁾.

Recentemente la chirurgia ricostruttiva robotica ha esteso il suo campo di applicazione anche ai bambini di peso inferiore ai 10 kg ottenendo buoni risultati⁽²⁻⁴⁾, grazie allo sviluppo di strumenti più piccoli (5mm)⁽⁵⁾.

Le procedure più comuni, in chirurgia robotica pediatrica, sono la pielo-uretero-plastica, l'impianto ureterale e la *funduplicatio*^(6,7).

Vantaggi

La chirurgia robotica offre i seguenti vantaggi:

- riduzione del consumo di analgesici nel post-operatorio ^(1,8,9);
- riduzione delle complicanze perioperatorie (respiratorie, emorragiche) ⁽⁹⁾;
- rapido recupero della peristalsi e quindi della ripresa all'alimentazione per os ⁽¹⁾;
- deambulazione precoce ^(1,9);
- degenze ospedaliere più brevi ^(8,9);
- benefici estetici: minore stress chirurgico e migliore cosmesi ^(4,8,9).

La chirurgia robotica supera anche alcune delle carenze delle tecniche laparoscopiche o endoscopiche:

- migliore precisione grazie alla stabilità delle immagini ottenute dalla videocamera (non più operatore-dipendente) e all'eliminazione del tremore ^(8,10,11);
- la vista tridimensionale con possibilità di ingrandimento dell'immagine (da 10 a 15 volte) ^(8,10-12);
- migliore ergonomia e minore affaticamento del chirurgo ^(8,10,11);
- migliore accuratezza nei movimenti grazie all'impiego di strumenti con sette gradi (contro i 4 della laparoscopia convenzionale) di libertà in grado di riprodurre i movimenti della mano con elevata precisione ^(8, 10-12).

Svantaggi

Da un punto di vista anestesilogico, i rischi aggiuntivi rispetto a una laparoscopia convenzionale, sono associati al posizionamento del robot nei confronti del paziente, alla durata dell'intervento e allo pneumoperitoneo. Pertanto, il paziente che si sottopone ad un intervento in chirurgia robotica deve fruire di un monitoraggio completo ⁽¹³⁾.

Management anestesilogico

Non esiste una strategia anestesilogica dedicata alla chirurgia robotica nei pazienti pediatrici e non ci sono controindicazioni specifiche nell'utilizzo di alcun farmaco ⁽¹⁾.

Valutazione preoperatoria

La valutazione pre-anestesiologica prevede l'accertamento delle condizioni generali del paziente, al fine di poter individuare i pazienti candidabili a questo tipo di chirurgia.

La visita deve avvenire almeno un giorno prima dell'intervento.

L'aspetto su cui è necessario focalizzare la nostra attenzione è la valutazione di eventuali comorbidità che potrebbero influire sulla capacità di tollerare l'intervento chirurgico e i cambiamenti fisiologici innescati da un lungo periodo di pneumoperitoneo. Le anomalie congenite dovrebbero essere adeguatamente indagate specialmente quelle a carico delle vie aeree, del sistema nervoso, cardiovascolare e respiratorio⁽¹³⁾.

Particolarmente approfondita e attenta dovrà essere la selezione e la valutazione preoperatoria dei pazienti che dovranno sottoporsi ad interventi di chirurgia toracica, date le difficoltà nel mantenere la stabilità emodinamica e respiratoria durante la ventilazione mono-polmonare e il capnotorace⁽¹⁴⁾.

- **Storia clinica:** anamnesi fisiologica, patologica prossima e remota, farmaci assunti, allergie a farmaci/alimenti o ad altre sostanze (lattice), precedenti anestesi, storia familiare.
- **Esame obiettivo:** valutazione accurata delle vie aeree, apparato cardiovascolare, respiratorio, neurologico, degli altri organi e sistemi, valutazione dello stato di idratazione del paziente.
- **Esami ematochimici e strumentali:** nei pazienti di età superiore a 12 mesi, in interventi di elezione, non necessariamente devono essere richiesti^(15,16):
 - emoglobina → indicata solo per interventi potenzialmente emorragici;
 - glicemia, creatininemia, transaminasemia, elettrolitemia → solamente in presenza di turbe digestive, di alterazioni dell'equilibrio acido-base o di assunzione di diuretici⁽¹⁷⁾;
 - test di coagulazione → l'esame fisico accurato e la raccolta della storia clinica del bambino e dei suoi parenti (genitori, fratelli) sono i mezzi più importanti per evidenziare un disordine coagulativo, soprattutto se vengono utilizzati questionari standardizzati (questionario di Watson-Williams) da sottoporre al bambino e ai genitori⁽¹⁸⁾;

- test di gravidanza → in tutte le pazienti femmine in età fertile, dopo adeguata informazione della paziente e dei genitori;
- elettrocardiografica, ecografia, consulenza cardiologia specialistica → in presenza di soffio cardiaco di dubbia interpretazione, sospetto di cardiopatia congenita, episodi di apnea ostruttiva nel sonno (OSA), scoliiosi grave, displasia bronco-polmonare (BPD) e malattia neuromuscolare^(17,19), neonato e lattante sotto i 6 mesi;
- radiografia del torace → pazienti con anamnesi positiva per BPD, gravemente asmatici, affetti da malattia neuromuscolare e ogniqualvolta l'esame obiettivo e la storia clinica suggeriscano la necessità di un approfondimento.
- Richiesta *type and screen* negli interventi potenzialmente emorragici.
- Acquisizione del consenso da parte dei genitori, spiegando loro il tipo di anestesia di analgesia post-operatoria ed i rischi correlati. I genitori devono anche essere informati sulla possibilità di trasfusione di sangue ed eventuale ricovero in terapia intensiva.

Digiuno preoperatorio

Le raccomandazioni per il digiuno nella popolazione pediatrica sono le stesse dei pazienti che si devono sottoporre ad un qualsiasi altro intervento di chirurgia pediatrica⁽²⁰⁾.

Management intraoperatorio

- Comunicazione efficace e chiara tra tutti i membri del *team* (chirurghi, anestesisti e infermieri).
- Accessi venosi: posizionamento di almeno un catetere venoso al di sopra del livello diaframmatico; e dopo l'inizio dell'anestesia, si consiglia di reperire un secondo accesso venoso aggiuntivo, che potrebbe mostrarsi utile in caso di emergenza o qualora si preveda una perdita di sangue.
- Monitoraggio intraoperatorio secondo gli *standard* dell'*American Society of Anesthesiologists* (ASA)
 - Parametri vitali: elettrocardiogramma, saturimetria, capnografia, pressione arteriosa non invasiva, sonda della temperatura.

- Pressione arteriosa invasiva continua può essere valutata sulla base:
 - 1) delle condizioni cliniche del paziente (pazienti con patologie cardiovascolari, respiratorie, renali);
 - 2) di previsione di perdite di sangue rilevanti;
 - 3) della durata dell'intervento;
 - 4) della possibilità di eseguire EGA seriati per monitorare:
 - i gas nel sangue arterioso, al fine di poter gestire al meglio le conseguenze dello pneumoperitoneo e l'assorbimento della CO_2 ^(1,21);
 - eccesso di basi ed elettroliti, specie nei pazienti che si sottopongono a chirurgia renale. Questi pazienti possono presentare elevati livelli di potassio in seguito alla combinazione tra acidosi metabolica e respiratoria indotta dallo pneumotorace. Nei pazienti con insufficienza renale è stata riscontrata un'associazione tra chirurgia laparoscopica e iperkaliemia, specialmente in procedure prolungate ⁽²²⁾.
- Monitoraggio attento della frequenza cardiaca (FC) durante tutte le manipolazioni intra-addominali: l'insufflazione iniziale può stimolare il riflesso di Bezold-Jarisch, e i riflessi vagali rapidi possono richiedere la cessazione immediata della manipolazione chirurgica e l'eventuale trattamento con atropina ^(23,24).
- Profondità dell'anestesia tramite *bispectral index* (BIS) per consentire una titolazione più semplice del dosaggio degli ipnotici.
- Curarizzazione tramite monitoraggio attraverso *train of four* (TOF).
- Diuresi oraria: far svuotare la vescica al bambino prima di entrare in sala operatoria oppure inserire il catetere urinario, è essenziale per ridurre il rischio di perforazione accidentale durante il posizionamento dell'ago per l'insufflazione negli interventi del basso addome e per controllare la diuresi oraria ^(25,26).
- Temperatura tramite posizionamento della sonda posta in faringe, esofago distale o retto.

Evitare ipotermia → utilizzare: fluidi caldi, materassini riscaldanti, umidificatori termici, riscaldatori ad aria calda forzata, coprire la testa del bambino che è la principale fonte di dispersione. Il gas di insufflazione

deve essere riscaldato e i flussi di insufflazione devono essere mantenuti al di sotto di 2 l/min^(23,27,28). Aggiustare la temperatura di sala operatoria a 24°C, evitare ipertermia.

- Glicemia:

→ ipoglicemia: specie nei pazienti sottoposti a lungo digiuno, per quelli a rischio di ipovolemia, nei pazienti sottoposti ad interventi di lunga durata. Una soluzione di destrosio all'1-2,5% in Ringer lattato, somministrata con pompa ad infusione a tasso di mantenimento può essere agganciata al deflussore endovenoso principale;

→ iperglicemia: in caso di infusioni prolungate di destrosio 5% in Ringer lattato;

• Premedicazione

- Profilassi antibiotica diversa a seconda dell'intervento⁽²⁹⁾.

- Ansiolisi: per la maggior parte dei bambini l'ansiolisi potrebbe essere ottenuta grazie a tecniche di distrazione durante l'induzione dell'anestesia piuttosto che alla premedicazione farmacologica⁽³⁰⁾. Di solito non necessaria sotto i 6 mesi (rispondono bene alla separazione dai genitori). L'alternativa farmacologica di prima scelta, quando richiesta, è rappresentata da:

→ midazolam, somministrabile per via orale (0,3-0,5 mg/kg), rettale (0,5 mg/kg), sublinguale (0,3 mg/kg) e nasale (0,3 mg/kg)⁽³¹⁾ circa 15-30 minuti prima dell'arrivo in sala operatoria;

→ clonidina 4 µg/kg per os.

- Atropina o glicopirrolato possono essere inclusi, ma non sono consigliati nella premedicazione per prevenire la bradicardia riflessa indotta da insufflazioni addominali e secrezioni secche, attenuando la reattività delle vie aeree, in pazienti particolarmente suscettibili.

• Prevenzione nausea e vomito post-operatori: la laparoscopia è stata identificata come un fattore di rischio per PONV, pertanto la terapia antiemetica multimodale profilattica dovrebbe essere utilizzata di *routine* in tutti i pazienti sottoposti a chirurgia laparoscopica/robotica^(23,27). L'incidenza di nausea e vomito può essere ridotta anche grazie all'impiego di propofol durante l'induzione e il mantenimento.

- Attenzionare il mantenimento della pressione intra-addominale, il cui *range* è tra 6-12 mmHg. In uno studio randomizzato è stato osservato che nei neonati di peso inferiore a 10 kg, pressioni superiori a 9 mmHg hanno dato: un impatto maggiore sulla meccanica polmonare e sull'emodinamica rispetto a pressioni inferiori e score del dolore più elevati richiedendo, pertanto, più farmaci antidolorifici e impiegando più tempo per riprendere la normale poppata enterale⁽³²⁾.

Induzione

Farmaci ipnotici

L'induzione può essere endovenosa o inalatoria: la scelta dipende in gran parte dalla capacità del bambino di tollerare il posizionamento di un catetere endovenoso (IV). L'induzione inalatoria è da preferire nei bambini in età prescolare, l'induzione IV in quelli di età maggiore. Tuttavia, la decisione deve essere sempre personalizzata in base al livello di ansia del bambino e ad eventuali comorbidità esistenti.

- Agenti endovenosi → se confrontati con gli agenti inalatori, gli agenti di induzione IV sono in grado di raggiungere più rapidamente un livello di anestesia sufficientemente profondo per la strumentazione delle vie aeree. Tra questi, il propofol (2,5-5mg/kg o 8mcg/ml) è l'agente di elezione in quanto: fornisce una rapida insorgenza dell'effetto ipnotico, ha una breve durata d'azione, riduce la risposta broncospastica all'intubazione e ha effetti antiemetici.
- Anestesia endovenosa totale tramite *Target Controlled Infusion* (TCI) con propofol → impostare come *target* il sito plasmatico: Paedfusor (utilizzabile in bambini da 1 a 15 anni di età), Schnider (utilizzabile nei bambini di età superiore ai 12 anni), Kataria (utilizzabile nei bambini da 3 a 11 anni). Nei pazienti che non hanno ricevuto premedicazione con altri agenti sedativi/ipnotici, la concentrazione ematica media di propofol richiesta per ottenere la perdita di coscienza è rappresentata da 5 a 6 µg/ml. Nei pazienti che sono già stati premedicati con agenti sedativo/ipnotici o oppioidi le concentrazioni ematiche richieste sono più basse, circa 4-5 µg/ml⁽³³⁾.

- Agenti inalatori → I più potenti hanno il vantaggio di diminuire la reattività delle vie aeree: il sevoflurano, somministrato con una maschera facciale⁽³⁴⁾, è generalmente preferito per l'induzione perché il suo odore è meno pungente rispetto all'isoflurano e al desflurano. Il desflurano non è generalmente utilizzato per l'induzione inalatoria perché è un anestetico volatile estremamente irritante e può produrre un aumento delle secrezioni, della tosse, della resistenza delle vie aeree e causare laringospasmo⁽³⁵⁾. Il protossido d'azoto può essere aggiunto nelle fasi iniziali dell'induzione al fine di ridurre la consapevolezza del bambino riguardo la procedura a cui sta per sottoporsi.

Farmaci analgesici

- Fentanil da 1-5 mcg/kg
- Remifentanil: mantenimento 0,05-2 µg/kg/min. In circa 5 minuti si raggiunge una dose plasmatica adeguata

Curarizzazione

Rocuronio (0,6-1,2 mg/kg).

Gestione delle vie aeree

L'intubazione endotracheale è sempre preferita ad una via aerea supraglottica (SGA), in quanto garantisce⁽³⁶⁾:

- un controllo ottimale della ventilazione per l'eliminazione di CO₂;
- una maggiore protezione contro l'aspirazione.

La pratica *standard* in anestesia pediatrica prevede l'uso di un tubo endotracheale (ETT) non cuffiato quando possibile, anche se, quest'ultimo può rendere difficile il mantenimento di un adeguato volume/minuto durante la laparoscopia. L'uso di un ETT cuffiato attraverso l'uso di un manometro (20-30 cmH₂O) può invece consentire l'uso della pressione positiva di fine espirazione (PEEP, *positive end-expiratory pressure*) e permette di tollerare una pressione di picco maggiore nelle vie aeree durante lo pneumoperitoneo⁽³⁷⁾.

Il tubo endotracheale deve essere di dimensioni adeguate e dopo aver-

lo inserito è necessario controllare eventuali perdite e il corretto posizionamento.

Controllare spesso la ventilazione bilaterale, dal momento che lo spostamento verso l'alto del diaframma potrebbe causare un dislocamento della punta del tubo verso un bronco.

Curarizzazione

Gli agenti bloccanti neuromuscolari (ad esempio, rocuronio 0,6-1,2 mg/kg) sono impiegati per:

- facilitare l'intubazione;
- favorire la ventilazione meccanica;
- favorire le manovre chirurgiche e per rendere più sicuro l'inserimento delle porte laparoscopiche⁽²²⁾, prevenendo qualsiasi lacerazione del tessuto da parte del robot in caso di urti o tosse.

La letteratura mostra discordanze relativamente al livello ottimale di blocco neuromuscolare durante la chirurgia laparoscopica⁽³⁸⁾: il rocuronio non sembra influenzare la dimensione della cavità addominale durante lo pneumoperitoneo⁽³⁴⁾.

- Ergonomia efficiente: a causa dell'ampio spazio occupato dal sistema chirurgico robotico e delle ridotte dimensioni del paziente, diventa essenziale per un anestesista garantire un accesso agevole al paziente.
- Le linee infusionali endovenose devono essere adeguate per lunghezza, prestando particolare attenzione alla presenza di piegature o ostruzioni, prima che il robot sia stato posizionato e attivato.
- Posizionare le porte di iniezione/rubinetti in sedi facilmente accessibili.
- Impiegare lunghe linee di monitoraggio e lunghi circuiti connessi all'apparecchio di anestesia⁽³⁹⁾.
- Fissare correttamente il tubo endotracheale, in quanto il robot potrebbe occupare l'intero spazio sopra il bambino piccolo, compromettendo l'accesso alle vie aeree^(13,40).

In alcune procedure chirurgiche, come quelle che interessano il sito addominale superiore, il torace e le vie aeree del paziente sono situate lontano dall'anestesista e dal suo spazio di lavoro⁽⁴¹⁾.

Adottare quindi, questi accorgimenti significa poter assicurare, da parte dell'anestesista, una rapida gestione di problematiche anche dopo che il robot è stato posizionato e attivato⁽⁴²⁾.

L'abilità dell'anestesista, in situazioni di emergenza, di fare diagnosi precoce di eventuali criticità e dell'*équipe* chirurgica, appositamente formata, nel disaccoppiare rapidamente il sistema robotico dal paziente, permette di evitare conseguenze potenzialmente devastanti. Qualsiasi movimento, mentre gli strumenti robotici sono ancora agganciati, potrebbe portare a lacerazioni o perforazioni degli organi interni e del sistema vascolare⁽³⁹⁾.

- Posizionamento del paziente: proteggere gli occhi del paziente con delle bende, creare un'adeguata imbottitura intorno al viso e sui punti di pressione per evitare lesioni alla pelle, ai tessuti molli e ai nervi^(13, 43). Il posizionamento ottimale del paziente, procedura dinamica che richiede la supervisione sia del chirurgo che dell'anestesista, varia al fine di facilitare l'accesso chirurgico. La maggior parte degli interventi laparoscopici pediatrici assistiti da robot si svolge in posizione di decubito laterale o supino. Ad esempio, per la pieloplastica robotica, procedura robotica pediatrica più comune^(6,7), la visualizzazione chirurgica è facilitata inclinando lateralmente il letto, quindi è essenziale che i pazienti siano fissati con cura e fermamente al tavolo della sala operatoria sia in verticale che in orizzontale⁽²²⁾.
- Posizionamento del sondino oro-gastrico per decomprimere lo stomaco e l'intestino, al fine di ridurre al minimo il rischio di danno allo stomaco e di aumentare la visibilità intra-addominale^(25,44).

Mantenimento

Il mantenimento dell'anestesia generale durante la laparoscopia può essere basato su agenti ipnotici inalatori o endovenosi, come di solito viene fatto per le procedure addominali in chirurgia *open*. L'anestetico è integrato con oppioidi per via endovenosa (fentanil o remifentanil), se necessario. Anestesia endovenosa totale (TIVA) → con propofol (3mcg/ml) è stato utilizzato con successo nel mantenimento⁽⁴⁵⁾, titolandolo in modo da ottenere valori di BIS tra 40 e 50.

Lo schema per infusione manuale in bambini sotto i 3 anni (mg/kg/h) prevede⁽⁴⁶⁾:

	Primi 10 min	Secondi 10 min	Terzi 10 min	Quarti 10 min	Successiva ora	Tempo restante
Sotto i 3 mesi	20	20	15	10	5	2,5
3-6 mesi	20	15	10	9	5	2,5
6-12 mesi	15	10	9	6	5	2,5
1-3 anni	12	9	6	6	6	6

- Anestesia endovenosa totale tramite *Target Controlled Infusion* (TCI) → con propofol (Paedfusor per bambini da 1 a 15 anni o Kataria per bambini da 3 a 11 anni) da 3-6 µg/ml, compatibilmente alle condizioni emodinamiche e tenendo sempre presenti i valori di *calibration point* raggiunti durante l'induzione dell'anestesia⁽³³⁾.
- Anestesia gassosa → preferibilmente con sevoflurano a MAC 1 in ossigeno/aria.

Scelta della modalità di ventilazione

Nei pazienti che si sottopongono a chirurgia robotica, viene effettuata un'anestesia generale in ventilazione controllata.

Come è stato osservato per gli adulti, anche per i pazienti pediatrici può essere vantaggioso assicurare una modalità di ventilazione protettiva⁽⁴⁷⁾, che eviti danni polmonari indotti dal ventilatore (*ventilator induced lung injury*, VILI).

1) Ventilazione a volume controllato (VCV): impostando un volume corrente (Vt) compreso tra 6 e 10 ml/kg, e una PEEP di almeno 4 cmH₂O è possibile ottenere i seguenti vantaggi⁽⁴⁸⁾:

- riduzione degli effetti indesiderati della pressione intra-addominale (IAP) elevata;
- riduzione dei potenziali effetti di uno pneumotorace;
- riduzione del rischio di atelettasia;

- riduzione del rischio di volotrauma;
- riduzione del rischio di un calo della capacità funzionale residua (CFR) al di sotto del volume di chiusura delle vie aeree.

Sebbene l'applicazione della ventilazione protettiva permetta di mantenere una buona CFR e di ottimizzare lo scambio gassoso, risulta essere impegnativa da ottenere, a causa della difficoltà di adattarla al peso corporeo esatto del bambino e di trovare un livello ottimale di PEEP in un paziente pediatrico⁽⁴⁹⁾. Quando si utilizza la ventilazione protettiva per i polmoni dei piccoli pazienti, tuttavia, vi può essere il rischio di un volume corrente inadeguato, causando una notevole scarto tra PaCO_2 ed EtCO_2 ⁽⁴⁷⁾.

Infatti, in alcune circostanze, si rende necessario aumentare la ventilazione/minuto (anche di oltre il 60%) al fine di poter abbassare i livelli di CO_2 di fine espirazione. La ragione risiede nel fatto che la CO_2 è un gas ad elevatissima solubilità, pertanto viene rapidamente assorbita. Questo dato è molto più vero nei bambini rispetto agli adulti, perché il loro peritoneo è in grado di assorbire più gas a causa della minore distanza tra capillari e peritoneo, e per via di una maggiore superficie di assorbimento in relazione al peso corporeo⁽⁴⁹⁾.

Svantaggi della VCV

- variazione della pressione al modificarsi della *compliance* polmonare;
- i comuni ventilatori non sono in grado di erogare con precisione piccoli volumi correnti (inferiori a 200 ml) per i pazienti pediatrici⁽⁵⁰⁾;

2) Ventilazione a pressione controllata (PCV): si traduce in una migliore *compliance* respiratoria e in una pressione di picco inferiore, rispetto alla ventilazione a volume controllato⁽⁵¹⁾. Risulta, inoltre, particolarmente utile nella gestione di pazienti con ipercapnia e acidosi respiratoria, dal momento che l'iperventilazione è limitata dalla maggiore pressione inspiratoria utile per questi pazienti^(52,53). La pressione inspiratoria di picco (PIP) e la frequenza respiratoria (FR) vengono regolate per ottenere volumi correnti intermedi (6-10 ml/kg) ed $\text{EtCO}_2 < 45$ mmHg. Poiché la maggior parte dei bambini sani ha una *compliance* toracica elevata, la

ventilazione con PIP <20 è generalmente possibile. A causa dell'elevato metabolismo, cui ne consegue un'aumentata produzione di CO₂, neonati e bambini piccoli spesso richiedono continui aggiustamenti dei parametri del ventilatore, al fine di poter eliminare efficacemente la CO₂.

Vantaggi della PCV rispetto alla VCV

- favorisce il reclutamento polmonare in quanto l'elevato flusso inspiratorio genera rapidamente una pressione tale da riuscire a vincere le resistenze⁽⁴⁷⁾;
- il ventilatore genera un volume che permette di sviluppare la pressione impostata in modo tale che, anche in presenza di piccole perdite (per esempio, quelle attorno a un TET non cuffiato o a una fistola broncopleurica), è possibile erogare il volume corrente desiderato^(47,54,55);
- la pressione inspiratoria massima è limitata, così da impedire il barotrauma quando si modifica la *compliance* polmonare^(47,50).

Svantaggio della PCV

Un forte limite della modalità ventilatoria a pressione controllata *compliance* è rappresentato dalla mancanza di controllo sui volumi erogati in ragione dei repentini cambiamenti di polmone-torace, che si verificano frequentemente durante gli interventi chirurgici laparoscopici che interessano addome e torace^(47,50). Il mancato raggiungimento del volume *target* è un evidente svantaggio quando si tenta di perseguire una strategia di ventilazione protettiva polmonare, soprattutto nei piccoli pazienti. Dal momento che l'intervallo del volume corrente desiderato è ristretto, non è necessaria una grande variazione del volume corrente in un paziente pediatrico per superare o scendere al di sotto del volume corrente desiderato⁽⁴⁷⁾.

Controindicazioni della PCV

Non è una modalità di ventilazione appropriata per pazienti gravemente ostruiti (pazienti con riasacerbazione di asma, bronchiolite infettiva, insufficienza respiratoria ipercapnica), in quanto potrebbero portare a ipoventilazione del paziente, se non si assicura il tempo sufficiente per completare

l'inspirazione. Inoltre, i pazienti gravemente ostruiti richiedono un tempo espiratorio prolungato per evitare l'intrappolamento dell'aria, che porta a I: E di 1: 1 per ottimizzare la ventilazione^(56,57).

3) Ventilazione a pressione controllata - volume garantito (PCV-VG):

consiste in una modalità di ventilazione alternativa che consente al ventilatore di misurare la *compliance* polmonare del paziente respiro per respiro e di determinare la pressione necessaria per raggiungere il volume corrente impostato. Di conseguenza, il ventilatore può fornire come una PCV una forma della curva della pressione ad onda quadra, e come una VCV un volume corrente costante erogato. Poiché il nostro *target* impostato è il volume, sarà la pressione a cambiare conformemente ai cambiamenti della *compliance* polmonare⁽⁴⁷⁾. PCV-VG combina i vantaggi della modalità ventilatoria pressometrica (il ventilatore eroga un *tidal volume* utilizzando una decelerazione del flusso e una pressione costante, evitando così il barotrauma) e volumetrica (garantisce un volume alla pressione inspiratoria di picco più bassa possibile)^(58,59).

La PCV-VG è una modalità di ventilazione in grado di adattarsi meglio alle modifiche della *compliance* respiratoria e della resistenza polmonare, che possono verificarsi in corso di: procedure laparoscopiche e toracoscopiche^(47,60,61), cambiamenti nella profondità dell'anestesia e cambiamenti del rilassamento muscolare. Con la modalità di ventilazione PC, il volume corrente dipende dalla resistenza e dalla *compliance*. Ciò può provocare ampie fluttuazioni del volume corrente e quindi continue modifiche della PIP per garantire una ventilazione adeguata. Il PCV-VG si adatterà ai cambiamenti di *compliance* e resistenza automaticamente, garantendo un volume corrente costante⁽⁵⁹⁾.

Sono stati condotti due studi, che hanno messo a confronto le modalità PCV-VG e VCV durante la ventilazione monopolmonare (OLV, *one-lung ventilation*) applicata in chirurgia toracica, mantenendo il paziente in posizione laterale. I valori medi di PaO₂ sono aumentati in modo significativo dopo l'inflazione polmonare nei due gruppi in modo comparabile, ma erano ancora significativamente più alti nel gruppo PCV-VG^(62,63).

- 4) Un'alternativa valida è la **Ventilazione a rapporto inverso PC (IRV)** con rapporto inspiratorio-espilatorio solitamente impostato nell'intervallo 2:1⁽²²⁾. I vantaggi più importanti di PC-IRV rispetto alla ventilazione a volume controllato (VCV) e a pressione controllata (PCV) sono:
- la necessità di un volume corrente inferiore per raggiungere un target di PaO_2 e PaCO_2 ^(64,65);
 - la riduzione dello spazio morto;
 - il mantenimento di un conservato rapporto Vd/Vt ;
 - la riduzione delle pressioni nelle vie aeree.

- 5) **Rapporto di parità tra tempo inspiratorio ed espilatorio (I:E, 1:1):** in una revisione sistematica e metanalisi è stato dimostrato che, nell'ambito della chirurgia laparoscopica robotica, un rapporto I: E prolungato di 1:1 ha fornito un miglioramento dell'ossigenazione in tutti i punti di valutazione dopo pneumoperitoneo CO_2 e solo in un secondo tempo di valutazione (cioè, 60 minuti) dopo OLV, rispetto a un rapporto I: E convenzionale di 1:2. Dalle analisi complessive, P_{peak} e P_{plat} con il rapporto I:E di 1:1 sono stati ridotti in modo significativo, rispetto a quelli con un rapporto I:E di 1:2⁽⁶⁶⁾.

L'uso di tempi ispiratori prolungati deve essere evitato nei pazienti che corrono il rischio di rottura alveolare come la malattia polmonare ostruttiva cronica^(67,68). Considerando gli effetti ambivalenti della ventilazione con rapporto I:E prolungato sull'ossigenazione e sulle complicanze, l'uso del rapporto I:E 1:1 in anestesia per chirurgia dovrebbe essere iniziato con una considerazione dettagliata dei suoi rischi e benefici in base allo stato dei pazienti e situazioni chirurgiche.

C'è un vantaggio teorico nell'aumentare il rapporto I: E al fine di migliorare l'ossigenazione^(66,69-71):

- aumentare il reclutamento alveolare (aumentando la pressione media delle vie aeree), migliorando così l'ossigenazione;
- aumentare il reclutamento di unità polmonari con una costante di tempo lunga;

- aumentare gli effetti emodinamici della ventilazione a pressione positiva aumentando la pressione intratoracica;
- diminuzione della *clearance* della CO_2 diminuendo il tempo disponibile per l'espiazione passiva;
- aumentare l'intrappolamento di gas e "*l'auto-PEEP*" con lo stesso meccanismo, ovvero questa è una PEEP intrinseca "intenzionale".

Questa strategia potrebbe essere impiegata quindi, negli scenari in cui il problema è l'ipossia grave, abbiamo un problema di scambio di gas a livello alveolare e la *compliance* polmonare è scarsa⁽⁷⁰⁾.

Si ricorda che ossigenazione e PetCO_2 devono essere strettamente monitorati, anche se la PetCO_2 può non essere attendibile e nei neonati può mostrare valori più bassi di quelli reali.

Fare attenzione allo "Spazio Morto": specie quando si connettono al circuito del ventilatore dispositivi che hanno volumi interni diversi e, se utilizzati insieme, la sommatoria del volume dello spazio morto può diventare notevole. In tal modo la ventilazione minuto necessaria per mantenere la normocapnia, specie nei pazienti di età inferiore ai 2 anni, dovrà essere aumentata⁽⁴⁷⁾.

Gestione della fluidoterapia

L'obiettivo primario della fluidoterapia è raggiungere e mantenere l'euvolemia. Il fabbisogno di liquidi perioperatori, dipende da molteplici fattori:

- stato di volemia nel preoperatorio;
- peso del paziente;
- ore di digiuno;
- natura dell'intervento (le procedure laparoscopiche sono associate a una perdita minore di liquidi rispetto alla chirurgia *open*).

Soluzioni da poter utilizzare:

- NaCl 0,9%;
- soluzioni contenenti glucosio (destrosio all'1-2,5% in Ringer lattato) per pazienti sottoposti a lungo digiuno, monitorando la glicemia.

Utilizzare la regola 4:2:1 (4 ml/kg per i primi 10 kg, 2 ml/kg per i successivi 10 kg, 1ml/kg per ogni chilo superiore ai 20 kg).

Utilizzare una pompa di infusione, che consente un controllo accurato della velocità di infusione e un facile monitoraggio dei volumi somministrati, nonché un allarme in caso di ostruzione.

Il deficit di liquidi viene calcolato prima dell'intervento chirurgico e, per quanto possibile, è consigliabile reintegrarne oltre alle perdite intraoperatorie calcolate, metà del digiuno nella prima ora e un quarto del digiuno in ciascuna delle due ore successive. Da qui in avanti si procede con una fluidoterapia di mantenimento per il resto dell'intervento.

L'espansione precoce della volemia è importante per⁽²²⁾:

- prevenire gli effetti avversi cardiovascolari (ipotensione) e renali dello pneumoperitoneo;
- facilitare la produzione di piccoli volumi di urina in corso di intervento;
- rilevare più facilmente, nei pazienti sottoposti a chirurgia ureterale, la pervietà dell'uretere a fine intervento mediante la comparsa di piccole quantità di sangue nell'urina.

Monitoraggio delle perdite di sangue

Sebbene la chirurgia robotica, rispetto alla chirurgia *open*, offra il vantaggio di determinare un minor rischio di sanguinamento, l'anestesista dovrà comunque monitorare eventuali perdite attraverso:

- la valutazione degli indici del sistema cardiovascolare (nei neonati, la frequenza cardiaca);
- la quantizzazione di perdite di sangue nell'area chirurgica e negli aspiratori.

Gestione del dolore

Il dolore dopo la laparoscopia è dovuto a un dolore somatico incisionale (meno importante rispetto a quello provocato dalla chirurgia *open*) e a un dolore viscerale provocato dalla manipolazione chirurgica e dal rilascio dei mediatori citochinici dell'infiammazione. Un altro tipo di dolore è quello provocato dall'insufflazione rapida di CO₂ durante lo pneumoperitoneo, che causa la distensione e l'irritazione del peritoneo che riveste il diaframma, dei nervi frenici e dei vasi sanguigni, portando ad un dolore riflesso alla spalla (più difficile da trattare)^(22,72).

È pertanto consigliabile un approccio analgesico multimodale, utilizzando diverse vie di somministrazione (parenterale, epidurale) e scegliendo tra le diverse classi di farmaci (anestetici locali, oppioidi e FANS).

1) Infiltrazione cutanea con anestetico locale negli accessi chirurgici⁽¹³⁾, con:
 bupivacaina 0,25%, dose massima 1 ml/kg (= 2,5 mg/kg);
 levobupivacaina 0,25%, dose massima 1 ml/kg (= 2,5 mg/kg);
 ropivacaina 0,2%, dose massima 1,5 ml/kg (= 3 mg/kg).

2) Blocco della guaina del retto e *Transversus Abdominis Plane* (TAP) sottocostale:

bupivacaina 0,25% (0,2-0,5 ml/kg) per lato;
 levobupivacaina 0,25% (0,2-0,5 ml/kg) per lato;
 ropivacaina 0,2% (0,2-0,5 ml/kg) per lato.

3) Anestesia epidurale toracica: bupivacaina 0,125% o ropivacaina 0,2% a una dose di carico di 0,5ml/kg per il numero di dermatomeri da bloccare⁽⁷³⁾. Riduce il picco di pressione inspiratoria delle vie aeree, migliora la *compliance* dinamica, consente una migliore ossigenazione, e una minore produzione di lattati attraverso un blocco muscolare più profondo, grazie all'effetto sistemico stabilizzante da parte degli anestetici locali sulla giunzione neuromuscolare, attenuando così anche l'iperattività bronchiale⁽⁷⁴⁾.
 Anestesia epidurale lombare: bupivacaina 0,125% o ropivacaina 0,2% a dosi di 1ml/kg⁽⁷³⁾.

Anestesia epidurale in infusione continua: bupivacaina o ropivacaina 0,05% - 0,125% + fentanil (0,3 µg/ml) o morfina (5-10 µg/ml) o clonidina (0,5-1 µg/ml). Velocità massima di infusione di bupivacaina e ropivacaina 0,2 mg/kg/h per età inferiore ai 6 mesi e di 0,4 mg/kg/h per età superiore ai 6 mesi (75,76).

4) Blocco dei nervi intercostali per toracotomia o interventi addome superiore: 1-5 ml/costa di bupivacaina allo 0,25% o ropivacaina 0,2%.

5) Bupivacaina aerosol nella cavità addominale: è stato valutato come metodo per diminuire questo tipo di dolore. È stato dimostrato che la somministrazione dell'anestetico in un ambiente laparoscopico chiuso e pressurizzato aumenta la diffusione dell'anestetico locale e riduce significativamente il dolore post-operatorio^(77,78).

6) Riscaldamento e umidificazione del gas CO₂, insufflato con soluzione salina isotonica ha dimostrato efficacia nel ridurre questo tipo di dolore viscerale.

Estubazione

Reversal completo del blocco neuromuscolare residuo con sugammadex e dosaggio titolato su monitoraggio TOF e *post tetanic count* (PTC): 2 mg/kg (*total body weight*, TBW) per blocco moderato-superficiale (1-2 *twitch* rilevati), 4 mg/kg TBW per blocco profondo (*no twitch* e PTC inferiore a 4)⁽⁷⁹⁾.

Post-operatorio

- Ricovero in *Post-Anesthesia Care Unit* (PACU): tutti i bambini dovrebbero essere trasferiti nel Reparto di terapia post-anestesia, mantenendo la posizione di decubito laterale e la testa in posizione neutra o estesa, a seconda dell'età, per evitare l'ostruzione delle vie aeree.
- Passaggio di consegna: comunicare la situazione, medica e chirurgica del bambino e descrivere la tecnica anestesiológica utilizzata con eventuali problematiche annesse.
- Tempo di stazionamento: stazionamento minimo necessario 30 minuti oppure 2 rilevazioni dei parametri vitali.

I bambini di peso < 10 kg dovranno stazionare per un periodo più lungo o essere trasferiti in un letto con monitoraggio.

Se durante il ricovero in PACU il bambino riceve oppioidi ev, il monitoraggio va esteso per altri 30 minuti. Dopo che il paziente è stato estubato, tenerlo in osservazione con lo scopo di assicurarsi che gli effetti residui dei farmaci miorilassanti, oppioidi, o dell'accumulo di CO₂ non causino l'alterazione della meccanica ventilatoria del paziente⁽²³⁾.

- Monitoraggio respiratorio: SpO₂ (e se necessario somministrare ossigeno), osservare se presenti i movimenti toracici, esalazione respiro, appannamento mascherina. Si raccomanda il trasporto con pallone auto-gonfiante o sistema Mapleson D.

* Fare comunque riferimento al Riassunto delle Caratteristiche del Prodotto per la selezione del dosaggio appropriato.

- Monitoraggio temperatura
- Monitoraggio stato di idratazione: una soluzione salina bilanciata deve essere somministrata intra-operativamente e post-operativamente fino a che non venga ristabilita l'assunzione orale.
- Monitoraggio elettroliti: dopo interventi complessi.

Ricovero in UTI ⁽⁸⁰⁾:

- paziente con rischio globale aumentato già valutato in fase preoperatoria;
- complicanze respiratorie:
 - fallito svezzamento o necessità di ricorrere nuovamente a ventilazione artificiale meccanica (VAM);
 - necessità di O₂ terapia mediante *high flow nasal cannula* (HFNC) per mantenere livelli di P/F (rapporto PaO₂/FiO₂) adeguati;
- bambini che necessitano di cure infermieristiche intensive e monitoraggio continuo di parametri come la frequenza cardiaca, respiratoria e la pressione sanguigna;
- bambini con gravi problemi respiratori dovuti all'asma, infezioni gravi, determinate condizioni cardiache, alcune complicazioni del diabete;
- complicanze cardiovascolari: necessità di infusione di inotropi/vasocostrittori per il mantenimento di idonei parametri emodinamici;
- squilibri metabolici ed idro-elettrolitici;
- complicanze neurologiche;
- complicanze dovute al posizionamento (per esempio, edema importante degli arti inferiori).

Gestione delle possibili complicanze

Pneumoperitoneo

Gli interventi chirurgici in robotica per patologie intratoraciche o intra-addominali, richiedono l'uso di CO₂ (pneumoperitoneo o capnotorace) per ottenere un'ottimale visualizzazione del sito operatorio. L'effetto secondario consiste nello spostamento verso l'alto del diaframma da parte del contenuto addominale provocando conseguenze:

- respiratorie: diminuzione della capacità funzionale residua (CFR) con

conseguente atelettasia, diminuzione della *compliance* polmonare, aumentato rischio di chiusura delle vie aeree a fine respirazione con conseguente ipossiemia, *mismatch* rapporto ventilazione/perfusione (V/Q), aumento delle pressioni di picco delle vie aeree, riduzione del drenaggio linfatico⁽⁸¹⁾. Inoltre, lo spostamento cefalico del diaframma può comportare il dislocamento del tubo endotracheale verso un bronco⁽⁴⁸⁾.

- **Cardiovascolari:** l'aumento della pressione intra-addominale (IAP), il posizionamento del paziente e l'assorbimento di CO₂, possono determinare un importante rilascio di catecolamine e attivazione del sistema renina-angiotensina⁽⁸²⁾ comportando un aumento della pressione arteriosa media (MAP, *mean arterial pressure*), della resistenza vascolare sistemica (SVR, *systemic vascular resistance*) e della pressione venosa centrale con una diminuzione della gittata cardiaca (CO, *cardiac output*) e della gittata sistolica (SV, *stroke volume*). L'aumento della SVR può essere, inoltre, provocato dalla compressione meccanica che lo pneumoperitoneo esercita sul sistema vascolare arterioso e venoso^(83,84). Ricordiamo che l'impatto emodinamico e gli effetti meccanici dovuti allo pneumoperitoneo dipendono anche dallo stato del volume preoperatorio del paziente⁽¹⁾. Durante l'insufflazione di CO₂ sono state osservate bradicardia grave e asistolia⁽⁸⁵⁾ che hanno richiesto una desufflazione urgente⁽²⁴⁾. Anche se ci sono solo poche informazioni sui cambiamenti cardiocircolatori nei bambini, questi ultimi sembrano essere simili a quelli che si verificano negli adulti anche a una IAP inferiore⁽⁸⁶⁾.
- **Cerebrali:** aumento della pressione intracranica, del flusso sanguigno cerebrale e della pressione intraoculare⁽⁸⁷⁾.
- **Renali:** lo pneumoperitoneo causa una compressione diretta sia sul parenchima renale stesso che sulla vena renale causando una diminuzione del flusso sanguigno. Questa compressione renale stimola ulteriormente il sistema renina-angiotensina portando ad oliguria transitoria. Questa situazione può essere generalmente mitigata da un'adeguata espansione del volume, ma è necessario prestare particolare attenzione verso un'adeguata ottimizzazione e mantenimento del volume intravascolare, specie nei pazienti con disfunzione renale⁽⁸⁸⁾.

Tra le complicanze più temibili riscontrate durante la chirurgia laparoscopica vi sono ⁽⁸⁾:

- **embolia gassosa**: in caso di sospetta embolia, l'addome deve essere sgonfiato, la ventilazione e la frazione di ossigeno inspirata devono essere aumentate per ridurre le dimensioni delle bolle di CO₂, quindi possono essere utili terapie di supporto con fluidi e somministrazione di vasopressori ⁽⁸⁹⁾. Questa rara complicanza potrebbe portare al collasso cardiocircolatorio. Fare attenzione all'abbassamento improvviso della PetCO₂, cali ingiustificati della pressione sanguigna, o insorgenza di un soffio caratteristico. In caso di grave embolia gassosa, con collasso cardiovascolare, la possibilità di poter rianimare il paziente è limitata dalla presenza del robot. L'*équipe* chirurgica dovrebbe quindi formarsi tramite delle simulazioni di emergenza per poter disaccoppiare rapidamente il paziente dal sistema robotico al fine di prevenire un ritardo nella rianimazione ⁽⁹⁰⁾; L'incidenza di embolia gassosa venosa è inferiore nella prostatectomia laparoscopica robot-assistita (*robotic-assisted laparoscopic prostatectomy*, RALP) rispetto alla prostatectomia radicale retro-pubica in "open" (*retro-pubic radical prostatectomy*, RRP) nei pazienti adulti (38% vs. 80%) ⁽⁹¹⁾.
- **enfisema sottocutaneo**: è una complicanza comune, anche se non rappresenta una condizione estremamente pericolosa e si risolve rapidamente dopo la cessazione dell'insufflazione. La ventilazione meccanica dovrebbe essere continuata fino a quando l'ipercapnia non viene corretta per prevenire qualsiasi aumento eccessivo del lavoro respiratorio ⁽⁹²⁾;
- **pneumo-mediastino**, pneumotorace, pneumo-pericardio: sebbene rari, possono essere pericolosi per la vita perché possono essere associati a grave compromissione emodinamica. Dovrebbero essere motivo di sospetto in caso di aumento inspiegabile della pressione delle vie aeree, ipossiemia e ipercapnia con enfisema sottocutaneo della testa e del collo o disuguaglianza di espansione del torace. La riduzione della pressione di insufflazione, l'aumento della PEEP e l'iperventilazione sono spesso sufficienti per gestire questa sindrome e solo raramente è necessario posizionare un ago intratoracico o un tubo toracico per la decompressione ^(93,94);
- importante stimolazione simpatica (con aumento della frequenza cardia-

ca e pressione arteriosa): è causata dalla rapida penetrazione della CO_2 nel flusso sanguigno, con conseguente ipercapnia⁽⁹⁰⁾.

Posizione laterale

Un'altra importante considerazione riguardante la chirurgia toracica è il mantenimento della posizione di decubito laterale. Tale posizione potrebbe causare conseguenze:

- cardiocircolatorie: alterazione del ritorno venoso al cuore;
- respiratorie: nei neonati il consumo di ossigeno e il rapporto ventilazione alveolare e capacità funzionale residua (Va/CFR) sono più alti. Ogni problema di ventilazione porta rapidamente a ipossiemia. Nei pazienti più grandi in decubito laterale per procedure intratoraciche, la ventilazione del polmone in alto supera quella del polmone in basso, la cui perfusione è però favorita. Aumenta il *mismatch*. Nei neonati, le dimensioni piccole e la *compliance* delle coste determinano una minor distribuzione del sangue al polmone sottostante e quindi un *mismatch* ventilazione perfusione (V/Q) minore. Per potere visualizzare le strutture intra-toraciche è necessario un certo grado di collasso polmonare, che determina un ulteriore *mismatch*. Ciò si ottiene con la ventilazione mono-polmonare selettiva (OLV) o con l'insufflazione di gas in uno degli emitoraci. La OLV tende a dirottare la perfusione del polmone non ventilato a causa della vasocostrizione ipossica polmonare (attenuata in parte dagli anestetici inalatori) e dagli effetti meccanici nel polmone collassato e in questo modo il rapporto V/Q viene in parte riequilibrato. L'assorbimento di CO_2 insufflata in cavità pleurica richiede una maggiore ventilazione polmonare. La PEEP è utile per preservare la ventilazione del polmone dipendente⁽⁹⁵⁾.

Negli adulti l'effetto della posizione di decubito laterale sul disadattamento V/Q è diverso rispetto ai neonati. Il decubito laterale infatti, nei pazienti adulti, consente di ottenere un'ottima ossigenazione nel polmone sano in posizione dipendente, grazie al gradiente di pressione idrostatica e alla forza gravitazionale. Quando il polmone sano dipendente è ventilato, può verificarsi una diminuzione della *compliance* polmonare e un aumento della chiusura delle vie aeree durante la respirazione⁽⁹⁶⁾.

Nel neonato, invece, a causa delle sue piccole dimensioni, il gradiente della pressione idrostatica tra polmone dipendente e non dipendente diminuisce, con conseguente perdita della risposta favorevole di aumento della perfusione al lato dipendente e ridotta perfusione al polmone non dipendente⁽⁹⁷⁾;

- **nervose:** gravi neuropatie (lesione del plesso brachiale e dei nervi periferici). Durante il posizionamento, è necessario prestare particolare attenzione alle braccia e alle spalle del paziente in modo da ridurre il più possibile il rischio di conflitto con le braccia robotiche e di lesioni al plesso brachiale⁽¹²⁾.

Posizione di Trendelenburg inversa

La posizione di Trendelenburg inversa, detta anche anti-Trendelenburg, ha effetti fisiologici benefici in termini di riduzione della pressione intracranica e aumento del drenaggio venoso della testa e del collo. L'ipotensione e l'aumento del rischio di embolia gassosa venosa sono le principali complicanze⁽¹³⁾.

Posizione litotomica

Impiegata per procedure ginecologiche può portare a perfusione inadeguata dell'estremità sollevata, sindrome compartimentale e periferica, lesioni ai nervi. Questi cambiamenti dipendono inoltre dall'età del paziente, dalle comorbidità esistenti, dall'entità e dai gradi delle varie posizioni e dalla durata dell'intervento⁽¹³⁾.

Come possiamo prevenire queste complicanze

Le complicanze più frequenti associate alla chirurgia robotica assistita comprendono le neuropatie periferiche, le abrasioni corneali, le complicanze vascolari (tra cui la sindrome compartimentale, la rabdomiolisi e la malattia tromboembolica) e gli effetti dell'edema (soprattutto cerebrale, oculare e delle vie aeree). Possono esserci alterazioni emodinamiche, aritmie, broncospasmo e varie altre complicanze polmonari. Le strategie preventive che possono essere adottate includono⁽¹³⁾:

- la riduzione del tempo operatorio;
- la riduzione della pressione di insufflazione a 8 mmHg;
- consentire l'angolo minimo ottimale di Trendelenburg;
- la restrizione dei fluidi.

Bibliografia

- 1 Spinelli G, Vargas M, Aprea G, et al. Pediatric anesthesia for minimally invasive surgery in pediatric urology. *Transl Pediatr.* 2016;5(4):214-21.
- 2 Avery DI, Herbst KW, Lendvay TS, et al. Robot assisted laparoscopic pyeloplasty: multi-institutional experience in infants. *J Pediatr Urol.* 2015;11(3):139.e1-5.
- 3 Meehan JJ. Robotic surgery in small children: is there room for this? *J Laparoendosc Adv Surg Tech A.* 2009;19(5):707-12.
- 4 Kawal T, Sahadev R, Srinivasan A, et al. Robotic surgery in infants and children: an argument for smaller and fewer incisions. *World J Urol.* 2020;38(8):1835-40.
- 5 Paradise HJ, Huang GO, Elizondo Sáenz RA, et al. Robot-assisted laparoscopic pyeloplasty in infants using 5-mm instruments. *J Pediatr Urol.* 2017;13(2):221-2.
- 6 Fernandez N, Farhat WA. A comprehensive analysis of robot-assisted surgery uptake in the pediatric surgical discipline. *Front Surg.* 2019;6:9.
- 7 Cundy TP, Harley SJD, Marcus HJ, et al. Global trends in paediatric robot-assisted urological surgery: a bibliometric and Progressive Scholarly Acceptance analysis. *J Robot Surg.* 2018;12(1):109-15.
- 8 Lee JR. Anesthetic considerations for robotic surgery. *Korean J Anesthesiol.* 2014;66(1):3-11.
- 9 Ho C, Tsakonas E, Tran K, et al. Robot-assisted surgery compared with open surgery and laparoscopic surgery. *CADTH Technol Overv.* 2012;2(2):e2203.
- 10 Aron M, Koenig P, Kaouk JH, et al. Robotic and laparoscopic partial nephrectomy: a matched-pair comparison from a high-volume centre. *BJU Int.* 2008;102(1):86-92.
- 11 Novara G, Ficarra V. Robotic-assisted laparoscopic radical cystectomy: where do we stand? *s Int J Clin Pract.* 2009;63(2):185-8.
- 12 Giri S, Sarkar DK. Current status of robotic surgery. *Indian J Surg.* 2012;74(3):242-7.
- 13 Mishra P, Gupta B, Nath A. Anesthetic considerations and goals in robotic pediatric surgery: a narrative review. *J Anesth.* 2020;34(2):286-93.
- 14 Wang G, Gao C, Zhou Q, et al. Anesthesia management of totally endoscopic atrial septal defect repair with a robotic surgical system. *J Clin Anesth.* 2011;23(8):621-5.
- 15 Solca M, et al. Gruppo di Studio per la sicurezza in Anestesia e Terapia Intensiva. Raccomandazioni per la valutazione anestesiológica in previsione di procedure diagnostico-terapeutiche in elezione. 2000. <http://www.anestit.org/siaarti/valframe.htm>.
- 16 Serafini G, Ingelmo PM, Astuto M, et al; Italian Society of Pediatric and Neonatal Anesthesia and Intensive Care (SARNePI). Preoperative evaluation in infants and children: recommendations of the Italian Society of Pediatric and Neonatal Anesthesia and Intensive Care (SARNePI). *Minerva Anesthesiol.* 2014;80(4):461-9.
- 17 Maxwell LG, Deshpande JK, Wetzel RC. Preoperative evaluation of children. *Pediatr Clin North Am.* 1994;41(1):93-110.
- 18 Watson-Williams EJ. Hematologic and hemostatic considerations before surgery. *Med Clin North Am.* 1979;63(6):1165-89.
- 19 Fisher QA, Feldman MA, Wilson MD. Pediatric responsibilities for preoperative evaluation. *J Pediatr.* 1994;125(5 Pt 1):675-85.
- 20 Brady M, Kinn S, Ness V, et al. Preoperative fasting for preventing perioperative complications in children. *Cochrane Database Syst Rev.* 2009;(4):CD005285.
- 21 Cunningham AJ, Brull SJ. Laparoscopic cholecystectomy: anesthetic implications. *Anesth Analg.* 1993;76(5):1120-33.
- 22 Muñoz CJ, Nguyen HT, Houck CS. Robotic surgery and anesthesia for pediatric urologic procedures. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2016;29(3):337-44.
- 23 Eshtewi SA. Laparoscopy complications in neonates and small infant. *World Journal of Laparoscopy Surgery.* 2008;1(2):15-9.
- 24 Terrier G. Anaesthesia for laparoscopic procedures in infants and children: indications, intra- and post-operative management, pre-

- vention and treatment of complications. *Curr Opin Anaesthesiol.* 1999;12(3):311-4.
- 25 Alotaibi WM. Anesthesia experience of pediatric robotic surgery in a University Hospital. *J Robot Surg.* 2019;13(1):141-6.
 - 26 Peters CA. Complications in pediatric urological laparoscopy: results of a survey. *J Urol.* 1996;155(3):1070-3.
 - 27 Hammer G, Hall S, Davis PJ. Anesthesia for general abdominal, thoracic, urologic, and bariatric surgery. In: Motoyama E, Davis P, eds. *Smith's anesthesia for infants and children.* 7th Edition. Philadelphia: Elsevier, 2006; 686-88.
 - 28 Hammer G, Hall S, Davis PJ. Anesthesia for general abdominal, thoracic, urologic, and bariatric surgery. In: *Smith's anesthesia for infants and children.* 8th Edition. Philadelphia: Elsevier, 2011; 746-9.
 - 29 Gandhi M, Rita VR. Anesthesia for pediatric urology. *Contin Educ Anaesth Crit Care Pain.* 2010;10(5):152-7.
 - 30 Rosenbaum A, Kain ZN, Larsson P, et al. The place of premedication in pediatric practice. *Paediatr Anaesth.* 2009;19(9):817-28.
 - 31 Kogan A, Katz J, Efrat R, Eidelman LA. Premedication with midazolam in young children: a comparison of four routes of administration. *Paediatr Anaesth.* 2002;12(8):685-9.
 - 32 Villanueva J, Killian M, Chaudhry R. Robotic urologic surgery in the infant: a review. *Curr Urol Rep.* 2019;20(7):35.
 - 33 AIFA. Propofol Kabi 10 mg/ml emulsione iniettabile o per infusione. 2019. https://farmaci.agenziafarmaco.gov.it/aifa/servlet/PdfDownloadServlet?pdfFileName=footer_002829_036849_Fl.pdf&sys=m0b113.
 - 34 Di Fabrizio D, Lisi G, Lauriti G, et al. Conversion rate in pediatric robotic-assisted surgery: looking for the culprit. *s J Laparosc Adv Surg Tech A.* 2020;30(3):315-21.
 - 35 Nyktari VG, Papaioannou AA, Prinianakis G, et al. Effect of the physical properties of isoflurane, sevoflurane, and desflurane on pulmonary resistance in a laboratory lung model. *Anesthesiology.* 2006;104(6):1202-7.
 - 36 Patel A, Clark SR, Schiffmiller M, et al. A survey of practice patterns in the use of laryngeal mask by pediatric anesthesiologists. *Paediatr Anaesth.* 2015;25(11):1127-31.
 - 37 Tobias JD. Anaesthesia for minimally invasive surgery in children. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2002;16(1):115-30.
 - 38 Kopman AF, Naguib M. Laparoscopic surgery and muscle relaxants: is deep block helpful? *Anesth Analg.* 2015;120(1):51-8.
 - 39 Steenwyk B, Lyerly R 3rd. Advancements in robotic-assisted thoracic surgery. *Anesthesiol Clin.* 2012;30(4):699-708.
 - 40 Baltayan S. A brief review: anesthesia for robotic prostatectomy. *J Robot Surg.* 2008; 2(2):59.
 - 41 Sullivan MJ, Frost EA, Lew MW. Anesthetic care of the patient for robotic surgery. *Middle East J Anaesthesiol.* 2008;19(5):967-82.
 - 42 Mariano ER, Furukawa L, Woo RK, et al. Anesthetic concerns for robot-assisted laparoscopy in an infant. *Anesth Analg.* 2004;99(6):1665-7, table of contents.
 - 43 Mills JT, Burris MB, Warburton DJ, et al. Positioning injuries associated with robotic assisted urological surgery. *J Urol.* 2013; 190(2):580-4.
 - 44 Court AA, Dinsmore JE. Anaesthetic considerations for Transoral Robotic Surgery (TORS). *ATOTW.* 2018;386:1-6.
 - 45 McFarlan CS, Anderson BJ, Short TG. The use of propofol infusions in paediatric anaesthesia: a practical guide. *Paediatr Anaesth.* 1999;9(3):209-16.
 - 46 Steur RJ, Perez RS, De Lange JJ. Dosage scheme for propofol in children under 3 years of age. *Paediatr Anaesth.* 2004;14(6):462-7.
 - 47 Feldman JM. Optimal ventilation of the anesthetized pediatric patient. *Anesth Analg.* 2015;120(1):165-75.
 - 48 Pelosi P, Vargas M. Mechanical ventilation and intra-abdominal hypertension: 'Beyond Good and Evil'. *Crit Care.* 2012;16(6):187.

- 49 Pennant JH. Anesthesia for laparoscopy in the pediatric patient. *Anesthesiol Clin North Am*. 2001;19(1):69-88.
- 50 Jaecklin T, Morel DR, Rimensberger PC. Volume-targeted modes of modern neonatal ventilators: how stable is the delivered tidal volume? *Intensive Care Med*. 2007;33(2):326-35.
- 51 Choi EM, Na S, Choi SH, et al. Comparison of volume-controlled and pressure-controlled ventilation in steep Trendelenburg position for robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *J Clin Anesth*. 2011;23(3):183-8.
- 52 Oğurlu M, Küçük M, Bilgin F, et al. Pressure-controlled vs volume-controlled ventilation during laparoscopic gynecologic surgery. *J Minim Invasive Gynecol*. 2010;17(3):295-300.
- 53 Stolzenburg JU, Aedtner B, Olthoff D, et al. Anaesthetic considerations for endoscopic extraperitoneal and laparoscopic transperitoneal radical prostatectomy. *BJU Int*. 2006;98(3):508-13.
- 54 Bachiller PR, McDonough JM, Feldman JM. Do new anesthesia ventilators deliver small tidal volumes accurately during volume-controlled ventilation? *Anesth Analg*. 2008;106(5):1392-400, table of contents.
- 55 Rupp K, Holzki J, Fischer T, Keller C. *Pediatric Anesthesia*. Dräger, 1999. <https://www.draeger.com/Library/Content/or-pediatric-anesthesia-book-en.pdf>.
- 56 Medina A, Modesto-Alapont V, Lobete C, et al. Is pressure-regulated volume control mode appropriate for severely obstructed patients? *J Crit Care*. 2014;29(6):1041-5.
- 57 Mayordomo-Colunga J, Medina A, Rey C, et al. Predictive factors of non-invasive ventilation failure in critically ill children: a prospective epidemiological study. *Intensive Care Med*. 2009;35(3):527-36.
- 58 Keszler M. Volume-targeted ventilation. *Early Hum Dev*. 2006;82(12):811-8.
- 59 Dion JM, McKee C, Tobias JD, et al. Ventilation during laparoscopic-assisted bariatric surgery: volume-controlled, pressure-controlled or volume-guaranteed pressure-regulated modes. *Int J Clin Exp Med*. 2014;7(8):2242-7. eCollection 2014.
- 60 Gropper MA. Mechanical ventilatory support: what every anesthesia provider should know. 2011 American Society of Anesthesiologists.
- 61 Rivera-Tocancipá D, Díaz-Sánchez E. How to ventilate the anesthetized child with the modern anesthesia machines? *Rev Colomb Anesthesiol*. 2018;46:Suppl.1.
- 62 Boules NS, Ghobrial HZ. Efficiency of the newly introduced ventilatory mode "pressure controlled ventilation-volume guaranteed" in thoracic surgery with one lung ventilation. *Egypt J Anaesth*. 2011; 27:113-9.
- 63 Guldager H, Nielsen SL, Carl P, Soerensen MB. A comparison of volume control and pressure-regulated volume control ventilation in acute respiratory failure. *Crit Care*. 1997;1(2):75-7.
- 64 Hirabayashi G, Ogihara Y, Tsukakoshi S, et al. Effect of pressure-controlled inverse ratio ventilation on dead space during robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: a randomised crossover study of three different ventilator modes. *Eur J Anaesthesiol*. 2018; 35(4):307-14.
- 65 Kim WH, Hahn TS, Kim JA, et al. Prolonged inspiratory time produces better gas exchange in patients undergoing laparoscopic surgery: a randomised trial. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2013;57(5):613-22.
- 66 Park JH, Lee JS, Lee JH, et al. Effect of the prolonged inspiratory to expiratory ratio on oxygenation and respiratory mechanics during surgical procedures. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(13):e3269.
- 67 Lee SM, Kim WH, Ahn HJ, et al. The effects of prolonged inspiratory time during one-lung ventilation: a randomised controlled trial. *Anaesthesia*. 2013;68(9):908-16.
- 68 Szegedi LL, Bardoczky GI, Engelman EE, d'Hollander AA. Airway pressure changes during one-lung ventilation. *Anesth Analg*. 1997;84(5):1034-7.

- 69 Alex Yartsev. Inspiratory pause, I:E ratio and inspiratory rise time. *Deranged Physiology*, 2018.
- 70 Mousa WF. Equal ratio ventilation (1: 1) improves arterial oxygenation during laparoscopic bariatric surgery: a crossover study. *Saudi J Anaesth*. 2013;7(1):9-13.
- 71 Markström AM, Lichtwarck-Aschoff M, Hedlund AJ, et al. Under open lung conditions inverse ratio ventilation causes intrinsic PEEP and hemodynamic impairment. *Ups J Med Sci*. 1996;101(3):257-71.
- 72 Kumra VP. Anaesthetic considerations for specialized surgeries peculiar to paediatric age group. *Indian J Anaesth*. 2004;48:376-86.
- 73 Calder A, Bell GT, Andersson M, et al. Pharmacokinetic profiles of epidural bupivacaine and ropivacaine following single-shot and continuous epidural use in young infants. *Paediatr Anaesth*. 2012;22(5):430-7.
- 74 Hong JY, Lee SJ, Rha KH, et al. Effects of thoracic epidural analgesia combined with general anesthesia on intraoperative ventilation/oxygenation and postoperative pulmonary complications in robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *J Endourol*. 2009;23(11):1843-9.
- 75 de José María B, Banús E, Navarro-Egea M, Banchs RJ. Tips and tricks to facilitate ultrasound-guided placement of peripheral nerve catheters in children. *Paediatr Anaesth*. 2011;21(9):974-9.
- 76 Dillane D, Finucane BT. Local anesthetic systemic toxicity. *Can J Anaesth*. 2010;57(4):368-80.
- 77 Alkhamesi NA, Peck DH, Lomax D, Darzi AW. Intraperitoneal aerosolization of bupivacaine reduces postoperative pain in laparoscopic surgery: a randomized prospective controlled double-blinded clinical trial. *Surg Endosc*. 2007;21(4):602-6.
- 78 Freilich DA, Houck CS, Meier PM, et al. The effectiveness of aerosolized intraperitoneal bupivacaine in reducing postoperative pain in children undergoing robotic-assisted laparoscopic pyeloplasty. *J Pediatr Urol*. 2008;4(5):337-40.
- 79 Gratarola A, Piccioni F, Della Casa P, et al. Miorisoluzione, monitoraggio neuromuscolare e antagonismo. *Buone Pratiche Cliniche SIAARTI*, 2018. <https://www.siaarti.it/news/370764>.
- 80 Adalberto Torres Jr. When your child's in the Pediatric Intensive Care Unit. <https://kidshealth.org/en/parents/picu.html>.
- 81 Kalmar AF, Foubert L, Hendrickx JF, et al. Influence of steep Trendelenburg position and CO(2) pneumoperitoneum on cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory homeostasis during robotic prostatectomy. *Br J Anaesth*. 2010;104(4):433-9.
- 82 Myre K, Rostrup M, Buanes T, Stokland O. Plasma catecholamines and haemodynamic changes during pneumoperitoneum. *Acta Anaesthesiol Scand*. 1998;42(3):343-7.
- 83 Hatipoglu S, Akbulut S, Hatipoglu F, Abdullayev R. Effect of laparoscopic abdominal surgery on splanchnic circulation: historical developments. *World J Gastroenterol*. 2014;20(48):18165-76.
- 84 Meininger D, Westphal K, Bremerich DH, et al. Effects of posture and prolonged pneumoperitoneum on hemodynamic parameters during laparoscopy. *World J Surg*. 2008;32(7):1400-5.
- 85 Gainsburg DM, Wax D, Reich DL, et al. Intraoperative management of robotic-assisted versus open radical prostatectomy. *JSLs*. 2010;14(1):1-5.
- 86 Gueugniaud PY, Abisseror M, Moussa M, et al. The hemodynamic effects of pneumoperitoneum during laparoscopic surgery in healthy infants: assessment by continuous esophageal aortic blood flow echo-Doppler. *Anesth Analg*. 1998;86(2):290-3.
- 87 Schöb OM, Allen DC, Benzel E, et al. A comparison of the pathophysiologic effects of carbon dioxide, nitrous oxide, and helium pneumoperitoneum on intracranial pressure. *Am J Surg*. 1996;172(3):248-53.
- 88 Muñoz CJ, Nguyen HT, Houck CS. Robotic surgery and anesthesia for pediatric urologic procedures. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2016;29(3):337-44.

- 89 Spinelli G, Vargas M, Aprea G, et al. Pediatric anesthesia for minimally invasive surgery in pediatric urology. *Transl Pediatr.* 2016;5(4):214-21.
- 90 Gupta K, Mehta Y, Sarin Jolly A, Khanna S. Anaesthesia for robotic gynaecological surgery. *Anaesth Intensive Care.* 2012;40(4):614-21.
- 91 Hong JY, Kim JY, Choi YD, et al. Incidence of venous gas embolism during robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy is lower than that during radical retropubic prostatectomy. *Br J Anaesth.* 2010;105(6):777-81.
- 92 Gainsburg DM. Anesthetic concerns for robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *Minerva Anesthesiol.* 2012;78(5):596-604.
- 93 Joris JL, Chiche JD, Lamy ML. Pneumothorax during laparoscopic fundoplication: diagnosis and treatment with positive end-expiratory pressure. *Anesth Analg.* 1995;81(5):993-1000.
- 94 Venkatesh R, Kibel AS, Lee D, et al. Rapid resolution of carbon dioxide pneumothorax (capno-thorax) resulting from diaphragmatic injury during laparoscopic nephrectomy. *J Urol.* 2002;167(3):1387-8.
- 95 Choudhry DK. Single-lung ventilation in pediatric anesthesia. *Anesthesiol Clin North Am.* 2005;23(4):693-708, ix.
- 96 Sommer N, Dietrich A, Schermuly RT, et al. Regulation of hypoxic pulmonary vasoconstriction: basic mechanisms. *Eur Respir J.* 2008;32(6):1639-51.
- 97 Heaf DP, Helms P, Gordon I, Turner HM. Postural effects on gas exchange in infants. *N Engl J Med.* 1983;308(25):1505-8.