

Besonders bei Neugeborenen stellen die thorakoskopischen Eingriffe eine große Herausforderung für Kinderchirurgie und Anästhesie dar.

Atemweg bei thorakoskopischen Eingriffen

Zu thorakoskopischen Eingriffen wird ein artifizieller Pneumothorax mit CO₂ angelegt. Der Weg zu einer Ein-Lungen-Anästhesie ist bei den Kindern schwieriger: Doppellumentuben gibt es erst ab einer Größe von Ch 26 (2×ID von 3,4 mm) und sind damit erst ab dem 8. Lebensjahr einsetzbar. Die Kontrolle der Platzierung erfolgt fiberoptisch. Es ist zwar eine seitengetrennte Beatmung möglich, die Lumina sind jedoch recht klein.

Der Einsatz separater Bronchusblocker kann bereits ab dem Säuglingsalter erwogen werden. Dazu kann ein Gefäßkatheter mit Ballon (z. B. Fogarty-Katheter 2–3 Fr) verwendet werden, der neben dem endotrachealen Tubus platziert wird. Spezielle Bronchusblocker sind erst ab einer Größe von 5 Fr erhältlich. Ab dem 3. Lebensjahr erfolgt die Einlage des Bronchusblockers dann durch das Lumen des Tubus. Die Lage dieses Katheters muss fiberoptisch kontrolliert werden. Die Platzierung kann schwierig sein und eine Dislokation ist leicht möglich. Eine Beatmung der separierten Lunge ist nicht möglich; z. T. ist aber die Applikation eines CPAP möglich.

Beim UniventTM-Tubus ist der Bronchusblocker in einem separaten Lumen bereits im Tubus integriert. Die beiden pädiatrischen Größen (ID 3,5 mm und ID 4,5 mm) sind für Kinder ab dem 6. bzw. 10. Lebensjahr geeignet.

Eine Alternative stellt die gezielte endobronchiale Intubation dar. Sie ist in jedem Alter möglich, präferiert wird die Technik aber v. a. bei Säuglingen unter einem halben Jahr. Die Platzierung ist fiberoptisch zu kontrollieren. Sie ist einfach, eine Dislokation ist jedoch auch hier möglich.

Anästhesiologische Überlegungen

Thorakoskopische Eingriffe werden bevorzugt in einer intravenösen Anästhesie durchgeführt, da Propofol keinen negativen Einfluss auf die hypoxisch pulmonale Vasokonstriktion (HPV) bei Ein-Lungen-Ventilation hat. Aber auch der Einsatz von volatilen Anästhetika ist möglich.

Während des Pneumothorax bzw. der Ein-Lungen-Ventilation muss das applizierte Tidalvolumen (5 ml/kg KG) zur Vermeidung eines Volutraumas reduziert werden. Das Atemminutenvolumen wird über eine Steigerung der Atemfrequenz aufrechterhalten. Dabei wird man eine permissive Hyperkapnie zugunsten einer weniger invasiven Beatmung (Barotrauma) häufig akzeptieren müssen.

Durch einen adäquaten PEEP (initial 5 cmH₂O) kann der Entstehung von Atelektasen und der daraus resultierenden Oxygenierungsstörung entgegengewirkt werden. Häufig ist aber eine erhöhte inspiratorische Sauerstoffkonzentration unumgänglich.

Die Indikation für eine arterielle Kanüle und ggf. auch für einen zentralvenösen Zugang sollte bei größeren und längeren Eingriffen sowie bei vorbestehenden Komorbiditäten großzügig gestellt werden.

Eine suffiziente Schmerztherapie nach thorakoskopischen Eingriffen ist besonders wichtig, um eine schmerzbedingte Schonatmung zu vermeiden. Bei ausgedehnten Thoraxeingriffen kann eine thorakale Epiduralanästhesie (Kap. 5.9.9) in Erwägung gezogen werden. Alternativ besteht die Möglichkeit der intravenösen PCA.

8.12 Anästhesie in der Kinderorthopädie

Christoph Eberius, Franz-Josef Kretz

In der Kinderorthopädie werden häufig behinderte Kinder behandelt, was ein besonders intensives Einfühlungsvermögen erfordert. Darüber hinaus werden Säuglinge mit Klumpfüßen, kongenitalen Hüftgelenksluxationen sowie Kinder mit Hüftdysplasien, Wirbelsäulenfehlbildungen, schweren Knochenerkrankungen (Osteogenesis imperfecta), Knochen- und Weichteiltumoren oder Bindegeweberkrankungen (Arthrogryposis multiplex congenita) behandelt. Diese Eingriffe sind teilweise mit einem erheblichen Blutverlust verbunden und erfordern ein vorausschauendes Transfusions- und Gerinnungsmanagement. Postoperativ muss je nach Eingriff auf Anzeichen für die Entwicklung eines Kompartmentsyndroms oder einer Rhabdomyolyse nach Operation in Blutleere geachtet werden.

8.12.1 Osteogenesis imperfecta

Patienten mit Osteogenesis imperfecta haben ein hohes Risiko, iatrogen bedingte Frakturen zu erleiden. Entsprechend vorsichtig muss vorgegangen werden bei der Anlage von Gefäßzugängen, der Lagerung, der Maskenbeatmung und der Intubation (**cave** Zahnschäden und Kieferfrakturen; großzügige Indikationsstellung zur fiberoptischen Intubation). Die nicht invasive Blutdruckmessung kann durch den Manschettendruck zu Knochenfrakturen führen. Oftmals ist nach Rücksprache mit den behandelnden Orthopäden die Messung an bereits operativ stabilisierten Extremitäten möglich, andernfalls muss die arterielle Kanülierung erfolgen. Aufgrund des eingeschränkten Größenwachstums ist die adäquate Tubusgröße oft nicht anhand der üblichen Parameter abschätzbar, sondern muss während der Laryngoskopie ermittelt werden.

Verbunden mit der Osteogenesis imperfecta ist ein Hypermetabolismus mit erhöhtem Sauerstoffverbrauch, was intraoperativ zum Temperaturanstieg führen kann und stets eine Temperaturmessung erforderlich macht. In etwa der Hälfte der Fälle liegt zudem eine Hyperthyreose vor, daher sollte präoperativ eine Kontrolle der Schilddrü-

senparameter erfolgen. Eine Latexallergie ist häufig. Des Weiteren sollte auf kardiovaskuläre Fehlbildungen wie z. B. Klappeninsuffizienzen geachtet werden. Thrombozytendysfunktionen und eine gesteigerte Gefäßvulnerabilität können zu unerwartet hohen Blutverlusten führen.

8.12.2 Klumpfußkorrektur

Der häufigste orthopädische Eingriff im Säuglingsalter ist die Korrektur der Klumpfußdeformität. Der kongenitale Klumpfuß ist eine komplexe Fehlstellung im Talokalkanealgelenk, Talonavikulargelenk, Kalkaneokuboidgelenk im Sinne einer Malrotation der subtalaren Fußplatte mit Kontrakturen der Gelenkkapseln und Sehnenverkürzungen unterschiedlicher Ausprägung. Die Korrektur des kongenitalen Klumpfußes erfolgt nach krankengymnastischer Vorbehandlung und Redressionsmaßnahmen noch im Säuglingsalter.

Die aktuelle Therapiemethode zur Klumpfußkorrektur folgt den Behandlungsprinzipien nach Ponseti. Meist ist nur eine Achillotomie als operative Maßnahme nötig. Die viel größere und belastendere peritalare Arthrolyse über die Cincinnati-Insizision ist schwersten Deformitäten und rigiden Füßen vorbehalten.

Die Operation nach Cincinnati wird in Blutleere und Bauchlage durchgeführt.

Narkoseführung

Die Narkose kann als intravenöse Narkose mit Propofol und einem Opioid (z. B. Sufentanil) und einem nicht depolarisierenden Muskelrelaxans durchgeführt werden. Nach Auskultation zur Überprüfung der seitengleichen Belüftung muss der Tubus sorgfältig sicher fixiert werden (Bauchlage!). Zur intra- und postoperativen Analgesie nach Cincinnati-Korrektur empfiehlt sich nach Narkoseeinleitung und noch vor Operationsbeginn die Durchführung einer Kaudalanästhesie. Wird ein Kaudalkatheter eingelegt, so kann dieser zur postoperativen Analgesie, zum Gipswechsel und zum Ziehen der Drainagen nochmals aufgespritzt werden.

Bei Lagerung des Säuglings auf den Bauch ist darauf zu achten, dass der Tubus nicht disloziert und der Thorax nicht komprimiert wird. Weiterhin ist besondere Sorgfalt auf das unten liegende Auge zu richten, damit es keinen Schaden durch Druck, ablaufenden Speichel oder Magensekret nimmt. Bei der Klumpfußkorrektur ist das zu operierende Füßchen der einzige nicht bedeckte Körperteil des Patienten, sodass im Gegensatz zu den meisten anderen Operationen im Kindesalter auch eine iatrogene Hyperthermie auftreten kann.

Bei intraoperativem Anstieg des Beatmungsdrucks ist die Narkosetiefe zu überprüfen, außerdem muss an eine sekretbedingte Tubusobstruktion gedacht werden sowie an Kompression von außen (Arme des Operationsteams, die manchmal auf dem Thorax liegen). Bei der abschlie-

ßenden Gipsanlage ist darauf zu achten, dass das Kind weiterhin abgedeckt bleibt, um die Normothermie zu erhalten.



So machen wir's

Anästhesie zur Klumpfußkorrektur

- Prämedikation:
 - bei Säuglingen ab dem 6. Lebensmonat: Midazolam 0,5 mg/kg KG p. o. oder 1 mg/kg KG rektal
- Operation nach Cincinnati:
 - Sufentanil 0,25 µg/kg KG
 - Propofol 5 mg/kg KG
 - Atracurium 0,5 mg/kg KG
 - Intubation
 - Propofol 5–10 mg/kg KG/h
 - Sufentanil 0,125 µg/kg KG als Repetitionsdosis
 - optimale Tubusfixierung und Augenschutz wegen Bauchlage
 - rückläufiger venöser Zugang empfehlenswert für Blutentnahmen zu Laboruntersuchungen
 - Kaudalanästhesie mit Ropivacain 0,2% + Clonidin 2 µg/kg KG
 - Kaudalkatheter
 - Alternative: Piritramid 0,1 mg/kg KG bereits intraoperativ
- Operation nach Ponseti:
 - Alfentanil 15 µg/kg KG
 - Propofol 5 mg/kg KG
 - Atracurium 0,5 mg/kg KG oder Mivacurium 0,2 mg/kg KG
 - Intubation
 - Propofol 5–10 mg/kg KG/h
 - Piritramid 0,05 mg/kg KG
- Wärmemanagement

8.12.3 Operationen im Bereich der Hüfte

Orthopädische Eingriffe im Bereich der Hüfte können in jedem Kindesalter, beginnend beim Säugling, über das Schulkind bis hin zum Jugendlichen notwendig werden.

Kongenitale Hüftluxation

Zur geschlossenen Reposition der kongenitalen Hüftluxation und der notwendigen Gipsanlage ist aufgrund der Lagerung eine Intubationsnarkose sinnvoll. Das Hauptrisiko bei häufigen Lagewechseln des Kindes ist die Tubusdislokation, sodass auf eine sorgfältige Fixation des Tubus zu achten ist.

Bei der Reposition ist neben der Intubationsnarkose eine kaudale Single-Shot-Regionalanästhesie empfehlenswert. Mit erheblichen Blutverlusten ist bei offener Repo-

sition zu rechnen, entsprechend ist vorsorglich eine Blutkonserve bereitzustellen.

Ein weiteres Problem stellt die Aufrechterhaltung der Normothermie dar, insbesondere bei der postoperativen und meist sehr zeitaufwendigen Anlage des Becken-Bein-Fuß-Gipses. Hier kann der Körper des Kindes nicht in jeder Situation ausreichend bedeckt gehalten werden, neben dem Einsatz einer Wärmelampe und der Gebläsedecke muss auf eine bestmögliche Abdeckung geachtet werden.

Narkosen zu Varisierungsosteotomie und Epiphyseodese

Varisierungsosteotomien des Femurknochens sind eine Behandlungsoption bei Kindern mit Morbus Perthes (aseptische Knochennekrose des Hüftkopfes), typischerweise im frühen Schulalter. Die Epiphyseodese des Hüftkopfes mittels Drähten oder einer Schraube wird bei Epiphyseolysis capitis femoris vorgenommen; die Kinder sind meist 12–15 Jahre alt. Beide Operationen werden in Intubationsnarkose oder mit Larynxmaske durchgeführt, die Narkoseführung erfolgt als intravenöse Narkose. Größere Blutverluste treten id.R. nicht auf, eine Eigenblutspende ist nicht notwendig. Intraoperativ kann das Blut in einem Cell-Saver prophylaktisch gesammelt werden, meist ist der Blutverlust jedoch nicht so groß, dass sich eine Aufbereitung lohnt.

Zur Schmerztherapie stehen bei diesen Eingriffen in Abhängigkeit vom Alter des Patienten und dem Ausmaß der Operation der Femoralisblock, die Kaudalanästhesie oder Periduralanästhesie zur Auswahl. Ist ein Regionalanästhesieverfahren kontraindiziert, bleibt die intravenöse PCA (patientenkontrollierte Analgesie) als Alternative.

So machen wir's

Anästhesie zur Hüftumstellungsosteotomie und Epiphyseodese

- Prämedikation:
 - 7,5–15 mg Midazolam p. o. (Schulkinder und Jugendliche)
- Narkoseeinleitung/Intubation:
 - Sufentanil 0,25 µg/kg KG
 - Propofol 5 mg/kg KG
 - Atracurium 0,5 mg/kg KG
- Narkoseaufrechterhaltung:
 - Propofol 5–10 mg/kg KG/h
 - Sufentanil 0,125 µg/kg KG als Repetitionsdosis
- postoperative Analgesie:
 - Piritramid 0,1 mg/kg KG bereits intraoperativ oder
 - Regionalanästhesie (Kaudalanästhesie, Periduralkatheter, Femoraliskatheter)

Narkose zu Beckenosteotomie nach Salter u. Chiari, Triple-Osteotomie

Azetabulumplastiken und Beckenosteotomien werden in allen Altersklassen durchgeführt; das Indikationsspektrum hat sich über die kongenitale Hüftluxation auf andere Hüftgelenkserkrankungen ausgedehnt. Ziel des Eingriffs ist die bessere Überdachung des Hüftkopfes.

Bei diesem Eingriff kann es zu relevanten Blutverlusten kommen. Als fremdblutsparende Maßnahmen sind präoperativ die Eigenblutspende und intraoperativ der Einsatz des Cell-Savers wichtige Aspekte. Nach der Narkoseeinleitung werden dem Patienten 2 großlumige Zugänge sowie ein Blasenkatheter gelegt. Ein erweitertes Monitoring mit arterieller Blutdruckmessung sowie die Anlage eines zentralen Venenkatheters zur Volumensteuerung sind bei einer Triple-Operation nur dann indiziert, wenn im Einzelfall ein deutlich erhöhter Blutumsatz zu befürchten ist. Auch bei älteren Kindern ist wegen des möglicherweise größeren Volumenumsatzes von vornherein auf einen guten Wärmeerhalt zu achten. Je nach Operationstechnik wird der Patient im Laufe der Operation umgelagert.

Zur postoperativen Schmerztherapie eignen sich die Periduralanästhesie oder die PCA.

So machen wir's

Anästhesie zu Beckenosteotomie nach Salter u. Chiari, Triple-Osteotomie

- Prämedikation:
 - 7,5–15 mg Midazolam p. o. (Schulkinder und Jugendliche)
- Narkoseeinleitung/Intubation:
 - Sufentanil 0,25 µg/kg KG
 - Propofol 5 mg/kg KG
 - Atracurium 0,5 mg/kg KG
- Narkoseaufrechterhaltung:
 - Propofol 5–10 mg/kg KG/h
 - Sufentanil 0,125 µg/kg KG als Repetitionsdosis
- postoperative Analgesie:
 - Piritramid 0,1 mg/kg KG i. v. bereits intraoperativ
 - alternativ: Periduralkatheter

8.12.4 Skoliose

Die Korrektur einer Skoliose findet überwiegend im Jugendalter statt. Die Skoliose ist eine komplexe Deformität mit Seitkrümmung der Wirbelsäule, Rotation der Wirbelkörper sowie Deformität des knöchernen Thorax, möglicherweise mit konsekutiver Lungenbeteiligung (Ventilationsstörung).

Beschrieben wird die Skoliose nach ihrer Lokalisation (zervikal, thorakal, lumbal) und im Ausmaß der Krümmung mithilfe des Winkels nach Cobb.

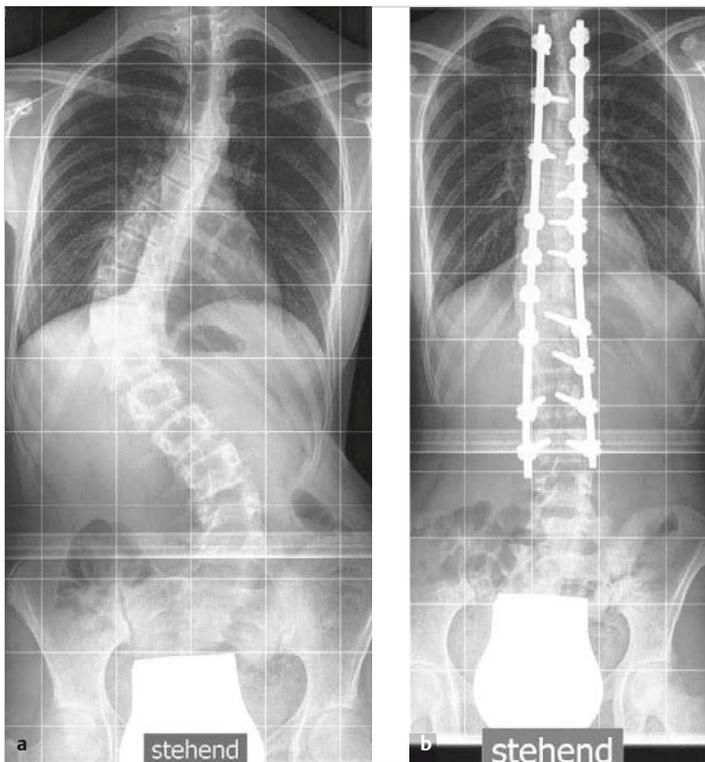


Abb. 8.11 Skoliose. 15-jähriges Mädchen mit idiopathischer Skoliose, Cobb-Winkel von 65° vor und nach operativer Aufrichtung mit dorsalem Zugang. (Quelle: mit freundlicher Genehmigung von Dr. M. Langendörfer, Stuttgart.)

a Vor Aufrichtung.

b Nach Aufrichtung.

Die Indikation zur operativen Korrektur der Skoliose besteht bei ausgeprägter Verformung mit einem Cobb-Winkel $>40^\circ$ und weiter fortschreitender Skoliose (► Abb. 8.11). Andere Indikationen zur Wirbelsäulenstabilisierung können Frakturen oder Tumoren sein. Der operative Zugang kann sowohl von dorsal als auch von ventral oder kombiniert erfolgen, teilweise sind intraoperative Lagerungswechsel erforderlich. Bei schweren begleitenden Thoraxdeformitäten können anhebende Thorakoplastiken indiziert sein, bei denen 3–6 Rippen osteotomiert werden. Fast immer muss dann eine Thoraxdrainage gelegt werden.

Weit weniger invasiv sind die Eingriffe zur Aufrichtung bei Skoliose unter Verwendung des VEPTR-Systems. Hierbei werden 2 Teleskopstangen zu beiden Seiten der Wirbelsäule eingebracht, die kaudal z. B. auf dem Beckenkamm aufsitzen und kranial die Rippen nach oben abstützen (► Abb. 8.12). Eine invasive Blutdruckmessung ist bei diesem Eingriff meist nicht erforderlich.

Präoperative Vorbereitung

Zwar ist die Ätiologie der Skoliose mehrheitlich idiopathisch, ein nicht unerheblicher Anteil beruht jedoch auf neuromuskulären Erkrankungen und kongenitalen Missbildungen wie der Meningomyelozele. Dies ist bei der Erhebung der Anamnese zu bedenken und muss entsprechend bei der Narkoseplanung berücksichtigt werden (z. B. Verzicht auf Triggersubstanzen für eine Rhabdomyolyse, latexfreies Prozedere).

Darüber hinaus ist die mögliche Assoziation von Skoliose und kardialen Erkrankungen wie Kardiomyopathie, Mitralprolaps oder pulmonaler Hypertonus von anästhesiologischem Interesse.

In Verbindung mit der resultierenden Thoraxdeformität finden sich häufig pathologische Lungenfunktionswerte im Sinne einer restriktiven Ventilationsstörung. Zur Einschätzung der Notwendigkeit einer postoperativen Nachbeatmung sollte präoperativ ein Lungenfunktionstest durchgeführt werden. Zur Detektion einer Beeinträchtigung des Gasaustausches aufgrund alveolärer Hypoventilation und eines evtl. bestehenden Missverhältnisses von Ventilation und Perfusion ist eine präoperative Blutgasanalyse notwendig.

Auf eine sorgfältige Lagerung des Patienten zur Vermeidung von Lagerungsschäden (**cave** Auge!) ist zu achten.

Wichtig sind bei diesen Patienten bereits bei der Narkoseeinleitung Maßnahmen zum Erhalt der Normothermie (z. B. Abdeckung, Heizmatte, konvektive Wärme), die intraoperativ konsequent weitergeführt werden müssen.

Präoperativ ist in Abhängigkeit vom geplanten Operationsausmaß, dem Alter und dem Gewicht des Patienten dafür zu sorgen, dass ausreichend Blutkonserven bereitstehen. Zur Vermeidung homologer Bluttransfusionen sollte dem Patienten eine Eigenblutspende angeboten werden. Als weitere fremdblutsparende Maßnahme kann nach Narkoseeinleitung eine normovolämische Hämodilution angewendet werden. Der Einsatz eines Cell-Savers

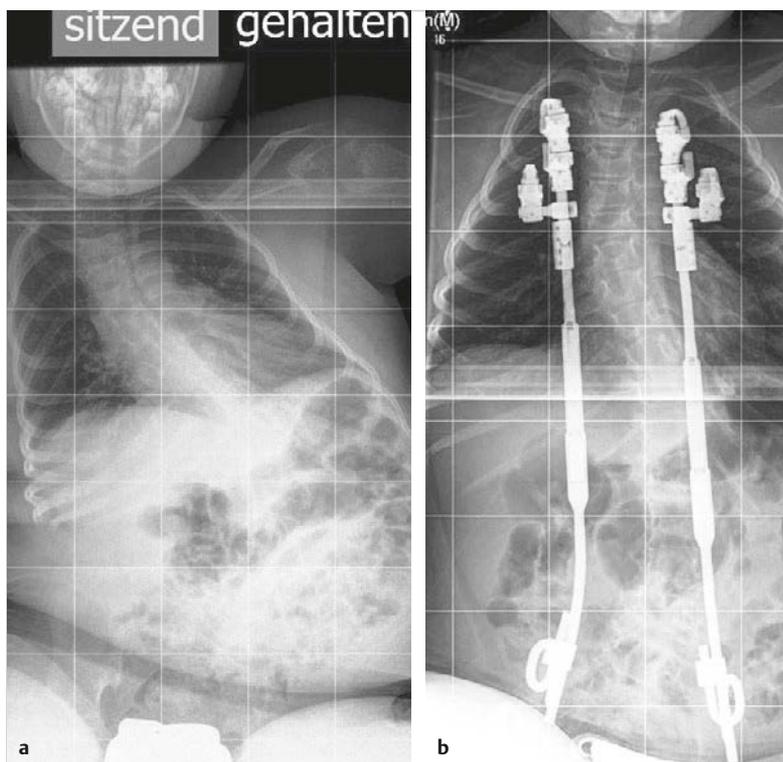


Abb. 8.12 Skoliose. 10-jähriger Junge mit Skoliose bei spinaler Muskelatrophie Typ 2 und drohender respiratorischer Insuffizienz vor und nach Aufrichtung mittels VEPTR-Instrumentierung. (Quelle: mit freundlicher Genehmigung von Dr. M. Langendörfer, Stuttgart)

a Vor Aufrichtung.
b Nach Aufrichtung.

ist obligatorisch. Auch die kontrollierte Hypotension zur Verminderung der Blutverluste in der Präparationsphase sei erwähnt. In der Aufrichtungsphase ist dagegen eine ausreichende Organperfusion zu gewährleisten, insbesondere des unter Zug stehenden Rückenmarks. Neben einer angemessenen Substitution von Blutverlusten empfiehlt sich der frühzeitige Einsatz von Katecholaminen. Ziel ist die Sicherstellung eines adäquaten Perfusionsdrucks unter Vermeidung einer Volumenüberladung, die in der postoperativen Phase zu erheblichen respiratorischen Problemen infolge Lungenödem und ausgedehnter Pleuraergüsse bei oftmals bereits vorbestehender kardio-pulmonaler Einschränkung führen kann.

Gerade in Verbindung mit der kontrollierten Hypotension ist eine sorgfältige Blutstillung essenziell, um eine Hämatombildung mit konsekutiver Nervenkompression nach Aufhebung der Blutdrucksenkung zu vermeiden. Die Indikation zur Gabe von Cyklokapronsäure zur Gerinnungsoptimierung sollte großzügig gestellt werden, z. B. in Form einer Bolusgabe von 10 mg/kg KG, gefolgt von einer kontinuierlichen Gabe mit 3–5 mg/kg KG/h.

Narkoseführung

Die Narkoseführung erfolgt als intravenöse Narkose, eine balancierte Inhalationsanästhesie ist denkbar. Falls intraoperativ die neurologische Rückenmarksfunktion durch ein Neuromonitoring überprüft werden muss, erscheint die totale intravenöse Narkose (TIVA) vorteilhaft. Der Atemweg wird durch Intubation geschützt. Bei ventralem

Zugang im Thoraxbereich ist ein Doppellumentubus von Vorteil.

Komplikationen

Eine gefürchtete Komplikation der Skoliosekorrektur ist die Rückenmarkschädigung durch folgende Mechanismen:

- selten durch eine direkte chirurgische Schädigung (z. B. fehlerhaft in den Wirbelknochen eingebrachte Schrauben)
- Nervendehnung infolge Aufrichtung der Wirbelsäule
- Einschränkung der Rückenmarkperfusion durch Beeinträchtigung der versorgenden Gefäße
- Rückenmarkskompression durch Hämatombildung

Insbesondere der letztgenannte Punkt kann sich auch postoperativ entwickeln, sodass nach dem Eingriff eine engmaschige klinische Kontrolle der neurologischen Funktionen erforderlich ist. Neben motorischen und sensiblen Ausfällen ist hierbei auch auf den Analsphinktertonus sowie die Blasenfunktion zu achten.

Intraoperativ kann die Integrität der Rückenmarksfunktion mittels Aufwachttest überprüft werden, bei dem der Hypnotikaanteil reduziert und die analgetische Komponente der Narkose weiter fortgeführt wird. Der Patient wird dann bei zunehmendem Wachheitsgrad primär aufgefordert, die Hände zu bewegen bzw. zu drücken, um eine Muskelrelaxation auszuschließen, dann wird er aufgefordert, die Beine zu bewegen. Die Narkose wird da-

nach sofort wieder vertieft. Dieses Vorgehen muss dem Patienten präoperativ ausführlich erklärt und ihm die Angst vor Schmerzen genommen werden. Der Hauptnachteil dieses Verfahrens besteht darin, dass nur eine punktuelle Kontrolle der neurologischen Integrität des Rückenmarks vorgenommen werden kann. Außerdem besteht die Gefahr von heftigeren Bewegungen des Patienten mit akzidenteller Extubation, Ausriss oder Bruch des Instrumentariums in der Wirbelsäule sowie das Risiko der Luftembolie bei Einsetzen der Spontanatmung unter reduzierter Anästhesie.

Dies hat dazu geführt, dass die Funktion des Rückenmarks heute routinemäßig mit der Ableitung somatosensorischer evozierter Potenziale (SSEP) überprüft wird. Dabei werden subkortikale und kortikale Antworten auf periphere Nervenstimuli gemessen. Nachteil dieser Methode ist, dass nur eine Beurteilung der Hinterstrangbahn, nicht jedoch der Vorderhornbahnen möglich ist. Wird das Neuromonitoring durch die Messung von muskulär evozierten Potenzialen (MEP) erweitert, so ist bei der Narkoseeinleitung auf den Einsatz entsprechend kurz wirksamer Muskelrelaxanzien zu achten. Zusätzlich wird das Neuromonitoring durch Hypothermie, Hypotonie und eine inadäquat tiefe Narkose beeinflusst – hier haben sich volatile Anästhetika als besonders nachteilig erwiesen, Ketamin dagegen scheint mit dem Neuromonitoring deutlich weniger zu interferieren.

Monitoring

Das intraoperative Monitoring beinhaltet die Standardüberwachung mit EKG, Pulsoxymetrie, Kapnometrie, nicht invasiver Blutdruckmessung sowie Relaxometrie und Temperatursonde. Nach Einleitung der Narkose erfolgt eine arterielle Kanülierung zur kontinuierlichen Blutdruckmessung und regelmäßigen Blutentnahme für Blutgasanalysen und Laborkontrollen. Ergänzend werden ein zentraler Venenkatheter zur Katecholamintherapie sowie großlumige periphere Zugänge gelegt. Der Patient benötigt zur exakten Kontrolle der Diurese einen Blasen-katheter.

Postoperative Therapie

Erfahrungsgemäß bereitet die pulmonale Beeinträchtigung postoperativ oft große Schwierigkeiten. Allein schon aus diesem Grund ist eine adäquate Schmerztherapie zur Vermeidung einer Schonatmung wichtig. Dazu kann bei OP-Ende durch den Operateur (bei dorsalem Zugang) ein Periduralkatheter eingebracht werden, worüber in der postoperativen Phase dann Lokalanästhetika und Opiode gegeben werden können; Alternative ist eine intravenöse PCA. Bei kompromittierter Atemmechanik ist die medikamentöse und intensive physiotherapeutische Sekretmobilisation unerlässlich.

So machen wir's

Anästhesie bei Skoliose

- bei Lumbalskoliose:
 - Midazolam-Tablette 7,5–15 mg/kg KG
 - Propofol 3–5 mg/kg KG
 - Sufentanil 0,25 µg/kg KG
 - Atracurium 0,5 mg/kg KG
 - Intubation; optimale Fixierung des Tubus (da Bauchlage)
 - optimaler Schutz der Augen bei Bauchlage
 - Propofol 5–10 mg/kg KG/h
 - Remifentanil 0,2 µg/kg KG/min
 - intraoperativer Aufwachtest: Propofol abstellen, Remifentanil weiterlaufen lassen
 - besser: Neuromonitoring mittels SSEP und MEP
 - ggf. Periduralkatheter zur postoperativen Analgesie
 - postoperative Überwachung auf der Intensivstation
- bei ventralem thorakalem Zugang:
 - Doppellumentubus
- Wärmemanagement
- postoperative Analgesie:
 - Piritramid 0,1 mg/kg KG i. v. bereits intraoperativ
 - alternativ: Periduralkatheter
- postoperativ intensivmedizinische Überwachung

8.13 Anästhesie in der Kinderneurochirurgie

Andreas Otte

Fallbeispiel

Die 9-jährige Sophie klagt seit einigen Wochen über Kopfschmerzen. In der Schule hat sie heute plötzlich starke Übelkeit bekommen, erbrochen und ist dann schläfrig geworden. Die Mutter wird von der Schule aus angerufen und bringt Sophie in die Notfallambulanz. Der diensthabende Arzt schickt Sophie zur kraniellen Computertomografie (CCT). Das CCT zeigt einen Tumor in der hinteren Schädelgrube und einen leichten Hydrozephalus. Sophie wird auf die Intensivstation verlegt. Eine Therapie mit Dexamethason und Mannitol zur Reduzierung des Hirnödems wird begonnen und Sophie wird für den nächsten Morgen zur Operation angemeldet.

Die anästhesiologische Versorgung von Kindern bei neurochirurgischen Eingriffen setzt sowohl Kenntnisse der allgemeinen Kinderanästhesie als auch ein Verständnis der zerebrovaskulären Physiologie, der Dynamik des intrakraniellen Drucks (ICP) und des Blutflusses (CBF) sowie der anatomischen Entwicklung des Gehirns voraus. We-

sentlich für die Narkoseführung ist außerdem eine Kenntnis der spezifischen Anforderungen für den geplanten chirurgischen Eingriff.

8.13.1 Grundlagen

Das Gehirn wächst nach der Geburt im 1. Lebensjahr am schnellsten und erreicht am Ende des 2. Jahres etwa 80 % seiner endgültigen Masse. Während dieser Zeit ist auch der Stoffwechselbedarf des Gehirns entsprechend hoch. Der Sauerstoffverbrauch (CRMO₂) und die Hirndurchblutung (CBF) steigen proportional zum raschen Wachstum. CBF und CRMO₂, die normalerweise eng miteinander gekoppelt sind, erreichen Maximalwerte: CBF 90–100 ml/100 g/min und CRMO₂ 4,5–5 ml/100 g/min. Dies bietet dem wachsenden Gehirn wenige Reserven und macht es besonders vulnerabel für hypoxische oder ischämische Zwischenfälle. Da das Gehirn beim Kind einen größeren Anteil des Herzzeitvolumens als beim Erwachsenen erhält (etwa 20–25 % des HZV), besteht zudem ein höheres Risiko einer Minderdurchblutung des Gehirns aufgrund einer kardiovaskulären Instabilität während neurochirurgischer Eingriffe, bei denen es u. a. lagerungsbedingt zu starken Schwankungen des HZV kommen kann.

Regulierung des intrakraniellen Drucks

Die beim Säugling noch nicht vollständig geschlossenen Kopfnähte und die Fontanellen ermöglichen es, eine Erhöhung des intrakraniellen Drucks (ICP) in den ersten Lebensmonaten teilweise zu kompensieren. Nach dem Verschluss der Kopfnähte stellt der Hirnschädel einen fast vollständig geschlossenen, starren Raum dar.

Merke

Der ICP wird reguliert durch das Volumenverhältnis der 3 Kompartimente des Schädelinhalts:

- Gehirnzellen (80 %)
- Liquor (10 %)
- Gehirnblutvolumen (10 %)

Keines der 3 Kompartimente kann komprimiert werden, und somit ist das Volumen der neuralen Axis als Konstante zu sehen. Volumenänderungen in einem Kompartiment müssen durch reziproke Änderungen in den anderen Kompartimenten ausgeglichen werden (Monro-Kellie-Doktrin).

Der Liquor (CSF) wird zu 80 % in den Plexus chorioidei gebildet und zirkuliert durch die Ventrikel, das Foramen Magendii und die Foramina von Luschkae in den Subarachnoidalraum. Hier wird der Liquor über die Pacchioni-Granulationen und die duralen Sinus im Spinalkanal wieder in das venöse System reabsorbiert. Die Reabsorption ist abhängig vom hydrostatischen Druckgefälle zwischen dem Subarachnoidalraum und den venösen Sinus. Der ICP beim Neugeborenen beträgt 0–6 mmHg, beim Kleinkind 6–13 mmHg und beim Schulkind 13–15 mmHg (► Tab. 8.2). Die Liquorproduktion liegt durchschnittlich bei etwa 0,35 ml/min, sodass es, bezogen auf das totale Volumen des Subarachnoidalraums von Kindern (50–150 ml), täglich zu einem mindestens 3-fachen Austausch des Liquor cerebrospinalis kommt.

Die Hirndurchblutung wird beim Kind wie beim Erwachsenen über einen breiten Blutdruckbereich konstant gehalten (zerebrale Autoregulation). Der Perfusionsdruck des Gehirns (CPP) ergibt sich aus dem arteriellen Mittelwert (MAP) minus dem Hirndruck (ICP):

$$CPP = MAP - ICP$$

Jede Erhöhung des ICP führt somit zu einer Verminderung des CPP und außerhalb der Grenzen der zerebra-

Tab. 8.2 MAP, ICP, CBF und O₂-Verbrauch in Abhängigkeit vom Lebensalter [647].

Alter	MAP (mmHg)	ICP (mmHg)	CBF (ml/100 g/min)	CRMO ₂ (ml/100 g/min)
Frühgeborenes <37. SSW	30–45	<3	5–30	1–2
Neugeborenes <28. Tage	45–55	2–5	30–40	2–3
Säugling 29. Tag bis 1 Jahr	55–65	2–5	40–60	3–4
Kleinkind 2–3 Jahre	70–75	3–7	50–80	4–5
Schulkind 4–16 Jahre	70–80	5–12	50–100	3,5–5
Erwachsener	80–90	8–15	45–50	3,5

CBF: zerebraler Blutfluss, CRMO₂: zerebraler Sauerstoffverbrauch, ICP: intrakranieller Druck, MAP: mittlerer arterieller Blutdruck

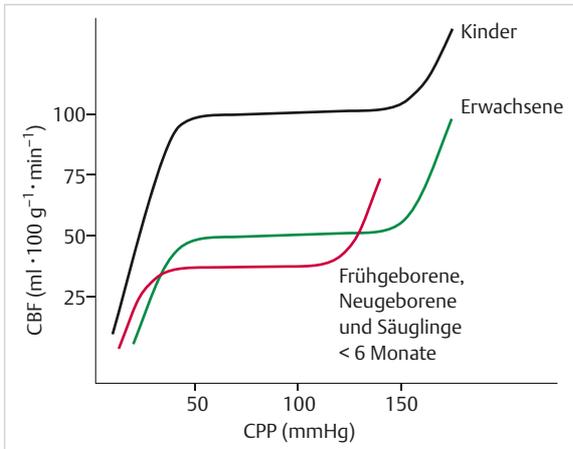


Abb. 8.13 Zerebraler Blutfluss (CBF) in Abhängigkeit vom zerebralen Perfusionsdruck (CPP) und Lebensalter. Sowohl die Grenzen für die zerebrale Autoregulation als auch der CBF sind altersabhängig. Bei einem reduzierten CBF und einer erhöhten $CMRO_2$ ist v. a. in der Gruppe der Frühgeborenen, Neugeborenen und Säuglinge unter dem 6. Lebensmonat die Reserve hinsichtlich einer ausreichenden Gewebeatmung reduziert [662].

len Autoregulation zu einer Verminderung der Hirndurchblutung. Die Grenzen der zerebralen Autoregulation liegen beim Erwachsenen bei einem Perfusionsdruck von 50–150 mmHg, beim Kleinkind, bei dem ein niedrigerer Blutdruck vorliegt, bei 20–100 mmHg (► Abb. 8.13). Diese Autoregulation kann durch Hypoxie, Azidose, Trauma oder Medikamente unterbrochen werden. Zusätzlich ist anzunehmen, dass die zerebrale Autoregulation bei kritisch kranken Frühgeborenen und in der Penumbra von Tumoren eingeschränkt ist. Beim Vorliegen einer normalen Autoregulation ist der arterielle CO_2 -Partialdruck (p_aCO_2) der wichtigste Faktor zur Änderung der Hirndurchblutung und des intrakraniellen Drucks (sog. Cerebral Carbon Dioxide Reactivity, CCO_2R). Bei einem p_aCO_2 von 15–80 mmHg ändert sich der CBF um 1,8 ml/100 g/min pro mmHg Änderung des p_aCO_2 . Die Manipulation des p_aCO_2 kann somit zu einer vielfachen Veränderung der zerebralen Durchblutung führen. Eine Hyperkapnie hebt das Plateau des CBF (► Abb. 8.13) an und verkürzt den Bereich der Autoregulation. Eine Hypokapnie senkt das Plateau des CBF und verbreitert das Plateau. Der arterielle Sauerstoffpartialdruck (p_aO_2) hat weit weniger Einfluss auf die Gehirndurchblutung, erst bei einer schweren Hypoxämie mit Sättigungen unter 50% kommt es zu einem raschen Anstieg der Gehirndurchblutung beim Kind. Die Körpertemperatur hat ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die $CMRO_2$ bzw. den CBF. Ein Abfall der Körpertemperatur um 1 °C bewirkt eine Reduktion des $CMRO_2$ um ca. 7%. Hierdurch reduziert sich der CBF entsprechend.

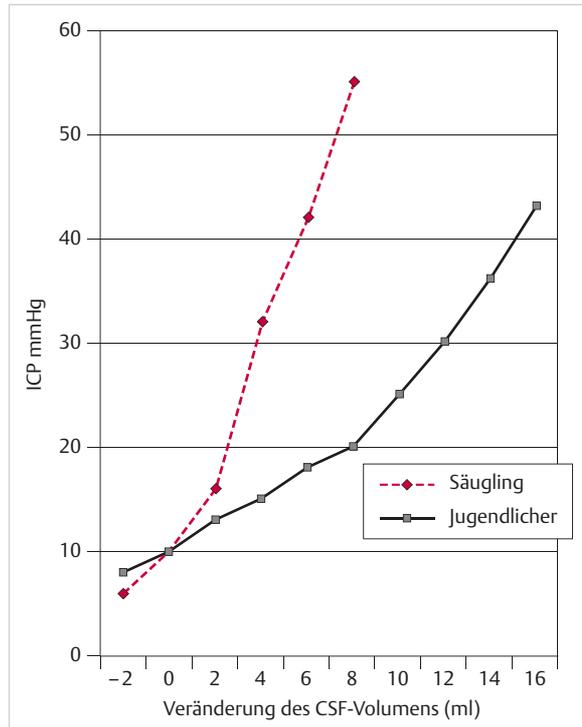


Abb. 8.14 Druck-Volumen-Kurven des zerebralen Blutflusses. Messungen bei Zufügen oder Ablassen von Liquor (CSF) [659].

Wie weiter oben angeführt, kommt es bei Volumenzunahme eines der intrakraniellen Kompartimente zu einem ICP-Anstieg. Das Verhältnis zwischen intrakranielltem Druck und Volumen wird durch eine hyperbole Kurve dargestellt (► Abb. 8.14), mit einem steileren Anstieg beim Kind im Vergleich zum Erwachsenen. Kinder entwickeln somit bei Veränderungen des intrakraniellen Volumens schneller einen erhöhten ICP.

Therapie des erhöhten intrakraniellen Drucks

Die Kontrolle des intrakraniellen Drucks ist eine der Hauptaufgaben des Neuroanästhesisten. Lagerungsänderung, medikamentöse Behandlung, isovolämische Dehydratation und Hyperventilation können alle zu diesem Zweck herangezogen werden.

Osmotherapie

Osmotische und nicht osmotische Diuretika können das zerebrale interstitielle Volumen und damit den intrakraniellen Druck effektiv reduzieren. Die Gabe von 0,25–1 g/kg KG Mannitol führt über eine Reduktion der Viskosität des Blutes akut zu einer zerebralen Vasokonstriktion (► Abb. 8.15) und erhöht die Serumosmolalität um 10–20 mOsmol/kg KG. Die Kombination mit 0,7 mg/kg KG Furosemid führt zu einem additiven Effekt und zu einem

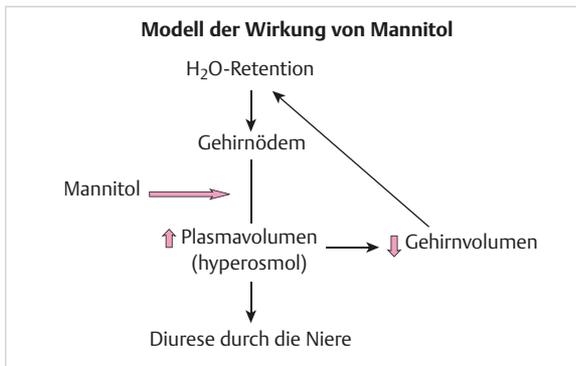


Abb. 8.15 Osmotherapie. Schematische Darstellung der Wirkung von Mannitol auf die Reduzierung des Gehirnvolumens.

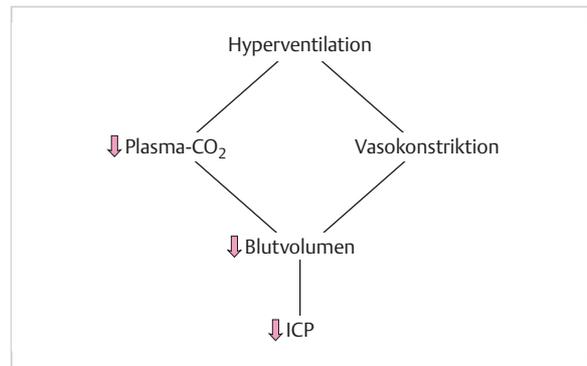


Abb. 8.16 Auswirkung einer Hyperventilation auf den CBF und ICP. Schematische Darstellung.

höheren und länger andauernden Abfall des ICP im Vergleich zur Gabe nur eines dieser Medikamente. Die wiederholte Gabe von Mannitol kann allerdings zu einer extremen Hyperosmolalität führen, mit der Gefahr der Entwicklung eines Nierenversagens und einem erneut auftretenden Hirnödem. Die Verabreichung von Furosemid kann evtl. diese „Rebound“-Schwellung unterdrücken.

Medikamentöse Therapie

Glukokortikoide reduzieren die Produktion von CSF und die Ödembildung um einen Gehirntumor oder das Operationsgebiet. Ihre Wirksamkeit nach hypoxisch-ischämischen oder traumatischen Insulten ist allerdings umstritten. Es gibt jedoch Hinweise, dass die elektive Gabe von Dexamethason (0,25–0,5 mg/kg KG) vor einem neurochirurgischen Eingriff das Auftreten eines postoperativen Ödems vermindert.

Barbiturate reduzieren den intrakraniellen Druck durch zerebrale Vasokonstriktion und eine Reduzierung des CMRO₂ und des CBF bei Erhalt der CCO₂R. Üblicherweise wird ein Bolus von 2–6 mg/kg KG Thiopental verabreicht. Langzeitinfusionen von Barbituraten werden gelegentlich noch zur Senkung des intrakraniellen Drucks bei schwerem Schädel-Hirn-Trauma und beim Reye-Syndrom eingesetzt. Sie können allerdings unerwünschte Nebenwirkungen hervorrufen, v.a. eine Senkung des Blutdrucks, aber auch eine Inflammationsreaktion mit Leberfunktionsstörungen. Der therapeutische Serumbarbituratspiegel wird mittels EEG-Messung (Burst-Suppression) erreicht.

Hyperventilation

Die Hyperventilation ist der schnellste Weg, um intraoperativ den akut angestiegenen intrakraniellen Druck zu vermindern (► Abb. 8.16). Eine Reduzierung des p_aCO₂ von 40 mmHg auf 20 mmHg senkt den ICP um 50%. Allerdings ist die Wirksamkeit der Hyperventilation auf einen Zeitraum von 4–8 Stunden begrenzt. Danach hat sich

durch aktive Bicarbonatverschiebung aus dem Liquor in das Blut der pH-Wert im Liquor normalisiert und somit auch der CBF adaptiert. Hypokapnie geht jedoch mit einer Verschlechterung des neurologischen Outcomes bei Frühgeborenen und Schädel-Hirn-Trauma-Patienten einher.

Merke



Eine extreme Hyperventilation kann zu zerebraler Ischämie durch Vasokonstriktion führen.
p_{et}CO₂-Werte sollten nicht < 30 mmHg liegen!

8.13.2 Allgemeine Gesichtspunkte der Narkoseplanung

Neurophysiologische Wirkung von Anästhetika

Inhalationsanästhetika

Alle Inhalationsanästhetika sind zerebrale Vasodilatoren und erhöhen als solche den intrakraniellen Druck. Bei Kindern ist dieser Effekt gegenüber Erwachsenen zusätzlich verstärkt. Die halogenierten Inhalationsanästhetika verringern den CMRO₂, wobei unter Normokapnie ein Gleichgewicht zwischen erhöhtem CBF und reduziertem CMRO₂ herrscht. Bei endtidalen pCO₂-Werten unter 45–50 mmHg bleibt die CCO₂R erhalten. Isofluran und Sevofluran führen zu einer geringeren Erhöhung des zerebralen Blutflusses und sind deshalb die gebräuchlichen Inhalationsanästhetika in der Neuroanästhesie. Desfluran hat ähnliche ZNS-Effekte, findet aber wegen seiner Atemwegsirritabilität in der Kinderanästhesie wenig Verwendung. Bis zu einem MAC von 1,0 können volatile Anästhetika verwendet werden, ohne dass es zu einer Entkopplung von CMRO₂ und CBF kommt. Lachgas ist ebenfalls ein potenter zerebraler Vasodilatator. Experimentelle Daten legen nahe, dass es zusätzlich die CMRO₂ erhöht. Weiterhin schränkt es die CCO₂R ein, wenn es alleine oder in