

Weigand · Briegel · Scharf-Janßen · Schmitt

Intensiv-medizin

Kompendium und Repetitorium
zur interdisziplinären Weiter- und
Fortbildung

Mit 127. Ergänzungslieferung
November 2025

ecomed
MEDIZIN

XIII – 1.5 Perioperative Schmerztherapie bei Früh- und Neugeborenen

J. Kaufmann

1 Einleitung

Die Behandlung von Früh- und Neugeborenen stellt in vielerlei Hinsicht eine besondere Herausforderung dar. Neben den körperlichen Dimensionen, die beispielsweise bei der Versorgung mit Gefäßzugängen besondere Erfahrung erfordern, bestehen erhebliche altersbedingte physiologische Unterschiede. Es ist daher oft nicht möglich, die gleichen Konzepte wie beim Erwachsenen nur unter Berücksichtigung auf die kleineren Dimensionen adaptiert anzuwenden. So muss zum Beispiel aufgrund von markanten Unterschieden in der Pharmakokinetik und der neuronalen Schmerzverarbeitung mit einem klinischen Wirkprofil von Opioiden gerechnet werden, welches in keiner anderen Patientengruppe zu beobachten ist.

Besonders Frühgeborene und kranke Neugeborene sind aufgrund der Unreife der zerebralen Blutgefäße von Hirninfarkten oder Hirnblutungen bedroht. Im Bereich der perioperativen Versorgung übernimmt die Anästhesie eine besondere Verantwortung für diese Kinder. Beispielsweise erhöht jede Situation einer hämodynamischen Instabilität, inadäquaten Ventilation, aber auch Schmerzen und Stress, nachweislich die Rate an Hirnblutungen oder Hirninfarkten. Aber auch langfristige negative Folgen für die psychoneurale Entwicklung von Säuglingen mit Schmerzerfahrung sind bekannt. Daher muss uneingeschränktes Ziel der Anästhesie sein, neben der lückenlosen Gewährleistung von kardiopulmonaler Stabilität jedes Kind mit einer für seine Situation optimalen Schmerztherapie zu versorgen.

2 Besonderheiten der Schmerztherapie bei Früh- und Neugeborenen

2.1 Können Frühgeborene überhaupt Schmerzen wahrnehmen?

In den 1980er-Jahren war es noch eine weit verbreitete Meinung, dass Säuglinge aufgrund eines unreifen Schmerzverarbeitungssystems noch nicht dazu in der Lage seien, Schmerzen zu empfinden. Es war ein weit verbreitetes Vorgehen bei Neugeborenen, zum operativen Verschluss des Ductus arteriosus Botalli keine Narkose oder Analgesie zu verabreichen. Eine 1987 publizierte Studie hat Neugeborene zum Ductusverschluss, die lediglich mit 50 % Lachgas beatmet wurden und keinerlei weitere Medikamente erhielten, mit einer zweiten Gruppe, die zusätzlich Fentanyl erhalten hatte, verglichen. Es konnte eine Reduktion der kardiovaskulären Stressreaktion bei den Neugeborenen, die Fentanyl erhalten hatten, nachgewiesen werden [3]. Wie beachtenswert diese Feststellung damals gewesen sein muss, lässt sich auch daraus ableiten, dass dies im „Lancet“ publiziert werden konnte.

Dabei konnte aber nicht differenziert werden, ob eine bewusste Wahrnehmung des Schmerzes bei Neonaten stattfindet oder nur subkortikale Mechanismen für diese Stressreaktionen verantwortlich waren. Aber auch diese Frage konnte im Jahr 2006 eindeutig geklärt werden. So konnte an 40 Frühgeborenen zwi-

schen der 28. und 36. Gestationswoche nachgewiesen werden, dass es durch Schmerzreize zu einer regionalen, der Schmerzlokalisation assoziierten Aktivitätsteigerung im somatosensorischen Kortex kommt [10], was als Beweis für eine bewusste Wahrnehmung gilt.

Merke: Auch Früh- und Neugeborene haben Schmerzen und nehmen diese bewusst wahr.

2.2 Kurz- und langfristige Folgen von Schmerzen

Wie beim Erwachsenen haben Schmerzen auch in dieser Patientengruppe eine Bedeutung für die körperliche Integrität, die über die reine Missemmpfindung hinausgeht. So konnten ein erhöhter Proteinabbau sowie eine Steigerung von adrenergen Transmittern und kortikosteroiden Hormonen bei Neugeborenen während Operationen mit unzureichender Analgesie nachgewiesen werden [3]. Die genannten Faktoren werden für eine Erhöhung von postoperativen Komplikationen wie Wundheilungsstörungen verantwortlich gemacht [15]. Zudem konnte eine höhere Rate an perioperativen Komplikationen wie metabolischen und kardiozirkulatorischen Problemen nachgewiesen werden [3]. Bei Frühgeborenen kommt eine deletäre schmerzassoziierte Gefahr hinzu, die bei älteren Patientengruppen nicht mehr existiert: Stress und Schmerzen begünstigen Hirnblutungen und Hirninfarkte [2]. Im periventrikulären Subependym der Seitenventrikel des unreifen Gehirns befindet sich eine als germinale Matrix bezeichnete neuronale Keimregion, die stark vaskularisiert ist und deren Gefäßstrukturen sehr fragil sind. Dadurch bedingt kann es bei pathologischen Veränderungen der Hirnperfusion oder der Gefäßpermeabilität in dieser Region zu Einblutungen mit den Folgen von intraventrikulären Hämorrhagien (IVH) oder Hirninfarkten kommen.

Letztere verursachen einen Substanzdefekt, der sich mit dem morphologischen Bild einer periventrikulären Leukomalazie (PVL) darstellt. Die PVL und die IVH stellen die häufigsten Ursachen für eine gestörte neurologische Entwicklung von Früh- und Neugeborenen dar [57]. Neben Abweichungen von einer normalen Hirnperfusion erhöhen Hyper- oder Hypopapnie [25] sowie Inflammationsmediatoren und Stoffwechselentgleisungen das Risiko für beide Komplikationen [9]. Auch dass bei Frühgeborenen eine noch fehlende Autoregulation der zerebralen Perfusion dazu beiträgt, konnte eindeutig gezeigt werden [59]. Weil Schmerzen und Stress aber erheblich die Hämodynamik beeinflussen, ist es nachvollziehbar, dass diese auch als direkte Risikofaktoren für IVH und PVL identifiziert werden konnten [15].

Als Folge von wiederholten Schmerzerlebnissen können bei Säuglingen eine Erniedrigung der Schmerzschwelle und eine Erhöhung des Schmerzmittelbedarfs beobachtet werden. Beispielhaft war in einer Untersuchung mit 164 Säuglingen die Stressantwort stärker ausgeprägt und der Opioidverbrauch höher bei Säuglingen, die zuvor bereits eine Operation an einer anderen Lokalisation hatten als bei jenen, die zuvor keine Operation hatten. Eine im Vergleich dazu weitere Steigerung der Empfindlichkeit wurde dokumentiert, wenn bereits eine Operation in dem gleichen Dermatom stattgefunden hatte [48]. Ein solcher sensibilisierender Effekt ist auch bei einem erheblichen zeitlichen Abstand zwischen den schmerhaften Ereignissen noch nachweisbar. Jungen, die als Neugeborene bereits eine Zirkumzision ohne Analgesie oder Narkose erlebt hatten, zeigten im Alter von 4–6 Monaten eine signifikant stärkere Reaktion auf eine intramuskulär verabreichte Impfung [56]. Früh- und Neugeborene befinden sich in einer Phase von ausgeprägten Entwicklungen ihrer neuronalen und zerebralen Strukturen, sodass

schon aus diesem Grund eine hohe Empfindlichkeit für eine auch sehr langfristige Beeinflussung durch Schmerzreize und Stress vermutet werden kann. Dementsprechend ist bei Frühgeborenen und reifgeborenen Säuglingen, die mehreren Operationen unterzogen werden mussten oder lange Phasen mit regelmäßigen schmerhaften Prozeduren durchlebt haben, in mehreren Untersuchungen eine Veränderung der psychischen Stabilität und der Stresslatenz bis in das Schulalter hinein feststellbar gewesen [49].

Somit kommt der Schmerztherapie und Stressabschirmung bei Früh- und Neugeborenen eine erhebliche Bedeutung zur Vermeidung des Risikos von Hirnschädigungen und langfristigen Beeinträchtigungen der psycho-neuronalen Entwicklung zu. Im Rahmen der perioperativen Versorgung muss die Anästhesie diese Aufgabe wahrnehmen und sich auf die Vermeidung von cerebralen Schädigungen fokussieren. Dazu gehören neben der Schmerz- und Stressabschirmung auch eine lückenlose Gewährleistung von arterieller Normotension, Normokapnie, Normoglykämie und Normothermie.

Merke: Durch Schmerzen steigt die Rate an Hirnblutungen bei Früh- und Neugeborenen!

2.3 Pharmakologische Besonderheiten

Früh- und Neugeborene weisen pharmakologische Verteilungsvolumina auf, die sich wesentlich vom Erwachsenen unterscheiden. So ist der Gesamtwasserhalt beim Neugeborenen 30 % größer und das Extrazellulärvolumen fast doppelt so groß wie beim Volljährigen [34]. Der Anteil an Fettgewebe von ca. 3–4 % seines Körbergewichts wird bei einem Frühgeborenen nahezu ausschließlich vom Gehirn dargestellt [18]. Schon beim reif geborenen Säug-

ling findet sich mit 10 % ein erheblich größerer Anteil an Fettgewebe, was sich dann beim normgewichtigen Erwachsenen nahezu verdoppelt hat. Zusätzlich verfügt das Neugeborene über 10 % der metabolischen Aktivität eines Erwachsenen, die somit erheblich eingeschränkt ist. Beim Kleinkind ist die metabolische Aktivität im Gegensatz dazu vorübergehend höher als beim Erwachsenen [34]. Dies führt dazu, dass zum Beispiel Opioide schon unter optimalen klinischen Bedingungen erheblich altersabhängig variierende Plasmahalbwertszeiten aufweisen (Tabelle 1).

Merke: Opioide zeigen oft erheblich verlängerte Wirkzeiten.

2.4 Besonderheiten bei der Nozizeption

Bei der Therapie von Früh- und Neugeborenen mit Opioiden ergibt sich eine weitere Besonderheit. Die Dichte an Opiodrezeptoren ist in allen dem Hirnstamm übergeordneten Bereichen mit dem Zeitpunkt der Geburt erheblich geringer als beim Erwachsenen. So entspricht die Dichte an Opioidbindungsstellen beispielsweise im Hippocampus des reifen Neugeborenen weniger als 14 % der Dichte beim Erwachsenen [24]. Hingegen erfolgt die diesbezügliche Ausreifung des Hirnstamms erheblich früher, sodass hier mit der Geburt schon eine Dichte von fast 40 % erreicht wird. Somit wirken Opioide bei Frühgeborenen schon deutlicher im Hirnstamm, wo die Atemdepression entsteht, als im Mittelhirn, wo die Modulation der emotionalen Schmerzempfindung und kortikalen Weiterleitung vermittelt wird. Als Folge davon manifestiert sich klinisch einerseits eine erniedrigte Schmerzschwelle und ein erhöhter Serumspiegel an Opioiden, der notwendig ist, um eine mit Säuglingen vergleichbare Schmerzfreiheit zu erreichen [15]. Zum anderen ist hierin der Grund für die

Tabelle 1: Altersabhängige Plasmahalbwertszeiten verschiedener Opiode in Stunden (als Mittelwerte und wenn publiziert \pm Standardabweichungen; „–“ wenn keine Daten bekannt) [29, 35, 36, 47, 51]

	Fentanyl	Sufentanil	Piritramid	Morphin
Frühgeborene	17,7 \pm 9,3	12,3	–	8,9
Reifgeborene	5,3 \pm 1,2	3,6	11,7 \pm 12	7,6
Säuglinge	1,1	2,3	2,6 \pm 1,7	2,0
Kleinkinder	–	–	2,8 \pm 2,4	2,0
Jugendliche/Erwachsene	–/2,0	–/3,5	8,0 \pm 1,4	2,3/2,8

Beobachtung zu sehen, dass Frühgeborene bei Opioidspiegeln, die keine ausreichende Analgesie bewirken, bereits eine ausgeprägte Atemdepression zeigen können [24]. Somit ist also das beim Erwachsenen grundsätzliche Prinzip, dass man Opiode in der Regel bis zur Schmerzfreiheit titrieren kann, ohne eine Atemdepression zu beobachten, für die Anwendung bei Frühgeborenen nicht gültig. Dies unterstreicht die Sinnhaftigkeit, mit der Regionalverfahren verwendet werden sollten, wo immer dies möglich ist.

Merke: Opiode können bei Früh- und Neugeborenen eine Atemdepression schon vor einer ausreichenden Analgesie verursachen.

2.5 Neurotoxizität von Anästhetika, Sedativa und Analgetika

Alle in der klinischen Anwendung etablierten Sedativa und Narkotika haben bei unreifen Tieren zu einer Induktion erhöhter neuronaler Apoptose geführt. Die Bedeutung dieser Beobachtungen in der klinischen Situation am unreifen Kind ist jedoch völlig unklar [26]. In epidemiologischen Untersuchungen, wurden aber keine Entwicklungsdefizite bei Kindern beobachtet, die als Säuglinge mehrere Narkosen erhalten hatten [61]. Aufgrund der derzeitigen Datenlage lassen sich keine Empfehlun-

gen ableiten, bestimmte Sedativa bevorzugt einzusetzen oder zu meiden. Klar ist, dass unbehandelte Schmerzen und Stress ebenfalls mit einem erhöhten neuronalen Zelltod und Entwicklungsstörungen assoziiert sind [5, 6]. Das Weglassen von Sedativa oder Analgetika stellt daher keine Alternative dar, von der Kinder profitieren würden. Lediglich Regionalanästhesie gilt derzeit als sicheres Verfahren. Selbst die bis zu 8,4-fache Dosis an intrathekal verabreichtem Bupivacain führte nicht zu einer Erhöhung der neuronalen Apoptose bei neugeborenen Ratten [63]. Daher sollten Regionalverfahren alleine oder als Kombinationsverfahren zum Einsparen systemischer Analgetika und Sedativa wo immer möglich verwendet werden. Eine Selbstverständlichkeit sollte es sein, dass besonders bei Neugeborenen und Säuglingen jede Indikation zur Operation kritisch und individuell zu hinterfragen. Weiterhin sollten nicht-medikamentöse Maßnahmen zur Stress- und Schmerzreduktion (s. Abschn. 4) bekannt sein und angewendet werden.

3 Schmerzerfassung bei pädiatrischen Patienten

Kindern fehlt altersabhängig die Möglichkeit zur differenzierten Mitteilung ihrer Beschwerden. So ist es oft nur eingeschränkt möglich, das Weinen eines Säuglings einer bestimmten

Missemmpfindung wie Hunger, Angst oder Schmerzen zuzuordnen, geschweige denn eine Schmerzlokalisation auszumachen. Hinzu kommt, dass manche für den Erwachsenen typische Wahrnehmungen anders empfunden werden. Ein Kleinkind ist zunächst noch nicht einmal in der Lage, zwischen körperlichem und psychischem Unwohlsein zu unterscheiden. Aber selbst wenn durch die körperliche und geistige Entwicklung eine Benennung des Schmerzes und sogar eine Lokalisation desselben möglich geworden sind, bleiben immer noch Besonderheiten, die in der Erwachsenenversorgung nicht mehr vorkommen. So ist es bei einem Kind, dass über Bauchschmerzen klagt, zwingend notwendig, auch die Lunge eingehend zu untersuchen, denn im Rahmen von Asthma, Bronchitiden und Pneumonien kommt es regelhaft zu ausgeprägten intestinalen Lymphknotenschwellungen, die erhebliche abdominelle Beschwerden bereiten können.

Zur quantitativen Beurteilung von Schmerzen bei Säuglingen und Kleinkindern hat die KUSS-Skala (Kindliches Unbehagen und Schmerz-Skala) die weiteste Verbreitung und wissenschaftliche Akzeptanz erfahren (Tabelle 2). Hierbei werden die Punkte aller Kategorien zusammengefasst und eine klinische Wertung vergleichbar mit der Visuellen-Analog-Skala (VAS) des Erwachsenen vorgenommen. Die KUSS-Skala ist bereits für die Altersgruppe der reifen Neugeborenen validiert [17]. Für Frühgeborene existieren fünf als gleichwertig zu betrachtende Beurteilungsskalen (z.B. „Premature Infant Pain Profile – PIPP“ oder „Neonatal Pain, Agitation and Sedation Scala – NPASS“), die zur Verlaufsbeobachtung auf neonatologischen Intensivstationen validiert sind [54]. Für jedes der genannten Systeme zur Schmerzbeurteilung gilt, dass Einzelmessungen keine zuverlässige Beurteilung bieten, sondern erst die Verlaufsbeobachtungen als validiert gelten. Die Auswahl der für Frühgeborene verwende-

Tabelle 2: KUSS-Skala zur Beurteilung von Schmerzen bei Säuglingen und Kleinkindern

Beobachtung	Bewertung	Punkte
Weinen	Gar nicht Stöhnen, Jam-mern, Wimmern Schreien	0 1 2
Gesichtsausdruck	Entspannt, lächelnd Mund verzerrt Mund und Augen grimassierend	0 1 2
Rumpfhaltung	Neutral Unstet Aufbäumen, Krümmen	0 1 2
Beinhaltung	Neutral Strampelnd, tre-tend An den Körper gezogen	0 1 2
Motorische Unruhe	Nicht vorhanden Mäßig Ruhelos	0 1 2

ten Skala kann nach den örtlichen Gegebenheiten und Gewohnheiten getroffen werden.

Wichtig ist auch bei der Verwendung der KUSS-Skala, dass wiederholte Erhebungen (pflegerischer Überwachungsbogen) stattfinden, denn diese sind aussagekräftiger, als wenn lediglich Einzelmessungen durchgeführt werden. Ungefähr ab dem 5. Lebensjahr kann ein Kind nach Anleitung die Gesichter-Skala im Sinne einer modifizierten Visuellen-Analog-Skala (VAS) anwenden. Bei Sprachbarrieren kann aber auch weiterhin auf die KUSS-Skala zurückgegriffen werden. Bei größeren Kindern und Jugendlichen, können die bei Er-

wachsenen üblichen Numeric-Rating-Skalen (NRS) benutzt werden.

4 Prävention von Schmerzen und nicht-medikamentöse Schmerztherapie

Wo immer möglich sollten Schmerzreize vermieden werden. Dazu gehört auch, die Notwendigkeit invasiver Maßnahmen individuell und situationsangepasst zu prüfen. Beispielsweise sollten keine Blutentnahmen aufgrund von Routineabläufen stattfinden, die der individuellen Situation des Kindes nicht gerecht werden. Blutentnahmen sollten vorzugsweise aus liegenden Kathetern oder durch venöse Punktionen erfolgen. Wenn deutlich schmerzhafte kapilläre Blutentnahmen notwendig sind, sollten diese unter Benutzung von großbenadaptierten, mechanischen Lanzetten erfolgen. Schmerzhafte Maßnahmen sollten so geplant werden, dass präemptive Maßnahmen durchgeführt werden können (beispielsweise EMLA-Pflaster oder nicht-nutritives Saugen, s.u.). Bei der Versorgung von Früh- und Neugeborenen sollte eine ruhige, nicht zu helle Umgebung geschaffen und die Anzahl und Häufigkeit von Maßnahmen so gering wie möglich gehalten werden, denn dadurch steigt nachweislich die Stress- und Schmerztoleranz der Kinder.

Nicht-medikamentöse Schmerztherapien führen über eine Stimulation sensorischer Bahnen zur Unterdrückung der Nozizeption. Die einfachste Form davon besteht in einem dem Schmerzort möglichst nahen Streicheln oder Pusten, welches Eltern bei ihren Kindern ganz selbstverständlich und intuitiv durchführen. Zusätzlich kann das als „facilitated tackling“ beschriebene Einwickeln des Kindes in einer embryonalen Haltung mit gebeugten Extremitäten hilfreich sein. Auch die Nähe und konkret die Stimme der Mutter haben einen nachweislich positiven Einfluss auf das Stress- und Schmerzniveau des Kindes [67]. Die weiteren ebenfalls evidenzbasierten Maßnahmen wie „Känguruuhnen“ (Bauchlage des Kindes mit direktem Hautkontakt auf der Mutter) oder Brustfütterung sind außerhalb einer neonatologischen Intensivstation nicht praktikabel.

Mit nicht-nutritivem Saugen (NNS) wird das Anbieten eines Schnullers bezeichnet, dessen Effekt durch die Zugabe einer 20–30 % igen Glukoselösung verstärkt wird und mindestens eine Minute vor der Maßnahme begonnen werden sollte. Die Wirksamkeit des NNS unter den genannten Bedingungen ist zwar nur bei Neugeborenen (bis 1. Monat) wissenschaftlich nachgewiesen, es wird aber ein Effekt auch in den ersten Lebensmonaten vermutet [55, 60]. Nach einer OP hingegen sind die positiven Effekte von beispielsweise dem Trinken von Apfelsaft auf Schmerzen [68], aber auch das Essen von Wassereis und Ähnlichem auf Übelkeit und postoperative Erregungszustände nachgewiesen.

5 Medikamentöse Schmerztherapie

Abgesehen von den genannten Besonderheiten bei Früh- und Neugeborenen unterscheiden sich die Grundprinzipien der Schmerztherapie nicht von denen bei Erwachsenen. Dem Bedarf entsprechend sollte dann nach dem Stufenschema der WHO die Schmerztherapie eskaliert werden. Es sollte immer ein zu festen Zeitpunkten zu verabreichendes Schema als Basisanalgesie und eine rasch wirksame Medikation bei Bedarf verordnet werden. Es spricht in vielen Fällen nichts dagegen, die Medikamente zu verwenden, die auch aus dem Erwachsenenbereich etabliert sind, es müssen dennoch die Besonderheiten bei ihrem Einsatz

bei Kindern bekannt sein. Daher sollen im Folgenden die pädiatrischen Besonderheiten der am häufigsten verwendeten Medikamente kurz dargestellt werden.

5.1 EMLA

EMLA (Eutektische Mischung aus Lokal-Anästhetika) ist eine Mixtur aus Lidocain und Prilocain. Bei der Mischung der beiden Lokalanästhetika (LA) kommt es zu einer Erniedrigung ihrer Schmelzpunkte, was als „eutektische“ Mischung bezeichnet wird. Die Creme besteht aus einer alkalischen wässrigen Phase, aus der das basische LA gut in die Haut diffundieren kann, und einer emulgierten Phase, die als Depot dient, aus welchem sich die wässrige Phase nachfüllt.

Die empfohlene Einwirkzeit wird beim Erwachsenen mit 1–1,5 Stunden angegeben, danach können ohne weitere Maßnahmen in der betroffenen Hautregion schmerfrei Interventionen durchgeführt werden. Der analgetische Effekt beim reifen Neugeborenen oder Säugling gilt als erwiesen [40]. Bei Frühgeborenen war der Effekt in Studien bisher nicht eindeutig nachweisbar [1]. Nach dem Entfernen des Präparats hält die Wirkung beim Erwachsenen circa eine Stunde an, bei Kindern wird diese Zeit aufgrund der besseren Hautdurchblutung kürzer ausfallen. Prilocain bedingt eine Vaskonstriktion, welche nach circa zehn Minuten abklingt und erst dann optimale Punktionsverhältnisse ermöglicht. Eine mögliche Nebenwirkung besteht in der Bildung von Methämoglobin durch Prilocain. Aufgrund dessen muss die Menge und die Dauer des Einwirkens bei Kindern begrenzt werden. Bei reifen Neugeborenen unter dem Alter von drei Monaten gilt eine Menge von 1 g mit einer Einwirkzeit von nicht über 1 h als sicher [16]. Bei Frühgeborenen ist erwiesen, dass 0,5 g EMLA für jeweils eine Stunde keine klinisch relevanten Methämoglobinspiegel verursachen [1, 22,

Tabelle 3: Handlungsempfehlung zur Verwendung von EMLA und NNS zur Venenpunktion

EMLA-Pflaster/Nicht-nutritives Saugen (NNS)	
Immer:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Aufbringen von EMLA mit einer Spritze (oder sonst exakte Menge) ● Mindestens 1 h vor der Punktion aufbringen ● Mindestens 10 min/max. 30 min vor Punktions entfernen 	
Frühgeborene:	
EMLA	Eine Hautstelle mit bis 0,5 g, max. 1 h Einwirkzeit wahrscheinlich nicht/kaum wirksam.
NNS	Nicht-nutritives Saugen wann immer möglich sicher wirksam.
Säugling < 3 Monate:	
EMLA	Eine Hautstelle mit 1 g, max. 1 h Einwirkzeit wahrscheinlich wirksam.
NNS	Zusätzlich nicht-nutritives Saugen.
Säugling 3 – 12 Monate:	
EMLA	Zwei Hautstellen mit 2 g, max. 4 h Einwirkzeit sicher wirksam.
NNS	Nicht-nutritives Saugen eher unwirksam.
> 1 Jahr:	
EMLA	Bis 5 Hautstellen, bis 10 g, max. 5 h Einwirkzeit sicher wirksam.
NNS	Unwirksam.

40]. Die Creme sollte daher bis in das Kleinkindsalter exakt dosiert werden.

Die genannten Aussagen zu EMLA lassen sich unter Berücksichtigung der Herstellerangaben und in Kombination mit dem NNS für die An-

Tabelle 4: Dosierungsempfehlung von Paracetamol [65]

Paracetamol	Therapiebeginn (mg/kg)	Folgedosis (mg/kg)	Dosierungsintervall (h)	Tageshöchstdosis (mg/kg/d)
Rektal				
Neugeborene und Säuglinge bis zum 6. Lebensmonat	30	15	8	60
Säuglinge ab 6. Lebensmonat	30–45	15–20	6–8	60
Kleinkinder > 1 Jahr	30–45	15–20	(4–)6	75
Kinder > 6 Jahre	30–45	15–20	(4–)6	90 (max. 4 g/d)
Oral				
Neugeborene und Säuglinge bis zum 6. Lebensmonat	20	20	8	60
Säuglinge ab 6. Lebensmonat	30	10–20	(4–)6	60
Kleinkinder > 1 Jahr	30	15	(4–)6	75
Kinder > 6 Jahre	30	15	(4–)6	90 (max. 4 g)
Intravenös				
Alle Altersgruppen	15	15	6	60 (max. 4 g)

wendung bei einer Venenpunktion in der als **Tabelle 3** dargestellten Handlungsempfehlung zusammenfassen.

5.2 Paracetamol

Der Mechanismus der Wirkung von Paracetamol ist nicht endgültig geklärt, auf jeden Fall wirkt es zentral, wahrscheinlich über eine Cyclooxygenasehemmung, eventuell auch am serotonergen System und NMDA-Rezeptor [66]. Bei der Verabreichung von Paracetamol erfolgen keine Hemmung der Thrombozytenaggregation und keine relevante antiinflammatorische Wirkung sowie keine gastrointestinalen Mukosenschädigungen. Es wirkt gut antipyretisch und gilt als schwächstes nichtsteroidales Antiphlogistikum (NSAID). Relativ weit verbreitete Sorgen bezüglich einer Hepatoto-

xizität auch in regelrechten Dosierungen stützen sich ausschließlich auf Einzelfallberichte. Hier bleibt nicht auszuschließen, dass nicht doch unbemerkte Fehldosierungen stattgefunden haben. Im Rahmen von epidemiologischen Untersuchungen an größeren Populationen konnte nie eine bedeutsame Toxizität bestätigt werden. Beispielsweise konnte eine Zusammenfassung von Beobachtungsstudien an insgesamt 32414 Kindern keinen Fall einer nennenswerten Leberschädigung dokumentieren [41]. Die Dosierungsempfehlungen aus **Tabelle 4** können derzeit als sicher gelten. Eine größere Bedeutung verdient jedoch die Beeinflussung des Leukotrien-Stoffwechsels durch Paracetamol. Es gibt immer mehr Studien, die belegen, dass Säuglinge und Kleinkinder, die zur Fiebersenkung oder als Analgetikum primär Paracetamol erhalten, als Schul-

Tabelle 5: Dosierungsempfehlung von Ibuprofen

Ibuprofen	Dosis (mg/kg)	Dosierungsintervall (h)	Tageshöchstdosis (mg/kg/d)
Rektal, oral			
Säuglinge, Kleinkinder, Kinder	7–10	4–6	30
Ab 15. Lebensjahr	7–10	12	40 (max. 2,4 g)

kinder häufiger Asthma und atopische Erkrankungen entwickeln, als dies bei Kindern der Fall ist, die primär Ibuprofen erhalten [11]. Viele Kinderärzte haben diesbezüglich bereits reagiert und verordnen Paracetamol nur noch als Mittel zweiter Wahl. Nach rektaler Gabe wird die maximale analgetische Wirkung nach 2–3 Stunden erreicht, nach intravenöser Gabe nach 1–2 Stunden; somit ist Paracetamol als Bedarfsmedikation ungeeignet.

5.3 Acetylsalicylsäure

Acetylsalicylsäure ist ein nicht selektiver Cyclooxygenasehemmer mit ausgeprägter Wirkung auf die Thrombozytenfunktion. Aufgrund der Gefahr des Reye-Syndroms ist die Substanz in der Pädiatrie bis zum Alter von sechs Jahren nicht zugelassen und sollte auch bei älteren Kindern nur unter strenger Indikationsstellung verabreicht werden.

5.4 Ibuprofen

Ibuprofen ist ebenfalls ein nicht selektiver Cyclooxygenasehemmer, daher wäre auch eine Thrombozytenhemmung zu erwarten, jedoch konnte in verschiedenen Untersuchungen keine Zunahme der Blutungsraten nach Tonsillektomie [39] gefunden werden. Dennoch wird es in der Regel bei Thrombozytopathie oder -penie nicht eingesetzt. Magenschleimhautschäden sind bei einer Anwendung bis zu einer Woche sehr unwahrscheinlich. Nieren-

schädigungen können bei vorgeschädigten Nieren oder Exsikkose der Kinder auftreten, daher ist Ibuprofen bei nierenkranken und/oder exsikkierten Kindern kontraindiziert. Eine Erhöhung der Gefahr von Hirnblutungen bei Frühgeborenen und Säuglingen wurde eine Zeit lang vermutet, konnte aber zuletzt in verschiedenen großen Untersuchungen ausgeschlossen werden [52]. Ibuprofen ist stärker wirksam als Paracetamol, hat eine hohe therapeutische Breite und liegt in unterschiedlichsten Zubereitungen vor, unter anderem als sehr gut schmeckender und von den Kindern hervorragend akzeptierter Saft (**Tabelle 5**). Ibuprofen ist erst ab dem sechsten Lebensmonat zugelassen, aber in der Neonatologie seit Langem im Einsatz und im Rahmen von Studien zur Therapie eines persistierenden Duktus arteriosus Botalli sehr gut untersucht, wobei keine Veränderung bezüglich der Rate an Hirnblutungen [58] oder der Nierenfunktion [52] beobachtet wurde. Somit würde es sich bei einer Verwendung unter einem halben Jahr zwar um einen Off-Label-Use handeln, dem jedoch eine breite und gut dokumentierte klinische Erfahrung gegenübersteht. In der S2k-Leitlinie zur Medikamentensicherheit bei Kindernotfällen haben 15 Fachgesellschaften konsentiert, dass ein solcher Gebrauch von Off-Label-Use gerechtfertigt und notwendig ist, um Kinder optimal zu versorgen [69]. Absolut kontraindiziert ist es jedoch bei Neugeborenen, die eine duktusabhängige Kreislaufsituation haben und bei denen daher ein Ver-

Tabelle 6: Dosierungsempfehlung von Metamizol

Metamizol	Dosis (mg/kg)	Dosierungsintervall (h)	Tageshöchstdosis (mg/kg/d)
Intravenös, oral			
Ab 3 Monaten, Einzelgaben	15	4 – 6	60 – 75 (max. 5 g)
Kontinuierlich	2,5–3 mg/kg/h		

schluss des Duktus arteriosus mit dem Leben nicht zu vereinbaren ist.

5.5 Diclofenac

Der nichtselektive Cyclooxygenasehemmer Diclofenac verursacht deutlich häufiger Magenbeschwerden als Ibuprofen, zusätzlich sind Leber- und Nierenschädigungen denkbar. Eine seltene, aber schwerwiegende Nebenwirkung besteht in einem Stevens-Johnson-Syndrom oder seiner maximalen Form, dem Lyell-Syndrom (Epidermolysis acuta toxica) welches in 30 % der Fälle tödlich verläuft. Diclofenac ist für Kinder und Jugendliche nicht zugelassen.

5.6 Metamizol

Die Wirkung von Metamizol wird ebenso über eine Cyclooxygenasehemmung vermittelt, es besitzt die höchste Potenz der peripheren Analgetika und wirkt stark antipyretisch, jedoch nur schwach antiphlogistisch. Aufgrund seiner spasmolytischen Eigenschaften ist es besonders beim viszeralem Schmerz und Koliken geeignet. Vorsicht ist geboten bei Allergie- oder Asthmaanamnese und instabilem Kreislauf. Parenterale Gaben sollten wann immer möglich vermieden werden. Es ist zur intraoperativen Gabe aufgrund von möglichem Auslösen eines Kreislaufschocks nicht zugelassen [31]. Absolut kontraindiziert ist es bei angeborenen, erworbenen oder nosokomialen Blutbildungsstörungen. Bei der postoperativen Gabe mindestens über 15 Minuten oder kontinuier-

lich (siehe Dosisempfehlungen) unter Blutdrucküberwachung (**Tabelle 6**). Auch wenn eine Agranulozytose durch Metamizol sicherlich ein extrem seltes Ereignis ist, sind genaue Daten dazu bisher nicht bekannt. Eine epidemiologische Untersuchung beobachtete eine Rate von einer Agranulozytose auf 1439 Verordnungen [27], wobei hier eine deutliche Überschätzung diskutiert wird. Dennoch ist die Gewichtung der genannten Probleme mit Metamizol nicht eindeutig zu beurteilen, was 2009 zu einer Warnmeldung des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte geführt hat [13]. Davon unabhängig besitzt Metamizol eine gute klinische Wirkung und es liegen breite Erfahrungen bei der Verwendung von Metamizol auch bei Kindern vor, sodass gegen die Warnungen der BfArM wiederholt vehement protestiert wurde [65]. Wahrscheinlich auch aus diesem Grund hat die Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft im August 2011 erneut bestätigt, dass die durch das BfArM formulierten Regeln bei der Verabreichung von Metamizol zu beachten sind [8].

Merkel: Die Gabe von Metamizol ist nur unter folgenden Bedingungen zulässig:

- Verordnung nur bei starken Schmerzen.
- Verordnung bei Fieber nur, wenn andere Medikamente nicht helfen.
- Nach längerfristiger Einnahme Blutbildkontrolle.
- Aufklärung über das Risiko der Agranulozytose und deren klinische Warnzeichen.

Tabelle 7: Dosierungsempfehlung von Piritramid

Piritramid	Dosis (mg/kg)
Intravenös	
Einzelgaben	0,05–0,1
Zur i.v. PCA	
Bolusdosis	0,02 mg/kg
Lock-out-Zeit	6 min
4 Stunden Höchstmenge	0,25 mg/kg

Zusammenfassend bietet Metamizol vor allem durch seine deutlich stärkere Wirkung einen erheblichen Vorteil gegenüber allen anderen NSAID. Es kann daher unter Beachtung der zugelassenen Indikationen und nach erfolgter und dokumentierter Risikoauflklärung in Situationen starker Schmerzen und therapieresistentem Fieber durchaus empfohlen werden.

5.7 Piritramid

Piritramid ist ein reiner Opioidagonist, der synthetisch hergestellt wird. Daher sind seltener Allergien als bei Morphin zu erwarten. Es verursacht keine Histaminfreisetzung und weniger Übelkeit als andere ähnlich potente Opioide. Seine analgetische Potenz liegt bei 0,7 und man beobachtet eine klinische Wirkdauer ca. 4–6 Stunden [24] bei nicht frühgeborenen Säuglingen. Piritramid ist das in Deutschland am häufigsten verwendete Opioid für die postoperative Schmerztherapie, auch in Form einer patientenkontrollierten Analgesie (PCA). Bei Früh- und Neugeborenen kann wie bei allen anderen Opioiden auch eine Verlängerung der Wirkdauer beobachtet werden (s.a.ch Tabelle-1). Neugeborene, die noch unter einem Apnoe-Bradykardie-Syndrom leiden, reagieren mit erheblicher Verstärkung dieser Problematik unter der Therapie mit Opioiden (ohne Unterschiede zwischen den ein-

zernen Wirkstoffen und auch schon im subtherapeutischen Dosisbereich), weswegen hier regelhaft eine Monitorüberwachung durchgeführt werden sollte (**Tabelle 7**).

5.8 Morphin

Morphin zeigt einen langsameren Wirkungseintritt, als beispielsweise Piritramid und verursacht im Unterschied zu diesem eine Histaminfreisetzung. Beim Abbau entsteht unter anderem auch das μ -antagonistisch wirkende Molekül Morphin-3-Glucuronid [24]. Dies wird für die klinische Beobachtung eines Wirkungsverlusts ohne Abschwächung der Nebenwirkungen bei dauerhafter Analgosedierung verantwortlich gemacht. Für den Bereich der Neonatologie ist die relativ starke Hemmung der Darmmotilität ebenfalls nachteilig. Insgesamt scheint also Morphin im Bereich der Kindermedizin wenig vorteilhaft zu sein [29] (**Tabelle 8**).

Tabelle 8: Dosierungsempfehlung von Morphin

Morphin	Dosis (mg/kg)
Intravenös	
Einzelgaben	0,05

5.9 Tramadol

Tramadol ist ein Opioidagonist, bei dem ein Teil der Wirkung jedoch auch serotonerg und adrenerg vermittelt wird. Seine analgetische Potenz wird mit 0,1–0,2 angegeben, die klinische Wirkdauer liegt bei ca. vier Stunden. Es besteht ein Antagonismus der analgetischen Wirkung über Blockade von 5HT₃-Rezeptor-Antagonisten (wie beispielsweise durch Odansetron) [7]. Häufiges Erbrechen wird bei Bolusgabe beobachtet. Bei kontinuierlicher Gabe hingegen wurde keine Erhöhung der Inzidenz von Übelkeit/Erbrechen im Vergleich zu anderen Opioiden beobachtet [53]. Tramadol sollte

nur unter kontinuierlichem Atem- und Kreislaufmonitoring angewendet werden (**Tabelle 9**).

Tabelle 9: Dosierungsempfehlung von Tramadol

Tramadol	Dosis (mg/kg)	
Intravenös		
Einzelgaben	0,5 – 1	Dosisintervall 4 – 6 h
Kontinuierlich	0,25 mg/kg/h	Dosisanpassung 2–4-stündlich

6 Regionalverfahren bei pädiatrischen Patienten

Die Rate an Komplikationen und Nebenwirkungen bei Regionalverfahren in der Kinderanästhesie liegt bei circa 1:1 000 [14]. Meist handelt es sich um Komplikationen, die ohne langfristige Folgen beherrschbar sind (z.B. intravasale Injektion, Krampfanfälle, Dura-Punktion) [21]. Somit kann bei adäquater Anwendung davon ausgegangen werden, dass Regionalverfahren mindestens keine Erhöhung des allgemeinen Narkoserisikos verursachen. Es konnte nachgewiesen werden, dass durch Regionalanästhesie alleine oder als Kombinationsverfahren eine vollständigere Unterdrückung vegetativer und hormoneller Stressantwort gewährleistet wird, als durch Allgemeinanästhesie trotz intensivem Opioidgebrauch [62]. Ein weiterer Vorteil der Regionalanästhesie ist in der Reduktion des Gebrauchs an systemischen Analgetika und Sedativa zu sehen. Auch wenn bisher eine Überlegenheit bezüglich eines Behandlungsergebnisses nur in wenigen Situationen und für einzelne Verfahren bei Erwachsenen nachgewiesen werden konnte, verbessern Regionalverfahren über die beschriebenen Vorteile offensichtlich die klinische Situation bei Kindern. Sicher kann durch

Regionalanästhesie die Notwendigkeit für postoperative Nachbeatmung und die Dauer der Intensivtherapie reduziert werden [14].

Grundsätzlich sollten, von wenigen Ausnahmen abgesehen, die Regionalverfahren an schlafenden Kindern durchgeführt werden, denn ansonsten besteht durch plötzliche Bewegungen des Kindes eine zu große Verletzungsgefahr [19, 46].

Bei den peripheren Nervenblockaden wird durch die Verwendung von Ultraschall eine nebenwirkungsfreie Bildgebung der anatomischen Strukturen in Echtzeit möglich. Dadurch kann die Injektion gezielt in die gewünschten Nervenstrukturen verabreicht und eine Schonung anderer Strukturen (z.B. Pleura oder Blutgefäße) mit großer Sicherheit gewährleistet werden. Nachgewiesenermaßen kann die Verwendung von Ultraschall zu einer Erhöhung der Erfolgsrate und einer Reduktion der benötigten Menge an Lokalanästhetikum bei dennoch schnellerem Wirkeintritt und längerer Wirkung führen [42].

Vor der Durchführung einer peripheren Nervenblockade sowie einer Kaudalanästhesie und einer Spinalanästhesie beim Säugling ist eine präoperative Evaluation der Gerinnung anamnestisch in Form von standardisierten und evaluierten Gerinnungsfragebögen notwendig und ausreichend [28].

Im Folgenden sollen die wichtigsten Regionalverfahren in der Pädiatrie kurz beschrieben werden.

Merke: Regionalverfahren sollten grundsätzlich am anästhesierten Kind erfolgen.

6.1 Kaudalanästhesie

Mit der kaudalen Periduralanästhesie (KDA) steht bei Kindern, die noch über einen offenen Hiatus sacralis haben, eine Form der Peridural-

anästhesie zur Verfügung, bei der im Gegensatz zu den in anderer Lokalisation durchgeführten Periduralanästhesien keine Nervenschädigungen beschrieben sind [33]. Insgesamt ist die kaudale Periduralanästhesie ein sehr sicheres und einfach auszuführendes Regionalverfahren. Bei Kindern bis mindestens zum 10. Lebensjahr ist eine Punktion in der Regel möglich. Die KDA ist indiziert bei allen Eingriffen, deren Schmerzlokalisation tiefer als Th7 (unterhalb des Rippenbogens) stattfindet, bei denen keine anderen Regionalverfahren favorisiert werden und die postoperativ relevante Schmerzen erwarten lassen. Bei der Aufklärung sollte eine Inspektion und Palpation der Wirbelsäule und des Hiatus sacralis erfolgen. Bei fraglichen Fehlbildungen (z.B. einem Sinus pilonidalis) im Sacralbereich ohne neurologisches Defizit sollte eine bildgebende Beurteilung durch die Radiologie angefordert werden. Bei sicherer Fehlbildung (Z. n. MMC, Tethered cord u. Ä.) und/oder neurologischen Defiziten sollte auf das Verfahren verzichtet werden. Die wichtigste Komplikation ist die hohe Spinalanästhesie.

Für die Durchführung der KDA wird der Hiatus sacralis palpiert und auf der Verbindungslinie zwischen den beiden Cornua sacralia mit einem Einstichwinkel von ca. 45° nach kranial punktiert. An der Grenze der dorsalen Knochenplatte des Os sacrum setzt das Ligamentum sacro-coccygeum an, dessen Punktionsrichtung manchmal ploppend bemerkt werden kann. Wenn in dieser Punktionsrichtung Knochenkontakt auftritt, muss die Nadel einen Millimeter zurückgezogen werden. Danach, oder wenn man den Eindruck hat, die Höhe der vorderen Knochenplatte des Os sacrum passiert zu haben, wird die Nadel parallel zu einer Tangente auf die Mitte des Os sacrum abgesenkt und beim Säugling wenige Millimeter vorgeschoben. Dabei darf kein Widerstand entstehen. In dieser Position erfolgen ein Aspirationsversuch und ein kurzes Beobachten der of-

fenen Nadel zum Ausschluss einer Punktionsstelle der Dura mit Abfluss von Liquor. Bei Aspiration oder Abfließen von Blut muss abgebrochen werden, es kann aber ein erneuter Versuch unternommen werden. Bei Aspiration oder Abfließen von Liquor ist kein erneuter Versuch statthaft [20]. Es darf kein nennenswerter Widerstand bei der Applikation auftreten. Durch Palpation der Haut über der Punktionsstelle während der Gabe kann eine subkutane Injektion rasch erkannt werden. Eine Testdosis mit Adrenalin bringt keinen zuverlässigen Ausschluss einer intravasalen Lage der Nadel. Geeignet ist Ropivacain 0,2 %, welches man mit maximal 1,5 ml/kg, entsprechend 3 mg/kg dosieren kann. Die genannte Maximaldosis sollte nur bei gewünschter hoher Ausbreitung der Anästhesie verwendet werden und gilt auch bei Säuglingen als sicher [18, 44, 50]. Bei einem Eingriff, der postoperativ besonders schmerhaft erwartet wird oder lange dauert, kann 0,5–1 µg/kg Clonidin hinzugegeben werden, welches eine Verlängerung der Wirkung um 30–50 % gezeigt hat. Aufgrund einer möglichen Atemdepression, die bei Neugeborenen berichtet wird, sollte bei Kindern unter einem Jahr oder 10 kg sowie bei ambulanten Eingriffen auf eine Zugabe von Clonidin verzichtet werden.

Merke: Die Kaudalanästhesie ist ein einfaches, sicheres und hochwirksames Regionalverfahren.

6.2 Periduralanästhesie

Die Periduralanästhesie in anderer als kaudaler Lokalisation (PDA) ist indiziert bei allen abdominalen oder thorakalen Eingriffen, bei denen keine anderen Regionalverfahren favorisiert werden und die erhebliche postoperative Schmerzen erwarten lassen. Grundsätzlich ist die Kommunikationsfähigkeit mit dem Patienten eine absolute Bedingung zur PDA, denn

sie ist der einzige Weg, die Wirkung zu beurteilen und neurologische Defizite zu erkennen. Bezuglich der Überwachung und der Sicherheit von PDA bei nicht kommunikationsfähigen Patienten gibt es keinerlei veröffentlichte Evidenz. Somit ist eine erforderliche Sicherheit frühestens bei Schulkindern, die keine geistigen Behinderungen haben und uneingeschränkt kommunikationsfähig sind, zu gewährleisten. Der Arbeitskreis Kinderanästhesie der DGAI erwähnt in seinen Leitlinien zur Regionalanästhesie die PDA gar nicht und schließt die Leitlinien mit dem folgenden Satz [43]: „In der Literatur sind zu allen im Erwachsenenalter verwendeten Techniken Anwendungsbeobachtungen und Untersuchungen bei Kindern veröffentlicht worden. Allgemeine Empfehlungen können aktuell noch nicht ausgesprochen werden, da die Datenlage noch zu gering ist.“ Auch wenn dies grundsätzlich bedauernswert ist, kann von einer Periduralanästhesie bei Früh- und Neugeborenen daher aus Sicht der Autoren nur abgeraten werden. In den meisten Situationen bietet aber die Kaudalanästhesie eine praktikable und sichere Alternative.

6.3 Spinalanästhesie

Die einzigen pädiatrischen Patienten, die nach aktueller Datenlage von einer alleinigen Spinalanästhesie profitieren, sind ehemalige Frühgeborene bis zum Gestationsalter (GA) von 60 Wochen, die meist unter 3 kg wiegen. In einer prospektiven Untersuchung an 18 ehemaligen Frühgeborenen konnte nachgewiesen werden, dass die Rate an postoperativen Apnoen nach Allgemeinanästhesie erhöht war, was nach alleiniger Spinalanästhesie nicht der Fall war [38]. Bei zusätzlicher Sedierung ist dieser Nutzen nicht mehr gegeben. Auch auf eine medikamentöse Prämedikation muss aus gleichem Grund verzichtet werden.

Wie bei den peripheren Nervenblockaden ist vor einer Spinalanästhesie eine standardisier-

te Gerinnungsanamnese notwendig, aber auch ausreichend [43]. Klinisch sehr bedeutsam ist die Anamnese der erfolgten Vitamin-K-Gaben bei Geburt, am 5. und am 28. Lebenstag, weswegen diese unbedingt abgefragt und im Zweifelsfall wiederholt werden sollten. Bei gesunden NG sollten nur dann Regionalverfahren durchgeführt werden, wenn sicher Vitamin K (Konakion) verabreicht wurde. Aus der Bestimmung der Gerinnungswerte lassen sich bei Frühgeborenen kaum eindeutige Aussagen ableiten. Beim reifen Neugeborenen (NG) gilt am ersten Lebenstag ein Quick von > 54 % und am 5. Lebenstag von > 57 % als normal [12].

Die Durchführung der Spinalanästhesie bei dieser Patientengruppe erfordert große Erfahrung beim ärztlichen und pflegerischen Personal [37], die aufgrund der sehr geringen Patientenzahlen in der Anästhesie schwierig zu gewinnen ist. Eine andere Möglichkeit, Erfahrungen bei der technischen Durchführung zu sammeln, sind diagnostische Lumbalpunktionen, die aus pädiatrischer Indikation durchgeführt werden. Es ist sinnvoll, Spinalanästhesien bei Kindern bis zum GA von 60 Wochen durchzuführen, die noch unter Apnoen leiden oder wegen solcher behandelt werden und bei denen die erwartete Operationszeit 40 Minuten nicht wesentlich überschreitet. In den meisten Fällen sind dies Mädchen mit beidseitiger oder Jungen mit einseitiger Leistenhernie. In jedem Fall müssen die Eltern über einen Umstieg auf eine Allgemeinanästhesie aufgeklärt werden, der in unserer Klinik bei circa einem Drittel der Fälle notwendig wird.

Die Punktions erfolgt auf Höhe von L4/5 oder L5/S1 unter Anwesenheit des eingewaschenen Chirurgen, damit die Operation ohne Zeitverlust beginnen kann. Der Beckenkamm ist bei Neugeborenen wesentlich flacher und somit kreuzt die Verbindungsline zwischen den Christae iliaceae auf Höhe von L5. Die Dura ist bei der beschriebenen Patientengruppe in

einer Tiefe von 1–1,5 cm zu erwarten. Es kann normobares Bupivacain 0,5 % verwendet werden, welches bei Kindern unter 2,5 kg Körpergewicht mit 0,18 ml/kg dosiert werden sollte (entsprechend 0,9 mg/kg). Kinder, die über 2,5 kg wiegen, erhalten 0,9 ml/kg, also 0,45 mg/kg. Die Wirkung setzt innerhalb einer Minute ein und ist vor allem an der motorischen Blockade zu erkennen. Kreislaufreaktionen, wie sie beim Erwachsenen üblich sind, treten bei dieser Patientengruppe nicht auf.

6.4 Axilläre Plexusanästhesie

Die Blockade des axillären Plexus sollte unter Ultraschallkontrolle durchgeführt werden. Der Arm des Patienten wird supiniert, im Ellenbogen gebeugt und der Oberarm um ca. 90° abduziert. Der Linear-Schallkopf wird quer zur Gefäß-Nervenstraße nahe der Axilla aufgesetzt und so platziert, dass die Arteria axillaris mittig im Bild dargestellt wird. In einer optimalen Darstellung sind dann die drei Anteile des Plexus: Nervus ulnaris, radialis und medianus um die Arterie herum darstellbar. Der Nervus musculocutaneus stellt sich kranial davon zwischen dem Musculus coracobrachialis und dem Musculus biceps brachii dar. Die Punktions kann in langer oder querer Achse erfolgen. Das unter Sicht eingebrachte Lokalanästhetikum sollte das Volumen jedes einzelnen Anteils des Plexus in der dargestellten Ebene verdoppeln bis verdreifachen [45]. Dazu sind beim Neugeborenen und kleinen Säugling ein gesamtes Volumen von 2–3 ml notwendig. Der Nervus musculocutaneus, der Muskeln des Oberarms und sensibel volar-radialen Anteile des Unterarms innerviert, sollte ebenfalls aufgesucht und infiltriert werden.

6.5 Peniswurzelblock

Der Peniswurzelblock ist bei der Zirkumzision oder Operationen an der Penisspitze indiziert. Zu den möglichen Komplikationen zählt eine

Injektion in die A. dorsalis penis, wodurch eine Nekrose des Glans penis bei Verwendung von vasokonstriktiven Medikamenten (z.B. Ropivacain oder Adrenalinzusatz) verursacht werden kann. Eine Perforation des Corpus cavernosum oder der Harnröhre sollte unbedingt vermieden werden, verläuft aber meist problemlos [23, 32].

Nach Palpation der Symphyse und zartem Herunterziehen des Penis vergrößert sich der Raum zwischen Symphyse und Peniswurzel. Empfehlenswert ist zum Peniswurzelblock 0,5%-iges Bupivacain, welches mit einer Gesamtmenge von 1 mg/kg entsprechend 0,2 ml/kg dosiert werden kann. Die Punktions erfolgt an der Unterkante der Symphyse, 10° nach kaudal gekippt, nach Perforation der Scarpa-Faszie wird die Nadel dem linken Rand der Peniswurzel genähert und nach negativer Aspiration eine erste Portion appliziert. Nach Zurückziehen der Nadel in die Nähe der Faszie wird diese in diese nun an den rechten Rand der Peniswurzel gebracht und eine zweite Portion appliziert. Man sollte dann noch einen Rest von 0,2 ml des Lokalanästhetikums subcutan an den Mittelpunkt des Scrotumansatzes als Frenulumblock injizieren.

7 Zusammenfassung

Die perioperative Schmerztherapie bei Früh- und Neugeborenen stellt wie die gesamte medizinische Versorgung dieser Kinder das Fachpersonal vor besondere Herausforderungen. Aufgrund einer erheblichen Unreife der die Schmerzempfindungen unterdrückenden neuronalen Mechanismen ist eine geringere Wirkung von Opioiden zu beobachten. Gleichzeitig kommt es schon bei subtherapeutischen Wirksiegeln zu Atemdepression, sodass – anders als beim Erwachsenen – mit Opioiden alleine nicht immer eine Schmerzfreiheit bei erhaltener Spontanatmung erreichbar ist. Zusätzlich beobachtet man in dieser Pati-

entengruppe einen erheblich verzögerten Metabolismus aufgrund einer Unreife verschiedener Enzymsysteme. Eine Lösung für dieses Dilemma kann in vielen Situationen durch die Verwendung von Regionalverfahren und Schmerzprävention gefunden werden.

Zur bestmöglichen Versorgung sind besondere Kenntnisse und Fähigkeiten notwendig, die in diesem Artikel umrissen werden. Dazu gehören auch altersgruppenspezifische Indikationen, Kontraindikationen sowie Dosierungsempfehlungen und pharmakokinetische Daten.

8 Literatur

- [1] Acharya AB et al.: Randomised controlled trial of eutectic mixture of local anaesthetics cream for venepuncture in healthy preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 78 (2) (1998) F138–142
- [2] Anand KJ, Clinical importance of pain and stress in preterm neonates. *Biol Neonate* 73(1) (1998) 1–9
- [3] Anand KJ et al.: Randomised trial of fentanyl anaesthesia in preterm babies undergoing surgery: effects on the stress response. *Lancet* 1 (8527) (1987) 243–248
- [4] Anand KJ et al.: Effects of morphine analgesia in ventilated preterm neonates: primary outcomes from the NEOPAIN randomised trial. *Lancet* 363 (9422) (2004) 1673–1682
- [5] Anand KJ et al.: Summary proceedings from the neonatal pain-control group. *Pediatrics* 117 (3 Pt 2) (2006) S9–S22
- [6] Anand KJ, Scalzo FM, Can adverse neonatal experiences alter brain development and subsequent behavior? *Biol Neonate* 77 (2) (2000) 69–82
- [7] Arcioni R et al.: Ondansetron inhibits the analgesic effects of tramadol: a possible 5-HT(3) spinal receptor involvement in acute pain in humans. *Anesth Analg* 94 (6) (2002) 1553–1557, table of contents
- [8] Arzneimittelkommission der Deutschen Ärzteschaft: Agranulozytose nach Metamizol – sehr selten, aber häufiger als gedacht. *Deutsches Ärzteblatt* 108 (33) (2011). 1758–1759
- [9] Ballabh P, Intraventricular hemorrhage in premature infants: mechanism of disease. *Pediatr Res* 67 (1) (2010) 1–8
- [10] Bartocci M et al.: Pain activates cortical areas in the preterm newborn brain. *Pain* 122 (1–2) (2006) 109–117
- [11] Beasley R et al.: Association between paracetamol use in infancy and childhood, and risk of asthma, rhinoconjunctivitis, and eczema in children aged 6 – 7 years: analysis from Phase Three of the ISAAC programme. *Lancet* 372 (9643) (2008) 1039–1048
- [12] Behrman RE et al.: Nelson textbook of pediatrics. Saunders, Philadelphia, Pa. (2004)
- [13] BfArM: Risikoinformation zu Metamizol vom 28.05.2009 (www.bfarm.de)
- [14] Bosenberg A, Benefits of regional anesthesia in children. *Paediatr Anaesth* (2011)
- [15] Bouza H, The impact of pain in the immature brain. *J Matern Fetal Neonatal Med* 22 (9) (2009) 722–732
- [16] Brisman M et al.: Methaemoglobin formation after the use of EMLA cream in term neonates. *Acta Paediatr* 87 (11) (1998) 1191–1194
- [17] Buttner W, Finke W, Analysis of behavioural and physiological parameters for the assessment of postoperative analgesic demand in newborns, infants and young children: a comprehensive report on seven consecutive studies. *Paediatr Anaesth* 10 (3) (2000) 303–318
- [18] Coté CJ et al.: A practice of anesthesia for infants and children. Saunders, Philadelphia (2009)
- [19] Dalens B, Some current controversies in paediatric regional anaesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol* 19 (2006) 301–308
- [20] Desparmet JF, Total spinal anaesthesia after caudal anaesthesia in an infant. *Anesth Analg*. 70 (6) (1990) 665–667
- [21] Ecoffey C et al.: Epidemiology and morbidity of regional anaesthesia in children: a follow-up one-year prospective survey of the French-Language Society of Paediatric Anaesthesiologists (ADARPEF). *Paediatr Anaesth* 20 (12) (2010) 1061–1069
- [22] Essink-Tebbes CM et al.: Safety of lidocaine-prilocaine cream application four times a day in premature neonates: a pilot study. *Eur J Pediatr*. 158 (5) (1999) 421–423
- [23] Frei FJ et al.: Kinderanästhesie. Springer, Heidelberg (2004)

- [24] Freye E, Opioids in medicine. Springer, Berlin/Heidelberg/New York (2010)
- [25] Graziani LJ et al.: Mechanical ventilation in preterm infants: neurosonographic and developmental studies. *Pediatrics* 90 (4) (1992) 515–522
- [26] Hays SR, Deshpande JK, Newly postulated neurodevelopmental risks of pediatric anesthesia. *Curr Neurol Neurosci Rep* 11 (2) (2011) 205–210
- [27] Hedenmalm K, Spigset O, Agranulocytosis and other blood dyscrasias associated with dipyroone (metamizole). *Eur J Clin Pharmacol* 58 (4) (2002) 265–274
- [28] Heindl B, Perioperative coagulation monitoring – medical and economic aspects. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 45 (5) (2010) 292–296
- [29] Hünseler C, Roth B, Analgesierung in der pädiatrischen Intensivmedizin. *Intensiv up2date* 5 (2009) 229–247
- [30] Istaphanous GK et al.: Comparison of the neuro-apoptotic properties of equipotent anesthetic concentrations of desflurane, isoflurane, or sevoflurane in neonatal mice. *Anesthesiology* 114 (3) (2011) 578–587
- [31] Janke C et al.: Anaphylactic cardiocirculatory failure after intraoperative application of dipyroone. *Anesthesist* 52 (4) (2003) 321–325
- [32] Jöhr M, Kinderanästhesie. Urban & Fischer, München, Jena (2001)
- [33] Jöhr M, Berger TM, Caudal blocks. *Paediatr Anaesth.* Epub ahead of print (2011)
- [34] Kearns GL et al.: Developmental pharmacology – drug disposition, action, and therapy in infants and children. *N Engl J Med* 349 (12) (2003) 1157–1167
- [35] Kietzmann D et al.: Pharmacokinetics of piritramide after an intravenous bolus in surgical patients. *Acta Anaesthesiol Scand* 40 (8 Pt 1) (1996) 898–903
- [36] Koehntop DE et al.: Pharmacokinetics of fentanyl in neonates. *Anesth Analg* 65 (3) (1986) 227–232
- [37] Kokki H, Spinal blocks. *Paediatr Anaesth.* Epub ahead of print (2011)
- [38] Krane EJ et al.: Postoperative apnea, bradycardia, and oxygen desaturation in formerly premature infants: prospective comparison of spinal and general anesthesia. *Anesth Analg* 80 (1) (1995) 7–13
- [39] Krishna S et al.: Postoperative hemorrhage with nonsteroidal anti-inflammatory drug use after tonsillectomy: a meta-analysis. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 129 (10) (2003) 1086–1089
- [40] Larsson BA, Pain management in neonates. *Acta Paediatr* 88 (12) (1999) 1301–1310
- [41] Lavonas EJ et al.: Therapeutic acetaminophen is not associated with liver injury in children: a systematic review. *Pediatrics* 126 (6) (2010) e1430–1444
- [42] Lonnqvist PA, Is ultrasound guidance mandatory when performing paediatric regional anaesthesia? *Curr Opin Anaesthesiol* 23 (3) (2010) 337–341
- [43] Mader T et al.: Handlungsempfehlungen zur Regionalanästhesie bei Kindern. *Anaesth Intensivmed* 48 (2007) S79–85
- [44] Marhofer P et al.: The choice of drugs for caudal anaesthesia in children. An overview. *Anaesthetist* 52 (1) (2003) 55–67
- [45] Marhofer P et al.: Ultrasound-guided upper extremity blocks – tips and tricks to improve the clinical practice. *Paediatr Anaesth* 22 (1) (2012) 65–71
- [46] Mossetti V, Ivani G, Controversial issues in pediatric regional anaesthesia. *Paediatr Anaesth* 22 (2012) 109–114
- [47] Müller C et al.: Pharmacokinetics of piritramide in newborns, infants and young children in intensive care units. *Eur J Pediatr* 165 (4) (2006) 229–239
- [48] Peters JW et al.: Does neonatal surgery lead to increased pain sensitivity in later childhood? *Pain* 114 (3) (2005) 444–454
- [49] Porter FL et al.: Long-term effects of pain in infants. *J Dev Behav Pediatr* 20 (4) (1999) 253–261
- [50] Rapp HJ et al.: Ropivacaine in neonates and infants: a population pharmacokinetic evaluation following single caudal block. *Paediatr Anaesth* 14 (9) (2004) 724–732
- [51] Santeiro ML et al.: Pharmacokinetics of continuous infusion fentanyl in newborns. *J Perinatol* 17 (2) (1997) 135–139
- [52] Sekar KC, Corff KE, Treatment of patent ductus arteriosus: indomethacin or ibuprofen? *J Perinatol* 28 Suppl 1 (2008) S60–62
- [53] Sittl R et al.: Management of postoperative pain in children. *Schmerz* 14 (5) (2000) 333–339
- [54] Spasojevic S, Bregun-Doronski A, A simultaneous comparison of four neonatal pain scales in clinical settings. *J Matern Fetal Neonatal Med* 24 (4) (2011) 590–594

- [55] Stevens B et al.: Sucrose for analgesia in newborn infants undergoing painful procedures. *Cochrane Database Syst Rev* (1) (2010) CD001069
- [56] Taddio A et al.: Effect of neonatal circumcision on pain responses during vaccination in boys. *Lancet* 345 (8945) (1995) 291–292
- [57] Ulfig N, Transiente Charakteristika des fetalen Gehirns und ihre Bedeutung für ZNS-Komplikationen des Frühgeborenen. In: Friese K, plath C, Briese V (Hrsg.): *Frühgeburt und Frühgeborenes*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York (2000)
- [58] Van Overmeire B et al.: Prophylactic ibuprofen in premature infants: a multicentre, randomised, double-blind, placebocontrolled trial. *Lancet* 364 (9449) (2004) 1945–1949
- [59] Wong FY et al: Impaired autoregulation in preterm infants identified by using spatially resolved spectroscopy. *Pediatrics* 121(3) (2008) e604–611.
- [60] Walter-Nicolet E et al.: Pain management in newborns: from prevention to treatment. *Paediatr Drugs* 12 (6) (2010) 353–365
- [61] Glatz P et al: Association of Anesthesia and Surgery During Childhood With Long-term Academic Performance. *JAMA Pediatr* 171(1) (2017) e163470
- [62] Wolf AR, Effects of regional analgesia on stress responses to pediatric surgery. *Paediatr Anaesth. Epub ahaed oft print* (2011)
- [63] Yahalom B et al.: Spinal anesthesia in infant rats: development of a model and assessment of neurologic outcomes. *Anesthesiology* 114 (6) (2011) 1325–1335
- [64] Zernikow B, Hechler T, Pain therapy in children and adolescents. *Dtsch Arztebl Int* 105 (28–29) (2008) 511–521; quiz 521–522
- [65] Zernikow B, Hechler T, Schmerztherapie bei Kindern und Jugendlichen: Schlusswort. *Deutsches Ärzteblatt* 106 (4) (2009) 56
- [66] Zernikow B et al.: Practical pain control in pediatric oncology. Recommendations of the German Society of Pediatric Oncology and Hematology, the German Association for the Study of Pain, the German Society of Palliative Care, and the Vodafone Institute of Children's Pain Therapy and Palliative Care. *Schmerz* 20 (1) (2006) 24–39
- [67] Massoth G et al: Impact of the mother's voice on sedation need and stress during cardiologic examination of children (SMUSS study): a prospective, interventional, randomised, controlled, monocentric study. *Cardiol Young* 34 (11) (2024): 2437–2444
- [68] Chauvin C et al: Early postoperative oral fluid intake in paediatric day case surgery influences the need for opioids and postoperative vomiting: a controlled randomized trial. *Br J Anaesth* 118 (3) (2017) 407–414
- [69] Kaufmann J et al: *S2k-Leitlinie 027/071: „Medikamentensicherheit bei Kindernotfällen“* AWMF (2021) <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/I/027-071.html>