



Intraoperative Hypotonie beim Kind – Messung und Therapie

Sebastian Bratke¹ · Sebastian Schmid¹ · Vijyant Sabharwal² · Bettina Jungwirth¹ · Karin Becke-Jakob²

¹ Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Ulm, Ulm, Deutschland

² Anästhesie und Intensivmedizin, Cnopfsche Kinderklinik – Klinik Hallerwiese, Diakoneo, Nürnberg, Deutschland

Интраоперационная гипотония у детей - измерение и терапия

Перевод В.О. Седакова



Intraoperative Hypotonie beim Kind – Messung und Therapie

Интраоперационная гипотония у детей - измерение и терапия

Авторы:

- 1) Себастьян Братке, Себастьян Шмид
Отделение анестезиологии и интенсивной терапии, Университетская клиника Ульма, Ульм, Германия
- 2) Вийант Сабхарвал, Беттина Юнгвирт, Карин Беке-Якоб
Отделение анестезиологии и интенсивной терапии, детская больница - клиника Hallerwiese, Diakoneo, Нюрнберг, Германия

Anaesthesiology 2024 – <https://doi.org/10.1007/s00101-024-01461-x>

Принято: 22 августа 2024 г.

© Автор(ы), по эксклюзивной лицензии Springer Medizin Verlag GmbH, часть Springer Nature 2024

Опубликовано: 27 сентября 2024 г.

В этой статье рассматриваются:

Способы измерения артериального давления у детей:

Осциллометрическое непрерывное измерение

Инвазивное измерение артериального давления

Непрерывное неинвазивное измерение

Прогноз

Гипотония при детской анестезии:

Определение гипотонии и гипертонии, периоперационная гипотония

Терапия интраоперационной гипотонии у детей:



Инфузионная болюсная терапия
Вазопрессоры и катехоламины
Нежелательные эффекты

Резюме

Интраоперационное снижение артериального давления является частым периоперационным осложнением в детской анестезиологии. Поэтому осциллометрическое измерение артериального давления является неотъемлемой частью стандартного периоперационного мониторинга в детской анестезиологии. Оптимальным местом измерения является плечо, при этом необходимо использовать манжету правильного размера.

Артериальное давление следует измерять до индукции. При обширных хирургических операциях или у тяжелобольных детей золотым стандартом остается инвазивное измерение артериального давления. В будущем альтернативой могут стать непрерывные неинвазивные методы измерения.

Пределы гипотонии недостаточно определены даже у бодрствующих детей. Также имеется мало данных о предельных значениях гипотонии в периоперационном периоде у детей. Среднее артериальное давление является наиболее надежным параметром для оценки гипотонии. Пороговые значения для интраоперационной гипотензии составляют 40 мм рт. ст. у новорожденных, 45 мм рт. ст. у младенцев, 50 мм рт. ст. у маленьких детей и 65 мм рт. ст. у подростков. Терапия должна быть начата при отклонении на 10 % а при отклонении на 20% ее следует усилить. В качестве терапевтических вариантов используется болюсное введение изотонических растворов электролитов, вазопрессоров и / или катехоламинов.

Последовательное и быстрое вмешательство в случае гипотонии, по-видимому, имеет решающее значение. На сегодняшний день нет никаких данных о том, приведёт ли это к улучшению конечного результата.

Ключевые слова



Педиатрическая анестезия - Артериальное давление - Интраоперационный мониторинг - Гомеостаз - Перфузия



Онлайн-версия этой статьи
(<https://doi.org/10.1007/s00101-024-01461-x>)
содержит карманный сборник по методам
измерения и лечения интраоперационной
гипотонии у детей.

Пожалуйста, отсканируйте QR-код.

В последние годы периоперационное артериальное давление стало предметом пристального внимания педиатрической анестезиологии – не в последнюю очередь, потому, что артериальное давление и перфузия были определены как параметры, значимые для исхода в периоперационном контексте детской анестезии.

Этой теме посвящено большое количество исследований, включая определение нормы и гипотонии у бодрствующих и находящихся под наркозом детей, а также методам надёжного измерения артериального давления и мерам эффективного лечения гипотонии.

Введение

Критические события в периоперационном периоде во время детской анестезии являются обычным явлением, и подробно изучались в двух крупных европейских наблюдательных исследованиях APRICOT и NECTARINE [26, 36]. При лечении детей многие анестезиологи уделяют основное внимание профилактике респираторных проблем, которые также являются причиной 60% анестезиологических инцидентов. Сердечно-сосудистые события следуют непосредственно за ними, составляя 37%. В исследовании NECTARINE 50%, а в исследовании APRICOT 55% всех сердечно-сосудистых событий были связаны с гипотонией.

Периоперационное артериальное давление оказывает решающее влияние на развитие нервной системы, а гипотония считается фактором риска развития



детской энцефалопатии [67, 68]. Это свидетельствует об огромной важности периоперационного контроля артериального давления, которому также необходимо уделять первостепенное внимание при анестезии педиатрических пациентов. Кроме того, измерение артериального давления, наряду с измерением частоты сердечных сокращений (ЧСС) и сатурации, согласно требованиям Ассоциации немецких анестезиологов (BDA) и Немецкого общества анестезиологии и интенсивной терапии (DGAI), является обязательным базовым мониторингом при проведении каждой анестезии, [8].

Способы измерения артериального давления у детей

Непостоянное осциллометрическое измерение

Наиболее распространенным методом является осциллометрическое измерение артериального давления. При этом давление в манжете нагнетается сверх последнего измерения систолического артериального давления. Пульсации в артерии создают колебания с увеличивающейся амплитудой по мере снижения давления в манжете. Эти колебания передаются окружающим тканям и регистрируются манжетой, наполненной воздухом. Максимальная амплитуда достигается в диапазоне среднего артериального давления, тем самым измеряется САД, а систолическое и диастолическое давления рассчитываются по алгоритму [3, 10]. Алгоритмы расчета систолического и диастолического давления зависят от производителя и имеют особенности у детей [16, 53].

Во многих случаях педиатрическая физиология отличается от промышленных стандартов [59, 70]. Другим источником погрешности является меньшая амплитуда колебаний сосудов [71]. В результате, артериальное давление, измеренное при гипотонии, оказывается, ложно повышенным [31, 71, 101]. У взрослых пациентов измерение артериального давления перед индукцией является периоперационным стандартом [8]. Однако в педиатрической анестезии первое измерение артериального давления часто проводится после индукции, чтобы избежать неприятных ощущений при измерении артериального давления, связанных со стрессом. До 36% педиатрических пациентов имеют эпизод гипотонии между индукцией и разрезом кожи [75].



И выходит так, что на данном этапе, правильное измерение исходного артериального давления не представляется возможным [110]. Поэтому показатели артериального давления, измеренные после индукции, лишь в ограниченной степени подходят в качестве эталона для дальнейшей коррекции артериального давления [77]. Результаты опросов показали, что только у 1,6% детей измеряют артериальное давление перед индукцией [95]. По данным исследований, у большинства детей перед индукцией возможно измерение артериального давления, только в условиях низкого эмоционального стресса; по данным Weber и др., этот показатель составляет 79% [111]. Измеренное до операции исходное значение является важным параметром, который должен быть определён в рамках бесстрессового измерения перед индукцией или путем предоперационного определения во время осмотра в рамках подготовки к анестезии [73, 84, 104, 111]. Если это невозможно, то измерение артериального давления следует начинать сразу после введения гипнотика или после угнетения сознания во время ингаляционной индукции. Интервал между измерениями артериального давления должен составлять от 3-х до максимум 5-ти минут, в зависимости от факторов, связанных с пациентом и операцией [88].

Выбор правильного размера манжеты важен для достоверного измерения. Слишком маленькие манжеты дадут ложные значения повышенного артериального давления, а слишком большие – ложные значения пониженного артериального давления [25, 30, 105].

Ширина манжеты должна составлять 40% и более окружности плеча, длина резиновой камеры манжеты должна покрывать от 80% до 100% окружности плеча.

Рекомендуется, чтобы ширина внутренней (резиновой) камеры манжеты составляла не менее 40%, а длина внутренней (резиновой) камеры манжеты покрывала 80-100% окружности плеча (табл. 1; [1, 25, 30, 64, 105]).



Таб. 1 Практические советы: Измерение артериального давления у детей

Осциллометрическое измерение артериального давления	Правильный размер манжеты: Ширина = 40% от окружности руки Длина = 80-100% от окружности руки
	Идеальное место измерения: верхняя часть руки (плечо)
	По возможности проводите измерения до индукции анестезии
Инвазивное измерение артериального давления	Трудная пункция: применение сонографии
	Более высокая частота осложнений: повышенная настороженность и тщательный уход
	Постоянное предотвращение образования пузырьков воздуха: тщательное удаление воздуха
	Оборудование: перфузор для промывки

Наиболее подходящим местом для измерения является половина расстояния между олекраноном и акромионом [1, 30]. Существуют возрастные различия между плечом, предплечьем и ногой [15, 54, 92]. Если измерение проводится на ноге, то значение систолического давления у детей старшего возраста примерно на 10-20 мм рт. ст. выше, чем на плечевой артерии.

Однако показатели давления у недоношенных и новорождённых детей, измеренные на верхней и нижней конечностях, как правило, совпадают [1, 15, 25, 30]. Стоит отметить то, что при общей анестезии, измерение на ноге может дать ложно низкие значения по сравнению с рукой [40, 54, 92, 106]. Помните, что «конверсия» между разными местами измерения является не точной [92].

Инвазивное измерение артериального давления

Непрерывное инвазивное измерение артериального давления является золотым стандартом как при проведении серьезных вмешательств, так и у пациентов в критическом состоянии, особенно при работе с детьми. Измерение обычно



проводится на лучевой, бедренной или плечевой артерии [32, 43, 90]. Тыльная артерия стопы и задняя большеберцовая артерия могут служить дополнительными альтернативами для пункции с сонографическим наведением [102]. У новорожденных необходимо учитывать физиологические право-левые шунты (овальное окно, открытый Боталлов проток). Оптимальным является предуктальное измерение в правой лучевой артерии [80]. Возможность проведения анализа газов крови дает дополнительную информацию об оксигенации, электролитах и нарушении микро- и макроциркуляции [60].

Инвазивные и осциллометрические измерения артериального давления показывают хорошее соответствие при нормотонии [45, 67]. Наименьшее отклонение наблюдается при измерении среднего артериального давления [25]. Соответствие измерений также достаточно хорошо совпадает у недоношенных и новорожденных детей [101]. Наиболее часто отклонения наблюдаются у детей при гипотонии.

***Примечание.** При гипотонии разница между осциллометрией и внутриартериальным измерением увеличивается. Гипотония недооценивается из-за ложно завышенных значений, измеренных осциллометрическим методом [25, 31, 40, 67, 71, 101].*

Частота осложнений у детей (5,4- 10,3 %) значительно выше, чем у взрослых (около 1 %) [55, 90, 91]. Катетер-ассоциированные инфекции встречаются непропорционально часто [55]. Из-за меньшего диаметра сосуда канюляция технически более сложна [91, 102].

***Примечание.** Чтобы избежать неправильной пункции, рекомендуется установка внутриартериального катетера под ультразвуковым контролем.*

При использовании стандартных измерительных систем, не следует использовать ирригационный мешок под давлением для младенцев и маленьких детей (с 4-х недель до 6-7 лет), так как высокое давление при ирригации может привести к перфорации сосудов. Для постоянной ирригации можно использовать шприцевой насос с непрерывной скоростью потока (1-2 мл/ч). [80]. Чтобы избежать артериальной воздушной эмболии, необходимо осторожно вентилировать систему шлангов.



Иные источники проблем, в дополнение к неправильному размещению датчика давления, также включают пузырьки воздуха в измерительной системе. Это может привести к снижению систолических и повышению диастолических значений [89, 112].

Непрерывное неинвазивное измерение

Помимо осциллометрического и инвазивного измерения артериального давления, существуют и другие методы измерения артериального давления с помощью пальцевой манжеты: «время прохождения пульсовой волны», «анализ формы пульса» и метод «сосудистого наполнения-опорожнения» («пальцевая фотоплетизмография»). В последнем методе, объём крови в пальце измеряется с помощью источника инфракрасного света и детектора. Кровоток в пальце регистрируется датчиками инфракрасного света. Путем надувания или сдувания встроенных барокамер к артерии прикладывается давление, чтобы «нейтрализовать» пульсацию крови и поддерживать постоянный кровоток. Изменения давления в манжете пропорциональны артериальному давлению и позволяют проводить непрерывное измерение артериального давления [70, 81, 106].

Валидационные исследования на взрослых пациентах показывают хорошее соответствие между инвазивным и непрерывным неинвазивным измерениями [46, 50]. Те же результаты подтверждены для педиатрических пациентов во время операции и в условиях интенсивной терапии. Однако, отклонения неоднократно проявлялись, в частности, при измерении систолического артериального давления [5, 32, 43, 62]. Побочные эффекты не регистрировались при использовании пальцевых манжет [5, 43]. Хотя стоит отметить, что у детей часто бывает трудно надеть манжету [32, 43, 62]. В заключение, этот метод хорошо подходит для детей, которым необходимо непрерывное измерение, но нет показаний к инвазивному измерению [32]. В настоящее время очень высокая стоимость оборудования препятствует его широкому использованию. Применение в работе с недоношенными детьми и новорожденными пока невозможно из-за отсутствия соответствующего оборудования (**табл.2**).

**Таб. 2 Плюсы и минусы различных методов измерения**

	Непрерывное осциллометрическое измерение	Непрерывное неинвазивное измерение	Инвазивное измерение
За	Повсеместно доступны	Неинвазивный	Надежность даже при недостаточности кровообращения
	Низкая частота осложнений	Непрерывное измерение	Непрерывное измерение
	Высокая степень известности метода	Низкая частота осложнений	Возможен анализ газов крови
Против	Неправильное измерение при неправильно подобранном размере манжеты	Низкий уровень доказательств	Инвазивность
	Проблема неточного измерения при недостаточности кровообращения	Частично затрудненное размещение манжет	Высокие технические требования
	-	Отсутствие устройств для недоношенных и новорожденных детей	Высокая частота осложнений
	-	Высокие затраты	-

Перспектива

Надежное прогнозирование гипотонии может улучшить индивидуальный подход к пациентам. Одним из подходов к прогнозированию гипотонии является



определение реакции на инфузию с помощью плетизмографических показателей, например, дыхательной вариабельности формы плетизмографической волны и индекса вариабельности плетизмографии (PVi) [13, 24, 82]. У детей высокие предоперационные значения, по-видимому, связаны с гипотонией, вызванной введением Пропофола во время индукции анестезии. Однако, они обладают недостаточной чувствительностью и специфичностью в качестве единственных предикторов [13].

В 2018 году был разработан "Индекс прогнозирования гипотонии" (NPI) с использованием машинного обучения [39]. Однако, в настоящее время он обсуждается весьма критично [6, 17, 18, 27, 66, 72, 74]. Стоит отметить: NPI ещё не был изучен в клинических исследованиях на педиатрических пациентах.

Гипотония в педиатрической анестезии

Определение гипотонии и гипертонии

Помимо правильного измерения артериального давления, для достоверной оценки, необходимо определение нормальных значений. На сегодняшний день, стандартизированного определения не существует. У бодрствующих детей гипертония или гипотония определяются как отклонение систолического артериального давления от 5-го перцентиля в зависимости от пола, возраста и роста [1, 2, 12, 21, 38]. В более поздних исследованиях акцент смещается с возраста на рост, как наиболее важный контрольный параметр [7, 38, 87]. Но, к сожалению, простые формулы с учетом фактического роста тела до сих пор отсутствуют. Таким образом, для детей с соответствующим возрасту ростом, установлены следующие пределы гипотонии [38]:

- систолическое артериальное давление = $2 * \text{возраст (в годах)} + 65$ мм рт.ст.,
- среднее артериальное давление = $1,5 * \text{возраст (в годах)} + 40$ мм рт.ст.

С другой стороны, Американская кардиологическая ассоциация (АНА) рекомендует определять гипотонию для педиатрических реанимационных пациентов только с помощью систолического артериального давления [56]:

- зрелый новорожденный: <60 мм рт.ст.
- до 1 года: <70 мм рт.ст.



- до 10 лет: $<(70 \text{ мм рт.ст.} + 2 * \text{Год жизни})$
- ≥ 10 лет: $<90 \text{ мм рт.ст.}$

У недоношенных и новорожденных детей гипотония обычно определяется по показателям среднего артериального давления (САД): у бодрствующих недоношенных детей с САД ≤ 30 мм рт. ст. или, если САД ниже гестационного возраста в неделях (в мм рт. ст.). У новорожденных САД не должно опускаться ниже 40 мм рт. ст. Для этих ограничительных пределов также имеется мало данных [11, 28, 63, 67].

Результаты современных исследований частично подтверждают это «эмпирическое правило» для недоношенных детей. Однако, предельные значения отклоняются с увеличением возраста (в некоторых случаях на 5-10 мм рт. ст.), поскольку референсные значения увеличиваются не линейно, а скорее экспоненциально [107]. Альтернативным определением гипотонии, которое можно найти в различных публикациях, является сам факт вмешательства практикующего врача [104]. На первый взгляд, этот подход кажется прагматичным, но плох тем, что корректное сравнение между практикующими врачами крайне затруднительно.

Примечание. *Стандартного определения гипотонии у детей не существует. В международных педиатрических руководствах и исследованиях основное внимание уделяется гипертонии [20, 37, 38, 44, 104].*

В различных определениях используются как среднее, так и систолическое давление. Источник 1987 года и его обновление 2004 года неоднократно цитируются в качестве справочного материала («Отчет Второй целевой группы по контролю артериального давления у детей»). В основу этой публикации положены данные об артериальном давлении примерно 73 000 детей в течение многих лет 1977-1987 [1, 7, 12, 19, 33, 38, 56-58, 64, 65, 103].

Эта эталонная популяция родом относится к США. В Германии, вероятно, присутствуют другие пределы гипотонии [87]. Кроме того, мы должны предположить, что текущая контрольная группа населения имеет другой профиль в отношении ранее существовавших заболеваний, таких как ожирение или пороки сердца. Здоровые дети часто являются основой для сбора данных, и



перенос данных на популяцию больных детей в клинике возможен лишь в ограниченной степени. В одном из исследований было показано, что при травматических повреждениях головного мозга систолическое артериальное давление выше 5-го перцентиля ассоциируется с лучшим исходом, чем систолическое артериальное давление выше 90 мм рт.ст. [14].

Подводя итог, мы предлагаем использовать предельные значения, приведённые в **Таблице 3**. Они просты, практичны и используют значения Среднего артериального давления в качестве наиболее важного параметра.

Таблица 3 «Практические рекомендации по определению гипотонии»	
Возраст	Среднее целевое артериальное давление
Недоношенные	Гестационный возраст в неделях
Новорожденные (до 4-х недель от рождения)	40 мм рт. ст.
Младенцы (возраст с 4-х недель от рождения до 1-ого года)	45 мм рт. ст.
Маленькие дети (от 1-ого года до 6-7 лет)	50 мм рт. ст.
Подростки (от 14 до 18 лет)	65 мм рт. ст.

Периоперационная гипотония

Примечание. Универсального определения интраоперационной гипотонии не существует.

В интраоперационных условиях диагноз гипотонии представляет собой особую проблему. В определениях периоперационной гипотонии используются различные абсолютные и относительные изменения САД или систолического артериального давления [111]. Это приводит к множеству различных определений, которые в некоторых исследованиях используются одновременно; (**Таблица 4** [14, 20, 63, 87, 93, 109, 111]). Это приводит к высокой вариабельности частоты гипотонии [13, 26, 109].



Таблица 4 «Различные определения интраоперационной гипотензии»				
Определение	Абсолютный/ относительный	АД сист/ САД	Возраст	Источник
Снижение > 20 % от исходного систолического давления	Относительный	АД сист.	0 – 18	[73, 77, 93, 95, 109]
<5 Возрастных перцентилей: АД сист. <60 мм рт.ст. АД сист. <2 * возраст + 70 мм рт.ст. АД сист. <90 мм рт.ст.	Абсолютный	АД сист.	0 – 18 неонатальный <10 лет 10-18	[2, 14, 56–58, 96, 109]
Снижение > 20% от исходного САД	Относительный	САД	До 12 месяцев	[84, 111]
Снижение > 30% от исходного АД сист.	Относительный	АД сист.	До 1-ого года	[26]
САД < 30 мм рт.ст.	Абсолютный	САД	неонатальный	[104]
САД < 35 мм рт.ст.	Абсолютный	САД	До 90 дней/до 6 месяцев	[93, 110, 111]
САД < 43 мм рт.ст.	Абсолютный	САД	До 12 месяцев	[110, 111]
10-й Перцентиль = Гестационный возраст в неделях = САД	Абсолютный	САД	неонатальный	[48, 63, 104]
<i>САД – среднее артериальное давление; АД сист. – систолическое артериальное давление</i>				

Прямое сравнение различных определений у детей < 6 месяцев показало различия в частоте до 62% [93, 111]. Как правило, определения опираются на сравнительные изменения, в частности, требуют достоверного измерения исходного артериального давления, что недоступно во многих педиатрических анестезиологических службах (см. выше) [104, 111].

Наиболее распространенное определение интраоперационной гипотонии, основано на аналогичных абсолютных значениях, общего определения



гипотонии у бодрствующих детей, а именно на отклонении систолического артериального давления от 5-го перцентиля [12]. В качестве альтернативы, интраоперационная гипотония определяется как: относительное снижение систолического артериального давления на 20-30% по отношению к исходному. Это часто используемое определение основано на результатах опроса педиатрических анестезиологов в 2009 году, в котором 76% респондентов указали эти пределы [77]. Из-за отсутствия единого определения интраоперационной гипотонии выводы о связи между артериальным давлением и педиатрическим исходом возможны лишь в ограниченной степени [20, 38, 94,104].

***Примечание.** Среднее артериальное давление, пожалуй, является наиболее подходящим параметром для выявления гипотонии.*

Благодаря лучшему соответствию между инвазивными и неинвазивными измерениями, а также важности для церебральной перфузии (ЦПД = САД - ВЧД; ЦПД - церебральное перфузионное давление, ВЧД - внутричерепное давление) в качестве контрольного параметра при гипотонии следует использовать САД [25, 31, 51, 88]. Оно показывает наименьшее отклонение, особенно у новорожденных [25, 31]. При быстрых интраоперационных изменениях гемодинамики лучше использовать инвазивное измерение артериального давления, нежели с помощью манжеты [31,40]. В настоящее время лишь в нескольких исследованиях изучаются показатели интраоперационного артериального давления у педиатрических пациентов, хотя они имеют большое значение, в частности, для нейроразвития [67, 68, 94]. В большом многоцентровом исследовании, интраоперационно измеренные значения систолического артериального давления варьировали от 45 мм рт.ст. у новорожденных до 100 мм рт.ст. на 18-м году жизни, САД - от 33 до 66 мм рт.ст. [20]. Даже это, позволяет сделать лишь ограниченные выводы о том, что у здоровых детей интраоперационные изменения артериального давления выражаются в снижении на 6-10% во время медикаментозного сна [22].

***Примечание.** Гипотония возникает у 36% детей в период между индукцией и разрезом кожи.*



Введение анестетика часто сопровождается падением артериального давления (до 28% от САД или до 25% от систолического артериального давления) [95], причем падение артериального давления чаще происходит у пациентов более младшего возраста [110]. Частота встречаемости у детей постиндукционной гипотонии в период между индукцией и разрезом кожи доходит до 36% [75]. Факторы риска включают: ранее существовавшую гипертонию или гипотонию, ожирение, класс риска \geq III по классификации Американского общества анестезиологов (ASA) и длительный период ожидания между индукцией и началом операции [75, 76, 96]. Известно, что частота общей интраоперационной гипотонии у новорожденных составляет порядка 77% [93]. И при сравнении между регионарной и общей анестезией количество эпизодов артериальной гипотонии значительно выше в группе общей анестезии [69].

Примечание. Для подтверждения диагноза "недостаточности кровообращения" следует изучить дополнительные клинические параметры (Информационный блок 1).

В частности, измерение времени наполнения капилляров (CRT) позволяет одновременно оценить несколько гемодинамических параметров. В клинической практике это позволяет легко и быстро оценить ситуацию с состоянием кровообращения у пациента [49, 61].

Информационный блок 1

Клинические и аппаратные / лабораторно-химические признаки недостаточности кровообращения

- Гипотония
- Увеличенное время наполнения капилляров (>2 с)
- Снижение уровень CO_2 в конце выдоха
- Снижение тканевой оксигенации (NIRS)
- Снижение темпа диуреза
- Гиповолемия, эксиккоз
- Снижение индекса периферической перфузии (ИПП)
- Снижение смешанной-венозной сатурация (SO_2)
- Повышение уровня лактата



***Примечание.** Мониторинг церебральной оксигенации в сочетании с контролем артериального давлением позволяет добиться адекватной оксигенации.*

Лишь немногие исследования изучают взаимосвязь между артериальным давлением, церебральной ауторегуляцией и исходом операции. Согласно рекомендациям: мониторинг церебральной ауторегуляции с использованием суррогатных параметров, таких как церебральная оксигенация, позволяет определить индивидуальный оптимальный интраоперационный уровень САД и минимальный САД, но со значительными различиями в зависимости от веса.

Минимальными значениями для адекватной оксигенации мозга являются САД 33 мм рт.ст. у детей ≤ 6 месяцев и 43 мм рт.ст. в возрасте от 6 до 24 месяцев [83-85]. В других исследованиях сообщается, что минимальный уровень САД для новорожденных составляет 45 мм рт.ст. [42]. Нижний предел церебральной ауторегуляции у детей в возрасте от 6 месяцев до 14 лет составлял 60 мм рт.ст. [95, 108]. Кроме того, снижение систолического артериального давления на 20% или снижение САД на 15,5% коррелируют с отрицательным исходом [73, 95].

Таким образом, контрольные значения, приведенные в табл. 3, могут быть использованы в качестве вспомогательного средства для оценки интраоперационной гипотонии. Остается неясным, какое отклонение требует вмешательства. В качестве прагматичного подхода терапия может быть начата при отклонении $>10\%$ от целевого значения. Во избежание повреждений её следует усилить не позднее, чем при отклонении $>20\%$ [51, 73, 95].

Лечение интраоперационной гипотонии у детей

Как правило, для начала терапии требуется диагноз и соответствующие показания. Диагноз "Гипотония" и, как следствие, необходимость коррекции недостаточности кровообращения сложны не только из-за вариации или определения величины артериального давления. Помимо артериального давления, решающую роль играет также перфузия, поэтому терапия никогда не должна начинаться на основе одного показателя. Следует также учитывать и другие причины (например, чрезмерную дозу гипнотика, сопутствующие заболевания, осложнения; см. **Информационный блок 1**) [51]. Само лечение



гипотонии состоит из двух компонентов: инфузионная терапия и введение вазопрессоров или катехоламинов.

Сердечный выброс и давление

Артериальное давление служит суррогатным параметром для измерения кровотока или сердечного выброса ($САД - ЦВД = ОПСС \times СВ$); Таким образом, в дополнение к артериальному давлению, можно также учитывать кровоток. Транспорт кислорода из капиллярной крови внутриклеточно в митохондрии происходит путем диффузии по градиенту концентрации [52].

Примечание. Для транспортировки O_2 ведущую роль играет не только давление, но и поток в капиллярной системе.

Также, важным процессом зависящим от артериального давления в организме, является выработка мочи. Для этого процесса требуется соответствующее давление, чтобы жидкость могла фильтроваться через мембрану клубочка. Если давление находится на низком уровне, происходит снижение образования первичной мочи, даже если при этом кровоток обеспечивает достаточную оксигенацию остальной части почек [52].

Инфузионная терапия

Существуют четкие рекомендации по периоперационной инфузионной терапии у детей [98]. Предоперационный дефицит жидкости должен быть компенсирован, по возможности, ещё до начала анестезии. Для компенсации относительной или абсолютной гиповолемии (например, в результате длительного предоперационного голодания, повышенных потерь в связи с болезнью, симпатоллизис при индукции) следует вводить полностью сбалансированные изотонические растворы электролитов (b-VEL) 10-20 мл/кг [98]. В случаях гиповолемии или нестабильной гемодинамики, которые невозможно адекватно компенсировать только b-VEL, в периоперационном периоде также могут быть использованы коллоиды (желатин, HES, альбумин).



Вазопрессоры и катехоламины

Существует мало данных, рекомендаций или руководств по периоперационному применению вазопрессоров и катехоламинов у детей с гипотонией, которая сохраняется, несмотря на нормоволемию. В литературе описываются различные, теоретически подходящие, вещества, дозировки которых представлены в таблице 5. Но на практике нет никаких данных относительно превосходства какого-либо конкретного класса веществ. Нерепрезентативный опрос членов научной рабочей группы по педиатрической анестезии DGAI выявил неоднородную картину возможных вариантов лечения гипотонии.

В Германии очень часто используется смешанный препарат **Кафедрин/Теодреналин** (Кафедрин – Норэфедринэтилтеофиллин; Теодреналин – химическое соединение Норадrenalина и Теофиллина), который десятилетиями используется в анестезии для взрослых [9, 41]. Научные исследования по применению данного препарата в области детской анестезии немногочисленны, но данные клинического опыта широко распространены. Возможно, что β -стимуляция вызывает положительный хронотропный эффект, стабилизирующий артериальное давление у новорожденных и младенцев, у которых сердечный выброс зависит от ЧСС [9]. Первоначальные проспективные данные у детей показали, что Кафедрин/Теодреналин может повышать как артериальное давление, так и оксигенацию тканей головного мозга.

Также часто используется **Норадреналин**. Его действие опосредовано через α_1 , α_2 и β_1 -рецепторы. Это приводит к увеличению ОПСС, ЧСС, сердечного выброса и САД. В первую очередь назначается болюс, а при сохраняющейся гипотонии, непрерывная инфузия. Продолжительность действия обычно короче, чем при использовании комбинации Кафедрин/Теодреналин [51].

Адреналин действует преимущественно дозозависимым образом через β_1 и α_1 -рецепторы. Первоначально это приводит к увеличению сердечного выброса за счёт положительного инотропного и хронотропного эффектов, а затем к вазоконстрикции. В клинической практике он используется при отсутствии ответа на Дофамин и подходит для ситуаций со сниженным ОПСС и нарушением сократимости миокарда [78].



Дофамин действует дозозависимо на рецепторы DA1, DA2, β 1, α 1 и β 2. После первоначального увеличения почечного и мезентериального кровотока Дофамин приводит к положительной хроно- и инотропии и, наконец, к вазоконстрикции. Рекомендации по его применению имеются почти исключительно в неонатологии. В нескольких исследованиях удалось оценить превосходство по сравнению с Добутамином с точки зрения его эффекта относительно повышения артериального давления. [79, 86, 97].

Однако, особенно у новорожденных и младенцев, это может привести к меньшему эффекту относительно коррекции гипотонии, что может потребовать использования более высоких доз [23, 35, 78]. Возможными побочными эффектами из-за рецепторного воздействия являются тахикардия и аритмии.

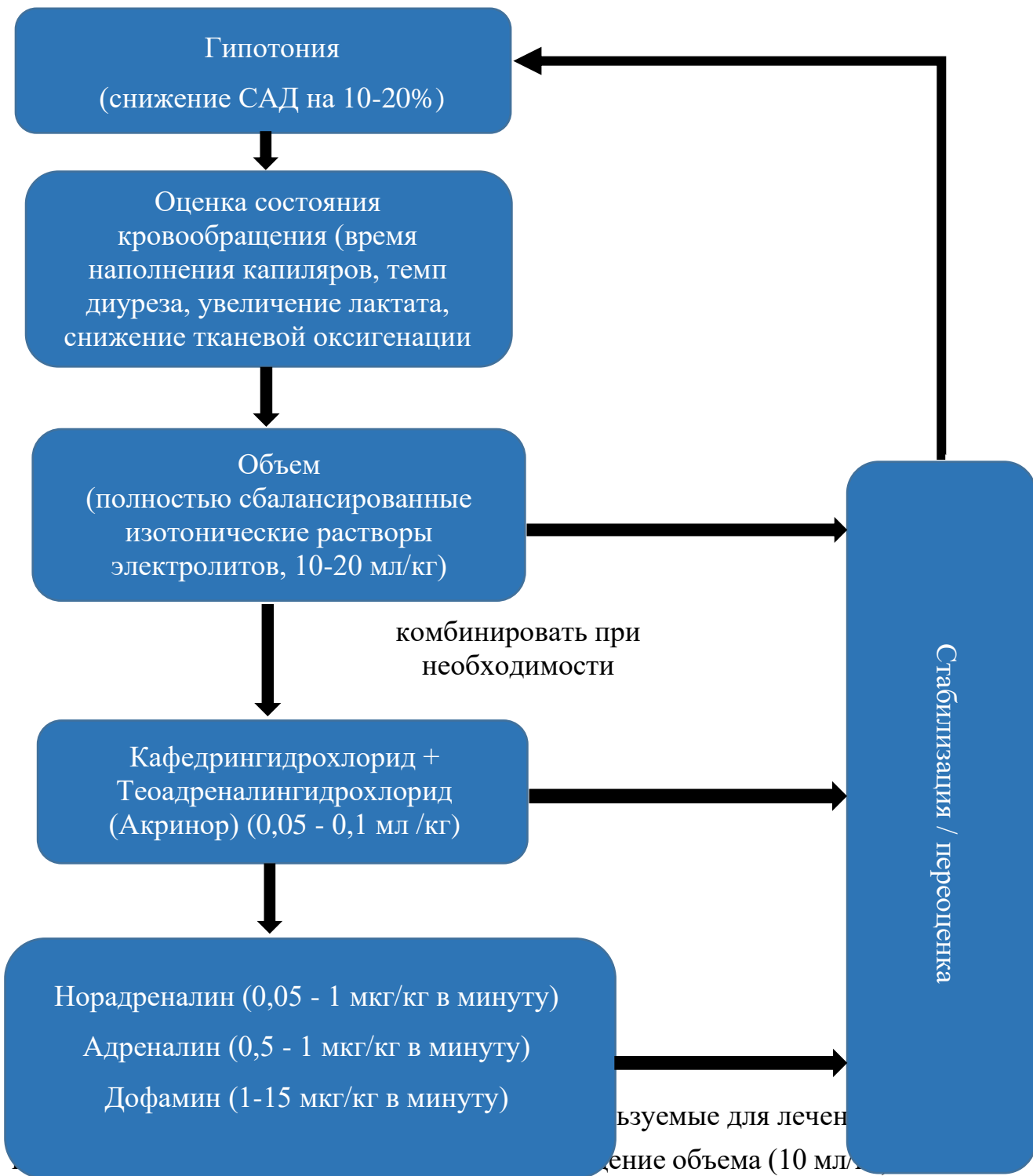
Добутамин действует, преимущественно, через β 1-рецепторы, оказывая положительный-инотропный, -хронотропный и -дромотропный эффекты. Благодаря низкой вазоконстрикторности Добутамин подходит новорожденным с дисфункцией миокарда для увеличения частоты сердечных сокращений [78]. При увеличении дозы также происходит стимуляция β 2- и α 1-рецепторов.

Эфедрин реже используется во время детской анестезии в Германии. Современные данные указывают на зависимое от возраста увеличение дозы у детей первого года жизни [100]. Эффект Эфедрина осуществляется напрямую через стимуляцию α и β рецепторов, а также опосредовано непрямым симпатомиметическим действием.

Примечание. В заключение, вазопрессоры и катехоламины доступны в качестве вариантов терапии при падении давления на 10% или 20% в дополнение к объемным болюсам для обеспечения жидкостного гомеостаза (рис. 1). В настоящее время нет доказательств того, какой класс препаратов лучше.



Рис. 1 Схема лечения и оценки интраоперационной гипотонии у детей



терапии гипотонии у новорожденных с экстремально низкой массой тела в первые 72 часа жизни может привести к задержке моторного развития и потере слуха после 20 месяцев жизни [29]. Многократное введение болюсных объемов



может привести к отеку тканей и потере слуха, а также может представлять риск для кишечных анастомозов из-за отека тканей.

Аналогичным образом, перегрузка объемом может привести к повреждению гликокаликсной системы [4]. Терапия гипотонии с использованием вазопрессоров у недоношенных детей является фактором риска внутрижелудочкового кровоизлияния [99]. Использование добутамина (<10 мкг/кг/мин) повышает риск развития сердечной аритмии, тахикардии или миокардиального повреждения [34].

Наиболее важные аспекты измерения и лечения интраоперационной гипотонии у детей кратко изложены на **рис. 2** и доступны для скачивания в формате PDF в онлайн-версии статьи на сайте.

Рис. 2 Основные аспекты измерения и лечения интраоперационной гипотонии у детей. Иллюстрацию можно найти для загрузки и распечатки в онлайн-версии статьи.

<h3 data-bbox="386 989 737 1073">Интраоперационная гипотония у детей</h3> <p data-bbox="337 1094 646 1157">Правильное измерение артериального давления:</p> <ul data-bbox="298 1184 846 1976" style="list-style-type: none">• Измерение артериального давления является обязательным компонентом базового мониторинга• Определите исходный уровень артериального давления: Измерение вовремя премедикации, изучение записей, измерение перед началом анестезии/индукцией, если это возможно• Осциллометрическое измерение на верхней части руки: соблюдайте размер манжеты, соответствующий возрасту (ширина = 40%, длина = 80 - 100% окружности руки).• Инвазивное измерение артериального давления: УЗИ-навигация, предуктальное измерение, более высокая частота осложнений, избегайте образования воздушных пузырьков, ирригация с помощью перфузора• Показания к применению: крупные операции, тяжелобольные дети• При гипотонии разница между осциллометрией и внутриартериальным измерением увеличивается: Гипотония недооценена из-за ошибочно высоких значений осциллометрии <th data-bbox="896 953 1511 2047"><h3 data-bbox="992 989 1435 1052">Диагностика и лечение для кармана халата</h3><p data-bbox="980 1115 1365 1171">Допустимые пределы среднего целевого артериального давления:</p><ul data-bbox="943 1192 1468 1339" style="list-style-type: none">• Недоношенные дети: гестационный возраст в неделях• Новорожденные (до 4-х недель): 40 мм рт.ст.• Младенцы (с 4-х недель до 1-ого года): 45 мм рт.ст.• Маленькие дети (от 1-ого года до 6-7 лет): 50 мм рт.ст.• Подростки (от 14 до 18 лет): 65 мм рт.ст.<p data-bbox="964 1373 1435 1499">Обязательно: обнаружить снижение САД на 10-20% оценить ситуацию с кровообращением провести необходимое лечение</p><p data-bbox="964 1541 1338 1570">Варианты лечения гипотонии:</p><ol data-bbox="964 1604 1490 1898" style="list-style-type: none">1) Объемные болюсы (b-VEL 10 - 20 мл/кг)2) Акринор (0,05 - 0,1 мл /кг) Норадреналин (0,5 - 1 мкг/кг)3) Продолжите постоянное введение: Норадреналин (0,05 - 1 мкг/кг в минуту) Адреналин (0,5 - 1 мкг/кг в минуту) Дофамин (1-15 мкг/кг в минуту)<p data-bbox="964 1934 1463 1990">Обязательно: Переоценка после каждого шага!</p></th>	<h3 data-bbox="992 989 1435 1052">Диагностика и лечение для кармана халата</h3> <p data-bbox="980 1115 1365 1171">Допустимые пределы среднего целевого артериального давления:</p> <ul data-bbox="943 1192 1468 1339" style="list-style-type: none">• Недоношенные дети: гестационный возраст в неделях• Новорожденные (до 4-х недель): 40 мм рт.ст.• Младенцы (с 4-х недель до 1-ого года): 45 мм рт.ст.• Маленькие дети (от 1-ого года до 6-7 лет): 50 мм рт.ст.• Подростки (от 14 до 18 лет): 65 мм рт.ст. <p data-bbox="964 1373 1435 1499">Обязательно: обнаружить снижение САД на 10-20% оценить ситуацию с кровообращением провести необходимое лечение</p> <p data-bbox="964 1541 1338 1570">Варианты лечения гипотонии:</p> <ol data-bbox="964 1604 1490 1898" style="list-style-type: none">1) Объемные болюсы (b-VEL 10 - 20 мл/кг)2) Акринор (0,05 - 0,1 мл /кг) Норадреналин (0,5 - 1 мкг/кг)3) Продолжите постоянное введение: Норадреналин (0,05 - 1 мкг/кг в минуту) Адреналин (0,5 - 1 мкг/кг в минуту) Дофамин (1-15 мкг/кг в минуту) <p data-bbox="964 1934 1463 1990">Обязательно: Переоценка после каждого шага!</p>
--	--



Заключение для практики

Периоперационная гипотония в детской анестезиологии встречается часто и может влиять на исход заболевания, поэтому измерение артериального давления (в идеале до индукции анестезии) является обязательным компонентом мониторинга артериального давления в детской анестезиологии. Осциллометрическое измерение на верхней конечности – простой и надежный метод измерения артериального давления с учетом соответствующего возрасту размера манжеты.

Инвазивное измерение артериального давления показано для детей в критическом состоянии или при проведении серьёзных вмешательств. Среднее артериальное давление позволяет достоверно выявить гипотонию. Точное определение или «предельные значения» для периоперационной гипотензии всё ещё точно не определены.

Вышеупомянутые значения отсечения служат прагматическим подходом. Помимо предельных значений, для оценки состояния кровообращения необходимо учитывать и другие клинические параметры.

При снижении уровня на 10-20% возможны следующие варианты лечения: Болюсы объема для установления гомеостаза жидкости, вазопрессоры и катехоламины. В настоящее время нет доказательств того, какой класс препаратов лучше.

Контактные данные



Профессор, доктор Себастьян Шмид
Отделение анестезиологии и интенсивной терапии
Университетская клиника Ульма
Аллея Альберта Эйнштейна 23, 89081, Ульм, Германия,
s.schmid@uni-ulm.de

Биография

Профессор доктор Себастьян Шмид - руководитель кампуса Михельсберг, заведующий отделением детской анестезиологии и старший врач отделения



анестезиологии и интенсивной терапии университетской клиники Ульма, специалист в области анестезиологии, доктор медицинских наук, профессор кафедры анестезиологии и реаниматологии, интенсивной терапии, дополнительные полномочия: врач неотложной помощи, старший врач отделения неотложной помощи, специалист по интенсивной терапии, Европейский диплом по анестезиологии и интенсивной терапии.

Соблюдение этических норм

Конфликт интересов. . К. Becke-Jakob: гонорары за лекции от GE, SKAGA e. V., InfectoPharm, Teva, MedUpdate, авторские гонорары от Thieme-Verlag. S. Bratke, S. Schmid, V. Sabharwal и B. Jungwirth заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для данной статьи авторы не проводили исследований на людях или животных. К перечисленным исследованиям применимы этические рекомендации, изложенные в данной статье.

От автора перевода

- 1) В тексте публикации авторами выделяются возрастные группы, такие как: Säuglinge – младенцы; Kleinkinder – малыши; Jugendliche – подростки, без чёткого указания возраста. Для данных слов, автором перевода возраст в примечаниях указан на основании данных других публикаций. К сожалению, исходя из текста статьи авторы не выделяют группу детей школьного возраста (Schulkinder) от 6-7 до 14 лет. Вы можете ориентироваться на данные Европейского совета по реанимации, который устанавливает для детей САД (мм рт.ст.) $55+(1,5 \times \text{возраст в годах})$ для 50-го перцентиля и $40+(1,5 \times \text{возраст в годах})$ для 5-го перцентиля. Также, для практического применения хорошо подходят и запоминаются целевые значения САД > 40 мм рт.ст. для младенцев (с 4-х недель до 1-ого года), > 50 мм рт.ст. для дошкольников (от 1-ого года до 6-7 лет) и > 60 мм рт.ст. для школьников (от 6-7 до 14 лет).



2) В данной публикации содержится рекомендация о болюсном введении стартовой дозы Норадrenalина (0,5 - 1 мкг/кг). Помните то, что согласно инструкциям к препарату, на территории РФ, инфузия Норадrenalина должна производиться с контролируемой скоростью либо с помощью шприцевого насоса, либо с помощью капельницы. Также Норадrenalин следует разбавлять и вводить через центральный венозный катетер, допускается введение Норадrenalина, путём инфузии, в крупную вену, на открытой части тела (передней), чтобы свести к минимуму риск ишемического некроза (кожи, конечностей).

Для наиболее заинтересованных читателей, к переводу публикации приложен файл с оригинальной версией статьи, где вы сможете найти литературные источники, на которые ссылаются авторы.



Intraoperative Hypotonie beim Kind – Messung und Therapie

Sebastian Bratke¹ · Sebastian Schmid¹ · Vijyant Sabharwal² · Bettina Jungwirth¹ · Karin Becke-Jakob²¹ Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Ulm, Ulm, Deutschland² Anästhesie und Intensivmedizin, Cnopfsche Kinderklinik – Klinik Hallerwiese, Diakoneo, Nürnberg, Deutschland

In diesem Beitrag

- **Möglichkeiten zur Blutdruckmessung bei Kindern**
Oszillometrische nichtkontinuierliche Messung • Invasive Blutdruckmessung • Kontinuierliche nichtinvasive Messung • Ausblick
- **Hypotonie in der Kinderanästhesie**
Definition von Hypotonie und Hypertonie • Perioperative Hypotonie
- **Therapie der intraoperativen Hypotonie bei Kindern**
Fluss und Druck • Infusionstherapie • Vasopressoren und Katecholamine • Unerwünschte Wirkungen

Zusatzmaterial online

Die Online-Version dieses Beitrags (<https://doi.org/10.1007/s00101-024-01461-x>) enthält eine Zusammenstellung zur Messung und zur Therapie bei intraoperativer Hypotonie beim Kind im Kitteltaschenformat. Bitte scannen Sie den QR-Code.



Zusatzmaterial online – bitte QR-Code scannen

Zusammenfassung

Der intraoperative Blutdruckabfall ist eine häufige perioperative Komplikation bei Kindernarkosen. Damit gehört eine oszillometrische Blutdruckmessung in der Kinderanästhesie zum unverzichtbaren perioperativen Standardmonitoring. Die optimale Messposition ist der Oberarm, wobei auf die korrekte Manschettengröße geachtet werden muss. Eine Blutdruckmessung vor der Einleitung ist anzustreben. Bei umfangreichen operativen Eingriffen oder kritisch kranken Kindern ist die invasive Blutdruckmessung weiterhin der Goldstandard. Kontinuierlich nichtinvasive Messmethoden könnten zukünftig eine Alternative sein. Grenzwerte für eine Hypotonie sind selbst bei wachen Kindern nur unzureichend definiert. Auch gibt es nur wenige Daten zu Hypotoniegrenzwerten im perioperativen Setting bei Kindern. Als zuverlässigster Messparameter zur Abschätzung einer Hypotonie eignet sich der mittlere arterielle Druck. Grenzwerte für eine intraoperative Hypotonie sind 40 mm Hg bei Neugeborenen, 45 mm Hg bei Säuglingen, 50 mm Hg bei Kleinkindern und 65 mm Hg bei Jugendlichen. Bei einer Abweichung von 10 % sollte eine Therapie initiiert und diese bei einer Abweichung von 20 % intensiviert werden. Als therapeutische Optionen werden die Bolusverabreichung von isotonischen Vollelektrolytlösungen, Vasopressoren und/oder Katecholaminen eingesetzt. Eine konsequente und rasche Intervention im Falle einer Hypotonie scheint entscheidend zu sein. Bisher gibt es keine Erkenntnisse, ob dies zu einer Verbesserung von Outcome-Parametern führt.

Schlüsselwörter

Kinderanästhesie · Blutdruck · Intraoperatives Monitoring · Homöostase · Perfusion

Der perioperative Blutdruck ist in den letzten Jahren in den Fokus der Kinderanästhesie gerückt – nicht zuletzt, weil Blutdruck und Perfusion als Outcome-relevante Parameter im perioperativen Kontext der Kinderanästhesie identifiziert wurden. Eine Vielzahl an Studien hat sich mit dem Thema befasst, u. a. mit Definitionen von Normotonie und Hypotonie bei wachen und anästhesierten Kindern, aber auch mit Methoden zur verlässlichen Messung des Blutdrucks und mit Maßnahmen zur effizienten Therapie von Hypotensionen.

Einleitung

Perioperative kritische Ereignisse bei Kindernarkosen sind häufig und wurden in den beiden großen europäischen Beobachtungsstudien APRICOT und NECTARINE eingehend untersucht [26, 36]. Das Hauptaugenmerk vieler Anästhesistinnen und Anästhesisten bei der Behandlung von Kindern liegt in der Verhinderung von respiratorischen Problemen, die auch für 60 % der Narkosezwischenfälle verantwortlich sind. Mit 37 % folgen direkt kardiovaskuläre Ereignisse. In der NECTARINE-Studie waren 50 %, in der APRICOT-Studie 55 % aller kardiovaskulären Ereignisse Hypotensionen. Der perioperative Blutdruck hat einen

entscheidenden Einfluss auf die Neuroentwicklung und die Hypotension gilt als Risikofaktor einer kindlichen Enzephalopathie [67, 68]. Dies zeigt die große Bedeutung der perioperativen Blutdruckkontrolle, die auch bei der Narkose pädiatrischer Patienten einen hohen Stellenwert haben muss. Außerdem ist die Blutdruckmessung, neben der Messung von Herzfrequenz (HF) und Sättigung, gemäß Berufsverband Deutscher Anästhesistinnen und Anästhesisten (BDA) und der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI) vorgeschriebenes Basismonitoring bei jeder Narkose [8].

Möglichkeiten zur Blutdruckmessung bei Kindern

Oszillometrische nichtkontinuierliche Messung

Am häufigsten wird das Verfahren der oszillometrischen Blutdruckmessung eingesetzt. Hierbei wird der Cuff-Druck über den zuletzt gemessenen systolischen Blutdruck aufgepumpt. Die Pulsationen in der Arterie erzeugen Oszillationen mit ansteigender Amplitude beim Ablassen des Cuff-Drucks. Diese Oszillationen werden vom umgebenden Gewebe weitergeleitet und von der luftgefüllten Manschette detektiert. Im Bereich des mittleren arteriellen Drucks (MAD) wird das Maximum der Amplitude erreicht, gemessen und per Algorithmus der systolische und diastolische Druck errechnet [3, 10]. Die Berechnungsalgorithmen für den systolischen und diastolischen Druck sind herstellertypspezifisch und weisen bei Kindern Besonderheiten auf [16, 53]. So weicht in vielen Fällen die kindliche Physiologie von den industriellen Normen ab [59, 70]. Eine weitere Fehlerquelle ist die geringere Oszillationsamplitude der Gefäße [71]. Als Resultat wird in der Hypotonie der Blutdruck falsch-erhöht gemessen [31, 71, 101].

Bei erwachsenen Patienten ist die oszillometrische Blutdruckmessung vor der Einleitung perioperativer Standard [8]. In der Kinderanästhesie erfolgt jedoch häufig die erste Blutdruckmessung *nach* der Einleitung, um die mit Stress verbundene unangenehme Empfindung der Blutdruckmessung zu vermeiden. Bis zu 36% der pädiatrischen Patienten weisen eine Hy-

potonie-Episode zwischen Einleitung und Hautschnitt auf [75]. Eine korrekte Messung des Ausgangsblutdrucks ist damit zu diesem Zeitpunkt nicht mehr möglich [110]. Nach Einleitung gemessene Blutdruckwerte sind somit als Referenz für die weitere Blutdrucktherapie nur bedingt geeignet [77]. In Umfragen wird angegeben, dass teilweise nur bei 1,6% der Narkosen von Kindern eine Blutdruckmessung vor der Einleitung erfolgt [95]. Eine stressarme Messung ist in Studien bei einer Mehrzahl der Kinder vor der Einleitung möglich; Weber et al. berichten z. B. von einer Rate von 79% [111]. Ein präoperativ gemessener Ausgangswert ist ein wichtiger Parameter, der im Rahmen einer möglichst stressfreien Messung vor der Einleitung oder durch präoperative Ermittlung im Rahmen der Narkosevorbereitung erhoben werden sollte [73, 84, 104, 111]. Ist dies nicht möglich, sollte unmittelbar nach der Injektion des Hypnotikums bzw. nach dem Bewusstseinsverlust bei der inhalativen Einleitung die Blutdruckmessung gestartet werden. Das Intervall der Blutdruckmessung sollte in Abhängigkeit von patienten- und operationsseitigen Faktoren 3 bis max. 5 min betragen [88].

Die Auswahl der richtigen Manschettengröße ist für eine zuverlässige Messung wichtig. Zu kleine Manschetten geben den Blutdruck falsch-erhöht, zu große falsch-erniedrigt wieder [25, 30, 105]. Empfohlen werden eine Manschettenbreite von mindestens 40% und eine Manschettenblasenlänge von 80–100% des Armumfangs (■ Tab. 1; [1, 25, 30, 64, 105]). Der am besten geeignete Messort ist die halbe Strecke zwischen Olekranon und Akromion [1, 30]. Hinsichtlich des Messorts bestehen altersabhängige Unterschiede zwischen Oberarm, Unterarm und Bein [15, 54, 92]. Erfolgt die Messung am Bein, wird bei älteren Kindern der systolische Wert ca. 10–20 mm Hg höherer als in der Brachialarterie gemessen. Bei Früh- und Neugeborenen zeigt sich jedoch eine gute Übereinstimmung [1, 15, 25, 30]. In Narkose kann die Messung am Bein im Vergleich zum Arm falsch-niedrig gemessene Werte liefern [40, 54, 92, 106]. Eine „Umrechnung“ zwischen einzelnen Messorten ist nicht präzise [92].

Invasive Blutdruckmessung

Die kontinuierliche invasive Blutdruckmessung ist bei größeren Eingriffen oder kritisch kranken Patienten auch im Kindesalter der Goldstandard. Die Messung erfolgt im Regelfall in der Radial-, Femoral- oder Brachialarterie [32, 43, 90]. Bei sonographischer gesteuerter Punktion können die Aa. dorsalis pedis und tibialis posterior als weitere Alternativen dienen [102]. Bei Neugeborenen sind physiologische Rechts-links-Shunts (Foremen ovale, Ductus arteriosus botalli) zu beachten. Eine präduktale Messung in der rechten Radialarterie ist optimal [80]. Die Möglichkeit von Blutgasanalysen liefert zusätzliche Informationen über Oxygenierung, Elektrolyte und die Beeinträchtigung von Mikro- und Makrozirkulation [60].

Invasive und oszillometrische Blutdruckmessung weisen während der Normotension eine gute Übereinstimmung auf [45, 67]. Die geringste Abweichung besteht beim mittleren arteriellen Druck [25]. Auch bei Früh- und Neugeborenen ist die Übereinstimmung ausreichend [101]. Abweichungen zeigen sich bei Kindern v. a. bei Hypotensionen.

Merke. In der Hypotension ist die Messdifferenz zwischen Oszillometrie und intraarterieller Messung erhöht. Eine Hypotonie wird durch falsch-hohe oszillometrisch gemessene Werte *unterschätzt* [25, 31, 40, 67, 71, 101].

Die Komplikationsrate bei Kindern (5,4–10,3%) ist deutlich höher als bei Erwachsenen (ca. 1%) [55, 90, 91]. Katheterassoziierte Infektionen treten überproportional häufig auf [55]. Aufgrund des geringeren Gefäßdurchmessers ist die Kanülierung technisch schwieriger [91, 102].

Merke. Um Fehlpunktionen zu vermeiden, wird eine sonographische gesteuerte Anlage des intraarteriellen Katheters empfohlen.

Bei Säuglingen und Kleinkindern sollte bei Nutzung von Standardmesssystemen auf einen Druckspülbeutel verzichtet werden, da hohe Spüldrücke Gefäßperforationen verursachen können. Für die konstante Spülung kann eine Spritzenpumpe mit kontinuierlicher Laufrate (1–2 ml/h) ver-

Tab. 1 Praxistipps: Blutdruckmessung beim Kind	
Oszillometrische Blutdruckmessung	Korrekte Manschettengröße
	Breite = 40 % des Armumfangs
	Länge = 80–100 % des Armumfangs
	Idealer Messort: Oberarm
	Messung möglichst vor der Narkoseeinleitung etablieren
Invasive Blutdruckmessung	Erschwerte Punktion: sonographische Anlage
	Höhere Komplikationsrate: erhöhte Awareness und Sorgfalt
	Konsequente Vermeidung von Luftblasen: sorgfältiges Entlüften
	Equipment: Spülung mittels Perfusor

Tab. 2 Pro und Contra der verschiedenen Messmethoden			
	Oszillometrische nichtkontinuierliche Messung	Kontinuierliche nichtinvasive Messung	Invasive Messung
Pro	Ubiquitär verfügbar	Nichtinvasiv	Zuverlässig auch bei Kreislaufinsuffizienz
	Geringe Komplikationsrate	Kontinuierliche Messung	Kontinuierliche Messung
	Hohe Vertrautheit	Geringe Komplikationsrate	Blutgasanalyse möglich
Contra	Fehlmessung bei falscher Manschettengröße	Geringe Evidenz	Invasiv
	Problem bei Kreislaufinsuffizienz	Teilweise erschwerte Platzieren der Cuffs	Hoher technischer Anspruch
	–	Keine Geräte für Früh- und Neugeborene	Hohe Komplikationsrate
	–	Hohe Kosten	–

wendet werden [80]. Zur Vermeidung arterieller Luftembolien muss das Schlauchsystem sorgfältig entlüftet werden. Zusätzliche Fehlerquellen sind neben der falschen Druckabnehmerplatzierung auch Luftblasen im Messsystem. Diese können zu niedrigeren systolischen und höheren diastolischen Werten führen [89, 112].

Kontinuierliche nichtinvasive Messung

Neben der oszillometrischen und invasiven Blutdruckmessung existieren unter Verwendung einer Finger-Cuff-Methode weitere Verfahren zur Blutdruckmessung: „pulse wave transit time“, „pulse decomposition analysis“ und die „Vascular-unloading“-Technik („Fingerfotoplethysmographie“). Bei letzterer Methode wird mit Infrarotlichtquelle und -detektor das Blutvolumen im Finger gemessen. Per fingerumschließendem Cuff und dessen engmaschiger Druckkontrolle wird das Blutvolumen konstant gehalten. Die Änderungen des Cuff-Drucks sind proportional zum arteriellen Blutdruck und erlauben

eine kontinuierliche Blutdruckmessung [70, 81, 106].

Validierungsstudien an erwachsenen Patienten zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen der invasiven und der kontinuierlich nichtinvasiven Messung [46, 50]. Diese Ergebnisse konnten auch für pädiatrische Patienten intraoperativ und im intensivmedizinischen Setting bestätigt werden. Insbesondere bei der Messung des systolischen Blutdrucks zeigten sich jedoch wiederholt Abweichungen [5, 32, 43, 62]. Nebenwirkungen traten bei Verwendung der Finger-Cuffs nicht auf [5, 43]. Das Platzieren der Cuffs ist bei Kindern häufig erschwert [32, 43, 62].

Zusammenfassend ist die Methode v. a. für Kinder, die zwar von einer kontinuierlichen Messung profitieren, aber keine Indikation für eine invasive Messung haben, geeignet [32]. Die aktuell sehr hohen Kosten der Geräte verhindern den Einsatz in der Breite. Eine Anwendung im Bereich der Früh- und Neugeborenen ist mangels geeigneter Geräte bisher nicht möglich (■ Tab. 2).

Ausblick

Die zuverlässige Prädiktion einer Hypotonie könnte die individualisierte Patientenversorgung verbessern. Ein Ansatz zur Hypotensionsprädiktion ist die Detektion der Flüssigkeitsreagibilität mittels plethysmographisch gemessener/berechneter Indizes, z. B. der respiratorischen Variabilität der plethysmographischen Wellenform und des Plethysmographie-Variabilitätsindex (PVI) [13, 24, 82]. Dabei scheinen bei Kindern hohe präoperative Werte mit einer Hypotension durch Propofolgabe bei der Narkoseeinleitung assoziiert zu sein. Als alleinige Prädiktoren bieten sie aber eine zu geringe Sensitivität und Spezifität [13].

Unter Verwendung von maschinellem Lernen wurde ab 2018 der „Hypotension Prediction Index“ (HPI) entwickelt [39]. Dieser wird jedoch aktuell sehr kritisch diskutiert [6, 17, 18, 27, 66, 72, 74]. Eine Untersuchung des HPI in klinischen Studien an pädiatrischen Patienten ist bisher nicht erfolgt.

Hypotonie in der Kinderanästhesie

Definition von Hypotonie und Hypertonie

Neben einer korrekten Messung des Blutdrucks ist für eine zuverlässige Beurteilung eine Definition des Normwerts erforderlich. Eine einheitliche Definition fehlt jedoch. Bei wachen Kindern werden *Hypertonie* oder *Hypotonie* als eine Abweichung des systolischen Blutdrucks von der 5. Perzentile, bezogen auf Geschlecht, Alter und Körpergröße, definiert [1, 2, 12, 21, 38]. In neueren Studien verändert sich der Fokus vom Lebensalter hin zur Körpergröße als wichtigstem Bezugsparameter [7, 38, 87]. Einfache Formeln mit der tatsächlichen Körpergröße fehlen noch. Somit werden für Kinder mit altersentsprechender Körpergröße folgende *Hypotoniegrenzen* aufgestellt [38]:

- systolischer Blutdruck = 2 · Lebensalter (Jahre) + 65 mm Hg,
- mittlerer arterieller Druck = 1,5 · Lebensalter (Jahre) + 40 mm Hg

Die American Heart Association (AHA) definiert für die Reanimation pädiatrischer

Tab. 3 Praxistipp zur Definition der Hypotonie

Alter	Mittlerer arterieller Zieldruck
Frühgeborene	Gestationsalter in Wochen
Neugeborene	40 mm Hg
Säuglinge	45 mm Hg
Kleinkinder	50 mm Hg
Jugendliche	65 mm Hg

Patienten *Hypotonie* hingegen nur mittels systolischem Blutdruck [56]:

- reifes Neugeborenes: < 60 mm Hg,
- bis 1. Lebensjahr: < 70 mm Hg,
- bis 10. Lebensjahr: < (70 mm Hg + 2 · Lebensjahre),
- ≥ 10. Lebensjahr: < 90 mm Hg.

Bei Früh- und Neugeborenen wird die Hypotonie meist mittels MAD definiert: Wache Frühgeborene mit einem MAD ≤ 30 mm Hg oder einem MAD unter dem Gestationsalter in Wochen (in mm Hg). Neugeborene sollen einen MAD von 40 mm Hg nicht unterschreiten. Auch für diese Grenzwerte liegen wenige Daten vor [11, 28, 63, 67]. Aktuelle Studienergebnisse stützen in Teilen diese „Daumenregel“ für Frühgeborene. Jedoch weichen mit zunehmendem Alter die Grenzwerte ab (teilweise 5–10 mm Hg), da die Referenzwerte nicht linear, sondern eher exponentiell ansteigen [107]. Eine alternative Hypotonie-Definition, die sich in verschiedenen Publikationen findet, ist die Intervention durch den Behandler [104]. Dieser Ansatz scheint auf den ersten Blick pragmatisch, erschwert aber valide Vergleiche zwischen Behandlern.

Merke. Es gibt keine einheitliche Definition der Hypotonie im Kindesalter. Internationale pädiatrische Leitlinien und Studien fokussieren die *Hypertension* [20, 37, 38, 44, 104].

Diese verschiedenen Definitionen verwenden sowohl MAD als auch den systolischen Druck. Als Referenz wird wiederholt eine Quelle von 1987 und deren Aktualisierung von 2004 zitiert („Report of the Second Task Force on Blood Pressure Control in Children“). Grundlage dieser Publikation sind Blutdruckdaten von ca. 73.000 Kindern aus den Jahren 1977–1987 [1, 7,

Tab. 4 Verschiedene Definitionen der intraoperativen Hypotonie

Definition	Absolut/relativ	Systol./MAD	Alter	Quelle
Abfall > 20% des systolischen Ausgangsdrucks	Relativ	Systol.	0–18. Lj	[73, 77, 93, 95, 109]
< 5. Altersperzentile: sys RR < 60 mm Hg sys RR < 2 · Alter + 70 mm Hg sys RR < 90 mm Hg	Absolut	Systol.	0–18 Lj Neonaten < 10. Lj 10.–18. Lj	[2, 14, 56–58, 96, 109]
Abfall > 20% des Ausgangs-MAD	Relativ	MAD	Bis 12. Lm	[84, 111]
Abfall > 30% des systolischen Ausgangsdrucks	Relativ	Systol.	Bis 1. Lj	[26]
MAD < 30 mm Hg	Absolut	MAD	Neonaten	[104]
MAD < 35 mm Hg	Absolut	MAD	Bis 90. Lt/bis 6. Lm	[93, 110, 111]
MAD < 43 mm Hg	Absolut	MAD	Bis 12. Lm	[110, 111]
10. Perzentile = Gestationsalter in Wochen = MAD	Absolut	MAD	Neonaten	[48, 63, 104]
MAD mittlerer arterieller Druck, RR Blutdruck				

12, 19, 33, 38, 56–58, 64, 65, 103]. Diese Referenzpopulation stammt aus den USA. In Deutschland zeigen sich wahrscheinlich andere Hypotoniegrenzen [87]. Außerdem müssen wir annehmen, dass eine aktuelle Referenzpopulation ein anderes Profil hinsichtlich Vorerkrankungen, wie Adipositas oder Herzfehlern aufweist. Häufig sind gesunde Kinder Grundlage der Datenerhebungen und eine Übertragung auf die Population kranker Kinder in der Klinik ist nur eingeschränkt möglich. So konnte gezeigt werden, dass bei traumatischen Verletzungen des Gehirns ein systolischer Blutdruck über der 5. Perzentile mit einem besseren Outcome assoziiert ist als ein systolischer Blutdruck über 90 mm Hg [14].

Zusammenfassend schlagen wir vor, die in **Tab. 3** genutzten Grenzwerte zu verwenden. Diese sind einfach, praktikabel und nutzen den MAD als wichtigsten Parameter.

Perioperative Hypotonie

Merke. Es existiert keine allgemein gültige Definition einer intraoperativen Hypotonie.

Im intraoperativen Setting ist die Diagnose einer Hypotonie eine besondere Herausforderung. Definitionen für eine perioperative Hypotonie nutzen verschiedene absolute und relative Veränderungen von MAD oder systolischem Blutdruck [111]. Es ergibt sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Definitionen, die in manchen Studien auch simultan verwendet werden

(**Tab. 4**; [14, 20, 63, 87, 93, 109, 111]). Dies resultiert in einer hohen Variation der Hypotonieinzidenz [13, 26, 109]. Ein direkter Vergleich verschiedener Definitionen bei Kindern < 6 Monaten zeigte Unterschiede in der Inzidenz von bis zu 62% [93, 111]. Gerade Definitionen mit relativen Veränderungen erfordern einen valide gemessenen Ausgangsblutdruck, der bei vielen Kindernarkosen nicht vorliegt (s. oben) [104, 111]. Die häufigste Definition einer intraoperativen Hypotonie anhand *absoluter* Werte ist analog der generellen Hypotoniedefinition bei wachen Kindern eine Abweichung des systolischen Blutdruckes von der 5. Perzentile [12]. Alternativ wird ein *relativer* Abfall des systolischen Blutdruckes um 20–30% in Bezug auf den Ausgangsblutdruckdruck als intraoperative Hypotonie definiert. Diese häufig genutzte Definition basiert auf einer Umfrage unter Kinderanästhesistinnen und -anästhesisten von 2009, in der 76% der Befragten diese Grenzwerte nannten [77]. Durch das Fehlen einer Definition der intraoperativen Hypotonie sind Rückschlüsse auf einen Zusammenhang von Blutdruck und Outcome der Kinder nur eingeschränkt möglich [20, 38, 94, 104].

Merke. Am geeignetsten zur Detektion des Blutdruckabfalls erscheint der *mittlere arterielle Druck*.

Aufgrund der besseren Übereinstimmung zwischen invasiv und nichtinvasiv gemessenen Werten und der Wichtigkeit

Infobox 1

Klinische und apparative/laborchemische Zeichen der Kreislaufsuppression

- Niedriger Blutdruck
- Verlängerte kapilläre Füllungszeit (> 2 s)
- Erniedrigtes endtidales CO₂
- Verringerte Gewebeoxygenierung (NIRS)
- Verringerte Urinproduktion
- Hypovolämie, Exsikkose
- Verringerter peripherer Perfusionsindex (PPI)
- Verringerte gemischt-venöse Sauerstoffsättigung (SO₂)
- Lactatanstieg

für die zerebrale Perfusion (CPP = MAD – ICP; CPP: cerebral perfusion pressure, ICP: intracranial pressure) sollte der MAD als Bezugsparameter für die Hypotonie genutzt werden [25, 31, 51, 88]. Besonders bei Neugeborenen weist dieser die geringste Abweichung auf [25, 31]. Vor allem bei raschen intraoperativen Veränderungen der Hämodynamik ist die invasive Messung einer Blutdruckmanschette überlegen [31, 40].

Aktuell untersuchen nur wenige Studien intraoperative Blutdruckwerte bei pädiatrischen Patienten, obwohl diese eine große Bedeutung u. a. für die Neuroentwicklung haben [67, 68, 94]. In einer großen multizentrischen Studie variierten die intraoperativ gemessenen systolische Blutdruckwerte zwischen 45 mm Hg bei Neugeborenen und 100 mm Hg im 18. Lebensjahr, der MAD zwischen 33 und 66 mm Hg [20]. Auch wenn dies nur bedingt Rückschlüsse auf intraoperative Blutdruckveränderungen zulässt, fällt der Blutdruck bei gesunden Kindern während des Schlafs um 6–10% [22].

Merke. Eine Hypotonie tritt bei bis zu 36% der Kinder zwischen der Narkoseeinleitung und dem Hautschnitt auf.

Die Narkoseeinleitung ist häufig begleitet von einem Blutdruckabfall (bis 28% des MAD oder 25% des systolischen Blutdrucks) [95], wobei Blutdruckabfälle bei jüngeren Patienten häufiger auftreten [110]. Bis zu 36% der Kinder haben zwischen der Narkoseeinleitung und dem Hautschnitt eine Postinduktionshypotonie [75]. Risikofaktoren sind eine vor-

Tab. 5 Zusammenfassung von Vasopressoren und Katecholaminen

Substanz	Dosierung
Cafedrin/Theodrenalin	(1:10 ml) 0,05–0,1 ml/kgKG; 1–2/0,05–1 mg/kgKG
Noradrenalin (Norepinephrin)	0,5–1 µg/kgKG; 0,05–1 µg/kgKG und min
Adrenalin (Epinephrin)	0,5–1 µg/kgKG; 0,05–1 µg/kgKG und min
Dopamin	1–15 µg/kgKG und min
Dobutamin	2–15 µg/kgKG und min
Ephedrin	0,1–1,2 mg/kgKG 10-mal höhere Dosis bei Kindern < 6 Monaten notwendig

bestehende Hypertonie oder Hypotonie, Adipositas, American-Society-of-Anaesthesiologists (ASA)-Risikoklassifikation ≥ III und eine lange Wartezeit zwischen Einleitung und Operationsbeginn [75, 76, 96]. Bei Neugeborenen beträgt die Inzidenz einer generellen intraoperativen Hypotonie 77% [93]. In einem Vergleich zwischen Regional- und Allgemeinanästhesie war der Anteil an hypotonen Episoden in der Gruppe der Allgemeinanästhesie deutlich höher [69].

Merke. Zur Untermauerung der Diagnose „Kreislaufsuppression“ sollen weitere klinische Parameter überprüft werden (■ Infobox 1).

Besonders die Messung der kapillären Füllungszeit („capillary refill time“, CRT), erfasst mehrere hämodynamische Parameter simultan. Dies ermöglicht in der klinischen Praxis eine einfache und schnelle Abschätzung der Kreislaufsituation [49, 61].

Merke. Das Monitoring der zerebralen Oxygenierung mittels NIRS ermöglicht in Kombination mit dem arteriellen Blutdruck die Sicherstellung einer ausreichenden Oxygenierung.

Nur wenige Studien untersuchen den Zusammenhang zwischen Blutdruck, zerebraler Autoregulation und Outcome direkt. Ein Monitoring der zerebralen Autoregulation mittels Surrogatparametern wie zerebraler Oxygenierung (NIRS) ermöglicht die Bestimmung eines individuellen optimalen intraoperativen MAD und Mindest-MAD, jedoch mit deutlichen Differenzen

zu den gewichtsabhängigen Literaturempfehlungen [20, 47]. Minimale Werte für eine ausreichende Oxygenierung des Gehirns sind ein MAD von 33 mm Hg bei Kindern ≤ 6 Monaten und 43 mm Hg zwischen 6 und 24 Monaten [83–85]. Andere Studien geben für Neugeborene einen Mindest-MAD von 45 mm Hg an [42]. Das untere Limit für die zerebrale Autoregulation lag bei Kindern zwischen 6 Monaten und dem 14. Lebensjahr bei einem MAD von 60 mm Hg [95, 108]. Weiter sind systolische Blutdruckabfälle von 20% oder Abfälle des MAD von 15,5% mit einem negativen Outcome korreliert [73, 95].

Zusammenfassend können die Referenzwerte in ■ Tab. 3 als Hilfe zur Abschätzung einer intraoperativen Hypotonie herangezogen werden. Es bleibt unklar, bei welcher Abweichung eine Intervention erforderlich ist. Als pragmatischer Ansatz könnte bei einer Abweichung > 10% vom Zielwert eine Therapie initiiert werden. Spätestens bei einer Abweichung > 20% sollte diese intensiviert werden, um eine Schädigung zu vermeiden [51, 73, 95].

Therapie der intraoperativen Hypotonie bei Kindern

Grundsätzlich gilt: Die Einleitung einer Therapie benötigt eine Diagnose und eine entsprechende Indikation. Die Diagnose „Hypotension“ und, daraus abgeleitet, die Notwendigkeit einer zu korrigierenden Kreislaufsuppression sind komplex, nicht nur aufgrund der Blutdruckwertvariation oder -definition. Neben dem Blutdruck spielt insbesondere auch die Perfusion eine entscheidende Rolle, sodass nie aufgrund eines einzelnen Wertes eine Therapie initiiert werden sollte. Auch sollten andere Ursachen (z. B. zu hohe Hypnotikadosis, Begleiterkrankungen, Komplikationen; s. ■ Infobox 1) in Erwägung gezogen werden [51]. Die Therapie der Hypotension selbst besteht aus zwei Säulen: Infusionstherapie und Vasopressor- bzw. Katecholamingabe.

Fluss und Druck

Der Blutdruck dient als Surrogatparameter für die Messung von Fluss oder Herzzeitvolumen (HZV) (MAD – ZVD = TPR × HZV; ZVD: zentraler Venendruck, TPR: totaler peripherer Widerstand). Daher sollte neben

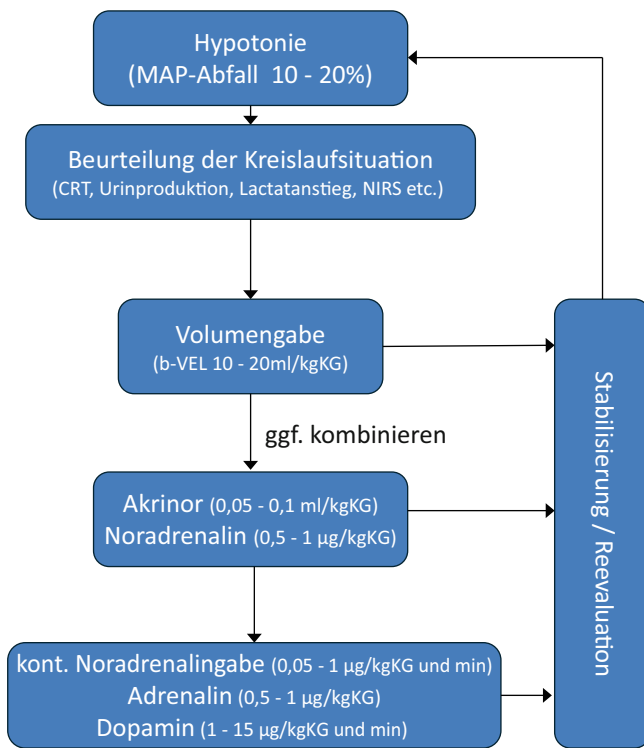


Abb. 1 ◀ Ablaufschema zu Beurteilung und Therapie einer intraoperativen Hypotonie bei Kindern

dem Blutdruck auch der Blutfluss betrachtet werden. Der O₂-Transport vom kapillären Blut zu den intrazellulären Mitochondrien erfolgt durch Diffusion entlang eines Konzentrationsgradienten [52].

Merke. Wichtig für den O₂-Transport ist nicht nur der Druck, sondern auch der Fluss im kapillären System.

Ein wichtiger blutdruckabhängiger Prozess im Körper ist die Urinproduktion. Dieser Prozess benötigt einen geeigneten Antriebsdruck, damit Flüssigkeit durch die Membran des Glomerulus gefiltert werden kann. Sinkt der Druck zu tief ab, kommt es zu einer Minderung der primären Urinproduktion, auch wenn der Fluss eine suffiziente Oxygenierung der restlichen Niere gewährleistet [52].

Infusionstherapie

Zur perioperativen Infusionstherapie bei Kindern liegen klare Empfehlungen vor [98]. Präoperative Flüssigkeitsdefizite sollen möglichst bereits vor dem Narkosebeginn ausgeglichen werden. Zum Ausgleich einer relativen oder absoluten Hypovolämie (z.B. durch lange präoperative Nüchternzeiten, krankheitsbedingt erhöhte Verluste, Sympathikolyse im Rah-

men der Narkoseeinleitung) sollen isotonische balancierte Volelektrolytlösungen (b-VEL, 10–20 ml/kgKG) infundiert werden [98]. Bei Hypovolämie oder Kreislaufinstabilität, die allein mit b-VEL nicht ausreichend therapiert werden können, können perioperativ auch Kolloide (Gelatine, HES, Albumin) infundiert werden.

Vasopressoren und Katecholamine

Für den perioperativen Einsatz von Vasopressoren und Katecholaminen bei Kindern mit trotz Normovolämie weiterbestehender Hypotonie gibt es kaum Daten, Empfehlungen oder Leitlinien. Es existieren verschiedene, theoretisch geeignete Substanzen, deren Dosierungen in **Tab. 5** zusammengefasst sind. Es gibt keine Daten bezüglich der Überlegenheit einer bestimmten Substanzklasse. Eine nichtrepräsentative Umfrage unter Mitgliedern des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kinderanästhesie der DGAI hat ein heterogenes Bild der möglichen medikamentösen Optionen ergeben.

In Deutschland kommt sehr häufig das Mischpräparat *Cafedrin/Theodrenalin* zum Einsatz, welches seit Jahrzehnten in der Erwachsenenästhesie genutzt wird [9, 41]. Die wissenschaftliche Studienlage

in der Kinderanästhesie ist spärlich, die klinischen Erfahrungswerte sind jedoch weit verbreitet. Es ist möglich, dass die β-Stimulation zu einem positiven chronotropen Effekt führt, der den Blutdruck bei Neugeborenen und Säuglingen stabilisiert, bei denen das HZV v.a. frequenzabhängig ist [9]. Erste prospektive Daten bei Kindern zeigten, dass *Cafedrin/Theodrenalin* sowohl den Blutdruck als auch die zerebrale Gewebeoxygenierung steigern kann.

Noradrenalin wird ebenfalls häufig eingesetzt. Die Wirkung wird über α₁-, α₂- und β₁-Rezeptoren vermittelt. Hierdurch kommt es zu einer Steigerung von TPR, HF, HZV und MAD. Primär erfolgt eine Bolusgabe zur Überbrückung und bei weiterbestehender Hypotonie eine kontinuierliche Infusion. Dabei ist die Wirkdauer meist geringer als bei der Kombination von *Cafedrin/Theodrenalin* [51].

Adrenalin wirkt v.a. dosisabhängig über β₁- und α₁-Rezeptoren. Hierdurch führt es anfangs zu einer Steigerung des HZV durch positive Ino- und Chronotropie, später zu einer Vasokonstriktion. In der klinischen Praxis wird es bei fehlendem Ansprechen auf Dopamin genutzt und eignet sich für Situationen mit erniedrigtem TPR und einer beeinträchtigten myokardialen Kontraktilität [78].

Dopamin wirkt dosisabhängig am DA₁-, DA₂-, β₁-, α₁- und β₂-Rezeptor. Nach einer initialen Steigerung der Nieren- und Mesenterialdurchblutung führt Dopamin zu einer positiven Chrono- und Inotropie und schließlich zur Vasokonstriktion. Für den Einsatz sind fast nur noch Empfehlungen in der Neonatologie vorhanden. Mehrere Studien konnten eine Überlegenheit im Vergleich zu *Dobutamin* bezüglich der blutdrucksteigernden Wirkung messen [79, 86, 97]. Gerade bei Neugeborenen und Säuglingen kann es aber zu einer geringeren Wirkung kommen, was eine hohe Dosis erfordert [23, 35, 78]. Durch die Rezeptorwirkung sind Tachykardien und Rhythmusstörungen mögliche Nebenwirkungen.

Dobutamin wirkt v.a. über den β₁-Rezeptor positiv-inotrop, -chronotrop und -dromotrop. Durch die geringe vasokonstriktive Wirkung eignet es sich für Neonaten mit myokardialer Dysfunktion zur HZV-Anhebung [78]. Bei einer Dosissteigerung

Intraoperative Hypotonie beim Kind

Richtige Blutdruckmessung:

- Blutdruckmessung obligatorischer Bestandteil des Basismonitorings
- Ausgangsblutdruck ermitteln:
Messung während Prämedikationsvisite, Aktenstudium, Messung möglichst vor Narkosestart/-einleitung
- Oszillometrische Messung am Oberarm:
Beachtung altersgerechter Manschettengröße (Breite = 40%, Länge = 80 - 100% des Armmumfangs)
- Invasive Blutdruckmessung:
sonographische Anlage, prädunkale Messung, höhere Komplikationsrate, Vermeidung von Luftblasen, Spülung mittels Perfusor
Indikation:
größere Eingriffe, kritisch kranke Kinder
- Bei **Hypotension** ist **Messdifferenz** zwischen Oszillometrie und intraarterieller Messung erhöht:
Hypotonie durch falsch-hohe oszillometrisch gemessene Werte **unterschätzt**

Detektion Hypotonie:

- **Arterieller Mitteldruck** erlaubt zuverlässigere Detektion
- Exakte Definition steht aus
- **Pragmatische Grenzwerte** s. Auflistung folgend
- Neben Grenzwerten weitere klinische Parameter zur Beurteilung der Kreislaufsituation nutzen; z.B. **Kapillarfüllungszeit**, Urinproduktion, Lactatanstieg

Messung und Therapie für die Kitteltasche

Pragmatische Grenzwerte des mittleren arteriellen Zieldrucks:

- Frühgeborene: Gestationsalter in Wochen
- Neugeborene: 40 mmHg
- Säuglinge: 45 mmHg
- Kleinkinder: 50 mmHg
- Jugendliche: 65 mmHg

CAVE: MAP-Abfall 10 - 20%

- Beurteilung der Kreislaufsituation
- Therapie

Kreislauftherapieoptionen:

1. Volumenboli (b-VEL 10 - 20 ml/kgKG)
2. Akrinor (0,05 - 0,1 ml/kgKG)
Noradrenalin (0,5 - 1 µg/kgKG)
3. kont. Noradrenalingabe (0,05 - 1 µg/kgKG und min)
Adrenalin (0,5 - 1 µg/kgKG)
Dopamin (1 - 15 µg/kgKG und min)

CAVE: Reevaluation nach jedem Schritt!

Abb. 2 ◀ Wichtigsten Aspekte zur Messung und Therapie der intraoperativen Hypotonie beim Kind für Ihre Kitteltasche. Die Abbildung finden Sie zum Download und zum Ausdrucken in der Online-Version des Artikels

kommt es ebenfalls zu einer Bindung an den β_2 - und α_1 -Rezeptor.

Ephedrin wird in Deutschland seltener in der Kinderanästhesie eingesetzt. Aktuellere Daten weisen auf eine altersabhängige Dosissteigerung bei Kindern im ersten Lebensjahr hin [100]. Die Wirkung erfolgt direkt über α - und β -Rezeptoren und indirekt sympathikomimetisch.

Merke. Zusammenfassend stehen als Therapieoptionen bei einem Abfall von 10% oder 20% neben Volumenboli zur Herstellung der Flüssigkeitshomöostase Vasopressoren und Katecholamine zur Verfügung (▣ **Abb. 1**). Es gibt aktuell keine Evidenz, welche Substanzklasse überlegen wäre.

Unerwünschte Wirkungen

Therapeutische Interventionen zur Behandlung einer Hypotonie haben unerwünschte Wirkungen. Ein Volumenbolus (10 ml/kgKG) als Hypotonietherapie bei extrem untergewichtigen Neugeborenen in der ersten 72 Lebensstunden kann zu verzögerter motorischer Entwicklung und Hörverlusten nach 20 Lebensmonaten führen [29]. Durch mehrfache Gabe von Volumenboli kann es durch Gewebebede-

me beispielsweise zu einer Gefährdung von Anastomosen kommen. Ebenso kann eine Volumenüberladung zu einer Schädigung des Glykokalxyssystems führen [4]. Eine Hypotonietherapie mittels Vasopressoren bei Frühgeborenen ist ein Risikofaktor für intraventrikuläre Blutungen [99]. Die Anwendung von Dobutamin ($< 10 \mu\text{g}/\text{kgKG}$ und min) erhöht das Risiko von Herzrhythmusstörungen, Tachykardien oder myokardialen Strain [34].

Die wichtigsten Aspekte zur Messung und Therapie der intraoperativen Hypotonie beim Kind sind in **▣ Abb. 2** zusammengefasst und stehen Ihnen als Download-PDF in der Online-Version des Artikels zur Verfügung.

Fazit für die Praxis

- Perioperative Hypotonien in der Kinderanästhesie sind häufig und können einen Einfluss auf das Patienten-Outcome haben, weshalb die Blutdruckmessung (idealerweise vor der Anästhesieeinleitung) obligatorischer Bestandteil des Basismonitorings in der Kinderanästhesie ist.
- Die oszillometrische Messung am Oberarm ist eine einfache und verlässliche Methode zur Blutdruckmessung unter Beachtung der altersgerechten Manschettengröße.

- Die invasive arterielle Blutdruckmessung ist bei kritisch kranken Kindern oder größeren Eingriffen indiziert.
- Der arterielle Mitteldruck erlaubt die zuverlässige Detektion von Hypotonien.
- Eine exakte Definition oder „Cut-off-Werte“ der perioperativen Hypotonie stehen aus. Oben genannte Grenzwerte dienen als pragmatischer Ansatz.
- Neben Grenzwerten sollen weitere klinische Parameter zur Beurteilung der Kreislaufsituation in Betracht gezogen werden.
- Folgende Therapieoptionen bei einem Abfall von 10–20% stehen zur Verfügung: Volumenboli zur Herstellung der Flüssigkeitshomöostase, Vasopressoren und Katecholamine. Aktuell gibt es keine Evidenz, welche Substanzklasse überlegen ist.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. Sebastian Schmid
 Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin,
 Universitätsklinikum Ulm
 Albert-Einstein-Allee 23, 89081 Ulm,
 Deutschland
 s.schmid@uni-ulm.de

Biografie

Prof. Dr. Sebastian Schmid ist Leiter Campus Michelsberg, Leiter Kinderanästhesie und Oberarzt an der Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin des Universitätsklinikum Ulm, Facharzt für Anästhesiologie, Zusatzbezeichnungen: Notfallmedizin, leitender Notarzt, spezielle Intensivmedizin, European Diploma in Anaesthesiology and Intensive Care.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. K. Becke-Jakob: Vortragshonore von GE, SKAGA e. V., InfectoPharm, Teva, MedUpdate, Autorenhonore von Thieme-Verlag, S. Bratke, S. Schmid, V. Sabharwal und B. Jungwirth geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Adolescents NHBPEWGOHBPICA (2004) The fourth report on the diagnosis, evaluation, and treatment of high blood pressure in children and adolescents. *Pediatrics* 114:555–576
2. Adolescents NHBPEWGOHCICA (1996) Update on the 1987 Task Force Report on High Blood Pressure in Children and Adolescents: a working group report from the National High Blood Pressure Education Program. *Pediatrics* 98:649–658
3. Alpert BS, Quinn D, Gallick D (2014) Oscillometric blood pressure: a review for clinicians. *J Am Soc Hypertens* 8:930–938
4. Alphonsus CS, Rodseth RN (2014) The endothelial glycocalyx: a review of the vascular barrier. *Anaesthesia* 69:777–784
5. Andriessen P, Schraa O, Van Den Bosch-Ruis W et al (2008) Feasibility of noninvasive continuous finger arterial blood pressure measurements in

- very young children, aged 0–4 years. *Pediatr Res* 63:691–696
6. Anonymous (2023) Ability of an Arterial Waveform Analysis-Derived Hypotension Prediction Index to Predict Future Hypotensive Events in Surgical Patients: Erratum. *Anesth Analg* 137:e33
7. Banker A, Bell C, Gupta-Malhotra M et al (2016) Blood pressure percentile charts to identify high or low blood pressure in children. *BMC Pediatr* 16:98
8. Beck G, Becke K, Biermann E et al (2013) Mindestanforderungen an den anästhesiologischen Arbeitsplatz. *Anästhesiologie* 54:39–42
9. Bein B, Christ T, Eberhart LH (2017) Cafedrine/Theodrenaline (20:1) Is an Established Alternative for the Management of Arterial Hypotension in Germany—a Review Based on a Systematic Literature Search. *Front Pharmacol* 8:68
10. Butani L, Morgenstern BZ (2003) Are pitfalls of oxillometric blood pressure measurements preventable in children? *Pediatr Nephrol* 18:313–318
11. Cayabyab R, Mclean CW, Seri I (2009) Definition of hypotension and assessment of hemodynamics in the preterm neonate. *J Perinatol* 29(Suppl 2):S58–62
12. Children TFOBPCI (1987) Report of the Second Task Force on Blood Pressure Control in Children—1987. Task Force on Blood Pressure Control in Children. National Heart, Lung, and Blood Institute, Bethesda, Maryland. *Pediatrics* 79:1–25
13. Choi SN, Ji SH, Jang YE et al (2021) Predicting hypotension during anesthesia: Variation in pulse oximetry plethysmography predicts propofol-induced hypotension in children. *Paediatr Anaesth* 31:894–901
14. Coates BM, Vavilala MS, Mack CD et al (2005) Influence of definition and location of hypotension on outcome following severe pediatric traumatic brain injury. *Crit Care Med* 33:2645–2650
15. Crossland DS, Furness JC, Abu-Harb M et al (2004) Variability of four limb blood pressure in normal neonates. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 89:F325–327
16. Dannevig I, Dale HC, Liestol K et al (2005) Blood pressure in the neonate: three non-invasive oscillometric pressure monitors compared with invasively measured blood pressure. *Acta Paediatr* 94:191–196
17. Davies SJ, Sessler DI, Jian Z et al (2024) Comparison of differences in cohort (forwards) and case control (backwards) methodological approaches for validation of the Hypotension Prediction Index. *Anesthesiology*
18. Davies SJ, Vistisen ST, Jian Z et al (2020) Ability of an Arterial Waveform Analysis-Derived Hypotension Prediction Index to Predict Future Hypotensive Events in Surgical Patients. *Anesth Analg* 130:352–359
19. De Caen AR, Maconochie IK, Aickin R et al (2015) Part 6: Pediatric Basic Life Support and Pediatric Advanced Life Support: 2015 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation* 132:S177–203
20. De Graaff JC, Pasma W, Van Buuren S et al (2016) Reference Values for Noninvasive Blood Pressure in Children during Anesthesia: A Multicenter Retrospective Observational Cohort Study. *Anesthesiology* 125:904–913
21. De Man SA, Andre JL, Bachmann H et al (1991) Blood pressure in childhood: pooled findings of six European studies. *J Hypertens* 9:109–114
22. De Swiet M, Fayers P, Shinebourne EA (1980) Systolic blood pressure in a population of infants in the first year of life: the Brompton study. *Pediatrics* 65:1028–1035
23. Dempsey E, Rabe H (2019) The Use of Cardiotonic Drugs in Neonates. *Clin Perinatol* 46:273–290
24. Desgranges FP, Evain JN, Pereira De Souza Neto E et al (2016) Does the plethysmographic variability index predict fluid responsiveness in mechanically ventilated children? A meta-analysis. *Br J Anaesth* 117:409–410
25. Dionne JM, Bremner SA, Baygani SK et al (2020) Method of Blood Pressure Measurement in Neonates and Infants: A Systematic Review and Analysis. *J Pediatr* 221:23–31
26. Disma N, Veyckemans F, Virag K et al (2021) Morbidity and mortality after anaesthesia in early life: results of the European prospective multicentre observational study, neonate and children audit of anaesthesia practice in Europe (NECTARINE). *Br J Anaesth* 126:1157–1172
27. Enevoldsen J, Vistisen ST (2022) Performance of the Hypotension Prediction Index May Be Overestimated Due to Selection Bias. *Anesthesiology* 137:283–289
28. Fanaroff JM, Fanaroff AA (2006) Blood pressure disorders in the neonate: hypotension and hypertension. *Semin Fetal Neonatal Med* 11:174–181
29. Fanaroff JM, Wilson-Costello DE, Newman NS et al (2006) Treated hypotension is associated with neonatal morbidity and hearing loss in extremely low birth weight infants. *Pediatrics* 117:1131–1135
30. Flynn JT, Kaelber DC, Baker-Smith CM et al (2017) Clinical practice guideline for screening and management of high blood pressure in children and adolescents. *Pediatrics* 140:
31. Fujii T, Nishiwaki K (2020) Comparing oscillometric noninvasive and invasive intra-arterial blood pressure monitoring in term neonates under general anesthesia: A retrospective study. *Paediatr Anaesth* 30:1396–1401
32. Garnier RP, Van Der Spoel AG, Sibarani-Ponsen R et al (2012) Level of agreement between Nexfin non-invasive arterial pressure with invasive arterial pressure measurements in children. *Br J Anaesth* 109:609–615
33. Goldstein B, Giroir B, Randolph A et al (2005) International pediatric sepsis consensus conference: definitions for sepsis and organ dysfunction in pediatrics. *Pediatr Crit Care Med* 6:2–8
34. Guller B, Fields AI, Coleman MG et al (1978) Changes in cardiac rhythm in children treated with dopamine. *Crit Care Med* 6:151–154
35. Gupta S, Donn SM (2014) Neonatal hypotension: dopamine or dobutamine? *Semin Fetal Neonatal Med* 19:54–59
36. Habre W, Disma N, Virag K et al (2017) Incidence of severe critical events in paediatric anaesthesia (APRICOT): a prospective multicentre observational study in 261 hospitals in Europe. *Lancet Respir Med* 5:412–425
37. Hansen TG, Engelhardt T, Weiss M (2019) Outcomes after paediatric anaesthesia: which ones should have the priority? *Curr Opin Anaesthesiol* 32:392–397
38. Haque IU, Zaritsky AL (2007) Analysis of the evidence for the lower limit of systolic and mean arterial pressure in children. *Pediatr Crit Care Med* 8:138–144
39. Hatib F, Jian Z, Buddi S et al (2018) Machine-learning Algorithm to Predict Hypotension Based on High-fidelity Arterial Pressure Waveform Analysis. *Anesthesiology* 129:663–674
40. Hayes S, Miller R, Patel A et al (2019) Comparison of blood pressure measurements in the upper and lower extremities versus arterial blood pressure

- readings in children under general anesthesia. *Med Devices (auckl)* 12:297–303
41. Heller AR, Heger J, Gama De Abreu M et al (2015) Cafedrine/theodrenaline in anaesthesia: influencing factors in restoring arterial blood pressure. *Anaesthesist* 64:190–196
 42. Hillgruber RJ, Lutskov P, West NC et al (2022) Blood pressure nomograms for children undergoing general anesthesia, stratified by age and anesthetic type, using data from a retrospective cohort at a tertiary pediatric center. *J Clin Monit Comput*
 43. Hoffhuizen CM, Lemson J, Hemelaar AE et al (2010) Continuous non-invasive finger arterial pressure monitoring reflects intra-arterial pressure changes in children undergoing cardiac surgery. *Br J Anaesth* 105:493–500
 44. Hohne C (2016) Control of hemodynamic and cerebral perfusion in children—which monitoring should be used? *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 51:536–539
 45. Holt TR, Withington DE, Mitchell E (2011) Which pressure to believe? A comparison of direct arterial with indirect blood pressure measurement techniques in the pediatric intensive care unit. *Pediatr Crit Care Med* 12:e391–394
 46. Iliis C, Bauer M, Berg P et al (2012) Investigation of the agreement of a continuous non-invasive arterial pressure device in comparison with invasive radial artery measurement. *Br J Anaesth* 108:202–210
 47. Iller M, Neunhoeffer F, Heimann L et al (2023) Intraoperative monitoring of cerebrovascular autoregulation in infants and toddlers receiving major elective surgery to determine the individually optimal blood pressure—a pilot study. *Front Pediatr* 11:1110453
 48. Ing C, Destephano D, Hu T et al (2022) Intraoperative Blood Pressure and Long-Term Neurodevelopmental Function in Children Undergoing Ambulatory Surgery. *Anesth Analg* 135:787–797
 49. Jacquet-Lagrez M, Wiart C, Schweizer R et al (2022) Capillary refill time for the management of acute circulatory failure: a survey among pediatric and adult intensivists. *BMC Emerg Med* 22:131
 50. Jeleazcov C, Krajnovic L, Munster T et al (2010) Precision and accuracy of a new device (CNAP™) for continuous non-invasive arterial pressure monitoring: assessment during general anaesthesia. *Br J Anaesth* 105:264–272
 51. Jöhr M (2017) Grundlagen der Kinderanästhesie. *Anästhesiol Intensivmed* 58:138–152
 52. Karlsson J, Lonnqvist PA (2022) Blood pressure and flow in pediatric anesthesia: An educational review. *Paediatr Anaesth* 32:10–16
 53. Kaufmann MA, Pargger H, Drop LJ (1996) Oscillometric blood pressure measurements by different devices are not interchangeable. *Anesth Analg* 82:377–381
 54. Keidan I, Sidi A, Ben-Menachem E et al (2014) Inconsistency between simultaneous blood pressure measurements in the arm, forearm, and leg in anesthetized children. *J Clin Anesth* 26:52–57
 55. King MA, Garrison MM, Vavilala MS et al (2008) Complications associated with arterial catheterization in children. *Pediatr Crit Care Med* 9:367–371
 56. Kleinman ME, Chameides L, Schexnayder SM et al (2010) Part 14: pediatric advanced life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 122:5876–908
 57. Kochanek PM, Carney N, Adelson PD et al (2012) Guidelines for the acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children, and adolescents—second edition. *Pediatr Crit Care Med* 13(1):S1–S82
 58. Kochanek PM, Tasker RC, Carney N et al (2019) Guidelines for the Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury, Third Edition: Update of the Brain Trauma Foundation Guidelines. *Pediatr Crit Care Med* 20:S1–S82
 59. König K, Casalaz DM, Burke EJ et al (2012) Accuracy of non-invasive blood pressure monitoring in very preterm infants. *Intensive Care Med* 38:670–676
 60. Kretz F-J, Becke-Jakob K, Eberius C (2020) Anästhesie bei Kindern. Thieme
 61. Lamprea S, Fernandez-Sarmiento J, Barrera S et al (2022) Capillary refill time in sepsis: A useful and easily accessible tool for evaluating perfusion in children. *Front Pediatr* 10:1035567
 62. Lemson J, Hoffhuizen CM, Schraa O et al (2009) The reliability of continuous noninvasive finger blood pressure measurement in critically ill children. *Anesth Analg* 108:814–821
 63. Limperopoulos C, Bassan H, Kalish LA et al (2007) Current definitions of hypotension do not predict abnormal cranial ultrasound findings in preterm infants. *Pediatrics* 120:966–977
 64. Lurbe E, Agabiti-Rosei E, Cruickshank JK et al (2016) 2016 European Society of Hypertension guidelines for the management of high blood pressure in children and adolescents. *J Hypertens* 34:1887–1920
 65. Lurbe E, Cifkova R, Cruickshank JK et al (2009) Management of high blood pressure in children and adolescents: recommendations of the European Society of Hypertension. *J Hypertens* 27:1719–1742
 66. Maheshwari K, Shimada T, Yang D et al (2020) Hypotension Prediction Index for Prevention of Hypotension during Moderate- to High-risk Non-cardiac Surgery. *Anesthesiology* 133:1214–1222
 67. Mccann ME, Schouten AN (2014) Beyond survival: influences of blood pressure, cerebral perfusion and anesthesia on neurodevelopment. *Paediatr Anaesth* 24:68–73
 68. Mccann ME, Schouten AN, Dobija N et al (2014) Infantile postoperative encephalopathy: perioperative factors as a cause for concern. *Pediatrics* 133:e751–757
 69. Mccann ME, Withington DE, Arnup SJ et al (2017) Differences in Blood Pressure in Infants After General Anesthesia Compared to Awake Regional Anesthesia (GAS Study—A Prospective Randomized Trial). *Anesth Analg* 125:837–845
 70. Meidert AS, Briegel J, Saugel B (2019) Principles and pitfalls of arterial blood pressure measurement. *Anaesthesist* 68:637–650
 71. Meidert AS, Tholl M, Huttel TK et al (2019) Accuracy of oscillometric noninvasive blood pressure compared with intra-arterial blood pressure in infants and small children during neurosurgical procedures: An observational study. *Eur J Anaesthesiol* 36:400–405
 72. Michard F, Futier E (2023) Predicting intraoperative hypotension: from hope to hype and back to reality. *Br J Anaesth* 131:199–201
 73. Michelet D, Arslan O, Hilly J et al (2015) Intraoperative changes in blood pressure associated with cerebral desaturation in infants. *Paediatr Anaesth* 25:681–688
 74. Mulder MP, Harmannij-Markusse M, Fresiello L et al (2024) The Hypotension Prediction Index is equally effective in predicting intraoperative hypotension during non-cardiac surgery compared to mean arterial pressure threshold: a prospective observational study. *Anesthesiology*
 75. Nafu OO, Kheterpal S, Morris M et al (2009) Incidence and risk factors for preincision hypotension in a noncardiac pediatric surgical population. *Paediatr Anaesth* 19:232–239
 76. Nafu OO, Maclean S, Blum J et al (2010) High BMI in children as a risk factor for intraoperative hypotension. *Eur J Anaesthesiol* 27:1065–1068
 77. Nafu OO, Voepel-Lewis T, Morris M et al (2009) How do pediatric anesthesiologists define intraoperative hypotension? *Paediatr Anaesth* 19:1048–1053
 78. Noori S, Seri I (2012) Neonatal blood pressure support: the use of inotropes, lusitropes, and other vasopressor agents. *Clin Perinatol* 39:221–238
 79. Osborn D, Evans N, Kluckow M (2002) Randomized trial of dobutamine versus dopamine in preterm infants with low systemic blood flow. *J Pediatr* 140:183–191
 80. Otte A, Schindler E, Neumann C (2022) Hämodynamisches Monitoring in der Kinderanästhesie. *Anaesthesiologie* 71:417–425
 81. Penaz J, Voigt A, Teichmann W (1976) Contribution to the continuous indirect blood pressure measurement. *Z Gesamte Inn Med* 31:1030–1033
 82. Renner J, Broch O, Gruenewald M et al (2011) Non-invasive prediction of fluid responsiveness in infants using pleth variability index. *Anaesthesia* 66:582–589
 83. Rhondali O, Andre C, Pouyau A et al (2015) Sevoflurane anesthesia and brain perfusion. *Paediatr Anaesth* 25:180–185
 84. Rhondali O, Juhel S, Mathews S et al (2014) Impact of sevoflurane anesthesia on brain oxygenation in children younger than 2 years. *Paediatr Anaesth* 24:734–740
 85. Rhondali O, Mahr A, Simonin-Lansiaux S et al (2013) Impact of sevoflurane anesthesia on cerebral blood flow in children younger than 2 years. *Paediatr Anaesth* 23:946–951
 86. Roze JC, Tohier C, Maingueneau C et al (1993) Response to dobutamine and dopamine in the hypotensive very preterm infant. *Arch Dis Child* 69:59–63
 87. Sarganas G, Schaffrath Rosario A, Berger S et al (2019) An unambiguous definition of pediatric hypotension is still lacking: Gaps between two percentile-based definitions and Pediatric Advanced Life Support/Advanced Trauma Life Support guidelines. *J Trauma Acute Care Surg* 86:448–453
 88. Saugel B, Annecke T, Bein B et al (2024) S1-Leitlinie: Intraoperative klinische Anwendung von hämodynamischem Monitoring bei nicht-kardiologischen Patient:innen. *Anästhesiol Intensivmed* 65:193–212
 89. Saugel B, Kouz K, Meidert AS et al (2020) How to measure blood pressure using an arterial catheter: a systematic 5-step approach. *Crit Care* 24:172
 90. Scheer B, Perel A, Pfeiffer UJ (2002) Clinical review: complications and risk factors of peripheral arterial catheters used for haemodynamic monitoring in anaesthesia and intensive care medicine. *Crit Care* 6:199–204
 91. Schindler E, Kowald B, Suess H et al (2005) Catheterization of the radial or brachial artery in neonates and infants. *Paediatr Anaesth* 15:677–682
 92. Short JA (2000) Noninvasive blood pressure measurement in the upper and lower limbs of anesthetized children. *Paediatr Anaesth* 10:591–593
 93. Simpao AF, Ahumada LM, Galvez JA et al (2017) The timing and prevalence of intraoperative hypotension in infants undergoing laparoscopic

- pyloromyotomy at a tertiary pediatric hospital. *Paediatr Anaesth* 27:66–76
94. Simpao AF, De Graaff JC (2021) Predicting hypotension during pediatric anesthesia: Can we move beyond a definition that is in the eye of the beholder? *Paediatr Anaesth* 31:1025–1027
 95. Sottas CE, Cumin D, Anderson BJ (2016) Blood pressure and heart rates in neonates and preschool children: an analysis from 10 years of electronic recording. *Paediatr Anaesth* 26:1064–1070
 96. Stewart M, Scattoloni J, Tazhibi G et al (2016) Association of elevated preoperative blood pressure with preincision hypotension in pediatric surgical patients. *Paediatr Anaesth* 26:844–851
 97. Subhedar NV, Shaw NJ (2003) Dopamine versus dobutamine for hypotensive preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev* CD001242:
 98. Sumpelmann RR, K (2021) S1-Leitlinie Perioperative Infusionstherapie bei Kindern. In: DGfAuleV (Hrsg) DGAI
 99. Synnes AR, Chien LY, Peliowski A et al (2001) Variations in intraventricular hemorrhage incidence rates among Canadian neonatal intensive care units. *J Paediatr* 138:525–531
 100. Szostek AS, Saunier C, Elsensohn MH et al (2023) Effective dose of ephedrine for treatment of hypotension after induction of general anaesthesia in neonates and infants less than 6 months of age: a multicentre randomised, controlled, open label, dose escalation trial. *Br J Anaesth* 130:603–610
 101. Takci S, Yigit S, Korkmaz A et al (2012) Comparison between oscillometric and invasive blood pressure measurements in critically ill premature infants. *Acta Paediatr* 101:132–135
 102. Takeshita J, Nakayama Y, Tachibana K et al (2023) Comparison of radial, dorsalis pedis, and posterior tibial arteries for ultrasound-guided arterial catheterisation with dynamic needle tip positioning in paediatric patients: a randomised controlled trial. *Br J Anaesth* 131:739–744
 103. Topjian AA, Raymond TT, Atkins D et al (2020) Part 4: Pediatric Basic and Advanced Life Support: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 142:S469–S523
 104. Turner NM (2015) Intraoperative hypotension in neonates: when and how should we intervene? *Curr Opin Anaesthesiol* 28:308–313
 105. Urbina E, Alpert B, Flynn J et al (2008) Ambulatory blood pressure monitoring in children and adolescents: recommendations for standard assessment: a scientific statement from the American Heart Association Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth Committee of the council on cardiovascular disease in the young and the council for high blood pressure research. *Hypertension* 52:433–451
 106. Van Wijk JJ, Weber F, Stolker RJ et al (2020) Current state of noninvasive, continuous monitoring modalities in pediatric anesthesiology. *Curr Opin Anaesthesiol* 33:781–787
 107. Van Zadelhoff AC, Poppe JA, Willemsen S et al (2023) Age-dependent changes in arterial blood pressure in neonates during the first week of life: reference values and development of a model. *Br J Anaesth* 130:585–594
 108. Vavilala MS, Lee LA, Lam AM (2003) The lower limit of cerebral autoregulation in children during sevoflurane anesthesia. *J Neurosurg Anesthesiol* 15:307–312
 109. Wani TM, Hakim M, Ramesh A et al (2018) Risk factors for post-induction hypotension in children presenting for surgery. *Pediatr Surg Int* 34:1333–1338

Intraoperative hypotension in children—Measurement and treatment

Intraoperative hypotension is a common perioperative complication in pediatric anesthesia. Oscillometric blood pressure measurement is therefore an essential part of standard perioperative monitoring in pediatric anesthesia. The optimum measurement site is the upper arm. Attention must be paid to the correct cuff size. Blood pressure should be measured before induction. In children undergoing major surgery or in critically ill children, invasive blood pressure measurement is still the gold standard. Continuous noninvasive measurement methods could be an alternative in the future. Threshold values to define hypotension remain unknown, even in awake children. There are also little data on hypotension thresholds in the perioperative setting. The most reliable measurement parameter for estimating hypotension is the mean arterial pressure. The threshold values for intraoperative hypotension are 40 mm Hg in newborns, 45 mm Hg in infants, 50 mm Hg in young children and 65 mm Hg in adolescents. Treatment should be initiated at a deviation of 10% and intensified at a deviation of 20%. Bolus administration of isotonic balanced crystalloid solutions, vasopressors and/or catecholamines are used as treatment options. Consistent and rapid intervention in the event of hypotension appears to be crucial. So far there is no evidence as to whether this leads to an improvement in outcome parameters.

Keywords

Pediatric anesthesia · Blood pressure · Intraoperative monitoring · Homeostasis · Perfusion

110. Weber F, Honing GH, Scoones GP (2016) Arterial blood pressure in anesthetized neonates and infants: a retrospective analysis of 1091 cases. *Paediatr Anaesth* 26:815–822
111. Weber F, Koning L, Scoones GP (2017) Defining hypotension in anesthetized infants by individual awake blood pressure values: a prospective observational study. *Paediatr Anaesth* 27:377–384
112. Weindling AM (1989) Blood pressure monitoring in the newborn. *Arch Dis Child* 64:444–447

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.