

УДК [616.61+504.064.36]-053.2+616.12-007-053.1-008-036.12
DOI: 10.56871/CmN-W.2024.64.48.012

МОНИТОРИНГ ОКСИГЕНАЦИИ ТКАНЕЙ ПОЧЕК У ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА С ВРОЖДЕННЫМИ ПОРОКАМИ СЕРДЦА В ПЕРИОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ

© Екатерина Анатольевна Соловьева, Екатерина Павловна Романова,
Евгений Владимирович Тризна, Константин Викторович Пшениснов,
Юрий Станиславович Александрович

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2

Контактная информация:

Константин Викторович Пшениснов — д.м.н., доцент, профессор кафедры анестезиологии, реаниматологии и неотложной педиатрии ФП и ДПО. E-mail: Psh_K@mail.ru ORCID ID: 0000-0003-1113-5296 SPIN: 8423-4294

Для цитирования: Соловьева Е.А., Романова Е.П., Тризна Е.В., Пшениснов К.В., Александрович Ю.С. Мониторинг оксигенации тканей почек у детей раннего возраста с врожденными пороками сердца в периоперационном периоде // Children's medicine of the North-West. 2024. Т. 12. № 1. С. 114–122. DOI: <https://doi.org/10.56871/CmN-W.2024.64.48.012>

Поступила: 11.12.2023

Одобрена: 29.12.2023

Принята к печати: 25.01.2024

Резюме. *Введение.* Тканевая оксиметрия является одним из наиболее перспективных методов оценки эффективности перфузии у детей в критическом состоянии, что особенно справедливо для новорожденных с пороками развития сердца, однако она не является рутинным методом диагностики в неонатальных отделениях реанимации и интенсивной терапии, что требует ее более широкого внедрения. *Цель исследования* — демонстрация возможностей продленного NIRS-мониторинга оксигенации тканей почек с целью определения дальнейшей тактики ведения новорожденных с врожденными пороками сердца. *Пациенты и методы.* Представлены три клинических случая применения продленного неинвазивного мониторинга почечной оксигенации у детей раннего возраста с врожденными пороками сердца, сопровождающимися системной гипоперфузией, в периоперационном периоде. *Результаты.* Продемонстрировано, что оценка показателей оксигенации тканей почек позволяет принять обоснованное решение о коррекции мероприятий интенсивной терапии и необходимости проведения экстренного кардиохирургического вмешательства. В ряде случаев NIRS-мониторинг позволяет избежать раннего перевода пациента на инвазивную вентиляцию легких, что отражено в описании третьего случая. *Заключение.* Неинвазивный прикроватный мониторинг тканевой оксигенации в режиме реального времени является высокоэффективным методом диагностики системной гипоперфузии и должен более широко использоваться в отделениях неонатальной реанимации и интенсивной терапии, особенно у новорожденных с врожденным пороком сердца, у которых риск развития шока различного генеза крайне высок.

Ключевые слова: тканевая оксиметрия; новорожденные; критические врожденные пороки сердца; системная гипоперфузия.

MONITORING OF RENAL TISSUE OXYGENATION IN YOUNG CHILDREN WITH CONGENITAL HEART DISEASE IN THE PERIOPERATIVE PERIOD

© Ekaterina A. Solovyeva, Ekaterina P. Romanova, Evgeniy V. Trizna,
Konstantin V. Pshenisnov, Yury S. Aleksandrovich

Saint Petersburg State Pediatric Medical University. Lithuania 2, Saint Petersburg, Russian Federation, 194100

Contact information:

Konstantin V. Pshenisnov — Doctor of Medical Sciences, Professor of anesthesiology and intensive care and emergency pediatrics postgraduate education. E-mail: Psh_K@mail.ru ORCID ID: 0000-0003-1113-5296 SPIN: 8423-4294

For citation: Solovyeva EA, Romanova EP, Trizna EV, Pshenisnov KV, Aleksandrovich YuS. Monitoring of renal tissue oxygenation in young children with congenital heart disease in the perioperative period. Children's medicine of the North-West (St. Petersburg). 2024;12(1):114-122. DOI: <https://doi.org/10.56871/CmN-W.2024.64.48.012>

Received: 11.12.2023

Revised: 29.12.2023

Accepted: 25.01.2024

Abstract. *Introduction.* Tissue oximetry is one of the most promising methods for assessing the efficiency of systemic perfusion in children in critical condition, which is especially true for newborns with heart defects, but it is not a routine method of diagnosing systemic hypoperfusion in neonatal intensive care units, which requires its wider implementation. The *aim of the study* is to demonstrate the possibilities of prolonged NIRS-monitoring of renal tissue oxygenation to determine further tactics of management of newborns with congenital heart disease. *Patients and methods.* Three clinical cases of prolonged noninvasive monitoring of renal oxygenation in infants with congenital heart disease accompanied by systemic hypoperfusion in the perioperative period are presented. *Results.* It was demonstrated that on the basis of renal tissue oxygenation indices it is possible to make an informed decision on the correction of intensive care measures and the need for emergency cardiac surgery. In some cases, NIRS-monitoring allows to avoid early intubation and invasive ventilation of lungs, which is reflected in the description of the third case. *Conclusion.* Noninvasive real-time bedside monitoring of tissue oxygenation is a highly effective method of diagnosing systemic hypoperfusion and should be more widely used in neonatal intensive care units, especially in neonates with CHD, in whom the risk of shock of various genesis is extremely high.

Key words: *tissue oximetry; neonate; critical congenital heart disease; systemic hypoperfusion.*

ВВЕДЕНИЕ

Применение параинфракрасной спектроскопии (near-infrared spectroscopy) для оценки адекватности церебральной перфузии и оксигенации впервые было предложено F.F. Jobsis в 1977 г. [1]. В последующем его идея была реализована путем создания мониторов для оценки насыщения ткани головного мозга и других внутренних органов кислородом.

Принцип метода NIRS основан на способности живых тканей пропускать свет в диапазоне, близком к инфракрасному спектру (740–3000 нм), максимально эта способность отмечается в интервале 600–1000 нм. При прохождении светового пучка через ткани внутренних органов пигментные соединения, известные как хромофоры, поглощают свет. Ткани человека содержат множество компонентов, для которых хорошо изучены спектры поглощения света с длиной волны, близкой к инфракрасному диапазону, концентрация которых меняется в зависимости от оксигенации тканей и уровня оксигемоглобина, дезоксигемоглобина и цитохром а-а₃. Помимо оксигемоглобина и дезоксигемоглобина поглощать световой пучок в спектре, близком к инфракрасному излучению, способны и другие гемоглобиновые соединения, в частности карбоксигемоглобин, однако в физиологических условиях общая погрешность при отсутствии учета оптических свойств этих соединений не превышает 1% [2, 3]. На венозный компонент приходится около 75–85% объема кровотока, а поскольку мониторинг с использованием технологии NIRS не зависит от наличия пульсовой волны, данные, полученные в ходе исследования, отражают средневзвешенную (на 75–85% венозную) концентрацию оксигемоглобина исследуемой области [4]. На показатели значения NIRS могут влиять многочисленные факторы, но двумя основными из них являются перфузия тканей

и утилизация кислорода тканями. Таким образом, NIRS косвенно отражает баланс между доставкой и потреблением кислорода. Поскольку сигнал тканевого оксиметра распространяется по закону Бугера–Ламберта–Бера, который гласит об ослаблении параллельного монохроматического пучка света при распространении его в поглощающей среде и отражает информацию о сосудах диаметром менее 1 мм, NIRS-мониторинг является удобным инструментом для оценки висцеральной перфузии, что выгодно отличает его от доплерографии, которая позволяет оценить эффективность кровотока в более крупных кровеносных сосудах в ограниченный момент времени [5].

В первую очередь данный метод мониторинга получил широкое распространение в нейрохирургии, в дальнейшем церебральный NIRS-мониторинг стал использоваться в различных областях медицины [6]. В частности, в кардиохирургии он применяется в качестве единственного варианта нейромониторинга или в составе комбинированного нейромониторинга при кардиохирургических операциях. Установлено, что использование метода параинфракрасной спектроскопии при кардиохирургических вмешательствах с искусственным кровообращением позволяет выявлять эпизоды церебральной ишемии с большей частотой, чем предполагалось ранее, что, в свою очередь, позволяет значительно уменьшить частоту церебрально-васкулярных интраоперационных осложнений в кардиохирургии [7–9].

С 1980 г. появляются исследования об эффективности использования NIRS для мониторинга церебральной, тканевой и органной перфузии у новорожденных и детей раннего возраста [10, 11]. Излучение, близкое к инфракрасному спектру, поглощается в основном в дерме, но около 30% светового потока проникает на глубину до 30 мм, достигая

подкожного жирового слоя и расположенных под ним органов [12]. Такая проникающая способность параинфракрасного излучения, с одной стороны, и незначительная толщина покровных тканей у новорожденных, с другой, позволяют оценить эффективность оксигенации и перфузии почек, кишечника, печени, мышц и головного мозга [13, 14].

В настоящий момент имеется множество исследований по использованию церебральной оксиметрии у детей раннего возраста с врожденными пороками сердца (ВПС), при проведении кардиохирургических операций с искусственным кровообращением. Разработаны специальные протоколы, учитывающие показатели церебральной оксиметрии для определения клинической тактики во время кардиохирургических операций с целью улучшения долгосрочного неврологического прогноза [15–19].

Имеются исследования органной перфузии у недоношенных новорожденных с целью ранней диагностики некротизирующего энтероколита, в одном из которых было продемонстрировано, что показатели региональной оксиметрии абдоминальной области коррелируют с объемно-скоростными характеристиками в верхней брыжеечной артерии, полученными при доплеровском исследовании [20]. В нескольких работах было отмечено, что у недоношенных младенцев с клиническими проявлениями некротизирующего энтероколита (НЭК) отмечались более низкие показатели абдоминальной оксигенации и меньшая вариабельность показателя относительно базового значения по сравнению с контрольной группой [21, 22]. Доказана эффективность применения параинфракрасной спектроскопии у детей с ВПС, в качестве предиктора развития НЭК в послеоперационном периоде [23]. A.G. DeWitt и соавт. продемонстрировали возможность продленного мониторинга органной перфузии методом параинфракрасной спектроскопии с целью оценки рисков развития некротизирующего энтероколита у новорожденных с ВПС, в том числе с функционально единым желудочком (ФЕЖ) [24]. В исследование было включено 64 новорожденных, которым проводилась бивентрикулярная коррекция ВПС или паллиативные вмешательства. В послеоперационном периоде контролировался органной кровоток до и во время начала энтерального кормления, чтобы определить, связаны ли изменения полученных показателей с риском развития некротизирующего энтероколита. Доказанный некротический энтероколит или подозрение на него отмечалось у 32% пациентов с ФЕЖ, в то время как у детей с бивентрикулярной коррекцией он отсутствовал, что явилось статистически значимым ($p=0,001$). По сравнению с пациентами с подозрением на НЭК или без него, дети с доказанным НЭК

имели более низкие показатели спланхического rSO_2 (32,6% против 47%; $p=0,05$).

Несомненным преимуществом метода является неинвазивность и безопасность для пациентов, отсутствие ограничений по длительности применения, возможность оценки тканевой оксигенации в режиме реального времени, что позволяет отслеживать изменения на фоне терапевтических мероприятий, влияющие на сосудистое сопротивление, баланс легочного и системного кровотока. В то же время нельзя не отметить, что, по мнению некоторых экспертов, имеются трудности в определении критических значений показателей органной перфузии и устранения артефактов, возникающих при движении пациента, что ограничивает применение NIRS для мониторинга спланхического кровотока [25].

Несмотря на перспективность NIRS-мониторинга в кардиоанестезиологии, в том числе у новорожденных с ВПС, широкого применения в практической деятельности отделений реанимации и интенсивной терапии с целью оценки эффективности органной перфузии данная методика не получила [26, 27].

При этом нельзя не отметить, что именно новорожденные с ВПС подвержены высокому риску тяжелых нарушений системной перфузии, что делает непрерывный мониторинг почечной оксигенации наиболее перспективным методом для оценки изменений регионального кровотока еще до того, как произойдет необратимое органное повреждение.

Мы полагаем, что имеющиеся в настоящее время данные, несмотря на некоторые ограничения, позволяют использовать оценку тканевой оксигенации и перфузии как полезный инструмент для повышения эффективности мероприятий интенсивной терапии у детей с ВПС и гемодинамикой ФЕЖ [24].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Продemonstrировать возможности продленного NIRS-мониторинга оксигенации тканей почек с целью определения дальнейшей тактики ведения новорожденных с ВПС.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Представлены три клинических случая применения продленного неинвазивного мониторинга почечной оксигенации у детей раннего возраста с врожденными пороками сердца, сопровождающихся системной гипоперфузией, в периоперационном периоде.

Датчик для оценки региональной оксигенации почек размещали согласно рекомендациям M.W. Harer и соавт. (2020): ниже реберного края и над гребнем подвздошной кости, при этом кончик датчика располагался латерально от позвоночника,

а считывающий конец датчика заворачивался вокруг боковой поверхности (рис. 1) [27].

Клинический случай № 1

Новорожденный мальчик, 1 месяц жизни. Диагноз: ВПС, критический стеноз аортального клапана. Открытое овальное окно. Открытый артериальный проток. Дуктус-зависимое системное кровообращение. Анамнез матери без особенностей. Роды 2-е срочные в 41 неделю и 1 день. Диагноз подтвержден по данным эхокардиографии (ЭхоКГ) и мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ). На 7-е сутки жизни выполнена открытая аортальная комиссуротомия, плоскостная резекция створок в условиях искусственного кровообращения. В послеоперационном периоде отмечалась зависимость от высокого положительного давления в конце выдоха (ПДКВ) в пределах 7–8 мм вод.ст. (при попытке снижения параметров — клинико-рентгенологическая картина отека легких), инотропной поддержки, интолерантность к энтеральному питанию в связи с сохраняющейся клинической картиной пареза кишечника, наблюдались потребность в постоянной стимуляции диуреза высокими дозами петлевых диуретиков, развитие хилоперитонеума. При проведении ЭхоКГ выявлена недостаточность митрального клапана II–III степени. Несмотря на проводимую консервативную терапию, данные проявления сохранялись. По данным оценки органного кровотока методом доплерографии на фоне анальгоседации отмечен минимальный реверс на почечных артериях и вертебробазиллярных артериях (ВБА), что не соответствовало имеющейся клинической картине. С целью оценки значимости митральной регургитации и сопутствующей ей гипоперфузии органов брюшной полости и почек в динамике инициирован постоянный продленный NIRS-мониторинг почечного кровотока.

По результатам мониторинга выявлена значимая гипоперфузия — средние значения сатурации по данным мониторинга были на 53–55% ниже показателей транскутанной пульсоксиметрии, средние значения составляли 43–47%, с регулярными эпизодами десатурации до 25–28% при пробуждении и активизации пациента. По совокупности клинико-инструментальных данных было принято решение о проведении повторного оперативного вмешательства. В возрасте 1,5 месяцев жизни выполнено протезирование митрального клапана механическим протезом «Карбомедикс» диаметром 16 мм, ревизия аортального клапана, плоскостная резекция створок аортального клапана в условиях искусственного кровообращения (ИК) и кардиоплегии (КП). Ранний послеоперационный период — без особенностей. Инотропная поддержка прекращена на 2-е сутки после операции. На 10-е

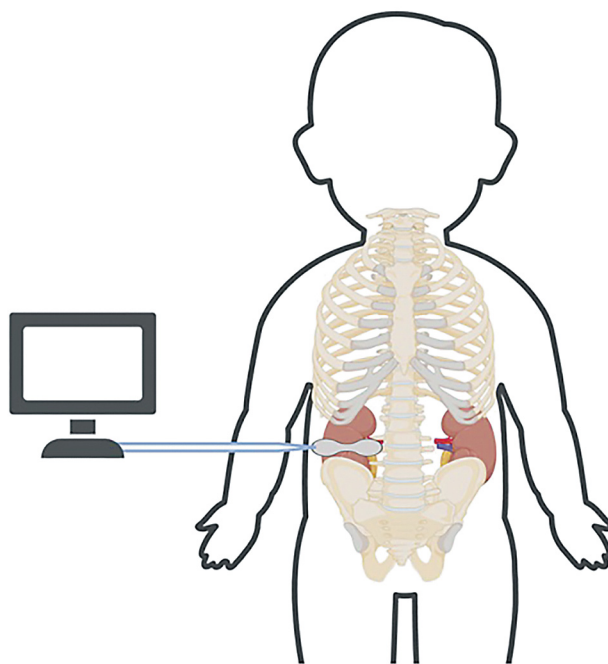


Рис. 1. Расположение неонатального почечного датчика NIRS

Fig. 1. Neonatal renal NIRS sensor location

сутки периоперационного периода пациент экстубирован, переведен на неинвазивную искусственную вентиляцию легких, на фоне регрессирования пареза кишечника начато энтеральное питание с постепенным расширением до полной возрастной потребности в течение трех недель. На 20-е сутки респираторная поддержка прекращена. Хилоперитонеум регрессировал на 5-е сутки после операции. В демонстрируемом случае NIRS-мониторинг позволил подтвердить наличие гипоперфузии в режиме реального времени и принять решение о необходимости повторного оперативного вмешательства.

Клинический случай № 2

Мальчик Б., 7 месяцев жизни. Диагноз основной: Врожденный порок сердца: синдром гипоплазии левых отделов сердца (атрезия митрального клапана, гипоплазия левого желудочка, атрезия аортального клапана, гипоплазия дуги аорты). Порок диагностирован пренатально. На 6-е сутки жизни выполнена модифицированная операция Норвуда (правый желудочек — легочная артерия) клапаносодержащим бicuspidализированным аллокондуитом, атроисептостомия в условиях искусственного кровообращения, антеградной перфузии головного мозга и кардиоплегии. Течение послеоперационного периода гладкое, соответствовало характеру, объему и срокам проведенного оперативного вмешательства. В 1,5 месяца выписан домой, планировался следующий этап кардиохирургической

коррекции. В 5,5 месяцев развился тромбоз аллокондуита с тяжелой ишемией миокарда, острой декомпенсацией хронической сердечной недостаточности, проводилась тромболитическая терапия с положительным эффектом. В 6 месяцев выполнена операция Гленна. В раннем послеоперационном периоде обращала на себя внимание синусовая тахикардия до 160–170 ударов в минуту, стойкое повышение давления в кавапульмональном анастомозе (15–18 мм рт.ст.). Выявлены ЭхоКГ-признаки дилатации правого предсердия на фоне регургитации на трехстворчатом клапане II–III степени. Несмотря на проводимую в полном объеме консервативную терапию, у ребенка прогрессировала клиническая картина ретроградного отека легких на фоне регургитации на трехстворчатом (системном) клапане и гипоперфузии органов брюшной полости, что проявлялось интолерантностью к энтеральному питанию, выраженной зависимостью от высоких доз петлевых диуретиков для поддержания адекватного темпа диуреза. С целью оценки значимости регургитации на системном клапане и сопутствующей ей гипоперфузии органов брюшной полости и почек в динамике инициирован постоянный продленный NIRS-мониторинг почечного кровотока. По результатам мониторинга была выявлена значимая гипоперфузия — средние значения сатурации по данным мониторинга на 43–45% ниже показателей по данным транскутанной пульсоксиметрии, средние значения составляли 33–37%, с регулярными эпизодами десатурации до 23–26% при пробуждении и активизации пациента. По совокупности клинико-инструментальных данных было принято решение о проведении эндоваскулярного оперативного вмешательства: зондирование камер сердца, вентрикулография сердца, ангиография магистральных сосудов. По результатам проведенного исследования на возвратных ангиопульмограммах определяется контрастирование левого предсердия, отмечается контрастирование легочных вен, которые впадают в левое предсердие; на вентрикулограмме определяется регургитация на трикуспидальном клапане II–III степени, дилатация правого предсердия; Qp/Qs — 0,57/1. На основании полученных данных было принято решение о протезировании системного клапана. В данной ситуации в дополнение к клинической картине и данным ЭхоКГ подтверждение органной гипоперфузии методом продленного NIRS-мониторинга позволило принять решение о проведении инвазивного исследования для определения дальнейшей хирургической тактики.

Клинический случай № 3

Новорожденный мальчик, двое суток жизни. Диагноз основной: Q23.4 Синдром гипоплазии ле-

вых отделов сердца (гипоплазия митрального клапана, гипоплазия левого желудочка, гипоплазия аортального клапана, гипоплазия дуги аорты). Фиброэластоз левого желудочка. Коарктация аорты. Открытый артериальный проток. Открытое овальное окно. Дуктус-зависимое коронарное и системное кровообращение. Беременность протекала на фоне анемии легкой степени, гестоза I половины беременности с госпитализацией в 10/11 недель. По данным ультразвукового исследования в 23/24 недели гестации выявлен ВПС: синдром гипоплазии левых отделов сердца. Микромелия? Роды 1-е срочные путем экстренного кесарева сечения в связи с тяжелой преэклампсией в 39 недель гестации.

Состояние ребенка при рождении удовлетворительное. При поступлении катетеризирована вена пуповины, начата инфузия алпростана. Обращала на себя внимание умеренная анемия, гемоглобин (145 г/л), вероятно, обусловленная, фетоплацентарной трансфузией. В конце первых суток жизни отмечалась стойкая высокая SpO₂ для данного варианта гемодинамики порока, которая находилась в диапазоне 96–97%. По данным кислотно-основного состояния отмечалось нарастание метаболического ацидоза: BE = –9,5 ммоль/л, HCO₃ = 17,8 ммоль/л, клинически отмечалось снижение темпа диуреза до 0,8 мл/кг в час. Клинико-лабораторные данные могли свидетельствовать о дисбалансе системного и легочного кровотока, что характерно для пациентов с синдромом гипоплазии левых отделов сердца, однако, как правило, его клинические проявления возникают на 3–4-е сутки жизни, что обусловлено снижением давления в малом круге кровообращения. С целью оценки адекватности органной перфузии инициирован прикроватный NIRS-мониторинг почечного кровотока. По результатам мониторинга было выявлено отсутствие гипоперфузии — сатурация по данным мониторинга на 3–5% ниже показателей по данным транскутанной пульсоксиметрии, средние значения составляли 87–90%, без эпизодов значимой десатурации. На основании данных мониторинга был сделан вывод об отсутствии дисбаланса легочного и системного кровотока, гипоперфузии органов брюшной полости и почек, что в дальнейшем было подтверждено доплеровским исследованием. Учитывая возраст ребенка и клинико-лабораторные данные, была проведена гемотрансфузия эритроцитарной массы по индивидуальному подбору. На фоне коррекции анемии отмечались нормализация показателей кислотно-основного состояния, снижение уровня лактата до нормальных значений. Благодаря данным NIRS-мониторинга удалось воздержаться от раннего перевода на ИВЛ и седации с целью ограничения легочного кровотока.

ОБСУЖДЕНИЕ

Адекватная перфузия и оксигенация почек играют решающее значение в исходе критических состояний у новорожденных. В то же время в рутинной практической деятельности отделений реанимации и интенсивной терапии новорожденных недостаточно диагностических инструментов, позволяющих оценить эффективность тканевой оксигенации и кровотока, что, в свою очередь, не позволяет проводить максимально ранние и обоснованные терапевтические вмешательства, направленные на предотвращение или уменьшение степени тканевого повреждения.

В представленных клинических случаях показатели продленного NIRS-мониторинга органного кровотока коррелировали с результатами других инструментальных исследований. Однако следует отметить, что хотя NIRS является перспективной технологией мониторинга органного кровотока у новорожденных и детей раннего возраста с ВПС в ОРИТ, в настоящее время количество мультицентровых рандомизированных исследований для определения нормативных данных спланхической оксигенации у детей раннего возраста, в том числе у пациентов с гемодинамикой единого желудка, крайне мало.

G. Greisen и соавт. резюмировали проблемы использования тканевой оксиметрии в статье, посвященной перспективе внедрения церебральной оксиметрии: «С одной стороны, церебральная оксиметрия потенциально может стать недорогой, поскольку основана на технологии, которую можно производить массово. Убедительные доказательства пользы для пациентов создадут большой рынок сбыта. С другой стороны, что произойдет, если клиническое применение церебральной оксиметрии не будет разработано в рациональном формате, основанном на фактических данных? Тогда это может стать еще одной дорогостоящей технологией, применяемой случайным образом. Церебральная оксиметрия будет подкреплена неподтвержденными данными, мнением экспертов, активным брендингом и маркетингом. Последствия включают ненужные нарушения и риски для очень уязвимой группы пациентов и истощение ресурсов здравоохранения» [28].

Одним из факторов, облегчающих широкое внедрение оценки почечного кровотока методом NIRS в клиническую практику и интерпретацию полученных данных, служит теоретическая модель нормальной оксигенации почечной ткани у недоношенных новорожденных в течение первого месяца жизни (рис. 2), предложенная M.W. Harer и соавт. (2020) на основании публикаций других авторов, которая отражает показатели насыщения тканей почек кислородом при отсутствии патологии [29, 30].

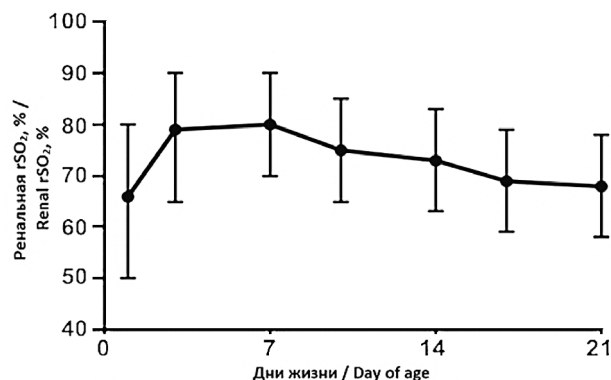


Рис. 2. Показатели нормальной оксигенации тканей почек у недоношенных новорожденных в первый месяц жизни

Fig. 2. Normal renal tissue oxygenation of premature newborns in the first month of life

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неинвазивный прикроватный мониторинг тканевой оксигенации в режиме реального времени является высокоэффективным методом диагностики нарушений органной перфузии и оксигенации и должен более широко использоваться в отделениях неонатальной реанимации и интенсивной терапии, особенно у новорожденных с ВПС.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования: Соловьева Е.А., Тризна Е.В.; сбор и обработка первичного материала: Соловьева Е.А., Романова Е.П.; написание текста статьи: Соловьева Е.А., Пшениснгов К.В.; редактирование: Александрович Ю.С., Пшениснгов К.В., Тризна Е.В. Все авторы прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациентов на публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Concept and design of the study: Solovyova E.A., Trizna E.V.; collection and processing of primary material: Solovyova E.A., Romanova E.P.; writing the text of the article: Solovyova E.A., Pshenishnov K.V.; editing: Aleksandrovich Yu.S., Pshenishnov K.V., Trizna E.V. All authors read and approved the final version before publication.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Consent for publication. Written consent was obtained from the legal representatives of patients for publication of relevant medical information within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jöbsis FF. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science*. 1977; 198(4323): 1264–7. DOI:10.1126/science.929199.
2. Kleinman C.S., Seril I. Hemodynamics and cardiology: neonatology questions and controversies. 3rd ed. Philadelphia: Elsevier; Saunders. 2015: 132–7.
3. Denault A., Deschamps A., Murkin J.M. A proposed algorithm for the intraoperative use of cerebral near-infrared spectroscopy. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*. 2007; 11(4): 274–81. DOI: 10.1177/1089253207311685.
4. Engelhardt B., Gillam-Krakauer M. Use of near-infrared spectroscopy in the management of patients in neonatal intensive care units — an example of implementation of a new technology In: Th. Theophanides (ed.). *Infrared Spectroscopy — Life and Biomedical Sciences*. 2012. DOI: 10.5772/37994. [http:// www.intechopen.com/books/infrared-spectroscopy-life-andbiomedical-sciences/use-of-near-infrared-spectroscopy-in-themanagement-of-patients-in-neonatal-intensive-care-units-a](http://www.intechopen.com/books/infrared-spectroscopy-life-andbiomedical-sciences/use-of-near-infrared-spectroscopy-in-themanagement-of-patients-in-neonatal-intensive-care-units-a). (Access 28.12.2023).
5. De Backer D., Ospina-Tascon G., Salgado D. et al. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches. *Intensive Care Med*. 2010; 36(11): 1813–25. DOI: 10.1007/s00134-010-2005-3.
6. McCormick P.W., Stewart M., Goetting M.G. et al. Noninvasive cerebral optical spectroscopy for monitoring cerebral oxygen delivery and hemodynamics. *Crit Care Med*. 1991; 19(1): 89–97. DOI: 10.1097/00003246-199101000-00020.
7. Hogue C.W., Levine A., Hudson A., Lewis C. Clinical Applications of Near-infrared Spectroscopy Monitoring in Cardiovascular Surgery. *Anesthesiology*. 2021; 134(5): 784–91. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003700.
8. Ikeda M., Hayashida M., Kadokura Y. et al. Associations among preoperative transthoracic echocardiography variables and cerebral near-infrared spectroscopy values at baseline before anesthesia in patients undergoing cardiac surgery: a retrospective observational study. *Heart Vessels*. 2023; 38(6): 839–48. DOI: 10.1007/s00380-023-02233-0.
9. Soenarto R.F., Hidayat J.K., Eureka O., Auerkari A.N. Can near-infrared spectroscopy (NIRS) monitoring prevent post-operative cognitive dysfunction following open- heart surgery? *J Pak Med Assoc*. 2021; 71(Suppl 2): S10–3.
10. Delpy D.T., Cope M.C., Cady E.B. et al. Cerebral monitoring in newborn infants by magnetic resonance and near infrared spectroscopy. *Scand J Clin Lab Invest Suppl*. 1987; 188: 9–17.
11. Edwards A.D., Wyatt J.S., Richardson C. et al. Cotside measurement of cerebral blood flow in ill newborn infants by near infrared spectroscopy. *Lancet*. 1988; 2(8614): 770–1.
12. Choi J. et al. Noninvasive determination of the optical properties of adult brain: near-infrared spectroscopy approach. *J Biomed Opt*. 2004; 9(1): 221–9.
13. Bailey S.M., Prakash S.S., Verma S. et al. Near-infrared spectroscopy in the medical management of infants. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*. 2022; 52(11): 101291. DOI: 10.1016/j.cppeds.2022.101291.
14. Tran N.N., Tran M., Lopez J. et al. Near-infrared spectroscopy: clinical use in high-risk neonates. *Neonatal Netw*. 2021; 40(2): 73–9. DOI: 10.1891/0730-0832/11-T-678.
15. Candan T., Candan M., Yildiz C.E. et al. Comparison of bilateral cerebral and somatic tissue oxygenation with near-infrared spectroscopy in cyanotic and acyanotic pediatric patients receiving cardiac surgery. *Arch Med Sci Atheroscler Dis*. 2020; 5: e320–31. DOI: 10.5114/amsad.2020.103377.
16. Fourdain S., Provost S., Tremblay J. et al. Functional brain connectivity after corrective cardiac surgery for critical congenital heart disease: a preliminary near-infrared spectroscopy (NIRS) report. *Child Neuropsychol*. 2023; 29(7): 1088–1108. DOI: 10.1080/09297049.2023.2170340.
17. Massey S.L., Weinerman B., Naim M.Y. Perioperative neuromonitoring in children with congenital heart disease. *Neurocrit Care*. 2023. DOI: 10.1007/s12028-023-01737-x.
18. Abubakar M.O., Zanelli S.A., Spaeder M.C. Changes in cerebral regional oxygen saturation variability in neonates undergoing cardiac surgery: a prospective cohort study. *Pediatr Cardiol*. 2023; 44(7): 1560–5. DOI: 10.1007/s00246-023-03239-1.
19. Altun D., Doğan A., Arnaz A. et al. Noninvasive monitoring of central venous oxygen saturation by jugular transcutaneous near-infrared spectroscopy in pediatric patients undergoing congenital cardiac surgery. *Turk J Med Sci*. 2020; 50(5): 1280–7. DOI: 10.3906/sag-1911-135.
20. Gillam-Krakauer M. et al. Correlation of abdominal rSO₂ with superior mesenteric artery velocities in preterm infants. *J. Perinatol*. 2013; 33(8): 609–12.
21. Mishra V., Mathur A.A., Mohamed S., Maheshwari A. Role of Near-infrared Spectroscopy in the Diagnosis

- and Assessment of Necrotizing Enterocolitis. Newborn (Clarksville). 2022; 1(1): 177–81. DOI: 10.5005/jp-journals-11002-0001.
22. Özkan H., Çetinkaya M., Dorum B.A., Köksal N. Mesenteric tissue oxygenation status on the development of necrotizing enterocolitis. *Turk J Pediatr.* 2021; 63(5): 811–7. DOI: 10.24953/turkjp.2021.05.009.
 23. Casals A.J., Spaeder M.C. Association of early postoperative regional oxygen saturation measures and development of necrotizing enterocolitis in neonates following cardiac surgery. *Pediatr Cardiol.* 2023. DOI: 10.1007/s00246-023-03117-w.
 24. DeWitt A.G. et al. Splanchnic near-infrared spectroscopy and risk of necrotizing enterocolitis after neonatal heart surgery. *Pediatr Cardiol.* 2014; 35(7): 286–94.
 25. Neu J. *Gastroenterology and nutrition: neonatology questions and controversies.* 2nd ed. Philadelphia: Elsevier; Saunders. 2012: 361.
 26. Dodge-Khatami J., Gottschalk U., Eulenburg C. et al. Prognostic value of perioperative near-infrared spectroscopy during neonatal and infant congenital heart surgery for adverse in-hospital clinical events. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2012; 3: 221–8. DOI: 10.1177/2150135111426298.
 27. Harer M.W., Chock V.Y. Renal tissue oxygenation monitoring-an opportunity to improve kidney outcomes in the vulnerable neonatal population. *Front Pediatr.* 2020; 8: 241. DOI: 10.3389/fped.2020.00241.
 28. Greisen G., Leung T., Wolf M. Has the time come to use near-infrared spectroscopy as a routine clinical tool in preterm infants undergoing intensive care? *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* 2011; 369(1955): 4440–51. DOI: 10.1098/rsta.2011.0261.
 29. McNeill S., Gatenby J.C., McElroy S., Engelhardt B. Normal cerebral, renal and abdominal regional oxygen saturations using near-infrared spectroscopy in preterm infants. *J Perinatol.* 2011; 31: 51–7. DOI: 10.1038/jp.2010.71.
 30. Richter A.E., Schat T.E., Van Braeckel K.N. et al. The effect of maternal antihypertensive drugs on the cerebral, renal and splanchnic tissue oxygen extraction of preterm neonates. *Neonatology.* 2016; 110(3): 163–71. DOI: 10.1159/000445283.
 31. Denault A., Deschamps A., Murkin J.M. A proposed algorithm for the intraoperative use of cerebral near-infrared spectroscopy. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth.* 2007; 11(4): 274–81. DOI: 10.1177/1089253207311685.
 32. Engelhardt B., Gillam-Krakauer M. Use of near-infrared spectroscopy in the management of patients in neonatal intensive care units — an example of implementation of a new technology In: Th. Theophanides (ed.). *Infrared Spectroscopy — Life and Biomedical Sciences.* 2012. DOI: 10.5772/37994. [http:// www.intechopen.com/books/infrared-spectroscopy-life-andbiomedical-sciences/use-of-near-infrared-spectroscopy-in-themanagement-of-patients-in-neonatal-intensive-care-units-a](http://www.intechopen.com/books/infrared-spectroscopy-life-andbiomedical-sciences/use-of-near-infrared-spectroscopy-in-themanagement-of-patients-in-neonatal-intensive-care-units-a). (Access 28.12.2023).
 33. De Backer D., Ospina-Tascon G., Salgado D. et al. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches. *Intensive Care Med.* 2010; 36(11): 1813–25. DOI: 10.1007/s00134-010-2005-3.
 34. McCormick P.W., Stewart M., Goetting M.G. et al. Noninvasive cerebral optical spectroscopy for monitoring cerebral oxygen delivery and hemodynamics. *Crit Care Med.* 1991; 19(1): 89–97. DOI: 10.1097/00003246-199101000-00020.
 35. Hogue C.W., Levine A., Hudson A., Lewis C. Clinical Applications of Near-infrared Spectroscopy Monitoring in Cardiovascular Surgery. *Anesthesiology.* 2021; 134(5): 784–91. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003700.
 36. Ikeda M., Hayashida M., Kadokura Y. et al. Associations among preoperative transthoracic echocardiography variables and cerebral near-infrared spectroscopy values at baseline before anesthesia in patients undergoing cardiac surgery: a retrospective observational study. *Heart Vessels.* 2023; 38(6): 839–48. DOI: 10.1007/s00380-023-02233-0.
 37. Soenarto R.F., Hidayat J.K., Eureka O., Auerkari A.N. Can near-infrared spectroscopy (NIRS) monitoring prevent post-operative cognitive dysfunction following open- heart surgery? *J Pak Med Assoc.* 2021; 71(Suppl 2): S10–3.
 38. Delpy D.T., Cope M.C., Cady E.B. et al. Cerebral monitoring in newborn infants by magnetic resonance and near infrared spectroscopy. *Scand J Clin Lab Invest Suppl.* 1987; 188: 9–17.
 39. Edwards A.D., Wyatt J.S., Richardson C. et al. Cotside measurement of cerebral blood flow in ill newborn infants by near infrared spectroscopy. *Lancet.* 1988; 2(8614): 770–1.
 40. Choi J. et al. Noninvasive determination of the optical properties of adult brain: near-infrared spectroscopy approach. *J Biomed Opt.* 2004; 9(1): 221–9.

REFERENCES

1. Jöbsis FF. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science.* 1977; 198(4323): 1264–7. DOI: 10.1126/science.929199.
2. Kleinman C.S., Seril I. *Hemodynamics and cardiology: neonatology questions and controversies.* 3rd ed. Philadelphia: Elsevier; Saunders. 2015: 132–7.

13. Bailey S.M., Prakash S.S., Verma S. et al. Near-infrared spectroscopy in the medical management of infants. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*. 2022; 52(11): 101291. DOI: 10.1016/j.cppeds.2022.101291.
14. Tran N.N., Tran M., Lopez J. et al. Near-infrared spectroscopy: clinical use in high-risk neonates. *Neonatal Netw*. 2021; 40(2): 73–9. DOI: 10.1891/0730-0832/11-T-678.
15. Candan T., Candan M., Yildiz C.E. et al. Comparison of bilateral cerebral and somatic tissue oxygenation with near-infrared spectroscopy in cyanotic and acyanotic pediatric patients receiving cardiac surgery. *Arch Med Sci Atheroscler Dis*. 2020; 5: e320–31. DOI: 10.5114/amsad.2020.103377.
16. Fourdain S., Provost S., Tremblay J. et al. Functional brain connectivity after corrective cardiac surgery for critical congenital heart disease: a preliminary near-infrared spectroscopy (NIRS) report. *Child Neuropsychol*. 2023; 29(7): 1088–1108. DOI: 10.1080/09297049.2023.2170340.
17. Massey S.L., Weinerman B., Naim M.Y. Perioperative neuromonitoring in children with congenital heart disease. *Neurocrit Care*. 2023. DOI: 10.1007/s12028-023-01737-x.
18. Abubakar M.O., Zanelli S.A., Spaeder M.C. Changes in cerebral regional oxygen saturation variability in neonates undergoing cardiac surgery: a prospective cohort study. *Pediatr Cardiol*. 2023; 44(7): 1560–5. DOI: 10.1007/s00246-023-03239-1.
19. Altun D., Doğan A., Arnaz A. et al. Noninvasive monitoring of central venous oxygen saturation by jugular transcutaneous near-infrared spectroscopy in pediatric patients undergoing congenital cardiac surgery. *Turk J Med Sci*. 2020; 50(5): 1280–7. DOI: 10.3906/sag-1911-135.
20. Gillam-Krakauer M. et al. Correlation of abdominal rSO₂ with superior mesenteric artery velocities in preterm infants. *J. Perinatol*. 2013; 33(8): 609–12.
21. Mishra V., Mathur A.A., Mohamed S., Maheshwari A. Role of Near-infrared Spectroscopy in the Diagnosis and Assessment of Necrotizing Enterocolitis. *Newborn (Clarksville)*. 2022; 1(1): 177–81. DOI: 10.5005/jp-journals-11002-0001.
22. Özkan H., Çetinkaya M., Dorum B.A., Köksal N. Mesenteric tissue oxygenation status on the development of necrotizing enterocolitis. *Turk J Pediatr*. 2021; 63(5): 811–7. DOI: 10.24953/turkjpeds.2021.05.009.
23. Casals A.J., Spaeder M.C. Association of early postoperative regional oxygen saturation measures and development of necrotizing enterocolitis in neonates following cardiac surgery. *Pediatr Cardiol*. 2023. DOI: 10.1007/s00246-023-03117-w.
24. DeWitt A.G. et al. Splanchnic near-infrared spectroscopy and risk of necrotizing enterocolitis after neonatal heart surgery. *Pediatr Cardiol*. 2014; 35(7): 286–94.
25. Neu J. *Gastroenterology and nutrition: neonatology questions and controversies*. 2nd ed. Philadelphia: Elsevier; Saunders. 2012: 361.
26. Dodge-Khatami J., Gottschalk U., Eulenburg C. et al. Prognostic value of perioperative near-infrared spectroscopy during neonatal and infant congenital heart surgery for adverse in-hospital clinical events. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*. 2012; 3: 221–8. DOI: 10.1177/2150135111426298.
27. Harer M.W., Chock V.Y. Renal tissue oxygenation monitoring—an opportunity to improve kidney outcomes in the vulnerable neonatal population. *Front Pediatr*. 2020; 8: 241. DOI: 10.3389/fped.2020.00241.
28. Greisen G., Leung T., Wolf M. Has the time come to use near-infrared spectroscopy as a routine clinical tool in preterm infants undergoing intensive care? *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. 2011; 369(1955): 4440–51. DOI: 10.1098/rsta.2011.0261.
29. McNeill S., Gatenby J.C., McElroy S., Engelhardt B. Normal cerebral, renal and abdominal regional oxygen saturations using near-infrared spectroscopy in preterm infants. *J Perinatol*. 2011; 31: 51–7. DOI: 10.1038/jp.2010.71.
30. Richter A.E., Schat T.E., Van Braeckel K.N. et al. The effect of maternal antihypertensive drugs on the cerebral, renal and splanchnic tissue oxygen extraction of preterm neonates. *Neonatology*. 2016; 110(3): 163–71. DOI: 10.1159/000445283.