



ИЗМЕНЕНИЕ ОКСИГЕНАЦИИ МОЗГА В ЦИКЛЕ СНА У ЗДОРОВЫХ ДОНОШЕННЫХ НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ

© И.И. Евсюкова, Н.А. Зверева, Н.Г. Гурьева, Т.А. Величко

ФГБНУ «НИИ акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д.О. Отта», Санкт-Петербург

Для цитирования: Евсюкова И.И., Зверева Н.А., Гурьева Н.Г., Величко Т.А. Изменение оксигенации мозга в цикле сна у здоровых доношенных новорожденных детей // Педиатр. – 2019. – Т. 10. – № 6. – С. 5–11. <https://doi.org/10.17816/PED1065-11>

Поступила: 17.10.2019

Одобрена: 18.11.2019

Принята к печати: 23.12.2019

Неинвазивный мониторинг оксигенации мозга с помощью параинфракрасной спектроскопии находит все большее применение в неонатологии с целью своевременной коррекции гипо- или гипероксии при реанимации новорожденных, но его внедрение в практику для диагностики и прогноза перинатальной патологии ограничено в связи с наличием противоречивых данных о референтных значениях нормы у детей различного гестационного возраста. Цель исследования – изучить показатели церебральной оксиметрии в цикле сна у здоровых доношенных новорожденных детей. В исследовании участвовали 38 детей, из которых 22 родились естественным путем (I группа), а 16 путем операции планового кесарева сечения (II группа). Синхронно с электрополиграммой сна регистрировали церебральную оксиметрию (CrSO₂) (Somanetics INVOS 5100C) одновременно с мониторингом пульсоксиметрии – SaO₂ (пульсоксиметр Radical «Masimo»). Фракционную тканевую экстракцию кислорода (ФТОЭ) вычисляли по формуле (FTOE = (SaO₂ – CrSO₂)/SaO₂), усредняя показатели у каждого ребенка за 15 мин длительности типичной электрополиграммы спокойной (NREM) и активной (REM) фаз первого цикла сна после кормления. Результаты исследований показали, что сатурация кислорода в ткани мозга изменяется в зависимости от функционального состояния центральной нервной системы и составляет в фазе NREM сна 81,93 ± 1,74 %, тогда как в фазе REM сна 74,18 ± 0,75 % ($p < 0,001$), как во время активного бодрствования – 75,6 ± 1,0 %. ФТОЭ в период REM-сна 0,221 ± 0,008 % против 0,129 ± 0,005 % во время NREM-фазы ($p < 0,001$), что указывает на значительный рост потребления кислорода в период эндогенной активации нейрональных структур и метаболизма, возникающих в REM-сне. Различия показателей между группами отсутствовали. Высокое потребление кислорода во время REM-сна указывает на его важную роль в развитии мозга в раннем онтогенезе. Оценка показателей церебральной оксиметрии с учетом структуры сна позволит с новых позиций использовать метод в клинической практике для диагностики и прогноза перинатального поражения центральной нервной системы.

Ключевые слова: новорожденные; церебральная оксиметрия; сон; бодрствование.

THE FEATURE OF BRAIN OXYGENATION IN THE SLEEP CYCLE OF HEALTHY NEWBORN BABIES

© I.I. Evsyukova, N.A. Zvereva, N.G. Gurieva, T.A. Velichko

Research Institute of Obstetrics, Gynecology, and Reproductology named after D.O. Ott, Saint Petersburg, Russia

For citation: Evsyukova II, Zvereva NA, Gurieva NG, Velichko TA. The feature of brain oxygenation in the sleep cycle of healthy newborn babies. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2019;10(6):5-11. <https://doi.org/10.17816/PED1065-11>

Received: 17.10.2019

Revised: 18.11.2019

Accepted: 23.12.2019

Noninvasive monitoring brain oxygenation with near-infrared spectroscopy (NIRS) is becoming a widely used in neonatology for determine the optimal target oxygen saturation during resuscitation of newborns, but it's use in clinical practice for diagnostics and prognosis perinatal pathology is limited because intra and especially interpatient variability are too large for this aim. This study aimed to determine cerebral oximetry values during the sleep cycle and wakefulness in healthy full term newborns. 38 newborns (gestational age 38 weeks were included in this study (22 after normal birth – I group and 16 after cesarean section). Near-infrared spectroscopy (CrSO₂) from left frontoparietal region was recorded in synchrony with polysomnography. Continuous cerebral CrSO₂ were measured using near-infrared spectroscopy (Somanetic INVOS 5100C, USA). Fraction tissue oxygen extraction (FTOE) was calculated using SaO₂ (pulse oximeter Radical “Masimo”) and CrSO₂ (FTOE = (SaO₂ – CrSO₂)/SaO₂). CrSO₂ and SaO₂ were analyzed

during 15 minutes polysomnography-defined quiet, active sleep and wakefulness (defined according to standard guidelines). The results: cerebral oxygen saturation varies with sleep-wake states: during active sleep ($74,18 \pm 0,75\%$) was similar to the value in wakefulness ($75,6 \pm 1,0\%$) and smaller than in quiet sleep ($81,93 \pm 1,74\%$, $p < 0,001$), but FTOE during active sleep was significantly higher ($0,221 \pm 0,008\%$ and $0,129 \pm 0,005\%$, $p < 0,001$). There were no differences of rates between groups. The high oxygen consumption during REM sleep supports its role during postnatal brain functional development. The use of NIRS taking into account sleep structure will be new method for diagnostic and prognosis perinatal pathology CNS.

Keywords: newborns; cerebral oximetry; sleep; wakefulness.

ВВЕДЕНИЕ

Неинвазивный мониторинг оксигенации мозга с помощью параинфракрасной спектроскопии (NIRS, Near-Infrared Spectroscopy) в последние годы находит все большее применение в неонатологии с целью своевременной коррекции гипоксии или гипероксии при реанимации и критических состояниях новорожденных в палате интенсивной терапии [2, 3, 25], а также для оценки последствий гипоксии, перенесенной в период внутриутробного развития и рождения [9–11].

В основе церебральной оксиметрии лежит принцип оптической спектроскопии с применением инфракрасного света с диапазоном от 650 до 1000 нм, который, проникая в ткань, избирательно поглощается оксигемоглобином (HbO_2), дезоксигемоглобином (Hb), цитохром-С оксидазой и другими хромофорами [24]. Поскольку содержание оксигемоглобина в мозговой ткани в десятки раз превосходит содержание других хромофоров, то данный метод позволяет оценивать главным образом насыщение гемоглобина кислородом в сосудистой системе исследуемой области мозга, где 85 % составляют вены, 10 % — артерии и 5 % — капилляры. Следовательно, NIRS отражает локальное насыщение кислородом (CrSO_2) как динамический баланс между доставкой и потреблением кислорода мозговой тканью. Для вычисления количества кислорода, поглощаемого тканью мозга, предложена формула «фракционной тканевой экстракции кислорода» (FTOE, Fractional Cerebral Tissue Oxygen Extraction), по величине которой можно косвенно судить о степени активации нейрональных структур [29, 35]. Анализируя уже имеющиеся результаты церебральной оксиметрии, авторы указывают на значительные не только индивидуальные колебания показателей, но и в процессе мониторинга у каждого отдельного ребенка, что ограничивает внедрение метода в практику [14, 37]. Следует отметить, что оценка показателей оксиметрии проводилась без учета функционального состояния новорожденного в момент исследования [13, 20]. Однако известно, что становление биоэлектрической активности мозга, механизмов регуляции системного и мозго-

вого кровообращения, дыхания, ритма сердечной деятельности и других жизненно важных функций плода и новорожденного тесно связано с формированием в раннем онтогенезе циклической организации сна [1]. Цикл покой–активность, являющийся гомологом цикла ортодоксальный–парадоксальный сон у взрослого человека, имеет количественные и качественные особенности, четко очерченные для каждого срока внутриутробного развития [8]. Следовательно, разработка критериев нормы показателей церебральной оксиметрии в совокупности с данными, характеризующими состояние функциональных систем организма новорожденного, должна проводиться с учетом циклической организации сна.

Цель исследования — изучить показатели церебральной оксиметрии в цикле сна и во время бодрствования у здоровых доношенных новорожденных детей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Церебральная оксиметрия в сочетании с электрополиграммой сна проведена через $12,8 \pm 2,7$ ч после рождения у 38 здоровых доношенных новорожденных детей, которые в зависимости от способа рождения были разделены на две группы. Первую группу составили 22 ребенка, родившиеся естественным путем, их гестационный возраст — $39,4 \pm 0,7$ нед., масса тела — $3473,6 \pm 269,6$ г, рост — $51,8 \pm 1,6$ см, оценка по шкале Апгар на 1-й и 5-й мин после рождения составила 8/9 баллов. Во вторую группу вошли 16 детей, извлеченных с помощью операции планового кесарева сечения в связи с наличием у беременной несостоятельности рубца на матке после предыдущих операций или поперечного положения плода (2 случая). Гестационный возраст детей — $38,4 \pm 0,3$ нед., масса тела — $3381,4 \pm 285,6$ г, рост — $51,0 \pm 1,2$ см, оценка по шкале Апгар на 1-й и 5-й мин после рождения — 8/9 баллов. Матери обеих групп детей были здоровы, беременности протекали без осложнений, гистологическое исследование плацент не выявило отклонений от нормы. Клиническое состояние новорожденных было удовлетворительным в момент исследования и в последующие дни жизни. Максимальная убыль массы

тела на 2–3-й день жизни составила 3–4 %, все дети получали грудное вскармливание и были выписаны на 4–5-й день жизни.

Электрополиграфическое исследование включало одновременную регистрацию электроэнцефалограммы (биполярные лобно-теменные, теменно-затылочные и межтеменные отведения), электрокардиограммы во втором стандартном отведении, электроокулограммы дыхательной и двигательной активности ребенка. Продолжительность регистрации 1,5–2 ч. Для записи электрополиграммы использовали электроэнцефалограф фирмы Мицар (Россия). Проводили количественный и качественный анализ электрополиграммы сна согласно общепринятой методике, выделяя ортодоксальную фазу — спокойный (NREM, Non-Rapid Eye Movement) сон и парадоксальную — активный (REM, Rapid Eye Movement) сон. Циклом сна считали время от начала первой до начала второй ортодоксальной фазы.

Церебральную оксиметрию (CrSO₂) проводили синхронно с электрополиграфией с помощью датчика в левой лобной зоне и системы инфракрасной спектроскопии (Somanetics INVOS5100C, Troy, MI) с показаниями каждые 5 с и одновременным мониторингом пульсоксиметрии — SaO₂, режим усреднения 10 с (Radical-7 Masimo, США). Фракционную тканевую экстракцию кислорода (ФТОЭ) вычисляли по формуле (FТОЭ = (SaO₂ – CrSO₂) / SaO₂), усредняя показатели у каждого ребенка за 15 мин длительности типичной электрополиграфической картины бодрствования, ортодоксальной (NREM) и парадоксальной (REM) фаз первого цикла сна после кормления и засыпания новорожденного.

Кроме того, оценивали функциональное состояние эритроцитов с помощью метода малоуглового свето-

рассеяния, который основан на свойствах эритроцитов увеличивать свой объем и гемолизировать при помещении в аммонийную среду (140 ммоль/л NH₄Cl, 5 ммоль/л KCl, 5 ммоль/л HEPES, 5 ммоль/л глюкозы, 1 ммоль/л CaCl₂). Регистрацию эритрограммы осуществляли с помощью лазерного анализатора ЛАСКА (ООО «БиоМедСистем», Санкт-Петербург). Эритрограмма позволяет определить количество эритроцитов, способных к деформации и оптимальной отдаче кислорода в микроциркуляторном русле. Для регистрации эритрограммы забор капиллярной крови в количестве 50 мкл осуществляли за 30–60 мин до начала регистрации сна. Одновременно исследовали в капиллярной крови содержание гемоглобина (Hb) и гематокрит (Ht).

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием метода анализа средних тенденций и количественных различий. Вычисляли среднюю арифметическую величину (*M*), среднее квадратичное отклонение (*σ*) и среднюю ошибку средней величины (*m*). Для оценки достоверности полученных результатов использовали *t*-критерий Стьюдента. Обработку материала выполняли с использованием пакета программ статистического анализа Statistica for Windows v. 6,0. За достоверность различий принимали уровень *p* ≤ 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что у здоровых доношенных новорожденных детей сатурация кислорода в ткани мозга изменяется в зависимости от функционального состояния центральной нервной системы (см. таблицу). Видно, что максимальная сатурация кислорода и минимальная ФТОЭ наблюдаются во время ортодоксальной фазы сна, когда

Показатели церебральной оксиметрии (%) во время сна и активного бодрствования у здоровых доношенных новорожденных детей

The parameters of cerebral oximetry (%) during sleep and active wakefulness in health newborns infants

Показатели (фазы сна, бодрствование) / Indices Dream phases, wakefulness	I группа / group I		II группа / group II		<i>p</i>
	CrSO ₂	ФТОЭ / FTOE	CrSO ₂	ФТОЭ / FTOE	
Ортодоксальная / Ortodoxical sleep (NREM)	82,93 ± 1,08	0,126 ± 0,006	80,87 ± 0,99	0,132 ± 0,010	>0,1
Парадоксальная / Paradoxical sleep (REM)	74,32 ± 1,14	0,227 ± 0,012	74,02 ± 0,92	0,208 ± 0,010	>0,1
Активное бодрствование (АБ) / Active wakefulness (AW)	73,57 ± 2,11	0,218 ± 0,010	77,74 ± 1,92	0,214 ± 0,012	>0,1
<i>p</i> ₁	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–
<i>p</i> ₂	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	–
<i>p</i> ₃	>0,1	>0,1	>0,1	>0,1	–

Примечание. CrSO₂ — церебральная сатурация кислорода, ФТОЭ — фракционная тканевая экстракция кислорода. Достоверность различий показателей: *p* — между группами, *p*₁ — между показателями NREM и REM сна, *p*₂ — NREM и АБ, *p*₃ — REM и АБ. Note. CrSO₂ – cerebral oxygen saturation, FTOE – fractional oxygen extraction. The authenticity differences: *p* – between groups, *p*₁ – between parameters of NREM and REM sleep, *p*₂ – NREM и AW, *p*₃ – REM и AW.

на электроэнцефалограмме регистрируется периодическая генерализованная высокоамплитудная (80–100 мкВ) медленная (1–3 кол/с) биоэлектрическая активность и ритмические колебания с частотой 6–8 в секунду, что сочетается с регулярным дыханием и стабильным сердечным ритмом, отсутствием движений глазных яблок и двигательной активности. С наступлением парадоксальной фазы сна происходит десинхронизация электроэнцефалограммы, возникают сгруппированные быстрые движения глазных яблок, нерегулярные по частоте и амплитуде дыхательные движения, появляются мимические и обобщенные двигательные реакции, при этом значительно снижается сатурация кислорода и возрастает ФТОЭ до уровней, характерных для бодрствования. Поскольку у всех обследованных детей практически одинаковым было количество эритроцитов с оптимальной активностью ($60,1 \pm 1,2\%$), уровень гематокрита ($52,6 \pm 2,0\%$) и гемоглобина ($187,5 \pm 5,4$ г/л), полученные различия отражают изменение потребления кислорода тканью мозга в зависимости от функционального состояния нейрональных структур. Следует отметить отсутствие различий показателей церебральной оксиметрии у родившихся естественным путем и извлеченных с помощью операции кесарева сечения. Поэтому, объединив данные церебральной оксиметрии у детей обеих групп, мы впервые установили, что у здоровых доношенных детей в первые сутки жизни сатурация кислорода (CrSO_2) в левой лобно-теменной зоне мозга в ортодоксальной и парадоксальной фазах сна составляет соответственно $81,93 \pm 1,74\%$ и $74,18 \pm 0,75\%$, ФТОЭ — $0,129 \pm 0,005\%$ и $0,221 \pm 0,008\%$. Во время активного бодрствования показатели такие же, как в парадоксальной фазе сна.

Имеющиеся в литературе сведения в основном касаются становления церебральной оксигенации у доношенных детей в первые минуты после рождения [17, 26, 30, 34], показатели мониторинга церебральной оксиметрии в первые дни жизни противоречивы. Так, одни авторы свидетельствуют, что CrSO_2 и ФТОЭ у доношенных детей составляют соответственно $83,0 \pm 7,7\%$ и $0,14 \pm 0,08\%$, не отличаются от таковых у недоношенных и коррелируют с уровнем глюкозы в крови [20]. Другие указывают, что у здоровых доношенных детей в первые сутки жизни CrSO_2 равна $62,0 \pm 2,0\%$ и не изменяется в последующие 5 дней жизни [38]. По данным В.В. Эстрина и др. [5], норма насыщения кислородом мозговой ткани здоровых новорожденных в левом полушарии головного мозга $79,2 \pm 4,06\%$, а в правом — $89,0 \pm 5,1\%$ в 1, 3, 5-е сутки жизни. В то же время ряд исследователей подчеркивают,

что самые высокие показатели CrSO_2 и самые низкие ФТОЭ наблюдаются у родившихся на 30–33-й неделе беременности, а по мере увеличения гестационного возраста ребенка церебральная сатурация кислорода снижается, ФТОЭ возрастает, достигая максимума к 38–39-й неделе [31]. При этом церебральная оксигенация у недоношенных и здоровых доношенных детей в раннем постнатальном периоде жизни не имеет региональных различий [36] и не зависит от способа рождения ребенка [7, 32]. Подчеркивая ценность церебральной оксиметрии для своевременного выявления у новорожденного гипоксии-ишемии и прогноза неблагоприятных последствий, авторы рассматривают необходимость одновременной регистрации электроэнцефалограммы [6]. Результаты наших предыдущих исследований показали, что индикатором тяжести и обратимости повреждений центральной нервной системы новорожденного является количественная и качественная характеристика циклической организации сна, поскольку процесс ее формирования тесно связан с морфологическим, биохимическим и функциональным развитием мозга [2]. Известно, что REM-сон является не только индикатором степени зрелости мозговых структур, но и стимулятором их дальнейшего развития, формирования нейронных сетей и кортикальной пластичности [8, 15, 21, 23]. Запись у взрослых людей функциональной магнитно-резонансной томограммы одновременно с полисомнограммой выявила во время парадоксального сна эндогенные активации многочисленных структур мозга и появление их даже в зрительной коре [22]. Клинические и экспериментальные исследования показали, что церебральный метаболизм как у взрослых, так и у новорожденных значительно возрастает во время парадоксального сна и его уровень сопоставим с таковым во время бодрствования [16, 19]. Скорость поглощения кислорода мозговой тканью в REM-сне подобна таковой во время бодрствования и значительно выше, чем во время NREM-сна [18, 28]. По мнению авторов, эндогенная активация нейрональных структур во время REM-сна обеспечивает развитие мозга так же, как и экзогенные сенсорные воздействия во время бодрствования [27]. Установлено, что у доношенных новорожденных детей с наступлением фазы REM-сна возрастают величина и скорость пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга, увеличиваются количество крови в мозге и интенсивность мозгового кровотока независимо от колебаний системного артериального давления [4, 12]. В генезе особенностей мозгового кровотока существенную роль играет изменение тонуса внутримозговых артерий мелкого калибра

в результате формирования нейроваскулярных связей [16, 33]. Это обеспечивает повышенное поглощение кислорода при возрастании нейрональной активности, что, по нашим данным, выражается в увеличении ФТОЭ более чем в 2 раза по сравнению с таковой в ортодоксальной фазе сна. Следовательно, использование данного показателя с учетом фаз сна дает возможность получения ценной информации для диагностики перинатального поражения центральной нервной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, системный подход к оценке показателей церебральной оксиметрии с учетом функционального состояния головного мозга (ортодоксальный, парадоксальный сон) и степени зрелости механизмов ауторегуляции мозгового кровообращения позволит с новых позиций использовать метод в клинической практике для диагностики у новорожденных детей степени тяжести перинатального поражения мозга и оценки эффективности проведенной терапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евсюкова И.И. Формирование механизмов регуляции ритма сердечной деятельности и дыхания в цикле сна у новорожденных при различных условиях внутриутробного развития: Дис. ... д-ра мед. наук. Л., 1983. [Evsyukova II. Formirovanie mekhanizmov regulyacii ritma serdeshnoi deyatel'nosti i dyhaniya v cikle sna u novorozhdennykh pri razlzhnykh usloviyach vnutriutrobnogo razvitiya. [dissertation] Leningrad; 1983. (In Russ)].
2. Евсюкова И.И. Церебральная оксиметрия в неонатологии // Педиатр. 2017. – Т. 8. – № 4. – С. 86–91. [Evsyukova II. Cerebral oximetry in neonatology. *Pediatr.* 2017;8(4):86-91. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PED8486-91>.
3. Симонова А.В. Клинико-диагностическое значение транскраниальной церебральной оксиметрии в оптимизации параметров искусственной вентиляции лёгких у новорожденных с дыхательными расстройствами: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Ростов н/Д, 2016. [Simonova AV. Kliniko-diagnosticheskoe znachenie transkranialnoi cerebralnoi oximetrii v optimizacii parametrov iskusstvennoi ventilacii legkix u novorozhdennykh s dychatelnymi rasstroistvami. [dissertation] Rostov-na-Donu; 2016. (in Russ.)].
4. Шевченко О.Т. Состояние мозгового кровообращения в цикле сна у здоровых и перенесших гипоксию новорожденных детей: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Л., 1986. [Shevchenko OT. Sostoyanie mozgovogo krovoobrasheniya v cycle sna u zdorovykh i pereneschich gipoksiyu novorozhdennykh detei. [dissertation] Leningrad; 1986. (in Russ.)].
5. Эстрин В.В., Симонова А.В., Каушанская Е.Я. Транскраниальная церебральная оксиметрия у здоровых новорожденных // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2011. – Т. 5. – № 3. – С. 29–32. [Estrin VV, Simonova AV, Kaushanskaya EYa. Transcranial cerebral oximetry in healthy newborn infants. *Rossijskiy vestnik perinatologii i pediatrii.* 2011;5(3):29-32. (In Russ)].
6. Biallas M, Trajkovic I, Haggmann C, et al. Multimodal recording of brain activity in term newborns during photic stimulation by near-infrared spectroscopy and electroencephalography. *J Biomed Opt.* 2012;17(8):086011-086011. doi: 10.1117/1.JBO.17.8.086011
7. Dani C, Martelli E, Bertini G, et al. Haemodynamic changes in the brain after vaginal delivery and caesarean section in healthy term infants. *Br. J Obstet. Gynaecol.* 2002;109(2):202-6. PMID:11888103
8. Dereymaeker A, Pillay K, Vervisch J, et al. Review of sleep-EEG in preterm and term neonates. *Early Hum Dev.* 2017;113:87-103. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2017.07.003.
9. Elser HE, Holditch-Davis D, Brandon DH. Cerebral Oxygenation Monitoring: A Strategy to Detect IVH and PVL. *Newborn Infant Nurs Rev.* 2011;11(3):153-159. doi: 10.1053/j.nainr.2011.07.007.
10. Goeral K, Urlesberger B, Giordano V, et al. Prediction of Outcome in Neonates with Hypoxic-Ischemic Encephalopathy II: Role of Amplitude-Integrated Electroencephalography and Cerebral Oxygen Saturation Measured by Near-Infrared Spectroscopy. *Neonatology.* 2017;112(3):193-202. doi: 10.1159/000468976.
11. Goff DA, Buckley EM, Durduran T, et al. Noninvasive cerebral perfusion imaging in high-risk neonates. *Semin Perinatol.* 2010;34(1):46-56. doi: 10.1053/j.semperi.2009.10.005.
12. Greisen G. Autoregulation of cerebral blood flow in newborn babies. *Early Hum Dev.* 2005;81(5):423-428. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2005.03.005.
13. Grometto A, Pizzo B, Strozzi MC, et al. Cerebral NIRS patterns in late preterm and very preterm infants becoming late preterm. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2019;32(7):1124-1129. doi: 10.1080/14767058.2017.1401605
14. Gumulak R, Lucanova LC, Zibolen M. Use of near-infrared spectroscopy (NIRS) in cerebral tissue oxygenation monitoring in neonates. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub.* 2017;161(2):128-133. doi: 10.5507/bp.2017.012.
15. Jenni OG, Borbely AA, Achermann P. Development of the nocturnal sleep electroencephalogram in human infants. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2004;286(3):R528-538. doi: 10.1152/ajp-regu.00503.2003.
16. Kozberg M, Hillman E. Neurovascular coupling and energy metabolism in the developing brain.

- Prog Brain Res.* 2016;225:213-242. doi: 10.1016/bs.pbr.2016.02.002.
17. Kratky E, Pichler G, Rehak T, et al. Regional cerebral oxygen saturation in newborn infants in the first 15 min of life after vaginal delivery. *Physiol Meas.* 2012;33(1): 95-102. doi: 10.1088/0967-3334/33/1/95.
 18. Liu P, Chalak LF, Lu H. Non-invasive assessment of neonatal brain oxygen metabolism: A review of newly available techniques. *Early Hum Dev.* 2014;90(10):695-701. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2014.06.009.
 19. Madsen PL, Vorstrup S. Cerebral blood flow and metabolism during sleep. *Cerebrovasc Brain Metab Rev.* 1991;3(4):281-96. PMID: 1772738.
 20. Matterberger C, Baik-Schneditz N, Schwaberg B, et al. Blood Glucose and Cerebral Tissue Oxygenation Immediately after Birth-An Observational Study. *J Pediatr.* 2018;200:19-23. doi: 10.1016/j.jpeds.2018.05.008.
 21. Mirmiran M. The function of fetal/neonatal rapid eye movement sleep. *Behavioural Brain Research.* 1995;69(1-2): 13-22. doi: 10.1016/0166-4328(95)00019-p.
 22. Miyauchi S, Misaki M, Kan S, et al. Human brain activity time-locked to rapid eye movements during REM sleep. *Exp Brain Res.* 2009;192(4):657-667. doi: 10.1007/s00221-008-1579-2.
 23. Näsi T, Virtanen J, Nojonen T, et al. Spontaneous hemodynamic oscillations during human sleep and sleep stage transitions characterized with near-infrared spectroscopy. *PLoS One.* 2011;6(10):e25415. doi: 10.1371/journal.pone.0025415.
 24. Pellicer A, Bravo Mdel C. Near-infrared spectroscopy: a methodology-focused review. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2011;16(1):42-49. doi: 10.1016/j.siny.2010.05.003.
 25. Peng S, Boudes E, Tan X, et al. Does near-infrared spectroscopy identify asphyxiated newborns at risk of developing brain injury during hypothermia treatment? *Am J Perinatol.* 2015;32(6):555-564. doi: 10.1055/s-0034-1396692.
 26. Pichler G, Binder C, Avian A, et al. Reference ranges for regional cerebral tissue oxygen saturation and fractional oxygen extraction in neonates during immediate transition after birth. *J Pediatr.* 2013;163(6): 1558-1563. doi: 10.1016/j.jpeds.2013.07.007.
 27. Scher MS. Ontogeny of EEG-sleep from neonatal through infancy periods. *Sleep Med.* 2008;9(6): 615-636. doi: 10.1016/j.sleep.2007.08.014.
 28. Silvani A, Asti V, Berteotti C, et al. Sleep-dependent changes in cerebral oxygen consumption in newborn lambs. *J Sleep Res.* 2006;15(2):206-211. doi: 10.1111/j.1365-2869.2006.00521.x
 29. Sood BG, McLaughlin K, Cortez J. Near-infrared spectroscopy: applications in neonates. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2015;20(3):164-172. doi: 10.1016/j.siny.2015.03.008.
 30. Tina LG, Frigiola A, Abella R, et al. Near Infrared Spectroscopy in healthy preterm and term newborns: correlation with gestational age and standard monitoring parameters. *Curr Neurovasc Res.* 2009;6(3):148-154. doi: 10.2174/156720209788970090. PMID: 19534722.
 31. Tina LG, Frigiola A, Abella R, et al. S100B protein and near infrared spectroscopy in preterm and term newborns. *Front Biosci (Elite Ed).* 2010;2:159-164. doi: 10.2741/e78. PMID: 20036866.
 32. Urlesberger B, Kratky E, Rehak T, et al. Regional oxygen saturation of the brain during birth transition of term infants: comparison between elective cesarean and vaginal deliveries. *J Pediatr.* 2011;159(3):404-408. doi: 10.1016/j.jpeds.2011.02.030.
 33. Verma PK, Panerai RB, Rennie JM, Evans DH. Grading of cerebral autoregulation in preterm and term neonates. *Pediatric Neurology.* 2000;23(3):236-242. doi: 10.1016/s0887-8994(00)00184-3.
 34. Watanabe T, Ito M, Miyake F, et al. Measurement of brain tissue oxygen saturation in term infants using a new portable near-infrared spectroscopy device. *Pediatr Int.* 2017;59(2):167-170. doi: 10.1111/ped.13099.
 35. Weindling AM. Peripheral oxygenation and management in the perinatal period. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2010;15(4):208-215. doi: 10.1016/j.siny.2010.03.005.
 36. Wijbenga RG, Lemmers PMA, van Bel F. Cerebral Oxygenation During the First Days of Life in Preterm and Term Neonates: Differences Between Different Brain Regions. *Pediatric Research.* 2011;70(4):389-394. doi: 10.1203/PDR.0b013e31822a36db.
 37. Wolf M, Greisen G. Advances in Near-Infrared Spectroscopy to Study the Brain of the Preterm and Term Neonate. *Clinics in Perinatology.* 2009;36(4):807-834. doi: 10.1016/j.clp.2009.07.007.
 38. Zhou CL, Li YF, Zhang JJ, et al. Measurement of brain regional oxygen saturation in neonates in China: a multicenter randomized clinical trial. *Zhonghua Er Ke Za Zhi.* 2009; 47(7):517-22. PMID: 19951514.

◆ Информация об авторах

Инна Ивановна Евсюкова — д-р мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник отделения физиологии и патологии новорожденных. ФГБНУ «НИИ акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д.О. Отта», Санкт-Петербург. E-mail: eevs@yandex.ru.

◆ Information about the authors

Inna I. Evsyukova — MD, PhD, Dr Med Sci, Professor, Chief Scientific Worker of the Department of Physiology and Pathology of Newborns. The Research Institute of Obstetrics, Gynecology and Reproductology named after D.O. Ott, Saint Petersburg, Russia. E-mail: eevs@yandex.ru.

◆ Информация об авторах

Наталья Александровна Зверева – аспирант отделения физиологии и патологии новорожденных. ФГБНУ «НИИ акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д.О. Отта», Санкт-Петербург. E-mail: tata-83@bk.ru.

Наталья Георгиевна Гурьева – аспирант отделения физиологии и патологии новорожденных. ФГБНУ «НИИ акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д.О. Отта», Санкт-Петербург. E-mail: angneuro@yandex.ru.

Татьяна Александровна Величко – врач отделения физиологии и патологии новорожденных. ФГБНУ «НИИ акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д.О. Отта», Санкт-Петербург. E-mail: tatianaalvel959@gmail.com.

◆ Information about the authors

Natalia A. Zvereva – Post-graduate Student of the Department of Physiology and Pathology of Newborns. The Research Institute of Obstetrics, Gynecology and Reproductology named after D.O. Ott, Saint Petersburg, Russia. E-mail: tata-83@bk.ru.

Natalia G. Gurieva – Post-graduate Student of the Department of Physiology and Pathology of Newborns. The Research Institute of Obstetrics, Gynecology and Reproductology named after D.O. Ott, Saint Petersburg, Russia. E-mail: angneuro@yandex.ru.

Tatiana A. Velichko – Physician of the Department of Physiology and Pathology of Newborns. The Research Institute of Obstetrics, Gynecology and Reproductology named after D.O. Ott, Saint Petersburg, Russia. E-mail: tatianaalvel959@gmail.com.