

### ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

*Н.А. Уракова, А.Л. Ураков*

#### **Диагностика внутриутробной гипоксии головного мозга новорожденного с помощью тепловизорной видеозаписи**

##### **Аннотация**

Предлагается документировать состояние здоровья младенца в заключительном периоде родов посредством регистрации с помощью инфракрасной термографии динамики локальной температуры кожи его головы в области проекции щели между теменными костями черепа. В норме температура кожи головы в области проекции щели равна или выше температуры кожи над костями черепа. Формирование зоны локальной гипотермии в области проекции щели черепа свидетельствует о существенном гипоксическом повреждении клеток коры головного мозга.

##### **Введение**

Внутриутробная гипоксия плода является одной из самых частых причин перинатальной заболеваемости и составляет 21...45 % в структуре всей перинатальной патологии [1], [2]. Для диагностики гипоксии плода ранее были предложены и испытаны различные способы наблюдения за его состоянием при беременности и родах [3]-[6]. Однако эта проблема все еще остается нерешенной, и акушеры до сих пор не вооружены информативной и безопасной методикой оценки степени гипоксического повреждения плода и качества акушерского пособия в потужном периоде родов [7]-[10].

Наиболее распространенным методом диагностики состояния плода в родах остается мониторинг его сердечного ритма, который осуществляется за счет выслушивания шумов и/или регистрации электрических биопотенциалов сердца [1]. Шумы сердца выслушиваются при аускультации, проводимой с помощью стетоскопа и/или ручного доплеровского прибора, либо при ультразвуковом исследовании, проводимом с помощью ультразвукового прибора и соответствующих доплеровских датчиков [8]. Электрические биопотенциалы сердца плода регистрируются при электрокардиографии, проводимой с помощью электрокардиографа и соответствующих датчиков [11].

Однако в потужном периоде родов информативность указанных методов существенно снижается из-за физиологических помех, которые возникают вследствие неожиданных изменений функционального состояния тела матери и плода. Дело в том, что при потугах беременные женщины «из последних сил» тужатся и громко кричат,

скелетные мышцы различных участков их тела максимально сокращаются и испускают электрические биопотенциалы, а тело плода периодически изменяет свое положение в родовых путях [8], [12]. Все это искажает звуковые и электрические волны, идущие от тела беременной женщины и плода, снижает точность их регистрации и вынуждает многократно менять расположение соответствующих датчиков.

Другим распространенным методом оценки состояния здоровья плода в родах является оценка состояния амниотической жидкости [1], [8]. В основе данного метода лежат изменения прозрачности и цветности амниотической жидкости, происходящие вследствие того, что при тяжелой степени гипоксии плод испражняется в эту жидкость. Состояние околоплодных вод исследуется с помощью амниоскопа или на глаз после вскрытия оболочек плодного пузыря. Однако появление мекония в амниотической жидкости и изменение ее прозрачности и цветности в самом начале родов происходят очень редко и являются исключением из правила, поэтому относятся к редким клиническим случаям [11], а обнаружение мекониальных околоплодных вод после рождения младенца является запоздалым диагностическим симптомом. Поэтому данный метод недостаточно информативен и имеет узкую сферу применения.

В то же время гипоксия плода опасна не только для его сердца, но и для всего организма. Причем головной мозг плода нуждается в кислороде больше, чем его сердце [13]-[15], а состояние клеток коры головного мозга плода в родах определяет в будущем умственные способности ребенка [16]-[18]. Поэтому адекватная обеспеченность клеток коры головного мозга плода кислородом и

артериальной кровью во время родов является важнейшим доказательством высокого качества акушерского пособия [1], [7], [8], [11].

Для решения аналогичной задачи у взрослых при геморрагическом шоке ранее было предложено применять регистрацию динамики локальной температуры подушечек пальцев рук методом инфракрасной термографии с помощью тепловизора [19]. Однако этот метод неприменим в родах, поскольку руки плода остаются в родовых путях дольше, чем голова и туловище, и недоступны для диагностики [12], [17]. В то же время вместо рук можно исследовать голову. Дело в том, что теплопродукция во всех частях тела плода и, особенно в головном мозге, связана с артериальным кровоснабжением и интенсивностью аэробного метаболизма [20]-[22]. Это дает надежду на диагностическую ценность динамики локальной температуры головы плода в потужном периоде родов [9]-[11]. Однако документальный мониторинг температуры в родовом зале и тепловизионная видеозапись всего процесса рождения плода ранее не предлагались как документы о состоянии его здоровья в родах [1], [8], [11], [23].

### **Цель исследования**

Разработка методики лучевой диагностики и цифрового документирования состояния здоровья плода в родах.

### **Материалы и методы исследования**

Внезапная внутриутробная гипоксия плода может возникнуть, вероятнее всего, при преждевременной отслойке плаценты и слабости родовой деятельности в завершающем периоде родов. Дело в том, что в этот период физиологических родов происходят наиболее существенные усиление и удлинение схваток. Схватки возникают из-за периодических тонических сокращений гладкомышечных клеток маточной стенки, которые при этом периодически повышают давление не только в амниотической жидкости, но и в стенке матки. Поэтому гладкие мышцы матки сдавливают не только плод в околоплодных водах, но и кровеносные сосуды, расположенные в маточной стенке. Во время схваток кровь выдавливается из маточных сосудов и они пустеют. Иными словами, в потужном периоде родов матка периодически выталкивает не только плод из своей полости, но и кровь из своих кровеносных сосудов. Это неизбежно вызывает периоды ишемии плаценты и гипоксии плода.

В дополнение к этому в финальном периоде физиологических родов появляется опасность механического сдавливания пуповины. Дело в том, что в данный период физиологических родов происходит наиболее плотное соприкосновение тела плода со стенками родовых путей. По мере продвижения наружу (к выходу из родовых путей) тело плода переходит из состояния свободного плавания в амниотической жидкости в состояние «сухого» сдавливания родовыми путями, поскольку в родовых путях нет места для жидкости, и плод «вдавливается» в родовые пути, как поршень в цилиндр. В этих условиях пуповина может случайно оказаться между твердыми частями тела плода и родовых путей, что может вызвать ее механическое сдавливание и гипоксию плода.

Во время же в процессе физиологических родов плод продвигается по родовым путям чаще всего головой вперед. Поэтому именно голова плода выходит наружу первой. Причем сначала появляется теменная часть головы,

которая становится видимой и поэтому доступной для визуализации. Поскольку голова плода имеет температуру, равную температуре тела роженицы, кожа головы и волосы смочены околоплодной водой, а температура воздуха в родовом зале находится в пределах +25...+26 °С, вода с поверхности головы начинает испаряться сразу же после выхода ее из родовых путей. В результате испарения температура кожи головы снижается. При этом интенсивность охлаждения поверхности головы зависит не только от интенсивности испарения воды, но и от интенсивности доставки к коже теплой артериальной крови и от интенсивности прогревания кожи изнутри, т. е. со стороны головного мозга. Причем температура кожи над щелями черепа может в большей мере зависеть от излучения тепла в коре головного мозга, чем температура кожи над костями черепа. А поскольку теплопродукция в коре головного мозга зависит не только от доставки теплой крови, но и от доставки кислорода, динамика температуры кожи головы плода в области проекции щели между теменными костями черепа в условиях умеренного внешнего охлаждения может отражать обеспеченность клеток коры кислородом. В свою очередь, высокую безопасность и точность регистрации локальной температуры кожи головы плода в родах обеспечивает метод инфракрасной термографии с помощью тепловизора [9], [10], [12], [17]. Тепловизор обеспечивает измерение температуры бесконтактным образом с расстояния в несколько метров. Кроме того, тепловизор позволяет получать практически моментально информацию о температуре всей видимой поверхности головы плода, входящей из родовых путей наружу.

Динамика локальной температуры кожи головы плодов была проведена в потужном периоде физиологических родов на 37-41 неделях беременности у 35 рожениц, поступивших на срочные роды в родильный дом № 6 БУЗ УР «РКДЦ МЗ УР» г. Ижевска в 2012 году. Предварительно у этих беременных женщин задолго до родов в скрининговые сроки беременности было проведено ультразвуковое исследование состояния здоровья самих женщин и их плодов согласно существующим стандартам оказания медицинской помощи. УЗИ было проведено с использованием приборов экспертного класса «ALOKA SSD – ALPHA 10», «Medison SonoAce-600-C» и стандартных датчиков конвексного типа с частотой 3...7 МГц по опубликованной ранее методике [3]. При этом после получения добровольного информированного согласия у беременной женщины дополнительно к стандарту проводили оценку устойчивости ее плода к гипоксии с помощью пробы Гаускнехт [4].

Причем у 20 рожениц плоды во время беременности (на 30-32 неделях беременности) демонстрировали высокую устойчивость к внутриутробной гипоксии (значения функциональной пробы Гаускнехт составляли более 30 с), а у 15 рожениц – низкую (значения пробы Гаускнехт были менее 10 с). Кроме того, у одной роженицы имелось обвитие пуповины вокруг шеи и груди плода.

План научного исследования был ранее одобрен этическим комитетом Ижевской государственной медицинской академии с учетом принципов, изложенных в Хельсинской декларации [24].

Инфракрасная термометрия осуществлялась с использованием тепловизора марки ТН91ХХ (NEC, США). Температура окружающей среды в родильном зале находилась в пределах +24...+26 °С. Температура экрана тепловизора была установлена в диапазоне +26...+36 °С. До

начала прорезывания головы плода тепловизор устанавливали на расстоянии 1,5...2,0 м от промежности роженицы напротив половой щели в таком положении, которое обеспечивало получение на его экране изображения открытой части промежности. Интересующая область оголялась для обзора. Первоначально фиксировалось инфракрасное тепловизионное изображение промежности до прорезывания головки плода. Определялась локальная температура кожи в промежности. Значения температуры поверхности в этом регионе рассматривались как исходные и базовые для последующего сравнения с температурой поверхности головы плода.

Тепловизионная видеозапись и мониторинг динамики локальной температуры кожи головы плода начинались после момента раздвигания половых губ пальцами рук акушера, открытия половой щели и появления поверхности головы плода, находящейся в ней. Определяли среднюю температуру, стандартные отклонения и распределение изотермы на пороги 34, 32, 30, 29 и 25 °С, как это принято в медицинской терминологии [19]. Дополнительно измеряли локальную температуру в отдельных точках кожи головы над щелью и теменными костями черепа [25]. Температуру кожи в исследуемых зонах рассчитывали путем усреднения температуры, измеренной в 5 соседних точках каждой зоны. Полученные данные были обработаны с помощью программного обеспечения Thermography Explorer and Image Processor.

После завершения родов все новорожденные были своевременно осмотрены профильными специалистами и получили необходимые лабораторные и клинические диагностические исследования.

Статистическую обработку результатов проводили методами вариационной статистики с помощью персонального компьютера марки LG LW65-P797 с использованием пакета прикладных программ STATISTIKA 6.0. Статистическую достоверность результатов определяли путем применения t-критерия Стьюдента для непарных выборок.

## Результаты

При разработке способа оценки здоровья плода и качества акушерского и анестезиолого-реанимационного пособия в родах мы исходили из необходимости экспресс-оценки, основанной на регистрируемых цифровых показателях, которые представляли бы собой документ, готовый к длительному хранению и многократному воспроизведению на протяжении 18 лет после родов. Предполагалось, что эту роль может выполнять видеозапись процесса рождения плода, выполненная в инфракрасном диапазоне спектра излучения тканей с помощью тепловизора и сохраненная на твердом носителе цифровой электронной информации. Исходя из того, что кора головного мозга обладает наиболее высокой интенсивнос-

тью кислородного обмена, она при достаточном снабжении кислородом и артериальной кровью способна наиболее интенсивно излучать тепло и прогревать кожу головы над щелями между костями черепа.

Проведенные нами инфракрасный мониторинг и видеозапись рождения плодов показали возможность документирования динамики теплоизлучения головы и тела плода. В частности, показано, что температура кожи головы у плодов в потужном периоде родов находится в диапазоне от +27,5 до +36,1 °С. При этом у 20 плодов, имевших во время беременности высокую устойчивость к внутриутробной гипоксии, значения температуры кожи головы в потужном периоде родов находились в диапазоне от +36,1 до +33,9 °С, а у 15 плодов с низкой устойчивостью к гипоксии – в диапазоне от +35,1 до +27,5 °С. Причем самые низкие значения температуры были выявлены у 5 плодов, перенесших гипоксию в родах и родившихся в мекониальных околоплодных водах.

Показано, что в норме голова живого плода изображается на экране тепловизора преимущественно в желто-оранжево-красных цветах, а на поверхности теменной части головы плода может выявляться участок с локальной гипертермией. Температура на этом участке может быть на 0,5..4,0 °С выше температуры окружающей поверхности головы. Этот участок имеет продолговатую форму и располагается над центральной щелью между теменными костями (фото 1).

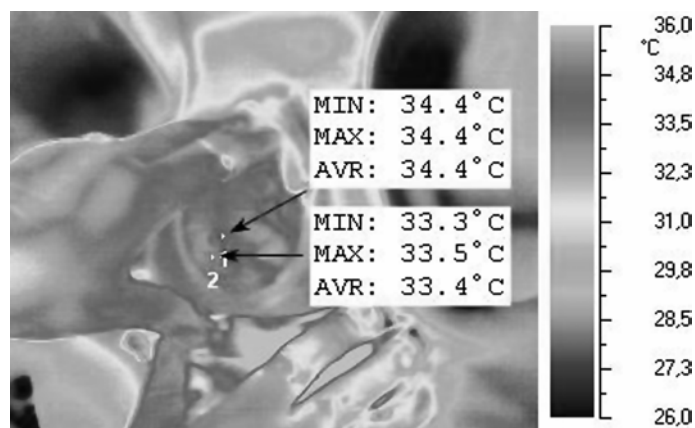


Фото 1. Инфракрасное изображение поверхности головы плода после ее прорезывания у роженицы П. с указанием температуры кожи в области проекции центральной щели (1) и теменной кости (2)

Определено, что во время родов у плодов без признаков гипоксии кожа над родничком и центральной щелью черепа в среднем на  $(2,8 \pm 0,21) ^\circ\text{C}$  ( $P \leq 0,05$ ,  $n = 20$ ) выше температуры кожи над костями черепа. Кроме того, температура кожи над большим родничком в момент прорезывания головы в группе плодов с высокой устой-

Таблица 1.

**Значения локальной температуры (°С) кожи головы в области проекции лобной кости и большого родничка в момент прорезывания головы и через 5 мин после рождения у новорожденных в норме и при перенесенной гипоксии в родах (\* достоверно при  $P < 0,05$ ,  $n = 15$  и  $n = 20$  по сравнению с температурой в области проекции лобной кости в норме)**

В момент прорезывания головы		До отрезания пуповины		Через 5 мин после рождения	
В области лобной кости	В области родничка	В области лобной кости	В области родничка	В области лобной кости	В области родничка
В группе из 20 здоровых новорожденных					
34,4 ± 0,07	34,7 ± 0,08*	33,9 ± 0,07*	34,0 ± 0,08*	34,2 ± 0,09*	34,2 ± 0,08*
В группе из 15 новорожденных с перенесенной гипоксией в родах					
34,4 ± 0,08	32,9 ± 0,10*	33,8 ± 0,09*	34,0 ± 0,07*	34,3 ± 0,09	34,3 ± 0,09

чивостью к гипоксии в среднем на  $1,5^{\circ}\text{C}$  выше, чем в группе плодов с низкой устойчивостью к гипоксии (табл. 1).

Выяснено, что у 5 плодов, перенесших тяжелую степень гипоксического повреждения и родившихся в мекониальных околоплодных водах, выявлялись кратковременные периоды с извращенной динамикой температуры кожи головы. Продолжительность этих периодов составляла от 30 до 120 с, а температура кожи над центральным швом черепа у них снижалась, формируя область локальной гипотермии (фото 2 и 3).

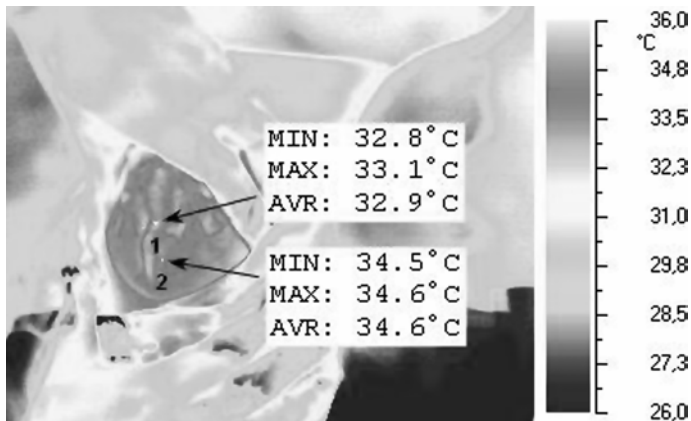
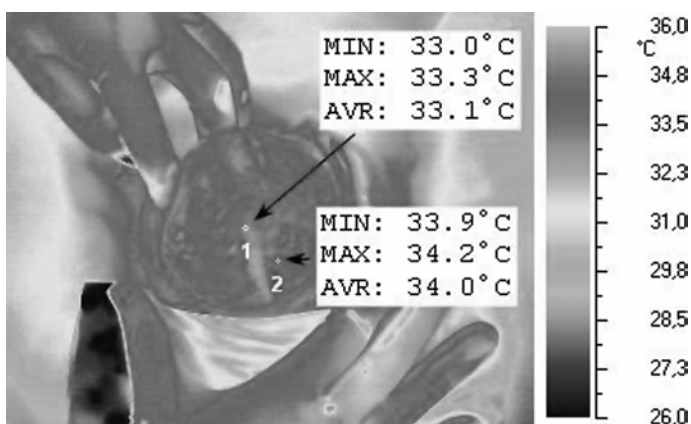


Фото 2. Инфракрасное изображение поверхности головы плода при выходе ее из родовых путей у роженицы Б. через 30 с после завершения очередной потуги и остановки плода в родовых путях с указанием температуры кожи в области проекции центральной щели (1) и теменной кости (2)

Установлено, что неподвижное нахождение этих плодов в родовых путях в периодах между потугами способствовало сохранению и углублению локальной гипотермии в коже головы над щелью, а существенное смещение (перемещение) плодов в родовых путях, достигаемое путем инициирования внеочередных потуг у рожениц, приводило через 2...3 с к повышению температуры в области локальной гипотермии и в головах плодов у всех 5 рожениц до температуры кожи соседних областей и даже выше.

Кроме того, показана высокая информативность тепловизионной видеозаписи состояния новорожденных в первые минуты после рождения. В частности, оказалось, что у новорожденных, перенесших очень глубокую гипоксию в родах, температура поверхности тела в среднем составляла  $(+32,2 \pm 0,08)^{\circ}\text{C}$  ( $P \leq 0,05$ ,  $n = 5$ ), а через



а)

б)

Фото 3. Изображение поверхности головы плода при выходе ее из родовых путей у роженицы С. через 30 с после завершения потуги и остановки плода в родовых путях в инфракрасном (а) и видимом (б) диапазонах спектра излучения с указанием значений локальной температуры кожи в области проекции центральной щели (1) и теменной кости (2)

5 мин после искусственного вентилирования их легких дыхательным газом температура их тел повысилась в среднем до  $(+34,15 \pm 0,09)^{\circ}\text{C}$  ( $P \leq 0,05$ ,  $n = 5$ ). Помимо этого, обнаружено, что у новорожденных с гипоксией в родах выявляется локальная гипотермия в подушечках пальцев рук. Локальная гипотермия подушечек пальцев рук у них сочеталась с синюшностью кожи всей поверхности тела. Кроме того, самым холодным участком тела у новорожденных оставался нос. Температура его кожи после успешной реанимации составляла в среднем  $(+30,85 \pm 0,15)^{\circ}\text{C}$  ( $P \leq 0,05$ ,  $n = 5$ ). У одного из новорожденных с помощью тепловизора была выявлена зона локальной гипотермии в области носогубного треугольника (фото 4).



Фото 4. Изображение в ИК-диапазоне спектра излучения лица новорожденного с перенесенной гипоксией в родах через 30 мин после рождения

Нами был проведен анализ состояния здоровья всех новорожденных на протяжении первой недели их жизни после рождения. Показано, что у младенцев, имевших до родов высокую устойчивость к гипоксии и не имевших в родах периодов локальной гипотермии в коже головы в области проекции щели между теменными костями, церебральная ишемия I степени была диагностирована у 1 из 20 детей. С другой стороны, у младенцев, имевших до родов низкую устойчивость к гипоксии и имевших во время родов периоды локальной гипотермии в коже головы в области проекции щели между теменными костями черепа, церебральная ишемия I или II степени была диагностирована у 5 из 15 детей. К тому же все эти 5 младенцев родились в мекониальных водах и с признаками акроцианоза.



Следовательно, инфракрасная термография кожи головы плода после ее выхода наружу из родовых путей и тепловизорная видеозапись процесса рождения плода представляют собой информативный метод мониторинга и документирования состояния здоровья младенцев и качества акушерского пособия в заключительном периоде родов.

## Заключение

В финальном периоде физиологических родов, независимо от схваток, потуг и перерывов между ними, независимо от звуковых помех, неконтролируемых электрических биопотенциалов и непредвиденных сокращений различных групп скелетных мышц роженицы, а также независимо от перемещения тела плода в родовых путях, тепловизорная видеозапись процесса рождения плода позволяет непрерывно определять и регистрировать в реальном режиме времени динамику локальной температуры поверхности видимых частей его тела; выявлять разницу уровней температуры кожи его головы над костями и щелями между ними; своевременно диагностировать появление внезапной внутриутробной гипоксии и определять ее продолжительность; оценивать своевременность и эффективность оказания акушерского и реанимационного пособия; прогнозировать вероятность развития у младенцев послеродовой энцефалопатии.

Показано, что инфракрасная термография обеспечивает непрерывную бесконтактную регистрацию динамики локальной температуры кожи головы плода, что позволяет в реальном режиме времени оценивать динамику состояния здоровья плода и качество акушерского пособия при потугах. Установлено, что при нормальном течении родов и отсутствии внутриутробной гипоксии у плода поверхность его головы в области проекции центральной щели и родничков не бывает холоднее поверхности соседних областей. Появление зоны локальной гипотермии над щелью и/или родничками черепа свидетельствует о недостаточном снабжении головного мозга артериальной кровью и кислородом, т. е. о внутриутробной гипоксии. Увеличение продолжительности наличия зоны диагностической локальной гипотермии несет угрозу гипоксического повреждения клеткам коры головного мозга и повышает вероятность развития у младенца послеродовой энцефалопатии.

Следовательно, инфракрасная термография головы плода в потужном периоде физиологических родов и тепловизорная видеозапись процесса родов представляют собой оригинальный и безопасный метод оценки состояния здоровья плода и качества акушерского пособия при потугах. Применение данного способа в финальном периоде родов позволяет своевременно и безопасно диагностировать наступление внезапной внутриутробной гипоксии плода, степень ее тяжести для коры головного мозга, корректировать акушерское пособие и оценивать его адекватность. Поэтому есть все основания полагать, что способ в ближайшее время будет принят на вооружение акушерами всего мира и позволит снизить младенческую смертность и послеродовую энцефалопатию.

Тепловизорная видеозапись и отдельные снимки плода при его рождении могут храниться в цифровом варианте в индивидуальном USB-флеш-накопителе.

### Список литературы:

1. High-risk & critical care obstetrics / Edited by N.H. Troiano, C.J. Harvey, B.F. Chez. – Philadelphia: Wolters Kluwer/ Lippincott Williams & Wilkins Health, 2013. 422 p.

2. Ураков А.Л. Дыхательная маска для внутриутробного плода (внутриматочный акваланг) и способ обеспечения газообмена в организме плода за счет искусственного дыхания (вентиляции его легких дыхательным газом) внутри матки // Успехи современного естествознания. 2012. № 10. С. 58-62.
3. Радзинский В.Е., Ураков А.Л., Уракова Н.А., Гаускнехт М.Ю. Оценка устойчивости плода к внутриутробной гипоксии в период задержки дыхания беременной женщиной // Репродуктивное здоровье. Восточная Европа. 2012. № 1. С. 119-127.
4. Уракова Н.А., Гаускнехт М.Ю. Предупрежден – значит вооружен. Гипоксия плода: новые возможности диагностики // Status praesens. Гинекология, акушерство, бесплодный брак. 2012. № 8. С. 70-73.
5. Lee S.J., Hatran D.P., Tomimatsu T., Pena J.P., McAuley G., Longo L.D. Fetal cerebral blood flow, electrocorticographic activity, and oxygenation: responses to acute hypoxia // J. Physiol. 2009. Vol. 587 (Pt 9). PP. 2033-2047.
6. Wassink G., Bennet L., Booth L.C., Jensen E.C., Wibbens B., Dean J.M. et al. The ontogeny of hemodynamic responses to prolonged umbilical cord occlusion in fetal sheep // J. Appl. Physiol. 2007. Vol. 103 (4). PP. 1311-1317.
7. Manual of obstetrics / Edited by A.T. Evans, K.R. Niswander. 6<sup>th</sup> ed. – Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2000. 600 p.
8. Intrapartum management modules: a perinatal education program / Edited by B.B. Kennedy, D.J. Ruth, E.J. Martin. 4<sup>th</sup> ed. – Philadelphia: Wolters Kluwer/ Lippincott Williams & Wilkins, 2009. 673 p.
9. Urakov A., Urakova N., Kasatkin A. Temperature of newborns as a sign of life in Russia – time to change in World? // J. Perinat. Med. 2013. Vol. 41. P. 473.
10. Urakov A., Urakova N., Dementyev V. Infrared thermography as a means to quantify the effects of intrauterine fetal hypoxia // Resuscitation. 2013. Vol. 84S. PP. S73-S74.
11. Leveno K.J., Alexander J.M., Bloom S.L., Casey B.M., Dashe J.S., Roberts S.W., Sheffield J.S. Williams manual of pregnancy complications / 23<sup>rd</sup> Edition editors. – New York: McGraw Hill Professional, 2012. 560 p.
12. Ураков А.Л., Уракова Н.А. Инфракрасная термометрия предлежащей части головы плода в потужном периоде родов как метод диагностики гипоксически-ишемических повреждений головного мозга // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6 / <http://www.science-education.ru/106-7134>.
13. Urakova N.A. Decrease of the temperature of the head of the fetus during birth as a symptom of hypoxia // Thermology International. 2013. Vol. 23. № 2. PP. 74-75.
14. Gunn A.J., Thoresen M. Hypothermic neuroprotection // NeuroRx. 2006. Vol. 3 (2). PP. 154-169.
15. George S., Gunn A.J., Westgate J.A., Brabyn C., Guan J., Bennet L. Fetal heart rate variability and brain stem injury after asphyxia in preterm fetal sheep // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2004. Vol. 287 (4). PP. R925-933.
16. Miller S.P., Ramaswamy V., Michelson D., Barkovich A.J., Holshouser B., Wycliffe N. et al. Patterns of brain injury in term neonatal encephalopathy // J. Pediatr. 2005. Vol. 146 (4). PP. 453-460.
17. Уракова Н.А., Ураков А.Л. Теплоизлучение поверхности головы плода как показатель обеспеченности коры головного мозга кислородом в родах // Проблемы экспертизы в медицине. 2012. № 4-5. С. 32-36.
18. Wyatt J.S., Gluckman P.D., Liu P.Y., Azzopardi D., Ballard R.A., Edwards A.D., et al. Determinants of outcomes after head cooling for neonatal encephalopathy // Pediatrics. 2007. Vol. 119 (5). PP. 912-921.
19. Urakov A.L., Kasatkin A.A., Urakova N.A., Kurt A. Infrared thermographic investigation of fingers and palms during and after application of cuff occlusion test in patients with hemorrhagic shock // Thermology International. 2014. Vol. 24. № 1. PP. 5-10.

20. Minamisawa H., Smith M.L., Siesjo B.K. The effect of mild hyperthermia and hypothermia on brain damage following 5, 10, and 15 minutes of forebrain ischemia // *Ann. Neurol.* 1990. Vol. 28 (1). PP. 26-33.
21. Laptook A.R., Corbett R.J., Sterett R., Garcia D., Tollefsbol G. Quantitative relationship between brain temperature and energy utilization rate measured in vivo using 31P and 1H magnetic resonance spectroscopy // *Pediatr. Res.* 1995. Vol. 38 (6). PP. 919-925.
22. Busto R., Dietrich W.D., Globus M.Y., Valdes I., Scheinberg P., Ginsberg M.D. Small differences in intraischemic brain temperature critically determine the extent of ischemic neuronal injury // *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 1987. Vol. 7 (6). PP. 729-738.
23. Gunn A.J., Bennet L. Is temperature important in delivery room resuscitation? // *Semin. Neonatol.* 2001. Vol. 6 (3). PP. 241-249.
24. Williams J.R. The Declaration of Helsinki and public health // *Bull. World Health Organ.* 2008. Vol. 86 (8). PP. 650-652.
25. Радзинский В.Е., Ураков А.Л., Уракова Н.А. Способ акушерского пособия при потугах / Патент 2502485 РФ. 2013. Бюл. № 36.

Наталья Александровна Уракова,  
канд. мед. наук, ассистент,  
кафедра акушерства и гинекологии ФПП и ПК,  
ГБОУ ВПО «Ижевская государственная  
медицинская академия»,  
Александр Ливиевич Ураков,  
д-р мед. наук, профессор, академик РАЕ,  
зав. кафедрой общей  
и клинической фармакологии,  
ГБОУ ВПО «Ижевская государственная  
медицинская академия МЗСР РФ»,  
научный сотрудник,  
отдел термомодеформационных процессов,  
ФГБУН «Институт механики»  
Уральского отделения РАН,  
г. Ижевск,  
e-mail: urakovanatal@mail.ru

И.Н. Селянко, Э.В. Медведева, Ю.В. Епишин

## Датчик уровня крови на основе анализатора цифрового видеоизображения для аппаратов аутоотрансфузии

### Аннотация

В статье приведены результаты исследований оригинального датчика уровня крови, предназначенного для применения в аппаратах интраоперационной аутоотрансфузии крови и испытанного совместно с классическим (фотоэлектронным) датчиком в аппарате «ТРАНСФЭЛ» компании ЗАО «НТЦ-ЭЛИНС». Принцип работы датчика основан на определении границы эритроцитов в сепараторном колоколе, что позволяет получать максимально возможный уровень гематокрита в конечном продукте. Представлены внутренняя схема датчика, алгоритм работы и результаты его испытаний (получаемый уровень гематокрита НТС > 60 %). Для исследований использовались одноразовые наборы с колоколами типа «Latham» на 125 и 225 мл. В приложении приведены основные характеристики аппарата аутоотрансфузии «ТРАНСФЭЛ» компании ЗАО «НТЦ-ЭЛИНС».

### Введение

Уже более 15 лет в мире широко используются аппараты для интраоперационной аутоотрансфузии крови. В первую очередь это связано с тем, что донорская кровь не может гарантировать безопасности ее переливания пациенту. Более того, использование донорской крови может осложняться сокращением числа доноров, трудностями ее хранения и транспортировки и отказом ее применения пациентами по религиозным и личным убеждениям (см. [1]).

Аппараты аутоотрансфузии выпускаются в ряде стран, таких как США, Германия, Италия, и широко применяются в клинической практике многих зарубежных лечебных учреждений. Результатом работы этих аппаратов (конечным продуктом) является очищенная эритроцитарная масса в физиологическом растворе. Одним из основных показателей качества работы таких аппаратов является концентрация данной эритроцитарной массы (процент гематокрита НТС). Значение гематокрита у человека в среднем колеблется от 40 до 45 %, но при операции собранная кровь пациента, как правило, имеет существенно меньший процент гематокрита из-за ее разбавления антибиотиками, антикоагулянтами и другими жидкостями. Задача аппаратов подобного типа состоит в том, чтобы не только отмыть эритроциты от плазмы и других компонентов, но еще и получить продукт с достаточно высоким уровнем гематокрита, чтобы нормали-

зовать его у пациента при возврате конечного продукта в кровотоки.

За уровень гематокрита в конечном продукте отвечает датчик, установленный в узел центрифуги и определя-



Рис. 1. Общий вид аппарата аутоотрансфузии «ТРАНСФЭЛ»