

Технические средства обеспечения термонейтрального окружения для новорожденных и детей раннего возраста

Шишко Г.А.¹, Артюшевская М.В.¹, Качан С.Э.³, Чура А.Н.³,
Демченко А.И.², Безьязычная В.В.², Безьязычная А.В.²

¹ Белорусская медицинская академия последипломного образования, Минск

² Белорусский национальный технический университет, Минск

³ Клинический родильный дом Минской области, Беларусь

Shishko G.A.¹, Artjushevskaya M.V.¹, Kachan S.E.³,
Chura A.N.³, Demchenko A.I.², Bezyazychnaya V.V.², Bezyazychnaya A.V.²

¹ Belarusian Medical Academy for Post-Graduate Education, Minsk

² Belarusian National Technical University, Minsk

³ Clinical maternity hospital of Minsk region, Belarus

Termoneutral strength environment for newborns hardware software and infants

Тщательный термомониторинг и профилактика холодного стресса (создание термонейтрального окружения) являются одними из основополагающих принципов современной неонатологии, соблюдение которых позволит добиться значительных успехов в выживании новорожденных. Известно, что терморегуляция у новорожденных характеризуется лимитированным процессом термопродукции и повышенными теплопотерями, поэтому основную проблему для этой группы пациентов представляет гипотермия [1]. Существует прямая линейная зависимость между гипотермией и уровнем заболеваемости и младенческой смертности [2].

Для понимания процессов терморегуляции у новорожденных важное значение имеет понятие термонейтрального окружения, то есть условий окружающей среды, при которых организм тратит минимум энергии для поддержания нормальной температуры. Примерные границы термонейтральной зоны для здоровых новорожденных и грудных детей составляют 32–36 °С, для недоношенных и протывших детей – 35–38 °С.

Основными механизмами теплоотдачи являются:

- потеря тепла путем инфракрасного излучения, при окружении новорожденных холодными предметами, даже если нет непосредственного теплового контакта;

- потеря тепла путем кондукции при непосредственном контакте кожи ребенка с холодной поверхностью, особенно, металлической;

- потеря тепла путем конвекции в случае окружения холодным воздухом, особенно при его движении (сквозняк);

- потеря тепла путем испарения влаги с поверхности кожи ребенка (эвапорация).

Уменьшение уровня испарения влаги с поверхности кожи ребенка достигается поддержанием заданной повышенной влажности в помещении или применением специальных увлажнителей в районе ложа, конвекционные потоки устраняются конструкцией бортов вокруг ложа (кюветы). Применение теплоизолирующих матрасов из пористого или гелеобразного материала, имеющего низкую теплопроводность и большую теплоемкость, использование термоматрасов (подогреваемых горячей водой или с помощью электрических терморезистивных нагревателей, температура которых регулируется величиной протекающего через них электрического тока) позволяют снизить потери путем кондукции. Потери тепла за счет инфракрасного излучения, на долю которых приходится более половины потерь, компенсируются применением источников лучистого тепла достаточно большой интенсивности.

Инфракрасное излучение имеет две важные, требующие контроля, характеристики: интегральную интенсивность излучения (удельную интегральную мощность) и ее распределение по длине волны (спектральную мощность излучения).

Трепещущее воздействие инфракрасного излучения на организм ребенка определяется величиной превышения падающего на поверхность тела потока над потоком излучения с поверхности тела. Для оценки теплопотерь путем инфракрасного излучения принимают для расчетов температуру поверхности тела (кожи) 36 °С и степень черноты кожи человека 0,95. Если принять температуру окружающих

стен и потолка (источники фонового инфракрасного излучения) равной 18–20 °С при степени черноты 0,91 (штукатурка), то теплопотери путем инфракрасного излучения голого ребенка (как результирующая истинного излучения тела и излучения фоновых источников) на пеленальном столе без обогрева составят 50–70 мВт/см². В соответствии и нормативными документами, удельная интегральная мощность на поверхности объекта не должна превышать принятых допустимых значений (60 мВт/см²), следовательно, такого вида нагреватели обеспечивают режим нагрева на грани допустимого [3].

Кроме суммарной интегральной мощности инфракрасного излучения имеет большое значение его спектральная мощность.

Учитывая физиологические особенности человека, современная медицина делит инфракрасную область оптического излучения на три диапазона:

- длина волны 0,75–1,5 мкм – «жесткое» инфракрасное излучение, проникающее в глубь кожи человека (диапазон IR-A);

- длина волны 1,5–5 мкм – излучение, поглощаемое эпидермисом и соединительнотканым слоем кожи (диапазон IR-B);

- длина волны 5–8 мкм и более – излучение, поглощаемое на поверхности кожи (диапазон IR-C).

Наибольшее проникновение инфракрасного излучения через кожу наблюдается в диапазоне от 0,75 до 2,5 мкм (его называют «окном терапевтической прозрачности») [4]. Установлено, что низкоинтенсивное лазерное излучение видимой и ближней инфракрасных спектральных областей, приходящихся на

«окно терапевтической прозрачности», обладают высокой биологической активностью регуляторного характера и являются одним из наиболее эффективных фототерапевтических средств широкого спектра действия [5].

При сравнительно длительном воздействии инфракрасного излучения данного спектрального диапазона из-за прозрачности эпидермиса и соединительных тканей, даже не принимая во внимание его высокую биологическую активность на клетки живого организма, существует вероятность перегрева внутренних органов ребенка, то есть может произойти внутренний ожог.

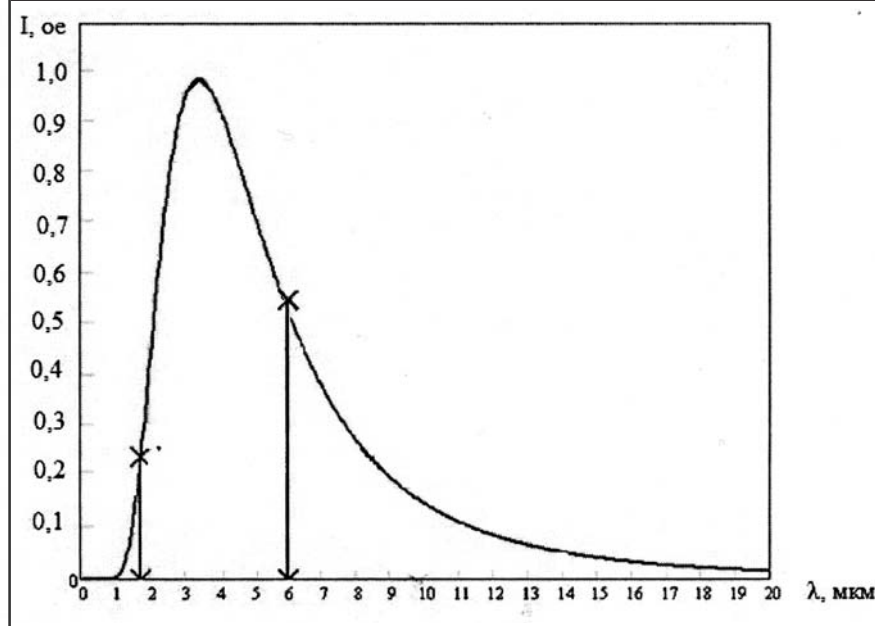
Исходя из приведенного выше, считаем, что из-за недостаточной изученности физиологического действия «жесткого» инфракрасного излучения высокой интенсивности на организм ребенка оборудование с такого вида нагревателями целесообразно применять лишь при проведении кратковременных процедур.

С точки зрения безопасности использования инфракрасного излучения в медицинских целях максимальный уровень интенсивности облучения в любой точке матраса неонатального стола в соответствии с нормативными документами не должен превышать 60 мВт/см^2 во всем инфракрасном спектре, а у верхней границы (от 760 до 1400 нм), входящей на диапазон «окна терапевтической прозрачности», не должны превышать 10 мВт/см^2 .

Оптимальным спектральным диапазоном инфракрасного излучения, применяемым для обогрева новорожденных, является диапазон с длинами волн 1,5–5 мкм. Из различных видов источников лучистого тепла, в частности ламп накаливания большой мощности, нихромовых спиралей, помещенных в металлические или кварцевые трубки, силиконовых стержней, керамических термопластин, по данным анализа научно-технической литературы и проведенных нами исследований, наиболее перспективными являются керамические термонагреватели, нагретые до определенных температур.

Для оценки эффективности обогрева ребенка использовалось расчетное распределение спектральной интенсивности излучения поверхности керамического излучателя ИКН-102 при температуре излучающей поверхности $T_{из} = 570 \text{ }^\circ\text{C}$ и степени черноты $\varepsilon_{из} = 0,98$ (рис.1). Максимум спектральной интенсивности излучения $I_{max} = 5397,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{мкм)}$ приходится на длину волны $\lambda_{max} = 3,43 \text{ мкм}$, эффективный диапазон спектральной интенсивности (80% мощности излу-

Рисунок 1 Распределение спектральной интенсивности излучения



чения) приходится на диапазон длин волн 1,75–8,45 мкм (точки λ_1 и λ_2). На диапазон «окна терапевтической прозрачности» приходится лишь 17,3% мощности излучения. Таким образом, практически исключается возможность перегрева внутренних органов ребенка «жестким» инфракрасным излучением с длиной волны 0,75–1,4 мкм.

Применение разнесенных по площади источников инфракрасного излучения и системы отражателей позволяет сформировать необходимую эллиптическую диаграмму распределения удельной интегральной мощности излучения по поверхности стола.

В результате измерений определены следующие усредненные значения удельной мощности инфракрасного излучения и характеристики распределения ее по поверхности пеленального стола: в режиме разогрева $E_{1cp} = 15,3 \pm 1,0 \text{ мВт/см}^2$ и в номинальном рабочем режиме $E_{2cp} = 8,6 \pm 1,1 \text{ мВт/см}^2$.

Таким образом, на практике доказано, что создавая термонеутральное окружение за счет равномерного инфракрасного обогрева мощностью 8–16 мВт/м² с максимумом спектральной мощности излучения в области 2,5–5 мкм возможно в значительной мере компенсировать теплототери тела путем излучения и в процессе конвекции и эвaporationи.

Поддержание теплового баланса и создание термонеutralного окружения должно осуществляться на всех стадиях оказания помощи ребенку в родильном зале, в реанимационных отделениях при проведении мероприятий интенсивной те-

рапии, различных физиотерапевтических процедур, при транспортировке [6]. В современных родовспомогательных, неонатальных и перинатальных стационарах с целью уменьшения нагрузки инфракрасного излучения широко используется комплексный подход при создании для новорожденных детей термонеutralного окружения, то есть обеспечения температурного режима, превышающего на 15–20 °С коммунальный тепловой режим в помещениях (18–20 °С). Превышение температуры окружающей среды на 5–10 °С в помещениях обеспечивается применением общих нагревательных и кондиционирующих устройств, еще 5–10 °С — применением локальных систем жизнеобеспечения.

Наиболее распространены и применяются следующие локальные системы жизнеобеспечения.

- Открытые реанимационные системы, обеспечивающие возможность проведения реабилитационных, кислородно-фототерапевтических, диагностических процедур в комфортных условиях, создаваемых при совместной работе систем нижнего и верхнего инфракрасного обогрева ложа.

- Инкубаторы закрытого типа, максимально обеспечивающие комфортные условия для длительного пребывания детей, в том числе недоношенных, включая оптимальную температуру, химический состав, влажность, скорость движения воздуха.

- Термокроватки, которые позволяют обеспечить длительное пребывание

Таблица 1 Сравнительные характеристики пеленальных столов для новорожденных, производимых в Республике Беларусь

Основные технические характеристики	Стол «Малыш»	Стол СП-01	Стол «Малышка»	Стол «Солнышко»
Производитель	НТЦ БНТУ «Политехник», Минск	РУП «Завод Эвистор», Витебск	ОАО «Интеграл», Минск	ОДО «Евролиния», Минск
Год разработки и начала производства	2001	2003	2007	2013
Габаритные размеры (без полок), мм	1800*720*680	1800*950*1400	1900*780*800	1850*780*560
Габаритные размеры в упакованном (транспортном) положении, мм	930*730*700 (конструкция основания стола неразборная)	940*960*700 (конструкция основания стола неразборная)	920*800*800 (конструкция основания стола неразборная)	800*560*800 (конструкция основания стола сборная)
Масса стола, кг	50	80	55	45
Высота от пола до поверхности ложа, мм	900	920	930	920
Высота от поверхности ложа до инфракрасных излучателей, мм	650	800	700	750
Размер инфракрасного модуля, мм	240*240*200	600*400*120	540*380*180	500*280*90
Тип нагревательного элемента	Лампа накаливания с отражателем без защитной сетки	Спираль в кварцевой трубе, без защитной сетки	Четыре кварцевые лампы с отражателем, стекло	Два керамических нагревателя, защитная металлическая сетка
Максимум спектральной интенсивности излучения, мкм	0,5–0,8	0,75–1,0	0,75–1,0	2,5–5
Диапазон обеспечения температуры ложа при температуре окружающей среды от 18 до 25 °С	25–34	32–38	28–38	32–38
Мощность инфракрасных нагревателей, Вт	250	700	600	300 (рабочий режим) 600 (при подогреве)
Электропитание, В/Гц	220/50	220/50	220/50	220/50
Время установления рабочего режима, мин	40	20	30	15–20
Тип индикатора температуры	Отсутствует	Отсутствует	Жидкокристаллический без подсветки	Двухразрядный светодиодный
Диапазон отображаемых температур, °С	Не отображается	Не отображается	15–40	15–40
Аварийная световая и звуковая сигнализация	Не предусмотрена конструкцией	Не предусмотрена конструкцией	Отсутствие электросети – красный светодиод и зуммер	1. Отсутствие электросети – красный светодиод и зуммер. 2. Достижение 32°С – зеленый светодиод. 3. Температура выше 38 °С – красный светодиод и зуммер
Блок защиты от кондуктивных радиопомех	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Есть
Тип осветителя ложа	Ртутная люминесцентная лампа	Галогенная лампа с отражателем	Ртутная люминесцентная лампа	Галогенная лампа с отражателем

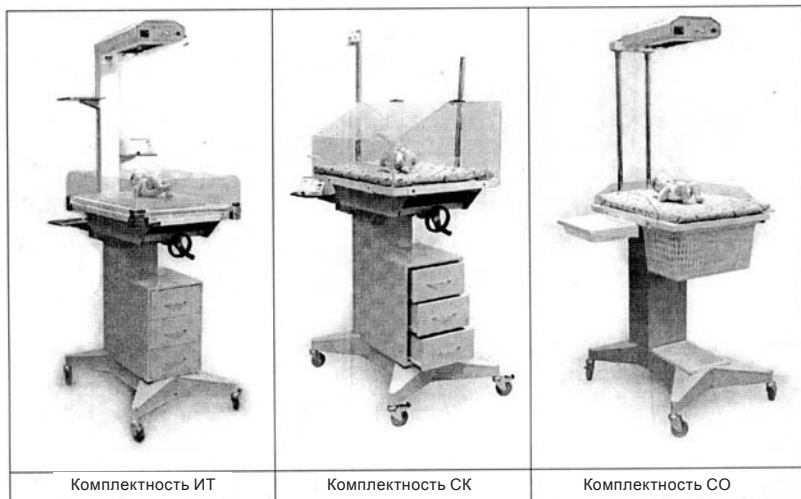
ребенка при оптимальной температуре. С применением дополнительного оборудования возможно проведение оксигено- и фототерапевтических, а также других медицинских процедур.

- Столы пеленальные, обеспечивающие возможность проведения меди-

цинских процедур с новорожденными и грудными детьми, включая медицинский осмотр, санитарную медикаментозную обработку, пеленание и одевание ребенка. Обогрев ложа с превышением температуры на 12–18 °С относительно комнатной обеспечивается верхними ис-

точниками лучистого тепла достаточно большой интенсивности.

Первые три группы оборудования относятся к оборудованию высокого уровня, производимого ведущими зарубежными фирмами, имеют высокую стоимость (десятки тысяч евро) и поступали до недав-



него времени в ограниченном количестве лишь в ведущие перинатальные центры, работающие с особо сложными пациентами.

Столы пеленальные для новорожденных относятся к оборудованию среднего уровня, которое производится и поставляется учреждениям здравоохранения Республики Беларусь преимущественно белорусским производителям. Стоимость такого оборудования доступная – не более 1000 евро. Учитывая тот факт, что пеленальные столы можно достаточно широко использовать (в родильных отделениях и отделениях новорожденных, палатах совместного пребывания матери и ребенка, стационарах детских клинических больниц, в том числе районного и поселкового звена, детских поликлиниках, фельдшерско-акушерских пунктах), представляется целесообразным провести сравнительный анализ различных видов продукции, выпускаемой в республике (табл. 1).

В разработанных и освоённых в производстве ОДО «Евролиния» в 2013 г. с консультативной помощью сотрудников кафедры неонатологии и медицинской генетики БелМАПО столах-трансформерах для новорожденных «Солнышко» (рис. 2), в значительной мере свободных от перечисленных недостатков, используются современные регулируемые по температуре керамические нагреватели отечественного производства (аналогичные используют в зарубежных открытых реанимационных системах), имеющие максимум спектральной интенсивности излучения в области 2,5–5,5 мкм, и обеспечивающей достаточно оптимальное поглощение тепла эпидермисом и соединительнотканым слоем кожи [7].

Базовая конфигурация стола-транс-

формера для новорожденных «Солнышко», комплектность ИТ, является функциональным аналогом открытых реанимационных систем лучших мировых производителей. Стол имеет возможность верхнего и нижнего регулируемого в диапазоне температур 32–38 °С обогрева пациента, гелевый матрас, рентгенопрозрачное ложе с держателем R-кассеты, возможность установки в пределах от -10 до 15 градусов уровня ложа (угол Тренделенбурга), открываемые с трех сторон борта, приборные полки и кронштейны, позволяющие разместить на них необходимую медицинскую аппаратуру (кардиомониторы, шприц-дозаторы, аппараты ИВЛ, кислородно- и фототерапии, отсасыватели жидкости и т. д.). Шкафчик под ложем позволяет разместить под ним медицинские инструменты, расходные материалы и гигиенические средства.

При необходимости стол-трансформер «Солнышко» легко трансформируется в более простую конфигурацию СК (стол-кровать), позволяющую обеспечить длительное пребывание (сон) ребенка, а также проведение кислородно- и фототерапевтических процедур.

Столы «Солнышко» в комплектности СО имеют двухуровневый режим обогрева – «форсированный» на стадии выхода на заданную температуру обогрева ложа (без присутствия на них ребенка) и более «мягкий» рабочий режим поддержания оптимальной температуры ложа при нахождении на нем ребенка.

По своим функциональным возможностям столы «Солнышко» значительно превосходят более ранние по времени разработки-аналоги.

Использованные при создании оборудо-

вания модульные принципы построения из унифицированных блоков, современные технологии объемного формирования деталей, новая элементарно-узловая электронная база позволили сделать указанное оборудование не только более эргономичным, но и существенно снизить стоимостно-экономические показатели.

Столы-трансформеры для новорожденных «Солнышко» в различной комплектности успешно прошли гигиенические, технические и клинические испытания, получили высокую оценку специалистов неонатологов и рекомендованы Минздравом Республики Беларусь для серийного производства и применения в клинической практике на территории страны [8].

Для организации в составе отделения реанимации и интенсивной терапии новорожденных рабочих мест по проведению реанимационных и терапевтических мероприятий, а также организации учебно-практических занятий со слушателями БелМАПО и стажировок врачей, для получения практических навыков по работе с новым современным неонатальным оборудованием планируется передать комплект столов-трансформеров «Солнышко» в Родильный дом Минской области, где они проходили клинические испытания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шабалов Н.П. Неонатология: уч. пособие в 2 т. – М., 2004. – 640 с.
2. Effect of body weight on temperature control and energy expenditure in preterm infants / T.-H. Lei et al. // *Pediatr. Neonatol.* – 2010. – Vol. 51, N 3. – P. 178–181.
3. ГОСТ 50267.27-96 (раздел 5 «Защита от опасности нежелательного или чрезмерного излучения»).
4. *Henderson R. Wavelength considerations.* – Institut für Umform- und Hochleistungs, 2007.
5. ООО «ЛЮЗАР». Препринт «Лазерные и светодиодные фототерапевтические многофункциональные малогабаритные аппараты». – Минск, 2010.
6. Безьязычная А.В., Демченко А.И., Шишко Г.А. и др. – «Медицинское оптоэлектронное оборудование для лечения и выхаживания новорожденных детей» // Сб. трудов XX Международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь, 2010. – С. 1173–1174.
7. Демченко А.И., Безьязычная В.В., Безьязычная А.В. и др. Многофункциональная система обеспечения термонетрального окружения для новорожденных детей // Сб. трудов XXII Международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь, 2012. – С. 989–990.
8. Регистрационное удостоверение Министерства здравоохранения Республики Беларусь №ИМ-7.100584.