

ДО ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛООБМІНУ В УМОВАХ МІКРОКЛІМАТУ ІНКУБАТОРІВ ДЛЯ НОВОНАРОДЖЕНИХ НЕМОВЛЯТ

Процеси обміну речовин виробляють тепло, яке розподіляється по організму шляхом циркуляції крові, а також, частково, за допомогою провідності через тканини. Для збереження незмінної температури тіла повинна підтримуватися рівновага між виробленням тепла і обміном тепла з навколишнім середовищем. Для видалення з організму виробленого плодом тепла, йому необхідно пройти через материнське тіло, і пуповиною кровообіг представляється основним засобом для теплообміну.

Відразу після народження людське немовля піддається впливу більш низької температури, ніж в утробі матері, і в цей же самий час відбувається газоподібне випаровування з шкіри, результатом якого є втрата тепла і зменшення температури тіла. Це частково є фізіологічною реакцією, оскільки температура тіла при народженні вища, ніж у подальшому житті. Вплив холоду може викликати посилення термогенних реакцій, які збільшують загальне вироблення тепла а шкірна циркуляція може зменшуватися з метою скорочення втрат тепла.

Ключові слова: температура, шкіра, тіло, реакція, кровообіг.

Надмірна втрата тепла у немовляти відразу після народження звичайно запобігається укриття і обтирання насухо його шкіри. Тяжкохворі доношені і недоношені діти виходжуються в середовищі, в якій підтримується нормальна температура тіла - або в інкубаторі при температурі навколишнього середовища в межах термонейтральної зони, або під променистим обігрівачем.

Теплообмін між немовлям і зовнішнім середовищем відбувається через шкіру і, в деякій ступені, через дихальні шляхи за допомогою провідності (Н - провідності), випаровування (Н - випаровування), випромінювання (Н - випромінювання) і конвекції (Н - конвекція). Ступінь передачі тепла залежить від площі поверхні всього тіла дитини і від частки площі поверхні тіла, що знаходиться в безпосередньому контакті з матрацом та одягом (Н - провідність), яка втрачає вологу за допомогою випаровування (Н - випаровування), зверненій до оточуючих поверхонь (Н - випромінювання) або підданій впливу навколишнього атмосфери (Н - конвекція). Отже, для визначення теплообміну необхідно знати величину втрати тепла шкірою на одиницю площі поверхні, загальну площу поверхні тіла і частку площі поверхні, яка бере участь в різних режимах теплообміну.

Теплообмін за допомогою провідності, випаровування, випромінювання і конвекції можна розрахувати за допомогою наступних рівнянь і при відомих величинах транспідермічної втрати води (ТЕПВ), температури матеріалу, на який поміщена дитина (Т - ліжка), температури шкіри немовляти (Т - шкіра), температури навколишнього повітря (Т - повітря), температура інкубатора в якому знаходиться дитина (Т - інкубатора) і характеристик матеріалів, які оточують немовля:

Теплообмін за допомогою провідності:

$$N_{\text{пр}} = K_0 \cdot (T_{\text{шк}} - T_{\text{ліж}}), \quad (\text{Вт/м}^2) \quad (1)$$

де: K_0 – коефіцієнт теплопередачі за допомогою провідності ($2.4 \cdot 10^3$, Дж/г); $N_{\text{пр}}$ – залежить від теплових характеристик шкіри, але ще більше від теплових характеристик матраца; $T_{\text{шк}}$ – температура шкіри (35.0 – 36.9°C); $T_{\text{ліж}}$ – температура ліжка (матраца) (30-37°C).

При теплових характеристиках самих звичайних матраців, втрата тепла за допомогою провідності в інкубаторах і під дією променистих обігрівачів незначна.

$$N_{\text{пр}} = 2.4 \cdot 10^3 (36-35) = 247.2 (\text{Вт/м}^2) \quad (2)$$

Теплообмін за допомогою випаровування:

$$N_{\text{вип}} = K_1 \cdot \text{ТЕПВ} (3.6 \times 10^3) \cdot l \quad (\text{Вт/м}^2)$$

де: K_1 – прихована теплота випаровування ($2.4 \cdot 10^3$ Дж /г); ТЕПВ – транспідермічна втрата

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

води (40 – 70 г/м² годину); 3.6×10^3 – поправочний коефіцієнт часу (с). ТЕПВ є середнім значенням випаровування води з поверхні шкіри, вимірними за допомогою градієнтного методу

$$N_{\text{вип}} = (2.4 \cdot 10^3 \cdot 40 \cdot 144) \cdot 1 = 138.24 (\text{Вт/м}^2).$$

Теплообмін за допомогою випромінювання:

$$N_{\text{вип}} = S_0 \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot (T_1 - T_2) \quad (\text{Вт/м}^2) \quad (3)$$

де: S_0 – постійна Стефана - Больцмана ($5.7 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²); E_1 – випромінювальна здатність шкіри ($\pm 0.7^\circ\text{C}$); E_2 – випромінювальна здатність навколишніх стінок інкубатора (0.97); T_1 – середня температура шкіри (35.0 – 36.9°C); T_2 – середня температура інкубатора. ($30 \pm 40^\circ\text{C}$); $N_{\text{вип.}} = 5.7 \cdot 10^{-8} \cdot 0.7 \cdot 0.97 \cdot (36.9 - 35) = 58.82 (\text{Вт/м}^2)$.

Теплообмін за допомогою конвекції:

$$N_{\text{кон}} = K_2 (T_1 - T_3) \quad (\text{Вт/м}^2) \quad (4)$$

де: K_2 – коефіцієнт конвекції (2.7 Вт/м²); T_1 – середнє значення температури шкіри (35.0 – 36.9°C); T_3 – середня температура навколишнього повітря ($18 \pm 30^\circ\text{C}$).

$$N_{\text{кон}} = 2.7 \cdot (36.9 - 25) = 32.13 (\text{Вт/м}^2).$$

Цей розрахунок не враховує швидкі конвекції, які у дорослих людей відбуваються при скорості руху повітря понад 0,27 м/с.

Ступінь теплообміну між поверхнею тіла і навколишнім середовищем залежить від «типу» теплообміну, положення і геометрії тіла, а також від його величини і частоти рухів тіла. Отже, зіставлення теплообміну в різних навколишніх умовах у немовлят різних геостацийних і постнатальних віків часто представлені як теплообмін на одиницю площі поверхні тіла, схильного впливу навколишнього повітря і зверненого до стінок інкубатора.

Видихуване повітря звичайно є більш вологим, тобто володіє більш високим тиском водяної пари, чим вдихається повітря. Це призводить до втрати рідини і тепла при випаровуванні через дихальний тракт. Незначний конвективний теплообмін також існує в дихальному тракті, і часто ці процеси розглядаються разом. У новонароджених також можуть відбуватися тепло припливи через дихальний тракт.

Перемінна зміна повітря під час дихального циклу ускладнюють випарний і конвективний теплообмін у дихальному тракті. Коли навколишнє повітря температура якого нижче температури тіла, проходить при вдиху вздовж слизистої оболонки, він нагрівається за допомогою конвекції і насичується водяним паром при випаровуванні зі слизової оболонки. Досягнувши альвеол, це повітря знаходиться в тепловій рівновазі по відношенню до центральної температури тіла і насичується водою. При видиху, перед виходом назовні повітря може стати дещо прохолоднішим, ніж температура тіла.

Теплообмін за допомогою конвекції в дихальному тракті (N - конвекція) вираховується виходячи з об'єму повітря, вентиляованого в одиницю часу ($V = \text{об'єм вентиляції}$), і різниці температур видихуваного і вдихуваного повітря ($T_{\text{видих}} - T_{\text{вдих}}$) згідно з наступним рівнянням:

$$N_{\text{конвекція}} = V_{\text{об.вент.}} \cdot c \cdot (T_{\text{видих}} - T_{\text{вдих}}) \cdot m^{-1} \quad (\text{Вт/кг}) \quad (5)$$

де: V – об'єм вентиляції в одиницю часу, щільність повітря (1 г = 0, 880 л); c – питома теплоємність (1 Дж • г⁻¹ • °C⁻¹); m – вага тіла (1000 – 2500 кг); $T_{\text{видих}}$ і $T_{\text{вдих}}$ – відповідно температури видихуваного і вдихуваного повітря (30-40°C).

$$N_{\text{кон}} = 0.880 \cdot 1 \cdot (38 - 36) \cdot 2500 \cdot 1 = 4398.24 (\text{Вт/кг}).$$

Як результат почергового нагрівання повітря при вдихуванні і його охолодження при видиху конвективний теплообмін в дихальному тракті залежить головним чином від температури вдихуваного повітря. У людських немовлят, яких виходжували в інкубаторах, різниця між температурами вдихуваного і видихуваного повітря дуже мала, і конвективні втрати також незначні.

Випаровування теплообміну через дихальні шляхи (N – випаровування) залежить від різниці вмісту води у видихуваному і вдихуваному повітрі. Це є втратою води при диханні –

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

ПВД. Оскільки для утворення водяної пари в дихальному тракті потрібно тепла енергія, то величина теплообміну при випаровуванні в одиницю часу буде дорівнювати:

$$H_{\text{випар}} = K_1 \cdot \text{ПВД} (3,6 \cdot 10^3) - 1 \quad (\text{Вт/кг}) \quad (6)$$

де K_1 – приховане тепло при випаровуванні води ($2,4 \cdot 10^3$ Дж /г); ПВД – втрата води при диханні (40 – 70 мг /кг хв.); ($3,6 \cdot 10^3 - 1$ Дж /г) – поправочний коефіцієнт часу.

$$H_{\text{випар}} = 2,4 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot (3,6 \cdot 10^3) - 1 = 4319,99 \text{ (Вт/кг)} .$$

Більше 100 років тому стало очевидним, що хороші теплові умови давали шанси на виживання новонароджених, і це призвело до створення перших інкубаторів. Будін виявив, що виживаність зростала серед немовлят, температура яких була не нижче 32С. Пізніші дослідження Сільвермана і співавторів: Хей і Катцу, Дама і Джеймса розширили наші пізнання про вплив температури навколишнього середовища на виживання, споживання кисню і дихання новонароджених. Егейт і Сильверман ввели використання інфрачервоного випромінювання для контролю температури тіла у новонароджених з малою вагою. З тих пір променисті обігрівачі широко використовуються при інтенсивному неонатальному догляді. Сприяння різних форм теплообміну під випромінюванням обігрівачів помітно змінюються при взаємодії від використовуваних покривал і ковдр.

При використанні променистих обігрівачів немовля обігрівається тільки за допомогою підвісної панелі, що виробляє променисте тепло. Це тепло передається в більш глибокі тканини за допомогою провідності і циркуляції крові. Тепло, отримане від обігрівача, іноді розглядається як щільність випромінювання (мВт/см^2). Якщо немовля перебуває під променистим обігрівачем, дуже важко оцінити різні форми теплообміну.

Через те, що може мати місце вільний рух повітря над поверхнею тіла немовляти, то, як невідчутна втрата води і тепла, так і конвективна втрата тепла можуть зрости в результаті великої швидкості повітряного потоку. До того ж тиск навколишнього повітря в інкубаторах зазвичай буває невеликим, що збільшує втрату тепла при випаровуванні. Теплообмін за допомогою випромінювання в цілому посилюється, однак може зменшуватися через температуру стінок, що оточують дитину. Форми теплообміну між дитиною і навколишнім середовищем при використанні променистого обігрівача будуть представлені в окремій главі. Фізіологічні особливості та головні причини порушень терморегуляції організму недоношених дітей:

Інтенсивна терапія в неонатології – це одна з найбільш молодих галузей медицини, яка з'явилася в середині ХХ століття і продовжує бурхливо розвиватися в наші дні. Розробляються і впроваджуються в практику нові методики лікування. Досягнуті результати обумовлені не тільки ентузіазмом лікарів, а й постійно вдосконалюється науково-технічною базою, дослідженнями, які є рушійною силою прогресу в цій самій високотехнологічній галузі медицини.

В даний час завдяки розробці досконалого обладнання та впровадження нових технологій у всьому світі збільшується кількість тих, що вижили новонароджених з малою та екстремальною малою масою тіла при народженні. На цьому тлі ще більш актуальним стає питання про якість життя майбутньої людини.

Виходжування недоношених новонароджених з екстремальною низькою масою тіла при народженні, високочастотна Осциляторна вентиляція легенів, повне парентеральне харчування - все це сьогоднішній день, будні відділень реанімації новонароджених. Але основою успіху, його першою і найголовнішою ланкою як і раніше є лікувально-охоронний режим і температурний комфорт пацієнта, необхідність яких була науково – обґрунтована майже 150 років тому. Ще в 1857 році Jean Louis Paul Denuse опублікував у медичному журналі повідомлення про успішне використання для виходжування недоношених новонароджених із інкубатора. У 1878 році паризький акушер Stephane Garnier модифікував та нагріває камеру інкубатора, в результаті чого був створений прототип сучасного інкубатора для недоношених дітей. За рахунок впровадження в медичну практику паризького жіночого госпіталю інкубаторів, в кінці ХІХ століття вдалося знизити смертність дітей, що народилися з масою тіла менше 2000 р. з 66 до 38%. З кінця ХІХ століття інкубатори з'явилися і в США, де в 20-і роки ХХ століття було організовано їхнє перше промислове виробництво. Протягом ХХ століття тривало постійне технічне вдосконалення методів підтримки оптимальних температурних умов при виходжуванні недоношених новонароджених і хворих дітей. Однак ця проблема не втратила своєї актуальності і сьогодні. Сподіваємося, що вона буде представляти інтерес для

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

неонатологів, анестезіологів - реаніматологів та педіатрів.

Фізіологія терморегуляції:

Теплообмін людини з навколишнім середовищем здійснюється на основі відомих теплофізичних законів. Основним з них є закон теплового балансу, який свідчить, що сталість температури тіла може бути досягнуто тільки за умови рівності між кількістю що утворюється в організмі ($Q_{\text{тпр}}$) тепла і кількістю віддаваного тепла. Віддача тепла організмом здійснюється конвекцією ($Q_{\text{к}}$), проведенням ($Q_{\text{п}}$), випромінюванням ($Q_{\text{випр}}$) і випаровуванням ($Q_{\text{вип}}$). Звідси випливає рівняння фізіології терморегуляції:

$$Q_{\text{тпр}} = Q_{\text{к}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{випр}} + Q_{\text{вип}}. \quad (7)$$

Продукція тепла у людини відбувається 2 - ма шляхами:

1. Довільна м'язова активність (мимовільна тонічна активність скелетної мускулатури , високо інтенсивних, яка характеризується занепокоєнням дитини, видимим тремором, так зване "м'язове тремтіння");

2. «Нем'язові термогенези» (якщо у дорослих "м'язове тремтіння" є найбільш значимим механізмом терморегуляції тепла, то у новонароджених теплопродукція здійснюється в основному за рахунок хімічного компонента термогенеза. Найбільший відсоток "нем'язові" терморегуляції у дітей утворюється при окисненні бурого жиру, який у доношеного новонародженого становить 6-8% від маси тіла.

Бурий жир – це унікальна тканина, закладка якої відбувається після 26-30 тижнів внутрішньоутробного розвитку. Запаси його можна виявити в області шиї, між лопатками, за грудиною, навколо нирок і надниркових залоз. Бурий жир відрізняється як морфологічно, так і по метаболізму від більш поширеного білого жиру. Клітини містять велику кількість мітохондрій і жирових вакуоль. Їх метаболізм регулюється центром терморегуляції і стимулюється адреналіном (як у дорослих) через симпатичну іннервацію у відповідь на холод. В результаті відбувається гідроліз тригліцеридів на вільні жирні кислоти і гліцерин, які є важливими джерелами енергії в періоді новонародженості.

Таким чином, новонароджені, а особливо недоношені діти, схильні як до переохолодження, так і до перегрівання і у великій мірі залежать від кліматичних умов навколишнього середовища.

Головні причини порушень терморегуляції організму недоношених дітей.

До головних причин порушень терморегуляції організму недоношених дітей відносять:

- велика поверхня тіла новонародженого по відношенню до його низької маси;
- тонкий шар підшкірного жиру, який відіграє велику роль теплоізоляції;
- запаси бурого жиру малі або взагалі відсутні;
- невиражене зроговіння епідермісу, сприяє легкій трансудації рідини через шкіру;
- більший вміст води в організмі;
- нездатність адекватно збільшити споживання кисню у відповідь на охолодження (у доношеного новонародженого споживання кисню в термонейтральній умовах становить 4,6-4,8 мл / кг / хв, а у недоношеної цей показник спочатку менше і дорівнює 3,9 - 4,3 мл / кг / хв);
- знижений м'язового тонусу і положення тіла дитини, при якому збільшується площа контакту з навколишнім простором, та зростає теплообмін з навколишнім середовищем;
- незрілість центру терморегуляції (гіпоталамуса).

Рецепторний апарат терморегуляції спирається головним чином на периферичні теплові та холододові рецептори. Від них імпульси надходять в таламус або безпосередньо, або через рецептори спинного мозку за допомогою латерального спино таламічного тракту. Обробка інформації відбувається в таламо-гіпоталамічному центрі терморегуляції. При цьому задній гіпоталамус відповідає за над нирко залозну стимуляцію завдяки адренкортикотропного гормону. Продукція адреналіну і нор-адреналіну призводить до фізіологічних реакцій на температурні впливу. З іншого боку передній гіпоталамус за допомогою тиреотропного гормону стимулює щитовидну залозу і вироблення Т4 (посилення метаболізму), а також за рахунок соматотропного гормону впливає на викид жирних кислот і утилізацію глюкози. Довільні реакції людини на зміну температурного балансу відбуваються завдяки взаємодії кори головного мозку і переднього гіпоталамуса. Так, при охолодженні або перегріванні новонародженої дитини в першу чергу почне турбуватися, плакати, даючи знати, що йому дискомфортно.

Висновок: Значення профілактики порушень терморегуляції та теоретичні дослідження взаємоз'язків експлуатаційних факторів з ефективністю роботи інкубаторів інтенсивної терапії для новонароджених в неонатальному періоді не можна переоцінити. Численні несприятливі

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

наслідки цих порушень дозволяють розглядати збереження температурної рівноваги новонародженого організму, як один із резервів зниження неонатальної та малюкової смертності. Комплекс заходів з підтримки оптимального теплового режиму разом із сучасними технологіями реанімації та інтенсивної терапії є невід'ємною частиною цілісної системи лікування та виходжування новонароджених дітей з низькою масою тіла.

Інформаційні джерела

1. Ванін В.В., Блюк А.В., Гнітецька Г.О. Оформлення конструкторської документації: Навч. Посіб. 3-є вид. – К.: Каравела, 2004. – 160с.
2. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: Справочник Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 464с.
3. Горбачевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск: Высшая школа, 1986.
4. Градиль В.П., Моргун А.К., Егошин Р.А. Справочник по Единой системе конструкторской документации. – Харьков: Прапор, 1988. – 256с.

Марчук И.В. к.т.н.

Луцкий национальный технический университет

К УСТАНОВКЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООБМЕНА В УСЛОВИЯХ МИКРОКЛИМАТА ИНКУБАТОР ДЛЯ НОВОРОЖДЕННЫХ МЛАДЕНЦЕВ

Процессы обмена веществ производят тепло, которое распределяется по организму путем циркуляции крови, а также, частично, с помощью проводимости через ткани. Для сохранения неизменной температуры тела должна поддерживаться равновесие между выработкой тепла и обменом тепла с окружающей средой. Для удаления из организма выработанного плодом тепла, ему необходимо пройти через материнское тело, и пуповиной кровообращение представляется основным средством для теплообмена.

Сразу после рождения человеческий младенец подвергается воздействию более низкой температуры, чем в утробе матери, и в это же самое время происходит газообразное испарение с кожи, результатом которого является потеря тепла и уменьшение температуры тела. Это отчасти является физиологической реакцией, поскольку температура тела при рождении выше, чем в дальнейшем. Воздействие холода может вызвать усиление термогенных реакций, которые увеличивают общее выработки тепла а кожная циркуляция может уменьшаться с целью сокращения потерь тепла.

Ключевые слова: температура, кожа, тело, реакция, кровообращение .

I. Marchuk

Lutsk National Technical University

TO SETTING HEAT EXCHANGE UNDER MICROCLIMATE OF INCUBATORS FOR NEWBORN BABIES

Metabolic processes produce heat, which is distributed throughout the body by blood circulation and partly via conduction through tissue. To maintain a constant body temperature must be maintained balance between heat production and heat exchange with the environment. To remove from the body heat produced fruit, it must go through the parent body and umbilical cord blood circulation represented a major vehicle for heat transfer.

Immediately after the birth of a human baby is exposed to a lower temperature than in the womb, and at the same time is gaseous evaporation from the skin, resulting in heat loss and reduce body temperature. This is partly a physiological reaction as the body temperature at birth is higher than later in life. Exposure to cold can cause enhance thermogenic reactions that increase the overall heat generation and skin circulation may be reduced in order to reduce heat loss..

Key words: temperature, skin, body reaction, blood circulation .