



О выборе методики исследования эффектов общего криотерапевтического воздействия

А.Ю. Баранов, Т.А. Малышева

Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, институт холода и биотехнологий, Санкт-Петербург

Контактная информация: Малышева Татьяна Алексеевна, тел.: 8(931)256-99-39, e-mail: mta61@yandex.ru

Исследования эффектов общего криотерапевтического воздействия (ОКВ) направлены на увеличение сбора новых научных данных о позитивных и негативных результатах лечения холодом. ОКВ основано на контакте тела пациента с газом, охлажденным до температуры -130°C . Низкая температура газа воспринимается врачами и учеными как потенциальная угроза здоровью пациента. Для того чтобы снизить риск, многие ученые предлагают начинать исследования эффектов ОКВ на лабораторных животных. В качестве таких животных предполагается использовать крыс или мышей. Кроме этого, надо понять, какую научную и практическую ценность будут иметь результаты таких исследований.

Ключевые слова: общее криотерапевтическое воздействие, лабораторное животное, численный эксперимент, компьютерное моделирование.

Введение

Условия проведения экспериментов на лабораторных животных

Эксперименты на лабораторных животных (ЛЖ) активно проводились в XX в. Основная цель таких экспериментов – сбор предварительных результатов о действии на живой организм новых лекарственных форм, вредоносных организмов и опасных физических факторов, т.е. выявление потенциальной угрозы, которую новые лечебные методы могут создать для здоровья человека.

Во время общего криотерапевтического воздействия (ОКВ) пациент ока-

зывается в условиях экстремально низких температур, что может представлять потенциальную опасность. Из-за этого использование экспериментов с лабораторными животными на первый взгляд вполне оправдано. Физиологические эксперименты на животных обеспечивают сбор большого объема статистической информации, расширяют возможный спектр методов анализа и исследований. Допустимо даже вскрытие животных для анатомического изучения последствий эксперимента. Практически все достижения медицины XX в. каким-либо образом зависели от опытов на животных.

Современное общественное мнение неоднозначно относится к подобным экспериментам. Наиболее современным представляется мнение ученых Академии наук США. Указывается, что *над животными возможны любые эксперименты, если доказана их научная необходимость*.

Современный термин «модельные животные» показывает, что в экспериментах следует использовать только те живые организмы, которые способны достоверно моделировать реакцию человеческого тела на конкретное внешнее воздействие.

Важно оценить, сможет ли эксперимент с модельным животным получить данные, пригодные для оценки реакции человеческого организма. До организации экспериментов по оценке эффективности общей криотерапии на ЛЖ целесообразно определить последствия криогенного охлаждения поверхности тела животного в численном эксперименте. Для постановки такого эксперимента необходимо построить физическую и математическую модель тела крысы.

Математическая модель поможет решить исследовательские задачи с соблюдением современных гуманитарных требований. При постановке математического эксперимента основными аспектами моделирования являются достоверное описание внешних условий охлаждения, структуры и тепловой инерции тела ЛЖ.

Физическая модель тела лабораторного животного

При постановке численных экспериментов, связанных с исследованием тепловых процессов в биологических объектах, необходимо помнить о том,

что достоверность полученных результатов в значительной степени будет зависеть от адекватности физической модели. Объект охлаждения представляет собой тело сложной формы, образованное из тканей с разными физическими свойствами, в т.ч. содержащими внутренние источники теплоты [1]. Подробное физическое описание структуры такой сложности потребует колоссальных затрат времени. Без существенного упрощения формы объекта нельзя сформулировать его компактное математическое описание. Следует отметить, что разрабатываемая модель направлена на изучение тепловых процессов, возникающих в теле ЛЖ во время пребывания в криогенном газе с температурой ниже -100°C . Ни одно из живых существ не сможет пережить воздействие криогенным газом без дополнительных мер безопасности, направленных на защиту конечностей от обморожения. Поэтому надо описать объект охлаждения в том состоянии, в котором он будет находиться во время физического эксперимента.

Суть таких мер можно пояснить на примере наиболее распространенного вида модельных животных – лабораторной крысе. Лапы и хвост крысы не способны выдержать контакт с криогенным газом без повреждения, так как имеют малую тепловую инерцию. Хвост крысы является органом терморегуляции [6], поэтому почти лишен волосяного покрова и содержит большое количество кровеносных сосудов. Для защиты от обморожения хвост и лапы животного необходимо плотно прижать к телу. Это можно сделать при помощи сетчатого чехла, надетого на тело крысы. После этого форма тела животного становится симметричной и с достаточной точно-

стью может рассматриваться как тело вращения. Надо отметить, что при проведении экспериментов по моделированию ОКВ в качестве охлаждающего газа используются пары жидкого азота, которые не пригодны для дыхания, поэтому органы дыхания должны быть защищены от контакта с криогенным газом-теплоносителем. Наиболее простым решением представляется размещение крысы в таком положении, чтобы она дышала атмосферным воздухом. Для этого объект следует поместить в вертикальную камеру с открытым верхним сечением. Выполнение этого требования позволит защитить поверхность дыхательных путей от обморожения. В результате криогенный газ будет охлаждать только туловище животного, которое после фиксации конечностей и хвоста по форме приблизится к цилиндру.

Упрощение геометрической формы объекта охлаждения позволяет определить характеристические размеры цилиндра, который в ходе численного эксперимента будет имитировать тело модельного животного. Длина тела взрослой лабораторной крысы составляет не более $L=0,15$ м, масса тела до $G=0,5$ кг. Полагая эффективную плотность тела равной $\rho^*=1000$ кг/м³, можно определить эффективные значения объема и диаметра моделируемого цилиндра:

$$V^* = \frac{G}{\rho}, d^* = \sqrt{\frac{4G}{\rho\pi L}}.$$

Эффективный диаметр тела крысы составит $d^*=0,065$ м. Длина объекта значительно больше диаметра, поэтому процесс переноса теплоты от центра тела животного к периферии можно рассматривать в радиальной системе координат (рис. 1).

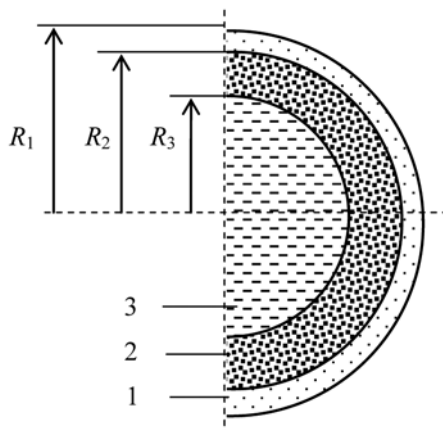


Рис. 1. Геометрическая схема тела модельного животного. 1 — мех, 2 — оболочка, 3 — ядро.

Объект представляет собой систему из нескольких коаксиальных цилиндров с различными физическими свойствами. Наружный слой меха (1) защищает тело от переохлаждения. Толщина меха зависит от вида модельного животного. Толщина мехового слоя $\Delta_{\text{мех}}$ лабораторной крысы может быть принята равной 0,2 мм [6]. Слой 2 состоит из тканей, способных без ущерба переносить переохлаждение. Центральная часть тела, слой 3, состоит из тканей и органов, не приспособленных к переохлаждению. В физиологии [5] центральную часть тела называют «ядром», а периферийный слой 2 — «оболочкой» тела. Считается, что масса оболочки составляет 30% от массы всего тела. Это позволяет определить вес слоев 2 и 3. По весу слоя 3 можно определить диаметр границы между оболочкой и ядром тела:

$$d_3^* = \sqrt{\frac{4G_3}{\rho\pi L}} = 0,055 \text{ м.}$$

Толщина слоя 2: $\Delta_2 = 0,5(d^* - d_3^*)$.

Для лабораторной крысы диаметр ядра и толщина оболочки составят: $d_3^* = 0,055$ мм, $\Delta_2 \approx 0,005$ мм. Наружный диаметр объекта охлаждения определится с учетом толщины мехового слоя: $d = d^* + 2\Delta_m$.

Полученные аналитические зависимости позволяют создать теплофизическую модель любого ЛЖ и организовать математический эксперимент, направленный на исследование тепловых процессов, которые возникают в теле животного при охлаждении криогенным газом. Определение границы между оболочкой и ядром тела позволяет определить допустимую продолжительность охлаждения. В соответствии с тепловой теорией ОКВ [1, 7], продолжительность воздействия криогенным газом подбирается таким образом, чтобы исключить обморожение поверхности оболочки. Переохлаждение ядра недопустимо. Эти ограничения получили название «условия гипотермической безопасности пациента». Недопустимо снижение температуры поверхности оболочки (T_2) до температуры начала необратимых холодовых поражений эпителиальной ткани ($T_{терм} \approx -2,5^\circ\text{C}$), а также снижение температуры тканей ядра (T_3) более чем на 1°C . При постановке эксперимен-

та, необходимо соблюдать эти условия: $T_2 > T_{терм} \approx -2,5^\circ\text{C}$ и $T_3 > T_{3\text{ норм}} \approx -1^\circ\text{C}$. Температура ядра тела животных разная: у человека $T_{3\text{ норм}} = 37^\circ\text{C}$, а у крысы $T_{3\text{ норм}} = 35,5^\circ\text{C}$. При проведении экспериментов выбор номинального значения температуры ядра имеет принципиальное значение, так как, учитывая наличие мехового покрова, можно предположить, что в нормальных условиях температура тканей оболочки близка к температуре тканей ядра: $T_2 = T_{3\text{ норм}} - 2 = 33,5^\circ\text{C}$. Учитывая низкую теплопроводность меха, в пределах слоя 3 температура снижается до уровня окружающей среды $T_{oc} \leq T_1 \leq T_3$. До начала охлаждения криогенным газом объект находится в тепловом равновесии с окружающей средой, поэтому температура мехового слоя меняется по линейной зависимости:

$$T_{1x} = T_{oc} + \frac{(T_3 - T_{oc})x}{\Delta_m},$$

где x – удаление от поверхности объекта охлаждения.

Скорость распространения зоны переохлаждения вглубь тела ЛЖ определяется физическими свойствами слоев (табл. 1) [5]. Ткани оболочки и ядра обладают теплотворной способностью.

Таблица 1
Теплофизические свойства слоев объекта охлаждения

Название слоя	Мех	Оболочка	Ядро
Номер слоя	1	2	3
Плотность, кг/м ³	100	1017	1041
Влагосодержание, %	0	48	69
Теплоемкость, Дж/кг·К	2000	2186	3458
Теплопроводность, Вт/м·К	0,05	0,29	0,439
Удельное тепловыделение, Вт/кг	0	19,2	19,2

Принимаем допущение, что источники теплоты равномерно распределены по объему тела, тогда удельная теплотворная способность тканей может быть определена по калорийности суточного рациона взрослой лабораторной крысы. Энергетическая ценность суточного рациона лабораторной крысы составляет $Q_c = 830$ кДж [6]. Удельная теплотворная способность тканей тела модельного животного составит:

$$q_g = \frac{Q_c}{G \cdot 3600 \cdot 24}, q_g = 19,2 \frac{Bm}{кг}.$$

Математическая модель тела лабораторного животного

Для проведения численного эксперимента по оценке последствий криогенного охлаждения тела модельного животного необходимо создавать математическую модель объекта охлаждения, которая позволит разработать программное обеспечение эксперимента. С физической точки зрения ОКВ представляет собой процесс конвективного охлаждения поверхности тела с целью раздражения холодовых, пороговых рецепторов кожного покрова [1, 3]. Для математического описания процессов переноса теплоты в материальных объектах обычно используют дифференциальное уравнение энергии:

$$\rho \frac{\partial h}{\partial \tau} = - \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + q_v,$$

или

$$\rho \frac{\partial h}{\partial \tau} = - \text{div} \vec{q} + q_v,$$

где h , ρ – энтальпия и плотность материала; q_v – количество теплоты, выделяемое внутренними источниками в единице объема объекта.

В экспериментах, посвященных исследованию тепловых процессов в обо-

лочке человеческого тела, используют упрощенную одномерную запись уравнения энергии:

$$\rho \frac{\partial h}{\partial \tau} = - \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} \right) + q_v.$$

Такое упрощение оправдано тем, что толщина оболочки тела человека составляет всего 0,016 м, в то время как эффективный диаметр тела составляет не менее 0,4 м.

Условия гипотермической безопасности ОКВ ограничивают глубину распространения поля температуры человеческого тела пределами его оболочки, поэтому одномерная запись уравнения энергии описывает процесс с достаточной точностью [4].

При моделировании процессов в теле модельного животного соотношение толщины оболочки и диаметра объекта иное. Кроме того, слои объекта охлаждения имеют выраженную кривизну. Для построения математической модели необходимо использовать одномерную запись уравнения энергии, в радиальной системе координат:

$$\rho \frac{\partial h}{\partial \tau} = - \frac{\partial q}{\partial R} + q_v,$$

где q – тепловой поток вдоль радиуса объекта.

Уравнение энергии аппроксимируется конечно-разностными приближениями:

$$|(h'_1 - h_i) \cdot V \cdot \rho = (q_{i+1} + q_{i+1} + q_v) \cdot \Delta \tau,$$

где h_i , h'_i – соответственно текущее и последующее значение энтальпии вещества в элементарном объеме; q_{i+1} , q_{i-1} – соответственно тепловой поток от предыдущего и последующего слоев.

Тепловой поток от смежных участков рассчитываются с учетом текущих значений температуры и теплопроводности элементов:

$$q_{i+1} = \frac{2\pi\lambda(T_{i+1}-T_i)}{\ln(R_{i+1}/R_i)}, q_{i+1} = \frac{2\pi\lambda(T_i-T_{i-1})}{\ln(R_i/R_{i-1})}.$$

Тепловой поток с наружной поверхности объекта определяется конвекцией криогенного газа: при $i=n_i$ $q_{i+1}=a \cdot f(T_{ni}-T_i)$. Для центрального элемента математической модели: при $i=1$ $q_{i-1}=0$.

Для выполнения численного эксперимента объект разбивается на большое число элементарных цилиндров. Учитывая малые размеры моделируемого объекта, шаг изменения радиуса цилиндров составляет 0,25 мм. Отсчет индексов цилиндров ведется от центра к периферии. Так как переохлаждение центральной части объекта охлаждения недопустимо по условиям гипотермической безопасности, в центре объекта размещен цилиндр с радиусом $R_{i=1} = 5$ мм, в пределах которого температура будет меняться по одинаковому закону.

Материалы и методы

Компьютерное моделирование процесса криотерапевтического воздействия на организм лабораторного животного

Для предварительной оценки последствий ОКВ на организм модельных животных было проведено компьютерное моделирование процесса охлаждения.

Исследовалось изменение температуры тканей животного при контакте с газом температурой от -190°C до -110°C . Экспозиция охлаждения составляла 300 с. Значительное увеличение экспозиции преследовало цель изучить процессы, протекающие в теле ЛЖ при значительном переохлажде-

нии тканей оболочки тела. Такое переохлаждение сопровождается неизбежным снижением температуры ядра, что создает угрозу здоровью животного, поэтому следовало проанализировать, какие результаты можно получить при максимальной продолжительности контакта тела с криогенной газовой средой.

Целью криотерапии является переохлаждение поверхности кожи объекта криовоздействия до температуры в интервале от -2 до $+2^\circ\text{C}$ [7]. Безопасность объекта от переохлаждения основана на ограничении допустимого изменения температуры тканей на границе «ядра» и «оболочки» тела. Для человека допустимое изменение температуры составляет не более 1°C . Как показано выше, средняя теплотворная способность тканей крысы почти в 4 раза выше, чем у человека. Можно предположить, что «ядро» тела животного способно лучше противостоять переохлаждению, однако в любом случае изменение температуры на границе «ядра» и «оболочки» тела не должно быть существенным, так как иначе могут пострадать органы, расположенные близко к поверхности тела, прежде всего – легкие.

Результаты и их обсуждение

В табл. 2 приведены результаты моделирования процесса охлаждения тела ЛЖ при температуре газа $-190^\circ\text{C} \leq T_{\text{газ}} \leq -110^\circ\text{C}$. Основной массив данных представляет собой температуру тканей тела на разных уровнях: в центре тела – $T_{\text{я}}$, на границе «ядра» и «оболочки» – $T_{\text{я-о}}$, на поверхности «оболочки» – $T_{\text{о}}$, на поверхности мехового слоя – $T_{\text{мех}}$. Кроме этого рассчитаны и приведены значения теплового потока с поверхности тела $q_{\text{мех}}$ в момент $\tau=300$ с и количества отведенной от объекта охлаждения теплоты $Q_{\text{мех}}$.

Таблица 2

Результаты компьютерного моделирования процесса ОКВ на тело лабораторного животного при толщине мехового слоя 2 мм

Температура, °C					$q_{\text{мех}}$, Вт	$Q_{\text{мех}}$, кДж
$T_{\text{газ}}$	$T_{\text{я}}$	$T_{\text{я-о}}$	$T_{\text{о}}$	$T_{\text{мех}}$		
-110	35,5	25	9,3	-26,8	66	21,2
-120	35,5	24,5	8,2	-29,4	68	22,1
-130	35,5	24,4	7,6	-31,4	71	22,4
-140	35,5	24,2	7,2	-31,7	71	22,8
-150	35,5	23,9	6,5	-33,4	73	23,4
-160	35,5	24	6,6	-33,6	73	23,2
-170	35,5	23,7	6,1	-34,5	74	23,7
-180	35,5	23,7	6	-34,7	74	23,7
-190	35,5	23,6	5,9	-35	74	23,8

Из данных табл. 2 видно, что несмотря на значительное превышение традиционной экспозиции ОКВ ($\tau=180$ с), ни в одном из рассмотренных вариантов не удалось добиться снижения температуры поверхности «оболочки» $T_{\text{о}}$ до уровня от -2 до $+2^{\circ}\text{C}$, при котором возникает криогенная стимуляция пороговых холодовых рецепторов кожи. При этом температура центра «ядра» тела $T_{\text{я}}$ осталась неизменной во всех вариантах, но температура тканей на границе «ядра» и «оболочки» $T_{\text{я-о}}$ опустилась до уровня менее $+25^{\circ}\text{C}$, т.е. почти на 10°C , что не может не вызвать необратимых последствий для организма животного. По условиям защиты «ядра» тела от переохлаждения процесс криовоздействия нужно было бы прекратить значительно раньше. Если считать, что допустимое изменение температуры границы «ядра» и «оболочки» составляет 5°C , то процесс криовоздействия при температуре газа -180°C должен был быть прекращен

уже через 133 с (рис. 2), когда температура $T_{\text{я-о}}$ опустилась до уровня 30°C . К этому моменту температура поверхности «оболочки» тела опустилась только до $12,7^{\circ}\text{C}$. При такой температуре холодовые рецепторы кожи не активируются, и получение криотерапевтического эффекта невозможно.

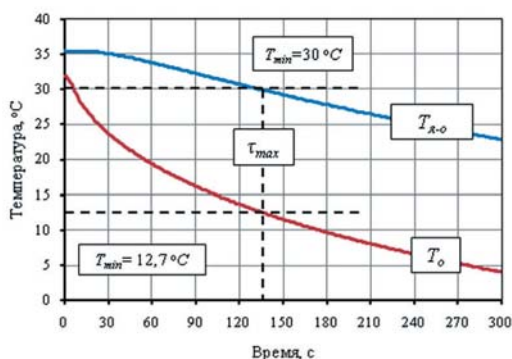


Рис. 2. Изменение температуры наружной границы «ядра» ($T_{\text{я-о}}$) и «оболочки» ($T_{\text{о}}$) тела животного при температуре газа -180°C .

Учитывая то, что объект имеет цилиндрическую форму, в зону переменной температуры попадает значительная по массе часть «ядра», которая составляет около 74%. Можно утверждать, что переохлаждению в той или иной степени подверглись все внутренние органы животного. При таких условиях переохлаждение тканей «ядра» может стать причиной целого ряда негативных последствий, которые полностью исключены при реализации технологии криотерапевтического воздействия на человека. Несмотря на общее переохлаждение тела животного, поверхность «оболочки» тела так и не достигла температуры «криотерапевтического» диапазона (от -2 до +2°C), эксперименты по исследованию криотерапевтических эффектов на ЛЖ следует признать бесполезными.

Высказывается мнение о том, что основным препятствием переохлаждению поверхности оболочки до оптимального температурного уровня является слой меха, который достаточно эффективно препятствует отводу теплоты. Учитывая многочисленные предложения уменьшить толщину мехового слоя ЛЖ или вовсе удалить волосяной покров с поверхности тела механически, следует смоделировать ход процесса ОКВ при меньшей толщине «теплоизоляционного» слоя тела. По изложенной выше методике было выполнено еще два численных эксперимента, в которых толщина мехового слоя составляла 1,5 и 1,0 мм. Основные результаты повторных экспериментов приведены в табл. 3.

На первый взгляд, изменения в физической модели тела ЛЖ обеспечили достижение желательного результата.

Таблица 3

Результаты численного эксперимента по моделированию процесса ОКВ на тело лабораторного животного при различной толщине мехового слоя

$T_{газ}, ^\circ\text{C}$	Толщина мехового слоя 1,5 мм						Толщина мехового слоя 1,0 мм					
	$T_{я}, ^\circ\text{C}$	$T_{я-о}, ^\circ\text{C}$	$T_o, ^\circ\text{C}$	$T_{мех}, ^\circ\text{C}$	$q_{мех}, \text{Вт}$	$Q_{мех}, \text{кДж}$	$T_{я}, ^\circ\text{C}$	$T_{я-о}, ^\circ\text{C}$	$T_o, ^\circ\text{C}$	$T_{мех}, ^\circ\text{C}$	$q_{мех}, \text{Вт}$	$Q_{мех}, \text{кДж}$
-110	35,5	24	7	-20,9	70	22,8	35,5	22,4	3	-10,1	80	25,4
-120	35,5	23,5	5,9	-23,1	73	23,7	35,5	22	2,7	-10,3	79	26
-130	35,5	23,6	5,9	-23,5	74	23,5	35,5	21,6	1,5	-11,7	82	26,9
-140	35,5	23,1	4,9	-25	76	24,4	35,5	21,7	1,4	-12	83	26,7
-150	35,5	23,1	4,7	-25,7	77	24,4	35,5	21,2	0,6	-13	84	27,5
-160	35,5	22,8	4,2	-26,4	77	24,9	35,5	21,2	0,4	-13,3	86	27,5
-170	35,5	22,8	3,9	-27	78	25	35,5	21	0	-13,9	86	28
-180	35,5	22,7	3,9	-27,3	78	25,2	35,5	20,9	-0,1	-14,1	87	28
-190	35,5	22,7	3,7	-27,5	79	25,3	35,5	20,9	-0,2	-14,2	87	28,1

Температура поверхности «оболочки» тела T_o существенно уменьшилась. При этом минимальное значение T_o составило 3,7°C (табл. 3). Дальнейшее уменьшение толщины мехового слоя позволило получить на поверхности оболочки отрицательные температуры. Однако снижение температуры поверхности сопровождалось дальнейшим переохлаждением тканей «ядра» тела. При снижении толщины меха доля тканей «ядра», переохлажденных более чем на 1°C, увеличилась до 81%. Для обеспечения защиты животного от переохлаждения криотерапевтическое воздействие следовало бы прервать уже через 117 с, когда температура наружной границы «ядра» опустилась до уровня 30°C. В этот момент температура поверхности оболочки составляла не ниже 10°C, что полностью исключает проявление криогенной стимуляции холодовых рецепторов.

Выводы

1. Результаты экспериментальных исследований показывают, что из-за малой массы и размеров тела крысы невозможно создать внешние условия, при которых поверхность тела охладится до уровня, обеспечивающего получение криотерапевтического эффекта.

2. Физический эксперимент на лабораторной крысе не целесообразен, т.к. приводит к безусловной гибели животного и не обеспечивает получения необходимой информации.

3. Исследование эффектов общей криотерапии на лабораторных крысах невозможно, так как результаты ОКВ на тело крысы принципиально отличаются от последствий криотерапевтических процедур для человека.

4. Основной объем исследований в области криотерапевтического воздействия может быть выполнен в режиме численного эксперимента на математической модели объекта ОКВ.

5. Математическое моделирование позволяет определить условия охлаждения, обеспечивающие полную безопасность пациента во время процедур ОКВ.

6. Клиническая практика общей криотерапии составляет более 35 лет. Все возможные причины негативного воздействия на человеческий организм исключены на основе практического опыта.

7. Информацию о лечебных эффектах криотерапии следует собирать во время лечебных или профилактических сеансов ОКВ при четком соблюдении условий безопасности охлаждения, установленных в рамках математического эксперимента.

Список литературы

1. Баранов А.Ю., Малышева Т.А. Моделирование нестационарного теплообмена в криомедицине // Вестник Международной академии холода. 2000. № 2. С. 38-41.
2. Баранов А.Ю., Малышева Т.А., Савельева А.В., Сидорова А.Ю. Выбор схемы общего криотерапевтического воздействия // Вестник Международной академии холода. 2012. № 4. С. 40-44.
3. Баранов А.Ю., Малышева Т.А., Савельева А.В., Сидорова А.Ю. Перенос теплоты в объекте общего криотерапевтического воздействия // Вестник Международной академии холода. 2012. № 2. С.35-40.
4. Баранов А.Ю., Баранов В.А., Малышева Т.А. Энергетические основы эффективности криотерапевтической аппаратуры // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2005. № 2. - М.: Медицина. С. 29-31.

5. *Бартон А., Эндхолм О.* Человек в условиях холода. - М.: Издательство иностранной литературы. 1959. 280 с.
6. *Сахаров П.П., Метелкин А.И., Гудкова Е.И.* Лабораторные животные. - М.: Государственное издательство медицинской литературы. 1952. 316 с.
7. *Шиман А.Г., Кирьянова В.В., Максимов А.В., Баранов А.Ю.* Клинико-физиологические аспекты применения криотерапии // Вестник Государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова. – СПб. 2001. № 1. 27 с.

Methods of whole body cryotherapy effects research

A.Yu. Baranov, T.A. Malysheva

Whole body cryotherapy (WBC) effects researches are organized to reveal and collect new clinical results on negative and positive aspects of cold therapy. WBC is a method of body exposing to low temperatures. Nitrogen gas is cooled to -130 C, which lowers the patient's skin surface temperature. Some scientists and doctors see a potential health menace in low temperature use. They suggest starting clinical practice on laboratory animals to minimize the risk of WBC. It is advised to start experiments on rats and mice. It is also necessary to understand what scientific and practical value these studies will have and how these findings can be applied.

Key words: cryotherapy effect, laboratory animal, numeral experiment, computer model.