

Для цитирования: Баранов А.Ю., Осина А.А., Синькова В.А. Энергетические и конструктивные условия эффективности аппаратов для общего криотерапевтического воздействия. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;43(4):25-33. DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-25-33

For citation: Baranov A. Yu., Osina A.A., Sinkova V.A. Energy and construction conditions of the effectiveness of apparatus for general cryotherapeutic impact. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;43 (4):25-33. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-25-33

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.593

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-43-4-25-33

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБЩЕГО КРИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Баранов А.Ю.¹, Осина А.А.³, Синькова В.А.².

¹⁻³Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 197101, Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, 49,
¹⁻³e-mail: abaranov@corp.ifmo.ru

Резюме: Цель. Оценить соответствие конструкции и энерговооруженности криотерапевтических комплексов (КТК) технологическим условиям эффективности общего криотерапевтического воздействия (ОКВ). **Метод.** Использована методика анализа соответствия конструкции и энерговооруженности криотерапевтических комплексов (КТК) технологическим условиям эффективности общего криотерапевтического воздействия (ОКВ). **Результат.** Высказано предположение, что причиной расхождения наблюдений разных исследователей являются различия в конструкции и энерговооруженности КТК. Приведены технические характеристики действующих одноместных и многоместных КТК, проиллюстрированы существенные различия этих характеристик у аппаратов одинакового технологического назначения. Предложена система унифицированных удельных характеристик КТК. Вычисление удельных характеристик действующих комплексов показало, что между объектами одинакового назначения существуют качественные различия, которые могут быть причиной расхождений в их лечебной эффективности. Все действующие КТК имеют дефицит холодопроизводительности системы криостатирования от 8 до 75%. У многоместных КТК дефицит холодопроизводительности превышает 50 %, что исключает возможность получения существенного лечебного эффекта. Это подтверждается результатами независимых исследований, которые показывают, что процедуры в многоместных КТК обеспечивают переохлаждение кожи только до 14°С, в то время как для эффективного ОКВ необходимо переохладить поверхность кожи до температуры менее 2°С. До проведения исследований в области эффективности ОКВ необходимо оценить соответствие криотерапевтического оборудования требованиям по энерговооруженности. **Вывод.** Для успешного применения ОКВ в медицине и спорте необходимо повысить энерговооруженность и оптимизировать температурный режим криотерапевтических установок. Криотерапевтический комплекс должен обеспечить такие физические условия, чтобы поверхность тела переохлаждалась до температуры менее 2°С. Холодопроизводительность системы криостатирования кабины пациента должна обеспечивать отвод теплоты с поверхности кожи пациента с интенсивностью не ниже 3,35 кВт/м². Для интенсивного отвода теплоты с поверхности тела пациента температура охлаждающего газа не должна превышать уровень -130°С.

Ключевые слова: общее криотерапевтическое воздействие, криотерапевтический комплекс, энерговооруженность, холодопроизводительность, переохлаждение поверхности кожи

TECHICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY AND CONSTRUCTION CONDITIONS OF THE EFFECTIVENESS
OF APPAATUS FOR GENERAL CRYOTHERAPEUTIC IMPACT

Alexander U. Baranov¹, Anastasia A. Osina², Valentina A. Sinkova³

*¹⁻³St. Petersburg National Research University
of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO),
49 Kronverkskiy Ave., St. Petersburg 197101, Russia
e-mail: abaranov@corp.ifmo.ru*

Abstract: Objectives. To evaluate the correspondence of construction and power consumption of Cryotherapeutic Complexes (CTC) with technological conditions of effectiveness of the General Cryotherapeutic Impact (GCI). **Methods.** The associated analysis method used Cryotherapeutic Complexes (CTC) construction and power consumption with technological conditions of effectiveness of the General Cryotherapeutic Impact (GCI). **Results.** An explanation for the discrepancy of observations of different researchers in differences in design and available power of the CTC is proposed. The technical operating characteristics of single-seat and multi-seat CTC are provided and these significant differences in apparatus of identical technological designation are illustrated. The proposed system of specific CTC characteristics is capable of unifying their basic structural and energy characteristics. Calculation of the specific characteristics of existing systems showed that between objects of the same designation, there are differences in value, which may be the cause of discrepancies in their therapeutic efficacy. All functional CPC have a cryostatting cooling capacity system deficit of between 8 and 75%. In multi-seat CPC cooling capacity deficit exceeds 50%, which excludes the possibility of obtaining a significant therapeutic effect, as is confirmed by the results of independent studies that show that the procedures in multi-seat CTC safeguards skin from frigorism only up to 14°C, while at the same time for effective OKV frigorism of the skin surface is necessary to a temperature of less than about 2°C. Prior to research on the effectiveness of OKV, it is necessary to assess the energy consumption conformity of cryotherapy equipment. **Conclusion.** For the successful implementation of OKV in medicine and sport, it is necessary to increase energy efficiency and optimise cryotherapeutic temperature control settings. A cryotherapeutic complex should safeguard such physical conditions in such a way that the body surface is frigerised to a temperature of less than about 2°C. The cryostatting patient cabin system cooling capacity should provide heat removal from the surface of the patient's skin with an intensity of no lower than 3.35 kW / m². For intensive heat removal from the patient's body surface the cooling gas temperature must not exceed -130°C.

Keywords: General cryotherapeutic impact, cryotherapeutic complex, power consumption, cooling capacity, frigorism of skin surface

Введение. Общая криогенная терапия (ОК) - эффективный метод немедикаментозного лечения ряда тяжелых заболеваний. ОК представляет собой физиотерапевтическую технологию, используемую для достижения лечебного эффекта охлаждения поверхности кожного покрова тела человека криогенным газом [1,2]. Целью криогенного воздействия является стимуляция холодовых рецепторов кожи, которая обеспечивает ряд позитивных сдвигов в деятельности важнейших систем организма. Общее криотерапевтическое воздействие (ОКВ) относится к неспецифическим лечебным процедурам, так как не оказывает на организм пациента направленного действия, а только оптимизирует деятельность иммунной, эндокринной, нервной и кровеносной системы. Наиболее востребованным эффектом ОКВ является длительное подавление болевых ощущений любого происхождения в течение 6-8 часов [2]. ОКВ реализуется в теплоизолированных кабинах, рассчитанных на размещение от 1 до 6 пациентов. Для поддержания криогенного уровня температуры теплоизолированная кабина (кабина пациента) снабжена системой охлаждения. Кабина и система охлаждения образуют устройство для проведения сеансов ОКВ или криотерапевтический комплекс (КТК) [1-8].

Криотерапевтические комплексы производятся с 80-х годов XX века и различаются по вместимости на одноместные и многоместные, а по принципу действия системы охлаждения - на азотные и компрессионные [7]. Азотные КТК поддерживают криогенную температуру в кабине пациента за счет теплоты парообразования жидкого азота. КТК использовались для реализации технологии ОКВ с момента изобретения этого физиотерапевтического метода. Первоначально использовались многоместные КТК с азотным охлаждением, в начале XX века широкое распространение получили одноместные кабины этого типа [2].

Многоместные КТК с компрессионным охлаждением были разработаны в Западной Европе в качестве альтернативы аппаратам с азотным охлаждением. Устройства этой группы используют для охлаждения кабины пациента паровые циклы [1]. Выбор способа охлаждения оказывает определяющее влияние на уровень температуры в кабине пациента. Криотерапевтические комплексы с азотным охлаждением способны поддерживать уровень температур до -180°C [8]. Рабочая температура в КТК с компрессионным охлаждением составляет не ниже -110°C [1,8].

Постановка задачи. В последние годы технологию ОКВ активно применяют для решения не только лечебных задач, но и для обслуживания спортсменов высшего уровня во время крупных соревнований и тренировок. Разработаны мобильные КТК, которые сопровождают сборные команды спортсменов на выездных соревнованиях. Спортивная практика ОКВ стала причиной многочисленных исследований, связанных с оценкой эффективности этого метода [1,3,4,5,6,7]. Результаты наблюдений разных авторов противоречивы и не позволяют составить однозначное мнение о целесообразности спортивного применения КТК. Необходимо определить причины противоречий в результатах наблюдений разных исследователей.

Методы исследования. Проведенный анализ литературных источников показал, что авторы рассматривают сеансы ОКВ как некую унифицированную методику, которая во всех случаях должна обеспечивать ожидаемые результаты. Только в отдельных случаях указывается уровень рабочей температуры в кабине пациента. При этом конструкция и энергооборуженность КТК не рассматриваются.

На наш взгляд, это является существенным упущением исследователей, так как выбор схемы проведения ОКВ оказывает определяющее влияние на достигаемые позитивные результаты. Выбор вместимости кабины пациента определяет схему проведения сеансов ОКВ. В многоместных и одноместных КТК температура газа, охлаждающего поверхность тела пациента, меняется по разным законам. В одноместных кабинах пациент погружается в газовую среду с номинальной температурой за 20-40 с. В многоместных комплексах температура охлаждающего газа снижается ступенчато и достигает номинального уровня только через 90 с [2]. Различия в графике изменения температуры охлаждающего газа связаны с особенностями конструкции кабин пациента разной вместимости. Многоместная кабина пациента отделена от окружающей среды одной или двумя шлюзовыми камерами. При перемещении из окружающей среды в зону ОКВ и обратно, пациент проходит низкотемпературные камеры с температурой -10 и -60°C . Из-за этого минимальный уровень температуры охлаждающего газа достигается только через 100 с. В одноместном криотерапевтическом комплексе пациент входит в кабину, заполненную атмосферным воздухом, которая во время сеанса ОКВ за 20-40 с заполняется криогенным газом (теплоносителем) с заданной температурой [2].

Номинальная температура основной процедурной кабины многоместного КТК составляет не менее -110°C , в одноместных КТК температура поддерживается температура не выше -130°C . Общее время пребывания пациента в многоместном КТК на 30 с больше [8,11]. Различия в конструкции комплексов отразились на значениях их технических характеристик (табл. 1). Например, значительно отличаются значения внутреннего объема кабины пациента. Значительное влияние на работу многоместных КТК оказывает наличие промежуточной кабины (шлюза), который защищает кабину пациента от прямого контакта с окружающей средой. Размеры шлюза аналогичны размерам кабины пациента, что существенно увеличивает размеры КТК и тепловую нагрузку на систему охлаждения [8,12,13].

Таблица 1. Технические характеристики исполнительных устройств действующих криотерапевтических комплексов
Table 1. Specifications of actuators operating cryotherapeutic systems

Параметры	Ед. изм.	Наименование КТК					
		КРИОН	Криомед-20/150	ICEQUEEN	Криослейскабин	Zimmer	KR-2005 N
Номер КТК		1	2	3	4	5	6
Параметры кабины пациента							
Вместимость КТК	чел	1	1	1	5	5	6
Температура	оС	-130	-120	-120	-110	-110	-120
Объем	м ³	0,5	1,0	1,0	8,4	8,8	15,6
Площадь поперечного сечения	м ²	0,4	0,65	0,65	4,0	4,0	6,25
Площадь теплового ограждения	м ²	3,2	6,2	6,2	24,8	25,6	37,5
Мощность системы охлаждения	кВт	-	-	-	20	25	-
Затраты жидкого азота	кг/мин	1,5	1,0	1,0	-	-	2,0

По данным производителей криотерапевтических систем (табл.1) оценить адекватность условий реализации технологии ОКВ достаточно трудно. Температура в кабине пациента различается незначительно. Зато размеры кабины пациента несопоставимы. Для размещения одного пациента в КТК «КРИОН» используется кабина объемом 0,5 м³, а в криотерапевтическом комплексе «KR-2005 N» кабина вместимостью 6 пациентов имеет объем 15,6 м³, т.е. в 30 раз больше. При этом расход жидкого азота в системах охлаждения этих КТК близок по значению [8,13].

Для предварительного анализа эффективности криотерапевтических аппаратов удобно использовать их удельные технические характеристики, т.е. параметры, отнесенные к единице объема кабины пациента. Работоспособность кабины пациента зависит от мощности теплового потока, который отводится из единицы ее объема. Исследования в области технологии ОКВ показали, что для достижения криотерапевтического эффекта необходимо за $\tau = 180$ с отвести от единицы поверхности тела пациента не менее 600 кДж теплоты [14]. При этом средняя за один цикл ОКВ интенсивность отвода теплоты составит:

$$q_s = Q_s / \tau \approx 3,3 \text{ кВт/м}^2 \quad (1)$$

Следует отметить, что величина удельного отвода теплоты от тела пациента не зависит от выбора конструкции КТК. Если достаточный отвод теплоты не будет обеспечен, температура поверхности кожи в зоне залегания холодовых рецепторов не достигнет уровня, обеспечивающего интенсивную стимуляцию системы терморегуляции, поэтому не удастся получить позитивный результат ОКВ [9-11].

Считается, что интенсивное раздражение холодовых рецепторов обеспечивается только в том случае, когда температура поверхности кожи к концу сеанса криотерапии удовлетворяет условию:

$$-2 < t_s < 2^\circ \text{C}. \quad (2)$$

По мере приближения температуры поверхности кожи к минимально допустимому значению, интенсивность сигналов холодовых рецепторов возрастает гиперболически [2]:

$$I_s = \frac{20}{[t_s - (t_{min} - 0,5)]^2} \quad (3)$$

Поток теплоты с поверхности тела пациента q_s является основным компонентом тепловой нагрузки на систему охлаждения. Кроме этого, система охлаждения отводит поток

теплоты от внутренней поверхности кабины пациента q_{in} . Важнейшими удельными характеристиками КТК являются площади поверхности пациента и тепловой изоляции:

$$f_s = \frac{F_s \cdot n}{V_c} \quad \text{и} \quad f_{in} = \frac{F_{in}}{V_c}, \quad (4)$$

где, V_c - объем кабины пациента, n - вместимость кабины пациента, F_s - площадь поверхности тепла пациента, $F_s=1,5 \text{ м}^2$, F_{in} - площадь поверхности тепловой изоляции кабины пациента.

Вход и выход пациента в кабину сопровождаются потерями криогенного газа в окружающую среду. В одноместных кабинах при выходе пациента теряется весь криогенный теплоноситель из объема кабины пациента. В многоместных кабинах потери теплоносителя ограничиваются за счет наличия шлюзовых камер.

Для оценки величины потерь теплоносителя целесообразно ввести в рассмотрение величину удельного свободного пространства процедурной кабины:

$$\varepsilon = \frac{V_c - V_s \cdot n}{V_c}, \quad (5)$$

где, V_s - средний объем тела пациента, $V_s \approx 0,08 \text{ м}^3$.

Не менее важно описать эффективность системы охлаждения КТК. Для КТК, использующих жидкий азот, энерговооруженность системы характеризуется величиной удельного расхода криоагента:

$$g_{NV} = \frac{g_N}{V_c}, \quad (6)$$

где, g_n - расход криоагента за единицу времени (табл.1).

Для комплексов с компрессионным охлаждением энерговооруженность характеризуется приведенной мощностью системы криостатирования:

$$N_V = \frac{N}{V_c}, \quad (7)$$

где, N - мощность привода системы охлаждения (табл.1).

Для сравнения энерговооруженности систем криостатирования азотного и компрессионного типа можно ввести в рассмотрение понятие удельной холодопроизводительности системы охлаждения. Для устройств компрессионного типа удельная холодопроизводительность рассчитывается с учетом значения холодильного коэффициента, который для диапазона температур от -130 до -110 °С, составляет от 0,25 до 0,35 [8].

Удельная холодопроизводительность компрессионной системы охлаждения составит:

$$\kappa = \eta N_V = \eta \frac{N}{V_c} \quad (8)$$

В случае использования жидкого азота удельная холодопроизводительность системы криостатирования процедурной кабины рассчитывается с учетом теплоотводящей способности жидкого азота на уровне рабочей температуры кабины пациента:

$$q_N = r'' + c_p(T_c - T'') \quad (9)$$

где r'' - теплота парообразования жидкого азота, $r''=199 \text{ кДж/кг}$, T_c - температура в кабине пациента (табл.1), T'' -температура кипения жидкого азота, c_p - теплоемкость паров азота в диапазоне температур от T'' до T_c .

Удельная холодопроизводительность системы криостатирования использующей жидкий азот составит:

$$\kappa = q_N g_{NV} = g_{NV} [r'' + c_p(T_c - T'')]. \quad (10)$$

Расчет удельных технических характеристик действующих КТК позволит получить данные, пригодные для сопоставительного анализа их эксплуатационных характеристик.

Обсуждение результатов. Приведенные в табл. 2 расчетные значения удельных характеристик действующих криотерапевтических систем иллюстрируют существенные различия между двумя группами криотерапевтического оборудования.

Таблица 2. Удельные характеристики действующих криотерапевтических комплексов
Table 2. Specific characteristics of acting cryotherapy complexes

Параметры	Ед. изм.	Номер КТК					
		1	2	3	4	5	6
Вместимость	чел/м ³	2,00	1,00	1,00	0,60	0,57	0,38
Площадь ограждения кабины	м ² /м ³	6,4	4,7	4,7	3,0	2,91	2,4
Площадь поверхности тела пациента	м ² /м ³	3,20	1,60	1,60	0,96	0,91	0,61
Свободное пространство	м ³ /м ³	0,84	0,92	0,92	0,95	0,96	0,97
Расход криоагента	кг/(м ³ ·мин)	3,00	1,00	1,00	-	-	0,13
Мощность системы охлаждения	кВт/м ³	-	-	-	2,38	2,84	-
Холодопроизводительность	кВт/м ³	13,05	4,52	4,52	0,83	0,99	0,59
Тепловыделение от пациента	кВт/м ³	10,66	3,33	3,33	2,00	1,90	1,27

Существенные различия одноместных и многоместных КТК выявлены в показателях компактности размещения пациента в кабине. В единице объема кабины КТК размещается до 2 пациентов, которые создают удельную тепловыделяющую поверхность площадью от 0,61 до 3,2 м²/м³. Низкая компактность размещения пациентов является неотъемлемым признаком конструкции многоместных КТК. Для того, чтобы пациенты могли переходить из одной низкотемпературной камеры комплекса в другую, необходимо достаточно большое свободное пространство, доля которого в многоместных криотерапевтических комплексах достигает 97%.

Большая величина удельного свободного пространства камеры пациента снижает энергоэффективность КТК, так как при входе (выходе) пациентов часть криогенного теплоносителя сбрасывается в смежный объем, например, в шлюзовую камеру, и замещается более теплым газом. На восстановление температуры газа в большом объеме затрачивается дополнительная энергия, возрастает суммарная тепловая нагрузка на систему криостатирования. Конструкция и принцип действия одноместных КТК позволяют снизить негативное влияние потерь теплоносителя в окружающую среду [15]. Это достигается за счет увеличения компактности размещения пациента в процедурной кабине, доля свободного пространства кабины сокращается до 84%. Учитывая то, что технология ОКВ основана на отводе с поверхности тела пациента определенного количества теплоты за ограниченное время, по удельным показателям энерговооруженности КТК можно оценить их способность обеспечить охлаждение поверхности тела пациента. Для этого достаточно сравнить удельную холодопроизводительность КТК с удельными тепловыделениями с поверхности тела пациента, которые определяются как произведение величины удельной теплопередающей поверхности тела пациента на среднюю интенсивность теплового потока:

$$q_{sv} = f_s \cdot q_s. \quad (11)$$

Из-за различий в компактности размещения пациента значения удельных тепловыделений варьируются от 1,27 до 10,66 кВт/м³. При этом только у одноместных КТК (№1, 2, 3) удельная холодопроизводительность системы криостатирования превышает удельное тепловыделение. У КТК № 4, 5, 6 дефицит холодопроизводительности составляет более 50%.

Следует отметить, что холодопроизводительность системы охлаждения затрачивается не только на покрытие тепловыделений от поверхности тела пациента. Теплота проникает в кабину пациента через теплоизоляцию и с потоками теплого газа при входе (выходе) пациентов. Показано, что доля холодопроизводительности, затрачиваемой на отвод теплоты от пациентов, в многоместных КТК не превышает 50% [13]. С учетом этой информации дефицит холодопроизводительности системы криостатирования КТК № 4, 5, 6 может достигать 75%, т.е. эти устройства не способны выполнять технологию ОКВ.

У одноместных КТК удельная холодопроизводительность системы охлаждения больше удельного отвода теплоты с поверхности тела пациента. Однако надо учитывать, что при доле свободного пространства 92 % доля полезной тепловой нагрузки на систему криостатирования одноместной кабины пациента составляет не более 50%, т.е. комплексы №2, 3 также имеют дефицит холодопроизводительности около 32%.

При таких показателях возможность выполнения эффективного криотерапевтического воздействия вызывает большие сомнения. Только у КТК №1 при удельном свободном пространстве кабины пациента 84%, доля полезной тепловой нагрузки на систему криостатирования возрастает до 75%. Расчетный дефицит холодопроизводительности системы криостатирования для КТК №1 составляет 8%.

Выполненный анализ энерговооруженности действующих криотерапевтических комплексов показывает, что в большинстве случаев система криостатирования кабины пациентов не обладает достаточной холодопроизводительностью. КТК не могут обеспечить переохлаждение поверхности кожи, достаточное для получения существенного криотерапевтического эффекта. Недостаточное переохлаждение поверхности кожи в многоместных КТК подтверждено физическими измерениями [1, 2].

Температура кожного покрова после процедуры ОКВ в многоместных криотерапевтических комплексах составляет от 12 до 18°C [2]. В отдельных случаях температура кожи понижается до уровня 4°C, но и этого недостаточно для интенсивной стимуляции холодовых рецепторов кожи [1]. Недостаточная мощность системы охлаждения, относительно высокая температура газа в основной кабине (-110°C) и сложный способ проведения ОКВ в многоместных кабинах снижают позитивные результаты криогенных процедур. Одноместные КТК с высокой компактностью размещения пациента в кабине ОКВ почти полностью выполняют требования по энерговооруженности, обеспечивают переохлаждение поверхности кожного покрова до уровня менее 2°C, обеспечивают оптимальный график изменения температуры охлаждающего газа. Лечебные эффекты, достигаемые при использовании одноместных КТК существенно выше, и это объясняет противоречия в данных, полученных разными авторами при использовании различных типов установок для общей криотерапии.

Вывод. Для успешного применения ОКВ в медицине и спорте необходимо повысить энерговооруженность и оптимизировать температурный режим криотерапевтических установок. Криотерапевтический комплекс должен обеспечить физические условия для того, чтобы поверхность тела переохлаждалась до температур менее 2°C.

Холодопроизводительность системы криостатирования кабины пациента должна обеспечивать отвод теплоты с поверхности кожи пациента с интенсивностью не ниже 3,35 кВт/м². Для интенсивного отвода теплоты с поверхности тела пациента температура охлаждающего газа не должна превышать уровень -130 °C.

Библиографический список:

1. Miroslav Savic, Borut Fonda, Nejc Sarabon, Actual temperature during and thermal response after whole-body cryotherapy in cryo-cabin//Journal of Thermal Biology 38 (2013), 186–191.
2. Баранов А.Ю., Малышева Т.А., Экспериментальная проверка результатов измерения температуры поверхности кожного покрова пациента до и после общего криотерапевтического воздействия//Лечебная физкультура и спортивная медицина №4 (136) 2016, С. 40-46.
3. Amilton Vieira, Martim Bottaro, Joao B. Ferreira-Junior, Carlos Vieira, Vitor A. Cleto, Eduardo L. Cadore, Herbert G. Simões, Jake Do. Carmo, and Lee E Brown, Does whole-body cryotherapy improve vertical jump recovery following a high-intensity exercise bout?// Open Access J Sports Med. 2015. P. 49–54.
4. Costello JT, Donnelly AE, Karki A, Selfe J. Effects of whole body cryotherapy and cold water immersion on knee skin temperature. Int J Sports Med. 2014. P. 35–40.

5. Hausswirth C., Schaal K., Le Meur Y., Bieuzen F., Filliard J-R., Volondat M., Louis J. Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation// PLoS One. 2013 Aug 22;8(8):e72658.
6. Chris M. Bleakley, François Bieuzen, Gareth W. Davison and Joseph T. Costello, Whole-body cryotherapy: empirical evidence and theoretical perspectives, Open Access J Sports Med. 2014. P. 25–36.
7. Cholewka A., Stanek A., Sieroń A., Drzazga Z. Thermography study of skin response due to whole-body cryotherapy. SkinResTechnol. 2012. pp.180–187.
8. Баранов А.Ю., Баранов В.А., Малышева Т.А. Энергетические основы эффективности криотерапевтической аппаратуры//Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2005. №2, с. 29-31.
9. Miller E., Mrowicka M., Malinowska K., Mrowicki J., Saluk-Juszczak J. et al. (2011) Effects of whole-body cryotherapy on a total antioxidative status and activities of antioxidative enzymes in blood of depressive multiple sclerosis patients. World J Biol Psychiatry 12: 223-227.
10. Pournot H., Bieuzen F., Louis J., Mounier R., Fillard J.R. et al. (2011) Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. PLOS ONE 6: e22748. doi:10.1371/journal.pone.0022748. PubMed: 21829501.
11. Lubkowska A., Szyguła Z. (2010) Changes in blood pressure with compensatory heart rate decrease and in the level of aerobic capacity in response to repeated whole-body cryostimulation in normotensive, young and physically active men. Int J Occup Med Environ Health 23: 367-375. PubMed: 21306982.
12. Маханёк А.А., Левин М.Л., Драгун В.Л. Теплофизические аспекты общей газовой криотерапии // Вести НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 2011. № 3. С. 59–71.
13. Баранов А.Ю., Малышева Т.А., Савельева А.В., Сидорова А.Ю. Выбор схемы общего криотерапевтического воздействия//Вестник Международной Академии Холода. 2012. Вып. 4, с. 40-44.
14. Баранов А.Ю., Малышева Т.А., Савельева А.В., Сидорова А.Ю. Перенос теплоты в объекте общего криотерапевтического воздействия//Вестник Международной Академии Холода. 2012. Вып. 2, с.35-40.
15. Westerlund T., Oksa J., Smolander J., Mikkelsen M., Thermal responses during and after whole-body cryotherapy. J Therm Biol. 2003. pp.601–608.

References:

1. Savic M., Fonda B., Sarabon N. Actual temperature during and thermal response after whole-body cryotherapy in cryo-cabin. Journal of Thermal Biology. 2013;38:186–191.
2. Baranov A.Yu., Malysheva T.A. Eksperimentalnaya proverka rezultatov izmereniya teperatury poverkhnosti kozhnogo pokrova patsienta do i posle obshchego krioterapevticheskogo vozdeystviya. Lechebnaya fizkultura i sportivnaya meditsina. 2016;4(136):40-46. [Baranov A.Yu., Malysheva T.A. Experimental verification of patients' skin-surface temperature measurements before and after whole body cryotherapy. Exercise Therapy and Sports Medicine. 2016;4(136):40-46. (In Russ.)]
3. Vieira A., Bottaro M., Ferreira-Junior J., Vieira C., Cleto V., Cadore E. et al. Does whole-body cryotherapy improve vertical jump recovery following a high-intensity exercise bout? Open Access Journal of Sports Medicine. 2015. 49–54.
4. Costello J.T., Donnelly A.E., Karki A., Selfe J. Effects of whole body cryotherapy and cold water immersion on knee skin temperature. International Journal of Sports Medicine. 2014. 35–40.
5. Hausswirth C., Schaal K., Le Meur Y., Bieuzen F., Filliard J-R., Volondat M. et al. Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation. PLoS ONE. 2013 Aug 22;8(8):e72658.

6. Bleakley C.M., Bieuzen F., Davison G.W., Costello J.T. Whole-body cryotherapy: empirical evidence and theoretical perspectives. *Open Access Journal of Sports Medicine*. 2014. 25–36.
7. Cholewka A., Stanek A., Sieroń A., Drzazga Z. Thermography study of skin response due to whole-body cryotherapy. *Skin Research and Technology*. 2012. 180–187.
8. Baranov A.Yu., Baranov V.A., Malysheva T.A. Energeticheskie osnovy effektivnosti krioterapevticheskoy apparatury. *Fizioterapiya, balneologiya i reabilitatsiya*. 2005;2:29-31. [Baranov A.Yu., Baranov V.A., Malysheva T.A. Energetic basis of efficiency of cryotherapeutic equipment. *Russian journal of phhysiotherapy, balneology and rehabilitation* 2005;2:29-31. (In Russ.)].
9. Miller E., Mrowicka M., Malinowska K., Mrowicki J., Saluk-Juszczak J. et al. Effects of whole-body cryotherapy on a total antioxidative status and activities of antioxidative enzymes in blood of depressive multiple sclerosis patients. *The World Journal of Biological Psychiatry*. 2011;12:223-227.
10. Pournot H., Bieuzen F., Louis J., Mounier R., Fillard J.R. et al. Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PLOS ONE*. 2011;6:e22748. DOI:10.1371/journal.pone.0022748. PubMed: 21829501.
11. Lubkowska A., Szyguła Z. Changes in blood pressure with compensatory heart rate decrease and in the level of aerobic capacity in response to repeated whole-body cryostimulation in normotensive, young and physically active men. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. 2010;23:367-375. PubMed: 21306982.
12. Makhanyok A.A., Levin M.L., Dragun V.L. Teplofizicheskie aspekty obshchey gazovoy krioterapii. *Vesti NAN Belarusi. Ser. fiz.-tekhn. nauk*. 2011;3:59–71. [Makhanyok A.A., Levin M.L., Dragun V.L. Thermophysigal aspects of gas cryotherapy. *News of the National Academy of Sciences of Belarus, Physico-Technical Series*. 2011;3:59–71. (In Russ.)]
13. Baranov A.Yu., Malysheva T.A., Savelyeva A.V., Sidorova A.Yu. Vybor skhemy obshchego krioterapevticheskogo vozdeystviya. *Vestnik Mezhdunarodnoy Akademii Kholoda*. 2012;4:40-44. [Baranov A.Yu., Malysheva T.A., Savelyeva A.V., Sidorova A.Yu. Selecting the general scheme of cryotherapeutic action. *Journal of IAR*. 2012;4:40-44. (In Russ.)]
14. Baranov A.Yu., Malysheva T.A., Savelyeva A.V., Sidorova A.Yu. Perenos teploty v obekte obshchego krioterapevticheskogo vozdeystviya. *Vestnik Mezhdunarodnoy Akademii Kholoda*. 2012;2:35-40. [Baranov A.Yu., Malysheva T.A., Savelyeva A.V., Sidorova A.Yu. Heat transfer in the object of general cryotherapeutic action. *Journal of IAR*. 2012;2:35-40. (In Russ.)]
15. Westerlund T., Oksa J., Smolander J., Mikkelsen M. Thermal responses during and after whole-body cryotherapy. *Journal of Thermal Biology*. 2003. 601–608.

Сведения об авторах:

Баранов Александр Юрьевич – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой криогенной техники.

Осина Анастасия Алексеевна – магистрант.

Синькова Валентина Алексеевна – магистрант.

Information about the authors.

Alexander U. Baranov – Dr. Sc. (Technical), Prof., Assoc. Prof.

Anastasia A. Osina – Undergraduate.

Valentina A. Sinkova – Undergraduate.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 11.09.2016.

Received 11.09.2016.

Принята в печать 20.11.2016.

Accepted for publication 20.11.2016.