

11. Edwards, K. The effect of laser lens fragmentation on use & of ultrasound energy in cataract surgery [Электронный ресурс] / K. Edwards, H. S Uy, S. Schneider // Association for Research in Vision and Ophthalmology Annual Meeting. A4710 Poster #D768. Fort Lauderdale, FL. – 2011. – Режим доступа: www.arvo.org.
12. Friedman, N. J. Femtosecond laser capsulotomy / N. J. Friedman, D.V. Palanker, G. Schuele // J Cataract Refract Surg. – 2011. – Jul. – P. 1189-1198.
13. Jay, S. Comparing Femtosecond Lasers / S. Jay // Cataract&Refractive surgery today. – Vol. 10. – 2008. – P. 45-46.
14. Kranitz, K. Femtosecond laser capsulotomy and & manual continuous curvilinear capsulorhexis parameters and their effects on intraocular lens centration / K. Kranitz, A. Takacs, K. Mihaltz [et al.] // J Refract Surg. – 2011. – P. 558-563.
15. Kránitz, K. Intraocular Lens Tilt and Decentration Measured By Scheimpflug Camera Following Manual or Femtosecond Laser-created Continuous Circular Capsulotomy / K. Kránitz, K. Miháltz, G. L. Sándor [et al.] – J Refract Surg. – 2012. – P. 259-263.
16. Krasnov, M. M. Laser-phakorupture in the treatment of soft cataracts /
17. M. M. Krasnov // Br J. Ophthalmol. – 1975. – P. 96-98.
18. Kim, P. Applications of the femtosecond laser in corneal refractive surgery / P. Kim, G. L. Sutton, D. S. Rootman // Curr Opin Ophthalmol. – 2011. – P. 238-244.
19. Marques, F. F. Fate of anterior capsule tears during cataract surgery / F. F. Marques, D. M. Marques, R. H. Osher [et al.] - J Cataract Refract Surg. – 2006. – Vol. 32. – P. 1638-1642.
20. Masket, S. Femtosecond laser-assisted cataract incisions: architectural stability and reproducibility / S. Masket, M. Sarayba, T. Ignacio // J Cataract Refract Surg. – 2010. – Jun. – P. 1048-1049.
21. Miháltz, K. Internal aberrations and optical quality after femtosecond laser anterior capsulotomy in cataract surgery / K. Miháltz, M. C. Knorz, J. L. Alió // Refract Surg. – 2011. – Oct. – P. 711-716.
22. Nagy, Z. Z. Comparison of intraocular lens decentration parameters after femtosecond and manual capsulotomies / Z. Z. Nagy, K. Kránitz, A. I. Takacs // J Refract Surg. – 2011. – Aug. – P. 564-569.
23. Nagy, Z. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery / Z. Nagy, A. Takacs, T. Filkorn [et al.] // J Refract Surg. – 2009. – Vol. 25. – P. 1053-1060.
24. Nagy, Z. Z. Advanced technology IOLs in cataract surgery: pearls for successful femtosecond cataract surgery [Электронный ресурс] / Int Ophthalmol Clin. – 2012. – Режим доступа: <http://ovidsp.tx.ovid.com>.
25. Nordan, L. T. Femtosecond laser flap creation for laser in situ keratomileusis: six-month follow-up of initial U.S. clinical series / L. T. Nordan, S. G. Slade, R. N. Baker [et al.] // J Refract Surg. – 2003. – P. 8-14.
26. Puliafito, C. A. Laser surgery of the lens. Experimental studies / C. A. Puliafito, R. F. Steinert // Ophthalmology. – 1983. – Vol. 90. – P.1007.
27. Raviv, T. The perfectly sized capsulorhexis // J. Cataract Refract. Surg. – 2009. – June. – P. 37-41.
28. Roberts, T. V. Surgical outcomes and safety of femtosecond laser cataract surgery. A prospective study of 1500 consecutive cases / T.V. Roberts, M. A. Lawless, S. J. Bali [et al.] // Ophthalmology. – 2013. – Vol. 120. – P. 227-233.
29. Roberts, T. V. Capsular block syndrome associated with femtosecond laser-assisted cataract surgery / T. V. Roberts, G. Sutton, M. A. Lawless // J Cataract Refract Surg. – 2011. – Nov. – P. 2068-2070.
30. Roberts, T. V. Femtosecond laser cataract surgery: technology and clinical practice / T. V. Roberts, M. Lawless, C. C. Chan [et al.] // Clin Experiment Ophthalmol. – 2013. – P. 180-186.
31. Salomao, M. Q. Femtosecond laser in laser in situ keratomileusis / M. Q. Salomao, S. E Wilson // J Cataract Refract Surg. – 2010. – P. 1024-1032.
32. Snyder, R. J. In vitro comparison of phacoemulsification and the erbium: YAG laser in lens capsule rupture / R. J. Snyder, H. J. Noecker // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 1994. – Vol. 35, N 4. – P. 1934.
33. Sutton, G. Accuracy and precision of LASIK flap thickness using the IntraLase femtosecond laser in 1000 consecutive cases / G. Sutton, C. J. Hodge. – Refract Surg. – 2008. – P. 802-806.
34. Szigeti, A. Comparison of long-term visual outcome and IOL position with a single-optic accommodating IOL after 5.5 or 6.0 mm Femtosecond laser capsulotomy / A. Szigeti, K. Kranitz, A. I. Takacs, K. Mihaltz [et al.] // J. Refract Surg. – 2012. – P. 609-613.

УДК 615.832-536.2

© И.А. Бурков, А.А. Жердев, А.В. Пушкарев, А.В. Шакуров, А.В. Пушкарев, 2014

И.А. Бурков¹, А.А. Жердев¹, А.В. Пушкарев¹, А.В. Шакуров¹, А.В. Пушкарев²

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГИПОТЕРМИИ

¹ФГБУ «Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана», г. Москва

²ГБОУ ВПО «Башкирский государственный медицинский университет»
Минздрава России, г. Уфа

В настоящее время остаются неизученными такие вопросы режима дозирования гипотермии, как длительность, получаемый эффект, интенсивность входа и выхода из этого состояния, глубина и точность ее поддержания. Существует недостаток систематизированных клинических данных по практическому применению различных вариантов гипотермического охлаждения. В работе проведен обзор теплофизических параметров искусственной общей и местной терапевтической гипотермии. Также представлены выводы о современных тенденциях, дополнения к классификации гипотермии. Подчеркивается, что актуально дальнейшее изучение как оптимальной температуры в зависимости от целей, так и длительности, точности поддержания скорости изменения температуры. С совершенствованием технического обеспечения гипотермии возможно дальнейшее снижение температуры общей и местной гипотермии. Исследования целевых и допустимых параметров гипотермии позволит создать базу для эффективного оборудования нового поколения с более точным дозированием охлаждения согласно медицинским требованиям.

Ключевые слова: гипотермия, местная гипотермия, общая гипотермия, температура, скорость изменения температуры.

I.A. Burkov, A.A. Zherdev, A.V. Pushkarev, A.V. Shakurov, A.V. Pushkarev
THERMOPHYSICAL PARAMETERS OF HYPOTHERMIA

Currently, such questions of hypothermia dosage as duration time, the received effect, intensity of entering and exiting the state, the depth and accuracy of its support have still not been studied yet. There is a lack of systematized clinical data on practical application of different variants of hypothermic cooling. This article is devoted to a review of thermophysical parameters of systemic and

selective artificial therapeutic cooling. The work also presents conclusions about current tendencies and additions to hypothermia classification. It is emphasized that it is urgent to study optimal temperature depending on purpose, as well as duration and accuracy of maintenance of temperature speed changing. With the improvement of technical equipment for hypothermia, it has become possible to decrease the temperature of systemic and selective artificial hypothermia. The investigation of specific and acceptable parameters of hypothermia will allow to create a base for an effective new generation equipment with a more accurate dosage of cooling according to medical requirements.

Key words: hypothermia, systemic cooling, selective cooling, protective hypothermia, temperature speed changing, review.

Понятие «гипотермия» может быть охарактеризовано с двух сторон – в качестве состояния биоткани *in vivo* и в качестве лечебного воздействия на организм.

Гипотермия (переохлаждение) – состояние организма или его отдельной области, при котором его температура ниже, чем требуется для поддержания нормального обмена веществ и функционирования. Терапевтическая гипотермия (*protective hypothermia, therapeutic hypothermia*) – лечебное воздействие на температуру тела пациента с целью предотвращения патологических состояний, например ишемического повреждения биоткани после периода недостаточного кровоснабжения, снижения кровопотери, защиты ткани от теплового повреждения [21].

Следует отметить, что состояние гипотермии начинается при выходе из области нормотермии. Большинство авторов полагают, что это диапазон температур между так называемыми тепловым порогом, равным 37,2 °С, и холодным порогом, равным 36,2-36,8 °С [1]. После проведения терапевтической гипотермии температура возвращается в область нормотермии и продолжается нормальное функционирование биоткани.

По источнику происхождения охлаждения состояние гипотермии бывает естественным и искусственным. Естественная гипотермия, обусловленная факторами внешней среды или патологиями функционирования системы терморегуляции организма, из-за сложности контроля и регулирования не находит применения в медицине, при этом, напротив, рассматривается с точки зрения патологических состояний человеческого организма. Исследования в данной области охватывают направления, связанные с функционированием организма в условиях опасной для жизни теплоотдачи в окружающую среду, общего охлаждения организма в состоянии общего наркоза и т.д. [6]. В данной работе рассматриваются теплофизические параметры искусственной гипотермии. Такая гипотермия является лечебным воздействием, и для ее реализации требуется специализированное оборудование.

По области охлаждения обычно разделяют общую (*systemic*), местную (*selective cooling*) и комбинированную гипотермии. Местная гипотермия предусматривает охла-

ждение лишь одной какой-либо области тела. При этом не ставится в качестве задачи общее охлаждение, более того, нередко приходится предпринимать согревание остальных, не охлаждаемых частей тела больного. Примером комбинированной гипотермии служит краниocereбральная гипотермия, которая, несмотря на то, что охлаждение проводится регионарно, больше схожа с общей, чем с местной гипотермией [2].

Целевая температура гипотермии

С точки зрения теплофизики основным параметром гипотермического охлаждения является количество теплоты, которое отводится от биоткани в процессе процедуры в каждый момент времени ее проведения. Однако количественно на сегодняшний день его удобно выразить косвенно значениями температуры в контрольных точках и параметрами их изменения, такими как скорость изменения, допустимая точность отклонения значений от заданных.

Исходя из этого на практике основным теплофизическим параметром гипотермии можно представить целевую температуру, другими словами степень, глубину гипотермии, области биоткани. Температура источника холода вторична по сравнению с температурой биоткани, то есть вне зависимости от температуры источника холода необходимо должным образом обеспечивать именно изменение температуры биоткани. Однако при этом необходимо соблюдать требования безопасности и учитывать динамику охлаждения биоткани. Также необходимо учитывать, что во время процесса поддержания достигнутого гипотермического состояния температура не является постоянной. Она неравномерна как в пространстве охлаждаемого объема, так и во времени. Допустимые значения этой неравномерности должны ограничиваться исходя из требований каждого конкретного случая охлаждения по медицинским показаниям.

На текущий момент в классификациях глубины общей гипотермии (по температуре) нет единства. Согласно литературе [1,6] выделяется умеренная гипотермия – с охлаждением ядра тела до 32-35 °С, средняя гипотермия – 24-32 °С, глубокая – ниже 24 °С. По мнению В.И. Грищенко [3], в зависимости от степени охлаждения тела, о которой обычно

судят по ректальной температуре, различают следующие виды общей гипотермии: поверхностную (35-32⁰С), при которой обычно используется легкая нейровегетативная фармакологическая блокада; умеренную (32-27⁰С), с современным многокомпонентным интубационным наркозом, с искусственной аппаратной вентиляцией легких, релаксацией, нейровегетативной блокадой; глубокую (ниже 27⁰С), при которой, как правило, в кардиохирургии используются еще и экстракорпоральное кровообращение и холодовая кардиopleгия. Согласно Л.А. Сумбатову [4] к умеренной гипотермии относят охлаждение в пределах 32-30⁰С, а иногда до 29⁰С и даже до 28⁰С. Глубокой гипотермией считают охлаждение ниже 28-27⁰С, причем используют охлаждение организма и до 25-18⁰С. Также охлаждение организма в пределах 35-32⁰С называют клинической глубиной, в пределах 32-25⁰С – хирургической, в пределах 25⁰С – глубокой, от 0⁰С до минус 8⁰С – сверхглубокой, которая присуща скорее естественной гипотермии. По данным других авторов [7-10], умеренная гипотермия наблюдается при температуре выше 30⁰С (обычно 32-34⁰С). Критический характер гипотермии на уровне 25⁰С обуславливается перестройкой метаболических процессов в сердечной мышце. Это позволяет считать, что если применять деление степеней глубины гипотермии на умеренную и глубокую, то биологическая граница между этими градациями глубины гипотермии для миокарда проходит на уровне 26⁰С, т.е. гипотермия до 26⁰С является умеренной, а начиная с 25⁰С и ниже – глубокой [3].

Каков же оптимальный диапазон температур для общей гипотермии? В работе А.А. Аврамченко с соавт. [1] предлагается определить его как разумный компромисс между вероятной пользой и осложнениями. По данным [2], температуру 29-33⁰С считают оптимальной, поскольку при дальнейшем снижении ее, хотя и уменьшаются потребности организма в кислороде, резко вырастает опасность сердечно-сосудистых осложнений и, в частности, фибрилляции желудочков. В современных зарубежных источниках [10,11] указывается, что умеренная гипотермия (>30⁰С) рекомендуется в клинике для достижения защиты при травмах головного мозга, несмотря на недостаток точных и удобно регулируемых методов охлаждения не рекомендуется использовать температуры ниже 30⁰С.

Периферические нервные аппараты значительно менее чувствительны к гипотермии, чем центральные структуры [2]. В мест-

ной гипотермии обычно используется более глубокое охлаждение по сравнению с общей. Однако при температуре около 0⁰С может начаться фазовый переход воды из жидкого в твердое состояние, что может повлечь за собой повреждение биоткани. Данную температуру возможно предложить в качестве минимально разрешаемой температуры для местной гипотермии. Предлагаемый в различных работах температурный уровень местной гипотермии, с одной стороны, связан с возможностями оборудования, которое применяется в конкретном исследовании. Обычно он связан с наименьшей достижимой температурой за определенный промежуток времени. С другой – с температурой достижения необходимых эффектов в состоянии гипотермии [12,13]. Например, по данным различных авторов, при гипотермии почек, предстательной железы [14-18] минимально достигаемая температура составляет около 5⁰С. При этом в различных случаях поддерживается ректальная температура в диапазоне 5-20⁰С, и минимальная разность температур в объеме органа составляет около 8⁰С. По данным О.А. Шевелева [4], преследуя цели безопасного глубокого охлаждения головного мозга, рекомендуется проведение краниocereбральной гипотермии на фоне общей умеренной гипотермии (не ниже +32⁰С), что позволяет достичь температуры структур мозга, близкой к +27⁰С. В офтальмологии же, например, эффекты гипотермии приобретают рациональный смысл при температуре ниже +15 ... +17⁰С [5].

Скорость охлаждения, длительность термостатирования, скорость нагрева

Для осуществления гипотермии недостаточно с приемлемой точностью достичь определенного уровня температур. Важны также скорость охлаждения, процесс термостатирования, скорость нагрева. От этого во многом зависит реакция организма, которая имеет различную природу при различных локализациях гипотермии.

Особенное внимание требуется уделить тому факту, что при снижении разницы температур между биотканью и охлаждающим устройством скорость изменения температуры снижается, то есть в процессе достижения гипотермического состояния на определенном уровне температур можно выделить максимальную и минимальную скорость изменения температуры. При этом, если не учитывать нелинейность, возможно для простоты оперировать данными о средней скорости изменения температуры в каждом рассматриваемом процессе.

При общей гипотермии скорость изменения температуры имеет большое значение в реакциях сердечно-сосудистой системы [3]. В работе D.M. Greer [7] указано, что для общей гипотермии быстрым является снижение температуры на $1^{\circ}\text{--}2^{\circ}\text{C}$ в течение 30-60 минут. В работе С. Storm [19] отмечено высокое значение средней скорости охлаждения в $3,3^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, при целевой температуре 33°C , достигаемой в среднем за 70 минут (55-106 минут). Причем при использовании поверхностного охлаждения скорость составляет $1,5\text{--}3,5^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, катетеров – $2\text{--}5^{\circ}\text{C}/\text{ч}$. Экспериментальные исследования показали эффективность краниocereбральной гипотермии при охлаждении температуры мозга до $7^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ [20]. При местной гипотермии скорость охлаждения обычно играет менее важную роль и может достигать значений порядка нескольких градусов в минуту [2].

С практической точки зрения в использовании гипотермии очень важен вопрос об оптимальной длительности экспозиции искусственной гипотермии (термостатирования) с определенной точностью, которая следует за процессом охлаждения. По данным [4], благоприятный эффект глубокой общей гипотермии, в частности при травматических повреждениях головного мозга, в наибольшей степени выражен при экспозиции в 2 часа. При умеренной общей, краниocereбральной гипотермии длительность термостатирования может составлять около суток. В 2003 году Международный комитет по взаимодействию в области реанимации дал рекомендации для пациентов с остановкой сердца, позволяющие применение терапевтической гипотермии к совершеннолетним без сознания со спонтанным кровообращением после внебольничной остановки сердца. При этом указывается условие, что пациентов необходимо охлаждать от 12 до 24 часов [7]. Принципы педиатрии, выдвинутые Американской ассоциацией сердца в 2005 году, устанавливают возможность рассматривания вынужденной гипотермии (при $32\text{--}34^{\circ}\text{C}$ в течение 12-24 часов) в случае, если ребенок остается в состоянии комы после реанимации [7]. Хотя было бы правильным предположить, что длительность терапевтической гипотермии связана с областью воздействия и степенью осложнения, то же самое справедливо для слишком малой продолжительности и слишком высокой скорости отогревания. Так, черепно-мозговая травма или спонтанное аневризматическое субарахноидальное кровоизлияние с патофизиологическими процессами продолжаются в течение ряда дней и даже недель после остро-

го приступа [5]. Длительность поддержания состояния местной гипотермии в первую очередь зависит от общего алгоритма процедуры, операции, а также может быть ограничена общей длительностью операции либо ее частотой. Например, при необходимости поддержания ишемии почки длительность гипотермии может составлять до 1,5 часа [11,12].

Для выхода из состояния гипотермии используют естественный нагрев, протекающий за счет разницы температур с окружающей средой, скорость нагрева при этом не регулируется. Такого рода практика в первую очередь распространена при местной гипотермии. При общей гипотермии естественный нагрев не всегда допустим. Например, при некоторых реализациях общей гипотермии [7] скорость нагрева не должна превышать $1^{\circ}\text{C}/\text{ч}$. Рекомендованный диапазон скорости отогревания лежит в пределах от $0,1$ до $4^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ [5], при этом в первом случае требуется минимум 24 часа для достижения уровня нормотермии, тогда как в последнем случае температурный уровень нормотермии достигается за 6-8 часов. Подчеркивается, что ввиду продолжающихся патофизиологических процессов, сводящихся к повторному повреждению нейронов в течение периода более 5 дней после травмы, не только продолжительность терапевтической гипотермии, но и скорость отогревания ($0,4^{\circ}\text{C}/\text{ч}$) нуждаются в обсуждении и может быть названа главной причиной негативного результата процедуры.

Заключение

На практике основным теплофизическим параметром гипотермии предлагается использовать целевую температуру охлаждаемой области биоткани. Гипотермию по целевой температуре условно разделяют на два уровня с размытой границей – умеренную и глубокую. Исходя из требований безопасности обычно используется умеренная общая гипотермия при $32\text{--}34^{\circ}\text{C}$. В местной гипотермии обычно используется более глубокое охлаждение. На практике температура может достигать значения около 5°C . Данный уровень температуры часто ограничен возможностями применяемого оборудования и необходимыми эффектами охлаждения.

Исходя из типичных значений температуры для описания гипотермии предлагается указывать достигаемый в каждом конкретном случае диапазон разброса температуры, например в виде $T \pm \Delta T^{\circ}\text{C}$. При этом для конкретных вариантов реализации общей гипотермии он может быть представлен в виде $32 \pm 1^{\circ}\text{C}$, $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$, для местной – $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$,

$10\pm 4^{\circ}\text{C}$, $28\pm 2^{\circ}\text{C}$ и так далее. Необходимо указывать, как минимум, средние значения скорости охлаждения, длительности термостатирования, скорости нагрева. От них во многом зависит реакция организма, которая имеет различную природу при различных локализациях гипотермии. Данные временные параметры также значительно отличаются при общем и местном воздействии, и их значения необходимо указывать для каждого конкретного случая применения. С совершенствованием технического обеспечения гипотермии возможно дальнейшее снижение температуры общей и местной гипотермии.

Сегодня остаются неизученными еще многие моменты дозирования гипотермии в плане длительности, получаемых эффектов, интенсивности входа и выхода из этого состояния, глубины и точности ее поддержания. Существует недостаток систематизированных клинических данных по практическому применению различных вариантов гипотермического охлаждения. Исследования целевых и допустимых параметров гипотермии позволит создать базу для эффективного оборудования нового поколения с более точным дозированием охлаждения согласно медицинским требованиям.

Сведения об авторах статьи:

Бурков Иван Александрович – инженер 2 категории НИИ ЭМ ФГБОУ МГТУ им. Баумана. Адрес: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, 5. E-mail: ivanburkov1991@mail.ru.

Жердев Анатолий Анатольевич – д.т.н., профессор, декан факультета «Энергомашиностроение» ФГБОУ ВПО МГТУ им. Баумана. Адрес: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, 5. E-mail: zherdev@power.bmstu.ru.

Пушкарев Александр Васильевич – инженер НИИ ЭМ ФГБОУ ВПО МГТУ им. Баумана. Адрес: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, 5. E-mail: pushkarev@bmstu.ru.

Шакуров Алексей Валерьевич – инженер 1 категории НИИ ЭМ ФГБОУ МГТУ им. Баумана. Адрес: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, 5. E-mail: shakurov@bmstu.ru.

Пушкарев Алексей Васильевич – студент 4 курса лечебного факультета ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450000, г. Уфа, ул. Ленина, 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аврамченко, А.А. Гипотермия. Есть ли практические рекомендации. Обзор состояния проблемы / А.А. Аврамченко, А.А. Белкин // Уральский медицинский журнал. – 2007. – № 1. – С.34-40.
2. Борисов, С.А. Умеренная гипотермия в офтальмологии / С.А. Борисов, В.В. Иванов // Сибирское медицинское обозрение. – 2008. – №1. – С. 14-18.
3. Грищенко, В.И. Гипотермия и криохирургия в акушерстве и гинекологии / В.И. Грищенко. – М.: Медицина, 1974. – 280 с.
4. Сумбатов, Л.А. Искусственная гипотермия (патофизиология и защитное действие) / Л.А. Сумбатов. – М.: Медицина, 1985. – 88 с.
5. Шевелёв, О.А. Технологии лечебной гипотермии в интенсивной терапии и реаниматологии / О.А. Шевелёв, А.В. Бутров // Медицинский алфавит. Неотложная медицина. – 2010. – №3. – С. 47-51.
6. Severens, N.M.W. Modelling hypothermia in Patients Undergoing Surgery / N.M.W. Severens [et al.]. – Eindhoven University Press, 2008. – P. 173.
7. Rewarming: facts and myths from the neurological perspectives / E. Schmutzhard, M. Fischer, A. Dietmann [et al.] // Critical Care Medicine. – 2012. – Vol. 16, Suppl 2: A24.
8. Induced hypothermia by central venous infusion: saline ice slurry versus chilled saline / T.L. Vanden Hoek, K.E. Kasza, K.E. Beiser [et al.] // Critical Care Medicine. – 2004. – Vol. 32, Suppl 9. – P. 425-431.
9. Greer, D.M. Hypothermia for Cardiac Arrest / D.M. Greer // Current Neurology and Neuroscience Reports. – 2006. – Vol. 6. – P. 518-526.
10. Zhu, L. Theoretical simulation of temperature distribution in the brain during mild hypothermia treatment for brain injury / L. Zhu, C. Diao // Medical & Biological Engineering & Computing. – 2001. – Vol. 39, № 6 – P. 681-687.
11. Polderman, K.H. Induced Hypothermia for Neuroprotection: Understanding the Underlying Mechanisms / K. H. Polderman // Intensive Care Medicine. – 2006. – P. 328-346.
12. Shikanov, S. Microparticulate ice slurry for renal hypothermia: laparoscopic partial nephrectomy in a porcine model / S. Shikanov, M. Wille, M. Large [et al.] // Journal of Urology. – 2010. – Vol. 76, № 4. – P. 1012-1016.
13. Kasza, K. Medical Ice Slurry Coolants for Inducing Targeted- Organ/Tissue Protective Cooling / K. Kasza // Argonne National Laboratory. – 2008.
14. Orvieto, M.A. Laparoscopic Ice Slurry Coolant for Renal Hypothermia / M.A. Orvieto, K.C. Zorn, M.B. Lyon [et al.] // Journal of Urology. – 2007. – Vol. 177, № 1. – P. 382-385.
15. Rogers, C.G. Robotic partial nephrectomy with cold ischemia and on-clamp tumor extraction: Recapitulating the open approach / C.G. Rogers, K.R. Ghani, R.K. Kumar [et al.] // European Urology. – 2013. – Vol. 63, № 3. – P. 573-578.
16. Colechin, E.S. Laparoscopic renal cooling device / E.S. Colechin, J. Riddle, A.P. Navarro [et al.] // Medical & Biological Engineering & Computing. – 2008. – Vol.46, № 12 – P. 1219-1225.
17. Liss, M.A. The application of regional hypothermia using transrectal cooling during radical prostatectomy: Mitigation of surgical inflammatory damage to preserve continence / M.A. Liss, D. Skarecky, B. Morales [et al.] // Journal of Endourology. – 2012. – Vol. 26, № 12. – P. 1553-1557.
18. Cervantes, T.M. Evaluation of a minimally invasive renal cooling device using heat transfer analysis and an in vivo porcine model / T.M. Cervantes, E.K. Summers, R. Batzer [et al.] // Medical Engineering & Physics. – 2013. – Vol. 35. – P. 736-742.
19. Storm, C. In-hospital hypothermia / C. Storm // Critical Care Medicine. – 2012. – Vol. 16, Suppl 2: A5.
20. Smith, K.D. Brain hypothermia induced by cold spinal fluid using a torso cooling pad: theoretical analyses / K.D. Smith, L. Zhu // Medical & Biological Engineering & Computing. – 2010. – Vol. 48, № 8. – P. 783-791.
21. Samuel A. Tisherman. Therapeutic hypothermia / Samuel A. Tisherman. – New York: Springer science, 2005. – 264 P.