

02, февраль 2016

УДК 615.832.9

Применение низкотемпературных технологий в медицинских системах терморегуляции

***Мохначева А.С., студент**
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и
жизнеобеспечения»*

*Научный руководитель: Навасардян Е.С., к.т.н.
Россия 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и
жизнеобеспечения»
crio@power.bmstu.ru*

При недостатке кислорода ткани организма испытывают кислородное голодание. Вследствие этого в жизненно важных органах развиваются необратимые изменения - некроз тканей (инсульт или инфаркт). Недостаток кислорода может возникнуть при гипоксии из-за нарушения биохимических процессов тканевого дыхания или недостатке кислорода во вдыхаемом воздухе и в крови и при ишемии, т.е. местном снижении кровообращения при тромбозе, эмболии или спазме.

Для уменьшения поражения тканей вследствие кислородного голодания в современной медицинской практике широко применяют гипотермию. **Гипотермией** называется состояние организма, при котором температура тела падает ниже, чем требуется для поддержания нормального обмена веществ и функционирования. Из-за снижения интенсивности обмена веществ, ткани организма требуют меньше кислорода для поддержания процессов жизнедеятельности.

Известно, что при охлаждении тканей организма интенсивность обменных процессов, а, соответственно, и потребность в кислороде, снижается. При охлаждении на 1 °С потребность в кислороде снижается на 7-9 %. Следовательно, охладив организм человека на 5-6 °С можно снизить потребность организма в кислороде вдвое.

Применение гипотермии для охлаждения пораженных органов позволяет уменьшить повреждение тканей органов от кислородного голодания.

В зависимости от характера травмы и степени повреждения организма применяют *локальную* или *местную* и *общую* гипотермию. При локальной или местной гипотермии охлаждению подвергаются лишь непосредственно пострадавшие ткани или ткани, которые могут быть повреждены в скором времени. При более обширных повреждениях организма или подозрении на клиническую смерть целесообразно применять общую гипотермию. Для введения пациента в состояние общей гипотермии используются *неинвазивные* и *инвазивные* методы охлаждения. К неинвазивным относится погружение тела в холодную среду, например в ванну со льдом, оборачивание охлаждающими аппликаторами и т.п. Однако при таких методах очень сложно контролировать температуру охлаждения, что может привести к ухудшению состояния организма и обморожению. Для более точного регулирования температуры организма при общей гипотермии применяют инвазивные методы, т.е. охлаждение организма изнутри. При таких методах используют специальные теплообменные катетеры, охлаждающие циркулирующую кровь или аппараты искусственного кровообращения (АИК) с модулем охлаждения крови.

Различают умеренную (температура в прямой кишке 32-28 °C), среднюю (температура в прямой кишке 21-27 °C) и глубокую общую гипотермию (температура в прямой кишке 6-20 °C).

Рассмотрим характерные решения для получения локальной или общей гипотермии:

1. Патент США 8449590 «Аппарат и способ для предотвращения повреждений головного мозга при остановке сердца, сердечно-легочной реанимации или тяжелом шоке», [2]

Аппарат, показанный на рис.1, предназначен для охлаждения черепных и экстракраниальных тканей пациента при инфаркте, инсульте, черепно-мозговой травме, внутримозговом кровоизлиянии и других травмах, сопряженных с недостаточным питанием тканей мозга кислородом.

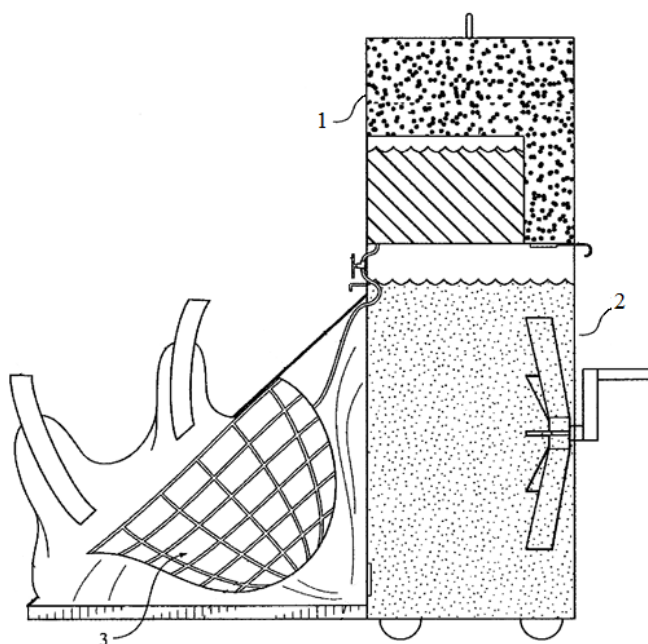


Рис.1. Аппарат для гипотермии тканей головного мозга

Принцип его работы основан на эндотермической реакции нитрата аммония, находящегося в верхнем отсеке 1 аппарата, с водой, находящейся в нижнем отсеке 2 аппарата. Вода, реагируя с твердыми частицами нитрата аммония, охлаждается, облегчая тем самым быстрое охлаждение черепных и экстракраниальных областей при вызывании местной гипотермии черепа, располагаемого в специальной сетке 3 и омываемого охлажденной смесью.

Данное изобретение позволяет охладить не только поверхностные структуры, но и глубокие структуры головного мозга, такие как ткани таламуса, надкорковые и подпаоневротические ткани, что обеспечивает повышенную защиту от гипоксической или ишемической гибели клеток. Изменение температуры этих биологических тканей от времени охлаждения представлено на рис.2.

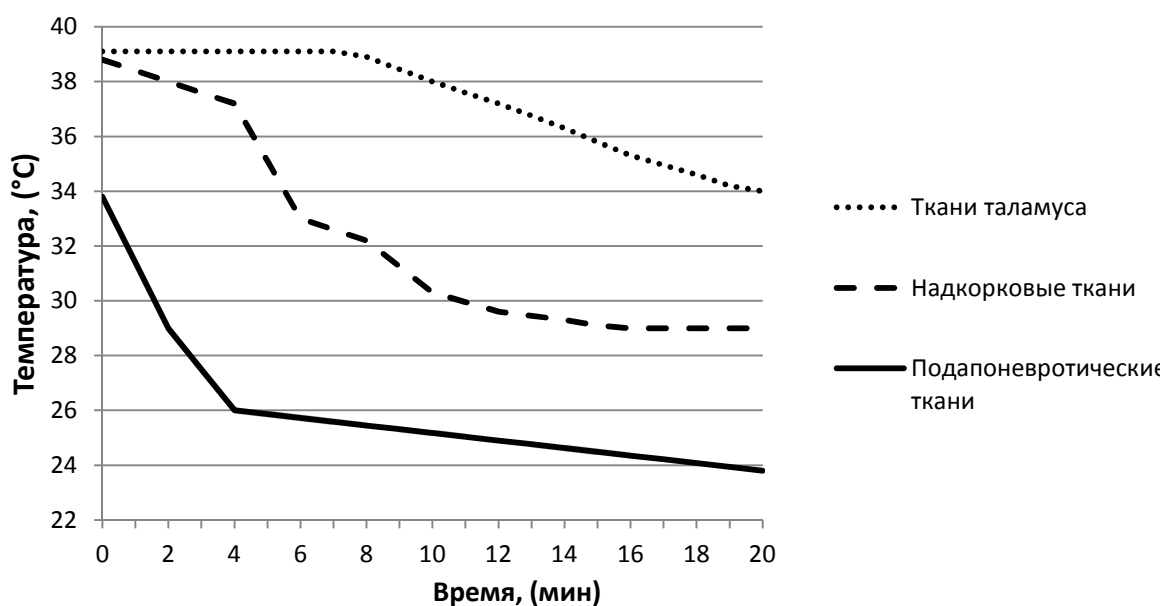


Рис. 2 Охлаждение тканей таламуса, надкорковых и подпапневротических тканей

К *достоинствам* данного аппарата следует отнести автономность, возможность транспортировки, компактность, малое время подготовительных операций. Его целесообразно устанавливать в машинах скорой помощи для оказания первой помощи и при транспортировке пострадавшего в больницу при черепно-мозговых травмах, инсультах, инфарктах, внутримозговом кровоизлиянии и т.п.

2. Патент США 8672988 «Способ и устройство для локального инвазивного охлаждения внутреннего органа», [3]

Устройство предназначено для охлаждения ограниченной части любого внутреннего органа при лечении ишемического повреждения тканей и инсульта в стационарных условиях. Принцип его работы основан на размещении охлаждающего устройства типа катетер в кровеносном сосуде органа-мишени, способного охладить ткани вблизи устройства до температур в диапазоне от 0 °C до 36 °C.

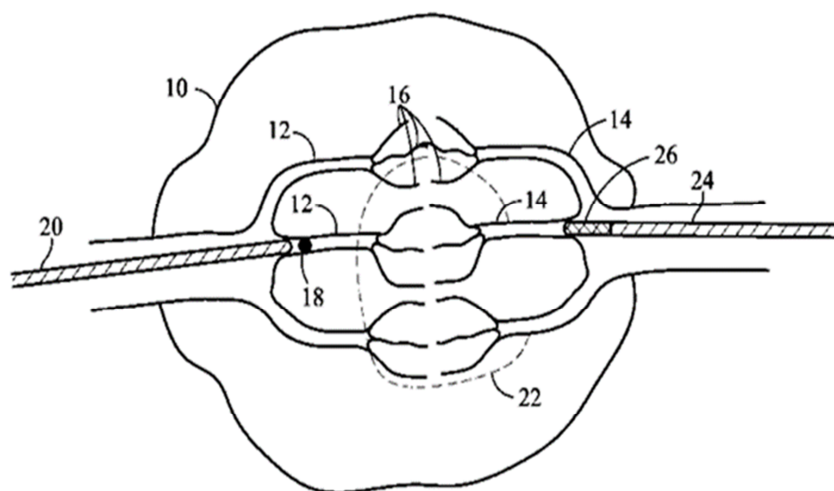


Рис. 3 Принципиальная схема охлаждения органа-мишени при ишемии

На рис. 3 схематично показана часть органа-мишени 10, например почек, головного мозга или сердца, имеющий сеть кровеносных сосудов, состоящую из артерий 12, вен 14, и капилляров 16. При появлении артериальной закупорки 18, например тромба, происходит ишемическое поражение 22 тканей органа за закупоркой, связанное с недостатком кровотока, а, соответственно, и с недостатком кислорода – инфаркт, приводящий к некрозу тканей органа. Для лечения инфаркта применяют устройство 20 для удаления или растворения закупорки 18. Для снижения дальнейшего ишемического повреждения тканей 22, расположенных за закупоркой, вводят рассматриваемое устройство охлаждения 24 с охлаждающей головкой 26. Оно охлаждает ткани органа-мишени вблизи закупорки до необходимой температуры относительно мгновенно (в течение нескольких секунд, а не минут или часов). Подобное охлаждение увеличивает время, за которое необходимо удалить закупорку и вернуть кровоток к пораженным тканям.

Можно выделить основные *особенности конструкции*:

- Размеры устройства ограничены размерами кровеносных сосудов.
- Устройство обтекаемо.
- Устройство обеспечивает теплообмен, достаточный для охлаждения тканей органа-мишени.
- Устройство для удаления закупорки конструктивно может быть совмещено с устройством охлаждения, либо быть выполнено в самостоятельном виде.

К *достоинствам* данного устройства можно отнести:

- Охлаждение только относительно небольших зон органа-мишени (это позволяет остальным тканям органа и организма в целом функционировать нормально).
- Уменьшение риска дальнейшего повреждения тканей в результате реперфузии.
- Подходит для охлаждения тканей любых внутренних органов.

3. Патент США 5150706 «Сеть для охлаждения сердца при операции или пересадке», [4]

Устройство предназначено для охлаждения сердца при операциях, исключая его из системы кровообращения.

Рассматриваемое устройство, показанное на рис. 4, состоит из сетки, выполненной в виде мешка из гидрофильной эластичной ткани. Принцип его работы состоит в том, что холодная жидкость подается через сетку, непосредственно контактируя с тканями сердца и охлаждая их. А затем удаляется с помощью отсасывающего устройства.

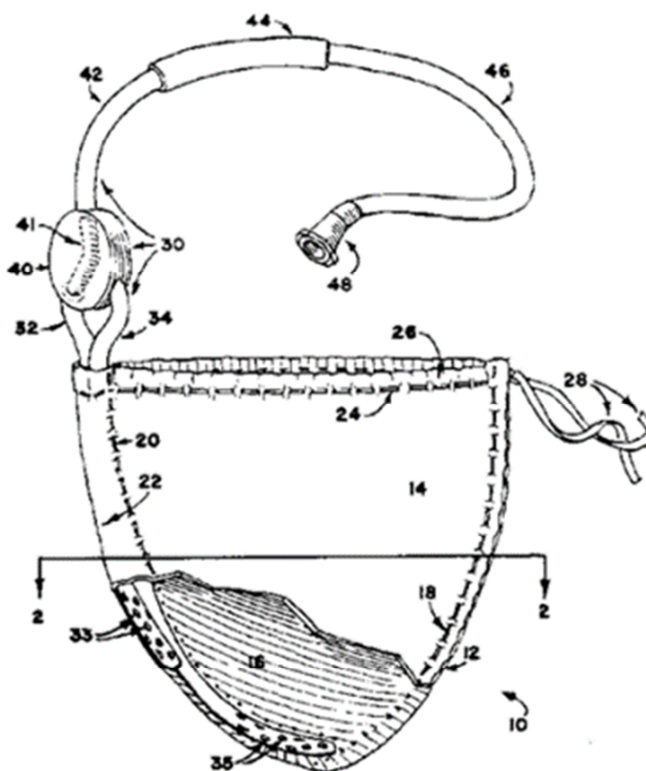


Рис. 4. Комплект сетки в пустом и нерабочем состоянии и ее трубки

В качестве рабочего вещества применяется охлажденный физиологический раствор, однако, допустимо использование других нетоксичных и инертных веществ. Устройство охлаждает сердце до температур в диапазоне от 8 °C до 15 °C.

Устройство включает в себя тканую или трикотажную, пористую, водопроницаемую сеть, предпочтительно изготовленную из гидрофильных волокон,

чтобы способствовать капиллярной диффузии воды по всей сети во время использования. А так же пористый сегмент трубки, через который в сеть подается охлажденный раствор, расположенный в области предсердия. Часть холодной жидкости диффундирует из трубки через пористый сегмент и охлаждает область предсердия, в то время как остальная часть холодной жидкости проникает через сеть и охлаждает область желудочка.

Через пористый сегмент 44 часть раствора попадает в область предсердий, охлаждая её, остальная часть через подающую трубку 42 попадает в регулирующий клапан 40, который с помощью внутреннего канала 41 регулирует подачу раствора в катетеры 32 и 34. И далее диффундирует в ткань, охлаждая ткани оперируемого органа. После выхода раствора из сети его удаляют из грудной полости или живота с помощью отсасывающей трубки.

Из особенностей конструкции следует отметить, что для работы на поверхности органа можно выполнить надрез 120 в любом месте сети, не повлияв при этом на способность сети к охлаждению сердца, как показано на рис. 5.

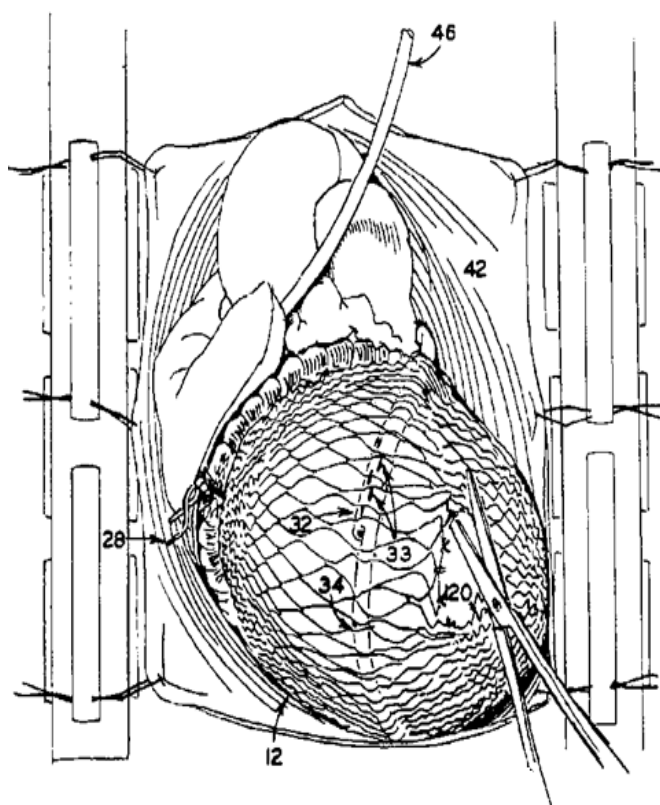


Рис. 5. Комплект сетки в рабочем состоянии

К достоинствам данного аппарата следует отнести следующие факты:

✓ Разрез сети можно выполнить в любом необходимом для этого месте без ущерба для её работоспособности;

✓ Подходит как для проведения операции, так и для временного хранения органа при пересадке;

✓ Подходит для любого органа;

К недостаткам следует отнести непродуманную систему отвода отработавшего раствора и увеличение времени операции.

4. Патент США 5906588 «Метод вызывания состояния анабиоза у пациентов», [5]

Аппарат, показанный на рис. 5, обеспечивает жизнедеятельность человека при невозможности выполнения функций сердца и/или легких.

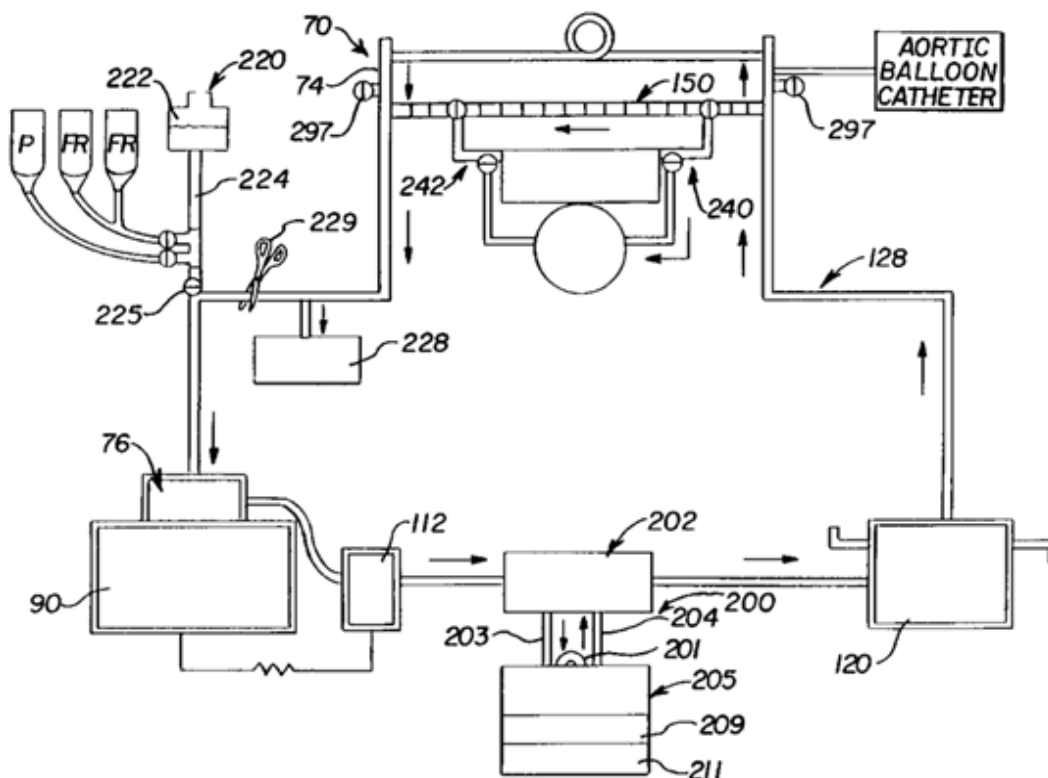


Рис.5. Принципиальная схема АИК с различными модулями, включенными в работу:
I – 200 – модуль регулирования температуры крови, II – 220 – модуль для смешивания крови пациента с различными веществами (плазмозаменителями, цельной кровью, лекарственными средствами), III – модуль очищения крови, IV – Aortic Balloon Catheter – баллонный катетер и V – 297 – модуль контроля параметров крови

Принцип работы данного аппарата основан на установлении обводного канала для движения крови, т.е. байпаса. Для этого в нижнюю полую вены вводят специальную

полую иглу, называемую канюлей, через которую насос АИК отсасывает кровь из организма. Далее по системам труб венозная кровь проходит через оксигенатор, где насыщается кислородом, охлаждается в теплообменнике, очищается и подается через канюлю, установленную в артериальном сосуде, назад в тело пациента.

К *достоинствам* данного аппарата относятся портативность, возможность устанавливать его у постели пациента, а также для очистки крови, гемосорбции, афереза плазмы и клеток крови, нагревания и охлаждения крови, её замена и т.д.

В таблице приведены существующие отечественные и зарубежные аналоги рассмотренных патентов.

Название патента	Отечественные аналоги	Зарубежные аналоги
Патент США 8449590 «Аппарат и способ для предотвращения повреждений головного мозга при остановке сердца, сердечно-легочной реанимации или тяжелом шоке»	Аппарат лечебной гипотермии АТГ-1	Olympic Cool-Cap
Патент США 8672988 «Способ и устройство для локального инвазивного охлаждения внутреннего органа»	нет	ZOLL CoolGard 3000
Патент США 5150706 «Сеть для охлаждения сердца при операции или пересадке»	нет	нет
Патент США 5906588 «Метод вызывания состояния анабиоза у пациентов»	АИК-5М, ИСЛ-2, АИК-63М, АИК-63, АИК-7, ИСЛ-5, ИСЛ-7	ZOLL CoolGard 3000

Таким образом, применение названных устройств в современной медицинской практике позволяет существенно уменьшить повреждения тканей при гипоксии и ишемии, а также не дать развиваться дальнейшему некрозу тканей при инфарктах и инсультах, что является очень важным фактором при дальнейшем лечении пациента.

Список литературы

- [1]. Малая медицинская энциклопедия. В 6 т. Т. 1. А – Грудной ребенок / ред. В.И. Покровский. М.: Советская энциклопедия, 1991. 560 с.

- [2]. Eric William Brader. Apparatus and method for preventing brain damage during cardiac arrest, CPR, or severe shock: pat. US 8449590 B2 USA, 2013. 13 p.
- [3]. Willard W. Hennemann, Daniel Nahon, Fredric Milder. Method and device for local cooling within an organ using an intravascular device: pat. US 8672988 B2 USA, 2014. 10 p.
- [4]. James L. Cox, Robert D. B. Jaquiss. Cooling net for cardiac or transplant surgery: pat. US 5150706 A USA, 1992. 12 p.
- [5]. Peter Safar, S. William Stezoski, Miroslav Klain. Method of inducing a state of suspended animation in a patient: pat. US 5906588 A USA, 1999. 16 p.