

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF114299>

Развитие криогенных технологий воздействия на ткани организма человека

А.В. Буторина

Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Различные виды физического лазерного, электромагнитного и криогенного воздействия на живые ткани и органы человека используются с целью подавления патологии или для деструкции. Применение физических воздействий носит чаще всего эмпирический характер. Тем не менее, опыт подтверждает перспективность их использования, и одновременно указывая на необходимость исследований особенностей живых тканей и развитие комплексных технологий применения физических воздействий. В работе описан опыт их применения на практике. Указанные воздействия имеют ряд преимуществ перед традиционными методами лечения, к которым можно отнести – безболезненность, отсутствие кровотечения и общей заметной реакции организма, высокий функциональный эффект. Локальная криоабляция с помощью ручных переносных криохирургических аппаратов с использованием в качестве хладагента жидкого азота (минус 196°С) является практически применимым методом лечения простых гемангиом и позволяет получить хорошие функциональные и косметические результаты. Все виды простых мелких гемангиом любой локализации подлежат лечению независимо от возраста ребенка. Представленный метод позволяет полностью или частично отказаться от сложных оперативных вмешательств, особенно при размещении небольших гемангиом на лице, шее, в области уха, а также получить хорошие результаты (98%). Предварительное микроволновое облучение и использование лазера позволяют увеличить возможности криовоздействия в 4–6 раз по глубине гемангиомы по сравнению с простой криоабляцией. Этот метод сохраняет все полезные особенности криоабляции. Он перспективен для лечения кавернозных и комбинированных гемангиом, имеющих выраженную подкожную часть и чаще сложную локализацию. Этот подход также потенциально полезен в других приложениях криовоздействия.

Ключевые слова: криохирургия; микроволновый нагрев; лазер.

Для цитирования:

Буторина А.В. Развитие криогенных технологий воздействия на ткани организма человека // Холодильная техника. 2022. Т. 111, № 4. С. 283–287.
DOI: <https://doi.org/10.17816/RF114299>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF114299>

Exposure of human body tissues to development of cryogenic technologies

Antonina V. Butorina

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Various types of physical exposures, including laser, electromagnetic, and cryogenic exposures, are used on living tissues and human organs to suppress pathology or effect destruction. The use of physical exposures is usually empirical. Nevertheless, experience confirms the promise of their use and indicates the need to study the characteristics of living tissues and the development of complex technologies for the application of physical effects. This paper describes the experience derived from their practical applications. They have many advantages over traditional treatment methods, including painlessness, an absence of bleeding and a generally noticeable reaction of the body, and a high functional effect. Local cryoablation using handheld portable cryosurgical devices and liquid nitrogen as a refrigerant ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) is a practically applicable method for treating simple hemangiomas and allows for obtaining good functional and cosmetic results. All types of simple small hemangiomas of any localization are subject to treatment, regardless of the age of the child. The proposed method allows for completely or partially refusing complex surgical interventions, particularly when placing small hemangiomas on the face, neck, and ear areas, and obtains good results (98%). Preliminary microwave irradiation and the use of a laser allow a 4- to 6-fold increase in the possibilities of cryotherapy along the depth of the hemangioma compared to simple cryoablation. This method retains all the useful features of cryoablation. It is promising for treating cavernous and combined hemangiomas, which have a pronounced subcutaneous part and often complex localization. This approach is potentially useful in other cryogenic applications.

Keywords: cryosurgery; microwave heating; laser.

To cite with article:

Butorina AV. Exposure of human body tissues to development of cryogenic technologies. *Refrigeration Technology*. 2022;111(4):283–287. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF114299>

Received: 18.11.2022

Accepted: 10.12.2022

Published online: 28.02.2023

ВВЕДЕНИЕ

Гемангиомы кожных покровов и слизистых оболочек – доброкачественные сосудистые образования, очень часто встречающиеся среди различных опухолей мягких тканей у детей. Несмотря на то, что гемангиомы по своей природе доброкачественные, они имеют признаки злокачественного процесса. Даже пятно и очень маленькая ангиома у новорожденных могут очень быстро разрастаться до больших размеров, поражая половину лица или большую часть поверхности тела. Несмотря на возможное самовосстановление и остановку роста с последующей инволюцией, дальнейший процесс их развития не прогнозируется. В клинике проводились наблюдения детей с гемангиомами, лечение которых было затруднено из-за значительного роста опухоли, в особенности тех гемангиом, которые располагались на лице, в области уха или во влажной области. В таком случае нет возможности полагаться на спонтанную регрессию, а пустая трата времени не пойдет на пользу пациенту. Гемангиомы ребенка в возрасте шести месяцев с локализацией в голове и шее растут очень быстро. При этом возможны два сценария их лечения: стандартная криоабляция и криоабляция с предварительным микроволновым прогревом. В настоящем исследовании обобщен опыт инженеров и врачей по разработке и клиническому применению методов предварительного прогрева, применения лазера и криоабляции для лечения гемангиом у детей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Аппарат КМ-01 использовался для лечения [1–3]. В качестве хладагента использовался жидкий азот при температуре кипения минус 196°C. Оптимальное время криовоздействия на гемангиомы, расположенные на коже, составляет 20–25 секунд. Оптимальное время криовоздействия на опухоли, расположенные на слизистых оболочках, составляет 7–10 секунд. Общая поверхность, подвергаемая криовоздействию, не должна превышать десяти квадратных сантиметров. При размещении гемангиом в местах, подверженных травмирующим воздействиям, особенно в области ягодиц и промежности, площадь криовоздействия не должна превышать пяти квадратных сантиметров. При очень больших гемангиомах лечение проводят в несколько этапов с интервалом 10–14–21 день. В промежутках местная реакция в зоне криовоздействия успокаивается и лечение можно повторить. Наиболее выраженный перифокальный отек наблюдается после криовоздействия на гемангиомы, расположенные на лице, веках, губах и половых органах. Образование сухого струпа наблюдается на 3–4-й день, эпителий под струпом формируется в течение 2–3–4 недель.

Первым важным преимуществом криоабляции является получение хороших косметических и эстетических результатов благодаря особенностям регенерации кожи после криовоздействия. Второе – заключается в том, что создаются условия для сохранения кожных покровов, что положительно влияет на кожу лица, особенно с учетом дальнейших пластических и реконструктивных операций. Немаловажно и то, что благодаря этому методу сохраняются нервы, мышцы, контуры конкретных тканей, особенно на лице. Данным методом было вылечено более 2000 детей разного возраста. Показаниями к такому лечению были: наличие кавернозных и комбинированных гемангиом, имеющих выраженную подкожную часть и располагающихся в сложных анатомических областях, а также невозможность их лечения другими методами [4]. В реальной практике криоабляция имеет определенные ограничения, так как большие опухоли имеют пределы возможной абляции. Существует группа больных, у которых мертва только поверхностная часть патологического образования, а глубокая часть продолжает расти. Предложен способ увеличения криогенной деструкции предварительным воздействием электромагнитного поля СВЧ на локальную область промерзания, а также применение воздействия лазером [5]. Гипотеза эффекта предварительного нагрева заключается в том, что такое воздействие структурирует внутриклеточную воду. Поэтому временно увеличивается теплопроводность биологических тканей.

В ряде случаев по индивидуальным показаниям целесообразно было использовать СВЧ-обработку, например, для новорожденного с опухолью относительно большого объема. Метод предварительного микроволнового нагрева достаточно прост, проводится амбулаторно и не требует анестезии. Область гемангиомы облучают микроволновым полем с помощью контактного излучателя с последующей криоабляцией. Выбор режима облучения и аппарата для облучения зависит от объема гемангиомы и ее высоты над уровнем кожи. При размерах гемангиомы 2х2х2 см рационально использовать аппарат «Луч-2» или «Термик» при диаметре излучателя 35 мм [6]. Это связано с тем, что длина волны в воздухе составляет 12,6 см, а в тканях уменьшается в 9 раз, поэтому проникающей способности электромагнитного поля достаточно для дестабилизации внутриклеточной воды биологических тканей на глубине около 2 см. Оптимальная мощность излучения составляет 1,2–1,5 Вт/см², а продолжительность действия – 4–5 минут. При проведении СВЧ-излучения необходимо увеличивать плотность потока мощности постепенно в течение 1–1,5 минут, что позволяет избежать неприятных ощущений и получить равномерный прогрев опухоли. При размерах гемангиомы 3х3х3 см и более предпочтительно применять аппарат «Яхта» [7]. Аппарат имеет набор контактных излучателей. Длина волны 33 см, глубина определенного прогрева до 4 см. Мощность

излучения может варьироваться от 5 до 200 Вт. Плотность потока мощности для таких гемангиом колеблется от 2 до 2,5 Вт/см², а продолжительность СВЧ-облучения составляет 5–6 минут. После микроволнового облучения проводят местное замораживание опухоли. При размерах гемангиомы 2х2х2 см продолжительность криовоздействия составляет 3–4 минуты. При размерах 5х3х5 см продолжительность криовоздействия составляет 5–6 минут, при размерах 5х4х5 см — 6–8 минут. Если поверхность гемангиомы и ее объем значительно больше, то целесообразно действовать поэтапно, но площадь одного криовоздействия должна быть не более 10 см². Несмотря на то, что дети хорошо переносят предварительный микроволновый прогрев, применение лазера и криоаблацию, мы наблюдали более выраженную реакцию мягких тканей. Объемный перифокальный отек, который не наблюдается после локальной криоаблации, не исчезал в течение 3–5 дней. В месте криовоздействия на 2–3-й день формируется сухой струп, отпадающий на 2–3-й неделе. На месте опухоли после микроволнового и криогенного воздействия формируется мягкий депигментированный бело-розовый рубец. Через 6–8 месяцев область криоаблации отличается от окружающих тканей лишь незначительной депигментацией. Осложнения наблюдаются только в 2% случаев. Общих реакций детского организма на рассматриваемое лечение не наблюдается.

ДИСКУССИЯ

Вероятно, универсального метода лечения гемангиом не существует. Хотя морфологические данные доказывают опухольную природу гемангиом, простые и эффективные хирургические и парахирургические методы лечения дают положительные результаты. Одним из методов является предварительный микроволновый нагрев, использование лазера и криовоздействие. Опыт лечения гемангиом у детей позволяет распространить этот подход на другие области криоаблации. Далее следует междисциплинарное изучение криохирургических методов, включающее медицинские, биологические, инженерные, математические и другие подходы. Необходимо, учитывая и исследуя все стороны сложных процессов, протекающих в биологической ткани, при воздействии на нее низкой температуры, разрабатывать надежные криогенные хирургические устройства, отвечающие всем требованиям. Дополнительно возможен

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шакуров А.В., Пушкарев А.В., Пушкарев В.А. и др. Предпосылки для разработки нового поколения криохирургических аппаратов // Современные технологии в медицине. 2017. Т. 9, № 2. С. 178–187. doi: 10.17691/stm2017.9.2.23

микроволновый мониторинг локальных областей протайвания [8] и сочетание оптических и криометодов [9]. Это может повысить эффективность комбинированного криолечения в будущем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Локальная криоабляция с помощью ручных переносных криохирургических аппаратов с использованием в качестве хладагента жидкого азота (минус 196 °С) является практически применимым методом лечения простых гемангиом и позволяет получить хорошие функциональные и косметические результаты. Все виды простых мелких гемангиом любой локализации подлежат лечению независимо от возраста ребенка. Представленный метод позволяет полностью или частично отказаться от сложных оперативных вмешательств, особенно при размещении небольших гемангиом на лице, шее, в области уха, а также получить хорошие результаты (98%).

Предварительное микроволновое облучение и последующее использование лазера позволяют увеличить возможности криовоздействия в 4–6 раз по глубине гемангиомы по сравнению с простой криоаблацией. Этот метод сохраняет все полезные особенности криоаблации. Он перспективен для лечения кавернозных и комбинированных гемангиом, имеющих выраженную подкожную часть и зачастую сложную локализацию. Этот подход потенциально полезен в других приложениях криовоздействия.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

ADDITIONAL INFORMATION

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by external sources of funding.

2. Bobrihin A.F., Gudkov A.G., Tsyganov D.I., et al. Compact Self-contained Cryosurgical Devices // Biomedical Engineering. 2017. Vol. 51, N 2. P. 120–123. doi: 10.1007/s10527-017-9697-4

3. Бобрихин А.Ф., Гудков А.Г., Цыганов Д.И. и др. Малогабаритные автономные криодеструкторы «КМ-01» И «КМ-02» // Технологии живых систем. 2012. Т. 9, № 8. С. 39–46.
4. Butorina A.V., Vozdvizhenskiy I.S., Arkharov A.M. May the surgery be a source of happiness // *Refrigeration Science and Technology*. 2017. P. 317–321. doi: 10.18462/iir.cryo.2017.0018
5. Butorina A., Arkharov A., Matveev V. Dreams and reality of cryogenic technology in surgery // *Proceedings of the 12th Cryogenics IIR International Conference, 2012 Sep 11–14, Dresden, Germany*. Praha: Icaris, 2012. P. 467–474.
6. Gudkov A.G., Tsiganov D.I. Combined cryo-microwave methods for tumors treatment // *17th International Crimean Conference – Microwave and Telecommunication Technology, 2007 Sep 10–14, Sevastopol*. Moscow: IEEE, 2007. P. 811. doi: 10.1109/CRMICO.2007.4368956
7. Цыганов Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты. Москва: Сайнс-Пресс, 2011.
8. Dombrovsky L.A., Nenarokomova N.B., Tsiganov D.I., et al. Modeling of repeating freezing of biological tissues and analysis of possible microwave monitoring of local regions of thawing // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015. Vol. 89. P. 894–902. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.05.117
9. Dubyanskaya E.N., Chernomyrdin N.V., Dolganova I.N., et al. A concept of cryoapplicator based on sapphire shaped crystal enabling control of the ice ball formation using spatially resolved elastic backscattering of light // *Proceedings SPIE 10685, Biophotonics: Photonic Solutions for Better Health Care VI, 24–25 April 2018, Strasbourg, France*. Strasbourg: SPIE, 2018. P. 1068529. doi: 10.1117/12.2306946

REFERENCES

1. Shakurov AV, Pushkarev AV, Pushkarev VA, et al. Prerequisites for developing new generation cryosurgical devices. *Sovremennye Tehnologii v Medicine*. 2017;9(2):178–187. (in Russ). doi: 10.17691/stm2017.9.2.23
2. Bobrihin AF, Gudkov AG, Tsyganov DI, et al. Compact Self-contained Cryosurgical Devices. *Biomedical Engineering*. 2017;51(2):120–123. doi: 10.1007/s10527-017-9697-4
3. Bobrihin AF, Gudkov AG, Tsiganov DI, et al. Small autonomous kriodestruktors «КМ-01» and «КМ-02». *Tekhnologii zhivyykh system*. 2012;9(8):39–46. (in Russ).
4. Butorina AV, Vozdvizhenskiy IS, Arkharov AM. May the surgery be a source of happiness. *Refrigeration Science and Technology*. 2017:317–321. doi: 10.18462/iir.cryo.2017.0018
5. Butorina A, Arkharov A, Matveev V. Dreams and reality of cryogenic technology in surgery. In: *Proceedings of the 12th Cryogenics IIR International Conference, 2012 Sep 11–14, Dresden, Germany*. Praha: Icaris; 2012:467–474.
6. Gudkov AG, Tsiganov DI. Combined cryo-microwave methods for tumors treatment. In: *17th International Crimean Conference – Microwave and Telecommunication Technology, 2007 Sep 10–14; Sevastopol*. Moscow: IEEE; 2007:811. doi: 10.1109/CRMICO.2007.4368956
7. Tsiganov DI. *Cryomedicine: processes and devices*. Moscow: Sains-Press; 2011. (In Russ).
8. Dombrovsky LA, Nenarokomova NB, Tsiganov DI, et al. Modeling of repeating freezing of biological tissues and analysis of possible microwave monitoring of local regions of thawing. *Int. J. Heat and Mass Transfer*. 2015;89:894–902. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.05.117
9. Dubyanskaya EN, Chernomyrdin NV, Dolganova IN, et al. A concept of cryoapplicator based on sapphire shaped crystal enabling control of the ice ball formation using spatially resolved elastic backscattering of light. In: *Proceedings SPIE 10685, Biophotonics: Photonic Solutions for Better Health Care VI, 24–25 April 2018, Strasbourg, France*. Strasbourg: SPIE; 2018:1068529. doi: 10.1117/12.2306946

ОБ АВТОРЕ

Буторина Антонина Валентиновна,

д.м.н., профессор;

адрес: Россия, 117513, Москва, ул. Островитянова, д. 1, стр. 6;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8465-0593>;

eLibrary SPIN: 8832-1995;

e-mail: avbutorina@gmail.com

AUTHOR'S INFO

Antonina V. Butorina,

Dr. Sci. (Med.), Professor;

address: 1-6 Ostrovityanova street, 119435 Moscow, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8465-0593>;

eLibrary SPIN: 8832-1995;

e-mail: avbutorina@gmail.com