

## АНАТОМО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КРИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ

### ANATOMO-PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF CRYOTHERAPEUTIC EFFECT ON BIOLOGICAL TISSUE

А.В.Буторина<sup>1</sup>, А.М.Архаров<sup>2</sup>, С.Б.Нестеров<sup>2</sup>, А.В.Пушкарев<sup>2</sup>, А.В.Шакуров<sup>2</sup>,  
Н.А.Андреев<sup>2</sup>

A.V.Butorina, A.M.Arkharov, S.B.Nesterov, A.V.Pushkarev, A.V.Shakurov, N.A.Andreev

<sup>1</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И.Пирогова, г. Москва

<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана. Г. Москва

*Рассмотрены анатомо-физиологические аспекты криотерапевтического воздействия на биологические ткани. Показано, что более выраженный анальгетический эффект даёт кратковременное интенсивное охлаждение. Для сохранения анальгетического эффекта процедуры криотерапии целесообразно повторять с интервалом 4-5 ч.*

*The anatomical and physiological aspects of cryotherapeutic effects on biological tissues are considered. It has been shown that a more pronounced analgesic effect is produced by short-term intense cooling. To maintain the analgesic effect, cryotherapy procedures should be repeated at intervals of 4-5 hours.*

Ключевые слова: *криотерапевтическое воздействие, биологическая ткань, анальгетический эффект.*

Key words: *cryotherapeutic effect, biological tissue, analgesic effect*

### МЕХАНИЗМ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Основным механизмом воздействия методики гипербарической газовой криотерапии с использованием CO<sub>2</sub> является «термический шок» - рефлекторная максимальная дилатация артериоло-капиллярной сети с ускорением процессов венолярного оттока и лимфатического дренажа, что приводит к улучшению трофики поражённых тканей, снятию боли и воспаления.

Путём стимулирования чувствительных рецепторов кожи информация немедленно передаётся гипоталамусу, который активизирует вегетативную нервную систему по рефлекторным путям. Эта активация составляет основу лечения, которая за счёт регулирования местного гомеостаза и энзимной реакции обеспечивает немедленную терапевтическую реакцию.

**Клинически** эффекты данной методики использования сверхнизких температур, связанных с механизмом «термического шока», можно обозначить следующим образом:

- **Анальгетический** (обезболивающий) – угнетается ноцицептивная рецепция и проведение нервного импульса, что приводит к стойкому болеутоляющему эффекту (до 3-х часов). Эта реакция достигается за счёт повышения порога болевой чувствительности рецепторов боли и за счёт замедления проведения импульса по нервным волокнам, вплоть до его остановки;

- происходит выброс опиоидных эндорфинов.

- **Противовоспалительный** - отмечается снижение активности провоспалительных энзимов (коллагеназы и гиалуронидазы). Быстрое подавление воспаления с максимумом эффекта при остром процессе.

- **Вазомоторный (противоотёчный и лимфодренажный)**– холод и давление газовой струи в 50 бар улучшают дренаж, а за счёт вазодилатации обеспечивают противоотёчное действие с улучшением трофики поражённых тканей. Вслед за поверхностной вазоконстрикцией, возникающей через 7 секунд после воздействия, на 20-ую секунду отмечается максимально возможная глубокая вазодилатация.

Улучшение оттока лимфы из тканей приводит к ликвидации отёков лимфатического происхождения.

Улучшение микроциркуляции крови в тканях, увеличение артериального кровотока и венозного оттока способствует уменьшению внутрисуставного выпота, ликвидации отёков и инфильтрации васкулярного происхождения.

- **Неврологический и миорелаксирующий** – в результате воздействия на гамма-мотонейроны уменьшается рефлекторный ответ спинного мозга, снижается базальный мышечный тонус и ликвидируются мышечные контрактуры.

- **Репаративный** – стимуляция регенераторных механизмов за счёт улучшения трофики тканей.

- **Хондропротекторный** – улучшения трофики костной и хрящевой ткани.

## **ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ КРИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КЛЕТОЧНОМ И ТКАНЕВОМ УРОВНЕ**

Результат холодового воздействия зависит как от количества и скорости отводимого тепла, так и от характера общей и местной реактивности организма. В основе механизмов изменения реактивности лежит система обратной связи, которая компенсирует отрицательное температурное воздействие за счёт противоположно направленной реакции.

Из разных источников, выделяются основные механизмы общего и локального воздействия на организм низкотемпературных газовых сред. Наиболее значительным ответом на **общее** воздействие низкотемпературных газовых сред является расширение функциональных резервов организма без их истощения. При этом задействуются практически все компенсаторные механизмы, участвующие в саногенезе. Достоверно улучшаются биохимические показатели обменно-эндокринных процессов, нейровегетативная корреляция, психическое состояние, увеличивается резистентность организма к внешним раздражителям.

### ***Реакция иммунной системы на охлаждение.***

Самой убедительной является динамика показателей **иммунной системы**:

- количественное регулирование пулов Т- и В-лимфоцитов, к примеру, хелперно-супрессорного индекса;

- квазитончайшая модуляция функции: иммунокомпетентных клеток; гуморального иммунитета; клеточного иммунитета; неспецифической защиты на уровне цитокинов;

- тенденция к снижению титра циркулирующих иммунных комплексов и специфических антигенов до физиологических величин, регистрируемых у больных аутоиммунными заболеваниями;

- снижение интерлейкинов 1, 4, 8;

- усиление функции фагоцитарной активности;

- рост титра комплимента;

- увеличение количества интерферонов;

- увеличение количества естественных киллеров;

- снижение до номинальных величин количества нулевых лимфоцитов;

- увеличение лизосомальных катионных белков в гранулоцитах периферической крови.

Влияние однократного холодового воздействия на отдельные звенья иммунитета:

- кратковременное увеличение общего числа клеток крови после процедуры общей криотерапии, нормализующееся через 3 ч;
- снижение количества лимфоцитов в периферической крови на более чем 3-х часовой период;
- возрастание количества супрессоров в периферической крови на более чем 3-х часовой период;
- снижение способности базофилов к освобождению медиаторов воспаления у больных с холодовой крапивницей после курса холодовой десенсибилизации.

Таким образом, спектр иммуностимулирующего, иммуномодулирующего, иммунопротекторного действия после криотерапевтического воздействия достаточно широк. Структурная модуляция иммунитета происходит в разные сроки от 1-го месяца до 2-х лет.

#### ***Реакция сердечно-сосудистой системы на охлаждение.***

Общая криотерапия не создаёт чрезмерной нагрузки на кровообращение и может быть применена больным ишемической болезнью сердца в начальной стадии. У больных с нормальным АД после общей криотерапии оно повышается не более чем на 10 мм рт. ст. При гипертонии АД может повышаться более значительно, поэтому введение больных с нарушениями сердечно-сосудистой системы в криокамеру проводится в щадящем режиме и под прикрытием гипотензивных и коронарорасширяющих средств.

Локальная криотерапия не оказывает существенного влияния на АД у больных гипертонией и не вызывает обострения заболевания. Не установлено существенной динамики АД и частоты сердечных сокращений на однократные процедуры локального охлаждения. Мониторирование гемодинамики при общем и локальном криовоздействии показало отсутствие чрезмерной нагрузки на кровообращение. Отрицательной динамики показателей электрокардиограммы при локальной криотерапии не зарегистрировано, в том числе у лиц, страдающих сопутствующим кардиосклерозом, наджелудочковыми и желудочковыми экстрасистолами.

Начальная реакция мелких и средних сосудов на охлаждение выражается сужением мелких капилляров и артериол кожи, замедлением скорости кровотока. Этим объясняют гемостатические свойства криотерапии. Сужение сосудов при криовоздействии является первой защитной реакцией на охлаждение. Вторая защитная реакция - расширение просвета кровеносных сосудов, наблюдается в разное время в зависимости от дозы охлаждения. Интенсивность воздействия холодом достоверно влияет на степень реактивной гиперемии, однако линейной зависимости не выявлено. Первая защитная реакция направлена на сохранение тепла, вторая - способствует усиленному теплообразованию.

В то же время деление реакции сосудов на 1-ю и 2-ю достаточно условно. Реальная ситуация характеризуется ритмическими колебаниями процессов сужения и расширения сосудов кожи, что предотвращает ишемическое повреждение тканей. Таким образом, после локальной криотерапии возникает холодовая гиперемия, в механизме которой играют роль образование комплекса сосудорасширяющих веществ, снижение мышечного тонуса, аксон-рефлексы. Реактивная гиперемия после криовоздействия характеризуется индивидуальными отличиями, которые обусловлены как местными признаками (например, толщина кожи), так и конституционными особенностями (возраст, общий тепловой баланс перед процедурой, циркадный ритм).

#### ***Реакция нейроэндокринной системы на охлаждение.***

Температурный гомеостаз обеспечивается автономной системой терморегуляции, включающей:

- экстеро- и интерорецептивные системы;

- гипоталамус, как главный терморегуляторный центр;
- железы внутренней секреции;
- нейропептидную систему;
- системы, управляющие поведенческими реакциями;
- термогенетическую систему;
- соматомоторную систему;
- вазомоторную систему.

Установлено оптимизирующее влияние криотерапии на функции «гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой» системы и щитовидной железы, которое было существенным только у больных с запущенными реактивными синовитами. Ряд авторов объясняют действие криотерапии участием нейропептидной системы и образованием эндогенных опиоидов, через которые и реализуется эффект охлаждения. Ответная реакция нейроэндокринных структур на криотерапию зависит от методики лечебного воздействия, а также других причин, в частности, циркадных ритмов, половых различий и др.

***Влияние криотерапии на нервно-мышечный аппарат.***

Возможность регулирования мышечного тонуса (для снятия мышечного спазма и, наоборот, для его повышения) - одно из наиболее ценных свойств криотерапии. Релаксацию мышц отмечают при длительном охлаждении в диапазоне температур около 0°C или при кратковременном, но интенсивном охлаждении. Повышение мышечного тонуса достигается кратковременным воздействием умеренно низкими температурами (около 0°C). При этом отмечается возрастание силы и выносливости мышц.

В основе реакции нервно-мышечных структур на охлаждение лежат деполяризационные явления в этих структурах. Общая и местная криотерапия не изменяют температуру мышц и нервных стволов. Миорелаксирующий (спазмолитический) эффект криотерапии реализуется через экстерорецепторный аппарат кожи и гаммамотонейронную систему спинного мозга. Более выраженное торможение функции гаммамотонейронной системы наблюдается при газовой криотерапии.

В ходе процедуры температура кожи в области воздействия снижается на 25-35°C, замедляется скорость проведения нервных импульсов, а при температуре + 5°C наступает их полная блокада. В результате отмечается снижение мышечного тонуса и выраженный продолжительностью в среднем около 3-х часов обезболивающий эффект при болевых синдромах различного происхождения. При охлаждении мышечной ткани отмечается снижение активности мышечных веретен, сократительной способности мышц и увеличение вязкости синовиальной жидкости.

***Реакция вегетативной нервной системы на охлаждение.***

Реакция вегетативной нервной системы на охлаждение зависит от количества и скорости отводимого тепла и от индивидуальных особенностей организма больного. У больных с симпатикотонией оптимальный эффект отмечают при медленном отведении тепла с помощью криопакетов или более эффективный при интенсивном отведении тепла с помощью газовой криотерапией.

***Влияние криотерапии на воспаление и иммунологические реакции.***

Эффекты криотерапии связаны прежде всего с возбуждением кожных рецепторов и воздействием на свободные нервные окончания (первичный ответ). Длительное охлаждение вызывает их торможение и частичную парализацию, в связи с чем находятся и субъективные ощущения больного: вначале он ощущает холод, затем чувство жжения и покалывания, далее боль, которая сменяется анестезией и аналгезией.

Противовоспалительный эффект тесно связан с аналгетическим действием криотерапии. Противоболевое воздействие криотерапии объясняют блокированием болевых рецепторов кожи и аксон-рефлексов, нормализацией антидромной возбудимости нейронов спинного мозга, выбросом эндогенных опиоидов, а также уменьшением воспалительной реакции, регуляцией сосудистого тонуса и разрывом порочного круга "боль - мышечный спазм - боль".

Показано, что более выраженный анальгетический эффект даёт кратковременное интенсивное охлаждение. Для сохранения анальгетического эффекта процедуры криотерапии целесообразно повторять с интервалом 4-5 ч.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Архаров А.М. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты. – Москва, 2011, 583 с.
2. Будрик В.В. Физические основы криометодов в медицине. – М.: Лика, 2007, 136с.
3. Кондратенко Р.О., Нестеров С.Б., Романько В.А. Применение промышленных газов в качестве хладагентов для нужд медицины и радиотехники. // Химическое и нефтегазовое машиностроение, вып.6, Москва, 2010, с. 22-23.
4. Кондратенко Р.О., Нестеров С.Б., Буторина А.В. Охлаждение биологической ткани в локальной криотерапии. – М.: Новелла, 2010, 50 с.
5. Кондратенко Р.О., Нестеров С.Б. Исследование температурного поля на различных поверхностях при охлаждении тонкой пленкой кипящей газовой смеси. // Вакуумная техника и технология. 2010. Т. 20, вып. 4 С. 264–267.
6. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977, 344с.
7. Цыганов Д.И., Архаров А.М., Микулин Е.И. Современные медико-технические аспекты создания криохирургической аппаратуры. – Вестник МГТУ, 1996, с.140-156
8. Цыганов Д.И. Теоретические и экспериментальные основы, создание криохирургической аппаратуры и медицинских технологий ее применения. Дис. док. тех. наук. М., 1994. 315с.
9. Kondratenko R., Butorina A., Nesterov S. Study of Contact Methods to Cool Biological Tissue in Local Surgery. – The 12th CRYOGENICS - 2012 IIR International Conference. Dresden, Germany, 2012, p. 146 – 148