

## ОСОБЕННОСТИ РЕОРГАНИЗАЦИИ МИОКАРДА В УСЛОВИЯХ ГИПОТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Корсиков Н.А.<sup>1</sup>, Бондаренко Д.Н.<sup>1</sup>, Долгатов А.Ю.<sup>1</sup>, Лепилов А.В.<sup>1</sup>, Бобров И.П.<sup>1</sup>, Долгатова Е.С.<sup>1</sup>, Бабкина А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России, Барнаул; e-mail: rector@agmu.ru

Представленный обзор охватывает литературу по теме влияния холода как раздражающего фактора на сердце и последующего постгипотермического периода. При этом возникающие адаптивные реакции являются наиболее важным аспектом, так как в последующем они будут иметь практическое значение. Это связано с тем, что каждый житель Российской Федерации сталкивался единожды или постоянно находится под воздействием такого опасного показателя, как воздействие низких температур: не только из-за жизни в районах Севера с сезонной гипотермией среды, но и из-за социально-экономических факторов. В главном это проявляется нарушением поддержания адекватного обмена веществ и нормального функционирования органа. Актуальность исследований в этой области подтверждается статистическими данными, показывающими количество умерших от смертельной холодовой травмы. И хотя данная тема изучается продолжительное время, в ней остается много «пробелов», связанных с недостаточным изучением гистологических исследований. Сердце подвержено гипотермии в основную очередь: это связано с изменениями системы крови при понижении температуры окружающей среды, что оказывает прямое влияние на кардиомиоциты. Таким образом, результат воздействия низких температур на сердечную мышцу требует дальнейшего изучения экспериментальным методом.

Ключевые слова: гипотермия, холодовая травма, миокард, кардиомиоцит.

## FEATURES OF MYOCARDIAL REORGANIZATION UNDER HYPOTHERMAL EXPOSURE

Korsikov N.A.<sup>1</sup>, Bondarenko D.N.<sup>1</sup>, Dolgatov A.Yu.<sup>1</sup>, Lepilov A.V.<sup>1</sup>, Bobrov I.P.<sup>1</sup>, Dolgatova E.S.<sup>1</sup>, Babkina A.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FGBOU VO "Altai State Medical University" of the Ministry of Health of Russia, Barnaul; e-mail: rector@agmu.ru

The presented review covers the literature on the subject of the influence of cold as an irritant factor on the heart and the subsequent posthypothermic period. In doing so, the emerging adaptive responses are the most important aspect, as they will be of practical importance later on. This is due to the fact that every resident of the Russian Federation faced once or constantly is exposed to such a dangerous indicator as exposure to low temperatures: not only because of living in the Northern regions with seasonal hypothermia environment, but also because of socio-economic factors. In the main, it is manifested by a violation of the maintenance of adequate metabolism and normal functioning of the organ. Relevance of research in this area is confirmed by statistical data showing the number of deaths from fatal cold trauma. Although this topic has been studied for a long time, there remain many "gaps" due to insufficient study of histological studies. The heart is exposed to hypothermia in the first place: it is associated with changes in the blood system when the ambient temperature decreases, which has a direct impact on cardiomyocytes. Thus, the effect of low temperatures on the heart muscle requires further study by the experimental method.

Keywords: hypothermia, cold injury, myocardium, cardiomyocyte.

Холод как этиологический фактор продолжает быть причиной возникновения смертельной холодовой травмы. Это можно подтвердить высокой долей в структуре смертности среди россиян: за последние годы хоть и происходит снижение числа умерших от охлаждения, но в некоторых регионах процент смерти от гипотермии достигает 5-6% от общего числа погибших (в среднем на территории Российской Федерации смерть от общего переохлаждения встречается в 2,44% случаев). Характеристика смерти от обморожения по городу Барнаулу за 2012-2016 годы предоставлена КГБУЗ «Алтайское краевое бюро судебной

экспертизы»: за данный период проведено 13 268 экспертиз, из них 123 связаны со смертью от общего переохлаждения (0,93% от общего количества) [1-3]. Холодовые травмы встречаются во всех регионах России (большинство из которых являются регионами Севера – их доля 65%) и не зависят от времени года, так как часто сопряжены с алкогольным опьянением пострадавших. Исследования, проводившиеся в СССР, доказали влияние климатических факторов (в данном случае низкой температуры окружающей среды) на организм жителей северных районов: гипертрофия правого желудочка указывала на перегрузку в работе сердечно-сосудистой системы [4]. Это доказывает актуальность данной проблемы, но возможности поиска материала по гипотермии ограничены из-за малого количества материалов: большинство литературных источников не включают издания ранее 70-х годов прошлого века [5-7]. Не нужно забывать, что течение любого повреждения организма, особенно холодовой травмы, будет осложнено наличием хронических заболеваний, чаще всего со стороны сердечно-сосудистой и нервной систем [8].

Актуальность работ по гипотермии связана с развитием урбанизации районов Крайнего Севера: еще с начала XX века шло бурное покорение «пустых территорий», богатыми ископаемыми ресурсами [9]. При этом суровый климат данных регионов приводит к чрезвычайным ситуациям, связанным с холодowymi повреждениями. При этом доля травм при обморожении среди населения крупных городов достигает от 1 до 10% (в первую очередь страдают лица без определенного места жительства и граждане, злоупотребляющие алкоголем). Часто данные повреждения приводят к инвалидизации: по статистике, из больных, перенесших холодovou травму, инвалидами становятся от 70 до 94%. Поражения в большинстве своем касаются нижних конечностей: это длительное заживление ран, хронический остеомиелит с обострениями. Связано это с наличием заболеваний, нарушающих кровоснабжение ног (атеросклероз, осложнения диабета) [10].

Цель исследования – провести анализ представленной в свободном доступе литературы, посвященной изучению особенностей структурно-морфологической реорганизации миокарда в условиях холодového воздействия и дальнейшего развития компенсаторно-приспособительных реакций.

**Материалы и методы исследования.** В рамках исследования был произведен анализ и обобщение литературных данных, проведен сравнительный анализ полученной информации, обобщение результатов исследования, формулировка выводов. В исследовании использовались статьи, опубликованные в открытой печати, в электронных версиях и свободно доступные в полнотекстовом варианте. Были использованы базы данных: E-Library; Cochrane; MEDLINE; EMBASE и др. Критерии отбора: год выхода не ранее 2012, соответствие содержания исследуемому вопросу.

«Гипотермия» может рассматриваться с разных аспектов: терапевтическая гипотермия является воздействием на температуру человека с лечебной целью, чаще всего для предупреждения угрожающих состояний (например, защиты от повреждения высокой температурой). Но со стороны патологии о данном явлении говорят как о состоянии организма, при котором его температура ниже нормотермии, что отражается на возможности органов поддерживать гомеостаз и адекватное функционирование. Важно отметить температурные критерии: в большинстве авторы едины в том, что выход из зоны нормы (от теплового порога, равного 37,2 °С, до холодного порога, принимаемого за 36,2 °С), считается охлаждением [11]. Степень тяжести патологических процессов, развивающихся в ответ, исходит из ряда факторов: это время и проявление воздействия холода, эффект от последующей медицинской помощи, особенности отдельного организма.

Механизм возникновения переохлаждения нужно рассматривать как стрессорную реакцию, а холод – типичным стрессорным раздражителем [9]. В условиях низких температур активизируются адаптационно-компенсаторные механизмы, связанные с выработкой определенных гормонов гипофиза и надпочечников в разные фазы стресса: тревоги, резистентности и истощения. Они состоят из снижения теплоотдачи и усиления теплообразования. Но данные реакции не могут поддерживаться в организме бесконечно: при их истощении организм подвергается патологическим процессам, из которых наиболее выражена гипоксия. Ее механизм связан с изменением вязкости и текучести крови. Низкая температура окружающей среды охлаждает жидкость организма, то есть кровь, а так как весь объем крови с высокой скоростью проходит через главный «насосный» орган, то происходит повреждение сократительных элементов сердца. Следовательно, нарушается одно из свойств сердечной мышцы – ее сократимость, что приводит к нарушению циркуляции кислорода. Также в организме наблюдаются снижение частоты сердечных сокращений и дыхательных движений, что приводит не только к снижению давления в сосудах, тока крови и насыщения тканей кислородом, но и к нарушению микроциркуляции: стазу и агрегации клеток крови [12; 13]. Кроме того, изменения в крови приводят к другим поражениям: при вскрытии обнаруживаются признаки кровоизлияний и кровенаполнения тканей жизненно важных органов: мозга, почек, печени и селезенки. При диагностике смерти от гипотермии ведущим признаком являются пятна Вишневого – кровоизлияния (геморрагии) под слизистую оболочку желудка. Частота обнаружения пятен остается высокой, при этом статистика не изменяется при алкогольном опьянении, наполненности пищи желудком или же ее отсутствии [2].

Возникающие вследствие холодовой травмы стресс и гипоксия приводят к развитию дизрегуляторных процессов, которые создают основу для ишемических повреждений, как обратимых, так и необратимых [14].

Первыми по важности в диагностическом значении при гипотермии являются микроскопические изменения в сердце. Это проявляется в острых повреждениях кардиомиоцитов: исчезновение исчерченности, появление внутриклеточного отека с образованием пластов. И если ранее в литературе такие изменения описывались уже в 80-х годах, включая «контрактурные повреждения», то работа В.Е. Саперовской и А.А. Халикова добавляет кариолизис, ранее не описанный [1]. Они отмечают проявления острого нарушения кровообращения, которое проявляется малокровием сосудов легких. Если гипотермия была сопряжена с острым отравлением алкоголем (этанолом), то повреждения кардиомиоцитов несколько отличались (в связи с тем, что основной причиной была хроническая алкогольная интоксикация, а исходом была глубокая гипотермия из-за низких температур окружающей среды): распад клеток (зернистый или глыбчатый), фрагментация, волнообразная извитость, дистрофические изменения и миоцитоллиз кардиомиоцитов, отек стромы миокарда, воспалительная инфильтрация стромы миокарда (по типу воспалительного межочного миокардита). Из этого следует вывод, что обе нозологические формы в своем исходе имеют смерть по сердечному типу, и поражения мышечных клеток имеют много общего: что при первой, что при второй причине смерти встречаются гидропическая дистрофия и цитоллиз кардиомиоцитов. При переохлаждении снижена потребность миокарда в кислороде, поэтому не наблюдаются ишемические повреждения, как при отравлении этанолом, но виден отек стромы и внутриклеточный отек.

В другой работе авторы дифференцируют смерть от гипотермии от внезапно проявившихся заболеваний сердца, также руководствуясь микроскопическими признаками [15]. У погибших от гипотермии чаще встречались распространенный аутолиз, повышенное содержание лейкоцитов и лейкостазы в легочных сосудах, потеря исчерченности кардиомиоцитов, диссеминированный кариолизис и отек со слиянием в пласты. Это объяснимо в точки зрения танатогенеза: со стороны сердца проявляются нарушения в проводимости, снижение возбудимости и снижение частоты ритма сердца, доходящей до асистолии. При переохлаждении, если обратить внимание на работы по другим органам при гипотермии, наблюдается характерное набухание клеток паренхиматозных органов: гепатоцитов в печени, канальцев почек [16-19].

Интересен патофизиологический процесс образования пластов (симпластов) из кардиомиоцитов и появления сдавления стромы. При окраске реактивом Шиффа (ШИК-реакция) на гликоген было выяснено, что истинного слияния клеток не наблюдается, так как

границы сохраняются. Данная картина связана с тем, что при причинах смерти, не связанной с гипотермией, клетки сердечной мышцы разделены между собой мембранами, капилляром и окружающей соединительной тканью (то есть четко видны разграничивающие образования, особенно сосуд). При холодовой травме сосуды микроциркуляции спадаются, но не образуется отек стромы, поэтому без специального окрашивания, которое покажет стенки капилляров, между кардиомиоцитами не будут видны границы. Но патогенез данного явления не ограничивается двумя факторами: большое значение имеют внутриклеточный отек и кариолизис [20].

Длительное воздействие низких температур на кроликов привело к нарушению органной структуры сердца и нормального метаболизма. На пятые сутки эксперимента кардиомиоциты набухают, под сарколеммой, в саркоплазме, появляются заполненные однородным содержимым вакуоли. Митохондрии также набухают, и в конце концов это приводит к деструкции энергетической системы клетки: это связано с увеличением расстояния между кристами из-за образования жидкости. Особенно разрушению подвергаются те митохондрии, которые расположены в местах вздутия саркоплазмы. В исходе нарушения их целостности становится видна зернистость, окруженная пузырьками с жидкостью [4]. То есть наблюдаются деформации со стороны контуров митохондрий, а также лизированные кристы, часть из которых имеет неровные контуры из-за электронно-плотных включений [21].

Со стороны биохимических изменений можно отметить подавление реакции на сукцинатдегидрогеназу, которая в норме выявляется у полос-Z и у митохондрий, которые не подвергаются разрушению и сохраняют свою структуру (в большинстве своем расположенные по ходу миофибрилл). Здесь же, при нормальной температуре, активна карбоангидраза, участвующая в образовании углекислого газа и других реакциях, связанных с буферными системами крови. Также ее активность наиболее высока в эндотелии капилляров. При глубокой гипотермии деятельность карбоангидразы стремительно снижается. В дальнейшем (на 15-е сутки) происходит повреждение миофибрилл кардиомиоцитов, что приводит к необратимым изменениям миокарда [22].

Возможно применение для оценки изменений сократительного аппарата антитела к саркомерному актину. Тогда иммуногистохимическая реакция будет ярко выраженной: это снижение продукции основного сократительного белка. Отмечается лизирование в большинстве именно тонких актиновых нитей (полос-I) [23].

Из этого следует, что многодневное (более 30 дней) воздействие низких температур на кроликов приводит к ярко выраженным морфофункциональным изменениям организма, в особенности миокарда. Видны четкие признаки гипотермии, о которых говорилось выше: отек саркоплазмы, наиболее выраженный в зоне, прилежащей к капиллярам. Происходит

увеличение числа разрушенных митохондрий, а также пучков миофибрилл [4]. Все это приводит к нарушению главной функции сердечной мышцы – снижению сердечных сокращений.

После воздействия сверхглубокой хронической иммерсионной гипотермии (охлаждение животных до температуры менее 20 градусов) проявились выраженные дезорганизационные признаки: кроме привычных кардиомиоцитов видны аномальные клетки. Одни из них гиперхромны, полиморфны, другие не имеют четких контуров, а также бледной цитоплазмой и ядрами. Проявляются дистрофические изменения, о чем говорят округлые пустоты, увеличение количества соединительной ткани. При этом проявляется гипертермия сосудов микроциркуляторного русла. Измерение ядер кардиомиоцитов показало уменьшение площади и периметра:  $31 \pm 0,7 \text{ мкм}^2$  и  $23 \pm 0,4 \text{ мкм}$  против  $44 \pm 0,4 \text{ мкм}^2$  и  $39 \pm 0,4 \text{ мкм}$  контрольной группы (животных, помещенных в повышенную температуру) [24; 25].

При холодовом стрессе свое влияние оказывает эндокринная система: ее мобилизация активизирует тучные клетки. Участие данных элементов в компенсаторно-приспособительных реакциях обеспечивает устойчивость сердечной мышцы при переохлаждении. Это проявляется в препятствии блокировки сосудов микроциркуляторного русла и регуляции регенеративных процессов [26].

Исследования механизмов адаптации сердца возможны при помощи электрокардиограммы до и после воздействия холода [27]. Изменения на электрокардиограмме при действии низких температур проявляются постепенно. Вначале это снижение частоты сердечных сокращений (синусовая брадикардия) и повышение циркадного индекса, удлинение интервала PQ, уширение комплекса QRS, смещение сегмента ST. Если говорить о больных, перенесших легкую степень тяжести острой холодовой травмы, то в гипотермическом и постгипотермических периодах возможны увеличение частоты сердечных сокращений (синусовая тахикардия до 102 ударов в минуту) и уменьшение циркадного индекса. Кроме того, первыми признаками гипотермии, даже у пациентов с легкой степенью тяжести, были миграции водителя ритма и появление экстрасистол. Также регистрируется появление зубца (волны) Осборна: он представлен или положительным зубцом, следующим за комплексом QRS, или зазубренностью на нисходящем колене зубца R. Важно не только появление волны Осборна – по ее амплитуде мы можем судить о том, насколько низкая температура воздействует на организм, так как эти значения обратно пропорциональны. Как уже говорилось выше, при гипотермии наблюдаются аритмии, которые при температуре ниже  $18^\circ\text{C}$  переходят в асистолию [28-30]. При этом зубец Осборна не является признаком только гипотермии, как определенные морфологические признаки: он возможен при поражениях головного мозга, увеличении количества кальция [31]. Данные изменения в миокарде связаны

с увеличением или понижением концентрации кальция вне или в клетках. При пониженной температуре деятельность Са-зависимой АТФ-азы снижается, что проявляется в нарушении проводимости, уменьшением силы сердечных сокращений. Данное явление применимо не только к типичным кардиомиоцитам, но и к клеткам проводящей системы сердца. Влияя на ионный обмен между кальцием, водородом и калием, автоматизм сердца снижается [30].

При глубокой гипотермии, быстро развивающейся при охлаждении в воде, гибель происходит при прекращении дыхания и остановке работы сердца [32]. Эксперименты по работе сердца при воздействии охлаждения в воде проводились Н.К. Арокиной и соавторами на крысах-самцах породы Вистар. В основе исследования рассматривалось восстановление работы сердца у млекопитающих, то есть возможности адаптационных реакций после стресс-реакции из-за воздействия холодового фактора. Выводом работы стало доказательство, что после глубокой гипотермии происходило быстрое восстановление ритмичной работы при начале искусственного дыхания (через три минуты). Можно предположить, что в условиях переохлаждения остановка дыхания менее, чем на пять минут, не несет существенных патологических изменений. При этом в эксперименте температурный порог остановки сердечной мышцы понизился на 5-6 градусов. При более глубоких интервалах отсутствия дыхания возникали нарушения проводимости сердца. Можно предположить, что низкие температуры снижают биохимические и молекулярные патологические нарушения в клетках, поэтому восстановление работы сердца произошло без изменений со стороны работы сердца.

Интересна работа А.В. Трофимовой и соавторов: исследования включали сочетанное действие терапевтической гипотермии и трансплантации мезенхимальных стромальных клеток. При таком комплексном лечении происходили улучшения кровообращения в зоне инфаркта миокарда, из чего следовало уменьшение ишемического повреждения сердечных клеток. То есть низкие температуры выступали не как основное средство лечения, а как вспомогательное, при этом эффект был выраженным: снижение количества соединительной ткани в зоне рубца [33].

**Заключение.** Проанализировав представленную в свободном доступе литературу, можно сделать вывод, что современные представления последствий воздействия холода на сердечную мышцу достаточно скудны и требуют дальнейшего изучения экспериментальным методом. На данный момент выяснено, что низкая температура оказывает выраженный отрицательный эффект на миокард и приводит к запуску каскада химических, морфологических процессов реорганизации, механизм которых в полной мере не ясен. Для дальнейшего понимания закономерностей тканевых, клеточных и молекулярных перестроек требуется моделирование воздействия холодового стресса на экспериментальных животных. Результаты таких исследований могут иметь фундаментальный характер для выявления

клеточной и внутриклеточной регенерации стромальных и паренхиматозных элементов ткани сердца в условиях холодового стресса. Они могут быть использованы при разработке морфофункциональных критериев степени воздействия гипотермии на организм животных и человека, разработке прогностических критериев состояния миокарда при воздействии холодового фактора. В свою очередь, изучение положительного влияния гипотермии на организм может способствовать в дальнейшем широкому использованию гипотермии в медицинской практике.

### Список литературы

1. Саперовская В.Е., Халиков А.А. Дифференциальная диагностика смерти от гипотермии и от острого отравления этиловым спиртом по гистологическим признакам // Медицинский вестник Башкортостана. 2017. № 6 (72). С. 46-50.
2. Авходиев Г.И., Старновский А.П., Бутин А.П., Туранов О.А. Случай обнаружения пятен Вишневого у эксгумированного трупа спустя 2 года после захоронения // Судебная медицина. 2018. № 2. С. 26-27.
3. Гулдаева З.Н., Салчак С.С., Сеченев Е.И., Шадымов М.А., Решетов А.В., Фоминых С.А. Характеристика холодовой травмы по г. Барнаулу за 2012-2016 гг. // Судебная медицина: вопросы, проблемы, экспертная практика. 2018. № 4 (25). С. 144-150.
4. Луценко М.Т., Луценко М.М. Морфофункциональная характеристика миокарда кроликов подвергшихся общему охлаждению // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2009. № 4-5. С. 116-118.
5. Шигеев В.Б. Шигеев С.В. Судебно-медицинская оценка причин и условий возникновения холодовой травмы // Судебно-медицинская экспертиза. 2017. № 3. С. 42-49. DOI: 10.17116/sudmed201760342-49.
6. Хапкина А.В., Карасева Ю.В., Киреев С.С., Светлова С.Ю., Дронова Е.В. Холодовая травма // Вестник новых медицинских технологий. 2017. № 1. С. 153-160.
7. Чашин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., Одланд Ю.О., Ковшов А.А. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3-12. DOI: 10.12737/25081.
8. Михайличенко М.И., Шаповалов К.Г., Мудров В.А. Прогнозирование осложнений у пациентов с местной холодовой травмой // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2020. № 15 (2). С. 92-97. DOI: 10.25881/BPNMSC.2020.83.76.016.



9. Калеменева Е.А. Северный климат как "враг" и как ресурс в советских урбанистических проектах арктических городов 1940-х гг. // Вестник Сургутского государственного педагогического университета. 2017. № 6 (51). С. 89-95.
10. Авхименко М.М. Холодовая травма: неотложная медицинская помощь, профилактика // Медицинская сестра. 2014. № 1. С. 33-39.
11. Бурков И.А., Жердев А.А., Пушкарев А.В., Шакуров А.В. Теплофизические параметры гипотермии // Медицинский вестник Башкортостана. 2014. № 6. С. 119-123.
12. Фролова И.А. Судебно-медицинская диагностика действия холодового фактора в случаях наступления смерти пострадавших в стационаре // Судебная медицина. 2017. № 1. С. 18-20. DOI: 10.19048/2411-8729-2016-2-4-18-20.
13. Бабкина А.В., Долгатов А.Ю., Лепилов А.В., Бобров И.П., Корсиков Н.А., Казарцев А.В., Долгатова Е.С., Невмержицкая А.И., Раевская В.В., Соседова М.Н., Бульбенко М.М. Особенности морфофункциональных изменений миокарда в условиях гипотермического повреждения // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31504> (дата обращения: 01.04.2023). DOI: 10.17513/spno.31504.
14. Заднипрый И.В., Сатаева Т.П., Третьякова О.С. Патоморфологические изменения миокарда крыс при воздействии гипобарической холодовой гипоксии // Оперативная хирургия и клиническая анатомия. 2019. № 3 (2). С. 13-18. DOI: 10.17116/operhirurg2019302113.
15. Халиков А.А., Саперовская В.Е., Сагидуллин Р.Х. Дифференциальная диагностика смерти от гипотермии и от внезапно проявившихся заболеваний сердца по микроморфологическим признакам // Медицинский вестник Башкортостана. 2017. № 6 (72). С. 50-57.
16. Бобров И.П., Лепилов А.В., Долгатов А.Ю., Крючкова Н.Г., Гулдаева З.Н., Орлова О.В., Алымова Е.Е., Соседова М.Н. Морфометрическая характеристика нуклеолярного аппарата гепатоцитов крыс Вистар после однократной глубокой иммерсионной гипотермии // Судебная медицина. 2019. № 15. С. 68-69.
17. Алябьев Ф.В., Арбыкин Ю.А., Серебров Т.В., Яушев Т.Р., Вогнерубов Р.Н., Мельникова С.Ю., Воронков С.В., Логвинов С.В. Морфофункциональные изменения внутренних органов и некоторых биохимических показателей в динамике общего переохлаждения организма // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. 2014. № 2. С. 71-74. DOI: 10.29001/2073-8552-2014-29-2-71-74.
18. Арбыкин Ю.А., Алябьев Ф.В., Янковский В.Э., Агеева Т.А., Полякевич А.С. Динамика ультраструктурных изменений почек при общем переохлаждении организма // Сибирский

журнал клинической и экспериментальной медицины. 2015. № 3. С. 65-68. DOI: 10.29001/2073-8552-2015-30-3-65-68.

19. Алябьев Ф.В., Серебров Т.В., Чесалов Н.П., Тарасенко А.В. Динамика ультраструктурной перестройки печени при общем переохлаждении организма // Инновационная наука. 2017. № 03-2. С. 245-247.

20. Халиков А.А., Саперовская В.Е., Орловская А.В. Микроморфометрические критерии диагностики смерти от гипотермии // Медицинская экспертиза и право. 2015. № 3. С. 32-34.

21. Заднипряный И.В., Третьякова О.С., Сатаева Т.П. Морфологические особенности развития вторичной митохондриальной дисфункции миокарда в эксперименте // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. 2015. № 4 (20). С. 26-29.

22. Луценко М.Т., Луценко М.М., Шматок М.И. Повреждающее действие низких температур на миофибриллы кардиомиоцитов // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2013. № 48. С. 56-62.

23. Заднипряный И.В., Третьякова О.С., Сатаева Т.П. Реорганизация миокарда крыс в условиях прерывистой холодовой гипобарической гипоксии // Медицинский журнал «Forcipe». 2019. № 2. С. 11.

24. Корсиков Н.А. Структурно - морфофункциональная реорганизация кардиомиоцитов в условиях сверхглубокой хронической иммерсионной гипотермии в эксперименте // Scientist. 2023. № 23 (1). С. 99-102.

25. Корсиков Н.А., Лепилов А.В., Бобров И.П., Долгатов А.Ю., Долгатова Е.С., Бабкина А.В., Гервальд В.Я., Бульбенко М.М., Бычкунов В.А., Чикменев А.В., Лушникова Е.Л., Бакарев М.А. Некоторые особенности структурно-морфологической реорганизации миокарда крыс при однократной глубокой гипотермии в эксперименте // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31999> (дата обращения: 08.07.2023). DOI: 10.17513/spno.31999.

26. Бобров И.П., Лепилов А.В., Долгатов А.Ю., Корсиков Н.А., Гулдаева З.Н., Крючкова Н.Г., Соседова М.Н., Долгатова Е.С., Лушникова Е.Л., Бакарев М.А. Тучные клетки миокарда при воздействии гипотермии // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31160> (дата обращения: 01.07.2023). DOI: 10.17513/spno.31160.

27. Прохоров С.А., Белощенко Д.В., Горбунов Д.В., Горбунова М.Н. Стохастическая оценка параметров электромиограмм в условиях гипотермии // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 4. С. 66-74.

28. Прилуцкая Е.Ю., Шмидт Е.Ю., Маркова Т.В., Яблчанский М.И. Значение волны Осборна в выборе своевременной тактики лечения пациентов с гипотермией на примере клинического случая // Медицина неотложных состояний. 2016. № 3 (74). С. 152-157.
29. Wang H., Hollingsworth J., Mahler S., Arnold T. Diffuse ST segment depression from hypothermia // International Journal of Emergency Medicine. 2010. Vol. 3 (4). P. 451-454.
30. Коннов Д.Ю., Коннова Т.Ю., Лукьянов С.А., Шаповалов К.Г. Изменения ритма сердца и дыхания при острой общей холодовой травме // Общая реаниматология. 2015. № 3. С. 16-23.
31. Fukumoto K., Takenaka H., Koga Y., Hamada M. Effect of prolonged hypothermia ischemia on myocardial sarcoplasmic reticular calcium transport // Cardiovascular Research. 1990. Vol. 24 (3). P. 169-175.
32. Арокина Н.К., Лучаков Ю.И., Зилов В.Г., Несмеянов А.А. Восстановление работы сердца у крыс и снижение температурного порога его остановки посредством искусственной вентиляции легких в условиях глубокой гипотермии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2019. № 1. С. 7-11.
33. Трофимова А.В., Чиж Н.А., Белочкина И.В., Волина В.В., Сандомирский Б.П. Морфологические особенности сердца после индукции лечебной гипотермии и введения мезенхимальных стромальных клеток в терапии экспериментального инфаркта миокарда // Морфология. 2016. № 10 (3). С. 288-292. DOI: 10.26641/1997-9665.2016.3.288-292.