

DOI 10.25789/YMJ.2026.95.04

УДК 612.592+612.2+612.821.2

Влияние поведенческого фенотипа на реакцию организма крыс на холодовой стресс в контроле и после гипоксического preconditionирования

*Н.К. Арокина, А.В. Беляков, Д.Г. Семенов*ФГБУН «Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук» наб., Макарова, д. 6,
г. Санкт-Петербург, 199034, Россия

Аннотация. Изучение холодовой устойчивости гомеотермных организмов важно для выявления общепфизиологических механизмов, а также для оценки индивидуальных фенотипических отклонений. Цель работы – изучение влияния поведенческого психотипа крыс Wistar на кардиореспираторные функции при охлаждении. Поведенческое тестирование проводили в норковом лабиринте Барнса, выявляющем поисковую активность и рабочую память. Выделены два различных психотипа, с повышенной импульсивностью при обучении (№1) и плохой обучаемостью и сниженной когнитивной гибкостью при переучивании (№2). Часть представителей обоих психотипов подвергалась умеренной гипобарической гипоксии, другая служила контролем. На четвертые сутки всех крыс наркотизировали и охлаждали в воде (9–10°C) до остановки дыхания. Регистрировали частоту дыхания и сердечных сокращений, температуру в прямой кишке и пищеводе. Выявлено, что крысы психотипа №2 проявили большую холодоустойчивость и большую чувствительность к нейропротективному гипоксическому preconditionированию, чем психотип №1.

Ключевые слова: поведенческое тестирование, психотип, гипоксическое preconditionирование, гипотермия, кардиореспираторные функции, крысы

Abstract. Studying the cold resistance of homoiothermic organisms is important for identifying general physiological mechanisms, as well as for assessing individual phenotypic variations. The aim of the work was to study the effect of the behavioral traits of Wistar rats, pre-evaluated in Barnes maze task, on cardiorespiratory functions disorder during cooling. The behavioral testing reveals exploratory activity and working memory. Two different psychotypes have been identified, one with increased impulsivity during learning (No.1 – “proactive”) and the other with poor exploratory activity and reduced cognitive flexibility during retraining (No.2 – “reactive”). Some rats of both psychotypes were subjected to a moderate hypobaric hypoxia (three daily exposures at 360 mmHg, each lasting 2 hours), the others served as a control. On the fourth day after last behavioral trial, all rats were urethane anesthetized and cooled in water bath (9–10 °C) until respiration stopped. Frequency of breathing, heart rate and body temperature were recorded. It was revealed that rats of psychotype No.2 showed greater cold resistance and greater sensitivity to neuroprotective hypoxic preconditioning than psychotype No.1. Our results could be valuable not only for fundamental psychophysiology, but also for medicine dealing with dip cooling situations.

Keywords: behavioral testing, psychotype, hypoxic preconditioning, hypothermia, cardiorespiratory functions, rats

Финансирование. Исследование проведено в рамках государственного задания ФГБУН Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН (№ 1021062411787-0-3.1.8) и Государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации (2019–2030)» (тема 0134-2019-0005).

Для цитирования: Арокина Н.К., Беляков А.В., Семенов Д.Г. Влияние поведенческого фенотипа на реакцию организма крыс на холодовой стресс в контроле и после гипоксического preconditionирования. Якутский медицинский журнал, 2026. 95(3): 18–22. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2026.95.04>

Введение. Известно, что висцеральные функции человека тесно связаны с его психоэмоциональным статусом; люди с различными типами нервной системы по-разному реагируют на стрессовые воздействия [1]. В частности, выделяют тип «стайер», к которому относят людей, способных переносить длительное равномерное воздействие экстремальных экологических факторов, однако сильные кратковременные нагрузки они переносят плохо. Люди типа «спринтер» развивают мощные физиологические ответы на сильные кратковременные экстремальные воздействия, а длительное воздействие этих факторов переносят плохо [2]. Гипотермия – один из сильнейших стрессирующих факторов среды, способный вызвать гибель организма. При этом, выраженность реакции организма на охлаждение может

быть связана с его индивидуальными фенотипическими качествами как молекулярно-клеточного, так и поведенческого уровней [3]. Устойчивость к гипотермии, как и к любому тяжелому стрессу, может быть повышена путем мобилизации неспецифических эндогенных защитных механизмов системного и клеточного уровней. Одним из немедикаментозных способов такой мобилизации выступает preconditionирование умеренной гипоксией. В недавней нашей публикации приведены данные о протективном влиянии preconditionирования серией сеансов умеренной гипобарической гипоксии на кардио-респираторные функции крыс, подвергнутых глубокому охлаждению *in vivo* [4]. Было установлено статистически значимое увеличение времени поддержания ряда показателей сердечной и дыхательной

функций в процессе охлаждения до остановки дыхания у большинства гипоксически-preconditionированных крыс по сравнению с контрольными. Вместе с тем, отдельные особи этой группы не показали существенного повышения гипотермической устойчивости; и наоборот, в группе контрольных животных отмечены случаи повышенной устойчивости к гипотермии. Было предположено, что это может быть связано с изначально различными индивидуальными фенотипическими особенностями аутбредных крыс Wistar. Такие отличия могут быть выявлены при оценке реагирования крыс на умеренный когнитивный стресс при тестировании в лабиринте Барнса, который был проведен для обеих групп животных за несколько дней до гипоксического и/или гипотермического воздействия.

Целью настоящей работы было изучение влияния исходного поведенческого фенотипа на динамику нарушений кардио-респираторных функций крыс при глубоком охлаждении в воде. В задачи входило предварительное тестирование всех животных в норковом лабиринте Барнса и последующее охлаждение двух групп крыс до остановки дыхания, одна из которых подвергалась процедуре гипоксического прекондиционирования, а другая служила контролем.

Материалы и методы. Эксперименты были выполнены на 18 крысах-самцах линии Wistar массой 290-340 г из биокolleкции Института физиологии им. И.П. Павлова РАН. Крысы содержались в лабораторных условиях при свободном доступе к воде и пище, температуре 22°C и режиме освещения «12/12». Исследования проведены по этическим стандартам, утвержденным правовыми актами РФ, принципам Базельской декларации и одобрены комиссией по контролю за содержанием и использованием лабораторных животных Института физиологии им. И.П. Павлова РАН (протокол № 06/23 от 23.06.2022 г.).

Поведенческое тестирование. Все животные за 9 дней до деления на подгруппы и предъявления одной из них гипоксического прекондиционирования были подвергнуты поведенческому тестированию в лабиринте Барнса, выявляющем уровни поисковой активности и рабочей памяти. Тестирование проводили в соответствии с общепринятым протоколом. Использована приподнятая круглая арена диаметром 150 мм, имеющая по периферии 16 сквозных отверстий 12 см в диаметре, одно из которых оснащено скрытым съемным блоком «норки-убежища». Крыса, посаженная в центр арены мотивирована к поиску убежища аверсивной обстановкой (открытое пространство и яркое освещение – 1000 лк). После первого 3-мин сеанса привыкания проводили 4 ежедневных обучающих сеанса, длящихся до момента обнаружения убежища, и 3 сеанса переучивания после того, как позиция убежища была изменена. Движения животного в каждом сеансе регистрировали видеокамерой, с последующей обработкой видеоизображений. Следует отметить, что животное, посаженное в центр арены, не сразу приступает к активному поиску убежища, переходя на уровень периферически расположенных отверстий. Некоторое время крыса находится или в состоянии замирания, или хаотичного перемещается в центральной части арены. Прежде всего, это относится к этапу обучения, обладающему большей стрессогенностью, чем этап переучивания. Индивидуальность двигательных и когнитивных функций в различных поведенческих тестах проявляется не только в скорости достижения, но и в уровне рабочей памяти (динамика обучения и переучивания), когнитивной гибкости (успешность решения новой задачи при переучивании), темперамента (время потраченное на замирания), выбора тактики поиска (эгоцентрическая или аллоцентрическая навигация) и др. [5], что хорошо выявляет именно тестирование в лабиринте Барнса [6].

Гипоксическое прекондиционирование. На 9-й день животные были разделены на 2 равные группы. Одна из них (9 особей) подвергалась гипоксическому прекондиционированию в виде серии из трех ежедневных двухчасовых сеансов умеренной барокамерной гипобарической гипоксии со снижением атмосферного давления до 360 ммHg (группа ЗУГГ). Остальные 9 животных не были прекондиционированы и служили контролем. Методика гипобарического прекондиционирования, разработанная в Институте физиологии им. И.П. Павлова РАН, подробно описана, вместе с другими протоколами гипоксического/ишемического кондиционирования и механизмами их нейрорепроактивного действия, в недавних обзорах [7, 8].

Холодовое воздействие. На 12-е сут после начала поведенческого тестирования и прекондиционирования и контрольная группы крыс подвергали холодовому воздействию. Охлаждение наркотизированных животных (уретан 125мг/100 г массы тела, внутривенно) проводили до остановки дыхания в ванне с холодной водой (9-10°C). Регистрировали ректальную температуру в прямой кишке (Tr) и пищеводе (Tp), частоту сердечных сокращений (ЧСС), частоту дыхания (ЧД). Данные регистрировали и обрабатывали с помощью модуля АЦП Е14-140-М (L-Card, Россия) и программы PowerGraph. Подробно методика глубокой гипотермии *in vivo* описана ранее [4].

Статистическую обработку массива данных проводили с помощью программ Statistica 6.0; InStat 3.02 ("GraphPad Software Inc.", США). Применяли критерии Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. При нормальном распределении статистическую значимость различий между показателями контрольной и опытной группы оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). При несоблюдении критерия нормальности применяли непараметрическое сравнение по U-критерию Манна-Уитни. Экспериментальные данные представлены как средняя $\pm$ стандартная ошибка средней ($M \pm S.E.M.$), уровень статистической значимости различий $p < 0,05$.

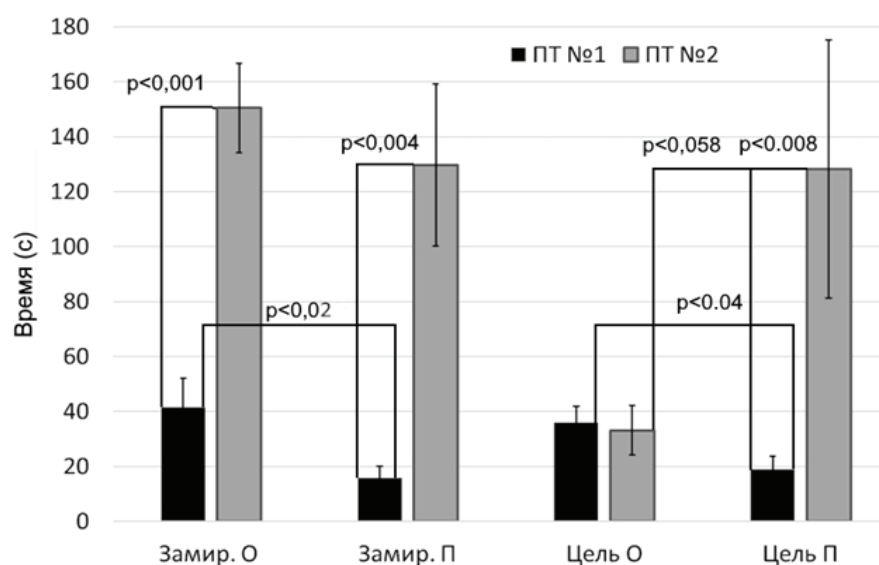


Рис.1. Сравнение временных параметров у крыс двух психотипов (ПТ №1 и ПТ №2) при достижении цели в фазе обучения и переучивания (лабиринт Барнса). Примечание. Замир. О – среднее время замираний в ходе обучения, Замир. П – среднее время замираний в ходе переучивания. Цель О – время достижения целевой лунки к концу обучения, Цель П – время достижения целевой лунки к концу переучивания. По оси ординат – время в сек.

Результаты и обсуждение. В поведенческом эксперименте была выявлена большая вариативность в уровнях четырех измеряемых параметров. А именно: средняя длительность замираний в ходе всего периода обучения (2-5 дни) и всего периода переучивания (6-8 дни); среднее время обнаружения целевого убежища к концу обучения (5-6 день) и к концу переучивания (8 день). Количественный анализ этих параметров позволил разделить всех крыс на 2 основные группы с различающимися психотипами: ПТ №1 и ПТ №2, по 9 крыс в каждой (рис. 1).

Можно видеть, что в ходе обеих фаз эксперимента (обучение и переучивание) крысы ПТ №1 меньшее время находились в состоянии замирания до достижения цели, т.е. были более подвижными, чем крысы ПТ №2. Впрочем, это не отразилось на среднем времени обнаружения цели в конце обучения, что свидетельствует о равной итоговой обученности при использовании двух различных тактик поиска. Однако, результаты переучивания показали существенно меньшую когнитивную гибкость крыс с ПТ №2, по сравнению с крысами ПТ №1. Было отмечено, что если у крыс ПТ №1 итоговая скорость достижения цели несколько возросла, то у крыс ПТ №2 она существенно снижалась.

Таким образом, для крыс ПТ №1 была характерна высокая двигательная активность с минимальными периодами замирания, свидетельствующая о высокой импульсивности, а также высокая когнитивная гибкость при смене задач (фаза переучивания). Для крыс ПТ №2, напротив, характерно отсутствие импульсивности и консервативность в перестройке рабочей памяти при смене задач.

По завершении поведенческого тестирования часть крыс была подвергнута процедуре ЗУГГ. В нее вошли 4 крысы ПТ №1, и 5 крыс ПТ №2, а в контрольную группу – 5 крыс ПТ №1 и 4 крысы ПТ №2. На 4-е сут после завершения поведенческого теста обе группы крыс были подвергнуты охлаждению в воде до остановки дыхания. При этом исходные параметры у крыс обеих групп были следующие: Тр 34,4 ± 0,1 °С; Тп 35,3 ± 0,2 °С; ЧД 118 ± 6 циклов/мин; ЧСС 456 ± 7 ударов/мин.

В процессе охлаждения животных ЧСС снижалась постепенно в соответствии со снижением температуры тела. Достоверных отличий в изменении ЧСС у крыс ПТ №1 и ПТ №2 не наблюдалось. За 5-10 мин до остановки дыхания наблюдалось резкое

снижение ЧСС и аритмия. У крыс группы ЗУГГ ПТ №1 в этот момент Тр и Тп были 15,2 ± 1,1 °С и 17,7 ± 0,8 °С, соответственно. У крыс, отнесенных нами к ПТ №2, аритмия наблюдалась при более низких температурах: Тр 11,9 ± 0,1 °С, Тп 15,6 ± 0,6 °С, $p < 0,05$. В контрольной группе аритмия у крыс ПТ №1 происходила при Тр 15,7 ± 0,4 °С, Тп 18,5 ± 0,2 °С, а ПТ №2 при Тр 13,3 ± 1,4 °С, Тп 15,7 ± 1,2 °С, $p < 0,05$.

В ходе охлаждения ЧД снижалась сначала медленно, а затем ускоренно («перелом» ЧД). Оказалось, что в контроле значения Тр и ЧСС к моменту «перелома» ЧД у крыс ПТ №1 были выше, чем у крыс ПТ №2. После процедуры ЗУГГ наблюдалось снижение Тр в момент «перелома» ЧД у крыс обоих психотипов. Но у крыс ПТ №2 значения Тр все же были ниже, чем у крыс ПТ №1 (таблица).

Прекращение дыхания у крыс ПТ №1 группы ЗУГГ наступало через 74,8 ± 16,8 мин, а ПТ №2 – через 126,4 ± 21,2 мин после начала охлаждения ($p < 0,05$). В контроле у крыс ПТ №1 дыхание прекращалось через 63,6 ± 5,3 мин, а у крыс ПТ №2 через 120,0 ± 16,1 мин ($p < 0,05$). У крысы ЗУГГ ПТ №1 при остановке дыхания были следующие значения температуры тела Тр 13,4 ± 1,2 °С; Тп 15,9 ± 1,3 °С, а у крыс ПТ №2 достоверно ниже: Тр 9,96 ± 0,6 °С; Тп 13,2 ± 0,5 °С; $p < 0,05$. В контроле у крыс ПТ №1 дыхание прекратилось при Тр 15,5 ± 0,4 °С; Тп 18,1 ± 0,3 °С; а в группе ПТ №2 при Тр 12,0 ± 0,5 °С; Тп 14,5 ± 0,6 °С; $p < 0,05$.

Корреляционному анализу были подвергнуты различные параметры, измеряемые в ходе охлаждения, но наибольшую корреляционную связь продемонстрировали Тр и ЧСС при остановке дыхания (Тро – ЧССо 0,77);

Ректальная температура (Тр), частота дыхания (ЧД) и сердечных сокращений (ЧСС) в момент начала ускоренного снижения ЧД («перелома») при охлаждении в воде крыс ПТ №1 и ПТ №2 (в контроле и после ЗУГГ)

Параметр	Контроль		ЗУГГ	
Психотипы	ПТ №1	ПТ №2	ПТ №1	ПТ №2
Тр, °С	31,2 ± 0,9 (1)	26,5 ± 1,0 (2)	26,8 ± 2,8 (3)	20,0 ± 0,8 (4)
ЧД, циклов/мин	110,8 ± 3,4	114,8 ± 10,1	118,3 ± 4,2	95,2 ± 14,8
ЧСС, ударов/мин	407,0 ± 17,6 (5)	318,3 ± 14,4 (6)	293,8 ± 44,0 (7)	206,0 ± 9,4 (8)

Примечание. $P_{1,2} < 0,05$; $P_{2,4} < 0,05$; $P_{3,4} < 0,05$; $P_{5,6} < 0,05$; $P_{5,7} < 0,05$; $P_{6,8} < 0,05$.

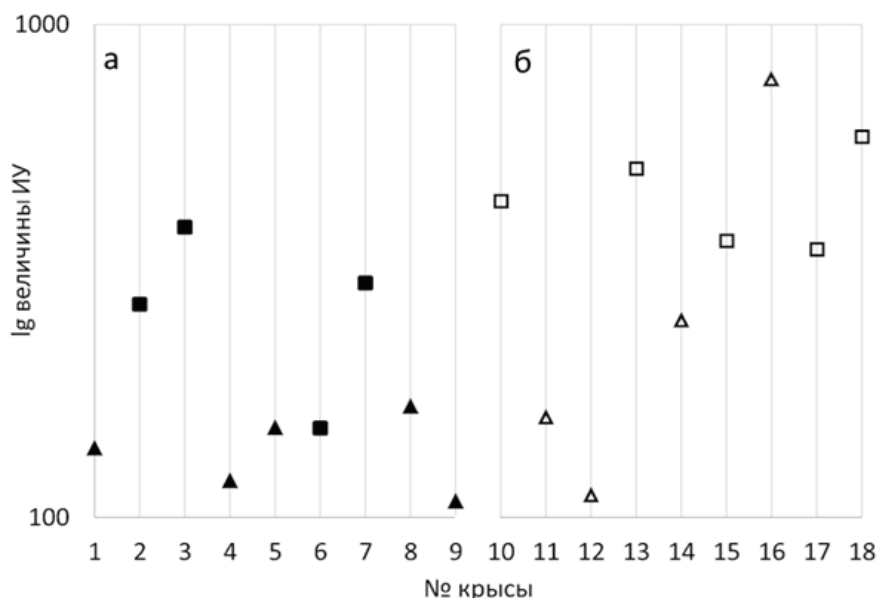


Рис. 2. Индексы устойчивости к охлаждению в группе крыс контрольных (темные значки) и прекондиционированных с помощью ЗУГГ (светлые значки). Примечание. Крысы ПТ №1 обозначены треугольниками, а ПТ №2 – квадратами. а) контроль, крысы №№ 1-9; б) ЗУГГ, крысы №№ 10-18.

Тр при остановке дыхания и в момент наступления аритмии (Тро – Тра 0,9) и Тр в момент наступления аритмии и ЧСС при остановке дыхания (Тра – ЧССо 0,73). Эти показатели были нормированы по исходным величинам и взяты для вычисления индивидуальных «индексов устойчивости» (ИУ) по формуле: $1/(Тро * ЧССо * Тра)$. Результаты показали, что, во-первых, у большинства прекондиционированных животных ИУ был выше, чем у контрольных и, во-вторых, в обеих группах ИУ был выше у ПТ №2, чем у ПТ №1 (рис. 2).

Защитный эффект прекондиционирования сердца и мозга в отношении их гипоксического/ишемического повреждения достаточно хорошо документирован, раскрыты многие механизмы его реализации. Важно отметить, что большинство клеточных и субклеточных механизмов гипоксического прекондиционирования, обеспечивающих внутриклеточную защиту от последствий тяжелой гипоксии/ишемии (подавление глутаматной эксайтотоксичности, активация PI3K/AKT сигнального пути выживания, фосфорилирование таких транскрипционных факторов как CREB и NFAT, активация антиапоптозных факторов семейства Bcl-2, и системы антиоксидантной защиты (MnSOD, Cu-ZnSOD), репрограммирование системы ионных каналов, включая Ca^{2+} помпу SERCA и мн. др.) [9] сходны с теми, которые естественным образом активируются у гибернирующих видов. Но, как известно, животные гибернанты способны переносить церебральную ишемию/реперфузию лучше, чем негибернирующие [10, 11]. Этот факт позволяет предположить, что в нашей модели ЗУГГ прекондиционирования происходит перепрограммирование систем организма подобно тому, как это происходит у гибернирующих животных перед впадением в спячку и/или при выходе из нее.

Несмотря на наличие определенных общих закономерностей, была отмечена большая вариативность поведения крыс в лабиринте Барнса. В практике трансляционных исследований на крысах давно известны активная и пассивная поведенческие стратегии, проявляемые животными в условиях стресса. Для первой (проактивной) стратегии характерны поиск, риск и импульсивность, для второй (реактивной) — замирание, осторожность и внимание. Оба типа преодоления (coping styles) тревожной ситуации закреплены в индивидуальных фено-

типах аутбредных крыс Wistar, что позволило выделить из них контрастные по поведению линии путем двунаправленной селекции (например, линий Carioka HF/LF, Roman HA/LA и др.).

Обнаружено, что для таких парных линий характерны определенные различающиеся системы взаимодействия мезэнцефалических и корковых нервных центров, организующих нейромодуляторную регуляцию поведения в условиях стресса [12]. В частности, для реактивных, в отличие от проактивных линий, характерна более высокая активность нейронов гиппокампа и медиальной префронтальной коры [13], повышенная активность паравентрикулярного ядра таламуса и соответствующий повышенный тонус гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы [12]. Важным звеном, также определяющим различия двух типов особей, является организация стволовых центров, особенно активность голубого пятна (locus coeruleus - LC) — основного источника норадреналина в мозге, имеющего прямые проекции на симпатические преганглионарные нейроны ствола и спинного мозга [12, 14]. У проактивных особей (в нашем случае ПТ №1) LC характеризуется высоким фоновым уровнем импульсации, что поддерживает организм в состоянии метаболической готовности к немедленному действию. Напротив, у реактивных особей (таких как ПТ №2) LC проявляет более низкую тоническую активность, что коррелирует с экономным расходом энергетических субстратов. Согласно гипотезе [15], устойчивый реактивный фенотип с пассивной стратегией избегания может являться более адаптивным при столкновении с витальной угрозой в экстремальных ситуациях, поскольку обеспечивает превентивное сбережение энергетических ресурсов организма.

Предполагаем, что в наших условиях глубокой гипотермии под наркозом, исходно высокая норадренергическая активность у крыс ПТ №1, очевидно, становится деструктивной, провоцируя преждевременное истощение гликогена, сердечную аритмию, регуляцию дыхательных циклов. В то же время "метаболический покой", характерный для ПТ №2, обеспечивает большую устойчивость кардиореспираторных функций при критически низких температурах. Важно подчеркнуть, что глубокое понимание механизмов этого интересного феномена требует, с одной стороны, дальнейшего при-

менения более широкой батареи поведенческих тестов и, с другой стороны, поиска системных и молекулярно-клеточных механизмов индивидуальной холодовой устойчивости и ее стимуляции гипоксическим прекондиционированием. Это позволит выявить взаимосвязь психотипа с выживаемостью организма при критически низких температурах, что даст рекомендации для медицины катастроф в подборе кадров, подвергающихся опасности глубокого охлаждения (аварии в полярных широтах, высокогорье, глубоководных и авиакосмических работах) а также в применении профилактических мер прекондиционирования.

Выводы. 1. На основании анализа поведения крыс в лабиринте Барнса выделены психотип №1 (хорошая обучаемость, короткие пути поиска, повышенная импульсивность при обучении) и психотип №2 (плохая обучаемость, отсутствие импульсивности при обучении, сниженная когнитивная гибкость при переучивании).

2. Крысы психотипа №2 проявили большую холодоустойчивость в сравнении с крысами психотипа №1.

3. Гипоксическое прекондиционирование повышает устойчивость к гипотермии крыс обоих психотипов, однако более выраженный эффект наблюдается у крыс с ПТ №2.

Литература

1. Новиков В.С., Сороко С.И., Шустов Е.Б. Дезадаптационные состояния человека при экстремальных воздействиях. Санкт-Петербург, Политехника-принт. 2018: 548. / Novikov V.S., Soroko S.I., Shustov E.V. Desadaptation states of man to exposure to extreme conditions and their correction. St. Petersburg: Politehnica-print. 2018: 548.
2. Hasnulin VI., Voytik IM., Hasnulina AV. et al. Some ethnic features of northern aborigines psychophysiology as a base for survival in extreme natural conditions: a review. *Open J. of Medical Psychology*. 2014;3:292-300.
3. Оппедизано М.Д.Л., Артюх Л.Ю. Адаптация человека к экстремальным условиям деятельности. Физиологические механизмы (структурный след адаптации). *FORCIPE*. 2021; 4(4): 18-25. / Oppedizano MDL, Artyukh LY. Human adaptation to extreme working conditions. Physiological mechanisms (structural trace of adaptation). *FORCIPE*. 2021; 4(4): 18-25.
4. Арокина Н.К., Беляков А.В., Семенов Д.Г. Гипоксическое прекондиционирование способствует поддержанию кардиореспираторных функций крыс при глубокой гипотермии in vivo. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2025;59(6):63-70. <https://doi.org/10.21687/0233-528X-2025-59-6-63-70> / Arokina NK., Belyakov AV., Semenov DG. Hypoxic preconditioning favours maintenance of rat's cardiorespiratory functions at deep hypothermia in vivo. *Aerospace and Environmental Medicine*. 2025;59(6):63-70. (In Russian). <https://doi.org/10.21687/0233-528X-2025-59-6-63-70>.

5. Améndola L, Weary D, Zobel G. Effects of personality on assessments of anxiety and cognition. *Neurosci Biobehav Rev.* 2022;141:104827. doi: 10.1016/j.neubiorev.2022.104827.
6. Gawel K, Gibula E, Marszałek-Grabska M et al. Assessment of spatial learning and memory in the Barnes maze task in rodents-methodological consideration. *Arch Pharmacol.* 2019;392(1):1-18. doi: 10.1007/s00210-018-1589-y.
7. Семенов Д.Г., Беляков А.В. Гипоксическое кондиционирование как стимул формирования гипоксической толерантности мозга. *Успехи физиологических наук.* 2023;54(2):3-19. <https://doi.org/10.31857.S0301179823020066> / Semenov DG., Belyakov AV. Hypoxic conditioning as a stimulus for the formation of hypoxic tolerance of the brain. *Progr. Physiol. Science.* 2023;54(2):3-19 (In Russian). <https://doi.org/10.31857.S0301179823020066>
8. Bartscher J, Citherlet T, Camacho-Cardenosa A. et al. Mechanisms underlying the health benefits of intermittent hypoxia conditioning. *J Physiol.* 2023;602(21):5757-5783. doi: 10.1113/JP285230.
9. Rybnikova E., Samoilov M. Current insights into the molecular mechanisms of hypoxic pre- and postconditioning using hypobaric hypoxia. *Front Neurosci.* 2015; 9:388. doi:10.3389/fnins.2015.00388.
10. Drew KL, Bhowmick S, Laughlin BW, et al. Opportunities and barriers to translating the hibernation phenotype for neurocritical care. *Front Neurol.* 2023;14:1009718. doi:10.3389/fneur.2023.1009718.
11. Xie L-H, Gwathmey J.K., Zhao Z. Cardiac Adaptation and Cardioprotection Against Arrhythmias and Ischemia-Reperfusion Injury in Mammalian Hibernators. *Pflugers Arch.* 2021;473(3):407–416. doi:10.1007/s00424-020-02511-0.
12. Leo'n LA, Brandão ML, Cardenas FP et al. Distinct patterns of brain Fos expression in Ca-rioca High and Low-conditioned Freezing Rats. *PLoS ONE.* 2020;15(7):e0236039. doi:10.1371/journal.pone.0236039.
13. Fernández-Teruel A, Canete T, Sampe-dro-Viana D et al. Contribution of the Roman rat lines/strains to personality neuroscience: neurobehavioral modeling of internalizing/ externalizing psychopathologies. *Personality Neuroscience.* 2023;6: e8, 1–9. doi: 10.1017/pen.2023.7.
14. Samuels ER, Szabadi E Functional neuro-anatomy of the noradrenergic locus coeruleus: its roles in the regulation of arousal and autonomic function: Part I. Principles of functional organisation. *Curr Neuropharmacol.* 2008;6:235–253. doi:10.2174/157015908785777229 PMID: 19506723.
15. Binti Affandi AH, Pike AC, Robinson OJ. Threat of shock promotes passive avoidance, but not active avoidance. *Eur J Neurosci.* 2022;55(9-10):2571–2580. Doi:10.1111/ejn.15184.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов. Арокина Н.К. – концепция и дизайн исследования, гипотермия, статистический анализ данных, написание текста, научное редактирование; Беляков А.В. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, ЗУГГ, статистический анализ; Семенов Д.Г. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, ЗУГГ, статистический анализ данных написание текста, научное редактирование.

Сведения об авторах. ФГБУН Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН: Арокина Надежда Константиновна – д-р биол. наук, науч. сотр. лаборатории физиологии дыхания, arokinank@infra.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2079-1300>; Беляков Александр Витальевич – д-р биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории регуляции функций нейронов мозга, <https://orcid.org/0000-0002-4614-3336>; Семенов Дмитрий Германович – д-р биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории регуляции функций нейронов мозга, <https://orcid.org/0000-0002-8622-9839>.

Поступила: 05.03.2026 / Принята к публикации: 16.06.2026

DOI 10.25789/YMJ.2026.95.05

УДК 616-001



Обоснование изменений низведенного яичка при абдоминальной форме крипторхизма у детей

М.Н. Екимов^{1,2}, Н.А. Цап², С.Ю. Комарова²

¹ ГАУЗ Свердловской области «Детская городская клиническая больница №9, ул. Решётская, д. 51, г. Екатеринбург, 620134, Россия

² ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Репина, д. 3, г. Екатеринбург, 620028, Россия

Аннотация. Крипторхизм – аномалия развития яичка, обусловленная нарушением его миграции в мошонку. Прогноз даже после своевременной орхидопексии сомнителен, особенно при абдоминальной форме крипторхизма (АФК), и требует объективной оценки. Проведено одноцентровое ретроспективное исследование 85 детей с односторонней АФК (2018–2025 гг.). Они разделены на две группы по критерию расстояния яичка от внутреннего пахового кольца: высокое (>2 см, n=14) и низкое (<2 см, n=71). Для 43 пациентов оценены отдаленные результаты с помощью оригинального протокола качественной оценки (ПКО). Суммарная частота хороших и удовлетворительных исходов составила 62,5% в первой группе и 80,0% во второй, неудовлетворительных – 37,5% и 20,0% соответственно. Высокое расположение яичка – неблагоприятный прогностический фактор гипо- и атрофии яичка после орхидексии.

Ключевые слова: абдоминальная форма крипторхизма, атрофия яичка, оперативное лечение

Abstract. Cryptorchidism is a developmental anomaly of the testis resulting from impaired migration into the scrotum. The prognosis remains guarded even after timely orchidopexy, particularly in cases of intra-abdominal testis (IAT), and requires objective assessment. A single-center retrospective study was conducted involving 85 children with unilateral IAT (2018–2025). Patients were divided into two groups based on the distance of the testis from the internal inguinal ring (IIR): high localization (>2 cm, n=14) and low localization (<2 cm, n=71). Long-term outcomes were evaluated for 43 patients using an original Qualitative Assessment Protocol (QAP). The cumulative frequency of good and satisfactory outcomes was 62.5% in the first group and 80% in the second, while unsatisfactory outcomes accounted for 37.5% and 20%, respectively. High testicular localization is an unfavorable prognostic factor for testicular hypotrophy and atrophy following orchidopexy.

Keywords: intra-abdominal testis, testicular atrophy, surgical treatment