Дата публикации: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_6
УДК 612

Publication date: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_6
UDC 612

# ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ НА СОРБЦИОННУЮ И ЭЛИМИНАЦИОННУЮ СПОСОБНОСТИ МИОКАРДА ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА ЛАБОРАТОРНОЙ КРЫСЫ

**А.А. Виноградов[1], И.В. Андреева[2], П.И. Самотаев[1]**
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Рязань, Россия
[2]Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского», г. Москва, Россия

**Аннотация.** На крысах линии Wistar изучали влияние гипоксической тренировки на сорбционную способность миокарда желудочков сердца. Крыс опытной группы 45 суток ежедневно на 30 мин помещали в нормобарическую газовую среду с 10-11 об.% кислорода. Крысам контрольной и опытной групп в брюшную полость вводили 0,5% водный раствор нейтрального красного из расчета 0,5 мл/100 г. Выявлено, что гипоксическая тренировка неоднозначно влияет на сорбционную способность миокарда. К 45 суткам эксперимента концентрация нейтрального красного в миокарде правого желудочка у крыс опытной группы увеличивалась в 1,149±0,0029 раза, а в левом желудочке – в 1,129±0,038 раза. Это может быть связано с изменением гемодинамики миокарда желудочков сердца или замедлением элиминации красителя из миокарда, что требует целенаправленного изучения.
**Ключевые слова**: гипоксическая тренировка, желудочки сердца, сорбционная способность миокарда, крыса линии Wistar.

# THE EFFECT OF HYPOXIC TRAINING ON THE SORPTION CAPACITY OF THE HEART VENTRICULUS MYOCARDIUM OF THE LABORATORY RAT

**A.A. Vinogradov[1], I.V. Andreeva[2], P.I. Samotaev[1]**
[1]Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia
[2]Moscow Regional Research and Clinical Institute (“MONIKI”), Moscow, Russia

**Abstract.** The effect of hypoxic training on the sorption capacity of the ventricular myocardium was studied in Wistar rats. The rats of the experimental group were placed in a normobaric gas environment for 30 minutes daily for 45 days at 10-11 vol.% oxygen content. The rats of the control and experimental groups were injected with 0.5% aqueous solution of neutral red at the rate of 0.5 ml / 100 g into the abdominal cavity. It was revealed that hypoxic training does not unambiguously affect the sorption capacity of the myocardium. By the 45th day of the experiment, the concentration of neutral red in the myocardium of the right ventricle in the rats of the experimental group increased by 1,149±0.0029 times, and in the left ventricle – by 1,129± 0.038 times. This may be due to increased hemodynamics of the heart or a slowdown in the elimination of dye from the myocardium, which requires targeted study.
**Keywords**: hypoxic training, ventricles of the heart, myocardial sorption capacity, Wistar rat.

**Введение**. Одним из актуальных направлений экспериментальных и клинических исследований является изучение влияния гипоксической тренировки на повышение резистентности органов и систем человека и животных в норме и при патологических состояниях [1-3]. Немедикаментозные методы профилактики и лечения, основанные на неспецифических компенсаторно-приспособительных механизмах, являются основой адаптации органов и систем к экстремальным воздействиям. Для повышения резистентности организма к экзогенным и эндогенным факторам среды используют возможности гипоксической тренировки с применением специальной аппаратуры методом прерывистой нормобарической гипоксии или природным способом в условиях высокогорья. При этом особая роль отводится исследованиям деятельности сердца в этих условиях [3, 4-9].

Несмотря на большой опыт в изучении механизмов адаптации к гипоксической тренировке целый ряд вопросов, касающихся теоретического и практического смысла ее применения, остаются недостаточно изученными [9]. Поэтому для получения более обширных сведений о регуляции физиологических функций органов, обеспечивающих жизнедеятельность организма, необходимы целенаправленные исследования. На сегодняшний день нет достаточно полных данных о сорбционной и элиминационной функции миокарда желудочков сердца на фоне гипоксической тренировки.

Цель исследования – на лабораторной половозрелой крысе линии Wistar изучить сорбционную и элиминационную способности миокарда желудочков сердца в норме и на фоне гипоксической тренировки.

**Методы и организация исследования.** Исследование проведено на 28 крысах линии Wistar зрелого возраста (14-16 месяцев) с массой 210-220 г, взятых из питомника лабораторных животных филиала «Столбовая» ФГБУН НЦБМТ ФМБА России. Возраст крыс соответствовал зрелому возрасту [10], при экстраполяции на человека составлял около 36-40 лет [11]. При содержании животных руководствовались «Принципами надлежащей лабораторной практики» (национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ № 33044-2014, введен с 01.08.2015 г.), приказом Минздрава России от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», «Санитарно-эпидемиологическими требованиями к устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев)» (СП 2.2.1.3218-14). Исследование одобрено на заседании биоэтической комиссии Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова (Протокол № 102, 2025 г.).

Крысы были распределены на контрольную группу (КГ – 16 особей) и на опытную группу (ОГ – 12 особей). Взвешивание животных выполняли на электронных весах Kitchen Scalt SF-400 (США).

В начале наблюдения крысам КГ (4 особям) под наркозом (Золетил Virbac 0,3 мг в/м) в брюшную полость вводили 0,5% водный раствор нейтрального красного (класс по Colour Index 2-е издание, BR № 50040), нагретого до температуры животного, из расчета 0,5 мл на 100 г массы крысы. Через 20 мин передозировкой Золетил Virbac выполняли эвтаназию и извлекали сердце. Осуществляли раздельное взвешивание желудочков сердца. Для этого вдоль передней и задней межжелудочковых борозд вскрывали желудочки и продольным разрезом удаляли предсердия. Желудочки сердца промывали в растворе Рингера, высушивали на фильтровальной бумаге и в воздушной струе. Затем на электронных весах DIGITAL SCALE (Китай) с дискретностью 0,01 г определяли абсолютную массу правого (ПЖС) и левого (ЛЖС) желудочков (далее – препараты). Каждый препарат помещали в пронумерованные 15-миллиметровые градуированные центрифужные пробирки, заполненные 10,0 мл 70% подкисленного спирта. Через 24 часа после инкубации в спиртовом растворе при комнатной температуре (+20-22°С) препараты извлекали и высушивали в термостате BINDER GmbH (Германия) при температуре +55°С до постоянного веса (сухого остатка) и повторно взвешивали. Спиртовые растворы центрифугировали в течение 5 минут при скорости 1000 об./мин. Затем каждый супернатант колориметрировали на фотоколориметре КФК-2МП и по предварительно построенному градуированному графику определяли концентрацию нейтрального красного (НК) в мкг. Фотоколориметрические показатели делили на массу высушенного препарата и определяли количественные показатели концентрации НК в мкг/мг [12].

Ежедневно в течение 45 суток крысам ОГ осуществляли гипоксическую тренировку (ГТ) в газовой среде, содержащей 10-11 об.% кислорода ($O_2$) [13] путем инжекторного смешивания газообразного азота ($N_2$) с атмосферным воздухом в пропорции 1:1 в специальном устройстве для ГТ мелких лабораторных животных [14] (рис. 1).

В первые и вторые сутки животных ОГ содержали в гипоксической среде 20 мин, на третьи сутки – два раза по 20 мин с 5 мин перерывом, на четвертые сутки и далее –

трижды по 20 мин с двумя перерывами по 5 мин (всего 60 мин). Через 15, 30 и 45 суток от начала исследования по 4 крысы КГ и ОГ выводили из эксперимента и определяли по вышеизложенной методике концентрацию НК в ПЖС и ЛЖС.

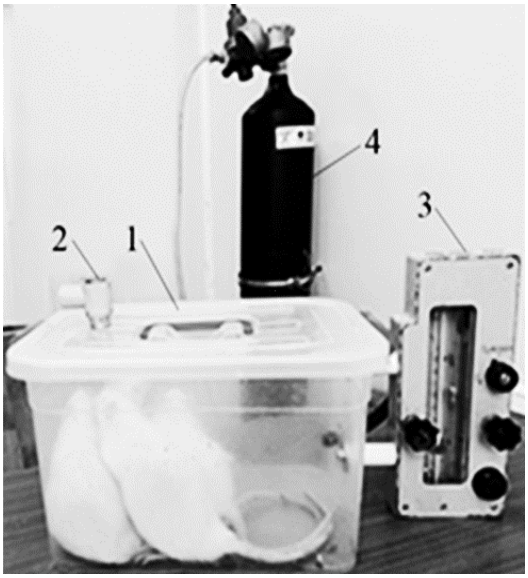



Рис. 1. Устройство для гипоксической тренировки мелких лабораторных животных. 1 – герметическая емкость; 2 – предохранительный клапан; 3 – ротаметр; 4 – баллон с газообразным азотом (патент RU 178743) [14].

Цифровые данные обрабатывали методами вариационной статистики с помощью программы «StatSoft Statistica 13.0» (США, номер лицензии AXA003J115213FAACD-X, Statsoft.ru) и Microsoft Excel for MAC ver. 16.24 (ID 02984-001-000001). Устанавливали: нормальность распределения данных по критерию Шапиро-Уилка (W-критерий). Так как по W-критерию была подтверждена нормальность распределения показателей, описание проводили с помощью критериев параметрической статистики. Рассчитывали среднюю арифметическую выборки (M) и ошибку средней арифметической выборки (±m); по t-критерию Стьюдента – вероятность ошибки (p); коэффициент корреляции Пирсона (R). Коэффициент корреляции 0,5-0,70 определял заметную, 0,7-0,9 – высокую, а 0,9-1,0 – весьма высокую корреляционную зависимость.

**Результаты исследования и их обсуждение**. Концентрация НК в миокарде желудочков сердца интактной группы животных была неодинаковой и зависела от массы крысы. При массе крыс 216,0±2,0 г (W=0,93; Me=216,0) в миокарде ПЖС концентрация НК колебалась в пределах 0,582±0,010 мкг/мг (W=0,95; Me=0,583), а в миокарде ЛЖС – 0,659±0,021 мкг/мг (W=0,84; Me=0,671) (рис. 1 и 2). В миокарде ЛЖС концентрация НК была в 1,132±0,022 раза (W=0,82; Me=1,144) больше, чем в миокарде ПЖС.

Через 15 суток масса животных была в пределах 237,5±5,0 г (W=0,93; Me=237,0). Масса животных увеличивалась в 1,101±0,007 раз (W=0,98; Me=1,100; R=0,951; t=3,64; p=0,015).

Через 15 суток концентрация НК в миокарде ПЖС колебалась в пределах 0,612±0,001 мкг/мг (W=0,84; Me=0,613) и была в 1,053±0,016 раза больше исходного показателя (W=0,98; Me=1,051; R=0,921; t=2,99; p=0,031). В миокарде ЛЖС концентрация НК составляла 0,715±0,005 мкг/мг (W=0,93; Me=0,715), что в 1,086±0,034 раза (W=0,98; Me=1,066; R=0,779; t=2,59; p=0,049) больше исходного показателя. В миокарде ЛЖС концентрация НК в 1,167±0,009 (W=0,88; Me=1,167) раз была больше, чем в миокарде ПЖС. В ПЖС концентрация НК была на 0,031±0,009 мкг/мг (W=0,97; Me=0,030) больше исходного показателя, а в ЛЖС – на 0,056±0,020 мкг/мг (W=0,98; Me=0,044) (рис. 2 и 3).

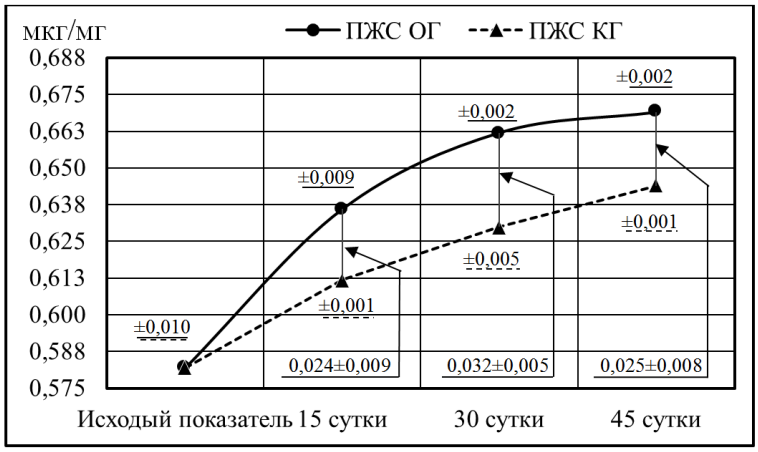



Рис. 2. Концентрация нейтрального красного в миокарде правого желудочка сердца (ПЖС) животных контрольной (КГ) и опытной (ОГ) групп в процессе 45-суточного наблюдения. Стрелками показано истинное изменение концентрации нейтрального красного в миокарде ПЖС, зависящее от гипоксической тренировки

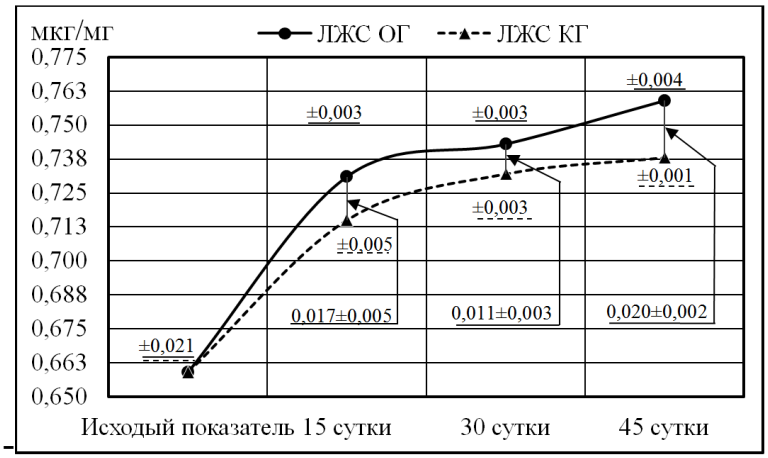



Рис. 3. Концентрация нейтрального красного в миокарде левого желудочка сердца (ЛЖС) животных контрольной (КГ) и опытной (ОГ) групп в процессе 45-суточного наблюдения. Стрелками показано истинное изменение концентрации нейтрального красного в миокарде ЛЖС, зависящее от гипоксической тренировки

Через 30 суток масса животных была в пределах 255,8±1,75 г (W=0,90; Me=256,0). Масса животных в 1,077±0,015 раз оказалась больше 15-суточного показателя (W=0,88; Me=1,080; R=0,975; t=3,45; p=0,018). Концентрация НК в миокарде ПЖС в 1,028±0,010 раз была больше 15-суточного показателя (W=0,86; Me=1,029; R=0,980; t=2,55; p=0,05) и составляла 0,630±0,005 мкг/мг (W=0,93; Me=0,631). В миокарде ЛЖС концентрация НК составляла 0,732±0,003 мкг/мг (W=0,86; Me=0,733), что больше 15-суточного показателя в 1,024±0,005 раз (W=0,95; Me=1,022; R=0,837; t=2,92; p=0,033). В миокарде ЛЖС концентрация НК была в 1,162±0,008 (W=0,87; Me=1,162) раз больше, чем в миокарде ПЖС. В ПЖС концентрация НК была на 0,017±0,006 мкг/мг (W=0,86; Me=0,018) больше 15-суточного показателя, а в ЛЖС – на 0,017±0,004 мкг/мг (W=0,96; Me=0,014) (рис. 2 и 3).

Через 45 суток масса животных составляла 275,5±3,5 г (W=0,90; Me=276,5), что в 1,077±0,007 раз была больше (W=0,88; Me=1,080; R=0,926; t=3,13; p=0,026) 30-суточного показателя. Концентрация НК в миокарде ПЖС была в пределах 0,644±0,001 мкг/мг (W=0,96; Me=0,644) – в 1,023±0,009 раз больше (W=0,91; Me=1,021; R=0,900; t=2,85; p=0,036) 30-суточного показателя. В миокарде ЛЖС концентрация НК составляла 0,738±0,001 мкг/мг (W=0,92; Me=0,739), что в 1,009±0,003 раз больше (W=0,98; Me=1,008; R=0,974; t=2,67; p=0,045)

30-суточного показателя. В миокарде ЛЖС концентрация НК была в 1,147±0,001 (W=0,87; Me=1,147) раз больше, чем в миокарде ПЖС. В ПЖС концентрация НК была на 0,014±0,006 мкг/мг (W=0,91; Me=0,014) больше 30-суточного показателя, а в ЛЖС – на 0,007±0,002 мкг/мг (W=0,98; Me=0,006) (рис. 2 и 3).

Оказалось, что 45-суточный показатель концентрации НК в миокарде ПЖС был больше исходного показателя в 1,107±0,017 раз (W=1,0; Me=1,104; R=0,955; t=6,17; p=0,002), а миокарде ЛЖМ – в 1,123±0,040 раз (W=0,98; Me=1,123; R=0,954; t=3,43; p=0,019).

В процессе исследования статистически достоверно установлена прямо пропорциональная зависимость увеличения концентрации НК в миокарде желудочков сердца от возрастного увеличения массы крыс: на 15 сутки в ПЖС – R=0,902, t=2,75, p=0,040 и в ЛЖС – R=0,897, t=2,49, p=0,05; на 30 сутки в ПЖС – R=0,979, t=2,72, p=0,042 и в ЛЖС – R=0,893, t=3,359, p=0,020; на 45 сутки в ПЖС – R=0,800, t=4,74, p=0,005 и в ЛЖС – R=0,987, t=8,93, p<0,001.

У животных ОГ на 15 сутки от начала эксперимента масса тела колебалась в пределах 223,0±1,5 г (W=0,91; Me=223,5) и была в 1,032±0,003 раз больше (W=0,97; Me=1,033; R=0,956; t=2,8; p=0,038) исходного показателя. В КГ масса животных на 15 сутки была больше исходной в 1,101±0,007 раз. Масса животных ОГ на 15 сутки была меньше, чем у животных КГ, в 1,065±0,015 раз (W=1,0; Me=1,061; R=0,914; t=2,78; p=0,039).

Концентрация НК в миокарде ПЖС колебалась в пределах 0,636±0,009 мкг/мг (W=0,94; Me=0,638), что в 1,094±0,003 раз больше (W=0,92; Me=1,094; R=0,992; t=4,01; p=0,010) исходного показателя. В КГ после 15-суточного наблюдения концентрация НК в миокарде ПЖС была больше исходного показателя в 1,053±0,016 раз. В миокарде ПЖС животных ОГ концентрация НК была в 1,039±0,011 раз больше (W=0,98; Me=1,042; R=0,917; t=2,65; p=0,045), чем у животных КГ после 15 суточного наблюдения (рис. 2).

В миокарде ЛЖС после 15-суточного эксперимента концентрация НК была 0,731±0,003 мкг/мг (W=0,98; Me=0,730), что в 1,088±0,013 раз больше (W=0,99; Me=1,083; R=0,637; t=3,24; p=0,023) исходного показателя. В КГ после 15-суточного наблюдения концентрация НК в миокарде ЛЖС была больше исходного показателя в 1,086±0,034 раз. В миокарде ЛЖС животных ОГ концентрация НК была в 1,024±0,005 раз больше (W=0,97; Me=1,024; R=0,869; t=2,49; p=0,05), чем у животных КГ после 15-суточного наблюдения. В миокарде ЛЖС концентрация НК была в 1,149±0,016 (W=0,98; Me=1,141) раз больше, чем в миокарде ПЖС (рис. 2 и 3).

Концентрация НК в миокарде ПЖС была на 0,055±0,001 мкг/мг (W=0,96; Me=0,054) больше исходного показателя, а в ЛЖС – на 0,072±0,023 мкг/мг (W=0,98; Me=0,058). В сравнении с показателями животных КГ, концентрация НК в миокарде ПЖС и ЛЖС животных ОГ была больше на 0,024±0,009 мкг/мг (W=0,95; Me=0,026; R=0,890; t=2,65; p=0,045) и на 0,017±0,005 мкг/мг (W=0,93; Me=0,017; R=0,785; t=2,74; p=0,041) соответственно. (рис. 2 и 3)

У животных ОГ после 30-суточного эксперимента масса тела была в пределах 255,8±1,75 г (W=0,90; Me=256,0) и была в 1,105±0,004 раз (W=0,90; Me=1,106; R=0,943; t=8,06; p<0,001) больше 15-суточного показателя. В КГ масса животных на 30 сутки была больше 15-суточного показателя в 1,077±0,015 раз. Масса животных ОГ на 30 сутки была меньше, чем у животных КГ в 1,028±0,003 раз (W=1,0; Me=1,039; R=0,991; t=3,03; p=0,029).

Концентрация НК в миокарде ПЖС колебалась в пределах 0,662±0,002 мкг/мг (W=1,0; Me=0,663), что в 1,040±0,004 раз больше (W=0,83; Me=1,042; R=0,975; t=2,82; p=0,037) 15-суточного показателя. В КГ после 30-суточного наблюдения концентрация НК в миокарде ПЖС была больше 15-суточного показателя в 1,028±0,010 раз. В миокарде ПЖС животных ОГ концентрация НК была в 1,051±0,008 раз больше (W=0,95; Me=1,051; R=0,930; t=5,94; p=0,002), чем у животных КГ после 30-суточного наблюдения (рис. 2).

В миокарде ЛЖС после 30-суточного эксперимента концентрация НК была 0,743±0,003 мкг/мг (W=0,99; Me=0,741), что

в 1,016±0,002 раз больше (W=0,79; Me= 1,017; R=0,892; t=2,83; p=0,037) 15-суточного показателя. В КГ после 30-суточного наблюдения концентрация НК в миокарде ЛЖС была больше 15-суточного показателя в 1,024±0,005 раз. В миокарде ЛЖС животных ОГ концентрация НК была в 1,015±0,004 раз больше (W=0,90; Me=1,015; R=0,756; t=2,59; p=0,049), чем у животных КГ после 30-суточного наблюдения. В миокарде ЛЖС концентрация НК была в 1,122±0,012 (W=0,97; Me=1,119) раза больше, чем в миокарде ПЖС (рис. 2 и 3).

Концентрация НК в ПЖС была на 0,025±0,002 мкг/мг (W=0,85; Me=0,026) больше 15-суточного показателя, а в ЛЖС – на 0,012±0,002 мкг/мг (W=0,78; Me=0,013). В сравнении с показателями животных КГ концентрация НК в миокарде ПЖС и ЛЖС животных ОГ была больше на 0,032±0,005 мкг/мг (W=0,95; Me=0,032; R=0,930; t=5,94; p=0,002) и на 0,011±0,003 мкг/мг (W=0,91; Me=0,010; R=0,756; t=2,59; p=0,049) соответственно (рис. 2 и 3).

После 45-суточного эксперимента у животных ОГ масса тела колебалась в пределах 264,0±3,0 г (W=0,98; Me=263,0) и была в 1,071±0,005 раз (W=0,98; Me=1,070; R=0,869; t=4,48; p=0,007) больше 30-суточного показателя. В КГ масса животных на 45 сутки была больше 30-суточного показателя в 1,077±0,007 раз. Масса животных ОГ на 45 сутки была меньше, чем у животных КГ в 1,044±0,008 раз (W=0,88; Me=1,043; R=0,891; t=2,49; p=0,05).

Концентрация НК в миокарде ПЖС составляла 0,669±0,002 мкг/мг (W=1,0; Me= 0,668), что в 1,010±0,005 раз больше (W= 0,95; Me=1,009; R=0,968; t=2,47; p=0,05) 30-суточного показателя. В КГ после 45-суточного наблюдения концентрация НК в миокарде ПЖС была больше 30-суточного показателя в 1,023±0,0,09 раза. В миокарде ПЖС животных ОГ концентрация НК была в 1,038±0,013 раз больше (W=0,91; Me= 1,038; R=0,946; t=11,18; p<0,001), чем у животных КГ после 45 суточного наблюдения (рис. 2).

После 45 суток в миокарде ЛЖС животных ОГ концентрация НК была 0,759±0,004 мкг/мг (W=0,94; Me=0,758), что в 1,021±0,002 раз больше (W=0,97; Me=1,021; R=0,954; t=3,2; p=0,024) 30-суточного показателя. В КГ после 45-суточного наблюдения концентрация НК в миокарде ЛЖС была больше 30-суточного показателя в 1,009±0,003 раз. В миокарде ЛЖС животных ОГ концентрация НК была в 1,027±0,003 раз больше (W=0,95; Me= 1,026; R=0,946; t=5,09; p=0,003), чем у животных КГ после 45 суточного наблюдения. В миокарде ЛЖС концентрация НК была в 1,135±0,011 (W=0,91; Me=1,135) раз больше, чем в миокарде ПЖС (рис. 2 и 3).

Концентрация НК в ПЖС была на 0,007±0,003 мкг/мг (W=0,95; Me=0,006) больше 30-суточного показателя, а в ЛЖС – на 0,016±0,001 мкг/мг (W=0,97; Me=0,016). В сравнении с показателями животных КГ концентрация НК в миокарде ПЖС и ЛЖС животных ОГ была больше на 0,025±0,008 мкг/мг (W=0,91; Me=0,025; R=0,946; t= 11,18; p<0,001) и на 0,020±0,002 мкг/мг (W=0,95; Me=0,020; R=0,946; t=5,09; p= 0,003) соответственно (рис. 2 и 3).

У животных ОГ после 45-суточного эксперимента концентрация НК в миокарде ПЖС была больше исходного показателя в 1,149±0,009 раз (W=0,96; Me=1,146) (в КГ – в 1,107±0,017 раз), а в миокарде ЛЖС – в 1,129±0,038 раз (W=0,98; Me=1,105) (в КГ – в 1,123±0,040 раза).

У животных ОГ во все сроки наблюдения увеличение концентрации НК в миокарде желудочков сердца имело прямо пропорциональную зависимость от возрастного увеличения массы крыс: 15 сутки в ПЖС – R=0,894, t=14,61, p<0,001 и в ЛЖС – R= 0,868, t=4,2, p=0,009; на 30 сутки в ПЖС – R=0,934, t=11,49, p<0,001 и в ЛЖС – R= 0,893, t=19,9, p<0,001; на 45 сутки в ПЖС – R=0,947, t=8,63, p<0,001 и в ЛЖС – R=0,954, t=9,28, p<0,001.

**Заключение**. Концентрация НК в миокарде желудочков сердца животных КГ увеличивалась прямо пропорционально возрастному увеличению массы тела животных. Во всех случаях концентрация НК в миокарде ЛЖС была больше, чем в миокарде ПЖС. У животных ОГ в фиксированные временные промежутки (15, 30 и 45 суток от начала эксперимента) масса тела оказалась меньше, чем у животных КГ.

По-видимому, уменьшение массы тела животных в процессе гипоксической тренировки связано с изменением липидного обмена и окислительно-восстановительными посттрансляционными изменениями [15, 16]. Однако, не смотря на имеющуюся возрастную разницу в массе животных КГ и ОГ, во всех случаях концентрация НК в миокарде ПЖС и ЛЖС была больше, чем у животных КГ. Определение истинного превышения концентрации НК в желудочках сердца животных ОГ после вычисления возрастных показателей выявило, что в большей степени увеличение концентрации НК, связанного с гипоксической тренировкой, установлена в ПЖС. Увеличение сорбционной способности в миокарде ПЖС может быть вызвано гипертрофией миокарда и увеличением числа функционирующих капилляров [17, 18], а уменьшение сорбционной способности в миокарде ЛЖС – изменением функциональной активности ЛЖС с нарушением сократимости и процессов энергообразования с повреждением клеточных структур миокарда [19]. Кроме этого, увеличение концентрации НК в желудочках сердца животных ОГ в сравнении с показателями, определенными у животных КГ, может быть связано с замедлением элиминации НК [12] из миокарда. Решение этих вопросов требует целенаправленного изучения сорбционной способности миокарда желудочков сердца в сравнении с данными окислительно-восстановительного состояния, а также гемодинамических и морфофункциональных исследований сердца.

**Конфликт интересов.** Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность научному отделу, виварию и гистологической лаборатории ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России за активное содействие исследованию.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgements.** The authors express their gratitude to the Scientific department, vivarium and histology laboratory of the Ryazan State Medical University for actively contributing to the study.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Глазачев, О. Образовательный курс «гипоксическая тренировка / О. Глазачев, И. Зеленкова // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2017. – Т. 16. – № 2. – С. 107-111. DOI: 10.18821/1681-3456-2017-16-2-107-111.

2. Intermittent hypoxic conditioning alleviates post-traumatic stress disorder-induced damage and dysfunction of rat visceral organs and brain / E.B. Manukhina, V.E. Tseilikman [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2020. – Vol. 21. – P. 345. DOI: 10.3390/ijms21010345.

3. Intermittent Hypoxic Training as an Effective Tool for Increasing the Adaptive Potential, Endurance and Working Capacity of the Brain / E.A. Rybnikova, N.N. Nalivaeva, M.Y. Zenko, K.A. Baranova // Front. Neurosci. – 2022. – Vol. 16. – P. 941740. DOI: 10.3389/fnins.2022.941740.

4. Серебровская, Т.В. Опыт использования интервальной гипоксии для предупреждения и лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы. Обзор / Т.В. Серебровская, В.Б. Шатило // Современный взгляд на проблему. – 2014. – Т. 2. – № 1 – С. 16-33.

5. Гнездилова, О.В. Сердечно-сосудистые реакции на гиперкапнически-гипоксическую тренировку у лиц с разным типом гемодинамики / О.В. Гнездилова, И.О. Халявкина // Журнал фундаментальной медицины и биологии. – 2017. – № 4. – С. 44.

6. Mourot, L. Limitation of Maximal Heart Rate in Hypoxia: Mechanisms and Clinical Importance / L. Mourot // Front. Physiol. – 2018. – Vol. 9. – P. 972. DOI: 10.3389/fphys.2018.00972.

7. Effects of Interval Training Under Hypoxia on Hematological Parameters, Hemodynamic Function, and Endurance Exercise Performance in Amateur Female Runners in Korea / H-Y. Park, W-S. Jung, S-W. Kim [et al.] // Front. Physiol. – 2022. – Vol. 13:919008. DOI: 10.3389/fphys.2022.919008.

8. Effects of interval training under hypoxia on the autonomic nervous system and arterial and hemorheological function in healthy women / H.Y. Park, W.S. Jung, S.W. Kim, K. Lim // Int. J. Womens Health. – 2022. – Vol. 14. – P. 79-90. DOI: 10.2147/IJWH.S344233.

9. Бочаров, М.И. Кардиографические изменения при острой гипоксии после интервальных гипоксических тренировок человека / М.И. Бочаров, А.С. Шилов // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 131-142. DOI: 10.34014/2227-1848-2023-3-131-142.

10. Лабораторные крысы: содержание, разведение и биоэтические аспекты использования в

экспериментах по физиологии поведения / В.И. Беляков, Е.М. Инюшкина [и др.]. – Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2021. – 92 с.
11. Соотношение возрастов основных лабораторных животных (мышей, крыс, хомячков и собак) и человека: актуальность для проблемы возрастной радиочувствительности и анализ опубликованных данных / А.Н. Котеров, Л.Н. Ушенкова, Э.С. Зубенкова [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2018. – Т. 63. – № 1. – С. 5-27. DOI: 10.12737/article_5a82e4a3908213.56647014.
12. Виноградов, А.А. Влияние хронического предаторного стресса на сорбцию тонкой кишки и печени / А.А. Виноградов, И.В. Андреева, Л.О. Воронкова // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_5.
13. Звягина, Ю.А. Способ моделирования нормобарической хронической гипоксии у крыс самцов сток WISTAR / Ю.А. Звягина, В.И. Марсянова, О.Н. Сучкова // Наука молодых (Eruditio Juvenium). – 2022. – Т. 10. – № 2. – С. 147-156. DOI: 10.23888/HMJ2022102147-156.
14. Патент РФ № 178743 Российская Федерация, МПК A63B 23/8 (2006.01). Устройство для моделирования гипоксии у мелких лабораторных животных: №2017141221U: заявл. 2017-11-27: опубл. 2018.04.18 / Виноградов А.А., Андреева И.В., Павлов А.В., Симакова Е.С., Сучков Д.И.; Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (RU). – Бюллетень № 11.
15. Effects training in hypoxia on cardiometabolic parameters in obese people: a systematic review of randomized controlled trial / A. Camacho-Cardenosa, M. Camacho-Cardenosa, D. Brooks [et al.] // Primaria. – 2019. – Vol. 51. – P. 397-405. DOI: 10.1016/j.aprim.2018.03.011.
16. Intermittent hypoxia modulates redox homeostasis, lipid metabolism associated inflammatory processes and redox post-translational modifycations: benefits at high altitude / A. Gangwar, S. Paul, Y. Ahmad, K. Bhargava // Sci. Rep. – 2020. – No. 10. – P. 7899. DOI: 10.1038/s41598-020-64848-x.
17. Механизмы компенсации и адаптации к гипоксии / Г.Е. Брилль, Н.П. Чеснокова, Е.В. Понукалина [и др.] // Научное обозрение. Медицинские науки. – 2017. – № 2 – С. 55-57.
18. Приходько, В.А. Молекулярные механизмы развития гипоксии и адаптации к ней. Часть I / В.А. Приходько, Н.О. Селизарова, С.В. Оковитый // Архив патологии. – 2021. – Т. 83. – № 2. – С. 52-61. DOI: 10.17116/patol20218302152.
19. Третьякова, О.С. Биоэнергетика миокарда в условиях гипоксии: возрастные аспекты / О.С. Третьякова, И.В. Заднипряный // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). – 2020. – Т. 4. – № 1. – С. 52-62. DOI: 10.17116/operhirurg2020401152.

**REFERENCES**

1. Glazachev O., Zelenkova I. Educational course "hypoxic training". *Journal of the physical therapy, balneotherapy*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 107-111. DOI: 10.18821/1681-3456-2017-16-2-107-111. (in Russ.)
2. Manukhina E.B., Tseilikman V.E. et al. Intermittent hypoxic conditioning alleviates post-traumatic stress disorder-induced damage and dysfunction of rat visceral organs and brain. *Int. J. Mol. Sci*., 2020, vol. 21, p. 345. DOI: 10.3390/ijms21010345.
3. Rybnikova E.A., Nalivaeva N.N., Zenko M.Y., Baranova K.A. Intermittent Hypoxic Training as an Effective Tool for Increasing the Adaptive Potential, Endurance and Working Capacity of the Brain. *Front. Neurosci*, 2022, vol. 16, p. 941740. DOI: 10.3389/fnins.2022.941740.
4. Serebrovskaya T.V., Shatilo V.B. Experience of using interval hypoxia for the prevention and treatment of diseases of the cardiovascular system. Review. *Modern view on the problem*, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 16-33. (in Russ.)
5. Gnezdilova O.V., Khalyavkina I.O. Cardiovascular reactions to hypercapnic-hypoxic training in persons with different types of hemodynamics. *Journal of Fundamental Medicine and Biology*, 2017, no. 4, p. 44.
6. Mourot L. Limitation of Maximal Heart Rate in Hypoxia: Mechanisms and Clinical Importance. *Front. Physiol*, 2018, no. 9, p. 972. DOI: 10.3389/fphys.2018.00972.
7. Park H-Y., Jung W-S., Kim S-W., Kim J. Lim K. Effects of Interval Training Under Hypoxia on Hematological Parameters, Hemodynamic Function, and Endurance Exercise Performance in Amateur Female Runners in Korea. Front.Physiol, 2022, vol. 13, p. 919008. DOI: 10.3389/fphys.2022.919008.
8. Park H.Y., Jung W.S., Kim S.W., Lim K. Effects of interval training under hypoxia on the autonomic nervous system and arterial and hemorheological function in healthy women. Int. J. Womens Health, 2022, no. 14, pp. 79-90. DOI: 10.2147/IJWH.S344233.
9. Bocharov M.I., Shilov A.S. Cardiographic changes in acute hypoxia after intermittent hypoxic training in humans. Ul'yanovskiy mediko-biologicheskiy zhurnal, 2023, no. 3, pp. 131-142. DOI: 10.34014/2227-1848-2023-3-131-142. (in Russ.)
10. Belyakov V.I., Inyushkina E.M., Gromova D.S., Inyushkin A.N. Laboratory rats: maintenance, breeding and bioethical aspects of use in experiments on

the physiology of behavior. *Samara*: *Publishing House of Samara University*, 2021, 92 p. (in Russ.)
11. Koterov A.N., Ushenkova L.N., Zubenkova E.S. The age ratio of the main laboratory animals (mice, rats, hamsters and dogs) and humans: relevance to the problem of age-related radiosensitivity and analysis of published data. *Medical Radiology and radiation safety*, 2018, vol.63, no.1, pp.5-27. DOI: 10.12737/article5a82e4a3908213.56647014.(in Russ.)
12. Vinogradov A.A., Andreeva I.V., Voronkova L.O. The effect of chronic predator stress on the sorption of the small intestine and liver. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_5. (in Russ).
13. Marsyanova Yu.A. Zvyagina V.I. Suchkova O.N. A method for modeling normobaric chronic hypoxia in male WISTAR stock rats. Eruditio Juvenium, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 147-156. DOI: 10.23888/HMJ2022102147-156. (in Russ.)
14. Patent of the Russian Federation No. 178743 Russian Federation, IPC A63B 23/8 (2006.01). Device for modeling hypoxia in small laboratory animals : No.2017141221U : application 2017-11-27 : publ. 2018.04.18 / Vinogradov A.A., Andreeva I.V., Pavlov A.V., Simakova E.S., Suchkov D.I.; Patent holder: Federal State Budgetary Educational Institution Institution of Higher Education "Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov" of the Ministry ofHealth of the Russian Federation (RU). Bulletin No. 11.
15. Camacho-Cardenosa A., Camacho-Cardenosa M., Brooks D. et al. Effects training in hypoxia on cardiometabolic parameters in obese people: a systematic review of randomized controlled trial. *Primaria*, 2019, vol. 51, pp. 397-405. DOI: 10.1016/j.aprim.2018.03.011.
16. Gangwar A., Paul S., Ahmad Y., Bhargava K. Intermittent hypoxia modulates redox homeostasis, lipid metabolism associated inflammatory processses and redox post-translational modifications: benefits at high altitude. *Sci. Rep.*, 2020, no. 10, p. 7899. DOI: 10.1038/s41598-020-64848-x.
17. Brill G.E., Chesnokova N.P., Ponukalina E.V., Polutova N.V., Bizenkova M.N. Mechanisms of compensation and adaptation to hypoxia. *Scientific review. Medical sciences*, 2017, no. 2, pp. 55-57.
18. Prikhodko V.A., Selizarova N.O., Okovity S.V. Molecular mechanisms of hypoxia development and adaptation to it. Part I. *Archive of pathology*, 2021, vol. 83, no. 2, pp. 52-61. DOI: 10.17116/patol20218302152. (in Russ.)
19. Tretyakova O.S., Zadnipryanyi I.V. Myocarde bioenergy under hypoxia: age-related aspects. *Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy*, 2020, vol. 4, no. 1, pp. 52-62. DOI: 10.17116/operhirurg2020401152. (in Russ.)

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Александр Анатольевич Виноградов** – доктор медицинских наук, профессор кафедры анатомии ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, Рязань, e-mail: alexanvin@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0441-7121.
**Ирина Владимировна Андреева** – доктор медицинских наук, профессор кафедры клинической ультразвуковой и функциональной диагностики ФУВ ГБУЗ МО «МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского», Москва, e-mail: prof.andreeva.irina.2012@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6946-3036.
**Павел Игоревич Самотаев** – преподаватель кафедры физического воспитания, лечебной физкультуре и спортивной медицины ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, Рязань, e-mail: pavel.samotayev@bk.ru, ORCID: 0009-0004-7623-3676.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Aleksandr A. Vinogradov** – Doctor of Medical Sciences Professor, Professor of the Department of Anatomy of Ryazan State Medical University, Ryazan, e-mail: alexanvin@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0441-7121.
**Irina V. Andreeva** – Doctor of Medical Sciences Professor, Professor of the Department of Clinical Ultrasound and Functional Diagnostics of the Moscow Regional Research and Clinical Institute ("MONIKI"), Moscow, e-mail: prof.andreeva.irina.2012@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6946-3036.
**Pavel I. Samotaev** – Lecturer of the Department of Physical Education, Physical Therapy and Sports Medicine of the Ryazan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ryazan, e-mail: pavel.samotayev@bk.ru, ORCID: 0009-0004-7623-3676.

**Для цитирования:** Виноградов, А.А. Влияние гипоксической тренировки на сорбционную и элиминационную способности миокарда желудочков сердца лабораторной крысы / А.А. Виноградов, И.В. Андреева, П.И. Самотаев // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_6

**For citation:** Vinogradov A.A., Andreeva I.V., Samotaev P.I. The effect of hypoxic training on the sorption capacity of the heart ventriculus myocardium of the laboratory rat. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_6