

<https://doi.org/10.34883/PI.2024.12.1.010>



Самойлова Ю.Г., Матвеева М.В., Пономарева Д.В., Королевский Д.А. ✉, Захарчук П.И.
Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

Велоэргометрия как метод оценки адаптационного резерва и функциональных показателей у детей и подростков с избыточной массой тела и ожирением: обзор литературы

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования – Самойлова Ю.Г., Матвеева М.В., Пономарева Д.В.; обзор литературы, написание текста – Королевский Д.А., Захарчук П.И., Матвеева М.В.; редактирование – Королевский Д.А., Захарчук П.И., Матвеева М.В.

Для цитирования: Самойлова Ю.Г., Матвеева М.В., Пономарева Д.В., Королевский Д.А., Захарчук П.И. Велоэргометрия как метод оценки адаптационного резерва и функциональных показателей у детей и подростков с избыточной массой тела и ожирением: обзор литературы. *Педиатрия Восточная Европа*. 2024;12(1):103–111. <https://doi.org/10.34883/PI.2024.12.1.010>

Подана: 27.07.2023

Принята: 04.03.2024

Контакты: korolevskii-danil@mail.ru

Резюме

Ожирение в настоящее время соответствует масштабам эпидемии и представляет собой одну из наиболее сложных и важнейших медико-социальных проблем. И ключевыми факторами распространения ожирения являются изменение системы питания и снижение физической активности. Кроме того, на фоне ожирения часто развиваются заболевания сердечно-сосудистой системы. Их выявление представляет определенные трудности, поскольку в покое у пациентов с ожирением и избыточной массой тела показатели сердечно-сосудистой системы, такие как артериальное давление, частота сердечных сокращений, данные электрокардиографии, могут быть без патологических признаков. Однако при минимальных физических и эмоциональных нагрузках возможно определение нарушений данных показателей. Для более точного и раннего выявления таких изменений необходимо развивать и дополнять подходы к диагностике данных показателей, а также внедрять достоверные методы анализа и оценки. Одним из таких подходов может являться дозированная физическая нагрузка, которая позволяет провести оценку функционального резерва сердечно-сосудистой системы, выносливости и работоспособности у детей и подростков с ожирением. Методом такой оценки может служить велоэргометрия, как метод, позволяющий определить уровень аэробной выносливости, физическую работоспособность, а также потребление кислорода при нагрузке на организм.

Анализ литературных источников в зарубежных библиографических и реферативных базах (PubMed, ScienceDirect, Thieme Medical Publishers) проведенных исследований за 2012–2023 гг. подтверждает то, что с увеличением массы тела снижался показатель объема выполненной работы и максимальной нагрузки, уменьшалось потребление кислорода тканями, возрастало нерациональное расходование резервов миокарда и индекс энергетических затрат и, соответственно, снижалась физическая работоспособность. Было также установлено, что аэробная выносливость у детей с

ожирением хуже, чем у здоровых сверстников. У лиц с ожирением максимальное потребление кислорода (VO_{2max}) является низким, когда соотносится с фактической массой тела, однако у детей необходимо учитывать влияние роста как на висцеральный жир, так и на способность к выполнению физической нагрузки. Также имеются данные, подтверждающие, что пациенты с ожирением имели достоверно более высокие значения систолического артериального давления по сравнению с детьми с нормальной массой тела. Но всё же авторы исследований в своих заключениях ссылаются на недостаточность объема данных и невозможность достоверного применения полученных результатов к большему объему детской и подростковой популяции.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют об актуальности оценки и диагностики адаптационных резервов и функциональных показателей физической работоспособности у детей и подростков с избыточной массой тела и ожирением, поскольку были приведены объективные показатели, демонстрирующие изменения сердечно-сосудистой и респираторной систем, которые могут служить предикторами развития кардиоваскулярной патологии.

Ключевые слова: ожирение, велоэргометрия, сердечно-сосудистые заболевания, аэробная выносливость, физическая работоспособность

Samoilova Y., Matveeva M., Ponomareva D., Korolevskiy D. ✉, Zakharchuk P.
Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

Bicycle Ergometry as a Method of Assessing the Adaptive Reserve and Functional Indicators in Overweight and Obese Children and Adolescents: A Literature Review

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: study concept and design – Samoilova Y., Matveeva M., Ponomareva D.; literature review, text writing – Korolevskiy D., Zakharchuk P., Matveeva M.; editing – Korolevskiy D., Zakharchuk P., Matveeva M.

For citation: Samoilova Y., Matveeva M., Ponomareva D., Korolevskiy D., Zakharchuk P. Bicycle Ergometry as a Method of Assessing the Adaptive Reserve and Functional Indicators in Overweight and Obese Children and Adolescents: A Literature Review. *Pediatrics Eastern Europe*. 2024;12(1):103–111 (in Russian). <https://doi.org/10.34883/PI.2024.12.1.010>

Submitted: 27.07.2023

Accepted: 04.03.2024

Contacts: korolevskii-danil@mail.ru

Abstract

Obesity is a widespread problem that affects all age categories in a large volume. And the key factors in the spread of obesity are changes in nutrition systems and a decrease in physical activity. In addition, against the background of obesity, cardiovascular system pathologies often occur. Their detection presents certain difficulties, since cardiovascular parameters such as blood pressure, heart rate, and electrocardiography data in obese and overweight patients at rest may not present pathologic signs. However, with minimal physical and emotional stress, violations of these indicators can be revealed. For more

accurate and early detection of such deviations, diagnostic should be improved, as well as reliable diagnostic methods should be implemented. One of such approaches may be metered physical activity, allowing assessing the functional reserve of the cardiovascular system, endurance and performance in obese children and adolescents. Bicycle ergometry can serve as a method of such assessment, as a functional test that allows you to determine the level of aerobic endurance, physical performance, as well as oxygen consumption under body load.

The literature sources found in foreign bibliographic and abstract databases (PubMed, ScienceDirect, Thieme Medical Publishers) of studies conducted in 2012–2023 confirm that with an increase in body weight, the indicator of work performed and maximum load decreased, oxygen consumption by tissues decreased, irrational expenditure of myocardial reserves and energy expenditure index increased, and, accordingly, physical performance decreased. It was also found that aerobic ability of obese children was worse than that of both children with normal body weight and overweight children. And that in obese individuals VO_{2max} is low when correlated with actual body weight, but in but in children, the effect of growth on both visceral fat and exercise performance must be taken into consideration. There is also evidence that obese children had significantly higher systolic blood pressure values compared to children with normal body weight. Nevertheless, the authors of these studies in their conclusions refer to the insufficient amount of data and the impossibility of reliably applying the results obtained to a larger child and adolescent population.

Thus, the data obtained indicate the relevance of assessing and diagnosing adaptive reserves and functional indicators of physical performance in overweight and obese children and adolescents, since objective indicators were given demonstrating changes in the cardiovascular and respiratory systems that could serve predictors of cardiovascular pathologies occurrence.

Keywords: obesity, bicycle ergometry, cardiovascular diseases, aerobic endurance, physical performance

■ ВВЕДЕНИЕ

Ожирение в настоящее время соответствует масштабам эпидемии и является важнейшей медико-социальной проблемой. По данным Всемирной организации здравоохранения, распространенность избыточной массы тела и ожирения во всем мире среди детей и подростков в возрасте 5–19 лет с 1975 по 2016 г. резко возросла – с 4% до 18%. Так, в последние годы получены данные о распространенности ожирения у детей и подростков в разных регионах Российской Федерации со значительными колебаниями показателей – от 2,3% до 14,5% [2, 3]. Признано, что ключевыми факторами этой эпидемии являются условия, способствующие ожирению, которые включают изменение системы питания и снижение физической активности. Также установлено, что в покое сердечно-сосудистая система у таких пациентов может находиться в состоянии компенсации без признаков ее нарушений, однако минимальные физические и эмоциональные нагрузки приводят к дисбалансу. В связи с этим возникает необходимость использования дозированной физической нагрузки, которая позволяет провести оценку функционального резерва сердечно-сосудистой

системы, выносливости и работоспособности у детей и подростков с ожирением [9]. Одним из методов такой оценки является велоэргометрия, которая позволяет определить уровень аэробной выносливости, физическую работоспособность, а также потребление кислорода при нагрузке на организм.

■ ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ВЕЛОЭРГОМЕТРИИ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

Нагрузочное тестирование у детей и подростков чаще всего проводится с целью оценки физической работоспособности, известных или вероятных нагрузочно-индуцируемых аритмий, а также для оценки симптомов, обусловленных физической нагрузкой.

Используемое для тестирования оборудование должно быть рассчитано на детей соответствующего роста.

Протокол исследования должен быть адаптирован у детей с расчетом дозирования нагрузки, учитывающей массу тела и рост обследуемых. Интерпретация результатов должна проводиться с учетом нормативов, учитывающих использованный протокол нагрузки, пол, возраст и антропометрические данные ребенка.

При анализе результатов необходимо обращать внимание на то, что нагрузка для детей должна быть достаточно интенсивной, но не длительной.

Дети в меньшей степени, чем взрослые, приспособлены к выполнению максимальных нагрузок, и для достижения максимальных усилий их необходимо поддерживать морально, иначе трудно отличить истинное ограничение физической работоспособности от простого нежелания выполнять нагрузку из-за отсутствия взаимопонимания между врачом и ребенком. По этой причине в большинстве лабораторий для оценки физической работоспособности детей нагрузочное тестирование проводится с использованием анализа газового состава для измерения максимального потребления кислорода (МПК) и анаэробного порога.

Также благодаря работе Rollo S. (2021), целью которой было определение показателей кардиореспираторной пригодности, связанных со здоровьем, в соответствии с критериями среди детей и подростков в возрасте 5–17 лет, установили, что максимальные тесты на велоэргометре определяют умеренную способность различать кардиометаболический риск и низкую способность различать ранний субклинический атеросклероз у детей и подростков в возрасте от 5 до 17 лет [10]. Для дальнейшего формирования и разработки универсальных пороговых значений существует необходимость в дополнительных исследованиях с использованием стандартизированных протоколов тестирования и определений риска для здоровья, где рассматриваются пороговые значения для кардиореспираторной пригодности, привязанные к критериям здоровья, в зависимости от возраста, пола и других параметров.

■ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЕЛОЭРГОМЕТРИИ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ С ИЗБЫТОЧНОЙ МАССОЙ ТЕЛА И ОЖИРЕНИЕМ

В результате исследования Grzyb et al. (2021) было осуществлено сравнение аэробной способности у детей и подростков с высоким индексом массы тела (ИМТ) с контрольной группой с нормальным весом по методу тестирования физической нагрузкой [7]. В вышепредставленной работе дети и подростки с ожирением показали

сходные абсолютные значения VO_{2max} в литрах в минуту (1,64 л/мин) по сравнению с детьми с избыточным весом (1,48 л/мин), но значительно выше, чем у детей с нормальной массой тела (1,39 л/мин). У детей и подростков с ожирением наблюдался более низкий уровень VO_{2max} по отношению к массе тела (25,44 мл/кг/мин) по сравнению с их сверстниками с нормальной массой тела (36,5 мл/кг/мин) и детьми с избыточным весом (29,18 мл/кг/мин). Полученные результаты подтверждают то, что аэробная способность детей с ожирением хуже, чем у детей не только с нормальной массой тела, но и у детей с избыточным весом. Однако авторы данного исследования заявляют, что необходимо проводить дальнейшие определения стандартов VO_{2max} в зависимости от пола и антропометрии для улучшения интерпретации тестов физической нагрузки для детей и подростков с ожирением. Также Na Zhou и соавт. (2021) проводили оценку способности к аэробным нагрузкам при ожирении и установили высокую обратную взаимосвязь между VO_{2max} и массой тела детей [8]. Это говорит о том, что лица с большой массой тела имеют низкий VO_{2max} . Однако в рамках работы подчеркивается, что эта взаимосвязь не учитывает композиционный состав тела, следовательно, низкие значения VO_{2max} могут наблюдаться у пациентов с высокой общей массой тела как за счет мышечной, так и за счет жировой ткани.

Dobrowolska et al. (2022) определяли связь между индивидуальными параметрами сердечно-легочной способности, полученными в ходе сердечно-легочного тестирования с физической нагрузкой, и отдельными параметрами состава массы тела у детей с высоким ИМТ [19]. В результате наблюдалась значительная корреляция между безжировой массой и уровнем сердечно-легочной емкости с точки зрения пиковой выходной мощности (Вт), минутного объема вентиляции (МОВ) и частоты дыхания (ЧД). Чем выше все параметры емкости, включая сердечно-легочную емкость, тем выше доля тощей массы тела. Имелась соответствующая корреляция между абсолютной аэробной способностью и относительной аэробной способностью и безжировой массой. Обратные корреляции показали, что чем выше площадь висцерального жира, тем ниже кислородная емкость на 1 кг. На основании проведенных тестов и полученных результатов авторы сделали следующие выводы: в случае детей с более высоким ИМТ существует сильная корреляция между количеством тощей массы в общей массе тела и сердечно-легочной способностью, выраженной в VO_{2max} , и пиковым количеством поглощения кислорода на 1 кг массы тела (VO_{2max}/kg).

Во время проведения физических упражнений при нехватке кислорода происходит анаэробное субстратное окисление. В работе Delaney et al. (2021) изучали окисление субстрата у детей препубертатного и раннего пубертатного возраста в зависимости от массы тела, состава тела и пола во время истощающего велосипедного теста и установили, что у детей с ожирением тощая масса положительно коррелировала ($p < 0,01$) с субмаксимальным окислением липидов ($r = 0,50$). И напротив, у детей с нормальным весом и избыточным весом масса тела без висцерального ожирения положительно коррелировала ($p < 0,01$) с окислением углеводов ($r = 0,52$ и $r = 0,47$ соответственно) [11]. В итоге работы было отмечено, что наличие ожирения в детском возрасте может служить маркером изменения окисления субстрата во время физических нагрузок. Эти результаты могут иметь значение при реализации программ упражнений в препубертатном возрасте или раннем пубертате для контроля ожирения.

По результатам исследования, проведенного Я.В. Гирш и др. (2014) с целью оптимизации диагностики функционального состояния и оценки резерва сердечно-сосудистой системы у детей и подростков с ожирением, установлено, что наличие избыточной массы тела и ожирения достоверно повышает артериальное давление (АД) и снижает физическую работоспособность [1]. Были проведены и другие исследования, результаты которых подтверждают изменения АД у детей с ожирением [4]. По результатам проведенных работ дети с ожирением имели достоверно ($p < 0,05$) более высокие значения систолического артериального давления по сравнению с детьми с нормальной массой тела, тогда как частота сердечных сокращений (ЧСС) была значительно выше ($p < 0,05$) в исследуемой группе.

В ходе диагностики сердечно-сосудистых нарушений у детей и подростков с ожирением (Гирш и др., 2012) проводилась велоэргометрия и определяли следующие параметры: хронотропный резерв сердца (ХРС), индекс хронотропного резерва (ИРС), индекс энергетических затрат (ИЭЗ), МПК, максимальная нагрузка и объем выполненной работы [6]. При расчете большинства параметров данного исследования на фоне проведения дозированной физической нагрузки выявлена четкая закономерность: чем выше масса тела, тем ниже показатели. С увеличением массы тела уменьшался показатель объема выполненной работы и максимальной нагрузки, уменьшалось потребление кислорода тканями, возрастала нерациональность расходование резервов миокарда и индекс энергетических затрат и, соответственно, снижалась физическая работоспособность.

Установлено, что у взрослых пациентов с ожирением могут проявляться нарушения хронотропных реакций сердца во время сердечно-легочных нагрузочных тестов, что связано с плохим кардиометаболическим состоянием и повышенным риском неблагоприятных сердечно-сосудистых событий. Неизвестно, присутствует ли уже сердечная хронотропная недостаточность (ХН) при максимальной физической нагрузке у подростков с ожирением, и если да, то как это связано с кардиометаболическим здоровьем. Franssen et al. (2023) представили данные исследования распространенности ХН у детей и подростков с ожирением и ее связи с системным воспалением и непереносимостью физических нагрузок, в ходе которого было выявлено, что ХН была распространена у 32 из 69 подростков с ожирением (46%) и у 3 из 29 худых подростков (10%) [12]. Уровень С-реактивного белка был значительно выше у подростков с ожирением с ХН по сравнению с подростками с ожирением без ХН ($p = 0,012$). Кроме того, пиковое потребление кислорода и пиковая выходная мощность в ходе процедуры были значительно снижены ($p < 0,05$) у подростков с ожирением с ХН по сравнению с подростками с ожирением без ХН. Хронотропный индекс был независимо связан с общим холестерином в крови (стандартизированный коэффициент $\beta = -0,332$; $p = 0,012$) и концентрацией С-реактивного белка (стандартизированный коэффициент $\beta = -0,269$; $p = 0,039$).

Еще одним подтверждением снижения физической работоспособности у детей и подростков с ожирением является исследование 2021 года (Tsiros et al.) в виде прикладного клинического обзора [13]. В рамках данного обзора было выявлено, что дети с ожирением стабильно демонстрируют более низкие показатели $\dot{V}O_{2\max}$ или кардиореспираторной подготовленности. Избыточный вес увеличивает относительные требования к любому виду физических упражнений (бег, ходьба, езда на велосипеде или степинг). По сравнению со здоровыми людьми, имеющими нормальный

вес, при определенно заданной интенсивности упражнений дети с ожирением расходуют больше энергии, дышат с большей частотой, испытывают более высокую частоту сердечных сокращений, достигают более низкой пиковой частоты сердечных сокращений и сообщают о более высоких уровнях воспринимаемой нагрузки во время интенсивных аэробных упражнений.

Вегетативная дисфункция является нетрадиционным фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний, который коррелирует с ожирением, компонентами метаболического синдрома, а также кардиореспираторной подготовленностью. Восстановление частоты сердечных сокращений, являющееся простым и проверенным показателем вегетативного баланса, считается полезным биомаркером для прогнозирования сердечно-сосудистой заболеваемости и смертности. Данный показатель был изучен в ходе работы Bjelakovic et al. (2017), в рамках которой было произведено сравнение ЧСС у метаболически здоровых и метаболически нездоровых детей с ожирением [18]. ЧСС была значительно ниже ($18,9 \pm 3,7$) в группе метаболически нездоровых детей с ожирением по сравнению с группой сравнения ($24 \pm 4,1$), $p < 0,001$. Логистический регрессионный анализ показал в данном исследовании, что на снижение ЧСС также влиял более высокий ИМТ. Результаты проведенного исследования указывают на наличие вегетативной дисфункции, отражающейся в нарушении восстановления сердечного ритма у детей с ожирением и метаболическим синдромом.

■ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ВЕЛОЭРГОМЕТРИИ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ С ОЖИРЕНИЕМ

Исходя из данных вышеописанных исследований, было установлено, что детское ожирение, помимо снижения физической работоспособности, также влияет на существующий кардиометаболический риск, например, на повышенное АД, дислипидемию и маркеры воспаления. Кардиореспираторная подготовленность (КРП), которая зачастую снижена у лиц с избыточной массой тела и ожирением, является важным маркером здоровья у детей, и ее низкие уровни связаны с повышенными кардиометаболическими факторами риска. В недавнем исследовании (Johansson et al., 2023) было установлено, что независимо от степени ожирения более низкий уровень кардиореспираторной подготовленности связан с более высокими уровнями С-реактивного белка как биомаркера воспаления у детей с ожирением [14]. Данный метаболит повышался в каждой группе с более низкой КРП, где группа с самой низкой КРП имела медиану $4,0$ ($3,0$) мг/л против $1,5$ ($2,3$) мг/л в группе с самой высокой соответственно ($p = 0,021$). Кроме того, зарегистрировано, что высокий уровень КРП ослаблял связь между инфламацией и ИМТ, в основном у подростков с ожирением [15]. Аналогичные результаты были представлены в исследовании 2017 года (Nystrom et al.), где было обнаружено, что высокая КРП была связана с более низким показателем кардиометаболического риска исключительно у детей с ожирением [16]. Это говорит о том, что показатель КРП может быть важен для снижения кардиометаболического риска, особенно у детей с ожирением.

Кроме того, в 2021 году (Battista et al.) было проведено исследование, в котором оценивали метаболический ответ на физические нагрузки по коэффициенту дыхательного обмена (respiratory exchange ratio (RER)) у людей с ожирением и разной степенью контроля гликемии – нормогликемией, нарушением углеводного обмена и сахарным диабетом (СД) 2-го типа [17]. RER измеряли в состоянии покоя (RERrest) и

при максимальной физической нагрузке (RERpeak). Повторный пик был значительно выше у здоровых субъектов, чем при ожирении. Среди них RERpeak был значительно выше при нормогликемии, чем при гипергликемии (1,20 [1,15–1,27] против 1,18 [1,10–1,22] ($p=0,04$) и против 1,14 [1,10–1,18] ($p<0,001$) соответственно). Таким образом, ΔRER (RERpeak-RERrest) был ниже при преддиабете и СД 2-го типа, чем при нормогликемии (0,32 [0,26–0,39] ($p=0,04$) и 0,29 [0,24–0,36] ($p<0,001$) против 0,38 [0,32–0,43] соответственно). Как итог, люди с ожирением демонстрируют ограниченный метаболический ответ во время максимальной физической нагрузки. В частности, пациенты с нарушением гликемии натощак и толерантности к углеводам уже проявляют метаболическую негибкость во время физических нагрузок, аналогично тем, у кого СД 2-го типа. Эти результаты также указывают на потенциальную роль сердечно-легочного тестирования с физической нагрузкой в выявлении ранних метаболических изменений у людей с ожирением.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа литературных данных о переносимости физических нагрузок и оценке физической работоспособности у детей и подростков с нормальной, избыточной массой тела и ожирением были найдены результаты исследований, подтверждающие достоверное снижение физической работоспособности и изменение функциональных показателей, таких как артериальное давление, максимальное потребление кислорода и другие, у детей и подростков при наличии избыточной массы тела и ожирения. Было установлено, что наличие избыточной массы тела достоверно повышает уровень артериального давления, а наличие ожирения в детском возрасте может служить маркером изменения окисления субстрата во время физических нагрузок. Однако методики, благодаря которым были обнаружены данные изменения, не введены в рутинную диагностическую практику. Таким образом, анализ адаптационных резервов и функциональных показателей физической работоспособности у детей и подростков с избыточной массой тела и ожирением актуален, поскольку достаточно обширна распространенность избыточной массы тела и ожирения среди всех возрастных групп в целом и среди детей и подростков в частности. В то же время в результате приведенных выше исследований не было окончательно выяснено время восстановительного периода после физических нагрузок у детей и подростков с избыточной массой тела и ожирением, изменения которого могут служить предикторами развития сердечно-сосудистых заболеваний.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Girsh Ya.V., Meshcheryakov V.V., Somova T.M., Veliyeva O.A. *The role and place of bicycle ergometry and treadmill test in assessing the functional state of adolescent patients with hypertension and various body weights in 2014.* (in Russian)
2. Verbovoy A.F., Sharonova L.A. Obesity: epidemiological and socio-economic aspects, prevention. *Endocrinology: news, opinions, training.* 2019;8(3):87–97. doi: 10.24411/2304-9529-2019-13009. (in Russian)
3. Di Cesare M., Sorić M., Bovet P. The epidemiological burden of obesity in childhood: a worldwide epidemic requiring urgent action. *BMC Med.* 2019;17:212. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1449-8>
4. de Sousa G., Hussein A., Trowitzsch E., Andler W., Reinehr T. Hemodynamic Responses to Exercise in Obese Children and Adolescents before and after Overweight Reduction. *Klin Padiatr.* 2009;221(4):237–240. doi: 10.1055/s-0028-1105927
5. Tavrovskaya T.V. *Veloergometry. A practical guide for doctors.* St. Petersburg, 2007. (in Russian)
6. Girsh Ya.V., Vernigorova N.V. Diagnostics of cardiovascular disorders in children and adolescents with obesity and metabolic syndrome. *Bulletin of SurSU. Medicine.* 2012;14. (in Russian)

7. Grzyb A., Domagalska-Szopa M., Siwiec A., Kwiecień-Czerwień I., Szopa A. Cardiopulmonary Capacity in Overweight and Obese Children and Adolescents: A Cross-Sectional Study. *Front. Physiol.* 2021;12:671827. doi: 10.3389/fphys.2021.671827
8. Zhou N. Assessment of aerobic exercise capacity in obesity, which expression of oxygen uptake is the best? *Sports Medicine and Health Science.* 2021;3(3):138–147. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2021.01.001>
9. Samoylova Yu.G., Podobenova D.V., Kudlay D.A., Matveeva M.V., Oleinik O.A., Zinchuk V.G., Sukhoi A.S., Davydova M.A. Analysis of associations of fatty acid pool, biochemical parameters and body composition in children and adolescents with different body weight. *Pediatrics named after G.N. Speransky.* 2023;102(1):137–146. doi: 10.24110/0031-403X-2023-102-1-137-146. (in Russian)
10. Rollo S., Fraser B.J., Seguin N., Sampson M., Lang J.J., Tomkinson G.R., Tremblay M.S. Health-Related Criterion-Referenced Cut-Points for Cardiorespiratory Fitness Among Youth: A Systematic Review. *Sports Med.* 2022;52(1):101–122. doi: 10.1007/s40279-021-01537-3
11. Delaney K.Z., Spataro L., Henderson M., Santosa S., Mathieu M.E. Substrate Oxidation Is Altered by Obesity During Submaximal Cycling in Prepubertal and Early Pubertal Children: A Quality Study. *Pediatr Exerc Sci.* 2021;33(1):32–39. doi: 10.1123/pes.2020-0059
12. Franssen W.M.A., Keytsman C., Marinus N., Verboven K., Eijnde B.O., van Ryckeghem L., Dendale P., Zeevaert R., Massa G., Hansen D. Chronotropic incompetence is more frequent in obese adolescents and relates to systemic inflammation and exercise intolerance. *J Sport Health Sci.* 2023;12(2):194–201. doi: 10.1016/j.jshs.2021.01.010
13. Tsiros M.D., Vincent H.K., Getchell N., Shultz S.P. Helping Children with Obesity "Move Well" To Move More: An Applied Clinical Review. *Curr Sports Med Rep.* 2021;20(7):374–383. doi: 10.1249/JSR.0000000000000861
14. Johansson L., Putri R.R., Danielsson P. Associations between cardiorespiratory fitness and cardiometabolic risk factors in children and adolescents with obesity. *Sci Rep.* 2023;13:7289. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34374-7>
15. Agostinis-Sobrinho C., Rosário R., Santos R., Norkiene S., Mota J., Rauckienė-Michaelsson A., González-Ruiz K., Izquierdo M., García-Hermoso A., Ramírez-Vélez R. Higher Cardiorespiratory Fitness Levels May Attenuate the Detrimental Association between Weight Status, Metabolic Phenotype and C-Reactive Protein in Adolescents – A Multi-Cohort Study. *Nutrients.* 2020;12:1461. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu12051461>
16. Nystrom C.D. Does cardiorespiratory fitness attenuate the adverse effects of severe/morbid obesity on cardiometabolic risk and insulin resistance in children? A Pooled Analysis. *Diabetes Care.* 2017;40(11):1580–1587. Available at: <https://doi.org/10.2337/dc17-1334>
17. Battista F., Belligoli A., Neunhaeuser D., Gasperetti A., Bettini S., Compagnin C., Marchese R., Quinto G., Bergamin M., Vettor R., Busetto L., Ermolao A. *Obes Facts.* 2021;14(4):415–424. Available at: <https://doi.org/10.1159/000517589>
18. Bjelakovic L., Vukovic V., Jovic M., Bankovic S., Kostic T., Radovanovic D., Pantelic S., Zivkovic M., Stojanovic S., Bjelakovic B. Heart rate recovery time in metabolically healthy and metabolically unhealthy obese children. *The Physician and Sportsmedicine.* 2017;45(4):438–442. doi: 10.1080/00913847.2017.1376571
19. Dobrowolska A., Domagalska-Szopa M., Siwiec A., Szopa A. Association between Cardiopulmonary Capacity and Body Mass Composition in Children and Adolescents with High Body Weight: A Cross-Sectional Study. *Children.* 2022;9:647. Available at: <https://doi.org/10.3390/children9050647>