DOI: 10.56871/UTJ.2023.99.19.004
УДК 616-053.2+612.176+613.71+316.647.5+796.015.54/.865.14+331.582.2+616-072.85

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТОЛЕРАНТНОСТИ К ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ У ДЕТЕЙ

© Мария Сергеевна Просвирнина[1], Лариса Андреевна Даниленко[1], Алексей Андреевич Шмонин[2], Дмитрий Юрьевич Бутко[1]

[1] Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2
[2] Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова. 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6-8

Контактная информация: Мария Сергеевна Просвирнина — ассистент кафедры медицинской реабилитации и спортивной медицины. E-mail: mprosvirnina@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-1862-0211

Для цитирования: Просвирнина М.С., Даниленко Л.А., Шмонин А.А., Бутко Д.Ю. Методы оценки толерантности к физической нагрузке у детей // Университетский терапевтический вестник. 2023. Т. 5. № 2. С. 39–56. DOI: https://doi.org/10.56871/UTJ.2023.99.19.004

Поступила: 05.11.2022 ***Одобрена: 23.02.2023*** ***Принята к печати: 01.03.2023***

РЕЗЮМЕ. Данная статья посвящена анализу используемых методов оценки толерантности к физической нагрузке у детей. Авторами был проведен детальный обзор литературы с 1970 по 2022 год в системе PubMed по ключевым словам, имеющим отношение к методам оценки толерантности к физической нагрузке у детей. На основании данных литературы произведен сравнительный анализ различных методик оценки толерантности к физической нагрузке у детей. Изучена частота использования конкретных методик при различных заболеваниях. Сделаны следующие выводы: оценка толерантности к физической нагрузке в детском возрасте необходима в процессе медицинской реабилитации, для составления персонализированных фитнес-программ для здоровых детей, а также в профессиональном спорте, однако отсутствуют клинические рекомендации по данной теме, а использование разными авторами различных методов затрудняет сравнение между проведенными исследованиями и создание баз данных с эталонными значениями. Выявлены такие проблемы, как отсутствие информации о тестировании толерантности к физической нагрузке у детей младшего возраста (до 4 лет), а также отсутствие исследований, посвященных использованию низкоинтенсивных тестов для оценки толерантности к физической нагрузке у детей в тяжелом состоянии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дети; толерантность к физической нагрузке; выносливость; реабилитация; субмаксимальные и максимальные тесты; нагрузочные пробы.

METHODS FOR ASSESSING EXERCISE TOLERANCE IN CHILDREN

© Mariia S. Prosvirnina[1], Larisa A. Danilenko[2], Alexey A. Shmonin[2], Dmitriy Yu. Butko[1]

[1] Saint Petersburg State Pediatric Medical University. Lithuania 2, Saint Petersburg, Russian Federation, 194100
[2] Pavlov First Saint Petersburg State Medical University. Ul. L'va Tolstogo, 6–8, Saint Petersburg, Russian Federation, 197022

Contact information: Mariia S. Prosvirnina — Assistant of the Department of Medical Rehabilitation and Sports Medicine. E-mail: mprosvirnina@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-1862-0211

For citation: Prosvirnina MS, Danilenko LA, Shmonin AA, Butko DYu. Methods for assessing exercise tolerance in children. University therapeutic journal (St. Petersburg). 2023;5(2):39-56. DOI: https://doi.org/0000000000000 10.56871/UTJ.2023.99.19.004

Received: 05.11.2022 ***Revised: 23.02.2023*** ***Accepted: 01.03.2023***

SUMMURY. This article is devoted to the analysis of the methods used to assess exercise tolerance in children. The authors conducted a detailed literature search from 1970 to 2022 in

the PubMed system for keywords related to methods for assessing exercise tolerance in children. A comparative analysis of various methods for assessing exercise tolerance in children based on literature data is performed. The frequency of using specific techniques for various diseases has been studied. The following conclusions are made: assessment of exercise tolerance in childhood is necessary in the process of medical rehabilitation, for the preparation of personalized fitness programs for healthy children, as well as in professional sports, however, there are no clinical recommendations on this topic, and the use of different methods by different authors makes it difficult to compare studies and create databases with reference values. Problems such as the lack of information on testing exercise tolerance in young children (up to 4 years old), as well as the lack of studies on the use of low-intensity tests to assess exercise tolerance in children in serious condition, have been identified.

KEY WORDS: children; exercise tolerance; endurance; exercise capacity; submaximal and maximal endurance tests; exercise testing; rehabilitation.

ВВЕДЕНИЕ

Толерантность к физической нагрузке (ТФН) — это тот объем нагрузки, который может выполнить ребенок без признаков дисфункции дыхательной, сердечно-сосудистой систем и системы крови. Оценка толерантности к физической нагрузке имеет важное значение для расчета адекватной нагрузки для пациента, не сопровождающейся переутомлением и безопасной для здоровья. Соответственно, очень важно проводить такую оценку на всех этапах медицинской реабилитации, а также при расчете интенсивности тренировок в фитнесе и профессиональном спорте. Толерантность к нагрузке снижается при многих заболеваниях центральной нервной системы (ЦНС), легких, сердечно-сосудистой системы, гематологических и онкологических заболеваниях, длительном пребывании в лежачем положении, инфекционных заболеваниях, при детренированности и других состояниях. При назначении пациенту или спортсмену тренировок без учета ТФН возможно не только отсутствие эффекта таких тренировок и, соответственно, неэффективная реабилитация и отсутствие высоких результатов в спорте, но и ухудшение состояния здоровья. Оценка ТФН необходима для правильного формулирования реабилитационного диагноза в категориях международной классификации функционирования, которая обязательна для использования на основании приказа Министерства здравоохранения РФ от 31 июля 2020 г. № 788н «Об утверждении Порядка организации медицинской реабилитации взрослых» [1]. Поскольку зачастую одной из основных проблем пациента является именно снижение ТФН, превалирующее над другими факторами, то мы нередко видим несоответствие между тяжестью двигательных нарушений, например, при нервно-мышечных заболеваниях, и выраженностью ограничений активности и участия, в том числе мобильности и самообслуживания [10, 11]. В международной классификации функционирования ТФН обозначается доменом b455. Использование оценки ТФН обеспечивает установление правильного реабилитационного диагноза и адекватной цели реабилитации, более слаженную работу мультидисциплинарных бригад в процессе реабилитации, облегчает выбор дальнейшей маршрутизации пациента, позволяет контролировать эффективность и безопасность реабилитации. Кроме того, оценка ТФН в профессиональном спорте с дальнейшим планированием тренировок в соответствии с полученными данными позволяет достичь более высоких результатов.

Для взрослых разработаны и стандартизированы различные методики оценки ТФН, которые успешно применяются для дальнейшего расчета уровня нагрузки, а также контроля эффективности реабилитации [31, 43, 59, 72]. Определена их валидность, надежность, чувствительность, специфичность и безопасность. Многие методики оценки ТФН у взрослых вошли в клинические рекомендации и национальные руководства, являются обязательным компонентом медицинской реабилитации взрослых. При этом данных об оценке ТФН у детей в литературе существенно меньше. Отчасти это связано с такими проблемами, как трудности в использовании тестов с физической нагрузкой из-за плохого понимания детьми сложных инструкций, ограничения по возрасту, росту, массе тела — не все тесты подходят для маленьких детей; а также с малым количеством исследований тестирования ТФН у детей.

Актуальной проблемой является сравнение чувствительности, специфичности и безопасности различных тестов оценки ТФН у детей, а также разработка стандартных протоколов для применения в рутинной клинической практике.

Мы попытались найти и систематизировать информацию по данной тематике. В большинстве найденных статей рассматривается какая-либо одна методика оценки ТФН у здоровых детей для установления референсных значений, либо сравнение в двух группах: контрольной (здоровые дети) и опытной (дети с каким-либо заболеванием), для оценки валидности и надежности конкретного теста. Реже сравниваются валидность, безопасность, чувствительность и специфичность двух и более тестов.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести систематический обзор литературы и выбрать наиболее валидные для реабилитации методы оценки толерантности к физической нагрузке у детей разного возраста.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Был проведен детальный поиск литературы с 1970 по 2022 год в системе PubMed по следующим ключевым словам: exercise tolerance in children, endurance in children, exercise capacity in children, submaximal and maximal endurance tests in children, exercise testing in children. Было выбрано 136 статей, связанных с определением толерантности к физической нагрузке у здоровых детей, у спортсменов, а также пациентов детского возраста с пульмонологическими, кардиологическими, урологическими, неврологическими и другими заболеваниями. Из 136 отобрана 71 работа, согласно цитируемости и соответствию теме.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Существуют различные методики определения ТФН. Оценка ТФН по любой из них немедленно прекращается при появлении таких признаков, как потеря сознания, значительное ухудшение самочувствия, чрезмерное повышение АД (220/110 мм рт.ст. и выше), резкое снижение АД (на 25% и более от исходного уровня), снижение pO_2 на 5% и более, появление боли в груди, удушья или одышки более 30 в минуту с участием вспомогательных дыхательных мышц, бледности или цианоза, ухудшение координации движений, ухудшение речи, появление сильной головной боли, тошноты, рвоты, головокружения [3]. Эти симптомы называются стоп-сигналами.

Все существующие методики оценки ТФН можно разделить на следующие группы: ортостатические пробы, дыхательные пробы (с гипероксией и гипоксией), субмаксимальные и максимальные нагрузочные пробы, субъективные шкалы оценки физического усилия при нагрузке.

Ортостатические пробы активно используются у взрослых в рутинной клинической практике в силу их хорошей стандартизации и изученности. Используются для пациентов в тяжелом состоянии, с ограничениями мобильности, длительно пребывающих в положении лежа. Проводится оценка общего состояния, мониторинг ЭКГ и/или АД во время теста. Есть несколько основных вариантов: пробы с активным ортостазом и полуортостазом — самостоятельный переход пациента из положения лежа в положение стоя и сидя соответственно; пробы с пассивным ортостазом (тилт-тест) или полуортостазом (пассивная вертикализация) — с помощью поворотного стола с электрическим приводом пациент из горизонтального положения переводится в вертикальное (70°) или полувертикальное (45°). К сожалению, мы не нашли исследования, где данные пробы использовались бы для оценки ТФН у детей в тяжелом состоянии, только лишь для обследования при ортостатической гипотензии, вазовагальных обмороках и синдроме постуральной тахикардии [65].

Дыхательные пробы, к которым относятся проба с гипервентиляцией (гипероксия в сочетании с гипокапнией), гипоксические пробы (с задержкой дыхания на вдохе или выдохе), а также пробы с изменением состава вдыхаемого воздуха — все они активно используются у взрослых для оценки ТФН. У детей же они находят лишь ограниченное применение для определения необходимости дополнительной дыхательной или кислородной поддержки во время полетов на самолетах или ночного сна у детей с заболеваниями легких, сердца и ЦНС [30, 49, 61].

Нагрузочные пробы (велоэргометрия, тредмил-тест, тест шестиминутной ходьбы и др.). Сердечно-легочное нагрузочное тестирование наиболее часто используется для оценки как ТФН, так и функции сердечно-сосудистой и дыхательной систем [4, 40]. Тест шести-

минутной ходьбы, тредмил-тест и велоэргометрия являются наиболее часто используемыми методами. Нагрузочные пробы выполняются до достижения максимальной или субмаксимальной (равной 75–85% от максимальной) частоты сердечных сокращений (ЧСС) для данного возраста. Они позволяют оценить в зависимости от используемого оборудования, целей и задач: ЧСС, АД (есть исследования нормативной реакции артериального давления на нагрузочные тесты у детей и подростков, где представлены референсные интервалы в зависимости от пола, возраста, массы тела, которые позволяют четко идентифицировать аномальную реакцию АД [17]), данные ЭКГ, pO_2, потребление кислорода (максимальное потребление кислорода считается «золотым стандартом» для измерения кардиореспираторной функции [5]) и выделение углекислого газа, данные спирометрии, а также порог накопления лактата (есть исследования, демонстрирующие, что метаболизм лактата является ключевым фактором, определяющим выносливость во время тестов с максимальной нагрузкой [37, 70]).

1. Тест шестиминутной ходьбы (ТШХ) — это тест с субмаксимальной физической нагрузкой в самостоятельном темпе, показавший высокую надежность и валидность, а также чувствительность и специфичность не только у взрослых, но и у детей [42]. Во всех исследованиях, где использовался ТШХ, АД, ЧСС и потребление кислорода (VO_2) измеряли до теста, сразу после теста и через пять минут после теста. Фиксировались клинические и антропометрические данные. Для детей, в отличие от взрослых, чаще всего не требуется обучение перед применением данного теста, однако очень важное значение имеют мотивация и использование поощрения при выполнении теста. Дети, как правило, начинают с энтузиазмом, но им трудно поддерживать тот же темп в течение шести минут без поощрения. При этом стандартные поощрения, повторяемые с определенной периодичностью, независимо от фактического уровня успеваемости и без обратной связи относительно пройденного ими расстояния, малоэффективны. Напротив, когда дети постоянно получают информацию об их прогрессе (положительная обратная связь), это значительно больше мотивирует, чем стандартные поощрения [29, 32, 47, 68].

2. Тест «сесть-встать» (приседания). Подобно ТШХ, представляет собой субмаксимальный тест с самостоятельным темпом [48]. Большое значение имеют также мотивация и использование поощрения при выполнении теста. Нами было найдено несколько исследований с успешным применением данного теста при тестировании ТФН у детей с заболеваниями легких, такими как хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) [52], бронхоэктатическая болезнь [73], бронхолегочная дисплазия [57]. В них производилась сравнительная оценка теста «сесть-встать» из пяти повторений в течение 30 и 60 секунд, а также ТШХ у здоровых детей и детей с заболеваниями легких, где была показана высокая корреляция с ТШХ, а также высокая чувствительность и специфичность обоих тестов. Преимуществом этих тестов является отсутствие потребности в специальном дорогостоящем оборудовании для их применения.

3. Велоэргометрия у детей. В данном тесте необходима калибровка тренажера в зависимости от роста и массы тела пациента. Для детей старше 12 лет могут использоваться обычные велоэргометры, а для детей младше 12 лет только специальные, адаптированные для детского возраста (например, Semi-recumbent ergometer exercise bike ERG 911 LS может использоваться полулежа, для более тяжелых пациентов Corival Pediatric 903900 — допустимо использование с 4 лет, Ergometer exercise bike ERG 910plus / ERG 911 plus — при росте от 1,20 м, велоэргометр детский «Орторент Вело» — рост от 110 см, масса тела от 30 кг и др.). Есть ограничения применения велоэргометрии у детей при сложностях с пониманием инструкций, проблемах с опорно-двигательным аппаратом, тяжелом соматическом состоянии, выраженном снижении ТФН, заболеваниях ЦНС. Зачастую у детей с заболеваниями ЦНС при нормальном объеме движений в суставах нижних конечностей и достаточной силе возникают трудности при вращении педалей, даже если ступни зафиксировать к педалям, страдает плавность их вращения, особенно на большой скорости. Для детей с детским церебральным параличом (ДЦП) характерна пронация стопы, что приводит к тому, что пятка и лодыжка поворачиваются внутрь, в результате чего средняя часть стопы может попасть в коленчатый вал педали. Кроме того, могут присутствовать нарушения координации движений. Все перечисленное ограничивает применение велоэргометрии у детей с заболеваниями ЦНС, а также может приводить к ложноположительным результатам на снижение ТФН [21]. Кроме стандартной методики велоэргометрии мо-

гут использоваться модификации, например, анаэробный тест Уингейта — выполнение на велоэргометре максимальной нагрузки, зависящей от скорости вращения педалей, за короткий промежуток времени (обычно 20–30 секунд). При этом максимальная мощность будет соответствовать максимальной скорости вращения педалей [7, 21, 53].

4. Стресс-тест на беговой дорожке (тредмил-тест): в отличие от велоэргометрии, нет проблем с калибровкой тренажера в зависимости от роста и массы тела. Никакого предварительного опыта или практики со стороны пациента не требуется, и, поскольку скорость ленты низкая, риск травмы очень маленький [20]. Соответственно, может использоваться у детей с более младшего возраста (с 3 лет) или при более выраженных ограничениях жизнедеятельности и здоровья. Так же, как в случае с велоэргометрами, для детей старше 12 лет используются стандартные беговые дорожки, а для детей младше 12 лет — специальные (например, Kids Treadmill, Moove&Fun, DFC VT2300 и др.). Для взрослых стандартизованы и вошли в клинические рекомендации пробы по нескольким основным протоколам [6]. У детей чаще всего используется протокол Брюса (1971) с постепенным увеличением скорости ходьбы и угла наклона дорожки: стандартный — темп ходьбы 8 км/ч достигается через 12 минут от начала пробы, и модифицированный протокол Брюса — с более постепенным увеличением нагрузки — эта же скорость достигается через 18 мин. При этом нагрузка на 1-й фазе тестирования по стандартному протоколу Брюса соответствует низкой, на 2-й фазе — средней, на 3-й фазе — высокой толерантности к физической нагрузке [2]. Максимальное время выносливости может быть использовано в качестве единственного критерия физической работоспособности [20]. Могут также оцениваться ЧСС, АД, ЭКГ, потребление кислорода (VO_2), выработка углекислого газа (VCO_2), данные спирометрии, pO_2. Есть исследования, показывающие эталонные значения для здоровых детей в зависимости от пола, возраста, роста и массы тела [41]. Помимо протокола Брюса существуют отдельные протоколы, разработанные и стандартизованные специально для детей, например, протокол детского госпиталя британской Колумбии (BCCH), который дает аналогичные результаты VO_2, VCO_2, коэффициента дыхательного обмена ($RER=VCO_2/VO_2$, ≥1,1 при максимальной нагрузке) и ЧСС по сравнению с традиционным протоколом Брюса [23]. Существует также протокол, в котором скорость работы увеличивается постепенно (так называемый протокол ramp). Используется при тестировании пациентов с низкими значениями VO_2. В противном случае тест с физической нагрузкой у таких пациентов может быть прекращен преждевременно, до достижения фактической максимальной нагрузки на сердечно-легочную систему [66]. К сожалению, очень мало исследований, где бы проводилась сравнительная оценка использования двух и более методов оценки ТФН. В одном из исследований, опубликованном в 2019 году, проводилось кардиопульмональное нагрузочное тестирование у здоровых детей: на беговой дорожке (модифицированный протокол Брюса) и велоэргометрия в положении стоя и лежа на спине под углами 0° и 45°. Сравнивались у одних и тех же детей показания тестирования в зависимости от положения тела. Было установлено, что во всех тестах на велосипеде по сравнению с тестом на беговой дорожке наблюдается более низкое пиковое VO_2 ($p < 0,05$). В положении лежа на спине оно еще больше снижается. Пиковая ЧСС снижается как от беговой дорожки к эргометрии в вертикальном положении, так и от вертикального к горизонтальному положению на спине при велоэргометрии. Форсированная жизненная емкость (ФЖЕЛ) и объем форсированного выдоха (ОФВ) выше в положении стоя и сидя по сравнению с положением лежа на спине [28]. У взрослых ранее были получены схожие результаты: более низкие значения спирометрии в положении лежа на спине, чем в положении сидя и стоя [58, 69]. В другом исследовании для прогнозирования максимального VO_2 использовались показатели ЧСС при окончании тредмил-теста и 9-минутной велоэргометрии у детей [46]. У тяжелых пациентов, которые не могут самостоятельно передвигаться, возможно проведение тестирования с разгрузкой массы тела. Например, использование подвесных систем (Орторент С и др.) при выполнении тредмил-теста и 6-минутного велосипедного теста с разгрузкой массы тела [22].

5. Степ-тест — субмаксимальный тест, заключающийся в подъемах на скамейку или степ-платформу с частотой 30 раз в минуту (по метроному). Используются либо варианты тестирования, где время ограничено (1–3 минуты) [6], либо до утомления испытуемого, когда он начинает отставать от заданного темпа, тогда фиксируется продолжительность работы в секундах до момента снижения темпа.

Проводились исследования, где была показана высокая валидность и надежность данного теста у здоровых детей, а также высокая корреляция с ТШХ [8, 35]. Есть модификации данного теста, например, степ-тест Честера, где частота подъемов в минуту постепенно увеличивается [44].

6. Челночный бег — вид бега с резкими разворотами, характеризующийся прохождением одной и той же короткой дистанции (обычно 10 м) 2 раза и более в прямом и обратном направлении. При этом производится оценка ЧСС и pO_2 до теста, сразу и через 5 минут после него. Часто используется для тестирования профессиональных спортсменов и здоровых детей, а также для установления степени снижения ТФН, например, при ожирении у детей [67].

7. Йо-йо тест на выносливость с прерывистым восстановлением — довольно сложный тест, требующий значительных усилий. Испытуемому требуется бежать отрезки по 20 м каждый раз с увеличивающейся скоростью, между которыми пятиметровые отрезки для отдыха и восстановления. Валидность теста высокая: есть расчетные значения VO_{2max}, соответствующие выполненной работе. Корреляция с VO_{2max} высокая. К недостаткам данного теста относится большое влияние мотивации, которая у детей часто невысокая, а также влияние условий окружающей среды (снег, дождь, ветер и так далее), так как тестирование проводится на улице. Выделяют максимальный (2-й уровень — чаще используется у профессиональных спортсменов) и субмаксимальный (1-й уровень — используется у здоровых детей и в процессе медицинской реабилитации) йо-йо тесты, отличающиеся более высокой начальной скоростью на 2-м уровне. Результат фиксируется в виде общей дистанции, которую пробежал испытуемый, пока не начал отставать от сигнального темпа. Было найдено несколько исследований, посвященных использованию данного теста у детей [12, 13, 27]. В них было показано, что йо-йо тест может использоваться в качестве инструмента для оценки и мониторинга толерантности к физической нагрузке у детей. Так же, как и у взрослых [14], в данных исследованиях была показана выраженная обратная корреляция между максимальной ЧСС и расстоянием, пройденным в ходе тестирования у детей. Было выявлено, что внешние факторы, такие, как сила мышц нижних конечностей, могут оказывать незначительное влияние на результат теста, что отличается от результатов, полученных у взрослых, у которых был обнаружен более высокий вклад внешних факторов [16, 60]. В одном из исследований проводился сравнительный анализ субмаксимального и максимального уровней йо-йо теста, а также инкрементного тредмил-теста и теста Андерсена для оценки ТФН и максимальной ЧСС у детей в возрасте 6–10 лет. Была выявлена обратная корреляция между субмаксимальной ЧСС с результатами йо-йо теста и максимальным VO_2 [12]. Проводились также исследования достоверности йо-йо теста у детей более старшего возраста с получением хороших результатов [56].

Существует также несколько субъективных шкал оценки физического усилия: детская таблица оценки усилий, шкала Эстона–Парфитта и шкала Борга. Они могут использоваться у детей во время сердечно-легочного нагрузочного тестирования на беговой дорожке или при велоэргометрии, при тестировании «сесть-встать», ТШХ, а также при выполнении любой другой физической нагрузки. Помогают прогнозировать максимальное поглощение кислорода. Согласно детской таблице оценки усилий интенсивность физической нагрузки оценивается в баллах от 0 до 10, где 0 — «очень-очень легко», а 10 — «так тяжело, что я вынужден остановиться». Была показана ее валидность и надежность при использовании в сочетании с различными нагрузочными тестами: велоэргометрией [24], степ-тестом [71], тредмил-тестом [62]. Шкала Эстона–Парфитта использует аналогичный числовой диапазон 0–10, а также графически изображает человека на различных стадиях нагрузки на вогнутом склоне с постепенно увеличивающимся градиентом при более высоких интенсивностях. Есть исследования, сравнивающие валидность и надежность детской таблицы оценки усилий и шкалы Эстона–Парфитта, где обе шкалы продемонстрировали высокую валидность, надежность, специфичность и чувствительность, показали высокую корреляцию с VO_{2max} [39]. Однако было выявлено, что для детей младшего возраста лучше использовать шкалу Эстона–Парфитта ввиду большей наглядности [25]. Шкала оценки воспринимаемой физической нагрузки Борга — субъективная шкала оценки тяжести физической нагрузки с оценкой от 6 (очень-очень легко) до 20 (максимально тяжело) является валидным, надежным и чувствительным инструментом для прогнозирования максимального потребления кислорода у взрослых [5, 18, 26, 57].

Таблица 1

Сравнительный анализ методик оценки ТФН

Методика	Время проведения тестирования	Особенности метода, возможности проведения дополнительных анализов и обследований во время тестирования	Оборудование	Надежность	Валидность	Чувствительность	Специфичность	Безопасность	Ограничения
Полуортостатическая и ортостатическая пробы	30 минут	Мониторинг АД, пульсоксиметрия	Стол-вертикализатор, тонометр, пульсоксиметр	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Не всегда безопасно	Практически без ограничений (только крайне тяжелое состояние пациента, дегидратация, нестабильная гемодинамика)
Эргометрия, максимальный/субмаксимальный тест	До достижения максимальной ЧСС (с учетом возраста)	Дополнительно возможно провести во время тестирования: измерение АД, пульса, регистрацию ЭКГ, VO_2, VCO_2, ФЖЕЛ и других дыхательных параметров, определение pO_2, лактата	Велоэргометр, электрокардиограф, спирометр, детский тонометр, пульсоксиметр, газоанализатор, респираторный масс-спектрометр	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Не всегда безопасно	Возраст до 4 лет, рост до 104 см, плохое понимание инструкций, слабость мышц нижних конечностей, нарушение координации движений, грубые нарушения со стороны опорно-двигательного аппарата, тяжелое соматическое состояние
Анаэробный тест Уингейта на велоэргометре, максимальный тест	20–30 секунд	Можно определить: (VO_{2max}), анаэробный порог (пиковая вентиляция легких, пиковый импульс кислорода, пиковый вентиляционный эквивалент кислорода (пик VE/VO_2) и диоксида углерода (пик VE/VCO_2)	Велоэргометр, спирометр, пульсоксиметр, газоанализатор	Высокая	Высокая	Нет данных	Высокая	Не всегда безопасно	Возраст до 4 лет, рост до 104 см, плохое понимание инструкций, слабость мышц нижних конечностей, нарушение координации движений, грубые нарушения со стороны опорно-двигательного аппарата, тяжелое соматическое состояние
Тест 6-минутной ходьбы, субмаксимальный тест	6 минут	Пройденное расстояние, ЧСС, pO_2, VO_2, VCO_2,	Секундомер, фишки для меток, ровная поверхность	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Безопасно	Возраст до 4 лет, плохое понимание инструкций, слабость мышц нижних конечностей, нарушение координации движений, грубые нарушения со стороны опорно-двигательного аппарата, тяжелое соматическое состояние
Тест «сесть-встать», субмаксимальный тест	30 или 60 секунд	Число повторений, ЧСС, pO_2	Секундомер, пульсоксиметр	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Безопасно	Возраст до 4 лет, плохое понимание инструкций, слабость мышц нижних конечностей, нарушение координации движений, грубые нарушения со стороны опорно-двигательного аппарата, тяжелое соматическое состояние

Окончание табл. 1

Методика	Время проведения тестирования	Особенности метода, возможности проведения дополнительных анализов и обследований во время тестирования	Оборудование	Надежность	Валидность	Чувствительность	Специфичность	Безопасность	Ограничения
Йо-йо тест, максимальный тест	Завершается при отставании темпа бега от звукового сигнала	ЧСС, pO_2	Звуковоспроизводящее устройство с записанной серией сигналов, фишки для меток, ровная поверхность, пульсоксиметр	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Возраст до 7 лет, плохое понимание инструкций, слабость мышц нижних конечностей, нарушение координации движений, грубые нарушения со стороны опорно-двигательного аппарата, тяжелое соматическое состояние
Шкала Борга	Оценивается во время выполнения любого нагрузочного теста	Оценивается в баллах от 6 (очень-очень легко) до 20 (максимально тяжело)	Шкала в печатном или электронном виде, дополнительное оборудование не требуется	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Безопасно	Плохое понимание устной или письменной речи
Таблица оценки усилий детей CERT	Оценивается во время выполнения любого нагрузочного теста	Оценивается в баллах от 0 до 10 (0 — очень-очень легко, 10 — так тяжело, что я вынужден остановиться)	Таблица в печатном или электронном виде, дополнительное оборудование не требуется	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Безопасно	Плохое понимание устной или письменной речи
Шкала Эстона–Парфитта	Оценивается во время выполнения любого нагрузочного теста	Оценивается в баллах от 0 до 10 (0 — очень-очень легко, 10 — так тяжело, что я вынужден остановиться), сопровождается графическим изображением	Шкала в печатном или электронном виде, дополнительное оборудование не требуется	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Безопасно	Плохое понимание устной или письменной речи
Степ-тест	1 минута	ЧСС, pO_2	Секундомер, метроном, степ-платформа (необходимо подбирать высоту в зависимости от роста ребенка), пульсоксиметр	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Безопасно	Возраст до 8 лет, плохое понимание инструкций, слабость мышц нижних конечностей, нарушение координации движений, грубые нарушения со стороны опорно-двигательного аппарата, тяжелое соматическое состояние

Методика	Время проведения тестирования	Особенности метода, возможности проведения дополнительных анализов и обследований во время тестирования	Оборудование	Надежность	Валидность	Чувствительность	Специфичность	Безопасность	Ограничения
Челночный бег	Время, за которое испытуемый пробежит требуемую дистанцию, кратную 10 м (обычно 10×2 или 10×3)	ЧСС, pO_2	Фишки или линии на расстоянии 10 м друг от друга, пульсоксиметр	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Не всегда безопасно	Возраст до 7 лет, плохое понимание инструкций, слабость мышц нижних конечностей, нарушение координации движений, грубые нарушения со стороны опорно-двигательного аппарата, тяжелое соматическое состояние
Тредмил, максимальный тест	До достижения максимальной ЧСС (с учетом возраста) и коэффициента дыхательного обмена >1,05, а также появления признаков интенсивных усилий (покраснение лица, прерывистое дыхание или неспособность поддерживать темп)	Измерение АД, пульса, VO_2,VCO_2, регистрация ЭКГ, ФЖЕЛ и других дыхательных параметров, определение pO_2	Беговая дорожка, электрокардиограф, спирометр, детский тонометр, пульсоксиметр, газоанализатор	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Безопасно	Возраст до 3 лет, низкая масса тела, слабость мышц нижних конечностей (возможно проведение исследования при снятии части нагрузки), нарушение координации движений

Таблица 2

Методики, использующиеся для оценки ТФН при различных заболеваниях у детей

Заболевания, при которых показано снижение ТФН, в сравнении с контрольной группой здоровых детей	Использованные методы определения ТФН	Показатели для оценки	Количество публикаций
Ожирение [44, 37, 64, 67]	Тредмил-тест	ЭКГ, артериальное давление (АД), анализ выдыхаемых газов, рост, масса тела, индекс массы тела (ИМТ), лептин	4
	Челночный бег 10×2	Рост, масса тела, ИМТ, ЧСС, pO_2	
	Тредмил + велоэргометрия	ЭКГ, АД, анализ выдыхаемых газов, концентрация лактата, рост, масса тела, ИМТ, состав тела, отношение окружности талии к окружности бедер, оценка воспринимаемой нагрузки по шкале Борга	
	Степ-тест Честера (увеличение частоты с 15 до 35 подъемов в минуту, высота платформы 25 см)	Рост, масса тела, ИМТ, ЧСС, VO_2	
Заболевания органов дыхания (бронхолегочная дисплазия [57], ХОБЛ [48, 52], бронхоэктатическая болезнь легких [73])	Тест «сесть-встать»	ЧСС и pO_2 до теста и после его окончания. Количество повторений в течение теста. Рост и масса тела	4
	Тест 6-минутной ходьбы	ЧСС и pO_2 до теста и после его окончания. Пройденное расстояние. Рост и масса тела	
Детский церебральный паралич [7, 21, 34, 54]	Тредмил-тест	Измерение кинетики VO_2, ЧСС и pO_2	4
	Тредмил-тест с системой частичной поддержки веса тела	ЧСС и pO_2. Рост и масса тела	
	Анаэробный тест Уингейта на велоэргометре 20 или 30 секунд	VO_{2max}, анаэробный порог (пиковая вентиляция легких, пиковый импульс кислорода, пиковый вентиляционный эквивалент кислорода (пик VE/VO_2) и диоксида углерода (пик VE/VCO_2). Рост и масса тела	
Детский церебральный паралич в сочетании с бронхиальной астмой [63]	Тест 6-минутной ходьбы	ЧСС и pO_2 до теста и после его окончания. Спирометрия. Пройденное расстояние. Рост и масса тела	1
Спинальная мышечная атрофия и другие нервно-мышечные болезни [10, 11, 22, 36, 45]	Тредмил и 6-минутный велосипедный тест с разгрузкой веса тела	Пройденное расстояние. ЧСС, pO_2 измеряли до, сразу после теста и через пять минут после. Рост и масса тела. Субъективная шкала оценки усилий (от 0 до 10)	5
	Тест 6-минутной ходьбы	Пройденное расстояние. АД, ЧСС, pO_2 измеряли до, сразу после теста и через пять минут после. Рост и масса тела	
Перинатально приобретенный ВИЧ [55]	Тест 6-минутной ходьбы	Пройденное расстояние. АД, ЧСС, pO_2 измеряли до, сразу после теста и через пять минут после. Рост и масса тела	1

Окончание табл. 2

Заболевания, при которых показано снижение ТФН, в сравнении с контрольной группой здоровых детей	Использованные методы определения ТФН	Показатели для оценки	Количество публикаций
Злокачественные новообразования различной локализации [33, 50]	Велоэргометрия	АД, ЧСС, pO_2, ЭКГ	2
	Тест «сесть-встать»	АД, ЧСС, pO_2 измеряли до, сразу после теста и через пять минут после. Количество повторений. Рост и масса тела	
	Тест 6-минутной ходьбы	АД, ЧСС, pO_2. Расстояние. Рост и масса тела	
Острый лимфобластный лейкоз [32, 68]	Тест 6-минутной ходьбы	ЧСС и вариабельность сердечного ритма, pO_2 до теста и после его окончания. Пройденное расстояние. Рост и масса тела	2
Заболевания почек (состояние после трансплантации [38])	Велоэргометрия	АД, ЧСС, pO_2, ЭКГ	1
Сердечно-сосудистые заболевания (пороки сердца и артериальная гипертензия) [9, 15, 19, 74]	МР-совместимая эргометрия (лежа)	Магнитно-резонансное сердечно-легочное тестирование, ЭКГ, АД, VO_2 и VCO_2, ЭКГ	4
	Тредмил-тест	ЭКГ, АД, VO_2 и VCO_2, ЭхоКГ	
	Тредмил-тест	ЭКГ, АД, VO_2 и VCO_2, RER	
	Тредмил + велоэгометрия	ЭКГ, АД, VO_2 и VCO_2, RER, минутная вентиляция, рабочая скорость (Вт)	
Воронкообразная деформация грудной клетки [51]	Тредмил-тест	ЭКГ, АД, VO_2 и VCO_2, ЭКГ	1
Состояние после трансплантации костного мозга [6]	Степ-тест 3 минуты (высота платформы 15 см)	ЧСС, pO_2, частота дыхания	1

Сравнительный анализ методик оценки ТФН на основании полученных данных представлен в таблице 1 (чувствительность ≥70% и специфичность ≥90% приняты как высокие). Методики, использующиеся для оценки ТФН при различных заболеваниях, приведены в таблице 2.

ОБСУЖДЕНИЕ

У взрослых хорошо изучена методология оценки ТФН, многие тесты входят в национальные клинические рекомендации различных стран, с успехом используются в медицинской реабилитации, для составления программ тренировок здоровых людей и профессиональных спортсменов. К сожалению, в литературе уделяется мало внимания оценке ТФН у детей. В Российской Федерации и большинстве стран мира отсутствуют клинические рекомендации по данной теме. Есть большой набор методик, которые потенциально могут использоваться, но в связи с малым количеством исследований недостаточно данных для написания клинических рекомендаций и внедрения в рутинную клиническую практику. При этом многие параметры оценки ТФН у детей в изученной авторами литературе оценивались и рассчитывались с использованием различных методов и разных единиц измерения, что затрудняет сравнение между исследованиями и создание баз данных с эталонными значениями. На результаты тестов также оказывают значительное влияние возраст детей, пол, состав тела (процентное соотношение жировой и мышечной массы), уровень мотивации. Кроме того, практически полностью отсутствует информация о тестировании ТФН у детей до 4 лет, с 4 до 7 лет информации мало. Серьезной проблемой также является отсутствие исследований, посвященных использованию низкоинтенсивных тестов для оценки ТФН у детей в тяжелом состоянии, при выраженном

снижении ТФН (ортостатические и полуортостатические пробы, дыхательные пробы на переносимость гипоксии и гипероксии в сочетании с гипокапнией). Есть ряд исследований, посвященных изучению ТФН у детей при таких заболеваниях, как нервно-мышечные заболевания [10, 11, 22, 36, 45], ДЦП [7, 21, 34, 54], заболевания дыхательной [48, 52, 57, 73] и сердечно-сосудистой [9, 15, 19, 74] систем, онкологические заболевания [32, 33, 50, 68] и ожирение [37, 44, 64, 67]. При этом полностью отсутствуют исследования оценки ТФН у детей после длительного нахождения в положении лежа (скелетное вытяжение, нахождение на ИВЛ и т.д.), после тяжелых соматических и инфекционных заболеваний, операций, хотя, наиболее вероятно, ТФН у таких детей снижается, и нагрузки нужно подбирать в соответствии с выраженностью снижения.

Оценка ТФН в детском возрасте может быть полезна в процессе медицинской реабилитации, для составления персонализированных фитнес-программ для здоровых детей, а также в профессиональном спорте, так как она уже давно и с успехом применяется для этих целей у взрослых, однако в связи с малым количеством исследований, на настоящий момент выбор оптимального набора методик оценки ТФН у детей не представляется возможным. Требуется проведение дальнейших исследований. Актуальными направлениями исследований в данной области являются: 1) проведение сравнительных исследований эффективности и безопасности нескольких методик оценки ТФН у детей с различной нозологией; 2) стандартизация методов оценки основных параметров при изучении ТФН для повышения воспроизводимости результатов; 3) разработка способов оценки ТФН у детей младшего возраста; 4) исследование низкоинтенсивных методик оценки ТФН для детей в тяжелом состоянии. Совершенствование методик проведения тестирования ТФН у детей необходимо для разработки клинических рекомендаций по данной теме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный систематический обзор литературы позволил выявить, что число исследований о методиках оценки толерантности к физической нагрузке недостаточно для систематизации знаний об опыте использования этих методик в реабилитации детей разного возраста. Наибольшее количество публикаций, которые демонстрируют надежность, безопасность, валидность, чувствительность и специфичность для следующих тестов: тест 6-минутной ходьбы, тест «сесть-встать», шкала Борга, таблица оценки усилий детей CERT, шкала Эстона–Парфитта, степ-тест и тредмил-тест.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 31 июля 2020 г. № 788н «Об утверждении Порядка организации медицинской реабилитации взрослых».
2. Лупанов В.П., Нуралиев Э.Ю., Сергиенко И.В. Функциональные нагрузочные пробы в диагностике ишемической болезни сердца, оценке риска осложнений и прогноза. Монография. М.; 2016.
3. Чазов Е.И. Руководство по кардиологии в четырех томах. М.; 2014.
4. Albouaini K., Egred M., Alahmar A., Wright D.J. Cardiopulmonary exercise testing and its application. Postgrad Med J. 2007; 83(985): 675–82. DOI: 10.1136/hrt.2007.121558.
5. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. Am J Respir Crit Care Med. 2003; 167(2): 211–77. DOI: 10.1164/rccm.167.2.211.
6. Arlaud K., Stremler-Le Bel N., Michel G., Dubus J.C. Step-test 3-minutes: étude de faisabilité chez l'enfant

transplanté médullaire [3-min step test: feasibility study for children with bone marrow transplantation]. Rev Mal Respir. 2008; 25(1): 27–32. French. DOI: 10.1016/s0761-8425(08)70463-7.
7. Balemans A.C., Van Wely L., De Heer S.J. et al. Maximal aerobic and anaerobic exercise responses in children with cerebral palsy. Med Sci Sports Exerc. 2013; 45(3): 561–8. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3182732b2f.
8. Baptista Teixeira J., Ferreira STBP., Bernardino MEC. et al. The three-minute step test showed good construct validity and intra-rater reliability in healthy children aged 7–11 years. Acta Paediatr. 2020; 109(11): 2354–5. DOI: 10.1111/apa.15296.
9. Barber N.J., Ako E.O., Kowalik G.T. et al. Magnetic Resonance-Augmented Cardiopulmonary Exercise Testing: Comprehensively Assessing Exercise Intolerance in Children With Cardiovascular Disease. Circ Cardiovasc Imaging. 2016; 9(12): e005282. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.116.005282.
10. Barroso de Queiroz Davoli G., Bartels B., Mattiello-Sverzut A.C., Takken T. Cardiopulmonary exercise testing in neuromuscular disease: a systematic review. Expert Rev Cardiovasc Ther. 2021; 19(11): 975–91. DOI: 10.1080/14779072.2021.2009802.
11. Bartels B., de Groot J.F., Habets L.E. et al. Correlates of Fatigability in Patients With Spinal Muscular Atrophy. Neurology. 2021; 96(6): e845–52. DOI: 10.1212/WNL.0000000000011230.
12. Bendiksen M., Ahler T., Clausen H. et al. The use of Yo-Yo intermittent recovery level 1 and Andersen testing for fitness and maximal heart rate assessments of 6- to 10-year-old school children. J Strength Cond Res. 2013; 27(6): 1583–90. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318270fd0b.
13. Bendiksen M., Williams C.A., Hornstrup T. et al. Heart rate response and fitness effects of various types of physical education for 8- to 9-year-old schoolchildren. Eur J Sport Sci. 2014; 14(8): 861–9. DOI: 10.1080/17461391.2014.884168.
14. Bradley P.S., Mohr M., Bendiksen M. et al. Sub-maximal and maximal Yo-Yo intermittent endurance test level 2: heart rate response, reproducibility and application to elite soccer. Eur J Appl Physiol. 2011; 111(6): 969–78. DOI: 10.1007/s00421-010-1721-2.
15. Burstein D.S., Mcbride M.G., Rossano J.W. et al. Increasing Pump Speed During Exercise Training Improves Exercise Capacity in Children with Ventricular Assist Devices. ASAIO J. 2021; 67(4): 449–56. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001231.
16. Castagna C., Impellizzeri F.M., Chamari K. et al. Aerobic fitness and yo-yo continuous and intermittent tests performances in soccer players: a correlation study. J Strength Cond Res. 2006; 20(2): 320–5. DOI: 10.1519/R-18065.1.
17. Clarke M.M., Zannino D., Stewart N.P. et al. Normative blood pressure response to exercise stress testing in children and adolescents. Open Heart. 2021; 8(2): e001807. DOI: 10.1136/openhrt-2021-001807.
18. Coquart J.B., Garcin M., Parfitt G. et al. Prediction of maximal or peak oxygen uptake from ratings of perceived exertion. Sports Med. 2014; 44(5): 563–78. DOI: 10.1007/s40279-013-0139-5.
19. Cortes R.G., Satomi G., Yoshigi M., Momma K. Maximal hemodynamic response after the Fontan procedure: Doppler evaluation during the treadmill test. Pediatr Cardiol. 1994; 15(4): 170–7. DOI: 10.1007/BF00800671.
20. Cumming G.R., Everatt D., Hastman L. Bruce treadmill test in children: normal values in a clinic population. Am J Cardiol. 1978; 41(1): 69–75. DOI: 10.1016/0002-9149(78)90134-0.
21. Dallmeijer A.J., Scholtes V.A., Brehm M.A., Becher J.G. Test-retest reliability of the 20-sec Wingate test to assess anaerobic power in children with cerebral palsy. Am J Phys Med Rehabil. 2013; 92(9): 762–7. DOI: 10.1097/PHM.0b013e318278a7ab.
22. Dirks I., Koene S., Verbruggen R. et al. Assisted 6-minute cycling test: An exploratory study in children. Muscle Nerve. 2016; 54(2): 232–8. DOI: 10.1002/mus.25021.
23. Duff D.K., De Souza A.M., Human D.G. et al. A novel treadmill protocol for exercise testing in children: the British Columbia Children's Hospital protocol. BMJ Open Sport Exerc Med. 2017; 3(1): e000197. DOI: 10.1136/bmjsem-2016-000197.
24. Eston R.G., Lamb K.L., Bain A. et al. Validity of a perceived exertion scale for children: a pilot study. Percept Mot Skills. 1994; 78: 691–7. DOI: 10.2466/pms.1994.78.2.691.
25. Eston R.G., Lambrick D.M., Rowlands A.V. The perceptual response to exercise of progressively increasing intensity in children aged 7–8 years: validation of a pictorial curvilinear ratings of perceived exertion scale. Psychophysiology. 2009; 46: 843–51. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2009.00826.x.
26. Faulkner J., Eston R. Overall and peripheral ratings of perceived exertion during a graded exercise test to volitional exhaustion in individuals of high and low fitness. Eur J Appl Physiol. 2007; 101(5): 613–20. DOI: 10.1007/s00421-007-0536-2.
27. Fernandes L., Krustrup P., Silva G. et al. Yo-Yo Intermittent Endurance Test-Level 1 to monitor changes in aerobic fitness in pre-pubertal boys. Eur J Sport Sci. 2016; 16(2): 159–64. DOI: 10.1080/17461391.2014.998296.
28. Forbregd T.R., Aloyseus M.A., Berg A., Greve G. Cardiopulmonary Capacity in Children During Exercise Testing: The Differences Between Treadmill and Upright and Supine Cycle Ergometry. Front Physiol. 2019; 10: 1440. DOI: 10.3389/fphys.2019.01440.
29. Geiger R., Strasak A., Treml B. et al. Six-minute walk test in children and adolescents. J Pediatr. 2007; 150(4): 395–9, 399.e1-2. DOI: 10.1016/j.jpeds.2006.12.052.

30. George P.M., Orton C., Ward S. et al. Hypoxic Challenge Testing for Fitness to Fly with Severe Asthma. Aerosp Med Hum Perform. 2016; 87(6): 571–4. DOI: 10.3357/AMHP.4543.2016.
31. Giannitsi S., Bougiakli M., Bechlioulis A. et al. 6-minute walking test: a useful tool in the management of heart failure patients. Ther Adv Cardiovasc Dis. 2019; 13: 1753944719870084. DOI: 10.1177/1753944719870084.
32. Hartman A., Hop W., Takken T. et al. Motor performance and functional exercise capacity in survivors of pediatric acute lymphoblastic leukemia. Pediatr Blood Cancer. 2013; 60(3): 494–9. DOI: 10.1002/pbc.24243.
33. Hartman A., Pluijm SMF., Wijnen M. et al. Health-related fitness in very long-term survivors of childhood cancer: A cross-sectional study. Pediatr Blood Cancer. 2018; 65(4). DOI: 10.1002/pbc.26907.
34. Hoofwijk M., Unnithan V., Bar-Or O. Maximal treadmill performance of children with cerebral palsy. Pediatric Exercise Science. 1995; 7(3): 305–13. DOI: 10.1123/pes.7.3.305.
35. Iturain Barrón A., Quintana Riera S., Reychler G. The 3 Minute Step Test is a validated field test to evaluate the functional exercise capacity in children aged 6 to 12. Respir Med Res. 2021; 80: 100833. DOI: 10.1016/j.resmer.2021.100833.
36. Jansen M., De Jong M., Coes H.M. The assisted 6-minute cycling test to assess endurance in children with a neuromuscular disorder. Muscle Nerve. 2012; 46(4): 520–30. DOI: 10.1002/mus.23369.
37. Kalski L., Wannack M., Wiegand S., Wolfarth B. Comparison of two methods of cardiopulmonary exercise testing for assessing physical fitness in children and adolescents with extreme obesity. Eur J Pediatr. 2022; 181(6): 2389–97. DOI: 10.1007/s00431-022-04434-7.
38. Krull F., Schulze-Neick I., Hatopp A. et al. Exercise capacity and blood pressure response in children and adolescents after renal transplantation. Acta Paediatr. 1994; 83(12): 1296–302. DOI: 10.1111/j.1651-2227.1994.tb13020.x.
39. Lambrick D., Bertelsen H., Eston R. et al. Prediction of peak oxygen uptake in children using submaximal ratings of perceived exertion during treadmill exercise. Eur J Appl Physiol. 2016; 116(6): 1189–95. DOI: 10.1007/s00421-016-3377-z.
40. Leclerc K. Cardiopulmonary exercise testing: A contemporary and versatile clinical tool. Cleve Clin J Med. 2017; 84(2): 161–8. DOI: 10.3949/ccjm.84a.15013. Erratum in: Cleve Clin J Med. 2017; 84(3): 214.
41. Lenk M.K., Alehan D., Celiker A. et al. Bruce treadmill test in healthy Turkish children: endurance time, heart rate, blood pressure and electrocardiographic changes. Turk J Pediatr. 1998; 40(2): 167–75.
42. Li A.M., Yin J., Yu C.C. et al. The six-minute walk test in healthy children: reliability and validity. Eur Respir J. 2005; 25(6): 1057–60. DOI: 10.1183/09031936.05.00134904.
43. Long L., Mordi I.R., Bridges C. et al. Exercise-based cardiac rehabilitation for adults with heart failure. Cochrane Database Syst Rev. 2019; 1(1): CD003331. DOI: 10.1002/14651858.CD003331.pub5.
44. Maggio ABR., Vuistiner P., Crettenand A. et al. Adapting the «Chester step test» to predict peak oxygen uptake in children. Swiss Med Wkly. 2017; 147: w14435. DOI: 10.4414/smw.2017.14435.
45. McDonald C.M., Henricson E.K., Han J.J. et al. The 6-minute walk test as a new outcome measure in Duchenne muscular dystrophy. Muscle Nerve. 2010; 41(4): 500–10. DOI: 10.1002/mus.21544.
46. McMurray R.G., Guion W.K., Ainsworth B.E., Harrell J.S. Predicting aerobic power in children. A comparison of two methods. J Sports Med Phys Fitness. 1998; 38(3): 227–33, 48.
47. Morales Mestre N., Audag N., Caty G., Reychler G. Learning and Encouragement Effects on Six-Minute Walking Test in Children. J Pediatr. 2018; 198: 98–103. DOI: 10.1016/j.jpeds.2018.02.073.
48. Morita A.A., Bisca G.W., Machado FVC. Et al. Best Protocol for the Sit-to-Stand Test in Subjects With COPD. Respir Care. 2018; 63(8): 1040–9. DOI: 10.4187/respcare.05100.
49. Naqvi N., Doughty V.L., Starling L. et al. Hypoxic Challenge Testing (Fitness to Fly) in children with complex congenital heart disease. Heart. 2018; 104(16): 1333–8. DOI: 10.1136/heartjnl-2017-312753.
50. Nielsen MKF., Christensen J.F., Frandsen T.L. et al. Testing physical function in children undergoing intense cancer treatment-a RESPECT feasibility study. Pediatr Blood Cancer. 2018; 65(8): e27100. DOI: 10.1002/pbc.27100.
51. Oleksak F., Spakova B., Durdikova A. et al. Correlation of anthropometric index and cardiopulmonary exercise testing in children with pectus excavatum. Respir Physiol Neurobiol. 2022; 296: 103790. DOI: 10.1016/j.resp.2021.103790.
52. Ozalevli S., Ozden A., Itil O., Akkoclu A. Comparison of the Sit-to-Stand Test with 6 min walk test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Respir Med. 2007; 101(2): 286–93. DOI: 10.1016/j.rmed.2006.05.007.
53. Parker D.F., Carriere L., Hebestreit H., Bar-Or O. Anaerobic endurance and peak muscle power in children with spastic cerebral palsy. Am J Dis Child. 1992; 146(9): 1069–73. DOI: 10.1001/archpedi.1992.02160210071024.
54. Potter C.R., Unnithan V.B. Interpretation and implementation of oxygen uptake kinetics studies in children with spastic cerebral palsy. Dev Med Child Neurol. 2005; 47(5): 353–7. DOI: 10.1017/s0012162205000666.
55. Potterton J., Strehlau R., Shiau S. et al. Evaluation of submaximal endurance in young children living with HIV. S Afr J Physiother. 2022; 78(1): 1613. DOI: 10.4102/sajp.v78i1.1613.

56. Póvoas SCA., Krustrup P., Castagna C. et al. Reliability of Submaximal Yo-Yo Tests in 9- to 16-Year-Old Untrained Schoolchildren. Pediatr Exerc Sci. 2018; 30(4): 537–45. DOI: 10.1123/pes.2017-0139.
57. Prenzel F., Vogel M., Siekmeyer W. et al. Exercise capacity in children with bronchopulmonary dysplasia at school age. Respir Med. 2020; 171: 106102. DOI: 10.1016/j.rmed.2020.106102.
58. Quinn T.J., Smith S.W., Vroman N.B. et al. Physiologic responses of cardiac patients to supine, recumbent, and upright cycle ergometry. Arch Phys Med Rehabil. 1995; 76(3): 257–61. DOI: 10.1016/s0003-9993(95)80612-1.
59. Radtke T., Nevitt S.J., Hebestreit H., Kriemler S. Physical exercise training for cystic fibrosis. Cochrane Database Syst Rev. 2017; 11(11): CD002768. DOI: 10.1002/14651858.CD002768.pub4.
60. Rampinini E., Sassi A., Azzalin A. et al. Physiological determinants of Yo-Yo intermittent recovery tests in male soccer players. Eur J Appl Physiol. 2010; 108(2): 401–9. DOI: 10.1007/s00421-009-1221-4.
61. Riley M., Brotherston S., Kelly P. et al. Modified hypoxic challenge testing in children needing nocturnal ventilation: An observational study. Pediatr Pulmonol. 2022. DOI: 10.1002/ppul.26163.
62. Roemmich J.N., Barkley J.E., Epstein L.H. et al. Validity of PCERT and OMNI walk/run ratings of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc. 2006; 38: 1014–9. DOI: 10.1249/01.mss.0000218123.81079.49.
63. Soliman G.S., Azab A.R., Abdelbasset W.K. Effects of intermittent aerobic training on exercise capacity, pulmonary functions, and gait parameters in asthmatic children with cerebral palsy: a randomized controlled trial. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2022; 26(19): 6911–8. DOI: 10.26355/eurrev_202210_29871.
64. Souza M.S., Cardoso A.L., Yasbek P.Jr., Faintuch J. Aerobic endurance, energy expenditure, and serum leptin response in obese, sedentary, prepubertal children and adolescents participating in a short-term treadmill protocol. Nutrition. 2004; 20(10): 900–4. DOI: 10.1016/j.nut.2004.07.001.
65. Stewart J.M., Boris J.R., Chelimsky G. et al. Pediatric Writing Group of the American Autonomic Society. Pediatric Disorders of Orthostatic Intolerance. Pediatrics. 2018; 141(1): e20171673. DOI: 10.1542/peds.2017-1673.
66. Takken T., Sonbahar Ulu. H., Hulzebos E.H.J. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing in children with respiratory diseases. Expert Rev Respir Med. 2020; 14(7): 691–701. DOI: 10.1080/17476348.2020.1752195.
67. Tsolakis C., Cherouveim E.D., Skouras A.Z. et al. The Impact of Obesity on the Fitness Performance of School-Aged Children Living in Rural Areas-The West Attica Project. Int J Environ Res Public Health. 2022; 19(18): 11476. DOI: 10.3390/ijerph191811476.
68. van Brussel M., Takken T., van der Net J. et al. Physical function and fitness in long-term survivors of childhood leukaemia. Pediatr Rehabil. 2006; 9(3): 267–74. DOI: 10.1080/13638490500523150.
69. Vilke G.M., Chan T.C., Neuman T., Clausen J.L. Spirometry in normal subjects in sitting, prone, and supine positions. Respir Care. 2000; 45(4): 407–10.
70. Xu F., Rhodes E.C. Oxygen uptake kinetics during exercise. Sports Med. 1999; 27(5): 313–27. DOI: 10.2165/00007256-199927050-00003.
71. Yelling M., Lamb K.L., Swaine I.L. Validity of a pictorial perceived exertion scale for effort estimation and effort production during stepping exercise in adolescent children. Eur Phys Educ Rev. 2002; 8: 157–75. DOI: 10.1177/1356336X020082007.
72. Yu X., Li X., Wang L. Pulmonary Rehabilitation for Exercise Tolerance and Quality of Life in IPF Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. Biomed Res Int. 2019; 2019: 8498603. DOI: 10.1155/2019/8498603.
73. Zeren M., Gurses H.N., Denizoglu Kulli H. et al. Sit-to-stand test in children with bronchiectasis: Does it measure functional exercise capacity? Heart Lung. 2020; 49(6): 796–802. DOI: 10.1016/j.hrtlng.2020.09.017.
74. Zhang H., Chen Y., Zheng T. et al. Factors Affecting the Exercise Capacity in Pediatric Primary Hypertension. Front Pediatr. 2022; 10: 882223. DOI: 10.3389/fped.2022.882223.

REFERENCES

1. Prikaz Ministerstva zdravookhraneniya RF ot 31 iyulya 2020 g. № 788n “Ob utverzhdenii Poryadka organizatsii meditsinskoy reabilitatsii vzroslykh” [“On Approval of the Procedure for Organization of Medical Rehabilitation of Adults”]. (in Russian).
2. Lupanov V.P., Nuraliyev E.Yu., Sergiyenko I.V. Funktsional’nyye nagruzochnyye proby v diagnostike ishemicheskoy bolezni serdtsa, otsenke riska oslozhneniy i prognoza [Functional stress tests in the diagnosis of coronary heart disease, risk assessment of complications and prognosis]. Monografiya. Moskva; 2016. (in Russian).
3. Chazov Ye. I. Rukovodstvo po kardiologii v chetyrekh tomakh [A guide to cardiology in four volumes]. Moskva; 2014. (in Russian).
4. Albouaini K., Egred M., Alahmar A., Wright D.J. Cardiopulmonary exercise testing and its application. Postgrad Med J. 2007; 83(985): 675–82. DOI: 10.1136/hrt.2007.121558.
5. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. Am J Respir Crit Care Med. 2003; 167(2): 211–77. DOI: 10.1164/rccm.167.2.211.
6. Arlaud K., Stremler-Le Bel N., Michel G., Dubus J.C. Step-test 3-minutes: étude de faisabilité chez l’enfant transplanté médullaire [3-min step test: feasibility

study for children with bone marrow transplantation]. Rev Mal Respir. 2008; 25(1): 27–32. French. DOI: 10.1016/s0761-8425(08)70463-7.

7. Balemans A.C., Van Wely .L, De Heer S.J. et al. Maximal aerobic and anaerobic exercise responses in children with cerebral palsy. Med Sci Sports Exerc. 2013; 45(3): 561–8. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3182732b2f.
8. Baptista Teixeira J., Ferreira STBP., Bernardino MEC. et al. The three-minute step test showed good construct validity and intra-rater reliability in healthy children aged 7–11 years. Acta Paediatr. 2020; 109(11): 2354–5. DOI: 10.1111/apa.15296.
9. Barber N.J., Ako E.O., Kowalik G.T. et al. Magnetic Resonance-Augmented Cardiopulmonary Exercise Testing: Comprehensively Assessing Exercise Intolerance in Children With Cardiovascular Disease. Circ Cardiovasc Imaging. 2016; 9(12): e005282. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.116.005282.
10. Barroso de Queiroz Davoli G., Bartels B., Mattiello-Sverzut A.C., Takken T. Cardiopulmonary exercise testing in neuromuscular disease: a systematic review. Expert Rev Cardiovasc Ther. 2021; 19(11): 975–91. DOI: 10.1080/14779072.2021.2009802.
11. Bartels B., de Groot J.F., Habets L.E. et al. Correlates of Fatigability in Patients With Spinal Muscular Atrophy. Neurology. 2021; 96(6): e845–52. DOI: 10.1212/WNL.0000000000011230.
12. Bendiksen M., Ahler T., Clausen H. et al. The use of Yo-Yo intermittent recovery level 1 and Andersen testing for fitness and maximal heart rate assessments of 6- to 10-year-old school children. J Strength Cond Res. 2013; 27(6): 1583–90. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318270fd0b.
13. Bendiksen M., Williams C.A., Hornstrup T. et al. Heart rate response and fitness effects of various types of physical education for 8- to 9-year-old schoolchildren. Eur J Sport Sci. 2014; 14(8): 861–9. DOI: 10.1080/17461391.2014.884168.
14. Bradley P.S., Mohr M., Bendiksen M. et al. Sub-maximal and maximal Yo-Yo intermittent endurance test level 2: heart rate response, reproducibility and application to elite soccer. Eur J Appl Physiol. 2011; 111(6): 969–78. DOI: 10.1007/s00421-010-1721-2.
15. Burstein D.S., Mcbride M.G., Rossano J.W. et al. Increasing Pump Speed During Exercise Training Improves Exercise Capacity in Children with Ventricular Assist Devices. ASAIO J. 2021; 67(4): 449–56. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001231.
16. Castagna C., Impellizzeri F.M., Chamari K. et al. Aerobic fitness and yo-yo continuous and intermittent tests performances in soccer players: a correlation study. J Strength Cond Res. 2006; 20(2): 320–5. DOI: 10.1519/R-18065.1.
17. Clarke M.M., Zannino D., Stewart N.P. et al. Normative blood pressure response to exercise stress testing in children and adolescents. Open Heart. 2021; 8(2): e001807. DOI: 10.1136/openhrt-2021-001807.
18. Coquart J.B., Garcin M., Parfitt G. et al. Prediction of maximal or peak oxygen uptake from ratings of perceived exertion. Sports Med. 2014; 44(5): 563–78. DOI: 10.1007/s40279-013-0139-5.
19. Cortes R.G., Satomi G., Yoshigi M., Momma K. Maximal hemodynamic response after the Fontan procedure: Doppler evaluation during the treadmill test. Pediatr Cardiol. 1994; 15(4): 170–7. DOI: 10.1007/BF00800671.
20. Cumming G.R., Everatt D., Hastman L. Bruce treadmill test in children: normal values in a clinic population. Am J Cardiol. 1978; 41(1): 69–75. DOI: 10.1016/0002-9149(78)90134-0.
21. Dallmeijer A.J., Scholtes V.A., Brehm M.A., Becher J.G. Test-retest reliability of the 20-sec Wingate test to assess anaerobic power in children with cerebral palsy. Am J Phys Med Rehabil. 2013; 92(9): 762–7. DOI: 10.1097/PHM.0b013e318278a7ab.
22. Dirks I., Koene S., Verbruggen R. et al. Assisted 6-minute cycling test: An exploratory study in children. Muscle Nerve. 2016; 54(2): 232–8. DOI: 10.1002/mus.25021.
23. Duff D.K., De Souza A.M., Human D.G. et al. A novel treadmill protocol for exercise testing in children: the British Columbia Children's Hospital protocol. BMJ Open Sport Exerc Med. 2017; 3(1): e000197. DOI: 10.1136/bmjsem-2016-000197.
24. Eston R.G., Lamb K.L., Bain A. et al. Validity of a perceived exertion scale for children: a pilot study. Percept Mot Skills. 1994; 78: 691–7. DOI: 10.2466/pms.1994.78.2.691.
25. Eston R.G., Lambrick D.M., Rowlands A.V. The perceptual response to exercise of progressively increasing intensity in children aged 7–8 years: validation of a pictorial curvilinear ratings of perceived exertion scale. Psychophysiology. 2009; 46: 843–51. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2009.00826.x.
26. Faulkner J., Eston R. Overall and peripheral ratings of perceived exertion during a graded exercise test to volitional exhaustion in individuals of high and low fitness. Eur J Appl Physiol. 2007; 101(5): 613–20. DOI: 10.1007/s00421-007-0536-2.
27. Fernandes L., Krustrup P., Silva G. et al. Yo-Yo Intermittent Endurance Test-Level 1 to monitor changes in aerobic fitness in pre-pubertal boys. Eur J Sport Sci. 2016; 16(2): 159–64. DOI: 10.1080/17461391.2014.998296.
28. Forbregd T.R., Aloyseus M.A., Berg A., Greve G. Cardiopulmonary Capacity in Children During Exercise Testing: The Differences Between Treadmill and Upright and Supine Cycle Ergometry. Front Physiol. 2019; 10: 1440. DOI: 10.3389/fphys.2019.01440.
29. Geiger R., Strasak A., Treml B. et al. Six-minute walk test in children and adolescents. J Pediatr. 2007; 150(4): 395–9, 399.e1-2. DOI: 10.1016/j.jpeds.2006.12.052.

30. George P.M., Orton C., Ward S. et al. Hypoxic Challenge Testing for Fitness to Fly with Severe Asthma. Aerosp Med Hum Perform. 2016; 87(6): 571–4. DOI: 10.3357/AMHP.4543.2016.
31. Giannitsi S., Bougiakli M., Bechlioulis A. et al. 6-minute walking test: a useful tool in the management of heart failure patients. Ther Adv Cardiovasc Dis. 2019; 13: 1753944719870084. DOI: 10.1177/1753944719870084.
32. Hartman A., Hop W., Takken T. et al. Motor performance and functional exercise capacity in survivors of pediatric acute lymphoblastic leukemia. Pediatr Blood Cancer. 2013; 60(3): 494–9. DOI: 10.1002/pbc.24243.
33. Hartman A., Pluijm SMF., Wijnen M. et al. Health-related fitness in very long-term survivors of childhood cancer: A cross-sectional study. Pediatr Blood Cancer. 2018; 65(4). DOI: 10.1002/pbc.26907.
34. Hoofwijk M., Unnithan V., Bar-Or O. Maximal treadmill performance of children with cerebral palsy. Pediatric Exercise Science. 1995; 7(3): 305–13. DOI: 10.1123/pes.7.3.305.
35. Iturain Barrón A., Quintana Riera S., Reychler G. The 3 Minute Step Test is a validated field test to evaluate the functional exercise capacity in children aged 6 to 12. Respir Med Res. 2021; 80: 100833. DOI: 10.1016/j.resmer.2021.100833.
36. Jansen M., De Jong M., Coes H.M. The assisted 6-minute cycling test to assess endurance in children with a neuromuscular disorder. Muscle Nerve. 2012; 46(4): 520–30. DOI: 10.1002/mus.23369.
37. Kalski L., Wannack M., Wiegand S., Wolfarth B. Comparison of two methods of cardiopulmonary exercise testing for assessing physical fitness in children and adolescents with extreme obesity. Eur J Pediatr. 2022; 181(6): 2389–97. DOI: 10.1007/s00431-022-04434-7.
38. Krull F., Schulze-Neick I., Hatopp A. et al. Exercise capacity and blood pressure response in children and adolescents after renal transplantation. Acta Paediatr. 1994; 83(12): 1296–302. DOI: 10.1111/j.1651-2227.1994.tb13020.x.
39. Lambrick D., Bertelsen H., Eston R. et al. Prediction of peak oxygen uptake in children using submaximal ratings of perceived exertion during treadmill exercise. Eur J Appl Physiol. 2016; 116(6): 1189–95. DOI: 10.1007/s00421-016-3377-z.
40. Leclerc K. Cardiopulmonary exercise testing: A contemporary and versatile clinical tool. Cleve Clin J Med. 2017; 84(2): 161–8. DOI: 10.3949/ccjm.84a.15013. Erratum in: Cleve Clin J Med. 2017; 84(3): 214.
41. Lenk M.K., Alehan D., Celiker A. et al. Bruce treadmill test in healthy Turkish children: endurance time, heart rate, blood pressure and electrocardiographic changes. Turk J Pediatr. 1998; 40(2): 167–75.
42. Li A.M., Yin J., Yu C.C. et al. The six-minute walk test in healthy children: reliability and validity. Eur Respir J. 2005; 25(6): 1057–60. DOI: 10.1183/09031936.05.00134904.
43. Long L., Mordi I.R., Bridges C. et al. Exercise-based cardiac rehabilitation for adults with heart failure. Cochrane Database Syst Rev. 2019; 1(1): CD003331. DOI: 10.1002/14651858.CD003331.pub5.
44. Maggio ABR., Vuistiner P., Crettenand A. et al. Adapting the «Chester step test» to predict peak oxygen uptake in children. Swiss Med Wkly. 2017; 147: w14435. DOI: 10.4414/smw.2017.14435.
45. McDonald C.M., Henricson E.K., Han J.J. et al. The 6-minute walk test as a new outcome measure in Duchenne muscular dystrophy. Muscle Nerve. 2010; 41(4): 500–10. DOI: 10.1002/mus.21544.
46. McMurray R.G., Guion W.K., Ainsworth B.E., Harrell J.S. Predicting aerobic power in children. A comparison of two methods. J Sports Med Phys Fitness. 1998; 38(3): 227–33, 48.
47. Morales Mestre N., Audag N., Caty G., Reychler G. Learning and Encouragement Effects on Six-Minute Walking Test in Children. J Pediatr. 2018; 198: 98–103. DOI: 10.1016/j.jpeds.2018.02.073.
48. Morita A.A., Bisca G.W., Machado FVC. Et al. Best Protocol for the Sit-to-Stand Test in Subjects With COPD. Respir Care. 2018; 63(8): 1040–9. DOI: 10.4187/respcare.05100.
49. Naqvi N., Doughty V.L., Starling L. et al. Hypoxic Challenge Testing (Fitness to Fly) in children with complex congenital heart disease. Heart. 2018; 104(16): 1333–8. DOI: 10.1136/heartjnl-2017-312753.
50. Nielsen MKF., Christensen J.F., Frandsen T.L. et al. Testing physical function in children undergoing intense cancer treatment-a RESPECT feasibility study. Pediatr Blood Cancer. 2018; 65(8): e27100. DOI: 10.1002/pbc.27100.
51. Oleksak F., Spakova B., Durdikova A. et al. Correlation of anthropometric index and cardiopulmonary exercise testing in children with pectus excavatum. Respir Physiol Neurobiol. 2022; 296: 103790. DOI: 10.1016/j.resp.2021.103790.
52. Ozalevli S., Ozden A., Itil O., Akkoclu A. Comparison of the Sit-to-Stand Test with 6 min walk test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Respir Med. 2007; 101(2): 286–93. DOI: 10.1016/j.rmed.2006.05.007.
53. Parker D.F., Carriere L., Hebestreit H., Bar-Or O. Anaerobic endurance and peak muscle power in children with spastic cerebral palsy. Am J Dis Child. 1992; 146(9): 1069–73. DOI: 10.1001/archpedi.1992.02160210071024.
54. Potter C.R., Unnithan V.B. Interpretation and implementation of oxygen uptake kinetics studies in children with spastic cerebral palsy. Dev Med Child Neurol. 2005; 47(5): 353–7. DOI: 10.1017/s0012162205000666.
55. Potterton J., Strehlau R., Shiau S. et al. Evaluation of submaximal endurance in young children living with

HIV. S Afr J Physiother. 2022; 78(1): 1613. DOI: 10.4102/sajp.v78i1.1613.
56. Póvoas SCA., Krustrup P., Castagna C. et al. Reliability of Submaximal Yo-Yo Tests in 9- to 16-Year-Old Untrained Schoolchildren. Pediatr Exerc Sci. 2018; 30(4): 537–45. DOI: 10.1123/pes.2017-0139.
57. Prenzel F., Vogel M., Siekmeyer W. et al. Exercise capacity in children with bronchopulmonary dysplasia at school age. Respir Med. 2020; 171: 106102. DOI: 10.1016/j.rmed.2020.106102.
58. Quinn T.J., Smith S.W., Vroman N.B. et al. Physiologic responses of cardiac patients to supine, recumbent, and upright cycle ergometry. Arch Phys Med Rehabil. 1995; 76(3): 257–61. DOI: 10.1016/s0003-9993(95)80612-1.
59. Radtke T., Nevitt S.J., Hebestreit H., Kriemler S. Physical exercise training for cystic fibrosis. Cochrane Database Syst Rev. 2017; 11(11): CD002768. DOI: 10.1002/14651858.CD002768.pub4.
60. Rampinini E., Sassi A., Azzalin A. et al. Physiological determinants of Yo-Yo intermittent recovery tests in male soccer players. Eur J Appl Physiol. 2010; 108(2): 401–9. DOI: 10.1007/s00421-009-1221-4.
61. Riley M., Brotherston S., Kelly P. et al. Modified hypoxic challenge testing in children needing nocturnal ventilation: An observational study. Pediatr Pulmonol. 2022. DOI: 10.1002/ppul.26163.
62. Roemmich J.N., Barkley J.E., Epstein L.H. et al. Validity of PCERT and OMNI walk/run ratings of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc. 2006; 38: 1014–9. DOI: 10.1249/01.mss.0000218123.81079.49.
63. Soliman G.S., Azab A.R., Abdelbasset W.K. Effects of intermittent aerobic training on exercise capacity, pulmonary functions, and gait parameters in asthmatic children with cerebral palsy: a randomized controlled trial. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2022; 26(19): 6911–8. DOI: 10.26355/eurrev_202210_29871.
64. Souza M.S., Cardoso A.L., Yasbek P.Jr., Faintuch J. Aerobic endurance, energy expenditure, and serum leptin response in obese, sedentary, prepubertal children and adolescents participating in a short-term treadmill protocol. Nutrition. 2004; 20(10): 900–4. DOI: 10.1016/j.nut.2004.07.001.
65. Stewart J.M., Boris J.R., Chelimsky G. et al. Pediatric Writing Group of the American Autonomic Society. Pediatric Disorders of Orthostatic Intolerance. Pediatrics. 2018; 141(1): e20171673. DOI: 10.1542/peds.2017-1673.
66. Takken T., Sonbahar Ulu. H., Hulzebos E.H.J. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing in children with respiratory diseases. Expert Rev Respir Med. 2020; 14(7): 691–701. DOI: 10.1080/17476348.2020.1752195.
67. Tsolakis C., Cherouveim E.D., Skouras A.Z. et al. The Impact of Obesity on the Fitness Performance of School-Aged Children Living in Rural Areas-The West Attica Project. Int J Environ Res Public Health. 2022; 19(18): 11476. DOI: 10.3390/ijerph191811476.
68. van Brussel M., Takken T., van der Net J. et al. Physical function and fitness in long-term survivors of childhood leukaemia. Pediatr Rehabil. 2006; 9(3): 267–74. DOI: 10.1080/13638490500523150.
69. Vilke G.M., Chan T.C., Neuman T., Clausen J.L. Spirometry in normal subjects in sitting, prone, and supine positions. Respir Care. 2000; 45(4): 407–10.
70. Xu F., Rhodes E.C. Oxygen uptake kinetics during exercise. Sports Med. 1999; 27(5): 313–27. DOI: 10.2165/00007256-199927050-00003.
71. Yelling M., Lamb K.L., Swaine I.L. Validity of a pictorial perceived exertion scale for effort estimation and effort production during stepping exercise in adolescent children. Eur Phys Educ Rev. 2002; 8: 157–75. DOI: 10.1177/1356336X020082007.
72. Yu X., Li X., Wang L. Pulmonary Rehabilitation for Exercise Tolerance and Quality of Life in IPF Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. Biomed Res Int. 2019; 2019: 8498603. DOI: 10.1155/2019/8498603.
73. Zeren M., Gurses H.N., Denizoglu Kulli H. et al. Sit-to-stand test in children with bronchiectasis: Does it measure functional exercise capacity? Heart Lung. 2020; 49(6): 796–802. DOI: 10.1016/j.hrtlng.2020.09.017.
74. Zhang H., Chen Y., Zheng T. et al. Factors Affecting the Exercise Capacity in Pediatric Primary Hypertension. Front Pediatr. 2022; 10: 882223. DOI: 10.3389/fped.2022.882223.