

## МЕТОДЫ В ВОЗРАСТНОЙ ФИЗИОЛОГИИ

### ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

В.Д.Сонькин<sup>1</sup>

Институт возрастной физиологии РАО, Москва  
Российский государственный университет  
физической культуры, спорта и туризма, Москва

*В статье на основании данных литературы и результатов собственных исследований автора проведен анализ существующих методических подходов к исследованию физической работоспособности. Приведена характеристика трех основных подходов к исследованию работоспособности – эргометрического, физиологического и энергетического, приводятся краткие исторические данные о развитии научных представлений в рамках каждого из этих подходов.*

*Предложена классификация тестов для оценки различных аспектов работоспособности с учетом их предназначения для характеристики мощности, емкости или экономичности того или иного источника энергии.*

**Ключевые слова:** *детский возраст, подростковый возраст, работоспособность физическая*

**Summary:** *Based on literature data and own investigations the authors analyze the methodology for studying physical ability. The paper describes tree main approaches to the study of physical ability: ergometric, physiological and energetic, with concise history of development of each of the approaches. The authors suggest classification of tests assessing different aspects of physical ability with regard to power, capacitance and economy of energy source.*

До сих пор не существует единого, общепринятого определения понятия «работоспособность». Тем не менее, этим понятием широко пользуются физиологи, педагоги, врачи и другие специалисты, сталкивающиеся в своей работе с проявлениями физических возможностей человека. Работоспособность – это комплексное понятие, которое можно определить примерно так: **Физическая работоспособность** – это интегральная психофизическая характеристика организма, отражающая свойства скелетных мышц, вегетативное, субстратное и энергетическое обеспечение, нервную и гуморальную регуляцию, а также нервно-психические свойства и мотивацию индивидуума, количественно выражающаяся в величине объема и (или) интенсивности (мощности, скорости) произве-

---

Контакты: <sup>1</sup> В.Д.Сонькин, зав.лаб.физиологии мышечной деятельности Института возрастной физиологии РАО; зав. кафедрой физиологии РГУФКСиТ; E-mail:Sonkin@mail.ru

**денной механической работы.** За 100 лет научного изучения физической работоспособности человека были разработаны всего 3 основных подхода к решению этой проблемы (Табл.1).

Таблица 1

*Научные подходы к изучению и оценке работоспособности*

№	Условное название	Основоположник	Основные измеряемые характеристики
1	<b>Эргометрический</b>	А.Моссо, 1893	Время (t), Мощность (W), Работа (A)
2	<b>Физиологический</b>	А.Hill, 1927	ЧСС, МПК, АП, PWC <sub>170</sub> , МКД
3	<b>Энергетический</b>	R.Margaria, 1963	Мощность (W) и Емкость (E) 3-х источников энергии

Физиологический подход основан на установленной А.Хиллом [30] линейной зависимости показателей деятельности вегетативных систем организма от мощности (интенсивности) физической работы. Это увеличение, однако, не беспредельно, каждый из показателей имеет свой "потолок", причем мощность нагрузки, при которой достигается максимальный уровень физиологической функции, отражает функциональный резерв соответствующей вегетативной функции. По этой причине в рамках физиологического подхода рассматриваются две группы показателей: скорость нарастания функции при увеличении нагрузки (угол наклона кривой) и абсолютный предел активности функции. В общем случае принято считать, что чем меньше скорость нарастания функции и чем выше абсолютный предел ее активности, тем выше уровень физической работоспособности. Важно учитывать, что во избежание грубых ошибок в оценках следует рассматривать обе эти характеристики совместно.

Некоторые популярные тесты, используемые для оценки работоспособности в аэробном диапазоне нагрузок (например, тест PWC<sub>170</sub>), предполагают в качестве неременного условия корректности их проведения достижение «устойчивого состояния» в деятельности вегетативных систем на каждом из этапов такого тестирования. Несоблюдение этого условия – довольно типичная ошибка, приводящая к неверным результатам [7]. Особо следует учитывать, что дети младше 6 лет, у которых еще не завершился полуростовой скачок, не способны по физиологическим причинам удерживать «устойчивое состояние» большинства функций [19]. По этой причине измерение показателей работоспособности в аэробной зоне мощности (в том числе – PWC<sub>170</sub>) у детей дошкольного возраста не имеет физиологического смысла.

Необходимо подчеркнуть, что физиологический подход к оценке работоспособности для лиц любого возраста имеет жесткие ограничения применимости: он

способен характеризовать физические кондиции человека только в диапазоне нагрузок от уровня покоя до критической мощности, то есть до достижения максимального потребления кислорода (МПК). С одной стороны, это тот диапазон мощностей, в котором проходит практически вся обычная жизнь человека. С другой стороны, это – всего лишь 1/4 или даже 1/5 полного диапазона мощностей мышечных нагрузок, доступных человеку. Интенсивные нагрузки, которые составляют основу игровой и спортивной деятельности ребенка и взрослого, а также некоторых видов трудовых процессов, в этот диапазон не входят и, следовательно, соответствующие тесты и показатели полноценно их охарактеризовать не могут. Тем более что между разными сторонами физических кондиций человека взаимосвязи могут быть весьма слабы или даже отсутствуют вовсе [25, 28, 31, 32, 38, 40].

**Энергетический подход** базируется на концепции R.Margaria [36, 37] и предполагает оценку мощности, емкости и экономичности каждого из трех источников энергии, функционирующих в скелетной мышце: аэробного, анаэробного гликолитического и анаэробного фосфагенного.

Энергетический подход к оценке работоспособности в еще большей мере, чем физиологический, страдает от недостатка хорошо разработанных тестов. Это существенно затрудняет проведение исследований в рамках этих подходов и особенно – трактовку получаемых результатов.

**Эргометрический подход** состоит в непосредственном измерении объема и интенсивности выполняемой работы. Использование нелинейной математической модели Мюллера [23] позволяет оценивать мощность всех трех энергетических систем, а также интегральную емкость энергетических систем организма [8;17;18]. Зародившись первым еще в конце XIX века, этот подход в последние годы вновь приобрел множество сторонников благодаря своей простоте и надежности [3;12;14;16;20;27;34]. В то же время, эргометрические методы не дают возможность оценить экономичность и «физиологическую стоимость» выполняемой мышечной работы (10). По этой причине для целей индивидуальной диагностики они должны сочетаться с измерениями физиологических показателей [17] простейшим из которых является частота сокращений сердца в процессе выполнения нагрузки и в восстановительном периоде после ее завершения [2; 6].

### ***Классификация тестов для оценки физической работоспособности***

Разработка тестов для оценки работоспособности фактически положила начало физиологии мышечной деятельности [15]. Во второй половине XX века были разработаны строгие протоколы проведения самых популярных тестов [26; 33;35;41] и модификации некоторых из них для детей и подростков [1; 7], выпущено немало руководств по тестированию [2;6;24 и др.], однако на сегодняшний день не существует ни единого, всеми безоговорочно признаваемого подхода к тестированию и трактовке его результатов, особенно для характеристики анаэробных диапазонов нагрузок [40], ни даже номенклатуры широко используемых тестов. Между тем, потребность в такого рода физиологической классификации тестов для оценки работоспособности именно с точки зрения того, что они отра-

жают, давно назрела. Мне представляется, что должна быть создана своеобразная «периодическая таблица» тестов, незаполненные клеточки которой обозначат направления дальнейшего поиска.

В качестве основы для составления такой таблицы представляется перспективным энергетический подход, разработанный R.Margaria [36, 37], успешно использованный Н.И.Волковым [4], В.С.Фарфелем [23], В.Л.Уткиным [21] и многими другими исследователями. Согласно этому подходу, для всесторонней оценки физической работоспособности человека необходимо оценить для каждого из 3 источников энергопродукции – аэробного, лактаcidного и фосфагенного – 3 основных параметра: мощность, емкость и экономичность. Чтобы эта «периодическая таблица» действительно отражала весь комплекс физических возможностей, следовало бы учесть также то обстоятельство, что между разными группами скелетных мышц нет однозначных взаимосвязей: высокая работоспособность мышц нижних конечностей вовсе не свидетельствует о такой же высокой работоспособности мышц рук или туловища, и наоборот [13;17]. По этой причине рассматриваемая таблица, теоретически, должна быть, по крайней мере 3-мерной, то есть содержать полный набор тестов (по 3 параметра для каждого из 3 источников энергообеспечения) для 3-х основных групп мышц: верхних конечностей и плечевого пояса; туловища, нижних конечностей и тазового пояса. Таким образом, минимальный набор для всестороннего описания работоспособности человека составляет 27 тестов и соответствующих им показателей. Кроме того, придется учитывать, что далеко не все тесты и эргометры пригодны для измерения работы любой группы мышц. Следует различать также тесты для оценки глобальной работы, вовлекающей все группы мышц (например, с применением гребных эргометров) и тесты для оценки региональной либо локальной работы и т.п. Наконец, должны разделяться циклические и ациклические, а также статические виды физической нагрузки. В итоге предполагаемая «периодическая таблица» будет содержать по меньшей мере  $3^6$  ячеек. Такая многомерная классификация тестов еще ждет своего создателя.

Важно подчеркнуть, что не существует и *принципиально* не может существовать единый тест, позволяющий оценить все энергетические параметры всех трех источников энергии. Даже измерить мощность и емкость одного источника в одном тесте невозможно. Дело в том, что мощность нагрузки, определяющая активацию того или иного источника энергии, и ее предельная длительность, отражающая емкость активного источника, связаны между собой нелинейной зависимостью [5; 10; 22, 23]. Для измерения максимальной мощности того или иного источника мы можем использовать либо нарастающую нагрузку, либо фиксированное время выполнения нагрузки с оценкой средней (либо пиковой) мощности произведенной работы. В обоих случаях одновременное измерение максимальной емкости источника невозможно: в первом случае – из-за кумулятивного эффекта нарастающего утомления, во втором – по определению, так как экспериментатор сознательно ограничивает время выполнения работы и регистрирует ее объем. Если же мы измеряем емкость, то вынуждены задавать фиксированную мощность, иначе неясно, емкость какого именно источника мы измеряем. В этом

Таблица 2

Тесты и показатели для оценки мощности, емкости и экономичности энергетических источников при циклической мышечной работе

Источник	Мощность	Емкость	Экономичность
<b>Аэробный</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• МПК</li> <li>• <math>PWC_{170}</math></li> <li>• АП</li> <li>• ЧСС<sub>макс</sub></li> <li>• <math>W_{900}</math></li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ватт-пульс</li> <li>• Пульсовая стоимость единицы работы</li> <li>• Кислородная стоимость единицы работы</li> </ul>
<b>Лактацидный</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вингейтский тест</li> <li>• Тест Tornval E.</li> <li>• <math>W_{240}</math></li> <li>• <math>W_{40}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• МФ МКД</li> <li>• Максимальная концентрация лактата в крови</li> <li>• Тест удержания критической мощности</li> <li>• Коэффициент <math>K</math> уравнения Мюллера</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Гарвардский степ-тест</li> <li>• ИНПД</li> </ul>
<b>Фосфагенный</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Лестничный тест Margaria R.</li> <li>• Тест МАМ</li> <li>• <math>W_{max}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• БФ МКД</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ИНПД</li> </ul>
<b>Расшифровка сокращений</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• МПК – максимальное потребление кислорода</li> <li>• <math>PWC_{170}</math> – мощность нагрузки, при которой пульс достигает 170 уд/мин</li> <li>• АП – анаэробный порог</li> <li>• ЧСС<sub>макс</sub> – максимальная частота сокращений сердца</li> <li>• <math>W_{40}</math> – мощность циклической работы, которую человек способен поддерживать в течение 40 секунд (рассчитывается с помощью уравнения Мюллера на основании результатов двух циклических тестов на предельное время удержания нагрузки в двух разных зонах мощности), примерно соответствует верхней границе зоны субмаксимальной мощности (8)</li> <li>• <math>W_{240}</math> – мощность циклической работы, которую человек способен поддерживать в течение 240 секунд, примерно соответствует верхней границе зоны большой мощности (8)</li> <li>• <math>W_{900}</math> – мощность циклической работы, которую человек способен поддерживать в течение 900 секунд, примерно соответствует верхней границе зоны умеренной мощности (8)</li> <li>• <math>W_{max}</math> – мощность циклической работы, которую человек способен поддерживать в течение 1 секунды, примерно соответствует МАМ (8)</li> <li>• МАМ – максимальная анаэробная мощность в циклическом упражнении (4)</li> <li>• МФ МКД – медленная (лактацидная) фракция максимального кислородного долга (4;37)</li> <li>• БФ МКД – быстрая (алактацидная) фракция максимального кислородного долга (4;37)</li> <li>• ИНПД – интенсивность накопления пульсового долга (11)</li> </ul>		

проявляется своеобразный физиологический принцип «неопределенности», сходный по своей сути с аналогичным принципом квантовой физики, осознание которого важно для правильной трактовки получаемых результатов.

В табл. 2 представлены основные тесты и показатели, используемые сегодня во всем мире для оценки различных сторон работоспособности, в том числе – детей школьного возраста. Следует подчеркнуть, что наиболее разработанными являются тесты для измерения аэробной мощности и экономичности циклической аэробной работы. Все остальные тесты разработаны значительно в меньшей степени, а трактовка их результатов порой вызывает серьезные споры среди специалистов. Так например, весьма популярным показателем в спортивной практике является максимальный уровень лактата в периферической крови. Между тем, этот показатель зависит от множества факторов, и его прямолинейная трактовка вызывает серьезные возражения авторитетных ученых [29; 42; 1990].

Фактически, представленным набором тестов исчерпываются сегодняшние возможности корректной оценки работоспособности. При этом, если для оценки мощности энергетических систем существует несколько достаточно надежных тестов, то емкость остается чаще всего вне поля зрения исследователей. Между тем, анализ эргометрических зависимостей показывает, что увеличение мощности энергетической системы на 20–30% приводит к 5–10-кратному повышению емкости [10]. По этой причине, показатели емкости, если их удастся измерить, оказываются не только намного чувствительнее, но и значительно информативнее, чем показатели мощности. Следует подчеркнуть, что на протяжении школьного онтогенеза (от 7 до 17 лет) мощность разных источников энергообеспечения возрастает (в относительном выражении, то есть в расчете на 1 кг массы тела) примерно от 20 до 200%, тогда как емкость увеличивается в десятки раз [10;19].

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Развитие механизмов энергетического обеспечения мышечной деятельности в процессе онтогенеза или спортивной тренировки представляет собой сложный, нелинейный и гетерохронный процесс. Он включает кардинальные изменения в структуре и функциональных характеристиках мышечных волокон, значительную перестройку ферментных систем, существенные изменения в деятельности вегетативных систем, обеспечивающих мышцы кислородом и субстратами, а также в работе регуляторных центров. Все это ведет к повышению эффективности и надежности работы организма [19]. Однако любое воздействие, которое мы предполагаем оказывать на организм, в том числе – тренировочное, должно быть тщательно соразмерено с его реальными функциональными возможностями, с уровнем развития тех функций организма, на которые будет в первую очередь направлено воздействие. Это – одна из причин, почему столь необходимы точные, корректные и адекватные средства контроля за динамикой работоспособности. Перспективы их разработки лежат, по всей видимости, в области изучения физиологических механизмов, определяющих емкость энергетических систем – наиболее интегральную, информативную и чувствительную характеристику дееспособности организма.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимова Л.И., Карасик В.Е. Определение физической работоспособности подростков // Новые исследования по возрастной физиологии // 1977. – № 2(9). – С.114–117.
2. Аулик И.В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте. – М.: Медицина, 1990. – 192 с.
3. Блинков С.Н., Левушкин С.П. Методика реализации индивидуального подхода в физической подготовке школьников-подростков // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – № 2. – 2002. – С. 8–13.
4. Волков Н.И. Биохимические факторы спортивной работоспособности // В кн.: «Биохимия». М.: Физкультура и спорт. – 1986. С. 320–330.
5. Зацюрский В.М., Алешинский С.Ю., Якунин Н.А. Биомеханические основы выносливости. – М., 1982. – 207 с.
6. Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. Тестирование в спортивной медицине. – М.: Физкультура и спорт, 1988. – 234 с.
7. Корниенко И.А., Маслова Г.М., Соськин В.Д., Евсеев Л.Г. Возрастные изменения некоторых показателей аэробной производительности у мальчиков 7–16 лет. // Физиология человека. – 1978 – Т. 4. – № 1. с. 61–67
8. Корниенко И.А., Соськин В.Д., Воробьев В.Ф. Эргометрическое тестирование работоспособности. // Моделирование и комплексное тестирование в оздоровительной физической культуре. – Сб. научных трудов // Под ред. В.Д.Соськина. – М.: ВНИИФК, 1991. – с. 68–86
9. Корниенко И.А., Соськин В.Д., Маслова Г.М., Тамбовцева Р. В. Применение эргометрии для оценки возрастных и индивидуально-типологических особенностей энергетики скелетных мышц у мальчиков 7–17 лет // Физическая культура индивида: Сборник научных трудов ВНИИФК / Под ред. В.Д.Соськина. – М., 1994. – С.35–53.
10. Корниенко И.А., Соськин В.Д., Тамбовцева Р.В. Возрастное развитие энергетики мышечной деятельности: итоги 30-летнего исследования. Сообщение 2. «Зоны мощности» и их возрастные изменения. // Физиология человека, 2006, т. 32, № 3. – с. 135–141
11. Король В.М., Соськин В.Д., Ратушная Л.И. Мышечная работоспособность и частота сердечных сокращений у подростков в зависимости от уровня полового созревания. // Теория и практика физической культуры. – 1985. – № 8. – с.27
12. Лазарева Э.А. Эргометрическое тестирование легкоатлетов – спринтеров и стайеров с использованием переменных уравнения Мюллера // Теория и практика физ. культуры : Тренер : Журнал в журнале. – 2004. – № 10. – С. 36–37.
13. Лукьянченко Н.И. Методика реализации индивидуального подхода в развитии скоростно-силовых качеств юношей 15–17 лет с применением ЭВМ. // Автореф. Дисс...к.пед.н., М., 1994 г. – 21с.
14. Марчик Л.А. Типологические особенности энергетического обеспечения мышечной деятельности мальчиков 7–8 лет. – Автореф. Дисс... к.б.н. – Ульяновск, 1995. – 21с.
15. Моссо А. Усталость // Пер. с итал. – Санкт-Петербург, 1893. – 14 с.

16. Пискова Д.М. Индивидуализация физического воспитания юношей 17–18 лет на основе учета структуры моторики: Автореф. Дисс... к.п.н. – М., 1996.– 24с.
17. Сонькин В.Д. Энергетическое обеспечение мышечной деятельности школьника. Автореф. дисс... докт.биол.н. – М.:НИИФДИП АПН СССР, 1990. – 50с
18. Сонькин В.Д., Корниенко И.А., Богатов А.А. Способ эргометрической оценки физической работоспособности и описания индивидуальной структуры энергообеспечения мышечной деятельности: Патент РФ на изобретение № 2251967, с приоритетом от 02 июля 2002 г., (заявка № 2002117373, зарегистрировано в Гос.реестре изобретений РФ 20 мая 2005 г.)
19. Сонькин В.Д. Физическая работоспособность и энергообеспечение мышечной функции в постнатальном онтогенезе человека. // Физиология человека, 2007, том 33, № 3 – с. 81–99
20. Тамбовцева Р.В. Возрастные и типологические особенности энергетики мышечной деятельности: Автореф. Дисс.... Д.б.н. – М., 2002. – 48с.
21. Уткин В.Л. Энергетическое обеспечение и оптимальные режимы циклической мышечной работы: Автореф. дисс. ...докт.биол.наук. – М., 1985.– 46 с.
22. Фарфель В.С. Системная физиологическая характеристика циклических физиологических упражнений // Теор.и практ.физ.культ.–1939.– 2.– № 3.– С.56.
23. Фарфель В.С. Физиологические основы классификации физических упражнений. // Руководство по физиологии. Физиология мышечной деятельности, труда и спорта. – Л.: Наука, 1969. – с. 425–439.
24. Astrand P.–O., Rodahl K., Textbook of work physiology. Physiological basis of exercise.– N.Y.: McGraw-Hill, 1977.– 691 p.
25. Aziz, A.R., Chia, M. & the, K.C. The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. J Sports Med Phys Fitness, 2000, 40(3), 195–200.
26. Bar-Or. O. The Wingate anaerobic test: an update on methodology, reliability and validity. Sports Med. 1987, 4:381–394..
27. Bogatov A. A Typological Features of Energy Supply to the Muscles of Competitive Skiers // Human Physiol., 2001, 27(1): 95–101
28. Goosey-Tolfrey, V., Castle, P. & Webborn, N. Aerobic capacity and peak power output of elite quadriplegic games players. Br J Sports Med, 2006, 40, 684–7.
29. Green S, Dawson B. Measurement of anaerobic capacities in humans: definitions, limitations and unsolved problems. Sports Med 1993; 15: 312–27
30. Hill A.V. Muscular movement in man.– N.-Y.: McGraw Hill Book co, 1927.– 104 p.
31. Hutlzer, Y. Physical performance of elite wheelchair basketball players in armcranking ergometry and in selected wheeling tasks. Paraplegia, 1991, 31, 255–61.
32. Jenkins, D.G. & Quigley, B.M. The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity. Ergonomics, 1991, 34(1),13–22.
33. Keen E.N., Sloan A.W. Observations on the Harvard step test // J.Appl.Physiol.– 1958.– 13.– № 2.– P.241–243.
34. Levushkin S. P. A Broad-Based Estimation of the Physical Work Capacity of Young Men // Human Physiol., 2001, 27(5): 568 – 575



35. Mahon, A.D., Plank, D.M., and Hipp, M.J. The influence of exercise test protocol on perceived exertion at submaximal exercise intensities in children. *Can. J. Appl. Physiol.* 2003, 28(1): 53–63.
36. Margaria R. Biochemistry of muscular contraction and recovery // *J.Sports Med.and Physical Fitness.*– 1963.– 3.– P.145.
37. Margaria R. Biomechanics and energetics of muscular exercise. – Oxford: Clarendon Press, 1976. –146 P.
38. McMahan, S. & Wenger, H.A. The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise. *J Sci Med Sport*, 1998, 1(4), 219–27.
39. Saltin B. Anaerobic capacity: past, present, and prospective. In: Taylor AW, Gollnick PD, Green HJ, et al., editors. *Biochemistry of exercise VII*. Champaign (IL): Human Kinetics Publishers, 1990: 387–412
40. Van Praagh, E. Anaerobic fitness tests: what are we measuring? *Med Sport Sci*, 2007, 50, 26–45.
41. Wahlund H. Determination of the physical working capacity // *Acta Med. Scand.*– 1948.– 132.– Suppl.N 215.
42. Welsman JR, Armstrong N. Assessing postexercise lactates in children and adolescents. In: Van Praagh E, editor. *Pediatric anaerobic performance*. Champaign (IL): Human Kinetics, 1998: 137–53