

DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.4.21

УДК: 612.745

Количественная оценка и описание физической работоспособности

Г.Д. Кнуттген

Медицинская школа Гарвардского Университета,
Реабилитационная больница Спаулдинг, Бостон, Массачусетс, США

РЕЗЮМЕ

В настоящей статье поднимается вопрос о стандартизации понятий и оценки физической работоспособности в научной литературе. Рассматриваются такие базовые величины научных исследований как масса, объем, сила, энергия, работа, мощность. В связи со стандартизацией процедур отчетности по различным видам и повышением требований к научным статьям исследователям важно согласовывать стандартные технологии. Необходимость стандартной терминологии также очевидно в клинических условиях, когда разные специалисты должны общаться и обсуждать реабилитационные вмешательства. Строгое соблюдение определений международной системы СИ обеспечит стандартизацию терминологии и сделает научную коммуникацию более понятной для мирового научного сообщества.

Ключевые слова: физическая работоспособность, веса и меры

Для цитирования: Кнуттген Г.Д. Количественная оценка и описание физической работоспособности // Спортивная медицина: наука и практика. 2019. Т.9, №4. С. 21-24. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.4.21.

Quantification and description of physical work performance

Howard G. Knuttgen

Harvard University Medical School, Spaulding Rehabilitation Hospital, Boston, Massachusetts USA

ABSTRACT

This article raises the question of standardization of terms and evaluation of physical performance in the scientific literature. Basic parameters of scientific research as mass, volume, force, energy, work, power are considered. In keeping with the standardization of procedures in the reporting of various types of research and the increased requirements for scientific manuscript preparation, it is vitally important that investigators conform with standard terminology. The need for standard terminology is also evident in clinical settings where different health professionals must communicate and discuss rehabilitation interventions. Strict adherence to the definitions of the international system will ensure standardization of terminology and make scientific communication more readily understandable to the worldwide scientific community.

Key words: athletic performance, weights and measures

For citation: Knuttgen HG. Quantification and description of physical work performance. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2019;9(4):21-24. Russian. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.4.21.

1. Введение

Физические упражнения основной терапевтический метод в практике спортивной медицины и реабилитации, который может быть описан как запланированная, структурированная, регулярная мышечная активность, нацеленная на улучшение возможностей функции движения. Были выявлены улучшения у пациентов с различными заболеваниями, такими как неврологические травмы, скелетно-мышечные нарушения, Кардиореспираторные заболевания, рак, и многие другие. К тому же, такие упражнения используются людьми с различными заболеваниями и паралимпийскими спортсменами. Они включают в себя комбинации концентрических, эксцентрических и изометрических движений скелетных мышц [1]. В связи со стандартизацией процедур отчетности по различным видам исследований и повышением тре-

бований к подготовке научных статей жизненно важно, чтобы исследователи согласовывали стандартные технологии. Ошибки в использовании соответствующей терминологии и использование некорректных измерений могут неблагоприятно повлиять на эффективное и содержательное общение. Необходимость стандартной терминологии также очевидна в клинических условиях, когда разные специалисты должны общаться и обсуждать реабилитационные вмешательства.

2. Международная система единиц

Международная система, впервые представленная в 1960-х годах, была принята повсеместно как система для оценки физической работоспособности [2]. Единицы, используемые для оценки упражнений – масса (грамм, килограмм), сила (Ньютон), энергия (Джоуль), работа (Джоуль), тепло (Джоуль), дистанция (метр), момент

вращения (Ньютон-метр), объем (литр), время (час, минута, секунда), и мощность (ватт) (табл. 1). Ньютон (Н) является основной единицей измерения силы, но редко представлен в научной литературе, потому что «свободные веса» и блоки тренажеров изготовлены и маркированы в единицах килограммов массы. Сила подъема 1 кг массы против силы тяжести равна 9,81 Н на большей части поверхности Земли.

Энергия, работа и тепло взаимосвязаны, таким образом, имеют одинаковые единицы измерения, Джоуль. Касаемо упражнений, они соответствуют формуле: энергия (Дж) = работа (Дж) + тепло (Дж). Энергия, высвобождаемая в работающих клетках скелетных мышц для произведения движения, может выражаться в выполняемой механической работе. Если не выполняется никакой работы, вся энергия уйдет в тепло. Для динамической работы человека, типичная механическая эффективность 20% будет выражаться 5 Дж продукции энергии, 1 Дж работы и 4 Дж тепла тела.

3. Работоспособность человека

Сила (максимальная сила или момент силы) может быть измерена для каждого движения тела человека и, в частности, зависит от скорости движения. Система оценки силы и программа упражнений была представлена в 1945 году как система Делорме [3]. Оценка способности человека прилагать силу или крутящий момент с помощью свободных весов или тренажера определяется как сила сопротивления или крутящий момент, которые могут быть выполнены до отказа для данного количества повторений (П) и называемого повторным максимумом (ПМ). Одно повторение с максимально возможным весом и с полной амплитудой движения для заданного силового упражнения, определяется как 1 ПМ и отражает предельную силу человека. Силовая выносливость обычно оценивается максимальным весом снаряда, ко-

торый спортсмен может поднять данное количество раз (например, 10 ПМ).

Аэробные упражнения, включающие большую мышечную активность, такие как ходьба, бег, езда на велосипеде, бег на лыжах по пересеченной местности, упражнения на тредмиле, эллиптическом тренажере, гребном тренажере и других тренажерах, направленных на тренировку выносливости, в большей степени зависят от доставки кислорода от легких к работающим мышцам.

С помощью специального эргометра для выполнения упражнения «езда на велосипеде» [4], возможно оценить испытуемых по всему диапазону выработки энергии от длительного (например, 20 мин и дольше) до максимального развития силы и момента силы (как в системе ПМ). На рисунке показан график метаболической мощности и механической силы, которая передается на эргометр от испытуемого. Метаболическая мощность в клетках мышц обеспечивается аэробным окислением углеводов и жиров, анаэробным обменом веществ (с образованием молочной кислоты), или непосредственно высокоэнергетическими фосфатами (аденозинтрифосфат и креатинфосфат) в зависимости от интенсивности нагрузки.

При низкой интенсивности нагрузки мышцы обеспечиваются энергией исключительно аэробным окислением углеводов и жиров. Аэробный обмен веществ измеряется спирометрией и определяется как уровень потребления кислорода и отсылает к показателю VO_2 (литр в минуту). По мере того как испытуемый достигает максимального потребления кислорода (VO_{2max}) мышцы в большей степени переходят на анаэробный метаболизм углеводов с образованием молочной кислоты в мышцах и выделением её в циркулирующую кровь. В интервале от 450 Вт до 1300 Вт мощность выполнения упражнения зависит, в основном, от анаэробного гликолиза, свыше 1000 Вт и в упражнениях до истощения длительностью менее 20 секунд в большей степени от

Таблица 1

Базовые определения и единицы измерения в системе СИ

Table 1

Basic Definitions and Units in SI

Величины / Measurement	Единицы / Unit of measurement	Обозначения / Abbreviation
Длина / Length	Сантиметр, метр, километр / Centimetre, metre, kilometre	см, м, км / cm, m, km
Время / Time	Секунда, минута, час / Second, minute, hour	сек, мин, ч / sec, min, h
Масса / Weight	Грамм, килограмм / Gramm, kilogramm	г, кг / g, kg
Объем / Volume	Литр / Litre	л / l
Сила / Force	Ньютон / Newton	Н / N
Момент вращения / Torque	Ньютон метр / Newton metre	Нм / Nm
Работа / Work	Джоуль / Joule	Дж / J
Энергия / Energy	Джоуль / Joule	Дж / J
Тепло / Heat	Джоуль / Joule	Дж / J
Мощность / Power	Ватт / Watt	Вт / W

высокоэнергетических фосфатов – аденозинтрифосфата и креатинфосфата, которые запасаются в мышечных клетках.

4. Рекомендации для тренировок

Большинство программ для тренировки или реабилитации ориентированы либо на развитие силы, или на развитие аэробной (сердечно-сосудистой) работоспособности, или на комбинацию этих двух направлений [5]. Так как силовая и аэробная работоспособность расположены на противоположных концах континуума мышечной силы (рисунок), разработка программы должна быть высоко специфичной для выполняемых упражнений. Это включает в себя интенсивность, продолжительность, частоту (ежедневно и еженедельно), и тип упражнений для достижения оптимальных результатов. Силовые программы включают тренировку со свободными весами или использование тренажеров с большим сопротивлением (высоко резистентные), в обоих случаях с небольшим количеством повторений в сете до наступления утомления (в основном, меньше 20). Аэробные тренировки включают упражнения выполняемые продолжительное время (например, 10-40 минут) с высокой мышечной активностью, включающей от ста до тысяч последовательных повторений, что требует доставку кислорода к работающим мышцам. Долговременная физиологическая адаптация и варианты разработанных программ высоко специфичны для типа выполняемой работы.

Выполнение силовых упражнений, главным образом, зависит от включения мышечных волокон 2 типа скелетных мышц (быстро сокращающиеся), которые реагируют на систематические тренировки увеличением площади поперечного сечения, анаэробной метаболической мощности и развитием силы. Аэробные упражнения зависят от мышечных волокон 1 типа скелетных мышц (медленно сокращающиеся) и, используя правильно разработанные программы, можно ожидать усовершенствования как окислительных процессов в клетках, так и способности сердечно-сосудистой системы доставлять кислород.

Используя данные работоспособности испытуемого, отображенные на рисунке 1, можно увидеть, что упражнения для улучшения аэробной производительности и сердечно-сосудистой емкости будут включать диапазон

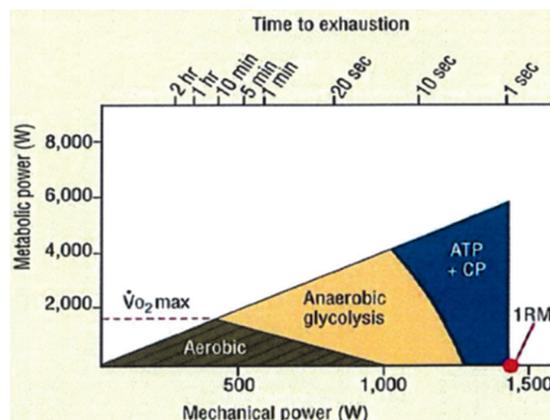


Рис. 1. Соотношение источников метаболизма и механической мощности при выполнении упражнения для ног на циклическом эргометре (60 rpm) у мужчин массой 80 кг. Верхние горизонтальные значения показывают время до истощения при различном уровне мощности работы.

Pic. 1 The ratio of metabolic substrates to mechanical power in the leg exercise in an ergometer-test (60 rpm) in males weighing 80 kg. Upper horizontal values show time to exhaustion at different power levels.

значений мощности от 300 до 450 Вт, которую данный испытуемый может поддерживать в течение времени от нескольких минут до многих часов. Рекомендации для силовых упражнений будут включать выполнение упражнений в диапазоне мощности от 1000 до 1400 Вт (например, 20 ПМ-1 ПМ). Изучение других различных движений и задействованных при их выполнении мышц дает широкий спектр значений мощности и должно определяться методикой тестирования.

Понятие «работа» («work») никогда не должно использоваться как альтернатива понятию «упражнение» («exercise»), потому что в международной системе работа определяется непосредственно как продукт силы и перемещения, а не продолжающейся мышечной деятельности. Термин «объем работы» (work load) не должен использоваться тогда, когда единицы измерения предназначены для определения «мощности» («power») (Ватт). Строгое соблюдение определений международной системы СИ обеспечит стандартизацию терминологии и сделает научную коммуникацию более понятной для мирового научного сообщества.

Список литературы

1. Cavanagh P.R. On «muscle action» vs «muscle contraction» // J. Biomech. 1988. V.21. P. 69.
2. Bureau International des Poids et Mesures Le Systeme International d'Unites (SI). 3rd ed. 1977. France, Sevres.
3. DeLorme T.L. Restoration of muscle power by heavy resistance exercises // J. Bone Jt Surg. 1945. V.27. P. 645-667.
4. Knuttgen H.G., Patton J.F., Vogel J.A. An ergometer for concentric and eccentric muscular exercise // J. Appl. Physiol. 1982. V.53. P. 784-788.
5. Knuttgen H.G. Strength training and aerobic exercise: comparison and contrast // J. Strength Cond. Res. 2007. V.21. P. 973-978.

References

1. Cavanagh P.R. On «muscle action» vs «muscle contraction». J Biomech. 1988;21:69.
2. Bureau International des Poids et Mesures Le Systeme International d'Unites (SI). 3rd ed. France, Sevres, 1977.
3. DeLorme T.L. Restoration of muscle power by heavy resistance exercises. J Bone Jt Surg. 1945;27:645-667.
4. Knuttgen HG, Patton JF, Vogel JA. An ergometer for concentric and eccentric muscular exercise. J Appl Physiol. 1982;53:784-788.
5. Knuttgen HG. Strength training and aerobic exercise: comparison and contrast. J Strength Cond Res. 2007;21:973-978.

Информация об авторе:

Кнуттген Говард Джеральдт, кандидат наук, кафедра восстановительной медицины и реабилитации, Медицинская школа Гарвардского университета, Реабилитационная больница Спаулдинг, Бостон, Массачусетс США (hkknuttgen@partners.org)

Information about the author:

Howard G. Knuttgen, Ph.D. (Biology) Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Harvard University Medical School, Spaulding Rehabilitation Hospital, Boston, MA, U.S.A. (hkknuttgen@partners.org)

Поступила в редакцию: 03.09.19

Принята к публикации: 07.12.19

Received: 03 September 2019

Accepted: 07 December 2019