

НЕПРЯМОЙ СУБМАКСИМАЛЬНЫЙ НАГРУЗОЧНЫЙ ТЕСТ РWC170 ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НА СВЕТЛОГОРСКИХ МИНИ-СВИНЬЯХ

Н.В. Станкова*, М.А. Савина

ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА России»
143442, Российская Федерация, Московская обл., Красногорский р-н, п. Светлые горы, 1

Отработана и адаптирована методика проведения непрямого субмаксимального нагрузочного теста на светлогорских мини-свиньях в условиях лаборатории Центра. Определена физическая работоспособность животных, выявлены достоинства и недостатки данного теста.

Ключевые слова: светлогорские мини-свиньи, лабораторные животные, биомодели, физические работоспособность, нагрузочный тест PWC170

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Станкова Н.В., Савина М.А. Непрямой субмаксимальный нагрузочный тест PWC170 определения физической работоспособности на светлогорских мини-свиньях. *Биомедицина*. 2021;17(3E):89–94. <https://doi.org/10.33647/2713-0428-17-3E-89-94>

Поступила 03.05.2021

Принята после доработки 26.05.2021

Опубликована 20.10.2021

INDIRECT SUBMAXIMAL LOAD TEST PWC170 FOR DETERMINING PHYSICAL PERFORMANCE ON SVETLOGORSK MINI PIGS

Nataliia V. Stankova*, Mariya A. Savina

Scientific Center of Biomedical Technologies of the Federal Medical and Biological Agency of Russia
143442, Russian Federation, Moscow Region, Krasnogorsk District, Svetlye Gory Village, 1

A method for conducting an indirect submaximal load test on Svetlogorsk mini-pigs under laboratory conditions was developed and adapted. The physical performance of animals was assessed; the advantages and disadvantages of the developed method were discussed.

Keywords: Svetlogorsk mini-pigs, laboratory animals, biomodels, physical performance, load test PWC170

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Stankova N.V., Savina M.A. Indirect Submaximal Load Test PWC170 for Determining Physical Performance on Svetlogorsk Mini Pigs. *Journal Biomed*. 2021;17(3E):89–94. <https://doi.org/10.33647/2713-0428-17-3E-89-94>

Submitted 03.05.2021

Revised 26.05.2021

Published 20.10.2021

Введение

Физическая работоспособность — способность выполнять заданную работу с наименьшими физиологическими затратами с наивысшими результатами при определённой ЧСС. Определение уровня физической работоспособности позволяет судить о степени приспособления организма к нагрузке. Зависит от генетических факторов и тренировочного процесса. Важно знать уровень физической работоспособности, чтобы определить объём и интенсивность допустимой нагрузки. Определение физической работоспособности у животных позволит нам более однородно формировать группы животных и определить адекватную физическую нагрузку для исследований [4, 7].

В практике биомедицинских исследований физической выносливости и работоспособности животных стандартно используются два вида задаваемой физической нагрузки: беговая дорожка (тредбан) и плавательные тесты с нагрузкой в условиях повышенного уровня стресса. Поскольку плавание не представляется возможным, для мини-свиней мы используем обычную беговую дорожку с электродами [1, 2]. Такие исследования относятся к жёстким видам, в которых животные испытывают повышенный стресс, боль, а также рискуют получить травмы. Всё это отражается на психоэмоциональном состоянии, влияет на показатели биологических компонентов крови и мочи, ведёт к агрессии и угнетению животных, расходится с принципами гуманного отношения и проведения экспериментов с использованием лабораторных животных [6].

Цель нашего исследования была подобрать доступный нагрузочный тест определения физической работоспособности мини-свиней и отработать методику его проведения без риска нанести ущерб здо-

ровью животных и не подвергая их страданиям.

Для решения поставленной задачи мы обратились к литературе и изучили нагрузочные тесты, которые применяют в клинической и спортивной медицине.

Для определения физической работоспособности и аэробной производительности существуют прямые и непрямые методы исследования. Прямые методы предусматривают выполнение максимальных нагрузок, т. е. нагрузок, которые достигают границы аэробных способностей человека. Однако на современном этапе максимальные нагрузочные тесты не нашли широкого практического применения ни в спортивной медицине, ни тем более в клинике, поскольку они имеют длительный изнурительный характер, сопровождаются избыточным напряжением, которое может быть опасным для организма, т. е. связано с определённым риском. Кроме того, для проведения таких тестов требуется наличие сложной и достаточно дорогой аппаратуры.

Прямые методы используют преимущественно при обследовании спортсменов наивысшей квалификации, которые тренируются на выносливость, с целью выявления функциональных резервов для дальнейшего роста спортивных результатов, для комплектования сборной команды или в научных целях [3].

Из этого следует, что проведение прямых тестов в наших условиях невозможно. В клинической и спортивной медицине, особенно при массовых обследованиях, чаще всего применяют непрямые методы исследований, которые предусматривают выполнение нагрузок, требующих меньших усилий, то есть нагрузок субмаксимального уровня. Интенсивность субмаксимальных нагрузок обычно составляет 50–75% максимальных. Непрямые тесты рекомендуются экспертами Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) для самого широкого внедрения не только при обследовании

здоровых людей, но и больных, при условии достаточной компенсации функционального состояния кардио-респираторной системы. Для определения физической работоспособности среди непрямых методов исследования наибольшее распространение получил субмаксимальный нагрузочный тест PWC170 [3, 7]. На нём мы и остановили свой выбор.

Субмаксимальный тест PWC170 был разработан в Каролинском университете в Стокгольме Шестрандом в 1950-х гг. Название теста PWC170 представляет собой аббревиатуру от англ. Physical Working Capacity — выражения физическая работоспособность. ВОЗ этот тест обозначается W170. С помощью данного теста определяют мощность физической нагрузки, при которой ЧСС достигает уровня 170 уд./мин. Выбор именно этой ЧСС определён тем, что зона оптимального функционирования кардио-респираторной системы для лиц молодого возраста (до 30 лет) ограничивается диапазоном пульса от 170 до 200 уд./мин. Частота пульса 170 уд./мин, таким образом, характеризует оптимальный по производительности режим функционирования сердечно-сосудистой системы во время физических нагрузок. Взаимосвязь между ЧСС и мощностью выполняемой нагрузки имеет линейный характер в границах пульса 120–170 уд./мин, т. е. когда сохраняются аэробные механизмы энергообеспечения. При более высоких значениях ЧСС линейный характер этой взаимосвязи нарушается, поскольку на фоне развития утомления активизируются анаэробные (гликолитические) процессы энергоснабжения и обеспечения мышечной работы. При последующем увеличении нагрузки энергообеспечение осуществляется за счёт смешанных аэробно-анаэробных механизмов. Наличие линейной зависимости между мощностью работы и ЧСС в границах 120–170 уд./мин позволяет использовать нагрузки, которые не предусматривают по-

вышение пульса до 170 уд./мин. При этом определять величину PWC170 можно по показателям ЧСС после двух или трёх нагрузок меньшей интенсивности (при условии, что вторая нагрузка больше первой, третья соответственно больше второй) методом графической экстраполяции.

Точным считается расчёт данного показателя по формуле, которая предложена В.Л. Карпманом с соавт. (1974):

$$PWC_{170} = W_1 + (W_2 - W_1) \times \frac{170 - f_1}{f_2 - f_1}$$

где: PWC_{170} — уровень физической работоспособности при ЧСС=170 уд./мин; W_1 и W_2 — мощность 1-й и 2-й нагрузок; f_1 и f_2 — ЧСС за 30 с в конце 1-й и 2-й нагрузок.

Следует отметить, что определение физической работоспособности с помощью теста PWC170 даёт надёжные результаты лишь в случае соблюдения определённых условий. Прежде всего, в отличие от спортивных нагрузок, пробу PWC170 следует выполнять без предыдущей разминки (разминка может привести к занижению результатов пробы) [3, 4, 7].

В практике спортивной медицины используются в основном два варианта теста PWC170 — велоэргометрический и степ-эргометрический. Наилучшим вариантом работы является велоэргометрическая нагрузка, которая позволяет сохранять определённую интенсивность работы (частота вращения педалей велоэргометра должна быть в диапазоне 60–70 об./мин) и вовлекать в деятельность большие группы мышц. Ни тот, ни другой не приемлем для наших животных, и мы остановили свой выбор на варианте с использованием беговой дорожки.

При проведении субмаксимального теста на движущейся дорожке для тестирования конкретного спортсмена выбирается опти-

мальный вариант повышения нагрузки в зависимости от пола обследуемого, от вида спорта и уровня спортивного мастерства. Особенностью теста является прекращение выполнения нагрузки по достижении обследуемым субмаксимальной ЧСС. По результатам проведённого теста, зная значения ЧСС на этапах нагрузки, легко рассчитывается физическая работоспособность (PWC170) по формуле Карпмана [4].



Рис. 1. Мини-свинья на беговой дорожке типа Pet Treadmill wikiRUN № 3.

Fig. 1. A mini-pig on a treadmill type Pet Treadmill wikiRUN No. 3.



Рис. 2. Мини-свинья с нагрудным датчиком измерения пульса Wahoo Tickr X.

Fig. 2. A mini-pig with a Wahoo Tickr X chest heart rate sensor.

Следует отметить, что результаты, получаемые на моделях бега животных с использованием тредбанов, хорошо экстраполируются на человека в силу высокой гомологичности механизмов, обеспечивающих бег у человека и животных. У тех и других длительность выполнения бега имеет гиперболическую зависимость от скорости. Такая зависимость определяется тем, что до достижения определённого значения скорости (такую скорость называют критической) бег может выполняться человеком и животными неограниченно долго. Энергетически такая нагрузка обеспечивается за счёт аденозинтрифосфата (АТФ), получающегося в основном в результате аэробного окисления глюкозы, у человека и животных в среднем не повышается до 4 ммоль/л, уровень потребления кислорода не превышает 79–80% от максимального потребления кислорода (VO_{2max}) [1, 8].

Материалы и методы

Мы попытались адаптировать и провести непрямой субмаксимальный нагрузочный тест PWC170 на светлогорских мини-свиньях, используя доступное нам оборудование: беговую дорожку и нагрудный датчик измерения пульса. Животные в возрасте 6 мес. живой массой 25–20 кг, обоих полов тестировались впервые. Для проведения теста мы использовали беговую дорожку для животных типа Pet Treadmill wikiRUN № 3 для собак малых и средних пород с защитной сеткой (Россия).

Для подсчёта ЧСС мы использовали аускультативный метод и нагрудный датчик измерения пульса Wahoo Tickr X, оснащённый технологиями Bluetooth и ANT+, который подключаем к телефону (рис. 2). Датчик фиксировали на животном в области сердца с левой стороны с помощью регулируемого мягкого ремешка.

Сначала устанавливали связь с датчиком и давали животному немного успоко-

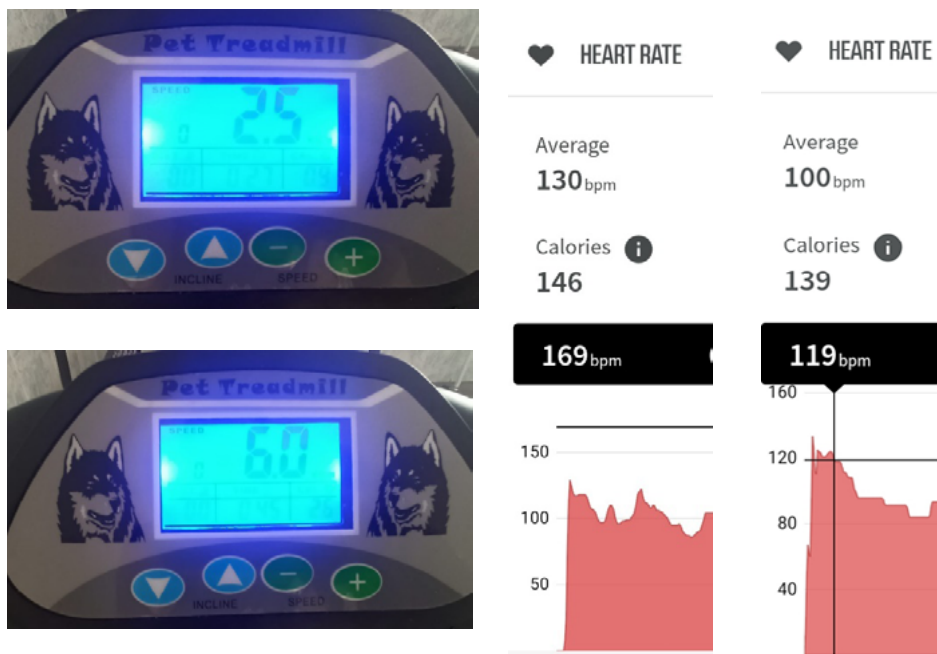


Рис. 3. Скорость при показателях ЧСС 120 и 170 уд./мин, км/ч.
Fig. 3. Speed at heart rate indicators of 120 and 170 bpm, km/h.

иться, потом ставили его на полотно беговой дорожки и запускали её со скоростью 2–3 км/ч. Фиксировали скорость движения при ЧСС 120 и скорость движения при ЧСС до 170 в протоколе теста (рис. 3).

Далее подставляли полученные результаты в формулу, приведённую ранее, и высчитывали физическую работоспособность PWC170.

Результаты и их обсуждение

Было протестировано 10 животных, у которых определили физическую работоспособность (табл.).

Таким образом, мы установили количественные различия по уровню физической работоспособности в группе одновозрастных животных, которые ранее не получали нагрузку на беговой дорожке. Данные показатели можно отнести к генетическому потенциалу, полученному от родителей. Известно, что данный показатель может

меняться под воздействием тренировочного процесса. Из данных таблицы видно, что хрячки имеют более высокий уровень работоспособности и могут быть использованы в исследованиях. Это позволит нам в дальнейшем распределять животных в группы по уровню физической работоспособности для проведения исследований и давать им адекватную физическую нагрузку без риска для здоровья.

Таблица. Физическая работоспособность светлогорских мини-свиней, км/ч.

Table. Physical performance of Svetlogorsk mini pigs, km/h.

№ п/п	Свинки	Хрячки
1	4,18	6,20
2	4,05	5,39
3	3,04	4,05
4	2,53	3,60
5	2,53	3,04

Выводы

Используемый тест является наименее трудозатратным для проведения в условиях нашей лаборатории и наиболее гуманным по отношению к животным, а показатель физической работоспособности легко рассчитывается по формуле. К недостаткам можно отнести неплотную фиксацию дат-

чика на теле мини-свиньи, т. к. он разработан для грудной клетки человека. Возникает потеря в связи с увеличением скорости движения, что приводит к вынужденному прекращению теста. Возможен подбор специализированного оборудования именно для животных типа многофункциональной холтеровской системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Иванов Д.Г., Александровская Н.В. и др. Адаптационные изменения у крыс при ежедневном выполнении физической нагрузки в методике «Бег на тредбане». *Биомедицина*. 2017;2:4–22. [Ivanov D.G., Aleksandrovskaia N.V. Adaptatsionnye izmeneniya u krys pri ezhednevnom vypolnenii fizicheskoy nagruzki v metodike «Beg na tredbane» [Adaptive changes in rats during daily exercise the “Treadmill Running” technique]]. *Biomeditsina [Journal Biomed]*. 2017;2:4–22. (In Russian)].
2. Каркищенко В.Н., Капанадзе Г.Д., Деньгина С.Е., Станкова Н.В. Разработка методики оценки физической выносливости мелких лабораторных животных для изучения адаптационной активности некоторых лекарственных препаратов. *Биомедицина*. 2011;1:72–74. [Karkischenko V.N., Kapanadze G.D., Dengina S.E., Stankova N.V. Razrabotka metodiki otsenki fizicheskoy vynoslivosti melkikh laboratornykh zhivotnykh dlya izucheniya adaptogennoy aktivnosti nekotorykh lekarstvennykh preparatov [Working out of a technique for physical endurance of small laboratory animals for studying of different medicine]. *Biomeditsina [Journal Biomed]*. 2011;1:72–74. (In Russian)].
3. Каркищенко Н.Н., Уйба В.В., Каркищенко В.Н., Шустов Е.Б. *Очерки спортивной фармакологии. Т. I. Векторы экстраполяции*. Под ред. Н.Н. Каркищенко и В.В. Уйба. М., СПб.: Айсинг, 2013:288. [Karkischenko N.N., Ujba V.V., Karkischenko V.N., Shustov E.B. *Ocherki sportivnoy farmakologii. T. I. Vektory ekstrapolyatsii [Essays on sports pharmacology. Vol. 1. Extrapolation vectors]*. Ed. by N.N. Karkischenko, V.V. Ujba. Moscow, Saint Petersburg: Ajsing Publ., 2013:288. (In Russian)].
4. Ландыр А.П., Ачкасов Е.Е., Медведев И.Б. *Тесты с дозируемой физической нагрузкой в спортивной медицине*. М.: Спорт, 2019:256. [Landyr' A.P., Achkasov E.E., Medvedev I.B. *Testy s doziruemoj fizicheskoy nagruzkoy v sportivnoy meditsine [Tests with dosed physical activity in sports medicine]*. Moscow: Sport Publ., 2019:256. (In Russian)].
5. Павлов С.Е., Кузнецова Т.Н. Адаптация и стресс в спорте. В сб.: *Актуальные вопросы медицинской реабилитации в современных условиях*. М., 1999:307–312. [Pavlov S.E., Kuznetsova T.N. Adaptatsiya i stress v sporte [Adaptation and stress in sports]. *V sb.: Aktual'nye voprosy meditsinskoy rehabilitatsii v sovremennykh usloviyakh [In the collection: Actual problems of medical rehabilitation in modern conditions]*. Moscow, 1999:307–312. (In Russian)].
6. *Руководство по лабораторным животным и альтернативным моделям в биомедицинских исследованиях*. Под ред. Н.Н. Каркищенко, С.В. Грачева. М.: Профиль-2С, 2010:358. [*Rukovodstvo po laboratornym zhivotnym i alternativnym modelyam v biomeditsinskikh issledovaniyakh [Guidance on laboratory animals and alternative models in biomedical research]*. Ed. by N.N. Karkischenko, S.V. Grachev. Moscow: Profil-2S Publ., 2010:358. (In Russian)].
7. <https://medbe.ru/materials/sportivnaya-reabilitatsiya/otsenka-fizicheskoy-rabotosposobnosti-metody-i-testy/>
8. Janssen P.G.J.M. Lactate threshold training. *Human Kinetics*. 2001:303.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Станкова Наталия Владимировна*, к.б.н., ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА России»;
e-mail: snv@scbmt.ru
Савина Мария Анатольевна, ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА России»;
e-mail: graff22@mail.ru

Nataliia V. Stankova*, Cand. Sci. (Biol.), Scientific Center of Biomedical Technologies of the Federal Medical and Biological Agency of Russia;
e-mail: snv@scbmt.ru
Mariya A. Savina, Scientific Center of Biomedical Technologies of the Federal Medical and Biological Agency of Russia;
e-mail: graff22@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author