



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013137785/14, 13.08.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.08.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.08.2013

(45) Опубликовано: 10.09.2014 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Кердо И., Индекс, вычисляемый на основе параметров кровообращения для оценки вегетативного тонуса // Спортивная медицина (Украина). 2009. N1-2. с.33-43 (реферат) . RU 2462180 C1, 27.09.2012 . RU 2461353 C1, 20.09.2012. RU 2368297 C1, 27.09.2009 . УСТЬЯНЦЕВ С.Л. Физиолого-гигиенические основы оценки индивидуального профессионального риска при физическом труде. Дисс.д.м.н. М.: 2001, с.125-131

Адрес для переписки:

109074, Москва, Китайгородский пр-д, 7, ЗАО "Согласие-Интеллект"

(72) Автор(ы):

Демин Артем Валерьевич (RU),
Орлов Олег Игоревич (RU),
Суворов Александр Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации - Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ-ИМБП РАН) (RU)

(54) СПОСОБ КАПНОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЭНЕРГОТРАТ ПОКОЯ У ЧЕЛОВЕКА (ВАРИАНТЫ)

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к области медицины, а именно к математической биологии, спортивной, подводной и авиакосмической физиологии человека. Предварительно строят модель зависимости индекса Кердо и соответствующего ему потребления легкими кислорода при разных уровнях физической нагрузки, в том числе при нулевой нагрузке (лежа, после 8-часового сна натошак). Впоследствии, скорость энергозатрат человека определяется на основании измеренного индекса Кердо, количества выдыхаемого диоксида углерода и данных, полученных на этапе построения модели. В другом случае предварительно строят модель зависимости индекса Кердо и соответствующего ему потребления легкими кислорода при разных

уровнях физической нагрузки, в том числе при нулевой нагрузке (лежа, после 8-часового сна натошак). Впоследствии, скорость энергозатрат человека определяется на основании измеренного индекса Кердо, количества выдыхаемого диоксида углерода и суточного выведения из организма азота в виде мочевины. Группа изобретений позволяет определить уровень катаболизма человека в покое на основании измерения дозированной возрастающей велоэргометрической нагрузки, индекса Кердо и капнометрии, во время тестирования. Учет окисления белка позволит дополнительное определение экскреции мочевины за исследуемые сутки. 2 н. и 2 з.п. ф-лы, 2 пр., 1 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2013137785/14, 13.08.2013**

(24) Effective date for property rights:
13.08.2013

Priority:

(22) Date of filing: **13.08.2013**

(45) Date of publication: **10.09.2014** Bull. № **25**

Mail address:

**109074, Moskva, Kitajgorodskij pr-d, 7, ZAO
"Soglasie-Intellekt"**

(72) Inventor(s):

**Demin Artem Valer'evich (RU),
Orlov Oleg Igorevich (RU),
Suvorov Aleksandr Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
uchrezhdenie nauki Gosudarstvennyj nauchnyj
tsentr Rossijskoj Federatsii-Institut mediko-
biologicheskikh problem Rossijskoj akademii
nauk (GNTs RF-IMBP RAN) (RU)**

(54) **METHOD FOR CAPNOMETRIC MEASUREMENT OF LEVEL OF INDIVIDUAL'S REST ENERGY CONSUMPTION (VERSIONS)**

(57) Abstract:

FIELD: medicine.

SUBSTANCE: at first the Kerdo index and a respective pulmonary oxygen consumption model at various physical activity levels, including no-load (lying, after 8-hour sleep, on an empty stomach) is constructed. Thereafter, an individual's energy consumption rate is derived from the measured Kerdo index, exhaled carbon dioxide and values obtained at the stage of the model construction. According to the other version, the Kerdo index and the respective pulmonary oxygen consumption model at various physical activity levels, including no-load (lying, after 8-hour sleep, on an empty stomach) is constructed.

Thereafter, the individual's energy consumption rate is derived from the measured Kerdo index, exhaled carbon dioxide and daily nitrogen clearance in the form of carbamide.

EFFECT: group of inventions enables determining an individual's rest catabolism level on the basis of the measured graduated increasing cycloergometric load, the Kerdo index and carbonometry in testing; taking into account protein oxidation enables additional determination of carbamide excretion over the analysed day.

4 cl, 2 ex, 1 dwg

RU 2 527 845 C1

RU 2 527 845 C1

Изобретение относится к области медицины, а именно к математической биологии, спортивной, подводной и авиакосмической физиологии человека.

Предлагаемый способ может быть использован при оценке физических возможностей человека или физической работоспособности как спортсменов, так и членов экипажа, длительное время изолированно пребывающих по роду практической деятельности в условиях подводных и авиакосмических экспериментальных исследований, а также связанных с профессиональной деятельностью человека, находящегося в экстремальных условиях.

Знание скорости энерготрат покоя (катаболизма покоя - КП) - человека является одним из важных инструментов оценки потребностей организма человека в энергии [Герман И. Физика организма человека. Долгопрудный. Издательский дом Интеллект, 2011, стр.427; Иванов К.П. Основы энергетики организма. СПб.: Наука, т.5, стр.108], а также исследований жизнедеятельности экипажей гермообъектов, в том числе космических [Баранов В.М. Газоэнергообмен человека в космическом полете и модельных исследованиях. М.: Наука. 1993. 126 с.; Олизаров В.В. Системы обеспечения жизнедеятельности экипажей летательных аппаратов. Под ред. В.А. Боднера. М.: Издание ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1962. с.10; Ильюшин Ю.С., Олизаров В.В. Системы обеспечения жизнедеятельности и спасения экипажей летательных аппаратов. М.: Изд. ВВИА им. Н.Е. Жуковского. 1972, стр.458]. Колебания изменений уровня основного обмена и энерготрат покоя зависят от режима физических тренировок, а также внутренних физиологических ритмов (суточных, синодических, сезонных) [Беркович Е.М. Энергетический обмен в норме и патологии. М.: Медицина. 1964. стр. 55].

Известны разные методы оценки КП [Физиология человека. Под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса. В 3-х томах. Т.3, М.: Мир. 2010. с.660; McLean J.A., Tobin G. Indirect calorimetry. Cambridge University press. 2002. 338 pp.]. Однако применение известных методов подразумевает обязательное наличие анализатора кислорода, калибровочного оборудования к нему, замену комплектующих, например кислородных полярографических датчиков, имеющих ограниченный срок службы. В свою очередь, калибровочное оборудование включает наличие сосудов под высоким давлением, использование которых согласно содержанию требований норм к безопасности может быть недопустимо в условиях барокамер и других гермообъектов, включая космические летательные аппараты (КЛА). Кроме того, даже простая транспортировка баллонов с калибровочными газами под высоким давлением в труднодоступные места, например, в околоземное пространство, сопряжена с высоким риском и является дорогостоящей.

Известны способы оценки энерготрат по суммарному определению диоксида углерода в гермообъекте [Вытчикова М.А., Кузьмина Г.М., Передкова В.Д., Чирков Б.А. Расчетный метод определения потребления кислорода человеком, находящимся в условиях замкнутого пространства. // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1975. Т.9., №.2, стр.76-79 - прототип], но они позволяют вычислить суммарные (валовые) энерготраты всего экипажа, а не индивидуальные энерготраты испытателя, акванавта или космонавта в покое, а это, в свою очередь, не позволяет оценить индивидуальные энергетические потребности.

Разработанный способ определения индивидуальной скорости энерготрат человека в покое полностью исключает необходимость в транспортировке оксиметрического оборудования в космос и другие труднодоступные места и позволяет обойтись использованием капнометрической аппаратуры и данными мониторинга доступных показателей медконтроля гемодинамики (ЧСС и АД). Многие из известных капнографов могут калиброваться или докалибровываться с помощью механического устройства.

Кроме того, высокая временная стабильность характеристик современных инфракрасных капнометрических датчиков исключает необходимость частой калибровки эталонными газами в эксплуатации [Зислин Б.Д., Чистяков А.В. Мониторинг дыхания и гемодинамики при критических состояниях. Екатеринбург: Сократ. 2006. С.115; Шурыгин И.А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. СПб.: «Невский Диалект»; М.: «Издательство БИНОМ», 2000. С.102].

Известно также, что косвенные результаты измерений могут быть не менее точными, чем результаты прямых измерений. Такой подход в естествознании известен и описан [Бурмистров Г.А. Основы способа наименьших квадратов. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр. 1963. С.119-208; Агекян Т.А. Теория вероятностей для астрономов и физиков. Учебное пособие. М.: Наука. 1974. С.197; Мазмишвили А.И. Способ наименьших квадратов. М.: Недра. 1968. С.180-231], и широко применяется в физиологии [Elwyn D.H., Askanazi J., Kinney J.M., Bursztein S. Energy Metabolism, Indirect Calorimetry, and Nutrition. Williams & Wilkins. 1989. 266 pp.].

Поэтому, одним из перспективных направлений является изучение взаимосвязи физиологических параметров оптимального функционирования членов экипажей пилотируемых объектов [Шибанов Г.П. Обитаемость космоса и безопасность пребывания в нем человека. М.: Машиностроение. 2007. 544 с.; Ханин М.А., Дорфман Н.Л., Бухаров И.Б. и др. Экстремальные принципы в биологии и физиологии. М.: Наука. 1978. 256 с.].

Задачей предлагаемого изобретения является разработка нового способа адекватной оценки уровня энерготрат человека в покое без применения дорогостоящей оксиметрической газоаналитической аппаратуры на основании измерения физиологической характеристики вегетативной нервной системы [Кердо И. Индекс, вычисляемый на основе параметров кровообращения для оценки вегетативного тонуса // Спортивна медицина (Украина). 2009. №1-2. С.33-43] и капнометрии при дозированной физической работе.

Достижимым техническим результатом является определение уровня энерготрат покоя, отражающего потребности человека в энергии, на основании измерения мощности нагрузки, дозированной велоэргометром, индекса Кердо и минутного выделения диоксида углерода при нагрузке и в покое.

Способ осуществляется следующим образом.

1. Строят модель связи вегетативного индекса Кердо и количества потребляемого легкими кислорода (в литрах в минуту).

Для чего выполняют измерение индекса Кердо и соответствующего ему потребления кислорода в покое лежа натошак после 12-часового голодания и 8-часового сна (в этом случае, нагрузка принимается за 0 Вт) и при разных уровнях физической нагрузки: 60, 75, 90 Вт и т.д., вплоть до субмаксимального потребления кислорода.

В качестве модели зависимости нами найдена зависимость

$$w = a_1 \cdot x^2 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot y^2 + a_4 \cdot y + a_0 \quad (1.1)$$

где w - детерминированное, то есть заведомо задаваемое на измерительном устройстве (например, велоэргометре) значение мощности нагрузки, x - измеряемое значение вегетативного индекса Кердо, y - отклик организма в виде количества потребляемого кислорода (л/мин), a_1, a_2, a_0 - коэффициенты, значения которых находятся для конкретного испытуемого в лабораторных условиях методом наименьших квадратов.

Пример 1. Для испытателя С. уравнение связи в виде линейной функции двух

переменных имеет вид

$$w = 137.9118057 \cdot x^2 - 64.04061386 \cdot x - 10.17090911 \cdot y^2 + 134.7573716 \cdot y - 79.81323331 \quad (1.2)$$

На фиг.1 представлена трехмерная графическая интерпретация модели (1.2) для испытателя С. эксперимента «Марс-500». Видна наиболее удобная для восприятия точка обзора. По оси абсцисс и ординат соответственно - индекс Кердо и потребление кислорода. По оси аппликат - нагрузка (Вт). Значения коэффициентов $a_1=138$, $a_2=-64$, $a_3=-10.2$, $a_4=134.7$, $a_0=-79.8$ найдены методом наименьших квадратов.

Модель (1.2) является индивидуальной характеристикой организма испытателя С. Для других испытателей с помощью лабораторных экспериментов использованием метода наименьших квадратов нужно найти их индивидуальные значения характеристик a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_0 . Приравнявая $w=0$, получаем уравнение связи потребления кислорода и ВИК в условиях покоя: $79.8=137.9x^2-64.04x-10.2y^2+134.7y$

2. Зная индивидуальную модель испытателя, в случаях, в которых оксиметрическое определение уровня катаболизма (скорости энерготрат) покоя невозможно или связано со значительными материальными затратами, вычисление скорости КП выполняется по формуле

$$K = \left[\frac{2808 \cdot \sqrt{-4 \cdot a_1 \cdot a_3 \cdot x^2 - 4 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot x - 4 \cdot a_0 \cdot a_3 + a_4^2}}{a_3} + 1584 \cdot z - \frac{2808 \cdot a_4}{a_3} \right], \quad (1.3)$$

где К - скорость катаболизма (энерготрат) покоя (ккал/сутки); х - значение индекса Кердо; z - минутный объем выдыхаемого диоксида углерода в покое; a_1 , a_2 , a_3 , a_4 - коэффициенты, значения которых предварительно определены.

В случае возможности определения суточного выведения из организма азота (в виде мочевины), формула для вычисления скорости катаболизма с учетом окисления в организме белка будет иметь вид

$$K = \left[\frac{2820.8 \cdot \sqrt{-4 \cdot a_1 \cdot a_3 \cdot x^2 - 4 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot x - 4 \cdot a_0 \cdot a_3 + a_4^2}}{a_3} + 1585.84 \cdot z - \frac{2820.8 \cdot a_4}{a_3} - 3.339666666 \cdot n \right], \quad (1.4)$$

где n - количество выведенного из организма за сутки азота (в граммах).

Метод расчета значения КП применим как в случае предварительного проведения максимальных, так и в случае субмаксимальных нагрузочных тестов.

С помощью многомерного критерия Фишера-Снедекора в 2010-2012 гг. выполнена проверка адекватности предлагаемого способа на 12 практически здоровых испытуемых в ходе фоновых исследований экспериментов ГНЦ РФ - Института медико-биологических проблем РАН «Марс-105» и «Марс-500», одобренных Биоэтической комиссией института.

В результате проверки установлено, что вероятность ошибки метода близка к нулю ($\approx 10^{-21}$). Нами установлено, что среди испытателей экспериментов наибольшее зарегистрированное значение уровня катаболизма покоя составило 2413 ккал/сутки.

В результате численной апробации моделей в экспериментах «Марс-105» и «Марс-500» установлено, что разработанный способ является достаточно точным для решения задач оценки уровня энерготрат покоя (скорости катаболизма в покое) с целью оценки потребностей организма в энергии.

Пример 2. Из калориметрических измерений известно, что в покое у испытателя эксперимента «Марс-500» С. значение индекса Кердо составило -0.32 (минус 0.32), выделение диоксида углерода при этом составило 0.28 л/мин. Индекс Кердо используется без множителя 100% при сохранении информационной значимости индекса.

Воспользовавшись уравнением связи (1.2) из Примера 1, найденного для испытателя С., определяем скорость энерготрат

$$5 \quad \left[\frac{2808 \cdot \sqrt{(-4 \cdot a_1 \cdot a_3 \cdot (-0.32)^2 - 4 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot (-0.32) - 4 \cdot a_0 \cdot a_3 + a_4^2)}}{a_3} + 1584 \cdot 0.28 - \frac{2808 \cdot a_4}{a_3} \right]$$

$$\left[\frac{2808 \cdot \sqrt{(-4 \cdot 138 \cdot (-10.2) \cdot (-0.32)^2 - 4 \cdot (-64) \cdot (-10.2) \cdot (-0.32) - 4 \cdot (-79.8) \cdot (-10.2) + 134.7^2)}}{-10.2} + 1584 \cdot 0.28 - \frac{2808 \cdot 134.7}{-10.2} \right]$$

[2378.020356]

то есть расчетная скорость энерготрат в покое у испытателя С. составила 2378 ккал/сутки.

Известно также, что в результате инструментальной калориметрии энерготраты покоя у испытателя С. составили 2413 ккал/сутки. То есть, предсказанное с помощью модели значение 2378 ккал/сутки, найденное без выполнения измерений оксиметрической газоаналитической аппаратурой количества килокалорий, отличается от

зарегистрированного инструментально значения 2413 ккал/сутки, найденного с применением кислородного газоанализатора, всего на 1.45%. Вместе с тем, из определения количества выделенной за предыдущие сутки мочевины известно, что

испытатель С. выделил 14.6 г азота. Тогда по формуле (1.4) вычисляем, что, с учетом окисления белков, энерготраты покоя составили 2313 ккал/сутки.

Вывод. Зная модель (1.1) с найденными методом наименьших квадратов значениями коэффициентов a_1, a_2, a_3, a_4, a_0 для данного испытателя, инструментальное оксиметрическое определение энерготрат покоя можно не выполнять, а предсказать заранее достаточно точно по индексу Кердо и результатам капнометрии. Этим способом можно воспользоваться, например, на борту КЛА, где оксиметрическое определение

энерготрат покоя сопряжено с определенными техническими и экономическими трудностями. Кроме того, на борту КЛА всегда имеется штатная капнометрическая аппаратура, предназначенная для мониторинга атмосферы гермообъекта, которая потенциально может быть использована для целей респираторной капнометрии. Наш способ позволит индивидуально оценивать значение общей скорости катаболизма

испытателей в покое (в том числе на борту МКС) без применения оксиметрической газоаналитической аппаратуры, но с применением капнометрической аппаратуры и измерением стандартных при медицинском контроле показателей гемодинамики.

Формула изобретения

1. Способ определения уровня энерготрат человека в покое, заключающийся в том, что предварительно определяют индекс Кердо и соответствующее ему потребление кислорода в покое лежа и при разных уровнях физической нагрузки, на основании модели связи вегетативного индекса Кердо и количества потребления легкими кислорода (л/мин): $w = a_1 \cdot x^2 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot y^2 + a_4 \cdot y + a_0$, где w - задаваемое на измерительном устройстве значение мощности нагрузки, x - значение вегетативного индекса Кердо, y - отклик организма в виде количества потребляемого кислорода, л/мин, определяют значения коэффициентов: a_1, a_2, a_3, a_4, a_0 ; впоследствии без определения количества потребления кислорода человеком определяют уровень энерготрат в покое на основании измерения вегетативного индекса и выделения диоксида углерода по формуле

$$45 \quad K = \left[\frac{2808 \cdot \sqrt{(-4 \cdot a_1 \cdot a_3 \cdot x^2 - 4 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot x - 4 \cdot a_0 \cdot a_3 + a_4^2)}}{a_3} + 1584 \cdot z - \frac{2808 \cdot a_4}{a_3} \right],$$

где K - скорость энерготрат покоя (ккал/сутки); x - значение индекса Кердо; z -

минутный объем (л/мин) выдыхаемого диоксида углерода в покое; a_1, a_2, a_3, a_4, a_0 - коэффициенты, значения которых предварительно определены.

2. Способ по п.1, в котором в качестве физической нагрузки используют максимальные или субмаксимальные нагрузочные тесты.

5 3. Способ определения уровня энергозатрат человека в покое с учетом окисления белков, заключающийся в том, что предварительно определяют индекс Кердо и соответствующее ему потребление кислорода в покое лежа и при разных уровнях физической нагрузки, на основании модели связи вегетативного индекса Кердо и количества потребления кислорода (л/мин): $w = a_1 \cdot x^2 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot y^2 + a_4 \cdot y + a_0$, где w - задаваемое на измерительном устройстве значение мощности нагрузки, x - значение вегетативного индекса Кердо, y - отклик организма в виде количества потребляемого кислорода, л/мин, определяют значения коэффициентов: a_1, a_2, a_3, a_4, a_0 ; впоследствии без определения количества потребления кислорода человеком определяют уровень
10 энергозатрат в покое на основании измерения вегетативного индекса и суточного выведения из организма азота в виде мочевины по формуле:

$$K = \left[\frac{2808 \cdot \sqrt{(-4 \cdot a_1 \cdot a_3 \cdot x^2 - 4 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot x - 4 \cdot a_0 \cdot a_3 + a_4^2)}}{a_3} + 1585.84 \cdot z - \frac{2820.8}{a_3} - 3.339666666 \cdot n \right],$$

где K - скорость энергозатрат покоя (ккал/сутки); x - значение индекса Кердо; a_1, a_2, a_3, a_4, a_0 - коэффициенты, значения которых предварительно определены; n - количество
20 выведенного из организма за сутки азота, в граммах.

4. Способ по п.3, в котором в качестве физической нагрузки используют максимальные или субмаксимальные нагрузочные тесты.

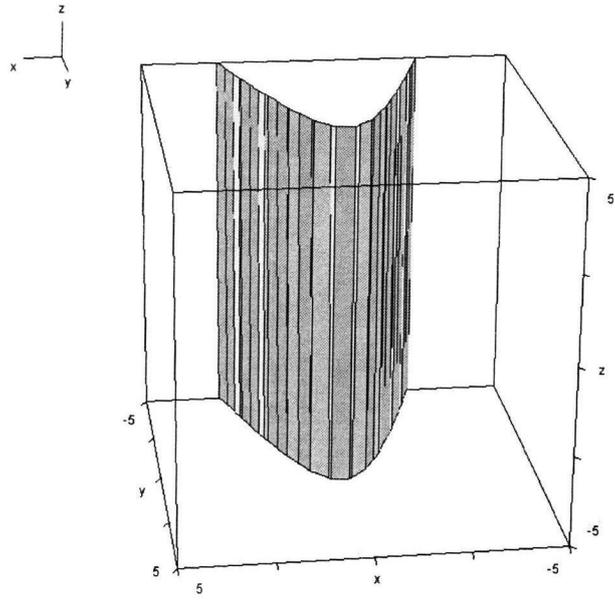
25

30

35

40

45



Фиг. 1