

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.2.11>

УДК: 577.121

Тип статьи: Обзор литературы / Review



Практические рекомендации по стандартизации измерения метаболизма покоя методом непрямой калориметрии: литературный обзор

А.Г. Антонов¹, В.Д. Выборнов¹, М.Ю. Баландин¹, П.Д. Рыбакова^{1,*}, В.А. Бадтиева², Д.Б. Никитюк³,
Е. А. Рожкова²

¹ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд»
Департамента спорта города Москвы, Москва, Россия

²ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной
медицины Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия

³ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Точные показатели скорости метаболизма в покое необходимы для планирования диеты и контроля за составом тела не только для здоровых людей, но и для спортсменов. Ряд факторов может изменять скорость метаболизма в покое во время его измерения с помощью непрямой калориметрии. Применяемая методология может повлиять на результаты исследования. Необходима четкая стандартизация данной процедуры для получения наиболее точных результатов.

Цель: провести обзор литературы для определения оптимального состояния испытуемого и методики проведения процедуры измерения метаболизма покоя с помощью метода непрямой калориметрии.

Материалы и методы: поиск литературы проводился в базах данных «PubMed», «MEDLINE» и «Cochrane Library». Запрос включал ключевые слова и логические фразы: «calorimetry», «indirect calorimetry», «resting metabolic rate», «energy metabolism», «basal metabolism», «standards». Рассматривались только англоязычные исследования и исследования на человеке. Дополнительные сведения были определены в результате обзора и включены в обзор.

Результаты: описаны параметры стандартизации при проведении процедуры измерения метаболизма покоя: потребление пищи, этанола, кофеина, никотина; повседневная деятельность и физическая активность; положение тела в пространстве и состояние окружающей среды во время измерения; действия специалиста, проводящего процедуру и т.д. В статье изложены эффективные методы проведения измерения метаболизма покоя, для получения наиболее точных результатов как у здоровых людей, так и у спортсменов.

Заключение: нами была предпринята попытка сформировать точные методические правила по стандартизации и рекомендации измерения метаболизма покоя методом непрямой калориметрии.

Ключевые слова: непрямая калориметрия, метаболизм покоя, стандартизация, газоанализ, энергетические траты

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Антонов А.Г., Выборнов В.Д., Баландин М.Ю., Рыбакова П.Д., Бадтиева В.А., Никитюк Д.Б., Рожкова Е. А. Практические рекомендации по стандартизации измерения метаболизма покоя методом непрямой калориметрии: литературный обзор. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(2):96–104. <https://doi.org/10.47529/22232524.2022.2.11>

Поступила в редакцию: 21.04.2022

Принята к публикации: 26.09.2022

Online first: 01.10.2022

Опубликована: 30.09.2022

* Автор, ответственный за переписку

Practical guidelines for standardising the measurement of resting metabolism by indirect calorimetry: a literature review

Alexey G. Antonov¹, Vasily D. Vybornov¹, Mikhail Y. Balandin¹, Polina D. Rybakova^{1,*},
Victoria A. Badtieva², Dmitry B. Nikityuk³, Yelena A. Rozhkova²

¹Moscow Innovative Sports Technology and National Teams Training Centre, Moscow Department of Sports, Moscow, Russia

²Moscow Scientific and Practical Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine,
Moscow Department of Health, Moscow, Russia

³FIC Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

ABSTRACT

Accurate resting metabolic rate readings are essential for dietary planning and body composition monitoring not only for healthy individuals but also for athletes. A number of factors can alter resting metabolic rate during its measurement by indirect calorimetry. The methodology used may affect the results of the study. A clear standardisation of this procedure is needed to obtain the most accurate results.

Purpose: To review the literature to determine the optimal subject condition and methodology for the resting metabolism measurement procedure using indirect calorimetry.

Materials and methods: A literature search was conducted in PubMed, MEDLINE and Cochrane Library databases. The query included key words and logical phrases: "calorimetry", "indirect calorimetry", "resting metabolic rate", "energy metabolism", "basal metabolism", "standards". Only English-language studies and human studies were considered. Additional information was identified because of the review and included in the review.

Results: the parameters of standardization during the resting metabolism measurement procedure are described: consumption of food, ethanol, caffeine, nicotine; daily activities and physical activity; body position in space and environmental conditions during the measurement; actions of the specialist performing the procedure, etc. The article outlines effective methods for measuring resting metabolism to obtain the most accurate results in both healthy individuals and athletes.

Conclusion: an attempt has been made to formulate precise methodological rules for standardisation and recommendations for measuring resting metabolism by indirect calorimetry.

Keywords: indirect calorimetry, resting metabolism, standardisation, gas analysis, energy expenditure.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

For citation: Antonov A.G., Vybornov V.D., Balandin M.Y., Rybakova P.D., Badtieva V.A., Nikityuk D.B., Rozhkova Ye.A. Practical guidelines for standardising the measurement of resting metabolism by indirect calorimetry: a literature review. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(2):96–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.2.11>

Received: 21 April 2022

Accepted: 26 September 2022

Online first: 1 October 2022

Published: 30 September 2022

* Corresponding author

1. Введение

Ожидается, что общий расход энергии у большинства спортсменов будет выше по сравнению с населением в целом из-за тренировок и изменений в метаболизме и составе тела [1]. В то же время оценка потребности в энергии имеет решающее значение при планировании диеты для улучшения спортивных результатов и управления массой тела в видах спорта с весовыми категориями [2, 3]. Кроме того, недооценка или переоценка энергетических потребностей спортсменов может привести к нежелательным изменениям безжировой массы (БЖМ) и/или жировой массы (ЖМ), ухудшению работоспособности и проблемам со здоровьем, например, к повышенному риску травм или сердечно-сосудистых заболеваний [1, 2, 4]. Heydenreich и соавт. провели систематический обзор и пришли к выводу, что у спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость,

общий расход энергии испытывает высокие колебания в течение тренировочного и соревновательного сезона [5]. Чтобы этого избежать, необходимо точно понимать, какие энерготраты испытывает спортсмен в течение подготовки независимо от ее периода.

Энергетические потребности могут быть оценены на основе расхода метаболизма покоя (МП) [6], который представляет собой количество энергии, расходуемой в состоянии покоя натощак в термонеutralной среде, что составляет 60–70% от общего расхода энергии у здоровых взрослых с нормальным весом и совсем другие проценты у спортсменов [7]. В питании человека МП обычно оценивают с помощью прогностических уравнений, основанных на легкодоступных переменных, таких как возраст, рост, масса тела и т. д. Большинство широко используемых уравнений для оценки МП в общей популяции (Harris and Benedict [8], Шофилд [9], ВОЗ [10], Миффлин [11] и Оуэн

[12]) были разработаны на основе минимально активных или малоподвижных людей. Принимая во внимание различный уровень физической активности и состав тела (т.е. более высокую БЖМ и клеточную массу тела с более низкой ЖМ) по сравнению с общей популяцией [13–15], уравнения, используемые для оценки МП в общей популяции, могут не подходить для спортсменов.

В спортивных лабораториях для расчета МП используют методы непрямой калориметрии. Но специалист часто сталкивается с проблемой стандартизации данной процедуры. Для более точного измерения существуют определенные стандарты, такие как: время суток, питание, физическая активность, положение тела в пространстве, работа прибора и др. Этот обзор описывает правила, которым должен следовать специалист для получения наиболее точных результатов измерения МП.

Цель исследования: обобщить литературу и определить рекомендации по проведению измерения МП.

2. Материалы и методы

Поиск литературы проводился в базах данных «PubMed», «MEDLINE» и «Cochrane Library». Запрос включал ключевые слова и логические фразы: «calorimetry», «indirect calorimetry», «resting metabolic rate», «energy metabolism», «basal metabolism», «standards». Дополнительные сведения были определены в результате обзора и включены в обзор. Рассматривались только англоязычные исследования и исследования на человеке.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Для того чтобы более конкретно описать стандартизацию техники измерения, необходимо ответить на следующие вопросы.

Вопрос 1. Какой период голодания требуется, чтобы избежать ошибки в измерении МП, связанной с термический эффект пищи (ТЭП) или алкоголем?

Сообщается, что ТЭП составляет 5–10, 0–3 и 20–30 % от энергетического содержания углеводов, липидов и белков соответственно, а в случае энергетического баланса на западной диете составляет ~ 10 % от общего обмена веществ [16]. Измерение МП после приема пищи даст неточные результаты.

Пик ТЭП приходится на период между 60 и 180 минутами у большинства людей, причем у людей с ожирением и пожилых людей пик наблюдается позже (60–90 минут), чем у людей без ожирения и у молодых людей. Увеличение МП на 1,1–13,6 % в течение 95 минут после приема алкоголя у здоровых мужчин, а среднее увеличение МП на 9 % было зарегистрировано через 90–100 минут после приема алкоголя у женщин [17].

Минимальное голодание в течение 5 часов после еды или перекуса и 4 часа после небольших приемов пищи. Более длительное голодание клинически нецелесообразно.

Требуется минимум 2 часа воздержания от алкоголя.

Вопрос 2. Приводит ли употребление никотина или кофеина к ошибке в измерении МП?

Пик кофеина и общее количество. Как правило, термическую реакцию на кофеин можно измерить через 30–150 минут после приема внутрь. У здоровых мужчин употребление кофеина в дозе от 200 до 350 мг приводило к увеличению среднего значения МП в группе на 7–11 % [18].

После ночного воздержания от кофеина МП вернулся к исходному уровню. Это говорит о том, что максимум 12 часов воздержания устраняет термический эффект кофеина, но 3 часа воздержания приближаются к базовому МП [19].

Никотиновый пик. Начальный термический эффект никотина достигает максимума через 10–60 мин после воздействия [3]. Частое воздействие может привести к дополнительным пикам. Хотя повышение МП происходит в течение 10 минут при первом воздействии, оно носит кратковременный характер и МП возвращается к исходному уровню через 2 часа [20].

Минимальное время воздержания от никотина составляет 2 часа, а от кофеина — 4 часа.

Вопрос 3. Какой период отдыха необходим перед началом измерения МП?

МП может быть ошибочно увеличен из-за физической активности, предпринятой до измерения МП. Низкий уровень физической активности, связанный с повседневной деятельностью, оказывает минимальное влияние на измерение МП при условии, что за активностью следует подходящий период отдыха.

Средние групповые измерения МП, проведенные у 10 молодых (средний возраст 25 лет, без стандартного отклонения) и 30 пожилых (60 лет) взрослых после подъема с постели, одевания, поездки на автомобиле и прохождения примерно 50 метров до центра тестирования, были статистически похожи на то, когда они ночевали в центре [21, 22].

У здоровых взрослых минимальный период отдыха от 10 до 20 минут считается адекватным условием тестирования, хотя более короткое время не измерялось [23].

Рекомендуется минимальный отдых от 10 до 20 минут.

Вопрос 4. Какой период ограничения физической активности необходим перед измерением МП?

После ходьбы или бега на беговой дорожке с низкой или умеренной интенсивностью в течение 20–30 минут, скорость метаболизма возвращается к исходному МП через 30–90 минут [24]. Одно исследование тренированных и нетренированных людей показало, что скорость метаболизма возвращается к уровню покоя в течение 60 минут после 30 минут езды на велосипеде с более высокой интенсивностью (70 % аэробной способности) [25]. Выполнение упражнений с отягощениями также повышает скорость метаболизма после прекращения упражнений. Даже через 14,5 часа после тренировки уровень метаболизма все еще был примерно на 100 ккал выше исходного МП [26].

Минимальное воздержание от умеренных аэробных или анаэробных упражнений в течение 2 часов

перед тестом, а для интенсивных упражнений с отягощениями необходимо воздержание не менее 14 часов.

Вопрос 5. Связаны ли определенные положения тела с повышенным уровнем метаболизма?

Определенные позы требуют повышенного мышечного тонуса и могут влиять на измерение МП. У 24 взрослых с массой тела от 48 до 109 кг среднее значение МП в группе, измеренное в положении сидя без движения, было на 70 ккал выше, чем в положении лежа на спине [27].

Каждый человек должен чувствовать себя комфортно физически в том положении, в котором он находится во время измерения. Повторные измерения проводятся в положении, аналогичном положению тела при первичном измерении.

Вопрос 6. Какие характеристики окружающей среды следует контролировать, чтобы обеспечить точное измерение МП?

Влажность, шум и окружающая среда. Ни одно первичное исследование не изучало влияние окружающего шума и освещения на МП у здоровых взрослых. Два описательных обзора предполагают, что при измерении МП у пациентов в отделениях интенсивной терапии, в комнате должны отсутствовать шумы, а освещение должно быть мягким [28].

В исследовании с участием 10 женщин и 10 мужчин (в возрасте от 19 до 36 лет и индексом массы тела от 17 до 32 [кг/м²]) индивидуальное изменение МП после 3 часов воздействия умеренного холода (15 °C, или 59 °F) по сравнению с МП при типичной температуре окружающей среды варьировалась от снижения на 4% до повышения на 30% зимой, и от снижения на 12% до повышения на 24% летом [29].

При проведении измерения комнатная температура должна быть в пределах от 20 до 25 °C.

Вопрос 7. Как разные типы газосборных устройств влияют на результаты измерения МП?

Для непрямой калориметрии доступно несколько типов устройств для сбора газа, включая жесткие навесы, лицевые маски и мундштуки с зажимами для носа. Исследования, в которых устройства сбора газа тщательно контролировались, чтобы убедиться в отсутствии утечек, демонстрируют сопоставимость показателей МП [30–32].

Необходимо строгое соблюдение процедуры для предотвращения утечек воздуха.

Вопрос 8. Какое изменение потребляемого O₂ (VO₂) и выделяемого CO₂ (VCO₂) допустимо для отражения стационарных измерений, и за какой временной интервал?

Чтобы получить точное измерение МП, необходимо уделить внимание обеспечению стационарных условий, определяемых степенью изменения VO₂ и VCO₂ в течение установленного периода времени. У здоровых людей надежные измерения МП могут быть получены с использованием 10-минутного протокола, в котором

первые 5 минут данных игнорируются, а оставшиеся 5 минут данных имеют коэффициент вариации не более 10% [33].

Необходимо игнорировать первые 5 минут, затем перейти к 5-минутному периоду с 10%-м коэффициентом вариации для VO₂ и VCO₂.

Вопрос 9. Какие различия в МП видны при измерении одного и того же человека в разное время суток или в разные дни?

У здоровых взрослых натошак и у пациентов, получающих постоянную пищевую поддержку, повторные измерения МП в течение 24 часов и до 5 месяцев различаются. При повторных утренних измерениях натошак в течение 4 часов у 24 здоровых взрослых (в возрасте от 19 до 51 года) индивидуальные внутрисубъектные вариации составили от 1,8 до 17,8% [34–36].

Повторные измерения варьируются от 3 до 5% в течение 24 часов и до 10% в течение недель или месяцев.

Вопрос 10. Как следует применять дыхательный коэффициент (ДК) для интерпретации измерения МП?

ДК — это отношение VCO₂ к VO₂. При типичных метаболических состояниях со стабильной функцией дыхания диапазон ДК в метаболизме человека составляет приблизительно от 0,7 до 1. При атипичных метаболических и респираторных состояниях ДК может составлять 0,7 или 1, поэтому ДК может помочь в оценке достоверности некоторых непрямых калориметрических измерений МП.

Длительное голодание, недавнее или чрезмерное потребление пищи и потребление этанола перед измерением МП могут повлиять на ДК. Индивидуальные значения ДК варьировались от 0,72 до 0,80 после 16-часового голодания, но иногда опускались ниже 0,70 при голодании продолжительностью 22 часа (от 0,65 до 0,79) [37, 38]. С другой стороны, избыточное потребление энергии чаще поднимает ДК выше 1. При измерении через 10 минут после потребления около 1200 ккал в виде пищи с высоким содержанием углеводов или жиров, среднее значение ДК у здоровых добровольцев составило 1,04 и 0,98 соответственно [39].

Показатели ДК до 0,70 или от 1 свидетельствуют о нарушении протокола или неточном измерении концентрации газа.

4. Выводы

Нами была предпринята попытка сформировать более точные методические правила по стандартизации измерения МП, в отличие от общепринятых. В таблице представлены параметры стандартизации и рекомендации по проведению измерения МП.

Данные рекомендации являются полезной отправной точкой для исследователей и специалистов, стремящихся получить точное измерение МП. В данной обзорной статье изложены эффективные методы точного измерения МП у здоровых людей и у спортсменов.

Таблица

Правила стандартизации проведения измерения МП

Table

Rules for standardizing the measurement of resting metabolic rate

Параметр стандартизации	Рекомендации
Период голодания до процедуры	Минимальное голодание в течение 5 часов после еды/перекуса и 4 часа после небольших приемов пищи
Воздержание от алкоголя до процедуры	Минимум 2 часа воздержания
Воздержание от кофеина до процедуры	Минимум 4 часа воздержания
Воздержание от никотина до процедуры	Минимум 2 часа воздержания
Период отдыха перед измерением	10–20 минут
Период ограничения физической активности перед измерением	Минимальное воздержание от умеренных аэробных/анаэробных упражнений в течение 2 часов; воздержание от интенсивных упражнений с отягощениями — не менее 14 часов
Положение тела в пространстве при проведении измерения	Комфортное положение тела во время измерения. Повторные измерения проводятся в положении, аналогичном положению тела при первичном измерении
Требования к окружающей среде	Температура в помещении должна быть в пределах от 20 до 25 °C
Влияние разных типов газосборных устройств на результат измерения	Необходимо строгое соблюдение процедуры, для предотвращения утечек воздуха
Допустимость изменения VO_2^* и VCO_2^* для отражения стационарных измерений. Временной интервал	Необходимо игнорировать первые 5 минут, затем перейти к 5-минутному периоду с 10 % коэффициентом вариации для VO_2^* и VCO_2^*
Различия в МП (RM)* при измерении одного и того же человека в разное время суток/в разные дни	Повторные измерения варьируются от 3 до 5 % в течение 24 часов и до 10 % в течение недель или месяцев
Применение ДК (RC)* при интерпретации МП(RM)*	ДК (RC)* до 0,70 или от 1 свидетельствуют о нарушении протокола или неточном измерении концентрации газа

Примечание: * — VCO_2 — выделяемый CO_2 ; VO_2 — потребляемый O_2 ; ДК — дыхательный коэффициент; МП — метаболизм покоя.
 Note: * — VCO_2 — emitted CO_2 ; VO_2 — consumed O_2 ; RC — respiratory coefficient; RM — resting metabolism.

Вклад авторов:

Антонов Алексей Геннадьевич — существенный вклад в концепцию работы, сбор, анализ содержания, написание текста.

Выборнов Василий Дмитриевич — критический пересмотр содержания, утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Баландин Михаил Юрьевич — утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Рыбакова Полина Денисовна — существенный вклад в концепцию работы, оформление рукописи.

Бадтиева Виктория Асланбековна — утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Никитюк Дмитрий Борисович — утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Рожкова Елена Анатольевна — утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Authors' contributions:

Alexei G. Antonov — substantial contribution to the conception of the paper, collection, analysis of content, writing of the text.

Vasily D. Vybornov — critical revision of the content, approval of the final version of the article for publication.

Mikhail Y. Balandin — approval of the final version of the article for publication.

Polina D. Rybakova — substantial contribution to the conception of the paper, design of the manuscript.

Victoria A. Badtieva — approval of the final version of the article for publication.

Dmitriy B. Nikityuk — approval of the final version of the article for publication.

Yelena A. Rozhkova — approval of the final version of the article for publication.

Список литературы

1. Thomas D.T., Erdman K.A., Burke L.M. American College of Sports Medicine joint position statement. Nutrition and athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2016;48(3):543–568. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000852>
2. Rodriguez N.R., DiMarco N.M., Langley S. American dietetic association, dietitians of Canada, American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance. Position of the American dietetic association, dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance. *J. Am. Diet Assoc.* 2009;109(3):509–527. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.01.005>
3. Trexler E.T., Smith-Ryan A.E., Norton L.E. Metabolic adaptation to weight loss: implications for the athlete. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2014;11(1):7. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-11-7>
4. Melin A.K., Heikura I.A., Tenforde A., Mountjoy M. Energy availability in athletes: health, performance, and physique. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2019;29(2):152–164. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0201>
5. Heydenreich J., Kayser B., Schutz Y., Melzer K. Total Energy Expenditure, Energy Intake, and Body Composition in Endurance Athletes Across the Training Season: A Systematic Review. *Sports Med. Open.* 2017;3(1):8. <https://doi.org/10.1186/s40798-017-0076-1>
6. Jagim A.R., Camic C.L., Kisiolek J., Luedke J., Erickson J., Jones M.T., Oliver J.M. Accuracy of resting metabolic rate prediction equations in athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2018;32(7):1875–1881. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002111>
7. Marra M., Montagnese C., Sammarco R., Amato V., Della Valle E., Franzese A., et al. Accuracy of Predictive Equations for Estimating Resting Energy Expenditure in Obese Adolescents. *J. Pediatr.* 2015;166:1390–1396.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.03.013>
8. Harris J.A., Benedict F.G. A biometric study of human basal metabolism. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* 1918;4(12):370–373. <https://doi.org/10.1073/pnas.4.12.370>
9. Schofield W.N. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum. Nutr. Clin. Nutr.* 1985;39(Suppl 1):5–41.
10. Energy and protein requirements Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. World Health Organ. Tech. Rep. Ser. 1985;724:1–206.
11. Mifflin M.D., St Jeor S.T., Hill L.A., Scott B.J., Daugherty S.A., Koh Y.O. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;51(2):241–247. <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.2.241>
12. Owen O.E., Holup J.L., D'Alessio D.A., Craig E.S., Polansky M., Smalley K.J., et al. A reappraisal of the caloric requirements of men. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987;46(6):875–885. <https://doi.org/10.1093/ajcn/46.6.875>
13. Ribeyre J., Fellmann N., Montaurier C., Delaitre M., Vernet J., Coudert J., Vermorel M. Daily energy expenditure and its main components as measured by whole-body indirect calorimetry in athletic and non-athletic adolescents. *Br. J. Nutr.* 2000;83(4):355–362.
14. Poehlman E.T., Melby C.L., Badylak S.F. Resting metabolic rate and postprandial thermogenesis in highly trained and untrained males. *Am. J. Clin. Nutr.* 1988;47(5):793–798. <https://doi.org/10.1093/ajcn/47.5.793>
15. Melby C.L., Schmidt W.D., Corrigan D. Resting metabolic rate in weight-cycling collegiate wrestlers compared with

References

1. Thomas D.T., Erdman K.A., Burke L.M. American College of Sports Medicine joint position statement. Nutrition and athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2016;48(3):543–568. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000852>
2. Rodriguez N.R., DiMarco N.M., Langley S. American dietetic association, dietitians of Canada, American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance. Position of the American dietetic association, dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance. *J. Am. Diet Assoc.* 2009;109(3):509–527. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.01.005>
3. Trexler E.T., Smith-Ryan A.E., Norton L.E. Metabolic adaptation to weight loss: implications for the athlete. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2014;11(1):7. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-11-7>
4. Melin A.K., Heikura I.A., Tenforde A., Mountjoy M. Energy availability in athletes: health, performance, and physique. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2019;29(2):152–164. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0201>
5. Heydenreich J., Kayser B., Schutz Y., Melzer K. Total Energy Expenditure, Energy Intake, and Body Composition in Endurance Athletes Across the Training Season: A Systematic Review. *Sports Med. Open.* 2017;3(1):8. <https://doi.org/10.1186/s40798-017-0076-1>
6. Jagim A.R., Camic C.L., Kisiolek J., Luedke J., Erickson J., Jones M.T., Oliver J.M. Accuracy of resting metabolic rate prediction equations in athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2018;32(7):1875–1881. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002111>
7. Marra M., Montagnese C., Sammarco R., Amato V., Della Valle E., Franzese A., et al. Accuracy of Predictive Equations for Estimating Resting Energy Expenditure in Obese Adolescents. *J. Pediatr.* 2015;166:1390–1396.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.03.013>
8. Harris J.A., Benedict F.G. A biometric study of human basal metabolism. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* 1918;4(12):370–373. <https://doi.org/10.1073/pnas.4.12.370>
9. Schofield W.N. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum. Nutr. Clin. Nutr.* 1985;39(Suppl 1):5–41.
10. Energy and protein requirements Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. World Health Organ. Tech. Rep. Ser. 1985;724:1–206.
11. Mifflin M.D., St Jeor S.T., Hill L.A., Scott B.J., Daugherty S.A., Koh Y.O. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;51(2):241–247. <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.2.241>
12. Owen O.E., Holup J.L., D'Alessio D.A., Craig E.S., Polansky M., Smalley K.J., et al. A reappraisal of the caloric requirements of men. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987;46(6):875–885. <https://doi.org/10.1093/ajcn/46.6.875>
13. Ribeyre J., Fellmann N., Montaurier C., Delaitre M., Vernet J., Coudert J., Vermorel M. Daily energy expenditure and its main components as measured by whole-body indirect calorimetry in athletic and non-athletic adolescents. *Br. J. Nutr.* 2000;83(4):355–362.
14. Poehlman E.T., Melby C.L., Badylak S.F. Resting metabolic rate and postprandial thermogenesis in highly trained and untrained males. *Am. J. Clin. Nutr.* 1988;47(5):793–798. <https://doi.org/10.1093/ajcn/47.5.793>
15. Melby C.L., Schmidt W.D., Corrigan D. Resting metabolic rate in weight-cycling collegiate wrestlers compared with

physically active, noncycling control subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;52(3):409–414. <https://doi.org/10.1093/ajcn/52.3.409>

16. **Lam Y.Y., Ravussin E.** Analysis of energy metabolism in humans: A review of methodologies. *Mol. Metab.* 2016;5(11):1057–1071. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2016.09.005>

17. **Segal K.R., Edano A., Blando L., Pi-Sunyer F.X.** Comparison of thermal effects of constant and relative caloric loads in lean and obese men. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;51(1):14–21. <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.1.14>

18. **Vander Weg M.W., Klesges R.C., Ward K.D.** Differences in resting energy expenditure between black and white smokers: Implications for postcessation weight gain. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2000;54(12):895–899. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601110>

19. **Bracco D., Ferrarra J.M., Arnaud M.J., Jequier E., Schutz Y.** Effects of caffeine on energy metabolism, heart rate, and methylxanthine metabolism in lean and obese women. *Am. J. Physiol.* 1995;269:E671–E678. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1995.269.4.E671>

20. **Perkins K.A., Epstein L.H., Stiller R.L., Sexton J.E., Fernstrom M.H., Jacob R.G., Solberg R.** Metabolic effects of nicotine after consumption of a meal in smokers and nonsmokers. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;52(2):228–233. <https://doi.org/10.1093/ajcn/52.2.228>

21. **Fredrix E.W.H.M., Soeters P.B., von Meyenfeldt M.F., Saris W.H.M.** Measurement of resting energy expenditure in a clinical setting. *Clin. Nutr.* 1990;9(6):299–304. [https://doi.org/10.1016/0261-5614\(90\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0261-5614(90)90001-9)

22. **Turley K.R., McBride P.J., Wilmore J.H.** Resting metabolic rate measured after subjects spent the night at home vs at a clinic. *Am. J. Clin. Nutr.* 1993;58(2):141–144. <https://doi.org/10.1093/ajcn/58.2.141>

23. **Schols A.M.W.J., Schoffelen P.F.M., Ceulemans H., Wouters E.F.M., Saris W.H.M.** Measurement of resting energy expenditure in patients with chronic obstructive pulmonary disease in a clinical setting. *JPEN J. Parenter. Enteral Nutr.* 1992;16(4):364–368. <https://doi.org/10.1177/0148607192016004364>

24. **Burleson M.A. Jr., O'Bryant H.S., Stone M.H., Collins M.A., Triplett-McBride T.** Effects of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1998;30(4):518–522. <https://doi.org/10.1097/00005768-199804000-00008>

25. **Short K.R., Sedlock D.A.** Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. *J. Appl. Physiol.* 1997;83(1):153–159. <https://doi.org/10.1152/jap-1997.83.1.153>

26. **Gillette C.A., Bullough R.C., Melby C.L.** Postexercise energy expenditure in response to acute aerobic or resistance exercise. *Int. J. Sport Nutr.* 1994;4(4):347–360. <https://doi.org/10.1123/ijsn.4.4.347>

27. **Levine J.A., Schleusner S.J., Jensen M.D.** Energy expenditure of nonexercise activity. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000;72(6):1451–1454. <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.6.1451>

28. **McClave S.A., Snider H.L.** Use of indirect calorimetry in clinical nutrition. *Nutr. Clin. Pract.* 1992;7(5):207–221. <https://doi.org/10.1177/0115426592007005207>

29. **van Ooijen A.M.J., van Marken Lichtenbelt W.D., van Steenhoven A.A., Westerterp K.R.** Seasonal changes in metabolic and temperature responses to cold air in humans. *Physiol. Behav.* 2004;82(2-3):545–553. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2004.05.001>

30. **Isbell T.R., Klesges R.C., Meyers A.W., Klesges L.M.** Measure reliability using repeated measurements of resting energy expenditure with a face mask, mouth piece, and ventilated canopy.

physically active, noncycling control subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;52(3):409–414. <https://doi.org/10.1093/ajcn/52.3.409>

16. **Lam Y.Y., Ravussin E.** Analysis of energy metabolism in humans: A review of methodologies. *Mol. Metab.* 2016;5(11):1057–1071. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2016.09.005>

17. **Segal K.R., Edano A., Blando L., Pi-Sunyer F.X.** Comparison of thermal effects of constant and relative caloric loads in lean and obese men. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;51(1):14–21. <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.1.14>

18. **Vander Weg M.W., Klesges R.C., Ward K.D.** Differences in resting energy expenditure between black and white smokers: Implications for postcessation weight gain. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2000;54(12):895–899. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601110>

19. **Bracco D., Ferrarra J.M., Arnaud M.J., Jequier E., Schutz Y.** Effects of caffeine on energy metabolism, heart rate, and methylxanthine metabolism in lean and obese women. *Am. J. Physiol.* 1995;269:E671–E678. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1995.269.4.E671>

20. **Perkins K.A., Epstein L.H., Stiller R.L., Sexton J.E., Fernstrom M.H., Jacob R.G., Solberg R.** Metabolic effects of nicotine after consumption of a meal in smokers and nonsmokers. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990;52(2):228–233. <https://doi.org/10.1093/ajcn/52.2.228>

21. **Fredrix E.W.H.M., Soeters P.B., von Meyenfeldt M.F., Saris W.H.M.** Measurement of resting energy expenditure in a clinical setting. *Clin. Nutr.* 1990;9(6):299–304. [https://doi.org/10.1016/0261-5614\(90\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0261-5614(90)90001-9)

22. **Turley K.R., McBride P.J., Wilmore J.H.** Resting metabolic rate measured after subjects spent the night at home vs at a clinic. *Am. J. Clin. Nutr.* 1993;58(2):141–144. <https://doi.org/10.1093/ajcn/58.2.141>

23. **Schols A.M.W.J., Schoffelen P.F.M., Ceulemans H., Wouters E.F.M., Saris W.H.M.** Measurement of resting energy expenditure in patients with chronic obstructive pulmonary disease in a clinical setting. *JPEN J. Parenter. Enteral Nutr.* 1992;16(4):364–368. <https://doi.org/10.1177/0148607192016004364>

24. **Burleson M.A. Jr., O'Bryant H.S., Stone M.H., Collins M.A., Triplett-McBride T.** Effects of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1998;30(4):518–522. <https://doi.org/10.1097/00005768-199804000-00008>

25. **Short K.R., Sedlock D.A.** Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. *J. Appl. Physiol.* 1997;83(1):153–159. <https://doi.org/10.1152/jap-1997.83.1.153>

26. **Gillette C.A., Bullough R.C., Melby C.L.** Postexercise energy expenditure in response to acute aerobic or resistance exercise. *Int. J. Sport Nutr.* 1994;4(4):347–360. <https://doi.org/10.1123/ijsn.4.4.347>

27. **Levine J.A., Schleusner S.J., Jensen M.D.** Energy expenditure of nonexercise activity. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000;72(6):1451–1454. <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.6.1451>

28. **McClave S.A., Snider H.L.** Use of indirect calorimetry in clinical nutrition. *Nutr. Clin. Pract.* 1992;7(5):207–221. <https://doi.org/10.1177/0115426592007005207>

29. **van Ooijen A.M.J., van Marken Lichtenbelt W.D., van Steenhoven A.A., Westerterp K.R.** Seasonal changes in metabolic and temperature responses to cold air in humans. *Physiol. Behav.* 2004;82(2-3):545–553. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2004.05.001>

30. **Isbell T.R., Klesges R.C., Meyers A.W., Klesges L.M.** Measure reliability using repeated measurements of resting energy expenditure with a face mask, mouth piece, and ventilated canopy.

JPEN J. Parenter. *Enteral Nutr.* 1991;15(2):165–168. <https://doi.org/10.1177/0148607191015002165>

31. Askanazi J., Silverberg P.A., Foster R.J., Hyman A.I., Milic-Emili J., Kinna J.M. Effects of respiratory apparatus on breathing pattern. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.* 1980;48(4):577–580. <https://doi.org/10.1152/jappl.1980.48.4.577>

32. McAnena O.J., Harvey L.P., Katzeff H.L., Daly J.M. In direct calorimetry: Comparison of hood and mask systems for measuring resting energy expenditure in healthy volunteers. *JPEN J. Parenter. Enteral Nutr.* 1986;10(6):555–567. <https://doi.org/10.1177/0148607186010006555>

33. Horner N.K., Lampe J.W., Patterson R.E., Newuhouser M.L., Beresford S.A., Prentice R.L. Indirect calorimetry protocol development for measuring resting metabolic rate as a component of total energy expenditure in free-living postmenopausal women. *J Nutr.* 2001;131(8):2215–2218. <https://doi.org/10.1093/jn/131.8.2215>

34. Frankenfield D.C., Wiles II C.E., Bagley S., Siegel J.H. Relationships between resting and total energy expenditure in injured and septic patients. *Crit. Care Med.* 1994;22(11):1796–1804.

35. Heymsfield S.B., Hill J.O., Evert M., Casper K., DiGirolamo M. Energy expenditure during continuous intragastric infusion of fuel. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987;45(3):526–533. <https://doi.org/10.1093/ajcn/45.3.526>

36. Weststrate J.A., Weys P.J.M., Poortvliet E.J., Deurenberg P., Hautvast J.G.A.J. Diurnal variation in postabsorptive resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis. *Am. J. Clin. Nutr.* 1989;50(5):908–914. <https://doi.org/10.1093/ajcn/50.5.908>

37. Johnstone A.M., Faber P., Gibney E.R., Elia M., Horgan G., Golden B.E., Stubbs R.J. Effect of an acute fat on energy compensation and feeding behavior in lean men and women. *Int. J. Obesity.* 2002;26(12):1623–1628. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802151>

38. Zauner C., Schneeweiss B., Kranz A., Madl C., Ratheiser K., Kramer L., et al. Resting energy expenditure in short-term starvation is increased as a result of an increase in serum nor epinephrine. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000;71(6):1511–1515. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1511>

39. Surina D.M., Langhans W., Pauli R., Wenk C. Meal composition affects postprandial fatty acid oxidation. *Am. J. Physiol.* 1993;264(6 Pt 2):R1065–R1070. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1993.264.6.R1065>

JPEN J. Parenter. *Enteral Nutr.* 1991;15(2):165–168. <https://doi.org/10.1177/0148607191015002165>

31. Askanazi J., Silverberg P.A., Foster R.J., Hyman A.I., Milic-Emili J., Kinna J.M. Effects of respiratory apparatus on breathing pattern. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.* 1980;48(4):577–580. <https://doi.org/10.1152/jappl.1980.48.4.577>

32. McAnena O.J., Harvey L.P., Katzeff H.L., Daly J.M. In direct calorimetry: Comparison of hood and mask systems for measuring resting energy expenditure in healthy volunteers. *JPEN J. Parenter. Enteral Nutr.* 1986;10(6):555–567. <https://doi.org/10.1177/0148607186010006555>

33. Horner N.K., Lampe J.W., Patterson R.E., Newuhouser M.L., Beresford S.A., Prentice R.L. Indirect calorimetry protocol development for measuring resting metabolic rate as a component of total energy expenditure in free-living postmenopausal women. *J Nutr.* 2001;131(8):2215–2218. <https://doi.org/10.1093/jn/131.8.2215>

34. Frankenfield D.C., Wiles II C.E., Bagley S., Siegel J.H. Relationships between resting and total energy expenditure in injured and septic patients. *Crit. Care Med.* 1994;22(11):1796–1804.

35. Heymsfield S.B., Hill J.O., Evert M., Casper K., DiGirolamo M. Energy expenditure during continuous intragastric infusion of fuel. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987;45(3):526–533. <https://doi.org/10.1093/ajcn/45.3.526>

36. Weststrate J.A., Weys P.J.M., Poortvliet E.J., Deurenberg P., Hautvast J.G.A.J. Diurnal variation in postabsorptive resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis. *Am. J. Clin. Nutr.* 1989;50(5):908–914. <https://doi.org/10.1093/ajcn/50.5.908>

37. Johnstone A.M., Faber P., Gibney E.R., Elia M., Horgan G., Golden B.E., Stubbs R.J. Effect of an acute fat on energy compensation and feeding behavior in lean men and women. *Int. J. Obesity.* 2002;26(12):1623–1628. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802151>

38. Zauner C., Schneeweiss B., Kranz A., Madl C., Ratheiser K., Kramer L., et al. Resting energy expenditure in short-term starvation is increased as a result of an increase in serum nor epinephrine. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000;71(6):1511–1515. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1511>

39. Surina D.M., Langhans W., Pauli R., Wenk C. Meal composition affects postprandial fatty acid oxidation. *Am. J. Physiol.* 1993;264(6 Pt 2):R1065–R1070. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1993.264.6.R1065>

Информация об авторах:

Антонов Алексей Геннадьевич, специалист по комплексному научно-методическому сопровождению спортсменов ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы, Россия, 129272, Москва, Советской армии ул., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3409-4485> (alexantonovk@gmail.com)

Выборнов Василий Дмитриевич, к.б.н., заместитель директора по медико-биологическому и научно-методическому сопровождению ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы, Россия, 129272, Москва, Советской армии ул., 6 (v.vybornov84@gmail.com)

Баландин Михаил Юрьевич, специалист по комплексному научно-методическому сопровождению спортсменов ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы, Россия, 129272, Москва, Советской армии ул., 6 (balandinm87@gmail.com)

Рыбакова Полина Денисовна*, специалист по комплексному научно-методическому сопровождению спортсменов ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы, Россия, 129272, Москва, Советской армии ул., 6. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-6518> (+7 (977) 793-81-31; rybakova.poly@yandex.ru)

Бадтиева Виктория Асланбековна, член-корр. РАН, проф., д.м.н., заведующий филиалом № 1, «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы», Россия, 105120, Москва, Земляной вал ул., 53. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4291-679X> (maratik2@yandex.ru)

Никитюк Дмитрий Борисович, член-корр. РАН, проф., д.м.н., директор ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Россия, 109240, Москва, Устьинский проезд, 2/14. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2259-1222> (nikitjuk@ion.ru)

Рожкова Елена Анатольевна, д.б.н., ведущий научный сотрудник ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы», Россия, 105120, Москва, Земляной вал ул., 53. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2440-9244> (erozhcova@yandex.ru)

Information about the authors:

Alexey G. Antonov, Specialist of Integrated Scientific and Methodical Support to Athletes of the Moscow Innovative Sports Technology and National Teams Training Centre, Moscow Department of Sports, 6 Sovetskaya Army str., Moscow, 129272, Russia. ORCID: 0000-0002-3409-4485 (alex-antonovk@gmail.com)

Vasiliy D. Vybornov, Ph.D., Deputy Director for medical-biological and scientific-methodological support of the Moscow Innovative Sports Technology and National Teams Training Centre, Moscow Department of Sports, 6 Sovetskaya Army str., Moscow, 129272, Russia (v.vybornov84@gmail.com)

Mikhail Y. Balandin, Specialist of Integrated Scientific and Methodical Support to Athletes of the Moscow Innovative Sports Technology and National Teams Training Centre, Moscow Department of Sports, 6 Sovetskaya Army str., Moscow, 129272, Russia (balandinm87@gmail.com)

Polina D. Rybakova*, Specialist for Integrated Scientific and Methodical Support to Athletes of the Moscow Innovative Sports Technology and National Teams Training Centre, Moscow Department of Sports, 6 Sovetskaya Army str., Moscow, 129272, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-6518> (+7 (977) 793 81 31; rybakova.poly@yandex.ru)

Victoria A. Badtieva, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, M.D., D.Sc. (Medicine), Head of Branch No.1, Moscow Scientific and Practical Centre for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Moscow Health Care Department, 53 Zemlyanoy Val str., Moscow, 105120, Russia. ORCID: 0000-0003-4291-679X (maratik2@yandex.ru)

Dmitry B. Nikityuk, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, M.D., D.Sc. (Medicine), Director of Federal Research Centre for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14 Ustyinsky proezd, Moscow, 109240, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2259-1222> (nikitjuk@ion.ru)

Yelena A. Rozhkova – D.Sc. (Biology), leading researcher of the Moscow Scientific and Practical Centre for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Moscow Health Care Department, 53 Zemlyanoy Val str., Moscow, 105120, Russia. ORCID: 0000-0002-2440-9244 (erozhcova@yandex.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author