

## Роль непрямой респираторной калориметрии в оценке основного обмена у детей с ожирением

© П.А. Окороков

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, Москва, Россия

Основной обмен определяет более половины суточных энергозатрат и характеризует расход энергии, необходимый для поддержания функционирования жизненно важных функций организма в покое. Наибольший вклад в формирование основного обмена (базального метаболизма) вносит тощая масса тела. «Золотым стандартом» для оценки основного обмена является непрямая респираторная калориметрия. Помимо базального метаболизма, данный метод позволяет индивидуально оценить скорости окисления макронутриентов, что является важной составляющей персонализированной диеты. В клинической практике широко используются формулы для расчета основного обмена, однако их точность у детей требует проверки. Непрямая калориметрия характеризуется высокой вариабельностью определяемых показателей, что связано с особенностями проведения исследования. В настоящем обзоре представлено краткое описание основных способов оценки основного обмена, методология проведения непрямой респираторной калориметрии у взрослых и возможность ее использования в детской популяции. Также приведены данные литературы о точности оценки базального метаболизма у детей с ожирением с помощью наиболее часто используемых расчетных формул. Изучение особенностей энергетического обмена необходимо для выяснения механизмов развития ожирения и разработки новых методов его лечения и профилактики.

*Ключевые слова:* детское ожирение, основной обмен, непрямая калориметрия.

### The role of indirect calorimetry in assessing of resting metabolic rate in obese children

© Pavel L. Okorokov

Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia

Basal metabolism accounts for more than half of daily energy expenditure and characterizes energy expenditure necessary to maintain the vital body functions at rest. The lean body mass makes the greatest contribution to the formation of basal metabolism. The «gold standard» for assessing basal metabolism is indirect respiratory calorimetry. This technique also evaluates, apart from basal metabolism, the rate of macronutrient oxidation, which is an important component of a personalized diet. In clinical practice, formulas for calculating basal metabolism are widely used, but their accuracy in children should be verified. Indirect calorimetry is characterized by a high variability of the measured parameters, which is related to the experimental peculiarities. This review briefly describes the main techniques for assessing basal metabolism and the methodology of indirect respiratory calorimetry in adults and its use in the child population. Also, we provide the literature data on the accuracy of assessing basal metabolism in obese children based on the most commonly used calculation formulas. Investigation of the energy metabolism features is necessary to elucidate the mechanisms of obesity pathogenesis and develop new techniques for its prevention and treatment.

*Keywords:* childhood obesity; basal metabolism; indirect calorimetry.

Распространенность ожирения и избыточной массы тела у детей и подростков увеличивается во всем мире. Основной причиной ожирения является дисбаланс между поступлением калорий с пищей и их расходом. Известно, что основной обмен (RMR — «resting metabolic rate») составляет до 75% суточных энергозатрат и характеризует расход энергии, необходимый для поддержания минимального функционирования жизненно важных функций организма: дыхания, выделения, кровообращения и др. [1].

Тощая масса тела вносит наибольший вклад (до 70%) в формирование основного обмена. Тощая масса включает органы и ткани с высокой (мозг, печень, почки) и низкой (скелетная мускулатура и костная ткань) скоростью обмена веществ. На долю головного мозга, сердца, печени и почек у взрослого человека приходится приблизительно 12% тощей массы, но эти органы обеспечивают до 60% метаболизма покоя. Масса мышечной ткани составляет

около 50% тощей массы, однако определяет не более 25% суточного энергообмена в покое [2–5].

Оценка основного обмена является важной составляющей обследования детей и подростков с ожирением, так как позволяет персонализировать диетотерапию и повысить эффективность мероприятий, направленных на снижение массы тела.

#### *Расчетные показатели основного обмена*

«Золотым стандартом» для оценки основного обмена в покое является непрямая респираторная калориметрия (НРК), однако учитывая существенные временные и финансовые затраты на ее проведение, в клинической практике широко распространены специальные формулы для расчета RMR, в том числе у детей и подростков (табл. 1).

Все расчетные методики с различной точностью позволяют оценить основной обмен у детей. Так, E. VanMill и соавт. [13] показали, что расчет RMR по формуле ВОЗ переоценивает исследуемый параметр

Таблица 1. Формулы, используемые для расчета основного обмена в покое у взрослых и детей

Источник	Возраст, год	Формула для определения расчетного RMR (ккал/сутки)
J. Harris, F. Benedict, 1918 [6]	Любой	$M = 66,47 + 13,75 \times MT + 5 \times P - 6,8 \times B$ $Ж = 655 + 9,6 \times MT + 1,8 \times P - 4,7 \times B$
W. Schofield, 1985 [7]	3—10 10—18	$M = 19,6 \times MT + 1,033 \times P + 414,9$ $Ж = 16,8 \times MT + 1,618 \times P + 371,3$ $M = 16,25 \times MT + 1,373 \times P + 515,5$ $Ж = 8,37 \times MT + 4,65 \times P + 200$
ВОЗ (WHO), 1985 [8]	3—10 10—18 лет	$M = 22,7 \times MT + 495$ $Ж = 22,5 \times MT + 499$ $M = 17,5 \times MT + 651$ $Ж = 12,2 \times MT + 74$
ИОМ, 2005 [9]	Любой	$M = 420 - 35,5 \times B + 418,9 \times (P \text{ в метра} \times) + 16,7 \times MT$ $Ж = 516 - 26,8 \times B + 347 \times (P \text{ в метра} \times) + 12,4 \times MT$
M. Mifflin, 1990 [10]	Любой	$M = 10 \times MT + 6,3 \times P - 5 \times B - 5$ $Ж = 10 \times MT + 6,3 \times P - 5 \times B - 161$
Molnar, 1995*[11]	Любой	$M = 50,9 \times MT + 25,3 \times P - 50,3 \times B + 26,9$ $Ж = 51,2 \times MT + 24,5 \times P - 207,5 \times B + 1629,8$
S. Lazzar, 2006* [12]	Любой	$RMR = 54,96 \times MT + 1816,23 \times P + 892,68 \times \Pi - 115,93 \times B + 1484,5$

**Примечание:**  $\times$  — знак умножения, МТ — масса тела в кг; P — рост в см; B — возраст, годы; M (мужчины); Ж (женщины); ИОМ — Institute of Medicine for Obese Youth (Институт медицины для молодых взрослых с ожирением);  $\Pi$  — пол (мужской — 1, женский — 0). \*RMR в кДж/сут. Для перевода в ккал/сутки: множитель 0,2388. Формулы ИОМ и Lazzar специально разработаны для детей с ожирением; формула Molnar — для детей и подростков с нормальной массой тела и ожирением, а формулы Schofield, ВОЗ и Harris & Benedict подходят для оценки RMR у детей с нормальной массой тела.

у юношей-подростков с ожирением. S. Henes и соавт. [14] показали, что формулы ВОЗ, Molnar, Schofield и Harris & Benedict переоценивают уровень основного обмена у мальчиков, но не у девочек.

I. Martincevic и соавт. [15] нашли, что у подростков с неалкогольной жировой болезнью печени наиболее информативной является оценка RMR по формулам Schofield и Molnar.

В другом исследовании у 121 подростка с ожирением (SDS ИМТ=2,93±0,45) наиболее информативной также оказалась формула Molnar [16].

При обследовании 226 подростков с морбидным ожирением (возраст 15,9±1,9 года, ИМТ 44,9±8,1 кг/м<sup>2</sup>) самой объективной в оказалась формула Mifflin [17]. В то же время S. Lazzar и соавт. [12] разработали специальную формулу для подростков с морбидным ожирением.

В исследовании G. Rodríguez и соавт. [18], включавшем 116 детей и подростков с ожирением и нормальной массой тела, показано, что наиболее приемлемым для оценки RMR в общей популяции (нормальная, избыточная масса тела и ожирение) является индекс Schofield.

На стадии активного снижения массы тела у подростков с ожирением все указанные формулы для расчета RMR переоценивают показатель [19].

По данным D. Chan и соавт. [20], у китайских детей и подростков с ожирением ни одна из распространенных формул не характеризовала состояние основного обмена, в связи с чем авторы пришли к выводу о необходимости разработки собственных популяционных нормативов и расчетных формул.

Таким образом, до настоящего времени не существует единого подхода к расчету RMR у детей и

подростков как с ожирением, так и с нормальной массой тела. В связи с этим использование непрямой респираторной калориметрии для индивидуальной оценки состояния основного обмена у детей и подростков приобретает особое значение.

#### Современные методы оценки фактического энергетического обмена

Среди основных методик оценки энергетического обмена у человека выделяют прямую калориметрию и непрямую респираторную калориметрию.

**Прямая калориметрия** основана на непосредственной регистрации количества выделенного организмом тепла, рассчитываемого по изменению теплоемкости воды, протекающей через специальную измерительную камеру (биокалориметр) за единицу времени. При этом учитывают не только теплоемкость жидкости, но также ее общий объем и разность температур поступающей в камеру и оттекающей от нее воды. Полученные результаты выражаются в ккал за 1 ч (ккал/ч).

Из-за сложности и высокой стоимости данной методики широкое распространение в клинической практике получили методы **непрямой респираторной калориметрии** (НРК). НРК проводят в открытом и закрытом контуре. Главными компонентами метабографов закрытого контура являются спирограф, смесительная камера, анализатор и поглотитель CO<sub>2</sub>. Колокол спирографа заполняют известным объемом чистого кислорода и подключают к дыхательному контуру исследуемого. Уменьшение объема газа в колоколе эквивалентно объему потребленного кислорода. Выдыхаемый воздух поступает в смесительную камеру, откуда отбирают

пробу газа для определения в ней концентрации  $CO_2$ . Из смесительной камеры газ поступает в поглотитель, удаляющий углекислый газ, а далее — в спирометр, где происходит измерение дыхательного объема. В дальнейшем потребление кислорода вычисляется по разности конечных экспираторных объемов. Когда объем газа в спирометре уменьшается до критического уровня, исследование прерывают и снова заполняют спирометр кислородом. В связи с трудоемкостью метода и потенциальными рисками для пациента наибольшее распространение в настоящее время приобрела НРК в открытом контуре.

НРК в открытом контуре основана на измерении объема поглощенного кислорода ( $VO_2$ ) и выделенного организмом углекислого газа ( $VCO_2$ ). Главными компонентами метабографов открытого контура являются газоанализаторы  $O_2$  и  $CO_2$  и устройство для измерения объемов газа. Выдыхаемый воздух пропускают через волюметр, где происходит измерение объема газов, а также определение концентрации кислорода и двуокиси углерода. Определение объемов  $CO_2$  и  $O_2$  позволяет рассчитать значение основного обмена по уравнению:

$$RMR(\text{ккал/сут}) = (3,941 \cdot VO_2) + (1,106 \cdot VCO_2) - (2,17 \cdot OAM),$$

где  $VO_2$  — объем потребленного кислорода, л/сут;  $VCO_2$  — объем выделенного углекислого газа, л/сут; OAM — общий азот суточной мочи, г/сут.

Кроме того, НРК дает возможность определить дыхательный коэффициент (ДК), представляющий собой соотношение количества выделенного углекислого газа к количеству потребленного кислорода. Данный параметр характеризует структуру энергзатрат в покое. При значении ДК  $>1$  в процессах метаболизма преобладает липогенез; при ДК = 1 в основном происходит утилизация углеводов, а при ДК  $<0,7$  преобладает липолиз. В среднем значение ДК колеблется в интервале 0,7 до 0,95.

Используя модифицированное уравнения Вейра—Феррарини, после учета белковой квоты можно рассчитать скорости окисления основных макронутриентов: белков, жиров и углеводов по представленным ниже формулам:

$$\text{Скорость окисления белков (г/сут)} = 6,25 \cdot OAM;$$

$$\text{Скорость окисления углеводов (г/сут)} = (-2,56 \cdot OAM) - (2,91 \cdot VO_2) + (4,12 \cdot VCO_2);$$

$$\text{Скорость окисления жиров (г/сут)} = (-1,94 \cdot OAM) + (1,69 \cdot VO_2) - (1,69 \cdot VCO_2)$$

Для определения белковой квоты регистрируют суточную экскрецию мочевины и суточный диурез. Далее вычисляют общий азот мочи, характеризую-

щий метаболизм белка в организме (суточные потери белка), по формуле:

$$OAM = (M \times V) / 35,7,$$

где OAM — общий азот (г/сут), M — мочевины в суточной моче (г), V — объем суточной мочи (л).

Рассчитанные скорости окисления белков, жиров и углеводов выражаются в г/сут. Для перевода скоростей окисления нутриентов в более удобную размерность ккал/сут полученные значения нужно умножить на коэффициенты Атвоттера (1 г белка — 4,1 ккал; 1 г жира — 9,3 ккал; 1 г углеводов — 4,0 ккал).

Таким образом, НРК позволяет не только оценить основной обмен, но и рассчитать скорости окисления макронутриентов, что является необходимым условием для разработки сбалансированного рациона питания при лечении ожирения.

Исследование основного обмена методом НРК в открытом контуре проводится с использованием различных вспомогательных средств: лицевой маски, купола-маски или мундштука и носовой клипсы.

Для НРК могут использоваться как стационарные, так и портативные метабографы. Стационарные устройства являются «золотым стандартом» для оценки RMR, так как они непосредственно определяют объемы поглощенного  $O_2$  и выделенного  $CO_2$ . Портативные варианты измеряют только  $VO_2$ , а количество выделенной углекислоты рассчитывают математически.

НРК рекомендована Американской академиейнутрициологии и диетологии и Американской академией педиатрии в качестве предпочтительного метода оценки основного обмена при планировании диетотерапии у детей и подростков с ожирением [21, 22].

Одной из основных проблем при проведении НРК является высокая вариабельность результатов, обусловленная техническими особенностями процедуры и факторами внешней среды. В 2010 г. Американская академия диетологов инутрициологов представила клинические рекомендации, направленные на стандартизацию оценки основного обмена методом НРК у здоровых людей [23]. Большинство рекомендаций сформулировано для взрослых, однако часть из них касается особенностей НРК в детском возрасте.

#### *Базовые рекомендации по методике оценки основного обмена методом НРК у взрослых*

1. До начала проведения НРК необходимо обеспечить обследуемому 30-минутный период покоя. Минимальная продолжительность периода покоя 20 мин. Если перед проведением исследования пациент проявлял легкую физическую активность (одевался, ходил более 5 мин и т.п.), то проводить

исследование следует после 30-минутного периода покоя.

2. При проведении НРК необходимо добиться устойчивого состояния основного обмена. Критериями устойчивого состояния следует считать разброс показателей  $VO_2$  и  $VCO_2 < 10\%$ .

3. Длительность исследования зависит от скорости достижения устойчивого состояния основного обмена и должна составлять около 30 мин. Данные, полученные в течение первых 5 мин, следует исключить из последующего анализа.

4. Исследование основного обмена следует проводить при положении пациента лежа на спине.

5. При проведении НРК могут быть использованы любые вспомогательные устройства: лицевая маска, купол-маска или мундштук с носовой клипсой.

6. Для уменьшения влияния факторов окружающей среды на результат исследование рекомендуется проводить в отдельном помещении, при «температуре комфорта» (22—25 °C), в тихой, спокойной обстановке без шума и других внешних раздражителей.

7. Следует воздержаться от приема пищи в течение 7 ч до исследования. Допустимо проведение НРК через 4 ч после приема небольшого количества пищи ( $\leq 300$  ккал).

8. При значениях ДК в интервале от 0,67 до 0,9 они могут быть приняты для последующего анализа и оценки скорости окисления нутриентов. При нефизиологических значениях ДК ( $> 1,3$  или  $< 0,67$ ) следует провести повторное исследование после диагностики возможных технических проблем.

Главная сложность проведения НРК у детей связана с длительностью исследования. Выполнение исследования в течение 30—50 мин у детей труднодостижимо, особенно у пациентов младшего возраста и детей с синдромальными формами ожирения, сопровождающимися задержкой нервно-психического развития или особенностями поведения.

Mellecker и McManus показали, что при НРК у детей показатели RMR на 10-й, 15-й, 20-й и 30-й минутах исследования статистически значимо не различались независимо от предшествовавшего периода покоя. Даже в отсутствии такого периода значения RMR после 10-й и 30-й минуты исследования были сопоставимы. Однако при наличии предшествующего периода покоя отмечалась более низкая вариабельность RMR на 20-й минуте [24]. Исходя из этих данных, минимальная длительность НРК для здоровых детей должна составлять не менее 20 мин, а оценка показателей должна проводиться только после достижения устойчивого состояния. В случае невозможности получасового периода покоя перед исследованием допустимо сразу проводить НРК, однако первые 10 мин теста должны быть исключены из анализа.

Устойчивое состояние основного обмена определяется минимальной вариабельностью определяе-

мых в ходе теста  $VO_2$  и  $VCO_2$ . Критерием устойчивого состояния для взрослых является коэффициент вариации этих показателей  $< 10\%$  в течение 4 мин (в отсутствие двигательных и других артефактов). У детей скорость достижения устойчивого состояния не зависит от используемого оборудования. Исследование RMR с помощью лицевой маски или мундштука с носовой клипсой показало сопоставимые результаты у детей после 20 мин тестирования независимо от наличия предшествующего периода покоя. Однако вариабельность показателей при использовании лицевой маски была вдвое ниже, чем при использовании мундштука (6% против 12%) [24].

При оценке влияния положения тела на результаты НРК было показано, что у взрослых пациентов в положении сидя RMR на 6—14% превышает показатель, регистрируемый в положении лежа на спине [25—27].

Любая двигательная активность повышает RMR, поэтому необходимо стремиться к максимальной неподвижности исследуемого при проведении НРК [25]. Кроме того, двигательная активность в ходе НРК повышает вариабельность показателей, что также негативно сказывается на качестве исследования [28]. Данные о влиянии положения тела на состояние основного обмена у детей отсутствуют.

Факторы внешней среды значительно влияют на состояние основного обмена. Так, НРК у взрослых в зимнее время или при температуре в помещении ниже 22 °C RMR увеличивается [29, 30].

Прием пищи и ее качественный состав также существенно влияют на основной обмен. Показано, что у взрослых людей прием пищи калорийностью от 478 до 750 ккал приводит к повышению основного обмена в течение 3—4 ч [31]; при приеме пищи калорийностью до 900 ккал повышение основного обмена продолжается более 4 ч [32], а при приеме 1300 ккал — до 7 ч [33]. Согласно рекомендациям, оптимальным является голодание в течение 7 ч перед исследованием. Данные о влиянии характера и состава пищи на основной обмен у детей отсутствуют, в связи с чем целесообразно придерживаться рекомендаций для взрослых.

Известно, что физические нагрузки повышают энергетический обмен. Показатели энергетического обмена повышаются прямо пропорционально интенсивности нагрузок. В единственном исследовании у взрослых показано, что после ходьбы на дистанцию 300 м показатели RMR возвращаются к исходным значениям через 20 мин у 95% обследуемых [34].

ДК демонстрирует высокую вариабельность в исследованиях у взрослых. Физиологическими считаются значения ДК в диапазоне от 0,67 до 1,3 [35, 36]. Для клинического исследования с целью последующего расчета скоростей окисления белков, жи-

ров и углеводов приемлемыми являются значения ДК в диапазоне от 0,67 до 0,9. При выявлении показателей ДК <0,67 или >1,3 следует констатировать ошибку измерения и провести повторное исследование после устранения причин некорректного измерения. У детей данные о нормальных значениях ДК отсутствуют, в связи с чем используются нормы для взрослых.

#### *Особенности основного обмена у детей*

Абсолютные значения основного обмена у детей и подростков возрастают при увеличении массы тела [37—40].

D. Molnár и соавт. [41] обнаружили более высокий уровень RMR у детей и подростков с ожирением по сравнению с детьми без избыточной массы тела (193 пациента в возрасте 9,5—16,5 года; 77 — с ожирением и 116 — контрольная группа).

Имеется положительная корреляция между энергозатратами в покое и тощей массой тела. Одни авторы сообщают о повышении RMR при увеличении тощей массы у детей [41], тогда как другие находят снижение RMR с увеличением тощей массы [42, 43].

Энергетический обмен имеет выраженные гендерные различия, обусловленные особенностями композиционного состава тела, что может объяснять разнонаправленные изменения RMR в зависимости от тощей массы. Для мальчиков характерны более высокие показатели энергозатрат в покое, связанные с большей долей тощей массы, чем у девочек [41, 44].

Единственная отечественная работа по оценке основного обмена у детей и подростков продемонстрировала снижение RMR при ожирении и избыточной массе тела в разных возрастных группах. В исследование были включены 625 пациентов в возрасте от 2,5 до 17 лет. У детей с ожирением и избыточной массой тела от 3 до 7 лет RMR был снижен в среднем на 19,4%, у детей от 8 до 12 лет — на 19,1%, а у подростков от 13 до 17 лет — на 19%. Абсолютные показатели основного обмена положительно коррелировали с возрастом, ростом, массой тела, окружностью талии и бедер, а также с параметрами композиционного состава тела. Положительная корреляция RMR с тощей массой была значимо больше, чем с количеством жировой ткани у детей и подростков с ожирением и избыточной массой тела в возрасте от 8 до 17 лет [45].

В 10-летнем проспективном исследовании (347 детей в возрасте от 7 до 16 лет) M. Mostazir и соавт. [46] отметили временное снижение RMR в возрасте

от 10 до 16 лет, не зависящее от количества тощей массы тела и пола. У девочек снижение основного обмена с 10- до 15-летнего возраста в среднем составило 190 ккал/сут, у мальчиков — 130 ккал/сут, а при учете количества тощей и жировой массы максимальное снижение RMR достигало 450 ккал/сут за 5-летний период.

Уменьшение интенсивности основного обмена в пубертатный период продемонстрировано и в других исследованиях [41, 47]. Снижение RMR у детей от 10 до 16 лет не зависит от уровня ЛГ, ФСГ или инсулина натощак, а также от уровня адипонектина и лептина.

Одной из возможных причин снижения основного обмена может быть возрастающая потребность в дополнительной энергии для обеспечения роста и развития подростков. Однако в условиях современного образа жизни (избыточное питание и гиподинамия), физиологические изменения энергетического обмена становятся дополнительным фактором риска развития ожирения [46].

В метаанализе 12 исследований, включавших более 1400 детей и подростков, показано, что для детей допубертатного возраста характерны более высокие показатели RMR (на 12%), чем для подростков с различными стадиями пубертата [48]. Это может объясняться тем, что масса метаболически активных тканей в период от рождения до окончания физического развития увеличивается в 5—12 раз, тогда как количество мышечной массы, имеющей низкий уровень основного обмена, возрастает в 40 раз [46].

## **Заключение**

Непрямая респираторная калориметрия у детей и подростков с ожирением дает наиболее объективное представление о состоянии энергетического обмена в состоянии покоя. Широкому внедрению данного метода в клиническую практику препятствует высокая стоимость оборудования для проведения исследования и трудности в интерпретации полученных результатов в связи с отсутствием референсных значений и вариабельностью исследуемых показателей. Изучение особенностей энергетического обмена при ожирении у детей необходимо для выяснения патогенетических механизмов развития ожирения в детском и подростковом возрасте.

## **Дополнительная информация**

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи, о которых необходимо сообщить.

## АНТЕПАТΥΡΑ | REFERENCES

- Gallagher D, Allen A, Wang Z, et al. Smaller organ tissue mass in the elderly fails to explain lower resting metabolic rate. *Ann N Y Acad Sci.* 2006;904(1):449-455. doi: 10.1111/j.1749-6632.2000.tb06499.x
- Gallagher D, Belmonte D, Deurenberg P, et al. Organ-tissue mass measurement allows modeling of REE and metabolically active tissue mass. *Am J Physiol.* 1998;275(2 Pt 1):E249-E258.
- Bosy-Westphal A, Kossel E, Goele K, et al. Contribution of individual organ mass loss to weight loss-associated decline in resting energy expenditure. *Am J Clin Nutr.* 2009;90(4):993-1001. doi: 10.3945/ajcn.2008.2740
- Bosy-Westphal A, Reinecke U, Schlorke T, et al. Effect of organ and tissue masses on resting energy expenditure in underweight, normal weight and obese adults. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2004;28(1):72-79. doi: 10.1038/sj.ijo.0802526
- Muller MJ, Bosy-Westphal A, Kutzner D, Heller M. Metabolically active components of fat free mass (FFM) and resting energy expenditure (REE) in humans. *Forum Nutr.* 2003;56:301-303.
- Harris JA, Benedict FG. A biometric study of human basal metabolism. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1918;4(12):370-373. PMC1091498
- Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr.* 1985;39(Suppl 1):5-41.
- Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. *World Health Organ Tech Rep Ser.* 1985;724:1-206.
- Trumbo P, Schlicker S, Yates AA, et al. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. *J Am Diet Assoc.* 2002;102(11):1621-1630.
- Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, et al. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr.* 1990;51(2):241-247.
- Molnar D, Jeges S, Erhardt E, Shutz Y. Measured and predicted resting metabolic rate in obese and non obese adolescents. *J Pediatr.* 1995;127(4):571-577. doi: 10.1016/S0022-3476(95)70114-1
- Lazzer S, Agosti F, De Col A, Sartorio A. Development and cross-validation of prediction equations for estimating resting energy expenditure in severely obese Caucasian children and adolescents. *Br J Nutr.* 2007;96(05). doi: 10.1017/bjn20061941
- van Mil EG, Westerterp KR, Kester AD, Saris WH. Energy metabolism in relation to body composition and gender in adolescents. *Arch Dis Child.* 2001;85(1):73-78. doi: 10.1136/adc.85.1.73
- Henes ST, Cummings DM, Hickner RC, et al. Comparison of predictive equations and measured resting energy expenditure among obese youth attending a pediatric healthy weight clinic: one size does not fit all. *Nutr Clin Pract.* 2013;28(5):617-624. doi: 10.1177/0884533613497237
- Martincevic I, Mouzaki M. Resting energy expenditure of children and adolescents with nonalcoholic fatty liver disease. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2016. doi: 10.1177/0148607116658761
- Hofsteenge GH, Chinapaw MJ, Delemarre-van de Waal HA, Weijs PJ. Validation of predictive equations for resting energy expenditure in obese adolescents. *Am J Clin Nutr.* 2010;91(5):1244-1254. doi: 10.3945/ajcn.2009.28330
- Steinberg A, Manlhiot C, Cordeiro K, et al. Determining the accuracy of predictive energy expenditure (PREE) equations in severely obese adolescents. *Clin Nutr.* 2017;36(4):1158-1164. doi: 10.1016/j.clnu.2016.08.006
- Rodríguez G, Moreno LA, Sarría A, et al. Resting energy expenditure in children and adolescents: agreement between calorimetry and prediction equations. *Clin Nutr.* 2002;21(3):255-260. doi: 10.1054/clnu.2001.0531
- Derumeaux-Burel H, Meyer M, Morin L, Boirie Y. Prediction of resting energy expenditure in a large population of obese children. *Am J Clin Nutr.* 2004;80(6):1544-1550.
- Chan DF, Li AM, Chan MH, et al. Validation of prediction equations for estimating resting energy expenditure in obese Chinese children. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2009;18(2):251-256. doi: 10.6133/apjcn.2009.18.2.14
- The Academy of Nutrition and Dietetics. Evidence Analysis Library. Pediatric Weight Management Guidelines. 2007. <http://www.adaevidencelibrary.com/>
- Barlow SE, Expert C. Expert committee recommendations regarding the prevention, assessment, and treatment of child and adolescent overweight and obesity: summary report. *Pediatrics.* 2007;120 Suppl 4:S164-S192. doi: 10.1542/peds.2007-2329C
- Fullmer S, Benson-Davies S, Earthman CP, et al. Evidence analysis library review of best practices for performing indirect calorimetry in healthy and non-critically ill individuals. *J Acad Nutr Diet.* 2015;115(9):1417-1446;e1412. doi: 10.1016/j.jand.2015.04.003
- Bogucki EL. Comment on: Measurement of resting energy expenditure in healthy children. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2009;33(6):729-730. doi: 10.1177/0148607109343608
- Levine JA, Schlessner SJ, Jensen MD. Energy expenditure of nonexercise activity. *Am J Clin Nutr.* 2000;72(6):1451-1454.
- Sujatha T, Shatrugna V, Venkataramana Y, Begum N. Energy expenditure on household, childcare and occupational activities of women from urban poor households. *Br J Nutr.* 2007;83(05):497-503. doi: 10.1017/s0007114500000635
- Taguri E, Tanaka S, Ohkawara K, et al. Validity of physical activity indices for adjusting energy expenditure for body size: do the indices depend on body size. *J Physiol Anthropol.* 2010;29(3):109-117. doi: 10.2114/jpa2.29.109
- Brandi LS, Bertolini R, Janni A, et al. Energy metabolism of thoracic surgical patients in the early postoperative period. Effect of posture. *Chest.* 1996;109(3):630-637. doi: 10.1378/chest.109.3.630
- Kashiwazaki H, Dejima Y, Suzuki T. Influence of upper and lower thermoneutral room temperatures (20 degrees C and 25 degrees C) on fasting and post-prandial resting metabolism under different outdoor temperatures. *Eur J Clin Nutr.* 1990;44(5):405-413.
- van Ooijen AM, van Marken Lichtenbelt WD, van Steenhoven AA, Westerterp KR. Seasonal changes in metabolic and temperature responses to cold air in humans. *Physiol Behav.* 2004;82(2-3):545-553. doi: 10.1016/j.physbeh.2004.05.001
- Belko AZ, Barbieri TF. Effect of meal size and frequency on the thermic effect of food. *Nutr Res.* 1987;7(3):237-242.
- Weststrate JA, Weys PJ, Poortvliet EJ, et al. Diurnal variation in postabsorptive resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis. *Am J Clin Nutr.* 1989;50(5):908-914.
- Bielinski R, Schutz Y, Jequier E. Energy metabolism during the postexercise recovery in man. *Am J Clin Nutr.* 1985;42(1):69-82.
- Frankenfield DC, Coleman A. Recovery to resting metabolic state after walking. *J Am Diet Assoc.* 2009;109(11):1914-1916. doi: 10.1016/j.jada.2009.08.010
- Clark HD, Hoffer LJ. Reappraisal of the resting metabolic rate of normal young men. *Am J Clin Nutr.* 1991;53(1):21-26.
- Liu HY, Lu YF, Chen WJ. Predictive equations for basal metabolic rate in Chinese adults: a cross-validation study. *J Am Diet Assoc.* 1995;95(12):1403-1408. doi: 10.1016/S0002-8223(95)00369-x

37. Harrell JS, McMurray RG, Baggett CD, et al. Energy costs of physical activities in children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(2):329-336. doi: 10.1249/01.mss.0000153115.33762.3f
38. Selz R, Jornayvaz FR, Tappy L, et al. Assessment of hepatic glucose metabolism by indirect calorimetry in combination with a non-invasive technique using naturally enriched C-13 glucose in healthy children and adolescents. *Horm Res.* 2004;62:142-148. doi: 10.1159/000080070
39. Sun M, Gower BA, Bartolucci AA, et al. A longitudinal study of resting energy expenditure relative to body composition during puberty in African American and white children. *Am J Clin Nutr.* 2001;73(2):308-315.
40. Wang Z, Heshka S, Zhang K, et al. Resting energy expenditure: systematic organization and critique of prediction methods. *Obes Res.* 2001;9(5):331-336. doi: 10.1038/oby.2001.42
41. Molnar D, Schutz Y. The effect of obesity, age, puberty and gender on resting metabolic rate in children and adolescents. *Eur J Pediatr.* 1997;156(5):376-381. doi: 10.1007/s004310050618
42. Wong WW, Butte NF, Ellis KJ, et al. Pubertal African-American girls expend less energy at rest and during physical activity than Caucasian girls. *J Clin Endocrinol Metab.* 1999;84(3):906-911. doi: 10.1210/jcem.84.3.5517
43. Arslanian SA, Kalhan SC. Protein turnover during puberty in normal children. *Am J Physiol.* 1996;270(1 Pt 1):E79-E84.
44. Bitar A, Fellmann N, Vernet J, et al. Variations and determinants of energy expenditure as measured by whole-body indirect calorimetry during puberty and adolescence. *Am J Clin Nutr.* 1999;69(6):1209-1216.
45. Павловская Е.В., Строкова Т.В., Сурков А.Г., и др. Характеристика пищевого статуса и основного обмена у детей различного возраста с избыточной массой тела и ожирением. // *Вопросы питания.* — 2014. — Т. 83. — № 4. — С. 42—51. [Pavlovskaya EV, Strokovaya TV, Surkov AG, et al. Age-dependent characteristics of nutritional status and resting metabolism in overweight and obese children. *Problems of nutrition.* 2014;83(4):42-51. (In Russ.)].
46. Mostazir M, Jeffery A, Hosking J, et al. Evidence for energy conservation during pubertal growth. A 10-year longitudinal study (Early Bird 71). *Int J Obes (Lond).* 2016;40(11):1619-1626. doi: 10.1038/ijo.2016.158
47. Voss LD, Kirkby J, Metcalf BS, et al. Preventable factors in childhood that lead to insulin resistance, diabetes mellitus and the metabolic syndrome: the early bird diabetes study I. *J Pediatr Endocrinol Metab.* 2003;16(9):1211-1224. doi: 10.1515/jpem.2003.16.9.1211
48. Cheng HL, Amatoury M, Steinbeck K. Energy expenditure and intake during puberty in healthy nonobese adolescents: a systematic review. *Am J Clin Nutr.* 2016;104(4):1061-1074. doi: 10.3945/ajcn.115.129205

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Окороков Павел Леонидович** — к.м.н. [Pavel L. Okorokov, MD, PhD]; адрес: Россия, 117036 Москва, ул. Дм. Ульянова 11 [address: 11 Dm. Ulyanova street, Moscow 117036, Russia];  
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9834-727X>; eLibrary SPIN: 6989-2620; e-mail: pokorokov@gmail.com

#### ИНФОРМАЦИЯ

Рукопись получена: 01.06.17. Одобрена к публикации: 19.09.17.

#### КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Окороков П.Л. Роль непрямой респираторной калориметрии в оценке основного обмена в покое у детей с ожирением // *Проблемы эндокринологии.* — 2017. — Т. 64. — №2. — С. 130-136. doi: 10.14341/probl8754

#### TO CITE THIS ARTICLE:

Okorokov PL. The role of indirect calorimetry in assessing of resting metabolic rate in obese children. *Problems of Endocrinology.* 2017;64(2):130-136. doi: 10.14341/probl8754