

Дата публикации: 01.09.2023  
DOI: 10.24412/2782-6570-2023\_02\_03\_2  
УДК 577.121

Publication date: 01.09.2023  
DOI: 10.24412/2782-6570-2023\_02\_03\_2  
UDC 577.121

## СНИЖАЕТСЯ ЛИ МЕТАБОЛИЗМ С ВОЗРАСТОМ?

А.Б. Мирошников<sup>1</sup>, П.Д. Рыбакова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Государственное казенное учреждение города Москвы «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы, г. Москва, Россия

**Аннотация.** Низкий расход энергии в состоянии покоя считается фактором риска увеличения массы тела, ведущего к ожирению. Многие исследования показали, что старение связано со снижением основного обмена веществ. Мы изучили связь между возрастом и изменениями основного обмена веществ у мужчин и женщин, а также причины этого изменения. Связывание этих причин на субклеточном/клеточном уровне с органами и тканями, а затем с размерами и формой тела обеспечивает всестороннее понимание индивидуальных изменений основного обмена веществ в пожилом возрасте, что является актуальной темой, представляющей интерес в исследованиях ожирения и клинической практике.

**Ключевые слова:** возраст, основной обмен веществ, ожирение, состав тела, щитовидная железа, обезжиренная масса тела, индекс массы тела.

## DOES METABOLISM DECLINE WITH AGE?

A.B. Miroshnikov<sup>1</sup>, P.D. Rybakova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, Russia

<sup>2</sup>Center for Sports Innovative Technologies and National Team Training, Moscow, Russia.

**Annotation.** Low resting energy expenditure is considered a risk factor for weight gain leading to obesity. Many studies have shown that aging is associated with a decrease in basal metabolism. We examined the association between age and changes in basal metabolism in men and women, and the causes of this change. Linking these causes at the subcellular/cellular level to organs and tissues and then to body size and shape provides a comprehensive understanding of individual changes in basal metabolism in old age, which is a current topic of interest in obesity research and clinical practice.

**Keywords:** age, basal metabolism, obesity, body composition, thyroid, fat-free mass, body mass index.

**Введение.** Многие исследования показывают, что в течение взрослой жизни у лиц, проживающих в развитых странах, происходит снижение общих энергозатрат. Это связано со снижением основного обмена в покое (resting energy expenditure (REE)), физической активности и, возможно, со снижением термогенеза [1]. При этом Pontzer и соавторы [2] показали, что общие расходы увеличиваются в зависимости от обезжиренной массы тела (fat-free mass (FFM)), причем на четырех различных этапах жизни. Расходы, скорректированные

на FFM, быстро увеличиваются у новорожденных и превышают показатели взрослого человека на ~50% в возрасте ~1 год; медленно снижаются до уровня взрослого человека к ~20 годам; остаются стабильными во взрослом возрасте (20-60 лет) даже во время беременности; затем снижаются у пожилых людей. Однако эпидемия ожирения среди стареющего населения [3] должна приводить к росту REE в связи с ростом энергетических тканей. На основании анализа проблемной ситуации, данных современной научной литературы и

запросов спортивных врачей, физиологов и нутрициологов была сформулирована цель исследования.

Цель исследования: изучить факторы, влияющие на снижение основного обмена веществ у стареющего населения.

**Методы и организация исследования.** Исследование проводилось на базе Российского университета спорта «ГЦОЛИФК» (г. Москва). Для обзора литературы нами был произведен поиск и анализ научной периодики. При поиске литературы использовались базы данных PubMed, Embase, Research Gate и Cochrane Library.

**Результаты исследования и их обсуждение.** *Органно-тканевой уровень.* В 1907 году английский ученый Джозеф Баркрофт (Joseph Barcroft) начал сообщать о серии исследований катетеризации, направленных на оценку удельной скорости метаболизма ( $K_i$ ) основных органов и тканей [4]. Drabkin и Jean в 1950 году [5] сообщили об оценках базального потребления кислорода человеческим мозгом, сердцем, печенью, почками и скелетными мышцами, и к 1992 году накопленные данные привели к тому, что Elia [6] предложил значения  $K_i$  для большинства основных органов и тканей

человека. Объединение этих расчетных значений  $K_i$  с соответствующими массами органов и тканей дало средство, с помощью которого можно было рассчитать REE человека как сумму REE основных органов и тканей (табл.). Согласно этому подходу, REE органа или ткани является произведением их расчетного значения  $K_i$  и массы [7]. Несмотря на огромный прогресс, достигнутый за последнее столетие, способность измерять REE на уровне органов и тканей остается ограниченной [8]. Во-первых, существует острая потребность в методах, позволяющих количественно оценить фактические значения  $K_i$  in vivo в большинстве органов и тканей (в результате этого ограничения современные физиологические модели включают оценочные значения  $K_i$  для некоторых основных органов и тканей, но не распознаются для таких компонентов, как желудочно-кишечный тракт и легкие. Вместо этого ткани, для которых не существует значения  $K_i$ , часто объединяются в большой «остаточный» компонент, которому затем присваивается оценочное значение  $K_i$ ; однако это вносит ошибку в оценку REE).

Таблица

Массоспецифические скорости метаболизма (значения  $K_i$ ) отдельных органов и тканей

| Орган           | Масса, кг |      | $K_i$ , ккал/кг/д | Расход энергии, ккал/д |      |
|-----------------|-----------|------|-------------------|------------------------|------|
|                 | Муж.      | Жен. |                   | Муж.                   | Жен. |
| Мозг            | 1,6       | 1,43 | 240               | 384                    | 343  |
| Почки           | 0,3       | 0,27 | 440               | 132                    | 119  |
| Сердце          | 0,33      | 0,28 | 440               | 145                    | 123  |
| Печень          | 1,68      | 1,5  | 200               | 336                    | 300  |
| Скелетные мышцы | 30,6      | 21,3 | 13                | 398                    | 277  |
| Жировая ткань   | 19,3      | 29,6 | 4,5               | 87                     | 133  |

Второе ограничение заключается в том, что объемы целых органов, оцениваемые с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ), не могут учитывать неметаболически активные компоненты, такие как кровь, соединительная ткань и жир, которые могут присутствовать в различных количествах в скелетных мышцах, печени и других органах. Эта разница может влиять на

плотность органа, значение, которое теперь считается постоянным при преобразовании объемов, измеренных МРТ, в массу. В-третьих, опубликованные значения  $K_i$  могут неточно учитывать региональные различия в потреблении кислорода, которые происходят в некоторых органах и тканях, таких как мозг [9]. То же самое, вероятно, относится к жировой ткани, очень

разнообразной ткани, расположенной в разных анатомических участках по всему телу.

*Уровень всего тела.* Масса тела (МТ), представляет собой сумму всех тепловыделяющих компонентов на уровне клеток и органов-тканей и относительно небольшого количества метаболически инертного вещества, такого как волосы, сухожилия и внеклеточные соединительные ткани. Связь между REE и массой тела является определяющей чертой млекопитающих, включая человека, и сформулирована в законе Клейбера (Kleiber):  $REE = MT^{0,75}$  [10]. Соответственно, МТ является основной переменной-предиктором REE на уровне всего тела и составляет ключевой компонент современных уравнений прогнозирования [11]. Человеческое тело состоит из 78 органов и 11 систем, которые имеют относительно стабильные пропорции среди взрослых с нормальной МТ. Это одна из причин, почему эталонные мужчины и женщины имеют одинаковые соответствующие значения REE [12] и  $K_i$  для всего тела (т.е.  $REE/MT$ ) 24,3 и 23,6 ккал/кг/день, и почему REE сильно коррелирует с МТ у взрослых [7]. По сути, все взрослые люди устроены одинаково, поэтому на МТ приходится более двух третей индивидуальных различий в REE.

Избыточная МТ и ожирение являются серьезными заболеваниями, распространенность которых среди пожилых европейцев составляет около 60% и 20% соответственно [13] и у 50% пожилых людей во всем мире [14]. Ожирение характеризуется избыточным накоплением жира, которое часто возникает в процессе старения [15]. Особенно это происходит у лиц в возрасте от 45 до 70 лет, при этом пик МТ наблюдается в среднем возрасте, т.е. в возрасте от 50 до 65 лет [16]. В большинстве исследований было установлено, что REE значительно выше у лиц с ожирением (на 360 ккал/сут), причем средние различия в значениях REE составляли от 49 ккал/сут (ожирение I степени по сравнению с лицами без ожирения) до 826 ккал/сут (тяжелая степень ожирения по сравнению с лицами без

ожирения) [17]. Все это потому, что ожирение характеризуется не только избытком жировой и мышечной массы, но и увеличением массы других «спутниковых» органов (печень, почки, сердце) и тканей (кожа) и связанных с ними метаболических свойств [18]. Эти данные трудно соотнести с данными Pontzer и соавторов [2], так как они показали, что общие затраты энергии остаются стабильными во взрослом возрасте (20-60 лет) и затем снижаются у пожилых людей. Возможны два объяснения этих результатов. Во-первых, у пожилых людей может быть более низкий REE на единицу клеточной массы для отдельных органов и тканей (т.е. удельная скорость метаболизма), чем у молодых людей. Клеточная фракция органов и тканей может различаться у молодых и пожилых людей, потому что установлены гистологические изменения в печени и других тканях, которые показывают относительную потерю клеточной фракции органов и тканей и расширение внеклеточных компартментов (например, соединительной ткани) [19-20]. Возможно, у женщин адаптивные изменения происходят в среднем возрасте (~47 лет), тогда как у мужчин в ~54 года [21]. Однако занятия спортом стабилизируют экспрессию генов и содержание белка в комплексах транспортной цепи электронов [22], что показывает полное сохранение активных мышечных клеток, которые могут поддерживать относительно высокий REE в пожилом возрасте. Во-вторых, так как хорошо известно, что высокое относительное REE коррелировало с более высокими уровнями гормонов щитовидной железы [23], то можно предположить, что снижение активности щитовидной железы будет занижать REE в пожилом возрасте.

*Щитовидная железа в пожилом возрасте.* Основные факторы, определяющие потребность организма в энергии, включают REE, физические процессы, МТ и частоту питания [24]. REE, важный параметр потребности в энергии, в значительной степени связан с гормонами щитовидной железы. Многие исследования показали, что

уровень гормонов щитовидной железы повышается в пожилом возрасте (>80 лет) [25-28]. Что касается связи ожирения и возраста с гормонами щитовидной железы, то недавнее исследование Masoumi и Pishva [29] показывает, что уровень тиреоидных гормонов (Т3, Т4 и тиреотропный гормон) был в пределах нормы у всех лиц с ожирением (женщины 30-50 лет). Работа Ozcelik и соавторов [30] показала, что на поздних стадиях ожирения повышение уровня гормонов щитовидной железы способствует увеличению потребления энергии организмом за счет увеличения потребности в энергии в покое, тем самым предлагая организму альтернативный способ «спасения» от риска ожирения. Эта ситуация является адаптивным спасательным вкладом, аналогичным влиянию лептина, который коррелирует с количеством жировой ткани при ожирении, ингибирует питание, воздействуя на центр насыщения.

**Заключение.** Ожирение рассматривается как фактор риска метаболических и хронических заболеваний. Снижение REE в пожилом возрасте может увеличить риск ожирения. Анализ и обобщение литературных источников по данному вопросу

указывает на наличие нескольких сценариев. Первый сценарий подразумевает пожилого человека с нормальной МТ, ведущего сидячий образ жизни. При таком сценарии возможно снижение REE в результате потери клеточной фракции органов с высоким  $K_i$ . Второй сценарий подразумевает пожилого человека с ожирением ведущего сидячий образ жизни. При таком сценарии возможно повышение REE в результате роста массы мышц, жира и органов с высоким  $K_i$ , а также повышения уровня гормонов щитовидной железы. Третий сценарий подразумевает пожилого человека с нормальной МТ, ведущего активный (спортивный) образ жизни. При таком сценарии возможен стабильный или повышенный REE в результате сохранения или роста массы скелетных мышц соответственно. Поэтому необходимо вести просветительскую работу среди стареющего населения на предмет занятий физической культурой и спортом, так как именно физическая активность помогает сохранять метаболически активные мышечные клетки, которые могут поддерживать относительно высокий REE в пожилом возрасте. Требуются дополнительные рандомизированные исследования в данной области.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Elia, M. Total energy expenditure in the elderly / M. Elia, P. Ritz, R. J. Stubbs // *Eur J Clin Nutr.* – 2000. – № 54. – pp. 92-103. DOI: 10.1038/sj-ejcn.1601030.
2. Pontzer, H. Daily energy expenditure through the human life course / H. Pontzer, Y. Yamada, H. Sagayama // *Science.* – 2021. – № 373(6556). – pp. 808-812. DOI: 10.1126/science.abe5017.
3. Obesity and Aging / Malandrino N., Bhat S. Z., Alfaraidhy M. [et al] // *Endocrinol Metab Clin North Am.* – 2023. – № 52(2) – pp. 317-339. DOI: 10.1016/j.ecl.2022.10.001.
4. Barcroft, J. The gaseous metabolism of the mammalian heart: Part I / J. Barcroft, W. E. Dixon // *J Physiol.* – 1907. – №25;35(3). – pp. 182-204. DOI: 10.1113/jphysiol.1907.sp001189.
5. Drabkin, D. L. The distribution of the chromoproteins, hemoglobin, myoglobin, and cytochrome c, in the tissues of different species, and the relationship of the total content of each chromoprotein to body mass / D. L. Drabkin, R. Jean // *J Biol Chem.* – 1950. – № 182. – pp. 317-334.
6. Elia, M. Organ and tissue contribution to metabolic rate / M. Elia / In: Kinney J.M., Tucker H.N., eds. *Energy Metabolism: Tissue Determinants and Cellular Corollaries.* – New York: Raven Press, 1992. – pp. 61-79.
7. Resting Energy Expenditure: From Cellular to Whole-Body Level, a Mechanistic Historical Perspective / Heymsfield S. B., Smith B., Dahle J. [et al] // *Obesity (Silver Spring).* – 2021. – № 29(3). – pp. 500-511. DOI: 10.1002/oby.23090.

8. Evaluating the Relationship Between Lean Liver Volume and Fat-Free Mass / J. Sinha, S. Duffull, B. Green, H. Al-Sallami // *Clin Pharmacokinet.* – 2020. – № 59(4). – pp. 475-483. DOI: 10.1007/s40262-019-00824-7.
9. Contribution of structural brain phenotypes to the variance in resting energy expenditure in healthy Caucasian subjects / C. Geisler, M. Hübers, O. Granert, M. Müller // *J Appl Physiol* – (1985) 2018. – № 125(2). – pp. 320-327. DOI: 10.1152/japplphysiol.00690.2017.
10. Kleiber, M. Body size and metabolism / M. Kleiber // *Hilgardia.* –1932. – № 6. – pp. 315-351.
11. Predicting resting energy expenditure among athletes: a systematic review / Martinho D. V., Naughton R. J., Faria A. [et al] // *Biol Sport.* – 2023. – №40(3). – pp. 787-804. DOI: 10.5114/biolsport.2023.119986.
12. Sex Differences in Resting Metabolic Rate Among Athletes / Jagim A. R., Camic C. L., Askow A. [et al] // *J Strength Cond Res.* – 2019. – №33(11). – pp. 3008-3014. DOI: 10.1519/JSC.00000000000002813.
13. Prevalence and trends of overweight and obesity in older adults from 10 European countries from 2005 to 2013 / Peralta M., Ramos M., Lipert A. [et al] // *Scand J Public Health.* – 2018. – № 46(5). – pp. 522-529. DOI: 10.1177/1403494818764810.
14. Colleluori, G. Weight strategy in older adults with obesity: calorie restriction or not? / G. Colleluori, D. T. Villareal // *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* – 2023. – № 26(1). – pp. 17-22. DOI: 10.1097/MCO.0000000000000879.
15. Deciphering the “obesity paradox” in the elderly: A systematic review and meta-analysis of sarcopenic obesity / Liu C., Wong P. Y., Chung Y. L. [et al] // *Obes Rev.* – 2023. – № 24(2). – P. e13534. DOI: 10.1111/obr.13534.
16. Nutrition and Exercise Interventions to Improve Body Composition for Persons with Overweight or Obesity Near Retirement Age: A Systematic Review and Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials / Eglseer D., Traxler M., Embacher S. [et al] // *Adv Nutr.* – 2023. – №14(3). – pp. 516-538. DOI: 10.1016/j.advnut.2023.04.001.
17. Is Obesity Associated with Altered Energy Expenditure? / Carneiro I. P., Elliott S. A., Siervo M. [et al] // *Adv Nutr.* – 2016. – №7(3). – pp. 476-487. DOI: 10.3945/an.115.008755.
18. Obesity Tissue: Composition, Energy Expenditure, and Energy Content in Adult Humans / Hwaung P., Bosy-Westphal A., Muller M. J. [et al] // *Obesity* (Silver Spring). – 2019. – №27(9). – pp. 1472-1481. DOI: 10.1002/oby.22557.
19. Smaller organ tissue mass in the elderly fails to explain lower resting metabolic rate / Gallagher D., Allen A., Wang Z. [et al] // *Ann N Y Acad Sci.* – 2000. – №904. – pp. 449-455. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2000.tb06499.x.
20. A cellular-level approach to predicting resting energy expenditure across the adult years / Wang Z., Heshka S., Heymsfield S. B. [et al] // *Am J Clin Nutr.* – 2005. – №81(4). – pp. 799-806. DOI: 10.1093/ajcn/81.4.799.
21. Age-related changes in resting energy expenditure in normal weight, overweight and obese men and women / Siervo M., Oggioni C., Lara J. [et al] // *Maturitas.* – 2015. – №80(4). – pp. 406-413. DOI: 10.1016/j.maturitas.2014.12.023.
22. High Levels of Physical Activity in Later Life Are Associated With Enhanced Markers of Mitochondrial Metabolism / Joannis S., Ashcroft S., Wilkinson D. J. [et al] // *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* – 2020. – №75(8). – pp. 1481-1487. DOI: 10.1093/gerona/glaa005.
23. Higher than predicted resting energy expenditure and lower physical activity in healthy underweight Chinese adults / Hu S., Zhang X., Stamatou M. [et al] // *Cell Metab.* – 2022. – № 34(10). – pp. 1413-1415. DOI:10.1016/j.cmet.2022.05.012.
24. Adult energy requirements predicted from doubly labeled water / Plucker A., Thomas D. M., Broskey N. [et al] // *Int J Obes (Lond).* – 2018. – № 42(8). – pp. 1515-1523. DOI: 10.1038/s41366-018-0168-0.
25. Boucai, L. Reference limits of serum TSH and free T4 are significantly influenced by race and age in an urban outpatient medical practice / L. Boucai, M. I. Surks // *Clin Endocrinol (Oxf).* – 2009. – № 70(5). – pp. 788-793. DOI: 10.1111/j.1365-2265.2008.03390.x.
26. Boucai, L. An approach for development of age, gender-, and ethnicity-specific thyrotropin reference limits / L. Boucai, J. G. Hollowell, M. I. Surks // *Thyroid.* – 2011. – №21(1). – pp. 5-11. DOI: 10.1089/thy.2010.0092.
27. Circadian and Circannual Rhythms in Thyroid Hormones: Determining the TSH and Free T4 Reference Intervals Based Upon Time of Day, Age, and Sex / Ehrenkranz J., Bach P. R., Snow G. L. [et al] // *Thyroid.* – 2015. – № 25(8). – pp. 954-61. DOI: 10.1089/thy.2014.0589.
28. Thyroid metabolism and supplementation: A review framed in sports environment / D. Martínez Brito, F. Botrè, F. Romanelli, X. de la Torre // *Drug*

Test Anal. – 2022. – №14(7). – pp. 1176-1186.  
DOI: 10.1002/dta.3257.

29. Masoumi, Z. T. Does diet and activity lead to difference in resting energy expenditure in obese women? / Z. T. Masoumi, H. Pishva // BMC Womens Health. – 2023. – №23(1). – P. 335. DOI 10.1186/s12905-023-02480-3.

30. Adaptive contribution of thyroid hormones in obesity / F. Ozcelik, A. Dastan, H. Pence, M. Ciraci // International Journal of Negative Results. – 2019. – №9;1(2). – P.1-1. DOI: 10.14302/issn.2641-9181.ijnr-18-2530.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Александр Борисович Мирошников** – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры спортивной медицины, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: benedikt116@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4030-0302.

**Полина Денисовна Рыбакова** – аналитик отдела спортивной нутрициологии ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта Москвы (ГКУ «ЦСТиСК» москомспорта), Москва, e-mail: rybakova.poly@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1165-6518.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Aleksandr Borisovich Miroshnikov** – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Sports Medicine, Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, e-mail: benedikt116@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4030-0302.

**Polina Denisovna Rybakova** – Analyst, Department of Sports Nutritionology, Center for Sports Innovative Technologies and National Team Training, Moscow Department of Sport, Moscow, e-mail: rybakova.poly@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1165-6518.

**Для цитирования:** Мирошников, А. Б. Снижается ли метаболизм с возрастом? / А. Б. Мирошников, П. Д. Рыбакова // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2023. – Т. 2. – № 3. DOI: 10.24412/2782-6570-2023\_02\_03\_2

**For citation:** Miroshnikov A.B., Rybakova P.D. Does metabolism decline with age? *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*, 2023, vol. 2, no. 3. DOI: 10.24412/2782-6570-2023\_02\_03\_2