

УДК [612.512+577.121]:796.92

DOI: 10.37482/2687-1491-Z136

ВЛИЯНИЕ ПИЩЕВОГО ТЕРМОГЕНЕЗА НИЗКОКАЛОРИЙНОЙ УГЛЕВОДНОЙ НАГРУЗКИ НА ЭНЕРГОТРАТЫ ПОКОЯ

Е.А. Бушманова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1896-2879>
Т.П. Логинова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7003-6664>
А.Ю. Людина** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4849-4735>

*Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук,
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
(Республика Коми, г. Сыктывкар)

**Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина
(Республика Коми, г. Сыктывкар)

Основной обмен отличается от энергозатрат покоя менее чем на 10 % в силу измерений последнего в сходных условиях, но после низкокалорийной пищевой нагрузки. В настоящее время оба термина используются взаимозаменяемо, предпочтение отдается энергозатратам покоя. Однако велоэргометрический тест «до отказа», часто применяемый в оценке физической работоспособности спортсменов высокой квалификации, не должен проводиться после 12-часового голодания. В связи с этим перед тестированием участники потребляют стандартизированный низкокалорийный углеводный завтрак, что, по предположению авторов статьи, не искажает получаемые значения энергозатрат покоя. Поэтому **целью** исследования было определить влияние стандартизированной углеводной нагрузки на энергозатраты покоя и состав тела. **Материалы и методы.** У здоровых юношей ($n = 10$) проведены: антропометрия и анализ состава тела с помощью системы ACCUNIQ BC380; измерение энергозатрат покоя методом непрямой калориметрии; расчет термогенеза тестового (низкокалорийного углеводного) завтрака как разницы между энергозатратами покоя натощак и постпрандиальным обменом. **Результаты.** Исследование показало, что пищевая нагрузка (250–300 ккал) с высоким содержанием углеводов (91 %) не оказывает значимого влияния на энергозатраты покоя. Пищевой термогенез тестового завтрака составил $36,0 \pm 5,7$ ккал, что увеличило энергозатраты покоя ($1887,2 \pm 111,7$ ккал) на 2 % по сравнению с исходным уровнем основного метаболизма ($1851,2 \pm 106,0$ ккал). У обследованных юношей энергозатраты покоя варьировали в зависимости от количества общей воды в организме ($p = 0,038$), жировой массы ($p = 0,021$), а также от энергетических субстратов (углеводов), полученных с пищей ($p = 0,046$). Таким образом, в исследованиях людей, в т. ч. спортсменов, допустимо проводить измерение энергозатрат покоя после углеводного завтрака, калорийность которого не превышает 300 ккал.

Ключевые слова: энергозатраты покоя, пищевой термогенез, основной обмен, углеводный завтрак, непрямая калориметрия, состав тела, биоимпедансный анализ.

Ответственный за переписку: Бушманова Екатерина Андреевна, адрес: 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 50; e-mail: katerinabushmanova@mail.ru

Для цитирования: Бушманова Е.А., Логинова Т.П., Людина А.Ю. Влияние пищевого термогенеза низкокалорийной углеводной нагрузки на энергозатраты покоя // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 2. С. 153–161. DOI: 10.37482/2687-1491-Z136

Общий суточный расход энергии человека складывается из двух основных компонентов: энерготрат покоя (ЭТП), составляющих около 60–70 %, и энерготрат вне покоя, которые включают термический эффект пищи (до 10 %) и энерготраты физической активности (15–20 %) [1–4].

Как известно, основной обмен (ОО) является самым большим компонентом суточных энерготрат и представляет минимальное количество энергии, необходимое для поддержания основных физиологических функций организма в состоянии покоя. Значение ОО отличается от ЭТП менее чем на 10 % в силу измерения последнего в сходных условиях, но после низкокалорийной пищевой нагрузки. В литературе термины используются взаимозаменяемо, однако предпочтение отдается ЭТП [2, 4–6].

Пищевой термогенез (ПТ) наряду с такими параметрами, как ЭТП и энерготраты физической активности, является важной частью суточных энерготрат. При этом если ЭТП отражают интенсивность энергетического обмена в целом, то ПТ – физиологические и метаболические особенности усвоения макронутриентов [2, 7]. Интенсивность и продолжительность ПТ определяются количеством и химическим составом потребленной пищи. Так, ПТ увеличивает ЭТП в среднем на 5–10 % для углеводов, 0–5 % для жиров и 20–30 % для белков [2, 8]. Учитывая это, ПТ, как и ОО, можно рассматривать в

качестве индивидуального показателя энергетического обмена, а особенности термогенеза основных макронутриентов целесообразно использовать как дополнительный критерий оценки метаболического или энергетического статуса [1].

На сегодняшний день «золотым стандартом» определения расхода энергии является метод непрямой калориметрии [5, 9, 10], применяемый для оценки ОО с соблюдением стандартизированных условий, главное из которых – измерение натошак [2, 4]. Однако велоэргометрический тест «до отказа», часто используемый в оценке физической работоспособности спортсменов высокой квалификации, не должен проводиться после 12-часового голодания. Поэтому такое тестирование сопровождается стандартизированным низкокалорийным углеводным завтраком, что, по нашим предположениям, не искажает получаемые значения ЭТП. В дополнение к этому измерение ЭТП проводится в сочетании с биоимпедансометрией, что предоставляет дополнительные информативные показатели физической работоспособности [11]. В связи с этим целью исследования было определение влияния стандартизированной углеводной нагрузки на ЭТП и состав тела.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 10 здоровых юношей (средний возраст – 19,9±1,6 лет, рост – 177,9±7,5 см), студентов-медиков. Антропометрическая характеристика выборки представлена в *табл. 1*.

Таблица 1

**АНТРОПОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБСЛЕДУЕМЫХ ЮНОШЕЙ
ДО И ПОСЛЕ ПИЩЕВОЙ НАГРУЗКИ (стандартизированный углеводный завтрак), $M \pm SD$**
**ANTHROPOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE SUBJECTS
BEFORE AND AFTER A FOOD INTAKE (standardized high-carbohydrate breakfast), $M \pm SD$**

Показатель	До тестового завтрака	После тестового завтрака
Масса тела, кг	73,5±17,8	73,7±17,8*
Индекс массы тела, кг/м ²	23,0±4,2	23,1±4,2
Жировая масса, %	17,6±6,9	18,4±7,1

Примечание: * – установлены статистически значимые отличия по критерию Уилкоксона ($p < 0,05$).

Критериями допуска к исследованию являлись возраст (от 18 до 33 лет), отсутствие вредных привычек, острых и хронических заболеваний, признаков ОРВИ. Протокол исследования рассмотрен и одобрен локальным комитетом по биоэтике Института физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, обследуемые дали информированное согласие на участие. Все процедуры проводились в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации 1964 года (в редакции 2013 года).

Антропометрию, включая измерение состава тела методом биоэлектрического импеданса, осуществляли с помощью системы ACCUNIQ BC380 (Южная Корея). Исследование проводили утром, натощак и после стандартизированной пищевой нагрузки, в положении стоя на платформе анализатора, при этом использовали встроенный ультразвуковой антропометр, электроды для рук и голеностопных суставов.

ЭТП исследовали методом непрямой калориметрии с помощью эргоспирометрической системы Охусон Pro (Германия) с регистрацией концентраций потребляемого O_2 , выдыхаемого CO_2 , дыхательного коэффициента (ДК), а также с определением скорости окисления метаболических субстратов (углеводов, жиров и белков) с помощью индивидуальной лицевой маски.

Участникам накануне исследования было рекомендовано ограничить тяжелые физические нагрузки и поздний ужин, а также воздержаться от кофеина. Исследование проводили утром, после 8-часового сна, в состоянии полного физического покоя и при отсутствии каких-либо внешних раздражителей, в полутемной тихой комнате при комфортной температуре (23 °C). Обследуемого помещали на кушетку, предварительно закрепив на его лице маску. Затем участнику давали время для адаптации (10–20 мин), чтобы успокоиться и освоиться. После нормализации ДК (0,80–0,86) выполняли измерение в течение 5–10 мин.

После проведенного натощак измерения ЭТП испытуемым предлагали стандартизированный углеводный завтрак (банан – 1 шт., галеты – 3–5 шт., черный чай без сахара – 200 мл), калорийность которого составляла 250–300 ккал на порцию. Химический состав завтрака (% от калорийности): белки – 8, жиры – 1, углеводы – 91. Завтрак длился около 10 мин. По истечении 90 мин после стандартизированного углеводного завтрака проводили повторное измерение ЭТП. Термогенез тестового завтрака рассчитывали как разницу между ЭТП натощак и постпрандиальным обменом.

Данное исследование было разделено на два дня. В день обследования по 5 человек, и временной промежуток между одним и тем же испытуемым (голодным и сытым) методически составил 90 мин, что соответствует второму гипергликемическому пику на инсулиновой кривой после еды. Также учитывали, что некоторым участникам требовалось больше времени для адаптации и нормализации ДК. В дни обследования время ожидания момента велоэргометрического тестирования после низкокалорийного углеводного завтрака совпадало с временным отрезком в 90 мин.

Данные обрабатывали в программе Statistica (версия 12.6, StatSoft Inc, 2015). Результаты представляли в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$). Нормальность распределения проверяли критерием Шапиро–Уилка. Значимость различий между показателями оценивали с помощью непараметрического критерия Уилкоксона. Корреляционный анализ проводили по Спирмену. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. В данной статье мы изучали влияние ПТ на значения ЭТП. ПТ стандартизированного углеводного завтрака составил $36,0 \pm 5,7$ ккал, т. е. 13 % от его калорийности. У 70 % обследуемых наблюдалось увеличение ЭТП вследствие ПТ, тем не менее

значимые отличия были обнаружены только между некоторыми показателями состава тела (табл. 2).

от ПТ показал незначительное уменьшение количества белков ($p = 0,042$) и, напротив, увеличение содержания общей воды ($p = 0,038$),

Таблица 2

ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГООБМЕНА И СОСТАВА ТЕЛА ОБСЛЕДУЕМЫХ ЮНОШЕЙ ОТ ПИЩЕВОГО ТЕРМОГЕНЕЗА СТАНДАРТИЗИРОВАННОГО УГЛЕВОДНОГО ЗАВТРАКА, $M \pm SD$
DEPENDENCE OF RESTING ENERGY EXPENDITURE AND BODY COMPOSITION OF THE SUBJECTS ON THE THERMIC EFFECT OF A STANDARDIZED HIGH-CARBOHYDRATE BREAKFAST, $M \pm SD$

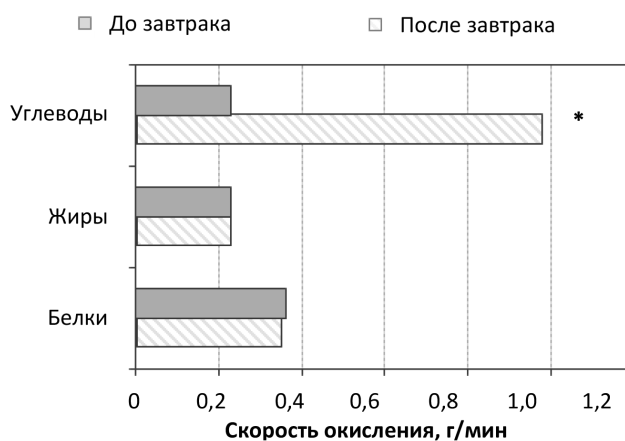
Показатель	До тестового завтрака	После тестового завтрака
ЭТП, ккал	1851,2±106,0	1887,2±111,7
Общая вода, л	43,4±7,2	43,7±7,4*
Белки, кг	11,8±2,1	11,7±2,0*
Жировая масса тела, кг	13,8±9,2	14,4±9,6*
Безжировая масса тела, кг	58,6±10,3	59,3±10,0

Примечание: * – установлены статистически значимые отличия по критерию Уилкоксона ($p < 0,05$).

ЭТП у юношей после тестового завтрака (1887,2±111,7 ккал) незначительно увеличились ($p = 0,332$) по сравнению с исходным уровнем (1851,2±106,0 ккал). Сравнительный анализ показателей состава тела в зависимости

а также жировой массы ($p = 0,021$) после приема стандартизированного углеводного завтрака.

Была оценена скорость окисления основных энергетических субстратов (см. рисунок)



Скорость окисления энергетических субстратов в организме обследуемых юношей до и после стандартизированного углеводного завтрака (* – установлены статистически значимые отличия по критерию Уилкоксона ($p < 0,05$))

Energy substrate oxidation rate in the subjects before and after a standardized high-carbohydrate breakfast (* – statistically significant differences were established according to the Wilcoxon signed-rank test ($p < 0,05$))

до и после тестового завтрака (через 90 мин после приема пищи): скорость окисления жиров не изменилась ($p = 0,493$), белков – незначительно уменьшилась ($p = 0,227$), а углеводов – увеличилась в 4 раза ($p = 0,046$).

Обсуждение. При проведении однодневного теста «до отказа» на велоэргометрической системе мы придерживаемся отработанного протокола, который не предусматривает перерыв между исследованием ОО и энерготрат физической нагрузки (измерения происходят последовательно). Поэтому перед тестированием на велоэргометре каждый обследуемый принимает стандартизированный углеводный завтрак (250–300 ккал). В связи с этим возникло предположение, что ПТ низкокалорийной углеводной нагрузки вносит минимальный вклад в ЭТП. В нашем исследовании ЭТП незначительно увеличились после тестового завтрака, тем не менее статистически значимых отличий не было обнаружено ($p = 0,332$), что может быть связано как с малой выборкой обследуемых, так и с низким количеством углеводов в составе тестового завтрака.

Установлено, что независимо от состава пищи повышенное энергопотребление (ЭП) приводит к увеличению энергообмена [12]. После приема пищи интенсивность обмена веществ и энерготраты организма возрастают по сравнению с уровнем ОО в строгой зависимости от химического состава потребляемой пищи [2, 8]. Ранее было показано [13], что пищевая нагрузка, содержащая от 200 до 1000 ккал, приводит к повышению ЭТП примерно на 10 % по сравнению с ОО в результате ПТ через 1 ч после приема пищи. В другом исследовании сравнение ЭП разной калорийности (450, 1000 и 1500 ккал) показало увеличение ЭТП на 9, 21 и 33,5 % от исходного уровня соответственно [12].

Аналогичные работы сравнивали низкокалорийное ЭТП с высоким содержанием жиров (195 ккал) и высококалорийное ЭП с низким содержанием жиров (700 ккал), в результате обнаружены более высокие значения ПТ при высококалорийном ЭП [14, 15]. При сравнении

ЭП с одинаковой калорийностью, но высокой долей углеводов и жиров было выявлено, что ПТ на 96 % выше для высокоуглеводного [16] и на 16 % больше для высокожирового [17] ЭП по сравнению с исходным уровнем. Схожее исследование, проведенное среди здоровых молодых мужчин, также показало, что ПТ на 32 % выше при ЭП с высоким содержанием углеводов по сравнению с высокожировым ЭП [18]. Таким образом, углеводный компонент питания вносит более существенный вклад в ПТ по сравнению с жировым.

При этом независимо от возраста и состава тела во время аэробных нагрузок умеренной интенсивности эффекты приема белковой пищи минимальны или полностью сводятся на нет [13], что позволяет обследовать спортсменов в ненатошачковом состоянии, при условии потребления перед обследованием углеводной пищи, ПТ которой варьирует от 5 до 10 %.

Одним из важных предикторов ЭТП является состав тела, оцениваемый путем биоимпедансного анализа [19], поэтому нами проведен сравнительный анализ показателей состава тела до и после тестового завтрака (*табл. 2*).

Базальный метаболизм – конституциональный признак, который отражает интенсивность энергетического обмена. Среди наиболее значимых детерминант базального обмена выделяют такие параметры организма, как масса тела, рост, возраст и пол, охватывающие около 70 % вариабельности энерготрат. У спортсменов или физически активных людей ЭТП варьируют в зависимости от состава тела, особенно от безжировой массы [4, 13]. В подтверждение этого нами была обнаружена корреляция между ЭТП и безжировой массой тела ($r_s = 0,9$; $p < 0,000$), количеством общей воды в организме ($r_s = 0,9$; $p < 0,000$) и жировой массой ($r_s = 0,7$; $p = 0,013$) после тестового завтрака. В то же время до пищевой нагрузки между этими показателями не было установлено корреляционных связей.

Величина ПТ зависит от химического состава пищи [20], при этом термическая реакция белков является максимальной [20], углеводы

обладают меньшим ПТ, а у жиров он самый низкий [21]. На ПТ белков влияет их аминокислотный состав, жирные кислоты способны вносить разный вклад в термогенез жиров [21]. Также интенсивность термической реакции суммарных углеводов пищи зависит от их состава. При измерении ЭТП в натошачевом состоянии в энергообмен в основном включены жиры ($p = 0,006$), а после пищевой нагрузки, содержащей 91 % углеводов, 8 % белков и 1 % жиров от калорийности стандартизированного завтрака, происходит сдвиг в сторону окисления углеводов (см. рисунок). При этом известно, что пиковое значение ПТ приходится на временную точку 60 мин после приема пищи [13].

Результаты настоящего исследования показали, что пищевая нагрузка с высоким содержанием углеводов (91 %) оказывает минимальное влияние на ЭТП и потому допустима в обследовании спортсменов. ПТ тестового

завтрака составил $36,0 \pm 5,7$ ккал, что увеличило ЭТП на 2 % по сравнению с исходным уровнем основного метаболизма. Установлено, что ЭТП у здоровых юношей варьируют в зависимости от количества общей воды в организме ($p = 0,038$), жировой массы ($p = 0,021$), а также от вида энергетических субстратов, полученных с пищей. Данное исследование подтверждает, что ЭТП, измеренные после низкокалорийной (до 300 ккал) пищевой нагрузки с высоким содержанием углеводов, не отличаются от ОО, поэтому стандартизированный углеводный завтрак будет использоваться нами в дальнейших исследованиях энерготрат.

Финансирование. Исследование проведено за счет средств субсидии на выполнение государственного задания № ГР1021051201877-3-3.1.8 (2022–2026 годы).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. *Westertep K.R.* Physical Activity and Physical Activity Induced Energy Expenditure in Humans: Measurement, Determinants, and Effects // *Front. Physiol.* 2013. Vol. 4. Art. № 90. DOI: [10.3389/fphys.2013.00090](https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00090)
2. *Redondo R.B.* Resting Energy Expenditure: Assessment Methods and Applications // *Nutr. Hosp.* 2015. Vol. 31, suppl. 3. P. 245–254. DOI: [10.3305/nh.2015.31.sup3.8772](https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.sup3.8772)
3. *MacLean P.S., Bergouignan A., Cornier M.-A., Jackman M.R.* Biology's Response to Dieting: The Impetus for Weight Regain // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2011. Vol. 301, № 1. P. R581–R600. DOI: [10.1152/ajpregu.00755.2010](https://doi.org/10.1152/ajpregu.00755.2010)
4. *Levine J.A.* Measurement of Energy Expenditure // *Public Health Nutr.* 2005. Vol. 8, № 7A. P. 1123–1132. DOI: [10.1079/phn2005800](https://doi.org/10.1079/phn2005800)
5. *MacKenzie-Shalders K., Kelly J.T., So D., Coffey V.G., Byrne N.M.* The Effect of Exercise Interventions on Resting Metabolic Rate: A Systematic Review and Meta-Analysis // *J. Sports Sci.* 2020. Vol. 38, № 14. P. 1635–1649. DOI: [10.1080/02640414.2020.1754716](https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1754716)
6. *Wasserfurth P., Palmowski J., Hahn A., Krüger K.* Reasons for and Consequences of Low Energy Availability in Female and Male Athletes: Social Environment, Adaptations, and Prevention // *Sports Med. Open.* 2020. Vol. 6, № 1. Art. № 44. DOI: [10.1186/s40798-020-00275-6](https://doi.org/10.1186/s40798-020-00275-6)
7. *Егоренкова Н.П.* Влияние химического состава готовых блюд на пищевой термогенез // *Мед. акад. журн.* 2016. Т. 16, № 4. С. 210–211.
8. *Morris A.L., Mohiuddin S.S.* Biochemistry, Nutrients // *StatPearls.* Treasure Island: StatPearls Publishing, 2022.
9. *Purcell S.A., Johnson-Stoklossa C., Braga Tibaes J.R., Frankish A., Elliott S.A., Padwal R., Prado C.M.* Accuracy and Reliability of a Portable Indirect Calorimeter Compared to Whole-Body Indirect Calorimetry for Measuring Resting Energy Expenditure // *Clin. Nutr. ESPEN.* 2020. Vol. 39. P. 67–73. DOI: [10.1016/j.clnesp.2020.07.017](https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.07.017)
10. *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. Vol. 32, № 7. P. 1875–1881. DOI: [10.1519/JSC.0000000000002111](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002111)

11. Vargas M., Lancheros L., Barrera M.P. Energy Expenditure in Repose Related to Body Composition in Adults // Rev. Fac. Med. 2011. Vol. 59, suppl. 1. P. 43–58.
12. Calcagno M., Kahleova H., Alwarith J., Burgess N.N., Flores R.A., Busta M.L., Barnard N.D. The Thermic Effect of Food: A Review // J. Am. Coll. Nutr. 2019. Vol. 38, № 6. P. 547–551. DOI: [10.1080/07315724.2018.1552544](https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1552544)
13. Binns A., Gray M., Di Brezzo R. Thermic Effect of Food, Exercise, and Total Energy Expenditure in Active Females // J. Sci. Med. Sport. 2015. Vol. 18, № 2. P. 204–208. DOI: [10.1016/j.jsams.2014.01.008](https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.01.008)
14. Martin A., Normand S., Sothier M., Peyrat J., Louche-Pelissier C., Laville M. Is Advice for Breakfast Consumption Justified? Results from a Short-Term Dietary and Metabolic Experiment in Young Healthy Men // Br. J. Nutr. 2000. Vol. 84, № 3. P. 337–344. DOI: [10.1017/s0007114500001616](https://doi.org/10.1017/s0007114500001616)
15. Quatela A., Callister R., Patterson A., MacDonald-Wicks L. The Energy Content and Composition of Meals Consumed After an Overnight Fast and Their Effects on Diet Induced Thermogenesis: A Systematic Review, Meta-Analyses and Meta-Regressions // Nutrients. 2016. Vol. 8, № 11. Art. № 670. DOI: [10.3390/nu8110670](https://doi.org/10.3390/nu8110670)
16. Bowden V.L., McMurray R.G. Effects of Training Status on the Metabolic Responses to High Carbohydrate and High Fat Meals // Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 2000. Vol. 10, № 1. P. 16–27. DOI: [10.1123/ijsnem.10.1.16](https://doi.org/10.1123/ijsnem.10.1.16)
17. Thyfault J.P., Richmond S.R., Carper M.J., Pottleiger J.A., Hulver M.W. Postprandial Metabolism in Resistance-Trained versus Sedentary Males // Med. Sci. Sports Exerc. 2004. Vol. 36, № 4. P. 709–716. DOI: [10.1249/01.MSS.0000121946.98885.F5](https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121946.98885.F5)
18. Nagai N., Sakane N., Moritani T. Metabolic Responses to High-Fat or Low-Fat Meals and Association with Sympathetic Nervous System Activity in Healthy Young Men // J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo). 2005. Vol. 51, № 5. P. 355–360. DOI: [10.3177/jnsv.51.355](https://doi.org/10.3177/jnsv.51.355)
19. Marra M., Di Vincenzo O., Cioffi I., Sammarco R., Morlino D., Scalfi L. Resting Energy Expenditure in Elite Athletes: Development of New Predictive Equations Based on Anthropometric Variables and Bioelectrical Impedance Analysis Derived Phase Angle // J. Int. Soc. Sports Nutr. 2021. Vol. 18, № 1. Art. № 68. DOI: [10.1186/s12970-021-00465-x](https://doi.org/10.1186/s12970-021-00465-x)
20. Westerterp-Plantenga M.S., Nieuwenhuizen A., Tomé D., Soenen S., Westerterp K.R. Dietary Protein, Weight Loss, and Weight Maintenance // Annu. Rev. Nutr. 2009. Vol. 29. P. 21–41. DOI: [10.1146/annurev-nutr-080508-141056](https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-080508-141056)
21. Ruddick-Collins L.C., Flanagan A., Johnston J.D., Morgan P.J., Johnstone A.M. Circadian Rhythms in Resting Metabolic Rate Account for Apparent Daily Rhythms in the Thermic Effect of Food // J. Clin. Endocrinol. Metab. 2022. Vol. 107, № 2. P. e708–e715. DOI: [10.1210/clinem/dgab654](https://doi.org/10.1210/clinem/dgab654)

References

1. Westerterp K.R. Physical Activity and Physical Activity Induced Energy Expenditure in Humans: Measurement, Determinants, and Effects. *Front. Physiol.*, 2013, vol. 4. Art. no. 90. DOI: [10.3389/fphys.2013.00090](https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00090)
2. Redondo R.B. Resting Energy Expenditure: Assessment Methods and Applications. *Nutr. Hosp.*, 2015, vol. 31, suppl. 3, pp. 245–254. DOI: [10.3305/nh.2015.31.sup3.8772](https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.sup3.8772)
3. MacLean P.S., Bergouignan A., Cornier M.-A., Jackman M.R. Biology's Response to Dieting: The Impetus for Weight Regain. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 2011, vol. 301, no. 3, pp. R581–R600. DOI: [10.1152/ajpregu.00755.2010](https://doi.org/10.1152/ajpregu.00755.2010)
4. Levine J.A. Measurement of Energy Expenditure. *Public Health Nutr.*, 2005, vol. 8, no. 7A, pp. 1123–1132. DOI: [10.1079/phn2005800](https://doi.org/10.1079/phn2005800)
5. MacKenzie-Shalders K., Kelly J.T., So D., Coffey V.G., Byrne N.M. The Effect of Exercise Interventions on Resting Metabolic Rate: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Sports Sci.*, 2020, vol. 38, no. 14, pp. 1635–1649. DOI: [10.1080/02640414.2020.1754716](https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1754716)
6. Wasserfurth P., Palmowski J., Hahn A., Krüger K. Reasons for and Consequences of Low Energy Availability in Female and Male Athletes: Social Environment, Adaptations, and Prevention. *Sports Med. Open*, 2020, vol. 6, no. 1. Art. no. 44. DOI: [10.1186/s40798-020-00275-6](https://doi.org/10.1186/s40798-020-00275-6)
7. Egorenkova N.P. Vliyanie khimicheskogo sostava gotovykh blyud na pishchevoy termogenez [Influence of the Chemical Composition of Ready Meals on Diet-Induced Thermogenesis]. *Meditinskii akademicheskii zhurnal*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 210–211.
8. Morris A.L., Mohiuddin S.S. Biochemistry, Nutrients. *StatPearls*. Treasure Island, 2022.
9. Purcell S.A., Johnson-Stoklossa C., Braga Tibaes J.R., Frankish A., Elliott S.A., Padwal R., Prado C.M. Accuracy and Reliability of a Portable Indirect Calorimeter Compared to Whole-Body Indirect Calorimetry for Measuring Resting Energy Expenditure. *Clin. Nutr. ESPEN*, 2020, vol. 39, pp. 67–73. DOI: [10.1016/j.clnesp.2020.07.017](https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.07.017)

10. 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, vol. 32, no. 7, pp. 1875–1881. DOI: [10.1519/JSC.0000000000002111](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002111)
11. Vargas M., Lancheros L., Barrera M.P. Energy Expenditure in Repose Related to Body Composition in Adults. *Rev. Fac. Med.*, 2011, vol. 59, suppl. 1, pp. 43–58.
12. Calcagno M., Kahleova H., Alwarith J., Burgess N.N., Flores R.A., Busta M.L., Barnard N.D. The Thermic Effect of Food: A Review. *J. Am. Coll. Nutr.*, 2019, vol. 38, no. 6, pp. 547–551. DOI: [10.1080/07315724.2018.1552544](https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1552544)
13. Binns A., Gray M., Di Brezzo R. Thermic Effect of Food, Exercise, and Total Energy Expenditure in Active Females. *J. Sci. Med. Sport*, 2015, vol. 18, no. 2, pp. 204–208. DOI: [10.1016/j.jsams.2014.01.008](https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.01.008)
14. Martin A., Normand S., Sothier M., Peyrat J., Louche-Pelissier C., Laville M. Is Advice for Breakfast Consumption Justified? Results from a Short-Term Dietary and Metabolic Experiment in Young Healthy Men. *Br. J. Nutr.*, 2000, vol. 84, no. 3, pp. 337–344. DOI: [10.1017/s0007114500001616](https://doi.org/10.1017/s0007114500001616)
15. Quatela A., Callister R., Patterson A., MacDonald-Wicks L. The Energy Content and Composition of Meals Consumed After an Overnight Fast and Their Effects on Diet Induced Thermogenesis: A Systematic Review, Meta-Analyses and Meta-Regressions. *Nutrients*, 2016, vol. 8, no. 11. Art. no. 670. DOI: [10.3390/nu8110670](https://doi.org/10.3390/nu8110670)
16. Bowden V.L., McMurray R.G. Effects of Training Status on the Metabolic Responses to High Carbohydrate and High Fat Meals. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, 2000, vol. 10, no. 1, pp. 16–27. DOI: [10.1123/ijsnem.10.1.16](https://doi.org/10.1123/ijsnem.10.1.16)
17. Thyfault J.P., Richmond S.R., Carper M.J., Potteiger J.A., Hulver M.W. Postprandial Metabolism in Resistance-Trained versus Sedentary Males. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2004, vol. 36, no. 4, pp. 709–716. DOI: [10.1249/01.MSS.0000121946.98885.F5](https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121946.98885.F5)
18. Nagai N., Sakane N., Moritani T. Metabolic Responses to High-Fat or Low-Fat Meals and Association with Sympathetic Nervous System Activity in Healthy Young Men. *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)*, 2005, vol. 51, no. 5, pp. 355–360. DOI: [10.3177/jnsv.51.355](https://doi.org/10.3177/jnsv.51.355)
19. Marra M., Di Vincenzo O., Cioffi I., Sammarco R., Morlino D., Scalfi L. Resting Energy Expenditure in Elite Athletes: Development of New Predictive Equations Based on Anthropometric Variables and Bioelectrical Impedance Analysis Derived Phase Angle. *J. Int. Soc. Sports Nutr.*, 2021, vol. 18, no. 1. Art. no. 68. DOI: [10.1186/s12970-021-00465-x](https://doi.org/10.1186/s12970-021-00465-x)
20. Westerterp-Plantenga M.S., Nieuwenhuizen A., Tomé D., Soenen S., Westerterp K.R. Dietary Protein, Weight Loss, and Weight Maintenance. *Annu. Rev. Nutr.*, 2009, vol. 29, pp. 21–41. DOI: [10.1146/annurev-nutr-080508-141056](https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-080508-141056)
21. Ruddick-Collins L.C., Flanagan A., Johnston J.D., Morgan P.J., Johnstone A.M. Circadian Rhythms in Resting Metabolic Rate Account for Apparent Daily Rhythms in the Thermic Effect of Food. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 2022, vol. 107, no. 2, pp. e708–e715. DOI: [10.1210/clinem/dgab654](https://doi.org/10.1210/clinem/dgab654)

DOI: 10.37482/2687-1491-Z136

Ekaterina A. Bushmanova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1896-2879>
Tat'yana P. Loginova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7003-6664>
Aleksandra Yu. Lyudinina** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4849-4735>

*Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
(Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation)
**Pitirim Sorokin Syktyvkar State University
(Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation)

THE THERMIC EFFECT OF LOW-CALORIE CARBOHYDRATE INTAKE ON RESTING ENERGY EXPENDITURE

Basal metabolic rate (BMR) differs from resting energy expenditure (REE) by less than 10 %, the latter being measured under similar conditions, but after a low-calorie meal. Presently, the two terms are used interchangeably, although *resting energy expenditure* is the preferred one. However, the cycling

to exhaustion test commonly used in assessing the physical performance of elite athletes should not follow a 12-hour fasting. Consequently, the subjects are given a standardized low-calorie high-carbohydrate breakfast before the test, which, according to the authors, does not distort the obtained REE values. Therefore, the **aim** of this study was to determine the thermic effect of a standardized high-carbohydrate meal on resting energy expenditure and body composition. **Materials and methods.** The anthropometry and body composition were analysed in healthy young men ($n = 10$) using the ACCUNIQ BC380 system; REE was assessed using indirect calorimetry; the thermic effect of a low-calorie high-carbohydrate breakfast was calculated as a difference between fasting REE and postprandial metabolism. **Results.** The research showed that a high-carbohydrate (91 %) food intake (250–300 kcal) produces no significant effect on REE. The meal's thermic effect was 36.0 ± 5.7 kcal, which increased REE (1887.2 ± 111.7 kcal) by 2 % compared to baseline BMR (1851.2 ± 106.0 kcal). In the subjects, REE varied depending on the total amount of water in the body ($p = 0.038$), fat mass ($p = 0.021$), and energy substrate (carbohydrate) intake ($p = 0.046$). Thus, in people, including athletes, it is acceptable to measure REE after a high-carbohydrate breakfast that does not exceed 300 kcal.

Keywords: *resting energy expenditure, thermic effect of food, basal metabolism, high-carbohydrate breakfast, indirect calorimetry, body composition, bioimpedance analysis.*

Received 20 September 2022

Accepted 14 December 2022

Published 18 April 2023

Поступила 20.09.2022

Принята 14.12.2022

Опубликована 18.04.2023

Corresponding author: Ekaterina Bushmanova, *address:* ul. Pervomayskaya 50, Syktyvkar, 167982, Respublika Komi, Russian Federation; *e-mail:* katerinabushmanova@mail.ru

For citation: Bushmanova E.A., Loginova T.P., Lyudinina A.Yu. Thermic Effect of Low-Calorie Carbohydrate Intake on Resting Energy Expenditure. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 2, pp. 153–161. DOI: 10.37482/2687-1491-Z136