



Научная статья

УДК 612.1

DOI: 10.37482/2687-1491-Z197

Оценка функциональных и биохимических показателей здоровых юношей разных соматотипов

Антон Юрьевич Приходько^{*/**/**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8301-4533>

Михаил Сергеевич Головин^{*} ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8573-856X>

Владимир Михайлович Климов^{**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2941-064X>

Сергей Георгиевич Кривошеков^{*/**/**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2306-829X>

Роман Иделевич Айзман^{*/**/**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7776-4768>

^{*}Новосибирский государственный педагогический университет
(Новосибирск, Россия)

^{**}Новосибирский государственный технический университет
(Новосибирск, Россия)

^{***}Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины
(Новосибирск, Россия)

^{****}Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены
(Новосибирск, Россия)

Аннотация. Цель исследования – изучить функционально-биохимические характеристики организма до и после нагрузочного теста, физическую работоспособность и мышечную выносливость юношей разных соматотипов. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 29 практически здоровых юношей в возрасте от 18 до 22 лет, которые выполняли нагрузочный ступенчатый тест до отказа на тредбане. У всех испытуемых оценивались соматотип по методу Хит–Картера, антропометрические показатели, сила и выносливость мышц кистей рук, тип функционального реагирования, артериальное давление, частота сердечных сокращений, а также концентрации глюкозы и лактата в капиллярной крови. Все показатели измерялись в начале теста, во время перехода между ступенями (10–15-секундная пауза) и сразу же после отказа от продолжения теста. **Результаты.** Установлено, что представители эктоморфного типа отличались от обследуемых других соматотипов, особенно от эндоморфного, более высокими уровнем функциональных возможностей и вкладом аэробных процессов в энергообеспечение организма, но меньшими гомеостатическими сдвигами со стороны сердечно-сосудистой системы и концентрациями глюкозы и лактата в крови после максимальной физической нагрузки. Юноши эндоморфного соматотипа имели более высокий вклад лактатного механизма в энергообеспечение по сравнению со сверстниками других типов, а также меньшие функциональные возможности, что отразилось в более явных функционально-биохимических сдвигах по-

© Приходько А. Ю., Головин М. С., Климов В. М., Кривошеков С. Г., Айзман Р. И., 2024

Ответственный за переписку: Антон Юрьевич Приходько, адрес: 630126, г. Новосибирск, ул. Виллойская, д. 28; e-mail: toni.prikhodko.10@mail.ru

сле физической нагрузки. Лица мезоморфного соматотипа по многим морфофункциональным и биохимическим показателям занимали промежуточное положение между эндо- и эктоморфами. При этом выносливость мышц рук у мезоморфов была наименьшей, а сила кистей – максимальной среди всех соматотипов.

Ключевые слова: соматотип по Хит–Картеру, концентрация лактата в крови, концентрация глюкозы в крови, энергообеспечение мышечной деятельности, ступенчатый тест на тредбане, физическая работоспособность

Для цитирования: Оценка функциональных и биохимических показателей здоровых юношей разных соматотипов / А. Ю. Приходько, М. С. Головин, В. М. Климов, С. Г. Кривошеков, Р. И. Айзман // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 3. – С. 279-289. – DOI 10.37482/2687-1491-Z197.

Original article

Assessment of Functional and Biochemical Parameters in Healthy Young Men with Different Somatotypes

Anton Yu. Prikhodko*/**/***/ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8301-4533>

Mikhail S. Golovin* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8573-856X>

Vladimir M. Klimov** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2941-064X>

Sergey G. Krivoshchekov*/***/ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2306-829X>

Roman I. Aizman*/***/ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7776-4768>

*Novosibirsk State Pedagogical University
(Novosibirsk, Russia)

**Novosibirsk State Technical University
(Novosibirsk, Russia)

***Scientific Research Institute of Neurosciences and Medicine
(Novosibirsk, Russia)

****Novosibirsk Research Institute of Hygiene
(Novosibirsk, Russia)

Abstract. The **purpose** of this article was to study the functional and biochemical characteristics of the body before and after an exercise test as well as physical performance and muscular endurance in young men with different somatotypes. **Materials and methods.** The research involved 29 apparently healthy young men aged 18 to 22 years, who performed an exercise step test to failure on a treadmill. We assessed the subjects' somatotype (according to the Heath–Carter method), anthropometric parameters, hand muscle strength and endurance, type of functional response, blood pressure, heart rate, as well as capillary blood glucose and lactate levels. All of the above were measured at the beginning of the test, during the transition between the steps (a 10–15-second pause) and immediately after the subjects' failure to continue the test. **Results.** We found that ectomorphs differed from the subjects with other somatotypes, especially endomorphs, by having a higher level of functional capabilities and greater contribution of aerobic processes to the body's energy supply, as well as smaller homeostatic shifts in

Corresponding author: Anton Prikhodko, *address:* ul. Vilyuyskaya 28, Novosibirsk, 630126, Russia; *e-mail:* toni.prikhodko.10@mail.ru

the cardiovascular system and lower blood glucose and lactate concentrations after maximum physical exertion. Compared to their peers with other somatotypes, endomorphs showed a higher contribution of the lactate mechanism to the energy supply and lower functional capabilities, which were manifested in more pronounced functional and biochemical shifts after physical exertion. Mesomorphs occupied an intermediate position between endo- and ectomorphs in terms of many morphofunctional and biochemical parameters. At the same time, mesomorphs' hand muscle endurance was the lowest, while their hand strength was the greatest.

Keywords: Heath–Carter somatotype method, blood lactate concentration, blood glucose concentration, energy supply for muscle activity, treadmill step test, physical performance

For citation: Prikhodko A.Yu., Golovin M.S., Klimov V.M., Krivoshechekov S.G., Aizman R.I. Assessment of Functional and Biochemical Parameters in Healthy Young Men with Different Somatotypes. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 3, pp. 279–289. DOI: 10.37482/2687-1491-Z197

В конце 1990-х годов отечественные ученые доказали, что представители разных спортивных дисциплин существенно отличаются по соматотипическим параметрам. При этом удалось подтвердить определяющую роль соматотипа в поддержании зависимых от энергообеспечения физических качеств – силы, быстроты и выносливости – у подростков [1, 2]. Десятилетием позже были обнаружены различия в составе и энергетике скелетных мышц у представителей разных соматотипов [2].

На протяжении всей жизни конституция тела остается достаточно постоянной индивидуальной характеристикой человека [1]. Каждый соматотип имеет специфические биохимические показатели, что свидетельствует о конституциональной детерминированности метаболических процессов, определяющих индивидуальный биохимический профиль [3]. Оценка физиологических параметров у спринтеров и стайеров показала тесную взаимосвязь между особенностями энергетического обеспечения и телосложением спортсменов. Это позволяет использовать тип конституции как маркер типа энергообеспечения и, как следствие, делить спортсменов на группы, опираясь на внешние признаки [4–6]. В частности, в работе индийских ученых было показано преобладание мезоморфии у высококвалифицированных спортсменов разных видов спорта [7]. Сегодня накопленный опыт и развитие технических

возможностей придают новые импульсы исследовательскому процессу в этом перспективном направлении.

Цель работы – определить функционально-биохимические показатели, физическую работоспособность и мышечную выносливость юношей разных соматотипов при выполнении ступенчатого теста с повышающейся физической нагрузкой до отказа на тредбане.

Материалы и методы. В эксперименте приняли участие студенты очного отделения Новосибирского государственного педагогического университета. В выборку вошли 29 юношей в возрасте от 18 до 22 лет, не имевших ограничений по здоровью и систематически занимавшихся физической культурой. Все они дали добровольное согласие на участие в обследовании и выполнении соответствующих процедур. Протокол исследования соответствовал принципам Хельсинкской декларации (1964) и был утвержден на заседании этических комитетов организаций, представители которых внесли свой вклад в работу.

На первом этапе исследования определялись соматотип по Хит–Картеру [8] и тип функционального реагирования нервно-мышечного аппарата по методике В.П. Казначеева («спринтер», «микст», «стайер») [9]. По результатам типирования все участники были разделены на три группы: к эндоморфному соматотипу отнесены 10 юношей, к мезоморфному – 8, к эктоморфному – 11.

На втором этапе исследования проводился ступенчатый тест с повышающейся нагрузкой на тредбане. Сначала испытуемые выполняли низкоинтенсивную беговую разминку на тредбане длительностью 5 мин при скорости полотна 6 км/ч, затем 1-минутную разминку, после чего приступали к тестированию. Длительность каждой ступени нагрузки составляла 3 мин. Начальная скорость 1-й ступени и повышение скорости каждой последующей юношам регулировались индивидуально в зависимости от частоты сердечных сокращений (ЧСС) во время разминки: чем ниже было исходное значение, тем больше повышение скорости. Такое решение было принято для того, чтобы нагляднее показать различия между группами на уровне биохимических процессов при одинаковой по величине нагрузке.

Забор крови из пальца проводился в начале теста и после каждой ступени (во время 10–15-секундных пауз между ступенями) и сразу после отказа, когда испытуемый вставал на неподвижную часть тредбана. Суммарная мышечная работа при беге на тредбане складывалась из «работ» на отдельных ступенях $A_i = mV_i t_i$, где m – масса тела испытуемого; V_i – скорость движения полотна дорожки на i -й ступени; t_i – время бега на i -й ступени. Максимальная мышечная сила и выносливость кистей рук оценивались следующим образом: в положении стоя обследуемому предлагали плотно, всей поверхностью пальцев обхватить баллон-датчик, связанный шлангом с гидроманометром, и опустить работающую руку вниз, не прижимая ее к бедру. В этом положении испытуемый должен по команде плавно сжать баллон-датчик с максимальным усилием. После выявления максимальной силы кисти и последующего 2-минутного отдыха обследуемому той же рукой необходимо было сжимать максимально возможное время баллон-датчик так, чтобы стрелка манометра показала величину усилия, равную 75 % от максимальной, после чего включался секундомер и фиксировалось время удержания стрелки манометра в этом положении [9]. Вклад (кДж) лактатно-

го механизма в энергообеспечение рассчитывался по разнице концентраций лактата (ΔLa , ммоль/л) в капиллярной крови до и после теста: $E_{Ai La} = \Delta La \cdot 0,0624m/p$, где p – плотность тела человека, принята $p = 1$ кг/л [10].

Оценка концентраций лактата и глюкозы в капиллярной крови проводилась на приборе Super GL Ambulance (Dr. Müller, Германия). ЧСС на всех ступенях теста фиксировалась по показаниям кардиопередатчика Polar H10 (POLAR Electro, Финляндия). Юноши выполняли бег на беговой дорожке Spirit Fitness XT 685 AC (Hastings, США). Толщина кожно-жировых складок оценивалась с помощью механического калиперметра (США) в 10 точках тела: под подбородком; на щеке; над грудью; под лопаткой; справа от пупка; на задней поверхности предплечья; над подвздошной костью; на уровне 10-го ребра; над коленом; на икроножной мышце [11]. Кистевая сила определялась динамометром ДМЭР-120 (Тулиновский приборостроительный завод, Россия).

Полученные данные обрабатывались с помощью общепринятых методов математической статистики с использованием программы Statistica 10 и пакета Microsoft Excel 2010. Нормальность распределения проверялась по критерию Шапиро–Уилка. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q_1 – Q_3), а параметрических – как среднее значение и его стандартное отклонение ($M \pm q$). В случае сравнения связанных выборок статистическая значимость различий определялась с помощью t -критерия Стьюдента для зависимых выборок с нормальным распределением и непараметрического критерия Уилкоксона для выборок с отсутствием нормального распределения. При одновременном сравнении несвязанных выборок (3 соматотипических групп обследуемых) применялся дисперсионный анализ ANOVA в случае нормального распределения, а при его отсутствии использовался критерий Краскела–Уоллиса. Различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты. Как видно из *табл. 1*, в группе юношей эндоморфного соматотипа преобладал компонент эндоморфии, а у эктоморфов – эктоморфии, тогда как компонент мезоморфии был выражен примерно в равной степени у юношей эндо- и мезоморфного соматотипов. Длина тела мужчин разных соматотипов значимо не отличалась, в то же время индекс Кетле у мужчин эндо- и мезоморфного телосложения был достоверно выше, чем в случае эктоморфного, а индекс Пинье – ниже. Обнаружены существенные различия в толщине кожно-жировых складок – у юношей эндоморфного соматотипа суммарная толщина была достоверно больше, чем у представителей мезо- и эктоморфного типов. При анализе силы и выносливости рук выявлено, что юноши мезоморфного типа имели выраженную тенденцию

к более высоким значениям мышечного индекса и силы кистей по сравнению с представителями других соматотипов, хотя выносливость рук была достоверно выше у мужчин эктоморфного типа в сравнении с обследуемыми других типов конституции. Представители мезоморфного телосложения достоверно тяготели к спринтерскому варианту реагирования, а мужчины экто- и эндоморфного – к смешанному и даже стайерскому вариантам.

Из *табл. 2*, см с. 284, видно, что скорость полотна тредбана на всех ступенях между группами достоверно не отличалась, как и значения ЧСС в покое и при нагрузке, хотя и проявилась некоторая тенденция к более низким значениям пульса у обследуемых экто- и мезоморфного соматотипов по сравнению с эндоморфным.

Таблица 1

Морфологические и силовые показатели юношей разных соматотипов ($M \pm q$ или $Me (Q_1-Q_3)$)
Morphological and strength parameters of young men with different somatotypes ($M \pm q$ or $Me (Q_1-Q_3)$)

Показатель	Соматотип		
	эндоморфный ($n = 10$)	мезоморфный ($n = 8$)	эктоморфный ($n = 11$)
Эндоморфия, баллы	6,25±1,21	3,62±0,88 [▲]	3,32±0,81 [▲]
Мезоморфия, баллы	4,86±0,56	4,56±0,74	3,14±0,31 ^{▲■}
Эктоморфия, баллы	1,90±0,94	2,75±0,85	4,14±0,59 ^{▲■}
Масса тела, кг	79,5±10,7	71,5 (67,2–77,6)	69,4±9,7
Длина тела, см	178,2±6,8	177,0 (175,5–185,5)	183,2±7,3
Индекс Кетле	24,4 (23,2–26,1)	22,7 (20,9–23,9)	20,7 (19,5–21,7) [▲]
Индекс Пинье	14,6 (1,8–21,0)	23,5 (13,3–29,9)	33,9 (27,7–39,7) [▲]
Суммарная толщина складок, см	161,1±42,1	95,4±20,3 [▲]	89,2 (76,6–94,9) [▲]
Мышечный индекс	12,1 (9,2–16,7) [■]	19,7 (18,4–21,5)	16,5 (14,7–18,1)
Сила кистей ((правая+левая)/2), кг	46,7±5,7	54,2±6,4	48,1±6,9
Максимальная мышечная сила правой кисти, кг/см ²	1,35±0,14	1,46±0,09	1,33±0,19
Максимальная мышечная сила левой кисти, кг/см ²	1,32±0,14	1,39±0,23	1,29±0,20
Выносливость правой кисти, с	42,6±12,9	36,9±12,9	43,4±10,4 [■]
Выносливость левой кисти, с	35,9±10,9	32,5 (28,0–37,5)	41,1±13,7 ^{■▲}
Тип реагирования нервно-мышечного аппарата, баллы	1,25±0,28	1,66±0,64	1,24±0,46 [■]

Примечание. Установлены статистически достоверные различия ($p \leq 0,05$): [▲] – относительно эндоморфного соматотипа; [■] – относительно мезоморфного соматотипа.

Таблица 2

Динамика ЧСС, концентраций лактата и глюкозы в крови у юношей разных соматотипов при выполнении ступенчатого теста на тредбане ($M \pm q$)Dynamics of heart rate and blood lactate and glucose concentrations in young men with different somatotypes performing the step test on a treadmill ($M \pm q$)

Показатель	Соматотип		
	эндоморфный (n = 10)	мезоморфный (n = 8)	экторморфный (n = 11)
<i>Покой</i>			
ЧСС, уд/мин	69,6±4,7	68,1±15,6	72,9±12,4
Глюкоза, ммоль/л	4,48±0,24	4,52±0,43	4,56±0,41
Лактат, ммоль/л	2,19±0,55	2,08±0,73	2,18±0,81
<i>1-я ступень нагрузки</i>			
Скорость полотна тредбана, км/ч	6,2±0,8	6,7±0,6	6,4±0,7
ЧСС, уд/мин	141,7±9,0*	134,4±19,9*	134,7±13,5*
Глюкоза, ммоль/л	4,46±0,26	4,50±0,48	4,59±0,43
Лактат, ммоль/л	2,87±0,72*	2,70±0,99*	2,79±1,09*
<i>2-я ступень нагрузки</i>			
Скорость полотна тредбана, км/ч	7,1±0,8	7,5±0,6	7,4±0,7
ЧСС, уд/мин	155,0±8,6*	145,5±19,0*	144,7±13,4*
Глюкоза, ммоль/л	4,53±0,46	4,60±0,44	4,68±0,44
Лактат, ммоль/л	2,09±0,40*	2,29±0,87*	1,84±0,54*
<i>3-я ступень нагрузки</i>			
Скорость полотна тредбана, км/ч	8,0±0,9	8,4±0,6	8,4±0,7
ЧСС, уд/мин	164,3±8,1*	154,7±21,2*	153,6±13,1*
Глюкоза, ммоль/л	4,50±0,43	4,62±0,32	4,63±0,37
Лактат, ммоль/л	2,61±0,72*	2,72±0,97*	2,11±0,65*
<i>4-я ступень нагрузки</i>			
Скорость полотна тредбана, км/ч	8,9±0,9	9,3±0,6	9,4±0,7
ЧСС, уд/мин	172,4±7,9*	163,9±18,9*	163,7±11,3*
Глюкоза, ммоль/л	4,37±0,46	4,63±0,33	4,61±0,41
Лактат, ммоль/л	3,48±0,85*	3,37±1,07*	2,60±0,81*▲
<i>5-я ступень нагрузки</i>			
Скорость полотна тредбана, км/ч	9,8±0,9	10,2±0,6	10,4±0,7
ЧСС, уд/мин	178,2±9,4*	170,9±17,0*	171,0±11,9*
Глюкоза, ммоль/л	4,33±0,38	4,53±0,34	4,75±0,42▲
Лактат, ммоль/л	4,32±1,48*	3,99±1,35*	3,54±1,04*
<i>6-я ступень нагрузки</i>			
Скорость полотна тредбана, км/ч	10,8±0,9	11,1±0,7	11,4±0,7
ЧСС, уд/мин	183,8±10,7*	177,6±14,8*	178,4±8,6*
Глюкоза, ммоль/л	4,43±0,39	4,48±0,42	4,71±0,43
Лактат, ммоль/л	6,40±1,95*	4,94±1,67*	4,37±1,29*▲

Примечание. Установлены статистически достоверные различия ($p \leq 0,05$): * – относительно каждой предыдущей ступени; * – относительно покоя. Остальные обозначения – см. табл. 1.

Концентрации глюкозы и лактата в капиллярной крови по результатам первых трех ступеней между группами статистически не различались. Однако уже после 2-й ступени проявилась тенденция к уменьшению концентрации лактата в крови у юношей эктоморфного соматотипа, которая после 4-й ступени нагрузочного тестирования стала достоверно ниже, чем у юношей эндоморфного типа, в то время как концентрация глюкозы существенно не изменилась по сравнению с 3-й ступенью и не отличалась от таковой в других группах. Уже по результатам 5-й ступени было выявлено значимое понижение концентрации глюкозы у юношей эндоморфного соматотипа по сравнению с эктоморфным, тогда как концентрация лактата сохраняла тенденцию к более высоким значениям у эндо- и мезоморфов. По результатам 6-й ступени концентрация глюкозы во всех соматотипических группах практически

стала одинаковой, а прирост концентрации лактата у обследуемых эндоморфного соматотипа оказался достоверно выше, чем у эктоморфов. При этом представители мезоморфного соматотипа по исследуемым параметрам занимали промежуточное положение.

Внутри каждой соматотипической группы был проведен анализ биохимических и функциональных результатов юношей между каждыми двумя смежными ступенями нагрузки, до 6-й ступени включительно. Обнаружено, что приросты концентрации глюкозы в крови достоверно не различались ни в одной группе, однако ЧСС и концентрация лактата, наоборот, достоверно изменялись по мере перехода на более высокую ступень, причем в разной степени у представителей разных соматотипов.

Как видно из *табл. 3*, юноши всех соматотипических групп отказывались от продол-

Таблица 3

**Функционально-биохимические показатели юношей разных соматотипов
после выполнения ступенчатого теста на тредбане**
**Functional and biochemical parameters of young men with different somatotypes
after performing the step test on a treadmill**

Показатель	Соматотип		
	эндоморфный (n = 10)	мезоморфный (n = 8)	эктоморфный (n = 11)
Степень отказа	8,1±1,4	8,8±1,0	8,2±1,3
Потеря массы тела, кг	0,77±0,49	0,80±0,72	0,61±0,39
Потеря массы тела, %	0,99±0,69	0,99±0,64	0,85±0,48
САД в покое, мм рт. ст.	119,0±10,7	121,3±9,0	120,8±7,3
ДАД в покое, мм рт. ст.	68,5±7,5	77,5±10,7	74,2±10,2
САД при отказе, мм рт. ст.	182,5±20,9*	187,5±10,3*	179,1±9,5*
ДАД при отказе, мм рт. ст.	47,5±13,9*	44,4±11,8*	43,3±16,1*
ЧСС при отказе, уд/мин	198,2±9,6*	190,1±18,3*	191,1±7,7*
Концентрация глюкозы при отказе, ммоль/л	5,63±0,95*	5,35±0,94*	5,17±0,86
Концентрация лактата при отказе, ммоль/л	11,94±3,73*	10,96±4,17*	8,35±3,02*
Лактатный вклад в энергообеспечение ($E_{dl}La$), кДж	44,95±18,31	38,45±16,95	24,45±13,71 [▲]
Максимальная скорость тредбана, км/ч	12,9±1,7	13,5±0,8	13,5±1,4
Проделанная мышечная работа (1-я ступень), кг·м	24545±3782	24871±2971	22239±3872
Проделанная мышечная работа (за весь тест), кг·м	308615±70293	339186±83932	285052±84311

Примечание. Обозначения – см. *табл. 1 и 2*.

жения работы примерно на одном уровне, что позволило сравнить вклад разных процессов в выполненную работу. Такие показатели, как потеря массы тела, проделанная мышечная работа отдельно по ступеням, общая работа и максимальная достигнутая скорость полотна тредбана, у юношей разных соматотипических групп значимо не отличались. ЧСС, систолическое артериальное давление (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД) и концентрация лактата при отказе, как и ожидалось, достоверно повысились относительно покоя в каждой из групп, а концентрация глюкозы на период отказа достоверно повысилась по сравнению с покоем у эндо- и мезоморфов, тогда как у юношей эктоморфного соматотипа отклонения гомеостатических показателей после максимальной беговой нагрузки были менее существенными.

Анализ вклада анаэробных процессов в энергообеспечение показал их преобладание у юношей эндоморфного телосложения, о чем свидетельствовали достоверно более высокие концентрация лактата и лактатный вклад в энергообеспечение в группе эндоморфов по сравнению с представителями других соматотипических групп, особенно эктоморфов.

Обсуждение. В настоящее время уже утвердилось мнение, что соматотип спортсмена тесно связан с функционально-биохимическими особенностями реакций организма на физическую нагрузку, включая ее энергетическое обеспечение [3–6, 12, 13]. Полученные нами данные отчетливо показали более высокие функциональные резервы сердечно-сосудистой системы и преобладание аэробного механизма энергообеспечения при максимальной физической нагрузке у представителей эктоморфного соматотипа стайерского варианта функционального реагирования, тогда как у юношей мезо- и эндоморфного телосложения преимущественно спринтерского типа функционального реагирования ведущую роль в энергообеспечении выполнял лактатный (анаэробный) механизм

при более низких функциональных резервах сердечно-сосудистой системы. С этими данными полностью согласуются результаты генетических исследований, демонстрирующие высокую надежность функций кардиореспираторной системы при нагрузках у юношей эктоморфного соматотипа [14]. Анализ механизмов энергообеспечения физической нагрузки показал как большую активность анаэробных процессов в организме юношей эндоморфного телосложения, так и, возможно, более существенное использование жирных кислот юношами эктоморфного соматотипа [15], что помогает сэкономить истощающиеся запасы гликогена и обеспечить более длительное функционирование обследуемых в аэробном режиме.

Комплексная оценка морфофункциональных и биохимических показателей организма юношей в процессе и после выполнения ступенчатого теста на тредбана позволила выявить зависимость особенностей и типа реагирования, а также функциональных возможностей от соматотипа:

1. Представители эктоморфного телосложения существенно отличались от обследуемых других соматотипов, особенно эндоморфного, более высоким уровнем функциональных возможностей и вкладом аэробных процессов в энергообеспечение организма, но меньшими гомеостатическими сдвигами со стороны сердечно-сосудистой системы и концентраций глюкозы и лактата в крови после максимальной физической нагрузки. Функциональный тип реагирования соответствовал стайерскому варианту (по В.П. Казначееву).

2. Юноши эндоморфного соматотипа имели более высокий вклад лактатного механизма в энергообеспечение по сравнению со сверстниками других типов, особенно эктоморфного, проявляли меньшие функциональные возможности, что отразилось в более выраженных функционально-биохимических сдвигах после физической нагрузки, и демонстрировали преимущественно спринтерский тип функционального реагирования.

3. Юноши мезоморфного соматотипа по итогам теста заняли промежуточное положение и достоверно не отличались по большинству функционально-биохимических показателей от представителей двух других групп. При этом выносливость кистей рук у них была наименьшей, а тип реагирования нервно-мышечного аппарата тяготел к спринтерскому варианту.

Таким образом, тест с максимальной физической нагрузкой на тредбане может помочь, с одной стороны, в более рациональной коррекции пульсового режима при нагрузках, особенно для мужчин гиперстенического типа, а с другой – в совершенствовании процесса выявления спортсменов с учетом перспектив их специализации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов: Айзман Р.И., Головин М.С., Кривошеков С.Г. – концепция и дизайн исследования; Приходько А.Ю., Головин М.С., Айзман Р.И. – литературный поиск, обработка и анализ материала; Приходько А.Ю. – статистическая обработка данных; Приходько А.Ю., Айзман Р.И., Кривошеков С.Г. – анализ и интерпретация данных; Приходько А.Ю., Климов В.М., Айзман Р.И. – написание и редактирование текста статьи.

Authors' contributions: R.I. Aizman, M.S. Golovin and S.G. Krivoshchekov developed the concept and design of the study; A.Yu. Prikhodko, M.S. Golovin and R.I. Aizman undertook literature search as well as processed and analysed the material; A.Yu. Prikhodko performed statistical data processing; A.Yu. Prikhodko, R.I. Aizman and S.G. Krivoshchekov analysed and interpreted the data; A.Yu. Prikhodko, V.M. Klimov and R.I. Aizman wrote and edited the manuscript.

Список литературы

1. Никитюк Б.А. Интегративные подходы в возрастной и спортивной антропологии: моногр. М.: Ин-т психологии РАН, 1999. 219 с.
2. Корниенко И.А., Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В. Возрастное развитие энергетики мышечной деятельности: итоги 30-летнего исследования. Сообщение III. Эндогенные и экзогенные факторы, влияющие на развитие энергетики скелетных мышц // Физиология человека. 2007. Т. 33, № 5. С. 118–123.
3. Лебедев А.В., Туманик О.В., Суботялов М.А., Айзман Р.И. Биохимические показатели крови у девушек 17–20 лет разных типов конституции // Вестн. Новосиб. гос. пед. ун-та. 2016. Т. 6, № 5. С. 181–194. <http://dx.doi.org/10.15293/2226-3365.1605.13>
4. Лазарева Э.А. Взаимоотношения между типами телосложения и особенностями энергообеспечения мышечной деятельности легкоатлетов спринтеров и стайеров // Физиология человека. 2004. Т. 30, № 5. С. 121–126.
5. Марчик Л.А., Мартыненко О.С. Содержание лактата в кожном экстракте спортсменов циклических видов спорта в зависимости от типа энергетического метаболизма и конституции // Пед.-психол. и мед.-биол. проблемы физ. культуры и спорта. 2018. Т. 13, № 3. С. 180–187.
6. Kandel M., Baeyens J.P., Clarys P. Somatotype, Training and Performance in Ironman Athletes // Eur. J. Sport Sci. 2014. Vol. 14, № 4. P. 301–308. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.813971>
7. Choudhary S., Singh S., Singh I., Varte L.R., Sahani R., Rawat S. Somatotypes of Indian Athletes of Different Sports // Online J. Health Allied Sci. 2019. Vol. 18, № 2. Art. № 6. URL: <https://www.ojhas.org/issue70/2019-2-6.html> (дата обращения: 30.04.2019).
8. Carter J.E.L., Heath B.H. Somatotyping: Development and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 503 p.
9. Казначеев В.П., Казначеев С.В. Адаптация и конституция человека. Новосибирск: Наука, 1986. 120 с.

10. Чиков А.Е., Медведев Д.С., Чикова С.Н., Колмогоров С.В. Особенности энергообеспечения мышечной работы в зависимости от длительности выполнения ступенчато-возрастающей нагрузки у спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта // Человек. Спорт. Медицина. 2020. Т. 20, № 4. С. 62–68.

11. Деревцова С.Н., Романенко А.А., Ефремова В.П., Евдокимова Е.Ю., Синдеева Л.В., Никель В.В., Горбунов Н.С., Медведева Н.Н. Калиперометрия и ультразвуковое исследование в изучении подкожной основы у юношей // Вестн. новых мед. технологий. 2020. Т. 27, № 3. С. 69–73. <https://doi.org/10.24411/1609-2163-2020-16647>

12. Головин М.С. Влияние физических нагрузок на изменения глюкозы и лактата крови спортсменов с разным типом реагирования нервно-мышечного аппарата // Физ. культура. Спорт. Туризм. Двигат. рекреация. 2022. Т. 7, № 3. С. 77–81. <https://doi.org/10.47475/2500-0365-2022-17311>

13. Приходько А.Ю., Герасимов С.Н., Айзман Р.И. Анализ физической работоспособности мужчин разных соматотипов при выполнении ступенчатого теста до отказа на тредбане // Современ. вопр. биомедицины. 2023. Т. 7, № 4(25). Ст. № 16.

14. Silventoinen K., Maia J., Jelenkovic A., Pereira S., Gouveia É., Antunes A., Thomis M., Lefevre J., Kaprio J., Freitas D. Genetics of Somatotype and Physical Fitness in Children and Adolescents // Am. J. Hum. Biol. 2021. Vol. 33, № 3. Art. № e23470. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23470>

15. Кашипов Р.И., Кашипов Р.Р. Особенности энергообеспечения мышечной деятельности в марафонском беге // Наука и спорт: современ. тенденции. 2018. Т. 21, № 4(21). С. 50–54.

References

1. Nikityuk B.A. *Integrativnye podkhody v vozrastnoy i sportivnoy antropologii* [Integrative Approaches in Auxology and Sports Anthropology]. Moscow, 1999. 219 p.

2. Kornienko I.A., Son'kin V.D., Tambovtseva R.V. Development of the Energetics of Muscular Exercise with Age: Summary of a 30-Year Study. III. Endogenous and Exogenous Factors Influencing the Development of the Energetics of Skeletal Muscles. *Hum. Physiol.*, 2007, vol. 33, no. 5, pp. 618–623. <https://doi.org/10.1134/S0362119707050131>

3. Lebedev A.V., Tumanik O.V., Subotyalov M.A., Aizman R.I. Blood Biochemical Parameters of 17–20 Years-Old Girls of Different Constitutional Types. *Novosib. State Pedagog. Univ. Bull.*, 2016, vol. 6, no. 5, pp. 181–194 (in Russ.). <http://dx.doi.org/10.15293/2226-3365.1605.13>

4. Lazareva E.A. Interrelations Between the Constitution Type and Features of Muscular Activity Energetics in Sprinters and Stayers. *Hum. Physiol.*, 2004, vol. 30, no. 5, pp. 605–609. <https://doi.org/10.1023/B:HUMP.0000042620.88119.f2>

5. Marchik L.A., Martynenko O.S. Lactate in Athletes' Dermal Extract in Cyclic Kinds of Sport Depending on the Type of Energy Metabolism and Constitution. *Russ. J. Phys. Educ. Sport*, 2018, vol. 13, no. 3, pp. 180–187 (in Russ.).

6. Kandel M., Baeyens J.P., Clarys P. Somatotype, Training and Performance in Ironman Athletes. *Eur. J. Sport Sci.*, 2014, vol. 14, no. 4, pp. 301–308. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.813971>

7. Choudhary S., Singh S., Singh I., Varte L.R., Sahani R., Rawat S. Somatotypes of Indian Athletes of Different Sports. *Online J. Health Allied Sci.*, 2019, vol. 18, no. 2. Art. no. 6. Available at: <https://www.ojhas.org/issue70/2019-2-6.html> (accessed: 30 April 2019).

8. Carter J.E.L., Heath B.H. *Somatotyping: Development and Applications*. Cambridge, 1990. 503 p.

9. Kaznacheev V.P., Kaznacheev S.V. *Adaptatsiya i konstitutsiya cheloveka* [Human Adaptation and Constitution]. Novosibirsk, 1986. 120 p.

10. Chikov A.E., Medvedev D.S., Chikova S.N., Kolmogorov S.V. Features of Energy Supply of Muscle Work Depending on the Duration of Stepwise Increasing Load in Cyclical Sports Athletes. *Hum. Sport Med.*, 2020, vol. 20, no. 4, pp. 62–68 (in Russ.).

11. Derevtsova S.N., Romanenko A.A., Efremova V.P., Evdokimova E.Yu., Sindeeva L.V., Nikel V.V., Gorbunov N.S., Medvedeva N.N. Kaliperometriya i ul'trazvukovoe issledovanie v izuchenii podkozhnoy osnovy u yunoshey [Subcutaneous Adipose Tissue Variability in Young Men with Different Morphotypes]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*, 2020, vol. 27, no. 3, pp. 69–73. <https://doi.org/10.24411/1609-2163-2020-16647>

12. Golovin M.S. Influence of Physical Training on the Glucose and Blood Lactate of Athletes with Different Types of the Neuro-Muscular Functioning. *Phys. Cult. Sport Tour. Mot. Recreat.*, 2022, vol. 7, no. 3, pp. 77–81 (in Russ.). <https://doi.org/10.47475/2500-0365-2022-17311>

13. Prikhod'ko A.Yu., Gerasimov S.N., Ajzman R.I. Analysis of Physical Performance of Men of Different Somatotypes When Performing a Step Test to Failure on a Treadmill. *Mod. Iss. Biomed.*, 2023, vol. 7, no. 4. Art. no. 16 (in Russ.).

14. Silventoinen K., Maia J., Jelenkovic A., Pereira S., Gouveia É., Antunes A., Thomis M., Lefevre J., Kaprio J., Freitas D. Genetics of Somatotype and Physical Fitness in Children and Adolescents. *Am. J. Hum. Biol.*, 2021, vol. 33, no. 3. Art. no. e23470. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23470>

15. Kashapov R.I., Kashapov R.R. Osobennosti energoobespecheniya myshechnoy deyatel'nosti v marafonskom bege [Features of Energy Supply of Muscular Activity in a Marathon]. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii*, 2018, vol. 21, no. 4, pp. 50–54.

Поступила в редакцию 04.08.2023 / Одобрена после рецензирования 13.11.2023 / Принята к публикации 22.11.2023.
Submitted 4 August 2023 / Approved after reviewing 13 November 2023 / Accepted for publication 22 November 2023.