

Ф.А. Мавлиев³, Н.В. Рылова^{1,2}**ВЗАИМОСВЯЗЬ БИОХИМИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ С АЭРОБНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ У СПОРТСМЕНОВ**¹ФГБУ «Национальный центр спортивной медицины ФМБА России» Москва²ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва³ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Казань, Россия

Контактное лицо: Рылова Наталья Викторовна: rilovanv@mail.ru

Резюме

Цель: исследования: определение роли аминокислотного и ацилкарнитинового профиля в прогнозировании максимального потребления кислорода у юных спортсменов.

Методы: была выполнена жидкостная тандемная хромато-масс-спектрометрия. Фиксировались следующие показатели: концентрации свободного и связанного карнитина, а также их соотношение; уровень аминокислот, включая метионин, аланин, аргинин, аспарагиновую кислоту, цитруллин, глутаминовую кислоту, глицин, орнитин, фенилаланин, тирозин и валин; профиль ацилкарнитинов, в том числе ацетилкарнитин (C2) и его доля в общем пуле связанного карнитина, а также спектр коротко-, средне- и длинноцепочечных ацилкарнитинов (C3, C4, C5, C5-DC, C8, C14, C16, C16-OH). Для оценки аэробной производительности регистрировался показатель максимального потребления кислорода (МПК, мл/кг/мин), который определялся с помощью системы газоанализа Metalyzer 3b в ходе ступенчато возрастающей нагрузочной пробы на велоэргометре Ebike. Нагрузка выполнялась до отказа.

Результаты: исследование позволило определить ключевые биохимические и антропометрические детерминанты максимального потребления кислорода у юных спортсменов. Построение единой регрессионной модели для юношей и девушек оказалось малоэффективным. С использованием данных, полученных у юношей была разработана высокоточная регрессионная модель ($R^2 = 0.841$), включающая четыре значимых предиктора: тирозин, фенилаланин, глутаминовую кислоту и ацилкарнитин C16:1OH. Необходимо подчеркнуть, что данная модель применима только к юношам-спортсменам схожего возраста и специализации. Для подтверждения её надёжности и внешней валидности требуется дальнейшая апробация на независимой выборке.

Ключевые слова: аэробная производительность, биохимия, карнитин, ацилкарнитин, спортсмены

Для цитирования: Мавлиев Ф.А., Рылова Н.В. Взаимосвязь биохимических маркеров с аэробной производительностью у спортсменов //Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна 2026. №3. С. 14–18 DOI: 10.33266/2782-6430-2026-3-14-18

Mavliev F.A.³, Rylova N.V.^{1,2}**Relationship of Biochemical Markers with Aerobic Performance in Athletes**¹National Center for Sports Medicine of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia²International Office, State Research Center - Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia³Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, Russia

Contact person: Rylova Natal'ya Victorovna: rilovanv@mail.ru

Abstract

Aim: to determine the role of amino acid and acylcarnitine profile in predicting maximum oxygen consumption in young athletes

Methods: liquid tandem chromatography-mass spectrometry was performed. The following indicators were recorded: concentrations of free and bound carnitine, as well as their ratio; the level of amino acids, including methionine, alanine, arginine, aspartic acid, citrulline, glutamic acid, glycine, ornithine, phenylalanine, tyrosine and valine; the profile of acylcarnitines, including acetyl-carnitine (C2) and its share in the total pool of bound carnitine, as well as a range of short-, medium- and long-chain acylcarnitines (C3, C4, C5, C5-DC, C8, C14, C16, C16-OH).

To assess aerobic performance, the maximum oxygen consumption (VO_{2max} , ml/kg/min) was recorded using the Metalyzer 3b gas analysis system during a step-up exercise test on an Ebike cycle ergometer. The load was performed to failure.

Results: the study allowed to determine the key biochemical and anthropometric determinants of maximum oxygen consumption in young athletes. The construction of a single regression model for boys and girls was ineffective. Using the data obtained from young men, a highly accurate regression model ($R^2 = 0.841$) was developed, which includes four significant predictors: tyrosine, phenylalanine, glutamic acid, and acyl-carnitine C16:1OH. It should be noted that this model is applicable only to young male athletes of a similar age and specialization. Further validation on an independent sample is required to confirm its reliability and external validity.

Keywords: aerobic performance, biochemistry, carnitine, acylcarnitine, athletes

For citation: Mavliev FA, Rylova NV. Relationship of Biochemical Markers with Aerobic Performance in Athletes. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2026.3:14-18. (In Russian) DOI: 10.33266/2782-6430-2026-3-14-18

Для спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость, оценка аэробной производительности является стандартной процедурой, направленной на оценку эффективности кислородтранспортной системы, а также аэробной работоспособности мышц [1, 2].

Ключевым показателем, отражающим аэробную производительность, является максимальное потребление кислорода (МПК). Стандартные подходы оценки МПК с использованием специализированного оборудования (эргометры и системы, фиксирующие уровень кислорода и углекислого газа в вдыхаемом и выдыхаемом воздухе), являются наиболее точными, что достигается с использованием тестов до отказа с возрастающей физической нагрузкой. Это в свою очередь требует обученного персонала, дорогостоящего оборудования и максимального усилия со стороны тестируемого, что часто представляет ряд рисков для здоровья. В связи с этим нередко прибегают к использованию моделей для прогнозирования МПК, которые можно условно разделить на нагрузочные и безнагрузочные. Простота, безопасность и доступность делают их популярными инструментами. В качестве показателей (предикторов), которые могут использоваться для прогнозирования выступают различные физиологические показатели, показатели состава тела, результаты субмаксимальных тестов, размеры сердца и т.д. [3 – 6]. Конечный результат всех моделей – это уравнения, созданные на основе регрессионных моделей или на основе машинного обучения [7, 8]. Исследователи указывают, что при создании моделей для прогноза, важным является учет особенностей используемой выборки (пол, вид спорта, возраст и т.д.), так как при применении его на другой категории исследуемых точность модели снижается.

Интересными являются модели для прогнозирования МПК, созданные с применением биохимических показателей. Например, исследование на группе лыжников-гонщиков выявило, что гематологические показатели и маркеры воспаления являются значимыми предикторами МПК [9]: уровень гемоглобина оказывал положительное влияние, а концентрация С-реактивного белка, скорость оседания эритроцитов и тромбоциты – отрицательное влияние.

Важно отметить, что биохимические показатели редко используются изолированно для прогнозирования МПК. Чаще всего они интегрируются в комплексные модели, куда так же включают антропометрические данные и физиологические параметры [10].

Цель данного исследования - определение роли аминокислотного и ацилкарнитинового профиля в прогнозировании максимального потребления кислорода у юных спортсменов.

Организация и методика исследования

В исследовании приняли участие 41 спортсмен: 29 девушек и 12 юношей, активно занимавшихся спортом (хоккей на траве, плавание) не менее трех раз в неделю на протяжении последних шести и более месяцев. Исследование проведено на клиниче-

ских базах Казанского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации и республиканского центра медицинской профилактики города Казани. Для анализа биохимических показателей капиллярной крови в лаборатории молекулярно-биохимической диагностики Научно-исследовательского института педиатрии Российского национального исследовательского медицинского университета имени Н.И. Пирогова (Москва) была выполнена жидкостная tandemная хромато-масс-спектрометрия. Фиксировались следующие показатели: концентрации свободного и связанного карнитина, а также их соотношение; уровень аминокислот, включая метионин, аланин, аргинин, аспарагиновую кислоту, цитруллин, глутаминовую кислоту, глицин, орнитин, фенилаланин, тирозин и валин; профиль ацилкарнитинов, в том числе ацетилкарнитин (C2) и его доля в общем пуле связанного карнитина, а также спектр коротко-, средне- и длинноцепочечных ацилкарнитинов (C3, C4, C5, C5-DC, C8, C14, C16, C16-OH).

Для оценки аэробной производительности регистрировался показатель максимального потребления кислорода (МПК, мл/кг/мин), который определялся с помощью системы газоанализа Metalyzer 3b в ходе ступенчатого возрастающей нагрузочной пробы на велоэргометре Ebike. Нагрузка выполнялась до отказа.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы IBM SPSS Statistics 27. Для построения прогностических моделей использовался двухэтапный подход. На первом этапе с помощью автоматизированного линейного моделирования (ALM) был проведен предварительный отбор наиболее информативных предикторов из всего массива данных. На втором этапе для создания окончательной прогностической модели использовался метод пошаговой множественной линейной регрессии. Уровень статистической значимости был установлен на значении $p < 0.05$.

Результаты исследования.

База, полученная в ходе исследования, была использована для создания различных моделей, которые показали, что гендерный фактор имеет большое значение. Модель, полученная из общей базы, отличалась от частной модели, полученной у групп юношей. При этом модели с использованием только значений девушек имели предикторы, вклад которых не достигал статистической значимости ($p = 0.119$). В связи с чем модели на данной подгруппе не строились. Можно предположить, что у девушек регуляция аэробной производительности имеет более сложный и индивидуальный характер, что требует применения иных методов анализа и/или фиксацию дополнительных параметров. Исследованиями показано, что изменение уровня гормонов в течение овуляторного менструального цикла у спортсменок может влиять на важные аспекты спортивных результатов, включая аэробную и анаэробную мощность, выносливость и мышечную силу [11], а гормональные колебания, регулируемые взаимодействием гормонов гипоталамо-гипофизарно-ovarальной системы, влияют на физическую

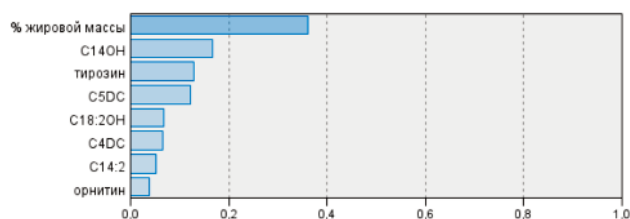
работоспособность и метаболические потребности [12]. Все это могло вносить существенную вариативность в тестовые результаты у девушек.

На первом этапе, с использованием метода автоматизированного линейного моделирования, были созданы модели, которые показали, что весомым фактором, влияющим на показатели относительного потребления кислорода, был процент жировой массы исследуемых, который определял 36% дисперсии показателя МПК. Это объясняется тем, что, будучи практически метаболически инертной массой, его отрицательный вклад в МПК очевиден – чем больше процент жира, тем меньшие значения потребления кислорода. Сходная ситуация была и в группе юношей, при этом роль жировой массы была более значима и дошла до 73%. В обоих случаях остальные предикторы вносили вклад менее 20% (рис.1).

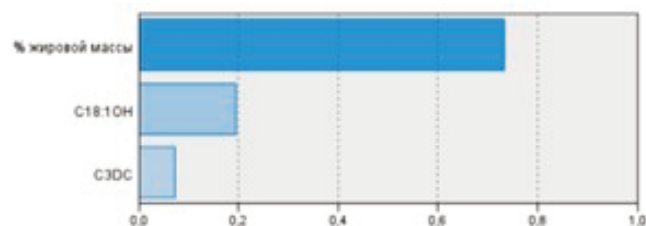
Для оценки вклада исключительно биохимических маркеров, независимо от антропометрических данных, была построена модель, исключаяющая процент жировой массы. В новой модели на первый план вышел показатель содержания тирозина как в общей выборке (28%), так и в выборке юношей (47%). Подобный факт может быть связан с тем, что тирозин,

будучи предшественником адреналина и норадреналина, опосредованно может способствовать лучшей работе сердечно-сосудистой системы: повышать частоту сердечных сокращений, расширять кровеносные сосуды в мышцах и улучшают доставку кислорода, а в стрессовых ситуациях или при дефиците тирозина добавки могут помочь поддерживать когнитивную функцию и мотивацию, что косвенно может влиять на производительность, в частности – в ходе теста на оценку МПК, которая всегда требует максимальной отдачи от исследуемых [13,14].

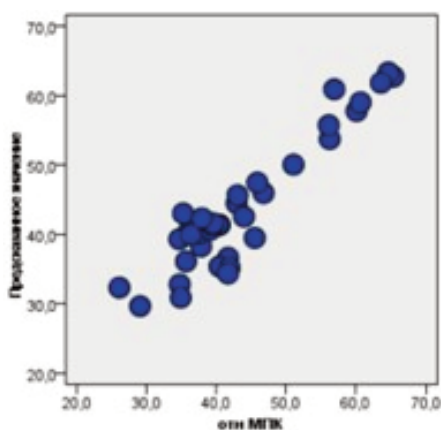
С учетом результатов первого этапа, на втором этапе был использован пошаговый регрессионный анализ методом включения для модели прогнозирования для юношей. Первый вариант модели включал пять предикторов: C16:1ОН, фенилаланин, C18:2ОН, глутаминовую кислоту и тирозин. Данная модель демонстрировала хорошие показатели объясненной дисперсии ($R^2 = 0,853$), однако анализ значимости коэффициентов выявил статистическую незначимость переменной C18:2ОН ($p = 0,419$). Далее, после исключения незначимого предиктора модели была создана более оптимальная, с сохранением высоких прогностических качеств:



а

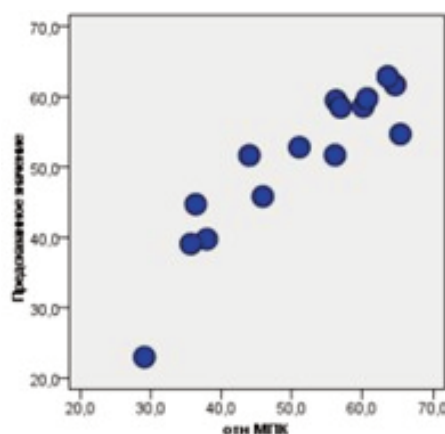


б



в

Общая база



г

Юноши

Рис. 1. Вклад предикторов в регрессионные модели (а и б) и scatter plot предсказанных и фактических значений МПК (в и г)
Fig. 1. Predictors in regression models (a and б) and scatterplots of predicted and actual IPC results (в and г)

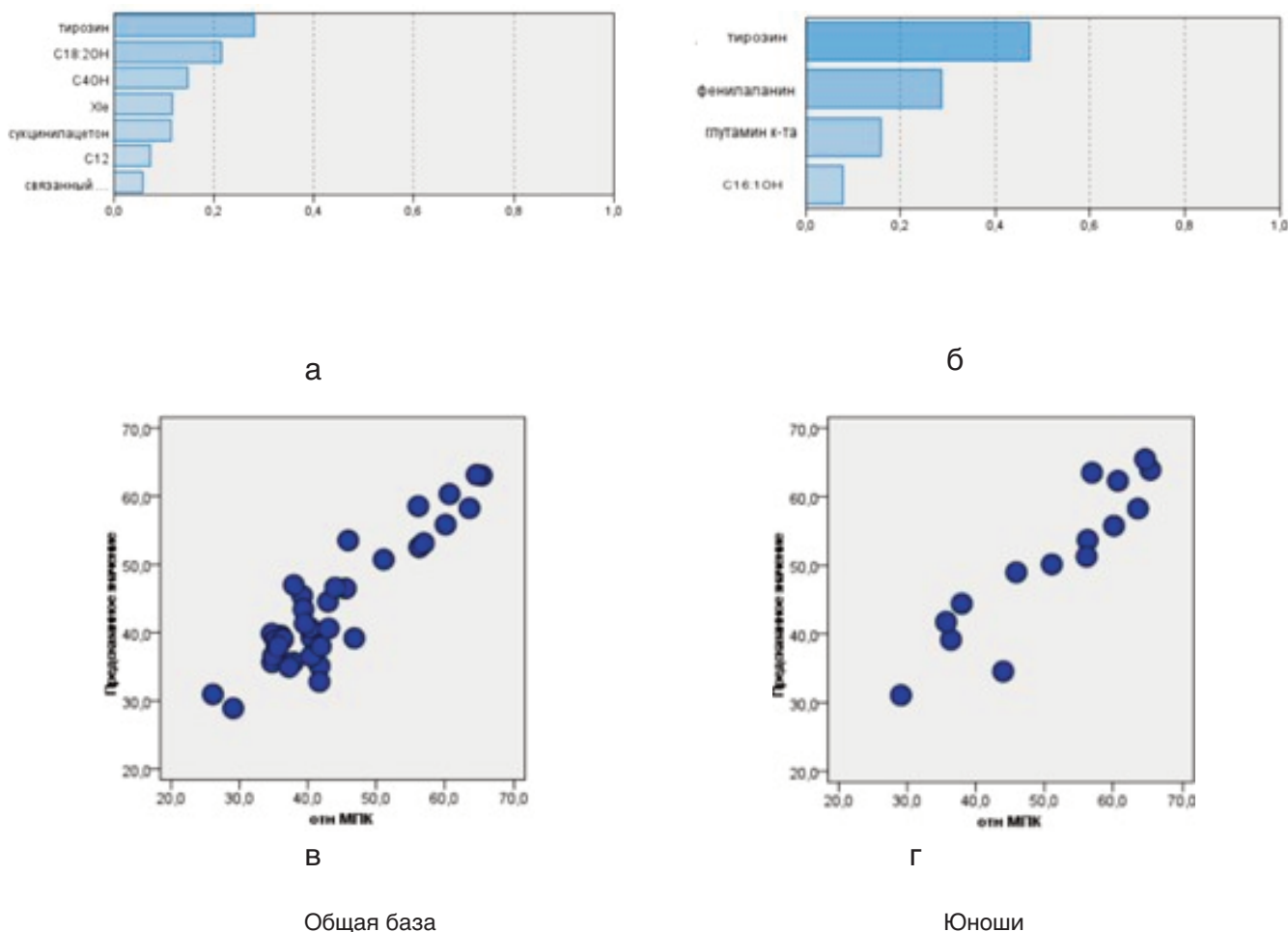


Рис.2. Вклад предикторов в регрессионную модель (а и б) и соотношение предсказанных и фактических значений МПК без использования жировой компоненты в качестве предиктора (в и г)

Fig. 2. Contribution of predictors to the regression model (a and b) and the ratio of predicted and actual values of BMD without using the fat component as a predictor (в and г)

объясненная дисперсия: $R^2 = 0,841$ (84,1% дисперсии МПК объясняется моделью); Скорректированный $R^2 = 0,778$ (учитывает число предикторов); Статистическая значимость: $F(4,10) = 13,254$, $p < 0,001$; стандартная ошибка модели: 5,63 мл/кг/мин. Корректность модели была подтверждена нормальным распределением остатков, гомоскедастичностью и отсутствием мультиколлинеарности.

МПК, мл/кг/мин = $86,996 - 0,916 \times \text{тирозин} + 1,589 \times \text{фенилаланин} - 0,096 \times \text{глутаминовая_кислота} - 234,547 \times \text{C16:1ОН}$.

Все четыре переменных в модели являются статистически значимыми ($p < 0.05$): тирозин: $\beta = -0.916$, $p < 0.001$ – отрицательное влияние; фенилаланин: $\beta = +1.589$, $p = 0.001$ – положительное влияние; глутаминовая кислота: $\beta = -0.096$, $p = 0.005$ – отрицательное влияние; ацилкарнитин C16:1ОН: $\beta = -234.547$, $p = 0.031$ – отрицательное влияние.

Выбор четырехкомпонентной модели обоснован как статистической значимостью всех включенных предикторов, так и практической целесообраз-

ностью использования минимального набора наиболее информативных маркеров для прогнозирования функционального состояния спортсменов.

Закключение

Исследование позволило определить ключевые биохимические и антропометрические детерминанты максимального потребления кислорода у юных спортсменов. Построение единой регрессионной модели для юношей и девушек оказалось малоэффективным. С использованием данных, полученных у юношей, была разработана высокоточная регрессионная модель ($R^2 = 0.841$), включающая четыре значимых предиктора: тирозин, фенилаланин, глутаминовую кислоту и ацилкарнитин C16:1ОН. Необходимо подчеркнуть, что данная модель применима только к юношам-спортсменам схожего возраста и специализации. Для подтверждения её надёжности и внешней валидности требуется дальнейшая апробация на независимой выборке.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ/REFERENCES

1. Saltin B., Astrand P.O. Maximal Oxygen Uptake in Athletes. *Journal of Applied Physiology*. 1967;23;3:353-358.
2. Bassett D.R., Howley E.T. Limiting Factors for Maximum Oxygen Uptake and Determinants of Endurance Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2000;32;1:70-84.
3. Foster C., et al. Skeletal Muscle Enzyme Activity, Fiber Composition and O₂ Max in Relation to Distance Running Performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1978;39;2:73-80.
4. Culbertson J., et al. Relationship of Various Body Composition Parameters Used for Predicting VO₂max. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2008;5;1:12.
5. La Gerche A., et al. Maximal Oxygen Consumption is Best Predicted by Measures of Cardiac Size Rather than Function in Healthy Adults. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112;6:2139-2147.
6. Mondal H., Mishra S. P. Effect of BMI, Body Fat Percentage and Fat Free Mass on Maximal Oxygen Consumption in Healthy Young Adults. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*. 2017;11;6:CC17.
7. Lee H.A., et al. Development of Machine Learning Model for VO₂max Estimation Using a Patch-Type Single-Lead ECG Monitoring Device in Lung Resection Candidates. *Healthcare*. MDPI. 2023;11;21:2863.
8. Przednowek K., et al. Predictive Modeling of VO₂max Based on 20 m Shuttle Run Test for Young Healthy People. *Applied Sciences*. 2018;8;11:2213.
9. Grzebisz-Zatońska N. The Relationship between Inflammatory Factors, Hemoglobin, and VO₂ Max in Male Amateur Long-Distance Cross-Country Skiers in the Preparation Period. *Journal of Clinical Medicine*. 2024;13;20:6122.
10. Mancera-Soto E.M., et al. Hemoglobin Mass, Blood Volume and VO₂max of Trained and Untrained Children and Adolescents Living at Different Altitudes. *Frontiers in Physiology*. 2022;13:892247.
11. Constantini N.W., Dubnov G., Lebrun C.M. The Menstrual Cycle and Sport Performance. *Clinics in Sports Medicine*. 2005;24;2:e51-e82.
12. Elorduy-Terrado A., et al. Evaluation the Impact of Hormonal Fluctuations during the Menstrual Cycle on the Performance of Female Athletes – Systematic Review. *Muscles*. 2025;4;2:15.
13. Watson P. Tyrosine Supplementation: can this Amino Acid Boost Brain Dopamine and Improve Physical and Mental Performance. *Sports Science Exchange*. 2016;28;157:1-6.
14. Koutlianos N., et al. Indirect Estimation of VO₂max in Athletes by ACSM's Equation: Valid or Not? *Hippokratia*. 2013;17; 2:136.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 04.03.2026. **Принята к публикации:** 28.03.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 04.03.2026. **Accepted for publication:** 28.03.2026