



Научная статья
УДК 796.015.682:613.735
DOI: 10.37482/2687-1491-Z241

Молекулярно-генетические и биохимические маркеры для оценки физических способностей спортсменов

Ольга Викторовна Зинченко* ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4321-0039>
Валерий Алексеевич Антонов* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6435-4316>
Дмитрий Сергеевич Шаронов* ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0933-5863>
Юлия Игоревна Кочкалда* ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9139-6294>
Галина Александровна Иваненко* ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7809-9373>
Виктория Александровна Пак* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1799-5211>
Николай Николаевич Сентябрьев** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5253-7078>
Алексей Геннадьевич Камчатников** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5068-467X>

*Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии
(Волгоград, Россия)

**Волгоградская государственная академия физической культуры
(Волгоград, Россия)

Аннотация. Исследование генетических и биохимических маркеров у спортсменов позволяет отслеживать физиологические изменения и корректировать режим тренировочных циклов для повышения эффективности занятий и минимизации переутомления. **Цель** работы – изучить взаимосвязь между биохимическими параметрами и полиморфными вариантами генов, анализируемыми при оценке предрасположенности спортсмена к различным специализациям. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие студенты Волгоградской государственной академии физической культуры в возрасте от 16 до 23 лет, занимающиеся легкой атлетикой ($n = 22$, средний возраст – 19,5 года, стаж занятий – 6–10 лет, средняя частота тренировок – 5–7 занятий в неделю, продолжительность – по 3 ч). Биохимические показатели сыворотки крови измерялись на автоматическом биохимическом анализаторе Selectra ProM (Vital Scientific B.V., Elitech Holding, Нидерланды) с помощью наборов реактивов фирмы Analyticon (Германия). Исследование генетических маркеров проводилось с применением коммерческого набора для выделения ДНК «Проба-ГС-Генетика» (ООО «ДНК-Технология», Россия) и ПЦР-тест-системы «Спортивная генетика» (НПФ «Литех», Россия). Амплификация в режиме реального времени осуществлялась на термоциклере CFX96 Touch Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, США) в микроцентрифужных пробирках

© Зинченко О.В., Антонов В.А., Шаронов Д.С., Кочкалда Ю.И., Иваненко Г.А., Пак В.А., Сентябрьев Н.Н., Камчатников А.Г., 2025

Ответственный за переписку: Валерий Алексеевич Антонов, адрес: 400048, г. Волгоград, ул. Землячки, д. 12; e-mail: antonov@rihtop.ru

(0,2 мл) с использованием «горячего старта». **Результаты.** При оценке выявленных генетических полиморфизмов с помощью кластерного анализа удалось условно разделить обследуемых спортсменов на две группы: «стайеры» и «спринтеры». На основании биохимического исследования разделения на какие-либо четкие группы добиться не удалось. Установлено отсутствие корреляции между наличием генов, отвечающих за быстроту, силу, выносливость, и показателями биохимии крови.

Ключевые слова: персонализированный подход к спортивным тренировкам, спортивная медицина, полиморфизм генов, биохимические тесты, спортивная специализация, физические способности спортсменов

Для цитирования: Молекулярно-генетические и биохимические маркеры для оценки физических способностей спортсменов / О. В. Зинченко, В. А. Антонов, Д. С. Шаронов, Ю. И. Кочкалда, Г. А. Иваненко, В. А. Пак, Н. Н. Сентябрев, А. Г. Камчатников // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 2. – С. 195-204. – DOI 10.37482/2687-1491-Z241.

Original article

Molecular Genetic and Biochemical Markers for Assessing Physical Abilities of Athletes

Olga V. Zinchenko* ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4321-0039>

Valeriy A. Antonov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6435-4316>

Dmitriy S. Sharonov* ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0933-5863>

Yuliya I. Kochkalda* ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9139-6294>

Galina A. Ivanenko* ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7809-9373>

Viktoriya A. Pak* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1799-5211>

Nikolay N. Sentyabrev** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5253-7078>

Aleksey G. Kamchatnikov** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5068-467X>

*Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology
(Volgograd, Russia)

**Volgograd State Physical Education Academy
(Volgograd, Russia)

Abstract. Studying athletes' genetic and biochemical markers allows us to monitor physiological changes and adjust training cycles to improve training efficiency and minimize fatigue. The **purpose** of this article is to investigate the relationship between biochemical parameters and polymorphic variants of genes and assess an athlete's predisposition to certain specialities. **Materials and methods.** The research involved 22 students from Volgograd State Physical Education Academy aged 16–23 years and doing athletics ($n = 22$, mean age 19.5 years, length of training 6–10 years, average training frequency 5–7 three-hour sessions a week). The biochemical parameters of blood serum were analysed using the Selectra ProM system (Vital Scientific B.V., Elitech Holding, the

Corresponding author: Valeriy Antonov, address: ul. Zemlyachki 12, Volgograd, 400048, Russia; e-mail: antonov@rihtop.ru

Netherlands) with reagent kits from Analyticon (Germany). Genetic markers were studied using the commercial DNA isolation kit Proba-GS-Genetika (DNA-Technology, Russia) and the PCR test system Sports Genetics (Lytech, Russia). Real-time amplification was carried out on a CFX96 Touch Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, USA) in microcentrifuge tubes (0.2 ml) using hot start. **Results.** According to the cluster analysis of the identified genetic polymorphisms, the examined athletes were divided into two groups: stayers and sprinters. No clear groups could be singled out based on the biochemical analysis. Moreover, no correlation was established between the presence of genes responsible for speed, strength and endurance and blood biochemistry.

Keywords: *personalized approach to sports training, sports medicine, gene polymorphism, biochemical tests, sports specialization, physical abilities of athletes*

For citation: Zinchenko O.V., Antonov V.A., Sharonov D.S., Kochkalda Yu.I., Ivanenko G.A., Pak V.A., Sentyabrev N.N., Kamchatnikov A.G. Molecular Genetic and Biochemical Markers for Assessing Physical Abilities of Athletes. *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 2, pp. 195–204. DOI: 10.37482/2687-1491-Z241

Исследования в области изучения здоровья спортсменов позволили выявить ряд биомаркеров для оценки работоспособности, восстановления после тренировочного процесса и риска травм. Такой персонализированный подход все чаще применяется как в медицине, так и в спорте [1, 2]. С точки зрения индивидуализированной медицины различают несколько типов биомаркеров [1, 3]:

– диагностические – применяются для ранней и точной диагностики заболеваний и физиологических нарушений;

– биомаркеры риска – отражают возможность возникновения какого-либо заболевания (например, дистрофии миокарда);

– прогностические – позволяют определять перспективы развития болезни (благоприятное или неблагоприятное течение);

– предиктивные – определяют ответ на лечение, клиническую эффективность или вред при использовании лекарственных препаратов;

– цифровые – используются для сбора и анализа физиологических и поведенческих данных при помощи цифровых технологий.

Для комплексного мониторинга физиологических изменений помимо клинического обследования необходимо определение генетических и биохимических маркеров. Большая часть биохимических маркеров у спортсменов в состоянии относительного покоя находится в

пределах нормальных значений, принятых для здоровых людей. Однако при интенсивных физических нагрузках, особенно при выполнении упражнений на выносливость (бег на длинные дистанции, марафоны), некоторые показатели могут повышаться.

Гормональный статус, а именно уровни тестостерона, кортизола, инсулиноподобного фактора роста, лютеинизирующего гормона, имеет большое прогностическое значение при определении профессиональной пригодности и возможностей спортсменов.

У спортсменов повышение уровней определенных цитокинов (интерлейкин-6, интерлейкин-8, интерлейкин-10, фактор некроза опухоли-альфа), С-реактивного белка, фибриногена в крови может свидетельствовать не об острых заболеваниях (либо обострении хронических) или инфекциях, а о вызванном физической нагрузкой повреждении и воспалении мышц, т. е. о перетренированности [4]. В связи с этим необходим индивидуальный подход к выбору биохимических маркеров для оценки состояния здоровья спортсмена [5].

Генетические тесты применяются для установления наследственной предрасположенности к занятиям каким-либо видом спорта и оптимального выбора специализации [6]. В настоящее время известно более 200 генов, ассоциированных с развитием таких физиче-

ских качеств, как выносливость, сила и быстрота [7, 8].

В то же время спортсмены высокого класса обычно не имеют заметных отличий от общей популяции по ряду полиморфизмов. Возможность того, что спортсмен будет иметь идеальное сочетание всех известных полиморфизмов, благоприятно влияющих на спортивные способности, невелика. Кроме того, успехи в спорте зависят от комплекса обстоятельств, включая генетику, психологический настрой, адаптацию к тренировкам и мотивацию, прием пищевых добавок и тренировочный режим, т. к. тренировки регулируют экспрессию генов, кодирующих различные ферменты в мышцах и других тканях [9].

Вероятно, для получения титула чемпиона большое значение имеют не только генетические полиморфизмы, но и сложные межгенные взаимодействия, факторы окружающей среды и эпигенетические механизмы [10].

Цель данного исследования заключалась в изучении взаимосвязи между основными биохимическими параметрами и полиморфными вариантами генов, анализируемыми при оценке предрасположенности к различным видам спорта.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 22 студента Волгоградской государственной академии физической культуры, занимающиеся легкой атлетикой. В выборку включались спортсмены в возрасте от 16 до 23 лет (средний возраст – 19,5 лет, стаж занятий – 6–10 лет, средняя частота тренировок – 5–7 занятий в неделю, продолжительность – по 3 ч). Обследование проводилось на базе Научно-исследовательского института гигиены, токсикологии и профпатологии (г. Волгоград) на сертифицированном оборудовании, прошедшем метрологическую поверку, в тихом, хорошо проветриваемом помещении с постоянной температурой воздуха 22–25 °С. В соответствии с имеющимися требованиями все студенты-спортсмены были ознакомлены с целью и задачами работы, получено информированное согласие на участие в эксперименте. Проводимые процедуры соответствовали эти-

ческим стандартам Хельсинкской декларации (редакция 2013 года).

В процессе работы выполнены молекулярно-генетические и биохимические тесты. Для изучения биохимического статуса обследуемых был определен комплекс унифицированных биохимических показателей в сыворотке крови на автоматическом биохимическом анализаторе Selectra ProM (Vital Scientific B.V., Elitech Holding, Нидерланды) с помощью наборов реактивов фирмы Analyticon (Германия), адаптированных к данному анализатору. Исследована активность следующих ферментов: аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы, гамма-глутамилтрансферазы, щелочной фосфатазы, лактатдегидрогеназы, альфа-амилазы, холинэстеразы, креатинкиназы, а также содержание общего белка и альбумина, общего и прямого билирубина, общего холестерина, триглицеридов, холестерина липопротеинов высокой и низкой плотности, мочевой кислоты, мочевины, креатинина, кальция, магния, неорганического фосфата, хлоридов, железа.

Материалом для оценки генетических маркеров являлся буккальный соскоб. Экстракция и очистка ДНК проводились с помощью коммерческого набора «Проба-ГС-Генетика» (ООО «ДНК-Технология», Россия). Амплификация в режиме реального времени осуществлялась на термоциклере CFX96 Touch Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, США) в микроцентрифужных пробирках (0,2 мл) с использованием «горячего старта» в соответствии с рекомендациями и протоколом фирмы-производителя тест-системы.

Генетическая предрасположенность спортсменов устанавливалась ПЦР-тест-системой «Спортивная генетика» (НПФ «Литех», Россия), которая позволяет обнаружить полиморфизмы 16 генов (табл. 1) и оценить такие физические качества, как выносливость, быстрота и сила. Для количественной оценки предрасположенности к каждому из трех качеств рассчитывались баллы. Полученный результат отображался программой теста относительно

Таблица 1

Изученные гены и их полиморфизмы
Studied genes and their polymorphisms

| Полиморфизм | Аллель 1 | Аллель 2 |
|------------------------------|----------|----------|
| <i>ACE</i> rs4646994 | Ins Alu | Del Alu |
| <i>ACTN3</i> rs1815739 | Arg (C) | Ter (T) |
| <i>AMPD1</i> rs17602729 | Gln (C) | Ter (T) |
| <i>CNTF</i> rs1800169 | G | A |
| <i>IL15RA</i> rs2296135 | T | G |
| <i>L3MBTL4</i> rs341173 | G | T |
| <i>PPARA</i> rs4253778 | G | C |
| <i>PPARGC1A</i> rs8192678 | Gly (G) | Ser (A) |
| <i>UCP2</i> rs660339 | Ala (C) | Val (T) |
| <i>PPARG</i> rs1801282 | Pro (C) | Ala (G) |
| <i>MTHFR</i> rs1801133 | Ala (C) | Val (T) |
| <i>VDR</i> rs1544410 | G | A |
| <i>HIF1A</i> rs11549465 | Pro (C) | Ser (T) |
| <i>ADRB2</i> rs1042714 | Gln (C) | Glu (G) |
| <i>ADRB2</i> rs1042713 | Arg (A) | Gly (G) |
| <i>NOS3</i> rs2070744 | C | T |

средних данных по популяции и у спортсменов. Указанные гены кодируют следующие признаки: состав мышечных волокон, эффективность аэробного и анаэробного метаболизма, углеводного и жирового обмена, способность к восстановлению работоспособности, терморегуляцию. На основании полученных генотипов на бланке результатов указывалась предрасположенность человека к каким-либо видам спорта.

Для статистической обработки полученных результатов использовался пакет прикладных программ Microsoft Excel (Microsoft, США) и Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Сопоставление персональных данных со значениями физиологической нормы производилось по каждому показателю. В качестве физиологической нормы биохимических показателей рассматривались значения, приведенные в инструкциях по применению тест-систем фирм-производителей, а также данные справочной литературы. Для разделения спортсменов на группы по физическим качествам применялся метод кластеризации с помощью программы Statistica 10. При этом каждое наблюдение начиналось в собственном кластере, пары кластеров объединялись по мере продвижения вверх по иерархии. Полученные данные представлены в виде таблицы «объект–свойство», где строки представляют объекты (обследуемые спортсмены), а столбцы – физические признаки, характеризующие эти объекты (выносливость, быстрота, сила). Визуализация результатов проводилась с помощью дендрограммы. По горизонтальной оси откладывались объекты (спортсмены), по вертикальной – расстояния (уровень сходства) между объединяемыми кластерами. Размерность минимального кластера задавалась равной 20. Для расчета расстояния использовалось Евклидово расстояние, а в качестве алгоритма кластеризации – метод Варда.

Результаты. Полученные данные позволили оценить генетическую предрасположенность испытуемых к физическим качествам. На основании отчетов тест-системы «Спорт-ивная генетика» по каждому из спортсменов была проведена систематизация данных в баллах по выносливости, скорости и силе (табл. 2, см. с. 200).

Различия учитывались по каждому признаку обособленно, поскольку отсутствуют сведения о важности отдельного признака для выявления закономерностей. По данным, представленным в табл. 2, показатели предрасположенности к физическим качествам в баллах были условно разделены на три уровня –

Таблица 2
Генетическая предрасположенность студентов-легкоатлетов к физическим качествам, баллы
Genetic predisposition of student athletes to physical qualities, points

| Условный шифр спортсмена | Выносливость | Быстрота | Сила |
|--------------------------|--------------|----------|------|
| КВВ | 62,5 | 57,1 | 55,0 |
| МЕД | 50,0 | 78,6 | 60,0 |
| РВА | 56,2 | 57,1 | 50,0 |
| ПММ | 56,2 | 42,9 | 45,0 |
| ИВА | 68,8 | 57,1 | 50,0 |
| ВМР | 68,8 | 57,1 | 50,0 |
| ЗАВ | 68,8 | 50,0 | 55,0 |
| ААЮ | 56,2 | 50,0 | 50,0 |
| ДНВ | 68,8 | 28,6 | 45,0 |
| ДСС | 81,2 | 42,9 | 35,0 |
| СОС | 56,2 | 28,6 | 25,0 |
| БСА | 75,0 | 42,9 | 45,0 |
| МАВ | 56,2 | 57,1 | 40,0 |
| БНА | 62,5 | 64,3 | 50,0 |
| ДСВ | 43,8 | 71,4 | 60,0 |
| ПВМ | 75,0 | 50,0 | 55,0 |
| ЧЕЮ | 75,0 | 50,0 | 50,0 |
| МСВ | 68,8 | 42,9 | 45,0 |
| МДВ | 43,8 | 42,9 | 35,0 |
| КВР | 56,2 | 35,7 | 35,0 |
| БМВ | 56,2 | 50,0 | 45,0 |
| МДА | 56,2 | 57,1 | 45,0 |

высокий, средний, низкий (табл. 3) для наглядности и более адекватного последующего построения дендрограмм.

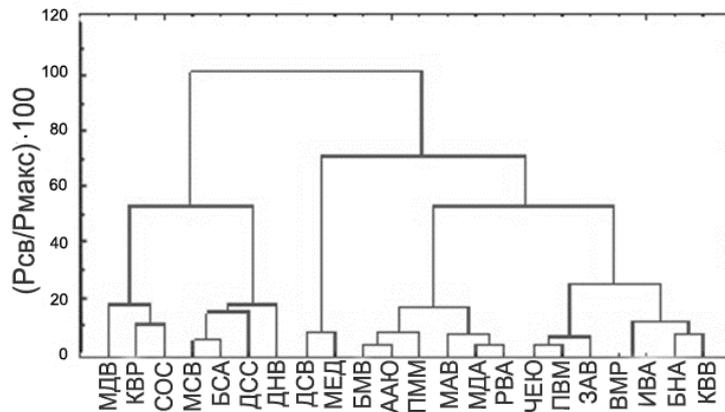
При проведении генетического типирования на основе кластерного анализа обследуемых спортсменов удалось разделить на две группы (рис. а).

В каждой из двух выделенных групп спортсмены имели схожие характеристики физических качеств, что позволило условно обозначить их как «стайеров» и «спринтеров». В первую группу вошли испытуемые, которые обладали более высокой выносливостью и, соответственно, предрасположенностью к длительным нагрузкам и дистанциям. Внутри нее спортсмены разделились на две подгруппы: с умеренной и высокой генетической предрасположенностью к выносливости. Другая группа состояла из спортсменов, которых можно условно отнести к «спринтерам» – они имеют более выраженную способность к бегу на короткие дистанции или другим циклическим видам спорта. В свою очередь, спортсмены «спринтеры» по генотипическим маркерам были разделены на три подгруппы: с более высокой предрасположенностью к скоростным нагрузкам, к скоростно-силовым видам спорта и с потенциалом развития всех трех физических качеств – выносливости, быстроты и силы.

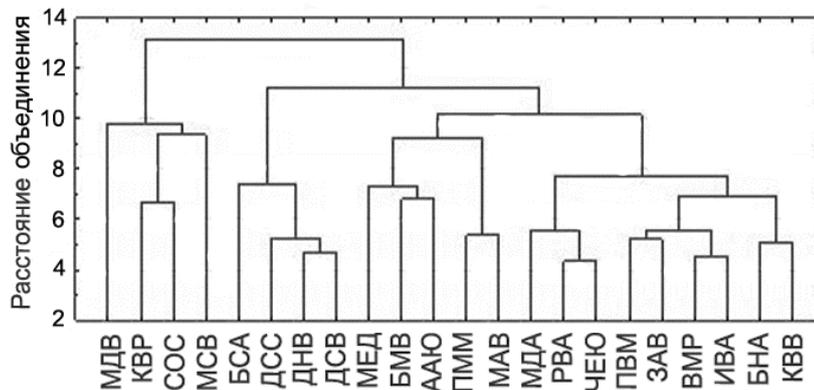
При анализе данных биохимического тестирования также было получено распределение по двум группам (рис. б), имеющих сходные, незначительно отличающиеся между собой характеристики. Однако деления на «стайеров» и «спринтеров» добиться не уда-

Таблица 3
Уровни предрасположенности спортсменов-легкоатлетов к физическим качествам
Levels of predisposition of student athletes to physical qualities

| Уровень | Предрасположенность, баллы | | |
|---------|----------------------------|------------|------------|
| | к выносливости | к быстроте | к силе |
| Низкий | 0–49,9 | 0–39,9 | 0–34,9 |
| Средний | 50,0–69,9 | 40,0–69,9 | 35,0–59,9 |
| Высокий | 70,0–100,0 | 70,0–100,0 | 60,0–100,0 |



a



b

Дендрограмма кластерного анализа маркеров спортивной предрасположенности студентов-спортсменов для 22 наблюдений (метод Варда, Евклидово расстояние): *a* – генетические маркеры; *b* – биохимические маркеры

Dendrogram of cluster analysis of markers of athletic predisposition in student athletes for 22 observations (Ward's method, Euclidean distance): *a* – genetic markers, *b* – biochemical markers

лось. На основе полученных данных сделан вывод об отсутствии четкой корреляции между биохимическими и генетическими маркерами. Биохимические маркеры не являлись критериями врожденной способности развивать такие качества спортсменов, как выносливость, сила и скорость.

Кроме того, с помощью ПЦР-тест-системы «Спортивная генетика» (НПФ «Литех») обследованы члены семей спортсменов на предмет

наследования генов, отвечающих за спортивную успешность. Проведение генетического тестирования позволило подтвердить литературные данные о том, что в семьях успешных спортсменов рождаются дети с высокой физической предрасположенностью к спорту. Однако такая закономерность прослеживается при наличии исследуемых гомозиготных ал-

лелей, перечисленных в *табл. 1*. Изучаемые полиморфизмы теста «Спортивная генетика» не связаны с полом, т. к. детерминированы по аутосомному типу наследования. Более того, возможен и иной вариант – в некоторых семьях спортсменов, где отец и мать обладают средними физическими качествами, ребенок рождается с высокой предрасположенностью ко многим видам спорта. Схожие данные получены при генотипировании семьи, состоящей из трех поколений. У представителей первого поколения со средними и умеренными способностями родился ребенок с высокой предрасположенностью к спорту. Это передалось и его детям – дочери и сыну, рожденным от матери с хорошими физическими данными.

Можно сделать вывод о целесообразности генотипирования конкретного индивидуума для определения его предрасположенности к определенным физическим нагрузкам. В то же время необходимо помнить, что наследственность – это лишь вероятность, т. е. потенциал, который не гарантирует обязательное чемпионство и высокие достижения, но при должной мотивации и упорном труде даст преимущество перед остальными.

Обсуждение. Исследование генетических маркеров позволяет обнаружить предрасположенность к некоторым заболеваниям, а также провести отбор перспективных спортсменов, в т. ч. детей, которые могут проявить себя в определенном виде спорта; биохимический анализ крови – оценить исходное состояние человека и ответ организма на тренировочную нагрузку, адаптационные изменения, функциональное состояние органов и систем.

Причинами различий в сформированных генетических и биохимических кластерных группах, вероятно, являются:

- рандомизированная выборка;
- эпигенетические факторы, а также неод-

нозначность фенотипической реализации под влиянием внешней среды (питание, климат, стиль жизни) в конкретный момент времени;

– различия в средовом влиянии видов тренировок;

– возможные различия в преаналитических протоколах (например, поза, время суток, время последнего приема пищи или физические упражнения).

По нашему мнению, биохимический контроль в спорте может использоваться лишь для скрининга состояния здоровья спортсмена, изучения биохимической адаптации организма к тренировочным и соревновательным нагрузкам и мониторинга физической нагрузки. Проведение биохимических тестов с целью установления предрасположенности человека к достижению успехов в каком-либо виде спорта требует более тщательного подбора соответствующих маркеров.

Вероятно, более корректно не сравнивать полученные биохимические маркеры спортсменов с референс-значениями, а наблюдать за динамикой показателей для выявления значимых изменений с течением времени. В таком случае создание базы данных биомаркеров в виде реестра показателей на основе большой массы сведений для каждого спортсмена является ключевым звеном персонализации спортивной подготовки.

Генетический тест «Спортивная генетика» (НПФ «Литех») может быть использован для скрининга спортсменов относительно предрасположенности и устойчивости к выносливости и, соответственно, их способности к определенным видам спорта. Результаты биохимических исследований не коррелировали с полученными генетическими данными. По итогам биохимического анализа можно судить только о состоянии и динамике здоровья спортсмена.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. Конради А.О. Биомаркеры, их типы и основы применения в персонализированной медицине // Рос. журн. персонализир. медицины. 2022. Т. 2, № 3. С. 6–16. <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2022-2-3-6-16>
2. Гаврилова С.О. Персонализированный подход в обосновании референтных интервалов биохимических маркеров перетренированности на примере гребцов-академистов // Приклад. спортив. наука. 2022. № 1(15). С. 71–79.
3. Huang M., Chen W., Nakamura T., Kimura Y. Editorial: Discovery of Digital Biomarkers in the Background of Big Data and Advanced Machine Learning // *Front. Physiol.* 2023. Vol. 14. Art. № 1239219. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1239219>
4. Lee E.C., Fragala M.S., Kavouras S.A., Queen R.M., Pryor J.L., Casa D.J. Biomarkers in Sports and Exercise: Tracking Health, Performance, and Recovery in Athletes // *J. Strength Cond. Res.* 2017. Vol. 31, № 10. P. 2920–2937. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002122>
5. Haller N., Behringer M., Reichel T., Wahl P., Simon P., Krüger K., Zimmer P., Stöggel T. Blood-Based Biomarkers for Managing Workload in Athletes: Considerations and Recommendations for Evidence-Based Use of Established Biomarkers // *Sports Med.* 2023. Vol. 53, № 7. P. 1315–1333. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01836-x>
6. Шибкова Д.З., Байгузжин П.А., Эрлих В.В., Батуева А.Э., Сабирьянова Е.С. Отбор и медико-биологическое сопровождение одаренных обучающихся, реализующих образовательную и спортивную деятельность // *Sci. Educ. Today.* 2020. Т. 10, № 5. С. 196–210. <https://doi.org/10.15293/2658-6762.2005.11>
7. Пономарева О.В. Генетика в современном спорте: научные технологии для новых достижений // *Наука молодых (Eruditio Juvenium).* 2018. Т. 6, № 4. С. 569–581. <https://doi.org/10.23888/HMJ201864569-581>
8. Иманбекова М.К., Жолдыбаева Е.В., Есентаев Т.К., Момыналиев К.Т. Спорт и генетика // *Биотехнология. Теория и практика.* 2013. № 2. С. 4–11.
9. Шамсувалеева Э.Ш., Невмывака А.И., Назаренко А.С. Проблемы интерпретации результатов генетического тестирования на примере изучения выносливости // *Наука и спорт: соврем. тенденции.* 2020. Т. 8, № 1. С. 75–82.
10. Buxens A., Ruiz J.R., Arteta D., Artieda M., Santiago C., González-Freire M., Martínez A., Tejedor D., Lao J.I., Gómez-Gallego F., Lucia A. Can We Predict Top-Level Sports Performance in Power vs Endurance Events? A Genetic Approach // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2011. Vol. 21, № 4. P. 570–579. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01079.x>

References

1. Konradi A.O. Biomarkers, Types and Role in Personalized Medicine. *Russ. J. Personalized Med.*, 2022, vol. 2, no. 3, pp. 6–16 (in Russ.). <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2022-2-3-6-16>
2. Gavrilova S.O. Personalizirovanny podkhod v obosnovanii referentnykh intervalov biokhimicheskikh markerov peretrenirovannosti na primere grebtsov-akademistov [Personalized Approach in Substantiation of Reference Intervals of Biochemical Markers of Overtraining on the Example of Rowers]. *Prikladnaya sportivnaya nauka*, 2022, no. 1, pp. 71–79.
3. Huang M., Chen W., Nakamura T., Kimura Y. Editorial: Discovery of Digital Biomarkers in the Background of Big Data and Advanced Machine Learning. *Front. Physiol.*, 2023, vol. 14. Art. no. 1239219. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1239219>
4. Lee E.C., Fragala M.S., Kavouras S.A., Queen R.M., Pryor J.L., Casa D.J. Biomarkers in Sports and Exercise: Tracking Health, Performance, and Recovery in Athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 2017, vol. 31, no. 10, pp. 2920–2937. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002122>
5. Haller N., Behringer M., Reichel T., Wahl P., Simon P., Krüger K., Zimmer P., Stöggel T. Blood-Based Biomarkers for Managing Workload in Athletes: Considerations and Recommendations for Evidence-Based Use of Established Biomarkers. *Sports Med.*, 2023, vol. 53, no. 7, pp. 1315–1333. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01836-x>
6. Shibkova D.Z., Bayguzhin P.A., Erlikh V.V., Batueva A.E., Sabir'yanova E.S. Otbor i mediko-biologicheskoe soprovozhdenie odarennykh obuchayushchikhsya, realizuyushchikh obrazovatel'nyuyu i sportivnuyu deyatel'nost' [Selection and Biomedical Support for Gifted Children Simultaneously Involved in Education and Sports]. *Sci. Educ. Today*, 2020, vol. 10, no. 5, pp. 196–210. <https://doi.org/10.15293/2658-6762.2005.11>

7. Ponomareva O.V. Genetics in Modern Sports: Scientific Technologies for New Achievements. *Eruditio Juvenium*, 2018, vol. 6, no. 4, pp. 569–581 (in Russ.). <https://doi.org/10.23888/HMJ201864569-581>

8. Imanbekova M.K., Zholdybaeva E.V., Esentaev T.K., Momyinaliev K.T. Sport i genetika [Sports and Genetics]. *Biotekhnologiya. Teoriya i praktika*, 2013, no. 2, pp. 4–11.

9. Shamsuvaleeva E.Sh., Nevmyvaka A.I., Nazarenko A.S. Challenges of Interpretation of Genetic Test Results on the Example of Study of Endurance. *Sci. Sport Curr. Trends*, 2019, vol. 8, no. 1, pp. 75–82 (in Russ.).

10. Buxens A., Ruiz J.R., Arteta D., Artieda M., Santiago C., González-Freire M., Martínez A., Tejedor D., Lao J.I., Gómez-Gallego F., Lucia A. Can We Predict Top-Level Sports Performance in Power vs Endurance Events? A Genetic Approach. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2011, vol. 21, no. 4, pp. 570–579. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01079.x>

Поступила в редакцию 01.07.2024 / Одобрена после рецензирования 07.10.2024 / Принята к публикации 11.11.2024.

Submitted 1 July 2024 / Approved after reviewing 7 October 2024 / Accepted for publication 11 November 2024.