

Молекулярно-генетические маркеры в спортивном отборе

Ильдус Ахметов¹, Владимир Ильин², Светлана Дроздовская²

АННОТАЦИЯ

Цель. Оценка возможности использования молекулярно-генетического анализа для определения наследственной предрасположенности к занятиям разными видами спорта.

Методы. Теоретический анализ, сравнение, обобщение данных специальной научной литературы и материалов сети Интернет.

Результаты. Установлены современные тенденции применения молекулярно-генетических маркеров в спортивном отборе, определены основные проблемы и перспективы исследований данного научного направления.

Заключение. Бурное развитие методов молекулярно-генетического анализа способствует применению молекулярно-генетических маркеров в практике спортивного отбора. Их использование углубляет фундаментальные знания и имеет большое практическое значение, состоящее в повышении спортивных результатов, уменьшении финансовых издержек на подготовку спортсменов и риска развития хронических заболеваний и паталогических состояний.

Ключевые слова: спортивный отбор, молекулярно-генетические маркеры, полиморфизмы генов.

ABSTRACT

Objective. Assessment of an opportunity of using molecular genetic analysis to determine hereditary predisposition to participate in different sports.

Methods. Theoretical analysis, comparison, generalization of special scientific literature data and Internet materials.

Results. Modern trends in the use of molecular genetic markers for selection of athletes were outlined, the main problems and prospects of research in this scientific area were determined.

Conclusion. Rapid development of the methods of molecular genetic analysis promotes the use of molecular genetic markers in selection of athletes. Their use deepens the fundamental knowledge and has great practical value for enhancing athletic performance, reduction of financial costs on athlete's preparation as well as lowering the risks of chronic diseases and disabling conditions.

Key words: selection of athletes, molecular genetic markers, polymorphisms of genes.

Постановка проблемы. Результаты, демонстрируемые спортсменами в спорте высших достижений, достигли пределов человеческих возможностей. За последние 20 лет не наблюдается их существенного улучшения, а кривая рекордов приближается к максимальной величине. Во многих видах спорта, особенно требующих проявления выносливости и скорости, достигнуты границы тренированности, и вероятно, физических и функциональных возможностей [8]. С одной стороны, свидетельством исчерпаемости человеческих резервов является частота развития перетренированности [25], с другой — существуют предположения, что недостаточность диагностического инструментария, вариабельность результатов научных исследований, отсутствие возможности изучения индивидуального ответа на тренировочные нагрузки искажают диагностику перетренированности, часто ошибочно принимая за неё перенапряжение [35].

Для достижения спортивных результатов мирового уровня необходима спортивная одарённость, а для достижения мировых рекордов — спортивная гениальность [1, 10]. С помощью математического моделирования было подсчитано, что 38% популяции населения имеют средний уровень развития двигательных способностей, 7% — очень низкий либо очень высокий. Только 0,13% населения могут быть спортивно талантливыми [26].

Определить наличие резервных возможностей организма спортсмена высокого класса, осуществить селекцию в сборные команды, в том числе и национальную олимпийскую команду страны, призвана научно обоснованная система спортивного отбора, включающая современные наукоёмкие технологии.

Спортивный отбор как процесс поиска наиболее одарённых людей, способных достичь высоких спортивных результатов в конкретном виде спорта, развивается и совершенствуется десятки лет. За это время создано огромное количество научно-методических разработок, но требования времени увеличиваются и возникает необ-

ходимость создания более точных и современных методов [1, 5, 9, 10, 16].

Современные тенденции развития спорта свидетельствуют о том, что он стал элитарным видом деятельности. Если раньше спорт был массовым, то на современном этапе развития, в связи с уменьшением притока детей в спортивные секции, возможности отбора уменьшены [4, 6, 7, 11]. В Украине на сегодняшний день отсутствуют средства для широкого разветвлённого спортивного отбора, а также снижается резерв школьников. Кроме того, следует учитывать, что численность населения постоянно уменьшается. Так, если по данным на 1 ноября 2003 г. она составляла 47 млн. 690 360 человек, на 1 февраля 2010 г. — 45 млн. 939 820, то на 1 ноября 2012 г. — 45 млн. 560 255 человек [37]. По прогнозу ООН до 2030 г. население Украины уменьшится до 39 млн [38].

Постоянно уменьшается доля людей в возрасте до 14 лет и понижается их уровень здоровья. Помимо этого невозможно осуществить определение индивидуальной предрасположенности к спортивным достижениям путём одноразовых процедур (наблюдений, тестирований) за короткий промежуток времени. Для корректного определения направления спортивной специализации при систематической спортивной деятельности в подростковом возрасте необходимо потратить не меньше 2–3 лет. Такие критерии как спортивный результат, морфологические, функциональные, психологические показатели не могут иметь решающего значения в процессе отбора юных спортсменов, поскольку формирование организма не завершилось, а в процессе индивидуального развития большое значение имеет явление гетерохронности [16]. Поэтому всё чаще в спортивном отборе наблюдается ориентирование на стабильные наследственно детерминированные показатели, растёт спрос на применение молекулярно-генетических методов в спортивном отборе, использование которых имеет как преимущества, так и недостатки.

Цель исследования — оценить возможность использования молекулярно-генетического анализа для определения наследственной предрасположенности к занятиям определенными видами спорта и на разных этапах спортивного отбора; определить основные проблемы и перспективы исследований данного научного направления.

Методы исследования — теоретический анализ, сравнение, обобщение данных специальной научной литературы и материалов сети Интернет.

Работа выполнена согласно теме 2.22 «Разработка комплексной системы изучения индивидуально-типологических свойств спортсменов на основе проявлений генома» Сводного плана научно-исследовательской работы в сфере физической культуры и спорта Украины на 2011–2015 гг.

Результаты исследования и их обсуждение. В современном научном мировоззрении закрепились концепция, согласно которой все человеческие черты и качества являются результатом взаимодействия между уникальным генотипом и стимулами внешней среды [29]. На сегодняшний день основным является не вопрос, связаны ли генетические компоненты со статусом спортсмена, а какой генетический профиль вносит вклад в статус элитного спортсмена [24]. Например, по данным некоторых исследователей, 66% разнообразия статуса спортсмена зависит от генетических факторов, а остальное — от факторов окружающей среды [22].

На основе генеалогического, близнецового методов ещё в середине XX в. было установлено, что от генетического влияния в наибольшей мере зависят такие физические качества, как быстрота и гибкость, а в наименьшей — общая выносливость и координация. Существует обратная зависимость: чем больше можно развить качество под влиянием тренировки, тем менее оно генетически детерминировано. Скоростные качества в процессе многолетней тренировки могут увеличиваться в 1,5–2 раза, сила — в 1,5–4 раза, а выносливость — в десятки раз за счет очень широкого спектра адаптационных механизмов. Наибольшей генетической зависимостью характеризуются быстрые движения, требующие особенных скоростных свойств нервной системы, наличия энергетических субстратов и источников их ресинтеза, благоприятной мышечной композиции. Высоким уровнем генетического

контроля отличаются гибкость, а наименьшим — выносливость [12, 14].

Современные исследования особенностей наследования физических качеств проводятся на молекулярном уровне. К молекулярно-генетическим маркерам склонности к напряженной мышечной деятельности относят ДНК-полиморфизмы (аллели и генотипы), гаплотипы, гаплогруппы, количество копий гена, уровень метилирования ДНК и экспрессии генов [1, 13].

Согласно современным представлениям молекулярной генетики двигательной активности считается, что индивидуальные отличия в уровне развития физических и психических качеств человека обусловлены ДНК-полиморфизмами, которых насчитывается более 60 млн [39]. Это генетические варианты последовательностей нуклеотидов одного и того же участка ДНК у разных людей, которые встречаются в популяции с частотой не менее 1%. Именно их считают самыми удобными для использования в качестве молекулярно-генетических маркеров.

Некоторые полиморфизмы способны влиять на уровень экспрессии генов, активность функциональных продуктов (белков, РНК) и структуру белков, но большинство их в функциональном отношении ещё остаются неизученными. Сейчас известно больше 214 аутосомальных, 18 митохондриальных генов и 7 генов, находящихся на X хромосоме, полиморфизмы которых ассоциированы с развитием и проявлением физических качеств человека, а также морфофункциональными признаками и биохимическими показателями, изменяющимися под влиянием физических нагрузок разной направленности [1, 21]. В некоторых публикациях такие полиморфизмы называют PEP(s) (performance enhancing polymorphism) — полиморфизмы, повышающие работоспособность [27]. В современных исследованиях по типу «случай–контроль» и «генотип–фенотип» установлено 79 молекулярно-генетических маркеров, ассоциированных со статусом спортсмена, из них 59 — в видах спорта с требованиями к преимущественному развитию выносливости, 20 — в скоростно-силовых видах [17]. Гены, содержащие данные полиморфизмы, относятся к разным метаболическим сетям, их продукты принимают участие в работе различных физиологических систем (рис.1), но суммарная оценка позволяет определить предрасположенность к развитию физических качеств. К 2015 г. число маркеров пред-

расположенности к занятиям спортом может возрасти до 140 в связи с проведением международным консорциумом полногеномных исследований (GWAS) с использованием сотен тысяч молекулярно-генетических маркеров.

Достижение статуса элитного спортсмена — это комплекс испытаний, требующих взаимодействия большого количества фенотипов. Единичный полиморфизм не может вызвать такого индивидуального эффекта. Лишь комбинированное влияние определенных генетических вариантов, каждый из которых имеет значительный вклад, а также комплекс взаимодействующих генетических вариантов (с или без индивидуального вклада) может объяснить индивидуальные вариации проявления выносливости, быстроты и силы [33]. Значимые полиморфизмы в любых генах включены в процессы физических нагрузок и могут повлиять на потенциал индивидуума: чем больше сигнальных путей (и соответственно, систем полигенов) включено в определенную мышечную деятельность либо некоторый признак, являющийся важным для спорта (например, длина тела в баскетболе), тем больше полиморфизмов генов определяют индивидуальные отличия в степени развития фенотипа. В связи с этим становится очевидным, что чем больше наследуется какой-то признак, тем меньше генов (и полиморфизмов) его определяют. Соответственно такие фенотипы с высоким уровнем наследования как взрывная сила, состав мышечных волокон, продольные размеры тела, гибкость и другие детерминированы ограниченным количеством генов и их полиморфизмов, и наоборот, масса тела, аэробная выносливость, ловкость и другие фенотипы, легко изменяющиеся под влиянием внешних стимулов (с наименьшим уровнем наследования и высоким уровнем тренировки), обусловлены взаимодействием большого количества генов и их вариаций. Различный прогресс в установлении аллелей выносливости (большое количество) и аллелей скорости/силы (ограниченное количество) в некоторой степени отображает этот феномен [1].

Сколько же полиморфизмов следует учитывать для точной оценки наследственной склонности к мышечной деятельности? Чаще всего подобные расчеты осуществляют для определения наследственной склонности к развитию выносливости. Подсчитано, что вероятность носительства благоприятных для проявления этого качества

аллелей 23 полиморфизмов составляет 0,0005% [36].

В зависимости от носительства аллелей 32 генов, способствующих какому-либо виду двигательной активности, санкт-петербургскими учеными предложена молекулярно-генетическая диагностика предрасположенности к занятиям спортом [1]. Также была предложена модель из 11 полиморфизмов, объясняющих 23% отличий в приросте $\dot{V}O_{2\max}$ у добровольцев под влиянием тренировок, направленных на развитие выносливости [34]. Но помимо полиморфизмов исследователи используют анализ экспрессии 30 генов в состоянии относительного мышечного покоя, называемых ими генами-предикторами, дающими информацию о предполагаемой реакции организма на физические нагрузки. В исследованиях по программе «Heritage Family Study» установлено 39 полиморфизмов, имеющих ассоциации с приростом $\dot{V}O_{2\max}$, из которых 21 обуславливает 49% вариативности максимального потребления кислорода в ответ на тренировочный процесс [20]. У лиц, имеющих 9 благоприятных аллелей, $\dot{V}O_{2\max}$ улучшился на 221 мл·мин⁻¹, а у лиц, имеющих их больше 19, прирост максимального потребления кислорода составлял в среднем 604 мл·мин⁻¹. Наибольшее влияние оказывал ген *ACSL1* (ген длинной цепи ацил-КоА-синтазы). Самостоятельное наличие его дает 6% прироста $\dot{V}O_{2\max}$ в ответ на 20-недельный тренировочный процесс.

По данным российских исследователей, суммарный вклад благоприятных аллелей 10 полиморфизмов составляет 21% фенотипической дисперсии максимального потребления кислорода у спортсменов, специализирующихся в гребле академической [2].

Увеличивается количество доказательств того, что спортсмены мирового уровня являются носителями определенного набора генов, повышающих работоспособность. Например, почти все мужчины, специализирующиеся в беге на короткие дистанции, являются носителями 577R аллеля, одного из вариантов гена α -актинина 3 (*ACTN3*) [19].

Одно из последних опубликованных исследований по программе «Heritage Family Study» было посвящено изучению ответа на тренировочную программу с нагрузкой субмаксимальной мощности (60% $\dot{V}O_{2\max}$). По результатам исследования была создана модель, включающая 13 однонуклеотид-

ТАБЛИЦА 1 – Использование молекулярно-генетического анализа на разных этапах спортивного отбора

Этап отбора	Задача	Вид информации
Первичный	Определение склонности к занятиям спортом. Выбор вида спорта	Анализ полиморфизмов генов (генетические маркеры основной группы); подсчет суммарного балла; анализ полиморфизмов, кодирующих свойства нервной системы; анализ полиморфизмов генов, способствующих развитию заболеваний
Предварительный	Выбор узкой специализации, определение возможностей перенесения интенсивных тренировочных и соревновательных нагрузок	Анализ полиморфизмов генов. Оценка уровня экспрессии генов в ответ на физические нагрузки разного характера
Промежуточный	Определение склонности к перенесению максимальных нагрузок	Уровень экспрессии генов в ответ на физические нагрузки максимальной мощности (критической)
Основной	Коррекция педагогического процесса. Повышение эффективности фармакологической коррекции	Полиморфизмы генов, способствующие утилизации ксенобиотиков. Полиморфизмы генов, способствующие активному включению в метаболизм фармакологических препаратов
Заключительный	Определение факторов поддержания высокой спортивной работоспособности	Определение уровня экспрессии генов, кодирующих неблагоприятные факторы

ных полиморфизмов и гаплотипов, которые в сумме объясняли 20% фенотипической дисперсии $\Delta\dot{V}O_{2\max}$ [32]. Таким образом, существующие на сегодняшний день методы и знания не позволяют осуществить полную оценку наследственной предрасположенности к интенсивной мышечной деятельности разной направленности. Данный вопрос требует дополнительных исследований, расширяющих спектр используемых полиморфизмов, и проведения на большом количестве испытуемых.

Молекулярно-генетические методы можно использовать на разных этапах спортивного отбора, при этом выбираются различные маркеры, в зависимости от поставленных задач (табл.1).

О растущем интересе к данной проблеме можно судить по количеству публикаций. Согласно результатам их анализа, только на английском языке в 1997–2012 гг. вышло 133 публикации, касающихся проблем молекулярно-генетических маркеров в спорте. Большинство из них было опубликовано в 2007–2012 гг. [17]. Ряд работ имеет недостатки: небольшое количество испытуемых либо проб, использование необъективных критериев определения выносливости, непрямые методы исследования. Поэтому важно выделить основные тенденции в исследованиях и отметить самые важные публикации в этой сфере науки [28, 31].

Научные работы в области генетики мышечной деятельности проводятся в нескольких направлениях: «генетика и двигательное поведение», «непереносимость» (intolerance) физических нагрузок, «влияние генетических особенностей на мышечную силу», «взаимосвязь генетики и аэробной работоспособности спортсменов», «генетика, масса тела, ожирение», «генетика и метаболизм глюкозы, инсулина, липидов», «генетика и особенности гемодинамики». Ежегодные обзоры, анализирующие исследования, касающиеся генетики мышечной деятельности (в англоязычном варианте exercise genomics) публикуются в журнале *Medicine and Science in Sports and Exercise* [21, 28, 30, 31]. В исследованиях этой узкой сферы науки для деления спортсменов на группы используют несколько разных классификаций как видов спорта, так и статуса спортсменов, что вносит противоречия при анализе результатов [27].

Количество генов-кандидатов, претендующих называться «генами, повышающими спортивную работоспособность» и использоваться в спортивном отборе, увеличивается с каждым годом. Ученые считают, что при такой скорости развития спортивной генетики существует несколько вариантов использования генов в будущем: 1) соревнования будут продолжаться как демонстрация возможностей спортсменов, родившихся с генетическими преимуще-

ствами; 2) использование методов уравнивания возможностей, создание преимуществ для спортсменов, не имеющих благоприятных генов; 3) разрешение спортсменам, не имеющим генных преимуществ, при условии безопасности, использовать генную терапию. На сегодняшний день официальная борьба с использованием генетической информации и генных модификаций четко прослеживается, но авторы, ссылаясь на некоторые успешные попытки «сломать» жесткие правила Международного олимпийского комитета, как это было в случае с разрешением Оскару Писториусу использовать протезы, считают, что рано или поздно генетическая модификация будет обычным явлением [23].

При анализе и интерпретации результатов генетического анализа следует учитывать, что генетические особенности индивидуума в значительной степени определяются принадлежностью к определенному географическому региону, этнической группе, популяции. Известно, что на долю межпопуляционных отличий в глобальном масштабе приходится 10–15% генетического разнообразия. Закономерности проявляются и в меньших масштабах (для континентальных и субконтинентальных групп популяций). Сила биологического эффекта генетического маркера (полиморфизма) определяется этно- либо популяционно-специфическими факторами как генетической, так и негенетической природы (гаплотип, взаимодействие ген–ген и ген–среда) [15].

Указанные особенности и трудности свидетельствуют о преждевременности разговоров о тщательной изученности генома человека, его влияния на функциональные возможности и о создании диагностики наследственной склонности к выполнению интенсивной физической работы, позволяющей давать результат с высокой точностью.

Заявления коммерческих организаций, предлагающих оценку наследственной склонности спортсмена на основе анализа полиморфизмов, не лишены оснований, но ещё рано говорить о полной диагностике, потому что до сих пор не изучено влияние всех полиморфизмов на организм человека, отсутствуют комплексы полиморфизмов, специфичных для выбранных видов спорта, не установлена индивидуальная значимость каждого из молекулярно-генетических маркеров в комплексной системе оценки,

основанной на учете типа полиморфизма, его локализации в гене. Методически трудно отследить и установить влияние эпигенетических и посттрансляционных факторов, особенностей межгенного взаимодействия. Говорить же об оценке успешности в спорте путём анализа полиморфизмов полностью некорректно, поскольку кроме генетических на нее влияют тренировочные факторы, питание, особенности мотивации, технические достижения, особенности оборудования.

Использование молекулярно-генетических методов в спорте имеет ряд преимуществ.

- Возможность ранней диагностики (сразу после рождения) склонности к спорту, в то время когда фенотипы (рост, выносливость, быстрота, сила) еще не развились. Это уменьшает затраты времени, усилий, средств на достижение высоких спортивных результатов. Здесь надо отметить, что генотип каждого индивидуума сохраняется неизменным на протяжении жизни, соответственно, генетический анализ можно провести один раз (при условии, что был проанализирован полный перечень полиморфизмов генов).
- Генетическое тестирование позволяет сохранить здоровье спортсмена, определяя его склонность к заболеваниям и патологиям, которые могут возникать при длительных интенсивных физических нагрузках, а также травмах.
- Использование генетической информации может служить для индивидуального подхода к построению многолетнего тренировочного процесса подготовки спортсменов.

Выводы.

1. Несмотря на современные прогрессивные технологии, используемые в спортивном отборе, экономические и демографические

трудности, недостатки критериев отбора, необходимость их дифференциации и специализации для отдельных видов спорта требует совершенствования организационных основ системы отбора с учетом особенностей этапов многолетней подготовки. Объективная оценка предрасположенности к тому или иному виду спорта, необходимая для эффективного отбора и ориентации детей и подростков для занятий спортом, должна быть основана на комплексных исследованиях, включающих определение и анализ морфологических, функциональных, биомеханических, педагогических, психологических и молекулярно-генетических критериев.

2. Существующие системы молекулярно-генетического анализа не охватывают молекулярно-генетические маркеры всех физических качеств и свойств, необходимых для определения предрасположенности к определенному виду спорта. Поскольку аэробные возможности организма имеют значительную обусловленность средовыми факторами и могут значительно изменяться под влиянием физических нагрузок, а также обусловлены огромным количеством генов, в систему молекулярно-генетической диагностики аэробных возможностей необходимо включать большее количество полиморфизмов, чем в систему оценки предрасположенности к развитию скоростно-силовых качеств, являющихся генетически лимитированными.

3. Современная молекулярная генетика мышечной деятельности насчитывает 59 генов, полиморфизмы которых ассоциированы с высоким развитием аэробных и 20 – скоростно-силовых возможностей. При анализе генетической предрасположенности к занятиям спортом следует обращать внимание на уровень экспрессии генов –



РИСУНОК 1 – Схема составляющих системы определения предрасположенности к спорту

предикторов тренируемости физических качеств. Их активность в состоянии покоя может дать информацию о возможных ответах разных систем организма на физические нагрузки.

4. Использование современных молекулярно-генетических методов в научных исследованиях и практике спорта приведет к углублению фундаментальных знаний и будет иметь большое практическое

значение, состоящее в повышении спортивных результатов, снижении финансовых издержек на подготовку спортсменов, уменьшении риска развития хронических заболеваний и патологических состояний.

Литература

- Ахметов И. И. Молекулярная генетика спорта : монография / И.И. Ахметов. — М.: Сов. спорт, 2009. — 268 с.
- Ахметов И.И. Молекулярно-генетические маркеры физических качеств человека: автореф. дис. на соискание учен. степени доктора мед. наук : спец. 03.02.07 «Генетика» / И.И. Ахметов. — М., 2010. — 45 с.
- Булгакова Н.Ж. Отбор и подготовка юных пловцов / Н.Ж. Булгакова. — М.: Физкультура и спорт, 1978. — 152 с.
- Верхошанский Ю.В. Горизонты теории и методики спортивной тренировки / Ю.В. Верхошанский // Теория и практика физ. культуры. — 2001. — № 2. — С. 47–54.
- Волков В.М. Спортивный отбор / В.М. Волков, В.П. Филин. — М.: Физкультура и спорт, 1983. — 176 с.
- Волков Л.В. Теория спортивного отбора: способности, одаренности, талант / Л.В. Волков. — К.: Вежа, 1997. — 126 с.
- Губа В.П. Основы распознавания раннего спортивного таланта / В.П. Губа. — М.: Терра-Спорт, 2003. — С. 208.
- Дикхут Г.-Г. Генетика и пределы человеческих возможностей / Г.-Г. Дикхут // Наука в олимп. спорте. — 2004. — № 2. — С. 56–64.
- Запорожанов В.А. Система отбора (селекции) — важнейший фактор формирования резерва для олимпийской подготовки / В.А. Запорожанов, А.И. Кузьмин, В.Ф. Дяченко // Современный олимпийский спорт. — К., 1994. — С. 136–138.
- Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и её практические приложения / В.Н. Платонов. — К.: Олимп. лит., 2004. — 808 с.
- Семенов Л.А. Определение спортивной пригодности детей и подростков / Л.А. Семенов. — М.: Сов. спорт, 2005. — 142 с.
- Сергиенко Л.П. Генетика и спорт / Л.П. Сергиенко. — М.: Физкультура и спорт, 1990. — 171 с.
- Сергиенко Л.П. Основы спортивной генетики: учеб. пособие для вузов / Л.П. Сергиенко. — К.: Вища шк., 2004. — С. 632.
- Сологуб Е. Б. Спортивная генетика: учеб. пособие / Е. Б. Сологуб, В. А. Таймазов. — М.: Терра — Спорт, 2000. — 127 с.
- Степанов В.А. Геномы, популяции, болезни: этническая геномика и персонализированная медицина / В.А. Степанов // Acta Naturae. — 2010. — Т. 2, N 4 (7). — С. 18–34.
- Шинкарук О.А. Отбор спортсменов и ориентация их подготовки в процессе многолетнего совершенствования (на материале олимпийских видов спорта): дис. ... доктора наук по физ. воспитанию и спорту / О.А. Шинкарук. — К., 2011. — 523 с.
- Ahmetov I.I. Sport genomics: current state of knowledge and future directions / I.I. Ahmetov // Cellular and Molecular Exercise Physiology. — 2012. — N 1. — P.1–24.
- Ahmetov I.I. The combined impact of metabolic gene polymorphisms on elite endurance athlete status and related phenotypes / I.I. Ahmetov, A.G. Williams, D.V. Popov et al. // Human Genetics. — 2009. — Vol. 126(6). — P. 751–761.
- Berman Y. A gene for speed: the emerging role of alpha-actinin-3 in muscle metabolism / Y.Berman, K.N. North // Physiology. — 2010. — Vol. 25, N.4. — P. 250–259.
- Bouchard C. Genomic Predictors of Maximal oxygen Uptake response to standardized exercise training programs / C. Bouchard, M.A. Sarzynski, T.K. Rice et al. // J.Appl. Physiol, 2010.
- Bray M.S. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2006–2007 update / M. S. Bray, J. M. Hamberg, L. Perrusse et al. // Medicine & Science in Sports & Exercise. — 2009. — Vol. 41, N 1. — P.35–73.
- De Moor M.H. Genome-wide linkage scan for athlete status in 700 British female DZ twin pairs / M.H.De Moor, T.D.Spector, L.F. Cherkas et al. // Twin Res Hum Genet. — 2007. — Vol. 10. — P.812–820.
- Enriquez J. Genetic enhanced Olympic are coming / J. Enriquez, S. Gullans // Nature. — 2012. — Vol. 487. — P. 297.
- Eynon N. Genes and elite athletes: A roadmap for future research / N. Eynon, J.R. Ruiz, J. Oliveira et al. // J. Physiol., 2011. — Vol. 589 (13). — P. 3063–3070.
- Halsen Sh. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research / Sh. Halsen, A. Jeukendrup // Sport medicine. — 2004. — Vol. 34, 14. — P. 967–987.

References

- Akhmetov I.I. Molecular genetics of sport : monograph / I.I. Akhmetov. — Moscow: Soviet sport, 2009. — 268 p.
- Akhmetov I.I. Molecular genetic markers of human physical abilities: Autoref. of dis. ... Dr. of Sci. in biology: specialty 03.02.07 «Genetics» / I.I. Akhmetov. — Moscow, 2010. — 45 p.
- Bulgakova N.Zh. Selection and training of young swimmers / N.Zh. Bulgakova. — Moscow: Fizkultura i sport, 1978. — 152 p.
- Verkhoshanskii Yu.V. Horizons of theory and methodology of sports training / Yu.V. Verkhoshanskii // Theory and practice of physical culture. — 2001. — N 2. — P. 47–54.
- Volkov V.M. Athletes selection / V.M. Volkov, V.P. Filin. — Moscow: Fizkultura i sport, 1983. — 176 p.
- Volkov L.V. Theory of athletes selection: ability, aptitude, talent / L.V. Volkov. — Kiev: Vezha, 1997. — 126 p.
- Guba V.P. Principles of early recognition of sports talent. / V.P. Guba. — Moscow: Terra-Sport, 2003. — 208 p.
- Dikhut G.-G. Genetics and limits of human capabilities / G.-G. Dikhut // Science in Olympic sport. — 2004. — N 2. — P. 56–64.
- Zaporozhanov V.A. System of athletes — the most important factor in formation of a reserve for Olympic training / V.A. Zaporozhanov, A.I. Kuzmin, V.F. Diachenko // Modern Olympic sport. — Kiev, 1994. — P. 136–138.
- Platonov V.N. System for training athletes in Olympic sports. General theory and its practical applications / V.N. Platonov. — Kiev: Olympic literature, 2004. — 808 p.
- Semenov L.A. Evaluation of sports fitness in children and adolescents / L.A. Semenov. — Moscow: Sovetskii sport, 2005. — 142 p.
- Sergienko L.P. Genetics and sport / L.P. Sergienko. — Moscow: Fizkultura i sport, 1990. — 171 p.
- Sergienko L.P. Fundamentals of sports genetics: study guide for high educat. establ. / L.P. Sergienko. — K. Vishcha shkola, 2004. — P. 632.
- Sologub E.B. Sports genetics: study guide / E.B. Sologub, V.A. Taimazov. — Moscow: Terra-Sport, 2000. — 127 p.
- Stepanov V.A. Genomes, populations, diseases: ethnic genomics and personalized medicine / V.A. Stepanov // Acta Naturae. — 2010. — Vol. 2, N 4 (7). — P. 18–34.
- Shynkaruk O.A. Selection of athletes and focus of their training in the process of long-term improvement (based on the data from Olympic sports): dis. ... Dr. of Sci. in phys. education and sport / O.A. Shynkaruk. — Kiev, 2011. — 523 p.
- Ahmetov I.I. Sport genomics: current state of knowledge and future directions / I.I. Ahmetov // Cellular and Molecular Exercise Physiology. — 2012. — N 1. — P.1–24.
- Ahmetov I.I. The combined impact of metabolic gene polymorphisms on elite endurance athlete status and related phenotypes / I.I. Ahmetov, A.G. Williams, D.V. Popov et al. // Human Genetics. — 2009. — Vol. 126, N 6. — P. 751–761.
- Berman Y. A gene for speed: the emerging role of alpha-actinin-3 in muscle metabolism / Y.Berman, K.N. North // Physiology. — 2010. — Vol. 25, N 4. — P. 250–259.
- Bouchard C. Genomic predictors of maximal oxygen uptake response to standardized exercise training programs / C. Bouchard, M.A. Sarzynski, T.K. Rice et al. // J. Appl. Physiol. 2011. — Vol. 110, N 5. — P. 1160–1170.
- Bray M.S. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2006–2007 update / M. S. Bray, J. M. Hamberg, L. Perrusse et al. // Medicine & Science in Sports & Exercise. — 2009. — Vol. 41, N 1. — P. 35–73.
- De Moor M.H. Genome-wide linkage scan for athlete status in 700 British female DZ twin pairs / M.H.De Moor, T.D.Spector, L.F. Cherkas et al. // Twin Res Hum Genet. — 2007. — Vol. 10. — P. 812–820.
- Enriquez J. Genetic enhanced Olympic are coming / J. Enriquez, S. Gullans // Nature. — 2012. — Vol. 487. — P. 297.
- Eynon N. Genes and elite athletes: A roadmap for future research / N. Eynon, J.R. Ruiz, J. Oliveira et al. // J. Physiol. — 2011. — Vol. 589, N 13. — P. 3063–3070.
- Halsen Sh. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research / Sh. Halsen, A. Jeukendrup // Sport medicine. — 2004. — Vol. 34, N 14. — P. 967–987.

26. Kovar R. The conception, structure and frequency of the sports talent in a population / R. Kovar // Sport Kinetics. Theories of Human Motor Performance and their Reflections in Practice. — Germany, Magdeburg, 1997. — P. 96, 97.
27. Ostrander E. A. Genetics of Athletic Performance / E. A. Ostrander, H. J. Huson, G. K. Ostrander // Annu. Rev. Genomics Hum. Genet. — 2009. — N. 10. — P. 407–429.
28. Pérusse L. Advances in Exercise, Fitness, and Performance Genomics in 2012 / L. Pérusse, T. Rankinen, J. M. Hagberg et al. // Medicine & Science in Sports & Exercise — 2013. — Vol. 45, N. 5. — P. 824–831.
29. Puthuchery Z. Genetic Influences in Sport and Physical Performance / Z. Puthuchery, J.R.A. Skipworth, J. Rawal et al. // Sports medicine. — 2011. — Vol. 41, N. 10. — P. 845–859.
30. Rankinen T. The Human Gene Map for Performance and Health-Related Fitness Phenotypes: The 2005 Update / T. Rankinen, M. Bray, J.M. Hagberg // Medicine & Science in Sports & Exercise. — 2006. — 38(11). — P. 1863–1888.
31. Rankinen T. Advances in Exercise, Fitness, and Performance Genomics / T. Rankinen, S.M. Roth, M.S. Bray et al. // Medicine and Science in Sports and Exercise. 2010. — Vol. 42, N.5. — P. 835–846.
32. Rice T.K. Fine mapping of a QTL on chromosome 13 for submaximal exercise capacity training response: the HERITAGE Family Study / T.K. Rice, M.A. Sarzynski, Y.J. Sung et al. // Eur. J. Appl. Physiol. — 2012. — 112 (8). — P. 2969–2978.
33. Ruiz J.R. Can we identify a power-oriented polygenic profile? / J. R. Ruiz, D. Arteta, A. Buxens et al. // J. Appl Physiol. — 2010. — Vol. 108, N. 3. — P. 561–566.
34. Timmons J.A. Using molecular classification to predict gains in maximal aerobic capacity following endurance exercise training in humans / J.A. Timmons, S. Knudsen, T. Rankinen [et al.] // J. Appl. Physiol. — 2010. — Vol. 108. — P. 1487–1496.
35. Urhausen A. Diagnosis of overtraining: What tools do we have? / A. Urhausen, W. Kindermann // Sports Med. — 2002. — 32. — P. 95–102.
36. Williams A. Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance / A. Williams, J. Folland // J. Physiol. — 2008. — Vol. 586(1). — P. 113–121.
37. <http://www.ukrstat.gov.ua/>
38. <http://www.un.org/ru/development/surveys/population.shtml>
39. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/snp>
26. Kovar R. The conception, structure and frequency of the sports talent in a population / R. Kovar // Sport Kinetics. Theories of human motor performance and their reflections in practice. — Germany, Magdeburg, 1997. — P. 96, 97.
27. Ostrander E. A. Genetics of Athletic Performance / E. A. Ostrander, H. J. Huson, G. K. Ostrander // Annu. Rev. Genomics Hum. Genet. — 2009. — N. 10. — P. 407–429.
28. Pérusse L. Advances in exercise, fitness, and performance genomics in 2012 / L. Pérusse, T. Rankinen, J. M. Hagberg et al. // Medicine & Science in Sports & Exercise. — 2013. — Vol. 45, N. 5. — P. 824–831.
29. Puthuchery Z. Genetic influences in sport and physical performance / Z. Puthuchery, J.R.A. Skipworth, J. Rawal et al. // Sports medicine. — 2011. — Vol. 41, N. 10. — P. 845–859.
30. Rankinen T. The Human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: The 2005 update / T. Rankinen, M. Bray, J.M. Hagberg // Medicine & Science in Sports & Exercise. — 2006. — Vol. 38, N. 11. — P. 1863–1888.
31. Rankinen T. Advances in exercise, fitness, and performance genomics / T. Rankinen, S.M. Roth, M.S. Bray et al. // Medicine and Science in Sports and Exercise. — 2010. — Vol. 42, N. 5. — P. 835–846.
32. Rice T.K. Fine mapping of a QTL on chromosome 13 for submaximal exercise capacity training response: the HERITAGE family study / T.K. Rice, M.A. Sarzynski, Y.J. Sung et al. // Eur. J. Appl. Physiol. — 2012. — 112 (8). — P. 2969–2978.
33. Ruiz J.R. Can we identify a power-oriented polygenic profile? / J. R. Ruiz, D. Arteta, A. Buxens et al. // J. Appl Physiol. — 2010. — Vol. 108, N. 3. — P. 561–566.
34. Timmons J.A. Using molecular classification to predict gains in maximal aerobic capacity following endurance exercise training in humans / J.A. Timmons, S. Knudsen, T. Rankinen [et al.] // J. Appl. Physiol. — 2010. — Vol. 108. — P. 1487–1496.
35. Urhausen A. Diagnosis of overtraining: What tools do we have? / A. Urhausen, W. Kindermann // Sports Med. — 2002. — 32. — P. 95–102.
36. Williams A. Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance / A. Williams, J. Folland // J. Physiol. — 2008. — Vol. 586, N. 1. — P. 113–121.
37. <http://www.ukrstat.gov.ua/>
38. <http://www.un.org/ru/development/surveys/population.shtml>
39. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/snp>

¹ Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, Казань, Россия
genoterra@mail.ru

Поступила 15.05.2013

² Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Киев, Украина
ilyin_nufvsu@mail.ru
sdrozdovska@gmail.ru