

Министерство спорта и туризма Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ФИЗИЧЕСКОЙ  
КУЛЬТУРЫ»  
(БГУФК)

УДК 796.01:572



ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
Антрапометрические аспекты раннего спортивного отбора  
по теме:  
ОТРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ  
(ГЕНЕАЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД) И РАЗРАБОТКА ПАНЕЛЕЙ  
МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ  
РАННЕЙ СПОРТИВНОЙ УСПЕШНОСТИ В ЦИКЛИЧЕСКИХ И  
АЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДАХ СПОРТА  
(промежуточный, этап 3)  
Тема 2.2.1

Заведующий кафедрой анатомии,  
кандидат биологических наук, доцент

Е.Б. Комар

Руководитель НИР,  
профессор кафедры анатомии,  
доктор биологических наук, профессор

С.Б. Мельнов

Минск 2023

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,  
проф. каф. анатомии,  
д-р биол. наук, проф.

  
12.12.2023

С.Б.Мельнов

(введение, разделы 1.4, 1.5, 5,  
заключение)

Исполнители:

Зав. каф. анатомии,  
канд. биол. наук, доцент

  
12.12.2023

Е.Б.Комар

(введение, раздел 1)

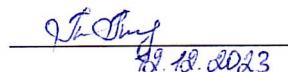
Доцент каф. анатомии,  
канд. биол. наук, доцент

  
12.12.2023

Н.В.Банецкая

(разделы 1.1–1.3)

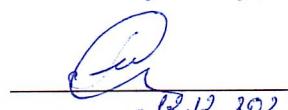
Старший преподаватель

  
12.12.2023

П.Г.Пигуль

(раздел 4)

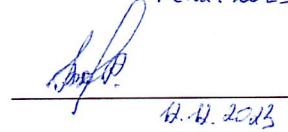
Старший преподаватель

  
12.12.2023

И.М.Суворова

(раздел 4)

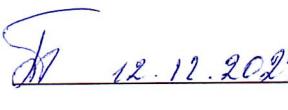
Старший преподаватель

  
12.12.2023

Н.Р.Тарасевич

(раздел 2)

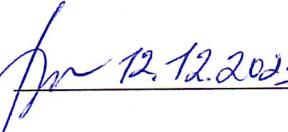
Преподаватель

  
12.12.2023

О.И.Болотко

(раздел 3)

Аспирант

  
12.12.2023

В.А.Курносова

(раздел 3)

Нормоконтроль

  
12.12.2023

К.С.Дарануца

## РЕФЕРАТ

Отчет 54 с., 1 кн., 7 рис., 6 табл., 17 источн.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, СПОРТИВНАЯ УСПЕШНОСТЬ, АНТРОПОГЕНЕТИКА, ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ, МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, ГЕНЕАЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД, СПОРТИВНЫЙ ОТБОР

Объект исследования: генетические подходы и разработка панелей молекулярно-генетических маркеров.

Цель работы: выявление ранней спортивной успешности в циклических и ациклических видах спорта.

Метод или методология проведения работы: аналитический анализ литературы, анкетирование, антропометрия, генеалогический анализ, психофизиологические тесты, методы математического анализа.

Результаты работы и их новизна: определена эффективная статистическая модель прогнозирования перспективности спортсмена, а также выявлен комплекс ведущих молекулярных маркеров, способных прогнозировать необходимые антропометрические характеристики успешного спортсмена, занимающегося циклическими видами спорта.

Степень внедрения: 3 акта о внедрении результатов НИР (2 – в учебно-тренировочный процесс, 1 – в образовательный процесс).

Область применения: спортивный отбор и долгосрочный прогноз спортивной успешности.

Полученный педагогический (психолого-педагогический, социально-психологический) эффект: повышение эффективности спортивной ориентации и выявление наиболее перспективных спортсменов.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования: отработка оптимальных генетических подходов будет способствовать биохимическому и медицинскому мониторингу спортсменов на этапах подготовки, а также позволит структурировать тренировочный процесс у профессиональных спортсменов.

## СОДЕРЖАНИЕ

Термины и определения.....	5
Перечень сокращений и обозначений.....	7
Введение.....	8
1 Роль генетических и молекулярно-генетических маркеров в спортивной успешности.....	10
1.1 Влияние наследственности на морфофункциональные признаки организма.....	11
1.2 Характеристика генетических и молекулярно-генетических маркеров.....	14
1.3 Возможности генетических методов для прогнозирования спортивной успешности.....	15
1.4 Генеалогический анализ в спорте.....	18
1.5 Проблемные аспекты спортивной антропогенетики.....	21
2 Генетический прогноз спортивной успешности в циклических видах спорта (на примере академической гребли).....	24
3 Психофизиологический аспект в спортивном отборе (на примере игровых видов спорта).....	28
4 Особенности распределения антропометрических показателей во взаимосвязи с игровым амплуа (на примере футбола).....	35
5 Статистическая модель прогнозирования перспективности спортсмена.....	43
Заключение.....	50
Список использованных источников.....	52

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины и определения:

- Аллели – различные формы одного и того же гена, расположенные в одинаковых участках (локусах) гомологичных хромосом, определяют направление развития конкретного признака
- Генетический анализ – совокупность методов, направленных на определение наследственной обусловленности признаков, лежащих в основе разнообразия живых организмов
- Генетический маркер – ген, детерминирующий отчетливо выраженный фенотипический признак, используемый для генетического картирования и индивидуальной идентификации организмов или клеток
- Генотип – совокупность генов данного организма
- Дендограмма – диаграмма, показывающая иерархическую связь между объектами
- Конституция – совокупность относительно устойчивых морфологических и функциональных признаков организма человека, обусловленных наследственностью и условиями жизни
- Морфотип – внутривидовая систематическая категория, обозначает штаммы одного вида, отличающиеся своей морфологией
- Полиморфизм – структурное различие альтернативных вариантов гена (обычно нормального или мутантного)
- Соматотип – определяемый на основании антропометрических измерений (соматотипирования), генотипически

обусловленный, конституционный тип, характеризующийся уровнем и особенностью обмена веществ, склонностью к определенным заболеваниям, а также психофизиологическими отличиями

Фенотип – совокупность внешних и внутренних признаков организма, приобретенных в результате онтогенеза (индивидуального развития)

## **ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ**

В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота

ИП – индекс Пинье

КД – кистевая динамометрия

КЖС – кожно-жировая складка

КМС – кандидат в мастера спорта

КСТ – компонентный состав тела

МС – мастер спорта

МСМК – мастер спорта международного класса

Н – коэффициент наследуемости, %

ОГБ – общий генетический балл

ПДДЧ – поперечный диаметр дистальной части

ТТД – технико-тактические действия

CVC – Cross Validation Consistency

MDR-анализ – Multifactor Dimensionality reduction

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с проблемой спортивного отбора и спортивной ориентации показатели телосложения и их генетическая предeterminация справедливо приобретают все большее признание специалистов. Морфогенетические особенности спортсменов исследуются практически во всех странах мира, активно развивающих спорт: определяются нормативные показатели спортсменов разного возраста, квалификации, специализации и пола, пользуясь которыми оценивают пригодность «соискателей» и их перспективность для той или иной групп видов спорта. Полученные в ходе таких исследований генетические данные являются не только инструментом отбора юных спортсменов, а также основой стратегии биохимического и медицинского мониторинга на этапах подготовки, структурирования тренировочного процесса у профессионалов, в том числе, с учетом наличия у атлета аллелей, не способствующих развитию желаемых спортивных качеств. Однако, несмотря на то, что актуальность изучения этих вопросов очевидна, прогресс и темпы их разработки недостаточны.

Безусловно, раннее распознавание потенциально талантливых спортсменов открывает новые перспективы в управлении их дальнейшей долгосрочной эффективной подготовкой.

Проблема спортивного отбора и ориентации до сих пор является одной из центральных в теории и методике спортивной тренировки и связана с широким спектром вопросов, которые могут быть решены посредством спортивной антропологии.

Одной из целей длительной и эффективной подготовки юных спортсменов является сохранение и поддержание наиболее благоприятной динамики развития физических качеств и функциональных возможностей организма. Этого невозможно достигнуть без рациональной организации спортивной подготовки в различных возрастных группах [1, 2].

Для того чтобы происходило совершенствование морфофункциональных показателей и физических качеств спортсменов, необходимо знать закономерности и индивидуальные особенности возрастного развития организма, а также следует обеспечить качественное построение тренировочного процесса. В первую очередь речь идет о возрастной адекватности нагрузок и выборе оптимальной и эффективной направленности тренировки на отдельных этапах многолетней подготовки спортсменов [3, 4].

Рядом авторов показана антропометрическая неоднородность спортсменов, которая обусловлена как спецификой тренировочной деятельности, так и особенностями спортивного отбора [4, 5, 6].

В любом виде спорта выстраивается определенная морфофункциональная модель тела спортсмена, соответствие которой является базовым преимуществом для успешности. А определение наиболее значимых антропометрических показателей, которые могут служить морфологическими критериями в определении функционального состояния спортсменов, а также в построении моделей при решении задач спортивного отбора и ориентации является важным и значимыми вопросом в спортивной антропологии и требует всестороннего изучения.

В тоже время, знание индивидуального генотипа и особенностей взаимодействия генов позволяет выстраивать тренировочный процесс, формируя нагрузку таким образом, чтобы гены, способствующие развитию важных для вида спорта качеств, проявились фенотипически наиболее ярко.

## **1 Роль генетических и молекулярно-генетических маркеров в спортивной успешности**

В настоящее время выявлено около 240 генов-маркеров, влияющих на формирование спортивных задатков, а так называемые генетические паспорта определяют в лучшем случае 2-3 десятка генов (обычно – 8-12). Это количество маркеров, конечно, не охватывает весь необходимый диапазон генов-маркеров, что в целом ставит под сомнение эффективность такой паспортизации спортсменов. В связи с этим возникает необходимость расширения аппаратных возможностей исследований, когда одновременно можно проанализировать большое количество генов. Так, например, с помощью секвенатора Ion Torrent Personal Genome Machine (PGM™) можно напрямую переводить биологическую информацию в цифровой вид. Использование только одного такого прибора могло бы полностью решить проблему генетической паспортизации для всей Республики. При этом количество генов для каждого вида спорта могло бы составлять от 100 до 150 маркеров, а цена бы за счет массового скрининга существенно бы снизилась.

Кроме того, существует необходимость перехода от простой суммации генетических баллов к методам, позволяющим учесть взаимодействие генов. И такие методы существуют, например, MDR-анализ (Multifactor Dimensionality reduction) [7]. Использование этого метода уже на практике доказало, что одна и та же аллель конкретного гена в зависимости от окружения может проявлять себя по-разному, что еще раз подчеркивает несовершенство метода подсчета общего генетического балла. MDR-метод, дает возможность оценить как межгенные, так и генно-средовые взаимодействия, ассоциированные с формированием фенотипа. Метод снижения размерности MDR позволяет уменьшить размерность числа рассчитываемых параметров при одновременной оценке взаимодействий большого количества полиморфизмов за счет конструирования новых

переменных на основе суммирования сочетаний генотипов повышенного и пониженного риска формирования патологического состояния.

Еще одним методом, используемым для оценки межгенных взаимодействий, является метод Монте-Карло Марковскими цепями (Markov Chain Monte Carlo, MCMC), реализованный в программном обеспечении APSampler. В рамках этого подхода осуществляется поиск генетических особенностей, ассоциированных с фенотипическим признаком.

Использование подходов подобного типа реально позволяют делать настоящий прогноз спортивной успешности и выявлять спортивный талант на ранних этапах тренировочного процесса.

## **1.1 Влияние наследственности на морфофункциональные признаки организма**

Общеизвестно, что все люди различаются по своим природным способностям. Один из аспектов природных способностей отражает так называемую внутреннюю способность или способность добиваться высоких результатов при минимальной тренировке. Вторая грань природных способностей – это то, насколько быстро человек адаптируется к тренировкам – это называется тренируемостью. Третья грань – это верхний предел, достижимый после многих лет длительных интенсивных тренировок. Он отражает как врожденные способности, так и обучаемость спортсмена. Есть и другие характеристики природных способностей, которые также необходимо учитывать, например, размер тела, поскольку некоторые виды спорта, соревнования или позиции благоприятствуют участникам разных размеров. В этом контексте некоторые физиологические детерминанты и их динамика в ходе тренировочного процесса также являются краеугольным камнем спортивной антропологии.

Наследственные влияния на физические качества не однотипны. Они имеют различную степень генетической обусловленности и проявляются на

различных этапах онтогенеза (таблица 1) и количественно оцениваются с помощью коэффициента наследуемости. Чем он выше, тем больше вклад генетических факторов.

Таблица 1 – Показатели влияния наследственности на некоторые морфофункциональные признаки организма человека

<b>Морфофункциональный признак</b>	<b>Коэффициент наследуемости, %</b>
Состав мышечных волокон	90
Максимальное потребление кислорода	80
Динамометрические показатели силы руки	60
Масса тела	65
Общая выносливость	65
Взрывная сила	68
Кожно-жировая складка	88
Длина тела	80
Гибкость	75

В наибольшей степени генетическому контролю подвержены быстрые движения, требующие, в первую очередь, особых скоростных свойств нервной системы – высокой лабильности (скорости протекания возбуждения) и подвижности нервных процессов (смены возбуждения на торможение и наоборот), а также развития баланса, анаэробных возможностей организма и наличия быстрых волокон в скелетных мышцах.

Так, для различных элементарных проявлений качества быстроты – времени простых и сложных двигательных реакций, максимального темпа движений, скорости одиночных двигательных актов (ударов, прыжков, метаний) – получены высокие показатели наследуемости. С помощью близнецового и генеалогического методов подтверждена высокая зависимость от врожденных свойств ( $H=0,70-0,90$ ) показателей скоростного бега на короткие дистанции, теппинг-теста, кратковременного педалирования

на велоэргометре в максимальном темпе, прыжков в длину с места и других скоростных и скоростно-силовых упражнений. Высокая генетическая обусловленность получена также для качества гибкости.

В меньшей степени генетические влияния выражены для показателей абсолютной мышечной силы. Так, например, коэффициенты наследуемости для динамометрических показателей силы правой руки  $H \approx 0,61$ , левой руки  $H \approx 0,59$ , становой силы  $H \approx 0,64$ , в то время как для показателей времени простой двигательной реакции  $H \approx 0,84$ , сложной двигательной реакции –  $H \approx 0,80$ .

В наименьшей степени наследуемость обнаруживается для показателей выносливости к длительной циклической работе и качеству ловкости (координационных возможностей и способности формировать новые двигательные акты в необычных условиях).

Другими словами, наиболее тренируемыми физическими качествами являются ловкость и общая выносливость, а наименее тренируемыми – быстрота и гибкость. Среднее положение занимает качество силы. Это подтверждается данными Н. В. Зимкина (1970) и др. о степени прироста различных физических качеств в процессе многолетней спортивной тренировки: показатели качества быстроты (в спринтерском беге, плавании) увеличиваются в 1,5–2 раза, качества силы при работе локальных мышечных групп – в 3,5–3,7 раза, при глобальной работе – на 75–150 %, качества выносливости – в десятки раз.

Использование генов-маркеров однозначно определяющих склонность потенциального соискателя к определенному виду спорта может сразу маркировать потенциал будущего спортсмена в самом начале его карьеры.

## **1.2 Характеристика генетических и молекулярно-генетических маркеров**

Совокупность всех наследственных задатков называется генотипом, а совокупность всех признаков организма – фенотипом. Фенотип зависит от возможности врожденных задатков проявиться в определенных условиях среды обитания. Следовательно, основные черты организма определяются как унаследованными свойствами, так и влиянием различных факторов внешней среды (питание, климато-географические и экологические условия, социальная среда, особенности воспитания и пр.), а правильная интерпретация полученных данных позволяет выделить маркеры спортивной успешности – основы прогноза спортивной успешности.

Маркером называют легко определяемый, устойчивый признак организма, по которому можно судить о вероятности проявления другой, трудно определяемой характеристики организма. Генетические маркеры позволяют распознавать наследственные задатки человека, его врожденные возможности. В молекулярной генетике спорта под термином «генетический маркер» понимается определенный аллель гена, который ассоциирован с развитием и проявлением какого-либо физического качества, антропометрических и композиционных показателей.

Морфологический статус человека во многом предопределенается его функциональными возможностями, которые, в конечном счете, определяются генетической предрасположенностью к различным видам деятельности. Эта общая концепция наиболее детально выражается именно в спортивной деятельности, осуществляющейся, как правило, в экстремальных условиях, связанных с проявлением максимально продуктивного взаимодействия органов и систем сверх порогового уровня.

Поэтому лица с определенными генетическими характеристиками оказываются более, чем другие, приспособленными к высоким достижениям в конкретных видах спорта.

Генетический анализ на ранних этапах тренировочного процесса (геном человека изначально наследуется от родителей и не меняется на протяжении жизни) уже сегодня в состоянии дать тренеру определенные базовые ориентиры. Так, например, достаточно давно на большом практическом материале мы смогли дать ориентировочные маркеры для успешности в циклических (виды гребли) и сложнокоординационных (единоборства) видах спорта. Результаты этого сравнительного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Критические гены-маркеры для альтернативных видов спорта

Анализируемые виды спорта	
Циклические (гребля)	Сложнокоординационные
NFAM (митохондриальный транскрипционный фактор)	COMT, 5HTT, 5HT2A(высшая нервная деятельность)
PPARA	PPARGC1A (углеводный и липидный обмен)
BDKRB2 (кининовая система)	ACE, AT2R1 (PAAC)
HIF2A (фактор, индуцируемый гипоксией 2-го типа)	NFATC4(углеводный и липидный обмен, метаболизм в мышцах)
CYP1A1 (система цитохромов)	NFATC4

Суммируя наши результаты при первичном отборе в секции по циклическим видам спорта, можно рекомендовать анализ следующих полиморфных маркеров: I/D гена ACE, Thr174Met гена AGT, G2528C гена PPARA, Gly482Ser гена PPARGC1A, +294T/C гена PPARD, C102T гена 5HT2A, L/S гена 5HTT.

### **1.3 Возможности генетических методов для прогнозирования спортивной успешности**

Учитывая то, что фенотипические проявления ряда оцениваемых в спорте генов, формируются только в конце пубертатного периода,

генетический анализ является серьезным информационной основой при переходе юниора в профессиональный спорт [8].

На основании анализа генотипов современная наука предлагает тренеру методы, направленные как на изменение детерминации мышечных волокон, так и качественные характеристики их энергообеспечения, включая митохондриальный биосинтез [9].

Оценка генетических особенностей функционирования актин-миозинового комплекса дает дополнительную информацию при выделении пул атлетов с универсальным типом мышечного реагирования, что увеличивает способность выступать в разных видах спортивного многоборья.

Информации о генетических особенностях реакции мышечных капилляров в ответ на нагрузку разного объема и мощности позволяет индивидуализировать объем и мощность аэробной нагрузки. Важным в планировании соревновательной нагрузки в годичном цикле подготовки является прогноз скорости развития капиллярной сети во вновь образованных мышечных структурах.

Выбор места учебно-тренировочного сбора будет более объективен, если минимизировать факторы внешней агрессии окружающей среды на спортсмена путем анализа генов, отвечающих за детоксикацию ксенобиотиков, а также определив варианты ответа системы эритропоэза на гипоксию.

Современная спортивная медицина все шире использует генетику в качестве дополнительного инструмента выявления рисков развития пограничных состояний и факторов, лимитирующих спортивную деятельность. Анализ генетических факторов, влияющих на выработку ангиотензин конвертирующего фермента и синтез оксида азота, является основой программы профилактики спорт-ассоциированной гипертрофии миокарда.

Междисциплинарный подход в изучении причин развития нагрузочного остеопороза у юниоров подтвердил значимость исследований в

генетически обусловленной активности эндопептидаз, чувствительности рецепторного аппарата к витамину  $D$ , способности к синтезу коллагена.

Своевременно полученная от генетиков информация о наследственной инсулинерезистентности является показанием к ее коррекции путем увеличения доли аэробной подготовки в силовых видах спорта.

Учет генетических особенностей функционирования центральной нервной системы, даже в отсутствие в спортивной организации штатного психолога, снабдит тренера информацией о приоритетах в педагогическом подходе к каждому ребенку. Сведения о стрессоустойчивости, задатках развития спортивной агрессии, склонностью к развитию тактических, либо технических навыков, творческих способностях юного спортсмена могут явиться действенной основой индивидуальной педагогической программы.

Организация нутрициологического обеспечения в современной спортивной медицине является залогом развития спортивной успешности при переходе юниора в профессиональный спорт. Разработчики индивидуальных программ спортивного питания национальных команд все чаще делают упор на предоставленные генетическими лабораториями данные о способности спортсмена к усваиванию протеинов, оксидации глюкозы и жирных кислот, а также его потенциалу к восстановлению мышечного гликогена и синтезу мышечного протеина. Раскрывая особенности даже относительно небольшого количества полиморфизмов, спортивные медики используют полученные данные для привязки программы функционального и биохимического мониторинга обменных процессов к фазам тренировочного цикла. Это дает возможность таргетного воздействия на обменные процессы атлета с помощью применения продуктов спортивного питания и биологически активных добавок. Существует обширная доказательная база, что разработка нутриентной поддержки на основании оценки генотипа оптимизирует программы коррекции компонентного состава спортсменов, исключив у них потребность

в бесконтрольном приеме фармакологических средств и избыточного потребления продуктов спортивного питания.

## **1.4 Генеалогический анализ в спорте**

Генеалогический анализ является более простым и менее трудоемким интегральным показателем, суммирующим как наследственную, так и средовую компоненту, что позволяет использовать его на ранних этапах тренировочного процесса (экономическая составляющая) для прогнозирования спортивной успешности на перспективу [3].

Генеалогический метод, или метод сбора и анализа родословной, является основным в практике медико-генетического консультирования. Применяется с конца XIX века, разработан и внедрен в практику знаменитым английским исследователем Френсисом Гальтоном. Основан на прослеживании нормального или патологического признака, включая спортивный талант, в ряду поколений, связанных между собой родственными связями.

Осуществляют в два этапа:

- 1) составление родословной;
- 2) анализ родословной.

Составление родословной начинают с probанда, т.е. человека, относительно которого проводится исследование. В генетическую карту записываются сведения о сибсах (братьях и сестрах) probанда, его родителях, о сибсах родителей и их детях и т.д.

В настоящее время сложились определенные морфологические стандарты спортсмена, такие как, рост, вес, телосложение, характерные для каждого вида спорта, в результате формируется так называемый «антропометрический портрет» успешного спортсмена, опираясь на который можно существенно повысить эффективность спортивного отбора.

Хорошо известно, что для таких видов спорта, как волейбол и баскетбол высокоскорость играет если не главную, то, по крайней мере, весьма значительную роль в спортивной успешности. Таким образом, изучая предпосылки перспективности детей, занимающихся определенными видами спорта, следует сразу определить, насколько они соответствуют тому типу, который характерен для наиболее выдающихся представителей данного вида спорта. А знание генетических и средовых факторов развития длины тела человека и методы прогнозирования длины актуальны в практике спортивного отбора [5, 7].

Развитие длины тела в период онтогенеза определяется влияниями наследственных факторов на 80–90 %. Длина тела является количественным признаком, наследование роста идет по материнской и отцовской линии и связано с множеством генов. Генетический контроль действует на протяжении всего онтогенеза. Гены, контролирующие процесс роста, определяют количество гормонов гипофиза, гипоталамуса, щитовидной железы, надпочечников, а также интенсивность обмена веществ. Часть генов обуславливают локализованные градиенты роста, устанавливающие порядок прорезывания зубов и появления центров окостенения в костях запястья.

Эмпирические данные указывают на то, что наследование длины тела – полигенный признак, что немного затрудняет изучение типа наследования и прогноз. В свою очередь ряд исследователей считают, что длина тела наследуется аутосомно-доминанто, другие – сцеплено с X-хромосомой. Принято считать, что нарастание коэффициентов внутрисемейной корреляции в порядке отец/сын – отец/дочь, мать/дочь – мать/сын или в направлении брат/сестра – брат/брать – сестра/сестра свидетельствует о наследовании, сцепленном с полом. Изменение подобной последовательности указывает на аутосомный механизм наследования признака [10].

Влияние генотипа на длину тела изменяется в процессе индивидуального развития. Так ряд авторов отмечают незначительное

влияние генотипа на этот показатель у новорожденных. Масса и длина тела новорожденного зависят не столько от генотипа, сколько от внешней среды – материнского организма.

Как правило, в дошкольном возрасте влияние наследственных факторов увеличивается. В школьные годы (до пубертатного периода) наследственный контроль в развитии длины тела в основном стабильный и значительный. В период полового созревания влияние генотипа уменьшается. Снижение генетических влияний отмечается у девочек с 10 до 12 лет, у мальчиков с 11–13 лет. В этот период влияние внешней среды (воздействие физических упражнений, терапевтических средств) может быть эффективным.

Помимо наследственных факторов, на рост ребенка будут оказывать влияние и внешние факторы. К ним относится питание, которое должно быть рациональным и соответствовать потребностям организма как по качественному составу (соотношения белков, жиров, углеводов, содержанию витаминов, минеральных солей и т.д.), так и по количественному (калорийности, объему пищи и т. д.). Неполноценное питание матери во время беременности, а в последующем и ребенка, существенно сказывается на его росте. Только за счет рационального питания рост может быть увеличен на 10 %. Заболевания желез внутренней секреции (эндокринных желез) и хронические заболевания детского возраста. При заболеваниях эндокринных желез может отмечаться как ускорение роста, так и его замедление. Хронические заболевания детского возраста (гепатит, почечная недостаточность, хронические заболевания) связывают с отставанием роста.

Соблюдение здорового образа жизни, требований гигиены, отказ от вредных привычек, занятия физической культурой и спортом (особенно для развивающегося организма) оказывают влияние на развитие костной системы. Кроме того, существенное влияние оказывают географическая среда и климат.

Для расчета окончательного роста ребенка, специалисты используют формулы, принимающие во внимание только данные о росте его отца и

матери. Здесь следует помнить, что, хотя рост родителей и является надежным элементом прогноза роста детей, – формулы прогнозирования окончательного роста, созданные и проверенные более 20 лет назад, все таки не охватывают в достаточной мере текущие явления ретардации или акселерации, которые в разных зонах мира могут протекать несинхронно.

Гены-маркеры роста еще недостаточно изучены и, в связи с этим, необходимо концентрироваться на реально измеримом фенотипе и методах его комплексной оценки, таким образом, особо важную роль приобретают математические модели прогноза роста.

## **1.5 Проблемные аспекты спортивной антропогенетики**

Существует достаточно много ограничений, снижающих эффективность отбора на основе только генетических данных.

Одно из этих ограничений очевидно. Как правило, отработка оптимального генетического профиля осуществлялась на весьма ограниченных когортах, насчитывающих от несколько сотен до тысяч человек, когда эффект малых выборок действительно реален. Для того чтобы такая когорта стала реальностью, а результаты – информативными, помимо генотипирования биообразцов, необходимо детальное изучение физиологических детерминант как в покое, так и при субмаксимальной и максимальной нагрузке, включая измерение сердечного выброса и массы эритроцитов, а также серийное измерение лактата крови и т.д. Крайне необходима в этой ситуации и биопсия мышц для оценки типа волокон, функции митохондрий и плотности капилляров. Однако, финансовые и логистические барьеры для такой исследовательской программы выглядят пока труднопреодолимыми.

Второй аспект – это идея о генетической избыточности, которая лежит в основе сложных многомасштабных физиологических реакций и адаптаций у человека [11]. Благодаря плейотропным эффектам один и тот же

физиологический результат может быть обусловлен различными генетическими механизмами. Это положение нашло свое отражение в одной из новых концепций и заключается в том, что «...существует множество потенциальных генетических путей к данному фенотипу...» [10]. Отсюда следует, что если даже нам удастся собрать необходимую когорту для исследований, отвечающую вышеуказанным требованиям, результат может оказаться довольно неожиданным. Так, судя по ранее опубликованным данным, можно предположить, что для каждой спортивно важной фенотипической особенности будет выявлено достаточно значимое количество генетических профилей с маленьким значением эффекта (для патологических состояний обычно сообщается об относительных рисках 1–5). Кроме того, любые редкие варианты ДНК, обнаруженные в небольших исследованиях типа "случай-контроль" (на поиск которых они и были ориентированы), скорее всего, проявят снижение пенетрантности и, таким образом, объяснят меньшую часть физиологических особенностей в любых крупных когортах [9]. Важно отметить, что степень причинно-следственной или "случайной" связи этих вариантов с интересующим физиологическим фенотипом будет неопределенной, как и их общий прогностический потенциал. Для устранения этих проблем в исследованиях риска некоторых патологических состояний были разработаны так называемые полигенные генетические показатели. Однако прогностическая полезность этих показателей сомнительна для некоторых полигенных фенотипов (ожирение, диабет, гипертония и т.д.), а общий генетический вклад в формирование соответствующего патологического фенотипа может оказаться гораздо менее значимым, чем вклад окружающей среды и поведения.

Необходимо также отметить, что одним из аспектов проблемы воспроизводимости результатов, является и специфика этнических когорт. Классическим примером этой проблемы могут служить исследования по генетической предрасположенности к депрессии.

С прикладной точки зрения на основании приведенных выше данных можно предположить, что выявление спортивных талантов на основе анализа ДНК, скорее всего, будет иметь ограниченную ценность, и что полевое тестирование, вероятно, останется ключевым элементом выявления талантов в ближайшее время. Хотя возможно (несмотря на многочисленные ограничения), что при детальном физиологическом фенотипировании больших когорт могут появиться и более ясные генетические ассоциации для сложных признаков, связанных со спортивными достижениями [9].

Подводя итог изложенному выше, представляется возможным констатировать, что вопрос о пределах генетической "предопределенности", являющейся частью общей задачи в исследованиях сложных полифакторных признаков человека, до сих пор в генетике человека не решен.

В настоящее время общепризнано, что особенности генетического статуса влияют на формирование спортсменов для спорта высших достижений, однако нам до сих пор неясно, какие конкретно генетические тесты могут дать однозначный результат на перспективу [4, 6, 12]. Еще одним из недостаточно изученных аспектов генетической предeterminации спортивного потенциала является взаимосвязь между генетическим и эпигенетическим статусом спортсмена и это также накладывает определенные ограничения на эффективность выявления редких аллелей и однозначную интерпретацию получаемого генетического профиля.

На сегодняшний момент использование общего генетического балла, при всей его ограниченности, представляется существенным шагом вперед. Уже такой предварительный анализ может быть использован для предскрининга начинающих спортсменов. Отсутствие эффективного генотипа по генам выносливости явно указывает на низкую перспективность индивида для циклических видов спорта, а отсутствие соответствующих аллелей генов реакции "дикого типа" позволит четко рекомендовать спортсмену уйти из единоборств (или, по крайней мере, не рассчитывать на выдающийся результат).

## **2 Генетический прогноз спортивной успешности в циклических видах спорта (на примере академической гребли)**

В серии работ нами на примере гребных видов спорта [4, 6, 12, 13, 14] продемонстрирован методический подход, позволяющий раскрыть индивидуально генетический потенциал спортсмена, соотнести его с выбранной тактикой тренировочного процесса. Данный подход ориентирован на достижение максимальных результатов спортсменом, но также на сохранение спортивного долголетия.

Еще один аспект отбора – генопрофилирование – комплексная оценка генетического статуса спортсмена, которая позволяет, как выбирать специализацию для начинающих спортсменов, так и повысить результативность подготовки высококвалифицированных спортсменов. В качестве примера ниже, на рисунках 1 и 2, суммированы результаты генотипирования спортсменов гребцов различной специализации по генам-маркерам сердечнососудистой системы и системе энергообеспечения организма.

Уже эти, весьма отрывочные данные убедительно свидетельствуют о том, что только 24,03 % спортсменов-гребцов на байдарках и каноэ, а также 22,95 % гребцов-академистов имеют достаточно высокий потенциал сердечнососудистой системы ( $ОГБ \geq 75 \%$ , рисунок 1).

Исходя же из данных рисунка 2 очевидно, что энергетический потенциал спортсменов указанных специализаций существенно отличается, что необходимо учитывать при организации тренировочного процесса, а в случае гребли на байдарках и каноэ – при выборе оптимальной дистанции.

Расширение перечня тестируемых систем позволяет объективно оценить возможности спортсмена (его генетический потенциал) и риск «большого спорта» для состояния его здоровья.

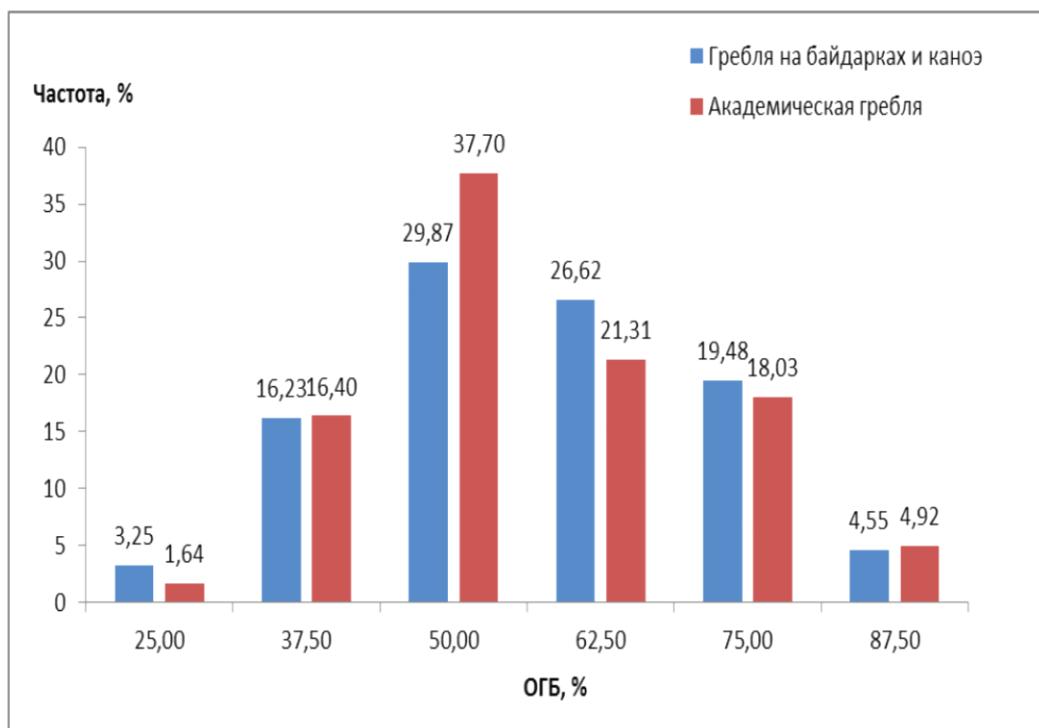


Рисунок 1 – Особенности частотного распределения общего генетического балла генов-маркеров сердечнососудистой системы спортсменов-гребцов различной специализации (здесь и далее ОГБ – общий генетический балл)

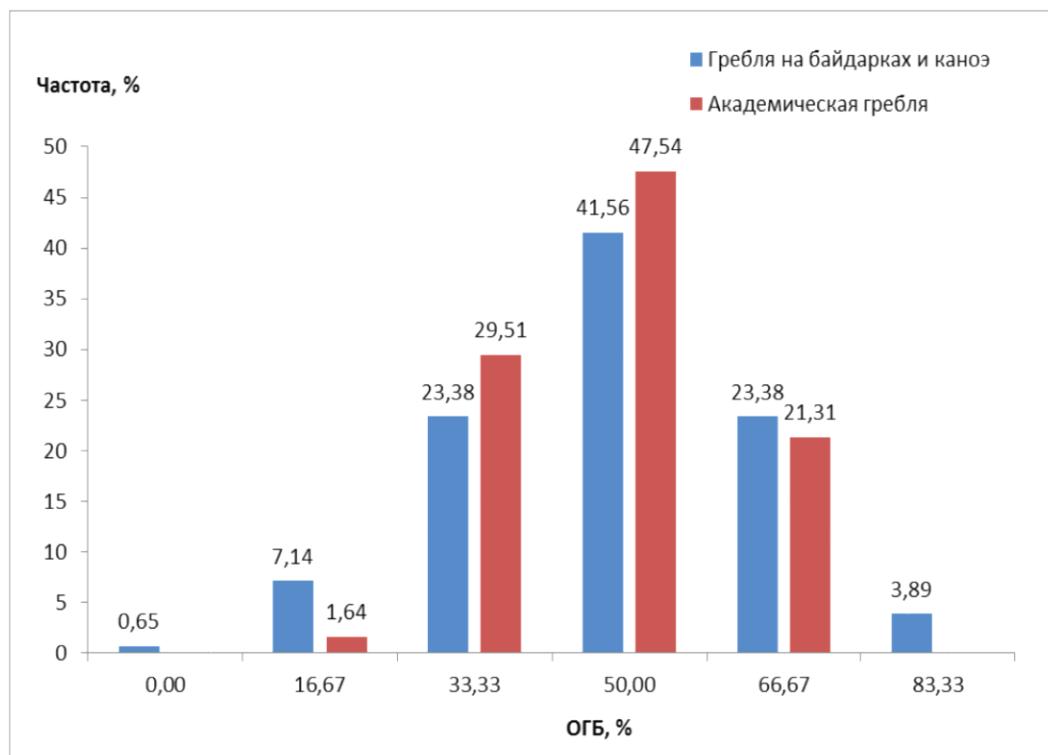


Рисунок 2 – Частотное распределение общего генетического балла генов-маркеров процесса энергообеспечения спортсменов-гребцов различной специализации

Общеизвестно, что циклический вид спортивной деятельности характеризуется доминирующим проявлением выносливости, обеспечиваемой функциональными особенностями дыхательной и сердечно-сосудистой систем, длительным энергообеспечением, а также устойчивостью организма к гипоксическим сдвигам и проявлению утомления. Учитывая вышеизложенное, важно было оценить сформированную панель генетических маркеров среди спортсменов высокой квалификации, занимающихся таким видом спортивной деятельности как академическая гребля. В результате статистической обработки установлены значительные различия в распределении некоторых генотипов и аллелей (рисунок 3). Определив различия в распределении генотипов в группах спортсменов высокой квалификации, занимающихся различными видами спорта, с определенной степенью уверенности можно осуществлять генетический прогноз успешности в группе спортсменов-юниоров [4].

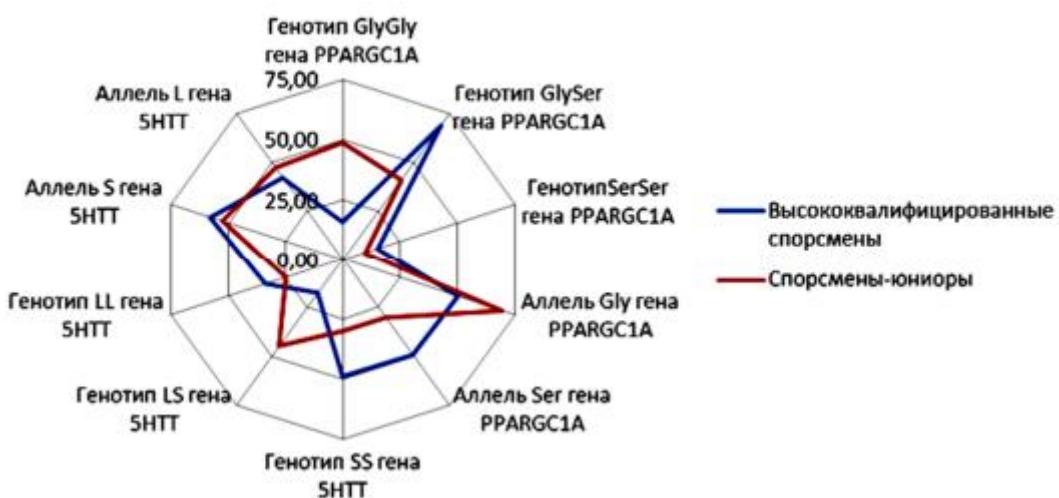


Рисунок 3 – Распределение генотипов и аллелей полиморфизма генов PPARGC1A и 5HTT у спортсменов-гребцов

Опираясь на результаты, изложенные в литературе за последние 10 лет, и наши собственные данные, можно выявить комплекс ведущих молекулярных маркеров, способных прогнозировать необходимые

антропометрические характеристики успешного спортсмена, занимающегося циклическими видами спорта (таблица 3) [6, 12].

Таблица 3 – Генетические маркеры антропометрических характеристик успешного спортсмена, занимающегося циклическими видами спорта

<b>Полиморфизм</b>	<b>Ген</b>	<b>Аллель морфологического развития</b>
I/D	ACE	D
Gly482Ser	PPARGC1A	Ser
Pro12Ala	PPARG2	Ala
C677T	MTHFR	T

### **3 Психофизиологический аспект в спортивном отборе (на примере игровых видов спорта)**

Спорт высоких достижений предъявляет высокие требования к спортсменам, что способствует развитию все более новых критериев отбора, оптимизации тренировочного процесса и разработке инновационных механизмов по повышению адаптивности. Следует отметить, что важную роль в формировании адаптивного ответа играет психофизиологический статус спортсмена, формирующий общую стратегию адаптации к спортивной деятельности.

В командных игровых видах спорта трудно добиться высоких профессиональных результатов. Присвоение высокой спортивной квалификации зависит от успеха каждого игрока индивидуально и команды в целом [15]. Вследствие этого необходим интегральный психолого-конституциональный подход в спортивном отборе [5].

Двигательная активность тесно связана с функциональным состоянием мозга. Эта врожденная функциональная связь между мышечной системой и мозговыми центрами анализаторов, деятельностью органов чувств и висцеральных органов, между мышечной и эмоциональной сферой способствует гармоничному физическому развитию. В основе спортивных игр лежат реакция нервной системы на изменяющиеся условия, оптимальное сочетание психических и физических свойств спортсмена и работа всех сенсорных и функциональных систем спортсмена-игровика [15, 16].

Типологические особенности реакций нервной системы имеет меньший коэффициент наследуемости, чем антропометрические показатели тела, но в сочетании с другими особенностями, они могут внести значительной вклад в раскрытие потенциала спортсменов.

Психофизиологические показатели спортсменов-игровиков в контексте соматотипологических характеристик представляют постоянный интерес в спортивном отборе. В этой связи актуальными являются исследования

морфометрических и психофизиологических показателей спортсменов, как критерииев эффективного спортивного отбора.

Мы изучили особенности психофизиологического статуса у юношей и девушек спортсменов игровых видов спорта (баскетбола, гандбола и волейбола) на примере изменения аттенционных характеристик во взаимосвязи с особенностями их морфотипа [13, 16].

Было проведено комплексное обследование спортсменов игровых видов и группы сравнения. Основной контингент исследования составляли 23 спортсмена (17 юношей и 6 девушек) игровых видов спорта со средним возрастом  $17,52 \pm 0,14$  лет различной спортивной квалификации (I–III разряд). Группу сравнения составляли студенты МГЭУ им. А.Д. Сахарова БГУ с традиционным двигательным режимом. Группа сравнения была подобрана в количестве 24 человек (12 юношей и 12 девушек), средний возраст которых  $18,33 \pm 0,12$  лет.

Все обследуемые перед участием в тестировании дали информированное согласие на участие в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской Ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта исследования».

Для выяснения особенностей психофизиологического статуса применялось индивидуальное тестирование на компьютерном комплексе «НС-Психотест, лицензия: 1416UX, версия 1.7.1.9, серия №1381VW».

В рамках поставленной цели нами была использована методика черно-красных таблиц «Шульте-Горбова». Эта методика позволяет вычислить объем, распределение, переключаемость внимания и общее количество ошибок, допущенных испытуемым.

Антropометрические исследования включало измерение роста при помощи лазерного антропометра «КАФА-Лазер», производство Россия с точностью до 0,001 см, измерение массы на медицинских весах «ВЭМ-150»,

производства Беларусь с точностью до 100 г. Обхват грудной клетки определен ручной сантиметровой лентой, с точностью до 0,1 см.

Расчет конституциональных характеристик групп проводился по наиболее простой и удобной в клинических условиях методике определения типа конституции организма (по М. В. Черноруцкому), в основе которой лежит расчет индекса физического развития (Индекс Пинье) [16].

Индекс Пинье определялся по формуле: ИП = L – (Р+Т), где L – длина тела (см), Р – масса тела (кг), Т – окружность грудной клетки в фазе выдоха (см).

Математическая обработка результатов проводилась при помощи пакета программ Microsoft Excel 2007. Проверка на нормальность распределения осуществлялась методом Шапиро-Уилка (для малых выборок), что обусловило использование общепринятых методов описательной статистики. Достоверность различий между показателями определяли при помощи двухвыборочного t-теста с различными дисперсиями, точного критерия Фишера и корреляционного анализа при критическом уровне значимости, равным 0,05.

В таблице 4 представлены аттенционные показатели психофизиологического статуса спортсменов-игровиков и группы сравнения.

Таблица 4 – Аттенционные характеристики спортсменов и группы сравнения по методике таблиц «Шульте-Горбова»

Параметры	Основная группа	Группа сравнения	Уровень значимости
	$\bar{X} \pm S$	$\bar{X} \pm S$	P
Средний возраст, лет	$17,52 \pm 0,14$	$18,33 \pm 0,12$	
Объем внимания, сек	$66,56 \pm 3,64$	$59,92 \pm 4,44$	$p > 0,05$
Распределение внимания, сек	$326,74 \pm 23,16$	$257,17 \pm 21,96$	$p < 0,05^*$
Переключаемость внимания, сек	$193,65 \pm 21,69$	$147,83 \pm 21,8$	$p > 0,05$
Общее количество ошибок	$34,09 \pm 6,17$	$22,04 \pm 3,89$	$p < 0,05^*$

Примечание: \* – разница между показателями достоверна при  $p \leq 0,05$

Как не парадоксально, но лица из группы сравнения показали более высокие результаты в отличие от группы спортсменов. Достоверные различия были выявлены по показателю распределения внимания  $326,74 \pm 23,16$  (группа спортсменов) против  $257,17 \pm 21,96$  (группа сравнения,  $p < 0,05$ ) и по общему количеству допущенных ошибок  $34,09 \pm 6,17$  (группа спортсменов) против  $22,04 \pm 3,89$  (группа сравнения,  $p < 0,05$ ).

В группе игровых видов спорта (баскетбол, волейбол, гандбол) присутствовало следующее процентное распределение по уровню показателя объема внимания: 16 человек (69,6 %) обследуемых имело низкие значения показателя и 7 человек (30,4 %) – средние значения, высокий отсутствовал. По распределению внимания группа спортсменов поделилась на 11 человек (47,8 %) с низким уровнем и 12 человек (52,2 %) со средним уровнем, высоких значений не встретилось. У 3-х спортсменов (13 %) имелась высокая степень переключения внимания, у 8-ми спортсменов (34,7 %) – средняя переключаемость и у 12 человек (52,3 %) диагностирована низкая переключаемость внимания.

В группе сравнения присутствовали такие соотношения по объему внимания: 13 человек (54,17 %) среднего и 10 человек (58,33 %) низкого уровня. По распределению внимания 4,17 % (1) имел высокий уровень, 58,33 % (14) – средний, 37,50 % – низкий. У несортсменов переключение внимания имело высокие значения у 4-х человек – 16,67 %, средний – 25 % (6 человек) и низкий – 58,33 % (14).

Предполагается, что начинающие спортсмены, осуществляющие параллельно учебную деятельность (первый год обучения в университете) и занимающиеся не только специальной физической подготовкой и соревновательной практикой, не обладают в должной мере способностью быстро распределять и переключать внимание. Все это привело к низким групповым показателям внимания; при высоких показателях скорости работы по первым двум пробам «Шульте-Горбова» фиксировалось повышение скорости, но за счет снижения точности, были допущены

многочисленные ошибки (максимальное количество – 105, минимальное – 0 ошибок). На третьем этапе тестирования произошло снижение темпа психомоторных реакций и увеличение ошибок у некоторых обследуемых, что говорит о повышении утомляемости, истощаемости активного внимания и большее преобладание тормозных нервных процессов. К аналогичным результатам пришли Рябцев С. М. и Корепанов А. Л. в своей работе, посвященной изучению основных свойств внимания спортсменов высокого класса, занимающихся пулевой и стендовой стрельбой [17].

Чтобы помочь сохранить физическое и психическое благополучие, повысить качество жизни и способствовать более полной профессиональной и личностной самореализации необходимо принимать меры по оптимизации психофизиологического статуса начинающего спортсмена.

*Морфотип спортсмена.* Антропометрическая программа включала измерения 3-х параметров. По принятой стандартной методике измеряли продольные размеры тела (см), массу тела (кг), обхватные размеры груди (см). На основании измеренных признаков вычисляли индекс Пинье.

Антропометрические характеристики групп спортсменов и неспортсменов достоверно отличаются по длиннотным размерам и по массе тела (таблица 5).

Таблица 5 – Антропометрические характеристики спортсменов и группы сравнения

Показатели	Игровые виды спорта	Группа сравнения	Уровень значимости
Рост, см	182,85±1,82	174,83±2,03	p < 0,05*
Вес, кг	78,19±2,22	73,58±2,97	p < 0,05*
Обхват грудной клетки в фазе выдоха, см	88,43±1,58	87,79±1,09	p > 0,05
Индекс Пинье, у.е.			
Гиперстеники	8,69%	25%	p < 0,05*
Нормостеники	69,56%	37,5%	
Астеники	21,74%	37,5	
Примечание: * – разница между показателями достоверна при $p \leq 0,05$			

Тотальные размеры спортсменов-игровиков имели среднее значение  $182,85 \pm 1,82$  см против  $174,83 \pm 2,03$  – у представителей группы сравнения,  $p < 0,05$ .

Расчет по методике М. В. Черноруцкого определил следующие типы конституции спортсменов: преобладающий – «нормостеники» (69,56 %), «астеники» – 21,74 %, «гиперстеники» – 8,69 %. В группе сравнения с одинаковой частотой (37,5 %) встречался нормостенический и астенический типы, гиперстенический у 25 %. Различия между группой спортсменов и представителями группы сравнения по частоте встречаемости трех морфотипов статистически достоверны,  $p < 0,05$ .

Исходя из этих показателей, можно утверждать, что физические нагрузки, применяемые в игровых видах спорта, способствуют гармоничному физическому развитию организма и пропорциональности всех частей тела.

Согласно литературным данным [11] известно, что нормостеники характеризуются эволюционно наиболее лучшими адаптивными характеристиками в условиях физической деятельности и устойчивы психологически. Астеники являются противоположностью нормостеникам. У них присутствуют повышенная нервно-психическая чувствительность, возбудимость и одновременно быстрая истощаемость нервных процессов.

Для исследования взаимосвязи аттенционных характеристик обеих групп обследуемых с их морфотипом был проведен корреляционный анализ (критерия Пирсона). Однако слабая умеренная обратная связь была получена у спортсменов и студентов, не занимающихся профессионально спортом, между показателями переключаемости внимания и морфотипом «астеники» ( $r = -0,556$ ;  $r = -0,51$  соответственно,  $p < 0,1$ ). У «нормостеников» не отмечена достоверная связь с показателями переключения внимания, хотя в этой группе преобладал его средний уровень. Предполагается, что связь могла быть определена в случае увеличения выборки спортсменов.

Учет психофизиологических и конституционных особенностей спортсмена для профориентации и спортивного отбора имеет большое перспективное практическое значение, поскольку, отнеся человека к определенному типу, можно предположить наличие у него черт, свойственных всей типологической группе, и на этом основании прогнозировать его адаптационные возможности, успешность в выбранном виде спорта. Большая приоритетность психофизиологического аспекта отмечается у студентов-спортсменов подросткового возраста, согласовывающих параллельно учебную деятельность и занятия спортом, на начальном этапе спортивной карьеры.

## **4 Особенности распределения антропометрических показателей во взаимосвязи с игровым амплуа (на примере футбола)**

Как известно, соматотип является генетически детерминированным признаком, от которого зависит функционирование организма в целом, в том числе и специфическая реакция в ответ на физическую нагрузку, что, в свою очередь, делает исследование антропометрических показателей спортсменов актуальным и достаточно информативным [12, 13, 16].

В ходе проведенных исследований мы попытались выявить специфические особенности распределения антропометрических показателей у футболистов группы спортивного совершенствования во взаимосвязи с их игровым амплуа.

В исследовании приняли участие 142 футболиста группы спортивного совершенствования (юноши 16–18 лет). Обследованные спортсмены имели продолжительный стаж спортивной тренировки, спортивную квалификацию (1-й и 2-й разряды), основную группу здоровья, а также характеризовались отсутствием перенесенных заболеваний, существенно влияющих на интерпретацию полученных результатов. Обследование проходило в соревновательном периоде годичного тренировочного цикла.

Антрапометрическое обследование включало измерение следующих параметров с применением общепризнанных методов:

измерения длины тела проводилось с помощью ростомера – вертикальная шкала с точностью измерения 0,1 см с перемещающейся по ней поперечной рейкой (см);

масса тела определялась с помощью медицинских электрических весов ВЭМ-150 (ОАО “Зенит – БелОМО”) (кг);

измерение диаметров тела проводилось в положении сидя толстотным циркулем (регистрировались поперечный диаметр дистальной части (ПДДЧ) плеча, предплечья, бедра и голени) (см);

измерение обхватов тела проводилось сантиметровой лентой в стандартном положении испытуемого и в горизонтальной плоскости (обхват плеча в спокойном состоянии, обхват предплечья, бедра и голени) (см);

измерение толщины кожно-жировой складки (КЖС) проводилось калипером (на задней и передней поверхности плеча, на предплечье, под лопаткой, на груди, на животе возле пупка, верхне-подвздошная складка, на верхней части бедра и голени) (мм);

сжимающая сила мышц, сгибающих пальцы, обоих рук человека, а также диагностика состояния и функции рук, использовался кистевой динамометр (кистевая динамометрия (КД) (кг);

компонентный состав тела (КСТ) рассчитывался по формуле Я. Матейко, использовалась система соматотипирования У. Шелдона.

Статистическая обработка результатов исследования выполнена с использованием пакетов прикладных компьютерных программ «Microsoft Excel 2016» и «Statistica 10». Количественные признаки представлены в виде значения медианы. В сравниваемых группах достоверность различий между показателями определяли с помощью критерия Манна-Уитни. Различия считались достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ , а при  $0,05 < p < 0,1$  – на уровне тенденции.

Все обследованные футболисты распределились по индивидуальному игровому амплуа следующим образом: 10 (7,04 %) – вратари (Вр), 53 (37,32 %) – защитники (Зщ), 48 (33,8 %) – полузащитники (пЗщ) и 31 (21,83 %) – нападающие (НП).

Распределение показателей, имеющих достоверность различий, представлено в таблице 6.

Проведенное обследование выбранной группы футболистов спортивного совершенствования позволило выявить некоторые особенности антропометрических показателей.

Таблица 6 – Распределение антропометрических характеристик футболистов в зависимости от игрового амплуа

Параметр ВСР	Подгруппы наблюдения по амплуа							
	Вр (подгруппа 1)		Зш (подгруппа 2)		пЗш (подгруппа 3)		НП (подгруппа 4)	
	медиана	P	медиана	P	медиана	P	медиана	P
Масса тела, кг	80.00 70.95 – 82.55	*2,3,4	70.55 65.15 – 74	*1,3	66.50 64 – 71.78	*1,2,**4	70.10 65.25 – 73.05	*1,**3
Длина тела, см	187.15 184 – 189	*2,3,4	180.00 176 – 183	*1	180.15 175 – 184	*1	180.50 176 – 184	*1
ПДДЧ плеча, см	7.25 7.1 – 7.6	*2,3,4	6.80 6.6 – 7.1	*1,4	6.85 6.7 – 7.1	*1,4	7.1.0 6.9 – 7.3	*1,2,3
ПДДЧ предплечья, см	5.90 5.7 – 6.3	*2,4	5.70 5.5 – 5.8	*1,**3	5.70 5.6 – 6	**2	5.70 5.4 – 5.9	*1
ПДДЧ бедра, см	9.55 9.2 – 9.6	**3	9.20 9 – 9.5		9.20 8.95 – 9.35	**1	9.20 9.1 – 9.6	
ПДДЧ голени, см	8.00 7.6 – 8.2	*2,3,**4	7.60 7.4 – 7.8	*1	7.50 7.3 – 7.8	*1,**4	7.60 7.5 – 7.9	**1,3
Обхват плеча, см	30.05 28.4 – 31.1	*2,3,4	28.10 26.5 – 29.2	*1,3	27.20 26.2 – 27.7	*1,2,**4	27.60 26.8 – 28.7	*1,**3
Обхват предплечья, см	26.95 26.5 – 27.7	*2,3,4	25.50 24.8 – 26.2	*1	25.15 24.3 – 25.9	*1	25.50 24.7 – 26.4	*1
Обхват бедра, см	54.00 51.9 – 57.4	*3	53.20 51.1 – 55.3	*3	52.00 50.85 – 52.95	*1,2	52.20 50.7 – 54.2	
Обхват голени, см	38.35 36.1 – 40	*3	37.20 35.8 – 38.4	*3	36.15 35.1 – 37.5	*1,2,4	37.40 35.6 – 38.8	*3
КЖС над трицепсом, мм	7.30 6.1 – 8.2		7.30 6.5 – 9.3	*3,4	6.35 5.3 – 7.85	*2	6.10 5 – 7.7	*2
КЖС над бицепсом, мм	6.10 5.4 – 6.6		6.30 5.1 – 7.5	*4	5.75 5.05 – 7		5.40 4.4 – 6.6	*2
КЖС на животе, мм	7.65 5.7 – 10.3		8.40 5.7 – 10.5	**3	6.90 6.3 – 9.1	**2	7.20 5.6 – 10.3	
КЖС над переднеподвздошном гребне, мм	4.15 3.6 – 4.7		4.30 3.7 – 5.5		4.40 3.8 – 4.95	*4	4.00 3.4 – 4.5	*3
КЖС на голени, мм	8.05 5.7 – 10.9		8.20 6.5 – 10	**4	7.80 6.35 – 9.5		7.30 5.7 – 9.1	**2
КД левой кисти, кг	41.50 40 – 45	*2,3	38.00 34 – 42	*1	38.00 35 – 41.5	*1	41.00 35 – 44	
КД правой кисти, кг	48.50 44 – 50	*2,3	40.00 38 – 46	*1	41.50 38 – 44	*1	45.00 36 – 50	
Костный компонент, кг	13.56 12.24 – 14.35	*2,3,4	11.53 10.82 – 12.33	*1	11.64 10.94 – 12.45	*1	11.88 11.27 – 12.31	*1
Костный компонент, %	17.00 16 – 18		16.00 16 – 17	*3,**4	17.00 17 – 17.5	*2	17.00 16 – 18	**2
Мышечный компонент, кг	39.26 33.85 – 39.96	*2,3,4	33.65 31.56 – 35.77	*1,**3	32.12 30.11 – 34.54	*1,**2,4	34.10 31.7 – 35.2	*1,**3
Жировой компонент, кг	8.93 7.54 – 10.88	**3,4	8.35 46 – 49	**3,4	7.67 6.88 – 8.63	**1,2	7.72 5.81 – 8.87	**1,2
Жировой компонент, %	11.00 11 – 12		12.00 7.31 – 10.12	*4	11.00 10 – 13		11.00 9 – 13	*2

Примечание: \* – достоверные различия ( $p < 0,05$ ); \*\* – различия на уровне тенденции ( $0,05 < p < 0,1$ ); в графах Р указаны различия с подгруппой наблюдения: например, подгруппа ВР по показателю ПДДЧ плеча имеет в графике Р обозначение \*\*4, что означает различие на уровне тенденции с подгруппой 4 (НП) и т.д. соответственно

Так, различия показателей массы тела вратарей – 80 кг, защитников – 70.55 кг, полузащитников – 66.5 кг и нападающих – 70.1 кг ( $p < 0.05$ ), обхвата бедра вратарей – 9.55 кг и полузащитников – 9.2 кг, обхвата голени вратарей – 38,35 кг и полузащитников – 36.15 кг, ПДДЧ голени вратарей – 8 кг, защитников – 7.6 кг и полузащитников – 7.5 кг ( $p < 0.05$ ), а также на уровне тенденции показателей ПДДЧ бедра у вратарей – 9.55 кг и полузащитников – 9.2 кг и ПДДЧ голени вратарей – 8 кг и нападающих – 7.6 кг ( $0.05 < p < 0.1$ ), свидетельствуют о больших габаритах вратарей относительно полевых игроков. Это может быть связано с меньшим объемом беговых и технико-тактических действий во время матча (большие габариты являются преимуществом над соперником при защите своих ворот). Полевым игрокам, напротив, необходимы меньшие габариты тела, что позволяет проявлять высокую мобильность и выполнять больше технико-тактических действий (ТТД) за матч.

Следует констатировать и наличие различий в показателях длины тела вратарей – 187.15 см, защитников – 180 см, полузащитников – 180.15 см и нападающих – 180.5 см, мышечного компонента (кг) у вратарей – 39.26 кг, защитников – 33.65 кг, полузащитников – 32.12 кг, нападающих – 34.1 кг, костного компонента (кг) вратарей – 13.56 кг, защитников – 11.53 кг, полузащитников – 11.64 кг и нападающих – 11.88 кг ( $p < 0.05$ ). Кроме этого, выявлена характерная тенденция к достоверному распределению показателей жирового компонента (кг) у вратарей – 8.92 кг, полузащитников – 7.67 кг и нападающих – 7.72 кг ( $0.05 < p < 0.1$ ). Эти показатели являются индикаторами особенностей формирования соревновательного потенциала под влиянием специфических тренировочных нагрузок и специфики игровой деятельности, связанной с конкретными требованиями к игровому амплуа футболиста.

Показатели ПДДЧ плеча вратарей – 7.25 см, защитников – 6.8 см, полузащитников – 6.85 см и нападающих – 7.1 см; предплечья вратарей – 5.9 см, защитников – 5.7 см и нападающих – 5.7 см; обхвата плеча вратарей – 30.05 см, защитников – 28.1 см, полузащитников – 27.2 см и нападающих –

27.6 см, обхвата предплечья вратарей – 26.95 см, защитников – 25.5 см, полузащитников – 25.15 см и нападающих – 25.5 см и кистевой динамометрии обеих рук вратарей – 41.5 кг левая рука, 48.5 кг правая рука; защитников – 38 кг левая рука, 40 кг правая рука и полузащитников – 38 кг левая рука, 41.5 кг правая рука ( $p < 0.05$ ) свидетельствуют о специфических особенностях формирования обхватных и длинотных размеров тела пояса верхних конечностей у вратарей, относительно игроков полевых амплуа. Учитывая относительно высокие показатели вратарей, констатируем, что влияние их соревновательной и тренировочной деятельности, заключающейся в повышенной и специфической работе рук во время матча, может быть обусловлено и более высокими показателями, обеспечивающими эффективное противоборство с соперником.

Различия в показателях массы тела защитников – 70.55 кг и полузащитников – 66.5 кг, обхвата плеча защитников – 28.1 см и полузащитников – 27.2 см, обхвата бедра защитников – 53.2 см и полузащитников – 52 см, обхвата голени защитников – 37.2 см и полузащитников – 36.15 см, КЖС над трицепсом защитников – 7.3 мм и полузащитников – 6.35 мм ( $p < 0.05$ ), а также других, имеющих тенденцию к достоверности различий, показателей: ПДДЧ предплечья защитников – 5.7 см и полузащитников – 5.7 см, КЖС на животе защитников – 8.4 мм и полузащитников – 6.9 мм, мышечного компонента (кг) защитников – 33.65 кг и полузащитников – 32.12 кг и жирового компонента (кг) защитников – 8.35 кг и полузащитников – 7.67 кг ( $0.05 < p < 0.1$ ) могут быть связаны с двигательной активностью полузащитников на поле, при которой меньшие размеры их тела, дают преимущество в мобильности. В то же время защитникам большие габариты тела позволяют эффективно вести единоборства с соперником.

Показатели ПДДЧ плеча у защитников – 6.8 см ниже, чем у нападающих – 7.1 см ( $p < 0.05$ ). Это может быть связано с интенсивной подвижностью локтевого сустава защитников, что позволяет им более

качественно работать с мячом при его вбрасывании. Различия в показателях КЖС над трицепсом у защитников – 7.3 мм и нападающих – 6.1 мм, КЖС над бицепсом у защитников – 6.3 мм и нападающих – 5.4 мм и КЖС на голени у защитников – 8.2 мм и нападающих – 7.3 мм ( $p <0.05$ ) свидетельствуют о больших габаритах защитников относительно нападающих в связи с выполнением значительного количества элементов единоборств во время матча, т.к. большие габариты – это преимущество при ведении единоборств с соперником.

Различия в распределении жирового компонента (%) у защитников – 12% и нападающих – 11% ( $p <0.05$ ), говорят о необходимости повышенной подвижности НП в виду меньших размеров тела, в сравнении с Зщ. Это позволяет им совершать большее количество ТТД в игре и быть более эффективными в их исполнении.

Достоверность распределения показателя костного компонента (%) у защитников – 16% и нападающих – 17% ( $p <0.05$ ), свидетельствует о влиянии многолетнего спортивного отбора на антропометрию в связи с поиском наиболее одаренных для занятия футболом потенциально уже с учетом игрового амплуа.

Показатели ПДДЧ плеча у полузащитников – 6,85 см и нападающих – 7.1 см, обхвата голени у полузащитников – 36.15 см и нападающих – 37.7 см ( $p <0.05$ ) и имеющих тенденцию к достоверности таких показателей как масса тела полузащитников – 66.5 см и нападающих – 70.1 см, ПДДЧ голени у полузащитников – 7.5 см и нападающих – 7.6 см, обхвата плеча у полузащитников – 27.2 см и нападающих – 27.6 см, мышечного компонента (кг) у полузащитников – 7.67 кг и нападающих – 7.72 кг ( $0.05 < p < 0.1$ ) свидетельствуют о специфике тренировочных и соревновательных нагрузок и требований, предъявляемых к футболистам различных амплуа. При этом меньшие обхватные и широтные размеры тела пЗщ позволяют им действовать с мячом более мобильно, а, следовательно, и эффективно, совершать ТТД в большем объеме, относительно нП. Нападающим,

наоборот, ввиду большего количества силовой борьбы на поле, нужна большая масса тела для эффективного ведения единоборств. Различия в распределении показателя КЖС над передне-подвздошным гребнем у полузащитников – 4,4 мм и нападающих – 4 мм ( $p < 0.05$ ) указывают на низкий центр тяжести полузащитников, ввиду большей массы таза, что, в определенной мере, позволяет полузащитникам более эффективно действовать с мячом и совершать больше ТТД за матч, что диктуется их стандартной позицией на поле. Отметим, что текущее соотношение значений костного компонента футболистов так же является следствием спортивного отбора, что связано с генетической детерминацией костного компонента в сравнении с мышечным и жировым компонентами [5, 6]. Значения жирового и мышечного компонентов отражают влияние специфической физической нагрузки на организм футболистов, т.е. фактически уже его фенотипические особенности.

Таким образом, показанные особенности формирования и функционирования организма спортсменов по антропометрическим показателям во взаимосвязи с их игровым амплуа, необходимо учитывать при планировании соотношения тренировочных и соревновательных нагрузок.

Специфика требований, предъявляемых к подготовленности футболистов различного игрового амплуа, необходимость совершенствования тренировочного процесса в направлении индивидуализации, и медико-биологического обеспечения футболистов диктует необходимость установления характерных зависимостей антропометрических для игровых амплуа.

Проведенное обследование футболистов 16–18 лет группы спортивного совершенствования выявило взаимосвязи их соматотипологического статуса, антропометрических характеристик и функционального состояния организма.

Показанные особенности антропометрических показателей у футболистов различных амплуа группы спортивного совершенствования необходимо учитывать при выборе игрового амплуа игроков при проведении спортивного отбора, планировании тренировочного процесса, что позволяет концентрироваться именно на основных механизмах обеспечения полноценной спортивной тренировки. Для получения более точных и информативных характеристик функционального состояния спортсмена, необходима дальнейшая исследовательская работа в данном направлении с использованием комплексных антропометрических и соматотипологических показателей.

## 5 Статистическая модель прогнозирования перспективности спортсмена

При изучении исходов, связанных с генетическими особенностями организма (заболеваний, неординарных возможностей и других), как правило, оцениваются межгенные взаимодействия и предпринимаются попытки обнаружить и доказать причинно-следственную связь между ними и исследуемой проблемой. При этом рассматривается большое количество генов или локусов, которые могут оказывать влияющее воздействие. Одним из популярных методов, который позволяет получать статистически обоснованные выводы о влиянии ген-геновых взаимодействий на исследуемые фенотипы (исходы) является метод снижения мультифакторной размерности MDR (Multifactor Dimensionality Reduction). Это непараметрический интеллектуальный метод обнаружения и описания нелинейных взаимодействий различной природы. По своей сути он является альтернативой логистической регрессии и может быть применен для анализа различных многофакторных процессов [7]. MDR позволяет уменьшить количество исследуемых параметров, оценивая уровни повышенного или пониженного рисков формирования фенотипов и преобразовывая два или более признака в один.

Были исследованы локусы генных карт спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта и достигших высоких результатов (кандидаты в мастера спорта, мастера спорта, мастера спорта международного класса), и контрольной группы. Анализировались результаты измерений, содержащие 7 и 11 генов, формирующих генотип спортсмена. Предполагалось, что генотип ассоциируется с результатом, достигнутым спортсменом. Были предприняты попытки связать комбинации аллелей с перспективностью спортсмена, занимающегося конкретным видом спорта и, при необходимости, рекомендовать ему занятие другими видами спорта, в которых его результаты могут быть более высокими.

Предполагалось, что достигнутые спортсменом результаты ассоциированы с его генотипом, который определяет физические возможности человека. Классификация спортсменов на два класса основывалась на их достижениях, при этом группы формировались по-разному:

кандидаты в мастера спорта (КМС) – 0, мастера спорта (МС) и мастера спорта международного класса (МСМК) – 1;

КМС и МС – 0, МСМК – 1;

контрольная группа – 0, спортсмены – 1.

Результаты моделирования оценивались по данным статистического анализа, реализованного в программе MDR. Для визуализации моделей использовались дендограммы и графы, показывающие характер и силу ген-генных или генно-средовых взаимодействий. Красные линии соответствуют выраженному синергизму, оранжевые – умеренному синергизму, коричневые – аддитивному взаимодействию, зеленые – умеренному антагонизму и синие – выраженному антагонизму взаимодействия. Сила взаимодействия описывается долей вклада в энтропию и направлением (знак + или -). Качество моделей оценивалось по статистическим показателям полного набора данных и по значениям согласованности перекрестных проверок (Cross Validation Consistency – CVC) по 10 в каждой модели.

Кроме прогнозирования перспективности спортсмена, представлялось интересным изучить устойчивость MDR-моделей к незначительным изменениям в формировании групп или, другими словами, классификации исходов в исследовании. Мы сравнивали модели ген-генных взаимодействий, которые ассоциировались с физическими возможностями спортсмена в конкретном виде спорта. На рисунке 4 показаны дендограмма и график ген-генных взаимодействий в модели, построенной методом MDR по 7 генам из генных карт 94 спортсменов мужского и женского пола. В одну группу (класс 0) вошли КМС и МС (54 спортсмена), во вторую (класс 1) – МСМК (40 спортсменов).

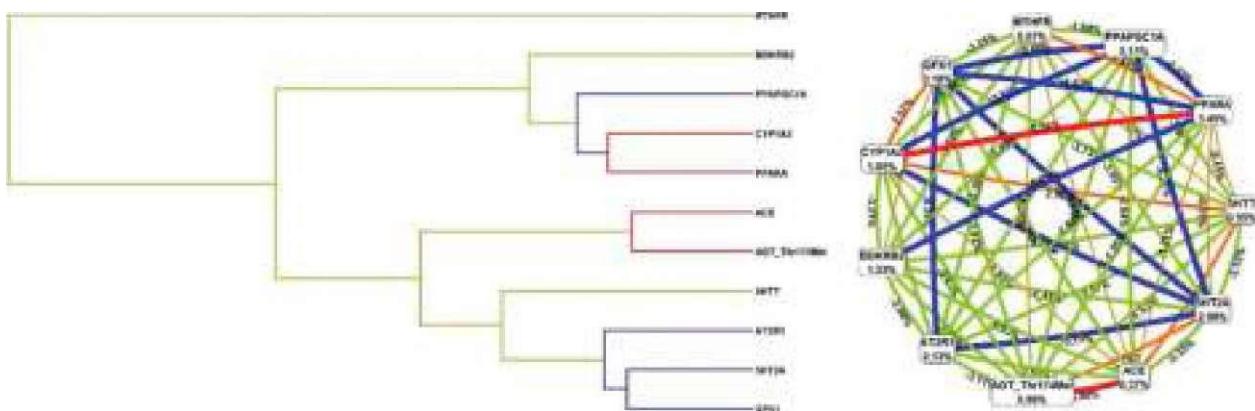


Рисунок 4 – Дендрограмма и граф ген-геновых взаимодействий в модели, построенной методом MDR при классификации 0 – КМС и МС, 1 – МСМК (7 генов, 94 измерения). Сила и направленность ген-генового взаимодействия показаны в долях энтропии

Определены наборы аллелей для моделей, построенных на различных количествах генов, которые дают достоверные прогнозы. Построенные на одном и двух генах модели достоверно не прогнозируют класс. Лучшая модель на трех атрибутах построена на генах 5HTT, PPAPGC1A, PPARA и характеризуется отношением шансов  $OR=60,0$  (доверительный интервал 3,03, 1185),  $\chi^2 = 10,9$  ( $\geq 0,001$ ), Карра = 0,84. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – SS, Gly/Ser, GC и класс 1 – LL, Gly/Gly, GG.

Лучшая модель на четырех атрибутах построена на генах ACE, AT2R1, GPX1, PPARA и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 7,54$  ( $p=0,006$ ), Карра = 0,81. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – ID, AA, CT, GC и класс 1 – DD, AC, CC, GG.

Результаты, полученные на моделях с 5–7 генами, не позволили проводить прогнозирование.

На рисунке 5 показаны дендрограмма и граф ген-геновых взаимодействий, построенные на той же группе испытуемых с таким же набором генов, но классифицированных по-другому. В одну группу (класс 0) вошли КМС (29 спортсменов), во вторую (класс 1) – МС и МСМК (75 спортсменов).

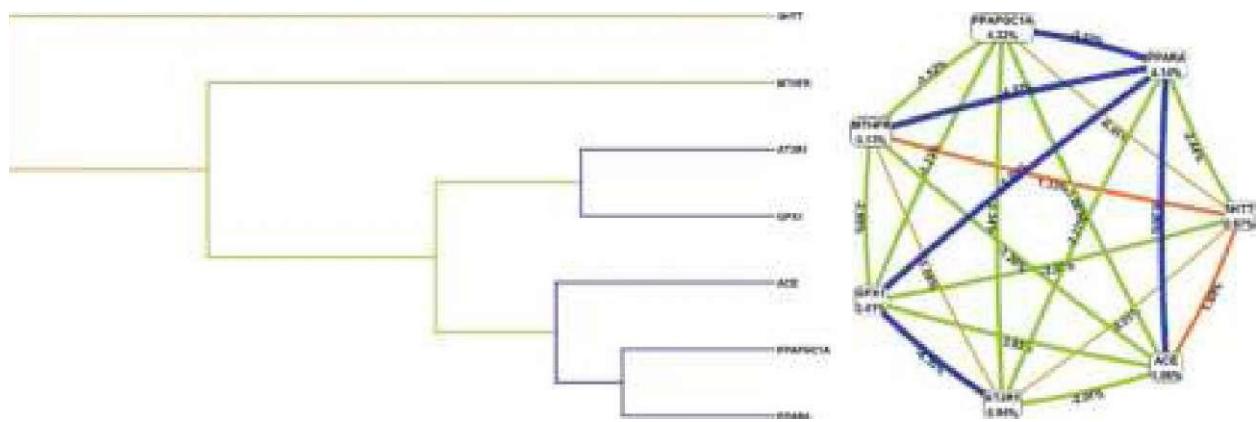


Рисунок 5 – Дендрограмма и граф ген-геновых взаимодействий в модели, построенной методом MDR при классификации 0 – КМС, 1 – МС и МСМК (7 генов, 94 измерения)

Лучшая модель на трех атрибутах построена на генах 5HTT, ACE, PPARA и характеризуется отношением шансов  $OR=60,0$  (доверительный интервал 3,03, 1185),  $\chi^2 = 11,42$  ( $p=0,0007$ ), Карра = 0,74. Для предсказания класса могут быть использованы три комбинации аллелей: класс 0 – LL, II, GG и класс 1 – LS, DD, GG и LL, DD, GG.

Лучшая модель на четырех атрибутах построена на генах ACE, AT2R1, GPX1, PPARA и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 11,73$  ( $p=0,006$ ), Карра = 0,84. Для предсказания класса так же могут быть использованы три комбинации аллелей: класс 0 – LL, II, AC, GG и класс 1 – LL, DD, AC, GG и LL, DD, AA, GG.

Результаты, полученные на остальных моделях, как и в предыдущем случае, не позволили проводить прогнозирование.

Подобные результаты получены и при моделировании на основе 11 генов из генных карт 74 спортсменов, занимающихся тем же видом спорта. Данные, представленные на рисунке 6, соответствуют классификации, когда в одну группу отобраны КМС и МС (41 спортсмен, класс 0), во вторую (класс 1) – МСМК (33 спортсмена). При таком наборе данных метод успешно проводит классификацию на модели, включающей два гена при отношении шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 10,5$  ( $p=0,0012$ ), Карра = 0,86. Модель построена на генах ACE, AGT-Thr174Met. Для предсказания класса

могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – II, CC и класс 1 – II, CT.

Лучшая модель на трех атрибутах построена на генах 5HT2A, ACE, AGT-Thr174Met и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 15,28$  ( $p<0,0001$ ), Кappa = 0,82. Для предсказания класса могут быть использованы четыре комбинации аллелей: класс 0 – TT, ID, CC и TT, II, CC, класс 1 – TC, ID, CC и TC, II, CT.

Лучшая модель на четырех атрибутах построена на генах AGT-Thr174Met, BDKRB2, CYP1A2, PPARA и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 14,19$  ( $p=0,0002$ ), Кappa = 0,86. Для предсказания класса могут быть использованы четыре комбинации аллелей: класс 0 – CC, +9/-9, AC, GG и CC, +9/-9, AA, GC и CC, +9/+9, AA, GG, класс 1 – CC, +9/-9, CC, GG.

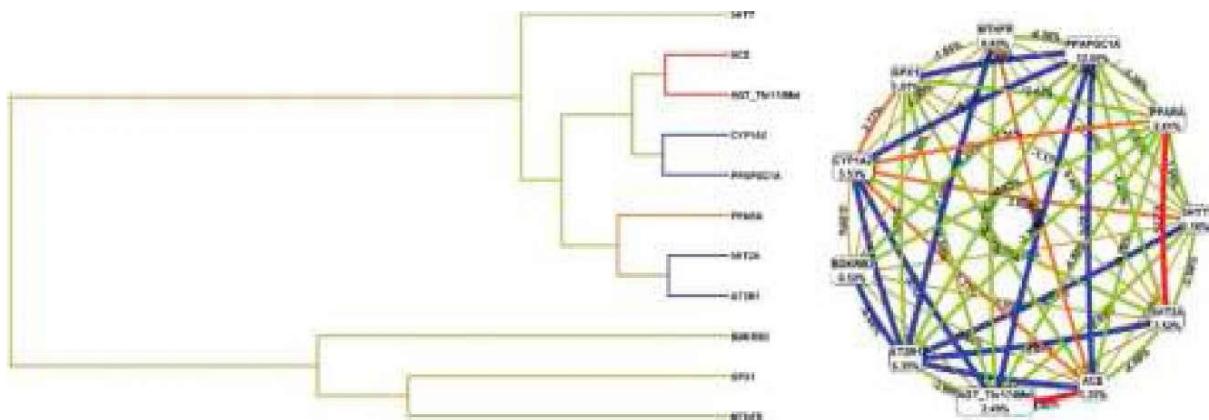


Рисунок 6 – Дендрограмма и граф ген-геновых взаимодействий в модели, построенной методом MDR при классификации 0 – КМС и МС, 1 – МСМК (11 генов, 74 измерения)

Лучшая модель на пяти атрибутах построена на генах 5HTT, 5HT2A, GPX1, MTHFR, PPAPGC1A и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 10,0$  ( $p=0,0016$ ), Кappa = 1,0. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – SS, TT, CT, CT, Gly/Ser, класс 1 – LL, TC, CT, CT, Gly/Ser.

Лучшая модель на пяти атрибутах построена на генах 5HTT, 5HT2A, GPX1, MTHFR, PPAPGC1A и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 10,0$  ( $p=0,0016$ ), Карра = 1,0. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – SS, TT, CT, CT, Gly/Ser, класс 1 – LL, TC, CT, CT, Gly/Ser.

Лучшая модель на шести атрибутах построена на генах 5HT2A, BDKRB2, CYP1A2, MTHFR, PPAPGC1A, PPARA и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 6,67$  ( $p=0,0098$ ), Карра = 0,8. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – TC, +9/-9, AC, CT, Gly/Ser, GG, класс 1 – TC, +9/-9, AA, CT, Gly/Ser, GG.

Результаты моделирования, проведенного на той же группе испытуемых с таким же набором генов, но классифицированных по-другому, представлены на рисунке 7. В одну группу (класс 0) вошли КМС (22 спортсмена), во вторую (класс 1) – МС и МСМК (52 спортсмена).

Лучшая модель, построенная на двух генах CYP1A2, PPARA характеризуется параметрами: отношение шансов  $OR=55,0$  (доверительный интервал 2,83, 1068,42),  $\chi^2 = 10,125$  ( $p=0,0015$ ), Карра = 0,75. Для предсказания класса могут быть использованы две комбинации аллелей: класс 0 – AA, GC и класс 1 – CC, GG.

Лучшая модель на четырех атрибутах построена на генах 5HTT, 5HT2A, AGT-Thr174Met, AT2R1 и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 16,62$  ( $p<0,0001$ ), Карра = 0,86. Для предсказания класса могут быть использованы пять комбинаций аллелей: класс 0 – LL, TT, CC, AC и четыре комбинации для класса 1 – (SS, TC, CC, AC), (SS, TT, CC, AA), (LL, TC, CC, AC) и (LL, TC, CC, AA).

Лучшая модель на пяти атрибутах построена на генах ACE, BDKRB2, CYP1A2, PPAPGC1A, PPARA и характеризуется отношением шансов  $OR=\infty$ ,  $\chi^2 = 6,67$  ( $p=0,0098$ ), Карра = 0,8. Для предсказания класса могут быть

использованы две комбинации аллелей: класс 0 – DD, +9/-9, AC, Gly/Ser, GG, класс 1 – DD, +9/-9, AA, Gly/Ser, GG.

Результаты, полученные на моделях с большим количеством генов, не позволили проводить прогнозирование.

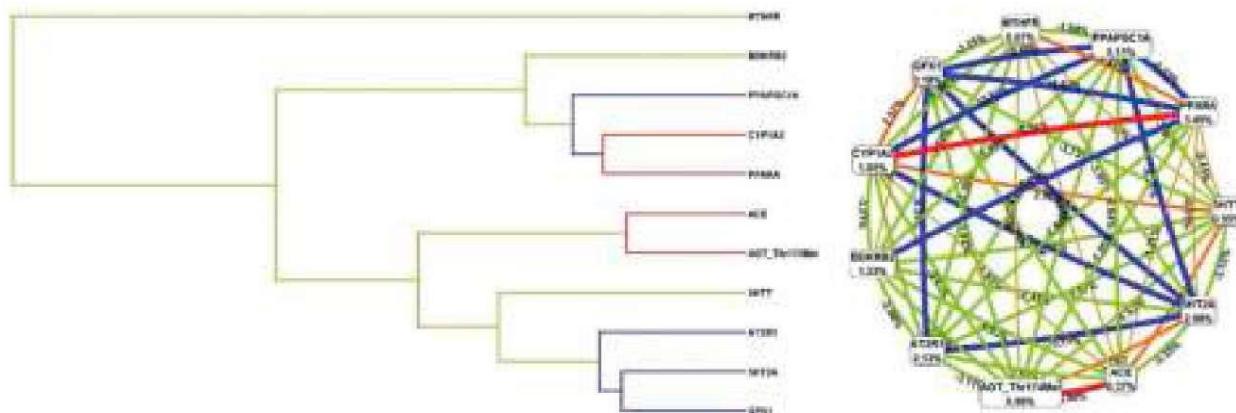


Рисунок 7 – Дендрограмма и граф ген-геновых взаимодействий в модели, построенной методом MDR при классификации 0 – КМС, 1 – МС и МСМК (11 генов, 74 измерения)

Полученные результаты наглядно демонстрируют, что незначительные изменения в классификации исходов (фенотипов) приводят к существенным изменениям статистической модели прогнозирования, создаваемой методом MDR. По-разному выглядят не только дендрограмма и граф ген-геновых взаимодействий, но и наборы генов в моделях, и комбинации аллелей, которые могут быть использованы для прогнозирования. При этом различные модели позволяют получать прогноз с высокой точностью, что подтверждается статистическими характеристиками. Однако ассоциировать построенные в нашем исследовании методом MDR модели с природой ген-геновых взаимодействий не представляется корректным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из критических моментов анализа морфофункциональных особенностей спортсменов является их комплексность и необходимость выявления далеко неочевидных взаимозависимостей между внешне несвязанными параметрами. Именно с этой целью нами была сделана попытка анализа генетических данных с помощью MDR-анализа. Однако полученный результат был весьма неоднозначен. Возможно, что используемые модели будут соответствовать природе ген-генных взаимодействий при условии не только корректного ранжирования групп, но и подбора комплекса генов, определяющих работу одной цепи биохимических реакций (например, РААС, нейромедиаторы, углеводный, липидный обмен и т.д.).

На основании вышеизложенного материала и проведенных исследований можно констатировать следующее:

1. На сегодняшний день генетическое тестирование стало обязательным условием отбора перспективных спортсменов в передовых странах мира. Не смотря на наличие определенных просчетов и ошибок, это направление может стать базовым для организации пред-скрининга и профилизации начинающих спортсменов.

2. Обязательным условием совершенствования антропогенетических исследований является укрепление материально-технической базы, обеспечивающей расширение перечня генов-маркеров, внедрение новых методов исследований, адекватной математической обработкой, анализом и интерпретацией с обязательным персональным контентом получаемых результатов.

3. Одним из определяющих моментов должно стать широкое внедрение в подготовку и переподготовку тренерского коллектива современных методов антропологии и антропогенетики.

Для получения более точных и информативных характеристик функционального состояния спортсменов циклических и ациклических видов спорта необходима дальнейшая исследовательская работа в данном направлении с использованием комплексных антропометрических, соматотипологических и генетических показателей.

Результаты исследований, полученных в ходе выполнения этапа 3 «Отработка оптимальных генетических подходов (генеалогический метод) и разработка панелей молекулярно-генетических маркеров с целью выявления ранней спортивной успешности в циклических и ациклических видах спорта» научно-исследовательской работы по теме 2.2.1 «Антропометрические аспекты раннего спортивного отбора», показали, что различные статистические модели прогнозирования успешности спортсмена позволяют получать прогноз с высокой точностью, что подтверждается статистическими характеристиками.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андриянова, Е. Ю. Спортивная медицина : учеб. пособие для вузов / Е. Ю. Андриянова. – М. : Изд-во Юрайт, 2020. – 325 с.
2. Платонов, В. Н. Двигательные качества и физическая подготовка спортсменов / В. Н. Платонов. – М. : Спорт, 2019. – 656 с.
3. Губа, В. П. Теория и методика современных спортивных исследований: монография / В. П. Губа, В. В. Маринич. – М. : Спорт, 2016. – 232 с.
4. Давыдов, В. Ю. Сравнение морфофункциональных показателей спортсменов, специализирующихся в академической гребле / В. Ю. Давыдов, В. В. Клинов, Н. Р. Тарасевич // Мир спорта. – 2023. – № 1 (90). – С. 17–23.
5. Абликова, А. В. Спортивный отбор волейболистов: генетические критерии определения двигательной одаренности (сообщение 2) / А. В. Абликова, Л. П. Сергиенко // Слобожанський науково-спортивний вісник. – Харків : ХДАФК, 2016. – № 2 (52). – С. 7–13.
6. Мельнов, С. Б. Молекулярно-генетические аспекты спортивной успешности в циклических видах спорта / С. Б. Мельнов, Т. Л. Лебедь, Е. Б. Комар // Наука и спорт: современные тенденции : научно-практический журнал. – 2020. – Т. 8. – № 2. – С. 67–76.
7. Пономаренко, И. В. Использование метода Multi-factor Dimensionality Reduction (MDR) и его модификаций для анализа ген-генных и генно-средовых взаимодействий при генетико-эпидемиологических исследованиях (обзор) / И. В. Пономаренко // Научные результаты биомедицинских исследований. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 4–21.
8. Мельник, В. А. Соматотипологические особенности формирования морфологического статуса в перипубертатный период онтогенеза / В. А. Мельник // Проблемы здоровья и экологии. – 2021. – № 18. – Вып. 1. – С. 20–26.

9. Vlahovich, N. Ethics of genetic testing and research in sport: A position statement from the Australian Institute of Sport / N. Vlahovich [et al] // Br. J. Sports Med. – 2017. – Vol. 51. – P. 5–11.

10. Пономарева, О. В. Генетика в современном спорте: научные технологии для новых достижений / О. В. Пономарева // Наука молодых (Eruditio Juvemum). – 2018. – Т. 6. – № 5. – С. 569–581.

11. Федоров, В. П. Спортивная морфология : учеб.-метод. пособие / В. П. Федоров, И. Е. Попова, Н. Н. Попова. – Воронеж : ВГИФК, 2018. – 63 с.

12. Лебедь, Т. Л. Молекулярно-генетическое типирование полиморфизмов: генетический прогноз антропометрических характеристик спортсменов-требцов : методические рекомендации / Т. Л. Лебедь, С. Б. Мельнов. – Пинск : ПолесГУ, 2016. – 25 с.

13. Тарасевич, Н. Р. Антропометрический статус 16–19-летних спортсменов, специализирующихся в циклических и игровых видах спорта / Н. Р. Тарасевич [и др.] // Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры : сборник материалов Всероссийской с междунар. участием конф., Волгоград, 1–2 февр. 2023 г. : в 3 ч. / Волгоградская гос. акад. физ. культуры ; редкол. : В. В. Горбачева [и др.]. – Волгоград : ФГБОУ ВО «ВГАФК», 2023. – Ч. 2. – С. 238–242.

14. Тарасевич, Н. Р. Морфологические характеристики девушек, специализирующихся в гребле академической / Н. Р. Тарасевич, В. Ю. Давыдов // Инновационные технологии спортивной медицины и реабилитологии : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–27 окт. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол. : Т. А. Морозевич-Шилюк (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУФК, 2023. – С. 197–201.

15. Сидоров, Д. Г. Развитие физических качеств в игровых видах спорта : учеб. пособие / Д. Г. Сидоров [и др.]. – Н. Новгород : ННГАСУ, 2019. – 125 с.

16. Курносова, В. А. Особенности антропометрического статуса молодых спортсменов игровых видов спорта и его прогностическое

значение / В. А. Курносова [и др.] // Прикладная спортивная наука. – Минск : РНПУ, 2023. – Ч. 1. – С. 57–62.

17. Рябцев, С. М. Аттенционные характеристики спортсменов высокого класса, занимающихся пулевой и стендовой стрельбой / С. М. Рябцев [и др.] // Мир педагогики и психологии: международный научно-практический журнал. – 2021. – № 7 (60). – С. 49–60.