

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СПОРТИВНОЙ УСПЕШНОСТИ В ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДАХ СПОРТА

С.Б. Мельнов¹, Т.Л. Лебедь², Е.Б. Комар¹

¹ Белорусский государственный университет физической культуры, Минск, Республика Беларусь

² Полесский государственный университет, Пинск, Республика Беларусь

Аннотация

Цель исследования – провести сравнительный анализ генетического статуса спортсменов-ребцов и спортсменов-пловцов высокой спортивной квалификации.

Методы и организация исследования. Когорта обследованных включала контрольную группу (215 человек), группу спортсменов-ребцов (215 человек) высокой квалификации (КМС – 54, МС – 102, МСМК – 59); группу спортсменов-пловцов (127) высокой квалификации (КМС – 114, МС – 13). Типирование полиморфизма исследуемых генов проводилось с помощью метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) с последующей обработкой амплификата эндонуклеазами рестрикции (NlaIII, TaqI, MspI, BslI).

Результаты исследования. На основании проведенных исследований обосновывается состав панели генетических маркеров, предопределяющих успешность в гребном спорте, включая следующие полиморфные системы: I/D гена ACE, Met174Thr гена AGT, гена Ser482Gly гена PPARGC1A, +294T/C гена PPARD, G2027C гена PPAPA, S/L гена 5HTT, T102C гена 5HT2A. Несмотря на относительное сходство требований для успешности в гребном спорте и плавании, выявлены существенные различия в генетическом статусе успешных спортсменов.

Заключение. Анализ экспрессии генетических маркеров, число которых постоянно увеличивается, позволяет не только прогнозировать закономерности развития физических качеств спортсмена, но и оценить потенциал его тренируемости, что, в свою очередь, позволяет определить подходы к разработке и коррекции тренировочных программ конкретных спортсменов с учетом их генетического статуса. 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 PPAPA, Gly482Ser гена PPARGC1A, +294T/C гена PPARD, C102T гена 5HT2A, L/S гена 5HTT.

Ключевые слова: спортивный отбор, генетический маркер, циклическая деятельность, выносливость, стрессоустойчивость, спорт высших достижений.

MOLECULAR GENETIC ASPECTS OF SUCCESSFUL PERFORMANCE IN CYCLIC SPORTS

S.B Melnov¹, sbmelnov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9820-4188

T.L Lebed², hlebus@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7505-7832

E.B Komar¹, elen555@tut.by, ORCID: 0000-0002-5502-7222

¹ Belarusian State University of Physical Culture, Minsk, Republic of Belarus

² Polesky State University, Pinsk, Republic of Belarus

Abstract

The purpose of the study was a comparative analysis of the genetic status of rowing athletes and swimmers of high sports qualifications.

Methods and organization of research. The cohort studies brought together a control group (215 people), a group of rowers (215 people) of high qualification (Candidates Masters of Sports - 54, Masters of Sports - 102, Masters of Sports International Class - 59); a group of swimmers (127) of high qualification (Candidates Masters of Sports - 114, Masters of Sports - 13). The typing of the polymorphism of the studied genes was carried out using the method of polymerase chain reaction (PCR) with subsequent processing of the amplification by restriction endonucleases (NlaIII, TaqI, MspI, BslI).

The results of the study. We have substantiated the panel of genetic markers that determine successful performance in rowing, including the following polymorphic systems: I / D of the ACE gene, Met174Thr of the AGT gene, Ser482Gly of the PPARGC1A gene, + 294T / C of the PPARD gene, G2027C of the PPAPA gene, S / L of the 5HTT gene; T102C of the 5HT2A gene. Despite the relative similarity of requirements for successful

performance in rowing and swimming, significant differences in the genetic status of successful athletes were revealed.

Conclusion. Analysis of the expression of genetic markers, the number of which is constantly increasing, makes it possible to predict not only the development patterns of physical qualities of an athlete, but also to assess his training potential. It helps us to identify approaches to the development and correction of training programs for specific athletes based on their genetic status. Summarizing the results of the initial selection in the cyclic sports section, we can recommend the analysis of the following polymorphic markers: I / D gene ACE, Thr174Met gene AGT, G2528C gene PPARA, Gly482Ser gene PPARGC1A, + 294T / C gene PPAR, C102T gene 5HT2 L, 5HTA S gene 5HTT.

Keywords: sport selection, genetic marker, cyclic activity, endurance, stress resistance, high level sports.

ВВЕДЕНИЕ

Современная стратегия развития спорта высших достижений ставит целью обеспечение лидерства в мировом спорте на основе реализации принципиально новых подходов, так как совершенно очевидно, что классические медицинские и педагогические подходы находятся на пределе своих возможностей либо уже полностью себя исчерпали. В то же время постоянно растущие в условиях жесткой конкуренции результаты настоятельно диктуют необходимость разработки принципиально новых методов и инновационных технологий для совершенствования и повышения эффективности процессов спортивного отбора, спортивной подготовки, формирования спортивного резерва и системы многолетней спортивной подготовки элитных спортсменов. В результате изучения программ развития академической гребли и гребли на байдарках и каноэ на 2017-2020 годы и подготовки национальных команд к XXXII летним Олимпийским играм 2020 года в г. Токио (Япония) становится ясным, что во всем мире огромное внимание уделяется научно-методическому обеспечению и внедрению инновационных технологий в тренировочный процесс и селекционную работу, направленных на повышение эффективности тренировочного процесса и качества отбора спортсменов. В настоящее время на первом плане стоит проблема подбора методов и тренировочных средств, соответствующих персональным и функциональным возможностям спортсменов, лимитирующих проявление предельной работоспособности. Наиболее оптимальным (как во временном, так и в финансовом аспектах) может служить оценка спортивного потенциала конкретного

индивидуума на основании генотипирования. Анализ панели генетических маркеров, число которых постоянно увеличивается, позволяет не только прогнозировать закономерности развития физических качеств спортсмена, но и оценить потенциал его тренируемости, что, в свою очередь, дает возможность определить подходы к разработке и коррекции тренировочных программ конкретных спортсменов с учетом их специфического генетического статуса. Уже сейчас генетические исследования претендентов перед началом спортивной деятельности позволяют получать рекомендации по выбору спортивной специализации на уровне групп видов спорта. В этом плане представляется вполне реальным использовать сходные генетические панели маркеров для выявления наиболее одаренных лиц для нескольких видов спорта, характеризующихся сходными требованиями.

На основании приведенных выше рассуждений главной целью настоящей работы стал сравнительный анализ генетического статуса спортсменов-гребцов и спортсменов-пловцов высокой спортивной квалификации.

МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гребной спорт является одним из олимпийских видов спорта, отличительной особенностью которого является осуществление динамической работы циклического характера, заключающейся в многократном повторе однородных циклов движений по перемещению собственного тела в пространстве. Реализация одного цикла обеспечивается поочередным сокращением и расслаблением мышц при совершении спортсменом высокой физической работы. Таким образом,

гребля относится к видам спортивной деятельности, для которых характерно проявление выносливости при работе циклического характера [1]. Во время циклической работы в спорте происходит интенсивный расход энергии, который сопровождается переходом от анаэробных к аэробным процессам энергообеспечения, а также значительно повышаются функциональная активность сердечно-сосудистой системы, скорость метаболических реакций, обеспечивающих переключение ресинтеза АТФ с макроэргических соединений на липиды нейромедиаторной системы. Практически все перечисленные аспекты в той или иной мере справедливы и для плавания, что (теоретически) позволяет использовать для них сходные генетические маркеры.

Как в гребле, так и в плавании рост показателей основан на поиске способов и методов оценки индивидуального потенциала и резервов спортсмена, т.е. выявления одарённости, перспективности, которые под влиянием целенаправленной деятельности позволят сформировать специфический морфофункциональный статус. Увеличение общей работоспособности спортсмена обеспечивается в первую очередь активностью генов систем организма, ассоциированных с циклической деятельностью:

- 1) ренин-ангиотензин-альдостероновая система (ангиотензинпревращающий фермент (ACE), ангиотензиноген (AGT));
- 2) серотонинергическая система (транспортер серотонина (5HTT), рецептор серотонина 2-го типа (5HT2A));
- 3) регуляция жирового и углеводного обмена (α -рецептор, активированный пролифераторами пероксисом (PPARA), δ -рецептор, активированный пролифераторами пероксисом (PPARD), 1-альфа-коактиватор гамма-рецептора, активируемый пролифераторами пероксисом (PPARGC1A)).

Установленные особенности генетического статуса у одарённого спортсмена помогут установить, предпосылки каких качеств будут доминировать на последних этапах тренировочного процесса, и выделить, к примеру, стайеров, спринтеров и силовиков на ранних стадиях тренировочного процесса.

Важными кандидатами на роль генетических маркеров в циклических видах спорта являются гены, определяющие функции сердечно-сосудистой системы: ACE Alu I/D, AGT Met235Thr, AGT Met174Thr, AGTR1 A1166C. Определенные генотипы этих генов в той или иной степени ассоциированы с проявлением качества выносливости и указывают на предрасположенность к выполнению длительной физической работы.

Ген ACE [2, 3, 4] локализован в 17-й хромосоме, кодирует аминокислотную последовательность ангиотензин-превращающего фермента, катализирующего протеолитическое расщепление ангиотензина I в ангиотензин II. В случае генотипа DD концентрация ангиотензин-превращающего фермента повышена, что обуславливает участие аллеля D в вазоконстрикции, повышении кровяного давления, ассоциации с артериальной гипертензией, деградации брадикинина, основного сосудорасширяющего вещества. В то же время установлено, что аллель D ассоциирован превалированием быстрых мышечных волокон с такими физическими качествами, как скорость, сила, быстрота, а также с приростом взрывной силы и скоростных качеств в ответ на анаэробные нагрузки, что обуславливает достоверные отличия встречаемости аллелей D и I в группах спринтеров и стайеров соответственно. Увеличение содержания быстрых гликолитических мышечных волокон сопровождается мощными кратковременными сокращениями, обеспечивающими выполнение высокоинтенсивных упражнений. Гомозиготный генотип DD, генерируя ангиотензин II в повышенных количествах, является фактором синтеза структурных белков в клетках сердца, что при длительных нагрузках провоцирует гипертрофию сердца.

Ген AGT располагается на 1 хромосоме (1q42-q43) и кодирует белок ангиотензиноген. Ангиотензиноген является предшественником вазоактивных нейрогормонов ангиотензина I и II. Белок экспрессируется в печени и расщепляется под действием ренина в ответ на снижение артериального давления. Полученный продукт, ангиотензин I, затем расщепляется при участии ангиотензин-

превращающего фермента для получения физиологически активного фермента ангиотензина II. Ангиотензиноген участвует в поддержании кровяного давления в патогенезе гипертонической болезни и преэклампсии.

К наиболее важным мутациям в данном гене относятся точечные нуклеотидные полиморфизмы, которые приводят к аминокислотным заменам в 174 и 235 кодонах гена – Thr174Met (rs4762) и Met235Thr (rs699) соответственно. В результате этих замен происходит изменение концентрации ангиотензиногена в плазме крови. При выполнении интенсивных физических нагрузок возможно развитие гипертрофии левого желудочка.

Рецепторы, активирующие пролиферацию пероксисом (PPARs) – семейство ядерных рецепторов, принадлежащее к суперсемейству стероидных рецепторов [2, 3, 5, 6]. Играют важную роль в регуляции процессов энергообеспечения спортсменов, обеспечивают взаимодействие нервных, гуморальных и энергетических процессов при изменении факторов внешней среды или параметров гомеостаза. Диапазон биологических функций PPARs очень широк. PPARs регулируют экспрессию генов, участвующих в процессе стероидогенеза, ангиогенеза, ремоделирования тканей, регуляции клеточного цикла, апоптоза и метаболизма липидов и углеводов. Так, ген PPARA локализован на 22-й хромосоме в локусе q13.31 и экспрессируется в тех тканях, где происходит усиленный обмен жиров, а именно в мышцах, печени, сердце и буром жире. PPARA выступают в качестве активаторов окисления жирных кислот. Экспрессия PPARA контролируется стрессорными воздействиями, глюкокортикоидами, инсулином. Он активируется также жирными кислотами, эйкозаноидами, карбапростациклином, нестероидными противовоспалительными препаратами и лейкотриеном В. Основная функция белка PPARA – регуляция обмена липидов, глюкозы и энергетического гомеостаза, а также веса тела посредством регуляции экспрессии генов, вовлеченных в пероксисомное и митохондриальное окисление. PPARA регулирует гены, ответственные за метаболизм жирных кислот, и опосредует ба-

ланс между клеточными жирными кислотами и метаболизмом глюкозы, особенно при метаболическом или физиологическом стрессе. При физических нагрузках аэробного характера происходит увеличение утилизации жирных кислот за счет повышения экспрессии гена PPARA и каскада регулируемых им генов, что в итоге улучшает окислительную способность скелетных мышц. Известно, что при низкой экспрессии гена PPARA способность тканей к эффективному β -окислению жирных кислот падает и метаболизм тканей переключается на гликолитический способ получения энергии. Среди исследованных полиморфизмов PPARA можно выделить G/C полиморфизм седьмого интрона G2528C. Распространенность аллеля С в европейской популяции составляет 20%. Такая замена гуанина на цитозин ведет к снижению экспрессии гена PPARA, вследствие чего нарушается регуляция липидного и углеводного обменов. Ген PPARC [2, 5] локализован на 6-й хромосоме в локусе 6p21.1-p21.2 и активно экспрессируется в жировой ткани и в медленных мышечных волокнах скелетных мышц. Продукт гена – белок PPARC – регулирует экспрессию генов, вовлеченных в окисление жирных кислот и обмен холестерина, является важным фактором чувствительности к инсулину. Генами-мишенями транскрипционного фактора PPARC в мышечной ткани являются гены окислительного метаболизма, гены митохондриального дыхания и термогенеза, гены, определяющие функции медленных мышечных волокон (миоглобина, тропонина I медленного типа), гены транспорта и окисления жирных кислот в миокарде, бурой и белой жировых тканях. Среди аллельных вариантов гена PPARC наибольший интерес представляет полиморфизм T294C нетранслируемой части четвертого экзона. Частота аллеля С в европейской популяции составляет 21,7%. Транскрипционная активность мутантного аллеля С на 39% выше, чем у аллеля Т. Кроме того, замена нуклеотида Т на С приводит к образованию нового сайта связывания с транскрипционными факторами, усиливающего экспрессию PPARC. Показано, что наличие аллеля С гена PPARC

способствует большему катаболизму жиров и в определенной степени снижает риск развития ожирения. У гомозигот *CC* наблюдается повышенный уровень липопротеинов низкой плотности и пониженный уровень липопротеинов высокой плотности в крови.

Белки, кодируемые этими генами, являются транскрипционными коактиваторами, которые регулируют гены, участвующие в энергетическом обмене. Они взаимодействуют с *PPARG*, что обеспечивает функционирование *PPARG* как фактора транскрипции. *PPARGC1A* взаимодействует и регулирует деятельность цАМФ-зависимого транскрипционного фактора (*CREB*) и ядерных дыхательных факторов. Это обеспечивает прямую связь между внешними физиологическими стимулами и регуляцией митохондриального биогенеза и является основным механизмом, который регулирует дифференцировку мышечных волокон. *PPARGC1A* также участвует в контроле артериального давления, регулирует клеточный обмен холестерина, а также развитие ожирения.

PPARGC1B стимулирует активность факторов транскрипции и ядерных рецепторов, в том числе эстрогенового рецептора альфа, ядерного респираторного фактора 1 и глюкокортикоидных рецепторов. Кодируемый белок может быть вовлечен в окисления жиров, неокислительный метаболизм глюкозы, а также регулирование расхода энергии и развитие преддиабета и сахарного диабета 2-го типа. Некоторые аллельные вариации этого гена увеличивают риск развития ожирения.

Психологический профиль личности (темперамент, характер, способности, подвижность нервной системы, мотивы и потребности) определяется типологическими особенностями нервной системы. Согласно психологическим исследованиям, реакции людей на те или иные факторы среды на 30-40% определяются генами. Гены влияют на стрессоустойчивость человека. Личностные качества (черты характера, настроение, психическое состояние) определяются и регулируются белками – нейромедиаторами, участвующими в передаче нервных сигналов в головном мозге, и контролируют протекание в нем раз-

личных процессов. Генетическая реализация эффектов нейромедиаторов происходит за счет кодируемых генами соответствующих белков: ферментов синтеза, обратного транспорта, разрушения и рецепторной передачи сигнала.

Серотонин – один из наиболее важных нейромедиаторов, метаболизм которого играет важную роль в формировании и проявлении симптомов психических расстройств [2, 7, 8]. Разнообразные фармакологические данные показывают, что серотонин участвует в регуляции эмоционального поведения, включая повышенную агрессивность и устойчивость к стрессу [9].

Ген *5HT2A* (5-hydroxytryptamine (serotonin) receptor 2A) кодирует один из наиболее чувствительных рецепторов серотонина, и эта чувствительность повышается при различных психических расстройствах. *5HT2A* рецепторы играют важную роль в контроле аппетита, терморегуляции и сна, контролируют выработку альдостерона, а также, наряду с другими *5-HT* рецепторами, принимают участие в деятельности сердечно-сосудистой системы и мышечном сокращении. В частности, рецепторы участвуют в сокращении эндотелия сосудов, мышц трахеи и бронхоспазме. Активация *5HT2A* рецепторов оказывает мощное противовоспалительное действие. Полиморфизм *C102T* является одним из наиболее значимых для исследования: *T*-аллель ассоциирует с повышенной экспрессией гена и, соответственно, с повышенной агрессивной, импульсивностью, высокой скоростью развития усталости при физических нагрузках, а также сниженной психологической адаптацией к нагрузкам.

Ген *5HTT* кодирует белок-переносчик серотонина. В нейронах *5HTT* обеспечивает улавливание выбросов серотонина, кроме того, он является фармакологической мишенью селективных ингибиторов обратного захвата серотонина, которые в основном используются в качестве антидепрессантов. Физиологически значим полиморфизм в промоторе гена, характеризующийся инсерцией или делецией 44 пар оснований. При коротком аллеле (*S*) транспортер серотонина меньше

транскрибируется и, соответственно, слабо представлен на пресинаптической мембране, чем при длинном (L). Носители S-аллелей в условиях интенсивных физических и психических нагрузок характеризуются более высокими скоростями простой и сложной реакции, но меньшей устойчивостью. Установлено, что уровень раздражительности и общего пессимизма у спортсменок-носителей SS-генотипа ниже, чем у спортсменок с LS и LL генотипами [14]. Показана связь между SS генотипом и способностью ориентироваться во времени, а также развитием посттравматического стрессового расстройства [15].

В исследовании приняли участие 3 группы субъектов:

1 – контрольная группа (215), включающая в себя людей, не занимающихся профессионально спортом, ведущих умеренный в отношении физических нагрузок образ жизни и не страдающих тяжелыми или хроническими заболеваниями;

2 – группа спортсменов-гребцов (215) высокой квалификации (КМС – 54, МС – 102, МСМК – 59);

3 – группа спортсменов-пловцов (127) высокой квалификации (КМС – 114, МС – 13).

Отбору биологического материала для последующего исследования и анализа предшествовала процедура информирования на предмет исследования и подписания письменного информированного согласия на участие.

Типирование полиморфизма I/D гена ACE, Thr174Met гена AGT, G2528C гена PPARA, Gly482Ser гена PPARGC1A, +294T/C гена PPARD, C102T гена 5HT2A, L/S гена 5HTT проводилось с помощью метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) с последующей обработкой амплификата эндонуклеазами рестрикции (NlaIII, TaqI, MspI, BslI). Визуализация результатов генотипирования осуществлялась с использованием УФ-трансиллюминатора системы гельдокументирования (Vilber laurmat, Франция). Фрагменты ДНК и ДНК-маркера проявлялись в виде светящихся полос при облучении геля УФ-лампой. Наличие амплифицированных фрагментов, а также их размер верифицировались по ДНК-маркеру.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Statistica 8.0, а все необходимые промежуточные расчеты выполняли с помощью программы Microsoft Office Excel 2007. Распределение частот генотипов в обследованных группах анализировали с использованием точного критерия Фишера. Различия считались статистически достоверными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования проведено молекулярно-генетическое тестирование в контрольной группе. В этой группе чаще установлено носительство аллеля D (62.56%) и генотипа DD (43.26%) гена ACE, аллеля Thr (81.16%) и генотипа ThrThr (64.19%) гена AGT, аллеля G (80.23%) и генотипа GG (61.86%) гена PPARA, аллеля T (70.70%) и генотипа TT (49.77%) гена PPARD, аллеля Gly (65.12%) и генотипа GlySer (52.09%) гена PPARGC1A, аллеля S (61.40%) и генотипа SS (45.12%) гена 5HTT, аллеля T (56.28%) и генотипа CT (68.84%) гена 5HT2A. Такое распределение генотипов и аллелей является характерным в целом для европеоидных популяций (электронные базы данных: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/variation/tools/1000genomes>, <http://www.genecards.org>, <http://opensnp.org>). Высокая степень гетерозиготности по анализируемым генам позволяет рассматривать их как наиболее перспективные для последующего анализа ассоциаций со спортивной успешностью.

Далее проведено сравнение генетического статуса контрольной группы и группы спортсменов-гребцов. В результате статистической обработки установлено значительное различие в распределении генотипов и аллелей. Так, в группе спортсменов статистически чаще встречались: генотип TT (69.77% против 49.77% в контрольной группе, $\chi^2=18.45$ $p<0.05$) и аллель T (83.02% против 70.70% в контрольной группе, $\chi^2=18.37$ $p<0.05$) гена PPARD; генотипы GlySer и SerSer (74.42% и 12.09% против 52.09% и 8.84% в контрольной группе, $\chi^2=36.33$ $p<0.05$) и аллель Ser (49.30% против 34.88%

в контрольной группе, $\chi^2=18.34$ $p<0.05$) гена PPARGC1A; генотип SS (48.84% против 45.12% в контрольной группе, $\chi^2=6.87$ $p<0.05$) гена 5HTT; генотип TT (29.77% против 21.86% в контрольной группе, $\chi^2=6.11$ $p<0.05$) гена 5HT2A.

Несмотря на то что существенных различий в распределении частот генотипов и аллелей полиморфных систем ACE, AGT и PPARG не установлено, исключать их из дальнейших исследований нецелесообразно, т.к. взаимосвязи и взаимовлияния аллелей нашего генома изучены недостаточно. Кроме того, помимо генетических маркеров, ассоциированных с проявлением таких необходимых качеств, как скорость, сила, выносливость, можно идентифицировать аллели, ассоциированные с развитием профессиональных патологий спортсменов [12]. Наличие таких аллелей напрямую связано с прекращением роста спортивных результатов и развитием различных патологических состояний, вплоть до внезапной сердечной смерти в результате нарушений деятельности сердечно-сосудистой системы. Учитывая выявленные различия в распределении генотипов и аллелей рассмотренных генов, а также существенную полиморфную изменчивость генов, вовлеченных в эффективную работоспособность во время физической нагрузки, предполагается в состав панели генетических маркеров, предопределяющих успешность в гребном спорте, включить следующие полиморфные системы: I/D гена ACE, Met174Thr гена AGT, гена Ser482Gly гена PPARGC1A, +294T/C гена PPARG, G2027C гена PPARG, S/L гена 5HTT, T102C гена 5HT2A.

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 также циклической деятельностью

(пловцы). В результате статистической обработки установлены значительные различия в распределении генотипов и аллелей. Так, в группе спортсменов статистически чаще встречались: генотипы GlySer (74.42% против 52.76% в группе пловцов, $\chi^2=24.54$ $p<0.01$) и равноценно аллели Ser (49.30% против 37.40% в группе пловцов, $\chi^2=9.14$ $p<0.01$) гена PPARGC1A; генотип SS (48.84% против 32.28% в группе пловцов, $\chi^2=6.87$ $p<0.05$) и аллель S (59.77% против 44.09% в группе пловцов, $\chi^2=9.14$ $p<0.01$) гена 5HTT; генотип CT (65.58% против 37.00% в группе пловцов, $\chi^2=99.13$ $p<0.01$) гена 5HT2A.

Морфологические характеристики человека также накладывают определенный отпечаток на вероятность успешности при занятиях различными видами спорта. К наиболее высоко наследуемым признакам можно отнести продольные размеры тела и, соответственно, структуру костной ткани. Так, гребля – единственный вид спорта на выносливость, в котором масса тела действительно является преимуществом. Крупные гребцы обладают большой мышечной массой, с помощью которой прикладывают усилия к веслам, которые, в свою очередь, прикладывают усилие к воде, продвигая лодку вперед. Преобладание аллеля Ser гена PPARGC1A и аллеля D гена ACE в группе спортсменов-гребцов предeterminирует остеогенез благодаря снижению ингибирующего кооперативного действия комплекса белков PPAR γ -PPARGC1 α на процесс образования костной ткани и увеличение объема мышечной ткани, а также физических характеристик, что обуславливает развитие персональных особенностей спортсмена и степень их разнообразия. В то же время плавание – неестественная для человека деятельность. Поэтому неудивительно, что тело типичного элитного пловца имеет некоторые необычные особенности: вытянутые торс и руки, которые позволяют им эффективно скользить сквозь воду и делать длинные гребки. У пловцов больше жировой массы, чем у других спортсменов на выносливость, что обусловлено носительством генотипа GlyGly и аллеля Gly гена PPARGC1A. В настоящее время показана связь между полиморфизмами более 240 генов и предраспо-

ложенностью к выполнению определенного типа мышечной деятельности. В то же время показано, что достаточно тестировать 11-15 главных «спортивных» генов, существенно влияющих на результативность спортсмена в конкретном виде спорта [16]. Так, например, установлено, что оценка частотного распределения по генам PPARA, PPARGC1A и TFAM является обязательным условием для подтверждения склонности к преобладанию аэробного метаболизма среди профессиональных единоборцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность подготовки спортсменов топ-уровня определяется не только организацией тренировочного процесса. Более того, стратегия увеличения интенсивности тренировочных нагрузок для совершенствования их технической и физической подготовки в настоящее время практически исчерпала себя и требует поиска и развития знаний об индивидуальных пределах физических и резервных возможностей атлета, т.е. его генетически преддетерминированных качествах. На наш взгляд, выход из этой ситуации представляется в ориентации на параметры и показатели с высокой степенью наследственной детерминированности, обладающие стабильностью индивидуальных рангов развития и не подчиняющиеся в целом организованному воздействию в процессе тренировки. Совершенно очевидно, что все человеческие признаки и качества – результат взаимодействия между уникальным генотипом и стимулами внешней среды [3, 10]. На сегодняшний день основным является вопрос о том, какой генетический профиль вносит вклад в статус элитного спортсмена [3, 11]. Так, по данным некоторых исследователей [12], 66% разнообразия статуса спортсмена зависит от генети-

ческих факторов и только 34% определяются средовыми воздействиями.

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.

В целях снижения риска развития функциональных нарушений в работе сердечно-сосудистой системы у квалифицированных спортсменов в условиях интенсивных физических нагрузок для донозологической диагностики может быть использован спектр следующих систем: I/D гена ACE, Thr174Met гена AGT, G2528C гена PPARA, Gly482Ser гена PPARGC1A, +294T/C гена PPARD, выявляющий также прогностические неблагоприятные факторы наследственной предрасположенности к нарушениям липидного обмена, риска развития профессиональных патологий.

Использование генетических подходов для анализа функций организма, их адаптационного потенциала позволит понять закономерности функционирования организма в целом и его отдельных систем; дополнить и расширить фундаментальные знания по теории адаптации, углубить представление о роли полиморфизмов генов в развитии функциональных возможностей кардиореспираторной системы спортсменов в процессе систематических спортивных нагрузок, позволит приблизиться к раскрытию механизмов индивидуальной адаптации, получить теоретическое обоснование дифференцированного подбора объема спортивных физических нагрузок для квалифицированных спортсменов с использованием физиологических и генетических подходов к анализу кардиореспираторной функции организма.

ЛИТЕРАТУРА

- Ахметов, И. И. Молекулярная генетика спорта : монография / И. И. Ахметов. – М. : Советский спорт, 2009. – 268 с.
- Безуглая, В. Перенапряжение сердечно-сосудистой системы у спортсменов: причины, проявления, диагностика, профилактика / В. Безуглая // Наука в олимпийском спорте. – 2016. – № 1. – С. 33-39.
- Каллаур, Е. Г. Оценка генотипа и функционального состояния спортсменов при отборе в греблю на байдарках и каноэ : монография / Е. Г. Каллаур, В. В. Шанторович; Министерство образования Республики Беларусь, Мозыр. гос. пед. ун-т. – Мозырь : МГПУ, 2014. – 76 с.
- Квашук, П. В. Классификация средств и методов развития специальной выносливости гребцов на

- байдарках и каноэ / П. В. Квашук, В.Ф. Каверин, С. В. Верлин, И. Н. Маслова // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2013. – № 10 (104). – С. 86-90.
5. Кручинский, Н. Г. Генетические маркеры успешности спортивной деятельности как элемент программы генетического мониторинга по определению профиля спортивной деятельности и индивидуализации тренировочного процесса спортсменов / Н. Г. Кручинский [и др.] // Инновационные технологии в подготовке спортсменов : материалы 3-й научно-практической конференции // Электронная книга в формате PDF. – М. : ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта, 2015. – С. 40-43.
 6. Лебедь, Т. Л. Молекулярно-генетическое типирование полиморфизмов: генетический прогноз антропометрических характеристик спортсменов-гребцов : методические рекомендации / Т. Л. Лебедь, С. Б. Мельнов. – Пинск : ПолесГУ, 2016. – 25 с.
 7. Маринич, В. В. Оценка состояния здоровья спортсменов-подростков: психогенетические аспекты / В. В. Маринич, Н. В. Шепелевич, Т. В. Маринич // Воронцовские чтения. Санкт-Петербург – 2019 : сборник материалов XII Российской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 28 февраля-2 марта 2019 / Санкт-Петербургское региональное отделение общественной организации «Союз педиатров России»; научные редакторы: Е. М. Булатова, И. А. Кельмансон. – СПб. : ИТЦ «Символ», 2019. – С. 38-41.
 8. Моссе, И. Б. Генетика спорта: вчера, сегодня, завтра // Труды БГУ. – 2012. – Т. 7, ч. 1. – С. 56-68.
 9. Шепелевич, Н. В. Особенности генетического профиля выносливости у спортсменов-гребцов / Н. В. Шепелевич, Т. Л. Лебедь, С. Б. Мельнов // Экологический вестник. – 2013. – № 4 (26). – С. 20-24.
 10. Adayev T., Ranasinghe B., Banerjee P. Transmembrane signaling in the brain by serotonin, a key regulator of physiology and emotion // Biosci. Rep. – 2005. – Vol. 25. – P. 363-385.
 11. 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.
 12. Jacob, Y. The Potential Role of Genetic Markers in Talent Identification and Athlete Assessment in Elite Sport / Y. Jacob [et al.] // Sports. – 2018. – Vol. 6 (3). – Abstract-ID: 6030088.
 13. Maliuchenko N., Sysoeva O., Vediakov A. Effect of 5HTT genetic polymorphism on aggression in athletes // Zh Vyssh Nerv Deiat Im I. P. Pavlova. – 2007. – Vol. 57 (3). – P. 276-281.
 14. Marinich, V. V. Genetic and phenotypic markers for successful athletic performance forecast / V. V. Marinich // Pedagogy and Psychology of Sport. – 2018. – Vol. 4, N 2. – P. 85-94.
 15. Wisloff, U. Cardiovascular risk factors emerge after artificial selection for low aerobic capacity / U. Wisloff, S. M. Najjar, O. Ellingsen [et al.]. // Sci. – 2005. – Vol. 307. – P. 418-420.
 16. Yevdaliuk, S. V. Development of the Athletes recruiting system in cyclic sports based on individual morphofunctional and genetics parameters / S. V. Yevdaliuk [et al.] // 20-th Annual Congress of the ECSS, Malmo – Sweden 24-27 June 2015. – Book of Abstracts. – Abstract-ID: 1259.
- book in PDF format. – М. : Moskomspor GKU "TSS-TiSK", 2015. – P. 40-43.
1. Akhmetov, I. I. Molecular genetics of sports : monograph / I. I. Akhmetov. – М. : Soviet Sport [Sovetskii sport], 2009. – 268 p.
 2. Bezuglaia, V. Overexertion of the cardiovascular system in athletes: causes, manifestations, diagnostics, prevention / V. Bezuglaia // Science in Olympic Sports [Nauka v Olimpijskom sporte]. – 2016. – N 1. – P. 33-39.
 3. Kallaur, E. G. Assessment of the genotype and functional state of athletes during selection in rowing and kayaking : monograph / E. G. Kallaur, V. V. Shantorovich; Ministry of Education of the Republic of Belarus, Mozyr State Ped. Univ [Ministerstvo obrazovaniia Respubliki Belarus, Mozyr. Gos. Ped. un-t]. – Mozyr : MGPU, 2014. – 76 p.
 4. Kvashuk, P. V. Classification of means and methods for the development of special endurance of rowers and kayakers / P. V. Kvashuk, V. F. Kaverin, S. V. Verlin, I. N. Maslova // Academic notes of the P.F. Lesgaft University [Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta]. – 2013. – N 10 (104). – P. 86-90.
 5. Kruchinskii, N. G. Genetic markers of the successful sport performance as an element of the genetic monitoring program for the identification of sport profiles and individualization of the training process of athletes / N. G. Kruchinskii [et al.] // Proceedings of the 3rd Conference on Science and Practice "Innovative technologies in training athletes" [Innovatsionnye tekhnologii v podgotovke sportsmenov : materialy 3-i nauchno-prakticheskoi konferentsii] // Electronic
 6. Lebed, T. L. Molecular genetic typing of polymorphisms: a genetic forecast of the anthropometric characteristics of rowers: guidelines / T. L. Lebed, S. B. Melnov. – Pinsk : PolesGU, 2016. – 25 p.
 7. Marinich, V. V. Assessment of the health status of adolescent athletes: psychogenetic aspects / V. V. Marinich, N. V. Shepelevich, T. V. Marinich // Vorontsov readings. St. Petersburg – 2019: proceedings of the XII Russian Conference on Science and Practice with International Participation, St. Petersburg, February 28-March 2, 2019 [Vorontsovskie chteniia. Sankt-Peterburg – 2019 : sbornik materialov XII Rossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Sankt-Peterburg, 28 fevralia – 2 marta 2019] / St. Petersburg Regional Branch of the 'Pediatricians Union of Russia' public organization [Sankt-Peterburgskoe regionalnoe otdelenie obshchestvennoi organizatsii 'Soiuz pediatrov Rossii']; scientific editors: E. M. Bulatova, I. A. Kelmanson. – Spb. : ITTs "Symbol", 2019. – P. 38-41.
 8. Mosse, I. B. Sports genetics: yesterday, today, tomorrow // BSU papers [Trudy BGU]. – 2012. – V. 7, Part 1. – P. 56-68.
 9. Shepelevich, N. V. Features of the genetic profile of endurance in rowers / N. V. Shepelevich, T. L. Lebed, S. B. Melnov // Ecological Bulletin [Ekologicheskii vestnik]. – 2013. – N 4 (26). – P. 20-24.
 10. Adayev T., Ranasinghe B., Banerjee P. Transmembrane signaling in the brain by serotonin, a key regulator of

- physiology and emotion // *Biosci. Rep.* – 2005. – Vol. 25. – P. 363-385.
11. 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.
 12. Jacob, Y. The Potential Role of Genetic Markers in Talent Identification and Athlete Assessment in Elite Sport / Y. Jacob [et al.] // *Sports.* – 2018. – Vol. 6 (3). – Abstract-ID: 6030088.
 13. Maliuchenko N., Sysoeva O., VEDIKOV A. Effect of 5HTT genetic polymorphism on aggression in athletes // *Zh Vyssh Nerv Deiat Im I. P. Pavlova.* – 2007. – Vol. 57 (3). – P. 276-281.
 14. Marinich, V.V. Genetic and phenotypic markers for successful athletic performance forecast / V.V. Marinich // *Pedagogy and Psychology of Sport.* – 2018. – Vol 4, N 2. – P. 85-94.
 15. Wisloff, U. Cardiovascular risk factors emerge after artificial selection for low aerobic capacity / U. Wisloff, S. M. Najjar, O. Ellingsen [et al.] // *Sci.* – 2005. – Vol. 307. – P. 418-420.
 16. Yevdaliuk, S. V. Development of the Athletes recruiting system in cyclic sports based on individual morpho-functional and genetics parameters / S. V. Yevdaliuk [et al.] // 20-th Annual Congress of the ECSS, Malmo – Sweden 24–27 June 2015. – Book of Abstracts. – Abstract-ID: 1259.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Мельнов Сергей Борисович – доктор биологических наук, профессор, Белорусский государственный университет физической культуры; 220020, г. Минск, пр-т Победителей, 105; e-mail: sbmelnov@gmail.com; ORCID: 0000-0002-9820-4188.

Лебедь Татьяна Леонидовна – заведующий лабораторией лонгитудинальных исследований, Полесский государственный университет; 225710, г. Пинск, ул. Днепровской флотилии, 23; e-mail: hlebus@mail.ru; ORCID: 0000-0002-7505-7832.

Комар Елена Брониславовна – кандидат биологических наук, заведующий кафедрой анатомии, Белорусский государственный университет физической культуры; 220020, г. Минск, пр-т Победителей, 105; e-mail: elen555@tut.by; ORCID: 0000-0002-5502-7222.

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

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.* – 2020. – Т. 8, № 2. – С. 67-76. DOI: 10.36028/2308-8826-2020-8-2-67-76

FOR CITATION

Melnov S.B., Lebed T.L., Komar E.B. Molecular genetic aspects of successful performance in cyclic sports. *Science and sport: current trends*, 2020, vol. 8, no. 2, pp. 67-76 (in Russ.) DOI: 10.36028/2308-8826-2020-8-2-67-76