

На правах рукописи



Бойков Василий Леонидович

**Комплексная характеристика автономной регуляции
сердечного ритма, гематологического и биохимического
профиля у пловцов высокой квалификации**

03.03.01 – Физиология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Ярославль – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского»

**Научный
руководитель:**

- | |
|---|
| 1. Викулов Александр Демьянович, доктор биологических наук, профессор |
| 2. Мельников Андрей Александрович, доктор биологических наук, профессор |

**Официальные
оппоненты:**

Корягина Юлия Владиславовна,
доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», руководитель центра медико-биологических технологий.

Федорова Елена Юрьевна,
доктор биологических наук, доцент, Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования города Москвы "Московский городской педагогический университет", профессор кафедры адаптологии и спортивной подготовки.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградская государственная академия физической культуры» Министерства спорта Российской Федерации.

Защита диссертации состоится 22 декабря 2021 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 004.038.01 в Институте физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» по адресу 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, д. 50, nivarlam@physiol.komisc.ru
С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института физиологии Коми НЦ УрО РАН и на сайте <http://www.physiol.komisc.ru/>

Автореферат разослан «_____» _____ 2021 года

Ученый секретарь диссертационного совета



Варламова Н.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТ

Актуальность исследования. Проблема адаптации организма человека к интенсивным физическим нагрузкам является одной из наиболее актуальных в физиологии и медицине (Меерсон и др., 1978; 1988). Это обусловлено важным значением физической активности в сохранении здоровья и долголетия (Chodzko-Zajko et al., 2009; Hills et al., 2015), а также интенсивным развитием спорта высших достижений, где идёт непрерывный поиск эффективных методов повышения спортивных результатов.

Напряжённая мышечная деятельность сопровождается значительными биохимическими и гематологическими изменениями (Макарова и др., 2006; Walsh et al., 2011), направленными на обеспечение гомеостаза организма и высокой мышечной активности (Карпман и др., 1988). Несмотря на многочисленные исследования системы красных клеток, биохимических параметров крови у спортсменов и в ходе экспериментальных тренировочных программ, многие особенности остаются недостаточно изученными и привлекают большое внимание учёных и в настоящее время (Рыбина и др., 2017; Montero, Lundby, 2018; Nader et al., 2019; Zelenkova et al., 2019).

Интерес и актуальность изучения гематологических показателей у спортсменов обусловлены их высокой информативностью для: 1) оценки базального и текущего функционального состояния спортсменов, степени утомления и готовности к напряжённым соревновательным нагрузкам; 2) оценки состояния здоровья и развития скрытых нарушений разных систем организма; 3) диагностики злоупотребления запрещёнными веществами, стимулирующими работоспособность и восстановление (Рыбина и др., 2017; Walsh et al., 2011; Nowakowska et al., 2019). Однако направленность гематологических сдвигов у спортсменов разной квалификации остаётся полностью не изученной.

Степень разработанности темы исследования. Исследования системы крови при спортивной тренировке показывают, что концентрация эритроцитов (RBC), гематокрит (Ht)

и концентрация гемоглобина (Hb) у элитных спортсменов могут снижаться (Banfi e.a., 2000; Boyadejiev and Taralov, 2000; Mairbäurl, 2013), не изменяться и даже увеличиваться (Vergouwen e.a., 1999; Макарова и др., 2005; Zelenkova et al., 2019). Результаты изучения белой крови и биохимических показателей плазмы также не однозначны (Walsh e.a., 2011; Kohrt et al., 2018). Противоречивость данных о состоянии системы крови разных авторов обусловлена как особенностями дизайнов исследований: ограниченностью изучаемых показателей крови и недостаточным числом испытуемых, различной точностью и воспроизводимостью используемых биохимических методов, – так и сложностью взаимосвязей физиологических процессов, а также изменчивостью и динамикой функционального состояния.

Анализ литературы показывает, что для полного понимания механизмов изменений, развивающихся при долговременной адаптации, а также для выяснения их физиологического значения необходимо применять комплексный подход с привлечением широкого спектра гематологических, биохимических и общеорганизменных функциональных показателей. Таких комплексных работ, выполненных на высококвалифицированных спортсменах, в настоящее время немного, что и побудило нас к проведению настоящего исследования.

Цель исследования: изучить функциональное состояние, гематологические и биохимические параметры крови у спортсменов элитной квалификации.

Для достижения цели решались **следующие задачи:**

1. Охарактеризовать текущее функциональное состояние элитных пловцов на основе общей работоспособности, автономной регуляции ритма сердца и кардиогемодинамики.

2. Выявить особенности текущего состояния гематологических показателей, а также их взаимосвязь с показателями функционального состояния у спортсменов-пловцов элитной квалификации в конце подготовительного периода тренировочного процесса.

3. Изучить биохимический состав плазмы (ионный, белково-липидный и гормональный профили), а также его взаимосвязь с текущими гематологическими и функциональными показателями у высококвалифицированных пловцов.

4. Исследовать реакцию размера эритроцитов и ретикулоцитов на специфическую нагрузку у элитных пловцов.

Научная новизна исследования. Впервые проведен комплексный анализ гематологических и биохимических параметров крови, а также состояния автономной регуляции ритма сердца у пловцов высокой и элитной квалификации. Показано, что элитные спортсмены в конце подготовительного периода тренировочного процесса находятся в состоянии неполного восстановления гематологических и биохимических параметров, а также сниженного тонуса сердечного вагуса.

Гематологические параметры в состоянии покоя у элитных пловцов характеризуются умеренной гемоконцентрацией, преобладанием в крови молодых форм эритроцитов при снижении среднего объема эритроцитов. Уменьшение среднего объема эритроцитов у спортсменов ассоциируется с повышенными уровнями осмолярности, мочевины, общего и ионизированного кальция.

Выявлены новые биохимические особенности элитных спортсменов: сниженные уровни скорости оседания эритроцитов, фибриногена, триглицеридов, иммуноглобулинов и глюкозы, общих лейкоцитов, но повышенные уровни холестерина липопротеинов высокой плотности; которые указывают на позитивное для метаболических процессов понижение провоспалительной активности.

Получены новые данные о влиянии максимальной специфической нагрузки на диаметр эритроцитов и ретикулоцитоз. Проплывание соревновательной дистанции 1500 м вызвало прирост концентрации ретикулоцитов за счёт незрелых форм, увеличение доли макроцитов и снижение количества микроцитов. Величина среднего диаметра эритроцитов положительно коррелировала со спортивными результатами пловцов.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные результаты углубляют и расширяют представления об адаптационных изменениях гематологических, биохимических параметров и автономной регуляции ритма сердца у спортсменов элитной квалификации. Новые данные помогают расшифровать недостаточно изученные функциональные состояния, связанные со спортивной деятельностью: «пик спортивной формы», «перетренировка» и «спортивная иммунодепрессия».

Полученные на элитных спортсменах-пловцах данные могут быть использованы для коррекции нормативных величин гематологического и биохимического профилей во учебно-педагогическом контроле за спортсменами.

Научные выводы и положения могут быть внедрены в процесс преподавания ряда учебных дисциплин медико-биологического профиля в ВУЗах и СУЗах (физиология спорта и мышечной деятельности, спортивная медицина), а также использованы для разработки специальных курсов и учебных пособий в системе повышения квалификации тренеров.

Накопленный практический опыт может использоваться для проведения новых экспериментальных исследований по проблеме адаптации крови к физическим нагрузкам.

Методология и методы исследования. Комплексный анализ гематологических ($n=11$), биохимических ($n=30$) параметров крови и функционального состояния ($n=18$) спортсменов проведён в одномоментном слепом поперечно-срезовом исследовании. Реакцию морфологических показателей эритроцитов на специфическую нагрузку изучали в рамках лонгитудинального исследования. Использованы автоматизированные лабораторные методы, сертифицированные приборы и реактивы, а также статистические методы в лицензионной программе Statistica v6.1.

Положения, выносимые на защиту:

1. Текущее функциональное состояние элитных пловцов в конце подготовительного периода тренировочного процесса по сравнению с неспортсменами характеризуется неполным

восстановлением гематологических (уровни гематокрита, гемоглобина и концентрация эритроцитов были повышены) и биохимических параметров крови (уровни кортизола, осмолярности, ионов натрия и калия, мочевины и ионизированного кальция были повышены).

2. Неполное восстановление гематологических и биохимических параметров крови ассоциируется с отменой типичного для спортсменов высокого тонуса вагуса по сравнению с неспортсменами и относительным доминированием симпатических влияний на сердечный ритм.

3. Отличительной характеристикой текущего функционального состояния элитных спортсменов является снижение биохимических маркеров воспалительной активности: уровней скорости оседания эритроцитов, общих лейкоцитов, фибриногена, триглицеридов, иммуноглобулинов и глюкозы.

4. Максимальная специфическая нагрузка вызывает выброс незрелых ретикулоцитов, увеличение количества эритроцитов-макроцитов и снижение уровня микроцитов в периферической крови спортсменов.

Внедрение. Полученные результаты внедрены в процесс преподавания дисциплины «Физиологическое обоснование тренировочного процесса», входящей в план обучения по направлению 44.04.01 Педагогическое образование, профилю «Технологии спортивной подготовки» в ФГБОУ ВО «Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского» (акт внедрения от 23.09.2019); в практику врачебного контроля ГБУЗ ЯО «Областной врачебно-физкультурный диспансер» (акт внедрения от 04.09.2019).

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность полученных результатов подтверждается объемом и корректностью формирования групп наблюдения, использованием современного научного оборудования, реактивов, методов гематологического и биохимического анализа крови, применением адекватных задачам методов статистики.

Результаты работы представлены на: Международных научно-практических конференциях ведущих тренеров по плаванию «Плавание. Исследования, тренировка, гидрореабилитация» (г. Санкт-Петербург, 2013, 2015, 2019); Всероссийских с международным участием научно-практических конференциях (Набережные Челны, 2014; Славянск, 2015; Краснодар, 2021 и других).

Апробация диссертации состоялась 26.03.2021 г. (протокол № 6) на заседании кафедры медико-биологических основ спорта ФГБОУ ВО «Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского».

Личное участие автора в получении результатов. Автор лично участвовал в: организации исследования; оценке функционального состояния обследуемых; определении кислотной резистентности и диаметра эритроцитов; концентрации ретикулоцитов; тестировании с максимальной специфической нагрузкой; в статистической обработке, анализе данных, подготовке диссертации и автореферата. Все публикации по теме диссертации подготовлены автором или при его непосредственном участии.

По материалам диссертации опубликовано 16 научных работ, из них 6 статей в журналах, включённых в список ВАК РФ и 1 статья в журнале базы Web of Science.

Соответствие паспорту научной специальности. Диссертация соответствует следующим областям паспорта специальности 03.03.01 – физиология, биологические науки:

3. Исследование закономерностей функционирования основных систем организма (нервной, иммунной, сенсорной, двигательной, дыхательной, крови, кровообращения, лимфообращения, дыхания, выделения, пищеварения, размножения, внутренней секреции и др.).

8. Изучение физиологических механизмов адаптации человека к различным географическим, экологическим, трудовым и социальным условиям.

Легитимность исследования. Протоколы исследований одобрены независимым локальным комитетом по биоэтике ФГБОУ ВО «ЯГПУ им. К.Д. Ушинского» (Протокол №12 от 25.12.2014).

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 159 страницах машинописного текста и состоит из: введения; обзора литературы; методология и методы исследования; результатов исследования; обсуждения результатов; заключения, выводов, практических рекомендаций списка литературы (322 источника, 70 – отечественные). Работа содержит 8 рисунков и 9 таблиц.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе проведён анализ научных источников, посвящённых изучению острых реакций и долговременных адаптационных изменений основных гематологических (RBC, Hb, Ht, лейкоцитов и других) и биохимических параметров (осмолярности, ионов плазмы, липопротеинов, фибриногена, иммуноглобулинов, гормонов и других), а также особенностей автономной регуляция сердца у спортсменов; вскрыты предполагаемые физиологические механизмы этих изменений.

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследуемые группы спортсменов

1) Спортсмены-пловцы на открытой воде наивысшей квалификации или элитные пловцы (Мастера спорта международного класса), члены сборной команды России, призеры Чемпионатов Мира, Европы (n=12, возраст: 20–26 лет).

2) Спортсмены-пловцы высокой квалификации (Кандидаты в Мастера спорта, MC) (n=26, возраст: 17–23 года. СДЮШОР № 4 г. Ярославль).

3) Контроль – здоровые студенты-добровольцы (n=37 возраст: 17–23 года) с нормальным уровнем физической активности.

Все обследования спортсменов проводились в конце подготовительного периода годичного цикла, характеризующегося

сочетанием нагрузок большого объёма и интенсивности (ноябрь-декабрь).

Оценка функционального состояния

Общую физическую работоспособность определяли с помощью ступенчато-возрастающего велоэргометрического (Ergometric 900, Германия) теста PWC170. Индекс PWC170 рассчитывался по формуле: $PWC170 = W1 + ((W2 - W1) * ((170 - ЧСС1) / (ЧСС2 - ЧСС1)))$, где W1 – нагрузка на предпоследней ступени; W2 – нагрузка на последней ступени; ЧСС1 – ЧСС на предпоследней ступени; ЧСС2 – ЧСС на последней ступени.

Тест со специфической максимальной нагрузкой. В данном тесте спортсмены проплывали с максимальной скоростью дистанцию 1500 м вольным стилем в бассейне. Взятие капиллярной крови из пальца для определения диаметра эритроцитов и концентрации ретикулоцитов разного класса зрелости (0-4 класс зрелости) проводилось до (за 10 мину) и сразу после финиша у элитных пловцов.

Кардиогемодинамика. Систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) артериальное давление регистрировали с помощью автоматического профессионального сфигмоманометра Omron 907 (Япония).

Автономная регуляция ритма сердца изучалась с помощью оценки вариабельности сердечного ритма (ВСР) во 2-ом стандартном отведении в течение 5 минут (10-14 минуты лежания) с соблюдением всех международных стандартов ("ВНС-Спектр" "НейроСофт" г. Иваново). Рассчитывались следующие показатели ВСР: ЧСС – частота сердечных сокращений (уд/мин); SDNN – стандартное отклонение всех NN интервалов (мс); ИН – индекс напряжения регуляторных систем по Баевскому Р.М. (Баевский, 1984). С помощью спектрального анализа (методом быстрых преобразований Фурье) определяли мощность высокочастотных в диапазоне 0,4-0,15 Гц (HF, мс² и %), низкочастотных в диапазоне 0,04-0,15 Гц, LF, в мс² и %) и очень низкочастотных в диапазоне <0,04 Гц (VLF, в мс² и %) колебаний RR, индекс LF/HF (отн. ед) и общую мощность спектра (TP, мс²).

Гематологические показатели

Гематологические и биохимические показатели определяли в венозной крови (20 мл), взятой из локтевой вены в условиях медицинского кабинета с соблюдением всех требований.

Гематологические показатели: Hb – концентрацию гемоглобина, RBC – концентрацию эритроцитов, Ht – гематокритный показатель, MCH – содержание Hb в эритроците, MCV – средний объем эритроцитов, MCHC – среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците, WBC – концентрацию лейкоцитов, концентрацию лимфоцитов, концентрацию нейтрофилов – определяли на гемоцитометре «BT 2100» (MWI, США).

СОЭ – скорость оседания эритроцитов определяли стандартным методом в капиллярах Панченкова за 1 час.

Кислотная резистентность эритроцитов – по времени гемолиза эритроцитов под влиянием 0,002 N соляной кислоты в модификации А.И. Воробьева (1960).

Концентрацию ретикулоцитов (в %) определяли с помощью микроскопии мазка крови, окрашенного раствором бриллиантового крезилового синего («Раствор БКС». ЗАО «ЭКОлаб»). Определяли концентрации ретикулоцитов, зрелых ретикулоцитов 3–4 классов и незрелых ретикулоцитов 0–2 классов.

Эритроцитометрию мазка окрашенной крови («Раствор БКС») проводили с помощью светового микроскопа, иммерсионного объектива и окулярмикрометра. Рассчитывали средний диаметр 100 эритроцитов, процентное содержание нормоцитов ($d=7-8$ мкм), микроцитов ($d<7$ мкм), макроцитов ($d>8$ мкм).

Биохимические показатели плазмы

Осмолярность плазмы определяли с помощью осмометра OM 801 фирмы Vogel (Германия). Уровень общего кальция (Ca) – колориметрическим методом. Уровень ионизированного кальция (Ca_i) в сыворотке определяли методом прямой потенциометрии с помощью анализатора Microlyte 3+2 («Kone», Германия). Концентрацию ионов калия (K⁺) и натрия (Na⁺) – с помощью

ионоселективных электродов Rodelkis (Hungary). Концентрацию магния и неорганического фосфора (наборы Lachema) определяли спектрофотометрически FP-901 Labsistems (Финляндия).

Концентрацию глюкозы определяли глюкозооксидазным методом, концентрацию общего белка сыворотки – биуретовым методом, концентрацию сывороточного железа – калориметрическим методом без депротеинизации; концентрацию мочевины – уреазным ферментативным методом; активности щелочной фосфатазы – кинетико-колориметрическим методом, аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы – ферментативным кинетическим методом с использованием программируемого ФЭК Clima Plus 1 RAL (Испания).

Концентрацию фибриногена плазмы определяли хронометрическим методом по А. Клаусса на коагулометре ACL-9000 (Instrumentation Laboratory) с использованием реактивов «Тех-Фибриноген-тест» (ООО «Технология стандарт», Россия).

Концентрацию общего холестерина (ОХ), холестерина липопротеинов высокой плотности (ХС-ЛПВП) и триглицеридов, иммуноглобулинов G (IgG), M (IgM), A (IgA) определяли на спектрофотометре FP-901 Labsistems (Финляндия) с использованием реактивов Human (Германия). По общепринятым формулам рассчитывали ХС-ЛПНП и индекс атерогенности липидов (Климов, Никульчева, 1999).

Концентрации тиреотропина, тироксина, паратиреоидного гормона, кортизола и тестостерона в сыворотке регистрировали иммуноферментным методом на анализаторе Boehringer Mannheim Immunodiagnosics ES 300 и реактивов Enzyme Immunological test in vitro (Boehringer Mannheim, Германия).

Статистическая обработка выполнена на персональном компьютере в программе Statistica v6.1 (лицензия 4RMJTQJ68). В группах рассчитывали: среднюю арифметическую (М), стандартное отклонение ($\pm\sigma$), а также медиану (Me) и 25% -75% перцентили для показателей ВСР. Нормальность распределения определена по критерию Шапиро-Уилки. Для выяснения значимости различий между группами по показателям ВСР использовали ранговый

однофакторный анализ Kruskal-Wallis. Достоверность различий между группами определена по t-критерию Стьюдента (при нормальном распределении) и критерию Манна-Уитни (при ненормальном распределении). Рассчитаны корреляции по Пирсону и ранговой корреляции по Спирмену - в случае ненормального распределения данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Функциональное состояние и автономная регуляция сердца у элитных пловцов. Функциональное состояние элитных пловцов характеризовалось общепринятыми в спортивной физиологии особенностями: высокой общей работоспособностью (индекс PWC170 у элитных пловцов был на 55,6%; $p < 0,01$ больше, чем в контроле), умеренной гипотонией (САД было ниже на -8,9%, $p < 0,05$, а ДАД – на -12,85%, $p < 0,01$) и брадикардией. Однако показатели ВСР указывали на относительное увеличение симпатических влияний на ритм сердца у элитных пловцов (Табл. 1).

Общая ВСР по показателям SDNN и TP, а также показатели симпато-вагусного баланса: %HF и LF/HF, у элитных пловцов не отличались от контроля. Однако SDNN ($p < 0,08$), TP ($p < 0,08$), %HF ($p < 0,01$) у элитных пловцов были меньше, а индекс LF/HF – больше ($p < 0,01$), чем у пловцов высокой квалификации. Это указывает на относительный сдвиг симпато-вагусного баланса в сторону роста симпатических влияний на ритм сердца у элитных пловцов по сравнению с менее квалифицированными пловцами, у которых парасимпатические индексы были выше (все $p < 0,01$), чем в контроле. Мы связываем такую «отмену» высокого вагусного влияния на сердце у элитных пловцов с напряженными психофизическими нагрузками в подготовительном периоде тренировочного процесса. Анализ литературы показывает, что на пике тренировочных нагрузок часто отмечается активация симпатической системы и снижение тонуса вагуса, которые

длительно удерживается даже в состоянии относительного покоя (Iellamo et al., 2002; Buchheit et al., 2004).

Таблица 1 - Показатели автономной регуляции ритма сердца у пловцов элитной и высокой квалификации (Me [25% - 75])

Показатели	Пловцы		Контроль	Anova K-W p<
	Элитный уровень	Высокий уровень		
ЧСС, уд/мин	54,4 [50,0-58,0] * #	58,0 [55,0-65,0] *	68,0 [66,5-74,0]	0,001
SDNN, мс	58,0 [53,0-68,0] ^	74,0 [56,0-95,0] *	51,0 [34,5-71,0]	0,01
TP, мс ²	3142 [2407-4272] ^	5230 [2512-7528] *	3013 [1187-5162]	0,05
VLF, %	47,3 [38,9-62,9] #	28,2 [19,5-40,7]	34,7 [24,5-48,9]	0,05
LF, %	24,8 [13,5-32,8]	20,1 [15,7-27,4] *	30,9 [24,9-34,6]	0,01
HF, %	26,9 [17,4-35,0] #	47,7 [40,4-62,2] *	28,6 [22,3-41,6]	0,01
LF/HF, отн. ед	1,12 [0,66-1,38] #	0,48 [0,32-0,64] *	1,04 [0,70-1,52]	0,001
Индекс напряжения, ед.	32,4 [27,7-38,7] *	27,4 [20,0-33,1] *	45,4 [26,7-65,4]	0,01

Примечание: Anova K-W - однофакторный анализ Kruskal-Wallis.

* - p<0,05 по сравнению с контролем, # / ^ - p<0,05 / 0,08 по сравнению с пловцами высокого уровня.

Гематологические показатели у пловцов элитной и высокой квалификации. Основными гематологическими особенностями у элитных пловцов были (Табл. 2): повышенные RBC (+12,5%, $p<0,01$), Hb (+10,2%, $p<0,01$), Ht (<1%, $p<0,05$), MCHC (+9.7%, $p<0,01$) при снижении MCV (-4.0%, $p<0,01$) и WBC (-17,4%, $p<0,01$).

Таблица 2 - Гематологические показатели у пловцов элитной и высокой квалификации ($M\pm\sigma$)

Показатели	Пловцы		Контроль
	Элитный уровень	Высокий уровень	
RBC, $10^{12}/л$	$5,68\pm0,23^{**}$	$5,32\pm0,18$	$5,05\pm0,26$
Hb, г/л	$162,75\pm8,96^{**}$	$150,60\pm9,65$	$147,67\pm9,93$
Ht, %	$46,15\pm1,47^{* \times}$	$45,72\pm0,26$	$46,04\pm0,41$
MCV, фл	$83,11\pm1,32^{**}$	$84,87\pm2,31^{*}$	$86,61\pm3,30$
MCH, пг	$28,65\pm0,72$	$29,44\pm1,74$	$29,29\pm1,60$
MCHC, г/л	$352,60\pm9,02^{**}$	$329,40\pm9,80^{*}$	$321,47\pm11,12$
WBC, $\cdot 10^9/л$	$5,28\pm0,49^{xx **}$	$6,23\pm0,94$	$6,39\pm1,13$
Нейтрофилы, %	$52,01\pm9,76$	$56,47\pm7,87$	$57,25\pm9,73$
Лимфоциты, %	$33,37\pm8,00$	$28,05\pm10,22^{*}$	$34,67\pm8,44$
СОЭ, мм/час	$3,7\pm1,2^{*}$	$3,9\pm1,2^{*}$	$4,9\pm1,1$
Кислотная резистентность, сек	$652\pm9^{**}$	$635\pm11^{**}$	587 ± 11

Примечание: *, ** - $p<0,05$; 0,01 относительно Контроль. $\times$; xx - $p<0,05$; 0,01 – между группами пловцов

У пловцов высокой квалификации уровни MCV (-2,0%, $p<0,05$) и лимфоцитов (-19%, $p<0,01$) были снижены, а MCHC – повышены (+2,5%, $p<0,05$). MCHC ($r=0,52$; $p<0,05$) и MCV ($r=-0,72$;

$p < 0,01$) коррелировали с индексом PWC170, а также с SDNN ($r = -0,81$; $p < 0,01$ для MCV и $r = 0,49$; $p < 0,05$ для MCHC). Схожие корреляции MCV ($r = 0,57$; $p < 0,05$), а также MCHC ($r = -0,61$; $p < 0,05$) отмечались с ИН.

Полученные результаты указывают на умеренную гемоконцентрацию у элитных пловцов. Мы полагаем, что данные гематологические особенности тесно связаны с текущим функциональным состоянием и обусловлены неполным восстановлением после напряжённого подготовительного периода. Известно, что у спортсменов с симптомами перетренировки часто отмечается отмена аутогемодилуции и умеренная гемоконцентрация (Brun et al., 2000; Aissa Benhaddad et al., 2002). Это предположение поддерживают также повышенные уровни LF/HF и биохимических маркеров утомления у элитных пловцов: осмолярности, натрия, калия, мочевины и кортизола (Табл. 3).

Важно отметить, что активация симпатической активности у элитных пловцов ассоциировалась с большими величинами MCV и низкими – MCHC, что указывает на возможную позитивную роль роста симпатической активности в активации эритропоэза (Fonseca et al., 2004).

Другими отличительными особенностями у пловцов обеих групп были сниженный MCV и повышенная MCHC, которые коррелировали с PWC170 ($r = -0,72$; $p < 0,01$ для MCV и $r = 0,52$; $p < 0,05$ для MCHC). Синхронность снижения MCV и повышения MCHC у пловцов при отсутствии различий по MCH указывают, что данные особенности обусловлены дегидратацией циркулирующих эритроцитов под влиянием плазменных биоактивных факторов, образующихся при интенсивных нагрузках.

Особенности биохимического профиля и его взаимосвязь с гематологическими показателями у пловцов элитной квалификации. Существенными особенностями биохимического профиля у элитных пловцов были повышенные уровни осмолярности, ионов Na^+ , K^+ , Ca , Ca_i и кортизола (Табл. 3), но, напротив, сниженные уровни фибриногена, глюкозы,

триглицеридов, неорганического фосфора, иммуноглобулинов IgM и IgA (Табл. 4).

Таблица 3 - Биохимические показатели плазмы у пловцов элитной квалификации ($M \pm \sigma$)

Показатели	Пловцы Элитный уровень	Контроль
Осмолярность, мосм/л	303,00±2,19**	298,00±3,74
Калий, ммол/л	4,87±0,12*	4,48±0,08
Натрий, ммол/л	142,7±1,0*	141,8±0,8
Сывороточное железо, мкмол/л	18,40±3,84	18,23±7,12
Активность аланинаминотрансферазы, ед/л	31,67±8,67*	34,58±6,80
Активность аспартатаминотрансферазы, ед/л	18,56±3,13*	21,90±4,99
Кальций общий, ммол/л	2,57±0,08**	2,40±0,03
Кальций ионизированный, ммол/л	1,17±0,04**	1,12±0,06
Магний, ммол/л	0,85±0,10	0,87±0,07
Неорганический фосфор, ммол/л	1,16±0,11**	1,32±0,03
Паратиреоидный гормон, пг/мл	31,22±9,59	29,6±9,9
Тиреотропин, мМе/л	1,98±0,64	1,66±0,35
Тироксин, пмол/л	14,62±1,82	13,12±2,76
Кортизол, нмол/л	393,0±15,8**	359±17,0
Тестостерон, нмол/л	22,04±2,75	24,60±2,6
Тестостерон/Кортизол, отн. ед	5,27±0,96**	6,83±1,01

Примечание: *, ** - $p < 0,05$; 0,01 относительно Контроль.

Повышение биохимических показателей (уровней осмолярности, K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , мочевины и кортизола) у элитных пловцов, вероятно, также обусловлены неполным восстановлением метаболических процессов после напряжённых нагрузок. Во время

мышечной активности происходит увеличение осмолярности, RBC и почти всех ионов и веществ в плазме, что обусловлено выходом гипотонической жидкости из сосудов в ткани и потерей жидкости с потом (Gillen et al., 1991). Хотя водно-солевой баланс после нагрузки быстро восстанавливается, однако остаточные явления могут сохраняться до суток и более (7–9 дней), особенно на фоне серии нагрузок (Fallon et al., 1999; Wu et al., 2004).

Следует отметить, что повышенные уровни осмолярности ($r=-0,81$; $p<0,01$), Cai ($r=-0,65$; $p<0,01$), мочевины ($r=-0,57$; $p<0,01$) и пататиреоидного гормона ($r=-0,51$; $p<0,01$) у пловцов были взаимосвязаны с MCV. Следовательно, снижение MCV у пловцов обеих подгрупп обусловлено плазменными факторами, образующимися во время и после интенсивных нагрузок. Позитивные эффекты небольшого уменьшения MCV включают снижение Ht, повышение МСНС и деформируемости эритроцитов, что повышает доставку кислорода рабочим тканям и аэробную работоспособность. Негативный эффект снижения MCV начинает доминировать при выраженной степени дегидратации клетки и обусловлен нарушением деформируемости эритроцитов и удалением таких клеток макрофагами из циркуляции (Schroit et al., 1985).

Таблица 4 - Показатели белкового, липидного, углеводного обмена у пловцов элитной и высокой квалификации ($M\pm\sigma$)

Показатели	Пловцы		Контроль
	Элитный уровень	Высокий уровень	
Общий белок, г/л	75,3 $\pm$ 3,3	73,8 $\pm$ 6,6	74,7 $\pm$ 3,3
Фибриноген, г/л	2,22 $\pm$ 0,24** ^{xx}	2,69 $\pm$ 0,53	2,65 $\pm$ 0,46
Мочевина, мол/л	6,41 $\pm$ 0,66 ^{xx**}	5,12 $\pm$ 1,28**	4,67 $\pm$ 0,46
IgM, мг/л	1,62 $\pm$ 0,40**	1,47 $\pm$ 0,39**	2,30 $\pm$ 0,44
IgA, мг/л	1,34 $\pm$ 0,32**	1,25 $\pm$ 0,26**	2,10 $\pm$ 0,93
IgG, мг/л	10,90 $\pm$ 2,52	10,90 $\pm$ 1,98	11,80 $\pm$ 2,30
ХС общий, ммол/л	4,93 $\pm$ 1,05** ^{xx}	4,33 $\pm$ 0,65*	4,25 $\pm$ 0,54
ХС-ЛПВП, ммол/л	1,85 $\pm$ 0,39**	1,71 $\pm$ 0,37**	1,34 $\pm$ 0,27

ХС-ЛПНП, ммол/л	3,09±0,46 ^{xx**}	1,93±0,67 ^{**}	2,53±0,35
Триглицериды, ммол/л	0,71±0,17 [*]	0,66±0,35 [*]	0,84±0,27
Индекс атерогенности, ед	1,61±0,45	1,36±0,46 ^{**}	1,90±0,39
Глюкоза, ммол/л	4,21±0,16 [*]	4,12±0,35 [*]	4,81±0,16

Примечание: *; ** - $p < 0,05$; 0,01 относительно Контроль. ^x; ^{xx} - $p < 0,05$; 0,01 – между группами пловцов.

Ключевыми биохимическими особенностями элитных пловцов были сниженные уровни фибриногена (-16,2%, $p < 0,01$), IgM и IgA (- 30-36%, $p < 0,01$), глюкозы (-12,5%, $p < 0,05$), триглицеридов, СОЭ (-24,5%, $p < 0,05$), WBC (-17,4%, $p < 0,01$); напротив, уровни ХС-ЛПВП (+38%, $p < 0,01$) были повышены. Совокупность этих изменений может отражать снижение подострой воспалительной активности организма тренированных пловцов. Во многих работах было показано, что регулярная физическая тренировка вызывает активацию противовоспалительной активности (Petersen and Pedersen, 2005; Wadley, 2015), что приводит к схожим изменениям липопротеинового, белкового и лейкоцитарного профилей плазмы.

Реакция размера эритроцитов и ретикулоцитов на специфическую максимальную нагрузку у пловцов элитной квалификации. В состоянии покоя у элитных пловцов средний диаметр был больше на 3,9% ($p < 0,05$) за счёт повышения уровня макроцитов (в 3 раза, $p < 0,01$) и снижения доли микроцитов (в 2,7 раза, $p < 0,01$), а концентрация ретикулоцитов была выше (+26,4%, $p < 0,05$), чем в контроле. Это указывает на «омоложение» возрастного состава циркулирующих эритроцитов у элитных пловцов. Мы полагаем, что данный сдвиг возрастного состава (Smith et al., 1999), может быть связан с систематическим выбросом из костного мозга ретикулоцитов в ответ на напряжённые нагрузки.

В ответ на максимальную нагрузку происходило увеличение ретикулоцитов 0–1 (+9%) и 2 класса зрелости (+69%, $p < 0,01$), что

указывает на выход незрелых ретикулоцитов из костного мозга в кровь при интенсивной нагрузке. Эти данные согласуются с работами Bonsignore et al. (2002) и Morici et al. (2005), которые показали выброс незрелых ретикулоцитов и гемопоэтических клеток-предшественников из костного мозга в ответ на сверхмаксимальный гребной тест, что было обусловлено повышением уровней интерлейкин-6, фактора некроза опухоли – α , кортизола и гранулоцитарного колониестимулирующего фактора.

Средний диаметр эритроцитов как до нагрузки ($r=-0,78$; $p<0,01$. Рис.), так и после нагрузки ($r=-0,89$; $p<0,01$) был отрицательно связан со временем проплывания 1500 м, что свидетельствует о позитивном эффекте макроцитоза для физической работоспособности, а также о высокой эффективности эритропоэза у наиболее успешных спортсменов. Действительно, молодые клетки имеют больший размер, повышенный уровень 2,3-дифосфоглицерата и деформируемости, что обеспечивает доставку кислорода рабочим тканям и рост работоспособности.

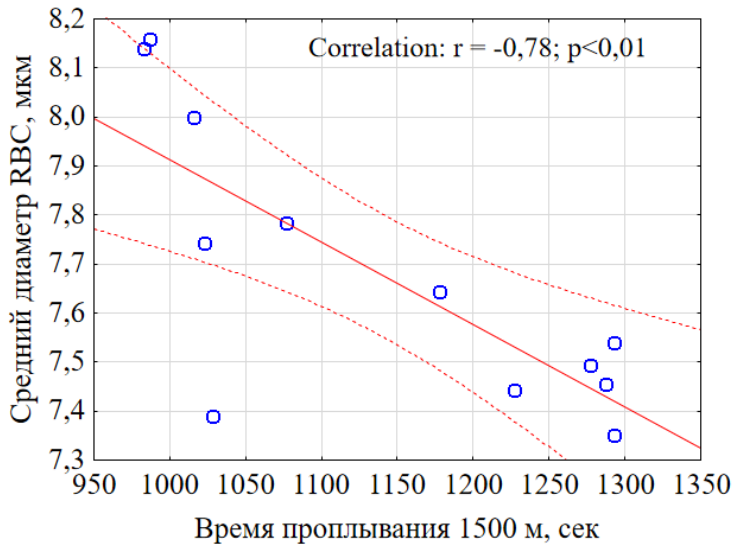


Рисунок. Корреляция времени проплывания дистанции 1500 м с диаметром эритроцитов, измеренным до нагрузки у элитных пловцов.

ВЫВОДЫ

1. Функциональное состояние организма элитных пловцов в конце подготовительного периода тренировочного процесса характеризуется следующими особенностями: высокой общей работоспособностью, умеренной артериальной гипотонией и брадикардией. Отличительными особенностями автономной регуляции сердца являются «отмена» повышенного тонуса вагуса и относительное, по сравнению со спортсменами менее высокой квалификации, увеличение симпатических влияний, связанное с напряжённой тренировочной программой элитных спортсменов и направленное на мобилизацию резервов организма.
2. Гематологический профиль элитных пловцов отличается повышенными уровнями концентрации эритроцитов, гемоглобина и гематокрита крови при сниженной концентрации лейкоцитов. Кроме того, пловцы высокого и элитного уровня характеризуются умеренным (на 2-4%) снижением среднего объема эритроцитов и повышением (на 2,5-9,5%) средней концентрации гемоглобина в эритроците при высокой кислотной резистентности красных клеток и ретикулоцитозе.
3. Сниженная вариабельность ритма сердца относительно пловцов высокой квалификации с выявленными гематологическими и биохимическими особенностями указывает на неполное восстановление элитных пловцов в конце напряжённого подготовительного периода.
4. Биохимический профиль плазмы элитных пловцов характеризуется: 1) снижением уровней фибриногена (-16,2%), иммуноглобулинов классов М и А (- 30-36%), глюкозы (-12,5%), триглицеридов, скорости оседания эритроцитов (-24,5%), лейкоцитов (-17,4%), указывая на низкую провоспалительную активность организма спортсменов и 2) повышением уровней осмолярности, ионов натрия, калия, общего и ионизированного кальция и кортизола, указывая на одновременно неполное восстановление и напряжение регуляторных систем организма.

5. Общая работоспособность отрицательно коррелировала со средним объемом эритроцитов и положительно – со средней концентрацией гемоглобина в эритроцитах. Повышенные уровни осмолярности, кальция и мочевины, обусловленные высокими нагрузками, вовлечены в механизмы снижения объема эритроцитов у пловцов высокой квалификации.
6. Впервые установлено, что максимальная специфическая нагрузка вызывает выброс в кровь незрелых ретикулоцитов, а также увеличение количества макроцитов. Данный процесс тесно связан со спортивным результатом, указывая на позитивные эффекты «омоложения» возрастного состава эритроцитов на физическую работоспособность элитных спортсменов.

Практические рекомендации

Полученные данные гематологического и биохимического профилей рекомендуется использовать в сфере врачебно-педагогического контроля для коррекций существующих нормативов высококвалифицированных спортсменов.

Результаты и выводы диссертации рекомендуется использовать для образовательной деятельности в учебных заведениях со студентами и тренерами, а также при подготовке учебных курсов и пособий по темам «Физиология крови при мышечной деятельности» и «Адаптация организма человека к физическим нагрузкам».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из списка ВАК и в иностранных базах данных:

1. Викулов, А.Д. Скорость оседания эритроцитов как надежный маркер текущего функционального состояния спортсменов и степени его тренированности / А.Д. Викулов, В.А. Маргазин, Д.В. Каунина, **В.Л. Бойков** // Спортивная медицина: наука и практика. – 2014. – № 2. – С. 20–24. **ВАК.**
2. Викулов, А.Д. Функциональные особенности внешнего дыхания высококвалифицированных спортсменов-пловцов в зависимости от

состояния показателей общей физической работоспособности, биохимических показателей крови и вариабельности сердечного ритма / А.Д. Викулов, В.А. Маргазин, Д.В. Каунина, **В.Л. Бойков** // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2014. – № 3. – С. 4–9. **ВАК**.

3. Викулов, А.Д. Диаметр эритроцитов как надежный маркер текущего функционального состояния организма и физической работоспособности спортсменов / А.Д. Викулов, В.А. Маргазин, **В.Л. Бойков** // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2015. – № 1. – С. 10–14. **ВАК**.

4. Викулов, А.Д. Кальций – важнейший регулирующий фактор жизнедеятельности организма спортсменов-пловцов / А.Д. Викулов, В.А. Маргазин, **В.Л. Бойков**, Д.В. Каунина // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. – № 2. – С. 10–15. **ВАК**.

5. Викулов, А.Д. Регуляция сердечной деятельности у спортсменов высокой квалификации / А.Д. Викулов, М.В. Бочаров, Д.В. Каунина, **В.Л. Бойков** // Вестник спортивной науки. – 2017. – № 2. – С. 31–36. **ВАК**.

6. **Бойков, В.Л.** Двигательная активность – важное условие формирования вегетативного гомеостаза и нейро-гуморальной регуляции у детей и подростков / **В.Л. Бойков**, С.Ю. Турчанинов, А.Д. Викулов, И.Н. Коряковцев // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2020. – №2. – С. 50–58. **ВАК**.

7. **Бойков, В.Л.** Физиологическая характеристика гематологических, биохимических параметров крови и симпато-вагусного баланса у спортсменов высокой квалификации / **В.Л. Бойков**, А.А. Мельников // Человек. Спорт. Медицина. – 2021. – Т. 1. – С. 7-13. **WOS, ВАК**.

Другие публикации в научных изданиях

1. Викулов, А.Д. Средний объем эритроцитов, кортизол и плазменная концентрация ионизированного кальция как маркеры функционального состояния организма спортсменов-пловцов / А.Д. Викулов, Е.В. Ломазова, **В.Л. Бойков**, Д.В. Каунина, С.Ю. Турчанинов // Плавание VII. Исследования, тренировка, гидрореабилитация. – СПб.: Петроград, 2013. – С. 80–84.

2. Викулов, А.Д. Скорость оседания эритроцитов – маркер функционального состояния организма спортсменов / А.Д. Викулов, Д.В. Каунина, **В.Л. Бойков** // Современные проблемы и перспективы развития физической культуры и спорта, туризма и социально-культурного сервиса: Матер. II Всеросс. (с между. участием) научно-практич. конф. – Набережные Челны: НФ Поволжской ГАФКСиТ, 2014. – С. 113–115.

3. Викулов, А.Д. Гравитационные нагрузки в оценке функционального состояния организма спортсменов-пловцов / А.Д. Викулов, **В.Л. Бойков**, Д.В. Каунина, М.В. Бочаров // Плавание VIII. Исследования, тренировка, гидрореабилитация. – СПб.: Петроград, 2015. – С. 52–54.
4. Викулов, А.Д. Использование эритроцитарных характеристик для оценки работоспособности и функционального состояния спортсменов / А.Д. Викулов, В.А. Маргазин, **В.Л. Бойков** // Актуальні проблеми фізичного виховання та здоров'я людини: Матер. І Міжнародн. заочн. науково-практич. конф. – г. Славянск (Україна): Изд-во ДДПУ: 2015. – С. 26–31.
5. Викулов А.Д. Эритроциты в лабораторном контроле спортсменов в качестве маркеров функционального состояния организма (на примере плавания) / А.Д. Викулов, В.А. Маргазин, Н. Кожух, **В.Л. Бойков** // Наука в олимпийском спорте. – 2015. – № 3. – С. 34–39.
6. Бойков, В.Л. Специфические изменения в метаболизме элитных спортсменов-пловцов / **В.Л. Бойков**, А.Д. Викулов // Проблемы функциональных состояний и адаптации в спорте: Матер. Всеросс. научно-практ. конф. с межд. участием и российско-китайского симпозиума, посвященного 120-летию НГУ им. П.Ф. Лесгафта. – СПб.: НГУ им. П.Ф. Лесгафта. – С. 42–45.
7. Бойков, В.Л. Показатели неспецифической иммунной защиты у юных спортсменов / **В.Л. Бойков**, А.Д. Викулов, О.В. Гусева, М.С. Малютин // Физическое воспитание и детско-юношеский спорт. – 2017. – № 1. – С. 18–23.
8. **Бойков, В.Л.** Вариабельность ритма сердца у высококвалифицированных спортсменов-пловцов / В.Л. Бойков, А.Д. Викулов, С.Ю. Турчанинов, О.В. Гусева, Е.В. Ломазова // Плавание X. Исследования, тренировка, гидрореабилитация: Матер. X Межд. научно-практ. конф. – СПб., 2019. – С. 64–69.
9. **Бойков, В.Л.** Особенности гематологических показателей у пловцов элитной и высокой квалификации / В.Л. Бойков, А.А. Мельников, О.Б. Подоляка // Физическая культура и спорт. Олимпийское образование: Матер. Межд. научно-практ. конф. – Краснодар: КГУФКСТ, 2021 – С. 162–165.

Список сокращений

Hb – концентрация гемоглобина
 RBC – концентрация эритроцитов
 Ht – гематокрит
 MCH – содержание Hb в эритроците
 MCV – средний объем эритроцитов
 MCHC – средняя концентрация гемоглобина в эритроците
 WBC – белые клетки крови
 Na⁺ – ионы натрия
 K⁺ – ионы калия
 Ca – общая концентрация кальция
 Cai –ионизированный кальций
 СОЭ – скорость оседания эритроцитов
 ОХ - общий холестерин
 ХС-ЛПВП – холестерин липопротеинов высокой плотности
 ХС-ЛПНП –холестерин липопротеинов низкой плотности
 PWC170 – индекс физической работоспособности
 САД – систолическое артериальное давление
 ДАД – диастолическое артериальное давление
 HF–высокочастотные колебания длительности RR
 LF –низкочастотные колебания длительности RR
 VLF –очень низкочастотные колебания длительности RR
 IgA –иммуноглобулины А
 IgG –иммуноглобулины G
 IgM –иммуноглобулины М

Подписано в печать 00.00.2021

Компьютерный набор. Гарнитура Times New Roman. Формат 60х90 ¹/₁₆.

Бум. IQ allround. Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 1.0.

Тираж 100. Заказ 140.

РИО ЯГПУ им. К.Д. Ушинского
 150000, ул. Которосльская Набережная, д. 44