

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

УДК 796.01:612+796.015.68

Рег. №

Рег. №

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
Т.А. Морозевич-Шилюк
« 13 » /2/ 2023 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
Особенности функционального состояния центральной нервной системы
студентов-спортсменов БГУФК с различной направленностью
тренировочного процесса
по теме:
ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НЕРВНЫХ
ПРОЦЕССОВ У СТУДЕНТОВ-СПОРТСМЕНОВ БГУФК,
ЗАНИМАЮЩИХСЯ ИГРОВЫМИ ВИДАМИ СПОРТА
(промежуточный, этап 3)
2.2.2

Руководитель НИР,
заведующий кафедрой физиологии и биохимии,
канд. биол. наук, доцент

И.Н. Рубченя

Минск 2023

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,
зав. кафедрой,
канд. биол. наук, доцент

12.12.2023

И.Н. Рубчена

(реферат, заключение)

Исполнитель:

Доцент кафедры,
канд. биол. наук, доцент

12.12.2023

Я.А. Песоцкая

(раздел 1)

Доцент кафедры,
канд. пед. наук, доцент

Лояко 12.12.2023

Т.В. Лойко

(подраздел 2.1)

Старший преподаватель
кафедры

Жилко 12.12.2023

Н.В. Жилко

(подраздел 2.1)

Старший преподаватель
кафедры

Кучинская 12.12.2023

О.В. Кучинская

(раздел 1)

Старший преподаватель
кафедры

Щерба 12.12.2023

Ю.Н. Щерба

(подраздел 2.1)

Старший преподаватель
кафедры

Мазуро 12.12.2023

В.А. Мазуро

(подраздел 2.1)

Аспирант

Тишутин 12.12.2023

Н.А. Тишутин

(подраздел 2.2)

Нормоконтроль

Дарануца 12.12.2023

К.С. Дарануца

РЕФЕРАТ

Отчет 46 с., 1 кн., 2 рис., 5 табл., 55 источн.

СТУДЕНТЫ-СПОРТСМЕНЫ, ЦЕНТРАЛЬНАЯ НЕРВНАЯ СИСТЕМА, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ МОЗГА, ПРОСТАЯ ЗРИТЕЛЬНОМОТОРНАЯ РЕАКЦИЯ, РЕАКЦИЯ НА ДВИЖУЩИЙСЯ ОБЪЕКТ, РЕАКЦИЯ ВЫБОРА, ПОСТУРАЛЬНЫЙ БАЛАНС, СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ.

Объект исследования – учебно-тренировочный процесс студентов-спортсменов, специализирующихся в игровых видах спорта.

Цель настоящего исследования – изучить функциональное состояние центральной нервной системы студентов-спортсменов, занимающихся игровыми видами спорта.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования, в ходе которых были отобраны 36 студентов-спортсменов БГУФК, специализирующихся в игровых видах спорта в возрасте 18–20 лет. Исследование особенностей функционального состояния центральной нервной системы студентов-спортсменов проводилось в начале летнего соревновательного периода.

Полученные данные представляют практический интерес и могут быть использованы для оценки и коррекции функционального состояния центральной нервной системы спортсменов, оптимизации и индивидуализации в планировании объема физических нагрузок студентов в зависимости от направленности их тренировочного процесса. Диагностика свойств нервной системы на протяжении всего учебно-тренировочного процесса может служить для тренера важным инструментом при организации подготовки и подбора определенных средств и методов обучения студентов-спортсменов, специализирующихся в игровых видах спорта.

Полученные результаты внедрены в образовательный процесс кафедры физиологии и биохимии и используются для научно-методического обеспечения учебных дисциплин «Физиология спорта» и «Возрастная физиология».

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень сокращений и обозначений.....	5
Введение.....	6
1 Общая характеристика материалов и методов исследования.....	9
1.1 Организация исследования и контингент исследуемых спортсменов.....	9
1.2 Методы исследования функционального состояния центральной нервной системы студентов-спортсменов, специализирующихся в игровых видах спорта.....	10
2 Результаты исследования.....	13
2.1 Особенности функционального состояния центральной нервной системы студентов-спортсменов, специализирующихся в игровых видах спорта.....	13
2.2 Характеристика постуральной системы человека и её в роль в спортивной мышечной деятельности	18
Заключение.....	38
Список использованных источников	41

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

ГАМК – гамма-аминомасляная кислота;
ВНС – вегетативная нервная система;
ВСР – вариабельность сердечного ритма;
ОЦД – общий центр давления;
ПБ – постуральный баланс;
ПЗМР – простая зрительно-моторная реакция;
РДО – реакция на движущийся объект;
Усл. ед. – условные единицы;
ЦНС – центральная нервная система.

ВВЕДЕНИЕ

В 2023 году на кафедре физиологии и биохимии выполнялась работа по изучению функционального состояния центральной нервной системы студентов-спортсменов, специализирующихся в игровых видах спорта.

Функциональное состояние центральной нервной системы (ЦНС), как специализированного органа управления, в значительной мере определяет характер протекания сенсорных, двигательных и координационных реакций. В связи с этим интерес представляют научные данные по исследованию силы и подвижности основных процессов нервной системы у спортсменов, занимающихся игровыми видами спорта. Оптимальный баланс возбуждения и торможения в нервной системе чрезвычайно важен для спортсмена, особенно в период участия в ответственных соревнованиях, когда от уравновешенности нервных процессов и их подвижности зависит итоговый спортивный результат [1] – [5].

Для достижения высоких спортивных результатов в игровых видах спорта необходимо учитывать такие факторы как отбор одаренных детей, правильная методика их обучения и тренировки, управление этими процессами и сохранение психических и функциональных резервов спортсмена. Одним из важнейших показателей адаптации спортсмена к стрессовым факторам являются психологические особенности личности человека, которые помогают ему справиться с трудностями в условиях длительных и интенсивных нагрузок [3] – [10].

Тренировочный процесс спортсмена затрагивает различные направления, и порой низкий уровень функционального состояния центральной нервной системы (быстрая утомляемость, эмоциональная неустойчивость, низкая мотивация) может свести к нулю результаты многолетних тренировок. Тренеры и спортсмены, учитывая лишь техническую и физическую составляющие тренировочного процесса, порой лишаются возможности использовать дополнительные резервы организма человека посредством его способностей контролировать и управлять психическими состояниями в соревновательных ситуациях [5] – [12].

Проблема влияния систематических физических нагрузок на функциональное состояние нервной системы является одной из центральных

проблем изучения закономерностей приспособления человека к спортивной деятельности и продолжает привлекать внимание исследователей [14] – [16]. Ряд исследователей рассматривают свойства нервной системы в качестве лимитирующего фактора спортивной деятельности, определяющего функциональную и психологическую подготовленность спортсменов, модель их двигательных возможностей. В зависимости от функционального состояния центральной нервной системы адаптация к тренировочно-соревновательной деятельности имеет существенные различия в эффективности и физиологической стоимости [16, 17].

Центральная нервная система обеспечивает интегративные процессы в организме человека и поэтому является основным компонентом функциональных систем, обеспечивающих адаптационно-приспособительные реакции. Несоответствие уровня подготовленности спортсменов нагрузочным запросам приводит к развитию перенапряжения ЦНС, снижению адаптационных возможностей организма и возникновению пред- и патологических изменений в органах и системах [17] – [21].

Большой объем учебной информации в сочетании с интенсивной физической нагрузкой на фоне высокого нервно-эмоционального напряжения у студентов-спортсменов приводит к нарушениям в работе регуляторных и вегетативных систем, снижению уровня адаптации организма к стрессогенным факторам. Поэтому важно оптимизировать учебно-тренировочный процесс, учитывая особенности проявления основных свойств нервных процессов, с целью расширения резервных возможностей и повышения уровня тренированности спортсменов при максимально возможном сохранении их здоровья [21] – [25].

В связи с этим весьма актуальным является изучение и анализ особенностей функционального состояния центральной нервной системы студентов-спортсменов БГУФК, специализирующихся в игровых видах спорта.

Цель настоящего исследования – изучить функциональное состояние центральной нервной системы студентов-спортсменов, занимающихся игровыми видами спорта.

Задачи исследования:

- изучить типологические свойства нервной системы у студентов-спортсменов, специализирующихся в игровых видах спорта;
- выявить особенности функционального состояния центральной нервной системы студентов-спортсменов, занимающихся видами спорта, требующих проявления скоростно-силовых качеств и координационных способностей;
- определить связь между величиной отклонения реакции на движущийся объект и уравновешенностью нервных процессов;
- изучить особенности постуральной системы человека и её в роль в спортивной мышечной деятельности.

1 Общая характеристика материалов и методов исследования

1.1 Организация исследования и контингент исследуемых спортсменов

Экспериментальное исследование проводилось на базе кафедры физиологии и биохимии учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры».

За отчетный период было обследовано 36 студентов Белорусского государственного университета физической культуры (средний возраст $18,89 \pm 1,88$ лет), специализирующихся в игровых видах спорта. Из числа исследуемых два человека имели высокую спортивную квалификацию (кандидат в мастера спорта), 34 спортсмена – массовые разряды (I-II). Распределение исследуемых спортсменов по видам спорта представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Спортивная специализация и квалификация студентов-спортсменов, чел.

Виды спорта	Спортивная квалификация			Количество человек
	мастер спорта	кандидат в мастера спорта	I разряд	
волейбол	-	-	6	6
футбол	-	-	10	10
гандбол	-	1	9	10
баскетбол	-	-	2	2
хоккей	-	1	7	8

Исследования проводились в начале летнего соревновательного периода в годичном цикле спортивной тренировки. По результатам диспансерных наблюдений все обследуемые были признаны практически здоровыми и на момент исследования в течение ближайших месяцев не болели острыми респираторными и другими заболеваниями.

1.2 Методы исследования функционального состояния центральной нервной системы студентов-спортсменов, специализирующихся в игровых видах спорта

В ходе исследования были изучены особенности функционального состояния центральной нервной системы студентов-спортсменов, специализирующихся в игровых видах спорта, требующих проявления скоростно-силовых и координационных способностей.

Функциональное состояние центральной нервной системы изучалось с применением компьютерного комплекса для психофизического тестирования «НС-Психотест» («НейроСофт») и бланков с кольцами Ландольта.

Проводились следующие методики:

1. Реакция на движущийся объект. Методика «Реакция на движущийся объект» предназначена для измерения уравновешенности нервных процессов, т.е. степени сбалансированности процессов возбуждения и торможения по силе. На экране монитора изображена окружность, на которой в различных точках находятся две отметки, меняющие положение от предъявления к предъявлению движущегося объекта. От первой отметки по часовой стрелке с определенной скоростью происходит заливка окружности. Обследуемому необходимо нажать на кнопку зрительно-моторного анализатора (рисунок 1) в тот момент, когда заливка достигнет второй отметки. При этом значение имеет не столько быстрота реагирования, сколько своевременность ответа на сигнал. Рекомендуемое число предъявлений движущегося объекта – 30 [19].



Рисунок 1 – Зрительно-моторный анализатор

Обработка результатов производится путем сравнения количества опережающих и запаздывающих реакций. Если число опережений (преждевременных реакций) превышает число запаздываний, то диагностируется

неуравновешенность нервных процессов с преобладанием силы возбуждения; если число запаздываний превышает число опережений – неуравновешенность с преобладанием торможения; если данные показатели равны либо различаются незначительно, то диагностируется уравновешенность нервных процессов.

Высокое функциональное состояние центральной нервной системы, уравновешенность процессов возбуждения и торможения соответствует 20-ти и выше точным реакциям, средний уровень – 10-19 попаданий; низкий – ниже 10 точных реакций. Следует также отметить, если наблюдается преобладание реакций с опережением при одновременном росте средней величины ошибки – это указывает на выраженнуюность процессов возбуждения в нервной системе. Количественное доминирование реакций с запаздыванием характеризует выраженнуюность процессов торможения [19, 20].

2. Простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР). Оценивалась скорость простой двигательной реакции. Для исследования использовался аппаратно-программный комплекс «НС-ПсихоТест» (ООО «Нейрософт», Российская Федерация) со зрительно-моторным анализатором, который представляет собой пульт управления, совмещающий индикатор для предъявления световых сигналов и кнопки для нажатия при поступлении сигнала. При проведении исследования студентам предъявлялись световые сигналы красного цвета. При появлении сигнала обследуемый должен был как можно быстрее нажать на соответствующую кнопку, стараясь при этом не допускать ошибок (ошибками считались преждевременное нажатие кнопки и пропуск сигнала). Световой сигнал подавался в достаточно случайные моменты времени, чтобы не вырабатывался рефлекс на время, и в то же время достаточно регулярно, чтобы каждый очередной сигнал был ожидаем. Интервал между сигналами составлял от 0,5 до 2,5 с.

Критерии ПЗМР описывались средними значениями с расчетом ошибки среднего при нормальном распределении ($M \pm m$) Различия между показателями определялись по критерию Стьюдента, Манна-Уитни или Фишера при $p \leq 0,05$ [20, 26].

3. Реакция выбора. Оценивалась скорость и точность сложной двигательной реакции. В ходе проведения методики реакция выбора исследуемые в ответ на включение красного либо зеленого светового сигнала должны были

оперативно нажать кнопку аналогичного цвета и выключить лампочку. Последовательность поступления световых вспышек того или иного цвета не регламентировалась, т.е. была случайной (произвольной). Суммарное количество поступивших сигналов обоих цветов – 30 (т.е. аналогично тому, которое использовалось при исследовании простой двигательной реакции). Фиксировалось время сложной двигательной реакции и количество допущенных ошибок (преждевременное нажатие кнопки, пропуск светового сигнала или нажатие кнопки, цвет которой не совпадал с цветом световой вспышки) [20] – [25].

4. Определение пропускной способности мозга. Помимо компьютерного комплекса в процессе исследования использовались бланки с кольцами Ландольта. Каждое кольцо имело разрыв в одном из восьми направлениях. Суммарное количество колец в бланках – 1024. Просматривая бланки, юноши должны были зачеркивать только те кольца, которые имели разрыв в направлении, указанном исследователем.

Фиксировалось время, затраченное на выполнение задания. Подсчитывалось количество допущенных ошибок (кольцо с разрывом в заданном направлении не зачеркнуто или зачеркнуто кольцо с разрывом в любом другом направлении). Рассчитывалась пропускная способность мозга у студентов, занимающихся циклическими видами спорта [25].

Статистическую обработку результатов проводили, пользуясь основными положениями теории вероятности и математической статистики, общепринятыми при обработке результатов исследований биологических объектов с помощью статистического пакета «Статистика для Windows», используя параметрические методы оценки данных.

2 Результаты исследования

2.1 Особенности функционального состояния центральной нервной системы студентов-спортсменов, специализирующихся в игровых видах спорта

Цель исследования – изучить функциональное состояние центральной нервной системы студентов-спортсменов, занимающихся игровыми видами спорта.

Для достижения поставленной цели было обследовано 36 юношей в возрасте 18–20 лет, обучающихся на факультете спортивных игр и единоборств учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры». Распределение юношей по видам спорта представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение студентов-спортсменов по видам спорта

Вид спорта	Количество человек
волейбол	6
футбол	10
гандбол	10
баскетбол	2
хоккей	8

Функциональное состояние центральной нервной системы изучалось с применением компьютерного комплекса для психофизического тестирования «НС-Психотест» и бланков с кольцами Ландольта.

В ходе проведения методики «Реакция на движущийся объект» каждому исследуемому предоставлялось по 30 попыток. Результаты обсуждаемой методики свидетельствуют о том, что у юношей, занимающихся игровыми видами спорта, доминировали точные двигательные реакции (своевременная остановка движущегося объекта в заданном положении) (таблица 3).

Индивидуальный анализ результатов обсуждаемой методики показал, что точные реакции были преобладающими у 86 % юношей.

Таблица 3 – Результаты выполнения методики «Реакция на движущийся объект» студентками, занимающимися игровыми видами спорта

Показатели	$X \pm m$
Количество точных реакций, раз	$19,26 \pm 0,46$
Количество опережающих реакций, раз	$6,26 \pm 2,62$
Средняя ошибка опережающих реакций, мс	$283,68 \pm 14,28$
Количество запаздывающих реакций, раз	$4,47 \pm 0,41$
Средняя ошибка запаздывающих реакций, мс	$278,12 \pm 16,49$

У 47 % (17 исследуемых студентов) из них число точных реакций было выше 20 попыток, что указывает на высокое функциональное состояние ЦНС. Остальные 53 % (19 человек) имели средний уровень, низкий уровень функционального состояния ЦНС не выявлен (рисунок 2).

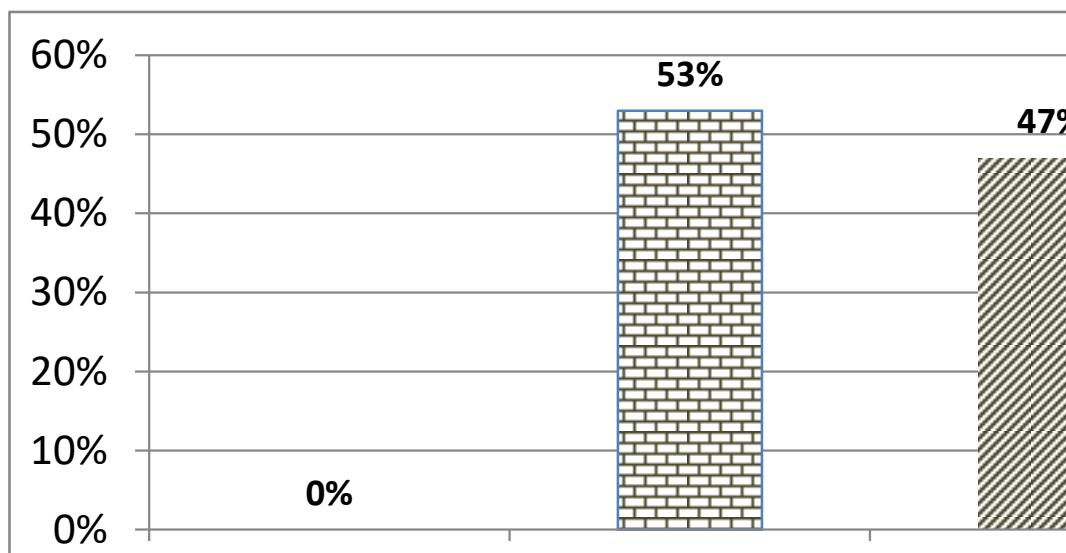


Рисунок 2 – Распределение спортсменов, занимающихся игровыми видами спорта, по количеству точных реакций в методике РДО из 30 попыток

Таким образом, представленные результаты исследования свидетельствуют о том, что в центральной нервной системе студентов, занимающихся игровыми видами спорта, как правило, устанавливается оптимальное соотношение процессов возбуждения и торможения. Сбалансированность основных нервных процессов является немаловажным фактором, обеспечивающим эффективное выполнение технических действий (точных бросков, передач мяча), а в психологическом

аспекте положительный психоэмоциональный опыт в достижении поставленных целей в игровой деятельности.

В рамках выполнения методики «Простая зрительно-моторная реакция» каждый юноша стремился максимально быстро погасить 30 неожиданно возникающих световых сигналов. Последовательность подачи световых раздражителей – случайная.

Результаты исследования простой двигательной реакции студентов представлены в таблице 4.

Из таблицы видно, что среднее время простой двигательной реакции у юношей, занимающихся игровыми видами спорта, соответствовало норме (до 200 мс) [14, 15, 25, 26]. Ошибочные реакции (преждевременное реагирование на сигнал или пропуски реакции) составили 8 % от общего количества попыток. Преждевременные реакции встречались несколько чаще по сравнению с пропусками реакций (соответственно в 43 % и 40 % случаев).

Таблица 4 – Скорость и точность простой и сложной двигательной реакции студентов, занимающихся игровыми видами спорта

Показатели	Вид двигательной реакции	
	простая	сложная
Время двигательной реакции, мс	195,35±2,32	292,59 ±2,89
Количество ошибок, раз	2,24±0,32	4,03±0,31

Индивидуальный анализ результатов обсуждаемой методики показал, что время простой двигательной реакции в изучаемой выборке студентов-спортсменов колебалось в диапазоне от 168 мс до 225 мс. Превышение нормальных значений анализируемого показателя выявлено у 33 % юношей. 81 % исследуемых совершили хотя бы одну ошибочную реакцию. Максимальное количество ошибок, допущенных одним человеком, – семь. 19 % студентов (7 человек) прошли испытание без ошибок.

Методика «Реакция выбора» заключалась в быстром реагировании на появление красного или зеленого светового сигнала нажатием на кнопку соответствующего цвета. Последовательность поступления световых вспышек обоих цветов была произвольной. Общее количество световых сигналов красного и

зеленого цвета – 30. Регистрировалось время сложной двигательной реакции и количество ошибок, допущенных во время тестирования (преждевременное нажатие кнопки, пропуск светового сигнала или нажатие кнопки, цвет которой не совпадал с цветом световой вспышки).

Установлено, что у юношей, занимающихся игровыми видами спорта, среднее время сложной двигательной реакции превысило среднее время простой двигательной реакции на 50 %. Количество ошибок возросло в 1,8 раза (таблица 4).

Индивидуальный анализ обсуждаемых показателей выявил, что время сложной двигательной реакции у юношей колебалось в диапазоне от 256 мс до 316 мс.

Все студенты в ходе выполнения обсуждаемой методики совершали те или иные ошибки. Число ошибочных реакций, допущенных юношами, колебалось в диапазоне от 1 до 8. Чаще (в 39 % случаев) они совершали по две–три ошибочные двигательные реакции.

Основным фактором, определяющим время двигательной реакции, особенно сложной, является скорость обработки информации, собранной сенсорными системами, на различных уровнях центральной нервной системы [15, 19]. Попеременное раздражение рецепторов зрительной сенсорной системы двумя раздражителями, возникающими в произвольной последовательности и требующими строго определенной ответной реакции, сопровождалось не только увеличением продолжительности аналитической работы мозга, но и ее усложнением. По этой причине быстрота и точность сложной двигательной реакции у юношей снизилась по сравнению с простой двигательной реакцией.

Просмотр студентами бланков с кольцами Ландольта (суммарно 1024 кольца с разрывом в одном из восьми направлений) сопровождался зачеркиванием колец с разрывом в направлении, указанном исследователем.

Фиксировалось время выполнения теста, подсчитывалось количество допущенных ошибок (нужное кольцо пропущено или зачеркнуто кольцо с разрывом в ином направлении). Пропускная способность мозга юношей, занимающихся игровыми видами спорта, рассчитывалась по специальной формуле, учитывающей значения обоих регистрируемых показателей [14, 20].

Результаты исследования пропускной способности мозга представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Пропускная способность мозга у студентов-спортсменов, занимающихся игровыми видами спорта

Показатели	$X \pm m$
Время работы, с	$331,91 \pm 10,24$
Количество ошибок, раз	$20,47 \pm 2,45$
Пропускная способность мозга, бит/с	$1,54 \pm 0,04$

По данным А. С. Солодкова и Е. Б. Сологуб [15], у высококвалифицированных спортсменов, занимающихся игровыми видами спорта, пропускная способность мозга составляет 3–3,5 бит/с. У обследованных нами студентов, обучающихся на кафедре спортивных игр, она была в 2 раза ниже и находилась на уровне не тренированного человека. Число пропущенных или ошибочно зачеркнутых колец составило примерно 2 % от их общего количества в бланке.

Индивидуальный анализ обсуждаемых показателей выявил, что минимальная величина пропускной способности мозга у юношей составила 1,06 бит/с, максимальная – 1,99 бит/с.

Минимальное время, затраченное на просмотр бланков с кольцами Ландольта, составило 4 минуты 12 секунд. Максимальное время выполнения задания составило 7 минут 48 секунд. Чаще всего (в 36 % случаев) на просмотр бланков юноши затрачивали от 4 до 5 минут.

Количество ошибок, допущенных в процессе просмотра бланков, колебалось в диапазоне от 1 до 50. Чаще всего (в 61% случаев) юноши допускали не более 20 ошибок.

Не достаточно высокая пропускная способность мозга студентов-спортсменов может быть обусловлена, во-первых, их низкой спортивной квалификацией, во-вторых, прекращением активных занятий игровыми видами спорта непосредственно в спортивных клубах, что приводит к снижению или даже отсутствию соревновательной практики. Значительное количество обследованных студентов продолжали заниматься спортом лишь в рамках учебных занятий.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что выраженная устойчивая адаптация центральной нервной системы к резко и не стандартно меняющейся двигательной деятельности, характерной для игровых видов спорта, у спортсменов низкой квалификации, имеющих недостаточный опыт соревновательной деятельности, не сформирована.

2.2 Характеристика постуральной системы человека и её в роль в спортивной мышечной деятельности

Поддержание вертикальной позы человека есть одна из важнейших функций организма, которая позволяет активно взаимодействовать с окружающей средой и обеспечивать адаптацию к постоянно изменяющимся условиям [8, 10, 28]. Вертикальное положение тела – это результат многих миллионов лет эволюции, его поддержание заключается в постоянно тоническом состоянии мышц и динамически изменяющемся антигравитационном напряжении, которое допускает лишь небольшое отклонение центра тяжести, с постоянной его коррекцией [29].

С целью поддержания вертикальной позы в организме человека функционирует сложная многоуровневая система, которую называют постуральной. Термин «posture» (с лат. положение, поза) характеризует биомеханическое положение тела и его правильную вертикальную ориентацию в совокупности с нервными регуляторными механизмами [29, 30]. В настоящее время термины «постуральный баланс», «вертикальная устойчивость», «равновесие», «постуральный контроль» в рамках изучения механизмов контроля за вертикальным положением тела применяются в научной литературе в качестве синонимов [28, 31, 32]. Поддержание постурального баланса (ПБ) в настоящей работе рассматривается как результат функционирования постуральной системы.

Под постуральным балансом понимается способность к поддержанию и управлению общим центром массы тела относительно опоры для недопущения потери равновесия либо падения [31, 33]. ПБ целесообразно рассматривать с учётом положения тела или условий, в которых находится тело, вследствие чего выделяют статический и динамический постуральный баланс [34]. В статических условиях позный баланс – это способность уменьшения раскачивания тела в

обычных позах, а также способность сохранять равновесие тела в сложных статических положениях [35]. Например, во время обычной стойки на двух ногах, либо в трудных постуральных условиях с маленькой площадью опоры: различные стойки на руках, на одной ноге и т.д. При решении динамических задач постуральный баланс можно рассматривать как способность управлять балансом тела во время сложных движений и трудных постуральных условиях для предотвращения падения. Например, во время внешних механических воздействий: смещение опоры, толчок в игровых видах спорта, необходимость избегания столкновения [34, 36].

Под формированием постуральной системы, обеспечивающей поддержание вертикальной позы у человека, понимают сложный саморегулирующийся рефлекторный процесс, который базируется на развитии нервных центров и моррофункциональных механизмов на основе онтогенетической программы, учитывающей особенности жизнедеятельности человека [37, 17, 29].

Первые работы, посвящённые исследованию особенностей поддержания вертикального положения тела, принадлежат Морицу Ромбергу (1861) [38, 40]. Учёный оценивал функциональное состояние организма человека по данным удержания вертикального положения тела в стойке с сомкнутыми стопами [34, 41], которая по настоящее время активно используется в различных вариантах её модернизации и с применением современной аппаратуры.

Важным поворотом в исследованиях постуральной системы стали работы физиолога Рудольфа Магнуса, который разработал учение о рефлексах, лежащих в основе поддержания и регуляции положения тела в пространстве. Р. Магнус объединил исследованные им рефлексы в две группы: 1) статические рефлексы, которые отвечают за поддержание положение тела стоя, лёжа и сидя; 2) статокинетические рефлексы, осуществляющие поддержку положения тела во время выполнения двигательных действий. Также Р. Магнус исследовал афферентный компонент вышеуказанных рефлексов и указал на сложность организации системы рефлекторных центров, которые постоянно регулируют положение тела в изменяющихся условиях окружающей среды [39] – [42]. Однако наличие постуральных рефлексов не объясняет всю сложность постурального контроля, который включает упреждающие корректировки, зависимые от

контекста, сенсомоторные модуляции, схему тела, а также взаимодействие позы и движений [44, 45].

Следующей ступенью на пути изучения механизмов поддержания ПБ становятся работы Н.А. Бернштейна. Учёный один из первых выдвинул идею о многоуровневости взаимодействий мозговых центров в процессе регуляции двигательной активности, которые характерны и для постурального баланса [47]. Более высокий уровень управления является ведущим и отвечает за контроль двигательной активности в целом, а низший выступает в роли фонового регуляторного компонента, обеспечивая реализацию простых двигательных действий [47]. В своих работах Н.А. Бернштейн выделяет пять уровней управления: А, В, С, Д, Е. Описывая рубро-спинальный уровень А управления движениями, который включает мозжечок, спинной мозг, а также ствол мозга с нижним, средним и верхним отделами, Н.А. Бернштейн указывает на проприорецепцию, которая позволяет воспринимать величины и векторы мышечных усилий, информацию с отолитового аппарата и древние компоненты кожной рецепции [47]. Следующий по иерархии уровень В (таламопаллидарный) представлен «сенсорным синтезом», в котором основное место занимает также проприоцептивная чувствительность, однако фиксирующая иные характеристики: суставно-угловые, геометрическое проприоцептивное восприятие скоростей и положений. Помимо этого, в уровень В включаются разнообразные формы кожной рецепции [47, 41].

Важнейшим уровнем для построения движения Н.А. Бернштейн считал уровень пространственного поля С, действия которого основываются на афферентной информации, и включают в себя: зрительные ощущения, суставно-мышечное чувство, а также данные от вестибулярного аппарата [32]. Поскольку живые кинематические цепи человека характеризуется избыточным количеством степеней свободы, то это делает органы движения неуправляемыми. Преодоление этого избытка степеней свободы реализуется через сенсорные коррекции (по принципу рефлекторного кольца), обеспечивающие вышеуказанной афферентной информацией, они позволяют переводить систему из исходного состояния в необходимое, с определённой для этого силой и скоростью [47, 48].

В первой половине 20 века было выдвинуто предположение, связанное с формированием представления о теле, а также его расположением в пространстве, которое основывается на сенсорной информации, поступающей в центральную нервную систему от различных сенсорных систем. Позднее исследовательская группа под руководством В.С. Гурфинкеля указала на важную роль «схемы тела» в анализе и обработке, поступающей от различных анализаторов информации. Это внутреннее представление также лежит в основе планирования постуральных коррекций с учётом геометрических структур, а также особенностей телесных характеристик [39]. Исследователь Ю.С. Левик (2006) отметил, что для возможности организации целенаправленного двигательного поведения, которое должно быть основано на постоянно взаимодействующих сенсорных сигналах различных модальностей, необходимо иметь модель внешнего мира и модель собственного тела, включая его структурную организацию, сенсорные и моторные возможности [49]. В последнее время появляются нейрофизиологические исследования, демонстрирующие какие зоны мозга участвуют в обработке мультисенсорной информации, необходимой для формирования схемы внутреннего представления «схема тела». Так, имеются сведения, что в восприятии себя и собственного тела важнейшую роль играют височно-теменная область коры больших полушарий, которая участвует в выработке представлений о расположении точки отсчёта и интеграции мультисенсорной информации, а также экстраприарное представительство тела (extrastriate body area), избирательно реагирующее на человеческое тело и его части [50, 51]. Исследователь Ю.С. Левик (2012) отмечает, что активность в данных областях мозга, а также их взаимодействие отвечает за формирование представлений о «я» как имеющем тело и находящемся в пределах собственного тела [11].

Вместе с этим, имеется большое количество сведений, позволяющих утверждать, что схема тела не является строго локализованной структурой, а, вероятнее всего, она является распределённой системой, элементы которой присутствуют на различных уровнях ЦНС, включая кору больших полушарий, продолговатый мозг, таламус, а также спинной мозг [52, 48]. Нарушения или патология, связанные с одной из этих структур вызывают различные ошибочные ощущения и представления о схеме своего тела [41].

Для обеспечения постурального баланса в организме функционирует сложная, многоуровневая регуляторная система. В данной системе выделяются различные компоненты, которые можно объединить по их функциональному значению: опорно-двигательный аппарат, центральная нервная система (ЦНС) и сенсорные системы [39, 41, 53].

Опорно-двигательный аппарат человека – это сложный самодвижущийся аппарат, который состоит из примерно шестисот мышц, двухсот костей, а также порядка двухсот сухожилий и обеспечивает поддержание поз и движение человека [39, 54].

Вертикальную позу тела можно рассматривать как результат биомеханического и рефлекторного взаимодействия всех мышц туловища и конечностей. Мышцы являются исполнительным органом и поддерживают положение тела в определенной позе за счёт мышечных сокращений и напряжений [53, 51, 36]. При относительно спокойном вертикальном положении тела, его поддержание осуществляется только тоническими и тонико-фазическими мышцами, которые характеризуются низкими энергозатратами и, соответственно, могут быть длительно напряжёнными. Для более сложных задач (движение и др.) задействуются физико-тоническая и физико-физическая мускулатура, способная к сильной нагрузке, но и быстро утомляющаяся. Американский исследователь F.B. Horak et al. отмечает, что медленные энергоэкономичные мышечные волокна, которые работают преимущественно в спокойных стойках, функционируют практически в изометрическом режиме, развивая длительные тетанические сокращения малой силы [45].

Несмотря на относительно низкую мышечную активность, направленную на поддержание позы, она не является пассивной. То есть, поддержание позы носит непрерывный динамический характер, в котором постоянная активность мышц шеи, туловища и конечностей обеспечивает тонус скелетных мышц, осевой тонус, индивидуальные позы, выражение лица и т.д. В этом смысле, поддержание позы есть способность к оптимальному балансированию в статических и динамических положениях, которое проявляется в постоянных позных корректировках в условиях действия различных факторов среды.

Для эффективного поддержания ПБ необходима афферентная информация от трех основных сенсорных систем: зрительной, вестибулярной, двигательной. Афферентная информация от данных сенсорных систем поступает в центральную нервную систему, где осуществляется её обработка и интеграция, на основании чего в дальнейшем реализуются эфферентные реакции с целью обеспечения постурального контроля.

Двигательная сенсорная система – это система, предоставляющая информацию о расположении частей тела относительно друг друга, а также о положении тела в пространстве [54]. Периферический отдел двигательной сенсорной системы представлен проприорецепторами, которые имеются в мышцах, сухожилиях, связках, фасциях и суставах. Проводниковый отдел двигательной сенсорной системы начинается от биполярных нейронов, тела которых находится в спинномозговых узлах, а дендриты связаны, с одной стороны, непосредственно с проприорецептором, а с другой, аксон, через спинной мозг, передает импульсы ко вторым нейронам, расположенным в продолговатом мозге. Аксоны этих нейронов направляются к зрительному бугру таламуса, в котором находятся третий нейроны, а уже они контактируют с четвёртыми нейронами в коре больших полушарий. Корковый отдел двигательной сенсорной системы представлен нейронами первой и второй соматосенсорных областей постцентральной извилины коры больших полушарий [14, 15].

Благодаря наличию проприорецепции человек обладает «чувством позы», т.е. даже при отсутствии афферентной информации от зрительной сенсорной системы возможно почувствовать небольшие колебания тела, а также углы расположения суставов тела. Это явление получило название кинестезии или мышечного чувства. Также можно выделить «чувство движения», которое играет важную роль в координационной деятельности и поддержании нормальной осанки тела.

Отмечается, что в относительно спокойных стойках, контроль позы может осуществляться на основе одной проприорецептивной информации, например, поддержание ПБ в статических условиях [31]. Однако в некоторых усложнённых постуральных условиях, возможно получение искажённой проприорецептивной

информации, что может явиться причиной потери равновесия, приводя к риску падения и травмы.

Зрительная сенсорная система – важный компонент в обеспечении ПБ тела. Периферический отдел зрительной сенсорной системы представлен фоторецепторами сетчатки глаза, в которой также содержатся тела первых и вторых нейронов проводникового пути. Волокна вторых нейронов образуют зрительный нерв, который перекрещиваясь в хиазме передаёт сигналы к отросткам третьих нейронов, частично расположенных в среднем мозге, а также в ядрах промежуточного мозга. Корковый отдел зрительной сенсорной системы включает в себя первичное и вторичное поля, которые располагаются в затылочной области коры больших полушарий [14, 15].

Проведено большое количество исследований, сравнивающих поддержание ПБ со зрительным контролем и без него, в которых продемонстрирована принципиально важная роль зрительного контроля в поддержании постурального баланса. Показано, что при отсутствии зрительного контроля заметно ухудшается вертикальная устойчивость [45, 50, 36]. При обследовании тренированных спортсменов, артистов цирка или других людей, обладающих специфическими координационными способностями, наблюдается компенсация отсутствия зрительной афферентной информации возможностями вестибулярного анализатора [31, 37].

В исследовании зрительной сенсорной системы, выявлено, что полное, центральное и периферическое зрение влияют на поддержание ПБ различным образом. Так, периферическое зрение, в условиях отсутствия или искаженности информации от двигательной сенсорной системы, в большей степени влияет на баланс в сагиттальной плоскости. При этом центральное зрение, напротив, осуществляет преимущественный контроль фронтальных колебаний.

Вестибулярная сенсорная система является одним из важнейших компонентов для ориентации организма в пространстве, а также для выполнения практически всех двигательных действий. Периферический отдел вестибулярной сенсорной системы расположен во внутреннем ухе и включает преддверие, представленное мешочком и маточкой, а также систему полукружных каналов. Рецепторные клетки мешочка и маточки покрыты отолитовой мембраной,

представляющей собой студенистое вещество, в которое погружаются волоски рецепторных клеток. Рецепторные клетки системы полукружных каналов также покрываются куполообразным студенистым веществом, куда погружены волоски рецепторных клеток гребешков. Проводниковый отдел включает как афферентные нервные волокна, так и эфферентные, которые влияют на изменение уровня восприимчивости волосковых клеток. Аксоны первых биполярных нейронов следуют к вестибулярным ядрам продолговатого мозга, где располагаются вторые нейроны. Вторые нейроны посыпают импульсы к спинному мозгу, вестибулярным ядрам противоположной стороны продолговатого мозга, а также таламусу, в заднем боковом ядре которого находятся третий нейроны. Аксоны третьих нейронов следуют напрямую в кору больших полушарий головного мозга [16, 49]. Корковый отдел состоит из двух вестибулярных зон: первая включает нейроны, расположенные в задней центральной и верхней височной извилинах, а вторая получает информацию полисинаптическим путём, который проходит через вестибулярные ядра продолговатого мозга, мозжечок, зрительный бугор и поступает в кору больших полушарий.

Отмечается наличие большого числа реципрокных связей между мозжечком вестибулярными ядрами. Вместе с этим, связи вестибулярных ядер с рядом экстравестибулярных структур в большинстве своём являются мультимодальными, поскольку к этим ядрам поступают сигналы от кортикальных, мозжечковых, а также других стволовых структур. Имеются сведения, что теменно-инсулярная кора больших полушарий, которая относится к корковому отделу вестибулярной сенсорной системы, является крайне важным компонентом, необходимым для обеспечения постурального контроля [54, 49, 46].

Вестибулярная сенсорная система отвечает за получение, передачу и анализ информации об ускорениях или замедлениях, которые возникают в процессе прямолинейных или вращательных движений тела, а также при поворотах головы [34, 41]. В свою очередь, вестибулярные ядра отвечают за контроль и управление двигательными реакциями, к которым относится постоянное изменение тонуса аксиальной мускулатуры, обеспечивающее поддержание вертикальной устойчивости [31, 37].

Н.А. Бернштейн писал о том, что вестибулярная система участвует в управлении двигательными действиями на почти всех пяти выделенных им уровнях, причём, на уровнях пространственного поля «С» и уровне «В» является ведущей системой [47]. При чрезмерном раздражении вестибулярного аппарата А.А. Приймаков отметил особенно выраженные нарушения при поддержании позы в сравнении с отсутствием зрительной информации, либо уменьшением площади опоры. Вместе с тем исследователь Е.Н. Винарская и соавт. (2018) пишут, что «...вестибулярная регуляция позной активности хороша для целей восстановления уже свершившегося нарушения равновесия посредством использования готовых, апробированных в видовом опыте двигательных автоматизмов (синергий)...». Однако, если необходим текущий контроль за поддержанием ПБ, а также ещё более трудный процесс его прогнозирования, то нужна интеграция информации от двигательной, вестибулярной и зрительной сенсорных систем.

Ряд авторов, в области изучения постуральной системы указывают на ведущую роль проприорецепции и в целом информации от двигательной сенсорной системы в процессе регуляции позы человека [33, 34]. Это подтверждается в исследованиях, в которых исключалось поступление афферентных импульсов от зрительного анализатора и искажалось от двигательного анализатора. В этом случае искажение информации от двигательной сенсорной системы выражалось в более серьёзных нарушениях поддержания ПБ, чем от зрительной сенсорной системы. Другие, напротив, отмечают зрительную сенсорную систему как важнейшую в регуляции произвольных движений, а сигналы с двигательной системы корректируются на основе зрительной информации об оценке расстояния или расположения частей тела [47, 34, 38]. Наиболее оптимальное заключение с учётом всех этих мнений видится в признании безусловной важности всех трёх сенсорных систем и что в осуществлении сложного процесса поддержания позы необходим комплекс сенсорных систем, информация от которых находит единое отражение в ЦНС.

Некоторые авторы [42, 39] также отмечают важность афферентных сигналов от так называемого «постурального датчика» – височно-нижнечелюстного сустава (зубочелюстная система). В работе Е.А. Соловых (2020) показано наличие

взаимосвязи между структурными нарушениями в зубочелюстной системе и функциональными нарушениями в постуральной системе [15, 45].

Важную информацию для обеспечения постурального контроля предоставляют тактильные рецепторы, которые информируют ЦНС о тактильной чувствительности. Тактильные рецепторы, расположенные в стопах, дают информацию о распределении давления, что позволяет установить наличие или отсутствие контакта с опорой [50, 51]. Эти сведения весьма важны для постурального контроля, поскольку смещение давления в подошвенной части стопы может рассматриваться как один из первых сигнализаторов колебаний тела и изменения вертикального положения. Следствием различного рода нарушений тактильных ощущений стоп может быть снижение уровня постурального баланса, которые связаны с получением неточной аfferентной информации [39, 45]. Также отмечается, что аfferентная информация, получаемая от тактильных рецепторов стоп, не только отправляет информацию в ЦНС о давлении на стопы, но и участвует в настройке спинномозговых нейронных механизмов.

Для всех рассматриваемых сенсорных систем характерна возрастающая сложность анализа и обработки поступающей аfferентной информации от первичных ассоциативных полей ко вторичным, а от них к третичным. Первичные (проекционные) поля коры больших полушарий подвергают анализу только специфические для себя раздражения, приходящие к ним от определённых рецепторов. Вторичные ассоциативные поля отвечают за процесс осмысления и восприятия сигналов специфической модальности. Далее информация от вторичных полей различных сенсорных систем направляется в зоны третичных полей, которые осуществляют сложный аfferентный синтез, интегрируя информацию разных модальностей и формируя необходимые для поддержания оптимального ПБ представления о схеме тела человека и расположении его отдельных частей в пространстве, а также об изменяющихся условиях окружающей действительности.

Рассматривая особенности контроля и регуляции постуральной активности, выделяются различные, иерархически выстроенные уровни ЦНС: корковый, стволовой, спинальный. Помимо этого, в поддержание позы вовлечены также таламус, мозжечок и базальные ядра. Данные структуры мозга могут сохранять

активность длительное время, обеспечивая возбуждение и торможение постуральных мышц.

Мозжечок, являющийся первичным центром анализа постуральной системы, благодаря своей взаимосвязи с вестибулярными ядрами, спинным мозгом, ретикулярной формацией, а также корой больших полушарий, позволяет рефлекторно поддерживать мышечный тонус, сохранять позу и удерживать равновесие во время стояния и ходьбы. Отмечается, что постуральный контроль со стороны мозжечка во многом зависит от афферентных сигналов, которые следуют из лабиринта по вестибулярному нерву к червю мозжечка и вестибулярным ядрам. Так, фастигиальное ядро мозжечка получает афферентную информацию от вестибулярной и зрительной сенсорных систем. В дальнейшем фастигиальное ядро посыпает интегрированную информацию высокого порядка в области ствола мозга и коры больших полушарий, что может обеспечивать «механизм коррекции ошибок», связанных с постуральными реакциями в динамических условиях. Имеются сведения, что благодаря наличию широких взаимосвязей мозжечка и коры больших полушарий постуральные реакции могут эффективно адаптироваться на основе, имеющихся двигательных программ. Таким образом, тесная связь мозжечка с корой больших полушарий, включая префронтальные её отделы и заднюю теменную кору, способствует реализации упреждающих позных корректировок.

Согласно современным представлениям подкорковые структуры, включающие базальные ядра, мозжечок, а также ретикуло- и вестибулоспинальную системы контролируют аксиальную мускулатуру мышц корпуса, которая обеспечивает поддержание различных поз. Роль базальных ядер в постуральном контроле демонстрируется на примере болезни Паркинсона, при которой серьёзно нарушается походка и способность поддерживать равновесие. Считается, что повреждение дофаминовых нейронов в компактной части черной субстанции, которые имеют проекции на базальные ядра, увеличивает тормозной выход нейромедиатора ГАМК из базальных ядер, что может сильно задерживать активность таламокортичальной системы и отрицательно сказываться на скорости и эффективности позных коррекций. Участие базальных ядер в поддержании ПБ подтверждается также в исследовании с использованием метода функциональной

магнитно-резонансной томографии, в котором испытуемых просили мысленно представить себя поддерживающего вертикальное положение тела, что сопровождалось активностью в базальных ядрах и таламусе.

Структуры ствола мозга способствуют координации правильного положения тела в пространстве через задействование статических и стато-кинетических рефлексов, а также оптимального распределения тонуса мышц. Реализация данных рефлексов осуществляется при участии нейронов вестибулярных ядер, ретикулярной формации, моста, а также красного ядра.

Считается, что ретикулоспинальный тракт способствует регуляции уровня мышечного тонуса. В свою очередь, имеются сведения, что в pontomedullарной ретикулярной формации может существовать функциональная организация, связанная с контролем постурального мышечного тонуса. Изучение активности ретикулоспинальных нейронов продемонстрировали, что те, которые расположены в дорсомедиальной части pontomedullарной ретикулярной формации, активны в период подавления мышечного тонуса, а в вентромедиальной части активны во время рефлекторного стояния. Следовательно, функциональная топографическая организация pontomedullарной ретикулярной формации может быть обусловлена необходимостью контроля постурального мышечного тонуса.

Роль таламуса в обеспечении постурального контроля заключается в том, что он пропускает через себя большую часть сенсорной информации прежде чем она доходит до коры больших полушарий. Следовательно, таламус является важным звеном обработки афферентной информации, тем самым, участвуя в формировании позных коррекций.

Вышерассмотренные уровни ЦНС выстраивают своё функционирование на основе поступающей афферентной информации от сенсорных систем. В результате реализуются корковые и подкорковые двигательные ответы, которые активируют деятельность аксиальной мускулатуры и мышц, которые необходимы для скоординированных движений по поддержанию ПБ [42, 39, 49]. Таким образом, создается функциональная система, позволяющая достигать в организме полезный приспособительный результат в виде поддержания ПБ [15].

Роль коры головного мозга, связанной с влиянием на постуральные реакции в настоящее время активно исследуется, однако вероятнее всего, она влияет на

поддержание вертикальной устойчивости, как через кортикоспинальные пути, так и через связь с центрами ствола мозга, которые обеспечивают интеграцию поступающих афферентных сигналов различной модальности и формирование двигательной программы, тем самым обуславливая оптимальную скорость и специфику реакции на восстановление баланса [34, 41]. Интегративная функция коры больших полушарий также отмечается А.Г. Камкиным и соавт. (2004), которые пишут, что сенсорная, ассоциативная, а также двигательная области коры больших полушарий отвечают за координацию функционирования соответствующих периферических систем. Причём, влияние кортикального уровня в регуляции усиливается параллельно росту трудности постуральной задачи. То есть, чем в более сложных условиях необходимо поддерживать ПБ, тем более высокие уровни регуляции действуются, в том числе структуры коры больших полушарий. Усложнённые условия могут создаваться не только особенностями поддержания позы (на одной ноге, с закрытыми глазами), но и влиянием когнитивных функций высокого порядка, которые, в свою очередь, находятся под контролем коры больших полушарий.

Рассматривая влияние коры больших полушарий на поддержание позы, отмечаем, имеющиеся сведения об участии областей префронтальной коры в постуральном контроле человека. С использованием метода функциональной спектроскопии показано участие префронтальной коры в поддержании ПБ. Также указывается на возрастающую активность префронтальной коры при восстановлении ПБ в вертикальной стойке в связи с его непредсказуемыми нарушениями [46, 51].

Иностранные исследователи указывают значимую роль латеральной части префронтальной коры в обеспечении поддержания позы, что подтверждается методами функциональной визуализации, с использованием которых показана активация данной части при необходимости воображаемого поддержания позы [35, 55]. Исследователи M. Mihara et al. (2008) отмечают активное участие дорсолатеральной префронтальной коры и фронтальных полей глаза (поля 8, 9 по Бродману) в поддержании вертикального положения тела [55]. Схожие сведения представляют и японские учёные H. Fujita et al. (2016), в которых поддержание ПБ связывают с необходимостью вовлечения активности дорсолатеральной

префронтальной коры и дополнительной моторной коры (supplementary motor area) [51, 35]. В объяснении роли префронтальной коры авторы, представленных исследований сходны в одном, что префронтальная коры участвует в обеспечении процесса внимания, который играет важную роль в обеспечении постурального контроля.

Отмечается, что ведущее значение для процессов контроля за поддержанием вертикальной позы отводится правому полушарию, которое отвечает за формирование целостного представления о пространстве, поиск отличий, а также обнаружение новизны [34]. В этой связи, иностранными исследователями показано [46], что при вестибулярной стимуляции отмечаются ответные реакции в теменно-инсулярной вестибулярной и зрительной височной сильвиевой областях коры обоих больших полушарий, однако в недоминантном полушарии (согласно межполушарной асимметрии) эта реакция оказывается в большей степени выраженной. Преобладание в общей популяции людей с правосторонним профилем асимметрии, обуславливает более частые патологии коркового отдела вестибулярной системы, связанные с правополушарными поражениями, что соотносится с представленными данными о ведущей роли правого полушария в обеспечении постурального баланса.

Отдельно стоит отметить, что как корковые, так и подкорковые иерархически подчиненные структуры мозга, необходимые для поддержания позы при доминирующей роли коры больших полушарий находятся в динамическом взаимодействии [48], что позволяет эффективно поддерживать постуральный баланс тела в изменяющихся условиях окружающей среды.

Другие исследователи рассматривают контроль и регуляцию постурального баланса немного иначе, указывая, что, как при статичном положении, так и во время движения ПБ зависит от сложного взаимодействия физиологических механизмов, в том числе обработки сенсорной информации с учётом постуральной схемы тела, а также от целей, прогнозирования, когнитивных особенностей и имеющегося опыта. Введение понятия «схемы тела» способствует пониманию особенностей рефлекторной модуляции ряда процессов, включающих оценку текущего состояния организма, прогнозирование, обучение и обеспечения взаимодействия между когнитивными и двигательными функциями.

Постуральный баланс человека обеспечивается, как упоминалось ранее статическими и статокинетическими тоническими рефлексами. Первые обеспечивают определённое положение тела в пространстве (познотонические рефлексы), а также возврат тела в его естественное положение (выпрямительные рефлексы). К познотоническим рефлексам относят тонические шейные рефлексы, тонические лабиринтные рефлексы, а к выпрямительным – лабиринтные выпрямительные и шейные выпрямительные рефлексы. Статокинетические рефлексы поддерживают положение тела во время перемещений [15, 34]. Группа статокинетических рефлексов представлена лифтными рефлексами, нистагмом глаз и головы, принятием поз при свободном падении, а также перераспределения тонуса мышц в условиях линейных и ротационных ускорений.

Синергии – это мышечные движения, объединённые близкими кинематическими характеристиками [39]. Касательно мышечных синергий, которые обеспечивают восстановление и поддержание позного баланса, отмечается, что каждая мышца относится одновременно к нескольким синергиям. За счёт этого создается некоторое количество степеней свободы, обеспечивающих гибкость постуральной системы в моменты усталости или резких изменений условий стояния.

Стратегии – это сложные движения, целью которых является конечный результат. Понятие «стратегий» связано с исследованиями американских учёных, в которых они выделили голеностопную и тазобедренную стратегии.

Голеностопная стратегия («ankle strategy») при поддержании постурального баланса реализуется за счёт изменения угла в голеностопном суставе. При этом наибольшей активностью характеризуется трёхглавая мышца голени. Зачастую, данная стратегия используется при незначительной потере равновесия на неподвижной устойчивой опоре, т. е., преимущественно, в спокойных условиях стояния [48, 49]. Эффективность данной стратегии базируется, преимущественно, на информации от двигательной сенсорной системы, включая рецепторы осязания [39].

Тазобедренная стратегия («hip strategy») применяется при резкой смене постуральных условий или стоянии на небольшой опоре, стабилизируя общий центр масс тела с помощью тазобедренного сустава. Имеются сведения, о том, что

тазобедренная стратегия используется, по большей части, для поддержания баланса во фронтальной плоскости. Также отмечается, что данная стратегия преобладает при поддержании ПБ одноопорной стойке. Тазобедренная стратегия основывается на изгибании туловища в тазобедренном суставе и дальнейшей активности мышц шеи, живота и четырехглавой мышцы бедра [39].

Имеются исследования, демонстрирующие, что голеностопная стратегия является более эффективной для поддержания постурального баланса в вертикальной стойке [42]. Вместе с тем, голеностопная стратегия ещё и более экономна с позиции уровня энергозатрат, поскольку для её реализации необходимо вовлечение меньшего количества мышечных групп.

Отмечается, что «позные стратегии» основываются на строгой определённой последовательности активации разных мышечных групп, которые формируются ещё в детстве [39]. Также имеются сведения, что для сохранения устойчивого вертикального положения тела необходима согласованная работа мышц туловища, верхнего и нижнего поясов, а также свободных частей нижних конечностей.

Помимо информации от основных сенсорных систем, на эффективность обеспечения постурального баланса влияет много других факторов, таких как возраст, антропометрические показатели, физиологическое состояние и двигательный опыт. Имеются сведения, что при прочих равных условиях меньшая длина тела будет давать некоторое преимущество в эффективности поддержания позы [49, 45]. Данная зависимость объясняется более низким расположением центра тяжести у человека с меньшей длиной тела, которая обуславливает более устойчивое положение тела. Обратная тенденция отмечается с длиной стопы, увеличение которой обуславливает большую опорную поверхность и, соответственно, может быть связано с более эффективным поддержанием позы. Также на особенности поддержания позы влияет наличие вредных привычек, а также образ жизни [39, 35].

С использованием близнецового метода исследована степень генетического и средового влияния на постуральный баланс среди близнецов пожилого возраста. Установлено, что 28% индивидуальных различий в эффективности поддержания ПБ объясняется генетическими влияниями. Опираясь на известные факты о сильной или умеренной генетической обусловленности скорости обработки

информации в ЦНС, а также тактильной чувствительности кожных рецепторов, авторы данной работы предполагают, что их оптимальные фенотипы будут способствовать высокому уровню ПБ. С возрастом возможности ЦНС в обработке афферентной информации различной модальности могут ухудшаться, следовательно, это ещё раз указывает на возможность генетических влияний психофизиологических особенностей ЦНС на эффективность поддержания позы. Наличие сильных генетических влияний, которые оказываются на антропометрические характеристики человека, также может в значительной степени обуславливать генетические влияния на эффективность поддержания позы, поскольку, известно о влиянии антропометрических показателей на постуральный контроль.

Имеются сведения, что дезинтеграция или неоптимальность функционирования когнитивной сферы человека либо его психоэмоционального состояния может приводить к нарушениям постурального баланса. Психоэмоциональный и когнитивный компоненты через лимбическую систему и ассоциативную кору больших полушарий мозга влияют на процессы постурального контроля. Отмечается, что на ПБ также влияют особенности нервно-мышечной системы человека, наличие некоторых неврологических патологий, связанных с опорно-двигательным аппаратом, различные когнитивные нарушения и психические расстройства также негативно влияют на эффективность ПБ [45, 48].

В работах иностранных исследователей отмечается, что система поддержания ПБ не является полностью автономной и требует привлечения когнитивных ресурсов, в частности, ресурсов внимания [51, 35]. Позднее показано, что для обеспечения постурального контроля необходимо участие рабочей памяти, внимания, а также способности к быстрому его переключению, что подтверждает необходимость участия когнитивных функций для успешного поддержания позы. Требования к ресурсам внимания для контроля позы увеличиваются с возрастом, с трудностью выполнения постуральной задачи, отсутствием информации от сенсорных систем, а также при наличии патологии или травмы. Поскольку имеются сведения о том, что префронтальные отделы коры больших полушарий являются морфологической структурой для осуществления функций внимания и в целом когнитивных управляющих функций, то данный отдел коры больших

полушарий является одним из важных компонентов обеспечения постурального контроля, что было подробно рассмотрено выше.

Главный фактор, который влияет на эффективность поддержания постурального баланса у здоровых молодых людей – это двигательный опыт, к которому относятся все виды физической активности, включая занятия физической культурой и спортом [51, 55].

Спортивная деятельность в значительной степени обусловлена способностью к экономичному и эффективному поддержанию определённых поз, а также их адаптивному изменению, для достижения оптимальности выполнения двигательных действий. В свою очередь, оптимальность выполнения движений определяет спортивную результативность, следовательно, изучение системы регуляции позы у спортсменов является важным направлением исследований для спортивной науки.

В научной литературе имеются данные о том, что уровень поддержания вертикальной стойки более высокий у спортсменов, в сравнении лицами, не занимающимися спортом [40, 35, 45]. Однако данные различия, зачастую, выявляются только в усложнённых или специфических для конкретного вида спорта условиях поддержания позы и отсутствуют в простых стойках. При отключении зрительного контроля уровень вертикальной устойчивости спортсменов снижается в значительно меньшей степени, в сравнении с людьми, не занимающимися спортом. Также отмечается, что спортсмены обладают более высоким уровнем поддержания ПБ в динамических условиях, чем лица, не занимающиеся спортом [35, 50].

Исследователями отмечается взаимосвязь между ПБ и спортивными результатами спортсменов и людей, регулярно занимающихся физическими упражнениями. Способность удержания статического и динамического постурального баланса составляет основу успеха в спорте [54, 40, 48]. В настоящее время постуральный баланс рассматривается уже не только как фактор, оказывающий влияние на достижение спортивных результатов, но и как необходимое условие для уменьшения вероятности травм. Наблюдаемое, с одной стороны, положительное влияние от занятий физическими упражнениями на

эффективность поддержания ПБ, с другой стороны, позволяет снизить риск дисбаланса в теле, а соответственно и последующих спортивных травм.

Установлено, что спортсмены с большим уровнем колебаний ОЦД как во фронтальной, так и в сагиттальной плоскостях характеризуются повышенной склонностью к травмам в последующий тренировочный период [46]. Профессор Erika Zemková считает, что потери равновесия, при постоянных сменах направления движения, характерных для игровых видов спорта, могут являться причиной травм колена [46]. Иранские исследователи F. Halabchi et al. (2020) заключают, что плохой постуральный баланс и неоптимальный контроль позы повышает риск повторного растяжения связок [35]. Низкий уровень поддержания ПБ в динамических условиях является одним из факторов, который связан с более высоким риском травм неконтактных повреждений нижних конечностей.

Отмечается, что оптимальный постуральный баланс повышает эффективность выполнения двигательных действий в спорте, а, соответственно, положительно влияет на спортивный результат [38, 40, 49]. Некоторые исследователи считают, что уровень ПБ определяет, а зачастую, лимитирует спортивный результат [50]. Ряд исследователей и вовсе отмечают, что низкий уровень постурального баланса может ограничивать работоспособность спортсмена [28, 44]. Считается, что овладение техническими элементами и двигательными действиями в целом, а также их дальнейшее совершенствование в любом виде спорта невозможно без эффективного поддержания необходимой позы [23, 34, 35, 41].

Оптимальное положение тела в пространстве, по отношению к объектам окружающей среды обуславливает эффективность реализации двигательных действий, причём разного характера: циклических, ациклических, акробатических, спортивно-игровых. Отмечается взаимосвязь между уровнем постурального баланса и технической подготовкой (ведение мяча, передачи, удары), а также скоростными способностями (ускорение, остановки) в небольших по количеству игроков футбольных матчах.

Таким образом, постуральная система человека есть сложный функциональный механизм, деятельность которого зависит от большого количества компонентов. Целью функционирования постуральной системы

является поддержание постурального баланса для недопущения потери равновесия или падения в статических и динамических условиях. За последние годы исследования постуральной системы у спортсменов достигнуто значительное продвижение в понимании особенностей её функционирования и роли оптимального постурального баланса для достижения высокого спортивного результата. Вместе с тем, в имеющихся сведениях имеются противоречия, и они нуждаются в дополнительных исследованиях. Например, касательно особенностей функционирования постуральной системы спортсменов в конкретных видах спорта, а также их связи со спецификой вида спорта.

Спортсмены игровых видов спорта, в частности, футболисты находятся в специфических условиях поддержания постурального баланса, которые связаны с необходимостью постоянного изменения траектории движения, резкими остановками, а также непредсказуемостью и быстрым изменением игровых ситуаций. Специфика игровой деятельности футболистов обуславливает активизацию адаптационных процессов, которые, в том числе, перестраивают работу постуральной системы наиболее оптимальным для футболистов образом. В связи этим, существует необходимость дальнейших исследований в направлении изучения особенностей поддержания позы у футболистов с использованием специфических для них тестов. Данные о механизмах поддержания позы у футболистов будут иметь важное теоретическое значение, поскольку они расширят имеющиеся представления о функционировании постуральной системы спортсмена, а также практическое значения для уменьшения риска травм и оптимизации тренировочного процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных методик дают интегральную оценку нервной системе и служат индикатором функционального состояния студентов-спортсменов. Анализ и интерпретация результатов выполнения этих тестов позволяют оценить различные свойства ЦНС и ее работоспособность. Этот факт подтверждает необходимость индивидуального подхода к оценкам функционального статуса спортсменов, что далее позволит перестроить тренировочный процесс в направлении улучшения каждой характеристики нервной системы, и соответствующих, двигательных качеств, находящихся под их контролем.

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы:

- а) в ходе изучения функционального состояния центральной нервной системы установлено, что показатели реакции на движущийся объект у студентов характеризуются высокой степенью уравновешенности нервной системы (в среднем около 47 % точных реакций, точные реакции были преобладающими у 86 % юношей), что свидетельствует о сформированных механизмах специфической адаптации ЦНС спортсменов, занимающихся игровыми видами спорта;
- б) установлено, что у юношей, занимающихся игровыми видами спорта, среднее время сложной двигательной реакции превысило среднее время простой двигательной реакции на 50 %. Количество ошибок возросло в 1,8 раза по сравнению с простой двигательной реакцией;
- в) у студентов-спортсменов, занимающихся игровыми видами спорта, выявлена не достаточно высокая пропускная способность мозга, что может быть обусловлено, во-первых, их низкой спортивной квалификацией, во-вторых, прекращением активных занятий игровыми видами спорта непосредственно в спортивных клубах, что приводит к снижению или даже отсутствию соревновательной практики;
- г) в целом, на основании вышеизложенного можно утверждать, что ациклические виды спорта (спортивные игры), для которых характерна высокая скорость движений, совершаемых в постоянно изменяющихся внешних условиях,

способствуют развитию у спортсмена способности к быстрому принятию адекватных решений в условиях лимитированного времени и множественного выбора;

д) главный фактор, который влияет на эффективность поддержания постурального баланса у здоровых молодых людей – это двигательный опыт, к которому относятся все виды физической активности, включая занятия физической культурой и спортом. Спортсмены-футболисты обладают лучшим уровнем одноопорной устойчивости, чем их сверстники-студенты, не занимающиеся спортом;

е) анализ научной литературы показал, что система поддержания ПБ не является полностью автономной и требует привлечения когнитивных ресурсов, в частности, ресурсов внимания, памяти, а также способности к быстрому ее переключению. Результаты, представленные в данном исследовании, могут быть использованы при разработке подходов к оценке эффективности поддержания постурального баланса в одноопорной стойке, а также могут быть полезны для повышения уровня одноопорной устойчивости футболистов;

ж) таким образом, постуральная система человека есть сложный функциональный механизм, деятельность которого зависит от большого количества компонентов. Спортсмены игровых видов спорта, в частности, футболисты находятся в специфических условиях поддержания постурального баланса, которые связаны с необходимостью постоянного изменения траектории движения, резкими остановками, а также непредсказуемостью и быстрым изменением игровых ситуаций. Специфика игровой деятельности футболистов обуславливает активизацию адаптационных процессов, которые, в том числе, перестраивают работу постуральной системы наиболее оптимальным для футболистов образом.

Полученные данные могут применяться для совершенствования способов оценки постурального баланса в одноопорной стойке. Также они могут быть полезны для повышения эффективности методик развития координационных способностей спортсменов-игровиков, через учёт, выявленных особенностей их постуральной адаптации.

В целом результаты исследования могут быть использованы для прогнозирования тенденций роста спортивных показателей и влияющих на них критериев спортивной успешности, перспективного планирования и программирования тренировочного процесса на основе знания законов онтогенеза и особенностей постуральной адаптации представителей игровых видов спорта.

Результаты исследования могут применяться в практической деятельности специалистов по физической культуре и спорту для повышения функционального состояния и физической работоспособности, оптимизации и индивидуализации в планировании объема тренировочных нагрузок студентов, занимающихся игровыми видами спорта со скоростно-силовой направленностью тренировочного процесса.

Поставленные задачи решены полностью. Результаты исследований докладывались на республиканских и международных конференциях, семинарах, использовались при чтении лекций по учебной дисциплине «Физиология спорта», при подготовке магистрантов, аспирантов и соискателей. Материалы исследований были опубликованы в открытой печати в форме статей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Агаджанян, Н. А. Этюды об адаптации и путях сохранения здоровья / Н. А. Агаджанян, А. И. Труханов, Б. А. Шендеров. – М. : ВЛАДОС, 2002. – 97 с.
- 2 Агаджанян, Н. А. Качество и образ жизни студенческой молодежи / Н. А. Агаджанян, И. В. Радыш // Экология человека. 2009. – № 5. – С. 3–8.
- 3 Александрова, Ю. И. Психофизиология / Ю. И. Александрова. СПб. : «Питер», 2004. – 127 с.
- 4 Анохин, А. В. Проявления психофизиологических свойств в состоянии и деятельности спортсменов-единоборцев / А. В. Анохин, А. В. Родионов, Е. А. Уваров // Вестник спортивной науки. № 1(6). – 2005. – С. 45–48.
- 5 Блинов, Н. Г. Практикум по психофизиологической диагностике / Н. Г. Блинов, Л. Н. Игишева. М.: ФиС, 2000. – 200 с.
- 6 Ахмедова, О. О. Психофизиологическое состояние студентов-первокурсников с разным уровнем двигательной активности / О. О. Ахмедова, Г. О. Оvezгельдыева, А. Г. Григорьян // Физиология человека. Т. 37. – № 5. 2011. – С. 84–90.
- 7 Ильин, Е. П. Психофизиология состояний человека / Е. П. Ильин. – СПб.: Питер, 2005. – 412 с.
- 8 Балюк, В. Г. Взаимосвязь и значимость основных нейродинамических характеристик спортсменов различной специализации и квалификации: автореф. дис. канд. биол. наук / В. Г. Балюк. Архангельск, 2009. – 20 с.
- 9 Бароненко, В. А. Здоровье и физическая культура студента: учеб. пособие / В. А. Бароненко, Л. А. Рапопорт. – 2-е изд., перераб. – М. : ИНФРА-М, 2014. – 336 с.
- 10 Барыбина, Л. Н.. Характеристика психофизиологических показателей студентов различных спортивных специализаций / Л. Н. Барыбина, Ж. Л. Козина // Физическое воспитание студентов. – № 4. – 2010. – С. 6–11.
- 11 Башкин, В. М. Исследование изменения функционального состояния центральной нервной системы спортсменов в течение различных тренировочных периодов / В. М. Башкин // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгавта, № 9 (55). – 2009. – С. 8–10.

- 12 Блеер, А. Н. Психология деятельности в экстремальных условиях / А. Н. Блеер. – М. : Академия, 2008. – 254 с.
- 13 Блинов, Н. Г. Практикум по психофизиологической диагностике / Н. Г Блинов, Л. Н. Игишева, Н. А. Литвинова, А. И. Федоров // учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М. :ВЛАДОС, 2000. – 128 с.
- 14 Солодков, А. С. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная : учебник / А. С. Солодков, Е. Б. Сологуб. – 8-е изд. – М. : Спорт, 2018. – 620 с.
- 15 Солодков, А. С. Функциональная система адаптации и ее составляющие / А. С. Солодков // Адаптация в спорте: состояние, перспективы, проблемы : Материалы междунар. науч. конф. – СПб. – 2009. – С. 220–221.
- 16 Ильин, Е. П. Психология спорта / Е. П. Ильин / – СПб. : Питер, 2010. – 352 с.
- 17 Ковалева, А. В. Исполнительные функции, вегетативные процессы и постуральный контроль: пилотное исследование на студентах спортивного вуза / А. В. Ковалёва, А. И. Кузнецов // Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И. П. Павлова с международным участием, Воронеж, 18–22 сентября 2017 г. – Воронеж : Издательство Истоки, 2017. – С. 278–280.
- 18 Кораблёва, Ю. Б. Характеристика ритма и проводимости сердца у спортсменов циклических и ациклических видов спорта в зависимости от механизмов поддержания вертикальной позы : дис ... канд. биолог. наук : 03.03.01 / Ю. Б. Кораблёва. – Челябинск, 2020. – 145 с.
- 19 Корельская, И. Е. Экспресс оценка состояния центральной нервной системы человека по параметрам простой зрительно-моторной реакции / И. Е. Корельская, А. А. Кузнецов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 2. – С. 194 – 197.
- 20 Лаврова, О. В. Руководство к практическим занятиям по психофизиологии / О. В. Лаврова [и др.]. – Самара : НВФ «СМС», 1999. – 164 с.
- 21 Лойко, Т. В. Физиологические основы развития физических качеств и формирования двигательного навыка : пособие / Т. В. Лойко ; Белорус. гос. ун-т физ. культуры. – Минск : БГУФК, 2018. – 41 с.

- 22 Платонов, В. Н. Периодизация спортивной тренировки. Общая теория и ее практическое применение / В. Н. Платонов. – Киев : Олимпийская литература, 2013. – 624 с.
- 23 Сафонов, В. К. Психология спортсмена : слагаемые успеха / В. К. Сафонов. – М. : Спорт, 2018. – 288 с.
- 24 Горбунов, Г. Д. Психология физической культуры и спорта / Г. Д. Горбунов, Е. Н. Гогунов. М. : Изд. центр «Академия», 2003. – 256 с.
- 25 Мантрова, И. Н. Методическое руководство по психофизиологической и психологической диагностике ООО "Нейрософт" (Россия, Иваново), 2007. – 216 с.
- 26 Роженцов, В. В. Адаптация зрительного анализатора при измерении времени зрительного восприятия / В. В. Роженцов, М. М. Полевщикова // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 11. – С. 181–184.
- 27 Руководство к практическим занятиям по физиологии человека : учеб. пособие для вузов физ. культуры / под общ. ред. А. С. Солодкова ; НГУ им. П. Ф. Лесгатта. – 2-е изд. испр. и доп. – М. : Советский спорт, 2011. – 200 с.
- 28 Красноперова, Т. В. Физиологическая значимость стабилометрического исследования в сложнокоординационных видах спорта / Т. В. Красноперова, Н. Б. Котелевская, Т. Ф. Абрамова // Теория и практика физической культуры. – 2020. – № 7. – С. 13–15.
- 29 Барчукова, Г. В. Возрастные аспекты проявления равновесия у людей разного возраста, занимающихся и не занимающихся настольным теннисом / Г. В. Барчукова, М. Чубарова // Актуальные проблемы и перспективы развития индивидуально-игровых видов спорта: материалы Всероссийской заочной научной конференции 6 февраля – 10 апреля 2018 г. / Под. ред. Г.В. Барчуковой, Е.Е. Жигун. – М., РГУФКСМиТ, 2018. – С. 111–117.
- 30 Кубряк, О. В. Московский консенсус по применению стабилометрии и биоуправления по опорной реакции / О. В. Кубряк, И. В. Кривошей // XXIII съезд физиологического общества им. И.П. Павлова: материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием. Воронеж, 18-22 сентября 2017 г. – М. : Издательство Истоки, 2017. – С. 300–301.

31 Грибанов, А. В. Физиологические механизмы регуляции постурального баланса человека (обзор) / А. В. Грибанов, А. К. Шерстенникова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. – 2013. – № 4. – С. 20–29.

32 Жильцова, И. И. Влияние психоэмоционального напряжения на постуральную устойчивость по показателям спектра статокинезиограммы и вариабельности сердечного ритма / И. И. Жильцова, Н. В. Альжев, О. А. Анненков [и др.] // Военно-медицинский журнал. – 2018. – Т. 339. – №. 6. – С. 61–69.

33 Бердичевская, Е. М. Особенности постуральной регуляции вертикальной позы в различных видах спорта / Е. М. Бердичевская, А. М. Пантелейева // Материалы научной и научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава Кубанского государственного университета физической культуры, спорта и туризма. – 2020. – № 1. – С. 153–154.

34 Тришин, А. С. Динамическая позная устойчивость высококвалифицированных спортсменов, специализирующихся в игровых видах спорта / А. С. Тришин [и др.] // Журн. мед.-биол. исследований, 2020. – Т. 8, № 4. – С. 401–408.

35 Halabchi, F. Comparison of Static and Dynamic Balance in Male Football and Basketball Players / F. Halabchi, L. Abbasian, M. Mirshahi et al. // Foot. Ankle. Spec. – 2020. – №13 (3). – Р. 228–235.

36 Paillard, T. Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience / T. Paillard // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2017. – Vol. 72. – Р. 129–152.

37 Гудков, А. Б. Постуральный баланс у пожилых на севере / А. Б. Гудков, А. В. Демин, А. В. Грибанов. – Архангельск, 2014. – 196 с.

38 Николаев, Р. Ю. Сравнение постурального контроля на устойчивой и подвижной опорах / Р. Ю. Николаев, П. А. Смирнова, А. А. Мельников // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2020. – № 1(31). – С. 75–80.

39 Грибанов, А. В. Физиологические механизмы регуляции постурального баланса человека (обзор) / А. В. Грибанов, А. К. Шерстенникова // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. – 2013. – № 4. – С. 20–29.

- 40 Amin, D. J. The relationship between ankle joint physiological characteristics and balance control during unilateral stance / D. J. Amin, L. C. Herrington // *Gait & posture*. – 2014. – Т. 39. – №. 2. – Р. 718–722.
- 41 Тришин, А. С. Физиологическая характеристика позной устойчивости у квалифицированных баскетболистов с учетом функциональной асимметрии : дис ... канд. Биолог. Наук : 03.03.01 / А. С. Тришин. – Краснодар, 2019. – 160 с.
- 42 Болобан, В. Г. Системная стабилография: методология и методы измерения, анализа и оценки статодинамической устойчивости тела спортсмена // Наука в олимпийском спорте. – 2012. – №. 1. – С. 27–35.
- 43 Магнус, Р. Установка тела / Р. Магнус. – М. : Просвещение, 1962. – 624 с.
- 44 Айдаркин, Е. К. Исследование механизмов решения когнитивных задач в условиях конкуренции за ресурсы внимания / Е. К. Айдаркин, А. С. Фомина // *Валеология*. – 2016. – №. 3. – С. 49–63.
- 45 Huurnink, A. The effect of leg preference on postural stability in healthy athletes / A. Huurnink, D. P. Fransz, I. Kingma et al. // *J Biomech*. – 2014. – Vol. 47. – Р. 308–312.
- 46 Lesinski, M. Effects of balance training on balance performance in healthy older adults: a systematic review and meta-analysis / M. Lesinski, T. Hortobágyi, T. Muehlbauer [et al.] // *Sports Med*. – 2015. – Vol. 45, iss. 12. – Р. 1721–1738.
- 47 Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. – М. : Медицина, 1966. – 156 с.
- 48 Новотоцкий-Власов, В. Ю. Метод подавления повторяющихся артефактов в многоканальной записи ЭЭГ / В. Ю. Новотоцкий-Власов, Ж. В. Гарах, В. П. Ковалев // *Физиология человека*. – 2007 – Т. 33, № 2. – С. 115–120.
- 49 Behm, D. G. Effects of strength training using unstable surfaces on strength, power and balance performance across the lifespan: a systematic review and meta-analysis / T. Muehlbauer, A. Kibele, U. Granacher [et al.] // *Sports Med*. – 2015. – Vol. 45, iss. 12. – Р. 1645–1669.
- 50 Pankarin, E. S. Static posturography as an instrument to assess the balance among athletes / E. S. Pankarin, A. M. Dobosiewicz, P. Miętkowska // *Journal of Education, Health and Sport*. – 2018. – Vol. 8. – №. 5. – Р. 216–225.

- 51 Hrysomallis, C. Balance ability and athletic performance / C. Hrysomallis // Sports Med. – 2011. – Vol. 41, iss. 3. – P. 221–232.
- 52 Мороз, М. П. Экспресс-диагностика работоспособности и функционального состояния человека: методич. рук. / М. П. Мороз. – СПб. : ИМАТОН, 2007. – 40 с.
- 53 Таймазов, В. А. Общие указания по организации процедуры психофизиологического обследования / В. А. Таймазов, Я.В. Голуб // Психофизиологическое состояние спортсмена (Методы оценки и коррекции). – СПб. : Олимп СПб, 2004. – С. 51–62.
- 54 Судаков, К. В. Индивидуальность эмоционального стресса / К. В. Судаков // Журнал неврологии и психиатрии. – 2005. – Т. 105, № 2. – С. 4–12.
- 55 Pozzo, P. R. Relationships between postural control mechanism during dynamic balance test with and without cognitive supplementary tasks among young boys and athletes / P. Z. Pozzo // International Journal of Psychophysiology. – 2018. – Vol. 131. – P. 47.