

НЕЙРОДИНАМИЧЕСКИЕ КОМПЕНСАТОРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ НАРУШЕНИЯ ЗРЕНИЯ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕГА У ЭЛИТНОЙ СПОРТСМЕНКИ В ПАРАЛИМПИЙСКОМ СПРИНТЕ

Сафронов Д. В., Чайка Е. И., Белозеров И. В., Козин С. В., Козина Ж. Л.

Целью нашей работы стало выявление потенциальных компенсаторных механизмов нарушения зрения у элитной спортсменки в паралимпийском спринте на основе анализа биомеханических характеристик бега и показателей нейродинамики. В исследовании приняла участие спортсменка высокой квалификации с нарушениями зрения (категория T12). В течение 5 месяцев анализировались индивидуальные особенности психофизиологического состояния и результаты в беге на 60, 80, 100, 120, 200 м, определялись биомеханические характеристики бега на 100 м. Обследуемая спортсменка – нетипичный спринтер, так как является представителем подвижного и сильного типа нервной системы, что позволяет ей поддерживать более высокую скорость на дистанции более длительное время по сравнению с другими спортсменами, что можно рассматривать как потенциальный резерв. Роль слухового анализатора не выявлена в качестве компенсаторного механизма зрительной дисфункции. Была обнаружена высокая достоверная взаимосвязь между нейродинамическими и биомеханическими характеристиками обследуемой спортсменки. Согласно результатам исследования, совершенствование биомеханики бега путем акцента на работу кинестетического анализатора может дать увеличение скорости на дистанции с ее сохранением практически до финиша.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: спринт, паралимпиец, зрение, адаптация, нейродинамика, биомеханика

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сафронов Данил Викторович, к.м.н., доцент кафедры хирургических болезней, оперативной хирургии и топографической анатомии Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина, пл. Свободы, 6, Харьков, Украина, 61022, e-mail: safronovdaniil70@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9608-8670>

Чайка Елена Ивановна, Заслуженный мастер спорта по легкой атлетике, соискатель, Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, ул. Сумская, 77/79, Харьков, Украина, 61023, e-mail: Zhanneta.kozina@gmail.com

Белозеров Игорь Викторович, д.м.н., профессор кафедры хирургических болезней, оперативной хирургии и топографической анатомии Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина, пл. Свободы, 6, Харьков, Украина, 61022, e-mail: armm.meddep@karazin.ua

Козин С.В., студент Харьковского национального педагогического университета имени Г. С. Сковороды, ул. Алчевских, 29, Харьков, 61002, e-mail: kozin.serenya@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1351-664X>

Козина Жаннета Леонидовна, д.н. ФВиС, профессор, завдучав кафедры олімпійського і професійного спорту та спортивних ігор Харьковского национального педагогического университета им. Г. С. Сковороды, ул. Алчевских, 29, Харьков, 61002, e-mail: Zhanneta.kozina@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5588-4825>, ScopusAuthorID: 56707357300

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время нарушение зрения является одной из основных проблем здоровья людей. Существует множество различных методик улучшения зрения (специальные упражнения, образ жизни), а также методов коррекции зрительного анализатора (линзы, очки). Однако в ряде случаев зрение тяжело поддается коррективке. И в этом случае особое значение приобретает развитие компенсаторных механизмов зрительной дисфункции

[1, 2]. Эти механизмы чаще всего заключаются в активизации других анализаторов (слухового, кинестетического), а также могут заключаться в работе нервной системы в целом. Такая компенсация характерна для людей с врожденными аномалиями зрения, поскольку существует достаточно длительный период адаптации. Для людей, у которых нарушения работы зрительного анализатора развились в зрелом возрасте, компенсаторные механизмы развиты намного слабее, хотя при отсутствии возможностей восстановления

зрительной функции компенсаторные механизмы являются единственным средством обеспечения качества жизни. Поэтому изучение проблемы развития компенсаторных имеет большое значение для всех категорий населения, страдающих нарушениями работы зрительного анализатора. Особое значение данная проблема имеет для паралимпийцев с нарушением зрения, поскольку в данном случае развитие компенсаторных механизмов служит не только поддержанию качества жизни, но и достижению высоких спортивных результатов [3–6].

Одним из факторов обеспечения высоких спортивных результатов являются нейродинамические функции или свойства нервной системы (англ. Properties of the nervous system) [7–10]. Согласно современным определениям данного понятия, это устойчивые динамические особенности нервной системы, по большей степени генетически детерминированные, которые определяют индивидуальные различия в поведении при реагировании на воздействия физической и социальной среды. В настоящее время свойства нервной системы представляют в виде иерархии уровней: 1) элементарные (свойства отдельных нейронов), чаще всего применяется в определении особенностей работы двигательных и других нейронов; 2) комплексные (свойства различных структур мозга), чаще всего применяется при определении работы отдельных анализаторов; 3) общемозговые (системные) свойства (т. е. свойства целого мозга), чаще всего применяется как показатели индивидуальных типологических характеристик. Нейродинамические функции относят также к психофизиологическим функциям, которые объединяют широкий спектр показателей, отражающих на физиологическом уровне работу нервной системы. Во многих исследованиях «нейродинамические» и «психофизиологические» функции являются взаимопересекающимися понятиями [11, 12].

Основными свойствами нервной системы являются сила, подвижность и уравновешенность нервных процессов [11–13]: сила – способность нервных клеток сохранять нормальную работоспособность при значительном напряжении возбужденных и тормозных процессов. Считается, что лица с более сильной нервной системой

выносливее и стрессоустойчивее. Подвижность нервной системы выражается в способности быстрого перехода от одного процесса к другому. Лица с более подвижной нервной системой отличаются гибкостью поведения, быстрее приспосабливаются к новым условиям. Уравновешенность означает одинаковую выраженность процессов возбуждения и торможения. Люди с более уравновешенной нервной системой характеризуются и более уравновешенным поведением.

В дальнейшем, в связи с новыми методами исследования свойств нервной системы были существенно уточнены как структура основных свойств нервной системы, так и их нейрофизиологическое содержание [14–16]. В этих исследованиях было показано, что так называемая слабая нервная система не является недостатком, а является признаком более высокой восприимчивости к окружающему миру. Более того, в исследованиях Е. П. Ильина [15; 16] было показано, что среди спортсменов различных специализаций представители сильной или слабой нервной системы. Так, например, спринтеры, как правило, отличаются слабой нервной системой, т. е. их нервная система быстро включается в работу при малых раздражителях, однако они не могут долго поддерживать нервно-психическое напряжение. Среди стайеров преобладают представители сильной нервной системы. Для представителей спортивных игр, единоборств большое значение имеет подвижность нервной системы.

Е. П. Ильин [15; 16] предложил также методику определения силы нервной системы по теппинг-тесту: испытуемый выполняет данный тест пятью сериями, определяется частота движений в каждой серии. Чем более резко снижается частота движений от первой серии теста к последующим, тем выше утомляемость нервной системы (меньше сила) и выше чувствительность.

В исследованиях В. С. Лизогуба с соавторами [11] была предложена компьютеризированная методика определения силы и подвижности нервной системы. В данной методике для определения свойств нервной системы применяется определение скорости реакции в различных режимах тестирования и количество ошибок при выполнении

тестов. Данная методика основана на тех же принципах, что и методика Е. П. Ильина [15; 16], только вместо теппинг-теста используется скорость сложной реакции. Авторы предложили несколько режимов тестирования. В режиме тестирования с обратной связью каждый следующий сигнал подается тем быстрее, чем быстрее испытуемый отвечает на предыдущий сигнал. Чем быстрее испытуемый выходит на свою максимальную скорость реакции, чем быстрее скорость реакции и меньше общее время выполнения теста, тем выше подвижность нервной системы. Чем меньше ошибок совершает испытуемый, тем выше сила нервной системы. В режиме навязанного ритма испытуемому дается несколько серий раздражителей, причем в каждой серии скорость появления сигналов увеличивается. Чем дольше испытуемому удастся удержаться без резкого падения точности ответов, тем выше сила нервной системы.

Поскольку свойства нервной системы являются врожденными характеристиками и относительно слабо поддаются развитию, по данным показателям рекомендуется прогнозировать склонность человека к определенному виду деятельности, а спортсмена – к выбору спортивной специализации или определять особенности индивидуального подхода к тренировке спортсменов внутри специализации [17; 18].

Адаптационные изменения к физическим нагрузкам со стороны нервной системы возникают как на уровне отдельных нейронов, анализаторов, так и на уровне центральной нервной системы в целом. В случае недостаточности зрительного анализатора компенсаторные механизмы могут проявляться в активизации слухового, кинестетического анализаторов, а также на уровне всей нервной системы в целом [19]. На уровне нервной системы в целом компенсаторные механизмы могут проявляться в активизации свойств нервной системы. Как правило, компенсаторные механизмы возникают в работе функций, которые являются наиболее индивидуально выраженными для человека. Например, если у человека с нарушением зрения более развит слух или тактильная чувствительность, то компенсаторные механизмы проявляются в более выраженном развитии этих функций. Если для человека с недостаточностью функционирования

какого-либо анализатора характерно развитие определенных свойств нервной системы, то, логично предположить, что компенсаторные механизмы могут проявляться также в более выраженном развитии этих свойств нервной системы.

Исходя из данных положений, была поставлена гипотеза: 1) существует взаимосвязь между нейродинамическими функциями, биомеханическими характеристиками и скоростью бега; 2) у элитной спортсменки с нарушением зрения компенсаторные механизмы могут проявляться не только на уровне развития отдельных анализаторов, а также на уровне свойств нервной системы.

Изучение компенсаторных механизмов зрительной дисфункции имеет большое значение как для спортсменов паралимпийцев, так и для людей, страдающих подобными дисфункциями, особенно в случаях, когда нарушения анализаторов возникли в зрелом возрасте, и естественные адаптационные механизмы не успели включиться в процессе роста и развития организма.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

На основе анализа биомеханических характеристик бега и показателей нейродинамики выявить потенциальные компенсаторные механизмы нарушения зрения у элитной спортсменки в паралимпийском спринте.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Участники

В исследовании приняла участие спортсменка высокой квалификации, специализирующаяся в беге на короткие дистанции и прыжках в длину, чемпионка Европы по легкой атлетике 2010 года; призер чемпионатов мира среди паралимпийцев и Паралимпийских игр среди спортсменов с недостатками зрения (категория T12 [1; 7; 9]) 2016 года. Категория T12 предусматривает соревнования в беге паралимпийцев с сопровождением партнера, который контролирует направление движения паралимпийца. Спортсмены-паралимпийцы разбиваются на категории непосредственно перед соревнованиями. Принадлежность к определенной функциональной категории устанавливает паралимпийская медицинская комиссия. При этом в одну категорию могут попасть спортсмены с различными диагнозами, но с

подобными функциональными возможностями. Так, в категорию T12, как правило, попадают спортсмены, у которых тяжелая стадия миопии. У обследуемой спортсменки средняя стадия миопии, но в сочетании со сложной формой астигматизма и дистрофией сетчатки, функция зрительного анализатора данной спортсменки паралимпийской медицинской комиссией была классифицирована как соответствующая категории T12 [13]. Спортсменка может достаточно хорошо видеть вблизи (на расстоянии до 1–2 м), и поэтому может проходить компьютерное тестирование. Но уже на расстоянии 1–2 м способность хорошо видеть, и, соответственно, ориентироваться в пространстве, у данной спортсменки усложняется. Поэтому мы сочли возможным применение компьютерного тестирования по определению латентного времени простых и сложных реакций на зрительные объекты при различных режимах тестирования на расстоянии 30 см от экрана.

Протокол проведения исследования

Исследование проводилось с середины августа до конца декабря 2015 года в период подготовки к Паралимпиаде 2016 г. Дважды в воскресенье (понедельник и четверг) спортсменка проходила тестирование нейродинамических функций. Тестирование нейродинамических функций спортсменка проходила на расстоянии 30 см от экрана при стандартном освещении (300–500 лк) и стандартному углу направлении зрения и

верхним краем компьютера (150) согласно гигиеническим требованиям. Тестирование проводилось в 10 часов утра после легкого завтрака. На следующий день после прохождения тестов (вторник, пятница) спортсменка на тренировках (11⁰⁰–13⁰⁰) пробегала отрезки 60, 80, 100, 120, 150, 200 м. Фиксировался время пробега дистанций. Каждый забег снимался на видеокамеру для последующего анализа. Всего за 5 месяцев было проведено 36 измерений времени пробега каждой дистанции, 36 измерений прохождения каждого теста по нейродинамике.

Методы определения нейродинамических (психофизиологических) функций

Определение скорости простой и сложной реакции на световые раздражители, силы и подвижности нервной системы

Тесты проводились по программе «Психодиагностика» Программа «Психодиагностика» является компьютеризацией системы «Диагност», предложенной В. С. Лизогубом с соавторами для «Windows-98» [11] и предназначена для определения индивидуально-типологических свойств высшей нервной деятельности и сенсомоторных функций человека по переработке зрительной информации разной степени сложности. Мы применяли вариант данной программы, разработанный нами для современных информационных систем (авторское свидетельство № 29956) (рис. 1) [1; 7; 9].

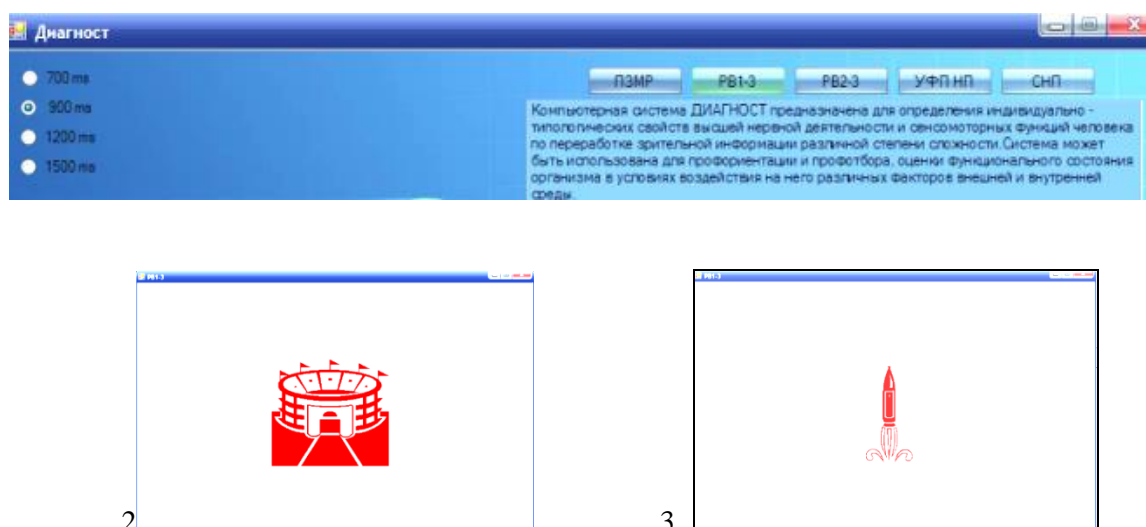


Рис. 1. Програма «Психодиагностика»

Примечания: 1 – верхняя панель основного экрана программы; 2, 3 – примеры изображений, появляющихся на экране в качестве объектов для реагирования

Программа позволяет определять психофизиологические возможности – скорость простой и сложной реакции при различных режимах тестирования, а также свойства нервной системы. В данной программе реализованы три основных режима. Основные режимы делятся на оптимальный, обратной связи и навязанного ритма.

В свою очередь, каждый из этих режимов состоит из подрежимов – простой зрительно-моторной реакции, реакции выбора одного сигнала из трех; реакции выбора двух сигналов из трех. В режиме обратной связи и навязанного ритма можно определить уровень функциональной подвижности и силы нервных процессов. В режиме обратной связи каждая следующая экспозиция предоставляется тем быстрее, чем быстрее испытуемый реагирует на предыдущую экспозицию [13].

Определение простой реакции и сложной реакции на световые показатели проводилось в оптимальном режиме тестирования (каждый сигнал подается через равные промежутки времени, 900 мс) и в режиме с обратной связью (чем быстрее реагирует испытуемый, тем быстрее подается следующий сигнал). При определении латентного времени простой зрительно-моторной реакции испытуемому давалось задание как можно быстрее нажать левую кнопку мыши при появлении на экране любого объекта. Испытуемому давалось 30 попыток. Фиксировались следующие показатели: среднее значение латентного времени реакции (мс), стандартное квадратическое отклонение, количество ошибок.

При определении латентного времени сложной реакции применялось 2 варианта прохождения теста: выбор 1 объекта с 3 и выбор 2 объектов из 3. При выборе 1 объекта с 3 испытуемому давалось задание реагировать нажатием левой кнопки мыши только на появление геометрических фигур, все остальные объекты пропускать. При выборе 2 объектов с 3 испытуемому давалось задание нажимать левую кнопку мыши при появлении геометрических фигур, и нажимать правую кнопку мыши при появлении изображений природной тематики (животные, птицы, рыбы). Все остальные объекты надо было пропускать. Тестирование проводилось в оптимальном режиме (следующий сигнал появляется

через определенный промежуток времени, 900 мс). В этих тестах фиксировались следующие показатели: среднее значение латентного времени реакции (мс), стандартное квадратическое отклонение, количество ошибок.

Определение подвижности и силы нервной системы проводилось в режимах обратной связи, то есть каждый следующий сигнал появлялся тем быстрее, чем быстрее испытуемый реагирует на предыдущий. В данных тестах необходимо выбирать 2 объекта из 3-х аналогично тесту на определение латентного времени сложной реакции в оптимальном режиме, но подача сигналов проводится в режиме обратной связи. Испытуемая проходила 2 теста: с количеством сигналов 30 и с количеством сигналов 120. Фиксировались следующие показатели: среднее значение латентного времени реакции, стандартное квадратическое отклонение, количество ошибок, время выхода на минимальную экспозицию сигнала (то есть, через какое время после начала теста испытуемый достигает своей максимальной скорости реагирования) (с), минимальное время экспозиции сигнала (мс), общее время выполнения теста (с).

При определении силы и подвижности нервной системы придерживались следующих положений: чем меньшее количество ошибок при выполнении теста на сложную зрительно-моторную реакцию с обратной связью, тем выше сила нервной системы; чем меньше латентный период реакции на раздражитель, время минимальной экспозиции сигнала, время выхода на минимальную экспозицию сигнала и общее время выполнения теста на сложную зрительно-моторную реакцию с обратной связью, тем выше подвижность нервной системы [9; 13].

Результаты выполнения всех тестов автоматизировано записываются программой в документ Excel.

Определение скорости реакции на звук

Определение латентного времени реакции на звук проводилось по программе «Комплекс» [13]. Испытуемому дается задание нажать на «пробел» сразу, как только он услышит специальный звук, производимый компьютером. Давалось 30 попыток. Фиксировалось латентное время реакции, среднее квадратическое отклонение, количество ошибок. Ошибкой

считалось нажатие кнопки «пробел» раньше, чем возникал звук. Показатели фиксировались компьютерной программой автоматически.

Определение умственной работоспособности по методике «таблицы Шульте» [7].

Данная методика используется для определения уровня умственной (психической) работоспособности. Испытуемому поочередно предлагается пять таблиц, на которых в произвольном порядке расположены числа от 1 до 25. Испытуемый отыскивает и отмечает путем нажатия левой кнопки мыши числа в порядке их возрастания. Проба повторяется с пятью разными таблицами.

Основной показатель теста – время выполнения. По результатам выполнения каждой таблицы может быть построена кривая истощения (утомляемости), что отражает устойчивость внимания и работоспособность в динамике. С помощью этого теста можно вычислить еще такие показатели, как эффективность работы, степень вработывания (определяется отношением времени работы на второй таблице к времени работы на первой таблице), психическая устойчивость (определяется отношением времени работы на четвертой таблице ко времени работы на первой таблице).

После завершения работы результаты тестирования автоматически заносятся в базу данных программы.

Диагностика психофизиологического состояния человека по программе Ермакова С. С. «Измерение времени реакции выбора точки в пространстве: «Выбор кнопки»» [9; 13]

Проводилась регистрация психофизиологического состояния человека путем измерения времени реакции выбора точки в пространстве. Измерялось время реакции выбора точки в пространстве, включающее проведение одной серии или нескольких серий испытаний. Согласно алгоритму состоит из последовательности действий: на экран компьютера выводится изображение объекта для реагирования, при этом объект выводится каждый раз в новом месте, промежуток времени между появлениями объекта не является постоянным; реагирование на появление на экране объекта осуществляют путем прикосновения к изображению объекта. Суммируют

количество появлений объекта в каждой серии, количество правильных касаний в каждой серии, количество серий.

Методика определения биомеханических показателей бега элитной спортсменки с нарушением зрения

Биомеханические показатели бега элитной спортсменки с нарушением зрения определялись путем анализа видеотреков бега с помощью программы «Kinovea», версия 0.8.15. [18] (рис. 2). Программа Kinovea позволяет выполнять видеоанализ движений. Она предназначена для спортсменов, тренеров, медицинских работников, для научных исследований в области спорта. Также программное обеспечение может быть полезно специалистам в области эргономики или анимации. Основная функция Kinovea – просмотр и анализ спортивных видео. Главные инструменты, которые задействуют пользователи: «Line», «Chronometer», «Tracking». Функции «Line» и «Chronometer» позволяют измерять расстояние и время, а с помощью инструмента «Semi-automatic tracking» можно отслеживать и траекторию движения, и время. При работе с Kinovea можно использовать видео с внешних источников: видеорекамеры, смартфонов и т.д. Достаточно сохранить видеофайлы на компьютере, а затем загрузить в программу и провести видеоанализ – программа самостоятельно распознает их.

Для анализа биомеханических параметров были выбраны 2 беговых шага спортсменки в момент достижения максимальной скорости бега на 100 м (17 кадров) (рис. 3). Калибровка расстояния проводилась по длине легкоатлетического барьера (92,3 см). Время движения определялось по показателям секундомера в программе. Проводилось определение скорости движения голеностопного сустава (V , м·с⁻¹) (рис. 4), скорости движения коленного сустава (V , м·с⁻¹), угла в коленном суставе (градусы) (рис. 5). Автоматически определялось ускорение движения данных точек (м·с⁻²). Также определялась сила (F), развиваемая конечностью (кгм·с⁻²) по формуле:

$$F = ma,$$

где: F – сила, развиваемая конечностью; a – ускорение движения коленного сустава; m – масса конечности (приблизительно 13 кг).

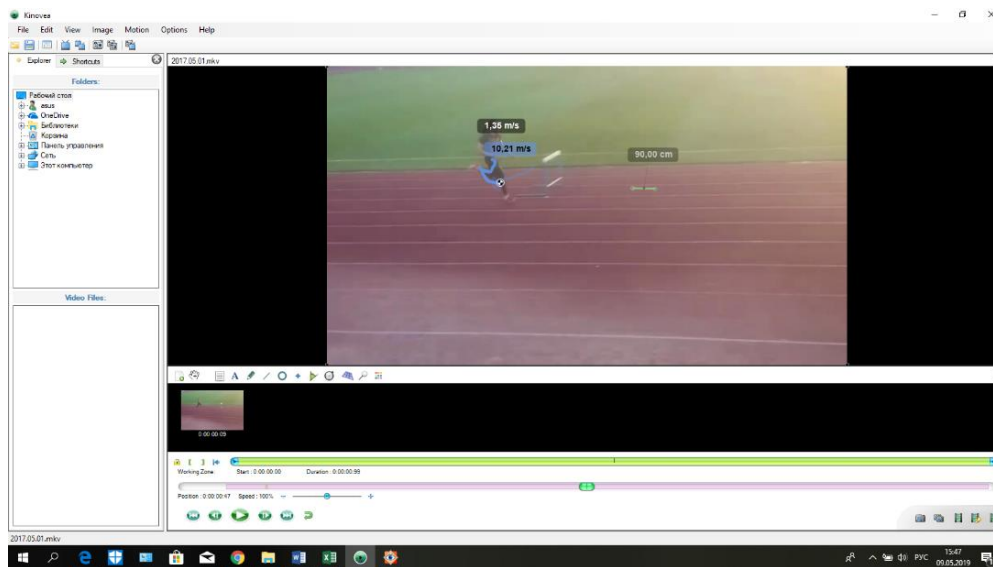


Рис. 2. Окно программы «Kinovea»



Рис. 3. Пример видеogramмы бега на 100 м элитной спортсменки с нарушением зрения



Рис. 4. Пример автоматического определения скорости движения точки в пространстве (голеностопный сустав) по криволинейной траектории с помощью программы «Kinovea»



Рис. 5. Пример автоматического определения угла в коленном суставе с помощью программы «Kinovea»

Всего было проанализировано 36 видеороликов бега на 100 м, в каждом видео выбирались для анализа 17 кадров (2 беговых шага) при достижении спортсменкой максимальной скорости бега.

Кроме того, определялись точки по времени и расстоянию достижения максимальной скорости на дистанции 100 м. Было также проанализировано 36 видеороликов. Полученные данные относительно момента достижения максимальной скорости на дистанции и начала ее снижения были сопоставлены с литературными данными.

Статистический анализ

Цифровой материал, полученный при выполнении исследования, был обработан с помощью традиционных методов математической статистики. По каждому показателю определяли среднее арифметическое значение \bar{x} , среднее квадратическое отклонение S (стандартное отклонение), стандартная ошибка m . По результатам в беге на 200 м, 60 м, 80 м, 100 м, 120 м, 150 м, 400 м, биомеханическими показателями и нейродинамическими (психофизиологическими) показателям был проведен корреляционный анализ Пирсона. Различия и достоверность коэффициентов корреляции считали достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты показали, что обследуемая спортсменка является нетипичным спринтером с точки зрения свойств нервной системы, развития и поддержания скорости на дистанции, некоторых биомеханических характеристик

бега. «Нетипичность» спортсменки проявляется, прежде всего, в том, что максимальная скорость на дистанции 100 м у нее развивается примерно после достижения 60 м (табл. 1, рис. 6), в то время как большинство спринтеров достигают своей максимальной скорости к 40–50 м стометровой дистанции (рис. 6). Однако скорость, достигаемая спортсменкой, несколько выше по сравнению с другими спортсменами аналогичной квалификации. Кроме того, обследуемая спортсменка намного дольше сохраняет достигнутую максимальную скорость, практически не снижая ее к финишу (табл. 1, рис. 6). Такой тип развития и поддержания скорости на дистанции больше характерен для бегунов на средние дистанции, поэтому можно заключить, что обследуемая спортсменка по данным показателям является бегуньей промежуточного типа между спринтерами и бегунами на средние дистанции. Однако максимальная скорость, развиваемая спортсменкой, выше по сравнению с другими спринтерами аналогичной квалификации и по сравнению с бегуньями на средние дистанции. Аналогичная картина развития и поддержания скорости на дистанции наблюдается у Х. Болта. Специалисты [19] связывают такую особенность спортсмена с большей массой, что затрудняет возможность быстрого разгона тела, и более высокой креатинфосфатной и гликолитической выносливостью спортсмена, что позволяет развивать более высокую скорость на дистанции и сохранять ее практически до финиша.

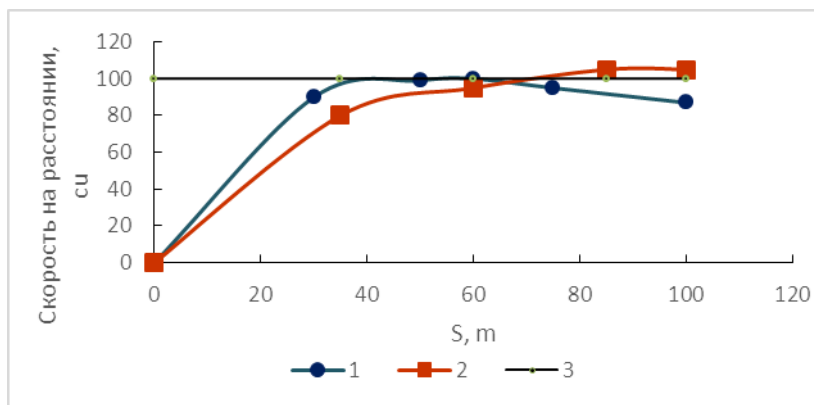


Рис. 6. Скорость при пробегании элитными спортсменками дистанции 100 м

Примечания: скорость на расстоянии, v – скорость на дистанции, у.е.; 1 – среднестатистические данные спортсменов, пробегающих 100 м за 11–12 с; 2 – данные обследуемой спортсменки с нарушением зрения; 3 – максимальная скорость на дистанции (среднестатистические данные спортсменов, пробегающих 100 м за 11–12 с)

Таблица 1

Результаты пробегания спринтерских дистанций элитной спортсменкой с нарушением зрения (n=36)

Показатели	\bar{x}	S	m
Бег 60 м (с)	7,16	0,22	0,04
Бег 80 м (с)	9,64	0,35	0,06
Бег 100 м (с)	12,20	0,47	0,08
Бег 120 м (с)	14,49	0,38	0,06
Бег 150 м (с)	19,25	1,23	0,20
Бег 200 м (с)	26,20	1,84	0,31
Момент достижения максимальной скорости на дистанции 100 м (м)	62,3	4,45	0,74
Момент начала снижения скорости на дистанции 100 м (м)	99,2	1,24	0,21

Спринтеры, как правило, являются представителями чувствительного (слабого) типа нервной системы [11; 12]. Однако анализ развития и поддержания спортсменкой скорости на дистанции свидетельствует о том, что обследуемая спортсменка отличается более сильной нервной системой по сравнению с другими спринтерами такой же квалификации, поскольку ее способность к переносимости сильных раздражителей, предполагает поддержание высокой скорости в беге относительно длительное время. Это предположение должны подтвердить данные анализа нейродинамических показателей. Показатели нейродинамики свидетельствуют о том, что, действительно, по результатам латентного времени простой и

сложной реакции обследуемая спортсменка соответствует среднестатистическим данным (табл. 2). Единственный тест, по которому спортсменка показывает более высокий результат по сравнению со среднестатистическими данными, это количество правильных реагирований на объект, изменяющий свое положение в пространстве, в тесте С. С. Ермакова (табл. 2). Это свидетельствует о высокой подвижности нервной системы, что в целом характерно для спринтера. Латентный период реакции на звук у обследуемой спортсменки также не превышает среднестатистических данных (табл. 2). Поэтому можно заключить, что компенсации недостаточности зрительного анализатора со стороны более развитого

слухового анализатора у данной спортсменки не происходит. Это является неблагоприятным фактором для спринтера,

поскольку в спринте необходима высокая скорость реакции на звук.

Таблица 2

Нейродинамические показатели элитной спортсменки с нарушением зрения (время простой и сложной реакции, переключение внимания) (n=36)

Показатели	\bar{x}	S	m
Время простой зрительно-моторной реакции (мс)	238,08	11,42	1,90
Тест на простую зрительно-моторную реакцию (кол-во ошибок)	0,44	0,50	0,08
Время простой зрительно-моторной реакции, среднее квадратическое отклонение (мс)	2,73	0,03	0,01
Время реакции выбора одного элемента из трех (мс)	445,94	22,45	3,74
Тест на реакцию выбора 1 элемента с 3-х (кол-во ошибок)	1,42	1,08	0,18
Среднее квадратическое отклонение в тесте на время реакции выбора одного элемента из трех (мс)	4,11	0,43	0,07
Время реакции выбора двух элементов из трех (мс)	435,81	9,70	1,62
Тест на время реакции выбора двух элементов из трех (кол-во ошибок)	2,14	0,76	0,13
Среднее квадратическое отклонение в тесте на время реакции выбора двух элементов из трех (мс)	3,98	0,45	0,08
Время реакции на звук (мс)	317,64	1,97	0,33
«Тест Ермакова» (кол-во правильных ответов за 15 с)	35,25	1,86	0,31

Анализ показателей нейродинамики в тестах на скорость сложной реакции в режиме обратной связи подтверждает, что обследуемая спортсменка является представителем подвижного типа нервной системы, о чем свидетельствуют показатели минимального времени экспозиции сигнала, времени выхода на минимальную экспозицию сигнала, общего времени выполнения теста. Данные показали выше среднестатистических данных. Количество ошибок, наоборот, ниже среднестатистических данных, что позволяет расценивать тип нервной системы обследуемой спортсменки как сильный. Выявление того, что у обследуемой спортсменки подвижная нервная система, является естественным для спринтера. Однако выявление факта, что нервная система обследуемой спортсменки является сильной, несколько противоречит исследованиям Е. П. Ильина [15; 16], В. С. Лизогуба [11], Г. В. Коробейникова [12] о том, что у спринтеров преобладает слабая (чувствительная) нервная система. Сопоставляя полученные данные относительно нейродинамических характеристик спортсменки с особенностями развития и поддержания скорости на дистанции, можно заключить, что сильный тип нервной системы

спортсменки позволяет ей поддерживать более высокую скорость на дистанции по сравнению с другими спортсменами более длительное время.

Анализ психофизиологических показателей, таких как умственная (психическая) работоспособность, подтвердил предположение о сильной нервной системе спортсменки. Время работы на таблицах Шульте держится практически одинаковым с первой по пятую таблицы (табл. 4). Это свидетельствует о высокой работоспособности нервной системы, что является нетипичным для спринтера, и также свидетельствует о сильном типе нервной системы. Показатели скорости включения в работу и работоспособности нервной системы выше 1, что подтверждает факт сильной нервной системы у обследуемой спортсменки. Данные показатели сочетаются с относительно невысоким количеством ошибок в тесте Бурдона, высокой концентрацией внимания (табл. 4). Наличие сильной нервной системы можно рассматривать как потенциальный резерв спортсменки, который может служить основой для развития компенсаторных механизмов нарушения зрения.

Таблица 3

Нейродинамические показатели элитной спортсменки с нарушением зрения (время сложной реакции в различных режимах тестирования, сила и подвижность нервной системы) (n=36)

Показатели	\bar{x}	S	m
Время реакции выбора двух элементов из трех в тесте с обратной связью при 30 сигналах (мс)	442,39	13,81	2,30
Количество ошибок в тесте с обратной связью при 30 сигналах (кол-во)	20,89	2,05	0,34
Среднее квадратическое отклонение времени реакции выбора двух элементов из трех в тесте с обратной связью при 30 сигналах (мс)	4,01	0,45	0,08
Время минимальной экспозиции сигнала в тесте с обратной связью при 30 сигналах (с)	434,22	8,71	1,45
Общее время выполнения теста с обратной связью при 30 сигналах (с)	104,14	10,19	1,70
Время выхода на минимальную экспозицию сигнала в тесте с обратной связью при 30 сигналах (с)	66,17	3,50	0,58
Время реакции выбора двух элементов из трех в тесте с обратной связью при 120 сигналах (мс)	432,03	12,65	2,11
Количество ошибок в тесте с обратной связью при 120 сигналах (кол-во)	29,72	21,07	3,51
Среднее квадратическое отклонение в тесте с обратной связью при 120 сигналах (мс)	4,08	0,45	0,08
Минимальное время экспозиции сигнала в тесте с обратной связью при 120 сигналах (мс)	383,31	15,21	2,53
Общее время выполнения теста с обратной связью при 120 сигналах (с)	279,56	16,27	2,71
Время выхода на минимальную экспозицию в тесте с обратной связью при 120 сигналах (с)	75,83	2,44	0,41

Таблица 4

Нейродинамические показатели элитной спортсменки с нарушением зрения (психическая (умственная) работоспособность, вработываемость, концентрация внимания, переключаемость внимания) (n=36)

Показатели	\bar{x}	S	m
Время работы на 1-й таблицы Шульте (с)	49	1,02	0,23
Время работы на 2-й таблицы Шульте (с)	50	8,01	0,12
Время работы на 3-й таблицы Шульте (с)	52	1,04	0,25
Время работы на 4-й таблицы Шульте (с)	49	1,03	0,22
Время работы на 5-й таблицы Шульте (с)	49	1,05	0,21
Общее время работы по тесту Шульте (с)	185	11,26	0,22
Эффективность работы в тесте Шульте (у.е.)	50,75	10,14	1,69
Скорость включения в работу в тесте Шульте (у.е.)	1,12	0,11	0,02
Работоспособность нервной системы по тесту Шульте (у.е.)	1,13	0,15	0,03
Время работы в тесте Бурдона (с)	184,2	1,38	0,02
Ошибки в тесте Бурдона (количество)	0,58	0,69	0,12
Концентрация внимания в тесте Бурдона (у.е.)	1091,67	8,76	1,46
Темп работы в тесте Бурдона (у.е.)	5,03	0,7	0,12
Переключение внимания в тесте Бурдона (у.е.)	0,5	0,51	0,08

Полученные данные относительно показателей нейродинамики спортсменки были сопоставлены с биомеханическими характеристиками бега. Анализ кривых изменения скорости и ускорения движения

голеностопного и коленного суставов показывает наличие небольшой неравномерности движения конечности, наблюдающейся в некоторых шагах при опускании конечности после выноса бедра

(рис. 7, 8; табл. 5, рис. 3, кадры 7–9). Это может быть связано с нарушением зрения и повышением в связи с этим внимательности при беге в момент постановки ноги, поскольку при недостаточности зрительного анализатора нервная система не позволяет развивать высокую скорость, работая как

«предохранитель» искажения направления бега. Внешне это может выглядеть как некоторая закрепощенность при беге. Следует отметить, спортсменка сама оценивала в подобных случаях свой бег как закрепощенный.

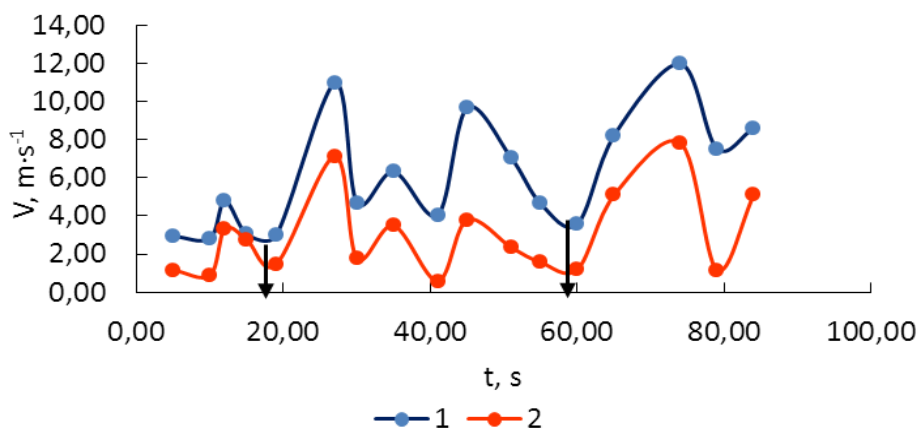


Рис. 7. Скорость движения различных точек нижней конечности при пробегании элитной спортсменкой с нарушением зрения дистанции 100 м

Примечания: $V, m \cdot s^{-1}$ – скорость движения точки ($m \cdot c^{-1}$); 1 – точка на голеностопном суставе; 2 – точка на коленном суставе

→ – точки соприкосновения с землей, $t = 0,11-0,12$ с, скорость в эти моменты времени не фиксировалась в связи с кратковременностью временных интервалов, стремится к нулю, поскольку движения не происходит

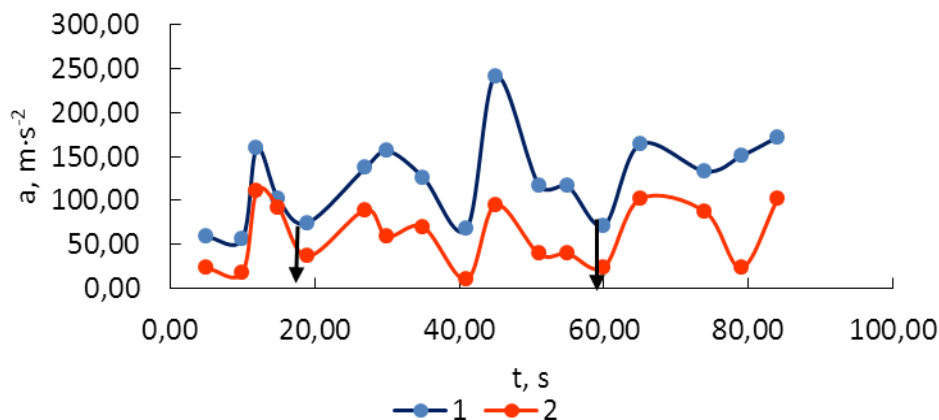


Рис. 8. Ускорение движения различных точек нижней конечности при пробегании элитной спортсменкой с нарушением зрения дистанции 100 м

Примечания: $a, m \cdot s^{-2}$ – ускорение движения точки ($m \cdot c^{-2}$); 1 – точка на голеностопном суставе; 2 – точка на коленном суставе

→ – точки соприкосновения с землей, $t = 0,11-0,12$ с, скорость в эти моменты времени не фиксировалась в связи с кратковременностью временных интервалов, стремится к нулю, поскольку движения не происходит

Небольшая неравномерность наблюдается также в изменении угла в коленном суставе при выносе бедра (рис. 3, табл. 5, кадры 9–11, рис. 9). Исходя из полученных

данных, можно предположить, что, благодаря способности развивать высокую скорость на дистанции и поддерживать максимальную скорость на дистанции

практически до финиша, исправление выявленных биомеханических искажений при беге даст дополнительный резерв повышения спортивного результата обследуемой спортсменки.

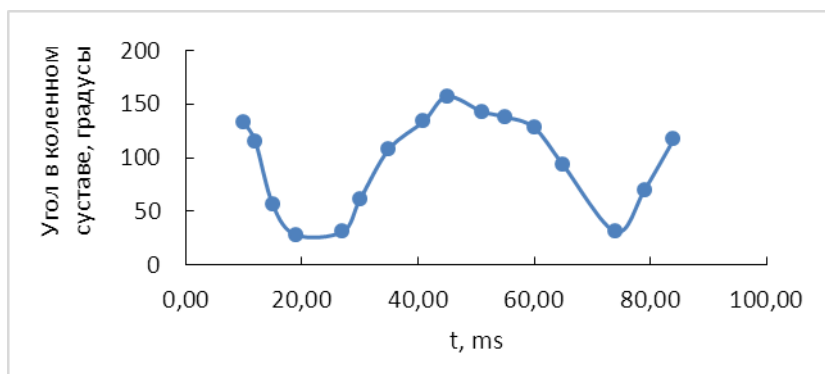


Рис. 9. Изменение угла в коленном суставе при пробегании элитной спортсменкой с нарушением зрения дистанции 100 м

Таблица 5

Биомеханические характеристики бега на 100 м элитной спортсменки с нарушением зрения (n=36)

Кадр, рис. 4	t	Угол в коленном суставе (левый)		V, m·s ⁻¹ голеностопный сустав (правый)		a, m·s ⁻² , голеностопный сустав (правый)		V, m·s ⁻¹ коленный сустав (левый)		a, m·s ⁻² коленный сустав (левый)		F, kgm·s ⁻²	
		\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
1	5,00	143	4,32	2,94	0,23	58,80	3,71	1,16	0,11	23,20	1,62	301,6	7,13
2	10,00	133	3,22	2,81	0,15	56,20	3,83	0,88	0,06	17,60	1,23	228,8	21,11
3	12,00	115	2,12	4,79	0,89	159,67	9,65	3,32	0,45	110,67	7,75	1438,71	16,02
4	15,00	56	1,23	3,04	0,78	101,33	7,36	2,76	0,36	92,00	6,44	1196	100,71
5	19,00	28	1,01	2,98	0,56	74,50	5,64	1,46	0,12	36,50	2,56	474,5	83,72
6	27,00	31	1,34	10,97	1,34	137,13	9,13	7,14	0,28	89,25	6,25	1160,25	33,22
7	30,00	61	1,89	4,70	0,67	156,67	11,3	1,77	0,11	59,00	4,13	767	81,22
8	35,00	108	2,21	6,32	0,69	126,40	8,63	3,49	0,43	69,80	4,89	907,4	53,69
9	41,00	134	3,23	4,05	0,34	67,50	6,43	0,58	0,08	9,67	0,68	125,71	63,52
10	45,00	157	4,55	9,68	0,78	242,00	19,3	3,80	0,34	95,00	6,65	1235	8,80
11	51,00	143	3,21	7,05	0,65	117,50	10,5	2,35	0,12	39,17	2,74	509,21	86,45
12	55,00	138	2,89	4,65	0,38	116,25	10,1	1,57	0,07	39,25	2,75	510,25	35,64
13	60,00	128	2,45	3,58	0,21	71,60	6,32	1,20	0,06	24,00	1,68	312	35,72
14	65,00	93	1,98	8,22	0,28	164,40	14,4	5,09	0,17	101,80	7,13	1323,4	21,84
15	74,00	31	0,54	11,99	1,14	133,22	8,65	7,84	0,48	87,11	6,10	1132,43	92,64
16	79,00	70	1,07	7,53	0,57	150,60	8,67	1,16	0,15	23,20	1,62	301,6	79,27
17	84,00	117	2,45	8,62	0,62	172,40	11,5	5,09	0,47	101,80	7,13	1323,4	21,11

Примечания: V, m·s⁻¹ – скорость движения точки в пространстве (m·c⁻¹); a, m·s⁻² – ускорение движения точки в пространстве (m·c⁻²); F, kgm·s⁻² – сила, развиваемая конечностью (kgm·c⁻²)

Корреляционный анализ нейродинамических и биомеханических характеристик свидетельствует о наличии средней и высокой достоверной взаимосвязи между показателями работы нервной системы и биомеханики бега (табл. 6). Подтвердилось

предположение, что сильный тип нервной системы спортсменки (по данным теста Шульте, тестам на сложную скорость реакции в режиме обратной связи) является одним из факторов способности спортсменки поддерживать максимальную

скорость на дистанции достаточно длительное время, не снижая ее на финише. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что поиск компенсаторных механизмов нарушения зрительной функции обследуемой спортсменки следует искать в ее наиболее сильных сторонах, отличающих ее от других спринтеров аналогичной квалификации. Одним из таких резервов может быть сильный тип нервной системы, который является одним из факторов способности поддерживать длительное время максимальной скорости на дистанции. Поэтому совершенствование биомеханики бега путем акцента на работу кинестетического анализатора может дать

увеличение скорости на дистанции с ее сохранением практически до финиша. То, что касается слухового анализатора, то, безусловно, он также требует совершенствования, хотя в качестве компенсаторного механизма зрительной дисфункции на момент обследования спортсменки его роль не выявляется. Поскольку нейродинамические показатели являются врожденными характеристиками и слабо поддаются развитию, то наибольший упор следует делать в те стороны, которые превышают среднестатистические данные, являются сильными сторонами спортсмена, а значит, могут быть резервом для повышения спортивного результата.

Таблица 6

Взаимосвязь нейродинамических и биомеханических показателей элитной спортсменки с нарушением зрения (показаны только достоверные коэффициенты корреляции) (n=36)

Показатели	Время простой зрительно-моторной реакции (мс)	Время реакции на звук (мс)	Время реакции выбора двух элементов из трех (мс)	Минимальное время экспозиции сигнала в тесте с обратной связью при 120 сигналах (мс)	Количество ошибок в тесте с обратной связью при 30 сигналах (кол.)	Минимальное время экспозиции сигнала в тесте с обратной связью при 30 сигналах (мс)	Время работы на 3-й таблице Шульце (с)	Общее время работы по тесту Шульце (с)
Бег 60 м (с)	0,87***	0,67*	0,87***	0,86***	0,72**	0,82***	0,78**	0,77**
Бег 80 м (с)	0,82***	0,72**	0,82***	0,78**	0,84***	0,77**	0,89***	0,87***
Бег 100 м (с)	0,77**	0,65*	0,77**	0,82***	0,84***	0,84***	0,85***	0,84***
Бег 120 м (с)	0,76**	0,68*	0,76**	0,81***	0,82***	0,83***	0,83***	0,82***
Бег 150 м (с)	0,74**	0,62*	0,74**	0,78**	0,81***	0,77**	0,85***	0,84***
Бег 200 м (с)	0,71**	0,53*	0,71**	0,79**	0,86***	0,76**	0,87***	0,83***
Момент достижения максимальной скорости на дистанции 100 м (м)	0,54*	0,51*	0,54*	0,78**	0,54*	0,76**	0,57*	0,52*
Момент начала снижения скорости на дистанции 100 м (м)	0,49*	0,48*	0,49*	0,67*	0,89***	0,68*	0,91***	0,87***
Угол в коленном суставе при выносе бедра (град.)	0,68*	0,52*	0,68*	0,45*	0,76**	0,48*	0,82**	0,78**
V, голеностопный сустав (м·с ⁻¹)	-0,52*	-0,50*	-0,52*	0,56**	0,72**	0,58**	0,79**	0,76**
a, голеностопный сустав (м·с ⁻²)	-0,54*	-0,51*	-0,54*	0,59*	0,73**	0,55*	0,79**	0,78**
V, коленный сустав (м·с ⁻¹)	-0,53*	-0,51*	-0,53*	0,54*	0,74**	0,53*	0,82**	0,77**
a, коленный сустав (м·с ⁻²)	-0,53*	-0,50*	-0,53*	0,56*	0,75**	0,54*	0,82**	0,81**
F, (кг·м·с ⁻²)	-0,51*	-0,49*	-0,51*	0,57*	0,79**	0,55*	0,77**	0,75**

Примечания: V – скорость движения точки в пространстве (м·с⁻¹); a – ускорение движения точки в пространстве (м·с⁻²); F – сила, развиваемая конечностью (кг·м·с⁻²); * – коэффициент корреляции достоверен при $p < 0,05$; ** – коэффициент корреляции достоверен при $p < 0,01$; *** – коэффициент корреляции достоверен при $p < 0,001$

Исходя из полученных данных, спортсменке были даны рекомендации по развитию факторов, влияющих на ее совершенствование техники бега и которые могут служить компенсаторными механизмами зрительной дисфункции:

1) Развитие кинестетического анализатора через повышение контроля со стороны нервной системы положения тела в пространстве, развития способности поддерживать равновесие. Одним из средств достижения этого результата может служить укрепление мелких мышц-стабилизаторов на позвоночнике, в суставах нижних конечностей; совершенствование координации мышц-антагонистов. Это может быть обеспечено, например, упражнениями на нестабильных платформах, а также путем аутогенной и идеомоторной тренировки, учитывая высокую способность спортсменки к концентрации внимания согласно результатам теста Бурдона;

2) Дальнейшее развитие скоростной выносливости, поскольку это является сильной стороной спортсменки, и имеет определенный резерв для развития, учитывая ее кинематические и нейродинамические особенности;

3) Развитие взрывной силы, поскольку данный показатель также связан с силой нервной системы и является сильной стороной спортсменки.

4) Упор на вышеперечисленные моменты должен нивелировать слабые стороны спортсменки (относительно невысокая скорость реакции на звук, длительный период развития максимальной скорости на дистанции) и служить компенсаторным механизмом нарушения зрения.

Развитие взрывной силы и скоростной выносливости является общим требованием для тренировки спринтеров, однако для других спортсменов может быть более актуальным делать упор на стартовый рывок, в случаях, если это является их сильной стороной. Однако в нашем случае развитие скорости на дистанции соответствует сильным сторонам спортсменки, которые могут дать возможность улучшить спортивный результат. Относительно развития взрывной силы также можно отметить, что это характерно для всех спринтеров, однако, возможно, для других спортсменов, у которых преобладают такие качества, как высокая реактивность, упор

следует делать на развитие скоростных качеств преимущественно по сравнению с силовыми. В нашем случае скоростно-силовые качества, в частности, взрывную силу следует развивать с преимущественным акцентом на силовой аспект.

Следует отметить, что в течение конца 2015 года – первой половины 2016 года данные рекомендации были реализованы в тренировочном процессе спортсменки, и позволили ей улучшить спортивный результат и стать серебряным призером Паралимпиады 2016 года.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты подтвердили выдвинутую в данном исследовании гипотезу, что у элитных спринтеров существует высокая взаимосвязь между нейродинамическими функциями, биомеханическими характеристиками и скоростью бега. Подтвердилось также предположение, что у элитной спортсменки с нарушением зрения компенсаторные механизмы могут проявляться не только на уровне развития отдельных анализаторов, а также на уровне свойств нервной системы. Было показано, что у обследуемой спортсменки в качестве компенсаторного механизма выступает сильная нервная система. Однако, вопреки ожиданиям, не было выявлено компенсаторной функции со стороны слухового анализатора. Возможно, это связано с тем, что у обследуемой спортсменки начало ухудшаться зрение в достаточно зрелом возрасте, и компенсаторный механизм со стороны слухового анализатора не успел развиваться. В то же время анализ биомеханики бега показал наличие возможностей совершенствования техники путем совершенствования работы кинестетического анализатора.

Согласно теории функциональных систем П. К. Анохина [20], общую схему взаимосвязи скорости бега и восприятия окружающего пространства можно представить следующим образом (рис. 10). В центральную нервную систему поступают сигналы от проприорецепторов мышц об интенсивности мышечных сокращений. В то же время в центральную нервную систему поступают сигналы от зрительного анализатора об окружающей обстановке. Благодаря этим сигналам регулируется направление бега, а также его скорость.

Если условия окружающей среды относительно стабильны, как, например, на беговой дорожке, организм сосредотачивает усилия исключительно на скорости бега. Если же условия окружающей среды меняются, как, например, при беге по пересеченной местности, в различных погодных условиях, скорость и направление бега варьируется.

В том случае, когда информация от зрительного анализатора недостаточна, что происходит в случае недостаточности зрительной функции, в мозге активизируется сигнализация об опасности при беге из-за недостаточности информации об окружающем пространстве [21] (рис. 10). Вследствие этого происходит блокирование процесса развития максимальной скорости перемещения, что отрицательно сказывается на спортивном результате. Легкоатлетам с нарушением зрения тяжелее, чем здоровым

спортсменам, развить максимальную скорость бега из-за блокировки скорости со стороны центральной нервной системы.

Частичное или полное решение данной проблемы лежит в активизации компенсаторных механизмов при недостаточности зрительной функции.

В качестве компенсаторных механизмов может выступать повышенное восприятие сигналов от слуховых рецепторов, от проприорецепторов мышц, могут в большей степени, чем у здоровых спортсменов развиваться такие специфические чувства, как «чувство дорожки», «чувство дистанции» и др. Эти сигналы могут полностью или частично блокировать сигналы об опасности, связанные с недостатком зрительной информации, и обеспечивать скорость бега, характерную для возможностей двигательного аппарата (рис. 10).

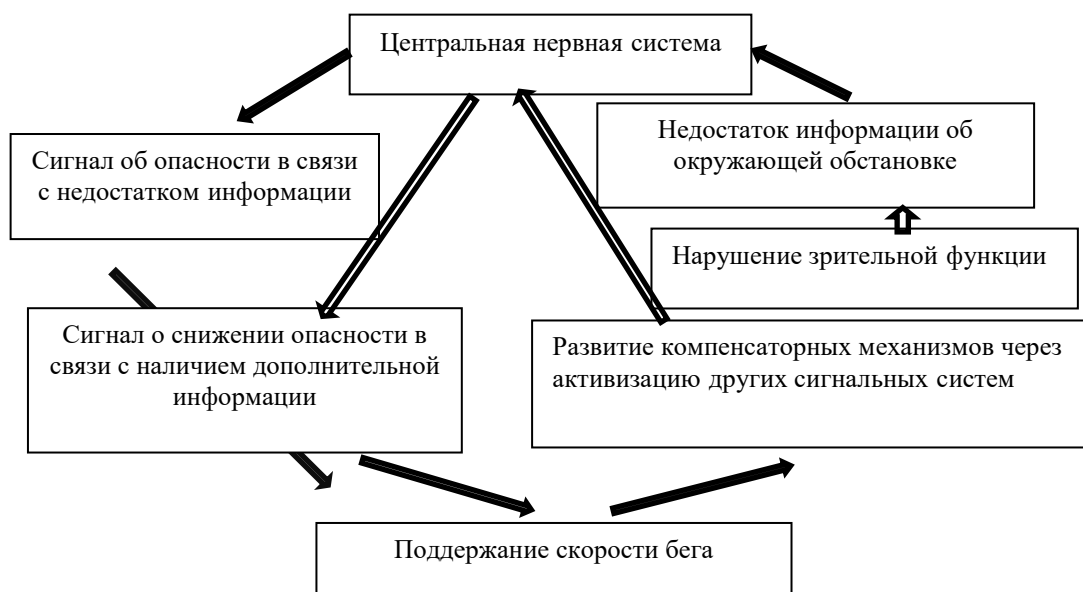


Рис. 10. Схема компенсации недостаточности функции зрительного анализатора при регуляции скорости и направления бега в зависимости от зрительного восприятия окружающего пространства (источник: рисунок авторов)

При развитии психофизиологических функций, характерных для конкретного человека, будут развиваться компенсаторные механизмы для уменьшения недостатка зрительного анализатора. Для этого необходимо выявление психофизиологических факторов, связанных со скоростью бега [21]. Это даст возможность более глубокого понимания механизмов регуляции скорости бега у людей с ограниченной зрительной функцией и более оптимального подбора средств и методов при построении

тренировочного процесса спринтеров с нарушением зрения. Например, при выраженной подвижности нервной системы, при высокой скорости реакции целесообразно делать упор на развитие стартовой скорости, на развитии способности изменять степень напряжения и расслабления мышц. При выраженной силе нервной системы есть смысл концентрироваться на поддержании скорости на дистанции. Развитие сильных сторон спортсмена даст дополнительную информацию центральной нервной системе

о перемещении спортсмена, в результате чего будет блокироваться сигнализация об опасности из-за недостаточности зрительного анализатора, и скорость бега спортсмена не будет снижаться.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что обследуемая спортсменка является нетипичным спринтером с точки зрения свойств нервной системы, развития и поддержания скорости на дистанции, некоторых биомеханических характеристик бега. Скорость, достигаемая спортсменкой, несколько выше по сравнению с другими спортсменами аналогичной квалификации, однако время достижения и время сохранения максимальной скорости выше по сравнению с другими спортсменами аналогичной квалификации.

2. Выявлено, что обследуемая спортсменка является представителем подвижного и сильного типа нервной системы. Сильный тип нервной системы спортсменки позволяет ей поддерживать более высокую скорость на дистанции по сравнению с другими спортсменами более длительное время, что можно рассматривать как потенциальный резерв. Не выявлена роль слухового анализатора на момент обследования спортсменки в качестве компенсаторного механизма зрительной дисфункции.

3. Выявлено наличие небольшой неравномерности изменения скорости и ускорения движения голеностопного и коленного суставов, наблюдающейся в некоторых шагах при опускании конечности после выноса бедра.

4. Корреляционный анализ нейродинамических и биомеханических характеристик свидетельствует о наличии средней и высокой достоверной взаимосвязи между показателями работы нервной системы и биомеханики бега.

5. Совершенствование биомеханики бега путем акцента на работу кинестетического анализатора может дать увеличение скорости на дистанции с ее сохранением практически до финиша.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Необходимым является дальнейшее изучение психологического профиля паралимпийского спортсмена, что позволит получить целостное представление о том, что способствует улучшению результатов, в том числе активизации компенсаторных механизмов, и оптимизировать работу многопрофильной команды, которая работает с этим спортсменом.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование проведено согласно:

– научно-исследовательской работе, которая финансируется за средства государственного бюджета МОН Украины на 2019–2020 гг. «Теоретико-методические основы разработки технологий для восстановления опорно-двигательного аппарата и функционального состояния и профилактики травматизма и представителей различных возрастных групп в физической культуре и спорте» (№ госрегистрации: 0119U100634).

– научно-исследовательской работе, которая финансируется за средства государственного бюджета МОН Украины на 2019–2020 гг. «Теоретико-методические основы применения технологий интегральной направленности для самосовершенствования, гармоничного физического, интеллектуального и духовного развития и формирования здорового образа жизни людей разных возрастных и социальных групп, в том числе спортсменов и людей с особыми потребностями» (№ госрегистрации: 0119U100616).

Конфликт интересов. Авторы заявляют, что не существует конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kozina Z. L. et al. The implementation of the concept of individualization in training elite Female athletes with visual impairment in the sprint. – 2018.
2. Alahmadi A. et al. Functional response to a complex visuo-motor task supports local compensatory mechanisms in Multiple Sclerosis // Proceedings from the International Society for Magnetic Resonance in Medicine. – 2016. – Т. 24.

3. Lexell J. et al. Paralympic Athletes' Perceptions Of Their Experiences Of Sports-related Injuries: A Qualitative Study 1861 Board# 13 June 2, 200 PM-330 PM // *Medicine & Science in Sports & Exercise.* – 2016. – Т. 48. – №. 5S. – С. 510.
4. Bednarczuk G. et al. Static balance of visually impaired paralympic goalball players // *International Journal of Sports Science & Coaching.* – 2017. – Т. 12. – №. 5. – С. 611–617.
5. Santos C. N. et al. Postural control in athletes with different degrees of visual impairment // *Journal of Physical Education.* – 2018. – Т. 29.
6. Чайка Е. И. и др. Individual structure of psychophysiological functions in connection with competitive performance in the Paralympic sprint on the example of a high-skilled student with visual impairment // *Health, sport, rehabilitation.* – 2018. – Т. 4. – №. 1. – С. 96–107.].
7. Kozina Z. et al. Psychophysiological factors of adaptation in elite Paralympic sprint runners with visual impairments—a case study // *Physiotherapy Quarterly.* – Т. 26. – №. 4. – С. 23-32. doi: <https://doi.org/10.5114/pq.2018.79743>.
8. Znazen H. et al. Mental skills comparison between elite sprint and endurance track and field runners according to their genetic polymorphism: a pilot study // *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.* – 2017. – Т. 57. – №. 9. – С. 1217–1226.
9. Kozina Z. L., Chaika O. I. Interconnection of psycho-physiological indicators and performance in running at 100 m at athletes of high qualification with visual impairment (for example an elite athlete) // *Health, sport, rehabilitation.* – 2018. – Т. 4. – №. 2. – С. 73–86. doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1342472>.
10. Korobeynikov G. V., Myshko V. V. Connection of supreme nervous functioning's neuro-dynamic characteristics with success of junior sportsmen in sports dances // *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports.* – 2016. – №. 4. – С. 17–23.
11. Lyzohub V. et al. Specialized training and bioenergy state of football players with different typological properties of the higher parts of the nervous system // *Science and Education.* – 2016. – №. 8. – С. 107-+.
12. Korobeynikov G. et al. Psychophysiological states and motivation in elite judokas // *Archives of Budo.* – 2010. – Т. 6. – №. 3. – С. 129–136.
13. Kozina Z. et al. Influence of typological features of the nervous system on individual performance in running for short distances in athletes with visual impairment on the example of an elite athlete // *Physical Activity Review.* – 2018. – Т. 6. – С. 266–278. doi: [10.16926/par.2018.06.31](https://doi.org/10.16926/par.2018.06.31).
14. Blecharz J., Siekanska M. Temperament structure and ways of coping with stress among professional soccer and basketball players // *Biology of Sport.* – 2007. – Т. 24. – №. 2. – С. 143.
15. Ильин Е.П. Дифференциальная психофизиология, ее место и роль в обучении личности спортсменов // *Sportivnaya i vozrastnaya psihofiziologiya*,(0). – 1974. – Т. 1. – С. 5–24.
16. Ильин Е. П. Сила нервной системы и методика ее исследования // *Psihofiziologicheskie osnovy fizicheskogo vospitaniya i sporta*,(0). – 1972. – Т. 1. – С. 5–12.
15. Chen Y. et al. Pre-competition Psychological Training of Middle School Athletes in Middle and Long Distance Race from the perspective of Temperament Type-Case study // *Proceedings of the Xi'an 2012 international Conference of Sport Science & Physical Education.* – 2012. – Т. 2. – С. 177–181.
16. Kozin S. V. Biomechanical substantiation of the technique of hanging in rock climbing // *Health, sport, rehabilitation.* – 2019. – Т. 5. – №. 1. – С. 25–35. doi: [10.34142/HSR.2019.05.01.03](https://doi.org/10.34142/HSR.2019.05.01.03).
17. Brazil A. et al. Lower limb joint kinetics in the starting blocks and first stance in athletic sprinting // *Journal of sports sciences.* – 2017. – Т. 35. – №. 16. – С. 1629–1635.
18. Anokhin P. K., Shuleikina K. V. System organization of alimentary behavior in the newborn and the developing cat // *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology.* – 1977. – Т. 10. – №. 5. – С. 385–419.
19. Чайка Е. И. Роль психофизиологических показателей в эффективности квалифицированных спринтеров с нарушением зрения (на примере элитного спортсмена) // *Health, sport, rehabilitation.* – 2018. – Т. 4. – №. 3. – С. 62–74.

REFERENCES

1. Kozina, Z. L., Chebanu, O. I., Prokopenko, I. F., Korobeynikov, G. V., Korobeynikova, L. G., Korobeinik, V. A., ... & Guba, A. V. (2018). The implementation of the concept of individualization in training elite Female athletes with visual impairment in the sprint. *Journal of Physical Education and Sport.* 2018; 18(1):282–292.
2. Alahmadi, A., Pardini, M., Cortese, R., Cawley, N., D'Angelo, E., Friston, K., ... & Wheeler-Kingshott, C. A. M. (2016). Functional response to a complex visuo-motor task supports local compensatory mechanisms in Multiple Sclerosis. *Proceedings from the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, 24.

3. Lexell, J., Fagher, K., Forsberg, A., Jacobsson, J., Dahlström, Ö., & Timpka, T. (2016). Paralympic Athletes' Perceptions Of Their Experiences Of Sports-related Injuries: A Qualitative Study. *1861 Board# 13 June 2, 200 PM-330 PM. Medicine & Science in Sports & Exercise, 48(5S), 510.*
4. Bednarczuk, G., Molik, B., Morgulec-Adamowicz, N., Kosmol, A., Wiszomirska, I., Rutkowska, I., & Perkowski, K. (2017). Static balance of visually impaired paralympic goalball players. *International Journal of Sports Science & Coaching, 12(5), 611-617.*
5. Santos, C. D. N., Carvalho, T. L. D., Felício, L. R., Mainenti, M. R. M., & Vigário, P. D. S. (2018). Postural control in athletes with different degrees of visual impairment. *Journal of Physical Education, 29.*
6. Chaika, E. I., Kozina, Zh. L., Korobeynik, V. A., & Bazyljuk, T. A. (2018). Individual structure of psychophysiological functions in connection with competitive performance in the Paralympic sprint on the example of a high-skilled student with visual impairment. *Health, sport, rehabilitation, 4(1), 96-107.*
7. Kozina, Z., Chaika, O., Cretu, M., Korobeynikov, G., Repko, O., Sobko, I., ... & Trubchaninov, M. Psychophysiological factors of adaptation in elite Paralympic sprint runners with visual impairments—a case study. *Physiotherapy Quarterly, 26(4), 23-32.* doi: <https://doi.org/10.5114/pq.2018.79743>.
8. Znazen, H., Slimani, M., Miarka, B., Butovskaya, M., Siala, H., Messaoud, T., & Souissi, N. (2017). Mental skills comparison between elite sprint and endurance track and field runners according to their genetic polymorphism: a pilot study. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 57(9), 1217-1226.*
9. Kozina, Z. L., & Chaika, O. I. (2018). Interconnection of psycho-physiological indicators and performance in running at 100 m at athletes of high qualification with visual impairment (for example an elite athlete). *Health, sport, rehabilitation, 4(2), 73-86.* doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1342472> (in Russian).
10. Korobeynikov, G. V., & Myshko, V. V. (2016). Connection of supreme nervous functioning's neurodynamic characteristics with success of junior sportsmen in sports dances. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports, (4), 17-23.*
11. Lyzohub, V., Nechyporenko, L., Pustovalov, V., & Suprunovych, V. (2016). Specialized training and bioenergy state of football players with different typological properties of the higher parts of the nervous system. *Science and Education, (8), 107-+.*
12. Korobeynikov, G., Mazmanian, K., Korobeynikova, L., & Jagiełło, W. (2010). Psychophysiological states and motivation in elite judokas. *Archives of Budo, 6(3), 129-136.*
13. Kozina, Z., Chebanu, O., Repko, O., Kozin, S., & Osiptsov, A. (2018). Influence of typological features of the nervous system on individual performance in running for short distances in athletes with visual impairment on the example of an elite athlete. *Physical Activity Review, 6, 266-278.* doi: [10.16926/par.2018.06.31](https://doi.org/10.16926/par.2018.06.31).
14. Blecharz, J., & Siekanska, M. (2007). Temperament structure and ways of coping with stress among professional soccer and basketball players. *Biology of Sport, 24(2), 143.*
15. Ilin, E. P. (1974). Differential psychophysiology, its place and role in the study of the personality of athletes. *Sportivnaya i vozrastnaya psihofiziologiya, (0), 1, 5-24* (in Russian).
16. Ilin, E. P. (1972). Sila The strength of the nervous system and the methods of its investigation. *Psihofiziologicheskie osnovy fizicheskogo vospitaniya i sporta, (0), 1, 5-12* (in Russian).
17. Chen, Y., Zhou, A. Q., Qian, G. R., & Gong, X. Q. (2012). Pre-competition Psychological Training of Middle School Athletes in Middle and Long Distance Race from the perspective of Temperament Type-Case study. In *Proceedings of the Xi'an 2012 international Conference of Sport Science & Physical Education (Vol. 2, pp. 177-181).*
18. Kozin, S. V. (2019). Biomechanical substantiation of the technique of hanging in rock climbing. *Health, sport, rehabilitation, 5(1), 25-35.* doi: [10.34142/HSR.2019.05.01.03](https://doi.org/10.34142/HSR.2019.05.01.03).
19. Brazil, A., Exell, T., Wilson, C., Willwacher, S., Bezodis, I., & Irwin, G. (2017). Lower limb joint kinetics in the starting blocks and first stance in athletic sprinting. *Journal of sports sciences, 35(16), 1629-1635.*
20. Anokhin, P. K., & Shuleikina, K. V. (1977). System organization of alimentary behavior in the newborn and the developing cat. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology, 10(5), 385-419.*
21. Chaika, O. I. (2018). The role of psychophysiological indicators in the effectiveness of qualified sprinters with visual impairment (the example of an elite athlete). *Health, sport, rehabilitation, 4 (3): 62-74* (in Russian).

**НЕЙРОДИНАМІЧНІ КОМПЕНСАТОРНІ МЕХАНІЗМИ ПОРУШЕННЯ
ЗОРУ І БІОМЕХАНІЧНІ ПОКАЗНИКИ БІГУ У ЕЛІТНОЇ СПОРТСМЕНКИ
В ПАРАЛІМПІЙСЬКОМУ СПРИНТІ**

Сафронов Д. В., Чайка О. І., Белозьоров І. В., Козін С. В., Козіна Ж. Л.

Метою нашої роботи стало виявлення потенційних компенсаторних механізмів порушення зору у елітної спортсменки в паролімпійському спринті на основі аналізу біомеханічних характеристик бігу і показників нейродинаміки. У дослідженні взяла участь спортсменка високої кваліфікації з вадами зору (категорія T12). Впродовж 5 місяців були проаналізовані індивідуальні особливості психофізіологічного стану, результати в бігу на 60, 80, 100, 120, 200 м, визначені біомеханічні характеристики бігу на 100 м. Обстежувана спортсменка є нетиповим спринтером, так як є представником рухомого і сильного типу нервової системи, що дозволяє їй підтримувати більш високу швидкість на дистанції більш тривалий час в порівнянні з іншими спортсменами, що можна розглядати як потенційний резерв. Роль слухового аналізатора не виявлена в якості компенсаторного механізму зорової дисфункції. Було встановлено високий достовірний взаємозв'язок між нейродинамічними і біомеханічними характеристиками спортсменки. Відповідно до результатів дослідження, удосконалення біомеханіки бігу шляхом акценту на роботу кінестетичного аналізатора може дати збільшення швидкості на дистанції з її збереженням практично до фінішу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: спринт, паролімпієць, зір, адаптація, нейродинаміка, біомеханіка

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сафронов Данило Вікторович, к.м.н., доцент кафедри хірургічних хвороб, оперативної хірургії і топографічної анатомії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 6, Харків, Україна, 61022, e-mail: safronovdaniil70@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9608-8670>

Чайка Олена Іванівна, заслужений майстер спорту з легкої атлетики, здобувач, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, вул. Сумська, 77/79, Харків, Україна, 61023, e-mail: Zhanneta.kozina@gmail.com

Белозеров Ігор Вікторович, д.м.н., професор кафедри хірургічних хвороб, оперативної хірургії і топографічної анатомії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 6, Харків, Україна, 61022, e-mail: armm.meddep@karazin.ua

Козін С. В., студент Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди, вул. Алчевських, 29, Харків, 61002, e-mail: kozin.serenya@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1351-664X>

Козіна Жаннета Леонідівна, д.н. ФВіС, професор, завідувач кафедри олімпійського і професійного спорту та спортивних ігор Харківського національного педагогічного університету ім. Г. С. Сковороди, вул. Алчевських, 29, Харків, 61002, e-mail: Zhanneta.kozina@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5588-4825>, ScopusAuthorID: 56707357300

NEURODYNAMIC COMPENSATORY MECHANISMS OF VISUAL IMPAIRMENT AND BIOMECHANICAL INDICATORS OF RUNNING IN AN ELITE ATHLETE IN THE PARALYMPIC SPRINT

Safronov D. V., Chaika O. I., Belozеров I. V., Kozin S. V., Kozina Zh. L.

The purpose of our work was to identify potential compensatory mechanisms of visual impairment in an elite athlete in the Paralympic sprint based on an analysis of the biomechanical characteristics of running and neurodynamic indicators. A highly qualified athlete with visual impairment (category T12) participated in the study. The individual characteristics of the psychophysiological state and the results in running for 60, 80, 100, 120, 200 m, biomechanical characteristics of the run for 100 m were analyzed within 5 months. In total, 36 series of measurements of each indicator were carried out for 5 months. The athlete being examined is an atypical sprinter, as she is a representative of a mobile and strong type of nervous system, which allows her to maintain a higher speed at a distance for a longer time compared to other athletes, which can be considered as a potential reserve. The role of the auditory analyzer was not identified as a compensatory mechanism of visual dysfunction. A high reliable relationship between the neurodynamic and biomechanical characteristics was revealed of the examined female athlete. According to the study, improving the biomechanics of running by focusing on the work of a kinestatic analyzer can give an increase in speed at a distance while maintaining it almost to the finish.

KEY WORDS: sprint, paralympic, vision, adaptation, neurodynamics, biomechanics

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Danila Safronov V., PhD, Associate Professor, Department of Surgical Diseases, Operative Surgery and Topographic Anatomy, V.N. Karazin Kharkiv National University, 6, Svobody pl., Kharkov, Ukraine, 61022, e-mail: safronovdaniil70@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9608-8670>

Chaika Olena I., Honored Master of Sports in Athletics, Competitor, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 77/79, Sumska vul., Kharkiv, Ukraine, 61023, e-mail: Zhanneta.kozina@gmail.com

Belozеров Igor V., MD, Professor, Department of Surgical Diseases, Operative Surgery and Topographic Anatomy, V. N. Karazin Kharkiv National University, 6, Svobody pl., Kharkov, Ukraine, 61022, e-mail: apmm.meddep@karazin.ua

Kozin S. V., Student of G. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, 29, Alchevskikh vul., Kharkiv, Ukraine, 61002, e-mail: kozin.serenya@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1351-664X>

Kozina Zhanneta L., MD of Sc. FVIS, Professor, Head of the Department of the Olympic Professional Sports and Sports Association of the Kharkiv National Pedagogical University. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, 29, Alchevskikh vul., Kharkiv, Ukraine, 61002, e-mail: Zhanneta.kozina@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5588-4825>, ScopusAuthorID: 56707357300