

УДК 612.766.1:796.332.4

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАВЫКОВ УДАРНЫХ ДЕЙСТВИЙ У ФУТБОЛИСТОВ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

© 2022 г. К. В. Давлетьярова<sup>1</sup>, М. С. Нагорнов<sup>1</sup>, С. Г. Кривошеков<sup>3</sup>,  
А. А. Ильин<sup>4</sup>, Л. В. Капилевич<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>3</sup>ФГБНУ Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup>Томский университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

\*E-mail: kapil@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.02.2021 г.

После доработки 23.03.2021 г.

Принята к публикации 25.06.2021 г.

Целью данного исследования было изучить физиологические характеристики двигательных навыков ударных действий у футболистов с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ), обусловленными нарушениями со стороны опорно-двигательного аппарата. В исследовании принимали участие 100 студентов – мужчин в возрасте 18–22 лет, класс футболистов соответствовал уровню сборной университета. Студенты были поделены на основную группу ( $n = 50$ ) и контрольную группу ( $n = 50$ ). К основной группе были отнесены футболисты с нарушениями опорно-двигательного аппарата (плоскостопием II–III степени в сочетании со сколиозом II–III степени). В контрольную группу вошли футболисты без нарушений опорно-двигательного аппарата. Исследования проводились методом электромиографии, стабилографии и методом *Motion Tracking*. Установлено, что можно выделить два фактора нарушения координации и равновесия у спортсменов с ограниченными возможностями здоровья, каждый из которых запускает один или несколько компенсаторных механизмов, на основе которых формируется новый двигательный стереотип. Первый фактор – искривление позвоночника, что главным образом приводит к смещению общего центра тяжести тела, к расстройству механизмов поддержания вертикальной позы и к нарушению координации при выполнении движений. Вторым фактором является нарушение распределения давления по стопе, искажающее афферентацию от нервных окончаний стопы и восприятие опорных реакций, тем самым нарушая работу системы поддержания равновесия при вертикальной позе. Для компенсации описанных нарушений и для обеспечения полноценной физиологической адаптации к условиям игры в футбол организм спортсменов вовлекает целый ряд механизмов. Искривление позвоночника и вызванная им дискоординация движений конечностей компенсируется за счет снижения скорости движений и амплитуды колебаний общего центра тяжести, за счет роста значимости зрительного контроля. Нарушения опорной реакции компенсируются вовлечением в работу дополнительных групп мышц, прежде всего – мышц голени. Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что именно на основе взаимодействия выявленных факторов – ограничивающих и компенсаторных – достигается полезный результат – формируется новый двигательный стереотип, позволяющий сформировать двигательную адаптацию у спортсменов с ОВЗ и обеспечить достижение полезного результата – высокой эффективности ударных действий футболистов.

**Ключевые слова:** локомоции, регуляция движения, поддержание позы, межмышечные взаимодействия, ограничение подвижности опорно-двигательного аппарата.

**DOI:** 10.31857/S0131164622010040

Физиологические механизмы регуляции двигательной деятельности, определяют эффективность управления движениями при выполнении ударно-целевых действий. Следовательно, совершенствование процессов регуляции движений, от которых зависит эффективность ударов по мя-

чу, является основой технической подготовки спортсменов с точки зрения физиологии [1, 2].

В настоящее время высокие достижения в спортивной деятельности могут быть достигнуты только на основе учета физиологических принципов и закономерностей: объективный кон-

троль функционального состояния организма спортсмена, индивидуальный учет физиологических характеристик и механизмов управления двигательными действиями конкретного спортсмена [3–5]. Соблюдение названных принципов становится особенно актуальным, когда в спортивную деятельность вовлекаются спортсмены с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) [6, 7]. Основными задачами двигательной активности для указанной категории лиц является сохранение здоровья и повышение качества жизни, социальная адаптация [8]. Футбол относится к видам спорта с большим вкладом динамического компонента и обладает значительным реабилитационно-оздоровительным потенциалом для этой категории лиц [9]. Однако особенности построения движений у молодых людей с ОВЗ при игре в футбол практически не изучены.

Изучение физиологических характеристик двигательных навыков ударных действий у футболистов с ОВЗ представляет собой актуальную научную проблему для формирования теоретических основ медико-биологического сопровождения параолимпийского движения в данном виде спорта [10–12]. Описание закономерностей и характеристика особенностей управления двигательными действиями у спортсменов данной группы позволит в дальнейшем разрабатывать новые эффективные подходы как к тренировке параолимпийских команд, так и к обеспечению оздоровительного эффекта, рекреации и социализации лиц с ОВЗ.

Для контроля физиологических параметров у спортсменов в процессе тренировок и соревнований сегодня используются большое количество методов. Широко применяются информационные технологии, позволяющие существенно снизить временные затраты на процессы обработки и анализ полученной информации, повысить качество ее визуализации. Стоит обратить внимание, что изначально многие из этих методов были разработаны для функциональной диагностики поражений нервной системы на различных уровнях [13, 14]. В настоящее время в тренировочный процесс активно внедряются методы, позволяющие оценивать функциональные возможности различных отделов нервной системы в формировании двигательных навыков не только у людей с нарушениями в работе организма, но и у спортсменов [15]. Среди таких методов важное место занимают стабелографический контроль координации и равновесия, регистрация биоэлектрической активности мышц при выполнении спортивных приемов, биомеханическая оценка перемещения звеньев тела спортсмена [16].

Однако проблема выполнения сложно координационных двигательных действий у спортсменов и их физиологического обеспечения оста-

ется исследованной недостаточно. Особенно это касается параолимпийского спорта – исследование физиологических характеристик движений таких спортсменов крайне мало.

Цель данного исследования – изучить физиологические характеристики двигательных навыков ударных действий у футболистов с ОВЗ, обусловленными нарушениями со стороны опорно-двигательного аппарата.

## МЕТОДИКА

В качестве объекта исследования была выбрана группа студентов мужского пола I–III курса ( $n = 50$ ) Томского государственного университета и Томского политехнического университета (возраст –  $20.5 \pm 1.6$  лет). Класс футболистов соответствовал уровню сборной университета. Студенты были поделены на основную группу ( $n = 25$ ) и контрольную группу ( $n = 25$ ). К основной группе были отнесены футболисты с нарушениями опорно-двигательного аппарата (плоскостопием II–III степени в сочетании со сколиозом II–III степени). Однородность основной группы обеспечивали подбором студентов с одинаковыми диагнозами и степенью нарушений. В контрольную группу вошли футболисты без нарушений опорно-двигательного аппарата. Все спортсмены получали соответствующий допуск спортивного врача к тренировочному процессу и соревнованиям. Спортсмены основной группы ежемесячно проходили дополнительный медицинский осмотр для подтверждения допуска к тренировкам.

Частота тренировок и уровень нагрузок во время тренировочного процесса были идентичны. Тренировки проходили в подготовительный период 3 раза в нед. Каждая тренировка длилась 120 мин и включала в себя упражнения на совершенствование технического мастерства, передачи мяча в парах и тройках, и удары по мячу по воротам. Также совершенствовалось тактическое мастерство спортсменов с помощью различных упражнений на групповое взаимодействие.

*Метод электромиографии (ЭМГ).* Для регистрации биоэлектрических характеристик сокращения мышц нижних конечностей использовали многофункциональный компьютерный комплекс “Нейро–МВП–4” (Нейрософт, Россия). В качестве экспериментальной модели был выбран удар по мячу внешней стороной стопы из стандартного положения без разбега.

Электроды располагали следующим образом: первый – на латеральной головке икроножной мышцы, второй – на медиальной головке икроножной мышцы, третий – на нижней трети широкой мышцы бедра. Четвертый электрод фиксировался на длинную приводящую мышцу бедра. Электроды накладывали согласно анатомическо-

му расположению мышц. Использовали электроды с межэлектродным расстоянием 20 мм, представляющие собой металлические диски площадью 1 см<sup>2</sup>. Регистрацию осуществляли во время выполнения удара по мячу, фиксировали среднюю амплитуду и среднюю частоту осцилляций.

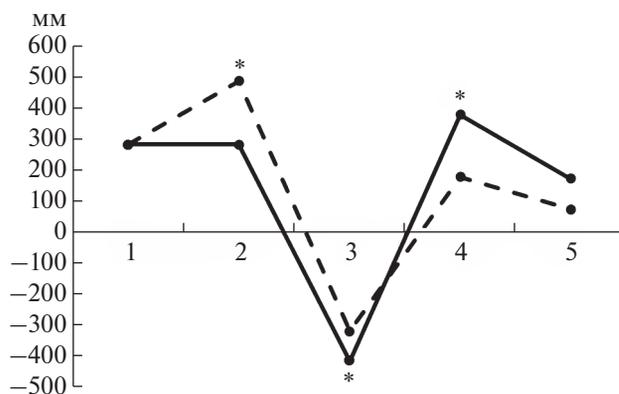
**Метод отслеживания движения.** Биомеханические параметры локомоций исследовали методом *Motion Tracking*, который представляет собой фотосъемку движений цифровой высокоскоростной камерой с кадровым компьютерным анализом изображений. Запись осуществляли с помощью видеокамеры *Vision Research Phantom Mire eX2* (США) с частотой 250 кадров в секунду. Программный модуль *Tracker 1.1* позволяет построить модель биомеханической системы, проекции двигательных актов с анализом линейных и угловых кинематических профилей и их производных.

**Компьютерную стабилотографию** выполняли на стабиланализаторе “Стабилан-01-2” (ЗАО ОКБ “РИТМ”, Россия). Использовали тест Ромберга, тест с поворотом головы и стабилотографический тест с выполнением удара по мячу. В последнем тесте испытуемым предлагали выполнить удар по мячу внешней стороной стопы из стандартного положения без разбега. Записывали траекторию перемещения общего центра давления (ОЦД) и вычисляли характеристики стабилотограммы – разброс во фронтальной и сагиттальной плоскостях, скорость перемещения ОЦД, площадь эллипса, качество функции равновесия (КФР).

Анализ данных проводили при помощи программы *Statistica 8.0 for Windows* (Statsoft, Россия). Полученные данные были представлены в виде “среднее ± ошибка среднего” ( $X \pm m$ ). Для определения характера распределения полученных данных использовали критерий Колмогорова–Смирнова. Гипотезу о принадлежности сравниваемых независимых выборок к одной и той же генеральной совокупности или к совокупностям с одинаковыми параметрами проверяли с помощью рангового *U*-критерия Манна–Уитни.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

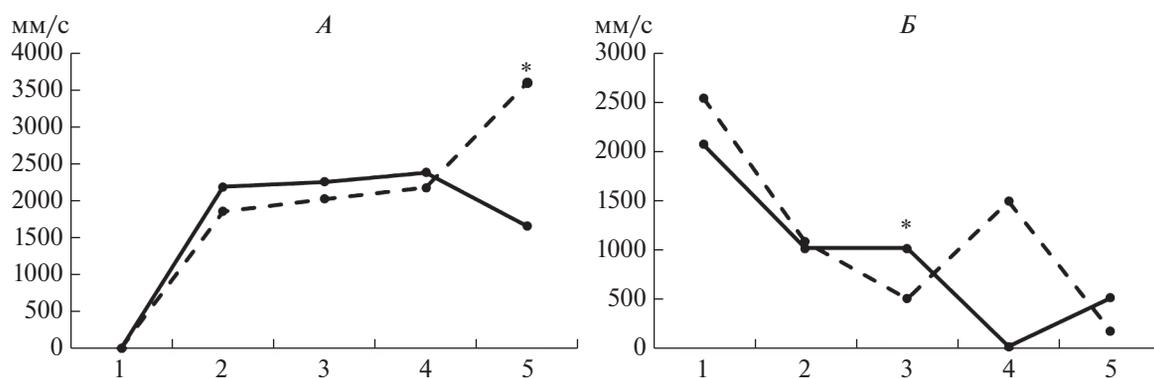
**Биомеханические характеристики ударных движений у футболистов с ограниченными возможностями здоровья.** Были выявлены существенные различия в построении двигательных актов у спортсменов с ОВЗ и контрольной группой. В частности, значительно различались величины перемещения голеностопного сустава во время удара по мячу внешней частью подъема (рис. 1). Если в контрольной группе в подготовительной фазе сустав отводился назад, затем следовало движение вперед до завершающей фазы удара, после чего следовал возврат в исходное положение, то в основной группе картина была иной.



**Рис. 1.** Величина смещения голеностопного сустава по горизонтали при ударе по мячу внешней стороной стопы из стандартного положения без разбега. По оси X – фазы удара (1 – начальная фаза, 2 – подготовительная фаза, 3 – фаза удара, 4 – завершающая фаза, 5 – окончание движения); по оси Y – перемещение (мм); \* – достоверность различий между группами ( $p < 0.05$ ).

В подготовительной фазе смещение сустава отсутствовало, затем следовало резкое движение вперед, которое завершалось в основной фазе, после чего наблюдалось столь же резкое движение назад.

Еще одной важной характеристикой построения движения является скорость перемещения звеньев тела. На рис. 2 представлена динамика горизонтальной (рис. 2, А) и вертикальной (рис. 2, Б) составляющих скорости перемещения голеностопного сустава спортсменов двух групп при выполнении удара по мячу внешней частью подъема стопы. Горизонтальная составляющая резко возрастает у спортсменов обеих групп в подготовительной фазе и остается практически постоянной до выполнения удара по мячу. Однако в завершающей фазе можно видеть существенное различие – у спортсменов основной группы сразу после удара скорость начинает снижаться – т.е. удар они выполняют в момент максимальной скорости, тогда как в основной группе скорость после момента удара по мячу продолжает расти, и весьма существенно. Вертикальная составляющая скорости движения голеностопного сустава у обеих групп снижается в подготовительной фазе. Спортсмены контрольной группы выполняют удар по мячу в тот момент, когда вертикальная компонента скорости минимальна, после чего отмечается некоторый ее рост. У спортсменов же основной группы можно наблюдать существенное возрастание горизонтальной компоненты с началом основной фазы движения, в итоге в момент удара эта скорость имеет максимум, а после удара снова снижается. Очевидно, что для спортсменов с ОВЗ характерны более резкие дви-



**Рис. 2.** Величина скорости смещения голеностопного сустава при ударе по мячу внешней стороной стопы из стандартного положения без разбега.

*A* – горизонтальная составляющая, *B* – вертикальная составляющая. По оси *X* – фазы удара (1 – начальная фаза, 2, 3 – подготовительная фаза, 4 – фаза удара, 5 – завершающая фаза); по оси *Y* – скорость (мм/с); \* – достоверность различий между группами ( $p < 0.05$ ).

жения с большей амплитудой, что указывает на отклонение двигательного стереотипа от рациональной и экономичной модели [17].

*Характеристики равновесия у футболистов с нарушениями опорно-двигательного аппарата.* Способность к поддержанию равновесия у испытуемых оценивалась при выполнении стандартного теста Ромберга на стабиллографической платформе, тест выполнялся с открытыми глазами (табл. 1). У футболистов с ОВЗ показатели разброса в сагиттальной плоскости, средняя скорость перемещения центра давления, скорость изменения площади статокинезиграммы ниже по сравнению с контрольной группой, тогда как показатели разброса во фронтальной плоскости и качества функции равновесия – выше. В то же

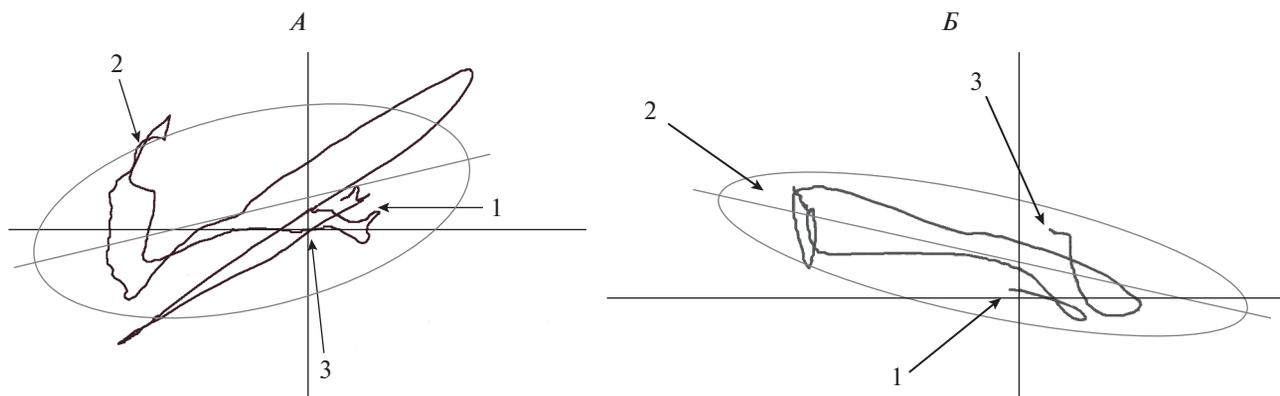
время при выполнении теста Ромберга с закрытыми глазами у футболистов контрольной группы показатели стабиллограммы практически не изменялись, в то время как у спортсменов с ОВЗ они существенно ухудшались при отмене зрительного контроля (табл. 1).

Можно предположить, что у футболистов с нарушениями осанки и плоскостопием хуже осуществляется работа проприоцептивного афферентного звена. Это может быть как следствием сколиоза, так и причиной его развития [17]. Вследствие этого спортсмены с ОВЗ при выполнении теста с открытыми глазами демонстрируют лучшую стабильность позы по сравнению с контролем, так как в большей степени задействуют зрительный анализатор, что дает им преимуще-

**Таблица 1.** Стабиллографические величины при исполнении теста Ромберга с закрытыми глазами ( $X \pm m$ )

Группы	Закрытые глаза		Открытые глаза	
	основная группа	контрольная группа	основная группа	контрольная группа
Фронтальная ось (разброс), мм	$5.1 \pm 0.4^{*, \#}$	$2.7 \pm 0.5$	$3.2 \pm 0.5^*$	$2.2 \pm 0.3$
Сагиттальная ось (разброс), мм	$6.7 \pm 0.3^{*, \#}$	$5.7 \pm 0.3$	$4.0 \pm 0.5^*$	$5.0 \pm 0.4$
Средняя скорость перемещения ЦД, мм/с	$20.3 \pm 2.7^{*, \#}$	$36.0 \pm 3.9^{\#}$	$6.1 \pm 0.7^*$	$9.1 \pm 1.1$
Площадь эллипса, мм <sup>2</sup>	$219.3 \pm 29.3^{*, \#}$	$152.3 \pm 13.8$	$142.4 \pm 33.0^*$	$179.1 \pm 22.4$
Скорость изменения площади статокинезиграммы, мм <sup>2</sup> /с	$12.0 \pm 0.7$	$14.4 \pm 1.5$	$13.5 \pm 2.4$	$15.8 \pm 5.6$
Качество функции равновесия (КФР), %	$63.0 \pm 5.2^{*, \#}$	$52.1 \pm 2.6^{\#}$	$82.5 \pm 2.4^*$	$62.2 \pm 3.8$

*Примечание:* \* – достоверность различий с контрольной группой,  $p < 0.05$ , # – достоверность изменений после открывания глаз,  $p < 0.05$ .



**Рис. 3.** Статокинезиграмма исполнения удара по мячу внешней стороной стопы из стандартного положения без разбега футболистом основной группы (А) и контрольной группы (Б). Стрелками указаны: 1 – начало исполнения движения; 2 – момент удара по мячу; 3 – завершение движения.

ство перед спортсменами контрольной группы, которые задействуют проприоцептивное звено нервной системы. Однако при отмене зрительного контроля это преимущество полностью утрачивалось.

При исследовании стабилотографического сигнала при выполнении теста с поворотом головы налево, у спортсменов с ОВЗ наблюдается увеличение площади эллипса и качества функции равновесия по сравнению с контрольной группой футболистов. При выполнении теста с поворотом головы направо у футболистов с ОВЗ происходит повышение таких показателей как площадь эллипса при сравнении с контрольной группой футболистов.

*Координация движений при выполнении удара по мячу у футболистов с ОВЗ.* Результаты стабилотографического анализа исполнения удара внешней частью подъема футболистами различной

квалификации представлены на рис. 3. При анализе рис. 3, Б видно, что спортсмен контрольной группы в подготовительной фазе ОЦД в исходном положении, а затем ОЦД перемещается вперед по траектории удара и возвращается назад. При исполнении удара по мячу футболистом основной группы в подготовительной фазе происходит перемещение ОЦД назад (рис. 3, А). Отличительной особенностью удара по мячу в основной группе являются колебательные движения в две стороны в завершающей стадии для удержания равновесия. А в рабочей фазе в момент удара по мячу происходит снижение эффективности исполнения удара за счет изогнутой траектории движения ОЦД. При этом в основной группе все характеристики стабилотограммы были достоверно ниже, чем в контрольной (табл. 2). В литературе есть описание сходного феномена при поддержании вертикальной позы [18]. Предполагается, что функциональная устойчивость вертикальной по-

**Таблица 2.** Стабилотографические величины при исполнении удара по мячу внешней стороной стопы из стандартного положения без разбега ( $X \pm m$ )

Величина	Основная группа	Контрольная группа
Фронтальная ось (разброс), мм	34.8 ± 2.6*	45.9 ± 2.2
Сагиттальная ось (разброс), мм	18.5 ± 1.5*	29.0 ± 4.4
Сагиттальная ось (смещение), мм	112.5 ± 9.2*	141.8 ± 6.2
Средняя скорость перемещения ЦД, мм/с	7879.7 ± 1101.5*	13005.8 ± 1468.1
Площадь эллипса, мм <sup>2</sup>	1330.2 ± 168.4*	2403.3 ± 266.7
Скорость изменения площади статокинезиграммы, мм <sup>2</sup> /с	11.4 ± 1.5*	16.7 ± 1.9
Качество функции равновесия (КФР), %	113.3 ± 9.3*	142.9 ± 6.3

Примечание: обозначения см. табл. 1.

**Таблица 3.** Биоэлектрическая активность мышц нижних конечностей футболистов при исполнении удара по мячу внешней стороной стопы из стандартного положения без разбега ( $X \pm m$ )

Группы	Основная группа	Контрольная группа
<i>m. gastrocnemius, caput laterale</i>	331.9 ± 92.1*	959 ± 190.0
<i>m. gastrocnemius, caput mediale</i>	846.2 ± 275.9	1259 ± 108.2
<i>m. vastuslateralis</i>	421.2 ± 95.2*	608.4 ± 6991.8
<i>m. adductorlongus</i>	248.4 ± 64.1*	2819 ± 739.3

Примечание: обозначения см. табл. 1.

зы у детей с разным состоянием свода стопы обеспечивается разной степенью участия механизмов ее регуляции. Соответственно, тренировки футболистов с ОВЗ способствуют формированию более эффективных механизмов поддержания вертикальной устойчивости, что, в конечном итоге, повышает эффективность ударов по мячу.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии принципиальных различий в физиологических закономерностях техники выполнения ударов по мячу у футболистов основной и контрольной групп спортсменов.

*Характеристики биоэлектрической активности мышц нижних конечностей при выполнении удара по мячу.* Как видно из представленных данных (табл. 3), максимальная амплитуда биоэлектрической активности икроножной мышцы (латеральная головка), максимальная амплитуда биоэлектрической активности латеральной широкой мышцы (нижняя треть) и максимальная амплитуда биоэлектрической активности приводящей мышцы бедра у футболистов основной группы достоверно ниже, чем у контрольной группы футболистов. При ударе внешней стороной стопы в основной группе спортсменов больше задействована медиальная головка икроножной мышцы, а у спортсменов контрольной группы – мышцы бедра.

Таким образом, результаты исследования электрической активности мышц свидетельствуют о том, что физиологическое обеспечение стандартных ударных действий у футболистов основной и контрольной групп имеет целый ряд существенных различий. При исследовании биоэлектрической активности мышц нижних конечностей при выполнении ударов по мячу футболистами с ОВЗ наблюдается перераспределение нагрузки на опорно-двигательный аппарат. Прежде всего, футболисты основной группы при выполнении ударов по мячу в равной степени задействуют мышцы бедра и голени, тогда как у контрольной группы преимущественно вовлекаются в выполнение данного двигательного действия мышцы бедра. Полученные результаты согласуются с имеющимися в литературе сведениями о том, что в про-

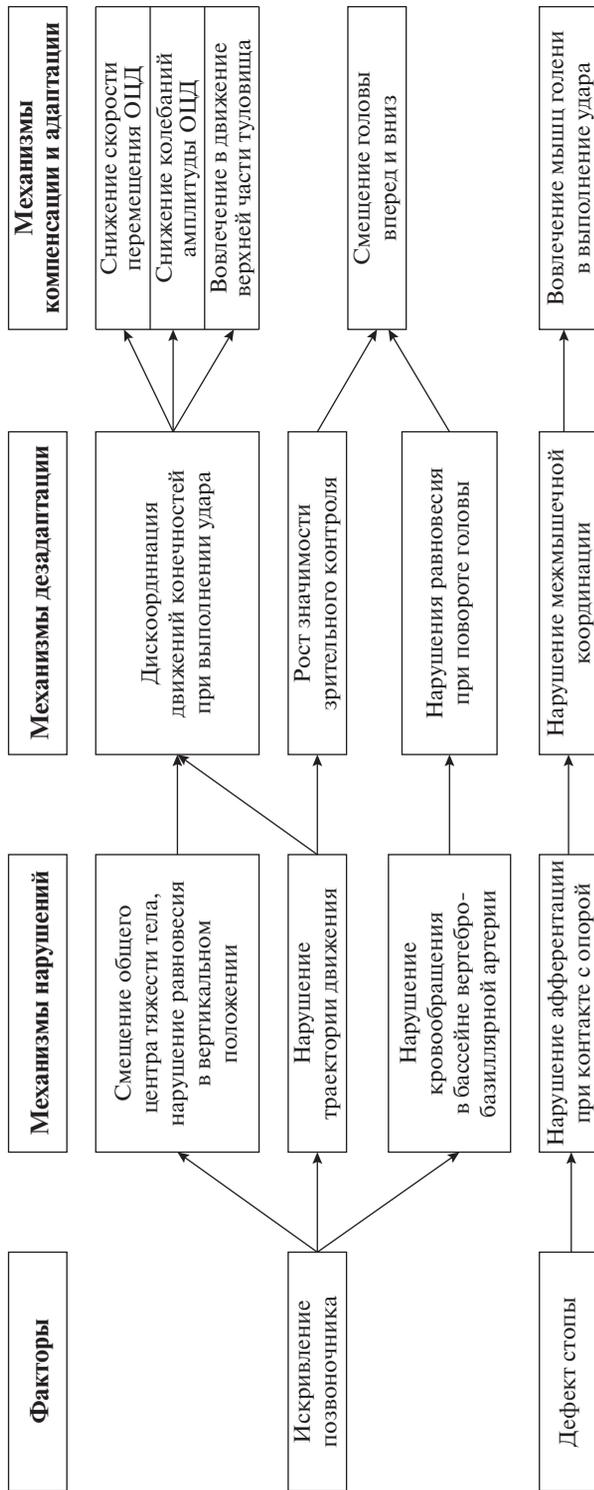
цессе обучения происходит перераспределение нагрузки между мышцами бедра и голени при поддержании вертикальной позы [19].

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследований позволили обнаружить целый ряд физиологических и биомеханических особенностей, характеризующих выполнение ударов по мячу у футболистов с ограниченными возможностями здоровья, обусловленными нарушениями со стороны опорно-двигательного аппарата. По всей видимости, формирование особого динамического стереотипа выполнения ударов по мячу у спортсменов с ОВЗ является результатом трудностей с поддержанием равновесия и координацией движений [17, 20].

Все изложенное позволяет предложить схему формирования двигательной адаптации у футболистов с ОВЗ, обусловленными нарушениями со стороны опорно-двигательного аппарата (рис. 4). Исходным звеном обстановочной афферентации, обуславливающим потребность в адаптации, являются нарушения равновесия и координации, приводящее к нарушению эффективности ударных движений, а основным фактором мотивации, конечной целью процесса адаптации – максимальное восстановление координационных способностей.

Мы выделили два фактора нарушения координации и равновесия у спортсменов с ОВЗ, каждый из которых запускает один или несколько компенсаторных механизмов, на основе которых формируется новый двигательный стереотип. Первый фактор – искривление позвоночника, что главным образом приводит к смещению общего центра тяжести тела, к расстройству механизмов поддержания вертикальной позы и к нарушению координации при выполнении движений. Ряд авторов отмечают влияние сколиоза и плоскостопия на нарушение двигательной координации при стоянии и ходьбе [18–21]. Влияние данного фактора проявляется в основном в снижении устойчивости в позе Ромберга, в усилении значимости зрительного контроля движений и



**Рис. 4.** Схема формирования двигательной адаптации у футболистов с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ).  
ОЦД – общий центр давления.

дискоординации движений нижних конечностей при выполнении ударов по мячу. Одновременно нарушения со стороны позвоночного столба при-

водят к нарушению кровообращения в бассейне вертебро-базиллярных артерий. Гемодинамические расстройства приводят к нарушению равновесия при поворотах головы, а также при резких движениях верхней части туловища [22]. Так же в литературе отмечено, что сколиотические изменения могут сопровождаться вестибулярными расстройствами вследствие окостенения вестибулярных каналов [23], что так же приведет к нарушению двигательной координации.

Вторым фактором, способствующим нарушению координации и равновесия у футболистов с ОВЗ, являются дефекты стопы. Он приводит к нарушению изменения распределения давления по стопе, искажая афферентацию от нервных окончаний стопы и восприятие опорных реакций, тем самым нарушая работу системы поддержания равновесия при вертикальной позе [18]. Этот фактор приводит к дискоординации работы мышц нижних конечностей при выполнении сложнокоординационных движений в вертикальной опоре (стоя), особенно при опоре на одну ногу (именно это происходит при выполнении удара по мячу).

Для компенсации описанных нарушений и для обеспечения полноценной физиологической адаптации к условиям игры в футбол организм спортсменов вовлекает целый ряд механизмов, которые представлены на рис. 4. Так как большинство авторов традиционно рассматривают ведущую роль центральных механизмов в формировании спортивных навыков [24–27], можно предположить, что компенсация описанных расстройств происходит преимущественно на уровне двигательных зон коры и подкорковых узлов за счет формирования новых стабильных связей. Искривление позвоночника и вызванная им дискоординация движений конечностей компенсируется за счет снижения скорости движений и амплитуды колебаний общего центра тяжести, а также за счет вовлечения в движение верхней части туловища (плечевого пояса и верхних конечностей).

Рост значимости зрительного контроля приводит к формированию позы, способствующей его осуществлению – смещению головы вперед и вниз [17]. Эти же изменения способствуют и компенсации гемодинамических расстройств в бассейне вертебро-базиллярной артерии [22]. Нарушения опорной реакции, формирующиеся из-за дефектов стопы, компенсируются вовлечением в работу дополнительных групп мышц, прежде всего – мышц голени [19]. В итоге взаимодействия перечисленных факторов, ограничивающих и компенсаторных, достигается полезный результат – формируется новый двигательный стереотип, позволяющий сформировать двигательную адаптацию у спортсменов с ОВЗ и бес-

печить достижение полезного результата – высокой эффективности ударных действий футболистов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные физиологические характеристики нервно-мышечной системы, формирующиеся под действием спортивной деятельности с учетом ограниченных возможностей здоровья, вида спорта и уровня спортивного мастерства, позволяют глубже понять закономерности формирования двигательных навыков у этой группы спортсменов. Результаты таких исследований могут служить основой для физиологического сопровождения тренировочного процесса, для разработки методических рекомендаций по организации отбора на различных этапах спортивного совершенствования, и разработки методов оперативного физиологического и медицинского контроля для спортсменов с ОВЗ.

**Этические нормы.** Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск).

**Информированное согласие.** Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капилевич Л.В. Физиологический контроль технической подготовленности спортсменов // Теория и практика физ. культуры. 2010. № 11. С. 12.
2. Орджоникидзе З.Г., Павлов В.И., Волков Н.И., Дружинин А.Е. Состояние функциональной подготовленности спортсменов из состава ведущих футбольных команд России // Физиология человека. 2007. Т. 33. № 4. С. 114.  
*Ordzhonikidze Z.G., Pavlov V.I., Volkov N.I., Druzhinin A.E.* Functional training status of soccer players from leading russian teams // Human Physiology. 2007. Т. 33. № 4. С. 485.
3. Баланев Д.Ю., Капилевич Л.В., Шилько В.Г. Перспективы применения методов мониторинга двигательной активности человека в спорте // Теория и практика физ. культуры. 2015. № 1. С. 58.
4. Бочаров М.И. Частная биомеханика с физиологией движения. Ухта: УГТУ, 2010. 235 с.
5. Горская И.Ю. Оценка координационной подготовленности в спорте // Теория и практика физ. культуры. 2010. № 7. С. 34.
6. Bangsbo J. Physiology of soccer – with special reference to intense intermittent exercise // Acta Physiol. Scand. 1994. V. 151. 619 p.
7. Нагорнов М.С., Давлетьярова К.В., Ильин А.А., Капилевич Л.В. Физиологические особенности техники удара по мячу у футболистов с нарушениями опорно-двигательного аппарата // Теория и практика физ. культуры. 2015. № 7. С. 8.
8. Дьякова Е.Ю., Капилевич Л.В., Болтаева О.Х. и др. Лечебная физическая культура как форма реализации учебного процесса по физическому воспитанию студентов // Теория и практика физ. культуры. 2010. № 10. С. 62.
9. Капилевич Л.В., Давлетьярова К.В., Нагорнов М.С. и др. Физиолого-биомеханические основы физической реабилитации студентов с заболеваниями опорно-двигательного аппарата средствами игры в футбол // Теория и практика физ. культуры. 2016. № 7. С. 35.
10. Buckley T.A., Oldham J.R., Watson D.J. et al. Repetitive Head Impacts in Football Do Not Impair Dynamic Postural Control // Med. Sci. Sports Exerc. 2019. V. 51. № 1. P. 132.
11. Campolettano E.T., Brolinson G., Rowson S. Postural control and head impact exposure in youth football players: Comparison of the balance error scoring system and a force plate protocol // J. Appl. Biomech. 2018. V. 34. № 2. P. 127.
12. Cè E., Longo S., Paleari E. et al. Evidence of balance training-induced improvement in soccer-specific skills in U11 soccer players // Scand. J. Med. Sci. Sports. 2018. V. 28. № 11. P. 2443.
13. Peterson C.L., Ferrara M.S., Mrazik M. et al. Evaluation of neuropsychological domain scores and postural stability following cerebral concussion in sports // Clin. J. Sport Med. 2003. V. 13. № 4. P. 230.
14. Walsh M., Slattery E., McMath A. et al. Training history constrains postural sway dynamics: A study of balance in collegiate ice hockey players // Gait Posture. 2018. V. 66. P. 278.
15. Завьялов А.И., Завьялов А.А., Завьялов Д.А. Обучение планированию объема физических нагрузок спортивных тренировок // Компьютерные учебные программы и инновации. 2004. № 2. С. 26.
16. Verbecque E., Vereeck L., Hallemans A. Postural sway in children: A literature review // Gait Posture. 2016. V. 49. P. 402.
17. Гаже П.-М., Вебер Б. Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека. СПбМАПО, 2007. 316 с.
18. Храмов П.И., Курганский А.М. Функциональная устойчивость вертикальной позы у детей в зависимости от состояния свода стопы // Вестник Российской академии медицинских наук. 2009. № 5. С. 41.
19. Денискина Н.В., Левик Ю.С., Гурфинкель В.С. Сравнительная роль мышц голенистоногого и тазобедренного суставов в регуляции позы человека во фронтальной плоскости и при стоянии // Физио-

- логия человека. 2001. Т. 27. № 3. С. 66.  
*Deniskina I.V., Levik Yu.S., Gurfinkel' V.S.* Relative Roles of the Ankle and Hip Muscles in Human Postural Control in the Frontal Plane during Standing // *Human Physiology*. 2001. V. 27. № 3. P. 317.
20. *Angyan L., Teczely T., Angyan Z.* Factors affecting postural stability of healthy young adults // *Acta Physiol. Hung.* 2007. V. 94. № 4. P. 289.
21. *Бедров Я.А., Дик О.Е., Авзус Ф., Ноздрачев А.Д.* Анализ двух составляющих траекторий центра масс человека в условиях спокойной стойки // *Физиология человека*. 2006. Т. 32. № 3. С. 40.  
*Bedrov Ya.A., Dik O.E., Nozdrachev A.D., Aviszus F.* Analysis of two components of the human center of mass trajectory in quiet standing // *Human Physiology*. 2006. V. 32. № 3. P. 282.
22. *Быков Е.В., Ерохина С.Н., Пузырева О.Е. др.* Оценка функционального состояния центральной и периферической гемодинамики детей с нарушениями осанки и сколиозом // *Фундаментальные исследования*. 2004. № 4. С. 31.
23. *Rousie D.L., Deroubaix J.P., Joly O. et al.* Abnormal connection between lateral and posterior semicircular canal revealed by a new modeling process: origin and physiological consequences // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2009. V. 1164. P. 455.
24. *Бердичевская Е.М.* Функциональная межполушарная асимметрия и спорт: Функциональная межполушарная асимметрия. Хрестоматия. М.: Научный мир, 2004. С. 636.
25. *Horak F.B.* Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls // *Age Ageing*. 2006. V. 35. Suppl 2. P. ii7.
26. *Боброва Е.В.* Современные представления о корковых механизмах и межполушарной асимметрии контроля позы (обзор литературы по проблеме) // *Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова*. 2008. Т. 58. № 1. С. 12.  
*Vobrova E.V.* [Modern view of cortical control of posture and brain asymmetry: a literature review] // *Zh. Vyssh. Nerv. Deiat. Im. I.P. Pavlova*. 2008. V. 58. № 1. P. 12.
27. *Сак А.Е.* Анатомо-биомеханические основы вертикального положения тела человека и спорт // *Слобожанский научно-спортивный вестник*. 2013. № 4(37). С. 65.

## Physiological Characteristics of Motor Impact Skills in Football Players with Disability

**K. V. Davletyarova<sup>a</sup>, M. S. Nagornov<sup>a</sup>, S. G. Krivoshchekov<sup>c</sup>, A. A. Ilin<sup>d</sup>, L. V. Kapilevich<sup>a, b, \*</sup>**

<sup>a</sup>*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

<sup>b</sup>*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

<sup>c</sup>*Scientific Research Institute of Neurosciences and Medicine, Novosibirsk, Russia*

<sup>d</sup>*Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia*

*\*E-mail: kapil@yandex.ru*

The purpose of this study was to study the physiological characteristics of motor skills of striking actions in football players with disabilities caused by disorders of the musculoskeletal system. The study involved 100 male students aged 18–22, the class of football players corresponded to the level of the university team. Students were divided into a main group ( $n = 50$ ) and a control group ( $n = 50$ ). The main group included football players with disorders of the musculoskeletal system (flat feet of II–III degrees in combination with scoliosis of II–III degrees). The control group included football players without musculoskeletal disorders. The studies were carried out by electromyography, stabilography and MotionTracking. It has been established that two factors can be distinguished for impaired coordination and balance in athletes with disabilities, each of which triggers one or more compensatory mechanisms, on the basis of which a new motor stereotype is formed. The first factor is the curvature of the spine, which mainly leads to a shift in the general center of gravity of the body, to a disorder of the mechanisms for maintaining an upright posture and to a lack of coordination when performing movements. The second factor is a violation of the distribution of pressure along the foot, which distorts the afferentation from the nerve endings of the foot and the perception of support reactions, thereby disrupting the work of the balance maintenance system in an upright posture. To compensate for the described violations and to ensure a full physiological adaptation to the conditions of playing football, the body of athletes involves a number of mechanisms. The curvature of the spine and the resulting discoordination of limb movements is compensated by a decrease in the speed of movements and the amplitude of oscillations of the general center of gravity, due to an increase in the importance of visual control. Violations of the support reaction are compensated by the involvement of additional muscle groups, primarily the lower leg muscles. Based on the above, it can be argued that it is on the basis of the interaction of the identified factors – limiting and compensatory – that a useful result is achieved – a new motor stereotype is formed, which allows to form motor adaptation in athletes with disabilities and ensure the achievement of a useful result – high efficiency of football players' striking actions.

*Keywords:* locomotion, movement regulation, posture maintenance, intermuscular interactions, limitation of mobility of the musculoskeletal system.