

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАК КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ В СПОРТЕ

Д. А. Андреев¹✉, В. В. Кармазин², С. А. Парастаев¹

¹ Кафедра реабилитации, спортивной медицины и физической культуры, педиатрический факультет, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва

² Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации, Федеральное медико-биологическое агентство, Москва

В обзоре проанализированы данные литературных источников по основным физиологическим аспектам системы проприоцепции. Проведена сравнительная характеристика используемого биомеханического оборудования для диагностики эффективности постурального контроля у спортсменов высокого класса. Определены первоочередные задачи биомеханического обследования при нарушении постурального баланса, среди которых приоритет отдается оценке функциональной состоятельности всех типов проприорецепторов и проприоцептивного контроля. Приведены клинико-биомеханические критерии проприоцептивных нарушений у спортсменов, а также разработанный авторами на их основе алгоритм диагностики статодинамических нарушений у спортсменов высокого класса.

Ключевые слова: биомеханика, проприоцепция, постуральный баланс, функциональная асимметрия, стабилметрия, нестабильные платформы, балансометрия, алгоритм обследования, спортсмены высокого класса

✉ Для корреспонденции: Андреев Дмитрий Александрович
ул. Островитянова, д. 1, г. Москва, 117997; drada_rus@mail.ru

Статья получена: 16.11.2017 Статья принята к печати: 05.12.2017

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF POSTURAL CONTROL AS A CONCEPTUAL BASIS FOR OPTIMIZING REHABILITATION AND RECOVERY PROGRAMS IN SPORTS

Andreev DA¹✉, Karmazin VV², Parastaev SA¹

¹ Department of Rehabilitation, Sports Medicine and Physical Education, Faculty of Pediatrics, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

² Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation, Federal Medical-Biological Agency, Moscow, Russia

This literature-based review focuses on the basic physiological aspects of proprioception. Below, we describe and compare a number of biomechanical platforms used to measure postural control in high-class athletes. We define the primary goals of biomechanical assessment of postural problems, paying special attention to the functional performance of proprioceptors and proprioceptive control. We also provide a list of clinical and biomechanical indicators of proprioceptive damage and propose a diagnostic algorithm for assessing static and dynamic impairments in high-class athletes.

Keywords: biomechanics, proprioception, postural balance, functional asymmetry, stabilometry, unstable platforms, balance assessment, diagnostic algorithm, high-class athletes

✉ Correspondence should be addressed: Dmitry Andreev
ul. Ostrovityanova 1, Moscow, Russia, 117997; drada_rus@mail.ru

Received: 16.11.2017 Accepted: 05.12.2017

В данном обзоре приведен критический анализ данных литературных источников о методологии диагностики и мониторинга нарушений постурального контроля у спортсменов высокого класса, а также рассмотрены принципы построения реабилитационных программ на основании оценки состояния проприоцептивной сферы.

Медицинское оборудование, позволяющее диагностировать и корректировать изменения скорости и силы движений, весьма эффективно используется на различных этапах реабилитации в неврологии, травматологии и ортопедии. Однако эти показатели недостаточно отражают специфику адаптационных и компенсаторных процессов в различных видах спорта. Оценка и коррекция системы проприоцепции менее разработаны, пути их реализации

довольно сильно различаются, особенно в определении диагностических подходов и установлении информативных оценочных критериев [1].

Физиологические аспекты системы проприоцепции

Проприоцепцией (глубокой или кинестетической чувствительностью) называют восприятие позы и движений тела в целом и его сегментов в частности. Понимание закономерностей функционирования проприоцептивной сферы, прежде всего, рецепторного звена и механизмов регуляции, позволяет подобрать эффективный диагностический инструментарий как для клинической, так и для спортивной биомеханики.

Выделяют три вида структурно и функционально различающихся проприорецепторов — мышечные веретена, сухожильные и суставные рецепторы [2].

Расположенные параллельно скелетной мышце мышечные веретена, состоящие из нескольких поперечно-полосатых интрафузальных мышечных волокон, крепятся к соединительнотканной оболочке (перимизию) пучка экстрафузальных мышечных волокон, поэтому при расслаблении мышцы рецепторы растягиваются, что ведет к их возбуждению [2, 3].

Заклученные в соединительнотканную капсулу сухожильные рецепторы (тельца Гольджи) последовательно располагаются в сухожилиях скелетных мышц, в связи с чем раздражение рецепторов возникает при натяжении сухожилия.

Импульсы от мышечных веретен поступают к α -мотонейронам спинного мозга и возбуждают их, что ведет к сокращению растянутой мышцы. Как только мышца начинает сокращаться, возбуждение мышечных веретен прекращается или сильно ослабевает; одновременно импульсация сухожильных рецепторов поступает в спинной мозг к тормозным клеткам Реншоу. Возбуждение последних вызывает торможение α -мотонейронов скелетной мышцы, вследствие чего она расслабляется. То есть мышца поочередно сокращается и расслабляется в результате поступления к ее мотонейронам импульсов от собственных рецепторов [2–4].

При сложных двигательных актах, например ходьбе, синхронизированные сокращения мышц-сгибателей одной ноги и разгибателей другой также обеспечиваются поступлением афферентных импульсов от мышечных и сухожильных рецепторов и, соответственно, поочередным возбуждением и торможением центров сгибателей и разгибателей [2]. Особенности данного локомоторного акта можно охарактеризовать биомеханическими методами.

Суставные рецепторы (механорецепторы) расположены в капсуле, хрящах, связочном аппарате суставов и в перикапсулярной соединительной ткани. Они типизируются в зависимости от их реакции на амплитуду, скорость и направление движения в суставе.

Так, окончания и тельца Руффини, локализующиеся как в капсуле сустава, так и в окружающих соединительнотканых образованиях (в том числе расположенных в глубоких слоях дермы и подкожной жировой клетчатки), генерируют информацию о значениях межзвенных суставных углов, то есть о взаимоположении элементов сустава. Импульсация продолжается в течение всего периода сохранения такого угла и определяется его величиной; считается, что данный тип механорецепторов особенно чувствителен при экстремальных диапазонах углов. Тельца Пачини находятся исключительно в капсуле сустава и воспринимают направление и скорость изменения его угла, причем с увеличением скорости возрастает и частота генерируемых импульсов. В данном случае также наиболее полную информацию можно получить средствами клинической биомеханики.

Ощущение движения, как и кожная чувствительность (прикосновение, давление), обусловлено проведением в мозг сигналов от рецепторов по двум основным путям (трактам): лемнисковому и спиноталамическому, — значительно различающимся по своим морфологическим и функциональным свойствам. Существует и третий путь — латеральный тракт Морина, близкий по ряду характеристик к лемнисковому.

Многогранность и важность контроля движений для сохранения устойчивости в вертикальной позе отмечена W. R. Miles еще в 1922 г. [цит. по 5]. В 1924 г. была опубликована фундаментальная работа Рудольфа Магнуса «Установка тела», где голландский ученый развил идеи И. М. Сеченова о собственной чувствительности мышц («темное мышечное чувство») и Чарльза С. Шерингтона (учение о рецептивных полях), а также всесторонне изучил особую группу позных, или установочных, рефлексов (тонические рефлексy Магнуса–Клейна), обеспечивающих функции поддержания позы и равновесия; описал автор и другие рефлексy, необходимые для нормального стояния и ходьбы животных [цит. по 5].

В опубликованной в 1965 г. работе Гурфинкеля и соавт. «Регуляция позы человека» [6] заложены основы инструментальной оценки системы проприоцепции, для чего был предложен такой метод биомеханической диагностики, как стабилметрия. С тех пор в клинической практике активно применяют методы стабилметрической оценки функций двигательной и нервной систем, так как оценка проприоцепции в закрытой кинетической цепи может быть осуществлена исследованием постурального баланса [5]. Именно стратегия удержания баланса тела в вертикальном положении, а также соматосенсорная информация от стопы, находящейся в контакте с поверхностью опоры, являются ведущими проприоцептивными показателями контроля баланса [5, 6].

Биомеханические методы диагностики проприоцептивной сферы

Стабилметрия обеспечивает объективный функциональный мониторинг в процессе реабилитационных мероприятий при нарушениях постурального контроля [1, 5]. Дефицит последнего после травм и при ортопедической патологии обычно связывают с нарушением афферентной информации от связочных и капсульных механорецепторов. Современные стабилметрические комплексы представляют собой комбинированные аппаратно-программируемые системы с возможностью регуляции степени мобильности опорной платформы и наличием акселерометрического датчика. Пример подобного аппаратно-программного комплекса представлен на рис. 1.

Важными диагностическими критериями вертикальной устойчивости являются площадь статокнезиограммы и скорость общего центра давления (ОЦД), а также коэффициент Ромберга (отношение площадей статокнезиограммы при закрытых и открытых глазах). Данный



Рис. 1. Стабилметрический комплекс [7]

коэффициент характеризует функциональную готовность периферического и вестибулярного звеньев системы проприоцепции к сохранению вертикальной устойчивости при выключении третьего уровня пострального контроля — зрительного анализатора.

По нашему мнению, в настоящее время общепринятые методики и принципы стабилметрической диагностики в спортивной медицине не используют весь потенциал оценки пострального стереотипа, однако именно стабилметрия является основным диагностическим инструментом функциональных постральных асимметрий у спортсменов. Многие авторы считают, что большинство видов спорта предъявляют специфические требования к симметричности или, наоборот, асимметричности опорно-двигательного аппарата, органов чувств и способствуют их развитию [8, 9]. Оптимальность выполнения специальных двигательных навыков спортсменом определяется морфогенетическими особенностями организма и зависит от наличия необходимого уровня асимметрии при выполнении движения, т. е. успешность в конкретном виде спорта сопутствует определенному типу сенсомоторного профиля.

Особую значимость имеет связь асимметрии мозга с организацией вертикальной позы. Ее длительная поддержка возможна при уравнивании статических моментов сил всех звеньев тела, что, в свою очередь, обеспечивается адекватным состоянием всех уровней проприоцептивного контроля.

Необходимо упомянуть, что такие стабилметрические показатели функциональной постральной асимметрии, как среднее положение и среднеквадратическое отклонение ОЦД во фронтальной плоскости, являются маркерами специальных двигательных навыков, характерных для того или иного вида спорта, и актуальны для оценки техники выполнения специфических локомоций [9].

В то же время положение и показатели площади и скорости ОЦД рассматриваются как функциональные маркеры статического положения, что позволяет оценивать различные влияния специальной физической нагрузки на все звенья опорно-двигательного аппарата. При этом стабилграмма — это интегральный и комплексный метод оценки функционального состояния системы регуляции

движений. Неотъемлемой частью оценки пострального контроля в спорте является также клиническая оценка состояния мышц, участвующих в удержании специфичной для конкретного вида спорта («рабочей») вертикальной позы.

Таким образом, способность стабилизировать равновесие в статике (стоя, сидя) и в динамике (ходьба) — это важнейший аспект двигательной сферы в спортивной медицине, и ее оптимальная оценка позволяет выявить различные нарушения проприоцепции. Кроме того, рациональная интерпретация стабилметрических показателей и их сопоставление с данными клинического тестирования мышц, участвующих в удержании вертикальной позы, помогают повысить эффективность восстановительных мероприятий у спортсменов с травмами и заболеваниями опорно-двигательного аппарата [10, 11]. Пример стабилграммы с выраженной асимметричной стойкой у спортсмена представлен на рис. 2.

Однако классическая стабилметрия имеет свои ограничения в оценке проприоцептивной системы, которая работает по принципу биологической обратной связи, реагируя на внешние раздражители изменением стратегии регуляции позы. Наиболее быстро отвечающее на внешнее раздражение звено — периферический анализатор; в регуляции вертикальной устойчивости им является прежде всего голеностопный сустав, а также стопы. Если опорная поверхность неподвижна, то невозможно в полной мере оценить функцию периферического анализатора при сложных постральных реакциях, характерных для спорта высоких достижений. Эта проблема освещена американским травматологом Фрименом в 60-е гг. прошлого столетия: после травм нижних конечностей реабилитация на нестабильных платформах восстанавливала оптимальное состояние периферического анализатора системы проприоцепции за счет активации рецепторов стопы и голеностопного сустава [цит. по 10].

В настоящее время принцип нестабильности опоры широко используется при проведении реабилитационных мероприятий у пациентов с последствиями травматической болезни спинного мозга, осложнениями остеохондроза позвоночника, после оперативного лечения

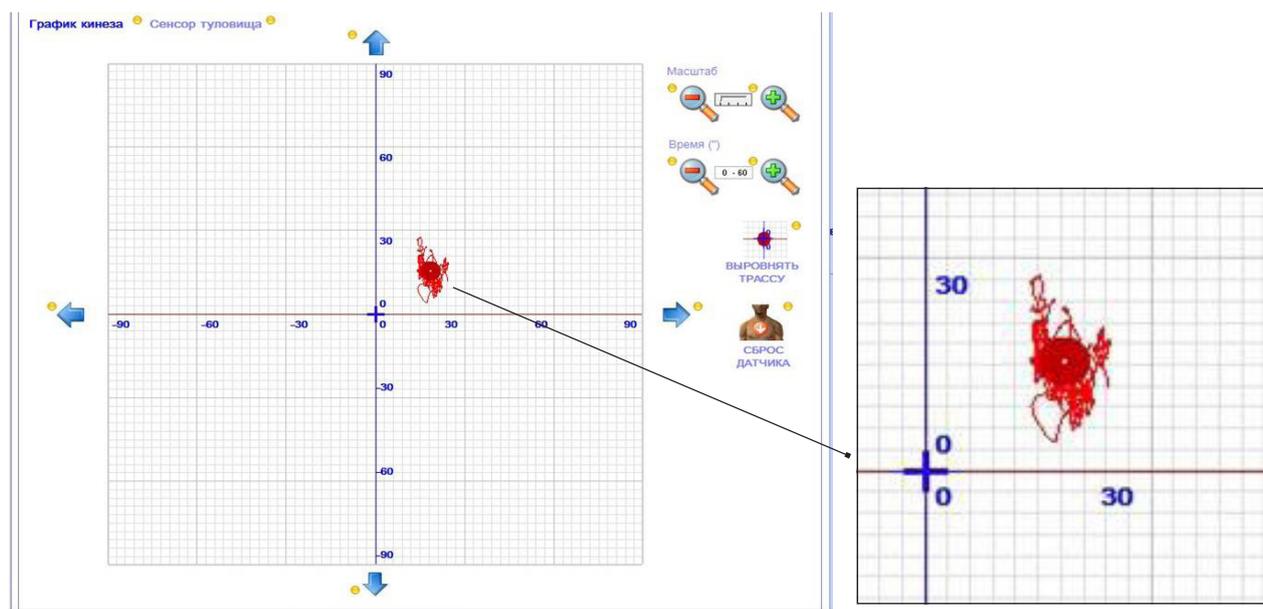


Рис. 2. Стабилграмма спортсмена с выраженным смещением ОЦД в сторону ведущей руки и ноги. Отмечено значительное увеличение площади и скорости ОЦД на фоне клинических признаков мышечного перенапряжения правой нижней конечности

ортопедической патологии тазобедренных, коленных и голеностопных суставов [10–12]. Внедряются методики, стимулирующие активность аутохтонных мышц, обеспечивающих постуральный баланс. Данные методики реализуются тренажерами — сферическими жесткими и полужесткими платформами с различными степенями свободы угловых смещений [12, 13].

Однако использование механических тренажеров не подразумевает первичной оценки постурального контроля на нестабильной поверхности. Для проведения диагностических манипуляций на нестабильных опорах необходимо наличие встроенных в платформы датчиков, отображающих опорные реакции спортсмена во время тестирования. Подобные аппаратные комплексы оснащены на сегодняшний день как классическими стабилметрическими платформами, так и баланс-комплексами с использованием комбинированного акселерометро-гироскопического сенсорного датчика, позволяющего оценить линейные скорости, а также скоростно-угловые характеристики в системе координат. Именно с помощью балансометрии можно максимально точно оценить функциональную активность суставных механорецепторов при перемещении сустава в пространстве (тельца Руффини) и скоростные параметры изменения суставного угла (тельца Пачини). Особенностью и преимуществом балансометрического комплекса с использованием акселерометра и гироскопа является способность регистрировать минимальные угловые смещения ОЦД, что увеличивает эффективность как диагностики системы проприоцепции, так и ее стимуляции во время занятий с использованием биологической обратной связи [14, 15].

Балансометрические комплексы обладают высокой диагностической значимостью в оценке постурального контроля спортсменов, а также предоставляют возможность целенаправленной коррекции постуральных нарушений в биоуправлении проприоцептивными, слуховыми и зрительными стимулами. В отличие от классических стабилметрических комплексов [16] нестабильные акселерометрические баланс-платформы при коррекции проприоцептивных нарушений имеют активационную функцию: они не предполагают фиксации пациента в пространстве, он должен самостоятельно поддерживать положение тела, что обеспечивается, прежде всего, мышцами, стабилизирующими постуральный баланс, — аутохтонными, ягодичными и Hamstring-группы (мышцами задней поверхности бедра) [11, 16]. Программное обеспечение фиксирует параметры смещения тела во время диагностических и лечебных процедур, что позволяет проводить как первичную верификацию постурального контроля, так и мониторинг показателей во время проведения курса восстановительного лечения [11, 17]. Кроме того, сами автоматизированные платформы снабжены механическими и программными возможностями варьирования векторных направлений тренировок, что позволяет врачу-реабилитологу дифференцировать занятия в зависимости от степени тяжести основного заболевания, выраженности компенсаторных проявлений со стороны центральной и периферической нервной системы, опорно-двигательного аппарата, а также возможного наличия сопутствующей патологии этих функциональных систем. На рис. 3 представлен один из образцов мобильной беспроводной балансометрической платформы.

Описанный принцип интегральной оценки системы проприоцепции на нестабильных опорных платформах реализован в различных аппаратно-программных ком-

плексах биомеханической диагностики и коррекции. Фундаментальные исследования, проведенные G. Fellicetti, A. Srivastava, A. B. Taly, A. Gupta, доказали высокую эффективность этого оборудования при проприоцептивных нарушениях [цит. по 19].

Одним из самых перспективных методов в оценке постурального контроля у спортсменов является бароподометрия, которая, в отличие от стабилметрии, предполагает использование большого количества тензодатчиков (до нескольких десятков тысяч). Это позволяет оценить весь спектр смещений давления под стопами, включая как основные показатели постуральной диагностики (площадь и скорость ОЦД), так и динамические изменения степени давления во время стояния, ходьбы, бега и специальных динамических тестов [20].

В бароподометрических комплексах используются датчики двух типов: емкостные и резистивные. Принцип их работы основан на изменении электрического сигнала или сопротивления среды между двумя пластинами. Датчики емкостного типа, являясь более точными, тем не менее требуют более сложной калибровки, поэтому используются лишь в специальных исследовательских лабораториях. Для клинической практики более применимы платформы с датчиками резистивного типа [21].

Технология бароподометрии на данный момент стремительно развивается. Успешно преодолеваются различные недостатки ранних версий датчиков: повышенная чувствительность, термочувствительность, нестабильность в работе, недостаточная прочность. В настоящее время бароподометрические платформы представлены множеством вариаций — компактные платформы для оценки в положении стоя, дорожки для анализа походки, тредмилы, сенсорные стельки в обувь и др. Бароподометрия используется также для оценки статодинамической функции стоп, анализа походки. Неоценима роль данного исследования в диагностике функциональных проявлений плоскостопия, мониторинге в процессе реабилитационных мероприятий



Рис. 3. Балансометрическая платформа [18]

при различных неврологических и ортопедических заболеваниях стоп. Подобные платформы входят в состав сложных аппаратных комплексов анализа движений и систем для изготовления стелечных ортезов [20, 21].

Кроме этого, активно внедряются методики оценки состояния позвоночника и аутохтонных мышц спины — оптическая топография и аппаратно-программный комплекс для обследования антигравитационных мышц туловища с регулируемым изменением угла наклона пациента [22].

Необходимо отметить, что диагностика динамических проприоцептивных нарушений у спортсменов более оптимальна при использовании биомеханических комплексов, обеспечивающих синхронизацию различных способов регистрации показателей локомоций (видеоанализа, миографии), применение инерциальных систем на основе гироскопов и акселерометров. Самыми перспективными, с позиций комплексного биомеханического обследования спортсменов в целом и системы проприоцепции в частности, на наш взгляд, являются беспроводные инерциальные системы.

При первичной и динамической оценке качества постурального контроля нельзя забывать также о необходимости локальной диагностики функционального состояния мышц связок и суставов. Для этого целесообразно применение электромиографии и термографии [23].

Принципы методологии биомеханического обследования системы проприоцепции у спортсменов

Приведенный выше спектр диагностического оборудования позволяет оптимально и комплексно оценить постуральный стереотип спортсмена, выявить симптомы нарушений проприоцепции, инструментально подтвердить данные клинического осмотра, а также проводить мониторинг динамики показателей проприоцептивной сферы в процессе реабилитационных мероприятий [24].

Однако, на основании нашего опыта и по данным мировых источников, наиболее важна роль указанного биомеханического оборудования в построении реабилитационных программ [25].

Знание статодинамических особенностей в различных видах спорта, предпочтения наиболее используемой руки или ноги в конкретном виде спорта, физиологические аспекты опорной и доминирующей в движении нижней конечности позволяют правильно интерпретировать данные клинического и биомеханического обследований спортсмена [26].

Основными принципами диагностики постурального контроля у спортсменов являются:

- характеристика степени выраженности асимметричных влияний спортивной деятельности;
- анализ показателей стабильности баланса вертикальной устойчивости в целом, стоя на одной ноге, при двигательном координационном тесте;
- выявление первичного звена в патогенезе проприоцептивных нарушений.

Постуральная асимметрия является необходимым компонентом комплексной оценки постурального стереотипа спортсмена. Признаки морфологических и функциональных асимметрий свойственны основным афферентным элементам, центральному и эфферентному отделам контроля позы. Выявление степени асимметрии у спортсменов тесно связано с онтогенетическими особенностями и доминированием «рабочей» руки/ноги в конкретном виде спорта [27–33].

Кроме этого, необходимо оценить стабильность показателей постурального стереотипа (контроля) как в основной стойке, так и в пробе, стоя на одной ноге [28–30]. Так, группа ученых [28] провела сравнительное клинко-биомеханическое исследование выполнения координационного теста «Звезда» у представителей игровых видов спорта и людей, не занимающихся спортом. Сутью данного теста является клиническая оценка баланса испытуемого в вертикальном положении во время стояния на одной ноге и дотягивания другой ногой до зон, расположенных по периметру окружности. Данные постуральной биомеханической диагностики, включающей в себя стабилometriю и бароподometriю, показали статистически значимое смещение ОЦД в основной стойке в сторону доминирующей нижней конечности, а также лучшие показатели стабильности баланса, стоя на доминирующей ноге (правой у правой и левой у левой), у профессиональных спортсменов [28]. Полученные результаты свидетельствуют о наличии «рабочей» асимметрии, а также о тенденции смещения ОЦД в сторону доминирующей нижней конечности под влиянием функциональной предпочтения руки и/или ноги, характерных для конкретного вида спорта [34–36].

Данные изменения можно считать проявлением адаптивных реорганизаций постурального контроля. При значительных физических перегрузках, после травм, смене условий реализации спортивной деятельности (обуви, покрытия, позиции на игровом поле) возможен срыв адаптационных процессов регуляции позы, который может привести к дезадаптации межмышечных взаимодействий, а затем, при отсутствии корректирующих мероприятий, к

Алгоритм биомеханического обследования

Этап обследования	Метод диагностики
Первичное постуральное обследование	<ul style="list-style-type: none"> • Классическая стабилметрия • Компьютерная оптическая топография • Стандартная бароподметрия
Выявление общих проприоцептивных нарушений баланса в вертикальном положении	<ul style="list-style-type: none"> • Стабилметрия (тест Ромберга) • Бароподметрия (тест на одной ноге)
Выявление статодинамических нарушений проприоцепции	<ul style="list-style-type: none"> • Балансометрия (моноосевой и многоосевой тесты) • Бароподметрия (динамические тесты во фронтальном и сагиттальном направлениях) • Анализ движений и походки с использованием видеорегистратора, инерциальных беспроводных датчиков, тредмила с встроенной бароплатформой • Обследование функционального состояния антигравитационных мышц туловища с изменением регуляции угла наклона пациента
Выявление функциональных локальных изменений мышц, связок и суставов	<ul style="list-style-type: none"> • Электромиография • Термография

формированию компенсаторных изменений, которые являются дополнительным фактором риска развития хронических заболеваний опорно-двигательного аппарата у спортсменов [37–39].

Клинико-биомеханическими критериями дезадаптации являются:

1. болевой синдром в перегружаемой области;
2. смещение ОЦД в сторону перегружаемой области;
3. функциональная недостаточность мышц, отвечающих за стабильность суставов перегружаемой области;
4. формирование вторичных изменений в компенсаторно измененных областях.

На основании многолетнего опыта проведения клинико-биомеханических исследований у спортсменов нами был разработан следующий алгоритм биомеханического обследования (таблица).

На основании полученных результатов определяются основные задачи, структура, очередность реабилитацион-

ных мероприятий у спортсменов с различными нарушениями системы проприоцепции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный выше подход, на наш взгляд, является наиболее актуальным, так как в нем объективно учитывается взаимосвязь физиологических возможностей функциональных систем с адаптационными и компенсаторными процессами, сопровождающими тренировочную деятельность, специфичную для отдельно взятой патологии нервной системы и опорно-двигательного аппарата. Необходимо также подчеркнуть, что только комплексная биомеханическая диагностика позволяет получать значимые данные, которые, в свою очередь, могут помочь правильно оценить степень функциональной подготовленности спортсмена и выбрать наиболее оптимальный путь ее стабилизации и повышения.

Литература

1. Скворцов Д. В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. М.: Науч.-мед. фирма МБН; 2007. 617 с.
2. Солодков А. С., Сологуб Е. Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная. М.: Терра-Спорт, Олимпия Пресс; 2001. с. 75–95.
3. Смирнов В. М., редактор. Физиология человека. М.: Медицина; 2002. с. 94–113.
4. Покровский В. М., Коротко Г. Ф., редакторы. Физиология человека. Т. 1. М.: Медицина; 1997. с. 193–205.
5. Скворцов Д. В. Клинический анализ движений. Стабилметрия. М.: МБН; 2000. 189 с.
6. Гурфинкель В. С., Коц Я. М., Шик М. Л. Регуляция позы человека. М.: Наука; 1965. 256 с.
7. TecnoBody srl [Интернет]. Bergamo, Italy; c2016 [дата обращения: 3 ноября 2017 г.]. ProKin 252 N; [примерно 9 стр.]. Доступно по: <http://www.tecnobody.it/ENG/default.aspx?PAG=2&MOD=PRD&f=6&p=55>
8. Бердичевская Е. М. Роль функциональной асимметрии мозга в возрастной динамике двигательной деятельности человека [автореф. диссертации]. Краснодар: Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма; 1999. 46 с.
9. Shumway-Cook A, Horak FB. Assessing the influence of sensory interaction of balance. Suggestion from the field. *Phys Ther.* 1986 Oct; 66 (10): 1548–50.
10. Lephart SM, Fu FH, editors. Proprioception and neuromuscular control in joint stability. Champaign, IL: Human Kinetics; 2000. 464 p.
11. Grigg P. Peripheral neural mechanisms in proprioception. *J Sport Rehab.* 1994 Feb; 3 (1): 2–17.
12. Bouisset S, Duchêne JL. Is body balance more perturbed by respiration in sitting than in standing posture? *Neuroreport.* 1994 Apr 14; 5 (8): 957–60.
13. Коновалова Н. Г., Леонтьев М. А., Деева И. В. Формирование двигательных функций у инвалидов с тетрапарезом с использованием физкультуры на фитболе. *Адаптивн. физ. культ.* 2009; 2 (38): 20–2.
14. Cornwall MW, Murrell P. Postural sway following inversion sprain of the ankle. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1991 May; 81 (5): 243–7.
15. Barrack RL, Skinner HB, Buckley SL. Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. *Am J Sports Med.* 1989 Jan–Feb; 17 (1): 1–6.
16. Barrack RL, Skinner HB, Brunet ME, Cook SD. Joint laxity and proprioception in the knee. *Phys Sportsmed.* 1983 Jun; 11 (6): 130–5.
17. Tyldesing B, Greve JI. *Muscles, Nerves and Movement: Kinesiology in Daily Living.* Boston: Blackwell Scientific Publications; 1989. p. 268–84.
18. MARKMED Motor Rehabilitation Marek Wiecheć [Интернет]. c2016 [дата обращения: 3 ноября 2017 г.]. SIGMA Balance Diagnostics. Diagnostics and therapy of balance and proprioception; [1 веб-стр.]. Доступно по: http://www.markmed.pl/en/sigma_balance_diagnostics/.
19. Giacomozzi C. Appropriateness of plantar pressure measurement devices: a comparative technical assessment. *Gait posture.* 2010 May; 32 (1): 141–4.
20. Lorkowski J, Zarzycki D. [Clinical use of pedobarographic examination — own experience and review of literature]. *Przeegl Lek.* 2006; 63 (Suppl 5): 28–32. Polish.
21. Rubira APFA, Martins MSE, Denti CBS, Gerlin NG, Tomaz C, Rubira MC. Efficiency of stabilometry and static baropodometry in the assessment of balance in patients with vestibular disorders. *Neurobiologia.* 2010; 3 (2): 57–64.
22. BenEliyahu DJ. Infrared thermography and the sports injury practice. *Dyn Chiropract.* 1992 Mar 27; 10 (7): 27–8.
23. Mbongo F, Patko T, Vidal PP, Vibert N, Tran Ba Huy P, de Waele C. Postural control in patients with unilateral vestibular lesions is more impaired in the roll than in the pitch plane: a static and dynamic posturography study. *Audiol Neurootol.* 2005 Sep–Oct; 10 (5): 291–302.
24. Yasuda T, Nakagawa T, Inoue H, Iwamoto M, Inokuchi A. The role of the labyrinth, proprioception and plantar mechanosensors in the maintenance of an upright posture. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 1999; 256 (Suppl 1): S27–32.
25. Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol.* 2002 Sep; 88 (3): 1097–118.
26. Srivastava A, Taly AB, Gupta A, Kumar S, Murali T. Post-stroke balance training: role of force platform with visual feedback technique. *J Neurol Sci.* 2009 Dec 15; 287 (1–2): 89–93.
27. Zelaschi F, Felicetti G, Di Patrizi S. Motor rehabilitation: evolution of functional markers in trained hemiparetic patients and effectiveness of synchronous techniques. *Funct Neurol.* 1995 Jul–Oct; 10 (4–5): 203–7.
28. Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *J Athl Train.* 2012 May–Jun; 47 (3): 339–57.
29. Kiers H, van Dieën J, Dekkers H, Wittink H, Vanhees L. A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. *Sports Med.* 2013 Nov; 43 (11): 1171–89.
30. Hrysomallis C. Balance ability and athletic performance. *Sports Med.* 2011 Mar 1; 41 (3): 221–32.

31. Chow GCC, Fong SSM, Chung JWY, Chung LMY, Ma AWW, Macfarlane DJ. Determinants of sport-specific postural control strategy and balance performance of amateur rugby players. *J Sci Med Sport*. 2016 Nov; 19 (11): 946–50.
32. Fong SSM, Tsang WWN, Ng GYF. Lower limb joint sense, muscle strength and postural stability in adolescent Taekwondo practitioners. *Int Sport Med J*. 2013; 14 (2): 44–52.
33. Ricotti L. Static and dynamic balance in young athletes. *J Hum Sport Exerc*. 2011; 6 (4): 616–28.
34. Gosselin G, Fagan MJ. The effects of cervical muscle fatigue on balance — a study with elite amateur rugby league players. *J Sports Sci Med*. 2014 May 1; 13 (2): 329–37.
35. Brault S, Bideau B, Craig C, Kulpa R. Balancing deceit and disguise: how to successfully fool the defender in a 1 vs. 1 situation in rugby. *Hum Mov Sci*. 2010 Jun; 29 (3): 412–25.
36. Wallmann HW. Comparison of elderly nonfallers and fallers on performance measures of functional reach, sensory organization, and limits of stability. *J Gerontol a Biol Sci Med Sci*. 2001 Sep; 56 (9): M580–3.
37. Hammami R, Behm DG, Chtara M, Ben Othman A, Chaouachi A. Comparison of static balance and the role of vision in elite athletes. *J Hum Kinet*. 2014 Jul 8; 41: 33–41.
38. Balter SGT, Stokroos RJ, Akkermans E, Kingma H. Habituation to galvanic vestibular stimulation for analysis of postural control abilities in gymnasts. *Neurosci Lett*. 2004 Aug 5; 366 (1): 71–5.
39. Peterson CL, Ferrara MS, Mrazik M, Piland S, Elliott R. Evaluation of neuropsychological domain scores and postural stability following cerebral concussion in sports. *Clin J Sport Med*. 2003 Jul; 13 (4): 230–7.

References

1. Skvortsov DV. Diagnostika dvigatel'noy patologii instrumental'nymi metodami: analiz pokhodki, stabilometriya. Moscow: Nauchnaya meditsinskaya firma MBN; 2007. 617 p. Russian.
2. Solodkov AS, Sologub EB. Fiziologiya cheloveka. Obshchaya. Sportivnaya. Vozrastnaya. Moscow: Terra-Sport, Olimpiya Press; 2001. p. 75–95. Russian.
3. Smirnov VM, editor. Fiziologiya cheloveka. Moscow: Meditsina; 2002. p. 94–113. Russian.
4. Pokrovskiy VM, Korot'ko GF, editors. Fiziologiya cheloveka. Vol. 1. Moscow: Meditsina; 1997. p. 193–205. Russian.
5. Skvortsov DV. Klinicheskiy analiz dvizheniy. Stabilometriya. Moscow: MBN; 2000. 189 p. Russian.
6. Gurfinkel' VS, Kots YaM, Shik ML. Regulyatsiya pozy cheloveka. Moscow: Nauka; 1965. 256 p. Russian.
7. TecnoBody srl [Internet]. Bergamo, Italy; c2016 [cited 2017 Nov 3]. ProKin 252 N; [about 9 p.]. Available from: <http://www.tecnobody.it/ENG/default.aspx?PAG=2&MOD=PRD&f=6&p=55>
8. Berdichevskaya EM. Rol' funktsional'noy asimmetrii mozga v vozrastnoy dinamike dvigatel'noy deyatel'nosti cheloveka [abstract of the dissertation]. Krasnodar: Kuban State University of Education, Sport and Tourism; 1999. 46 p. Russian.
9. Shumway-Cook A, Horak FB. Assessing the influence of sensory interaction of balance. Suggestion from the field. *Phys Ther*. 1986 Oct; 66 (10): 1548–50.
10. Lephart SM, Fu FH, editors. Proprioception and neuromuscular control in joint stability. Champaign, IL: Human Kinetics; 2000. 464 p.
11. Grigg P. Peripheral neural mechanisms in proprioception. *J Sport Rehab*. 1994 Feb; 3 (1): 2–17.
12. Bouisset S, Duchêne JL. Is body balance more perturbed by respiration in seating than in standing posture? *Neuroreport*. 1994 Apr 14; 5 (8): 957–60.
13. Konovalova NG, Leontyev MA, Deyeva IV. [Development of motor functions in physically challenged persons with tetraparesis by means of fitball training sessions]. *Adaptivnaya fizicheskaya kul'tura*. 2009; 2 (38): 20–2. Russian.
14. Cornwall MW, Murrell P. Postural sway following inversion sprain of the ankle. *J Am Podiatr Med Assoc*. 1991 May; 81 (5): 243–7.
15. Barrack RL, Skinner HB, Buckley SL. Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. *Am J Sports Med*. 1989 Jan–Feb; 17 (1): 1–6.
16. Barrack RL, Skinner HB, Brunet ME, Cook SD. Joint laxity and proprioception in the knee. *Phys Sportsmed*. 1983 Jun; 11 (6): 130–5.
17. Tyldesling B, Greve JI. Muscles, Nerves and Movement: Kinesiology in Daily Living. Boston: Blackwell Scientific Publications; 1989. p. 268–84.
18. MARKMED Motor Rehabilitation Marek Wiecheć [Internet]. c2016 [cited 2017 Nov 3]. SIGMA Balance Diagnostics. Diagnostics and therapy of balance and proprioception; [1 screen]. Available from: http://www.markmed.pl/en/sigma_balance_diagnostics/.
19. Giacomozzi C. Appropriateness of plantar pressure measurement devices: a comparative technical assessment. *Gait posture*. 2010 May; 32 (1): 141–4.
20. Lorkowski J, Zarzycki D. [Clinical use of pedobarographic examination — own experience and review of literature]. *Przeg Lek*. 2006; 63 (Suppl 5): 28–32. Polish.
21. Rubira APFA, Martins MSE, Denti CBS, Gerlin NG, Tomaz C, Rubira MC. Efficiency of stabilometry and static baropodometry in the assessment of balance in patients with vestibular disorders. *Neurobiologia*. 2010; 3 (2): 57–64.
22. BenEliyahu DJ. Infrared thermography and the sports injury practice. *Dyn Chiropract*. 1992 Mar 27; 10 (7): 27–8.
23. Mbongo F, Patko T, Vidal PP, Vibert N, Tran Ba Huy P, de Waele C. Postural control in patients with unilateral vestibular lesions is more impaired in the roll than in the pitch plane: a static and dynamic posturography study. *Audiol Neurootol*. 2005 Sep–Oct; 10 (5): 291–302.
24. Yasuda T, Nakagawa T, Inoue H, Iwamoto M, Inokuchi A. The role of the labyrinth, proprioception and plantar mechanosensors in the maintenance of an upright posture. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 1999; 256 (Suppl 1): S27–32.
25. Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol*. 2002 Sep; 88 (3): 1097–118.
26. Srivastava A, Taly AB, Gupta A, Kumar S, Murali T. Post-stroke balance training: role of force platform with visual feedback technique. *J Neurol Sci*. 2009 Dec 15; 287 (1–2): 89–93.
27. Zelaschi F, Felicetti G, Di Patrizi S. Motor rehabilitation: evolution of functional markers in trained hemiparetic patients and effectiveness of synchronous techniques. *Funct Neurol*. 1995 Jul–Oct; 10 (4–5): 203–7.
28. Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *J Athl Train*. 2012 May–Jun; 47 (3): 339–57.
29. Kiers H, van Dieën J, Dekkers H, Wittink H, Vanhees L. A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. *Sports Med*. 2013 Nov; 43 (11): 1171–89.
30. Hrysomallis C. Balance ability and athletic performance. *Sports Med*. 2011 Mar 1; 41 (3): 221–32.
31. Chow GCC, Fong SSM, Chung JWY, Chung LMY, Ma AWW, Macfarlane DJ. Determinants of sport-specific postural control strategy and balance performance of amateur rugby players. *J Sci Med Sport*. 2016 Nov; 19 (11): 946–50.
32. Fong SSM, Tsang WWN, Ng GYF. Lower limb joint sense, muscle strength and postural stability in adolescent Taekwondo practitioners. *Int Sport Med J*. 2013; 14 (2): 44–52.
33. Ricotti L. Static and dynamic balance in young athletes. *J Hum Sport Exerc*. 2011; 6 (4): 616–28.
34. Gosselin G, Fagan MJ. The effects of cervical muscle fatigue on balance — a study with elite amateur rugby league players. *J Sports Sci Med*. 2014 May 1; 13 (2): 329–37.
35. Brault S, Bideau B, Craig C, Kulpa R. Balancing deceit and disguise: how to successfully fool the defender in a 1 vs. 1 situation in rugby. *Hum Mov Sci*. 2010 Jun; 29 (3): 412–25.

36. Wallmann HW. Comparison of elderly nonfallers and fallers on performance measures of functional reach, sensory organization, and limits of stability. *J Gerontol a Biol Sci Med Sci*. 2001 Sep; 56 (9): M580–3.
37. Hammami R, Behm DG, Chtara M, Ben Othman A, Chaouachi A. Comparison of static balance and the role of vision in elite athletes. *J Hum Kinet*. 2014 Jul 8; 41: 33–41.
38. Balter SGT, Stokroos RJ, Akkermans E, Kingma H. Habituation to galvanic vestibular stimulation for analysis of postural control abilities in gymnasts. *Neurosci Lett*. 2004 Aug 5; 366 (1): 71–5.
39. Peterson CL, Ferrara MS, Mrazik M, Piland S, Elliott R. Evaluation of neuropsychological domain scores and postural stability following cerebral concussion in sports. *Clin J Sport Med*. 2003 Jul; 13 (4): 230–7.