

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ В ИЗУЧЕНИИ СИСТЕМЫ ПРОПРИОРЕЦЕПЦИИ В СПОРТЕ ВЫСОКИХ ДОСТИЖЕНИЙ

УДК 612.76

²Андреев Д.А.: врач-кардиолог, к.м.н.;³Борисова Н.В.: директор направления восстановительной и спортивной медицины;³Кармазин В.В.: врач по спортивной медицине, к.м.н.;¹Поляев Б.А.: заведующий кафедрой реабилитации и спортивной медицины, д.м.н., профессор;¹Поляев Б.Б.: ординатор кафедры реабилитации и спортивной медицины;¹Парастаев С.А.: профессор кафедры реабилитации и спортивной медицины, д.м.н.;¹Фещенко В.С.: аспирант кафедры реабилитации и спортивной медицины.¹ГБОУ ВПО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, г. Москва, Россия²ФГБУ «Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна», г. Москва, Россия³ООО «Мосстоматрентген», г. Москва, Россия

MAIN DIRECTIONS IN THE STUDY OF THE BIOMECHANICAL EXAMINATION OF PROPRIOCEPTIVE SYSTEM IN THE SPORT OF HIGH ACHIEVEMENTS

Andreev D.A., Borisova N.V., Karmazin V.V., Polyayev B.A., Polyayev B.B., Parastaev S.A., Feshchenko V.S.

Введение

В современной спортивной медицине оценка двигательной сферы становится всё более актуальной. Этому способствует появление и активное внедрение в практику новых диагностических и реабилитационных технологий. Разрабатываются новые подходы к изучению функции движения спортсменов, что увеличивает требования к результативности биомеханического тестирования спортсменов [1].

Несмотря на появление и развитие новых биомеханических методик, таких как видеоанализ движений и беспроводная миография, оценка системы проприоцепции не получила должного распространения в спортивной медицине, а её значение в формировании оптимального двигательного стереотипа, свойственного конкретным видам спортивной деятельности, несоизмеримо выше, чем у скоростно-силовых качеств. Мало того, именно от состояния системы проприоцепции во многом зависят скоростно-силовые показатели мышц, ответственных за выполнение специальных двигательных навыков [2].

Проприоцепцией (а также глубокой, или кинестетической, чувствительностью) называется восприятие позы и движений нашего собственного тела в целом и его сегментов в частности. Соответственно расположению, различают три вида проприорецепторов – мышечные веретена, сухожильные органы Гольджи и рецепторы суставов

Чувствительность кожи и ощущение движения обусловлены проведением в мозг сигналов от рецепторов по двум основным путям (трактам): лемнисковому и спинно-таламическому, значительно различающимся по своим морфологическим и функциональным свойствам. Существует и третий путь – латеральный тракт Морина, близкий по ряду характеристик к лемнисковой системе [3].

Так, ещё в 1922 году Miles W.R. отмечал многогран-

ность и важность контроля движений для сохранения устойчивости в вертикальной позе [4]. В 1924 году была опубликована фундаментальная работа Рудольфа Магнуса «Установка тела», где этот голландский ученый развил идеи Сеченова о собственной чувствительности мышц («тёмное мышечное чувство») и Шерингтона (учение о рецептивных полях) и всесторонне изучил особую группу позных, или установочных, рефлексов (тонические рефлекссы Магнуса-Клейна), обеспечивающих функции поддержания позы тела и равновесия; описал несколько рефлекссов выпрямления и другие рефлекссы, обеспечивающие нормальное стояние и ходьбу животных [5].

Одним из главных методов оценки проприоцепции является стабилметрия, значение которой подчеркнули в своей работе «Регуляция позы человека» В.С., Коц Я.М., Шик М.Л. М. в 1965 году [6]. С тех пор в клинической и профилактической медицине активно применяются методы стабилметрической оценки функции двигательной и нервной систем, так как оценка проприоцепции в состоянии закрытой кинетической цепи может быть осуществлена посредством исследования постурального баланса [7,8] Соматосенсорная информация от стопы, находящейся в контакте с поверхностью опоры, а также стратегия удержания баланса тела в вертикальной стойке являются предпочтительными проприоцептивными показателями контроля баланса спортсмена.

Таким образом, данные стабилметрии объективно демонстрируют важность постуральной диагностики для функционального контроля в процессе спортивной активности [7, 8]. Так, дефицит постурального контроля после травм, ортопедической патологии большинство исследователей связывают с нарушением афферентной информации от связочных и капсульных механорецепторов. Важными диагностическими критериями оценки вертикальной устойчивости являются не только

площадь и скорость общего центра давления (ОЦД), значение которых очень велико, но и другие, в частности, коэффициент Ромберга – отношение площади статокнезиограммы в положении с закрытыми глазами к таковой в положении с открытыми глазами [9]. Данный показатель отражает функциональную готовность периферического и вестибулярного звеньев системы проприоцепции к поддержанию вертикальной устойчивости при выключении третьего уровня проприоцептивного контроля – зрительного анализатора. В спортивной медицине данный аспект является превалирующим в оценке постуральной устойчивости, так как отражает степень автоматизма выполнения специального двигательного навыка, характерного для определенного вида спорта. Следовательно, чем ниже влияние зрительного анализатора на постуральную устойчивость, тем выше способность спортсмена координировать свои движения и совершенствовать своё спортивное мастерство.

Кроме того, именно стабилметрия является основным диагностическим инструментом в диагностике функциональных постуральных асимметрий у спортсменов. Многие авторы считают, что большинство видов спорта предъявляют специфические требования к симметричности или, наоборот, асимметричности развития опорно-двигательного аппарата, органов чувств и способствуют их развитию [10]. Оптимальность выполнения спортсменом специальных двигательных навыков определяется морфогенетическими особенностями организма и зависит от наличия необходимого уровня асимметрии при выполнении движения.

Особую актуальность представляет связь асимметрии мозга с организацией вертикальной позы. Ее длительное поддержание возможно при уравнивании статических моментов сил всех звеньев тела, что, в свою очередь, обеспечивается адекватным состоянием всех уровней проприоцептивного контроля. Признаки морфологических и функциональных асимметрий свойственны основным афферентным элементам, центральному и эфферентному отделам контроля позы. Все это позволяет заключить, что постуральная асимметрия является необходимым компонентом комплексной оценки статического стереотипа спортсмена.

Такие стабилметрические показатели функциональной постуральной асимметрии, как среднее положение ОЦД во фронтальной плоскости, среднеквадратичное отклонение ОЦД во фронтальной плоскости, значимы для оценки формирования у юных спортсменов специальных двигательных навыков, характерных для того или иного вида спорта; актуальны они и для оценки техники выполнения специфических локомоций. Таким образом, способность стабилизировать равновесие во время выполнения сложно координированных специальных движений в любом виде спорта – важнейший аспект спорта высших достижений; кроме того, оценка и правильная интерпретация стабилметрических показателей представляет значительный резерв в повышении эффективности тренировочного процесса и оптимизации спортивного отбора юных спортсменов [10, 11].

Однако классическая стабилметрия имеет свои ограничения в оценке проприоцептивной сферы у спортсменов. Данная система работает по принципу биологической обратной связи, реагируя на внешние раздражители изменением стратегии регуляции позы. Первым и наиболее быстро реагирующим на внешнее раздражение звеном в системе проприоцепции явля-

ется периферический анализатор, которым в регуляции вертикальной устойчивости является, прежде всего, голеностопный сустав, а также стопы. В классической стабилметрии опорная поверхность неподвижна, и поэтому для оценки сложных координационных постуральных реакций, характерных для спорта высоких достижений, данное исследование не полностью позволяет оценить функцию периферического анализатора в системе проприоцепции. Эта проблема хорошо была освещена американским травматологом Фрименом в 60-е годы прошлого столетия: он применил в реабилитации после травм нижних конечностей нестабильные платформы, занятия на которых восстанавливали оптимальное состояние периферического анализатора системы проприоцепции за счет активации проприорецепторов стопы и голеностопного сустава [12]. В настоящее время принцип нестабильной опоры реализован в различном биомеханическом диагностическом и реабилитационном оборудовании.

Такой же принцип активации периферического звена проприоцептивной системы актуален в диагностике и реабилитации двигательной функции верхних конечностей, когда при биомеханическом обследовании оценивается не только скоростно-силовые показатели двигательной активности, но также возможна оценка сложно-координационных движений, что необходимо для оценки специальных двигательных навыков [13].

Указанный выше принцип биомеханической диагностики с учетом всех звеньев системы проприоцепции в настоящее время полноценно реализован в аппаратно-программных комплексах биомеханической диагностики и коррекции фирмы TesnoBody (Италия). Это подтверждено проведенными фундаментальными исследованиями [14].

Однако необходимо отметить, что наиболее полноценная диагностика системы проприоцепции у спортсменов возможна на аппаратно-программных биомеханических комплексах, обеспечивающих синхронизацию различных способов регистрации показателей локомоций – видеоанализ, миография, использование инерционных 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 инерционные системы.

В 2003 г. Kristof Van Laerhoven и Hans-Werner Gellersen, сотрудники университета в г. Ланкастере (Соединенное королевство), и Nicky Kern и Bernt Schiele, сотрудники университета в г. Цюрихе (Швейцария), разработали алгоритм преобразования сигналов от датчиков портативной инерционной платформы с акселерометром; исследования были проведены в различных положениях – сидя, стоя, лёжа, а также при ходьбе, приседании и вставании [15]. Алгоритм диагностики биомеханических параметров с помощью беспроводных инерционных приборов был представлен в 2008 г. Lawrence Cheng и соавторами из Гонконгского университета (Китай) [16].

В 2006 г. Yuji Ohgi из университета Кейо (г. Каганав, Япония) применил портативную систему из акселерометра и гироскопа для анализа движений в конкретном сегменте тела [17]. Например, для обследования пловцов автор прикреплял датчики к суставам верхних конечностей. Однако для спортсменов, использующих дополнительные предметы при игре (ракетка,

клюшка, бита и прочее), в исследование были включены несколько дополнительных зон; в частности, у гольфистов трехосевые системы датчиков располагали в области кисти, поясницы, а также на головке клюшки. Основное применение автор видит в оценке точности определенного движения для его последующего улучшения. Несколько позже, в 2009 г., Hassan Ghasemzadeh и соавторы предложили систему тренировки конкретного движения у гольфистов с помощью биологической обратной связи. Исследование было проведено с использованием уже пяти датчиков: в области максимальной окружности плеча, в области кисти, поясницы, в области стержня и головки клюшки, таким образом, при неправильно выполненном свинге была возможность его своевременной корректировки, что повышало качество работы спортсмена [18].

В 2009 г. Hassan Ghasemzadeh и Roozbeh Jafari из Техасского инженерного университета (США) продемонстрировали корреляцию между показаниями акселерометра и диагностической электромиографии («Система пострального контроля») [19]. Полученные данные позволили авторам сделать вывод о возможном применении подобной аппаратуры для биомеханической диагностики не только в спортивной медицине, но и в реабилитации (неврология, ортопедия и травматология). Затем эта работа была продолжена – регистрировались скорость и ускорение определенных групп мышц, их положение в пространстве (Hassan Ghasemzadeh, Vitali Loseu и Roozbeh Jafari, 2010). На основе полученных параметров была разработана классификация для следующих видов движения: из положения стоя, сесть на кровать; лечь из положения, сидя на кровати; пройтись вперед и вбок; подпрыгнуть; оглянуться назад; согнуть конечности в суставах; захват в кисти; поворот туловища [20].

James B. Lee, Rebecca B. Mellifont, Brendan J. Burkett из университета в г. Квинсленде (Австралия) впервые показали, что измерение показателей походки и бега, полученных с инерционных датчиков, не противоречит результатам видеозаписи; это дает возможность рекомендовать подобную аппаратуру для использования вне диагностической лаборатории [21]. В 2011 г. Farzin Dadashi и Florent Crettenand, сотрудники лаборатории по анализу движений и походки в г. Лозанне (Швейцария), также подтвердили данные инерционных датчиков о координации и синхронности движений у пловцов (кроль) видеоанализом; тем самым, была доказана целесообразность использования портативных инерционных систем в практике не только врачей спортивной медицины, но и тренеров [22].

Ge Wu и Shuwan Xue описали возможности портативного прибора с инерционными датчиками для определения возможного падения; авторы разработали диагностический алгоритм, благодаря которому можно, по крайней мере, за 70 мс предсказать, что человек упадет [23].

A. Martinez-Ramirez (кафедра математики университета г. Наварра, Испания) и M. Izquierdo (исследовательский центр по спортивной медицине г. Наварра) представили результаты использования портативного прибора на основе акселерометра, гироскопа и магнитометра для измерений кинематических и кинетических данных в условиях нормы и патологии; параметры, полученные при анализе графиков исследований голеностопного сустава, демонстрировали дифференциально значимые особенности хронического растяжения связок. Авторы полагают, что выявленные нарушения динамического баланса дают возможность предупредить повторное растяжение или выявить у спортсмена предрасположенность к данной патологии [24].

Michael Lapinski и Eric Berkson из университета г. Кембриджа (США) предложили компактную беспроводную систему (акселерометр, гироскоп, магнитометр), позволяющую оценивать биомеханические параметры (силу и ее момент, ускорение, углы в суставах и др.) при чрезмерных физических нагрузках. Основное применение системы авторы видят в профилактике травм (особенно у юных спортсменов), а также в улучшении техники определенных движений [25].

Таким образом, наиболее перспективной для спорта высоких достижений представляется диагностика и коррекция проприоцептивной системы спортсмена, что достигается использованием и дальнейшей разработкой инновационного биомеханического оборудования, оптимально оценивающего выполнение специальной локомоторной задачи, характерной для конкретного вида спорта. Данный подход в современной биомеханике является наиболее актуальным, так как здесь наиболее объективно учитывается взаимосвязь физиологических возможностей функциональных систем спортсмена с адаптационными и компенсаторными процессами, сопровождающими тренировочную деятельность с учетом специфичной для каждого вида спорта физической нагрузки. Также необходимо подчеркнуть, что только комплексная и многофункциональная биомеханическая диагностика позволит получить объективные результаты, которые, в свою очередь, помогут правильно оценить степень функциональной подготовленности спортсмена и выбрать наиболее оптимальный путь её стабилизации и повышения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зациорский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 140 с.
2. Воронов А.В. Анатомическое строение и биомеханические характеристики мышц и суставов нижней конечности. – М.: Физкультура, образование и наука, 2003. – 203 с.
3. Смирнов В.М. Физиология человека – М.: Медицина, 2002. – 608 с.
4. Miles, W.R. Static equilibrium as a useful test of motor control / W.R. Miles // J. Industr. Hug. – 1922, 640p.
5. Körperstellung : experimentell-physiologische Untersuchungen über die einzelnen bei der Körperstellung in Tätigkeit tretenden Reflexe, über ihr Zusammenwirken und ihre Störungen / von R. Magnus. Mit 263 Abbildungen. Berlin : Julius Springer, 1924. Description: XIII, 740 p.
6. Гурфинкель В.С., Коц Я.М., Шик М.Л. Регуляция позы человека. – М.: Наука, 1965. – 256с.
7. Riemann B.L., Guskiewicz K.M. Contribution of peripheral somatosensory system to balance and postural equilibrium / In: Lephart S.M., Fu F.H., editors. Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability. Human Kinetics. – Champaign, IL: 2000. – P. 37–51.
8. Shumway-Cook A., Horak F.B. Assessing the influence of sensory interaction on balance: Suggestion from the field // Phys. Ther. – 1986. – 66. – P. 1548–1550.
9. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. – М. 2007. – 640с.
10. Бердичевская Е.М. Роль функциональной асимметрии мозга в возрастной динамике двигательной деятельности человека: автореф. дисс. ... докт. мед. наук / Е.М.Бердичевская. – Краснодар, 1999. – 46 с.
11. Курашвили В.А. Новые диагностические технологии в спортивной медицине. // Журнал «Вестник восстановительной медицины». 2011 – №5. – с. 75–78.

12. Freeman M.A.R., Dean M.R.E., Hanham I.W.F. The etiology and prevention of functional instability of the foot // *Bone Joint Surg Br* November 1965 47-B: 678–685.
13. Cardoso de Souza M, Trajano JR, Jones A, Lombardi JI, Natour J. Progressive- resistance training in patients with shoulder impingement syndrome: literature review. *Reumatismo* 2009; 61: 84–89.
14. Saggini R, Iodice P, Cancelli F, Romano V, Di Bonaventura V, Coco V, Bellomo RG. Therapeutic- rehabilitative approach in the painful shoulder syndrome with partial tear and calcifying tendinitis of rotator cuff: retrospective analysis. *Europa Medicophysica* 2006; 42: 75–78.
15. Van Laerhoven, K.; Kern, N.; Gellersen, H.-W.; Schiele, B., Towards a wearable inertial sensor network, *Euroearable*, 2003. IEE , vol., no., pp. 125, 130, 4–5 Sept. 2003.
16. Cheng Lawrence et al. Proceedings of the 5th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, in conjunction with the 5th International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors. The Chinese University of Hong Kong, HKSAR, China. Jun 1–3, 2008. – 4.
17. Ohgi Yuji. Mems sensor application for the motion analysis in sports science // *ABCM Symposium series in Mechanotronics*. – Vol.2. – P. 501–508.
18. Ghasemzadeh Hassan, Roozbeh Jafari. *IEEE Sensor Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, 7th Annual IEEE Communications Society Conference, 2010. – P. 1–9.
19. Ghasemzadeh Hassan, Vitali Loseu, Eric Guenterberg, Roozbeh Jafari. *Sport Training Using Body Sensor Networks*. – 2009; 8.
20. Ghasemzadeh Hassan, Vitali Loseu, Roozbeh Jafari. *IEEE Transactions on information technology in biomedicine*, Vol. 14, №2, March 2011; P. 178–183.
21. Lee James B., Rebecca B. Mellifont, Brendan J. Burkett. *Journal of Science and Medicine in Sport*. – 13 (2010): 270–273.
22. Dadashi Farzin, Florent Crettenand. *Biomechanics in Sport, Portuguese Journal of Sport Sciences*, 11 (Suppl. 2), 2011:4.
23. Wu Ge, Shuwan Xue. *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, vol. 16, №2, April 2008; P. 425–435.
24. A. Martínez-Ramírez, P. Lecumberri, M. Gómez, M. Izquierdo. *Wavelet analysis based on time–frequency information discriminate chronic ankle instability. Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 1 March 2010 (volume 25 issue 3 Pages 256–264).
25. Lapinski Michael, Eric Berkson. *A distributed wearab Michael Lapinski, Eric Berkson, Thomas Gill, Mike Reinold, Joseph A. Paradiso, «A Distributed Wearable, Wireless Sensor System for Evaluating Professional Baseball Pitchers and Batters» iswc*, pp.131–138, 2009 *International Symposium on Wearable Computers*, 2009le, wireless sensor system for evaluating professional baseball pitchers and batters. – March, 2008. – P. 8–139.

РЕЗЮМЕ

В статье рассматриваются основные пути развития биомеханики в спортивной медицине. Определены первоочередные задачи биомеханического обследования спортсменов высокой квалификации, среди которых приоритетными являются разработка и внедрение методик исследования и коррекции системы проприоцепции. Раскрывается роль каждого из видов биомеханического исследования проприоцепции у спортсменов высокой квалификации, включая диагностику функциональной состоятельности всех типов проприорецепторов и оценку проприоцептивного контроля при выполнении специальных физических упражнений. Подчеркивается, что одним из наиболее важных компонентов проприоцептивной сферы является постральный контроль, в связи с чем важнейшее место в структуре биомеханического обследования спортсменов высокой квалификации должно занимать стабилметрическое обследование. Также в статье рассматриваются перспективные методы биомеханической диагностики в спорте высших достижений, такие как, диагностика опорно-двигательного аппарата с использованием беспроводных инерционных систем, включающих в себя акселерометры, гироскопы и магнетометры. Таким образом, в статье отражена необходимость проведения диагностики системы проприоцепции у спортсменов, так как исследование проприоцептивной сферы позволяет спортивным врачам объективно оценивать функциональное состояние нервно-мышечной системы и выявлять доклинические признаки двигательной патологии.

Ключевые слова: биомеханика, проприоцепция, стабилметрия, инерционные датчики, спортивная медицина, постральный баланс, биологическая обратная связь.

ABSTRACT

The article discusses the main ways of the development of biomechanics in sports medicine. The priorities of biomechanical examination of highly skilled athletes were identified, among them the priority of the development and introduction of methods of investigation and correction of proprioception. Examines the role of each type of biomechanical study of the proprioception of athletes which have high qualification, including diagnosis of functional viability of all types of proprioceptors and assess of the proprioceptive control when performing special physical exercises. One of the most important components of proprioceptive sphere is postural control, and because of this the most important role in the structure of the examination of athletes skills should play stabilometric examination. This article also discusses advanced methods of biomechanical diagnostics in sports of the higher achievements, such as the diagnosis of musculoskeletal system using wireless inertial systems, including akselerometres, gyroscopes and magnetometers. Thus, the article shows the need of examination of propriceptive sphere in athletes because it allows sports doctors to objectively access the functional condition of neuromuscular system and identify pre-clinical signs of motor disorders.

Key words: biomechanics, proprioception, stabilometry, inertial sensors, sports medicine, postural balance, biofeedback.

Контакты:

Фещенко Владимир Сергеевич. E-mail: rasmirbi@gmail.com