

СПОРТИВНАЯ МЕДИЦИНА

СТАБИЛО- И ТЕНЗОМЕТРИЯ ПРИ ТРАВМЕ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ СПОРТСМЕНА

В.В. АРЬКОВ, Л.А. КАЛИНКИН, О.Н. МИЛЕНИН, А.Г. ТОНЕВИЦКИЙ,
*Всероссийский научно-исследовательский институт
физической культуры и спорта*

Аннотация

Стабилометрия является важным способом оценки поддержания статического и динамического баланса после травматического повреждения нижних конечностей спортсмена. В статье приведены современные представления о методах, способах оценки проприоцепции, функционального состояния спортсмена с использованием стабилометрии. Определены перспективные направления изучения постурального баланса.

Abstract

Stabilometry is an important method for examination of static and dynamic balance after the trauma of low extremities of the athlete. The article is concerned about modern methods, the ways of investigation of proprioception and functional state with stabilometry. There are perspective directions of future research of postural balance.

Ключевые слова: стабилометрия, тензометрия, двигательный контроль, спортивная травма, спортивное движение, коленный сустав, голеностопный сустав.

Методы стабилометрической оценки функции нижних конечностей применяются на протяжении нескольких десятилетий. Однако концепция постурального контроля является одной из наиболее противоречивых в развитии представлений о сенсомоторной системе [1]. Так, дефицит постурального контроля после травм, ортопедической патологии большинство авторов связывало с нарушением афферентной информации от связочных и капсульных механорецепторов, несмотря на тот факт, что значение суставной афферентации для поддержания постурального контроля окончательно не определено. Показано, что сенсомоторная система играет значительную роль в поддержании баланса тела [2].

Постуральный контроль осуществляется центральной нервной системой за счет получения информации по трем основным путям: соматосенсорному, визуальному и вестибулярному. При этом ЦНС определяет стратегию постурального контроля сустава через всю кинетическую цепь. Таким образом, постуральный контроль может быть нарушен после повреждения сустава не только за счет уменьшения афферентной информации от сустава, но

также за счет изменений центральной стратегии (центрального ингибирования) или дефицита моторных систем (силы) или сочетания их. При исследовании постурального контроля необходимо учитывать вклад каждого источника сенсорной информации (соматосенсорного, визуального и вестибулярного), для чего использовать специфические техники для определения их целостности. Так, использование нестабильных или движущихся поверхностей изменяет соматосенсорный выход в месте контакта ступни с поверхностью опоры. Другие методы уменьшения или изменения афферентации механорецепторов включают местные инъекции анестетика, индуцирование ишемии или гипотермии и вибрации [3]. Изменение визуального выхода обычно осуществляется исключением визуальной информации (закрытие глаз) или путем подачи неадекватной визуальной информации для создания помех [4]. Вестибулярный выход изменяется за счет смещения головы и гальванической стимуляции [5]. Исследования показали, что: проприоцептивные сигналы от рецепторов мышц ног достаточны для поддержания стабильной вертикальной позы, визуальные сигналы не-

обходимы для максимальной стабильности, сенсорная информация от стоп и голеностопных суставов оказывает небольшой, но значимый эффект на стабильность, при обычном стоянии вестибулярный аппарат не включается в модуляцию активности мышц нижних конечностей [6].

При анализе баланса тело обычно представляется как одноплоскостной обратный маятник, вращающийся вокруг голеностопных суставов [7]. В такой модели биомеханическая система определяется всего одной переменной: углом (и вращающим моментом) голеностопного сустава. Однако человеческое тело как биомеханическая система может быть более точно представлена как мультисуставная цепь [8]. В такой модели вследствие взаимодействия между участками цепи изменение вращающего момента в любом суставе влияет на движение всех остальных суставов. При поддержании вертикальной позы значительная масса туловища находится над небольшим основанием, что усложняет контроль равновесия. ЦНС контролирует баланс по механизмам обратной связи, генерируя корректирующие силы мышц в ответ на нарушение равновесия [7], также осуществляя предварительную коррекцию [9].

Так как постуральный контроль зависит от выполняемого задания и положения тела, необходим выбор используемого положения тела. Оценка способности оставаться в равновесии чаще всего исследуется во время периодов спокойного стояния или после движения (платформы или тела). Измерения на одной ноге обеспечивают значения для билатерального сравнения и часто используются для исследований в травматологии-ортопедии и в спортивной медицине. К тому же стойка на одной ноге требует дополнительной реорганизации центра тяжести тела над узким и коротким основанием поддержки, увеличивая важность сегментарного контроля во фронтальной плоскости. В данных пробах активно включается сознательное стремление удержать равновесие. Напротив, в повседневной жизни наиболее часто встречаются ситуации, когда сознание не контролирует поддержание постурального баланса. Во время бега, например, последовательность включения различных мышц контролируется различной последовательностью активации многочисленных зон ЦНС, в то время как сознание направлено на другое. Следовательно, исследование постурального контроля должно включать обстоятельства, которые дублируют подобные сценарии. Примером этого типа заданий может служить тест стабилизации после прыжка на одной ноге [10]. Многие из техник измерения баланса могут быть использованы в процессе реабилитации и спортивном тренинге после повреждения. Исследования нарушений постурального контроля после повреждений и их лечения посредством стабилотренинга (и силовых платформ) показали противоречивые результаты. Большинство исследователей обнаружило уменьшение постуральной устойчивости после травм различных суставов [11, 12, 13], другие не выявляли существенной разницы [14, 15]. Были проведены исследования для определения нарушений цен-

тральных стратегий постурального контроля при спокойном стоянии [16] и после провокаций [17]. Полученные данные могут свидетельствовать о том, что патологические состояния сустава нарушают постуральный контроль не только за счет изменения сенсорного выхода, но и за счет изменения центральных процессов интеграции и мышечной регуляции.

Показана взаимосвязь между выраженностью нарушения проприоцепции и функциональным состоянием коленных суставов. У лиц с повреждениями коленного сустава стабилотрический метод целесообразно использовать для объективной оценки проприоцептивной функции капсульно-связочных структур [18]. Наряду со стандартными тестами (стойка на обеих ногах, тест Ромберга) авторы предложили использовать положения с более активным участием мышц – стабилизаторов коленного сустава: мини-присед (до угла 20–30°) и попеременную стойку на одной ноге. Регистрировали положение центра давления, его отклонение от среднего, среднюю скорость движения, длину и среднюю площадь статокинезиограммы. При выполнении теста Ромберга рассчитывали коэффициент Ромберга (отношение площадей статокинезиограмм, зарегистрированных при обследовании пациента с закрытыми и с открытыми глазами, умноженное на 100). Результаты тестирования позволили объективизировать процесс восстановления проприоцептивной функции.

Оценка проприоцепции в состоянии закрытой кинетической цепи может быть осуществлена посредством исследования постурального баланса. Соматосенсорная информация от стопы, находящейся в контакте с поверхностью опоры, является предпочтительным сенсорным выходом для контроля баланса здорового атлета [19]. Таким образом, данные, полученные при измерении баланса в закрытой кинетической цепи, должны интерпретироваться и как измерения проприоцепции [20]. Проприоцептивный афферентный выход важен для функционального контроля в процессе спортивной активности [21].

Исследования по выявлению изменений показателей стабилотриции при повреждениях, консервативном и оперативном лечении разрывов передней крестообразной связки (ПКС) коленного сустава у спортсменов на начальном этапе исследований по данному направлению установили, что повреждение передней крестообразной связки (ПКС), а также отек в суставе вызывают нарушение постурального контроля [11].

Пациенты с хронической недостаточностью ПКС исследовались до начала курса реабилитации (через 3–6 месяцев после травмы) [13]. Значительное нарушение баланса при стойке на обеих ногах определили до начала тренинга по сравнению с контролем. Показатели стабилотриции при стойке на интактной ноге приходили в норму через 3 месяца тренинга, но стойка на поврежденной ноге по-прежнему выявляла увеличение смещения тела. Нормальные показатели были через 12 и 36 месяцев.

Неспособность растянутой или поврежденной связки обеспечивать адекватную сенсорную обратную связь мо-

жет приводить к потере функции и дегенерации коленного сустава. Установили связь между нарушением стабильности коленного сустава в сагиттальной плоскости и билатеральным нарушением постурального контроля у спортсменов с изолированным давним повреждением ПКС [22]. Эти данные подтвердились при сравнении двух групп пациентов с дефицитом ПКС с различной выраженностью симптомов [23]. Сравнили группу пациентов с небольшой симптоматикой и группу с выраженной нестабильностью. Пациенты с выраженным дефицитом ПКС имели более низкие проприоцептивные возможности (по данным стабилотрии) по сравнению с асимптоматичными лицами. Результаты показали, что проприоцептивный дефицит может влиять на исход неоперативного лечения повреждения ПКС. Постуральный контроль в сагиттальной плоскости оценивали у пациентов с хронической недостаточностью ПКС. Результаты демонстрировали значительный дефицит постурального контроля (при стоянии на одной ноге) в группе пациентов по сравнению с контролем, а также внутри группы [24]. Функционально нестабильные спортсмены с дефицитом ПКС были подвержены нарушениям баланса в значительно большей мере, чем функционально стабильные лица (полный возврат к спортивному уровню до травмы). При консервативном лечении повреждения ПКС выявили увеличение амплитуды смещения центра давления со стороны поврежденной ноги на протяжении до трех лет после повреждения [25].

Исследование спортсменов после оперативной реконструкции ПКС показало, что реконструкция ПКС улучшает проприоцепцию колена и что проприоцепция колена прямо взаимосвязана с функцией после реконструкции ПКС [26]. Сформировали 3 группы: группу спортсменов после реконструкции ПКС, группу с хроническим дефицитом ПКС и группу контроля из здоровых, физически активных лиц. Использовали стабилотрию в положении стойки на одной ноге. Показатели сравнивали со значениями субъективной оценки функции колена, степенью недостаточности связки, индекса прыжка, а также изокинетической силы мышц бедра. Баланс на одной ноге пациентов с реконструкцией ПКС был нарушен по сравнению со здоровыми лицами из группы контроля, но значимо лучше по сравнению с группой с дефицитом ПКС. При этом показатели баланса на одной ноге коррелировали с субъективной оценкой функции колена, индексом прыжка. Однако не было корреляции с механической стабильностью колена. Исследователи сделали вывод о том, что функциональное состояние колена после реконструкции ПКС тесно связано с проприоцепцией (по данным стабилотрии), что определяет целесообразность применения стабилотрии в оценке функции колена после реконструкции ПКС.

Исследование статического и динамического баланса через 10 месяцев после реконструкции ПКС показало наличие нарушений только динамического баланса [27]. Исследователи сделали вывод, что поддержание статическо-

го и динамического баланса осуществляется посредством различных механизмов. Повреждение механорецепторов нарушает центральный механизм постурального контроля, что подтверждалось большей продолжительностью активной фазы в группе с реконструкцией ПКС как в поврежденной, так и в интактной конечности. Эти данные могут свидетельствовать о перекрестном эффекте нарушения динамического баланса и роли ЦНС у спортсменов с травмой и оперативной реконструкцией ПКС.

Сравнивали группу пациентов после оперативной реконструкции ПКС (через 18 месяцев после операции) с контрольной группой здоровых лиц [28], схожих по спортивной активности. Показатели в обеих группах не различались.

Стабилотрия неоднократно использовалась как методика, позволяющая объективно оценить проприоцептивную функцию колена [18,19]. Стабилотрические показатели при индуцированной подошвенной флексии/дорсифлексии стопы улучшались при профилактическом использовании брейсов [29]. Была выдвинута гипотеза, что ношение брейсов улучшает проприоцепцию только у лиц, имеющих патологию коленного (голеностопного) сустава или нарушение проприоцепции.

Взаимосвязь между функциональной нестабильностью голеностопного сустава и уменьшением постуральной стабильности была отмечена еще 40 лет назад [30]. Авторы применили статическую позицию в модифицированном тесте Ромберга. Однако исследование статического и динамического баланса у небольшой группы лиц с унлатеральной нестабильностью голеностопного сустава в отдаленные сроки не показало значимой разницы [31].

Проводили стабилотрию (при спокойном стоянии) у игроков в футбол с документированными признаками функциональной нестабильности голеностопного сустава (переломы, растяжения) [12]. Референсные значения получали у группы активных спортсменов без травм. Не было найдено увеличения постурального смещения у футболистов с историей повреждений голеностопного сустава. С другой стороны, игроки, показавшие аномальные стабилотрические значения, имели значительно более высокий риск травмы голеностопного сустава в течение следующего сезона. Результаты свидетельствовали о том, что травма голеностопного сустава не приводит к функциональной нестабильности, однако наличие этой нестабильности увеличивает риск травмы.

Обосновать сроки восстановления спортсменов с острым небольшим или умеренным растяжением наружных связок голеностопного сустава позволило следующее исследование [32]. Тест (стойка на одной ноге с открытыми глазами) проводили в течении 5 дней после травмы, через 2 и 4 недели. Измеряли силы и их моменты по осям x, y, z, а также траектории движения центров давления в сагиттальной и фронтальной плоскости. Значения в обеих плоскостях были значимо выше при стойке на поврежденной ноге до 2 недель после травмы. Но в течение 4 недели только показатели баланса в сагиттальной плоскости зна-

чимо отличалась (при этом значения постепенно улучшались на обеих ногах от пробы к пробе). Полученные результаты свидетельствуют о значительном нарушении постурального контроля в течение первых 2 недель после острого растяжения наружных связок голеностопного сустава, что необходимо учитывать при определении сроков восстановления спортсмена для предотвращения повторной травмы. Патогенез данных нарушений может включать как нарушение афферентации, так и центральные нарушения из-за боли, отека, нестабильности сустава. Улучшение постурального контроля возникало через 4 недели после острого растяжения наружных связок голеностопного сустава (после соответствующих реабилитационных мероприятий).

Однако постуральная стабильность во время периодов спокойного стояния может не выявить дефицит постурального контроля благодаря простоте тестируемого положения и задания. Поэтому динамические и клинические измерения развивались для того, чтобы преодолеть ограничения статических методов. Динамическая постуральная стабильность может быть определена как индивидуальная способность поддерживать баланс при переходе от динамического к статическому состоянию. И статическая, и динамическая постуральная стабильность являются результатом комплексной и сложной координации центральных процессов зрительной, вестибулярной и соматосенсорной систем, так же, как результирующего эфферентного ответа [33]. Для количественного определения динамического баланса использовали тест подъема на лестницу [34]. Субъективно оценивали множественные прыжки на одной ноге [35]. Определенные конструкции приборов (Biodex Stability System) объективно позволяют измерять степень и время смещения относительно нестабильных осей. Однако поддержание баланса на нестабильной поверхности не может в полной мере представлять спортивную активность. Наиболее интересен и точно вос-

производит спортивную активность тест стабилизации после прыжка на одной ноге [36]. Время стабилизации – пример объективного измерения постурального контроля при прыжке – определяется как время уменьшения результирующей силы реакции опоры до базового уровня. Оно было использовано для оценки эффектов утомления [37], групповых отличий между здоровыми, дефицитарными и реконструированными ПКС при обследовании пациентов с функциональной нестабильностью голеностопного сустава [36]. Определяли воспроизводимость и валидность измерения постуральной динамической стабильности данным методом [38]. Осуществляли прыжок на высоту, эквивалентную 50% индивидуального максимального вертикального прыжка, с толчком обеими ногами и приземлением на одну ногу. Определяли индекс динамической постуральной стабильности и индексы по направлениям (медиально-латеральное, переднезаднее и вертикальное) после приземления из прыжка. Определили высокую воспроизводимость и точность теста, в особенности при выборе коротких интервалов измерения (3 с). Индекс может быть использован в сочетании с тестом динамической постуральной устойчивости после прыжка. В настоящее время расширяются возможности по оценке баланса при различных видах локомоторной активности (тензостельки, беговые дорожки с тензодатчиками, сочетание с видеоанализом и др.). Однако существует дефицит воспроизводимых и стандартных методов оценки различных видов спортивной активности.

Разработка новых методов для оценки постурального контроля с использованием стабилотрии и тензометрии является перспективным направлением комплексных исследований биомеханического статуса спортсмена с травмой опорно-двигательного аппарата. При этом определяющим фактором методики обследования должна быть ее функциональная и спортивно-специфическая направленность.

Литература

1. Riemann B.L., Myers J.B., Lephart S.M. Sensorimotor System Measurement Techniques // J. Athl. Train. – 2002. – 37(1). – P. 85–98.
2. 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.
3. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Стабилотрия. – М.: Антидор, 2000. – 192 с.
4. Guskiewicz K.M., Perrin D.H., Gansneder B. Effect of mild head injury on postural stability in athletes // J. Athl. Train. – 1996. – 31. – P. 300–306.
5. Fitzpatrick R., Burke D., Gandevia S.C. Task-dependent reflex responses and movement illusions evoked by galvanic vestibular stimulation in standing humans // J. Physiol. – 1994. – 478. – P. 363–372.
6. Fitzpatrick R., Douglas K., McCloskey D.I. Stable human standing with lower-limb muscle afferents providing the only sensory input // Journal of Physiology. – 1994. – 480. – 2. – P. 395–403.
7. Peterka R.J. Sensorimotor integration in human postural control // J. Neurophysiol. – 2002. – 85. – P. 1097–1118.
8. Alexandrov A.V. et al. Feedback equilibrium control during human standing // Biol. Cybern. – 2005. – 93 (5). – P. 309–322.
9. Gurfinkel V.S., Ivanenko Y.P., Levik Y.S., Babakova I.A. Kinesthetic reference for human orthograde posture // Neuroscience. – 1995. – 68. – P. 229–243.
10. Riemann B.L., Caggiano N.A., Lephart S.M. Examination of a clinical method of assessing postural control during functional performance task // J. Sport Rehabil. – 1999. – 8. – P. 171–183.

11. Friden T., Roberts D., Ageberg E., Walden M., Zatterstrom R. Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture // J. Orthop. Sports Phys. Ther. – 2001. – 31(10). – P. 567–576.
12. Tropp H., Odenrick P., Gillquist J. Stabilometry recordings in functional and mechanical instability of the ankle joint // Int. J. Sports Med. – 1985. – 6. – P. 180–182.
13. Zatterstrom R., Friden T., Lindstrand A., Moritz U. The effect of physiotherapy on standing balance in chronic anterior cruciate ligament insufficiency // Am. J. Sports Med. – 1994. – 22. – P. 531–536.
14. Bernier J., Perrin D.H., Rijke A. Effect of unilateral functional instability of the ankle on postural sway and inversion and eversion strength // J. Athl. Train. – 1997. – 32. – P. 226–232.
15. O'Connell M., George K., Stock D. Postural sway and balance testing: a comparison of normal and anterior cruciate ligament deficient knees // Gait Posture. – 1998. – Oct. 1. – 8 (2). – P. 136–142.
16. Tropp H., Odenrick P. Postural control in single-limb stance // J. Orthop. Res. – 1988. – 6. – P. 833–839.
17. Pintsaar A., Brynhildsen J., Tropp H. Postural corrections after standardized perturbations of single limb stance: effect of training and orthotic devices in patients with ankle instability // Br. J. Sports Med. – 1996. – 30. – P. 151–155.
18. Ветрилэ В.С. и соавт. Стабилометрия при повреждении коленного сустава // Вестник травматологии и ортопедии. – 2002. – № 2. – С. 34–37.
19. 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.
20. Hertel J.N. Effect of lateral ankle joint anesthesia on joint position sense, postural sway and center of balance. Charlottesville, VA: University of Virginia. – 1999.
21. Glencross D., Thornton E. Position sense following joint injury // J. Sports Med. Phys. Fitness. – 1981. – 21. – P. 23–27.
22. Gauffin H., Pettersson G., Tegner Y., Tropp H. Function testing in patients with old rupture of the anterior cruciate ligament // Int. J. Sports Med. – 1990. – 11 (1). – P. 73–77.
23. Roberts D., Friden T., Zatterstrom R., Lindstrand A., Moritz U. Proprioception in people with anterior cruciate ligament-deficient knees: comparison of symptomatic and asymptomatic patients // J. Orthop. Sports Phys. Ther. – 1999. – 29 (10). – P. 587–594.
24. Lysholm M., Ledin T., Odkvist L.M., Good L. Postural control – a comparison between patients with chronic anterior cruciate ligament insufficiency and healthy individuals // Scand. J. Med. Sci. Sports. – 1998. – 8 (6). – P. 432–438.
25. Ageberg E., Zatterstrom R., Moritz U., Friden T. Influence of supervised and nonsupervised training on postural control after an acute anterior cruciate ligament rupture: a three-year longitudinal prospective study // J. Orthop. Sports Phys. Ther. – 2001. – Nov. – 31 (11). – P. 632–644.
26. Shiraishi M., Mizuta H., Kubota K., Otsuka Y., Nagamoto N., Takagi K. Stabilometric assessment in the anterior cruciate ligament-reconstructed knee // Clin. J. Sport Med. – 1996. – 6 (1). – P. 32–39.
27. Hoffman M., Schrader J., Koceja D. An investigation of postural control in postoperative anterior cruciate ligament reconstruction patients // J. of Athletic Training. – 1999. – 34 (2). – P. 130–136.
28. Mattacola C.G., Perrin D.H. et al. Strength, Functional Outcome and Postural Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction // J. Athl. Train. – 2002. – 37 (3). – P. 262–268.
29. Kaminski T.W., Perrin D.H. Effect of prophylactic knee bracing on balance and joint position sense // J. of Athl. Training. – 1996. – V. 31. – № 2. – P. 131–136.
30. Freeman M.A. et al. The etiology and prevention of functional instability of the foot // J. Bone Joint Surg. – 1965. – 47. – P. 678–685.
31. Bernier J., Perrin D.H., Rijke A. Effect of unilateral functional instability of the ankle on postural sway and inversion and eversion strength // J. Athl. Train. – 1997. – 32. – P. 226–232.
32. Hertel J., Buckley W.E., Denegar C.R. Serial testing of postural control after acute lateral ankle sprain // J. Athl. Train. – 2001. – 36 (4). – P. 363–368.
33. Palmieri R.M., Ingersoll C.D., Cordova M.L., Kinzey S.J., Stone M.B., Krause B.A. The effect of a simulated knee joint effusion on postural control in healthy subjects // Arch. Phys. Med. Rehabil. – 2003. – 84. – P. 1076–1079.
34. Kinzey S.J., Armstrong C.W. The reliability of the star-excursion test in assessing dynamic balance // J. Orthop. Sports Phys. Ther. – 1998. – 27 (5). – P. 356–360.
35. Riemann B.L., Myers J.B., Lephart S.M. Sensorimotor System Measurement Techniques // J. Athl. Train. – 2002. – 37 (1). – P. 85–98.
36. Brown B.N., Ross S.E., Mynark R., Guskiewicz K.M. Assessing functional ankle instability with joint position sense, time to stabilization, and electromyography // J. Sport Rehabil. – 2004. – 13. – P. 122–134.
37. Wikstrom E.A., Powers M.E., Tillman M.D. Dynamic stabilization time after isokinetic and functional fatigue // J. Athl. Train. – 2004. – 39. – P. 247–253.
38. Wikstrom E.A., Tillman M.D., Smith A.N., Borsa P.A. A New Force-Plate Technology Measure of Dynamic Postural Stability: The Dynamic Postural Stability Index // J. Athl. Train. – 2005. – 40 (4). – P. 305–309.