

Биомеханическая оценка функционирования опорно-двигательной системы при застарелых повреждениях разгибательного аппарата коленного сустава

Л.И. Мякотина, С.В. Гюльназарова, Н.В. Смирнова

Biomechanical evaluation of the locomotor system functioning in cases of inveterate lesions of the knee extensor mechanism

L.I. Miakotina, S.V. Giulnazarova, N.V. Smirnova

ФГУ «УНИИТО им. В.Д. Чаклина» Росмедтехнологий (директор – к.м.н. И.Л. Шлыков), Россия, г. Екатеринбург

Проведено комплексное биомеханическое и электромиографическое исследование 10 пациентов с застарелыми повреждениями разгибательного аппарата коленного сустава. Выявлена функциональная несостоятельность поврежденной четырехглавой мышцы бедра, наиболее выраженная в ходьбе, которая компенсировалась повышением биоэлектрической активности четырехглавой мышцы бедра контрлатеральной конечности и двусторонней гиперфункцией мышц бедер и изменением угловых отклонений сегментов туловища во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Патологический тип ходьбы характеризуется снижением скорости ходьбы и длины шага, отсутствием заднего толчка пораженной конечности. Выявленные критерии могут использоваться для оценки функционального исхода.

Ключевые слова: коленный сустав, разгибательный аппарат, застарелое повреждение, биомеханическое исследование, электромиографическое исследование.

Complex biomechanical and electromyographical examination of 10 patients with inveterate lesions of the knee extensor mechanism was carried out. The dysfunction of femoral quadriceps injured was determined, which was the most marked during walking, and it was compensated by the increase of bioelectric activity of contralateral limb quadriceps, as well as by bilateral hyperfunction of femoral muscles and changing the angular deviations of body segments in frontal and sagittal planes. The walking pathological pattern is characterized by the decrease of walking speed and step length and also by the absence of back push of involved limb. The criteria revealed can be used for functional outcome evaluation.

Keywords: the knee (joint), extensor mechanism, inveterate lesion, biomechanical study, electromyographical study.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Функциональное состояние опорно-двигательной системы (ОДС) и ее компенсаторно-приспособительные механизмы при застарелых повреждениях разгибательного аппарата коленного сустава (ЗпРАКС) до сих пор остаются недостаточно изученными. В то же время в последние десятилетия комплексные биомеханические исследования и электромиографическая оценка мышечного аппарата активно используются при различной патологии ОДС как с целью изучения биомеханического статуса до

операции, так и для объективной количественной оценки эффективности лечения [1-6, 8-11].

В доступной литературе не удалось встретить данные о степени функциональной несостоятельности и компенсаторных возможностях ОДС при ЗпРАКС.

Цель работы: изучить функциональное состояние опорно-двигательной системы в статике и ходьбе при застарелом повреждении четырехглавой мышцы бедра.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Многокритериальное комплексное исследование ОДС было проведено 10 больным с односторонним застарелым повреждением сухожилия четырехглавой мышцы бедра (ЧМБ). Пациенты жаловались на хромоту и нестабильность коленного сустава, в особенности при ходьбе по лестнице и неровным поверхностям. У всех пациентов отсутствовало активное разгибание голени, при этом у большинства амплитуда пас-

сивных движений в коленном суставе не имела ограничений.

Для объективизации функциональной оценки ОДС при ЗпРАКС использовано комплексное биомеханическое и электромиографическое исследование ОДС в статике и ходьбе, включающее количественное и качественное определение опороспособности нижних конечностей, длину шага, скорость ходьбы, подографию, го-

ниографию, опорные реакции стоп, осциллографию угловых отклонений сегментов туловища в сагиттальной и фронтальной плоскостях, а также электромиографию мышц в покое, при функциональных пробах и в фазы шага.

Глобальная электромиография мышц нижних конечностей производилась с помощью bipolarных поверхностных серебряных электродов (диаметром 10 мм) и синхронной регистрации с подограммой. Натуральная электромиограмма (ЭМГ) регистрировалась электромиографом «Галилео» с компьютерно-вычислительной программой, позволяющей качественно и количественно оценить интегрированную биоэлектрическую активность мышц в продолжительность каждого двойного шага – основного показателя цикличности ходьбы. Схема исследования каждого больного включала двустороннее отведение биопотенциалов от трех головок четырехглавой мышцы бедра (*mm.vastus medialis, vastus lateralis, rectus*), а также групп *m. Semi* и *biceps femoris* и мышц голени (*mm.tibialis anterior, gastrocnemius*) в состоянии покоя, при функциональных пробах и ходьбе.

Синхронная регистрация биоэлектрических и хронометрических параметров шага осуществлялась под метроном, подстроенный под индивидуальный темп ходьбы больного. Дополнительно по отпечаткам стоп на подографической дорожке определялась длина шага, которая в сочетании с продолжительностью двойного шага позволяла вычислить скорость ходьбы. Распределение веса на отделы стоп количественно определялось с помощью сдвоенных электронных весов ВТ-150 с последующим расчетом коэффициентов асимметрии статистической нагрузки во фронтальной плоскости (КАСН ФП) и сагиттальной плоскости (КАСН СП). Опороспособность конечностей в ходьбе оценивалась подографическими показателями: продолжительностью одноопорного периода и двойного шага – основного показателя цикличности движений.

В работе проанализированы 1513 показателей, обработанных с помощью статистики, применяемой в биологии и медицине, при малой выборке с определением достоверности различий $P < 95\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Системно-структурный анализ результатов исследования поврежденной ЧМБ позволил выявить у больных сниженную биоэлектрическую активность 3 ее головок в ходьбе до 2-3 мкВ (норма 10 ± 2 мкВ), а при функциональных пробах она выявлялась, но была достоверно ниже по сравнению с показателями здоровой конечности. Функционирование ЧМБ контралатеральной конечности отличалось компенсаторным увеличением биоэлектрической активности в ходьбе до 11-21 мкВ, что сопровождалось нарушением коэффициента асимметрии (КА) одноименных мышц обеих конечностей до 0,29-0,17 (норма – 1,1-0,99). Функциональная несостоятельность ЧМБ поврежденной конечности сопровождалась двусторонним компенсаторным увеличением биоэлектрической активности сгибателей голени: *m. biceps femoris* до 11-14 мкВ (норма – $9,2 \pm 1,42$ мкВ) с КА = 1,76, группы *m. semi* до 20-22,5 мкВ (норма – $9,2 \pm 1,06$ мкВ) при КА = 1,32. Преобладание увеличенного напряжения сгибателей голени обуславливало ходьбу пригибным шагом [7] и флексорную позу установку.

Сопоставление показателей ЭМГ с биомеханическими данными статики позволило выявить нарушения позной установки. В условиях привычного патологического стереотипа стояния вес тела равномерно распределялся на конечности. КАСН ФП равнялся $1,0 \pm 0,04$, достоверно не отличаясь от нормы ($0,96-1,04$). Однако при этом перегружались передние отделы стоп относи-

тельно задних и КАСН СП достоверно снижались до $1,34 \pm 0,08$ (норма – $1,95 \pm 0,04$), что косвенно свидетельствовало о смещении ОЦМ кпереди, обусловленным двусторонним увеличением сгибательных установок в коленных суставах до $6,23 \pm 0,66^\circ$ (норма – $3,9-4,1^\circ$).

Патологический стереотип ходьбы отличался достоверным снижением скорости до $0,87 \pm 0,27$ м/сек (норма – 1,2-1,4 м/сек) и длины шага каждой из конечностей до $59 \pm 1,52$ см (норма – 70 см). Соответственно скорости был снижен задний толчок больной конечности до $100 \pm 1,42\%$ (норма – 107-109%) без компенсаторного увеличения контралатерального заднего толчка, при двустороннем нарушении передних толчков и нагрузки в одноопорные периоды шага. Однако при сниженных показателях скорости ходьбы и длины шага было выявлено увеличение амплитуды движений в коленном суставе больной конечности до $68,8 \pm 4,35^\circ$ и в контралатеральном до $69,7 \pm 3,95^\circ$ (норма – $62,48 \pm 0,4^\circ$), а в тазобедренных – соответственно до $29,76 \pm 1,64^\circ$ и до $33,58 \pm 1,97^\circ$ (норма – $23,2 \pm 0,42^\circ$) при недостоверном отличии от нормы КА ($0,99 \pm 0,02$ и $0,88 \pm 0,03$). Увеличение амплитуд движения в суставах связано с преобладанием двустороннего сгибания в коленных суставах, достигающего 66° (норма – $54,1^\circ$), при ограничении разгибания – до $5-2^\circ$ (норма – $8,5^\circ$). Нарушенное соотношение сгибания суставов относительно их разгибания еще раз подтверждало патологический тип ходьбы пригиб-

ным шагом. Сохранение устойчивого равновесия в ходьбе достигалось значительным двусторонним равномерным увеличением энергозатрат мышц голени: биоэлектрическая активность *m. gastrocnemius* увеличивалась до 29-31 мкВ (норма – 7±0,04 мкВ) при КА = 1,07 (P<95 %) и *m. tibialis anterior* – до 34-36 мкВ (норма – 9±0,24 мкВ) при КА = 1,04 (P<95 %).

Пригибной шаг сопровождался нарушением продолжительности фаз и периодов шага, а также рассогласованностью угловых отклонений сегментов туловища. Хронометрические показатели соответственно замедленной скорости ходьбы отличались двусторонней более длительной продолжительностью одноопорных периодов до 0,49-0,52 сек. (норма – 0,42 сек.), общеопорных периодов – до 1,03-1,13 сек (норма – 0,81±0,02 сек.), продолжительности двойного шага – до 1,49±0,08 и 1,45±0,07 сек. (норма – 1,22±0,02 сек.) и опоры на всю стопу – до 0,66 сек. (норма – 0,47±0,01 сек.). Нарушением показателей отличались и перекаты через отделы стоп. Преобладание сгибания над разгибанием в коленном суставе сопровождалось кратковременностью опоры на носок боль-

ной конечности до 0,17±0,01 сек. и компенсаторным увеличением на носок здоровой до 0,34±0,03 сек. (норма 0,23-0,27 сек.) при снижении КА до 0,56±0,1. В то же время отмечено, что продолжительность переката через пятку снижалась с обеих сторон до 0,06-0,07 сек. (норма 0,08-0,10 сек.) при одновременном снижении КА до 0,83±0,06.

Рассогласованность угловых отклонений сегментов туловища проявлялась в двух плоскостях. Увеличение угловых отклонений таза во фронтальной плоскости достигало 5-6° (при норме 3,25°), КА 1,33±0,31, тогда как в сагиттальной плоскости угловые отклонения таза впереди в момент опоры на большую конечность уменьшались до 1,86±0,15°, а в момент опоры на здоровую увеличивались до 3,5±0,25° (норма – 2,5±0,5°) при снижении КА до 0,5±0,08. Увеличение угловых отклонений плечевого пояса наблюдалось во фронтальной до 7-9° (норма – 4,6±0,04), при КА = 1,35±0,23 и сагиттальной плоскости до 9,3-10,42° – КА в пределах нормы. Гипермобильность плечевого пояса свидетельствует о значительном увеличении флексорной установки, способствующей продвижению тела вперед.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Избранная совокупность биоэлектрических, хронометрических, локомоторных и статических параметров комплексного исследования позволила получить наиболее полную объективную информацию не только о функциональном состоянии поврежденной мышцы, но и о реализации ее биоэлектрической активности в функционировании ОДС в статике и ходьбе.

Статические нарушения при повреждении ЧМБ характеризуются смещением ОЦМ впереди, обусловленного двусторонним сгибанием коленных суставов. Функциональная несостоятельность поврежденной ЧМБ проявляется крайне низкой ее биоэлектрической активностью в ходьбе и слабым участием при выполнении статических функциональных проб. Дисфункция этой мышцы наиболее выражена в ходьбе за счет превалирования сгибания над разгибанием в обоих тазобедренных и коленных суставах. При этом функциональный дефицит поврежденной ЧМБ компенсируется значительным повышением биоэлектрической активности головок ЧМБ контралатеральной конечности и гиперфункцией задней группы мышц обоих бедер.

Патологический тип ходьбы у пациентов с повреждением ЧМБ характеризуется укорочением длины шага, снижением скорости ходьбы и отсутствием заднего толчка пораженной конечности при нормальном контралатеральном толчке. Недостаточность динамических факторов ходьбы компенсируется дополнительными механизмами, способствующими продвижению тела вперед за счет увеличения угловых отклонений плечевого пояса в сагиттальной и фронтальной плоскостях и тазового пояса во фронтальной плоскости, тогда как в сагиттальной плоскости угловые отклонения таза в момент опоры на большую конечность уменьшаются, а при опоре на здоровую – увеличиваются.

Выявленные электромиографические и биомеханические нарушения ОДС в статике и ходьбе объективно характеризуют биомеханический статус пациента при повреждениях ЧМБ. Объективные критерии могут быть использованы в динамике для функциональной оценки эффективности хирургического лечения застарелых повреждений разгибательного аппарата коленного сустава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биомеханические показатели у больных с деформирующим артрозом коленного сустава / А. И. Анисимов [и др.] // IV Всерос. конф. по биомеханике «Биомеханика-98» : тез. докл. – Н. Новгород, 1998. – С. 95.
2. Куропаткин, Г. В. Биомеханическая картина нестабильности крупных суставов человека / Г. В. Куропаткин // Материалы Первого пленума ассоциации травматологов и ортопедов РФ. – Самара, 1994. – С. 196-197.
3. Куропаткин, Г. В. Биомеханические предпосылки к выбору хирургической тактики при посттравматической нестабильности коленного сустава / Г. В. Куропаткин, В. Е. Бельский, М. Ю. Попова // Хирургические способы лечения заболеваний и последствий повреждений крупных суставов : сб. науч. тр. – Саратов, 1990. – С. 124-129.
4. Мякотина, Л. И. Биомеханические аспекты компенсаторных приспособлений в ходьбе при повреждении отдельных кинемати-

- ческих звеньев / Л. И. Мякотина // Медицинская биомеханика : тез. докл. междунар. конф. «Достижения биомеханики в медицине» : в 4-х т. - Рига, 1986. - Т. 3. - С. 257-262.
5. Мякотина, Л. И. Восстановление функционального состояния опорно-двигательной системы после билатерального эндопротезирования тазобедренных суставов / Л. И. Мякотина // VIII Всерос. конф. по биомеханике «Биомеханика 2006» : тез. докл. – Н. Новгород, 2006. - С. 181-182.
 6. Назаров, Е. А. Метод стабилотрии в оценке функции опоры при ортопедической патологии суставов нижних конечностей / Е. А. Назаров, А. В. Селезнев // Травматология и ортопедия XXI века : сб. тез. докл. VIII съезда травматологов-ортопедов России : в 2-х т. – Самара, 2006. - Т. 1. - С. 579-580.
 7. Николаев, Л. П. Руководство по биомеханике в применении к ортопедии, травматологии и протезированию / Л. П. Николаев. – Киев : Госмедиздат УССР, 1950. - Т. 2. - 307 с.
 8. Реутов, А. И. Дифференцированная оценка функциональных исходов лечения нестабильных переломов костей таза / А. И. Реутов, К. К. Стэльмах, Л. И. Мякотина // Травматология и ортопедия XXI века : сб. тез. докл. 8 съезда травматологов-ортопедов России : в 2-х т. - Самара, 2006. - Т. 1. - С. 433-434.
 9. Реутов, А. И. О функционировании опорно-двигательной системы у больных с укорочением нижних конечностей, осложненных стойким ограничением движений в коленном суставе / А. И. Реутов, С. В. Гюльназарова, Л. И. Мякотина // Травматол. и ортопед. России. - 2000. - № 1. - С. 45-49.
 10. Скворцов, Д. В. Функциональный ресурс развития ортопедии-травматологии / Д. В. Скворцов // VII съезд травматологов-ортопедов России : тез. докл. : в 2-х т. - Новосибирск, 2002. – Т. 2. - С. 341-342.
 11. Функциональное состояние мышц нижних конечностей больных в зависимости от интенсивности оперативного вмешательства / А. П. Шеин [и др.] // Морфофункциональные аспекты регенерации и адаптационной дифференцировки структурных компонентов опорно-двигательного аппарата в условиях механических воздействий : материалы междунар. науч.-практ. конф. - Курган, 2004. - С. 317-318.

Рукопись поступила 25.03.08.