Новые возможности оценки сократительной способности денервированных мышц с помощью механомиографии

К.м.н. М. КХИР БЕК, д.м.н., проф. В.Г. ГОЛУБЕВ, к.м.н. В.В. ЮЛОВ

Mechanomyography for the assessment of contractive ability of muscles

M. KHIR BEK, V.G. GOLUBEV, V.V. YULOV

Российская медицинская академия последипломного образования МЗ РФ, Москва

Проанализированы результаты механомиографического исследования длинного лучевого разгибателя кисти у 32 больных, страдающих нейропатией лучевого нерва. Представлен новый способ достоверной ранней диагностики реиннервационного процесса, основанный на анализе качественных сократительных характеристик мышц тыльной поверхности предплечья. Разработан малогабаритный механодатчик и способ его фиксации к поверхности тела. Описаны основные механомиографические изменения при денервационно-реиннервационном процессе. Предложен коэффициент сократимости, с помощью которого можно судить о происходящих изменениях во время проводимого лечения.

Ключевые слова: механомиография, нейропатия лучевого нерва, реиннервация.

Results of mechanomyographic study of long radial hand extensor in 32 patients with radial nerve neuropathy were analyzed. The novel way of secure early diagnostics of reinnervation was presented. The method uses the quality characteristics of muscular contractility. The small sized device with the body mount were worked out. The main mechanomyographic changes of de- and reinnervation process were registered and explained. The contractility index, allowing assess the treatment efficacy, was defined.

Key words: mechanomyography, radial nerve neuropathy, reinnervation.

Введение

Диагностика повреждений лучевого нерва на сегодняшний день остается актуальной задачей клинической медицины. По данным разных авторов, количество неудовлетворительных результатов лечения травматических повреждений лучевого нерва достигает 67,3% [6].

С учетом имеющейся классификации повреждений нервных стволов по их степени (классификация Mackinnon и Dellon, 1998) следует говорить, что внешняя непрерывность нерва не коррелирует с анатомией и функцией нервных волокон и соответственно не может определять тактику лечения: при визуальной целости нерва возможен грубый дефицит аксональной функции, требующий операции, и, наоборот, внешнее утолщение (внутриствольная неврома) не является показанием к операции, если функция большинства волокон сохранена [7].

Электрофизиологическая диагностика повреждения лучевого нерва, к сожалению, не всегда позволяет определить степень повреждения, особенно на ранних сроках, что может быть обусловлено физиологическим функциональным блокированием возбуждения при сохранении анатомической целостности нервных волокон [3, 5] или трансформацией мышц на фоне их частичной или полной денервации.

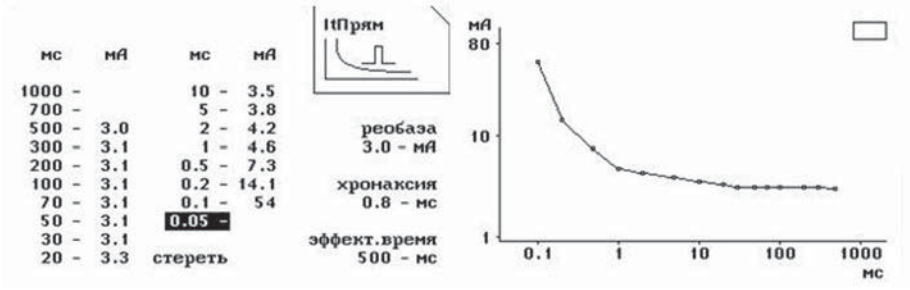
Интервал времени от полного блока проведения импульсов по нервным волокнам до возобновления их проведения по аксонам зависит от многих факторов и может регистрироваться как при полном, так и при неполном (на ранних сроках) повреждении лучевого нерва. Таким образом, несоответствие результатов визуализации и оценки функции нервных волокон, а также трудности интерпретации данных использования электрофизиологических способов при исследовании проводимости нервных волокон явились поводом для поиска новых клинических методов диагностики, позволяющих оценить степень повреждения нерва на ранних сроках после перенесенной травмы.

В связи с изложенным возникает интерес к изучению сократительных характеристик мышц тыльной поверхности предплечья после травматических повреждений лучевого нерва с помощью механомиографии (ММГ) как метода графической регистрации механического ответа мышцы в области фиксации малогабаритного прецизионного механодатчика при прямой или непрямой стимуляции мышцы электрическим током.

Самая частая причина нарушений сокращения скелетных мышц — денервационные расстройства [1, 11], а выраженность нарушений сократительной функции в медленной мышце больше, чем в быстрой [16].

© Коллектив авторов, 2013

e-mail: golubeff@inbox.ru



а б

Рис. 1. **Зависимость между силой и длительностью порогового раздражения: реобаза (а) — 3,0; хронаксия (б) — 0,8 мс. По оси абсцисс — длительность стимула раздражения (в мс), по оси ординат — сила раздражения (в мА).**

Установлено, что электромеханическое сопряжение мышечной ткани находится под влиянием не только ацетилхолина (импульсное воздействие мотонейрона), но и нейротрофических факторов (неимпульсное воздействие мотонейрона), которые играют важную роль в поддержании функционального состояния мышц, особенно при нарушении выделения ацетилхолина по каким-либо причинам [2,18].

В единичных наблюдениях описан метод исследования механических характеристик мышц с помощью пассивных движений конечностей в суставе [10], а также прямой или непрямой электрической стимуляции мышц. Производилась оценка регистрируемого механомиографического ответа и изучались следующие показатели: латентный период, длительность фазы сокращения, амплитуда ответа, длительность всего цикла [8, 13, 20]. Важно отметить, что временные показатели сокращения и расслабления мышцы — важнейшие параметры функционального состояния сократительных структур. Эти показатели сопоставимы только при соблюдении стандартных условий регистрации на одних и тех же мышцах [9].

Наиболее характерное изменение сократительных свойств после денервации — удлинение фазы сокращения [12, 14, 15, 17] как следствие изменения количества и скорости освобождения внутриклеточного кальция [19].

Цель нашего исследования — оценка функционального состояния лучевого нерва непосредственно путем изучения сократительной способности иннервируемых им мышц.

Материал и методы

Принимая во внимание анатомические и биомеханические особенности длинного лучевого разгибателя кисти (подвергается механическим растяжениям, характерным для всех денервированных мышц разгибателей, и первая из них получает свою иннервацию от лучевого нерва), мы выбрали эту мышцу для механомиографических исследований на разных стадиях развития денервационно-реиннервационного синдрома.

Мы изучали вызванную механическую активность в условиях режима одиночного сокращения, обусловленного прямой стимуляцией мышцы.

Необходимое условие для проведения исследования — исключение механического воздействия на тыльную поверхность предплечья. За сутки перед исследованием отменяли ношение кистедержателя, массаж, ЛФК.

Параметры (длительность, сила тока) стимуляции определяли в каждом конкретном наблюдении индивидуально в зависимости от электровозбудимости мышцы **(рис. 1)**.

Исследование электровозбудимости длинного лучевого разгибателя кисти проводили на аппарате «Myomed» (Голландия) с визуальной оценкой сокращения мышцы при стимуляции импульсами частотой 1 Гц, длительностью 500, 300, 100, 50, 10, 5, 1, 0,5, 0,1, 0,05 мс и построением кривой сила—длительность. В нормальных условиях мышца отвечает сокращением на импульсы короче 1 мс, при этом ее хронаксия (время, в течение которого должен действовать ток, равный двум реобазам, чтобы вызвать возбуждение; реобаза — минимальная сила тока, способная вызвать возбуждение) составляет менее 1 мс. В условиях денервации электровозбудимость пораженной мышцы значительно снижалась, увеличивался показатель хронаксии. В случае частичного или полного перерождения мышечной ткани исчезала ее способность отвечать на стимулы 1 мс и длиннее.

Механомиографический ответ длинного лучевого разгибателя кисти изучен у 43 больных в разные сроки после травмы. 36 (83,7%) пациентов обследованы неоднократно на фоне проводимого лечения. В целях оценки эффективности лечения в динамике сравнивали механомиографический ответ пораженной верхней конечности с таковым здорового предплечья. Анализировали каждый показатель ответа. В случае положительной динамики, подтвержденной

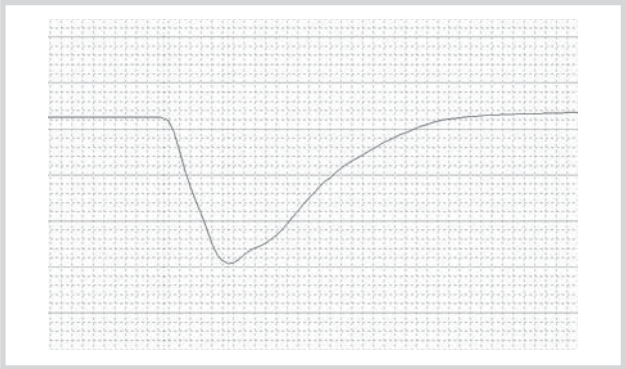


Рис. 2. **Механомиографический ответ длинного лучевого разгибателя кисти у здорового человека.**

при клиническом осмотре, сравнивали полученные результаты с данными предыдущих исследований.

Для регистрации показателей сократимости мышц в условиях клиники сконструирован малогабаритный прецизионный тензодатчик и разработан свободный от ограничений способ фиксации этого датчика на поверхности тела [4]. Механограммы анализировали с использованием 16-канального компьютеризированного аппаратно-программного комплекса Conan отечественного производства. Механический мышечный ответ регистрировали в виде графика **(рис. 2)**.

Оценивали следующие показатели механического мышечного ответа: латентный период, длительность фазы сокращения, амплитуду, общую длительность ответа [4, 8].

Результаты и обсуждение

Реиннервационный процесс в скелетных мышцах после частичной денервации имеет ряд особенностей по сравнению с таковыми после полной денервации. Это связано с импульсным и неимпульсным влиянием мотонейронов на мышечные волокна в процессе реиннервации.

При сравнении показателей денервированной мышцы с симметричными мышцами здоровой конечности установлено, что денервация приводит к удлинению латентного периода, увеличению длительности как фазы сокращения, так и фазы расслабления, удлинению всего цикла. Однако статистические данные показывали наиболее выраженные изменения сократительной способности мышцы после денервации в период сокращения, в котором наблюдалось удлинение этой фазы как следствие изменения количества внутриклеточного кальция и скорости высвобождения этого элемента, замедления образования актино-миозиновых комплексов.

При наличии благоприятных условий, способствующих регенерации нервных волокон, или при постоянном неимпульсном воздействии мотонейрона осуществлялась реиннервация мышц. Однако сократительные свойства реиннервируемых мышц при прямой стимуляции электрическим током значительно отличались от сократительной способности мышц, полностью лишенных иннервации.

Сокращение реиннервируемой мышцы по сравнению с мышцей, полностью лишенной иннервации, характеризовалось укорочением латентного периода, уменьшением длительности фазы сокращения, укорочением фазы расслабления, уменьшением общей длительности цикла, т.е. показатели сокращения приближались к физиологическим показателям здоровой мышцы **(табл. 1)**.

Мы провели ретроспективный анализ результатов ММГ, сравнили их с данными электронейромиографии (ЭНМГ) и клинико-неврологической картиной на фоне проводимого лечения.

У больных с частичным повреждением лучевого нерва сравнили полученные при ММГ показатели ответа пораженной конечности с соответствующими показателями здорового предплечья и проанализировали каждый параметр ответа. При положительных изменениях клинической симптоматики проводили сравнительный анализ показателей ответа с клинической картиной и результатами предыдущего исследования **(табл. 2)**.

Улучшение сократительных свойств (при положительной динамике) длинного лучевого разгибателя кисти наиболее отчетливо проявляется в фазе сокращения — 30 показателей, а также в длительности

Таблица 1. **Механомиографическое исследование длинного лучевого разгибателя кисти**

Сокращение	Латентный период	Амплитуда ответа	Фаза сокращения	Фаза расслабления	Общая длительность ответа
В условиях полной денервации (n=17)	0,02±0,009	0,097±0,05	25,94±39,20	0,38±0,15	0,30±0,14
На стадиях реиннервации (n=32)	0,02±0,01	0,10±0,04	64,08±140,28	0,55±0,42	0,48±0,43

Таблица 2. **Улучшение показателей механического ответа длинного лучевого разгибателя кисти при улучшении клинической картины у 32 больных**

Показатель	Латентный период	Амплитуда М-ответа	Фаза сокращения	Фаза расслабления	Общая длительность ответа
Числовое значение	12 (12,24%)	16 (16,33%)	30 (30,61%)	12 (12,24%)	28 (28,57%)

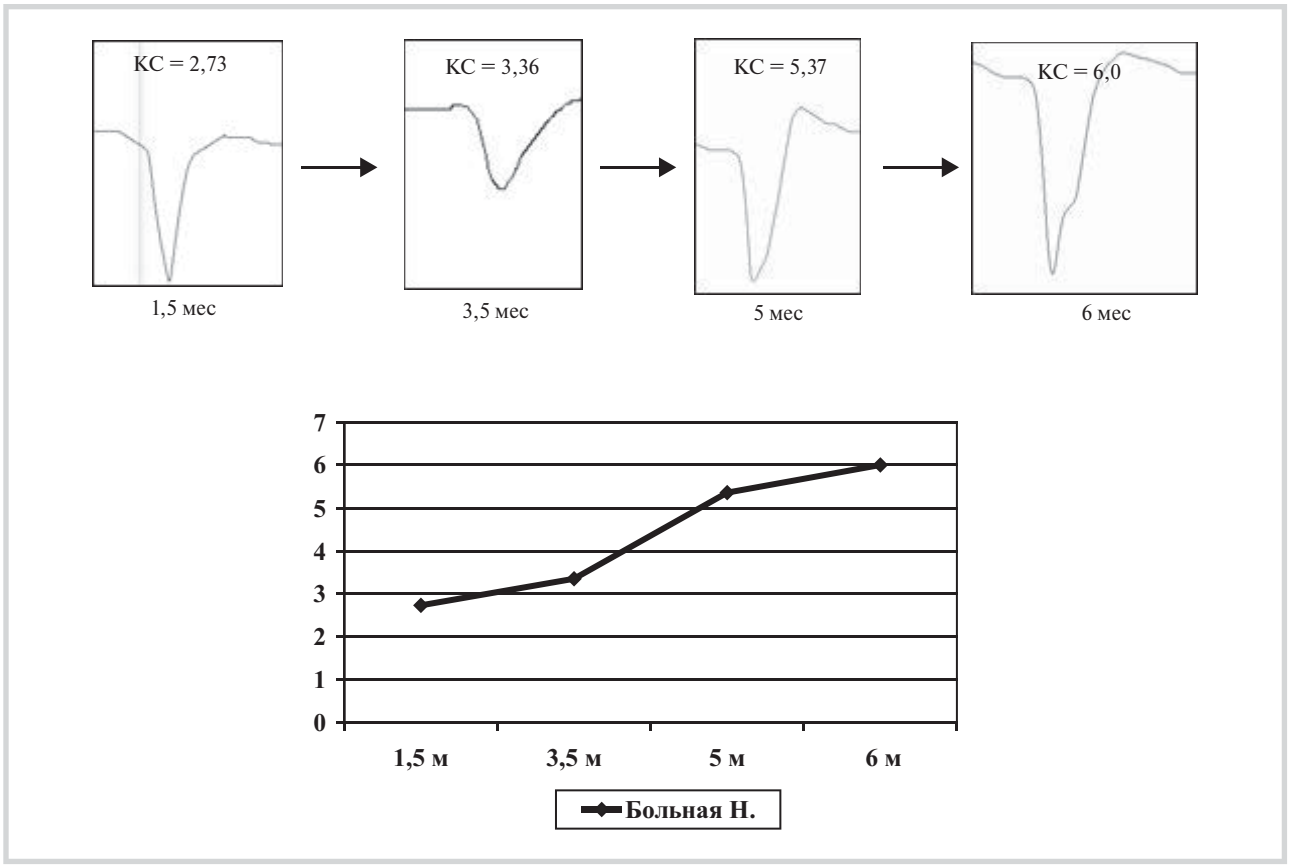


Рис. 3. **Прогрессирующее увеличение коэффициента сократимости в разные сроки после операции — признак положительной динамики (реиннервация мышцы).**

всего цикла — 28 показателей и в меньшей степени — в латентном периоде — 12 показателей, в амплитуде М-ответа — 16 показателей и в фазе расслабления — 12 показателей.

Если рассчитать отношение фазы расслабления и фазы сокращения к общей длительности ответа механограммы, можно сделать вывод, что фаза расслабления, амплитуда ответа и латентный период в меньшей мере отражают степень и стадии реиннервации, тогда как значительное уменьшение длительности фазы сокращения свидетельствует об улучшении качественных сократительных свойств мышц. Исходя из этого, мы предложили определять коэффициент сократимости (КС), который рассчитывается как отношение длительности всего цикла к длительности фазы сокращения.

Увеличение коэффициента сократимости в восстановительном периоде или в отдаленные сроки даже в случае отсутствия положительной клинической динамики — достоверный признак инициации процессов реиннервации мышц. Этот коэффициент использовали с целью оценки динамики восстановительных процессов и эффективности лечебных мероприятий.

Ретроспективный анализ полученных механомиографических данных с расчетом КС на фоне проводимого лечения показал увеличение данного коэффициента у 23 (71,88%) из 32 больных, у которых зарегистрировано восстановление функции кисти. Указанный коэффициент в конце курса терапии (в случае положительной динамики) достоверно увеличился по сравнению с таковым до лечения и составил в среднем 4,5 (до лечения 1,24).

Для иллюстрации изменений сократительной способности мышц в процессе их иннервации приводим клинический пример.

Больная *Н.*, 30 лет, находилась на стационарном лечении по поводу тяжелой политравмы. Имелись открытый многооскольчатый перелом дистального отдела левой плечевой кости со смещением отломков, нейропатия лучевого нерва на уровне нижней трети плеча. Травма получена в результате ДТП. К моменту обращения срок после травмы составил 8 дней. Объективно при осмотре выявлена плегия мышц разгибателей кисти и пальцев, анестезия в автономной зоне лучевого нерва. Спустя 10 дней с момента травмы выполнено оперативное вмешательство — ревизия, эпиневральный шов лучевого нерва с использованием микрохирургической техники, остеосинтез плечевой кости спицестержневым аппаратом. В послеоперационном периоде для оценки эффективности проводимых лечебных мероприятий использовали ЭНМГ, ММГ с расчетом КС в разные сроки после операции **(рис. 3)**.

В срок 1,5 мес после шва нерва мышечная сила лучевых разгибателей кисти составила 0, зарегистрирован полный блок проведения возбуждения по моторным и сенсорным волокнам лучевого нерва, КС составил 2,73. В срок 3,5 мес мышечная сила лучевых разгибателей кисти равнялась 1 баллу, по данным ЭНМГ, сохранился полный блок проведения возбуждения по всем нервным волокнам, КС 3,36. В срок 5 мес мышечная сила лучевых разгибателей 2 балла, однако зафиксирован сенсорный потенциал амплитудой 0,4 мкВ при сохранении полного блока проведения по моторным волокнам лучевого нерва, КС 5,37. В срок 6 мес мышечная сила лучевых разгибателей кисти составила 3 балла, зарегистрирован низкоамплитудный деформированный по форме М-ответ амплитудой 0,7 мВ, скорость распространения возбуждения по моторным волокнам 34 м/с, S-ответ 3,0 мкВ, КС 6,0.

Таким образом, прогрессирующее увеличение указанного коэффициента являлось абсолютным признаком реиннервации и результатом улучшения качественных сократительных свойств длинного лучевого разгибателя кисти, хотя электронейромиографические показатели на ранних сроках после эпиневрального шва нерва свидетельствовали об отсутствии положительной динамики. Функция левой кисти через 10 мес после операции полностью восстановилась.

С помощью имеющихся на сегодняшний день методов диагностики повреждения лучевого нерва можно оценить анатомическое состояние нерва (методы визуализации), с одной стороны, и функциональные характеристики нервных волокон (электронейромиография) — с другой. Результаты оценки функции нервно-мышечного аппарата — главный и решающий фактор, влияющий на выбор тактики лечения. Метод механомиографического исследования при травматических повреждениях лучевого нерва является эффективным инструментом оценки функции пораженных мышц, определяющим качественные и количественные характеристики исследуемого органа. Этот метод позволяет также оценить этапы развития и выраженность денервационно-реиннервационного процесса, что дает возможность выделить механомиографические показатели, влияющие на принятие решения о тактике лечения травм лучевого нерва.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богданов Э.И., Фасхутдинов Р.Р.* Сократительные свойства мышц при нарушениях периферической иннервации. Журн невропатол и психиат 1991; 129—131.
2. *Гехт Б.М. и др.* Трофический потенциал мотонейрона и проблема компенсаторной иннервации в патологии. Механизмы нейрональной регуляции мышечной функции. Л: Наука 1988; 53—78.
3. *Ерохин А.Н., Сысенко Ю.М.* К вопросу о диагностике и лечении повреждений лучевого нерва. Журн Гений ортопедии 2000; 2: 34—37.
4. *Косов И.С., Геллер И.И., Михайлова С.А., Кхир Бек М.* Вестн травматол и ортопед 2006; 3: 76—79.
5. *Левицкий В.Б., Кваша В.П., Шрамко В.И.* Диагностика и комплексное лечение переломов плечевой кости, осложненных поражением лучевого нерва. Врач дело 1993; 2—3: 138—141.
6. *Мамотходжаев А.Н.* Комплексное хирургическое лечение несросшихся переломов и ложных суставов диафиза плечевой кости в сочетании с повреждением лучевого нерва: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Ташкент 1994; 3: 18.
7. *Миронов С.П., Крупаткин А.И., Голубев В.Г., Панов Д.Е.* Диагностика и выбор тактики лечения при повреждениях периферических нервов. Вестн травматол и ортопед 2005; 2: 33—39.
8. *Покровский В.М., Коротько Г.В.* Физиология человека. М 2003; 81—84.
9. *Санадзе А.Г.* Состояние электромеханической системы мышцы при миастении. Журн невропатол и психиат 1982; 82: 11: 44—47.
10. *Сафронов А.Н., Шевелев И.Н.* Способ определения функционального состояния нервно-мышечной системы при травматических поражениях периферических нервов. Патент РФ №1438695, 1988. Бюл «Открытия и изобретения» №43.
11. *Хабиров Ф.А., Хабиров Р.А.* Мышечная боль. Казань: Книжный дом 1995.
12. *Drachman D.B., Johnston D.M.* J Physiol 1975; 252: 657—667.
13. *Edwards R.H.T.* Human muscle function and fatigue. Human muscle fatigue: physiological mechanisms. Ciba Foundation symposium 82. Ed. Pitman Medical. London 1981; 1—17.
14. *Finol H.J., Lewis D.M., Owens R.* J Physiol 1981; 319: 81—92.
15. *Gunderesen K.* Acta physiol scand 1985; 124.
16. *Herbison G.J., Jaweed M.M., Ditunno J.F.* Arch Phys Med Rehabile 1980; 62: 1: 456.
17. *Kean C.J.C., Lewis D.M., Megarrick J.D.* Ibid 1974; 237: 103—113.
18. *Krapu C.* Evoked responses in normal and diseased muscle with particular reference to twitch potentiation. Acta Neurol Scand 1984; 68: 269—315.
19. *Lewis D.M.* J Physiol 1972; 222: 51—75.
20. *Takamori M., Hazama R., Tsujihata M.* Neurology 1978; 28: 603—608.

Поступила 06.07.12