

ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЕЙСТВИЯ ПРИ СТИМУЛЯЦИИ БОЛЬШЕБЕРЦОВОГО НЕРВА ЧЕЛОВЕКА

Современная электрофизиология располагает большим арсеналом методических приемов для изучения функции нервно-мышечной системы человека. В частности, в клинической неврологии, ортопедии, анестезиологии [1—4] широко применяется метод электромиографической регистрации вызванных потенциалов действия (ВПД) мышцы в ответ на раздражение нерва. Электрическое возбуждение большеберцового нерва субмаксимальным раздражителем вызывает в камбаловидной мышце два ответа: *M*-ответ, возникающий в результате ортодромного распространения возбуждения по периферическому нерву, и *H*-рефлекс, появляющийся вследствие возбуждения наиболее толстых чувствительных волокон, идущих от веретен мышцы. В мышцах голени такой рефлекс вызвал и описал в 1922 г. Р. Hoffmann [5], именем которого этот ответ и был назван.

Интенсивное изучение вопроса рядом исследователей [6, 7] позволило определить нормативные параметры порога возбудимости, латентного времени, кривых вовлечения рефлекторного и моторного ответов в условиях стимуляции большеберцового нерва. Так, латентный период моносинаптического *H*-рефлекса камбаловидной мышцы составляет 20—30 мс и в значительной степени определяется длиной пути проведения возбуждения от места стимуляции (подколенная ямка) до мотонейронов (на уровне S_1) и обратно от мотонейронов до точки отведения электромиографического ответа от камбаловидной мышцы. К латентному периоду также относится и время одной синаптической задержки, равное 1 мс. Увеличение интенсивности раздражения выше пороговой сопровождается возрастанием амплитуды *H*-рефлекса и появлением на осциллограмме *M*-ответа. Латентный период этого потенциала составляет 4—5 мс, так как определяется довольно коротким путем проведения возбуждения от места стимуляции большеберцового нерва до точки отведения электромиограммы (ЭМГ) от камбаловидной мышцы. У здорового человека порог возникновения рефлекторного ответа ниже, чем моторного. Количественные параметры и динамика генерации этих ответов могут изменяться в зависимости от возраста и функционального состояния периферического нейро-моторного аппарата. При дальнейшем увеличении интенсивности раздражения рефлекторный ответ уменьшается по амплитуде и исчезает, а моторный увеличивается, достигая максимального значения при силе стимула, равной удвоенному порогу или выше. Это обусловлено погашением *H*-ответа встречной антидромной волной, распространяющейся по эфферентным волокнам, что вполне согласуется с данными ряда авторов [1, 10, 11]. Установлено также, что рефлекторный ответ при стимуляции других периферических нервов у взрослого здорового человека вызвать трудно. Он может наблюдаться при поражении центральной нервной системы или при особых условиях эксперимента. Кроме того, в мелких мышцах стопы зарегистрированы другие формы вызванного потенциала (*F*-волна), обладающего латентностью центрального ответа [4, 8, 9]. Происхождение *F*-волны, электромиографические характеристики и диагностические возможности требуют дальнейшего изучения.

В связи с этим цель нашего исследования — определение электромиографических параметров центральных и моторных ответов камбаловидной и медиальной группы мышц стопы в условиях электрической стимуляции большеберцового нерва здорового человека и при повреждениях коленного сустава.

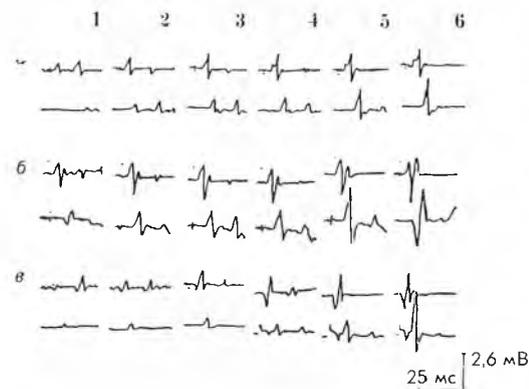
Материал и методика

Электромиографические исследования проведены у 25 здоровых и 182 пациентов с повреждением коленного сустава, находившихся на стационарном лечении в Белорусском научно-исследовательском институте травматологии и ортопедии. Здоровые лица были разделены на две группы: в возрасте 18—24 и 25—33 года. Возраст обследованных пациентов превышал 24 года.

Большеберцовый нерв раздражали одиночными прямоугольными импульсами электрического тока от блока стимулятора электромиографа «Медикор» через биполярные поверхностные электроды, расположенные в подколенной ямке. Отведение вызванных потенциалов камбаловидной и медиальной группы мышц подошвы стопы осуществляли также с помощью биполярных поверхностных электродов. Длительность раздражающего стимула составляла 0,05 мс; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 и 2,0 мс. Интенсивность раздражения постепенно увеличивали от подпороговой до супра-максимальной.

Результаты и их обсуждение

В камбаловидной мышце здоровых лиц из второй возрастной группы пороговое напряжение *H*-рефлекса составляло $66,3 \pm 6,9$ В, латентное время $20,3 \pm 3,4$ мс, длительность потенциала $9,2 \pm 1,8$ мс, максимальная амплитуда $3,2 \pm 0,5$ мВ. С усилением раздражения в реакцию вовлекались и моторные аксоны, что приводило к появлению *M*-ответа, который характеризовался более высоким порогом $117,5 \pm 11,9$ В и амплитудой $5,4 \pm 0,6$ мВ, большим латентным временем $5,1 \pm 2,2$ мс и одинаковой длительностью потенциала $9,2 \pm 1,6$ мс. Параметры *H*-рефлекса и *M*-ответа камбаловидной мышцы у лиц первой возрастной группы имели незначительные отклонения от указанных, а характер взаимоотношений этих ответов был тот же. Центральные ответы отводящей мышцы большого пальца стопы существенно различались в обеих возрастных группах. Так, у молодых людей из первой группы центральный ответ появлялся при меньшем пороговом напряжении, чем мышечный. Средние значения порогового напряжения составляли $75,3 \pm 10,1$ и $102,5 \pm 12,3$ В соответственно, в то время как величина порогового напряжения *H*-рефлекса камбаловидной мышцы у этих же лиц была $66,3 \pm 6,02$ В. Это говорит о более низкой возбудимости мышц стопы по сравнению с камбаловид-



ВПД на стимуляцию большеберцового нерва здорового человека в возрасте 18 (а), 33 лет (б) и при повреждении коленного сустава (в). Верхняя кривая — ВПД камбаловидной мышцы; нижняя — ВПД мышцы, отводящей большой палец стопы. ВПД зарегистрированы при стимуляции большеберцового нерва одиночными импульсами возрастающей амплитуды (1—6), длительностью 1 мс

ной. Выявлена четкая зависимость латентного времени центрального ответа от длины участка проведения возбуждения: от 25 до 33 мс при среднем значении $27,9 \pm 3,6$ мс (латентное время рефлекторного ответа камбаловидной мышцы — $20,4 \pm 3,4$ мс). Латентное время моторных ответов отводящей мышцы большого пальца и камбаловидной мышцы составляло $9,1 \pm 1,6$ и $5,1 \pm 2,2$ мс соответственно. Длительность центральных и моторных ответов изучаемой мышцы почти не различалась: $9,2 \pm 1,8$ и $9,5 \pm 1,7$ мс ($P > 0,05$).

Изучение динамики соотношения амплитуд центрального и моторного ответов в первой

группе показало, что возрастание интенсивности раздражения выше пороговой сопровождалось вначале увеличением амплитуды центрального ответа, а затем ее уменьшением до полного исчезновения, в то время как моторный ответ продолжал расти до максимального (см. рисунок *а*). Максимальная амплитуда центрального ответа у всех испытуемых была ниже, чем моторного. Отношение их колебалось от 0,22 до 0,54 у разных лиц, а отношение максимальной амплитуды *H*-рефлекса и *M*-ответа камбаловидной мышцы — от 0,61 до 0,93. Эти относительные величины указывают на то, что рефлекторная активизация двигательных единиц отводящей мышцы большого пальца стопы значительно ниже, чем камбаловидной. Термин «рефлекторная» мы относим к центральному ответу на том основании, что его электромиографические характеристики совпадают с таковыми *H*-рефлекса камбаловидной мышцы. Анализ полученных данных позволяет предположить, что до 24 лет мотонейронный пул мышц стопы доступен для моносинаптической активации под влиянием электрического раздражения, поступающего по мышечным афферентам. В свете проведенных исследований [12] это объясняется тем, что супраспинальный контроль каудальных сегментов спинного мозга у человека функционально созревает в начале третьего десятилетия жизни, и в результате возникает дефицит регулирующих нисходящих влияний.

Характеристики центрального ответа мышц стопы на стимуляцию большеберцового нерва у здоровых лиц второй группы были иными. Величина порогового напряжения центрального ответа больше, чем моторного: $105,1 \pm 12,0$ и $86,2 \pm 8,9$ В. Амплитуда его с увеличением напряжения стимула изменяется незначительно, в то время как амплитуда моторного ответа прогрессивно увеличивается (см. рисунок *б*). Выявлено, что пороговые величины и амплитуда центрального ответа отводящей мышцы различны на правой и левой нижних конечностях: эти параметры оказывались увеличенными на той конечности, которая подвергалась исследованию позже. Сравнение максимальных амплитуд показало, что центральный ответ был всегда ниже моторного, отношение их составляло 0,13. Следовательно, центральный ответ возникает при супрамаксимальной для *M*-ответа интенсивности раздражения. Указанные характеристики и динамика взаимоотношений ответов мышц стопы у взрослых здоровых лиц позволила определить центральный ответ как *F*-волну, что вполне согласуется с опубликованными ранее данными [4, 8, 9]. В соответствии с [4, 8, 9] этот потенциал не является рефлекторным, а представляет собой возвратный разряд, т. е. ответ мотонейрона на антидромную волну возбуждения, возникающую при стимуляции нерва. Изучение активности одиночных двигательных единиц подтвердило предположение об антидромном характере генерации *F*-волны [13, 14].

Тестируемый нами большеберцовый нерв проходит в области коленного сустава, который часто повреждается, особенно у спортсменов, при чрезмерных нагрузках или нефизиологичных движениях [15]. Представляло интерес изучить характеристику ВПД указанных мышц при электрической стимуляции большеберцового нерва. Исследование динамики ответов отводящей мышцы у лиц с повреждением менисков коленного сустава выявило различные характеристики ответов на интактной и травмированной конечностях. Наблюдались два варианта пороговых соотношений центрального и моторного ответов этой мышцы на травмированной конечности: пороговое значение центрального ответа было ниже, чем моторного ($102,4 \pm 9,2$ и $112 \pm 24,1$ соответственно) или оба ответа появились при одном и том же напряжении тока. Своеобразна и динамика взаимоотношений ответов: величина амплитуды центрального ответа с увеличением напряжения практически не изменялась, а моторного — прогрессивно возрастала и после исчезновения первого (см. рисунок *в*). В связи с этим наблюдаемый центральный ответ отводящей мышцы большого пальца стопы мы рассматриваем как модификацию антидромного ответа (*F*-волны) в условиях нарушения возбудимости нервно-мышечного аппарата травмированной конечности. На интактной ноге ха-

раактеристики F -волны мышц стопы были такими же, как и у взрослых здоровых лиц. Повторные исследования через три недели после операции менискэктомии показали, что F -волна появляется только при максимальной величине M -ответа, параметры ее неустойчивы, при возрастании силы раздражения ответ угнетается.

Изложенные данные о характере возникновения и развития центральных и моторных ответов мышц стопы при травме, уменьшение амплитуды F -волны и модификация ее электрофизиологической динамики свидетельствуют о том, что процессы нарушения возбудимости осуществляются не только на уровне периферического нейро-моторного аппарата, но также распространяются и на мотонейроны спинного мозга.

Таким образом, у здоровых молодых лиц (18—24 года) H -рефлекс может наблюдаться не только в камбаловидной, но и в мелких мышцах стопы, в то время как в более старшем возрасте центральный ответ представляет собой антидромную F -волну. Результаты исследования указывают на возможность использования H -рефлекса и F -волны для диагностики нервно-мышечных нарушений при повреждениях крупных суставов. Количественная оценка величин ответов, вызванных электрической стимуляцией, при сохранении постоянных условий раздражения позволяет характеризовать возбудимость мотонейронов спинного мозга, оценивать динамику роста симптомов травмы, а также эффективность применяемого лечения.

Список литературы

1. Новикова В. П. // Невропатол. и психиатр. 1981. Вып. 12. С. 1804.
2. Воронович И. Р., Шалатонина О. И. // Ортопед. и травматол. 1979. № 1. С. 5.
3. Белоаярцев Ф. Ф. // Электромиография в анестезиологии. М., 1980. С. 68.
4. Персон Р. С. // Физиология человека. 1982. Т. 8. № 6. С. 1018.
5. Hoffmann P. // Untersuchungen über die Eigenreflexe Menschlicher Muskeln. Springer, Berlin, 1922.
6. Коц Я. М. // Организация произвольного движения. Нейрофизиологические механизмы. М., 1975.
7. Magladery I. W., Dougal D. B. // Bull. Johns. Hork. Hosp., 1950. V. 86. P. 265.
8. Frontelj I. V. New Developm. in Electromyogr. and Clin. Neurophysiol. Basel, Karger, 1973. V. 3. P. 318.
9. Görke W. // Z. EEG.—EMG. 1974. V. 5, № 3. P. 159.
10. Старобинец М. Х., Верник А. Я. // Нейрофизиология. 1973. Т. 5. № 6. С. 563.
11. Верник А. Я. // Электромиографические исследования в клинике. Тбилиси, 1976. С. 30.
12. Старобинец М. Х., Волкова Л. Д. // Физиология человека. 1984. Т. 10. № 6. С. 965.
13. Bergmans I. // New Developm. in Electromyogr. and Clin. Neurophysiol. Basel, Karger, 1973. V. 2. P. 89.
14. Trotelj I. V. // Contributions to the 6-th Int. Congress of Electromyography. Stockholm, 1979. P. 34.
15. Башкиров В. Ф. // Возникновение и лечение травм у спортсменов. М., 1981. С. 157.

УДК 591.524.11(476)

А. Ю. КАРАТАЕВ, И. В. КАРАТАЕВА

ВЛИЯНИЕ СБРОСА ТЕПЛЫХ ВОД НА МАКРОЗООБЕНТОС ЛИТОРАЛИ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ

Материал и методика

Исследования проведены на оз. Лукомском (площадь зеркала 36,7 км², средняя глубина 6,7 м, максимальная 11,4 м, объем 243 млн м³), являющемся с 1969 г. водоемом-охладителем Лукомльской ГРЭС.

Пробы отбирали в 1979 и 1980 гг. на четырех постоянных станциях, одна из которых находилась в зоне озера с естественным температурным