

УДК 577.3

ЭЛЕКТРОМИОГРАММЫ И МЕХАНОГРАММЫ ПАЛЬЦЕВ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Ильченко Е.А., Шугуров О.А.

В опытах, направленных на выяснение различий сократительных способностей мышц, вызывающих сгибание различных пальцев [1], определялась связь между механическими процессами – сгибанием пальца руки человека, регистрируемыми в виде кривой, представляющей собой механограмму, и электрическими изменениями в мышечных структурах (электромиограмма). Чрескожные раздражения соответствующих нервов осуществляли с помощью электрических импульсов тока заданной амплитуды (от 0,1 до 1,5 мА) и длительности (от 0,5 до 4 мс). Раздражающие стимулы подводили через пуговчатые накожные электроды. Для вызова ответной реакции активный электрод (катод) диаметром 1 см помещали над проекцией срединного нерва в центральной части кубитальной ямки. Анод располагали на локте с противоположной стороны относительно катода.

Электромиограммы, отведённые с предплечья верхней конечности, после усиления подавали на крейт КАМАК для дальнейшей обработки на ЭВМ. В случае слабых сигналов использовали метод синхронного накопления потенциалов. Механограммы регистрировались с помощью датчика, включающего автогенератор (частота 2 МГц), в контуре которого располагался ферромагнитный сердечник, связанный с петлёй, которую набрасывали на исследуемый палец испытуемого. Сгибание пальца вследствие перемещения сердечника приводило к изменению частоты генератора. Частотно модулированный сигнал с выхода автогенератора после усиления поступал на частотный детектор, и далее, для последующей обработки, – на ЭВМ, и для контроля – на осциллограф. При проведении опытов посредством подвешенных небольших грузов (20 – 50 г) вызывали постоянное отягощение пальцев, способствующее быстрейшему разгибанию после окончания активной фазы.

Кривые механограмм имеют форму, близкую к колоколообразной, с более крутым передним фронтом по сравнению с задним срезом. Время появления механической реакции (сгибания пальца) существенно больше латентного

периода электромиограммы и для пальцев составляет от 120 до 220 мс, тогда как в зарегистрированной электромиограмме оно меньше, что соответствует Н-рефлексу [2]. Увеличение силы раздражения приводит к увеличению амплитуды механограммы и электромиограммы, а также к их смещению в область меньших временных интервалов.

Задержка появления механической реакции пальца соответственно достигает примерно 1/3 от начала до конца волны, что составляет около 0,25 – 0,45 с. Регистрировались также двухфазные механограммы, когда при небольшой силе стимулов появлялась поздняя волна ответа, а с увеличением – более ранняя, более высокоамплитудная волна. Такая картина имеет место и при регистрации электромиограммы.

В опытах с одновременной регистрацией сгибания пальца и электромиограммы обнаружены сходные изменения некоторых параметров, характеризующих эти различного вида реакции, происходящие не синхронно, а в различные временные промежутки. Тем не менее те и другие, возникающие спустя определённые отрезки времени после нанесения одиночного раздражения, существенно зависят от величины раздражения. Как показали опыты, при умеренной силе раздражения, вызывающего ответную реакцию, составляющую примерно половину амплитудного значения, латентный период электромиограммы равен 10 – 25 мс, а кривая механограммы регистрируется через 200 – 400 мс после нанесения одиночного раздражения. В этом одно из существенных различий электромиограммы и механограммы. Следует отметить, что различия имеются и в том плане, что регистрация упомянутых эффектов осуществляется в удалённых на определённое расстояние друг от друга участках. Однако имеется сходство течения исследуемых процессов, проявляющееся при увеличении силы раздражения до субмаксимальной. В этом случае имеет место уменьшение латентного времени электромиограмм (до 5 – 15 мс) и времени, спустя которое раздражающий стимул вызывает сгибание пальца (120 – 350 мс). Таким образом, опыты показали смещение максимума электромиограммы и одновременно максимума сгибания пальца в сторону меньших интервалов времени после нанесения сильного (субмаксимального) раздражения, что может в определённой мере служить косвенным подтверждением существования органической связи этих процессов. Было обнаружено, что отношение латентного периода электромиограммы (t_1), зарегистрированной при первоначальной силе, вызывающей реакцию, равную ($A_{\max}/2$), к латентному периоду миограммы, вызванной субмаксимальным раздражением (пусть будет t_1'), имеет значение, близкое к тому, которое вычислено для таких же характеристик, полученных при регистрации сгибания пальца. Для анализа смещения волн электромиограммы и механограммы, при увеличении силы раздражения в область меньших интервалов времени, в целях

получения количественных соотношений этих процессов, мы воспользовались безразмерными коэффициентами $a = t_1/t_1'$ и $b = t_2/t_2'$. Здесь t_2 и t_2' – время, спустя которое обнаруживается сгибание пальца при силе, вызывающей механограммы, амплитуды которых равны $A_{\max}/2$ и A_{\max} соответственно.

Экспериментальные данные показывают, что увеличение силы раздражения ведёт к уменьшению латентного периода электромиограммы и времени, спустя которое обнаруживается начало сгибания пальца. При этом сокращение времени от t_1 до t_1' и от t_2 до t_2' происходит практически с

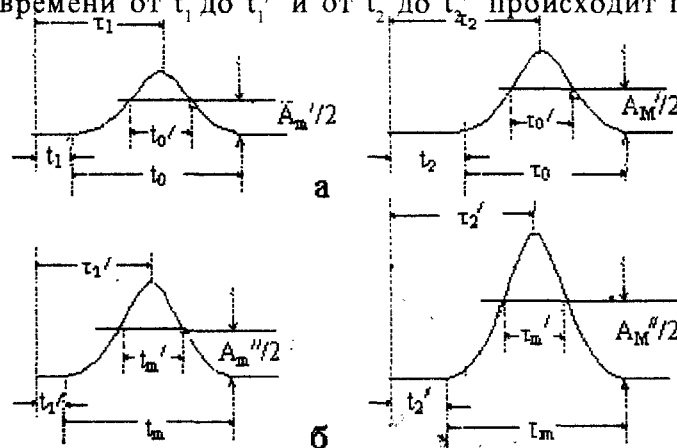


Рис. Схема интервалов времени для вычисления коэффициентов a, b, c, d : примерные кривые электромиограммы (слева) и механограммы (справа), при раздражении, вызывающем ответные реакции с амплитудой $A = A_{\max}/2$ (а) и при $A = A_{\max}$ (б). $\tau_1, \tau_1', \tau_2, \tau_2'$ – временные интервалы между раздражающими стимулами и максимальным значением ответной реакции; t_0 и t_m – длительность электромиограммы на уровне базисной линии, τ_0 и τ_m – длительность механограммы на базисной линии, t_0' и t_m' – длительность электромиограммы на уровне $A_{\max}/2$, τ_0' и τ_m' – то же для механограммы.

одинаковым процентным отношением, о чем свидетельствует близость значений коэффициентов a и b ($a = 1,69 \pm 0,17$ и $b = 1,76 \pm 0,17$), характеризующих сокращение латентного времени электромиограммы и времени до начала сгибания пальца. Данные были получены на различных испытуемых с использованием среднего пальца. Практически такие же числовые значения коэффициентов a и b были получены и в экспериментах с использованием указательного, безымянного пальцев и мизинца.

Следует отметить, что нахождение интервалов времени, определяющих начало механограммы, не вызывает затруднений, но при одновременной регистрации электромиограммы и механограммы (вследствие большого различия длительности этих процессов) латентный период первой не

превышает десятков мс, тогда как для кривой сгибания пальца он измеряется сотнями мс. Мы в качестве временного параметра этих процессов использовали также интервалы времени от момента нанесения раздражения до момента, когда кривая электромиограммы достигает максимальной величины. На рисунке эти временные показатели обозначены как τ_1 и τ_1' (при регистрации в случае раздражения небольшой (τ_1) и субмаксимальной (при τ_1') силой, для механограммы – τ_2 и τ_2' соответственно). Расчет коэффициентов, представляющих собой отношения параметров $a' = \tau_1 / \tau_1'$ и $b' = \tau_2 / \tau_2'$, показал практически полное совпадение полученных в этом случае результатов с теми, когда использовались средние значения коэффициентов a и b .

Одним из параметров, характеризующих форму кривой, имеющей экстремум, является время полуширины кривой, то есть интервал времени между точками на восходящей и нисходящей ветви кривой, находящимися на уровне половины максимального значения, достигаемого этой кривой, то есть при $A = A_{\max} / 2$. В наших опытах регистрировали указанный параметр кривой электромиограммы и механограммы также при двух силах раздражения, то есть когда амплитуда ответной реакции равнялась половине максимальной ($A = A_{\max} / 2$) и при $A = A_{\max}$. При этом следует отметить, что использование такого подхода было основано на результатах наших опытов с регистрацией электромиограммы и механограммы, показавших сходную картину зависимости амплитуды упомянутых процессов, достигающей максимальной величины при одинаковых параметрах раздражающих импульсов. Данные опытов, которые могут на наш взгляд, позволить получить косвенные доказательства единства процессов, которые мы регистрировали, основанные на регистрации временных параметров, методически сходны с теми, которые описаны выше на рисунке.

Анализируя результаты проведенных опытов, мы обнаружили особенности изменений электромиограммы и механограммы при изменении силы раздражения. К числу таких особенностей можно отнести не только изменения интервалов времени между моментом нанесения раздражения и проявлением соответствующего эффекта, но и то, что при слабых раздражениях, вызывающих ответы с большим скрытым периодом, в ряде случаев ответной реакции предшествует низкоамплитудный компонент (как у электромиограммы, так и у механограммы), который появляется с гораздо меньшей задержкой и растет примерно пропорционально величине раздражения. При достижении амплитудой максимальной величины более поздний, но появившийся в начале опыта компонент, как правило, исчезает. Для подобного поведения электромиограммы объяснение может быть получено, если учесть,

что поверхностное расположение раздражающих электродов при соответственно подобранной силе раздражения может привести в возбуждённое состояние волокна афферентного срединного нерва, вследствие чего центростремительно направленные потенциалы действия моносинаптически активируют мотонейроны, возникают эфферентные потоки, приводящие к появлению компонента электромиограммы с достаточно большим латентным периодом, что соответствует описанному в литературе [2, с. 213] Н-рефлексу. Время задержки этого потенциала лежит (у различных испытуемых) в пределах 11-20 мс (среднее значение $15,16 \pm 2,20$ мс). Увеличение силы раздражения может, в определенной мере активировать эфферентные волокна, вызывая тем самым прямое возбуждение мышечных волокон, отражение активности которых проявляется в генерации более раннего компонента миограммы. Следует отметить, что при возбуждении эфферентного пути, которое приводит к появлению миограммы, антидромно направленные импульсы в эфферентах, распространяясь в направлении к мотонейронам, встречаются с теми, которые движутся от тел мотонейронов, что и приводит к столкновению и, следовательно, к уменьшению амплитуды более позднего компонента миограммы и в конце концов (при дальнейшем увеличении силы или длительности раздражающего стимула) к исчезновению упомянутого компонента, так что остается лишь ранний (с латентностью 6 – 11 мс) компонент электромиограммы.

Из рассмотренных экспериментов остается неясным изменение механограммы в наших условиях опытов. Первое различие – в длительности периода, спустя который появляются миограмма и механограмма. Это время равно 17 мс и 330 мс соответственно. Второе различие – в длительности этих процессов, составляющей 30 и 350 мс. Тем не менее имеется некоторое сходство между зарегистрированными в наших опытах процессами. Первое – сходство нормированных кривых миограммы и механограммы: обе имеют колоколообразную форму. Второе – чрезвычайно близкие значения временных коэффициентов (рис.) во всех случаях регистрации того и другого процесса при двух различных силах раздражения. Каждый раз при увеличении раздражения до субмаксимальной величины происходит смещение максимумов электромиограммы и механограммы в область меньших интервалов времени. Средние значения коэффициентов для этих случаев равны $a=1,67 \pm 0,17$ и $b=1,76 \pm 0,17$, что свидетельствует о вероятности общности процессов, лежащих в основе причины появления миограммы и механограммы. Общность процессов может быть также подтверждена практически полным совпадением временных коэффициентов миограммы $c=1,78 \pm 0,13$ ($c=(t_0'/t_0)$ при $A=A_{\max}/2$) и $c'=1,74 \pm 0,11$ ($c'=(t_m'/t_m)$ при $A=A_{\max}$) с теми, которые получены для механограммы: $d=1,78 \pm 0,15$ ($d=(\phi_0'/\phi_0')$ где $A=A_{\max}/2$) и $d'=1,74 \pm 0,15$ ($d'=(\phi_m'/\phi_m')$ при $A=A_{\max}$).

Полученные расчетные данные подтверждают, на наш взгляд, сходство временного развития электрических сдвигов в области расположения отводящих электродов и механических сдвигов, имеющих место на некотором расстоянии от точки регистрации электрических потенциалов.

Несинхронность этих процессов обусловлена, вероятно, не столько их пространственной разобщенностью, сколько сложностью механических связей между отдельными последовательно соединенными мышечными волокнами, возникновением трения между ними, трения в сухожильных частях и соединениях и другими причинами.

Список литературы

1. Ефанова С.Г., Шугуров О.А., Ильченко Е.А. Сравнительная характеристика двигательной реакции различных пальцев руки // Регуляция в живых системах. – Днепропетровск: ДГУ, – 1998. – С.59 – 61.
2. Персон Р.С. Н-рефлекс в физиологических исследованиях // Физиол. чел. – 1994. – Т.20. – №4. – С. 154 – 156.
3. Сливко Э.И., Руднева В.Н. Длительное торможение Н-рефлекса человека при произвольных сокращениях скелетных мышц // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 2001. – Т.10. – №2. – С. 213.

Поступила в редакцию 04.04.2003 г.