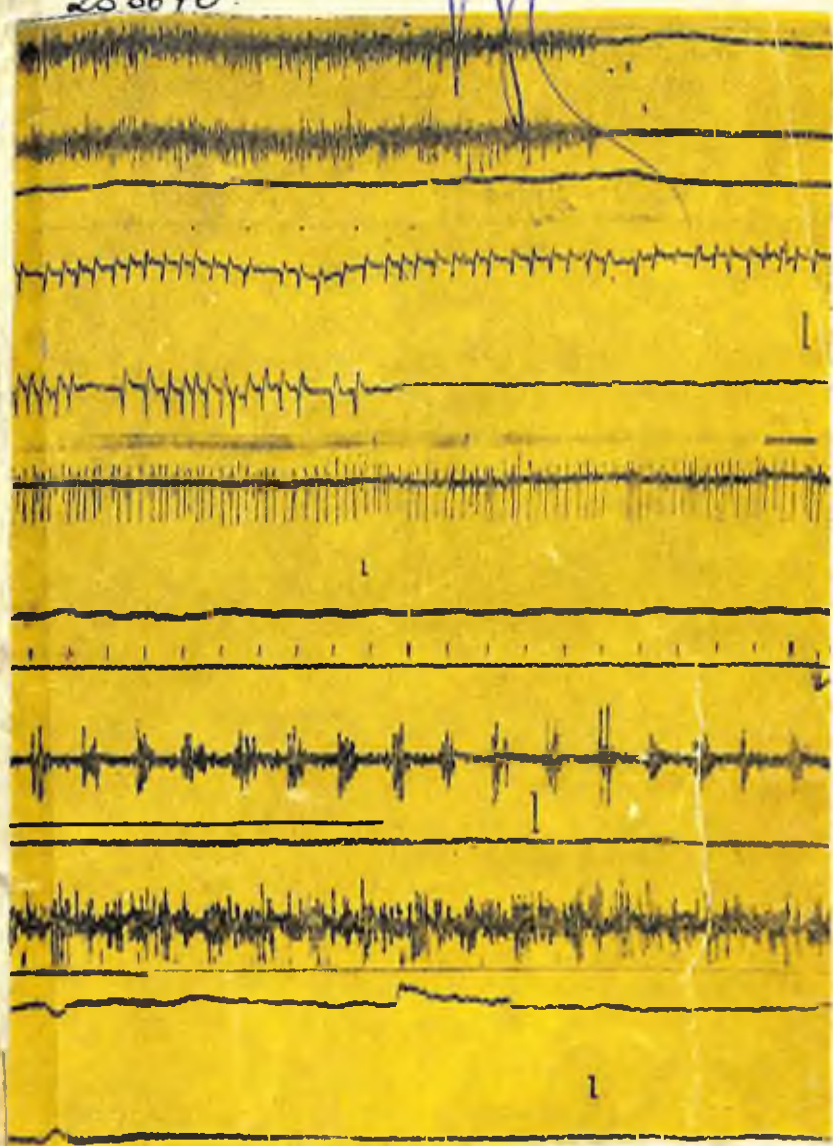


616-07
10-89
258670



ЮСЕВИЧ ЮДИФЬ САМОЙЛОНА
Очерки по клинической электромиографии

Редактор Т. И. Горюнова
Техн. редактор Н. И. Людковская.
Корректор Л. А. Сазыкина
Художественный редактор В. И. Микрикова.
Обложка художника В. И. Микриковой.

Сдано в набор 9/II 1972 г. Подписано к печати 2/VI 1972 г. Формат бумаги 84X108/32, печ. л. 3,0 (условных 5,04 л.), 5,58 уч.-изд. л. Бум. тип. № 2. Тираж 3300 экз. МН-71.

Издательство «Медицина». Москва, Петроверигский пер., 6/8.
Заказ 50. Типография издательства «Волгоградская правда». Волгоград. Привокзальная площадь. Дом печати.
Цена 52 коп.

Ю. С. ЮСЕВИЧ
**ОЧЕРКИ ПО КЛИНИЧЕСКОЙ
ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ**

АКАДЕМИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУК СССР

Ю. С. Юсевич

ОЧЕРКИ ПО КЛИНИЧЕСКОЙ
ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ



Москва «Медицина» 1972

28 JAN 2015

Издание одобрено и рекомендовано к печати
редакционно-издательским советом
при президиуме АМН СССР

Обработано

В предлагаемой вниманию читателя книге обобщены итоги исследовательской и педагогической работы автора, а также приведены некоторые литературные данные по нейро- и электрофизиологии двигательной функции человека: об электрогенезе нейромоторного аппарата человека при различных видах двигательных реакций, значении этой ветви прикладной электрофизиологии для теоретической нейрофизиологии движений и для клиники двигательных расстройств, возникающих при первичном поражении нервной системы или вторично обусловленных (в связи с поражением других систем организма), нарушениях мышечного тонуса, силы и т. п., об основных направлениях клинического электромиографического исследования — локальной, стимуляционной и глобальной электромиографии, технике и методике каждого из этих направлений.

Знакомство со всеми этими вопросами необходимо для самостоятельной организации и проведения клинических электромиографических исследований.

Рассчитана книга на врачей и электрофизиологов, пользующихся электромиографией в своей практической и исследовательской работе.

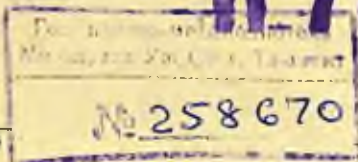
The book describes briefly the general principles of neurophysiology and electrophysiology of man's motor function. The knowledge of these principles is essential for original work in clinical electromyography.

The author makes up his mind to present basic ideas on electrogenesis of man's neuromotor apparatus in various types of motor reaction, to describe role of applied electrophysiology for theoretical neurophysiology of motion and clinic of motor disorders resulted from primary lesion of nervous system or from secondary disorders of muscular tonus, power etc.

The author throws light on basic trends of clinical electromyography (local stimulative, global) and specifics of their technique and method.

The book is intended for physicians and clinical electrophysiologists, using in their work method of electromyography.

П 78



5-3-1

БЗ-76-71-49

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря быстрому совершенствованию электрографической аппаратуры за последние десятилетия значительно расширились возможности электрофизиологических, в частности электромиографических, исследований и получила бурное развитие экспериментальная и клиническая электромиография. Резко возросло число опубликованных статей, монографий и учебников по этим вопросам (Ю. С. Юсевич, 1958, 1963; Р. С. Персон, 1969а, б; Л. Г. Охнянская, А. А. Комарова, 1970; Bromap, 1949; Denny-Brown, 1949; Buchthal, 1957; Isch, 1963; Mayer, 1965; Serra, 1966; Basmajian, 1967; Marinacci, 1968, и др.).

В связи с этим возникла потребность в специальном электромиографическом международном журнале, который начал выходить в 1961 г. В журнале публикуются результаты электромиографических исследований, аннотированная библиография, информация о вышедших работах и о регионарных и международных съездах по вопросам нейро- и электрофизиологии (Electromyography. Quarterly Review. International Journal of electromyography and clinical neurophysiology included official Journal of ISEK. Belgium, Louvain).

Известно, что электрическая активность, возникающая в мионевральных окончаниях и мышечных волокнах, непосредственно характеризует возбуждение иннервирующих эти мышцы двигательных клеток сегментарных и ядерных аппаратов. Однако в естественных условиях возбуждение мотонейронов в свою очередь обусловлено всей «предысторией» интеграции импульсов в надсегментарных отделах центральной нервной системы. Поэтому электромиограмма позволяет судить не только о возбуждении периферических звеньев нейромоторной системы, но и о том, «в какой мере электрическая активность может быть связана с изменениями самой двигательной клетки и какие особенности биоэлектрических колебаний могут быть обусловлены изменениями в синаптических и надсегментарных структурах» (Denny-Brown, 1949). Именно это обстоятель-

ство позволяет при исследовании здоровых людей установить особенности биоэлектрической активности мышц, характерной для различных видов нормальных двигательных реакций, а при изучении больных с двигательными расстройствами уловить своеобразные изменения мышечных потенциалов, обусловленные ведущим синдромом, т. е. особенностями нарушенного функционального состояния центральных и периферических звеньев сенсомоторной системы (М. Б. Кроль, 1935).

Накопленный фактический материал выдвигает перед клиническим электрофизиологом ряд принципиальных и методических вопросов, без решения которых невозможно использование электромиографии в исследовательских и диагностических целях.

Однако в монографиях, опубликованных в СССР и за рубежом, недостаточно заостряется внимание на этих вопросах. Так, в них освещаются либо общие основы электромиографии и ее использование при изучении двигательной функции здоровых людей (Р. С. Персон, 1969), либо обобщаются результаты электромиографических исследований больных с различными двигательными расстройствами (Ю. С. Юсевич, 1958, 1963; Л. Г. Охнянская, А. А. Комарова, 1970, и др.). К тому же большинство опубликованных в нашей стране монографий разошлось сразу после публикации, а монографии зарубежных авторов редко можно найти даже в центральных библиотеках больших городов. Между тем потребность в рассмотрении этих проблем возрастает в связи со все большим использованием электромиографии при изучении сложных видов двигательной активности здоровых и больных людей. Налаживание выпуска отечественной электрографической аппаратуры и улучшение снабжения ею исследовательских и клинических учреждений также способствуют повышению интереса клинических электрофизиологов и врачей к этому методу.

Электромиография удовлетворяет трем основным требованиям, предъявляемым к любому физиологическому методу, которым пользуются при обследовании человека: 1) она доступна для использования в клинических условиях; 2) адекватна изучаемому процессу, т. е. соответствует представлениям современной электрофизиологии о сущности биоэлектрической активности мышц и об условиях ее формирования; 3) позволяет сопоставлять особенности электрогенеза мышцы с клинической оценкой силы, рефлекторной возбудимости, трофики той же мышцы. Такое сравне-

ние необходимо, так как без этого электрофизиолог не выйдет за пределы описательной, чисто эмпирической стадии электромиографического исследования. Между тем оценка физиологической значимости электромиографического метода и устанавливаемых с его помощью данных возможна только на основе сравнительного анализа электромиографических и клинических характеристик (А. А. Ухтомский, 1954; М. Н. Ливанов, 1968).

Для самостоятельного проведения электромиографических исследований необходимы: знание основных положений нейрофизиологии двигательной функции человека, четкое представление о природе и условиях формирования колебаний потенциала как в элементарных образованиях нейромоторного аппарата (мышечных волокнах, миелиновых окончаниях, двигательных единицах), так и в мышцах и мышечных ансамблях, осуществляющих в естественных условиях все виды двигательных реакций; знакомство с принципами устройства современной электрографической аппаратуры и с требованиями, предъявляемыми к каждому из ее звеньев (электродам, усилителям, осциллографам); знание общих условий организации, принципов построения программы каждого электромиографического исследования, выбора мышц, методики и техники отведения, записи, анализа и обработки электромиограмм.

Глава I

КЛИНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЯ И ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Вопросы организации и регуляции движений у высших животных и человека так сложны и многообразны, что их изучение возможно только при участии представителей ряда дисциплин: а) анатомии и физиологии центральных и периферических сенсомоторных систем; б) математических, кинематографических и циклографических исследований биомеханики движений; в) кибернетических наук, разрабатывающих общую теорию регуляции.

Теоретическая важность нейрофизиологии двигательной функции человека общепризнана. Это объясняется тем, что движения являются (в эксперименте и клинике) одним из основных показателей ответа нервной системы на различные воздействия постоянно изменяющейся внешней и внутренней среды. Биологическое и социальное значение двигательных реакций для успешного приспособления организма к условиям его существования исключительно велико. Поэтому качественные особенности моторики, приобретенные в процессе фило- и онтогенеза, для человека специфичны и его двигательные реакции отличаются от двигательной активности животных несравненно больше, чем структура и функции систем вегетативных (сердечно-сосудистой, пищеварительной и др.) (Н. А. Бернштейн, 1966).

Это «особое качество» обусловлено не только сложностью строения и функции нейромоторной системы человека, но и (это особенно следует подчеркнуть) тем, что в формировании его двигательной активности ведущая роль принадлежит факторам социальной среды. Поэтому данные современной нейрофизиологии движений, основанные преимущественно на экспериментальных исследованиях животных, могут быть использованы для выявления закономерностей, лежащих в основе организации и регуляции двигательной функции человека лишь со значительными ограничениями,

поэтому необходимы особые программы и приемы электромиографического исследования.

Сознательно и продуктивно использовать электромиографический метод может только тот исследователь, который знаком с основными положениями нейро- и электрофизиологии двигательной функции.

Вопросов нейрофизиологии движений мы будем касаться в дальнейшем изложении. Пока остановимся лишь на краткой характеристике представленной современной электрофизиологии о развитии и формировании биоэлектрической активности нейромоторного аппарата.

Объектом любого электрофизиологического исследования являются колебания электрических напряжений, возникающих в связи с функциональной активностью той или иной биологической системы. Биоэлектрические показатели являются компонентом процесса возбуждения. Мы не касаемся в настоящем изложении теоретических представлений электрофизиологов о физико-химических основах развития колебаний потенциала (А. Б. Коган, 1968; С. Окс, 1968, и др.). Исследование их является объектом общей и частной электрофизиологии, отметим только основные положительные особенности электрофизиологических методов, обусловившие их широкое использование в современной нейрофизиологии.

1. Отражая изменения электрических напряжений, эти методы позволяют уловить возникновение, распространение и прекращение процессов возбуждения, происходящих во время функциональной активности мышцы или нерва.

2. Процессы электрогенеза любого органа в норме и патологии изучаются при сохранности его связей с центральной нервной системой и со всем организмом, испытывающим влияние постоянных изменений внешней и внутренней среды.

3. Благодаря высокой чувствительности современной электрографической аппаратуры стало возможным улавливать слабые (микровольтные) и быстрые колебания электрических напряжений, отражающие тончайшие изменения функционального состояния нейромоторного аппарата. Используя эти возможности при электромиографическом исследовании здоровых людей, можно записать колебания потенциала во время слабых тонических напряжений мышц, субъективно и визуально не обнаруживаемых, а в патологии выявить нарушения, возникающие при легких, клини-

чески еще не устанавливаемых повреждениях центральной и периферической нейромоторной системы.

Большим достоинством электромиографического метода является также возможность последующей количественной и качественной обработки отраженных на электромиограмме колебаний потенциала и установления типичных электрографических характеристик при основных видах двигательных реакций и при наиболее распространенных синдромах двигательной патологии.

Как и другие электрофизиологические методы (ЭЭГ, ЭКГ и др.), электромиография все шире используется в физиологических и патофизиологических исследованиях человека. Она является одним из основных методов изучения двигательной активности здоровых людей и больных с различными двигательными нарушениями, возникающими при первичных или вторичных повреждениях нервной системы (Serra, 1966).

За последние 2—3 десятилетия в клинической электромиографии отчетливо выделились 3 основных направления¹. Каждое из них отличается специфичностью задач: соответствующей этим задачам системой исследования — выбором изучаемых мышц и видов двигательных реакций, методикой и техникой отведения, регистрации колебаний потенциала, приемами обработки и анализа полученных электромиограмм.

Схематическая характеристика этих трех направлений может быть сформулирована следующим образом.

Локальная электромиография

Задача. Изучение биоэлектрической активности элементарных образований сегментарного и периферического нейромоторного аппарата, т. е. анализ электрической активности двигательных единиц, отдельных мышечных волокон, миелиевых окончаний.

✓ **Методика и техника.** Локальное отведение мышечных потенциалов с использованием различных видов внутримышечных электродов, с небольшим межэлектродным расстоянием и малой отводящей поверхностью.

Изучаемые параметры. Продолжительность, частота колебаний потенциала, возникающих в том или ином

¹ Основная литература, посвященная каждому из трех направлений клинической электромиографии, приведена в библиографическом указателе.

эlemente, преобладающая их форма, величина «территории» двигательной единицы и «густота» образующих ее мышечных волокон, определение скорости проведения импульса по мышечному волокну.

Основные результаты. Установлены количественные и качественные характеристики перечисленных выше параметров у здоровых людей разного возраста и в функционально различных мышцах; исследованы патологические изменения электрогенеза элементарных образований в основном при спинальных, невритических, миогенных двигательных расстройствах.

Стимуляционная электромиография

Задача. Изучение мышечных потенциалов, возникающих в ответ на раздражение нерва или мышцы. Получаемые данные позволяют определять электровозбудимость, лабильность, скорость проведения импульса в сегментарном или периферическом участке нейромоторного аппарата.

Методика и техника. Приемы усовершенствованного электродиагностического исследования — современные электронные стимуляторы и электромиографы, обеспечивающие возможность сочетания электрического раздражения нерва с записью возникающих при этом колебаний мышечных потенциалов.

Изучаемые параметры. Характеристика раздражающего тока (вольтаж, продолжительность, частота и форма импульсов), продолжительность латентных периодов с момента нанесения раздражения на тот или иной участок нерва до появления колебания потенциала в соответствующей мышце.

Основные результаты. Установление перечисленных характеристик в норме и при различных невритических поражениях и при миастеническом синдроме. Оценка функционального состояния моносинаптической рефлекторной дуги при различных двигательных расстройствах, в том числе и надсегментарного происхождения.

Глобальная электромиография

Задача. Изучение по биоэлектрическим показателям: 1) закономерностей центральной организации и координации возбуждения многих иннервирующих мышцу сегментарных или ядерных мотонейронов; 2) взаимодействия

различных мышц во время двигательных реакций (при полиграфической регистрации); 3) особенностей биоэлектрических процессов в норме и при основных синдромах двигательных расстройств.

Методика и техника. Суммарное отведение биоэлектрической активности от «двигательной точки» исследуемой мышцы, использование электродов с большой отводящей поверхностью и большим межэлектродным расстоянием.

Учитываемые параметры. Типичные амплитуды, частота колебаний (на электромиограммах с редким ритмом), оценка общей структуры электромиограммы, характеризующей рядом временных показателей (латентный период начала и прекращения электрической активности, общая продолжительность).

Результаты. Установлены электрографические характеристики различных двигательных реакций в норме и патологии.

Перейдем к вопросу о некоторых основных закономерностях формирования колебаний потенциала, определяющих особенности электромиограмм, полученных при любом (локальном, стимуляционном, глобальном) способе электромиографического исследования.

К таким общим закономерностям относятся: интенсивность биоэлектрической активности в отдельных элементах нейромоторного аппарата; число активных элементов; степень одновременности, или синхронности, их активации.

Колебания потенциала даже при возбуждении изолированного мышечного волокна одиночным электрическим импульсом возникают в объемном проводнике, окруженном электролитом, и отводятся экстрацеллюлярно. При этом в силу неодновременности прихода импульсов к отводящим электродам электромиограмма отражает сложные по форме (двух-, трех- и полифазные) колебания потенциала (Buchthal, 1957). Такая «дисперсия» во времени еще более сильно влияет на развитие потенциалов при возбуждении многочисленных миелиевых окончаний и мышечных волокон, образующих так называемую двигательную единицу — морфо-физиологическое, динамическое целое, электрическая активность которого с 20-х годов служит объектом классических электрофизиологических исследований (Adrian, Вголск, 1929) (рис. 1).

Интенсивность возбуждения и число активных элементов влияют в одном направлении и приводят к увеличению об-

щего электрогенеза мышцы. Чем интенсивнее колебания потенциала в каждом элементе и чем большее число таких элементов участвует в реализации двигательной реакции, т. е. чем больше «группа объединенного действия» (И. М. Сеченов), тем больше возрастает электрическая активность всей мышцы.

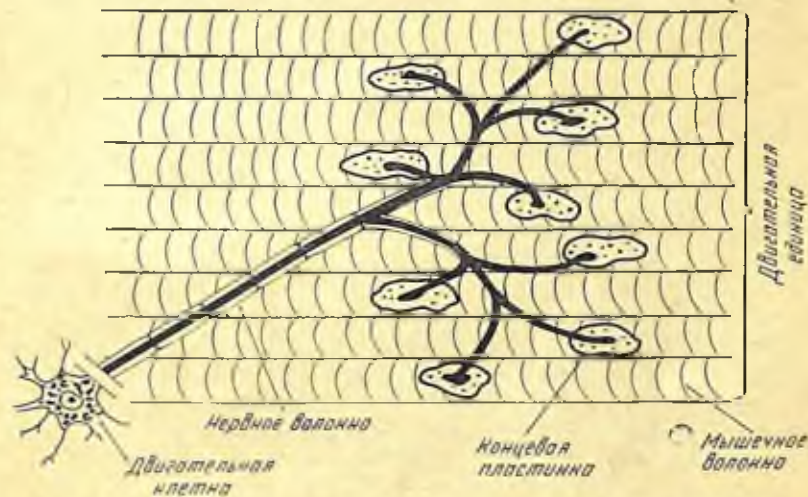


Рис. 1. Схема двигательной единицы.

Предельная одновременность и синфазность колебаний потенциала обуславливают высокие амплитуды и редкий их ритм, как правило, не превышающий 50 в секунду, что характерно для частоты колебаний, локально отведенных от отдельной двигательной единицы. Еще в ранней работе 1925 г. Adrian, характеризуя колебания потенциала прямой мышцы бедра во время вызывания коленного рефлекса (у человека), связывал их высоковольтность и четкую двухфазную форму с полной синхронностью и синфазностью возбуждения всех иннервирующих мышцу мотонейронов в ответ на одновременный приток к ним проприоцепторных импульсов от растягиваемой мышцы.

Однако в последние годы установлено, что такая же синхронность возникновения колебаний при их противофазности может привести к взаимному уничтожению противополо-

ложных по знаку колебаний, что на суммарной электромиограмме может отразиться в падении напряжения до нулевой линии. Наконец, неодновременность колебаний потенциала в различных элементах нейромоторного аппарата отражается сложными по структуре «интерференционными» электромиограммами с высокочастотными и изменчивыми по амплитудам колебаниями.

Таким образом, третий фактор — степень синхронности или асинхронности колебаний потенциала во множестве элементарных единиц — значительно усложняет процесс формирования суммарной электрической активности мышцы и может по-разному влиять на амплитуды и частоты отражаемых электромиограммой колебаний.

Рассмотренные выше 3 основных условия формирования мышечных потенциалов непосредственно отражают закономерности развития процессов возбуждения. Однако ряд исследователей обнаружили зависимость электрической активности нейромоторного аппарата также от факторов, являющихся по отношению к процессу возбуждения «внешними»: изменение кровоснабжения мышцы, сдвиги химического состава крови и тканевой жидкости, внутримышечной температуры и т. п. (Buchthal, 1957; Serra, 1966, и др.). Все эти влияния необходимо учитывать при проведении электромиографических исследований.

Глава II

ПРИНЦИП УСТРОЙСТВА И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ

Для успешного проведения электромиографического исследования клиницисты и электрофизиологи, не имеющие достаточной подготовки по электронике, должны знакомиться с общими принципами устройства всех звеньев используемой ими электрографической установки¹.

В соответствии с особенностями развивающихся в нейромоторном аппарате колебаний потенциала — их низковольтностью, быстротой развертывания каждого колебания и изменчивостью их частоты — современная электрографическая установка должна обеспечить: 1) методически правильное отведение этих колебаний от генерирующих их элементарных образований или целых мышц; 2) их значительное предварительное усиление; 3) их регистрацию посредством малоинерционных или безинерционных осциллографов, пригодных для записи быстрых и изменчивых колебательных процессов. В связи с этим любая современная электрографическая установка (независимо от ее технического устройства) включает 3 последовательно расположенных звена: отводящие электроды, или датчики, усилители и осциллографы.

Через эти части электрографической установки генерируемые мышцей колебания потенциала доводятся до электромиограммы, их отражающей. Неисправность, ошибка, допущенная в любом из звеньев установки, приводит к искажению исследуемого процесса, к невозможности установить при обработке таких дефектных электромиограмм подлинную характеристику биоэлектрической активности мышц.

¹ Элементарные сведения об устройстве электрографической аппаратуры содержатся в специальных руководствах, предназначенных для биологов, клиницистов, физиологов, применяющих в своей работе электрофизиологические методы (см. указатель литературы).

Отводящие электроды или датчики

В зависимости от того, где находится электрографическая установка — вблизи исследуемого человека или на расстоянии, применяют либо контактные электроды, непосредственно отводящие мышечные потенциалы к усилительному и регистрирующему звеньям установки, либо (при телеэлектрографии) пользуются специальной радиоаппаратурой. Серийное производство аппаратуры для радиотеле-

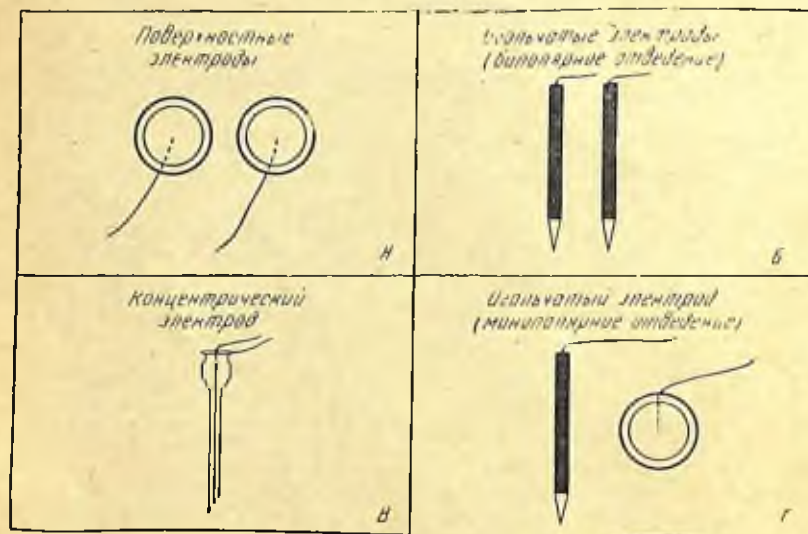


Рис. 2. Схема отводящих электродов для глобального (А, Б) и локального отведений (В, Г).

метрии пока не развернуто. Остановимся на описании двух типов электродов, используемых при контактной электромиографии. Первый тип электродов имеет большую отводящую поверхность (диаметром до 10 мм) и большое межэлектродное расстояние (до 20 мм и больше). Такие электроды позволяют уловить суммарную разность напряжений, развивающихся при возбуждении многочисленных мионевральных окончаний и мышечных волокон, расположенных под каждым электродом данной пары. Полученные при таком способе электромиограммы характеризуют «глобально» электрические колебания в мышцы незави-

симо от того, помещены оба эти электрода на коже или погружены внутримышечно (рис. 2).

У второго типа электродов малая отводящая поверхность (диаметр 0,65 мм и меньше) и небольшое межэлектродное расстояние (0,1 мм и меньше). При любых вариантах технического исполнения электрод отводит «локально» колебания потенциалов от относительно ограниченных участков мышцы, от отдельных волокон или двигательных единиц (рис. 3).



Рис. 3. Отводящие электроды для локального отведения. Внутримышечные электроды для отведения мышечных потенциалов. А — концентрический электрод для обычной электромиографии; Б и В — концентрические электроды для мелких мышц; Г — двустержневой электрод. В кружках от А до Г показаны кончики электродов, увеличенные в 7 раз (Buchthal, 1957).

Напомним, что при использовании электродов любого типа, употребляемых как для «глобального», так и для «локального» отведения, улавливается разность напряжений, возникающих в двух участках мышц, расположенных под первым и вторым электродом каждой пары. Поэтому встречающееся в электромиографической литературе название одного из способов отведения монополярным необоснованно, так как при любом из них необходимы 2 электрода.

При биполярном способе оба электрода помещают в области двигательной точки исследуемой мышцы. При монополярном способе один отводящий электрод («активный») располагают над двигательной точкой, другой («индифферентный») — на более или менее отдаленных и электриче-

ски мало активных участках тела, например, на сухожилии той же мышцы, на кости, мочке уха и т. п.¹ (рис. 4—9).

Каждый из этих способов отведения имеет отрицательные и положительные особенности. При биполярном отведении улавливаемая в близких участках разность потенциалов невелика, в связи с этим приходится пользоваться больши-

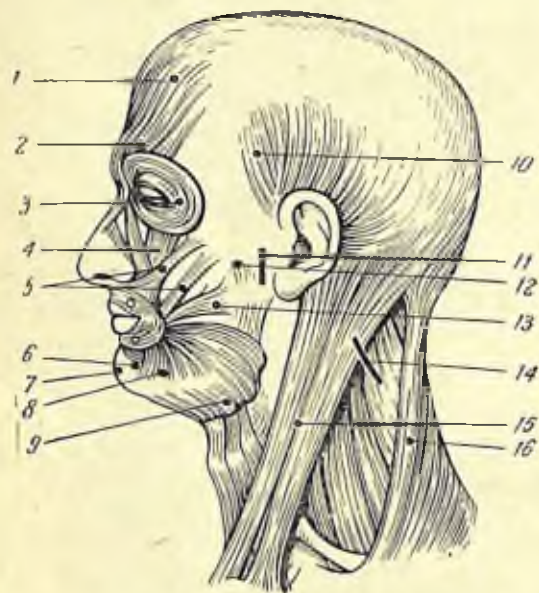


Рис. 4. Схема расположения двигательных точек в мышцах головы, шеи (Altenburger, 1937).

1 — frontalis; 2 — corrugator supercilii; 3 — orbicularis oculi; 4 — quadratus Labii superioris; 5 — zygomaticus; 6 — quadratus menti; 7 — mentalis; 8 — triangularis menti; 9 — platysma; 10 — temporalis; 11 — n. facialis; 12 — masseter; 13 — risorius; 14 — n. accessorius; 15 — sternocleidomastoideus; 16 — trapezius (верх. порция)

ми предварительными усилениями, что несколько увеличивает возможность искажения электромиограммы посторонними помехами. Преимуществом биполярного метода отведения является четкая, дифференцированная характеристика колебаний потенциалов каждой исследуемой мыш-

¹ «Двигательная точка» — место ветвления нерва — наиболее богато иннервируемый участок мышцы, с густым расположением мюневральных окончаний. В связи с этим область «двигательной точки» является максимально возбудимым участком мышцы.

Расположение двигательных точек в разных мышцах было установлено еще в XIX веке классиками электродиагностики и подтверждено последними работами анатомов и электрофизиологов. Было показано, что даже в крупных мышцах человека область расположения мюневральных окончаний занимает не более 5% поверхности мышцы (Coers, Wolf, 1959; Winn-Perry, 1964; Basmajian, 1967, и др.).

цы, так как оба отводящих электрода расположены в пределах ее двигательной точки.

При так называемом монополярном отведении разность напряжений под активным и индифферентным электродами велика и может улавливаться при менее высокой чувст-

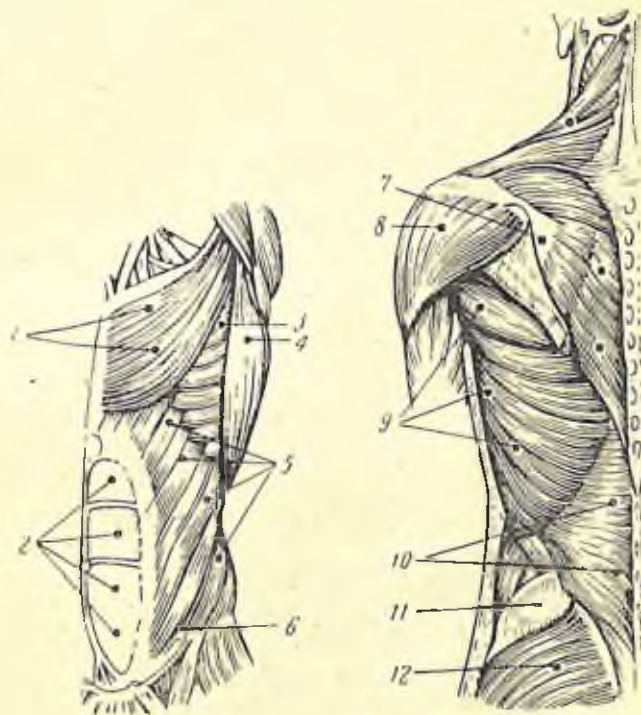


Рис. 5. Схема расположения двигательных точек в мышцах туловища (спереди и сзади).

1 — pectoralis maior; 2 — rectus abdominis; 3 — serratus ant.; 4 — latissimus dorsi; 5 — obliquus abdominis ext.; 6 — obliquus abdominis int. et transversus; 7 — infraspinatus; 8 — deltoideus; 9 — latissimus dorsi; 10 — erector trunci; 11 — gluteus medius; 12 — gluteus maximus.

вительности установки. Тем самым уменьшается опасность регистрации посторонних помех. Однако при таком способе расположения электродов труднее получить дифференцированную характеристику электрической активности отдельных мышц. Кроме того, электромиограмма чаще искажается наслаивающейся электрокардиограммой. В связи с этим

монополярный способ отведения чаще используют в тех случаях, когда нет необходимости в прицельном отведении колебаний потенциалов отдельных мышц, а исследователя интересует только улавливание общих изменений электрической активности больших участков нейромоторного аппарата. Так, например, монополярное отведение применялось для выявления латентных судорожных состояний (субклиническая эпилепсия, торсионная дистония и т. п.). Для более точной количественной и качественной оценки нарушений электрогенеза у больных с двигательными расстройствами электрофизиолог всегда предпочитает биполярное отведение мышечных потенциалов от каждой интересующей мышцы (Vele, Yanda, 1965).

Каким бы типом электродов (при глобальном и локальном отведении) ни приходилось пользоваться, необходимо всегда помнить о том, что всякая ошибка в наложении электродов или их неисправность приводит к грубому искажению отводимых колебаний потенциала; после прохождения через усилительное звено установки выраженность этих искажений увеличивается и они грубо деформируют осциллограмму. Поэтому при всей кажущейся простоте устройства электродов следует уделять особое внимание их исправности, правильности наложения и крепления.

Сравнительный анализ электромиограмм, зарегистрированных при повторных исследованиях одной и той же мышцы или разных мышц (у одного и того же человека), или при исследовании различных категорий людей, возможен только при использовании отводящих электродов, идентичных по типу, величине отводящей поверхности и межэлектродного расстояния, материалу, из которого изготовлены электроды и присоединяющие их к усилителю проводники, и т. п. Такая идентичность отводящих электродов и одинаковая плотность их крепления в области двигательной точки мышцы обеспечивает и сходное межэлектродное (подэлектродное) сопротивление, что является обязательным условием неискаженного отведения биоэлектрических потенциалов.

При биполярном отведении укрепление обоих электродов в общей оправе позволяет сохранять постоянство межэлектродного расстояния, обеспечивает одинаковую плотность прижима их к коже, следовательно, и равенство сопротивлений. Именно это обстоятельство (одинаковое сопротивление под каждым электродом данной пары по отношению к нулевой точке — к земле) значительно уменьшает опас-

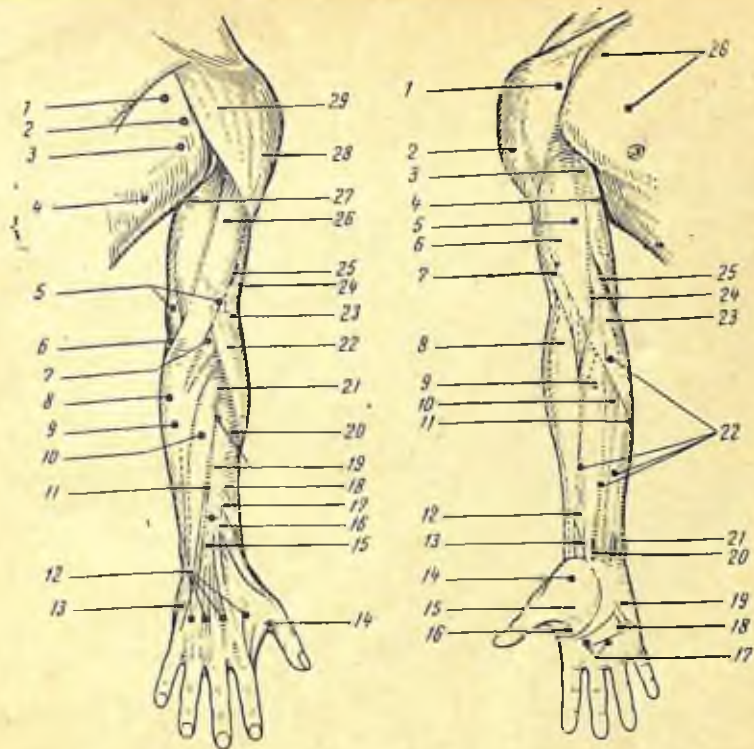


Рис. 6. Схема расположения двигательных точек в мышцах плеча и руки (тыльная сторона).

1 — infraspinatus; 2 — teres minor; 3 — teres major; 4 — latissimus dorsi; 5 — triceps caput mediale; 6 — n. ulnaris; 7 — anconeus; 8 — flexor c. ulnaris; 9 — flexor digitorum profundus; 10 — extensor c. ulnaris; 11 — extensor digiti V; 12 — interossei; 13 — abductor digiti V; 14 — adductor pollicis; 15 — extensor indicis proprius; 16 — extensor pollicis longus; 17 — extensor pollicis brevis; 18 — abductor pollicis longus; 19 — extensor digitorum; 20 — extensor c. radialis brevis; 21 — supinator; 22 — extensor c. radialis longus; 23 — brachioradialis; 24 — n. radialis; 25 — caput laterale tricipitis; 26 — caput longum tricipitis; 27 — pars lat. deltoidei; 28 — pars post. deltoidei.

Рис. 7. Схема расположения двигательных точек в мышцах плеча и руки (ладонная сторона).

1 — pars ant. deltoidei; 2 — pars lat. deltoidei; 3 — coracobrachialis; 4 — triceps caput longum; 5 — biceps brachii cap. breve; 6 — biceps brachii cap. longum; 7 — brachialis; 8 — brachioradialis; 9 — flexor c. radialis; 10 — palmaris longus; 11 — flexor c. ulnaris; 12 — flexor pollicis longus; 13 — pronator quadratus; 14 — abductor pollicis brevis; 15 — flexor pollicis brevis; 16 — adductor pollicis; 17 — interosseus volaris I и II et lumbicalis; 18 — interosseus volaris III; 19 — abductor digiti V; 20 — n. ulnaris; 21 — n. medianus; 22 — flexor digitorum sublimis; 23 — pronator teres; 24 — n. medianus; 25 — n. ulnaris; 26 — pectoralis.

ность искажения электромиограммы помехами переменного тока, что особенно важно при исследовании низковольтных колебаний потенциала, улавливаемых только при высокой чувствительности установки (5—10 мкв/мм).

Для возможности сравнительного анализа электрогенеза разных мышц, кроме технической идентичности отводящих электродов, необходимо также соблюдать ряд требований, связанных с морфологическими и физиологическими условиями развития биоэлектрической активности нейромоторного аппарата. Прежде всего нужно, чтобы было одинаковым и точным расположение электродов на двигательных точках исследуемых мышц. Смещение одной из пар электродов, наложенных на одноименные мышцы, на 5—10 мм в сторону от двигательной точки приводит к снижению амплитуд колебаний в 2 раза и более. При этом электромиограммы, записанные в симметричных мышцах, сокращенных с одинаковой силой, отразят выраженную ассиметричность биоэлектрической активности. Такие искажения амплитуд могут явиться причиной ошибочных выводов в работе клинического электрофизиолога. Например, при неправильном наложении электродов на «здоровый» разгибатель пальцев амплитуды колебаний, зарегистрированные во время сокращения, могут оказаться ниже, чем в одноименной явно паретической мышце.

Для определения области двигательной точки пользуются схемами, имеющимися в любом руководстве по электродиагностике и электротерапии. Наиболее удачны схемы Альтенбургера (Altenburger, 1937) (см. рис. 4—9).

С этой же целью можно также прибегнуть к следующему приему: испытуемому предлагают максимально сократить мышцу при выполнении такого движения, в котором она участвует как «ведущая». В центре наиболее выпуклого участка сокращенной мышцы и будет расположена ее двигательная точка. В абсолютном соответствии с ее положением должны быть наложены электроды, отводящие потенциалы от одноименной мышцы. В некоторых специальных исследованиях для точного нахождения двигательной точки предварительно (электродиагностическим или хропаксиметрическим методом) устанавливают локализацию наиболее возбудимого участка мышцы. Однако такое электродиагностическое исследование не следует проводить непосредственно перед электромиографическим, так как оно может значительно нарушить биоэлектрические процессы в мышце.

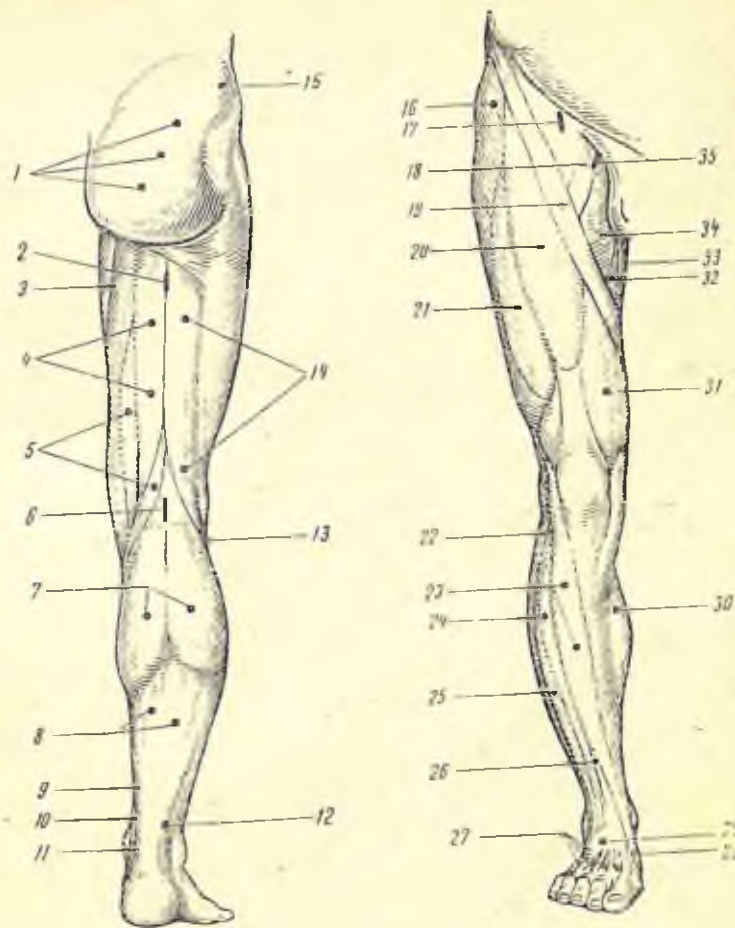


Рис. 8. Схема расположения двигательных точек в мышцах ноги (спереди и сзади).

1 — gluteus max.; 2 — n. ischiadicus; 3 — adductor magn.; 4 — semitendinosus; 5 — semimembranosus; 6 — n. tibialis; 7 — gastrocnemius; 8 — soleus; 9 — tibialis posticus; 10 — flex. digit. long.; 11 — n. tibialis; 12 — flex. halluc. long.; 13 — n. peroneus; 14 — biceps fem.; 15 — gluteus med.; 16 — tensor fasc. lat.; 17 — n. femoralis; 18 — pectineus; 19 — sartorius; 20 — rectus; 21 — vast. lat.; 22 — peroneus long.; 23 — tibialis antic.; 24 — extensor digit.; 25 — peroneus brev.; 26 — extensor halluc. long.; 27 — interossei; 28 — abduct. halluc.; 29 — extensor digit. brev.; 30 — gastrocnemius; 31 — vast. med.; 32 — adduct. magn.; 33 — gracilis; 34 — adduct. long.; 35 — n. obturatorius.

Особое значение приобретает точность и идентичность положения отводящих электродов при внутримышечном локальном отведении. Эти методические вопросы широко освещены в многочисленных монографиях, учебниках, а также в некоторых специально посвященных этому вопросу статьях (см. библиографический указатель). Напомним

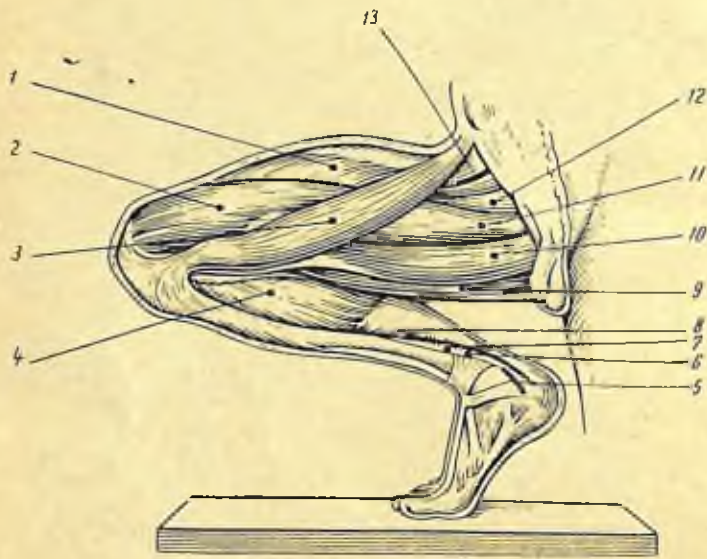


Рис. 9. Схема расположения двигательных точек в мышцах ноги (внутренняя поверхность).

1 — rectus femoris; 2 — vastus medialis; 3 — sartorius; 4 — gastrocnemius; 5 — n. tibialis; 6 — tibialis posticus; 7 — flexor digitorum longus; 8 — soleus; 9 — adductor magnus; 10 — gracilis; 11 — adductor longus; 12 — pectineus; 13 — n. femoralis.

только, что к требованиям, которым должна отвечать техника и методика локального электромиографического исследования, относятся тщательная проверка состояния внутримышечного электрода, так как даже при редком их употреблении и стерилизации могут нарушаться изоляция и изменяться межэлектродное сопротивление (см. Инструкцию к электромиографу фирмы «Диза»).

Чтобы при статистической обработке локально отведенных электромиограмм обеспечить достоверность полученных величин (продолжительности импульсов, преобладания

импульсов той или иной формы и т. п.), необходимо с каждого исследуемого участка мышцы записывать значительное число колебаний (до 200 и более). В клинических электромиографических исследованиях для достаточно обоснованного суждения о патологических нарушениях колебательных процессов и для определения степени синхронности разрядов в отдельных участках мышцы ряд авторов рекомендуют одновременное отведение тремя коаксиальными электродами с их последующими многократными перемещениями. При соблюдении такой методики локального отведения обеспечивают электрографическую характеристику не менее 18—20 точек мышцы (Buchthal, 1957, 1962; Norris-Forbes, 1963; Willison, 1963; Buller, 1964; Mayer, 1965).

Перейдем к рассмотрению принципов устройства усилительного звена установки и требований к нему.

Усилители

Характерная для конца прошлого века и первой четверти текущего столетия непосредственная запись мышечных потенциалов производилась с использованием различных типов более или менее чувствительных гальванометров. Позже эту технику сменила электрографическая запись предварительно усиленных колебаний потенциала малочувствительными, шлейфными, или безинерционными, катодными осциллографами (Л. А. Водолазский, 1966; А. Б. Коган, С. И. Шитов, 1967, и др.).

При электрофизиологических исследованиях используют 2 основных типа усилителей: усилители постоянного тока, или прямой связи, и усилители переменного тока, или реостатно-емкостной межкаскадной связи. Каждый из этих типов усилителей обладает рядом положительных и отрицательных особенностей, которые необходимо учитывать при выборе усилителя, пригодного для исследования тех или иных видов биоэлектрических процессов.

В клинической электроэнцефало- и электромиографии, как правило, используют усилители переменного тока, обладающие высоким коэффициентом усиления и, при условии выбора адекватной частотной характеристики прибора, обеспечивающие неискаженную передачу изучаемых колебаний к записывающему звену установки — осциллографу. Однако для усиления и записи относительно высоковольтных колебаний, а также при изучении медленно разверты-

вающихся процессов правильнее пользоваться усилителями постоянного тока или блоками усилителей переменного тока с установкой их на пропускание медленных колебаний (т. е. при возможно большей постоянной времени — от 1 секунды и больше).

Итак, при выборе типа усилителя необходимо учитывать его адекватность исследуемому колебательному процессу, а при использовании усилителей переменного тока выбирать с помощью системы фильтров нужную его частотную характеристику, т. е. диапазон разных по частоте колебаний, пропускаемых без искажения амплитуд. Описание и технические характеристики усилителей различного типа даны в соответствующей литературе и в инструкциях к каждому выпускаемому промышленностью прибору.

Основные требования к усилительному и осциллографическому звеньям современных электрографических установок можно сформулировать следующим образом.

Чувствительность установки. Низковольтность мышечных потенциалов и значительный диапазон изменений их амплитуд при переходе от «покоя» расслабленной мышцы (5—10 мкв) к ее максимальным произвольным или произвольным сокращениям (до 500—1000 мкв) предъявляют высокие требования к чувствительности установки и к возможности ее регуляции в процессе исследования.

Абсолютная величина чувствительности, т. е. общий коэффициент усиления всех каскадов каждого канала усилителя, дана в техническом описании прибора его конструкторам. Как уже было отмечено выше, эта абсолютная чувствительность (при коэффициенте усиления, равном 1,5 млн.) позволяет улавливать очень слабые колебательные процессы. Однако для пользующихся прибором электрофизиологов важна не только эта абсолютная оценка его чувствительности, но и линейная ее характеристика, т. е. величина отклонения на записи в миллиметрах при подаче на вход усилителя определенных колебаний потенциала в микровольтах.

В современных электромиографах максимальная чувствительность характеризуется минимальным напряжением в 1 мкв, подаваемым на вход усилителя и дающим на осциллограмме отклонение от нулевой линии в 1 мм. Очевидно, что чем выше чувствительность, тем меньшее по величине напряжение даст на записи 1 мм отклонения. Характеристика линейной чувствительности всегда дается в виде дроби, в которой числитель означает величину напряжения,

подаваемого на вход усилителя, а знаменатель характеризует отклонение на 1 мм.

Так как интенсивность колебаний потенциала в нейромоторном аппарате варьирует в широких пределах (в зависимости от осуществляемой двигательной реакции, функциональных особенностей мышц и типа двигательной патологии), то во время электромиографического исследования приходится изменять чувствительность установки в соответствии с ожидаемым вольтажом биоэлектрических колебаний. Неправильный выбор чувствительности приводит к грубым искажениям и неадекватности электромиограммы исследуемому процессу. При чрезмерном повышении чувствительности высоковольтные колебания потенциала в связи с нарушением амплитудной характеристики будут передаваться не полностью — амплитуды их будут искажены и как бы «подрезаны». В таком случае невозможно количественно измерить амплитуды в микровольтах. Наоборот, при недостаточной чувствительности слабые колебания потенциала не отразятся на электромиограмме — на ней будет изображена только прямая линия или видны едва заметные колебания, которые тоже не могут быть измерены (рис. 10).

Опыт многочисленных электромиографических исследований позволил наметить соотношение градации линейной чувствительности и величины ожидаемых напряжений мышечного электрогенеза:

а) при очень слабых напряжениях (от 5 до 10 мкв) — состоянии «покоя» мышцы, легкие ее тонические напряжения, визуально и пальпаторно не улавливаемые, попытки произвольного сокращения грубо паретических мышц и т. п. — используется высокая чувствительность установки от 5 до 10 мкв/мм;

б) при средних напряжениях (от 50 до 200 мкв), в норме — при слабых произвольных сокращениях мышц, в патологии — при центральных гипертониях во время усиленных тонических реакций (спастичность, торсионная дистония и т. п.), используют средние градации чувствительности — от 20 до 30 мкв/мм;

в) при мощных произвольных и произвольных (гиперкинезы) сокращениях мышц и соответственно высоковольтных колебаниях потенциала (1000—2000 мкв), а также при отведении мышечных потенциалов посредством погружных, внутримышечных электродов чувствительность установки значительно загроубляется (500—1000 мкв/мм).

Линейную чувствительность определяют различными способами в зависимости от конструкции прибора. В одних электромиографах (например, в трехканальном приборе датской фирмы «Диза») градуация чувствительности указана на ее регуляторе в микровольт-миллиметрах. Однако, как отмечено в инструкции, эти характеристики чувствительности сохраняют значение только в том случае, если подаваемый автоматически (при положении «калибровка») импульс будет на всех трех каналах давать одинаковое

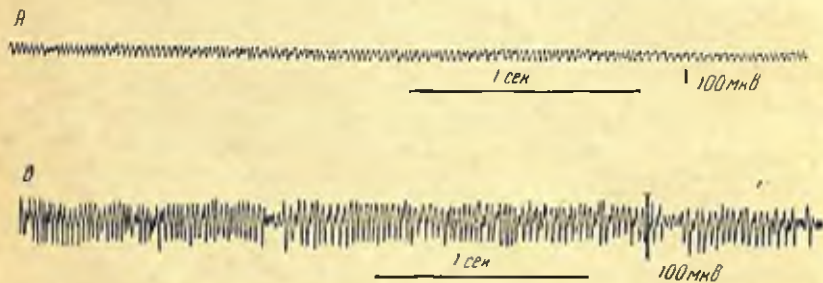


Рис. 10. Электромиограммы, иллюстрирующие значение выбора чувствительности установки.

А — ЭМГ при попытке сокращения парализованной прямой мышцы бедра; чувствительность установки 100 мкВ/мм; Б — то же, что и на верхней кривой; чувствительность установки повышена — 5 мкВ/мм.

отклонение в 1 см (см. инструкцию к этому электромиографу).

В других установках (например, в большинстве электроэнцефалографов) чувствительность определяют благодаря подаче точно измеренного напряжения с калибратора, смонтированного в установку. Разделив величину этого напряжения, подаваемого на вход усилителя, на величину отклонения на записи в миллиметрах, получают чувствительность установки в микровольтах на 1 мм.

Итак, точное знание чувствительности установки в каждый момент исследования электрогенеза той или иной мышцы является первым требованием и условием количественного измерения амплитуды колебаний в микровольтах.

Частотная характеристика установки. Второе, не менее существенное, требование должно быть предъявлено к частотной характеристике, определяемой в усилителях переменного тока величиной постоянной времени реактивно-емкостной связи между последовательными каска-

дами каждого канала усиления. Для электромиографов с фоторегистрацией осциллограмм посредством шлейфных или катодных осциллографов решающее значение имеет частотная характеристика усилителя. Для установок с открытой записью (различного типа чернилопишущие или иные по технике записи регистрирующие устройства) обязательно также учитывать и частотную характеристику последних, так как она в конечном счете определяет, какие по частоте колебания потенциала будут отражены на электромиограмме без искажения их амплитуд.

В связи с быстротой разворачивания каждого колебания (в норме 5—10 мсек), их высокой частотой и изменчивостью адекватное отражение на электромиограмме мышечных потенциалов обеспечивается при прямолинейной частотной характеристике усилителя от 10 до 2000 гц (проверяемой при подаче сигнала с генератора). Для установок с открытой записью при сохранении указанной выше частотной характеристики усилителя осциллографы должны без искажения амплитуд пропускать колебания 160—400 гц.

Однако и это значительно ниже, чем частотная характеристика усилителя. Поэтому очень частые и низковольтные колебания бывают плохо отражены на записи, что обедняет и искажает общую структуру электромиограмм, снижает амплитуды колебаний на 20—30% по сравнению с отраженными электромиограммой при фоторегистрации. Опыт, однако, показал, что, когда задачей электромиографического исследования является не точное определение частоты и амплитуды колебаний, а только улавливание общих изменений электрической активности, использование установок с открытой записью вполне оправдано (И. Я. Калиновская и Ю. С. Юсевич, 1967).

Напомним еще раз, что при полиграфической регистрации электромиограмм многих мышц и иных по частоте колебательных процессов (электрической, активности сердца, мозга и др.) необходимо обеспечить для соответствующих каналов правильный выбор частотной характеристики. Например, для записи электрокардиограмм или электроокулограмм используют либо усилители постоянного тока, либо увеличивают пропускание низких частот и ограничивают прохождение высоких частот (постоянная времени от 1 секунды и выше). Для записи мышечных потенциалов, наоборот, улучшают пропускание быстрых частот и ограничивают прохождение низких (постоянная времени не более 0,3 секунды).

Уровень собственного шума. Третье требование, которому должны удовлетворять современные электромиографы,— это низкий уровень собственного шума усилителя. Он не должен превышать 2—3 мкв. Величину шума проверяют при закороченном входе (калибровка и объект отключены). Как и все технические характеристики электрографической установки, величина собственного шума указывается в описании прибора. Она должна быть одинаковой на всех каналах. Проверять ее нужно перед началом каждого исследования, так как изменение режима работы отдельных элементов усилителя может повлиять на его собственный шум. Следует напомнить, что величина собственного шума во многом определяет минимальный вольтаж биопотенциалов, улавливаемых установкой. Последние можно отличить от шума только в том случае, если их амплитуды превышают уровень шума минимум в 3 раза. Так, например, при шуме в 3 мкв можно уловить колебания в 10 мкв; при шуме в 10 мкв такие низковольтные колебания уже не различаются на фоне шума; на электромиограмме заметны только колебания 30 мкв и выше.

Кроме этих основных требований, которым должна удовлетворять пригодная для электромиографии установка, в ее регистрирующем — осциллографическом — звене должны быть обеспечены: а) при фотозаписи употребление малоинерционных осциллографов (шлейфных с собственной частотой не ниже 2000 гц или катодных); б) хорошая фокусировка луча и соответствие яркости света на фоторегистрирующих трубках светочувствительности бумаги или пленки.

В установках с постоянной скоростью движения бумаги масштаб ее наносится на осциллограмму до ее фотографирования для печати; если лентопротяжный механизм не гарантирует постоянства движения бумаги, обязательно одновременно с записью электромиограмм наносить на кривую колебания, генерируемые специальным отметчиком времени или сетевым напряжением. Постоянная частота таких колебаний позволяет при любых изменениях скорости движения бумаги установить масштаб времени, без чего невозможен подсчет частоты колебаний мышечных потенциалов в секунду.

Глава III

ОБЩИЕ УСЛОВИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ. ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМИОГРАММ

Общие условия и организация исследования

Кроме технических требований, предъявляемых к электромиографической аппаратуре, имеется также ряд обязательных (для всех трех направлений электромиографии) правил, определяющих особенности организации и общие условия проведения исследования. Эти условия вытекают из некоторых общих положений нейрофизиологии двигательной функции человека, являющихся теоретической основой клинической электромиографии.

Очевидно, что, пользуясь тем или иным методическим приемом изучения мышечного электрогенеза, необходимо ясно представлять себе конкретную задачу работы, ее соответствие теоретическим взглядам современной неврологии и невропатологии по данному вопросу. Обязательна достаточная определенность формулировки темы и достоверность характеристик (в том числе и клинических), с которыми должны сопоставляться полученные электромиограммы. Эффективность изучения мышечных потенциалов в значительной степени зависит от выбора адекватного поставленной задаче способа отведения и записи электрической активности мышц.

Изучение мышечного электрогенеза у здоровых и больных людей выявило исключительную «откликаемость» нейромоторного аппарата на любые, даже слабые, изменения внешней и внутренней среды организма. Возникающие при этом многочисленные импульсы, притекая к синапсам ядерных или сегментарных двигательных клеток с любых рецепторных приборов и от всех надсегментарных отделов нервной системы, изменяют развитие возбуждения в нейромоторном аппарате. Так, болевое раздражение может понизить амплитуды колебаний произвольного сокращения почти втрое (рис. 11).

Поэтому первым условием успешности электромиографического исследования является обеспечение для исследуемого человека максимально удобной позы, исключающей по возможности влияние болевых и других раздражений и рефлекторные изменения активности нейромоторного аппарата. Должна быть исключена также дополнительная афферентация с рецепторов мышц, сухожилий, вестибулярной и других систем организма (Ю. С. Юсевич, 1963, и др.).

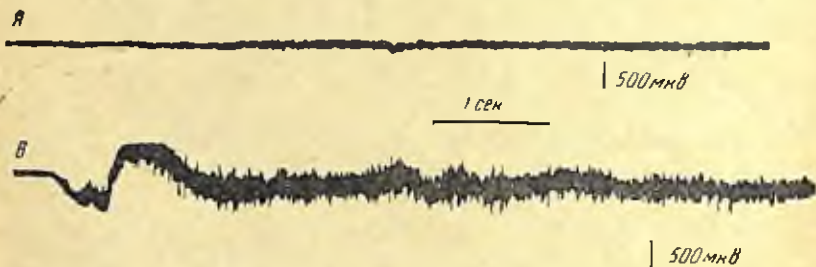


Рис. 11. Электромиограммы, демонстрирующие влияние болевого раздражения на амплитуды колебаний потенциала в сокращающейся мышце. А — ЭМГ максимального сокращения общего разгибателя пальцев левой руки. Игольчатый электрод, находящийся в той же мышце, причиняет боль во время сокращения; Б — ЭМГ той же мышцы после удаления игольчатого электрода.

Существенное влияние на результаты оказывает также психическое состояние исследуемого. Непривычная обстановка, непонимание значения и сущности исследования, боязнь его и т. п. могут способствовать появлению волнения, страха, растерянности и как следствие этого — повышению тонического напряжения мускулатуры, легко возникающего при любых стрессовых состояниях. Поэтому предварительная подготовка как больного, так и здорового человека к электромиографическому исследованию обязательна. Обследуемому нужно сказать о безвредности этого исследования, о его значении для оценки состояния двигательной функции, для уточнения топик и характера повреждения нервной системы. Его положительное отношение к исследованию и ясное понимание инструкций, предлагаемых электрофизиологом, помогают получить полноценные электромиограммы.

В этой связи нужно отметить, что продолжительность каждого сеанса записи электромиограмм не должна пре-

вышать 30—40 минут, так как более длительное пребывание в лаборатории может вызвать утомление, раздражение у исследуемого и нарушить его положительное отношение к выполняемым заданиям. Это правило имеет особое значение при изучении детей и тяжелобольных.

Следует подчеркнуть, что упомянутое общее требование к удобной позе и спокойной обстановке электромиографического исследования должно уточняться в соответствии с особенностями исследуемого и программой изучаемых двигательных реакций. Так, при обычном электромиографическом исследовании здоровых людей самой удобной позой является спокойное положение тела (на спине) с расслабленными выпрямленными конечностями, неподвижной головой, чуть согнутой шеей, т. е. поза, максимально снижающая влияние гравитации и растяжения мышц. Однако для некоторых категорий больных (например, с усиленной саливацией, декомпенсацией сердечной деятельности, контрактурами и гиперкинезами) наиболее удобной может быть поза в положении полусидя со специальной хорошей опорой для головы и конечностей, исключающей необходимость их активного удержания на весу.

Так как для течения биологических процессов важен суточный ритм, проводить электромиографические исследования желательно в один и те же часы суток, лучше утром, после ночного сна, завтрака и до проведения каких-либо врачебных и лабораторных исследований. Не следует регистрировать электромиограммы при необычном состоянии больного: при остром заболевании, во время приступа или вскоре после него, при резко измененном режиме питания, приеме сильнодействующих лекарств и т. п.

Вторым общим условием успешности электромиографического исследования является правильный выбор программы каждой конкретной работы. Для построения такой программы нужно, исходя из задачи, наметить, с каких мышц и во время каких функциональных состояний должны быть зарегистрированы электромиограммы.

Выбор мышц для исследования — при выборе подлежащих электромиографическому изучению мышц следует помнить о значительном разнообразии структуры и функциональных особенностей мышц человека. В связи с их многочисленностью (около 450) электромиографическое исследование всех мышц практически невозможно. Поэтому приходится записывать мышечные потенциалы избирательно, изучая мышечные группы, связанные с разными уровнями цереб-

роспинальной оси (с мотонейронами ядерных аппаратов мозгового ствола или сегментарных приборов спинного мозга), мышцы функционально различные (сгибатели, разгибатели, синергисты, антагонисты и др.). В патологии наряду с указанными моментами выбор исследуемых мышц определяется клинической характеристикой двигательных расстройств.

Следует, однако, подчеркнуть, что для установления не только индивидуальных, но и групповых особенностей электрогенеза необходимо, чтобы количество и выбор изучаемых мышц были по возможности сходными у всех лиц, объединенных в одну группу по какому-либо признаку — возрастную, профессиональную, по характеру двигательных расстройств и т. п. Таким образом определяется программа-минимум. В связи с задачей работы или с потребностями клиники эта программа может быть расширена или изменена. Она позволяет установить достаточно обоснованные групповые электрографические характеристики.

В клинических условиях в зависимости от особенностей двигательной патологии исследуют минимальное количество мышц, достаточное, чтобы охарактеризовать особенности биоэлектрической активности мышечных групп, связанных с разными уровнями цереброспинальной оси (с мотонейронами ядерных аппаратов продолговатого мозга и мозгового ствола, сегментарных приборов шейного и поясничного отделов спинного мозга).

Как уже было сказано, выбор программы определяется конкретной задачей исследования. Эта программа не должна чрезмерно расширяться. Так, например, в случаях, когда электромиограммы должны только подтвердить нормализацию функции мышцы, ее устойчивость и увеличение силы сокращения, достаточно ограничиться записью электрической активности при максимальном произвольном сокращении мышц, интересующих невропатолога или ортопеда. Наоборот, в тех случаях, когда на субклинической стадии или при незначительном повреждении нервной системы электромиография должна помочь уточнению топик поражения и выявить типичные для того или иного синдрома изменения мышечных потенциалов, программу съемки значительно расширяют, электромиограммы регистрируют во многих мышечных группах, в том числе и в клинически не пострадавших, при различных функциональных нагрузках, нередко специально направленных на создание условий, способствующих выявлению нарушений мышеч-

ных потенциалов, характерных для определенных двигательных расстройств. Так, при необходимости использовать электромиографию для уточнения места повреждения нервной системы, например при дискогенных или опухолевых поражениях спинного мозга, нужно более детальное изучение отдельных участков длинных мышц спины, расположенных выше, на уровне и ниже локализации патологического очага, установленного клинически или рентгенологически. У больных с ограниченными повреждениями нервной системы (при травматическом или инфекционном поражении периферического нерва и др.) число исследуемых мышц может быть невелико — регистрируют только электромиограммы симметричных мышц здоровой и паретической конечности.

Благодаря такому расширению программы установлено, что нередко патологические изменения мышечного электрогенеза могут улавливаться в «покое» или во время слабых тонических напряжений, тогда как при максимальном активном сокращении той же мышцы они маскируются электрической активностью сохранных двигательных единиц и не отражаются на интерференционной электромиограмме. В ряде работ были описаны приемы записи электромиограмм, выявляющие такую «нормализацию» электрогенеза. Они оказались полезными при оценке тяжести поражения нервной системы и определении устойчивости нарушения двигательной функции.

При повторных исследованиях больных с развивающимся патологическим или восстановительным процессом сравнение электромиограмм в одних и тех же мышцах может выявить динамику функционального состояния пораженных участков нейромоторного аппарата. Очевидно, что при этом должна быть соблюдена полная идентичность методики и техники отведения и регистрации мышечных потенциалов. В таких случаях данные электромиографии могут быть использованы в качестве дополнительных показателей эффективности медикаментозных, хирургических, бальнеологических и других методов лечения. При проверке влияния быстродействующих фармакологических веществ (например, прозерина, различных релаксантов и т. п.) целесообразно записывать электромиограмму наиболее пострадавшей мышцы до введения лекарства и в сроки его наиболее выраженного эффекта. В таких «острых» опытах сравнимость электромиограмм обеспечивается неизменным положением отводящих электродов на исследуемой мышце.

Выбор функциональных нагрузок. При всем разнообразии и многочисленности двигательных реакций человека их можно несколько схематически отнести к 3 основным категориям: 1) реакциям расслабления мышцы — ее «покою»; 2) разнообразным рефлекторно обусловленным тоническим напряжениям; 3) произвольным или произвольным фазным сокращениям (обеспечивающим все виды нормальных или патологических движений).

Так как в основе каждого из этих трех видов двигательных реакций, определяющих функциональное состояние нейромоторного аппарата, очевидно, лежат разные физиологические и патофизиологические механизмы, то для более полной электрографической характеристики каждой исследуемой мышцы нужно записывать ее электромиограммы как минимум во время трех функциональных состояний: в «покое» (т. е. при активном расслаблении мышцы), при тонических ее напряжениях и при различных (по темпу, силе, целевой установке) произвольных сокращениях.

Всестороннее изучение мышечного электрогенеза в клинических условиях особенно важно, так как многими исследователями установлено, что изменения мышечных потенциалов, характерные для того или иного синдрома двигательного расстройства, на субклинической стадии заболевания выявляются неодинаково интенсивно при разных видах двигательных реакций.

Для того чтобы использовать электромиографию в теоретическом анализе физиологических или патофизиологических механизмов нормальных или нарушенных двигательных реакций, приведенную выше минимальную программу изучаемых функциональных состояний нейромоторного аппарата нередко значительно расширяют. Клинические электрофизиологи при этом широко используют ряд приемов, разработанных и апробированных в клинике или эксперименте. Например, снимают электромиограммы во время пассивного растяжения мышцы (т. е. при обычном приеме клинической оценки тонуса). Исходя из классических экспериментов Шеррингтона («реакция укорочения»), записывают электромиограммы при так называемой реакции разгрузки. Методикой стимуляционной электромиографии пользуются для изучения возбудимости сегментарной рефлекторной дуги, определения скоростей проведения импульса в нерве, мионевральных синапсах, в исходящих путях спинного мозга. Электрофизиологи оценивают возможности

произвольной регуляции движений и их прекращения, исследуя феномен «продленной активности». Многообразие таких методических приемов все возрастает. Полученные при этом результаты отражены в многочисленных работах, частично указанных в библиографии и последующих главах настоящей книги.

Обработка и анализ электромиограмм

Перейдем к краткому изложению методических приемов обработки и анализа электромиограмм, позволяющих установить количественные и качественные особенности мышечного электрогенеза в норме и патологии. Рассмотрим только приемы визуальной обработки и анализа, доступные в условиях работы клинического электрофизиолога, не требующие специальной сложной аппаратуры (в настоящее время еще не выпускаемой серийно) и особой математической и радиотехнической подготовки. Эти вопросы, все больше привлекающие внимание электрофизиологов, освещаются в специальных работах, к которым и следует обратиться (Р. С. Персон, 1969а; Yusevich, 1967).

Первым этапом должна быть качественная оценка электромиограмм, которая состоит в классификации их типов (или форм отдельных колебаний при локальной электромиографии) в соответствии со схемой, принятой тем или иным автором. Без этого невозможен дальнейший анализ физиологического или патофизиологического значения отраженных электромиограммой особенностей электрической активности мышц.

На втором этапе, при количественной обработке электромиограммы, измеряют основные параметры, характеризующие колебательный процесс: амплитуды колебаний, их частоту и ряд временных показателей, позволяющих оценить общее течение процесса, отраженное структурными особенностями электромиограммы (величину латентных периодов возникновения и прекращения электрогенеза после соответствующих сигналов, устойчивость и продолжительность колебательного процесса и т. п.).

Наряду с перечисленными «абсолютными» количественными оценками электромиограмм при обработке их могут быть использованы различные коэффициенты, дающие возможность проводить сравнительные оценки электромиограмм, записанных в разных мышцах, в различные периоды заболевания, и т. п.

Только после такой количественной и качественной обработки электромиограмм возможно их сопоставление с клиническими и иными (механографическими, биохимическими и др.) характеристиками функционального состояния исследуемого участка нейромоторного аппарата. Без всех этих данных нельзя понять физиологический или патологический смысл результатов электромиографического исследования.

Приемы обработки и анализа электромиограммы в первую очередь определяются задачей конкретного исследования и соответствующими этой задаче способами отведения и записи мышечных потенциалов. Поэтому описание приемов обработки и анализа должно быть дано отдельно по отношению к каждому из трех направлений электромиографического исследования человека.

Обработка и анализ электромиограмм при локальной электромиографии. Как уже было сказано, задачей этого типа исследований является количественная и качественная характеристика колебаний потенциала, генерируемых отдельными мышечными волокнами, мионевральными окончаниями, двигательными единицами. Сама задача и способ отведения биоэлектрической активности таких элементарных образований нейромоторного аппарата (в норме и при различных непосредственных повреждениях сегментарных нейронов, их аксонов, мышечных волокон) упрощают регистрируемые электромиограммы.

В связи с этим становится возможным количественно охарактеризовать такие параметры, как продолжительность отдельных колебаний в миллисекундах, типичные амплитуды в микровольтах, их частоту и величину интервалов между колебаниями и устанавливать преобладающую их форму (рис. 12).

Использование в специальных исследованиях электродов особого типа («мультиэлектродов») позволило также определить размер изучаемых двигательных единиц и количество входящих в их состав волокон (Buchthal, 1957, 1962; Isch, 1963; Buchthal, Erminio, Rosenfalck, 1959, и др.).

Необходимо учитывать, что для получения количественных характеристик указанных выше параметров обязательно измерение достаточного числа колебаний потенциала, записанных с каждой исследуемой точки мышцы. Так, например, процентное распределение всех зарегистрированных колебаний по их форме (моно-, двух-, трех- и полифаз-

ной) может быть установлено только на основании анализа электромиограмм, отражающих не менее 200 колебаний потенциала.

При точном соблюдении техники и методики локальной электромиографии удалось установить статистически достоверные характеристики перечисленных параметров в норме и их изменения при определенных видах двигательных расстройств.

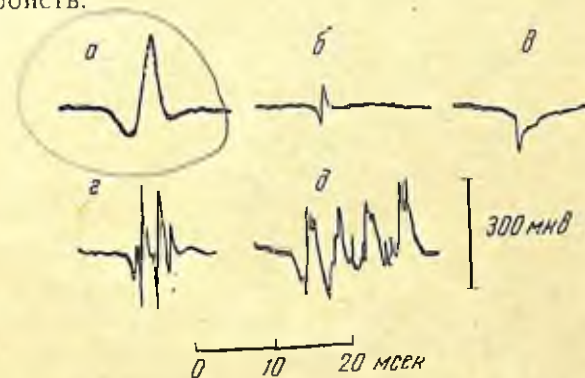


Рис. 12. Различные формы колебаний потенциала при локальном отведении.
а — потенциал двигательной единицы; *б* — потенциал фибрилляций; *в* — положительный монофазный потенциал; *г* — полифазный потенциал с «пиковым» колебанием малой продолжительности; *д* — групповой полифазный потенциал (Buchthal, 1957).

Эти результаты локальных электромиографических исследований широко используются в клинических целях и при разработке ряда проблем нейрофизиологии двигательной функции.

Обработка и анализ электромиограмм при стимуляционной электромиографии. Электромиограммы, полученные этим методом, позволяют изучить возникновение ответного возбуждения исследуемой мышцы при точно дозированном электрическом раздражении моторных или сенсорных волокон смешанного нерва.

На каждое (обычно супрамаксимальное) раздражение возникает возбуждение во всех волокнах нерва и также одновременное ответное возбуждение всех мышечных волокон, образующих исследуемую мышцу. В связи с этим

регистрируемые при таком способе исследования электромиограммы отражают высоковольтные колебания, по частоте соответствующие раздражающим электрическим импульсам. При обработке таких (также относительно упрощенных) электромиограмм нужно установить количественную и качественную характеристику применяемого электрического раздражения (его вольтаж, частоту, продолжительность и форму импульсов) и соотнести эти особенности с некоторыми параметрами возникающих мышечных потенциалов: амплитудами, формой, продолжительностью латентного периода между моментом раздражения нерва и началом ответного колебания потенциала в мышце.

Величину латентного периода и расстояния между раздражаемой точкой нерва и двигательной точкой мышцы используют для вычисления скорости распространения нервного импульса по моторным или сенсорным волокнам. На основе интенсивно разрабатываемых в последние десятилетия методики и техники стимуляционной электромиографии получены фактические данные, отраженные в обширной литературе. Эти данные служат основанием для характеристики возбудимости мышцы и нерва и широко используются в клинике.

Анализируя оптимальный и пессимальный ритм и вольтаж раздражений, определяют лабильность нейромоторного аппарата. Путем записывания рефлекторного ответа мышцы на механическое раздражение ее рецепторов (например, при вызывании сухожильных рефлексов) или на электрическое раздражение нерва можно оценить функциональное состояние сегментарной рефлекторной дуги. Число работ, посвященных анализу таких прямых и рефлекторных ответов мышцы (М и Н), буквально необозримо. Поэтому ограничимся краткой характеристикой обработки кривых, полученных при стимуляционной электромиографии, и отошлем читателя к библиографическому указателю.

Не останавливаясь подробно на технике и методике стимуляционной электромиографии, отметим только, что этот способ исследования мышечного электрогенеза представляет собой усовершенствованные приемы электродиагностики, при которых благодаря созданию более совершенных электронных стимуляторов и специальных электромиографов определение перечисленных выше параметров опирается не на визуальное улавливание и оценку мышечного сокраще-

ния или связанного с ним движения, а на анализ отраженных в электромиограмме колебаний потенциала.

Квалифицированное проведение электромиографических исследований локального и стимуляционного типа возможно только при наличии современных электронных стимуляторов и специализированных электромиографов, с высоким входным сопротивлением, прерывистой регистрацией колебаний потенциала, варьирующей и высокой скоростью пробега луча и с возможностью триггерного запуска фоторегистрирующего устройства электромиографа раздражающим импульсом. Технические и методические вопросы этих двух направлений электромиографии неоднократно обсуждались на симпозиумах и съездах и отражены в многочисленных публикациях.

В последнее время работы, опирающиеся на приемы стимуляционной электромиографии, все шире используются при исследовании возможных механизмов двигательных реакций человека в норме и патологии.

Обработка и анализ электромиограмм при глобальной электромиографии. Наиболее сложны и наименее разработаны приемы анализа и обработки электромиограмм, полученных при глобальном отведении мышечных потенциалов.

Объектом электромиографического исследования в таких случаях являются биоэлектрические процессы, связанные с возбуждением множества сегментарных мотонейронов и иннервируемых ими мышц во время реализации центрально координированных двигательных реакций в норме и при двигательных нарушениях (Ю. С. Юсевич, 1958, 1963; Davis, 1942; Delhez, 1963, и др.).

Хотя это направление электромиографии возникло еще на ранних этапах развития исследований мышечных потенциалов (в конце XIX — начале XX века) и тогда же приемы обработки и анализа электромиограмм обсуждались ведущими электрофизиологами, но и сейчас еще нет общепризнанных мнений по этому вопросу.

Возросший в последние годы интерес к теоретической нейрофизиологии движений человека и расширение технических возможностей также способствовали возобновлению интереса электрофизиологов к глобальной электромиографии.

Глобальное отведение колебаний потенциала от двигательной точки мышцы и полиграфическая регистрация электромиограмм многих мышц, участвующих одновремен-

но в осуществлении различных видов двигательных реакций, позволили использовать глобальную электромиографию не только для характеристики электрогенеза отдельных мышц, но и для изучения влияния надсегментарных отделов мозга на координированное возбуждение мышечных ансамблей при любых видах нормальной и патологически нарушенной двигательной активности человека (Р. С. Персон, 1965; Л. Г. Охнянская, А. А. Комарова, 1970; Vastajian, 1967; Rasch, Burke, 1967, и др.).

Одновременная с электромиограммами регистрация электроэнцефалограмм, электрокардиограмм или запись пневмограмм позволяет установить связь и взаимодействие функциональной активности нейромоторной и иных систем организма.

Все более широкое использование глобальной электромиографии в исследовании двигательной активности человека, особенно сложных (трудовых, спортивных) ее видов, обусловило и заметное повышение интереса к методике обработки и анализа таких электромиограмм.

Особое внимание уделяют разработке приемов анализа мышц и мышечных ансамблей при разных видах нормальных и патологически нарушенных двигательных реакций, а также сопоставлению электрографических характеристик процессов возбуждения нейромоторного аппарата с клинической оценкой его функционального состояния. Такое сопоставление более доступно и правомерно при глобальной электромиографии, характеризующей электрическую активность мышцы в целом как органа, осуществляющего двигательную реакцию, чем сопоставление локально отведенных колебаний потенциала в отдельных участках мышцы, случайно оказавшихся вблизи внутримышечного электрода.

Иные закономерности формирования колебаний потенциалов в таких сложных образованиях, как мышцы и мышечные ансамбли, требуют для их обнаружения и иных приемов обработки и анализа электромиограмм, чем описанные выше и используемые при локальной и стимуляционной электромиографии. На основе литературных данных и собственного опыта мы можем наметить некоторые приемы обработки и анализа электромиограмм, доступные в клинике и позволяющие подойти к количественной и качественной характеристике мышечного электрогенеза у здорового и больного человека.

Качественная обработка электромиограмм. Обработку целесообразнее всего начинать с установления качественных

особенностей электрической активности путем классификации электромиограмм по принятой автором схеме и при последующем учете распределения по типам в всех зарегистрированных в той или иной мышце электромиограмм.

Потребность в создании классификаций электромиограмм возникла у клинических электрофизиологов в начале второй мировой войны, когда в связи с военными травмами и эпидемиями во многих странах проводились массовые клинические электромиографические исследования. Тогда же появилась необходимость установить закономерную связь нарушений биоэлектрической активности мышц с характером и тяжестью наблюдаемых двигательных расстройств, т. е. с локализацией и степенью повреждения периферической и центральной нервных систем (Hanson et al., 1954).

Классификация электромиограмм, полученных при локальном отведении мышечных потенциалов, была предложена Buchthal (1957) и в несколько модифицированном виде — испанскими электрофизиологами (Subirana, Maso-Subirana, 1957) (рис. 13).

Классификация глобально отведенных электромиограмм была разработана нами и описана в ряде работ (Ю. С. Юсевич, 1955, 1958, 1963). Поэтому ограничимся кратким описанием выделенных в ней 4 типов (рис. 14).

Тип I отражает высокочастотные, асинхронные колебания потенциала с изменчивыми амплитудами; вольтаж амплитуд зависит от функционального состояния мышцы при той или иной двигательной реакции. В норме вольтаж равен 5—10 мкв в состоянии покоя, 20—30 мкв при тонических реакциях и 500—1500 мкв при максимальном сокращении.

Тип II характеризуется низкочастотными осцилляциями и четким ритмом колебаний. Частота их варьирует от 6 до 50 колебаний в секунду; амплитуды зависят от тяжести поражения функции.

При типе III отмечается усиление частых колебаний потенциала в «покое», искажение нормальной структуры электромиограмм «залпами» частых осцилляций, возникающих в связи с ритмическими или неритмическими видами гиперкинезов.

Тип IV отражает только полное «биоэлектрическое молчание» при всех видах функциональных нагрузок. Он характерен для отсутствия биоэлектрической активности парализованных, атоничных мышц.

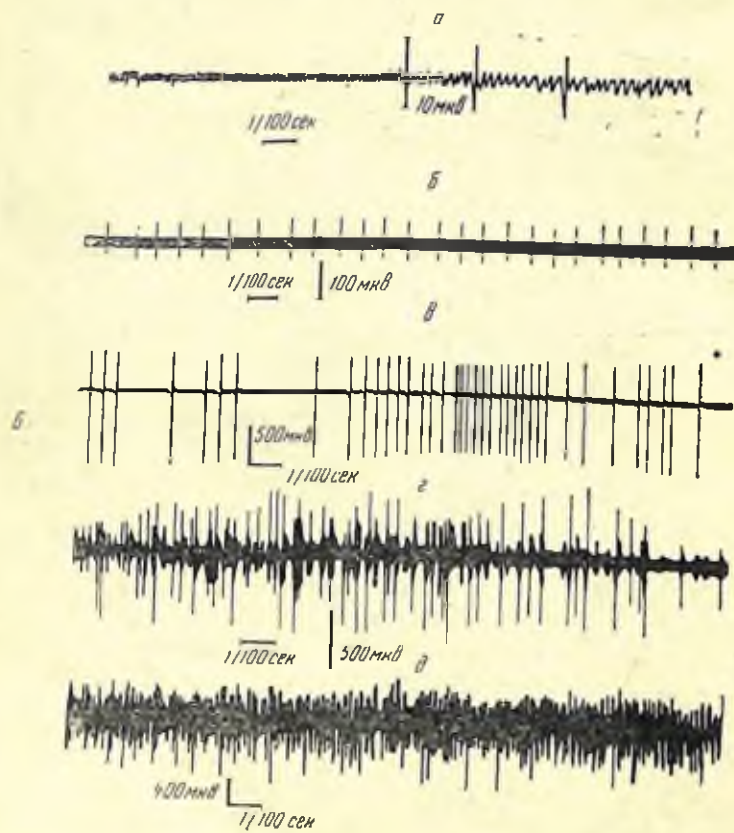
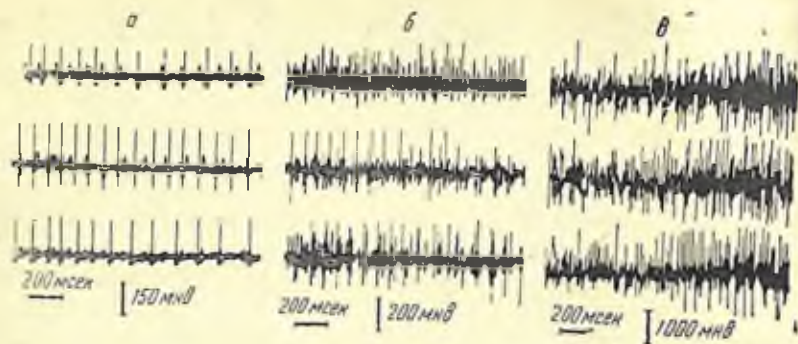


Рис. 13. Основные типы электрограмм. Локальное отведение.
 А — классификация Бухтала: а — тип отдельных осциллирующих; б — тип переходный; в — тип интерференционный (Buchthal, 1957).
 Б — классификация Субирана и Мазо-Субирана: а — кривая отдельных двигательных единиц с амплитудами колебаний 100 мкВ и частотой колебаний 12 в секунду; б — простая кривая с амплитудами 100 мкВ и частотой колебаний 12 в секунду; в — атипичная простая кривая — разряды двигательных единиц большой амплитуды — свыше 1000 мкВ и с максимальной частотой 40 в секунду; г — переходный тип; д — интерференционный тип (Subirana et al., 1957).

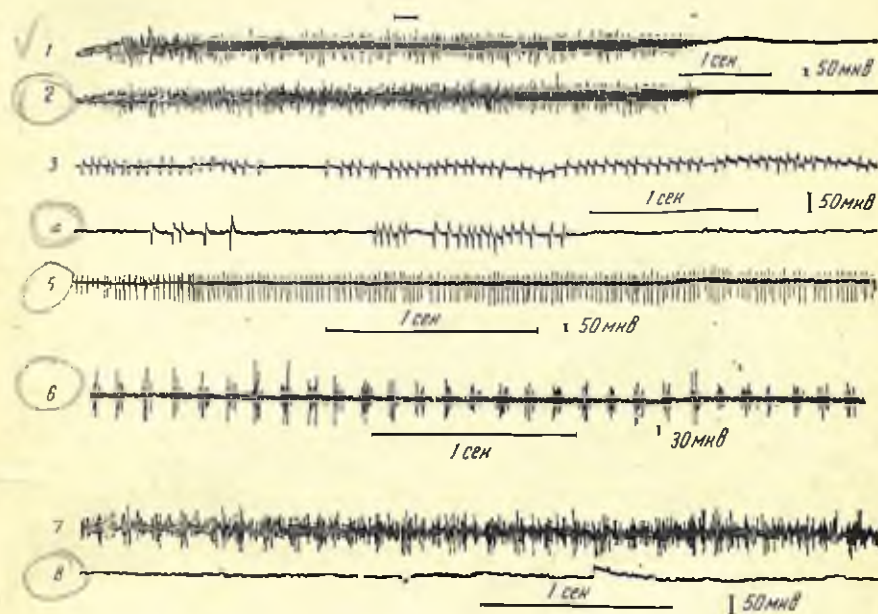


Рис. 14. Основные типы электрограмм. Глобальное отведение.
 1 и 2 — интерференционный тип; 3 и 4 — тип IIa; 5 — тип IIб; 6 — тип III, ритмические «залпы» колебаний при треморе; 7 — тип III, четкие «залпы» на фоне интерференционной ЭМГ при ригидности; 8 — тип IV, полное биоэлектрическое молчание.

Как видно из рис. 13 и 14, несмотря на то что эти классификации систематизируют электромиограммы, отведенные различными способами (при локальной и глобальной электромиографии), они во многом сходны. Частота встречаемости типов электромиограмм, записанных в данной мышце при данном ее функциональном состоянии, позволяет судить о закономерной связи мышечного электрогенеза с физиологическим или патофизиологическим состоянием исследуемого участка нейромоторного аппарата.

Таким образом, уже элементарный и несколько условный прием — качественная классификация всех полученных электромиограмм и количественный учет частоты их встречаемости — позволяет использовать результаты глобального электромиографического исследования при решении ряда практических и теоретических задач.

К положительным особенностям приема классификации относятся его простота, чисто описательный и доступный при визуальной обработке характер признаков, на которые опираются при определении типа той или иной электромиограммы, а главное, возможность количественно обоснованного установления преобладающего типа электромиограмм и связи этого преобладания с определенным функциональным состоянием мышцы. Мы видим, что независимо от способа отведения электромиограммы, зарегистрированные в мышцах, близких по состоянию двигательной функции, или у больных с одинаковыми синдромами двигательной патологии, одинаковы по типу и сходно распределяются в процентном отношении. Все это позволяет сказать, что при любом методе электромиографического исследования улавливаются качественно идентичные биоэлектрические процессы.

• **Количественная обработка.** При визуальной обработке электромиограмм количественными показателями служат амплитуды и частоты колебаний.

Несмотря на значительную изменчивость амплитуд в глобально отведенных интерференционных электромиограммах, удается установить типические, наиболее часто встречающиеся амплитуды и, таким образом, охарактеризовать общую интенсивность электрической активности, ее устойчивость, течение колебательного процесса, общую структуру электромиограммы.

Амплитуды измеряют в миллиметрах и, учитывая чувствительность установки, переводят в микровольты. Как уже отмечалось выше, предпосылкой измерения этого парамет-

ра является точная оценка чувствительности установки в момент записи данной электромиограммы.

В зависимости от задачи работы измеряют амплитуды колебаний, либо наиболее часто встречающихся во время максимальной интенсивности изучаемой реакции, либо на разных участках электромиограммы, отражающих динамику биоэлектрической активности в разные моменты данной реакции (например, в фазе подготовки к движению, в начале, на максимуме, при разной степени утомления и т. п.). При оценке типических амплитуд могут быть использованы различные статистические показатели: среднее арифметическое, медиана, мода.

Как показали многочисленные работы, измерение типических амплитуд позволяет определить один из показателей интенсивности биоэлектрических процессов в различных мышцах, при разных видах нормальных и патологически нарушенных двигательных реакций.

Интенсивность электрогенеза характеризуется также электромиографами, снабженными различными интеграторами или приборами, дающими кривые усредненного вольтажа (Ю. С. Юсевич, 1970).

Частота колебаний. При глобальном отведении точно определить частоту колебаний можно только в электромиограммах, отражающих редкие, четкие по ритму колебания (тип II нашей классификации). Техническим условием подсчета частоты колебаний является точная характеристика скорости движения фотобумаги или пленки (при непрерывной регистрации) или скорости развертки луча (при прерывистой регистрации).

При обычной для клинической электромиографии скорости движения бумаги (50 мм/сек) и при высокой частоте колебаний (от 100 до 1000 колебаний в секунду) на каждый миллиметр осциллограммы приходится до 20 осцилляций, поэтому даже при фоторегистрации колебания наслаиваются друг на друга. Дифференциация и тем более визуальный подсчет таких слившихся в одно пятно колебаний практически невозможны.

В немногочисленных работах, несмотря на попытки визуального подсчета частоты колебаний, авторам не удалось установить отчетливых и статистически достоверных различий этого параметра в норме и патологии, в мышцах здоровой и больной стороны или в мышцах спортсменов до и после тренировки. Не случайно, что в статьях и работах монографического характера, вышедших за последние 10

лет, прием визуального подсчета частоты колебаний в электромиограммах интерференционного типа не упоминается.

Бесплодность попыток визуального подсчета частоты колебаний в электромиограммах интерференционного типа может быть объяснена следующим образом.

Четкие колебания потенциала, которые являются биоэлектрическим компонентом каждой вспышки возбуждения, каждого нервного импульса, в норме улавливаются только при локальном отведении. Но даже при этом методе, если электромиограмма отражает интерференционную кривую, подсчитать частоту колебаний невозможно.

В глобально отведенных электромиограммах вследствие физиологической и физической интерференции отдельные колебания сливаются и не могут быть выделены при визуальном анализе. Только при высокой синхронности возбуждения отдельных элементов нейромоторного аппарата (в норме при моносинаптическом рефлексе, в патологии при грубых поражениях переднероговых мотонейронов) в глобальных электромиограммах возможен визуальный подсчет частоты колебаний.

По мнению некоторых авторов, отдельные колебания потенциала в интерференционной кривой могут быть выделены посредством специального автоматического и математического анализа (P. C. Person, 1969, 1970; Keiser, Peterson, 1963, 1969; Sato, 1963, и др.).

Временные характеристики. Развертывание биоэлектрической активности во времени может быть охарактеризовано различными временными параметрами.

Величина латентного периода — время между сигналом к выполнению движения и появлением в электромиограмме первых колебаний потенциала — близка к латентному периоду простой двигательной реакции, тахистоскопически определенному психофизиологами еще в XIX веке. В результате электромиографических исследований последних лет установлено, что в норме величина латентного периода электрогенеза лежит в пределах 150—200 мсек. В патологии, например при центральных постинсультных парезах, этот показатель намного выше как для предшествующего движению интенционного возбуждения, так и для электрических колебаний активного сокращения (П. И. Сидоров, 1970).

Кроме латентного периода начала электрической активности, учитывают также время между приказом к прекра-

щению движения и исчезновением на электромиограмме колебаний потенциала. Как показали данные некоторых авторов, такой «продленный» электрогенез у больных с центральными двигательными расстройствами значительно более продолжителен, чем у здоровых людей (В. П. Новикова, 1968; Ю. С. Юсевич, 1969; Hoffmann, 1964).

Некоторые авторы учитывали также показатель скорости «рекрутирования», т. е. время от появления первых колебаний потенциала (которые, по данным Кугельберга, характеризуют активацию наиболее возбудимых единиц) до достижения наибольших амплитуд. Это время свидетельствует о скорости включения в реакцию новых двигательных единиц по мере увеличения силы сокращения мышцы.

Временные характеристики развертывания биоэлектрической активности отражают продолжительность и устойчивость биоэлектрических процессов, оценивают быстроту их начала, нарастания, прекращения во время двигательной реакции, вызванной надсегментарными импульсами. Это дает возможность судить и о сохранности надсегментарной регуляции движений, т. е. о способности высших отделов нервной системы управлять процессами возбуждения и торможения сегментарных и периферических аппаратов. Изменение этих временных характеристик в патологии позволяет дифференцировать центральные и периферические механизмы регуляции двигательных реакций человека.

Относительные показатели. Наряду с такими «абсолютными» характеристиками интенсивности и развертывания колебательного процесса, как амплитуды, частоты и временные показатели, ряд авторов широко используют относительные характеристики — коэффициенты, отражающие соотношение тех или иных показателей в сравниваемых мышцах, коэффициенты асимметрии, синергии, адекватности и т. п. (Ю. С. Юсевич, 1958, 1963; Л. Г. Охрянская, А. А. Комарова, 1970).

При всем разнообразии названий таких коэффициентов все они, как правило, представляют собой процентное отношение величины того или иного параметра, установленного при обработке электромиограмм сравниваемой мышцы, к величине такого же показателя для мышцы, с которой проводится сравнение. Так, например, при сравнении типичских амплитуд в одноименных мышцах правой и левой руки можно установить и оценить степень асимметричности элек-

трогенеза. Соотношение амплитуд колебаний потенциала в мышцах, по-разному участвующих в реализации движения (агонистов, антагонистов, синергистов), помогает определить роль каждой из них в его выполнении. Относительные показатели значительно облегчают обработку электромиограмм, полученных при глобальном отведении, помогая обнаружить нарушения координации участия мышц в той или иной двигательной реакции.

Очевидно, что предпосылкой использования всех описанных приемов обработки и анализа электромиограмм является обеспечение ряда основных технических и методических правил их отведения и записи. Кроме соблюдения этих условий, необходимо обязательное и четкое ведение протокола исследования (Ю. С. Юсевич, 1958).

Основным исходным документом каждого электромиографического исследования является протокол. Последующее его использование позволяет подойти к обобщенной и статистически обоснованной характеристике электрической активности мышц у различных категорий обследованных людей, к составлению таблиц и их графическому отражению в диаграммах и т. п. Без тщательного ведения и обработки протоколов невозможно обобщение и использование электромиографии для практических и исследовательских целей.

Протокол должен содержать основные формальные и клинические сведения об исследуемом и о функциональном состоянии изучаемых мышц; отразить последовательность записи электромиограмм по каждому каналу установки, последовательность кадров, зарегистрированных с каждой мышцы при различных функциональных нагрузках; содержать точное указание чувствительности установки в микровольтах на 1 мм в момент записи каждого кадра, характеристику скорости движения бумаги (при непрерывной регистрации) или скорости развертки луча при прерывистой.

Форма протокола каждого отдельного электромиографического исследования, конечно, варьирует в зависимости от его задачи и особенностей двигательной патологии у исследуемого больного. Однако для обеспечения возможности последующей обработки и анализа записанных электромиограмм каждый протокол должен обязательно содержать перечисленные выше сведения. Протокол каждого исследования должен записываться на отдельном листе бумаги, ибо только таким путем можно облегчить последующую сортировку накопленных протоколов и их статистическую обработку. Обработку и анализ протоколов обязательно нужно проводить непосредственно после каждого исследования или в ближайшие дни. Только при такой быстрой и систематической обработке можно своевременно обнаружить и исправить допущенные при съемке ошибки.

Примерный образец бланка для протокола был предложен Ю. С. Юсевич (1958). Он, конечно, должен изменяться соответственно с особенностями задачи и методики электромиографического исследования.

Приводим основную схему протокола. Лист бумаги складывают вдвое. На первой (наружной) странице записывают основные формальные данные об исследуемом и краткие сведения о статусе к моменту исследования (диагноз, неврологический статус с выделением наиболее пострадавших мышц и т. п.). Вторую и третью (внутренние) страницы расчерчивают по следующему образцу в соответствии с числом каналов установки.

№ п/п	Кадр	Усиление в мкс	Канал 1	Канал 2	Канал 3
			правый общий разгибатель пальцев	левый общий разгибатель пальцев	правый поверхностный сгибатель пальцев
1	Покой	10			
2	Вдох	10			
3	Синергия	20			
4	Сокращение	50			
			Правая передняя большеберцовая мышца	Левая передняя большеберцовая мышца	Правая икроножная мышца
5.	Покой	10			
6	Вдох	10			
7	Синергия	20			
8	Сокращение	50			

При переходе к регистрации электрогенеза других мышц последовательность нумерации кадров продолжается; общее число кадров, отраженных электромиограммой, должно совпадать с их количеством, указанным в протоколе. Поэтому необходимо каждый повторно снятый кадр вписывать в протокол. Во время исследования в протоколе фиксируют только последовательность кадров и условия, при которых они регистрировались. Количественную и качественную обработку проводят позднее и по каждому кадру записывают амплитуды колебаний в микровольтах, их частоту в секунду, тип электромиограммы и другие параметры мышечных потенциалов, учитываемые исследователем.

Краткое заключение по результатам электромиографического исследования записывают на последней (наружной) странице. Заключение должно соответствовать задаче исследования и полученным в нем результатам и как минимум содержать следующие данные: 1) формальные сведения, диагноз и дату исследования, перечень мышц, в которых проводилась запись электромиограмм; 2) общую характеристику результатов обработки со специальным указанием мышц с наиболее грубыми нарушениями биоэлектрической активности; 3) краткое заключение о характеристике этих нарушений для того или иного синдрома двигательной патологии. При повторных исследованиях одного и того же больного необходимо добавить данные о динамике электрогенеза со времени первого исследования (его ухудшение или улучшение).

* * *

Обобщая все сказанное, подчеркнем еще раз следующее. Электрическая активность мышц и мышечных ансамблей, глобально отведенная во время различных двигательных реакций, отражает координированное и надсегментарно регулируемое возбуждение многочисленных элементарных единиц сегментарного и периферического нейромоторного аппарата. В связи с новыми задачами электромиографиче-

ского исследования таких сложных ансамблей способы обработки электромиограмм должны быть иными, чем при обработке электромиограмм при локальной или стимуляционной электромиографии.

Могут быть использованы следующие описанные выше приемы: 1) качественная обработка — классификация типов электромиограмм и установление преобладания того или иного типа у здоровых людей и при различных синдромах двигательной патологии; 2) количественная обработка — измерение амплитуд и при определенных условиях частоты колебаний; 3) временные показатели — оценка развертывания во времени колебательного процесса; 4) относительные показатели, дающие сравнительную оценку электрической активности в различных мышцах, при разных видах двигательных реакций. Эти относительные показатели часто облегчают использование полученных при электромиографическом исследовании данных для выяснения влияния над-сегментарной регуляции движений.

В условиях клинического электромиографического исследования только тщательное сопоставление всех обобщенных электрографических характеристик с клинической оценкой функционального состояния мышцы позволяет от чисто описательного установления особенностей мышечных потенциалов подойти к пониманию и интерпретации их физиологического и патофизиологического смысла. Тем самым расширяются возможности использования электромиографических данных не только в клинической практике, но и для разработки проблем нейрофизиологии двигательной функции человека в норме и для патофизиологического анализа механизмов двигательных расстройств, возникающих при повреждении любых звеньев нейромоторной системы.

Глава IV

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ И ПАТОЛОГИИ

Еще в глубокой древности люди понимали исключительное значение распознавания и лечения двигательных расстройств, лишаящих человека возможности активно приспособляться к жизни и общаться с другими людьми. Всегда все, что могло помочь в лечении такого рода заболеваний, привлекало особое внимание и находило широкое применение во врачебной практике и физиологических исследованиях человека. Понятно, что появившиеся в конце XIX века электрофизиологические методы исследования раньше всего были использованы в клиниках, где лечились больные с расстройствами движений, и в лабораториях, изучавших двигательную функцию у здорового и больного человека.

Другими источниками, стимулировавшими развитие электромиографических исследований человека, были разработка в экспериментальных физиологических лабораториях методов изучения на животных колебаний потенциала, генерируемых возбуждающимися нервами и мышцами, и нейрофизиологические исследования двигательной функции, начатые в конце XIX века.

Тематика электромиографических работ сначала диктовалась преимущественно потребностями клиники и необходимостью установления хотя бы ориентировочных нормативов для основных разделов физиологии движений. По мере накопления фактических данных и технического совершенствования применяемой аппаратуры появилась возможность участия электромиографии также в изучении проблем теоретической нейрофизиологии движений. Это, естественно, существенным образом расширило и изменило тематику исследований.

В связи с указанным различием истоков и путей развития электромиографических исследований человека попытка даже схематического обобщения полученных к настоящему времени результатов требует их рассмотрения в двух

аспектах. Для клинки целесообразно подытожить наметившиеся уже характеристики электрической активности мышц при различных видах двигательных реакций человека в норме и при некоторых синдромах двигательной патологии. Отдельного рассмотрения заслуживают результаты электромиографических исследований, полученные при изучении проблем, имеющих особое значение для нейрофизиологии движений. Например, проблемы онтогенетического развития двигательной функции, изучения функциональных особенностей мышц, регуляции мышечного тонуса и др.

Эти работы начаты только в последние два десятилетия, их немного и их результаты еще ограничены. Именно поэтому важно привлечь внимание электрофизиологов к изучению данных вопросов.

Все сказанное определяет принятый нами в рассматриваемой главе порядок изложения некоторых результатов электромиографических исследований человека.

Электромиограммы нормальных двигательных реакций

Главным итогом изучения электрической активности здоровых лиц явилась установленная всеми авторами зависимость ее от вида двигательной реакции, т. е. от особенностей функционального состояния исследуемого участка нейромоторного аппарата. Отмечена также «срочность», или немедленность, изменений колебаний потенциала при смене двигательных реакций, т. е. при переходе от «покой» к тоническим напряжениям и фазным сокращениям мышц.

«Покой» произвольно расслабленных мышц. В норме, при глобальном отведении, электромиограммы «покоя» отражают лишь низковольтные, частые колебания, возникающие у бодрствующего человека в связи с легким тоническим напряжением мышц. Электрогенез экстензорных антигравитарных мышц (шеи, спины, жевательных) несколько выше, чем сгибательных, а возможность их произвольного расслабления меньше. Следует отметить, что способность расслабления мышц у различных людей неодинакова. Иногда она настолько недостаточна, что до проведения электромиографической записи необходима специальная тренировка на расслабление мышечного тонуса (В. Л. Федоров, 1955; Ю. С. Юсевич, 1963; Jacobson, 1938, и др.).

Тонические напряжения мышц. Результаты электромиографических исследований широкого круга тонических реакций выявили и подтвердили исключительную «откликаемость» нейромоторного аппарата на любые афферентные импульсы, притекающие к сегментарным мотонейронам от различных рецепторных систем и других отделов центральной нервной системы (Ю. С. Юсевич, 1963).

Дыхательные изменения мышечного тонуса. Электромиограммы, записанные во время глубокого вдоха, выявили незначительное усиление колебаний потенциалов, более выраженное в мышцах верхних конечностей и в антигравитарных экстензорных мышцах, чем во флексорных (Ю. С. Юсевич, 1963; Л. Г. Охнянская, А. А. Комарова, 1970, и др.).

В позе спокойного стояния различные фазы дыхательного акта вызывают незначительное смещение центра тяжести, отражаемое на стабิโลграмме, и одновременное увеличение электрической активности мышц конечностей и туловища (В. С. Гурфинкель, Я. М. Коц, Е. М. Пальцев, В. Г. Фельдман, 1966).

Синергические изменения тонуса. Эта форма тонических реакций характеризуется также нерезким повышением амплитуд биопотенциалов, которое тем значительнее, чем ближе расположены мотонейроны, иннервирующие активную и синергическую мышцы (Ю. С. Юсевич, 1958, 1963, и др.).

Наиболее интенсивна электрическая активность при синергиях симметричных, т. е. возникающих в мышце противоположной стороны, одноименной с сокращающейся. Мотонейроны, иннервирующие эти мышцы, близки функционально и расположены на одном уровне сегментарного (бульбарного или спинального) аппарата.

Отдаленные синергии развиваются в тех случаях, когда активная и синергическая мышцы иннервационно связаны с различными уровнями цереброспинальной оси. Так, например, при мощном сокращении жевательных мышц амплитуды колебаний потенциалов в синергически вовлекаемых мышцах рук выше, чем в мышцах ног.

Во время таких сложных координаторных синергий в мышцах, обеспечивающих необходимую для выполнения движений позу тела и тонический фон, возникает биоэлектрическая активность, которая тем интенсивнее, чем больше участие мышцы в позно-тонической реакции.

Обобщая пока еще немногочисленные электромиографические данные, можно установить следующие особенности

мышечного электрогенеза при синергических тонических реакциях.

1. Мышечные потенциалы при синергиях возникают и исчезают одновременно с активацией сокращающейся мышцы или нескольких мышц, осуществляющих движение; интенсивность электрической активности мышц, вовлекаемых в синергию, определяется силой сокращения активной мышцы и функциональной близостью мотонейронов, иннервирующих сокращающуюся и синергически возбуждающуюся мышцу. Амплитуды колебаний во время синергического напряжения, как правило, значительно ниже, чем при активном сокращении той же мышцы (Ю. С. Юсевич, 1963, и др.).

2. При синергии сложность мышечного ансамбля и многочисленность участвующих в нем мышц, обеспечивающих необходимый для движения синергический позно-тонический фон, всегда значительно больше, чем число активно сокращающихся мышц (И. С. Гельфанд и др., 1966).

Произвольные сокращения. Произвольные сокращения мышц были первым объектом биомеханики, которая изучала в конце XIX века наиболее автоматизированные движения (ходьбу, бег), пользуясь фото- и кинорегистрацией. В 20-е и 30-е годы текущего столетия изучались возрастные особенности моторики и некоторые виды трудовых и спортивных навыков, применяя циклографический метод (Н. А. Бернштейн, 1966).

Первые электромиографические работы, выполненные на аппаратах, еще неспособных улавливать слабые (низковольтные) колебания биопотенциалов, также имели своим объектом высоковольтные осцилляции, генерируемые сокращающимися мышцами. В последующие годы изучались различные виды произвольных движений.

Специальные исследования электрогенеза при координированной активности различных мышц, в частности мышца-антагонистов, начались также в 20-е годы (Wachholder, 1928).

Электромиограммы произвольных сокращений в норме характеризуются высокой частотой колебаний и асинхронностью их развития, величиной амплитуд, соответствующей в известных пределах силе сокращения мышцы, и зависимостью общей структуры электромиограммы от вида произвольного движения.

Типичные для нормального произвольного сокращения мышц электромиограммы характеризуют:

1) латентный период начала биоэлектрической активности — время между сигналом к движению и появлением первых колебаний. Этот период не превышает 100—250 мсек и несколько изменяется в зависимости от функциональных особенностей мышцы (П. И. Сидоров, 1970);

2) скорость «рекрутирования» мотонейронов и соответствующих двигательных единиц — время от появления первого колебания до установления максимальных амплитуд, не превышающее 150—200 мсек;

3) быстроту прекращения электрической активности мышц — латентный период между сигналом к прекращению движения и полным отсутствием осцилляций на электромиограммах; в норме феномен «продленной активности» не превышает 200—500 мсек;

4) устойчивость средней величины амплитуд колебаний в течение каждой фазы активного сокращения. Это определяет четкость структуры электромиограммы и возможность дифференцировать особенности электрической активности в различных фазах движения: при исходном «покое», в фазе интенциональной подготовки к движению, в начале, на максимуме и в конце сокращения;

5) четкое различие интенсивности электрических процессов в «ведущих» для данного движения мышцах и во «вспомогательных». Это свидетельствует о точности, избирательности, «заадресованности» засылки надсегментарных импульсов к сегментарным мотонейронам и мышцам, поразному участвующим в реализации данного движения.

Перечисленные основные особенности течения нормальной электрической активности мышц при их произвольном сокращении сохраняются и при изменении количественных характеристик электромиограмм в соответствии с видом движения.

Таковы общие особенности мышечного электрогенеза, установленные при глобальном электромиографическом исследовании нормальных двигательных реакций.

Электромиограммы патологически измененных двигательных реакций

Описанные у здоровых людей особенности мышечных потенциалов более или менее грубо нарушаются в соответствии с синдромом двигательного расстройства. Эти изменения выявляются, хотя и неодинаково отчетливо, при любых видах двигательных реакций (рис. 15).

«Покой» произвольно расслабленных мышц. Уже в «покое» качественные и количественные изменения электрической активности мышц обнаруживают явную связь с ведущим синдромом.

Так, денервация мышцы, возникающая при повреждении нервов (двигательного или моторных аксонов смешанного), вызывает появление патологической спонтанной электрической активности мионевральных окончаний и мышечных волокон — потенциалов фибрилляций, монофазных положительных потенциалов (Buchthal, 1957, 1962; Adams et al., 1962; Jsch, 1963; Steinbrecher, 1965; Marinacci, 1968, и др.). Эта спонтанная электрическая активность возникает через 2—3 недели после нарушения связи мышц с соответствующими переднерговыми двигательными клетками и может улавливаться в течение 80—90 дней. В случае успешной реиннервации мышцы, когда периферический конец двигательных аксонов регенерирует и образуются новые концевые пластинки, патологическая «денервационная» колебательная активность исчезает. При

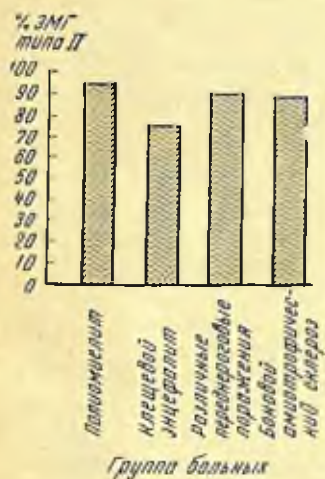


Рис. 15. Частота встречаемости электромиограмм типа II при переднерговых поражениях.

попытке движения она сменяется нормальной электрической активностью восстановившихся двигательных единиц. Если реиннервации мышцы не происходит, возникают последующие дегенеративные изменения мышечных волокон и их замещение соединительной или жировой тканью; денервационные колебания также исчезают, электромиограммы отражают полное «биоэлектрическое молчание», а стимуляция нерва или мышцы выявляет грубое падение их электровозбудимости.

При повреждении ядерных или сегментарных мотонейронов на ранней стадии в электромиограммах «покоя» появляются нерегулярные, неритмические, часто неодинаковые по амплитудам отдельные и групповые колебания потенциала типа фасцикуляций.

При полной гибели ядерных или сегментарных нейронов электромиограммы «покоя» денервированных, атоничных парализованных мышц отражают только полное «биоэлектрическое молчание».

Из наиболее электромиографически изученных надсегментарных двигательных расстройств нарушения электрогенеза «покоя» менее интенсивны в группе центральных спастических парезов и более выражены при экстрапирамидных гипертониях (ригидности) и гиперкинезах. «Покой» спастических мышц, как и у здоровых людей, характеризуется только низковольтными (до 10 мкв) и частыми колебаниями; расслабление таких мышц удается с трудом. При экстрапирамидных синдромах электромиограммы «покоя» отражают значительный по амплитудам колебательный процесс, который течет либо непрерывно (ригидность), либо расчленен на ритмически повторяющиеся «залпы» колебаний (ЭМГ тремора «покоя»).

Тонические напряжения мышц. Дыхательные изменения мышечного тонуса. Мышечные потенциалы во время этого вида тонической реакции, как и в «покое», изменяются в соответствии с патологическим синдромом. Качественные особенности этих изменений (их тип) сходны с теми, которые были записаны в электромиограммах «покоя» тех же мышц. Количественные параметры могут изменяться.

В денервированных мышцах, связь которых с центральной нервной системой полностью нарушена, наблюдается «спонтанная» денервационная активность, сходная с описанной в «покое».

При спинальных парезах на ранней стадии повреждения мотонейронов во время глубокого вдоха выявляется усиление и учащение потенциала фасцикуляций. Несколько позже могут появляться редкие ритмические колебания.

При спастических парезах на глубоком вдохе колебания потенциалов резко увеличиваются. Такие электромиограммы четко характеризуют отличие биоэлектрической активности спастических мышц от менее интенсивного ее нарастания в норме или в симметричных мышцах так называемой здоровой стороны у больных с гемипарезами. У больных с ригидностью и гиперкинезами мышечный электрогенез во время вдоха иногда усиливается — амплитуды колебаний и частота «залпов», характерных для дрожания, возрастают (Ю. С. Юсевич, 1958, 1963; Broman, 1949; Hufschmidt, 1962 а, б; Shimazu et al., 1952; Yusevich, 1969, и др.).

Синергические изменения тонуса. Электромиографические исследования патологических синергий встречаются чаще, чем физиологических. Однако и в этих работах нет дифференцированной оценки биоэлектрических процессов в функционально различных мышцах, активирующихся при разных условиях их вовлечения в синергию.

При умеренной тяжести повреждения электромиограммы синергий наряду с патологическими изменениями отражают отмеченные нами особенности, характерные для синергий физиологических. При выраженности патологического процесса электромиограммы синергий полностью изменяются. При вялых периферических параличах (с полной денервацией, атрофией, атонией, арефлексией) усиления электрогенеза, как и во время вдоха, не наблюдается.

На ранних стадиях переднеронового поражения синергические изменения тонуса сопровождаются более частым появлением и резким нарастанием амплитуд потенциалов фасцикуляций, усилением редких ритмических колебаний.

При центральных спастических гипертониях биоэлектрические процессы резко усиливаются: амплитуды колебаний в спастико-паретических мышцах могут во время синергической реакции быть значительно большими, чем при произвольном сокращении тех же мышц.

Экстрапирамидные гиперкинезы и особенно мышечные спазмы (торсионная дистония) характеризуются резким и избирательным усилением биоэлектрической активности. Если синергические тонические напряжения переходят в сокращения синкинезии, то и колебательные процессы в осуществляющих синкинезию мышцах усиливаются.

Произвольные сокращения мышц. При вялых параличах (тяжелые миогенные и невритические поражения, гибель сегментарных или ядерных мотонейронов) попытки произвольного сокращения пострадавших мышц не удаются и их электромиограммы отражают только полное «биоэлектрическое молчание».

Выраженные парезы, вызванные неполным аксональным перерывом или частичной блокадой проведения импульсов по нерву, приводят к ослаблению электрической активности — к снижению амплитуд колебаний без заметного уменьшения их частоты.

Грубые парезы наблюдаются также при гибели многих сегментарных мотонейронов (например, при полиомиелите). Электромиограммы этих мышц улавливают редкие колеба-

ния (до 15—25 в секунду) и низковольтные колебания (до 50—100 мкв). Они отражают электрогенез немногочисленных уцелевших нейронов и мышечных волокон (Ю. С. Юсевич, 1958, 1963).

В менее пострадавших мышцах, особенно в позднем редуальном периоде, произвольные сокращения сопровождаются также редкими (до 40—50 колебаний в секунду), но высоковольтными колебаниями потенциала, нередко значительно более высокими, чем при сокращении сходных мышц здорового человека. Их вольтаж достигает 3000—5000 мкв вместо 1000—1500 мкв в норме. Такие высоковольтные, но редкие колебания (тип II а ЭМГ) возникают, как показало специальное исследование, вследствие высокой синхронности возбуждения мотонейронов. В норме коэффициент синхронизации не превышает 2%, при грубых переднероговых поражениях может увеличиваться до 80—90% (Madsen, Buchthal, 1950).

При надсегментарных поражениях сегментарные и периферические аппараты сохранены, однако и в таких случаях колебательные процессы во время произвольных сокращений значительно нарушены (табл. 1).

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что как в норме, так и при различных синдромах надсегментарных двигательных расстройств преобладают определенные качественные особенности биоэлектрической активности нейромоторного аппарата (т. е. различные типы электромиограммы). При этом большое влияние на частоту проявлений тех или иных качественных изменений электрических процессов оказывает вид двигательной реакции, при которой была зарегистрирована электромиограмма.

Характерные особенности нарушений электрической активности, определяющие тип электромиограмм, зависят от тяжести повреждения нервной системы, т. е. от выраженности вызванного болезнью ведущего синдрома (рис. 16).

Изменения распределения по типам электромиограмм, повторно записанных в одной и той же мышце на разных стадиях заболевания, характеризуют динамику патологического (или восстановительного) процесса (рис. 17, 19).

Типичная для здорового человека интенсивность мышечного электрогенеза (амплитуда колебаний в микровольтах) характерным образом изменяется (табл. 2).

В соответствии с ведущим синдромом изменяются и все временные характеристики течения биоэлектрической активности, отраженного структурой электромиограмм.

Качественные особенности мышечных потенциалов при различных видах двигательных реакций в норме и у больных с надсегментарными двигательными нарушениями

Группа обследованных	Частота встречаемости электромиограмм данного типа в % к общему числу снятых при каждом виде реакции											
	покой				синергия				произвольное сокращение			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Контроль	100	—	—	—	98	2	—	—	100	—	—	—
Больные со спастическими гемипарезами («здоровая» сторона)	88	12	—	—	78	15	7	—	93	—	7	—
Больные со спастическими гемипарезами («больная» сторона)	88	18	6	—	76	18	—	30	44	6	20	30
Больные с паркинсоническим синдромом	48	—	52	—	27	—	73	—	40	—	60	—
Больные с торсионной дистонией	62	8	30	—	45	2	53	—	62	3	35	—

При спастических парезах отмечаются следующие явления:

1) замедленное начало появления колебаний потенциала — латентный период от сигнала к движению до первого колебания удлиняется, достигая 400—600 мсек, а в мышцах так называемой здоровой стороны увеличивается только до 300 мсек (норма 150—200 мсек) (П. И. Сидоров, 1970);

2) удлинненный период достижения максимума амплитуд — показатель «рекутирования» составляет около 400 мсек и более, а величина амплитуд значительно меньше, чем в норме (130 мкв против 800—1000 мкв);

3) колебательный процесс прекращается значительно позже сигнала к окончанию движения, «феномен продленной активности» продолжается 5—10 секунд (норма 1/2 секунды);

4) неустойчивость амплитуд колебаний потенциала на разных фазах движения. Это нарушает четкость структуры электромиограмм и затрудняет разграничение различных фаз сокращения мышцы;

5) почти одинаковая интенсивность электрогенеза в мышце, «ведущей» для данного движения, и во вспомогательных мышцах. По электрограмме таких больных трудно отличить активность главной мышцы и ее синергистов или антагонистов, которые по-другому участвуют в осуществлении движения.

Эти электромиографические данные, по-видимому, свидетельствуют о недостаточно четкой и координированной надсегментарной организации и регуляции возбуждения раз-

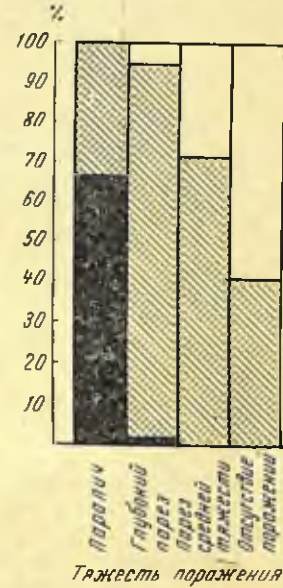


Рис. 16. Зависимость нарушенного электрогенеза от тяжести поражения.

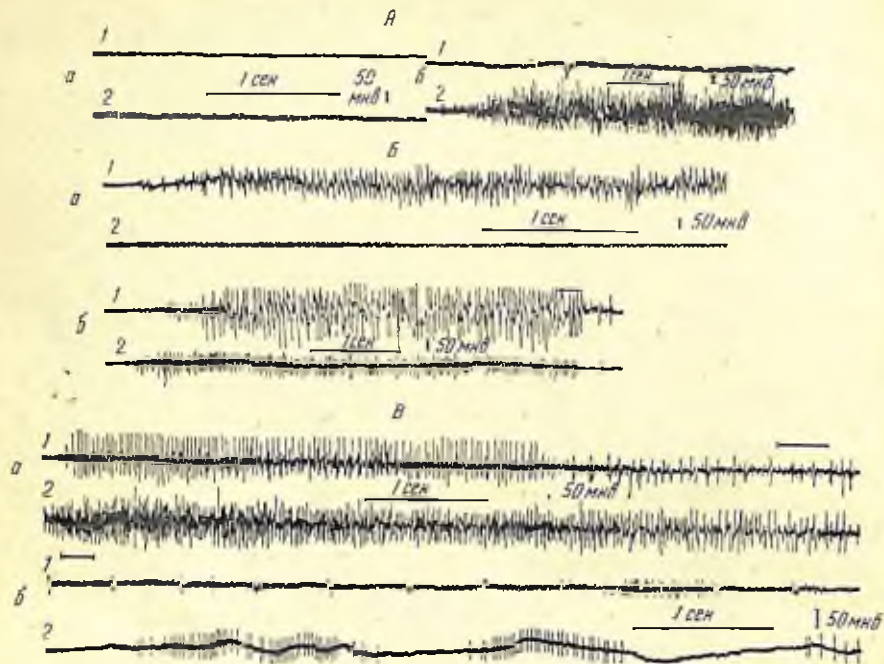


Рис. 17. Динамика электрогенеза при резидуальных и прогрессивных поражениях нервной системы.

А — больная Т. Диагноз: неврит малоберцовых нервов. Сверху вниз: 1 — ЭМГ произвольного сокращения правой большеберцовой мышцы (паралич); 2 — то же одноименной мышцы левой ноги (парез). Справа налево: а — 2 месяца с момента заболевания; б — то же через 4 месяца.

Б — больной Б. Диагноз: постполномиелитический парез общих разгибателей пальцев рук. Сверху вниз: 1 — ЭМГ произвольного сокращения правой (паретической) мышцы; 2 — одноименной левой мышцы (парализованной); а — один месяц с момента заболевания; б — то же через 6 месяцев.

В — больной М. Диагноз: боковой амиотрофический склероз; 1 — ЭМГ при попытке сокращения правого общего разгибателя пальцев; 2 — то же левого; а — первое исследование, б — то же через 2 года.

личных мотонейронов и мышц, по-разному участвующих в движении.

Изменения электрической активности при центральных гипертониях и гиперкинезах (паркинсонический синдром, торсионная дистония и др.) сходны с ее нарушениями при спастических парезах, но несколько от них отличаются.

Латентные периоды возникновения электрической активности и достижения максимума амплитуд у больных с паркинсонизмом и торсионной дистонией, как и при спастических парезах, увеличиваются, а амплитуды колебаний

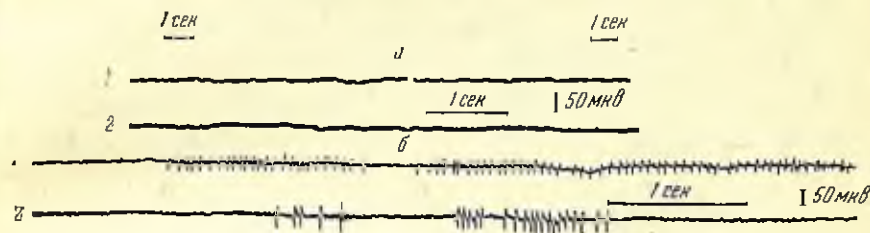


Рис. 18. Динамика улучшения мышечного электрогенеза при разной тяжести поражения. Больная П. Диагноз: постполномиелитический парез передних большеберцовых мышц. ЭМГ попытки активного сокращения. Сверху вниз: 1 — ЭМГ левой передней большеберцовой мышцы; 2 — ЭМГ правой передней большеберцовой мышцы; а — через месяц с момента заболевания; б — через год.

ослаблены не так резко. Замедляется также процесс прекращения колебаний потенциала после сигнала к окончанию движения — «феномен продленной активности» наблюдается реже, чем при спастических парезах. Возможно, что его отражение на электромиограммах после прекращения дви-

Таблица 2

Изменения величины колебаний потенциала в норме и при надсегментарных поражениях нервной системы во время различных двигательных реакций

Группа обследованных	Вид двигательной реакции		
	покой	синергия	произвольное сокращение
Контроль ¹	10	50	900
Больные со спастическими парезами («большая» сторона)	10	100	130
Больные с паркинсоническим синдромом (более пораженная сторона)	35	55	350
Больные с торсионной дистонией	7	82	525

¹ У испытуемых контрольной группы приведены средние амплитуды колебаний в правом общем разгибателе пальцев рук, у больных — в одноименной мышце более пораженной руки.

жения маскируется в связи с возобновлением «залпов» колебаний, характерных для тремора «покоя» или электрической активности неритмичных гиперкинезов, или мышечных спазмов.



Рис. 19. Динамика изменений мышечного электрогенеза при полиомиелите и при боковом амиотрофическом склерозе.

При изучении различных функциональных состояний нейромоторного аппарата у здоровых людей оказалось возможным:

1) установить определенные количественные и качественные характеристики электрической активности мышц при произвольном снижении их тонуса — «в покое», во время рефлекторных тонических напряжений, при различных ви-

Структура электромиограмм ригидных или гиперкинетических мышц искажена «залпами» колебаний гиперкинеза, высокочастотными и различными по амплитудам колебаниями дистоний и пр. В связи с этим трудно различить отдельные фазы реакции.

По-видимому, такие нарушения колебательных процессов значительно препятствуют точной и избирательной надсегментарной активации нужных для данного движения мотонейронов, и поэтому интенсивность мышечных потенциалов перестает соответствовать функциональной роли мышцы в выполнении того или иного движения (табл. 3).

Обобщая изложенные выше данные и результаты электромиографических исследований различных видов двигательных реакций человека в норме и при основных синдромах двигательных нарушений, считаем необходимым остановиться на следующем.

Этим было доказано значение электромиографического метода как для установления нормальных стандартов электрографических характеристик двигательных реакций (важных для клиннки), так и для анализа нейрофизиологических механизмов этих реакций, т. е. для развития нейрофизиологии двигательной функции человека;

2) уловить (благодаря высокой чувствительности современной аппаратуры и совершенствованной методике) уже

Таблица 3

Изменение интенсивности колебаний потенциала при активном сокращении мышцы и при ее участии в движении в качестве антагониста

Группа обследованных	Амплитуды колебаний, мкв		
	при сокращении	при участии в качестве антагониста	коэффициент активации антагониста ¹
Контроль	1420	255	19
Больные со спастическими парезами	110	50	45
Больные с паркинсоническим синдромом	760	300	43
Больные с торсионной дистонией и гиперкинезами	525	125	23

¹ Показатель или коэффициент вовлечения антагониста отражает отношение амплитуд колебаний потенциала при активации мышцы в качестве антагониста к амплитудам мышечных потенциалов при ее активном сокращении.

при исследовании здоровых людей закономерные изменения мышечных потенциалов при таких видах тонических реакций, обнаружение и анализ которых невозможны без использования электромиографии;

3) установить у больных с различными двигательными расстройствами специфическую зависимость биоэлектрической активности от ведущего синдрома, его выраженности, динамики развития двигательных расстройств или восстановления функции.

Особенное значение для клиннки и изучения патофизиологических механизмов нарушенных двигательных реакций имеют работы, выявляющие качественные и количественные изменения биоэлектрической активности мышц, типичные для того или иного синдрома, при субклинической степени повреждения нервной системы, а также при тонких, клинически еще не улавливаемых нарушениях координации участия разных мышц в движении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Остановимся на *двух* важных для клинического электрофизиолога вопросах.

Прежде всего возникает вопрос о том, с чем наиболее тесно связаны особенности мышечного электрогенеза: с синдромомологическим или нозологическим диагнозом.

В процессе изложения фактических данных мы уже неоднократно указывали на исключительные возможности этого электрофизиологического метода в уточнении синдромологического диагноза (Ю. С. Юсевич, 1958, 1963; Denny-Brown, 1949; Buchthal, 1958, 1962; Steinbrecher, 1965, и др.).

Биоэлектрический компонент процессов возбуждения определяется изменениями функционального состояния нейромоторного аппарата при переходе от полного «покоя» расслабленной мышцы к ее тоническим напряжениям и фазным сокращениям. В норме эта зависимость мышечных потенциалов документируется связью электрогенеза с видом осуществляемой реакции (рис. 20).

Как известно, в патологии синдром всегда характеризует особенность функционального состояния уцелевших звеньев нервной системы, измененные в зависимости от степени повреждения патологическим процессом других ее отделов (М. Б. Кроль, 1935) (рис. 21—22).

По-видимому, именно ведущий синдром двигательного нарушения и является основным фактором, с которым наиболее тесно связаны нарушения мышечного электрогенеза. Об этом свидетельствует и опыт клинической электромиографии мышц.

В пределах одного и того же синдрома нарушения мышечного электрогенеза зависят от выраженности двигательного расстройства или, иначе, от тяжести повреждения сенсомоторной системы, определяющей и выраженность синдрома.

В результате повторных электромиографических исследований установлена четкая зависимость изменения мышечных потенциалов от динамики двигательных расстройств:

нарастание их нарушений при прогрессивном течении заболевания или нормализация по мере восстановления двигательной функции.

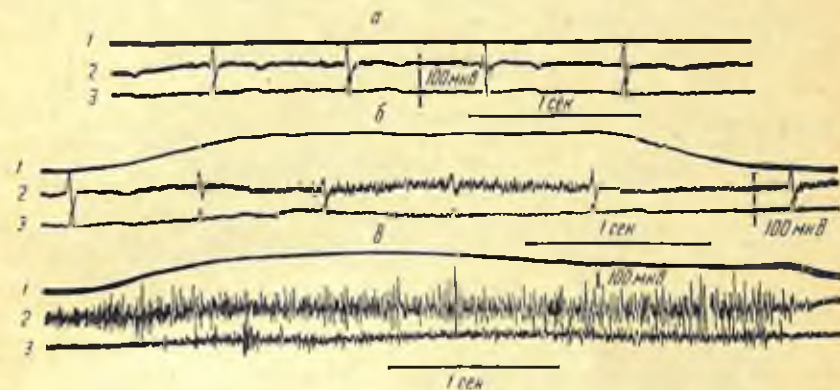


Рис. 20. Зависимость мышечного электрогенеза в норме от вида двигательной реакции.

Сверху вниз: 1 — пневмограмма; 2 — ЭМГ левого общего разгибателя пальцев; 3 — ЭМГ правого общего разгибателя пальцев; а — в покое; б — в момент глубокого вдоха; в — в момент активного сокращения левого разгибателя пальцев и синергических изменений тонуса в одноименной мышце правой руки.

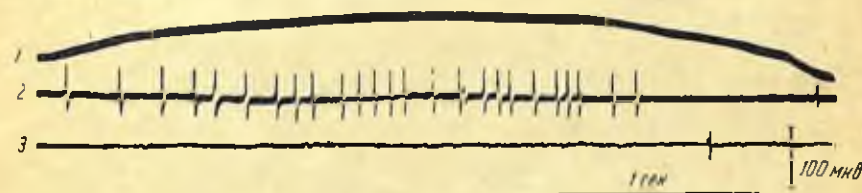


Рис. 21. Электромиограммы, отражающие нарушения электрогенеза при субклиническом повреждении нервной системы. Больной М. Диагноз: амтрофический спинальный сифилис. Клинически парез только правой руки.

1 — пневмограмма; 2 — ЭМГ правой передней большеберцовой мышцы; 3 — ЭМГ одноименной мышцы левой ноги. Запись произведена в момент глубокого вдоха.

Неоднократно отмечалось значение электромиографических данных для клиницистов. Они позволяют улавливать нарушения мышечных потенциалов, типичные для того или иного синдрома на ранних, субклинических стадиях заболе-

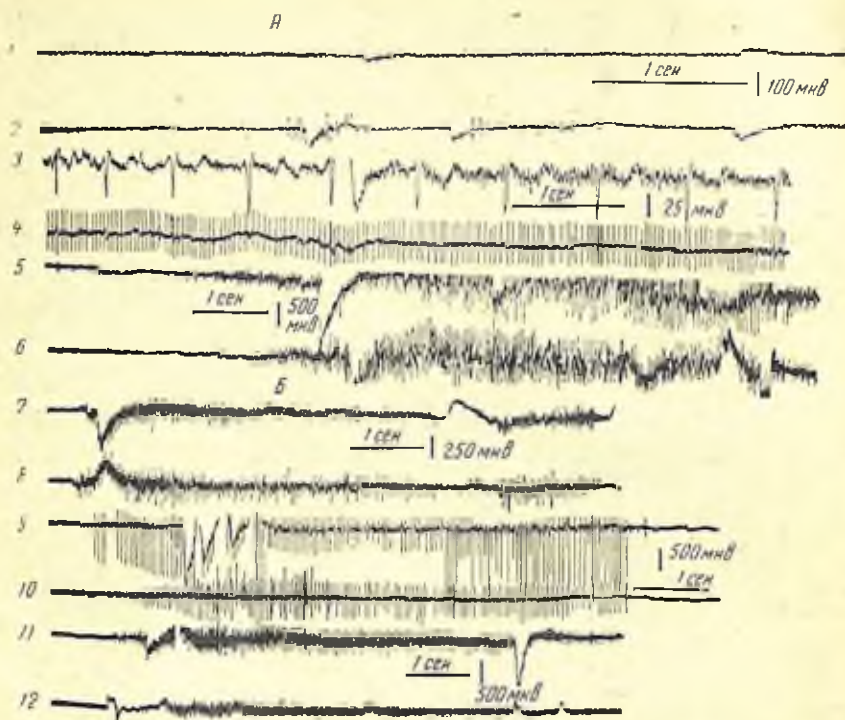


Рис. 22. Электромиограммы, демонстрирующие соотношение электрогенеза и клинически определяемого синдрома двигательной патологии. Больная Ш. Диагноз: боковой амиотрофический склероз.

1 — ЭМГ правой жевательной мышцы; 2 — ЭМГ левой жевательной мышцы; 3 — ЭМГ правого общего разгибателя пальцев; 4 — ЭМГ левого общего разгибателя пальцев; 5 — ЭМГ правой икроножной мышцы; 6 — ЭМГ левой икроножной мышцы; А — при синергии; Б — во время сокращения.

вания и у больных с очень легкими повреждениями, не заметными при клиническом исследовании (рис. 23).

Означает ли общепризнанное утверждение определяющей роли ведущего синдрома, что биоэлектрическая активность мышц никак не связана с нозологией и этиологией заболевания? Ответ на этот важный для клинициста вопрос значительно сложнее и менее обоснован имеющимися в настоящее время в распоряжении клинического электрофизиолога данными, чем использование электромиографии при установлении синдрома двигательной патологии.

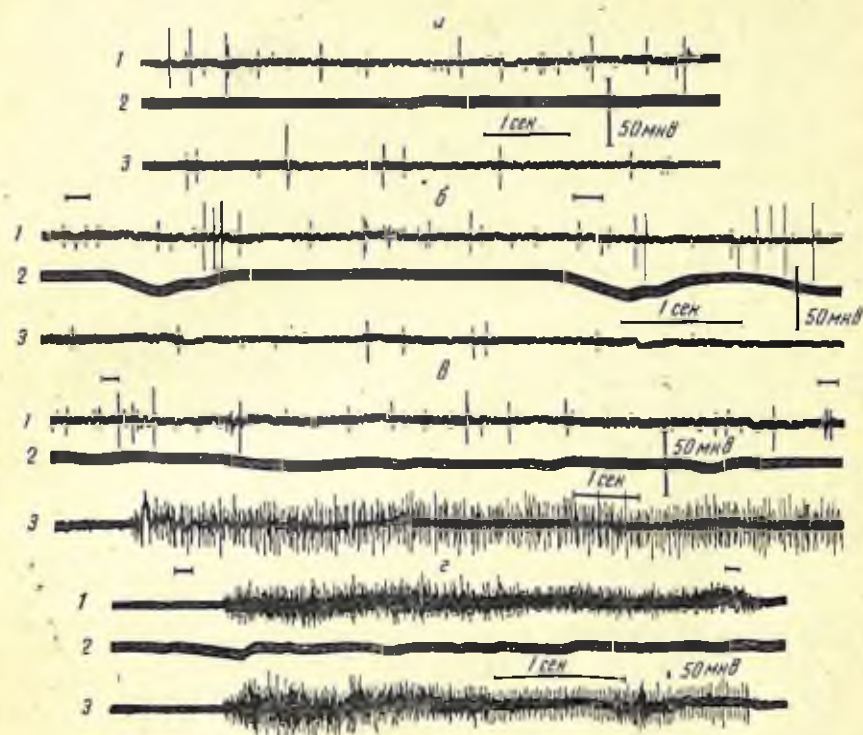


Рис. 23. Различные улавливания нарушений электрогенеза на субклинической стадии заболевания при разных видах двигательных реакций. Больной А. Диагноз: шейно-бульбарная форма бокового амиотрофического склероза. Клинически функция мышц ног не нарушена.

Сверху вниз: 1 — ЭМГ левой передней большеберцовой мышцы; 2 — пневмограмма; 3 — ЭМГ одноименной мышцы правой ноги; а — покой; б — дыхательные изменения тонуса; в — синергические изменения тонуса мышц ног во время сокращения мышц рук; г — максимальное сокращение мышц при тыльном разгибании голени.

Невропатологам хорошо известно, что один и тот же синдром двигательной патологии (например, неврит или спинальная амиотрофия) может значительно видоизменяться в зависимости от заболевания, при котором он наблюдается, и от этиологической причины его возникновения.

В соответствии с этим, несмотря на то что основные симптомы двигательной патологии и нарушения мышечного электрогенеза и определяются ведущим синдромом, после-

довательность и темп их развития, распространенность, преимущественное поражение функции тех или иных мышц и т. п. могут быть неодинаковыми. Можно привести много примеров своеобразия проявлений одного и того же синдрома при различных заболеваниях. Таково, например, сходство клинической картины и динамики резидуальных парезов и атрофии мышц после острого полиомиелита и особенностей такого же переднерогового повреждения при амиотрофии Верднига—Гоффмана или при компрессионных повреждениях сегментарных нейронов (при травмах, дискогенной болезни и т. п.).

Это своеобразие развития того или иного синдрома при различных заболеваниях может быть подтверждено электромиографической характеристикой особенностей нарушений электрической активности различных мышц на разных этапах заболевания. Однако для такой документации необходимы значительно более длительные и систематические исследования и накопление фактов, на основе которых можно было бы установить не только сходство, но и тонкие отличия мышечных потенциалов, зависящие от особенностей заболевания и причин, вызвавших повреждение одних и тех же нервных структур. Такие исследования пока мало отражены в литературе и ждут своего исполнителя.

Вторым важным для клинического электрофизиолога вопросом является использование электромиографии при изучении физиологических и патофизиологических механизмов нормальных и нарушенных двигательных реакций человека и соответствующих им особенностей мышечного электрогенеза.

Попытки подхода к этому теоретически и практически важному вопросу возможны только при условии обязательного для клинического электрофизиолога сопоставления электромиографической и клинической характеристики функционального состояния исследуемого участка нейромоторного аппарата. Кроме того, необходим постоянный учет достижений современной нейрофизиологии двигательной функции у высших животных и человека.

Для нейрофизиологии движений последние десятилетия являются периодом интенсивного развития и, хотя обобщение огромного фактического материала далеко еще не завершено, уже начинают выкристаллизовываться представления нейрофизиологов о некоторых общих принципах центральной организации и координации активности сегментарных и периферических нейромоторных аппаратов,

осуществляющих различные виды двигательных реакций (П. К. Анохин, 1970; Н. А. Бернштейн, 1966; Л. А. Кукуев, 1968; Handbook of physiology, v. II, III, 1960, и др.)

В данной работе мы вынуждены ограничиться напоминанием (в самом схематическом виде) общепризнанных положений, которые особенно важны для понимания результатов исследования мышечного электрогенеза нейромоторного аппарата человека.

Прежде всего установлено подчеркиваемое всеми ведущими нейрофизиологами функциональное единство всех отделов нервной системы, обеспечивающее адекватность двигательных реакций изменениям внешней и внутренней среды организма. Это функциональное единство усиливается в процессе филогенеза параллельно со все возрастающей сложностью, структурной и функциональной дифференцированностью (центральных и периферических) звеньев сенсомоторной системы (С. М. Блинков, И. И. Глезер, 1964; Г. И. Поляков, 1965; Н. П. Бехтерева, 1967; А. С. Батуев, 1968; сборник «Интегративная деятельность нервной системы», 1968; сборник «Проблемы динамической локализации функций», 1968, и др.). Схематически обобщая положения современной нейрофизиологии движений, можно сказать, что функциональное единство нервной системы опирается на ряд установленных закономерностей:

1) на принцип динамической вертикальной организации всех звеньев сенсомоторной системы, т. е. функциональных объединений, изменяющихся в соответствии с осуществляемой двигательной реакцией. Термины, предложенные различными авторами для обозначения таких вертикальных объединений, различны, но понимание их динамичности, сложности и значения для функционального единства нервной системы остается общим;

2) на общепризнанное единство и динамичность вертикальных «функциональных систем», обусловленное постоянной афферентацией центральной нервной системы со всех рецепторных образований организма, в том числе и с проприоцепторов мышц, суставов и сухожилий, и адекватность этим «сенсорным коррекциям» эффективных импульсов, притекающих к сегментарному и периферическому моторному аппарату;

3) наличие на всех уровнях нервной системы кольцевых связей, обеспечивающих авторегуляцию всех процес-

сов, возникающих в данной динамической функциональной системе при каждой двигательной реакции. Напомним, однако, что нейрофизиологи, рассматривая вопросы организации таких регуляторных кольцевых связей, подчеркивают еще только гипотетический характер наших представлений о них (статья Vonip в сборнике «Проблемы динамической локализации функций». М., 1968, Brodal, 1963; Campbell, 1965; Bremer, Handbook of physiology, v. II, 1960, и др.);

4) сложность путей и механизмов регуляции функционального состояния и активности любых отделов нервной системы в естественных условиях существования и жизнедеятельности организма. Эта регуляция осуществляется как через неспецифические системы, меняющие уровень возбудимости и лабильности различных специализированных нервных клеток, так и импульсами, притекающими к этим клеткам по специфическим путям;

5) возможность синтеза афферентных импульсов как на уровне отдельных нейронов (мульти-modalность клеток), так и особенно на основе координированного вовлечения в реакцию множества нейронов на всех уровнях сенсомоторных аппаратов (Campbell, 1965; Eldred, 1965; Kornhuber, 1965, и др.).

Все эти особенности организации нервной системы приводят к качественным изменениям интегративных процессов, возникновению новых закономерностей. Об этом качественном изменении функционирования при координированном возбуждении множества элементов неоднократно говорили нейрофизиологи. Экспериментально было также доказано изменение активности каждого отдельного нервного элемента при включении его в совместную с другими деятельность. Экспериментальные микрофизиологические исследования последних лет позволили Terzuolo и Llinas сказать: «Новые качества могут возникать в сложных структурах: некоторые свойства отдельных элементов, участвующих в этих структурах, выявляются только при определенной степени их сложности» (сборник «Sensory communication», 1964).

По-видимому, до сих пор не утратили значения высказывания представителей русской физиологической школы И. М. Сеченова, И. Е. Введенского, А. А. Ухтомского о том, что «есть закономерности, которые по своей природе свойственны только множеству и не могут быть обнаружены при наблюдении единиц». Поэтому попытки «упростить яв-

ление до крайности и производить анализ этих элементарных процессов... приводят к ошибочным результатам во многих случаях» (А. А. Ухтомский).

* * *

Перейдем от общих положений нейрофизиологии к вопросу о том, что дают электромиографические исследования в плане теоретической нейрофизиологии движений.

Даже краткий обзор основных итогов электромиографических исследований здоровых людей показал, что особенности мышечного электрогенеза зависят от вида двигательной реакции, во время которой регистрируются электромиограммы.

В лабораторном электромиографическом исследовании время выполнения заданной двигательной реакции очень коротко — секунды, реже минуты. В течение такого незначительного периода сегментарный и периферический отделы нейромоторной системы остаются относительно неизменными. Смена двигательной реакции совершается испытуемым по инструкции, т. е. организуется надсегментарными отделами. Так как переход от одного вида двигательной реакции к другому связан с надсегментарной организацией, то изучение динамики электрической активности позволяет судить о ее зависимости от центральной регуляции движений. Тем самым клинический электрофизиолог создает своего рода «экспериментальную ситуацию», дающую возможность проследить изменения биоэлектрических процессов, связанные с видом двигательной реакции, а следовательно, и с особенностями надсегментарных механизмов, обеспечивающих ее реализацию. Благодаря этому возникает возможность и при исследовании человека использовать электромиографический метод для изучения некоторых механизмов центральной регуляции движений в норме (возможность, к сожалению, еще недостаточно используемая клиницистами и физиологами).

Клиника двигательных расстройств, связанных с повреждением определенных звеньев центральной или периферической нервной системы, также позволяет использовать электромиографию для суждения о возможных патофизиологических механизмах различных синдромов двигательной патологии. Так, установленная электрофизиологами выраженная зависимость нарушений биоэлектрических процессов от ведущего синдрома косвенно характеризует особенности течения и развития процессов возбуждения нейромом-

торного аппарата при различных формах двигательных расстройств, т. е. позволяет предположить патофизиологические механизмы наблюдаемых нарушений.

Закономерные изменения электрической активности в соответствии с тяжестью поражения и стадией развития патологических или восстановительных процессов свидетельствуют о том, что динамика электрической активности может быть показателем течения патофизиологических процессов.

Аналогичные предположения вызывает и тот факт, что изменения мышечных потенциалов, специфические для того или иного нарушения двигательной функции, могут неодинаково легко обнаруживаться при двигательных актах, различных по их механизмам.

Перейдем к попытке использования электромиографических данных при изучении механизмов двигательных реакций здорового и больного человека.

Начнем с анализа мышечного электрогенеза «покоящихся», расслабленных мышц. Выдающиеся представители русской физиологической школы, изучая биологическое значение способности животных расслаблять мышцы и достигать «покоя», пришли к заключению, что «покой» как «нуль активности» в физиологии не существует (Н. А. Бернштейн, 1945, 1966; А. А. Ухтомский, 1954, и др.). Наблюдаемый в эксперименте и клинике «оперативный покой» является особым, центрально организованным функциональным состоянием нейромоторного аппарата. Способность к достижению такого «покоя» не дана изначально, а развивается в фило- и онтогенезе (А. А. Ухтомский, 1954).

Своими работами А. А. Ухтомский установил связь между развитием способности к «покою» и уровнем функциональной подвижности (лабильности) всех звеньев сенсомоторной системы — готовностью организма активно воспринимать воздействия окружающей среды и давать ответные реакции.

Необходимость активной организации «покоя» связана с тем, что в естественных условиях нервная система под влиянием многочисленных и разнообразных афферентных импульсов находится в состоянии постоянного легкого возбуждения (Wacker, 1945). Экспериментальные исследования обнаружили, что возбудимость и возбуждение мотонейронов всех типов (альфа, гамма и вставочных) могут регулироваться надсегментарно и, в частности, под влиянием слабых кортикальных импульсов (П. Г. Костюк, 1960; А. И. Шаповалов, 1968; Granit, 1955, 1957; Elfred, 1965,

и др.). Микрофизиологической основой такого влияния церебральных импульсов, вероятно, является гиперполяризация пресинаптических мембран сегментарных мотонейронов.

При слабых надсегментарных поражениях типа легких спастических парезов ослабленные кортикоспинальные влияния не могут значительно понизить возбудимость сегментарных мотонейронов. Поэтому, хотя кратковременное произвольное расслабление мышц и соответствующее снижение их электрической активности этим больным еще удается, любое дополнительное раздражение легко активизирует повышено возбудимые мотонейроны, усиливает мышечный тонус и электрогенез (Ю. С. Юсевич, 1963, и др.).

При центральных дистониях и гиперкинезах, когда от патологически возбужденной коры к сегментарным мотонейронам постоянно поступает поток импульсов, возбуждение мотонейронов и иннервируемых ими мышц приводит к повышению мышечного тонуса и усилению электрогенеза. Произвольное расслабление таких ригидных или вовлеченных в гиперкинез мышц делается невозможным. Длительное состояние возбуждения в «покое» снижает возбудимость и лабильность нейромоторного аппарата. Он становится мало чувствительным к надсегментарным и периферическим афферентным импульсам, организующим все виды двигательных реакций, а электромиограммы перестают отражать особенности мышечного электрогенеза, характерные в норме для различных видов двигательных реакций (Ю. С. Юсевич, 1963; Jung, 1941; Hufschmidt, 1959, 1962; Podivinsky, 1968; Y. Yusevich, 1969, и др.).

Перейдем к анализу различных тонических напряжений мышц.

Бесконечно разнообразные и изменчивые тонические напряжения скелетной мускулатуры возникают в ответ на импульсацию, поступающую от различных звеньев нервной системы. Эти реакции еще недостаточно исследованы электромиографически.

Изменения функционального состояния сегментарного и периферического звеньев нейромоторной системы под влиянием притока импульсов от различных внутренних органов давно стали объектом клинических и физиологических исследований.

В результате этих работ обнаружено, что афферентация с дыхательной, сердечно-сосудистой, пищеварительной и других систем вызывает рефлекторные тонические реакции и повышение мышечного электрогенеза. После выключения

проприоцепторных импульсов (например, после перерезки задних корешков), а также при заболеваниях внутренних органов висцеромоторные реакции усиливаются (А. В. Лившиц, 1963; Ю. С. Юсевич, 1963).

Исследуя влияние импульсов, притекающих от дыхательных органов к мышцам конечностей, физиологи установили, что в процессе филогенетического развития нейромоторная система все больше «высвобождается» от воздействия висцеральной, в том числе и дыхательной, афферентации, тогда как значение проприо- и экстероцепторной регуляции двигательных реакций неуклонно возрастает (К. И. Кунстман, Л. А. Орбели, 1924; Х. С. Коштоянц, 1937; О. С. Меркулова, 1959, и др.).

Незначительность электрической активности мышц конечностей при глубоком вдохе у здоровых людей также подтверждает малую зависимость двигательных реакций от влияния висцеральных импульсов.

Такое «высвобождение» можно рассматривать как результат возрастания в филогенетическом развитии значения церебральных механизмов в организации и регуляции двигательной функции, так называемой прогрессирующей энцефализации. Надсегментарные влияния, снижая возбудимость мотонейронов и их чувствительность к висцеромоторной афферентации, тем самым ограничивают количество и влияние «лишних», побочных импульсов на двигательные акты и способствуют их точности, экономности, динамической координированности.

При ослаблении центральной надсегментарной регуляции или на ранних стадиях повреждения сегментарных мотонейронов их возбудимость возрастает. В связи с этим инteroцепторные влияния уже способны вызывать повышение мышечного тонуса и усиление электрической активности.

И, действительно, при поражениях корковых и подкорковых отделов мозга или при легком повреждении мотонейронов электромиограммы мышц конечностей, записанные во время глубокого вдоха, отражают высокоамплитудные и качественно измененные колебания — потенциалы фасцикуляций, усиление электрической активности спастических мышц, увеличение амплитуд и частоты «залпов» колебаний при треморе и т. п. (Ю. С. Юсевич, 1954, 1963).

Клинические и экспериментальные данные свидетельствуют о разнообразии и многочисленности синергий и синкинезий в норме и патологии. Такое подразделение, широко используемое в клинике, конечно, крайне условно, так как

синергические тонические реакции, сопровождающие активное сокращение других мышц, нередко переходят в более сильные сокращения мышц, приводящие уже к содружественному движению синкинезии.

Систематизация и классификация этих видов двигательных проявлений еще недостаточно разработана и не является единообразной и общепризнанной. Клиницисты, изучающие преимущественно патологические синкинезии, различают синкинезии имитационные, координационные и глобальные. Физиологические синергии и синкинезии описывают как общую группу, не дифференцируя (Н. К. Боголепов, 1953; Ю. С. Юсевич, 1963; Andre-Thomas, Ajuriaguerra, 1949). В физиологии движений приводятся классификации физиологических синергий, основанные на различных принципах. Одни авторы делят синергии в зависимости от их появления в онтогенезе на врожденные и приобретенные, другие авторы исходят из типа движения, при котором возникают синкинезии, — ударные, бросковые и т. п.

При всем разнообразии описанных видов синергий и некотором различии их электромиографических характеристик им все же присуще и нечто общее, что послужило основанием для выделения этого вида тонических реакций в особую группу. Этим общим для всех синергий является то, что они возникают и развиваются одновременно с развертыванием активного движения и непрерывно приспосабливают динамику позно-тонических изменений к каждому моменту двигательной реакции.

В отношении механизмов синергий нейрофизиологи высказывают разные предположения. Можно думать, что разнообразным типам синергий у здоровых людей и особенно у патологий соответствуют и различные нервные механизмы, для раскрытия и уточнения которых еще нет достаточных данных.

Некоторые авторы считали синергию простым рефлекторным ответом мышцы-антагониста на ее растяжение. Однако у здоровых людей даже при быстром пассивном растяжении мышцы такой рефлекс вызывается редко, а наблюдаемые при этом в ней колебания потенциалов очень слабы (Broman, 1949). Кроме того, при отдаленных синергиях, например у лежащего человека в момент слабых движений стоп, в мышцах спокойно лежащих рук, регистрируются более интенсивные, чем при пассивном их растяжении, колебания потенциала — до 50 мкв. Если бы синергия была реф-

лексом на растяжение мышцы, то колебания потенциала в электромиограмме синергически вовлекаемой мышцы появлялись несколько позже, чем в активной мышце, а между тем на обеих электромиограммах наблюдается одновременное усиление колебаний потенциала (Ю. С. Юсевич, 1963).

Наличие симметричных и отдаленных синергий вызвало предположение о возможности их организации на основе сегментарных механизмов при второстепенном значении надсегментарных влияний (И. М. Гельфанд и др., 1966). Эти авторы рассматривают синергии как результат деятельности относительно автономных сегментарных механизмов, возникающей в ответ на «пусковые» импульсы с надсегментарных отделов нервной системы. Участие последних в организации и регуляции синергий в основном ограничивается «запуском» спинальных аппаратов и таким путем, по мнению авторов, достигается экономизация деятельности высших отделов мозга.

Экспериментальные нейро- и электрофизиологические наблюдения свидетельствуют о непрерывном регулирующем влиянии надсегментарных отделов нервной системы на развитие возбуждения в сегментарных нейронах и иннервируемых ими мышцах (Н. А. Бернштейн и др., 1964; Н. А. Бернштейн, 1966; А. И. Шаповалов, 1966; Л. А. Кукуев, 1968; Hufschmidt, 1962; Eldred, 1965; Ochs, 1965; Campbell, 1965).

Так, неоднократно установленные изменения интенсивности моносинаптического Н-рефлекса при усилении центральных импульсов (при феномене Иендрассика или в фазе подготовки к сокращению мышцы) показывают, что даже в простейшей спинальной реакции участвуют не только сегментарные механизмы.

Denpy-Brown (1960) указывает на необходимость исследования все более высоких уровней нервной активности, чтобы понять, как сегментарный рефлекс, анатомически связанный с одним или несколькими смежными сегментами спинного мозга, включается в целостный двигательный акт (Handbook of physiology, 1960, v. II).

Это положение согласуется с тем, что в процессе филогенетической эволюции координирующее значение надсегментарных отделов центральной нервной системы увеличивается, так как функциональные ансамбли, объединяющие многие мышцы, усложняются и сами элементарные рефлекс, включаясь в эти ансамбли, существенным образом изменяются.

Электромиограммы синергий, записанные у больных с надсегментарными двигательными нарушениями, отражают грубые изменения мышечного электрогенеза, характерные для этих синдромов, несмотря на сохранность сегментарных и периферических звеньев нейромоторной системы.

Все изложенное позволяет присоединиться к мнению некоторых авторов о том, что в основе синергий лежат кониципервационные механизмы, т. е. надсегментарные влияния, которые одновременно организуют и движение, и необходимый для его реализации позно-тонический ансамбль синергически вовлекаемых мышц (Bosma, Gellhorn, 1947).

Такое единство позно-тонических и фазных видов мышечной активности признано ведущими нейрофизиологами. Напомним, что Фултон еще в 1943 г. указывал на координированную деятельность систем, обеспечивающих и позно-тонические, и фазные формы мышечной активности: «Поза и тонус сопровождают движение, как тень. Это было бы совершенно невозможно, если бы обе формы реакции не интегрировались на общем уровне» (Fulton, 1943).

Прежде чем перейти к обсуждению приведенных в главе IV электромиографических характеристик произвольных сокращений, напомним, что, хотя клиницисты и физиологи уже давно изучают активные сокращения мышц человека, представления о механизмах этих движений все еще имеют сугубо гипотетический характер (Н. А. Бернштейн, 1966; Paillagd, 1960, и др.). Следует также отметить, что при изучении электрогенеза активных сокращений объектом изучения обычно избирали упрощенные «лабораторные» движения.

В последние годы электромиографию очень широко применяют в ряде дисциплин — кинезиологии, функциональной анатомии, при исследовании спортивных, трудовых навыков и др. Но в них она играет роль только одного из собственных методов оценки активности различных мышц при разных формах движений. Поэтому, хотя благодаря успехам техники накоплено большое число разнообразных фактов, их обобщение носит сугубо прикладной характер, а представления о механизмах произвольных движений остаются очень ограниченными (Joseph, 1960; Handbook of physiology, 1960, v. II, III; Close, 1964).

Все же, анализируя результаты электромиографических исследований активных сокращений мышц здоровых людей и больных с надсегментарными поражениями нервной системы, можно установить некоторые факты, позволяющие

подойти к обсуждению возможных механизмов этих движений.

Как показали изменения электрогенеза, на протяжении одного активного сокращения мышцы величины амплитуд колебаний изменяются. Благодаря четкости и устойчивости этих изменений обнаружено, что возбуждение, вызвавшее активное сокращение, сопровождается колебательным процессом, имеющим четкую структуру, в которой электромиографически можно выделить несколько фаз реакций; каждая такая фаза отличается по биоэлектрографическим процессам.

Латентные периоды от момента подачи сигнала к движению или к прекращению его у здорового человека характеризуют срочность центральной активации или торможения возбуждения исполнительного нейромоторного аппарата — мотонейронов и мышц.

По длительности периода между появлением первых колебаний потенциала и моментом отражения в электромиограмме наиболее высоких амплитуд можно определить быстроту «рекрутирования» многочисленных двигательных единиц. Амплитуды колебаний на максимуме сокращения нарастают по сравнению с исходным «покоем» от 10 до 1000 мкв.

Резкое отличие интенсивности электрогенеза «ведущей» и вспомогательных мышц, выполняющих движение, говорит о четкой направленности («заадресованности») надсегментарных импульсов, активирующих мотонейроны и объединяющих необходимые для движения мышцы в координированный мышечный ансамбль.

* * *

Изменения электрической активности при различных функциональных состояниях мышц указывают на ведущее значение надсегментарных иннервационных механизмов, включенных в функционально единую авторегулируемую нервную систему в организации и регуляции любого проявления нормальной двигательной активности.

Электромиографически была установлена исключительная откликаемость нейромоторного аппарата на различные афферентные влияния, информирующие центральную нервную систему об условиях и течении двигательной реакции. В соответствии с этим происходит постоянная динамическая координация возбуждения мотонейронов и перестрой-

ка функциональных систем. Адекватность этих процессов условиям, в которых реализуются двигательные реакции, достигается их непрерывной сенсорной коррекцией. Именно этим функциональным единством сенсомоторных систем и объясняются целостность двигательных реакций и их соответствие постоянным изменениям внешней и внутренней среды организма.

В патологии в зависимости от ведущего синдрома и тяжести поражения центральная организация и регуляция двигательных актов в большей или меньшей степени нарушаются и изменяются особенности биоэлектрической активности мышц (даже при относительной сохранности сегментарного и периферических отделов нейромоторной системы). Этим вновь подтверждается ведущая роль надсегментарных отделов в организации двигательных реакций.

Электромиографически это документируется также зависимостью мышечного электрогенеза от вида двигательной реакции и срочностью изменений мышечных потенциалов при смене форм двигательной активности или при разных синдромах двигательной патологии.

Такая динамичность центральной координации возбуждения мотонейронов и мышц является одной из основных особенностей всех электрографических характеристик; количественные и качественные изменения электрической активности мышц обусловлены высокой динамичностью центральной регуляции, приспособленностью процессов возбуждения и торможения нейромоторного аппарата. От клинического электрофизиолога требуются большая гибкость, разнообразие методов, понимание физиологического значения полученных результатов. А для этого необходимо постоянно сопоставлять электромиограммы изучаемой мышцы с оценкой ее функционального состояния другими методами — клиническим исследованием, различными лабораторными данными и т. п.

Электромиографические исследования некоторых общих проблем нейрофизиологии

Перейдем к обобщению итогов электромиографических исследований некоторых центральных проблем нейрофизиологии двигательных функций. С течением времени, по мере накопления фактов и расширения тематики электромиографических исследований, естественно, возникал ряд новых вопросов, требующих разрешения. К ним в первую

очередь относится проблема онтогенетического развития электрической активности нейромоторного аппарата.

Развитие электрической активности мышц в онтогенезе. Это направление исследований чрезвычайно важно в теоретическом и практическом отношении, однако таких работ еще крайне мало. Чаще встречаются работы, характеризующие морфологическое и функциональное созревание периферического нейромоторного аппарата в пренатальном онтогенезе. В эксперименте над эмбрионами животных установлены некоторые закономерности развития мышечных волокон и мионевральных окончаний. Для получения таких сведений у человека использовали электромиографическое исследование недоношенных новорожденных, реже изучали отдельные недоразвитые мышцы у взрослых людей. Все эти данные были получены при локальном отведении колебаний потенциала от отдельных мышечных волокон и двигательных единиц. В ряде случаев применяли биопсию и витальное окрашивание нервных окончаний для суждения о формировании иннервационных связей мышцы с сегментарными мотонейронами (Maginacci, 1968).

Благодаря этим работам выявлена последовательность развития и созревания мышечных волокон, двигательных и чувствительных окончаний в эмбриогенезе и установлено, что мышцы лица, туловища и верхних конечностей достигают зрелости раньше, чем мышцы нижних конечностей, особенно их дистальных отделов. Очевидно, результаты этих исследований имеют особое значение для теоретической нейрофизиологии движений, а также для клиницистов (педиатров, невропатологов, ортопедов) при изучении и лечении недоношенных детей или детей с врожденными дефектами двигательного аппарата.

Некоторые клинические электрофизиологи анализировали особенности и динамику мышечного электрогенеза у новорожденных и у детей в течение первых недель жизни. Глобальным методом изучали электрическую активность мышц при пассивном их растяжении или при некоторых рефлекторных реакциях, наблюдаемых в первые дни постнатальной жизни, а позднее исчезающих — хватательный рефлекс, рефлекс Моро и др. (А. З. Зонова, 1964; И. А. Вахрамеева, И. И. Касаткин, 1966; И. А. Вахрамеева, 1966 и др.).

Электромиографические исследования детей школьного и дошкольного возраста также крайне малочисленны. Они обычно проводились у ограниченного числа детей, при этом

полученные данные использовались только как контрольные для сопоставления с особенностями биоэлектрической активности одноименных мышц у больных детей (с вялыми и спастическими параличами при постполномиелитических парезах, болезни Литтля и т. п.) (Ю. М. Уфлянд и др., 1956, 1961; Е. П. Меженина, 1961; А. С. Витензон, 1965; Е. В. Мальцева, 1966).

В этих исследованиях, как правило, регистрировались только электромиограммы мышц предплечья и голени, преимущественно во время их произвольных сокращений. Лишь в отдельных диссертационных работах группы педиатров Ростовского-на-Дону медицинского института исследования биоэлектрической активности у здоровых детей (в возрасте от 2 до 16 лет) были более развернутыми: записывались электромиограммы мышц проксимальных и дистальных отделов верхних и нижних конечностей при разных видах тонических и фазных двигательных реакций (И. А. Трофименко, 1965; А. Х. Мамунц, 1967; А. А. Алексеев, 1968). Тщательный анализ многочисленных электромиограмм позволил И. А. Трофименко наметить некоторые основные тенденции возрастных изменений биоэлектрических процессов. Так, способность к расслаблению мышц и характерному для «покоя» почти полному прекращению их электрической активности отчетливо нарастала с возрастом. Интенсивность электрогенеза во время синергических реакций с возрастом также уменьшалась, а при активных сокращениях увеличивалась: чем старше был ребенок, тем отчетливее проявлялось своеобразие биоэлектрических процессов в функционально различных мышцах. Так, амплитуды колебаний были более отчетливы в мышцах рук, чем в мышцах ног, в экстензорах, чем во флексорах, в мышцах ведущих, чем в антагонистах.

Электромиографические характеристики возрастных особенностей мышечных потенциалов, необходимые для клинической работы и дальнейшего изучения онтогенеза двигательной функции, пока еще недостаточно документированы. Клиническая электромиография должна уделить значительно больше внимания проблеме эволюции электрической активности мышц в онтогенезе.

Электромиография и функциональная анатомия мышц. В последние десятилетия анатомы и физиологи широко применяли электромиографию для уточнения функции отдельных мышц и их участия в выполнении различных движений (Р. С. Персон, 1965, И. М. Гельфанд, В. С. Гурфин-

кель, М. В. Цетлиц, М. Л. Шик, 1966; Joseph, 1960; Close, 1964; Basmajian, 1967; Gratty, 1968, и др.).

Такой физиологический подход к исследованию функции «живой мышцы» во время естественных двигательных реакций все шире используют специалисты по физиологии движений, тренеры, спортсмены, а также физиологи, изучающие двигательную активность здоровых людей в особых условиях (например, в ситуации невесомости) (В. С. Гурфинкель, В. Е. Панфилов, 1965; Г. А. Титов, 1967; В. А. Богданов, В. С. Гурфинкель, В. Е. Панфилов, 1970; Delhez, 1963; Delhez, Petit, Deroanne, Pirnay, Snerpe, 1969, и др.). Вследствие все более широкого применения электромиографии в целях изучения функциональной анатомии мышц возросло количество публикаций в этой области, был создан первый международный съезд кинезиологов (Монреаль, 1968), журнал «Electromyography» с 1970 г. расширился за счет кинезиологических исследований.

В работах по физиологии движений обычно используют глобальное отведение и полиграфическую регистрацию электрической активности многих мышц, участвующих в выполнении того или иного движения.

Одновременная с электромиографией запись на многоканальной установке электрокардиограмм, электроэнцефалограмм и др. позволяет проследить взаимозависимость функционального состояния нейромоторного аппарата (во время движения) и сопутствующих изменений дыхания, работы сердца и т. п.

Такого рода электромиографические исследования оказались полезными при изучении проблемы утомления, динамики формирования и упрочения спортивных, трудовых, профессиональных навыков и других видов сложной разнообразной деятельности здорового человека.

Электрическая активность при тонических напряжениях мышц. В последние десятилетия благодаря усовершенствованным и высокочувствительным электромиографическим установкам стало возможным изучение многообразных и сложных изменений мышечного электрогенеза при многочисленных рефлекторных тонических напряжениях.

Эти тонические реакции возникают под влиянием изменений внешней и внутренней среды организма. Они обычно выражены очень слабо, увидеть их невозможно, и электромиограммы служат единственным объективным доказательством их развития (Wootan, 1949). При всем разнообразии объектов и методических приемов этих исследований

их можно (конечно, сугубо схематически) отнести к 4 группам, выделив работы, посвященные изучению особенностей электромиограмм: 1) при синергиях и других позно-тонических реакциях; 2) при раздражении экстеро-, проприо- и интероцепторов; 3) при различных аффективных состояниях — страхе, радости, беспокойстве и др.; 4) при различных формах интеллектуальной деятельности — мысленном выполнении различных задач, представлении образов, идеомоторных представлениях, внутренней речи и т. п.

Итак, успехи в развитии современной методики и техники электромиографии позволили клиническим электрофизиологам подойти к изучению всех видов двигательных реакций в норме и почти при всех основных формах двигательной патологии, связанных с первичным или вторичным повреждением нервной системы. Интерес к таким вторично обусловленным нарушениям функционирования нервной системы и привел к выходу электромиографии за пределы клиники нервных болезней и к использованию этого метода при изучении различных заболеваний человека при поражении дыхательной, сердечно-сосудистой и иных систем организма (Ю. С. Юсевич, 1963; Л. Г. Охнянская, А. А. Комарова, 1970, и др.).

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев М. А., Гурфинкель В. С. К вопросу о принципах организации движений. В кн.: Рефераты докладов на симпозиумах 10-го съезда Всесоюзного физиологического общества им. И. П. Павлова. М.—Л., 1964, т. 1, с. 38.
- Анохин П. К. Теория функциональной системы. Успехи физиол. наук, 1970, 1, 19.
- Атаев З. М. О влиянии возбуждения дыхательного центра на электрическую активность мышц при изометрических напряжениях. Физиол. ж. СССР, 1966, 8, 992.
- Батуев А. С. Исследование функций двигательного анализатора. Автореф. дисс. докт. Л., 1968.
- Бернштейн Н. А. Очерки физиологии движений (по физиологии активности). М., 1966.
- Бернштейн Н. А., Бассин Ф. В., Латаш Л. П. Проблема функциональной организации мозга человека в свете данных современной экспериментальной и клинической нейрофизиологии. В кн.: Рефераты докладов на симпозиумах 10-го съезда Всесоюзного физиологического общества им. И. П. Павлова. М.—Л., 1964, т. 1, с. 122.
- Бехтерева Н. П. Введение. Заключение. В кн.: Физиология и патология глубоких структур мозга человека. Л.—М., 1967, с. 5, 240.
- Бликов С. М., Глезер И. И. Мозг человека в цифрах и таблицах. Л., 1964.
- Боголепов Н. К. Нарушения двигательных функций при сосудистых поражениях головного мозга. М., 1953.
- Васильев Л. Л. Значение физиологического учения Н. Е. Введенского для невропатологии. Л., 1953.
- Вахрамеева И. А., Зоинова А. В. Колебания мышечного тонуса у поворжденного ребенка в первые дни жизни. Физиол. ж. СССР, 1968, 5, 554.
- Витензон А. С. Электрическая активность мышц предплечья у здоровых детей школьного возраста. Протезирование и протезостроение, 1965, 15, 51.
- Водолазский Л. А. Основы техники клинической электрографии. М., 1966.
- Вопросы ортопедии и травматологии детского возраста. Л., 1958.
- Гельфанд И. М., Гурфинкель В. С., Цетлин М. Л., Шик М. Л. Некоторые вопросы исследования движений. В кн.: Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем. М., 1966, с. 264.
- Гурфинкель В. С., Коц Я. М., Шик М. Л. Регуляция позы человека. М., 1965.
- Интегративная деятельность нервной системы в норме и патологии. М., 1968.

- Калиновская И. Я., Юсевич Ю. С. Вестибуло-моторные реакции человека. М., 1967.
- Кандель Э. И. Паркинсонизм и его хирургическое лечение. М., 1965.
- Красов Д. Г., Антонова И. Г. О нарушении сопряженных связей в сфере двигательных корковых рефлексов (иллюзия Шарпантье). В кн.: Вопросы общей и возрастной физиологии нервной системы. Л., 1960, с. 10.
- Коган А. Б. Электрофизиология. М., 1969.
- Коган А. Б., Щитов С. И. Техника физиологического эксперимента. М., 1967.
- Козлова Т. А. Клинико-электромиографические сопоставления в диагностике поражений периферической нервной системы при ревматизме и красной волчанке. Труды Центрального института усовершенствования врачей. М., 1966, т. 83, с. 14.
- Костюк П. Г. Электрофизиология нейрона. Труды симпозиума «Основные вопросы электрофизиологии ЦНС». Киев, 1960, с. 3.
- Коц Я. М., Крицкий В. И., Найдил В. Л., Шик М. Л. Управление движениями суставов и кинестетическая афферентация. В кн.: Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем. М., 1966, с. 302.
- Коштоянц Х. С. О соотношении функций вегетативных и анимальных органов в свете их эволюции. М.—Л., 1937.
- Кроль М. Б. Невропатологические синдромы. М.—Л., 1936.
- Лившиц А. В. Определение электрической активности мышц передней брюшной стенки при остром аппендиците. Экспер. хир., 1963, 1, 31.
- Литвак Л. Б. Патологические основы неврологических синдромов поражения головного мозга (чувствительных, двигательных, статотонических). В кн.: Материалы 5-го Всесоюзного съезда невропатологов и психиатров. М., 1969, т. 1, с. 221.
- Лунев Д. К. Клиника и патология нарушений мышечного тонуса при мозговом инсульте. Дисс. докт. М., 1966.
- Мальцева Е. В. Электрофизиологическая характеристика состояния мышечной и нервной системы при сколиозах у детей. Автореф. дисс. докт. Минск, 1967.
- Манович З. Х. Особенности нарушения проводимости нервных импульсов в системе нерв—синапс—мышца у больных полиомиелитом. Ж. невропатол. и психиатр., 1962, 7, 988.
- Манович З. Х. Исследование скорости распространения возбуждения по нерву при некоторых заболеваниях нервной системы. Ж. невропатол. и психиатр., 1964, 5, 718.
- Манович З. Х. Возрастная эволюция функционального состояния нервно-мышечного аппарата при детских церебральных параличах. В кн.: Материалы 5-го Всесоюзного съезда невропатологов и психиатров. М., 1969, т. 2, с. 305.
- Маршак М. Е. Регуляция дыхания у человека. М., 1961.
- Меженниа Е. П. Церебральные спастические параличи и их лечение в детском возрасте. Автореф. дисс. докт. Киев, 1961.
- Меркулова О. С. Интерорецепторы и скелетная мускулатура. М.—Л., 1959.
- Наумова Т. С. Физиология ретикулярной системы. М., 1963.
- Новикова В. П. Особенности мышечного электрогенеза и его изменения под влиянием миодакalma у больных с постинсультной поздней спастичностью. Ж. невропатол. и психиатр., 1968, 9, 1333.
- Новикова В. П. Соотношение сегментарных и надсегментарных па-

- рушений двигательных функций при боковом амиотрофическом склерозе. Ж. невропатол. и психиатр., 1969, 1, 3.
- Новые данные по физиологии двигательного аппарата в норме и при полиомиелите. М., 1956.
- Охнянская Л. Г., Комарова А. А. Электромиография в клинике профессиональных заболеваний. М., 1970.
- Павлов И. П. Физиологический механизм так называемых произвольных движений. Полное собрание сочинений. М., 1951, т. 3, кн. 2, с. 315.
- Параклинические методы исследования в неврологической клинике. В. 1. М., 1969.
- Персон Р. С. Мышцы-антагонисты в движениях человека. М., 1965.
- Персон Р. С. Электромиография в исследованиях человека. М., 1969а.
- Персон Р. С. Работа мышц при двигательных актах человека. В кн.: Физиология мышечной деятельности труда и спорта. Л., 1969б, с. 96.
- Поляков Г. И. О принципах нейронной организации мозга. М., 1965.
- Проблемы динамической локализации функций мозга. М., 1968.
- Сеченов И. М. Рефлексы головного мозга. М., 1952.
- Сеченов И. М. Физиология нервных центров. М., 1952.
- Сеченов И. М. Очерк рабочих движений человека. М., 1906.
- Сидоров П. И. Электромиографический анализ предпусковых изменений мышечного тонуса и произвольных движений в норме и при органических поражениях центральной и периферической нервной системы. Автореф. дисс. канд. М., 1970.
- Соколов А. Н. Внутренняя речь и мышление. М., 1968.
- Теория связи в сенсорных системах. М., 1964.
- Титов Г. А. Функциональное состояние нервно-мышечного аппарата у лиц разного возраста, систематически занимающихся физическими упражнениями и спортом. (По данным электромиографии и электростимуляции.) Дисс. канд. М., 1966.
- Уфлянд Ю. М. Физиология двигательного аппарата человека. Л., 1965.
- Ухтомский А. А. Ансамбль возбуждений и электротон. Ученые записки ЛГУ. Серия биол. наук, 1950, № 23, с. 42.
- Ухтомский А. А. Собрание сочинений. Т. 2. Л., 1951 а.
- Ухтомский А. А. Лабильность как условие срочности и координации нервных актов. Собрание сочинений. Л., 1951б, т. 2, с. 94.
- Ухтомский А. А. Очерк физиологии нервной системы. Собрание сочинений. Т. 4. Л., 1954.
- Федоров В. Л. К механизму и значению мышечного расслабления в спорте. Автореф. дисс. канд. Л., 1955.
- Филатова А. Д. Характеристика нарушений моторики и мышечного тонуса при опухолях головного мозга. Автореф. дисс. докт. Львов, 1969.
- Шаповалов А. И. Моносинаптический контроль спинальных мотонейронов различными уровнями мозга. Нейрофизиология, 1970, 2, 203.
- Шик Л. Л. Исследование биоэлектрической активности дыхательных мышц и его значение для клинической физиологии дыхания. В кн.: Вопросы регуляции дыхания в норме и патологии. М., 1959, с. 108.
- Юсевич Ю. С. К вопросу о классификации биоэлектрической активности нервно-мышечной периферии человека. Тезисы докладов конференции, посвящен. вопросам клинической электрофизиологии. Л., 1945, с. 41.
- Юсевич Ю. С. Электрическая активность скелетной мускулатуры человека и акт дыхания. Физиол. ж. СССР, 1954, 12, 1477.
- Юсевич Ю. С. Клиническая электромиография при изучении патологии речи. Ж. невропатол. и психиатр., 1954, 12, 996.
- Юсевич Ю. С. Электромиография в клинике первых болезней. М., 1958.
- Юсевич Ю. С. Электромиография тонуса скелетной мускулатуры человека в норме и патологии. М., 1963.
- Юсевич Ю. С. Электромиография. В кн.: Современные проблемы электрофизиологических исследований нервной системы. М., 1964, с. 393.
- Юсевич Ю. С. Значение глобальной электромиографии для патофизиологического анализа некоторых центральных двигательных расстройств. Ж. невропатол. и психиатр., 1969, 8, 1181.
- Юсевич Ю. С. Об использовании интеграторов в клинической электромиографии. Ж. невропатол. и психиатр., 1970, 4, 537.
- Yusevich Y. S. (Юсевич Ю. С.) Muscular electrogenesis in progressive segmental and supersegmental lesions of the nervous system. Electromyography, 1966, 6, 147.
- Yusevich Y. S. (Юсевич Ю. С.) Some questions concerning the methods of analysing electromyograms recorded by means of a „global“ offtake of muscular potentials. Electromyography, 1967, 7, 253.
- Yusevich Y. S. (Юсевич Ю. С.) The significance of „global“ electromyography for analysing the pathological mechanisms of spastic paralysis. Electromyography, 1968, 8, 135.
- Yusevich Y. S. Concerning the specific features of muscular electrogenesis in central disturbances of the tone and in hyperkinesias. Electromyography, 1969, 9, 85.
- Yusevich Y. S. (Юсевич Ю. С.) Clinical electromyography and some questions relating to the neurophysiology of movements. Electromyography, 1970, 10, 123.
- Intern. meeting on electromyography. Abstracts of communication. Copenhagen, 1963.
- Adams B. D., Denny-Brown D., Pearson C. Diseases of muscle. London, 1962.
- Adrian E. D. Interpretation of electromyogram. Lancet, 1925, 1, 1229.
- Altenburger H. Elektrodiagnostik. В кн.: O. Bumke, O. Foerster. Handbuch der Neurologie. Berlin, 1937, Bd 3, S. 747.
- Andre-Thomas J., Ajuriaguerra J. Etude semiologique du tonus musculaire. Paris, 1949.
- Asai K., Hufschmidt H. J., Schaltenbrand G. The passive muscle relaxation in parkinsonism. J. nerv. ment. Dis., 1960, 130, 449.
- Basmajian J. Muscles alive. Their function revealed by electromyography. Baltimore, 1967.
- Baykushev St. Desynchronisation of excitatory process in the motoneurons and its role for the performance of motor action. Folia med., 1970, 20, 95.
- Bergström R. M. The kinetic energy produced by voluntarily controlled muscle action and the frequency of the motor discharge. Acta physiol. scand., 1959, 47, 179.
- Bosma J. F., Gellhorn E. Electromyographic studies of muscular coordination on stimulation of motor cortex. J. Neurophysiol., 1946, 9, 263.
- Brazier M. A. A history of the electrical activity of the brain. London, 1961.

- Breinin G. M. The Electrophysiology of extraocular muscle. Toronto, 1962.
- Brodal A. Some data and perspectives on the anatomy of the so-called „extrapyramidal system“. *Acta neurol. scand.*, 1963, 39, Suppl. 4, 17.
- Broman T. Electromyomechanographic registration of passive movement in normal and pathological subjects. Copenhagen, 1948.
- Brusa A., Loeb C., Moretti G., Sacco G. A comparison of histologic and electromyographic findings in various neuromuscular disorders. *Neurology*, 1963, 13, 630.
- Buchthal F. An Introduction to electromyography. Kobenhavn, 1957.
- Buchthal F. The electromyogram. *Wld. Neurol.*, 1962, 3, 16.
- Buchthal F., Clemmesen S. Action potentials in pathological postural reflex activity (Spasticity and rigidity). *Acta psychiat. neurol.*, 1946, 21, 151.
- ✓ Buchthal F., Erminio F., Rosenfalck P. Motor unit territory in different human muscles. *Acta physiol. scand.*, 1959, 45, 72.
- Buchthal F., Guld G., Rosenfalck P. Propagation velocity in electrically activated muscle fibres in man. *Acta physiol. scand.*, 1955, 34, 75.
- Buchthal F., Rosenfalck P., Erminio F. Motor unit territory and fiber density in myopathies. *Neurology*, 1960, 10, 398.
- Buller A. J. The physiology of motor unit. B. *ku.*: Diseases of Voluntary Muscle. Boston, 1964, p. 2.
- Campbell H. J. Correlative physiology of the nervous system. London, 1965.
- Churchill-Davidson H. C., Christie I. H., Wise R. P. Dual neuromuscular block in man. *Anesthesiology*, 1960, 21, 144.
- Clark D. A. Muscle counts of motor units: a study in innervation ratios. *Amer. J. Physiol.*, 1931, 96, 296.
- Cutbert N. L., Denslow J. S. Electrode efficiency and subject positioning in electromyography. *Proc. Soc. exp. Biol. (N. Y.)*, 1945, 58, 191.
- Dahlbäck O., Elmqvist D., Johns T. R. et al. An electrophysiologic study of the neuromuscular junction in myasthenia gravis. *J. Physiol. (Lond.)*, 1961, 156, 336.
- Davis R. C. Pattern of muscular action in simple voluntary movement. *J. exp. Psychol.*, 1942, 31, 347.
- Dawson G. D. The relative excitability and conduction velocity of sensory and motor nerve fibres in man. *J. Physiol. (Lond.)*, 1956, 131, 436.
- Dawson G. D., Scott J. W. Recording of nerve action potentials through skin in man. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 1949, 12, 259.
- Delhez L. Methode d'examination du comportement électrique des muscle accessible par electrode de surface. *Electromyography*, 1963, 3, 165.
- Delhez L., Petit J. M., Examen comparatif des modalités d'activité électrique des muscles respiratoires au moyen d'électrodes concentriques et d'électrodes de surface chez l'homme. *Acta tuberc. pneumol. belg.*, 1961, 52, 623.
- Delhez L., Petit J. M., Deroanne E., Sneepe E. Evolution de l'activité électrique intégrée de quatre muscles locomoteurs durant la marche et la course sur tapis roulant. *Electromyography*, 1969, 9, 417.
- ✓ Denny-Brown D. Interpretation of electromyogram. *Arch. Neurol. Psychiat.*, 1949, 61, 99.
- Denny-Brown D., Pennybacker J. B. Fibrillation and fasciculation in voluntary muscle. *Brain*, 1938, 61, 311.
- Denslow J. S. Analysis of variability of spinal reflex thresholds. *J. Neurophysiol.*, 1944, 7, 207.
- Denslow J. S., Kerr I. M., Krems A. D. Quantitative studies of chronic facilitation in human motoneuron pools. *Amer. J. Physiol.*, 1947, 150, 229.
- Diamantopoulos E., Gassel M. M. Electrically induced monosynaptic reflexes in man. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 1965, 28, 496.
- Dobbelstein H., Struppler A. Die Nervenleitgeschwindigkeit als diagnostisches Kriterium bei peripheren neurologischen Störungen. *Fortschr. Neurol. Psychiat.*, 1963, 31, 616.
- Downie A. W. Studien in nerve conduction. B. *ku.*: Diseases of Voluntary Muscle. Boston, 1963, Chap. 22.
- Drechsler B. *Elektromyographie*. Berlin, 1963.
- Erminio F., Buchthal F., Rosenfalck P. Motor unit territory and muscle fiber concentration in paresis due to peripheral nerve injury and anterior horn cell involvement. *Neurology*, 1959, 9, 657.
- Esslen E. Standart Werte der Latenzzeiten für primäre Muskelpotential und monosynaptische Reflexpotential zur eindeutigeren und schnelleren Erfassung von Verlangsamung der NLG. Intern. meeting on electromyography. Abstracts of communication. Copenhagen, 1963, p. 888.
- Esslen E., Magun R. *Elektromyographie, Grundlagen und klinische Anwendung*. *Fortschr. Neurol. Psychiat.*, 1958, 26, 153.
- Faaborg-Andersen K. *Electromyography of intrinsic laryngeal muscles in man*. Basel, 1963.
- Fenyés I., Gergely K., Toth S. Clinical and electromyographic studies of „spinal reflexes“ in premature and fullterm infants. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 1960, 23, 63.
- Forbes-Norris H. *EMG-A guide and atlas for practical electromyography*. New York, 1963.
- Gassel M. M. Sources of error in motor nerve conduction studies. *Neurology*, 1964, 14, 825.
- Gilliat R. W., Sears T. A. Sensory nerve action potentials in patients with peripheral nerve lesions. *J. Neurol.*, 1958, 21, 109.
- Gilliat R. W., Willison R. G. Peripheral nerve conduction in diabetic neuropathy. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 1962, 25, 11.
- Granit R. Receptors and sensory perception. New-Haven, 1956.
- Granit R. Systems for control of movement. *Foerst. int. congr. of neurol. science*. Brusselle, 1957, p. 8.
- Handbook of physiology. V. 2—3. Washington, 1960.
- Hanson H. G., Troedson H. C., Schwarzkopf E. Electromyographic studies in poliomyelitis. *Arch. phys. Ther.*, 1954, 25, 247.
- Harvey A. M., Masland R. L. A method for study of neuromuscular transmission in human subjects. *Bull. Johns Hopk. Hosp.*, 1941, 68, 81.
- Hertz H., Madsen A., Buchthal F. Prognostic implications of electromyography in acute anterior poliomyelitis. *J. Bone Jt. Surg.*, 1954, 36A, 902.
- Hirschberg G. S., Nathanson M. EMG recording of muscle activity in normal and spastic gaits. *Arch. phys. Med.*, 1952, 35, 227.
- Hodes R., Larrabee M. G., German W. J. Human electromyogram in response to nerve stimulation and conduction velocity of motor axons. *Arch. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 1948, 60, 340.

- Hoffmann W. Elektromyographische Untersuchungen zur quantitativen Bestimmung der Muskelpastik. *Pädiatrie Grenzgeb.*, 1964, 3, 135.
- Hohmann T. C., Goodgold J. A study of abnormal reflex patterns in spasticity. *Amer. J. phys. Med.*, 1961, 40, 52.
- Hopf H. C. Elektromyographic studies on polyneuritis and polyradiculitis. *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1962, 184, 174.
- Hopf H. C. Das Elektrogramm bei Nervenreizung. *Fortschr. Neurol. Psychiat.*, 1963a, 31, 585.
- Hopf H. C., Hufschmidt H. J. Die Koordination benachbarter Muskeln bei einfachen Willkürbewegungen. *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1963b, 185, 191.
- Hopf H. C., Hufschmidt H. J., Schaltenbrand G. Elektromyographische Untersuchungen bei Syringomyelie und amyotrophischer Lateralsklerose. *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1965, 186, 529.
- Hufschmidt H. J. Zur funktionellen Organisation der motorischen Einheiten eines Muskels. *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1959a, 178, 583.
- Hufschmidt H. J. Über die reflektorische Grundlage des Parkinsontremors. *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1959b, 179, 298.
- Hufschmidt H. J. Wird durch Muskelvibration eine Eigenreflex erzeugt. *Pflüg. Arch. ges. Physiol.*, 1961, 272, 297.
- Hufschmidt H. J. Question on tremor and ataxia. *Electroenceph. clin. neurophysiol.*, 1962, Suppl. 22.
- Hufschmidt H. J. Über einen supraspinalen Hemmungsmechanismus. *Pflüg. Arch. ges. Physiol.*, 1962, 275, 463.
- Hufschmidt H. J., Nadjmi M. Weitere elektromyographische Untersuchungen an Areflexien (Tabiker und Polyneuritiden). *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1960, 180, 490.
- Humphrey S., Milton Shy. Diagnostic electromyography. *Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago)*, 1962, 6, 339.
- Isch F. L'electromyographie. Paris, 1963.
- Isch-Treussard C. Athetose. Strasbourg, 1954.
- Jacobson E. Progressive relaxation. Chicago, 1938.
- Janda V., Scorpil V. The EMG-session in Chechoslovakie. *Electromyography*, 1965, 5, 150.
- Johns R. J., Grob D., Harvey A. M. Symposium on myasthenia gravis. *Electromyographic changes in myasthenia gravis. Amer. J. Med.*, 1955, 19, 679.
- Johns R. J., Grob D., McGee Harvey A. An electromyographic study of a spinal cord reflex in the normal human arm. *Bull. Johns Hopk. Hosp.*, 1957, 101, 232.
- Jinnai D., Nishimoto A., Numoto M. et al. Electrophysiological studies in stereotaxic surgery for extrapyramidal disorders. Mechanism of parkinsonian tremor. *Confin. neurol. (Basel)*, 1964, 24, 289.
- Joseph J. Man's posture. *Electromyographic studies*. Springfield, 1960.
- Jung E. Physiologische Untersuchungen über Parkinsontremor und andere Zitterformen beim Menschen. *Z. ges. Neurol., Psychiat.*, 1941, 175, 265.
- Kadefors R., Kaiser E., Petersen I. Dynamic spectrum analysis of myopotentials with special reference to muscle fatigue. *Electromyography*, 1968, 8, 39.
- Kaesler H. E. Veränderungen der Leitgeschwindigkeit bei Neuropathien und Neuritiden. *Fortschr. Neurol. Psychiat.*, 1965, 33, 221.
- Kaesler H. E. Das sensible Nervenaktionspotential und seine klinische Bedeutung. *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1966, 188, 289.
- Kaiser E., Petersen I. Frequency analysis of muscle action potentials during tetanic contraction. *Electromyography*, 1963, 3, 5.
- Kaiser E., Petersen I. Muscle action potential by frequency analysis and duration measurement. *Acta neurol. scand.*, 1964, 41, Suppl. 13.
- Kerschensleiner M., Schenck E. Untersuchung der Nervenleitung bei neuraler Muskelatrophie und Friedreichscher Heredoataxie. *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1963, 195, 166.
- Kornhuber H. H. Zur Bedeutung multisensorischer Integration im Nervensystem. *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1965, 187, 478.
- Kugelberg E., Taverner D. Comparison between voluntary and electrical activation of motor units in anterior horn cell diseases. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 1950, 2, 125.
- Lambert E. H., Okinhiro M., Roove E. D. Clinical physiology of neuromuscular junction. *Brit. J. Muscle. London*, 1965, p. 187.
- Lerique L. I. Faits et pièges en matière de mesure de vitesse de conduction nerveuse motrice. Intern. meeting on electromyography. Abstracts of communication. Copenhagen, 1963, p. 111.
- Liberson W. T. Monosynaptic reflexes and their clinical significance. *Electroenceph. clin. neurophysiol.*, 1962, suppl. 22.
- Lindquist C. The motor unit potential in severely paretic muscles after acute anterior poliomyelitis. *Acta psychiat. scand.*, 1959, 34, Suppl. 131, 1.
- Lindsay D. B. Electrical activity of human motor units during voluntary contraction. *Amer. J. Physiol.*, 1935, 114, 90.
- Lowenbach H., Schneider H. Über die Isolation nervöser Erregungen im Zentralnervensystem bei Menschen mit normaler und gestörter Motorik. *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1932, 126, 204.
- Lundervold A., Li C. L. Motor units and fibrillation potentials as recorded with different kinds of needle electrodes. *Acta psychiat. scand.*, 1953, 28, 202.
- Magladery J. W. Central facilitating and inhibiting mechanisms in the control of muscle tone. *Clin. Pharmacol. Ther.*, 1964, 5, 805.
- Marinacci A. A. Clinical electromyography. Los-Angeles, 1955.
- Marinacci A. A. Applied electromyography. Philadelphia, 1968.
- Masahico Joku. Monosynaptic reflex and its facilitation due to pyramidal and extrapyramidal diseases. *Electromyography*, 1966, 6, 81.
- Mayer K. Klinik und Elektromyographie der Spontanaktivität des menschlichen Skelettmuskels. Berlin, 1965.
- Mertens H. G., Ruedas G. Elektromyographische Untersuchungen bei elektrischer Nervenreizung. *Dtsch. Z. Nervenheilk.*, 1961, 182, 577.
- Neurophysiological basis of normal and abnormal motor activities. Ed. Jahr M., Purpura D. H. New York, 1968.
- Ochs S. Elements of neurophysiology. New York, 1966.
- (Ochs S.) Окс С. Основы нейрофизиологии. М., 1969.
- Ohye C., Tsukahara N., Narabayashi H. Rigidity and disturbance of reciprocal innervation. *Confin. neurol. (Basel)*, 1965, 26, 24.
- Paillard J. Reflexe et regulations d'origine proprioceptive chez l'homme. Paris, 1955.
- Podivinsky F. Factors influencing the measurement of conduction velocity in the human peripheral nerve. *J. neurol. Sci.*, 1967, 5, 493.
- Rasch P. J., Burke R. K. Kinesiology and applied anatomy: the science of human movement. Philadelphia, 1967.
- Rosenfalek A., Buchthal F. Action potentials from sensory

- nerve. Intern. meeting on electromyography. Abstracts of communication. Copenhagen, 1963, p. 150.
- Rosselle N. et al. Electromyographie dans les maladies nerveuses et dans la cryptotétanie avec atlas. Louvain, 1960.
- Ruch J., Feinesinger J. H. The relation between electromyographic measurements and subjective reports of muscle relaxation. J. psychosom. Med., 1945, 9, 152.
- Rushworth G. Spasticity and rigidity: experimental study and review. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat., 1960, 23, 99.
- Sato M. Frequency components of the electromyogram led with the bipolar surface electrodes. Electromyography, 1966a, 6, 293.
- Sato M. A problem in the frequency analysis of the electromyogram. Electromyography, 1966b, 6, 21.
- Serra C. Le indicazioni extraneurologiche dell'elettromiografia. Napoli, 1966.
- Serra C., Covello L. Elettromiografia clinica. Napoli, 1959.
- Simpson J. A. Fact and fallacy in estimation motor nerve conduction velocity. Intern. meeting on electromyography. Abstracts of communication. Copenhagen, 1963.
- Skorpil V. Conduction velocity of human nerve structure. Prague, 1965.
- Spiegel E. A. Der Tonus der Skelettmuskulatur. Berlin, 1927.
- Steinbrecher W. Elektromyography in the Klinik and Praxis. Stuttgart, 1965.
- Steindler A. Kinesiology of the human body under normal pathological conditions. Springfield, 1955.
- Subirana A., Maso-Subirana E. Correlaciones clinico-electromyograficas en la poliomiелitis. Med. esp., 1957, 216, 199.
- Terzuolo C. A., Llinas R. Distribution of synaptic input in spinal motoneurons and its functional significance. В кн.: Nobel symposium-Muscular afferents and motor control. Ed. R. Granit. Stockholm, 1966, p. 373.
- Thage O., Trojahnorg W., Buchthal F. Electromyographic findings in polyneuropathy. Neurology, 1963, 13, 273.
- Thomas J. E., Lambert E. H. Ulnar nerve conduction velocity and H-reflex in infants and children. J. appl. Physiol., 1960, 15, 496.
- Thom H. Elektromyographische Untersuchungen über das Verhalten der tonischen Halsreflexe beim hirngeschädigten Kinde. Arch. phys. Ther., 1963, 15, 411.
- Tokizane F., Tsuijama E. Clinical electromyography. Tokio, 1955.
- Tournay A., Paillard J. Maladie de Little. Rev. neurol., 1958, 98, 172.
- Vele F., Janda V. Comparison of the monopolar and bipolar polyelectromyographic technique. Electromyography, 1965, 5, 97.
- Wagmann I. H., Lesse H. Maximum conduction velocities of motor fibers of ulnar nerve in human subjects of various ages and sizes. J. Neurophysiol., 1952, 15, 235.
- Wesslau W. Das Verhalten der willkürlich innervierten Motoneuron im Eigenreflex. Pflüg. Arch. ges. Physiol., 1953, 256, 329.
- Willison R. G. A method of measuring motor unit activity in human muscle. J. Physiol. (Lond.), 1963, 168, 35P.
- Winn-Perry C. B. Technic of neuro-muscular stimulation and their clinical application. В кн.: Disorders of Voluntary Muscle. Boston, 1964, p. 490.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение	3
Глава I.	Клиническая электромиография и электрофизиология двигательной функции человека	6
Глава II.	Принцип устройства и требования, предъявляемые к электромиографической аппаратуре	13
Глава III.	Общие условия и организация электромиографического исследования. Обработка и анализ электромиограмм	29
Глава IV.	Некоторые итоги электромиографических исследований человека в норме и патологии	51
	Заключение	66
	Литература	86