

3 Электромиография

Введение



Электромиография представляет собой метод исследования мышечной системы путем регистрации электрических потенциалов мышц. С мышцы, находящейся в состоянии максимально возможного расслабления, то есть в режиме покоя, биоэлектрическая активность в норме не регистрируется. При слабом мышечном сокращении появляются осцилляции с амплитудой 100–150 мкВ. При максимальном произвольном мышечном сокращении амплитуда колебаний индивидуальна, как и сила людей, различающихся по возрасту и физическому здоровью, и может достигать в норме 1–3 мВ. Выделяют спонтанную электрическую активность мышц и электрические вызванные ответы мышцы (потенциалы действия), обусловленные искусственным внешним импульсным воздействием на мышцу или естественным внутренним волевым импульсом. Внешнее воздействие может быть механическим (удар молоточком по сухожилию мышцы) или электрическим.

Кривая записи электрической активности мышц называется электромиограммой (ЭМГ). Регистрация изменения во времени разности потенциалов проводится с помощью специального прибора – электромиографа. Впервые ритмические процессы в электрической активности мышц человека наблюдал Введенский, используя телефонное устройство в 1884 году, а в 1907 году Пипперу удалось записать с помощью струнного гальванометра потенциалы действия мышц предплечья человека. Интенсивное изучение ЭМГ началось в 30–40 годы 20 века.

Мышцы, их типы и характеристики

Выделяют 3 основных типа мышц (рис. 3.1):

- гладкая мускулатура;
- поперечнополосатая мускулатура сердца;
- поперечнополосатая скелетная мускулатура.

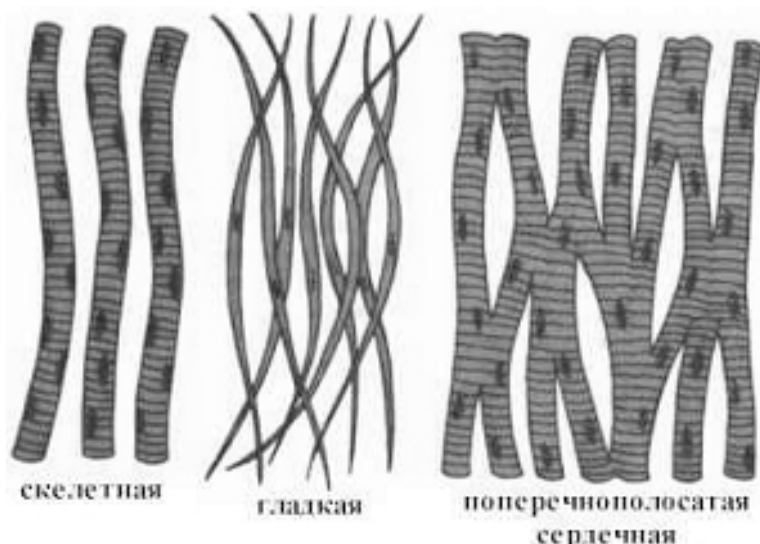


Рис. 3.1. Виды мышечной ткани.

Многие мышцы являются двухсуставными, то есть действуют не на один, а на два сустава. Так, например, сгибание пальцев руки невозможно без одновременной активации разгибателей кисти. Каждая мышца состоит из множества волокон толщиной около 0.1 мкм и длиной 300 мкм. Электрический потенциал действия приводит к сокращению волокна (длина при этом уменьшается примерно в 2 раза).

Различают следующие типы сокращения мышцы:

- изотоническое – волокна мышцы укорачиваются, а напряжение не изменяется;
- изометрическое – концы мышцы закреплены, она не может сокращаться, поэтому длина волокна не изменяется, а напряжение увеличивается.

Потенциал действия клеток представляет собой быстрое колебание мембранного потенциала, возникающее при возбужде-

нии нервных и мышечных клеток (волокон); активный электрический сигнал, с помощью которого осуществляется передача информации в организме человека и животных. Он основан на быстро обратимых изменениях ионной проницаемости клеточной мембраны, связанных с активацией и инактивацией ионных мембранных каналов. В нервных волокнах восходящая фаза потенциала действия связана с активацией так называемых быстрых натриевых каналов, а нисходящая фаза – с инактивацией быстрых натриевых каналов. На таком же механизме основана генерация потенциала действия в волокнах скелетных мышц позвоночных. В мышечных волокнах сердца активация быстрых натриевых каналов обеспечивает только начальный подъем потенциала действия, а дальнейший подъем обеспечивают Ca^{2+} каналы. В мембранах волокон гладких мышц внутренних органов и сосудов позвоночных, а также мышечных волокон членистоногих (ракообразных, насекомых) и ряда нейронов моллюсков быстрые натриевые каналы не обнаружены.

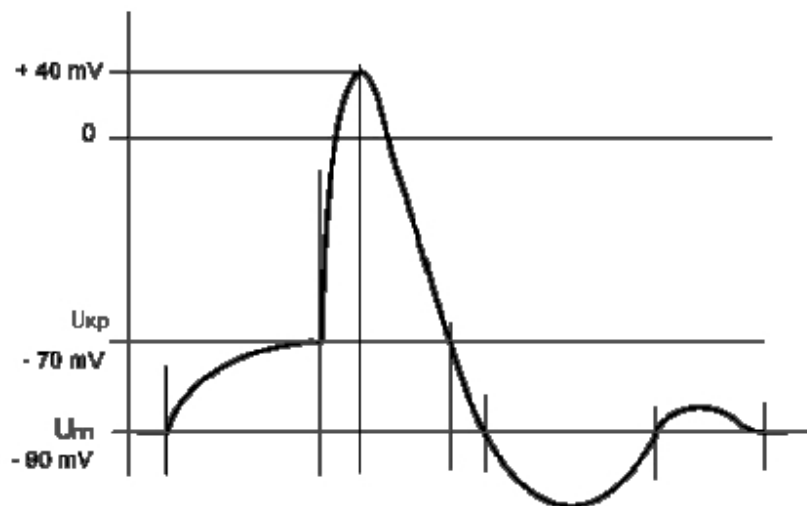


Рис. 3.2. Потенциал действия мышцы человека.

В покое разность потенциалов составляет около 50-90 мВ. Было установлено, что, например, разность потенциалов покоя нервных волокон кальмара – 50-60 мВ, миелиновых нервных волокон амфибий – 70 мВ, теплокровных – 90 мВ, поперечно-полосатых мышц амфибий – 80 мВ, волокон сердечной мышцы

животных с постоянной температурой тела – 95 мВ. Потенциал действия мышцы есть сумма разностей потенциалов отдельных волокон. Его длительность, амплитуда и форма зависят от количества волокон, входящих в мышцу. Потенциал действия приближенно равен 120–135 мВ (рис. 3.2) и возникает вследствие деполяризации мембраны. Он предшествует началу сокращения каждого мышечного волокна. Например, потенциал действия, приводящий в движение бедро кролика, составляет 42 мВ, грудные и бедренные мышцы черепахи – 29 мВ, икроножные мышцы лягушки – 40–80 мВ.

В ответ на одиночное раздражение мышца отвечает одиночным сокращением. Оно включает в себя 3 фазы:

- латентный период сокращения;
- фаза сокращения;
- фаза расслабления.

Регистрация ЭМГ

Принцип регистрации электромиограммы (рис. 3.3) схож с ЭЭГ и ЭКГ. Экспериментальная установка включает электроды, отводящие потенциалы мышцы, усилитель этих потенциалов и регистрирующее устройство.



Рис. 3.3. Типичная электромиограмма.

Выделяют следующие виды электромиографии:

- электромиография с помощью введенных в мышцу игольчатых электродов;
- электромиография с помощью накожных электродов;
- стимуляционная электромиография.

В первом случае электроды улавливают колебания потенциала в отдельных волокнах или в группе волокон. Если потенциалы действия отводятся с помощью накожных электродов, то регистрируется суммарная электромиограмма. В этом случае анализируемая электрическая активность отражает число активных в данный момент двигательных единиц, частоту колебаний потенциала в каждой из них и степень синхронизации возникающего возбуждения. Чем выше степень синхронизации, тем больше амплитуда потенциалов действия и меньше их частота. Десинхронизация проявляется в возникновении большого числа мелких колебаний при уменьшении количества волн большой амплитуды. Амплитуда потенциалов действия нарастает по мере утомления, а их частота уменьшается, что свидетельствует о нарастающем утомлении. При максимальных нагрузках на мышцу отмечается высокая степень синхронизации, которая в конце удержания усилия, при развитии утомления, сменяется десинхронизацией, когда амплитуда потенциалов действия уменьшается.

В электромиографии достаточно часто применяют стимуляционные методы. При этом накожными электродами в двигательных точках производят стимуляцию мышц и анализируют отклик на внешнее воздействие. В зависимости от целей проводимых экспериментов используют разные типы электродов (см. таблицу 3.1). Для увеличения проводимости кожи на их поверхность наносят специальный гель (или электродную пасту). Проведение экспериментальных исследований обычно включает следующие этапы:

1. Регистрация ЭМГ;
2. Оценка по ЭМГ процессов возникновения и проведения возбуждения в мышце;
3. Сравнение полученных данных с критериями нормальной работы мышцы;
4. Диагностика возможных нарушений.

Тип электрода		Форма	Применение
поверхностные		Металлические пластинки площадью $0.2-1 \text{ см}^2$	Накладывают на кожу над областью двигательной точки мышцы; возможность регистрации суммарной активности мышц
игольчатые	концентрические	Полая игла диаметром 0.5 мм, внутри которой проходит отделенный от нее слоем изоляции проволочный стержень из пластины или нержавеющей стали, площадь поверхности 0.07 мм^2	Исследование параметров потенциалов действия отдельных двигательных единиц и мышечных волокон; запись потенциалов действия в двигательных единицах и мышечных волокнах позволяет точно оценить длительность, амплитуду и форму потенциала
	биполярные	Внутри иглы содержится 2 одинаковых изолированных друг от друга стержня, между концами которых измеряют разность потенциалов	
	монопольные	Игла, изолированная на всем протяжении, кроме заостренного конца, оголенного на протяжении 1-2 мм	

Таблица 3.1. Типы электродов, используемых в электромиографии.

Анализ ЭМГ

Сигнал ЭМГ имеет шумовой характер с широким спектром, и визуально анализировать его достаточно сложно. В связи с этим значительное распространение нашли различные методы компьютерной обработки сигналов. С их помощью, в частности, было обнаружено, что электромиограмма содержит большое количество высокочастотных компонент. Поэтому при регистрации

сигналов ЭМГ выбирают широкий частотный диапазон: верхняя полоса пропускания составляет 10–20 кГц, а нижняя – 2–10 Гц.

Ученый, предложивший классификацию колебаний	Тип колебаний и характеристики
Правдич-Неминский (1925)	1 порядка – 80 Гц
	2 порядка – 150-200 Гц
	3 порядка – в виде группы пиков
Бухтал (1957)	потенциалы отдельных моторных единиц с правильными редкими ритмами
	смешанный тип с частыми и редкими колебаниями
	интерференционный тип с асинхронными частыми разрядами многих единиц
Юсевич (1964)	1 тип – варьирующиеся по амплитуде и форме с частыми (50–100 Гц) и быстрыми (менее 10–15 мс) пиками, отражающими смещение во времени активности множества моторных единиц
	2 тип – колебания подгруппы «а» (10–15 Гц) и «б» (20–40 Гц)
	3 тип – ритмические проявления групп больших, а также медленных колебаний малой амплитуды (100 мс) с частотой 4–6 Гц
	4 тип – «биоэлектрическое молчание»

Таблица 3.2. Типы колебаний, идентифицируемых в ЭМГ.

В частности, для мышцы-сгибателя пальца человека характерен ритм с частотой 113 Гц. Максимальный ритм синхронизированного ответа на раздражение для одиночных двигательных нервных волокон лягушки – 300 Гц, оптимальный – 75–150 Гц; для мышечных волокон максимальный – 150 Гц, оптимальный – 20–50 Гц. Максимальный ритм проведения импульсов в двигательных нервах теплокровных больше 1 кГц. Различные типы ко-

лебаний, которые удалось идентифицировать в ЭМГ, представлены в таблице 3.2. Разные мышечные элементы имеют различные свойства, их ритмы накладываются друг на друга. Чем сильнее сокращения, тем больше частота импульсов. Частота сокращений может достигать 160–190 Гц, а при утомлении мышцы наблюдается уменьшение этой величины.

Значение ЭМГ

Электромиограмма содержит информацию не только о состоянии отдельной мышцы, но также и о центральной нервной системе, управляющей мышцами – спинном и головном мозге. Это обусловлено тем, что мозг управляет двигательными функциями, посылая сигналы мышцам.

ЭМГ применяют в физиологии с целью изучения двигательной функции человека и животных, исследования утомления и для решения множества других задач. При электродинамическом исследовании движений обычно используют накожные электроды, которые укрепляют над исследуемой мышцей. С помощью многоканального электромиографа можно записывать электромиограммы нескольких мышц одновременно.

В психологических исследованиях регистрируются потенциалы действия мимической мускулатуры. Путем анализа потенциалов нижней губы изучается специфика речи. Речевые электромиограммы, представляющие собой запись потенциалов действия речевых мышц, показали, что механизм “внутренней” речи построен на принципе обратной связи. Мысль произнести звук приводит к движению речевых органов, а колебания языка, губ, гортани воздействуют на мозг. В электрических показателях отражались также процессы “немой речи”, к примеру, была найдена связь произносимых “про себя” слов с потенциалами мышц голосовых связок.

В медицинскую практику все шире внедряются электрофизиологические методы исследования моторной функции гладкомышечных внутренних органов.

Регистрация и анализ с помощью комплекса MP100

В состав измерительного комплекса MP100 входит модуль для регистрации электромиограмм MEC100C. Для записи ЭМГ необходимо выполнить следующую последовательность действий:

- 1) Подсоединить кабель MEC100C к модулю MEC100C, подключить электроды. Два контактных электрода (на кабеле MEC100C они отмечены “Shield”) прикладываются к плечевой мышце, а заземляющий электрод – к кисти руки. Для улучшения качества регистрации сигнала на контактную поверхность электродов наносится специальный гель. Крепление электродов осуществляется с помощью липких дисков.
- 2) Задать на модуле MEC100C усиление (“Gain”) 2.000 и установить характеристики фильтров:
 - “Low pass filter” → “5.000 Hz”;
 - “100 Hz HPN” → “OFF”;
 - “High pass filter” → “1.0 Hz”.
- 3) Запустить программу AcqKnowledge, выбрать папку Samples, тип файлов *GTL и затем открыть файл “Q40 Integrated (RMS) EMG”. В результате появится новое окно.
- 4) Указать канал для записи аналогового сигнала, выбрав MP100 → Set Up Channels → Analog. В появившемся окне установить номер канала, например, A1 (необходимо проверить, какой канал задан на модуле MEC100C, именно его и нужно установить в программе).
- 5) Выбрать временные зависимости, которые планируется изучать и выводить на дисплей в режиме реального времени в процессе записи электромиограммы (например, интегрированный сигнал ЭМГ). С этой целью в том же самом окне установить Calc. После выбора нужной временной зависимости необходимо заходить в Setup, задавать параметры (или использовать указанные по умолчанию) и нажимать ОК (программа запоминает настройки по отдельности). Пример задания вычисляемых в режиме

реального времени характеристик представлен на рисунке 3.4.

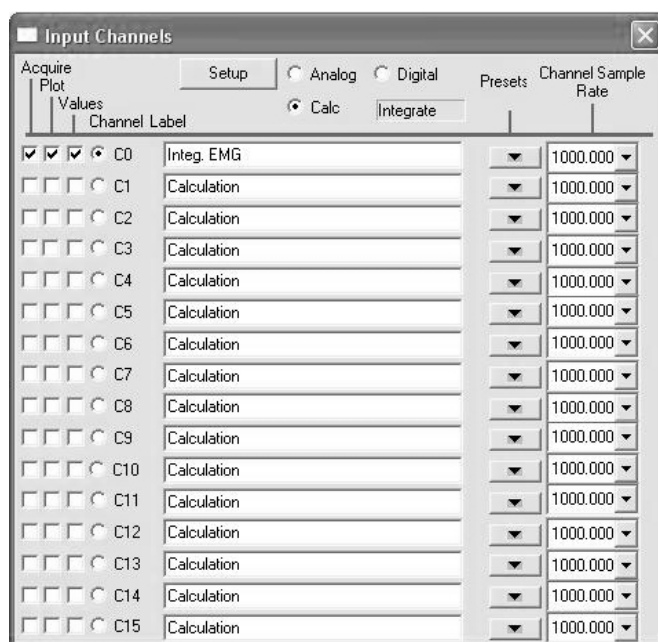


Рис. 3.4. Пример задания вычисляемых характеристик.

- 6) Задать длительность экспериментальной записи в MP100
→ Set Up Acquisition. В появившемся окне установить частоту дискретизации сигнала и варианты хранения данных (в оперативной памяти или запись в файл).
- 7) Нажать “Start” для начала регистрации. Пример полученной экспериментальной записи представлен на рисунке 3.5. Данный сигнал содержит последовательность коротких импульсов, представляющих собой отклики мышц на периодическую стимуляцию. Отметим, что в пределах каждого такого импульса наблюдается сложная структура экспериментальной временной зависимости (рис. 3.6), которая характеризуется сложным спектром мощности.

Анализ сигнала ЭМГ в частотной области включает вычисление различных характеристик, которые описывают специфические аспекты спектра сигнала. Два параметра спектральной плотности мощности представляют наибольший интерес:

- средняя частота спектра ЭМГ;
- основная частота спектра ЭМГ (частота максимума).

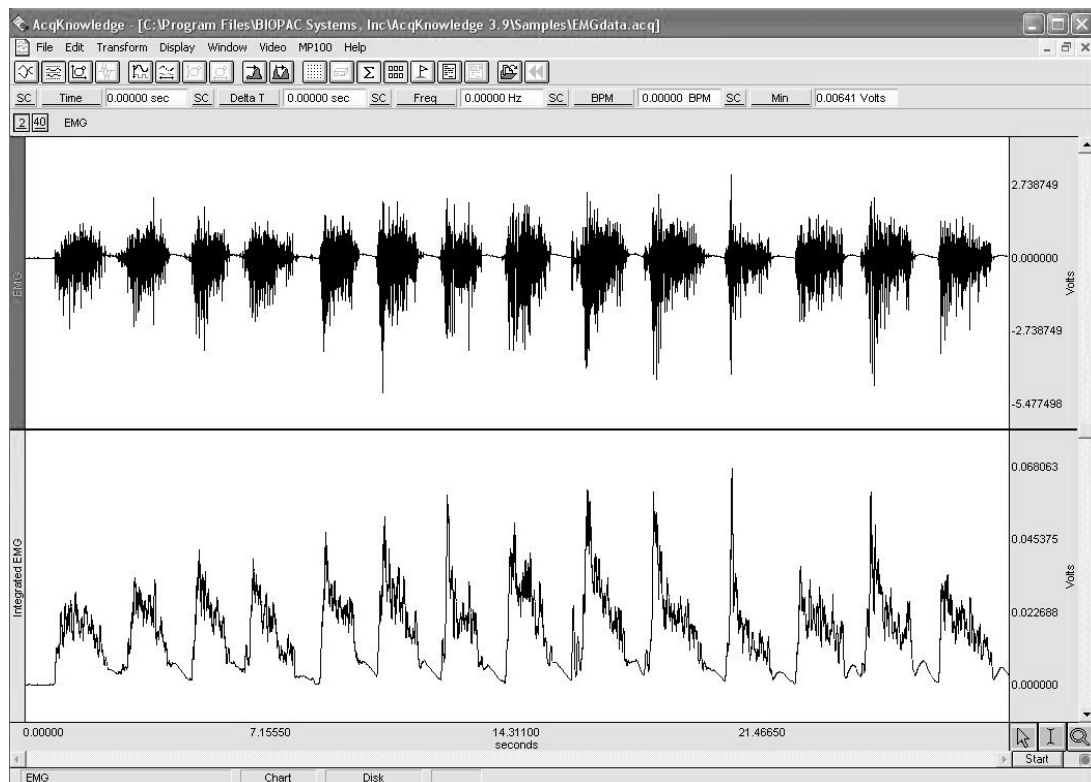


Рис. 3.5. Фрагмент записи ЭМГ и интегрированной временной зависимости.

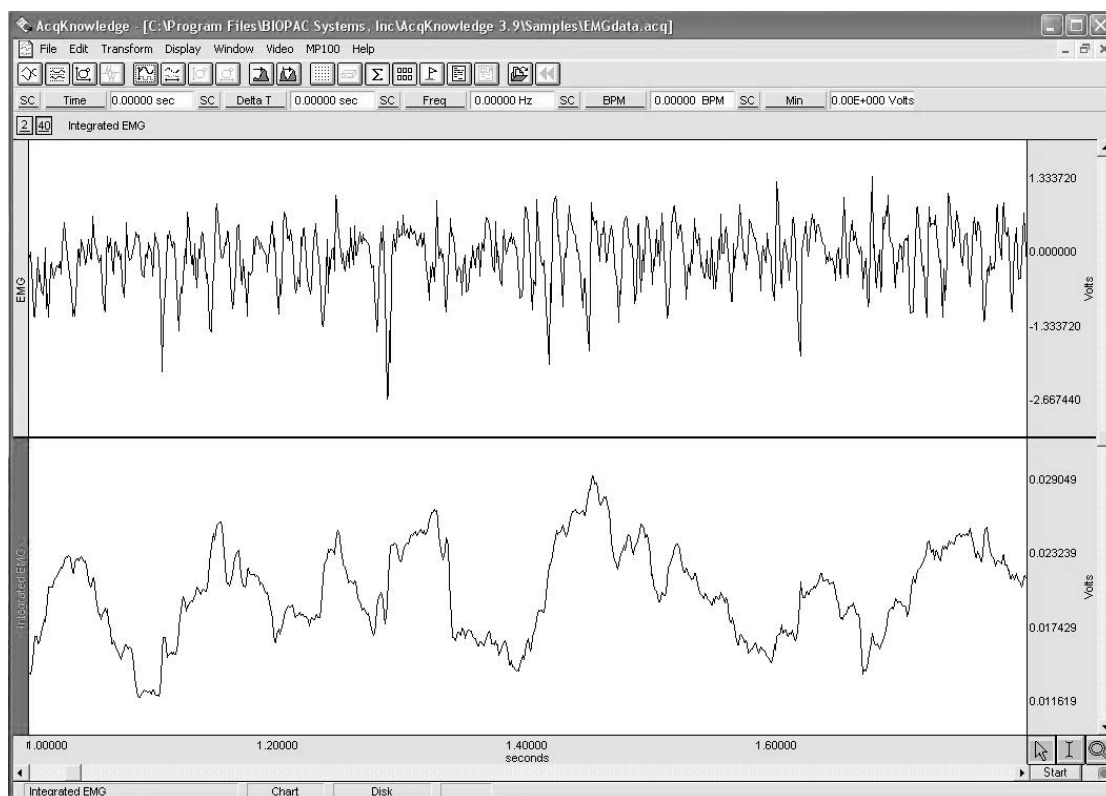


Рис. 3.6. Динамика в пределах одного импульса, изображенного на рис. 3.5.

В случае нормы средняя и основная частоты идентичны. Любое отклонение от нормального режима динамики приводит к различным значениям средней и основной частот. Наряду со спектральным анализом широко применяются и другие классические методы анализа структуры сигналов (построение гистограмм, расчет моментных функций и т.д.).

Контрольные вопросы

- 1) Дайте характеристику потенциалу действия мышечных клеток.
- 2) Что собой представляют стимуляционные методы в электромиографии?
- 3) Почему при регистрации сигналов ЭМГ выбирают широкий диапазон частот?
- 4) Назовите характерные типы колебаний, которые можно идентифицировать в сигнале ЭМГ?
- 5) Как с помощью программы AcqKnowledge можно осуществить вывод на дисплей интегрированного сигнала ЭМГ в режиме реального времени?