**Свойства скелетной мышцы**

Скелетные (поперечнополосатые) мышцы являются активной частью опорно-двигательного аппарата.

Волокна скелетных мышц обладают тремя важнейшими свойствами:

1. возбудимостью – способностью отвечать на раздражитель изменениями ионной проницаемости и мембранного потенциала;

2. «проводимостью» – способностью к проведению потенциала действия вдоль всего волокна;

3. сократимостью – способностью сокращаться или изменять напряжение при возбуждении.

В естественных условиях возбуждение и сокращение мышц вызываются нервными импульсами, поступающими к мышечным волокнам из нервных центров. Чтобы вызвать возбуждение в эксперименте, применяют электрическую стимуляцию.

Непосредственное раздражение самой мышцы называется прямым раздражением; раздражение двигательного нерва, ведущее к сокращению иннервированной этим нервом мышцы, – непрямым раздражением.

Раздражение мышцы или иннервирующего ее двигательного нерва одиночным стимулом вызывает одиночное сокращение мышцы:

Выделяют две основные фазы этого сокращения: укорочение и расслабление.

Возникнув при раздражении двигательного нерва в области нервно-мышечного соединения или в участке, к которому приложены электроды для прямого раздражения мышцы, волна сокращения распространяется вдоль всего мышечного волокна. Длительность сокращения в каждой точке волокна в десятки раз превышает продолжительность потенциала действия. Поэтому наступает момент, когда ПД, пройдя вдоль всего волокна, заканчивается (мембрана реполяризовалась), волна сокращения охватывает все волокно и оно еще продолжает быть укороченным. Это соответствует моменту максимального укорочения мышечного волокна.

Амплитуда одиночного сокращения изолированного мышечного волокна от силы раздражения не зависит, т.к. подчиняется закону «все или ничего». А сокращение целой мышцы, состоящей из множества волокон, при ее прямом раздражении находится в большей зависимости от силы раздражения.

При пороговой силе тока в реакцию вовлекается лишь небольшое число волокон, поэтому сокращение мышцы едва заметно. С увеличением силы раздражения число волокон, охваченных возбуждением, возрастает, сокращение усиливается до тех пор, пока все волокна не оказываются сокращенными («максимальное сокращение»). После этого усиление раздражающего стимула на амплитуду сокращения мышцы не влияет.

раздражительный ответ мышцы на

стимул раздражение

Таким образом, скелетная мышца отвечает на раздражение градуально (в зависимости от раздражительного стимула).

Каждое двигательное нервное волокно является отростком нервной клетки – мотонейрона, расположенного в переднем роге спинного мозга или в двигательном ядре черепного нерва. В мышце двигательное волокно ветвится, и каждый отросток иннервирует соответственное ему мышечное волокно.

Мотонейрон вместе с группой иннервируемых им мышечных волокон называется моторной единицей (двигательной единицей).

Когда по двигательному волокну к мышце приходит потенциал действия, мышечные волокна, входящие в одну двигательную единицу, возбуждаются почти одновременно. Поскольку мотонейрон при естественном сокращении мышцы разряжается ритмически, электрическая активность двигательной единицы имеет в записи вид частокола (с частотой ≈ 6 имп/с), она успевает совершить все фазы сокращения, т.е. укоротиться и расслабиться:

В скелетных мышцах теплокровных животных и человека различают быстрые и медленные двигательные единицы, состоящие соответственно из быстрых и медленных мышечных волокон. От скорости сокращения мышечных волокон двигательной единицы зависит суммация, т.е. та частота возбуждения, при которой наступает гладкий тетанус. Сопоставление частоты разрядов двигательных единиц с частотой, при которой может образоваться гладкий тетанус, позволяет сделать вывод, что в естественных условиях гладкий тетанус может наблюдаться только при очень высокой частоте. Обычным режимом естественного сокращения является зубчатый тетанус (или даже ряд последовательных одиночных сокращений двигательной единицы).

1. с частотой ≈ 10-20 имп/с возникает зубчатый тетанус

2. с частотой ≈ 40 имп/с возникает гладкий тетанус: мышца получает множество стимулов подряд и, не успевая расслабиться, постоянно находится в напряжении

Тетанус возникает только при суммации эффектов ритмических раздражений, которые действуют на мышечное волокно или на всю мышцу.

Чем быстрее сокращаются и расслабляются волокна мышцы, тем чаще должны быть раздражения, чтобы вызвать тетанус.

Утомлением называется временное понижение работоспособности клетки, органа или целого организма, наступающее в результате работы и исчезающее после отдыха.

Если долго раздражать изолированную мышцу ритмическими электрическими стимулами, к которой подвешен небольшой груз, то амплитуда ее сокращений постепенно убывает до нуля. Регистрируемую при этом запись сокращений называют кривой утомления.

Также при утомлении нарастает латентный период сокращения и удлиняется период расслабления мышцы. Эти процессы начинаются спустя некоторое время, в течение которого наблюдается увеличение амплитуды одиночных сокращений мышцы.

Утомление мышцы обусловлено двумя основными причинами:

1. во время сокращения в мышце накапливаются продукты обмена веществ, оказывающие угнетающее действие на работоспособность мышечных волокон. Часть этих продуктов, а также ионы калия диффундируют из волокон наружу в околоклеточное пространство и оказывает угнетающее влияние на способность возбудимой мембраны генерировать потенциалы действия.

2. в мышце постепенно истощаются энергетические запасы. При длительной работе изолированной мышцы происходит резкое уменьшение запасов гликогена, вследствие чего нарушаются процессы ресинтеза АТФ и креатинфосфата, необходимых для осуществления сокращения.

Также, в записи мышца утомляется не так быстро, как там изображено. Дело в том, что нерв с мышцей соединен синапсом, который утомляется быстрее мышцы и постепенно перестает передавать стимулы мышце.

Синапс – структурное образование, обеспечивающее переход возбуждения с нервного волокна на иннервируемую им клетку (мышечную/нервную/железистую).

Синапсы состоят из пре- и постсинаптических мембран и синаптической щели.

Пресинаптическая мембрана покрывает нервное окончание. В ней в «пузырьках» содержится медиатор. В нашем случае это – ацетилхолин. При достижении ПД области пресинаптического окончания, ацетилхолин выбрасывается в синаптическую щель – пространство между пре- и постсинаптическими мембранами. Немалую роль в этом процессе играют ионы Ca. Ацетилхолин начинает взаимодействовать с холинорецепторами постсинаптической мембраны, что приводит к изменению проводимости для ионов Na и К и развитию потенциала концевой пластинки (ПКП)[[1]](#footnote-1). ПКП могут суммироваться и, таким образом, создавать ПД, который приводит к сокращению волокна.

Методика.

Объект: лягушка травяная.

Оборудование:

Препаровка:

Обездвиженную лягушку разрезаем пополам. Нижнюю часть туловища без предварительно снятой ватой кожи и отрезанного хвостового отростка кладем в ванночку в раствор Рингера. Разрезаем позвоночник вдоль пополам. Из приколотой к парафину конечности выделяем седалищный нерв и седалищную мышцу. Завязываем узлом лигатуру на ахиллесовом сухожилии.

Задачи:

Определить максимальную силу раздражения мышцы лягушки;

Определить частоту формирования зубчатого тетануса;

Зарегистрировать кривую раздражения при прямом и непрямом ее раздражении.

Результаты и обсуждение:

1. Раздражая седалищный нерв лягушки с частотой 1Гц и длительностью стимула 0.5 мс, увеличивая силу стимула от 0.05 до 0.35 В, получим следующий график:

После того как сила раздражения достигает 0.25В, прекращается увеличение силы сокращения мышцы. Следовательно, максимальная сила раздражения равна 0.25В.

2. Увеличивая частоту стимуляции начиная с 1Гц при силе стимула 0,35В и длительности – 0.5мс, найдем частоту формирования зубчатого тетануса. Как видно на рисунке, она составляет 20Гц. Зубчатый тетанус обусловлен тем, что при такой высокой частоте стимуляции мышца не успевает расслабиться.

3. Для регистрации кривой раздражения, установим частоту стимуляции равной 4Гц, а силу – 0.5В.

Выводы:

Максимальная сила раздражения седалищной мышцы лягушки составила 0.25В;

Зубчатый тетанус формируется при частоте 20Гц;

Кривая утомления зарегистрирована.

**Список литературы**

Nа/K-ATФаза – свойства и биологическая роль (БОЛДЫРЕВ А. А. , 1998),

Физиология человека (под ред. Г. И. КОСИЦКОГО, М., 1985)

1. Концевая пластинка – область мышечного волокна, в которой расположены синапсы, образованные аксонами мотонейронов. [↑](#footnote-ref-1)