

ФИЗИОЛОГИЯ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ

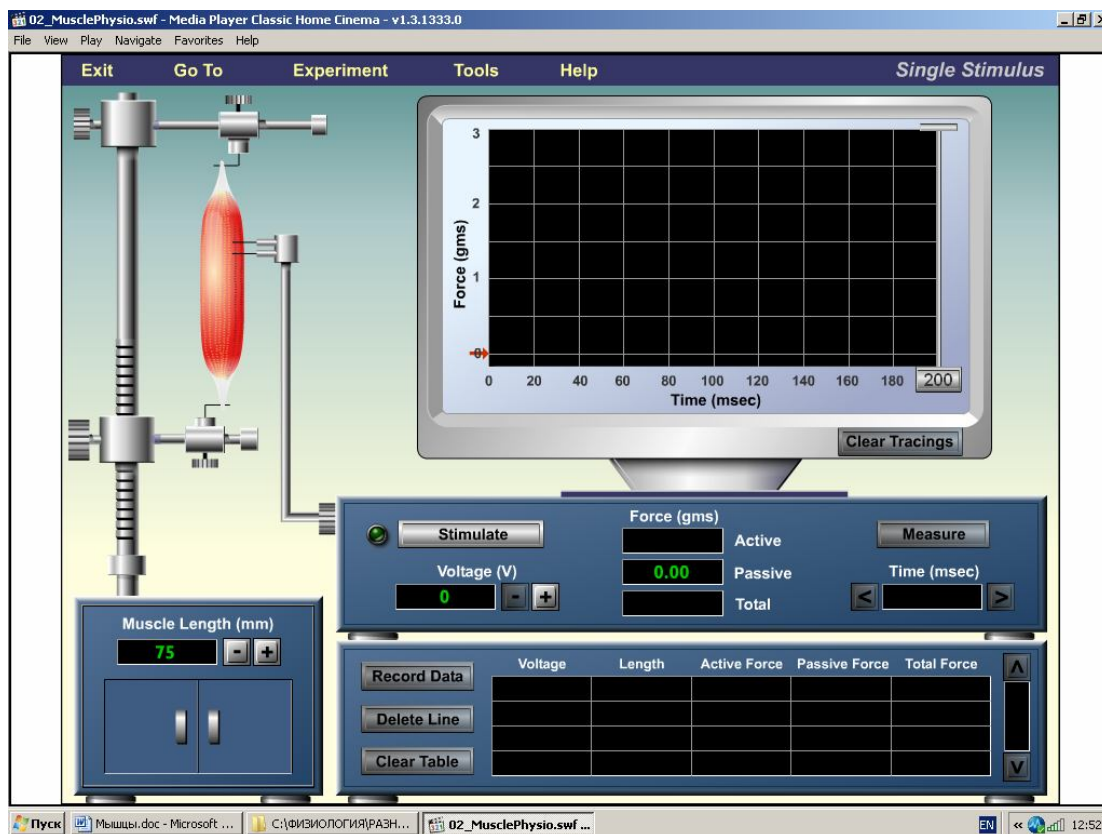
Цель

1. Дать определения следующим понятиям: *моторная единица, растяжение, латентный период, фаза сокращения, фаза расслабления, порог раздражения, суммация, тетанус, утомление, изометрическое и изотоническое сокращение.*
2. Понять, как нервные импульсы запускают сокращение мышц.
3. Описать фазы одиночного мышечного сокращения.
4. Идентифицировать порог и максимальный стимул.
5. Понять зависимость между интенсивностью стимула и силой сокращения мышцы.
6. Исследовать влияние увеличения частоты стимуляции на силу сокращения мышц.
7. Объяснить механизмы мышечного утомления.
8. Объяснить различия между изометрическим и изотоническим мышечным сокращением.

ОДИНОЧНОЕ СОКРАЩЕНИЕ.

В основном меню выбрать раздел "Скелетно-мышечная физиология» (Skeletal Muscle Physiology). Откроется экран для выполнения работы с одиночным стимулом (рис. 1).

Рисунок 1. Установка для эксперимента с мышечным сокращением



В левой стороне экрана находится мышца, закрепленная в держателе, приспособленном для измерения силы, которую генерирует мышца. С правой стороны держателя находится необходимое оборудование.

При электрическом раздражении реакция мышцы будет записываться на экране осциллографа. Время эксперимента измеряется по Х-оси в миллисекундах, а сила, генерируемая мышцей, измеряется вдоль Y-оси. В нижнем правом углу осциллографа находится кнопка «Убрать следовые метки» (**Clear Tracings**), ее нажатие будет удалять любые метки на экране.

Под экраном осциллографа находится стимулятор электрических импульсов, который используется для раздражения мышцы. Электроды от стимулятора располагаются на мышце. Слева под стимулятором находится дисплей «Потенциала» (**Voltage**) с кнопками (+) и (-), которые можно использовать, чтобы установить желаемую силу раздражения.

Когда вы нажимаете кнопку «Стимулировать» (**Stimulate**), вы будете электрически раздражать мышцу при заранее установленном потенциале. В верхней части панели стимулятора находится дисплей регистрации активной, пассивной и общей силы.

Мышечное сокращение генерирует *активную силу*. *Пассивная сила* генерируется мышцей, начинающей расслабляться. Сумма активной и пассивной силы составляет общую силу. На панели стимулятора находится кнопка «Измерение» (**Measure**). Нажатие этой кнопки после управления стимулом будет вызывать появление желтой вертикальной линии. Нажатие кнопок (+) и (-) под таймером времени (**Time, мсек**) будет давать вам возможность передвигать желтую линию вдоль Х-оси и наблюдать активную, пассивную и общую силу, которая генерируется в определенный момент времени.

Под панелью стимулятора находится табло полученных результатов измерения. Нажимая кнопку «Регистрировать результат» (**Record Date**) после экспериментальной серии, вы запишете полученный результат в этом табло. Удаление строки результатов достигается выделением этой строки и нажатием кнопки «Удалить строку» (**Delete Line**). Вы можете также удалить полностью данные с табло, нажимая кнопку «Очистить таблицу» (**Clear Table.**)

Работа № 1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛАТЕНТНОГО ПЕРИОДА

Латентный период является временем, прошедшим от начала генерации потенциала действия в мышечной клетке, до начала мышечного сокращения.

1. Установите “**Voltage**” на 6.0 вольтах, нажимая кнопку (+) на панели стимулятора, пока на дисплее не появятся цифры 6.0.

2. Нажмите кнопку “**Stimulate**” и наблюдайте запись. Заметьте, что запись начинается с левой стороны экрана и становится растянутой по всей длине в короткий промежуток времени. Запомните, что X-ось отражает прошедшее время.
3. Нажмите кнопку “**Measure**” на стимуляторе. Тонкая вертикальная желтая линия появляется на левой стороне экрана осциллографа.
4. Нажмите кнопку (>) под надписью “**Time**” (мсек). Вы можете наблюдать, как вертикальная желтая линия начинает двигаться через экран. Наблюдайте, что происходит со временем (мсек), когда линия передвигается по экрану. Поддерживайте нажатие кнопки (>), пока желтая линия не достигнет точки в записи, когда график остановится, переходя в плоскую линию, и начнет повышаться - *это и есть точка, при которой начинается мышечное сокращение*. Если желтая линия передвинулась за требуемую точку, вы можете использовать кнопку (<), чтобы вернуть ее назад.

Как долго длится латентный период (мсек)?

Примечание: если вы желаете распечатать свой график, нажмите кнопку “**Tools**” в меню и затем “**Print Graph**” .

1. Увеличивайте и уменьшайте силу стимула и повторяйте эксперимент (вы можете удалить запись на экране в любое время, нажимая кнопку «Стереть запись» (**Clear Tracings**)). Зарегистрируйте результаты в таблице:

Стимулирующий потенциал	Латентный период

Меняется ли латентный период при разных стимулирующих потенциалах?

После завершения эксперимента, нажмите кнопку «**Clear Tracings**», убирая с экрана осциллографа все метки.

Работа № 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВОЙ СИЛЫ РАЗДРАЖЕНИЯ

Порог - это минимальный по силе раздражитель, необходимый для того, чтобы вызвать деполяризацию мембраны мышечного волокна до момента генерации потенциала действия.

1. Установите «**Voltage**») на стимуляторе - 0.0 вольт.
2. Нажмите кнопку «**Stimulate**».

Что вы наблюдаете на указателе активной силы?

3. Нажмите кнопку «Зарегистрировать результат».
4. Увеличьте потенциал до 0.1 вольта, затем нажмите кнопку «**Stimulate**». Наблюдайте за экраном осциллографа и дисплеем активной силы (на правой стороне стимулятора).
5. Нажмите кнопку «**Record Date**».
6. Повторите этапы 4 и 5, пока вы не увидите число, большее, чем 0.00, появляющееся на дисплее активной силы.
7. Зарегистрируйте полученные результаты в отчете.

Какова величина порогового потенциала (вольт)?

Чем график, регистрируемый при пороговом потенциале, отличается от графика, генерируемого при потенциалах, ниже пороговых?

Работа № 3.

ЭФФЕКТ УВЕЛИЧЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СТИМУЛА

В этой работе мы пронаблюдаем, как увеличение силы стимула влияет на мышечный ответ.

1. Установите раздражающий потенциал на 0.5 вольтах, нажмите кнопку «**Stimulate**», затем «**Record Date**».
2. Продолжить увеличение потенциала по 0.5 вольта и нажатие кнопки «**Stimulate**», пока не будет достигнута величина 10.0 вольт. Наблюдайте за экраном «Активная сила» (**Active**) и нажимайте кнопку «**Record Date**» после каждой стимуляции. Оставляйте все записи на экране, чтобы их можно было бы сравнить. Зарегистрируйте результаты в отчете.

1. *Как увеличение силы раздражения влияет на пики в записи?*
2. *Как увеличение силы раздражения влияет на величину активной силы, генерируемой мышцей?*
3. *Какова величина стимула, после которого не наблюдается дальнейшего увеличения активной силы?*
4. *Почему существует максимум раздражения?*
5. *Что происходит с мышцей при этой силе раздражения (имейте в виду, что мышца работает как орган, состоящий из отдельных мышечных волокон)?*

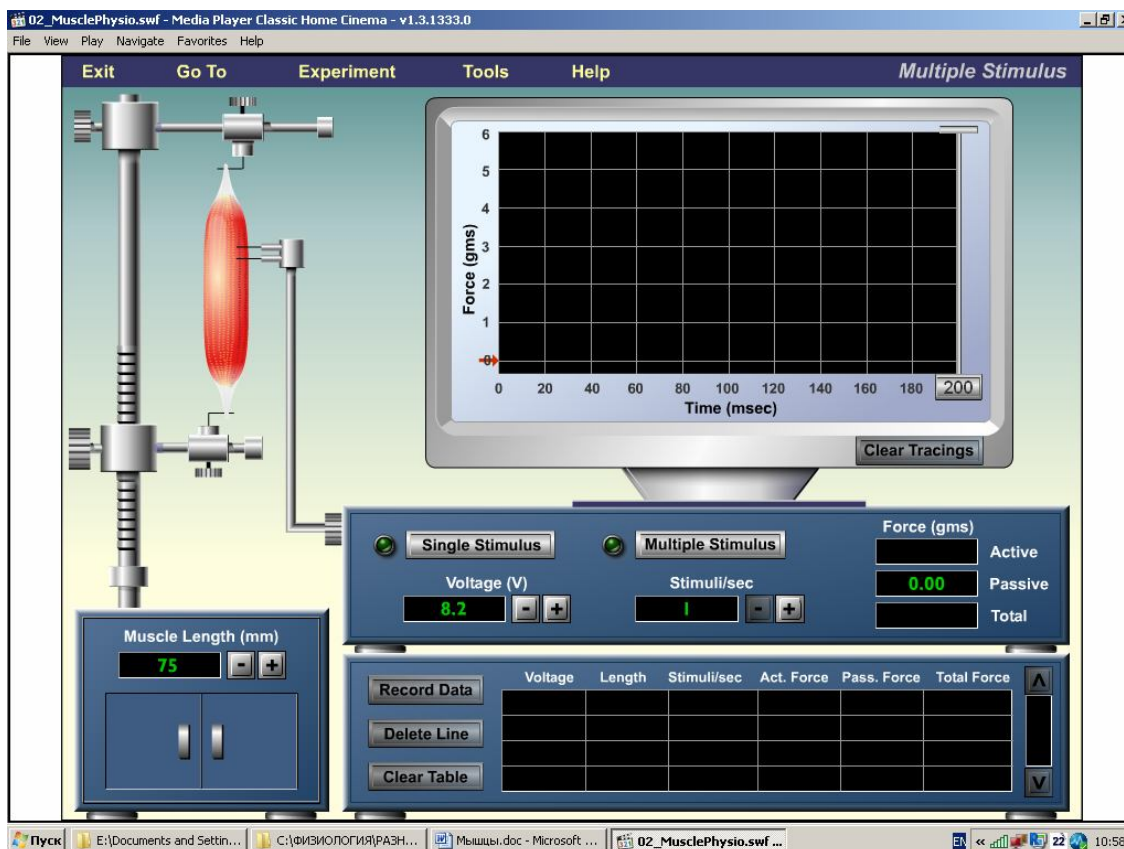
6. Подчиняется ли отдельное мышечное волокно закону «Все или ничего»?
 7. Подчиняется ли мышца, с которой вы работали, закону «Все или ничего»? Почему?
3. При желании вы можете суммировать результаты на графике, для этого нажимается кнопка «**Tools**» «Составить чертеж результатов» (**Plot Data**) а затем распечатать этот график (**Print Data**)
 4. Зарегистрируйте результаты в отчете.

МНОГОКРАТНЫЙ СТИМУЛ

Открыть раздел «Эксперимент» на верхней панели экрана и затем выбрать занятие «Многократный стимул» (**Multiple stimulus**).

Открывается экран, несколько отличный от предыдущего (рис. 2). Основное отличие заключается в том, что теперь добавлена к панели электрического стимулятора кнопка «Многократный стимул» (**Multiple stimulus**). Эта кнопка позволяет начать и остановить работу стимулятора по вашему желанию. Когда вы нажимаете эту кнопку, можно увидеть, что название кнопки меняется на «Остановка стимула» (**Stop Stimulus**). Нажатие этой кнопки отключает стимулятор.

Рис. 2. Оборудование для изучения влияния многократных стимулов на сокращение мышцы.



Работа № 4.

ФЕНОМЕН ЛЕСТНИЦЫ

Феномен лестницы отражает увеличение силы сокращения, когда мышца стимулируется достаточно высокой частотой раздражения. При такой частоте мышечные сокращения следуют плотно один за другим, при каждом сокращении пик его становится несколько выше, чем пик предшествующего сокращения. Это шагообразное увеличение силы также известно как *лестница Боудича*.

1. Установить потенциал до максимальной величины – 10 вольт.
2. Нажать на обозначение «200» на правой стороне экрана осциллографа и медленно растянуть появившуюся линию до левого края, пока она будет передвигаться. Это позволит наблюдать эксперимент более длительное время.
3. Нажмите кнопку «Одиночный стимул» (**Single Stimulus**) один раз. Вы можете наблюдать увеличение и снижение следовой записи. Как только начнется снижение, нажмите эту кнопку снова. Наблюдайте увеличение и снижение кривой сокращения, а затем при снижении нажмите кнопку «Одиночный стимул» (**Single Stimulus**) три раза.

Что вы наблюдаете?

4. Нажмите кнопку «200» и отведите линию обратно к правой кромке экрана.
5. Зарегистрируйте результаты в своем отчете.

Работа № 5.

СУММАЦИЯ МЫШЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

Когда мышца стимулируется повторно, сокращения могут сливаться, а результатом является более сильное, по сравнению с одиночным, мышечное сокращение. Этот феномен назван *суммацией*. Суммация возникает, когда мышечные волокна, которые уже подвергались стимуляции, опять стимулируются до того, как они полностью расслабятся.

1. Установить потенциал до максимальной величины, как в работе №3.
2. Нажать кнопку «**Single Stimulus**» и наблюдать за экраном осциллографа,

Чему равна активная сила сокращения?

3. Опять однократно нажать кнопку «**Single Stimulus**». Следовая запись начинает увеличиваться, а затем снижаться. Перед тем как следовая запись снизится полностью, снова нажать кнопку «**Single Stimulus**» (вы можете по желанию просто быстро нажать эту кнопку дважды, чтобы достигнуть нужного эффекта).

Чему теперь равна активная сила?

4. Нажмите кнопку «**Single Stimulus**» и наблюдайте за увеличением и снижением графика. После того, как следовая запись полностью снизится, опять нажмите кнопку «**Single Stimulus**».

*Имеются ли изменения в силе, генерируемой мышцей?
Почему?*

5. Нажмите кнопку «**Single Stimulus**» и позвольте графику повышаться, но не снижаться. В фазу повышения снова нажмите кнопку «**Single Stimulus**»,

*Происходят ли изменения в силе, генерируемой мышцей?
Почему?*

6. Уменьшите силу раздражения на стимуляторе и повторите эту работу.

Одинаковые ли происходят изменения в генерируемой силе?

7. Стимулируйте мышцу несколько раз, нажимая кнопку «**Single Stimulus**» несколько раз быстро.

*Изменяется ли генерируемая сила с каждым дополнительным стимулом?
Если да, то как?*

8. Зарегистрируйте результат в своем отчете.

Работа № 6.

ТЕТАНУС

В предыдущей работе мы убедились, что если раздражать мышцу часто, в непрерывной последовательности, то это генерирует большую силу с каждым сокращением. Увеличение частоты стимуляции приведет к тому, что кривая мышечного сокращения, в конечном итоге, будет достигать плато - состояние, которое известно как *тетанус*. Если стимул подавать с наибольшей частотой, сокращения будут суммироваться так, что пики и ровные участки каждого сокращения становятся неразличимыми между собой - это состояние известно как *гладкий тетанус*. Частота стимула, при котором не происходит дальнейшего увеличения силы, которая генерируется мышцей, является максимальным тетаническим напряжением.

1. Нажмите кнопку «Убрать следовые метки» (**Clear Tracings**), чтобы уничтожить какие-либо существующие метки на экране осциллографа.
2. Под кнопкой «Множественный стимул» (**Multiple stimulus**) находится дисплей «стимул/сек», за счет нажатия кнопки «+» установить стимул до 50 стимулов в сек.
3. Установите потенциал до максимального значения – 10 вольт.
4. Нажмите кнопку «**Multiple stimulus**» и наблюдайте за меткой, как она передвигается через экран. Видно, что нажатие этой кнопки изменяет ее значение на «**Stop Stimulus**» сразу после нажатия. После того, как метка передвинется через весь экран и начнет двигаться через экран второй раз, нажмите кнопку «**Stop Stimulus**».

*Что происходит с мышцей?
Как называется это явление?*

5. Оставьте запись на экране. Увеличьте частоту стимулов до 130 в секунду, нажимая кнопку «+». Затем нажмите кнопку «**Multiple stimulus**» и наблюдайте запись. После того, как метка передвинется через экран и

начнет движение через экран второй раз, нажмите кнопку «**Stop Stimulus**».

Чем отличается эта запись от той, которая была получена при частоте стимулов 50 стимул/сек?

Как называется это явление

6. Нажмите кнопку «**Clear Tracings**», чтобы очистить экран осциллографа.
7. Увеличьте стимул до 140 стимулов в сек, нажимая кнопку «+». Затем нажмите кнопку «Многократный стимул» и наблюдайте за записью. Нажмите кнопку «Остановка стимула» после того, как запись пересечет первый раз весь экран. Нажмите кнопку «Регистрировать результат» (**Record Date**).
8. Повторите этап 7, увеличивая частоту до 150 в сек. Не забывайте после окончания эксперимента регистрировать результат.
9. Проанализируйте результаты.

При какой частоте стимула не происходит дальнейшего увеличения силы? _

10. Зарегистрируйте полученные результаты в своем отчете.

ИЗОМЕТРИЧЕСКОЕ И ИЗОТОНИЧЕСКОЕ СОКРАЩЕНИЕ

Мышечное сокращение может быть *изометрическим* или *изотоническим*. Когда мышца поднимает груз больший, чем сила, которую она развивает, мышца сокращается изометрически. При этом типе сокращения мышца остается на фиксированной длине (изометрическое означает «одинаковая длина»).

Когда мышца передвигает нагрузку, которая равноценна или меньше силы, которую генерирует мышца, то мышца сокращается изотонически. При этом типе сокращения мышца укорачивается во времени, когда сила, генерируемая мышцей, остается постоянной (изотоническое означает «постоянное напряжение»).

Для выполнения работы нажмите клавишу «Эксперимент» на верхней панели экрана и выберите работу «Изометрическое сокращение». На экране появляется изображение (рис. 3). Обратите внимание, что теперь появляются два экрана осциллографа. Экран на левой стороне является в основном идентичным тому, с которым вы работали ранее. Экран справа является новым. Ось Y также соответствует «Силе», а ось X теперь соответствует «мышечной длине».

Сначала ознакомьтесь с оборудованием, а затем:

1. Выставьте «Потенциал» на отметке 8.2 и нажмите кнопку «Стимуляция». Вы наблюдаете индикаторы трех сил с правой стороны экрана. Индикатор **пассивной силы** находится ближе к нижней части экрана (зеленый цвет), индикаторы **активной силы** (фиолетовый^ цвет) и **общей силы** (желтый цвет) находятся вместе в верхней части экрана. Индикатор активной силы находится внутри индикатора общей силы.
2. Нажмите кнопки (+) или (-) обозначения «Длина мышцы» на левой стороне экрана и наблюдайте, как мышца может растягиваться или укорачиваться.
3. Теперь можно начинать эксперимент. Нажмите кнопку «Убрать следовые метки» и кнопку «Убрать чертеж» под каждым экраном осциллографа.

Работа 7.

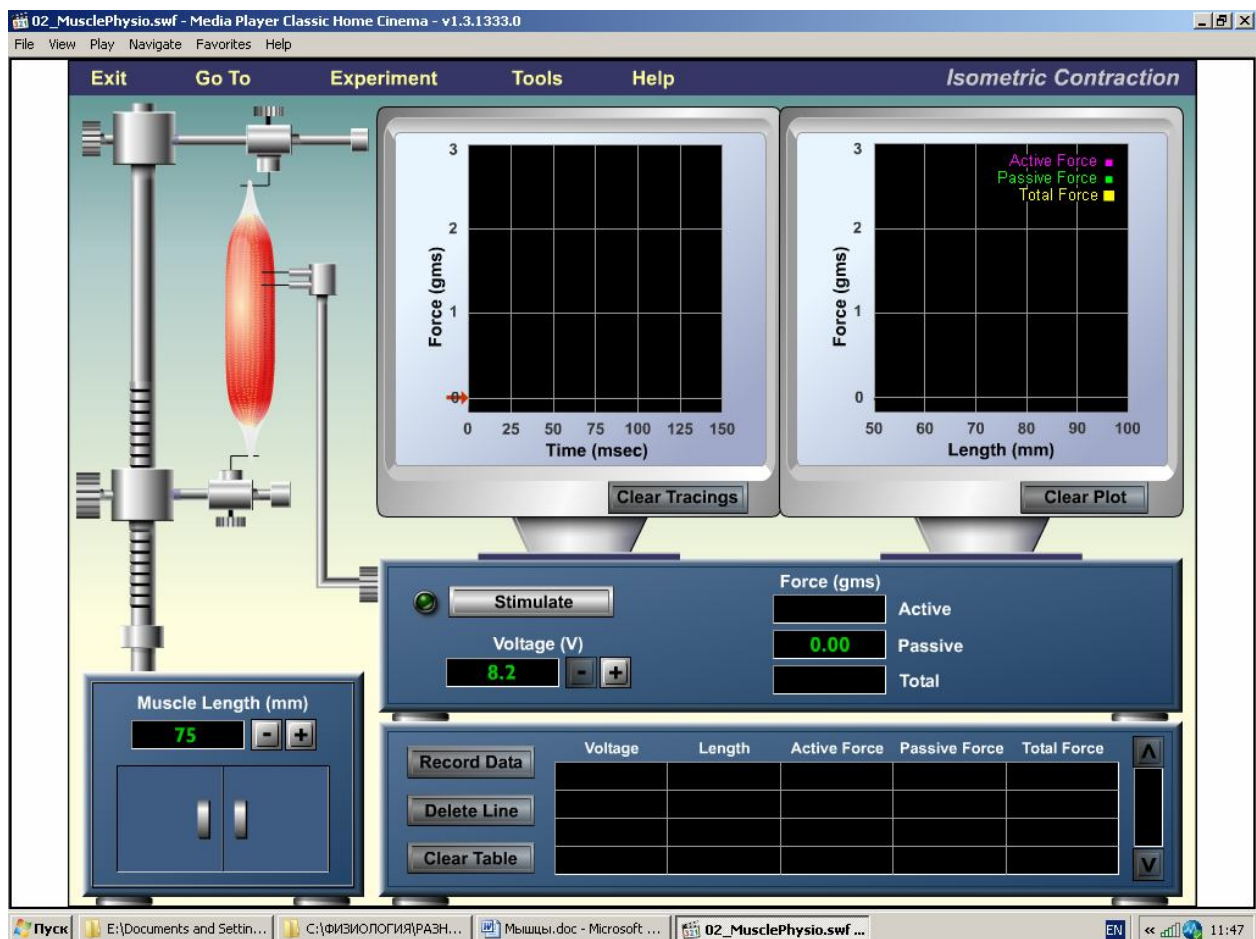
ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ И ИСХОДНОЙ ДЛИНЫ МЫШЦЫ НА ЭФФЕКТ СОКРАЩЕНИЯ

Изометрическое сокращение возникает тогда, когда мышца генерирует силу равноценную или меньшую, чем нагрузка, противодействующая ей. В результате укорочения мышцы не происходит, но развивается напряжение. Мышца не способна укорачиваться раньше, чем будет сгенерирована сила, достаточная для преодоления нагрузки. Когда генерируемая сила становится равной нагрузке, мышца укорачивается. Генерируемая сила остается постоянной, пока нагрузка не будет перемещена.

Изотоническое сокращение развивается в том случае, если к мышце не прилагается никакой нагрузки. Если появляется нагрузка, мышца должна генерировать большую силу, чтобы передвинуть ее. Латентный период также будет удлиниться, так как он требует больше времени для развития необходимой силы, которая генерируется мышцей. Скорость сокращения зависит от нагрузки, которой мышца противодействует. Максимальная скорость достигается при минимальной нагрузке и наоборот более высокая нагрузка сопровождается замедлением скорости мышечного сокращения.

Выберите эксперимент «Изометрическое сокращение» (Isometric Contraction)

Рисунок 3. Оборудование для эксперимента с изометрическим сокращением.



Ход работы.

1. Оставьте потенциал на значении 8.2.
2. На левой стороне экрана нажать кнопку (-) рядом с обозначением «Длина мышцы» (**Muscle Length**) и удлинить ее до 50 мм.
3. Нажать кнопку «Стимуляция» (**Stimulate**) и наблюдать за результатами на обоих экранах осциллоскопа.
4. Нажать кнопку «Регистрировать результат» (**Record Date**) внизу экрана.
5. Повторить этапы работы 1-3, увеличивая длину мышцы каждый раз на 10 мм, пока не будет достигнута величина 100 мм. Не забывайте нажимать кнопку «**Record Date**» после каждой серии.
6. Нажмите кнопку «Инструменты» (**Tools**) на верхней панели экрана, а затем «Составить чертеж результатов» (**Plot data**). Вы увидите на экране появившееся изображение графика. Длина изображается по оси X, а активная сила - по оси Y. Зарегистрируйте полученные результаты в своем отчете.

Посмотрите на график и определите, при какой мышечной длине пассивная сила начнет играть роль в общей силе, генерируемой мышцей?

7. Передвигайте голубую квадратную полосу по оси Y к кривой обобщенной силы. Вы можете нажать кнопку «Распечатать чертеж» в верхнем левом углу окна для получения распечатки графической записи.
8. Зарегистрируйте полученные результаты в отчете.

График показывает снижение на длине мышцы = 90 мм. Почему это происходит?

Что является ключевым изменением при изометрическом сокращении?

Работа № 9.

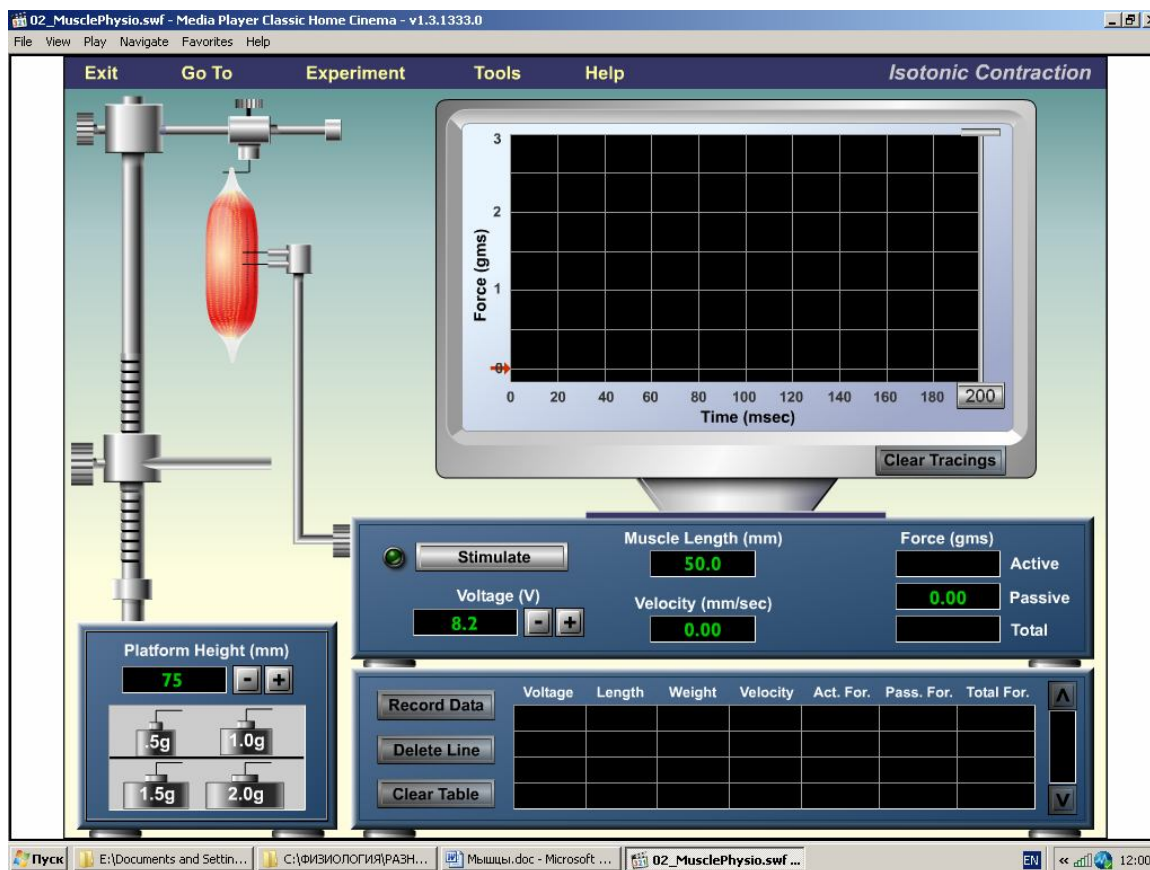
ИЗОТОНИЧЕСКОЕ СОКРАЩЕНИЕ

Выберите клавишу «Эксперимент» на верхней панели экрана, а затем - работу «Изометрическое сокращение». Появившийся экран (рис. 4) сходен с экраном работы «Одиночный стимул». Заметьте, что дополнительные дисплеи «Мышечная длина» (**Muscle length**) и «Скорость» (**Velocity**) добавлены ниже экрана осциллографа, а мышца с левой стороны экрана теперь свободно свисает на нижнем ее конце. Грузовой ящик под мышцей открыт; внутри его находятся четыре весовых категории, каждая из которых может быть приложена к мышце. Выше грузового ящика находится передвижная платформа, которой вы можете управлять при нажатии кнопок (+) или (-) под обозначением «Высота платформы» (**Platform Height**). В этой работе вы прикладываете вес к концу мышцы, чтобы наблюдать изометрическое сокращение.

Ход работы:

1. Потенциал устанавливаем на отметке 8,2, а высоту платформы - на 75 мм.
2. Нажмите на отметку 0,5 г. веса в грузовом ящике и прикрепите груз к свисающему свободному концу мышцы. Вес будет растягивать мышцу, и достигать опоры на платформе.
3. Нажмите кнопку «Стимуляция» (**Stimulate**) и наблюдайте за записью. Наблюдайте увеличение силы, с последующим коротким плато, сопровождающимся фазой релаксации. Заметим, что показатель активной силы (**Active**) остается тем же самым, как и вес, который прикрепляется к мышце (0,5 г).

Рисунок 4. Оборудование для эксперимента с изометрическим сокращением.



Сколько требуется времени, чтобы мышца генерировала 0,5 г. силы (мсек)?

4. Нажмите кнопку «Стимуляция» снова, наблюдайте за мышцей и экраном внимательно. Затем нажмите кнопку «Регистрировать результат».

В какой точке графика мышца укорачивается?

Вы можете наблюдать по графической записи, что мышца развивает увеличение силы до того, как она достигнет фазы плато. Почему укорочение мышцы не происходит до фазы плато?

5. Уберите вес 0,5 г. и прикрепите вес 1,0 г. к мышце. Оставьте предшествующую графическую запись на экране.
6. Нажмите кнопку «Стимуляция», а затем кнопку «Регистрировать результат».

Требуется ли растяжение для мышцы, чтобы достичь развития силы, необходимого для передвижения веса?

Отличается ли эта графическая запись от записи, сделанной с прикреплением веса 0,5 г. ?

7. Оставляя эти две графические записи из экране, повторите эксперимент с оставшимися весами. Нажимай кнопку «Регистрировать результат», после каждой серии. Зарегистрируйте полученные результаты в своем отчете.

8. После завершения регистрации данных для всех четырех весов, нажмите кнопку «Инструменты» (**Tools**) на верхней панели экрана и кнопку «Составить чертеж результатов» (**Plot data**).
9. Передвигайте голубую квадратную полосу по оси Y до кривой «Скорость» (**Velocity**) и по оси X до кривой «Вес» (**Weight**).

При каком весе скорость сокращения является наибольшей?

Что происходит, когда вы прикрепляете вес 2,0 г. к мышце и стимулируете ее?

Чем эта запись отличается от других?

Какой вид сокращения вы наблюдаете?

10. Закройте окно экрана «Составить чертеж результатов» (**Plot data**), нажимая на «X» в верхнем правом углу окна экрана. Если вы еще держите вес, прикрепленный к мышце, удалите его. Нажмите кнопку «Убрать следовые метки» (**Clear Tracings**), чтобы очистить экран осциллографа.
11. Поместите 0,5 г. веса на мышцу и поднимите платформу до 100 мм.
12. Нажмите кнопку «Стимуляция» и наблюдайте запись мышечного сокращения.

Какой вид записи вы получаете?

Какова сила сокращения?

13. Нажмите кнопку «**Record data**», затем повторите этапы 12-13 для каждого оставшегося веса (не забывайте регистрировать результат после каждой серии со сменой веса). Зафиксируйте полученные результаты в своем отчете

Опишите вашу запись и объясните, что происходит на них?

14. Нажмите кнопку «**Clear Tracings**».
15. Поместите вес 1,5 г. на мышцу.
16. Установить платформу на высоту 90 мм.
17. Нажать кнопку «**Stimulate**», а затем «**Record data**».
18. Повторите этапы 16-18, за исключением самого нижнего положения платформы, высотой 10 мм, пока не достигните 60 мм (то есть устанавливайте платформу на высоту 80, 70, а затем 60 мм).
19. Нажмите кнопку «**Tools**», а затем «**Plot Data**».

20. Внутри окна экрана «Составить чертеж результатов» передвигайте голубую квадратную полосу по оси X до «Длина» (**Length**), а по оси Y до «Скорость» (**Velocity**).

Какая длина мышцы генерирует наибольшую скорость сокращения?

21. Закройте окно «**Plot Data**», нажимая на символы «X» в верхнем правом углу окна экрана.
22. Зарегистрируйте полученные результаты в своем отчете. Нарисуйте кривые одиночного и тетанического сокращения.