



Урок 22. Рычаги опорно-двигательной системы

Листы ученика. Ответы и примечания учителю — в отдельной части.

Естественно-научный эксперимент · 8 класс

Урок 22 из 64 · 45 минут · Модуль «Анатомия»

Уровень: Базовый исследовательский для 8 класса: работаем по инструкции, сравниваем данные и обосновываем вывод. Уверенно считаем дроби и проценты; специальных лабораторных навыков не требуется.

Вся программа курса

Мышца прикреплена близко к локтю, а предмет находится в ладони. Почему небольшой сдвиг места приложения силы сильно меняет необходимое усилие?

Проверяемый результат:

Обозначить на схеме опору, нагрузку и тягу мышцы, рассчитать равновесие модели и объяснить выигрыш в перемещении ценой силы.

01. Проблемная ситуация

0-5 минут · Вопрос и проверяемое предположение

Карточка: опора О на отметке 0; тяга вверх приложена на 3 см; нагрузка 6 Н вниз - на 24 см. Ученик предложил тягу 6 Н, потому что «силы равны». Нарисуйте стрелки и предскажите, какой момент перевесит. За 2 минуты схема, за 2 объяснение, за 1 - вопрос для расчёта. Рассматриваем горизонтальную невесомую планку, а не настоящую руку.

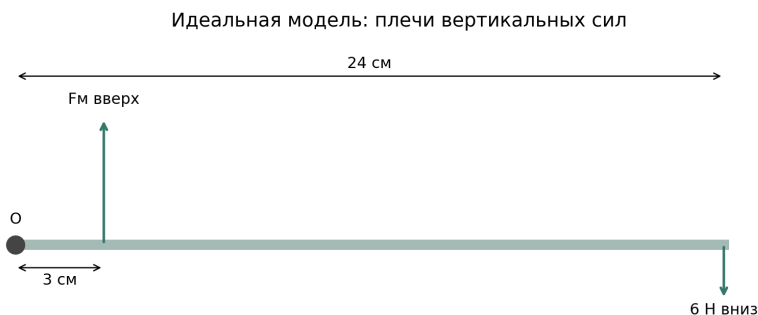
02. Объяснение и разобранный пример

5-14 минут · Понятия, расчёт и ограничения

Кость в упрощённой модели - рычаг, сустав - опора, сухожилие передаёт тягу мышцы. Мышца тянет, а не толкает кость; противоположное движение обеспечивается другой группой мышц. В модели сгибания локтя тяга расположена между опорой и нагрузкой. Реальная работа сложнее: масса предплечья, углы тяги, несколько мышц и сила в суставе здесь пока исключены.

Момент силы $M = F \cdot d$, где d - кратчайшее расстояние от опоры до линии действия силы. Для горизонтальной планки и вертикальных стрелок это отмеченное расстояние вдоль планки. Равновесие вращения: $F_m \cdot d_m = F_n \cdot d_n$. Н·см допустимы, если обе стороны используют сантиметры. Нельзя подставлять расстояние до точки вместо плеча при наклонной силе.

Разбор: $F_m = 6 \cdot 24 / 3 = 48$ Н. Моменты 144 Н·см противоположны. 6 Н на отметке 3 см дали бы лишь 18 Н·см. Восемь раз большее усилие не ошибка: при малом повороте конец на 24 см проходит примерно в 8 раз больший путь, чем точка на 3 см. Это обмен силы на перемещение, не создание энергии.



Авторская модель сгибания: О - опора; F_m вверх на 3 см; 6 Н вниз на 24 см. Плечи отсчитываются от О, линии сил вертикальны. Реакция опоры не показана; планка невесома. Размеры учебные.



03. Практика 1: данные и доказательство

14-25 минут · Первая серия

Модель	Плечо тяги, см	Плечо нагрузки, см	Нагрузка, Н
А	3	24	6
Б	6	24	6
В	3	12	6

За 2 минуты перенесите три строки на схемы; за 4 найдите F_m ; за 3 проверьте пары моментов и сравните А с Б и В; за 2 запишите вывод. Результат - таблица с F_m , двумя моментами и одним объяснением. Критерии: плечи от опоры, одинаковые единицы, противоположные моменты, сравнение только одного изменённого условия.

04. Практика 2: перенос на новые условия

25-33 минуты · Самостоятельный перенос

Новый вариант: у невесомой планки нагрузка 4 Н на 20 см, тяга на 4 см. При малом повороте точка тяги переместилась по дуге на 2 мм. За 3 минуты вычислите тягу и отношение радиусов; за 3 - путь нагрузки; за 2 сопоставьте работы $F \cdot s$. Считаем направления сил почти касательными на малом участке. Запишите, почему этот расчёт не определяет работу живой мышцы целиком.

05. Обсуждение: аргумент и альтернатива

33-40 минут · Аргумент и обоснованный вывод

Тезис: «Прикрепим сухожилие дальше от локтя - рука станет лучше во всём». Альтернатива: уменьшится требуемая сила, но изменятся перемещения и возможная геометрия. За 2 минуты выберите сравнение А/Б, за 3 приведите расчёт из практики 2, за 2 сформулируйте ограниченный вывод без советов по тренировке.

06. Индивидуальная проверка

40-45 минут · Собственное решение

На модели нагрузка 5 Н действует вниз на 18 см, тяга вверх - на 3 см. Найдите тягу и оба момента. Подпишите, что в теле соответствует опоре. Назовите одно исключённое из расчёта условие настоящей руки. 3 минуты решение, 1 сверка, 1 исправление.



Ответы, критерии и примечания учителю

Учителю: подготовка и план на 45 минут

Линейка, карандаш, калькулятор, полоска картона 30 см с отметками 0, 3, 6, 12 и 24 см, бумажные стрелки. Силы задаются карточками, грузы и испытания силы детей не нужны. Предпосылки: сила в ньютонах, расстояние, деление. Учитель заранее показывает локтевой сустав на схеме. Работа только с настольной моделью: не поднимать тяжести и не проверять суставы нагрузкой. Все размеры и силы условны, это не измерения тела ребёнка.

Минуты	Работа	Проверяемый продукт
0-5	Проблемная ситуация	Вопрос и проверяемое предположение
5-14	Понятия и разобранный пример	Пояснение величин и метода
14-25	Практика 1	Расчёт, схема или протокол по данным
25-33	Практика 2	Решение на новых условиях
33-40	Обсуждение	Аргумент, альтернатива и вывод
40-45	Индивидуальная проверка	Самостоятельный ответ и исправление

Все тексты, рисунки и данные включены. Без регистрации: распечатайте учебную часть PDF или используйте доску. Ответы открывайте после самостоятельной попытки. Минуты включают чтение, записи и переходы. В конце соберите индивидуальную работу. 0-1 балл: разобрать пример повторно; 2-3: уточнить пропущенное звено; 4: объяснить ограничение модели. Это обратная связь, не обязательная школьная отметка.

Разбор практики 1 и критерии

А: 48 Н, моменты по 144 Н·см. Б: 24 Н, по 144 Н·см. В: 24 Н, по 72 Н·см. Удвоение плеча тяги либо уменьшение плеча нагрузки вдвое снижает требуемую тягу вдвое. Во всех трёх случаях опора ещё действует на планку: равенство моментов не означает равенства только двух нарисованных сил.

Ответ и объяснение практики 2

$F_m = 4 \cdot 20 / 4 = 20$ Н; отношение радиусов 5; путь нагрузки около 10 мм. Работа тяги $20 \cdot 0,002 = 0,040$ Дж; работа против нагрузки $4 \cdot 0,010 = 0,040$ Дж. Равенство относится к идеальной модели малого движения. Настоящие мышцы расходуют энергию и при удержании, имеют сложную геометрию; измерить их затраты этим расчётом нельзя.

Опора для обсуждения

В модели Б требуется меньше силы, но при одинаковом малом перемещении точки тяги отношение путей конца и тяги меньше. Конструкция организма сочетает усилие, амплитуду и управление. По одной идеальной планке нельзя оценивать «лучшее» устройство тела, здоровье или спортивные возможности человека.

Ключ и критерии индивидуальной работы

30 Н; $30 \cdot 3 = 5 \cdot 18 = 90$ Н·см. Опора соответствует суставу; исключены, например, вес предплечья или наклон тяги. По 1 баллу: тяга, проверка моментов с единицей, сустав, разумное ограничение. Всего 4.



07. Соответствие исходной программе

Пункт программы → действие ученика → проверяемый результат

Пункт программы	Действие ученика	Проверяемый результат
Строение и жизнедеятельность органов опорно-двигательной системы	Соотносит кость, сустав и тягу со схемой	Правильно подписывает три элемента
Экспериментальные модели и анализ результата	Сравнивает плечи и перемещения	Три расчёта и границы идеальной модели

Опора - раздел «Анатомия» опубликованной программы на 64 часа. Это самостоятельный урок на 45 минут. Подробный сценарий, распределение времени и учебные числовые серии - методическая разработка. Предоставленные данные не выдаются за опыт, проведённый авторами или этим классом.

Исходная программа

Источники и права на изображения

OpenStax Anatomy and Physiology 2e, 11.1: взаимодействие мышц и рычаги

Источники проверены 15.10.2026. Числовые наборы - учебные данные, не результаты проведённых авторами опытов. Схемы и графики подготовлены порталом «Школы России». Для микрофотографии отдельно указаны автор и лицензия. Ответы и примечания учителю в PDF выделены отдельно.

Иллюстрация: увеличенная копия для печати

Идеальная модель: плечи вертикальных сил



Авторская модель сгибания: О — опора; F_m вверх на 3 см; 6 Н вниз на 24 см. Плечи отсчитываются от О, линии сил вертикальны. Реакция опоры не показана; планка невесома. Размеры учебные.