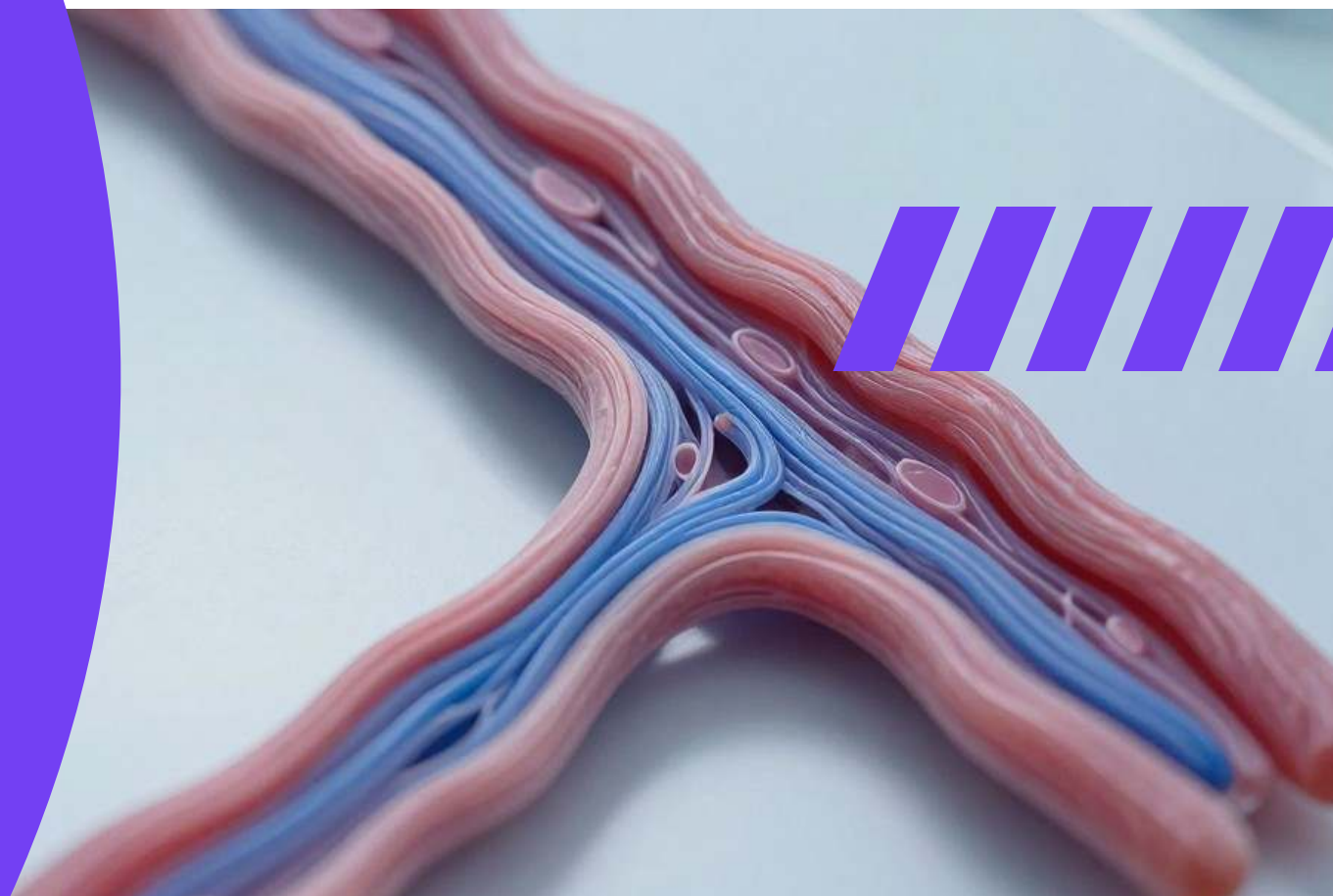
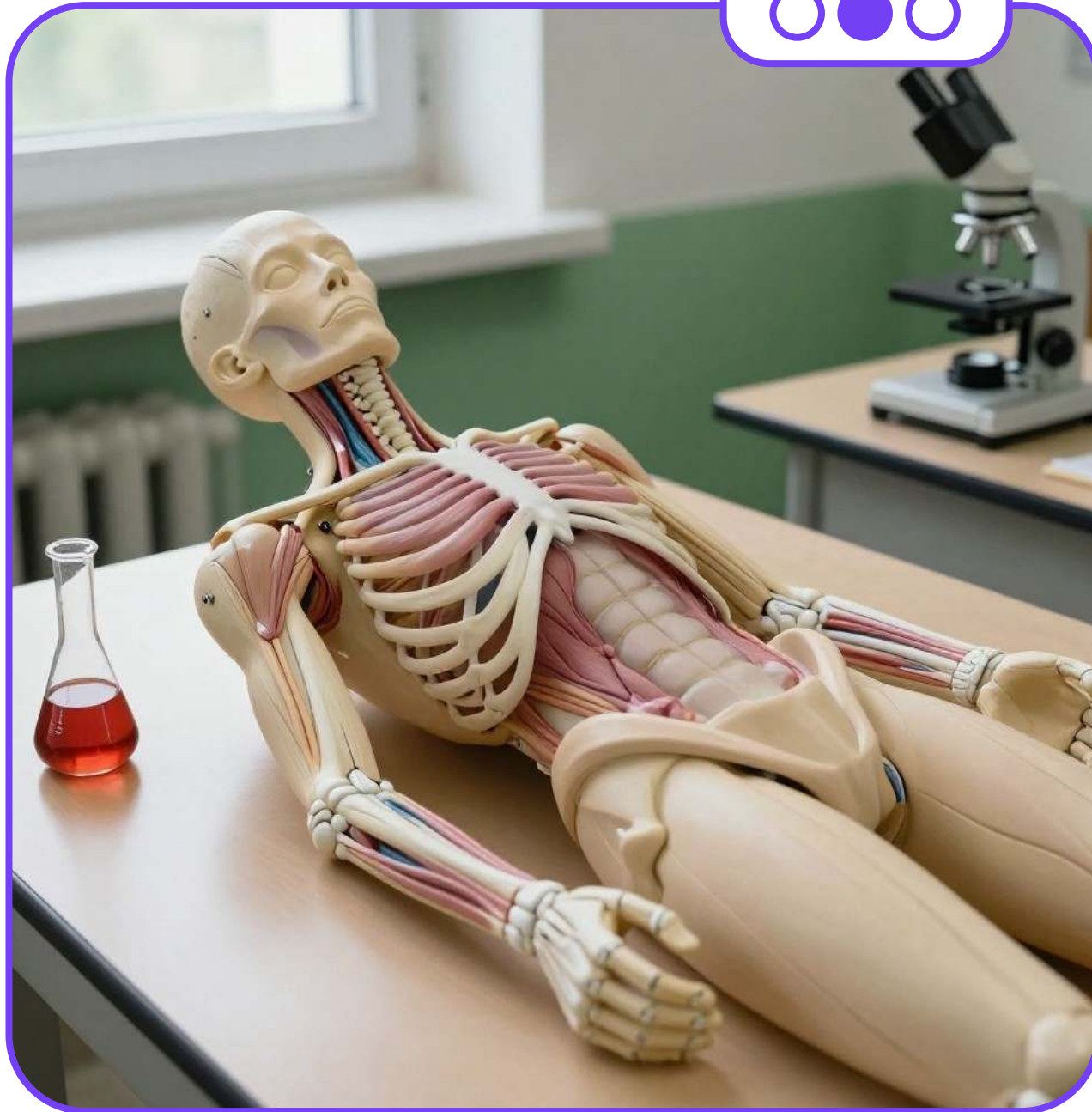


Мышцы: от строения к движению



От саркомера до движения — один
точный биологический механизм.

Зачем мышцам строение и как его изучают



Мышцы движут телом, поддерживают позу, обеспечивают работу сердца и органов. Чтобы понять их сокращение, нужно связать строение клеток, электрические сигналы и развитие силы.

Скелетная мышца как орган

01

Мышца как орган

Скелетная мышца — это самостоятельный орган, который прикрепляется к костям сухожилиями и участвует в движениях тела. Её свойства зависят от формы, размера и внутренней организации.

02

Состав и связь

Внутри одной мышцы находятся пучки волокон, а также сосуды и нервы. Такое устройство одновременно обеспечивает питание, управление и согласованную работу множества клеток.

03

Почему важна организация

Структура мышцы определяет не только силу, но и скорость сокращения, точность движений и способность долго работать без выраженной усталости.

04

Функциональное разнообразие

Разные мышцы приспособлены к разным задачам: одни создают мощное усилие, другие обеспечивают тонкие и быстрые движения, третьи стабилизируют положение тела.

Ключевые типы мышечной ткани



Скелетная мышца

Скелетная мышечная ткань образует мышцы, прикреплённые к костям. Её сокращения произвольны, а под микроскопом хорошо видна поперечная исчерченность, связанная с упорядоченным строением филаментов.



Сердечная мышца

Сердечная мышечная ткань тоже поперечнополосатая, но работает автоматически и ритмично. Клетки соединены так, чтобы возбуждение быстро распространялось и сердце сокращалось как единое целое.



Гладкая мышца

Гладкая мышечная ткань образует стенки внутренних органов и сосудов. Она сокращается медленнее, долго удерживает напряжение и регулирует процессы, не требующие произвольного контроля.

Оболочки и пучки мышц

Наружная оболочка

Эпимизий окружает всю мышцу снаружи. Он помогает сохранять форму органа, защищает его от повреждений и переходит в сухожилие, через которое усилие передаётся к кости.

1

Пучковая организация

Перимизий делит мышцу на пучки волокон. Такая компоновка облегчает проводку сосудов и нервов, а также помогает распределять нагрузку между отдельными участками мышцы.

2

Окружение волокна

Эндомизий окружает каждое волокно и создаёт тонкую опору для обмена веществ и механической связи. Вместе все оболочки формируют прочную систему передачи силы.

3

Мышечное волокно и его содержимое



○ Клетка-волокно

Мышечное волокно представляет собой длинную многоядерную клетку, приспособленную к сокращению. Его мембрана и базальная пластинка сохраняют целостность и участвуют в передаче возбуждения.

○ Миофибриллы

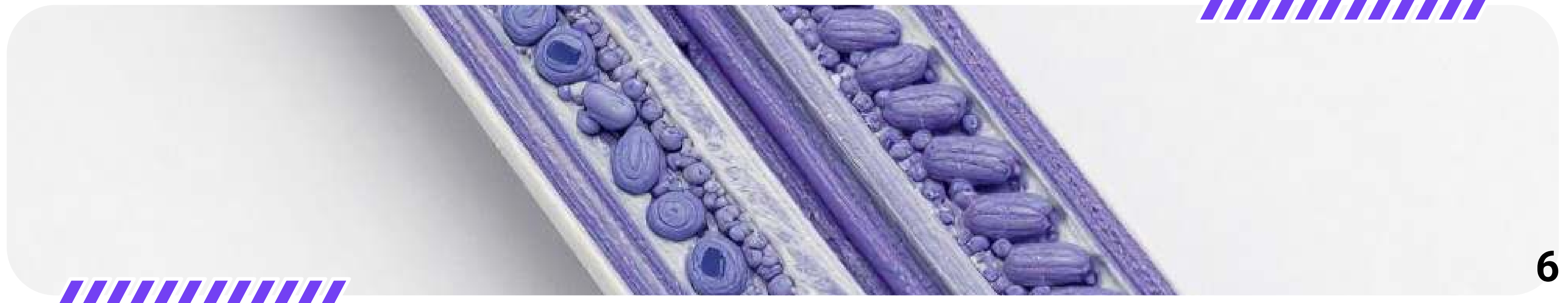
Основной сократительный аппарат образован миофибриллами. Именно они занимают большую часть объёма волокна и обеспечивают видимую под микроскопом исчерченность.

○ Энергетические ресурсы

Между миофибриллами располагаются митохондрии, запасы гликогена и миоглобин. Эти компоненты поддерживают энергоснабжение и помогают мышце работать как в покое, так и при нагрузке.

○ Защита и сигнал

Сарколемма служит границей клетки и принимает электрический сигнал, а базальная мембрана укрепляет волокно снаружи. Вместе они делают сокращение одновременно быстрым и надёжным.



Т-трубочки и саркоплазматический ретикулум

Путь сигнала от мембраны к кальциевому ответу в мышечном волокне.



Саркомер — рабочая единица сокращения



Саркомер

Вдоль мышцы повторяются одинаковые участки между Z-линиями. Каждый такой участок работает как элементарный блок сокращения и называется саркомером.

Упорядоченные нити

Внутри саркомера тонкие актиновые и толстые миозиновые филаменты расположены строго упорядоченно. Их пространственная организация создаёт основу для поперечной исчерченности.

Согласованное укорочение

Когда множество саркомеров укорачивается одновременно, миофибрилла и вся мышца развивают заметное движение. Именно поэтому микроскопическая структура определяет макроскопический результат.



Зоны саркомера при сокращении



А-полоса

А-полоса соответствует длине толстых миозиновых филаментов. При сокращении она почти не меняется, потому что сами филаменты не укорачиваются, а лишь смещаются относительно друг друга.

I-полоса

I-полоса включает участки, где находятся только тонкие филаменты. При сокращении она становится уже, поскольку актин всё глубже заходит в зону перекрытия с миозином.

Зона Н

Зона Н — центральная часть саркомера, где в покое видны только толстые филаменты. Во время сокращения она уменьшается или исчезает первой.

Сближение Z-линий

Z-линии сближаются по мере укорочения саркомера. Это наглядно показывает, что мышца работает за счёт скольжения нитей, а не их сокращения.



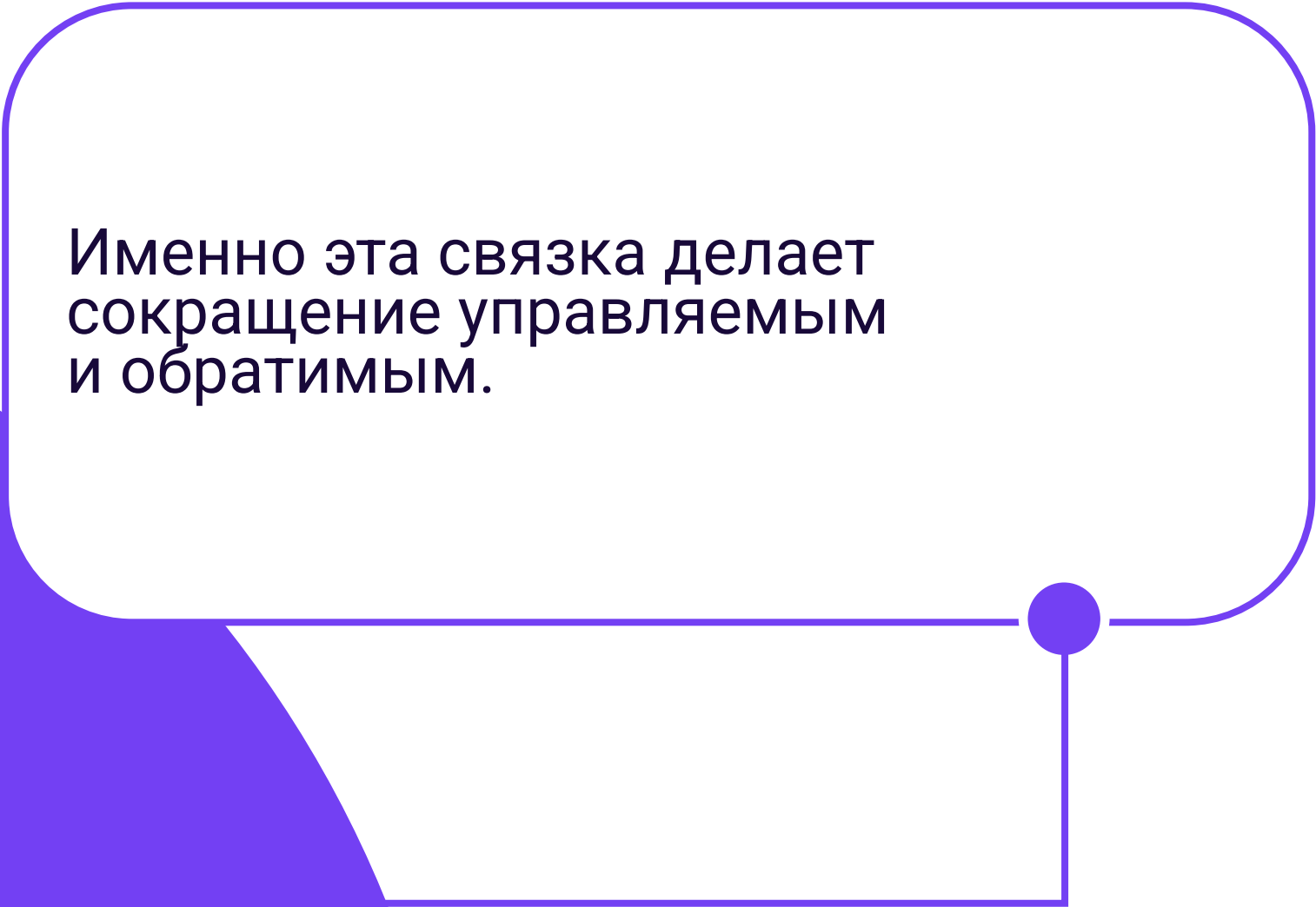


3

компонента тропонинового комплекса
участвуют в запуске сокращения.

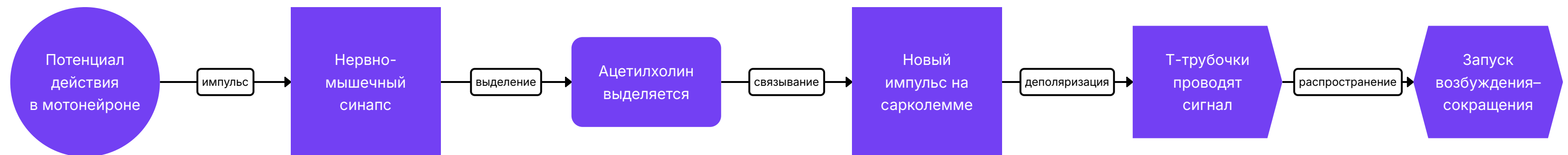
Школьный курс биологии, тема «Мышечная ткань»

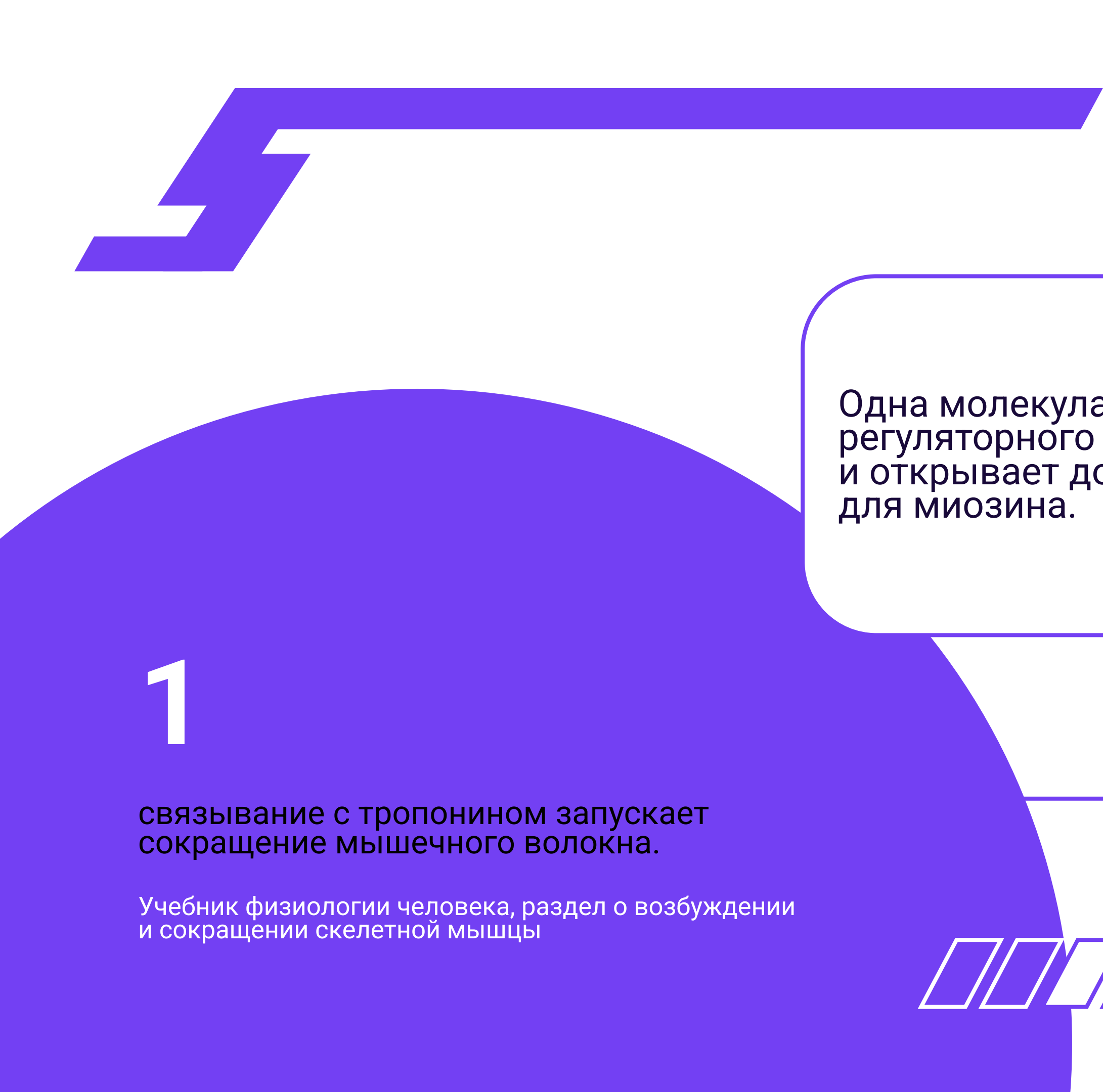
Именно эта связка делает
сокращение управляемым
и обратимым.



От нерва к мышечному импульсу

Последовательность событий от нервного сигнала до возбуждения мышечного волокна





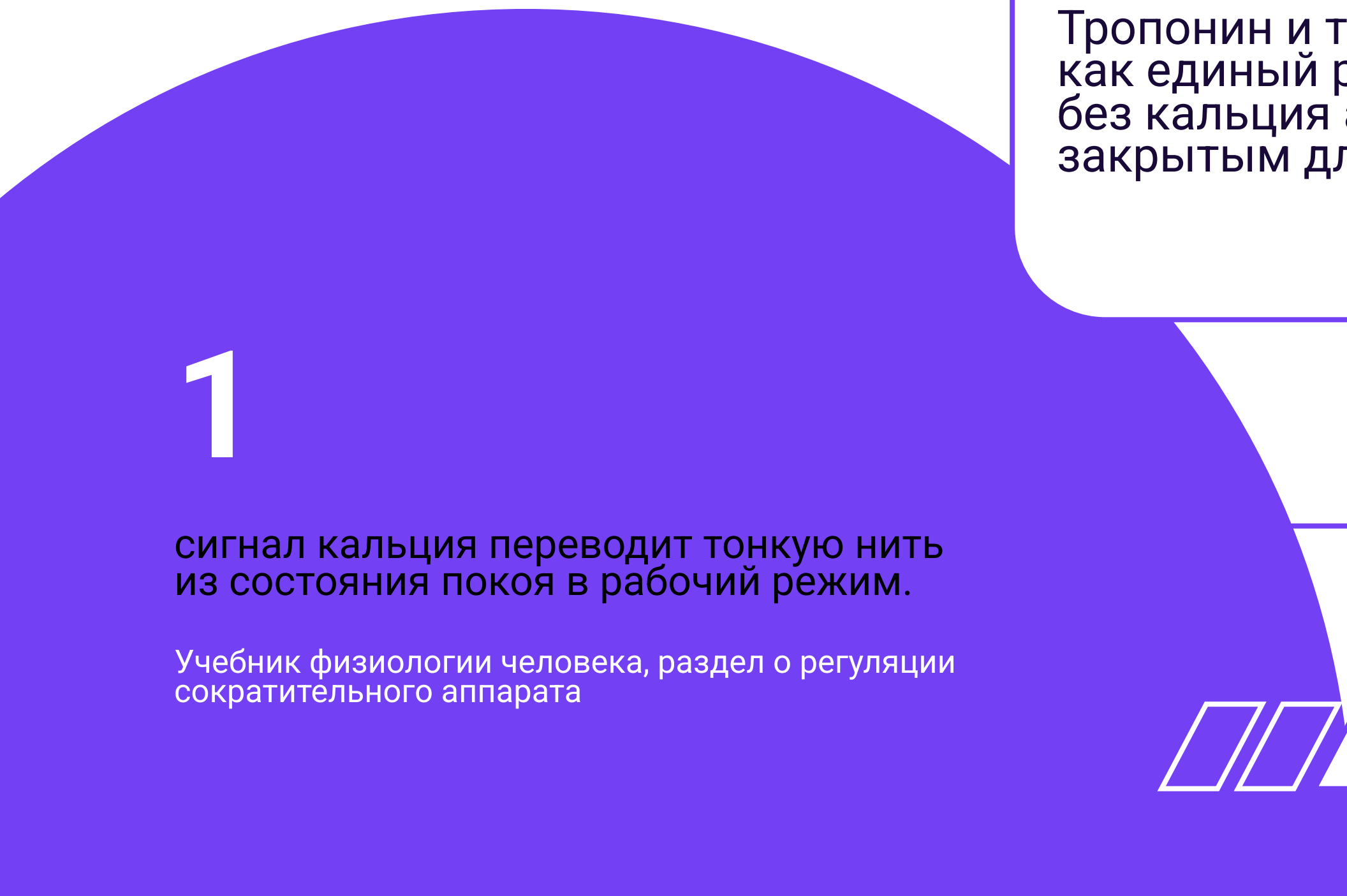
1

связывание с тропонином запускает сокращение мышечного волокна.

Учебник физиологии человека, раздел о возбуждении и сокращении скелетной мышцы



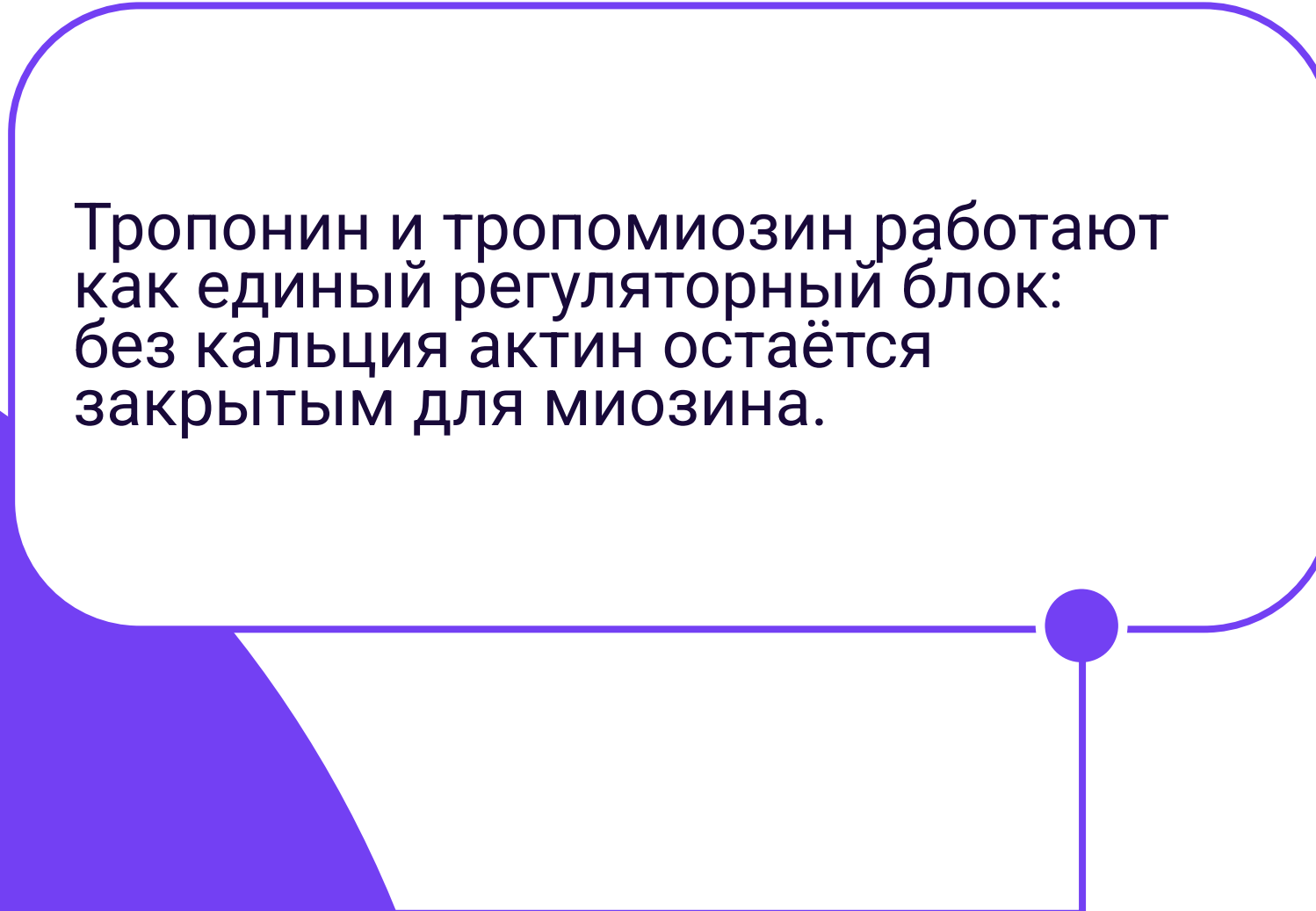
Одна молекула Ca^{2+} запускает сдвиг регуляторного комплекса и открывает доступ к актину для миозина.



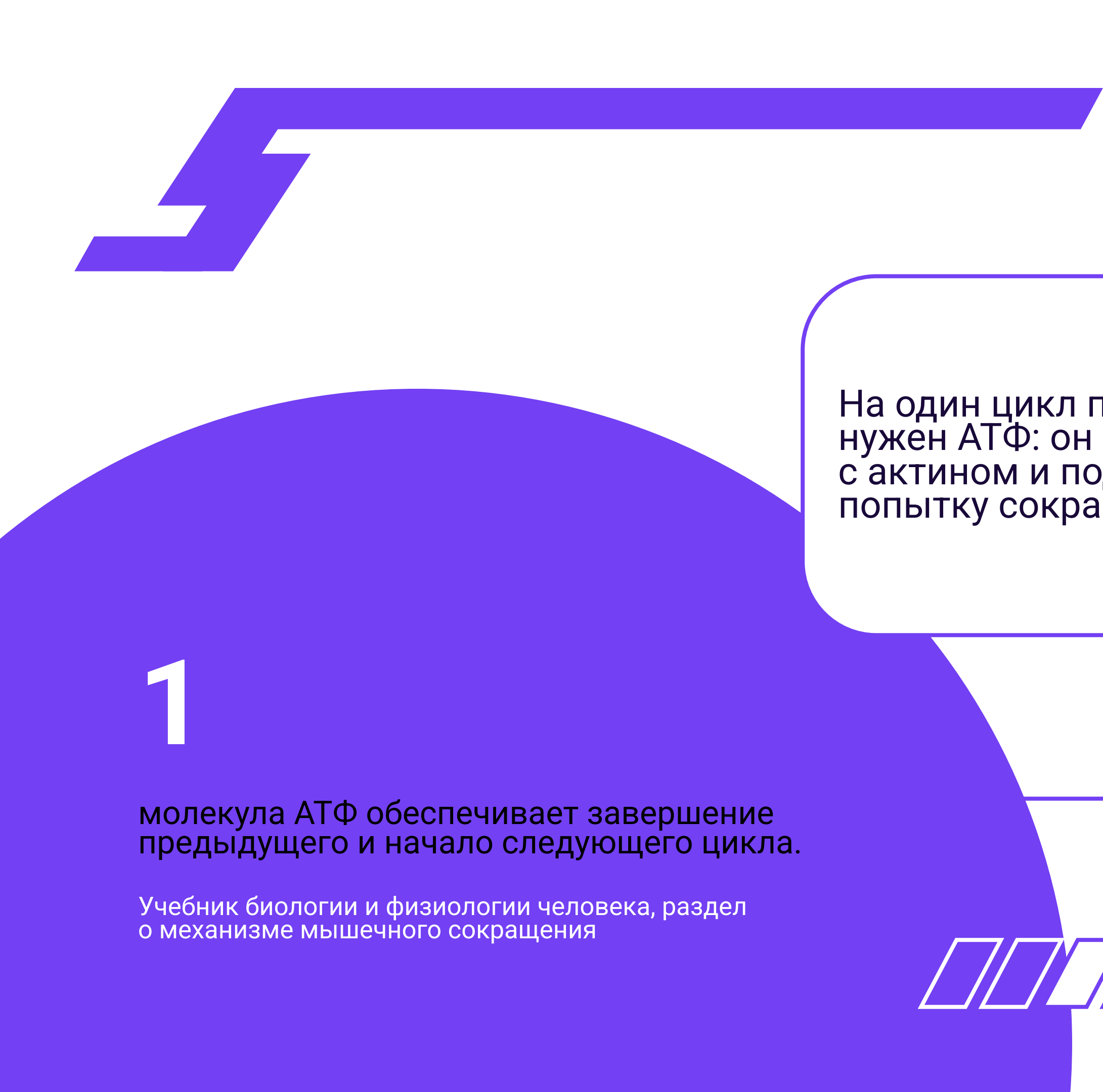
1

сигнал кальция переводит тонкую нить из состояния покоя в рабочий режим.

Учебник физиологии человека, раздел о регуляции сократительного аппарата



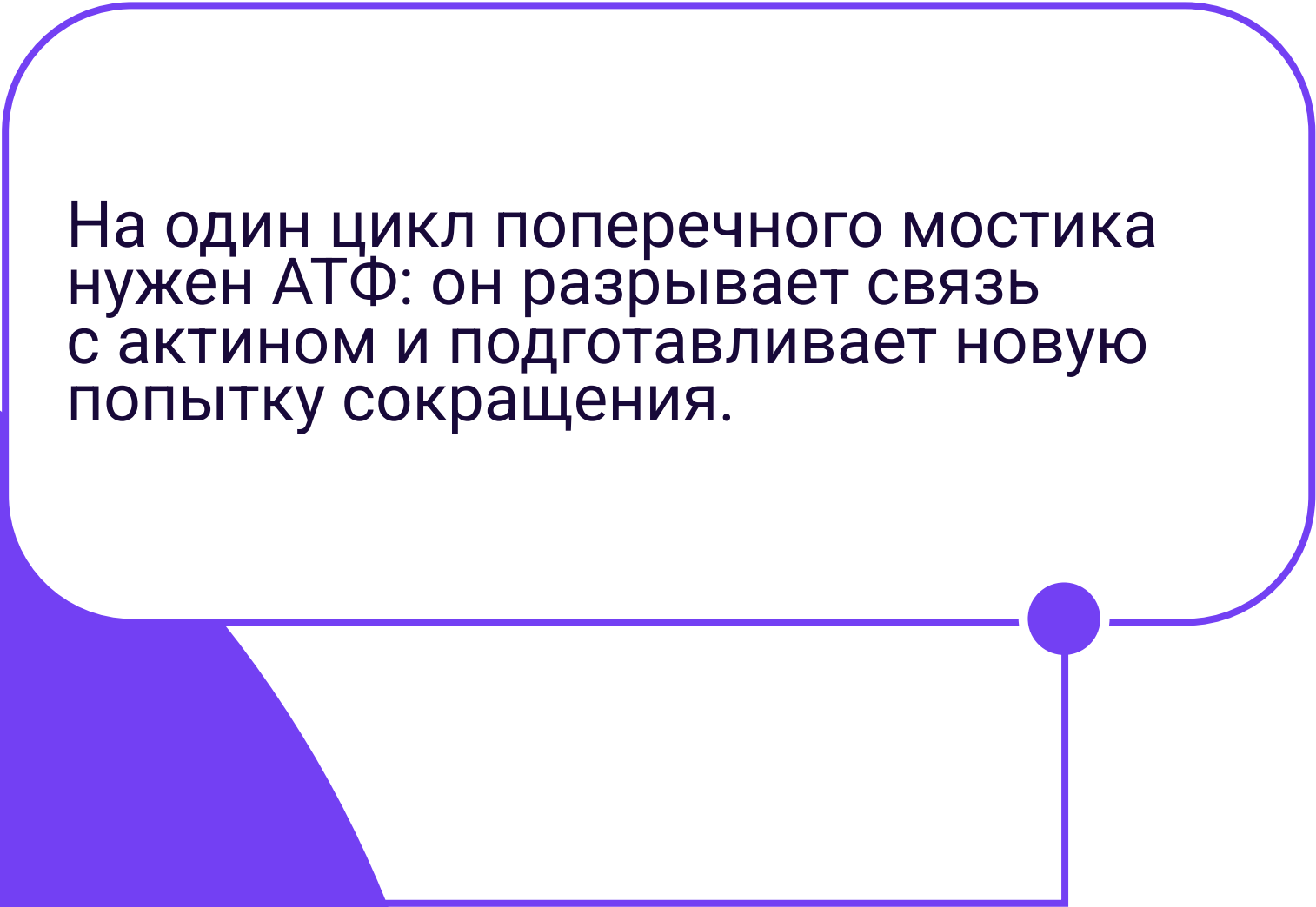
Тропонин и тропомиозин работают как единый регуляторный блок: без кальция актин остаётся закрытым для миозина.



1

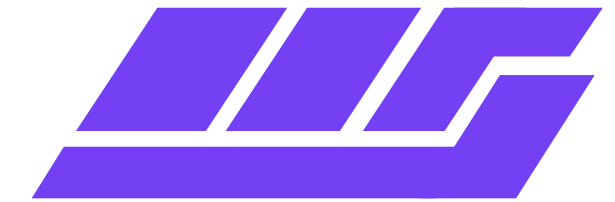
молекула АТФ обеспечивает завершение предыдущего и начало следующего цикла.

Учебник биологии и физиологии человека, раздел о механизме мышечного сокращения

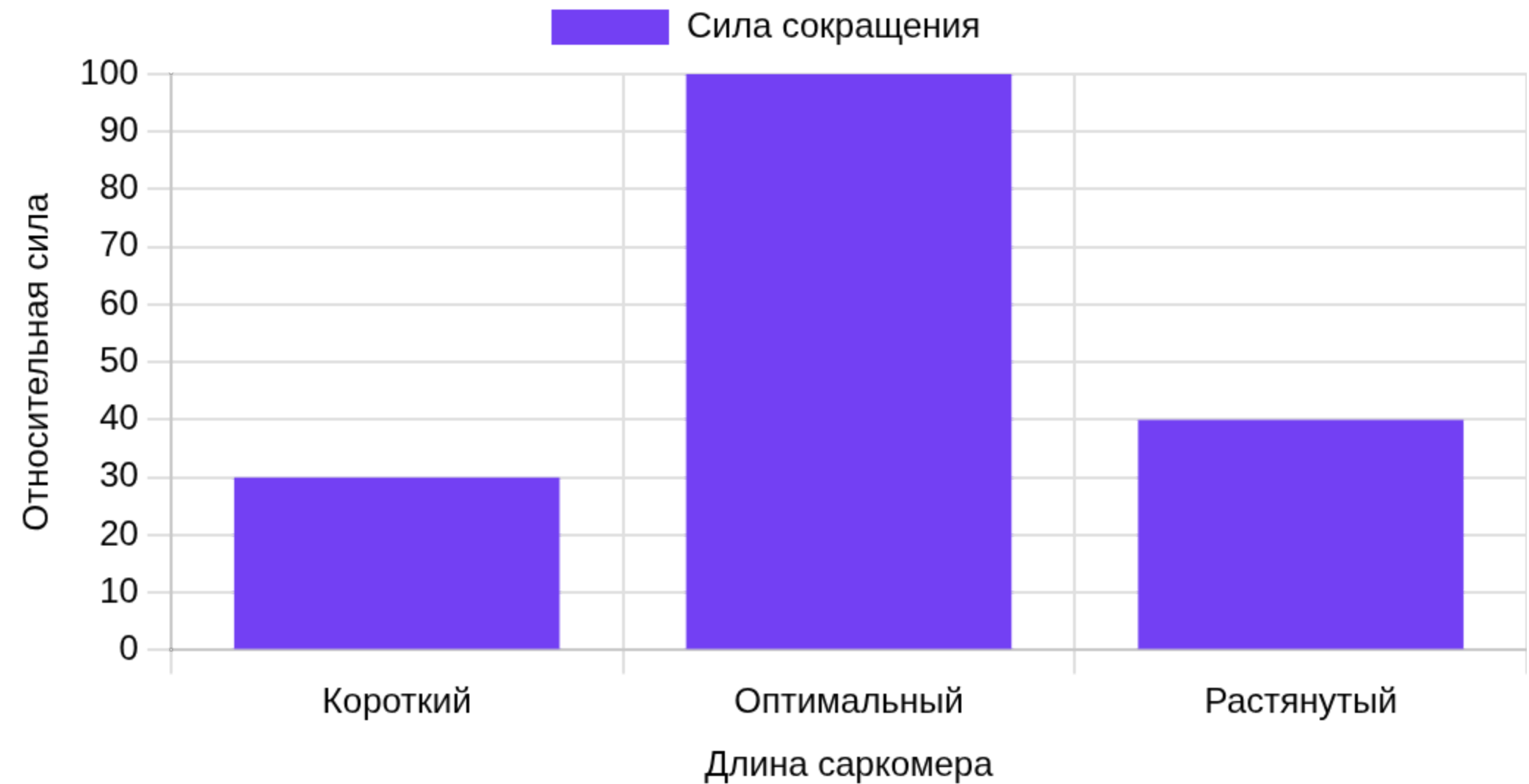


На один цикл поперечного мостика нужен АТФ: он разрывает связь с актином и подготавливает новую попытку сокращения.

Зависимость силы от длины мышцы

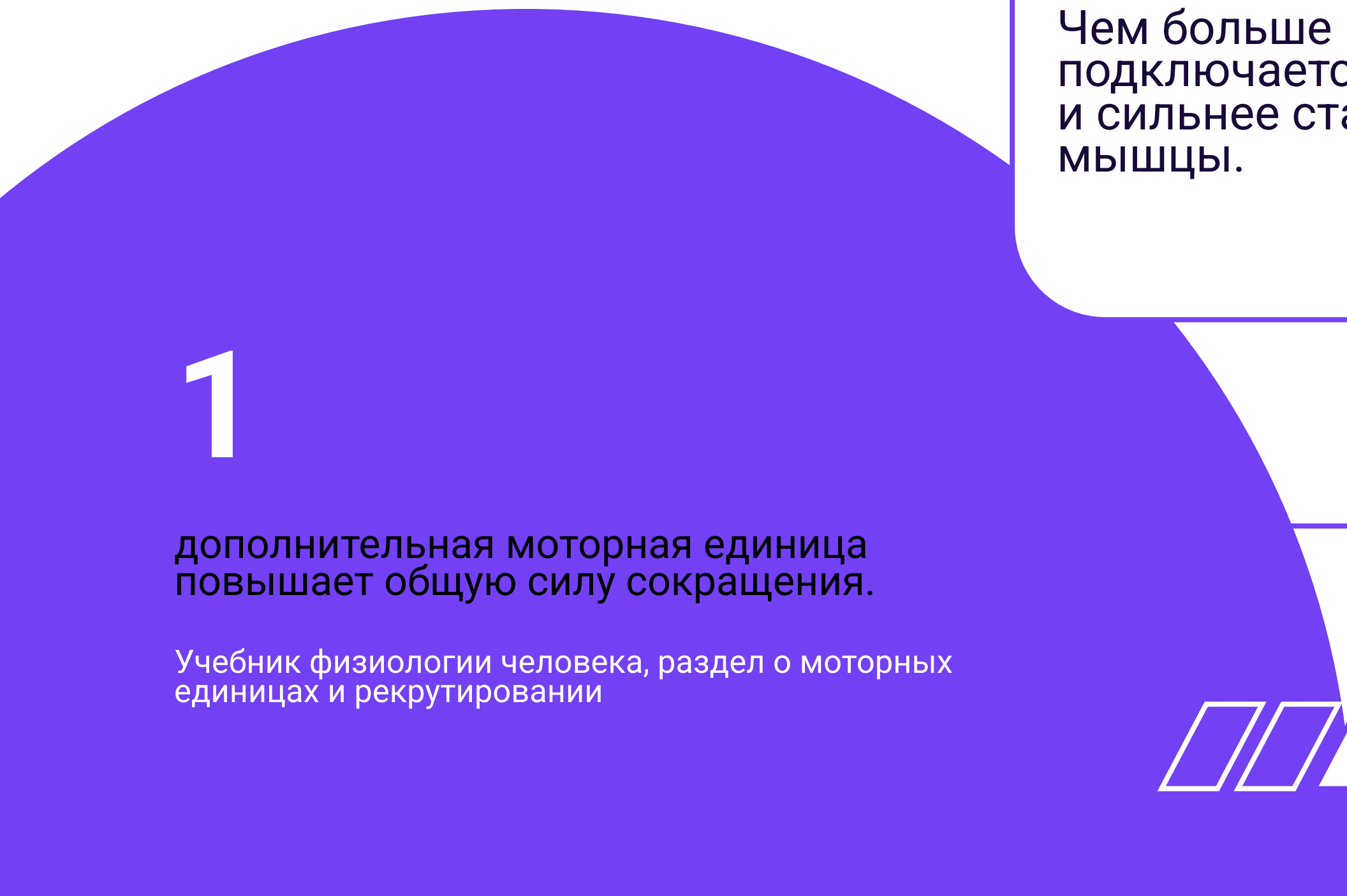


На графике показана относительная сила при разной длине саркомера: сравниваются короткое, оптимальное и растянутое состояние.



Схематическая зависимость длина–напряжение для скелетной мышцы

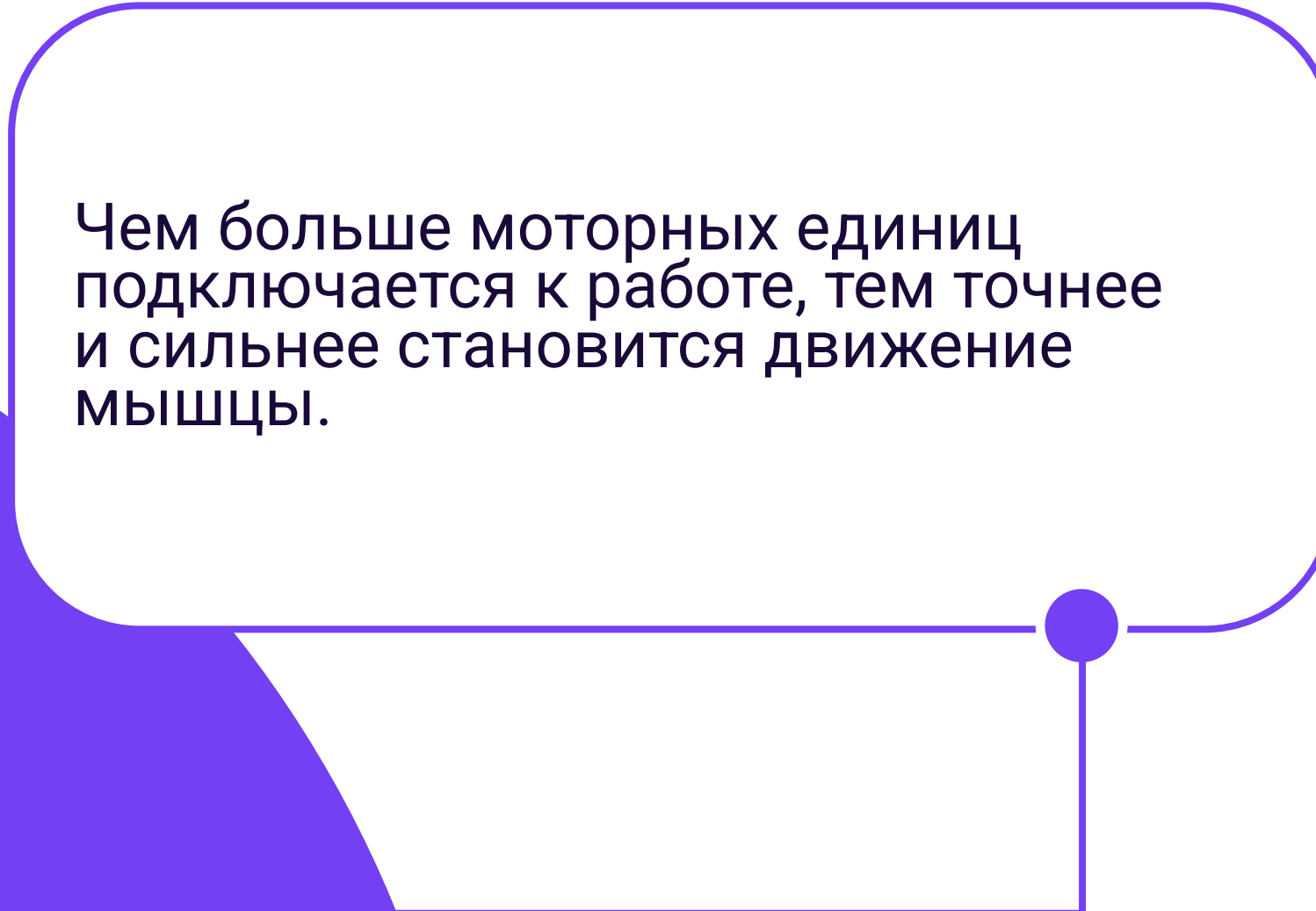
Максимальная сила возникает при оптимальном перекрытии нитей; при отклонении в любую сторону число мостиков уменьшается.



1

дополнительная моторная единица
повышает общую силу сокращения.

Учебник физиологии человека, раздел о моторных
единицах и рекрутировании



Чем больше моторных единиц
подключается к работе, тем точнее
и сильнее становится движение
мышцы.

Типы мышечных сокращений



Учебник физиологии и биомеханики движений



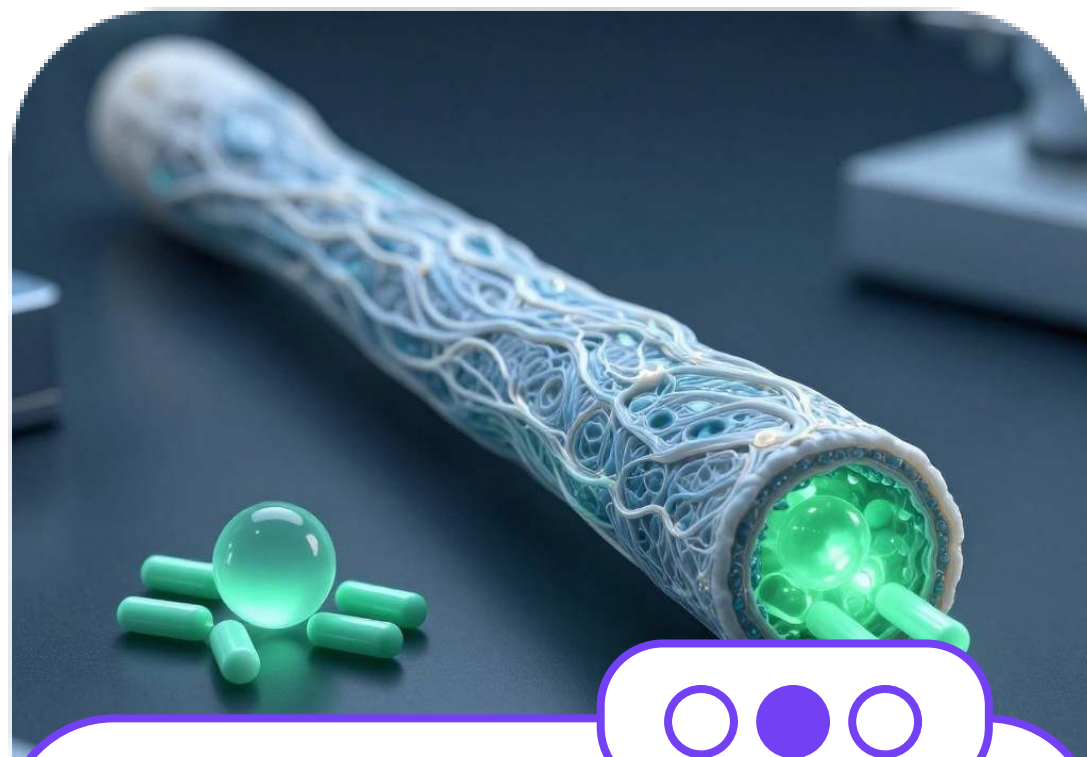
Три основных режима сокращения различаются по изменению длины мышцы и характеру механической работы.

Тип	Длина	Пример
Изометрическое	не меняется	удержание позы
Концентрическое	уменьшается	подъём груза
Эксцентрическое	увеличивается	опускание груза

Эксцентрическая работа обычно даёт наибольшую силу, а изометрическая помогает стабилизировать положение без движения.

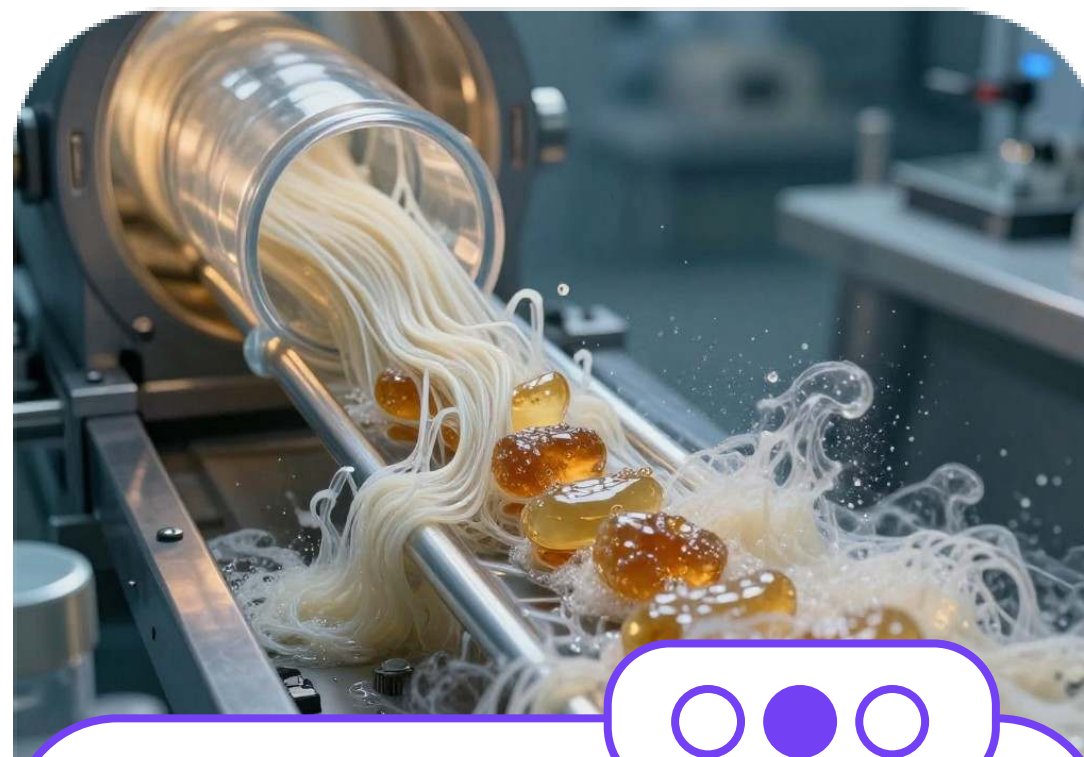


Источники энергии мышечной работы



Старт без паузы

В первые секунды мышца живёт за счёт готового запаса АТФ и креатинфосфата. Этого хватает для резкого старта: прыжка, рывка или быстрого ответа на сигнал, но запас истощается очень быстро.



Короткая интенсивная работа

Если нагрузка продолжается, включается анаэробный гликолиз. Он даёт энергию быстрее, чем дыхание, но сопровождается накоплением продуктов обмена и быстрее приводит к ощущению «жжения» и снижению мощности.

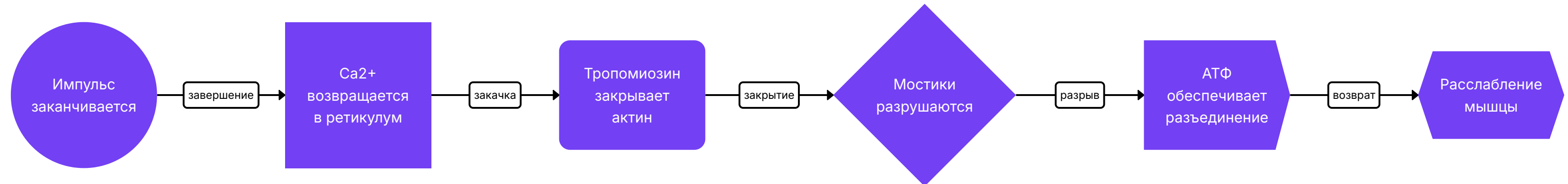


Долгая выносливость

При длительной работе мышца опирается на аэробное окисление. Этот путь медленнее, зато устойчивее: он поддерживает выносливость при ходьбе, беге на длинную дистанцию и продолжительной позе.

Как мышца расслабляется

Пошаговое восстановление покоя после прекращения возбуждения волокна





Итоги: от строения к движению

Строение мышцы объясняет её движение: от саркомера и кальция до моторных единиц и источников энергии. Понимая эти связи, легче объяснить силу, выносливость и утомление в реальной работе мышц.

