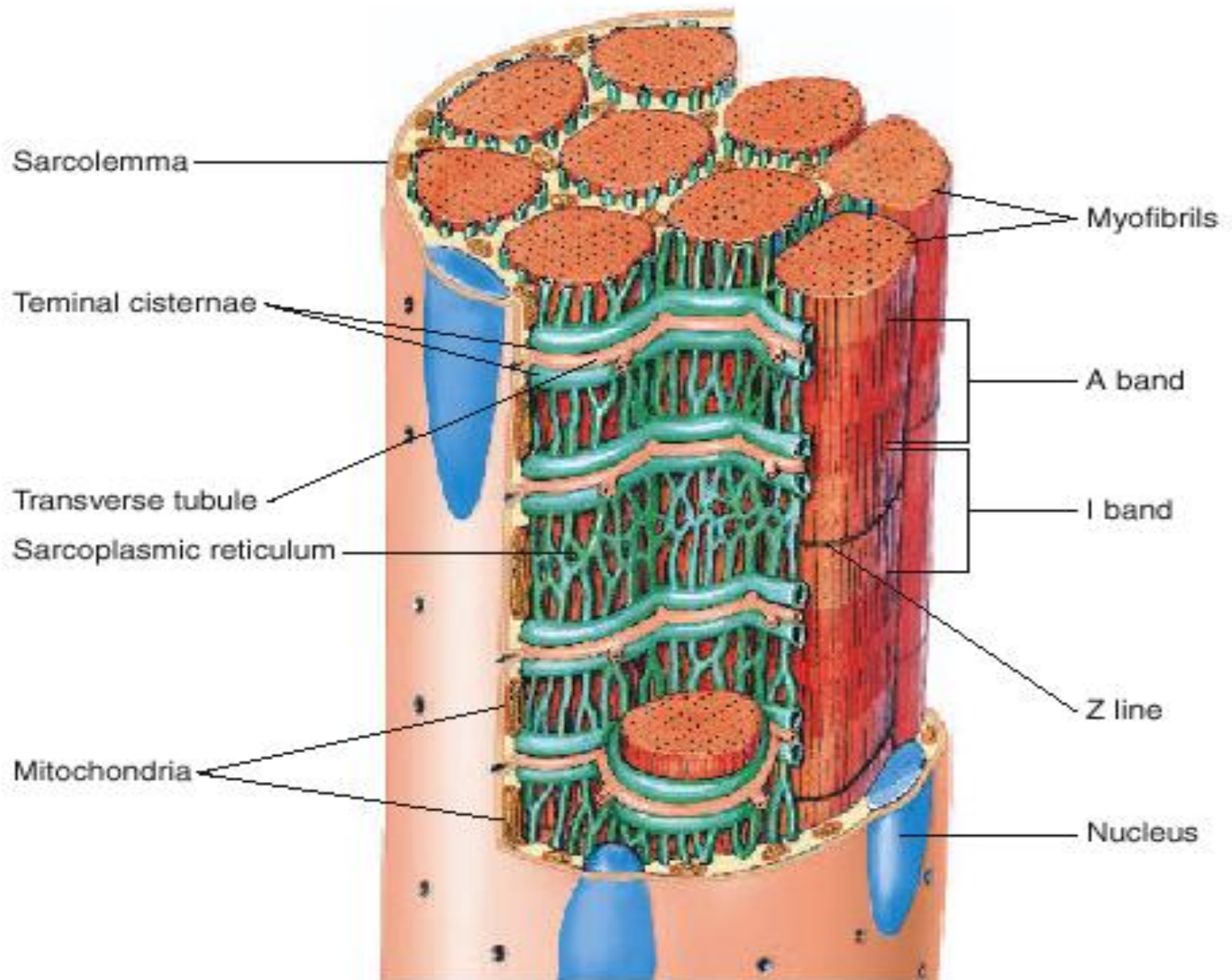
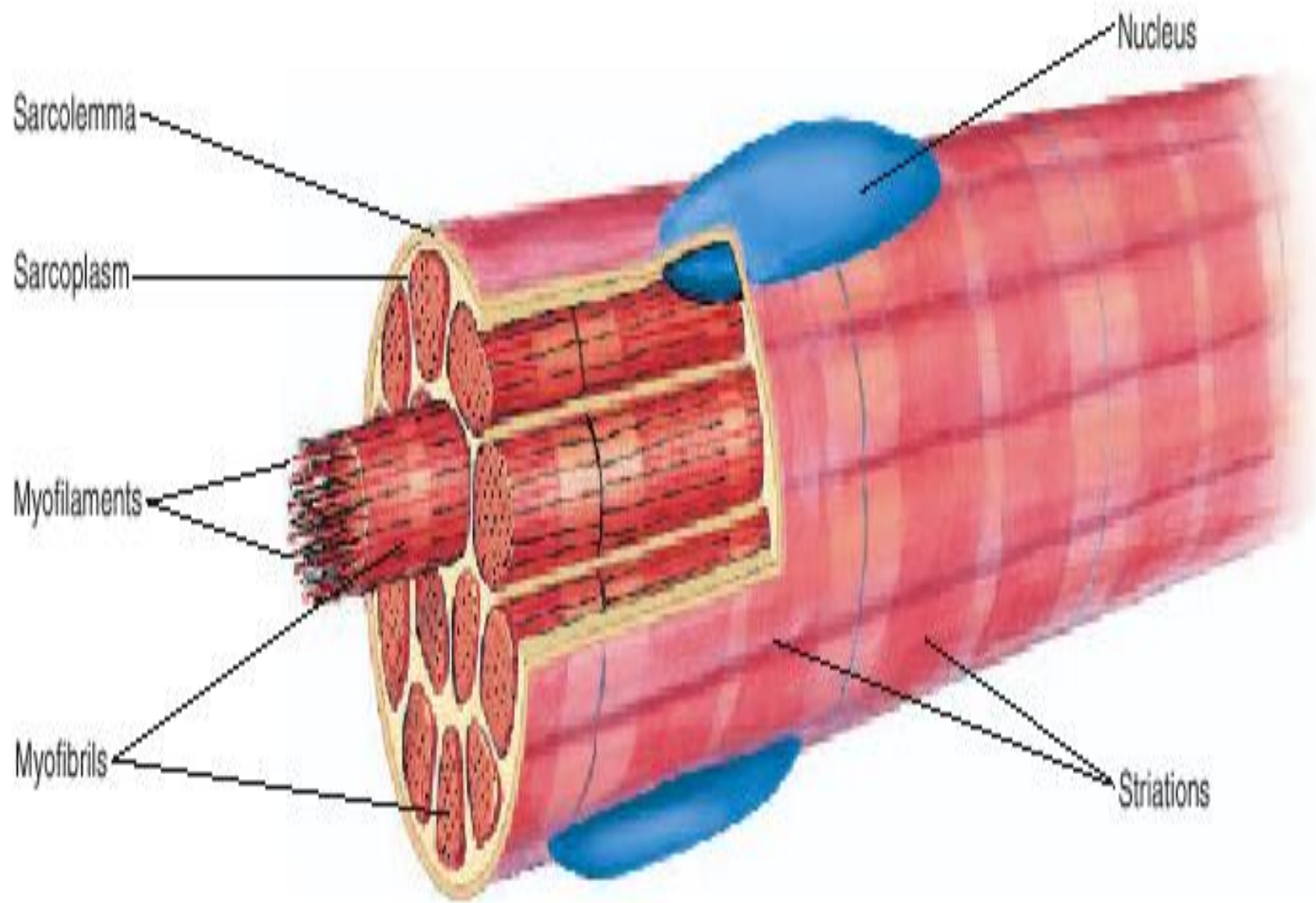


Теория

Мышечного

сокращения





❖ МЫШЕЧНАЯ КЛЕТКА СПОСОБНА  
ГЕНЕРИРОВАТЬ МЕХАНИЧЕСКОЕ  
НАПРЯЖЕНИЕ И УКОРАЧИВАТЬСЯ

❖ МЫШЕЧНАЯ КЛЕТКА ЯВЛЯЕТСЯ  
ГЕНЕРАТОРОМ ТЕПЛА

# Активное сокращение мышцы.

Для исследования характеристик сокращающихся мышц используют два искусственных режима:

1. Изометрический режим, при котором длина мышцы  $l = \text{const}$ , а регистрируется развиваемая сила  $F(t)$ ;
2. Изотонический режим, при котором мышца поднимает  $\Delta l(t)$  постоянный груз  $P = \text{const}$ , а регистрируется изменение ее длины во времени  $l(t)$ .

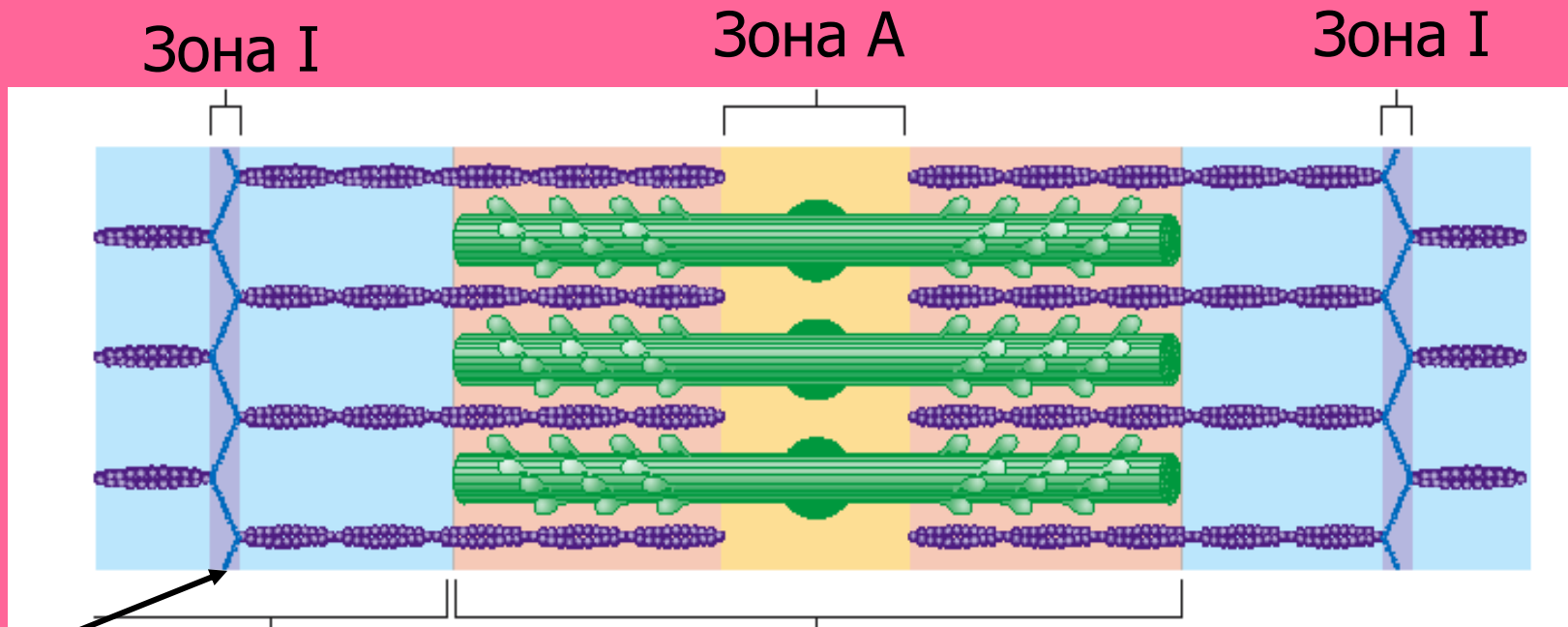
# ПО СТРОЕНИЮ МЫШЦЫ ДЕЛЯТСЯ НА:

❖ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТЫЕ- СКЕЛЕТНЫЕ

❖ МЫШЦЫ СЕРДЦА

❖ ГЛАДКИЕ- МЫШЦЫ КИШЕЧНИКА, СТЕНКИ СОСУДОВ

# СТРУКТУРА ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ МЫШЦЫ



Z-диск

Саркомер

Зона А: темные полосы, обладающие свойством анизотропии

Зона I: светлые полосы, обладающие свойством изотропии

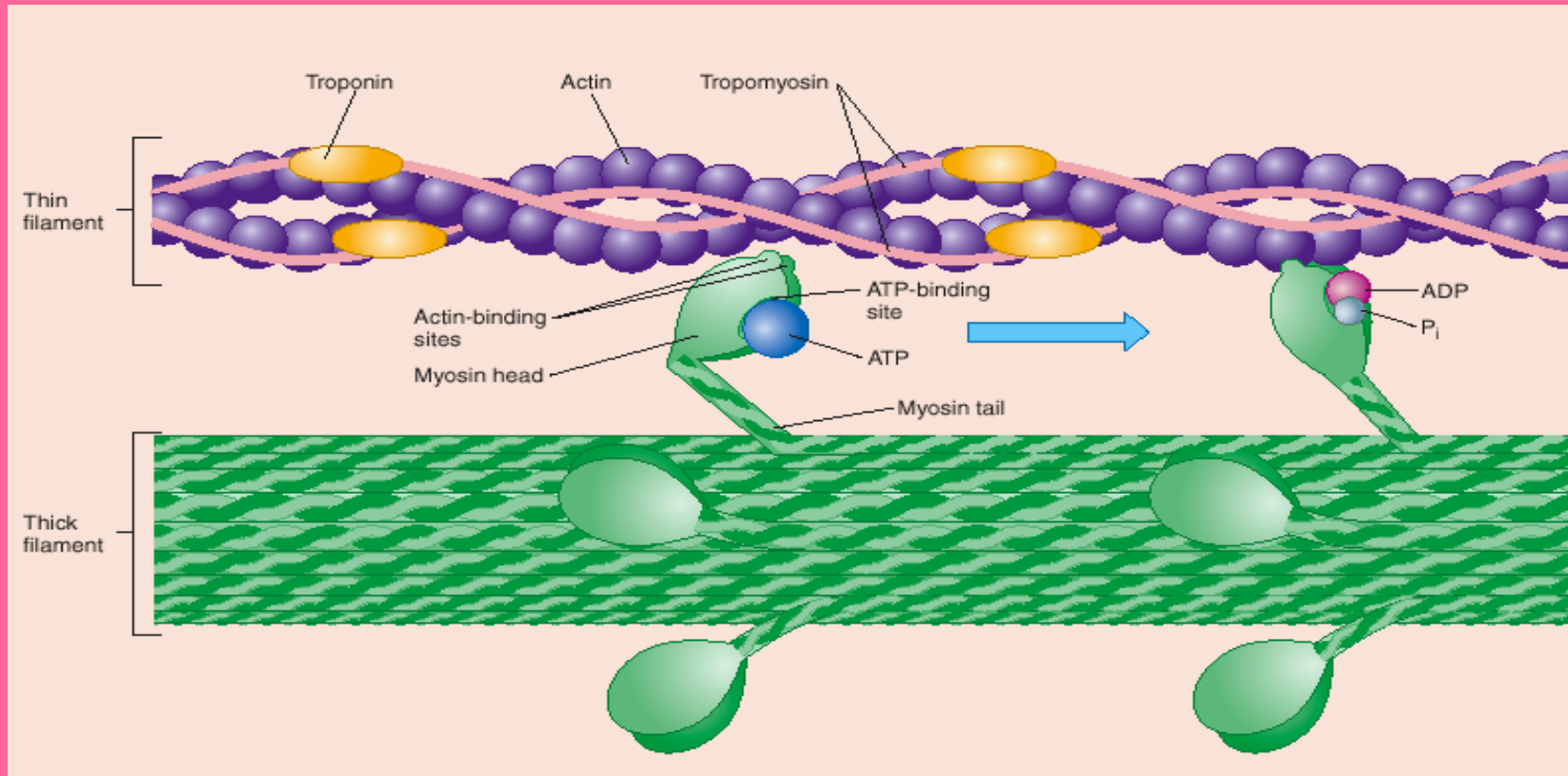
Z-диск: темная узкая полоска

Саркомер: элементарная сократительная единица мышечной клетки

САРКОМЕР- упорядоченная система толстых и тонких нитей.

Толстая нить состоит из белка миозина.

Тонкая нить состоит из белка актина, прикрепленного одним концом к Z-диску.

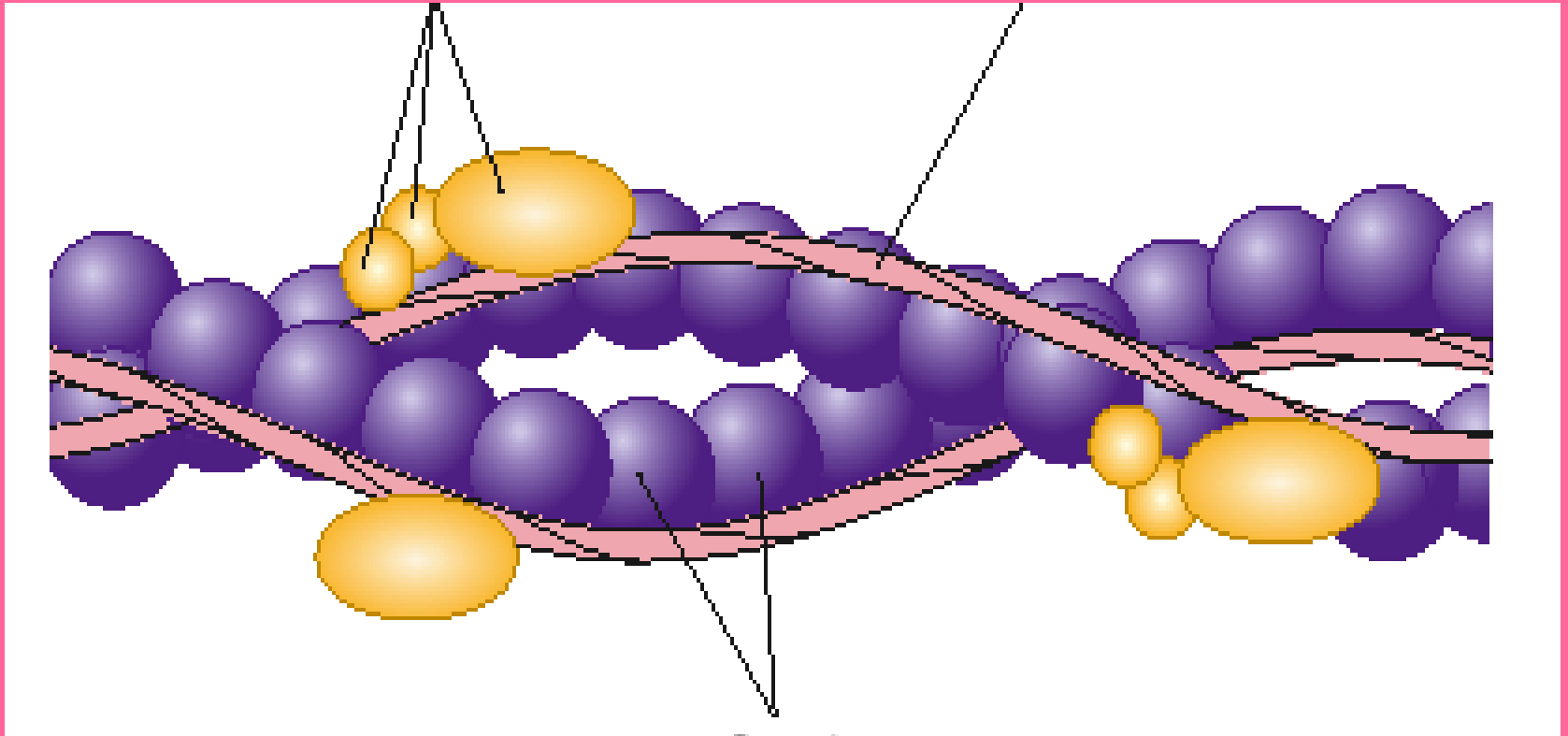




# АКТИНОВАЯ НИТЬ

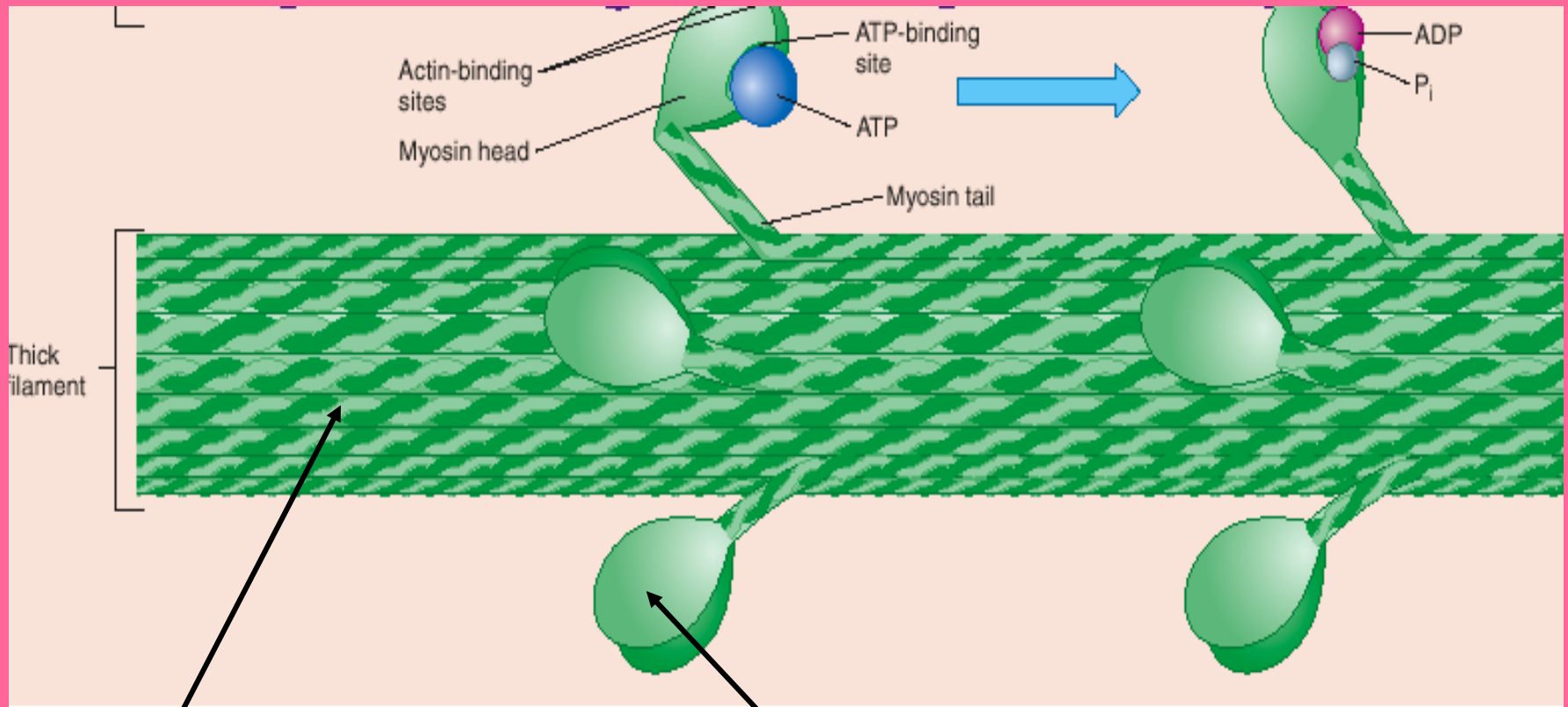
ТРОПОНИН

ТРОПОМИОЗИН



АКТИН

# МИОЗИНОВАЯ НИТЬ

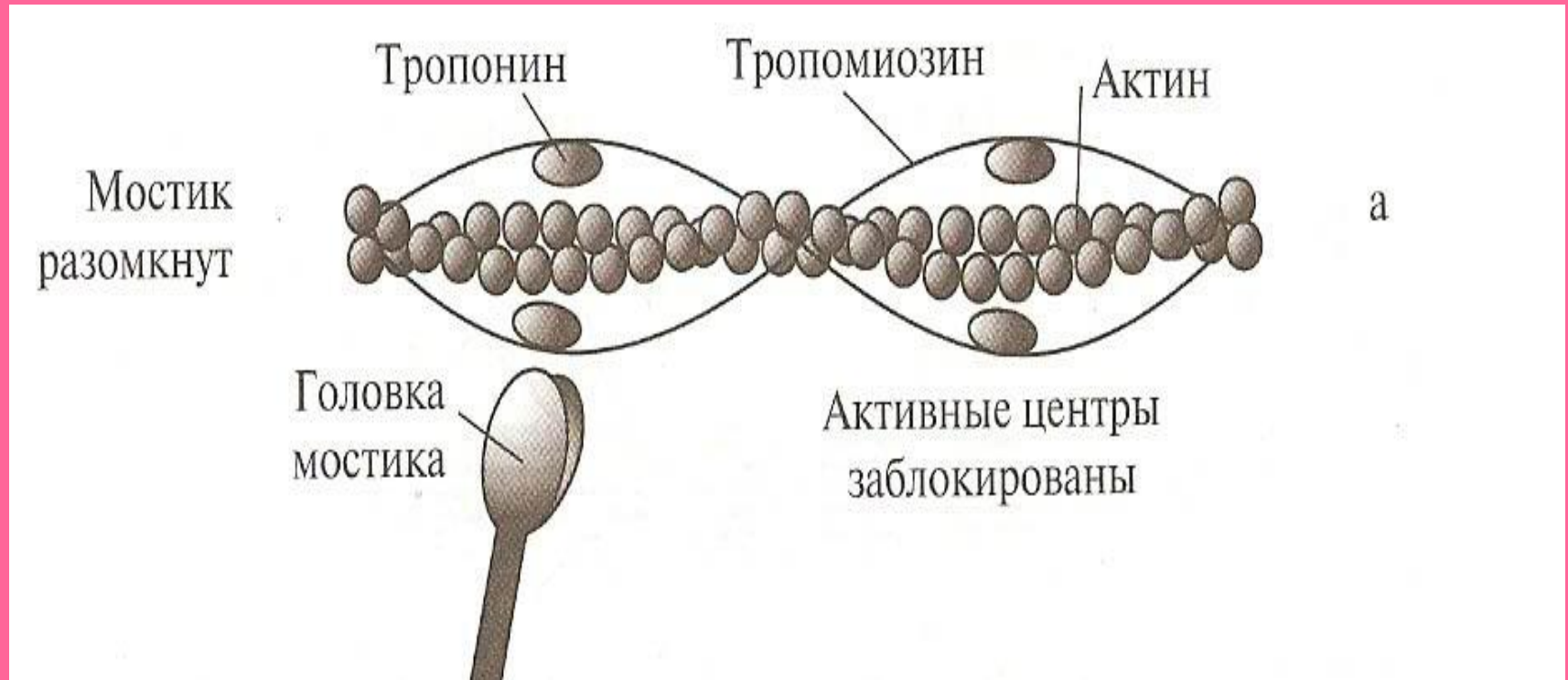


МИОЗИН

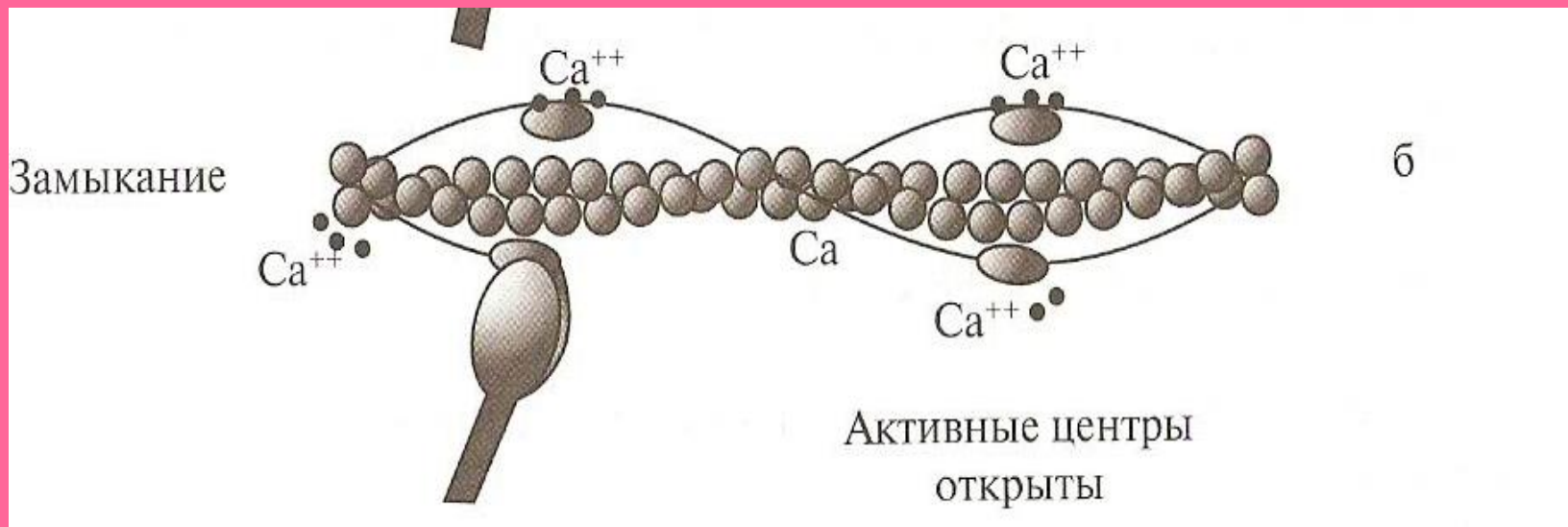
ГОЛОВКА МОСТИКА

# Активация мостика и генерация силы, согласно теории скользящих нитей в саркомере проходит в три этапа:

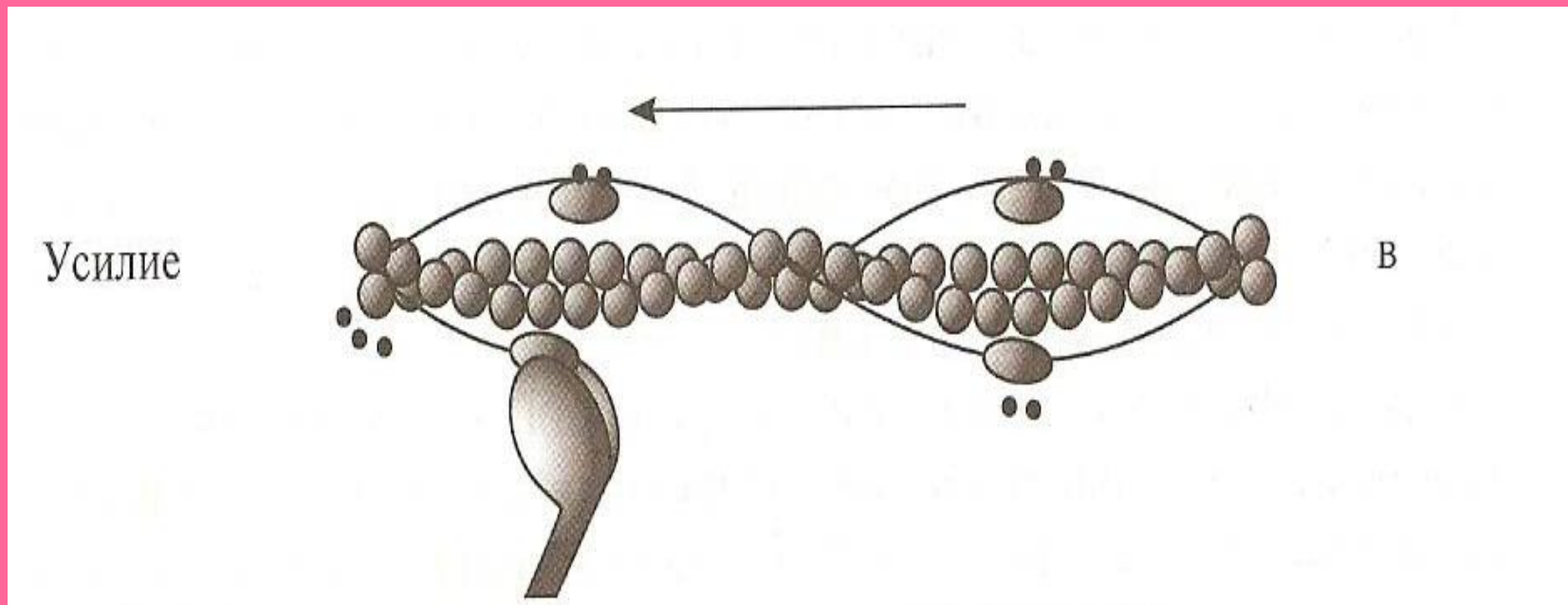
1. В расслабленном состоянии молекулы тропомиозина блокируют прикрепление мостиков к актиновым цепям



2. Ионы  $\text{Ca}^{2+}$  активируют мостики и открывают участки их прикрепления к актину.



**3.** Мостики миозина прикрепляются к актиновым нитям, расщепляются молекулы АТФ и изменяется конформация мостиков: головки поворачиваются внутрь саркомера.



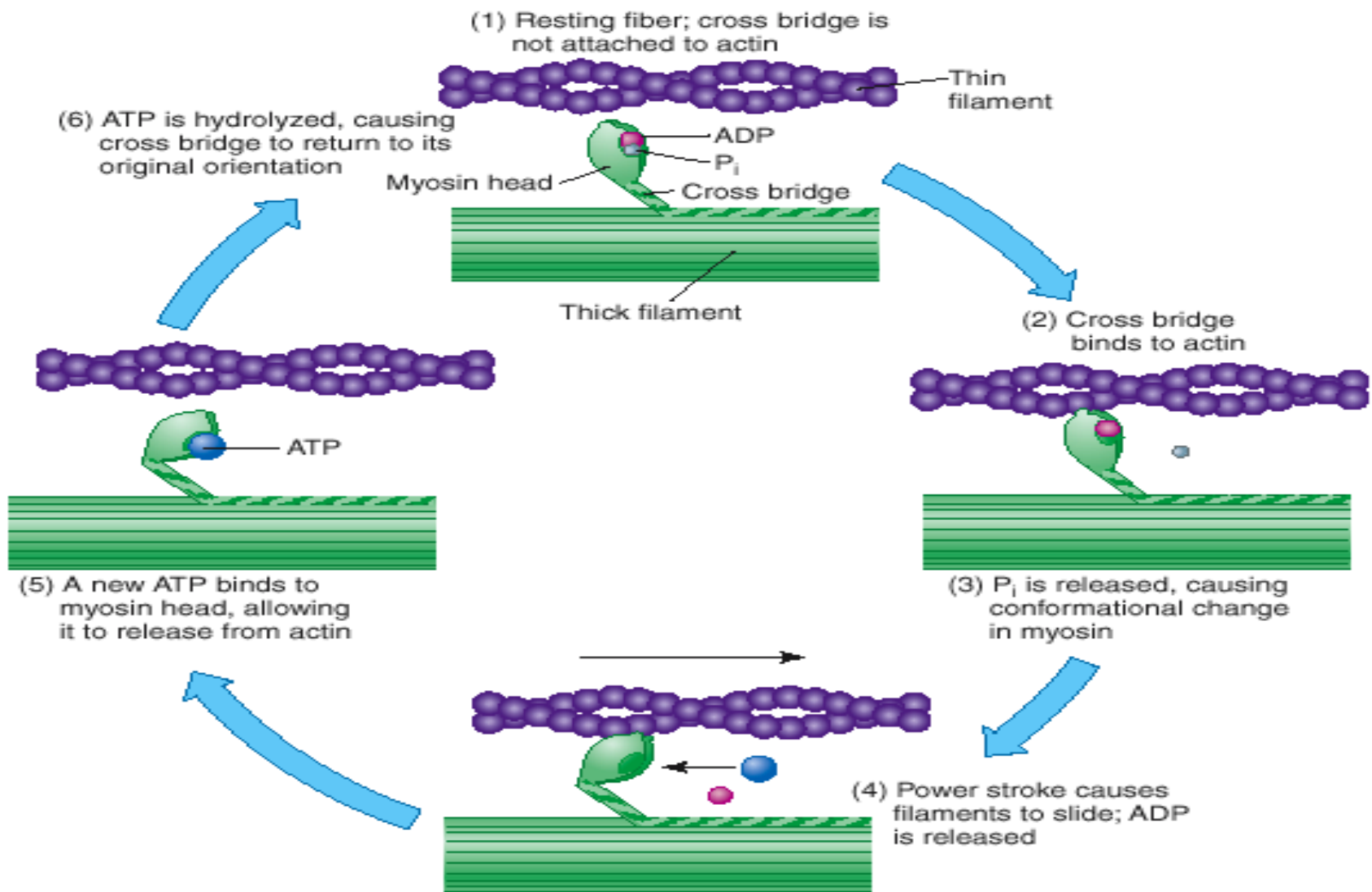
**ЭТО ВЫЗЫВАЕТ УКОРОЧЕНИЕ МЫШЦЫ**

# Основные положения модели

## скользящих нитей:

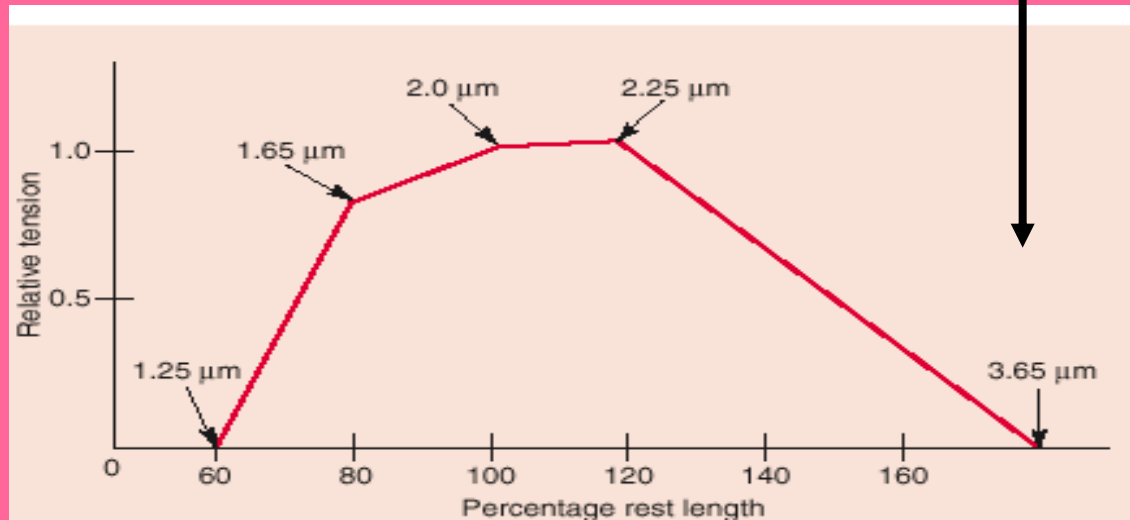
- 1. Длины нитей актина и миозина в ходе сокращения не меняются;
- 2. Изменение длины саркомера при сокращении – результат относительного продольного смещения нитей актина и миозина;
- 3. Поперечные мостики, отходящие от миозина, могут присоединяться к комплементарным центрам актина;
- 4. Мостики прикрепляются к актину не одновременно;
- 5. Замкнувшиеся мостики подвергаются структурному переходу, при котором они развивают усилие, после чего происходит их размыкание;
- 6. Сокращение и расслабление мышцы состоит в нарастании и последующем уменьшении числа мостиков, совершающих цикл замыкание-размыкание;
- 7. Каждый цикл связан с гидролизом одной молекулы АТФ;
- 8. Акты замыкания-размыкания мостиков происходят не зависимо друг от друга.

# ПРОЦЕСС АКТИВАЦИИ МОСТИКА И ГЕНЕРАЦИИ УСИЛИЯ В САРКОМЕРЕ



# ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ СИЛЫ ОТ СТЕПЕНИ ПЕРЕКРЫТИЯ АКТИНОВЫХ И МИОЗИНОВЫХ НИТЕЙ

сила



1

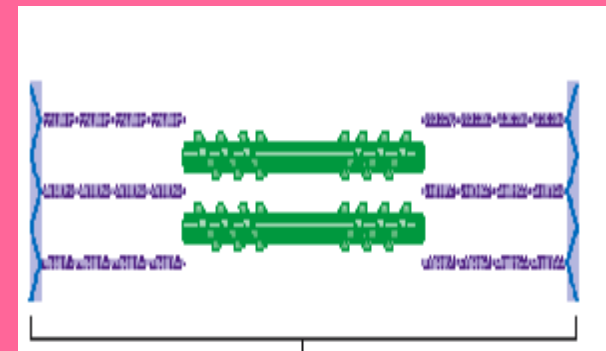


Степень  
перекрыти  
я мостиков

## 1. САРКОМЕР РАСТЯНУТ

МОСТИКИ НЕ ПЕРЕКРЫВАЮТСЯ

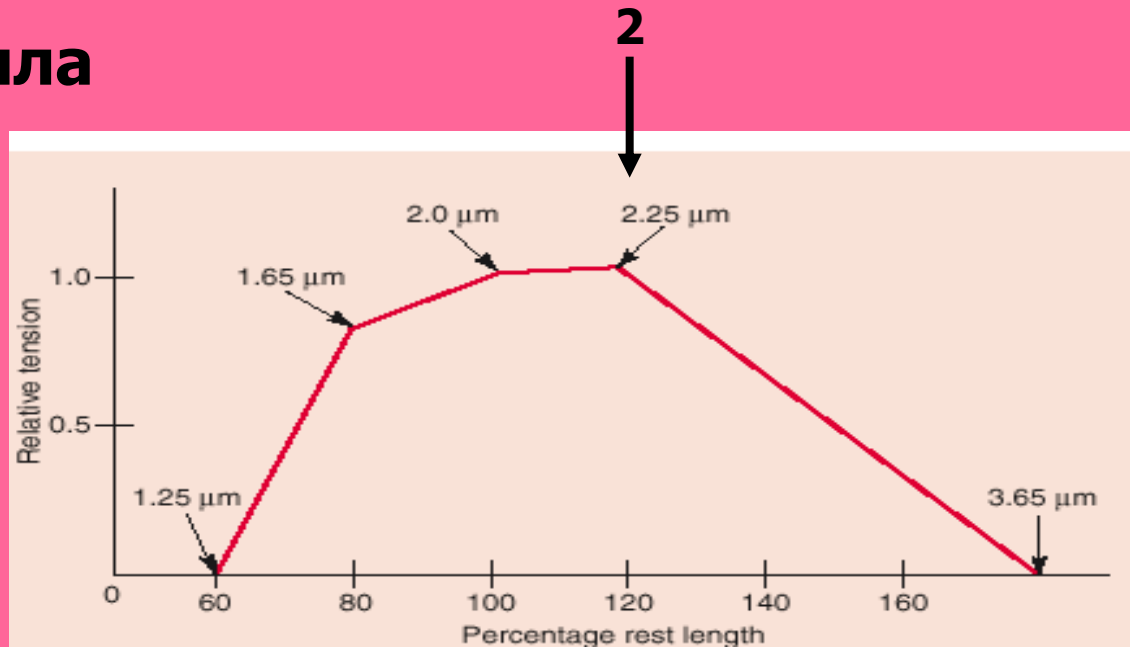
УСИЛИЕ НЕ ФОРМИРУЕТСЯ





# ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ СИЛЫ ОТ СТЕПЕНИ ПЕРЕКРЫТИЯ АКТИНОВЫХ И МИОЗИНОВЫХ НИТЕЙ

сила



Степень перекрытия мостиков

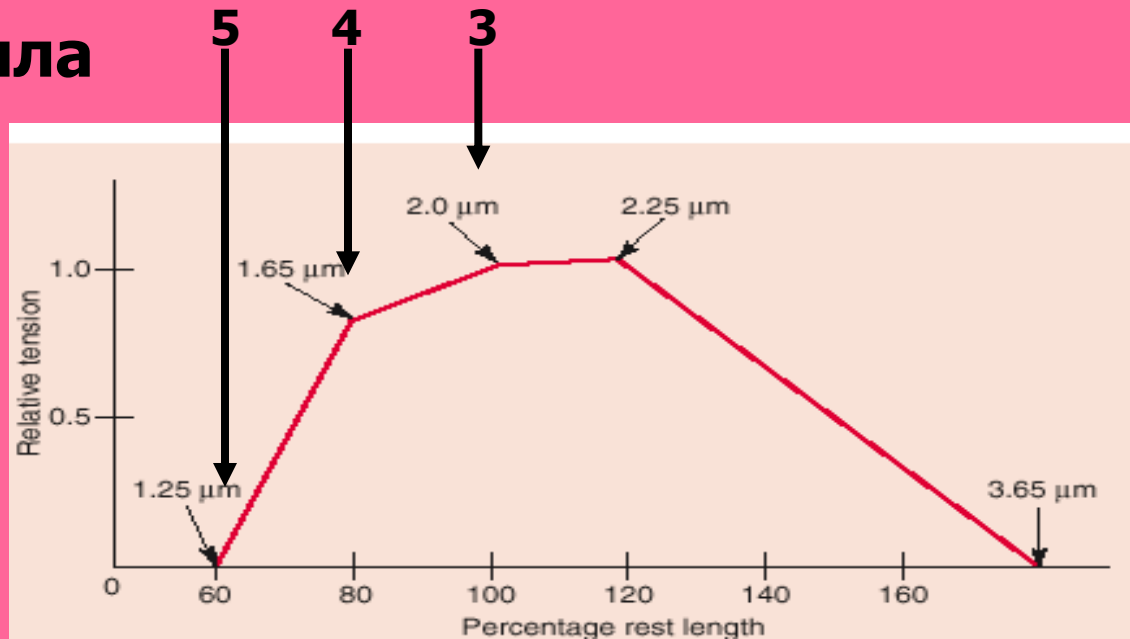
2. КОЛИЧЕСТВО МОСТИКОВ  
МАКСИМАЛЬНО

РАЗВИВАЕМАЯ СИЛА  
МАКСИМАЛЬНА



# ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ СИЛЫ ОТ СТЕПЕНИ ПЕРЕКРЫТИЯ АКТИНОВЫХ И МИОЗИНОВЫХ НИТЕЙ

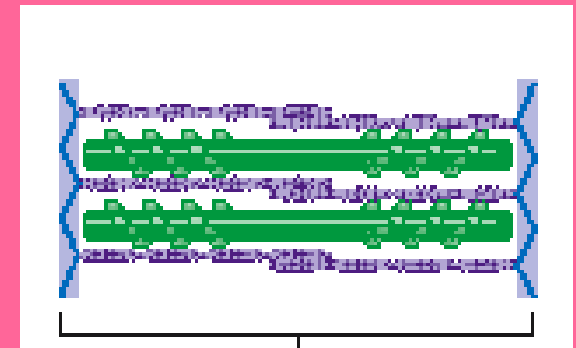
сила



Степень  
перекрыти  
я мостиков

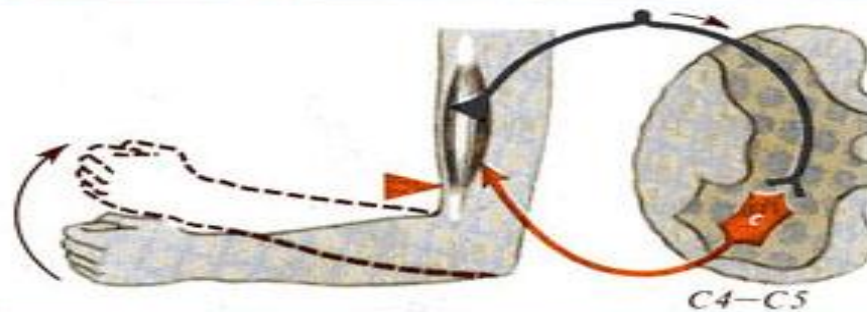
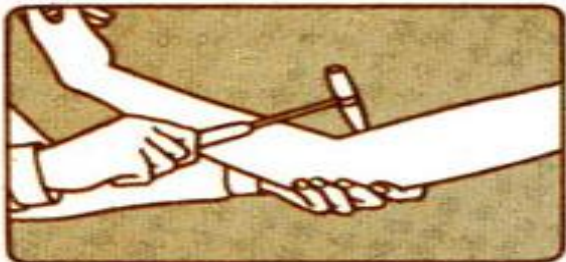
3-4-5. КОЛИЧЕСТВО МОСТИКОВ НЕ  
ИЗМЕНЯЕТСЯ

УСИЛИЕ УМЕНЬШАЕТСЯ



# МЫШЕЧНЫЙ ТОНУС

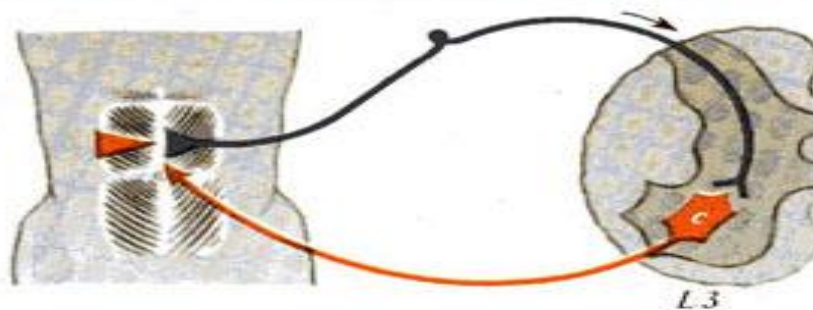
## Сгибательный рефлекс предплечья



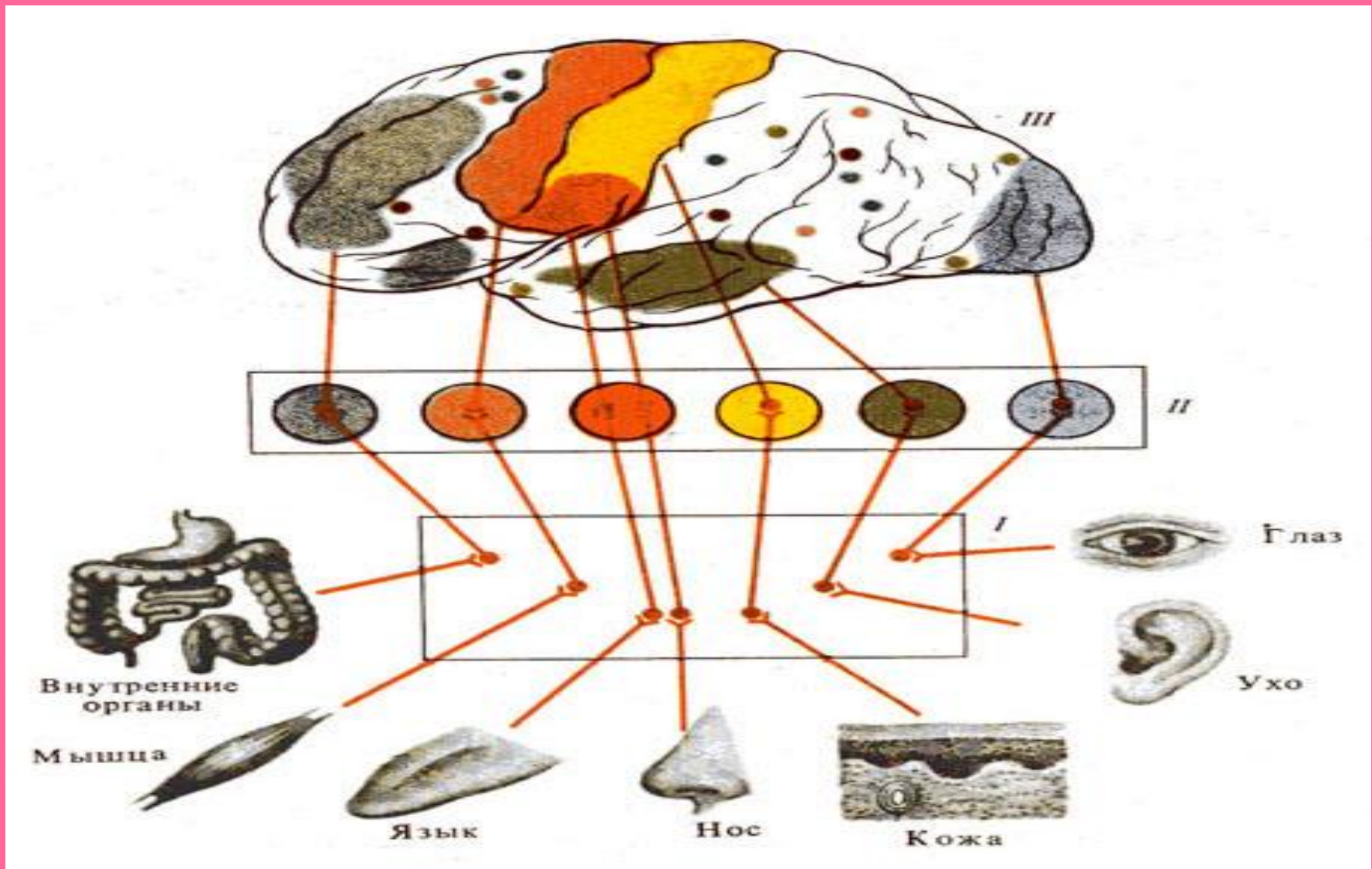
## Разгибательный рефлекс предплечья



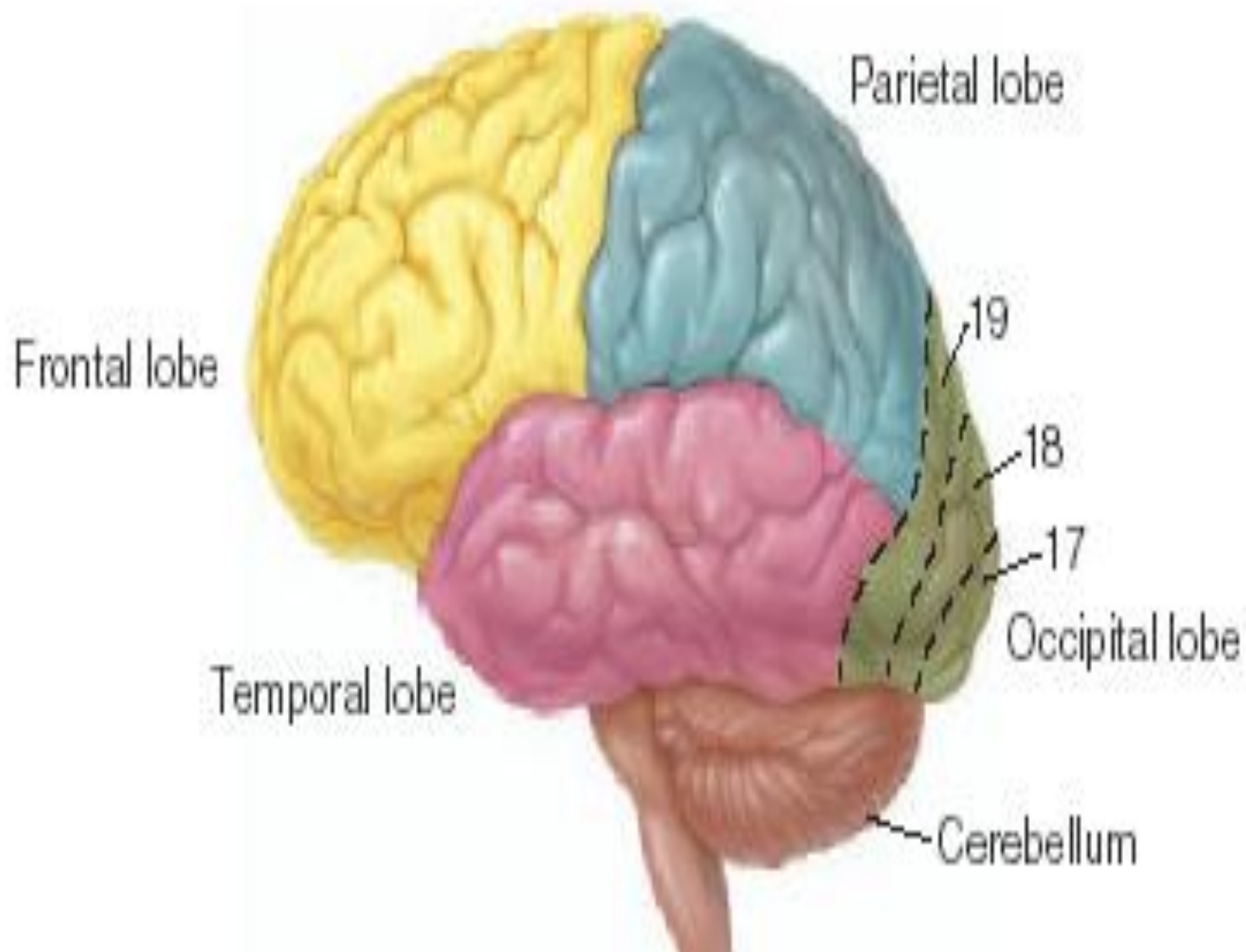
## Брюшной рефлекс



# КОРКОВЫЙ ОТДЕЛ ДВИГАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА







# СИНХРОННЫЕ ГРАФИКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ КАРДИОМИОЦИТА



- **Процесс сокращения кардиомиоцита происходит :**
- 1) при подаче на клетку стимулирующего импульса открываются быстрые (время активации 2 мс) натриевые каналы, ионы натрия входят в клетку, вызывая деполяризацию мембраны;
- 2) открываются потенциал-зависимые медленные кальциевые каналы, (время жизни 200мс), и ионы кальция поступают из внеклеточной среды, внутрь клетки;
- 3) кальций, поступающий в клетку, активирует мембрану СР, являющегося внутриклеточным депо ионов кальция, и высвобождают кальций из пузырьков СР – «кальциевый залп». Ионы кальция из СР поступают на актин-миозиновый комплекс саркомера, открывают активные центры актиновых цепей, вызывая замыкание мостиков и дальнейшее развитие силы и укорочения саркомера;
- 4) по окончании процесса сокращения миофибрилл ионы кальция активно закачиваются внутрь СР.
- 5 иб) процесс электромеханического сопряжения заканчивается, ионы натрия и кальция – активно выводятся во внеклеточную среду.

■ **Фундаментальными понятиями механики сплошных сред является деформация, напряжение, упругость, вязкость, а так же энергия и температура.**

а) *Вязкость* – внутреннее трение среды.

б) *Упругость* – свойство тел менять размеры и форму под действием сил и самопроизвольно восстанавливать их при прекращении внешних воздействий.

в) *Вязкоупругость* – это свойство материалов твердых тел сочетать упругость и вязкость.



г) *Деформация*  $\varepsilon$  - относительное изменение длины:

$$\varepsilon = \Delta \ell / \ell ,$$

где  $\ell$  - начальная длина;  $\Delta \ell$  - значение удлинения;

д) *Напряжение механическое*  $\sigma$  – мера внутренних сил, возникающих при деформации материала. Для однородного стержня:

$$\sigma = F / S,$$

где  $S$  – площадь сечения,  $F$  - сила, приложенная к стержню.

Зависимость скорости укорочения от нагрузки устанавливает Уравнение Хилла

$$V(P) = \frac{b(P_0 - P)}{P + a}$$

**V**- скорость укорочения мышцы

**P<sub>0</sub>** - максимальное изометрическое напряжение, развиваемое мышцей, или максимальный груз, удерживаемый мышцей без ее удлинения;

**P**- нагрузка

**b** - константа, имеющая размерность скорости;

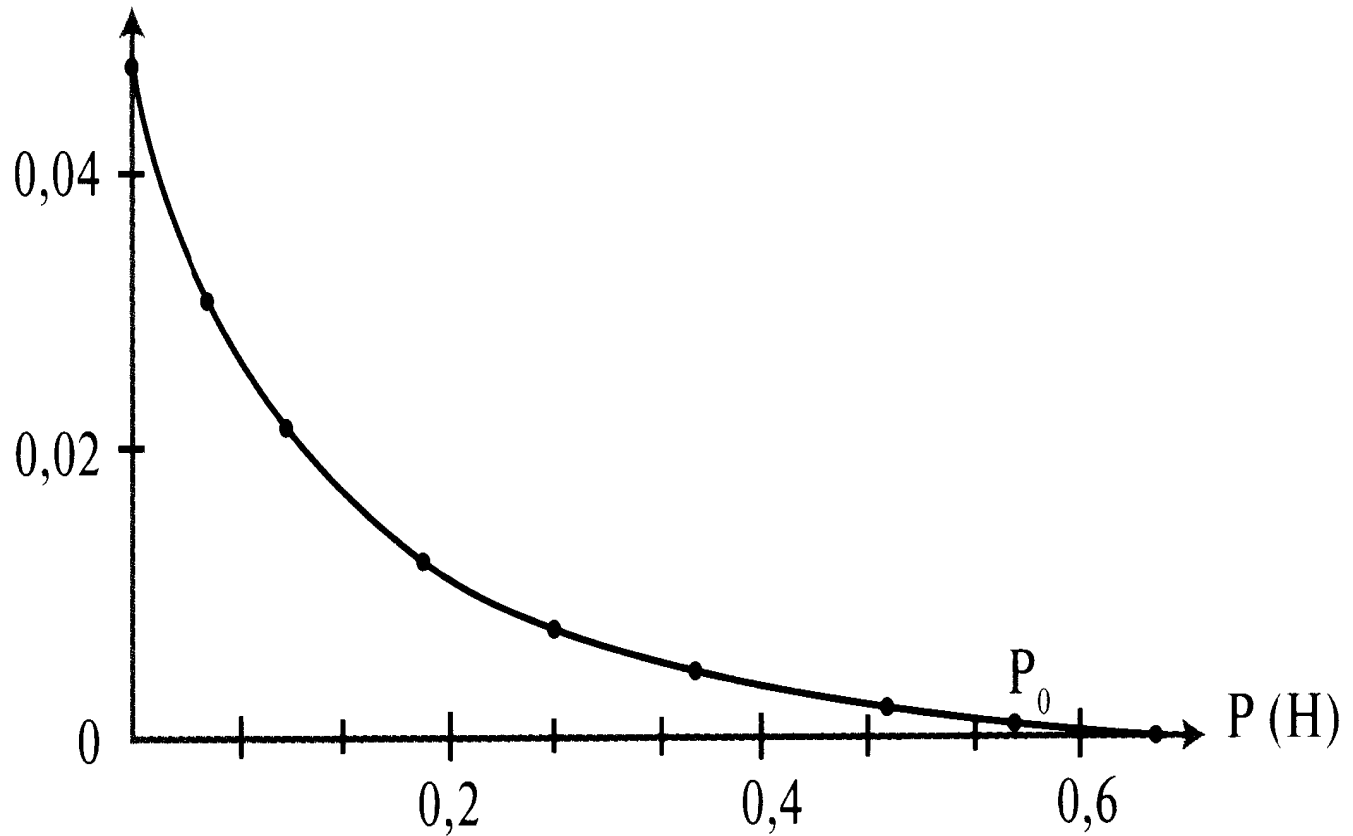
**a** - константа, имеющая размерность силы.

$$V(P) = \frac{b(P_0 - P)}{P + a}$$

**ИЗ УРАВНЕНИЯ СЛЕДУЕТ, ЧТО  
С УВЕЛИЧЕНИЕМ НАГРУЗКИ  
СКОРОСТЬ УМЕНЬШАЕТСЯ.**

# ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ОДИНОЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ МЫШЦЫ ОТ НАГРУЗКИ

СКОРОСТЬ  $V$ , м/с



$$V(P) = \frac{b(P_0 - P)}{P + a}$$

**ИЗ УРАВНЕНИЯ СЛЕДУЕТ, ЧТО  
МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ РАЗВИВАЕТСЯ  
ПРИ  $P=0$**

$$V_{\max} = P_0 \frac{b}{a}$$

$$V(P) = \frac{b(P_0 - P)}{P + a}$$

ИЗ УРАВНЕНИЯ СЛЕДУЕТ,  
ЧТО ЕСЛИ  $P=P_0$  СКОРОСТЬ  $V=0$

СЛЕДОВАТЕЛЬНО УКРОЧЕНИЯ НЕ ПРОИСХОДИТ

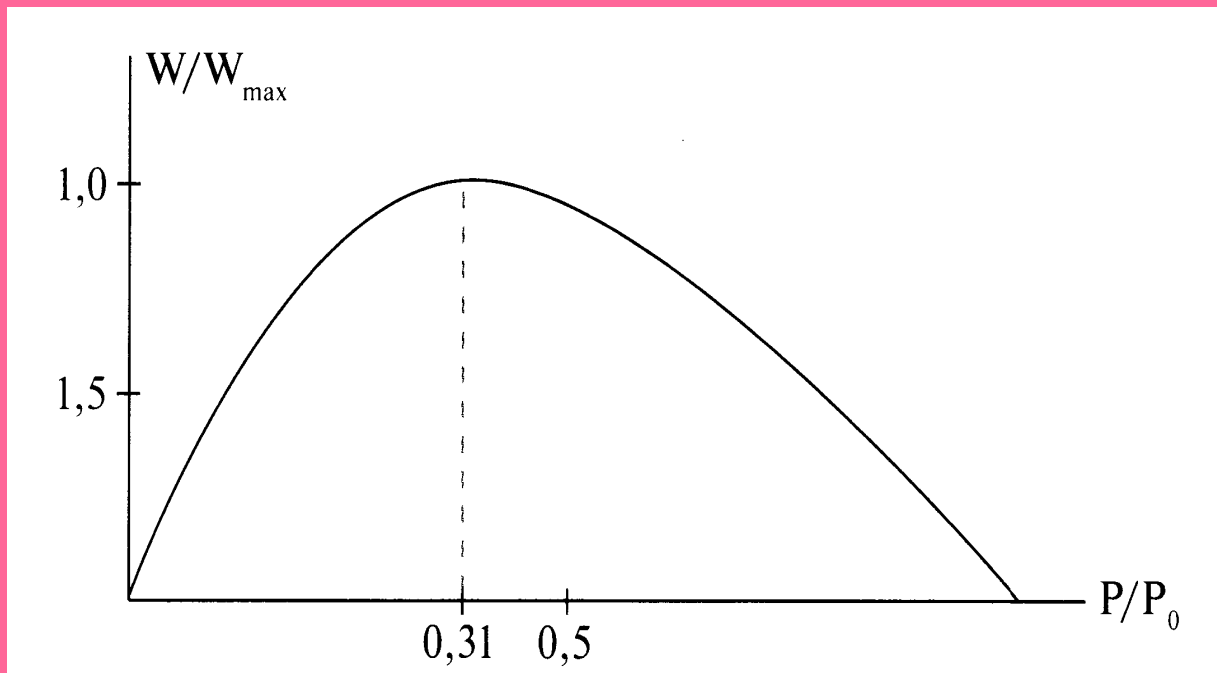
# ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ МЫШЦЫ ОТ НАГРУЗКИ

$$W = PV = \frac{b(P_0 - P)}{P + a} P$$

$W$ - развиваемая мощность

$P$ - нагрузка

$V$ - скорость сокращения мышцы



$$W = PV = \frac{b(P_0 - P)}{P + a} P$$

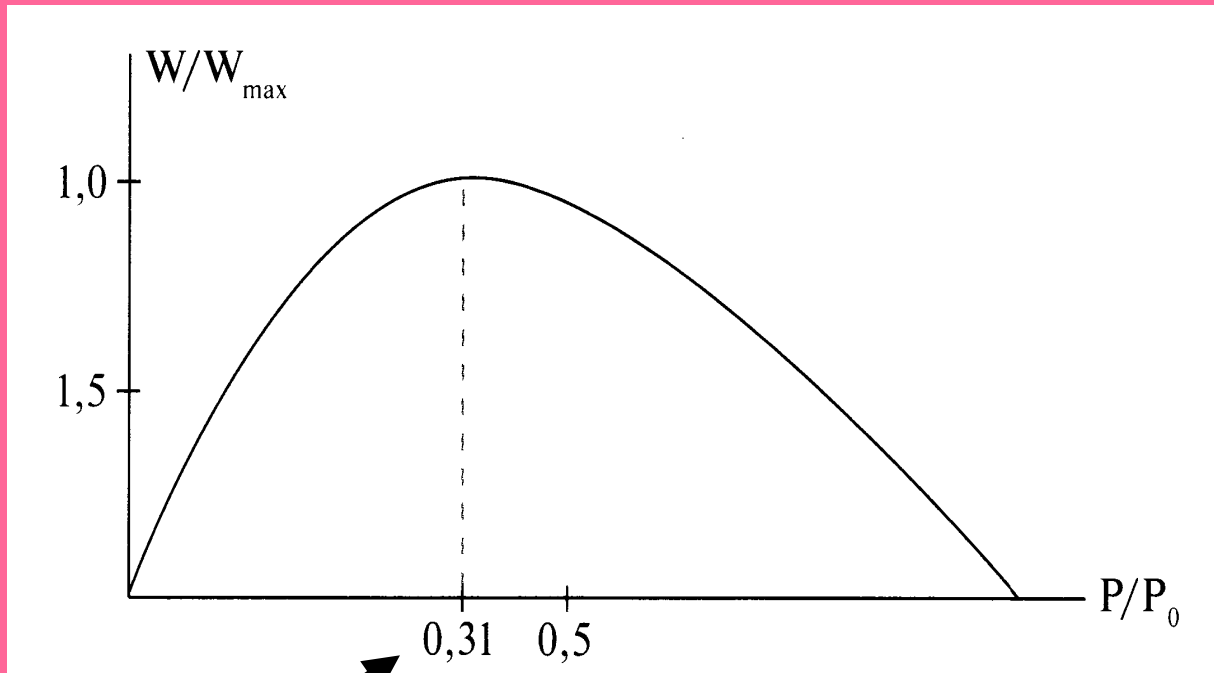
**$W=0$  при  $P=P_0$  и  $P=0$**

**$W_{\max}$  при оптимальной величине  
нагрузки  $P_{\text{опт}}$**

$$P_{\text{опт}} = \sqrt{a(P_0 + a)} - a$$



$$P_{\tilde{i}\tilde{o}} = \sqrt{a(P_0 + a)} - a$$



То есть когда  $P=0.31P_0$