

Дальневосточный государственный медицинский университет
Кафедра нормальной физиологии

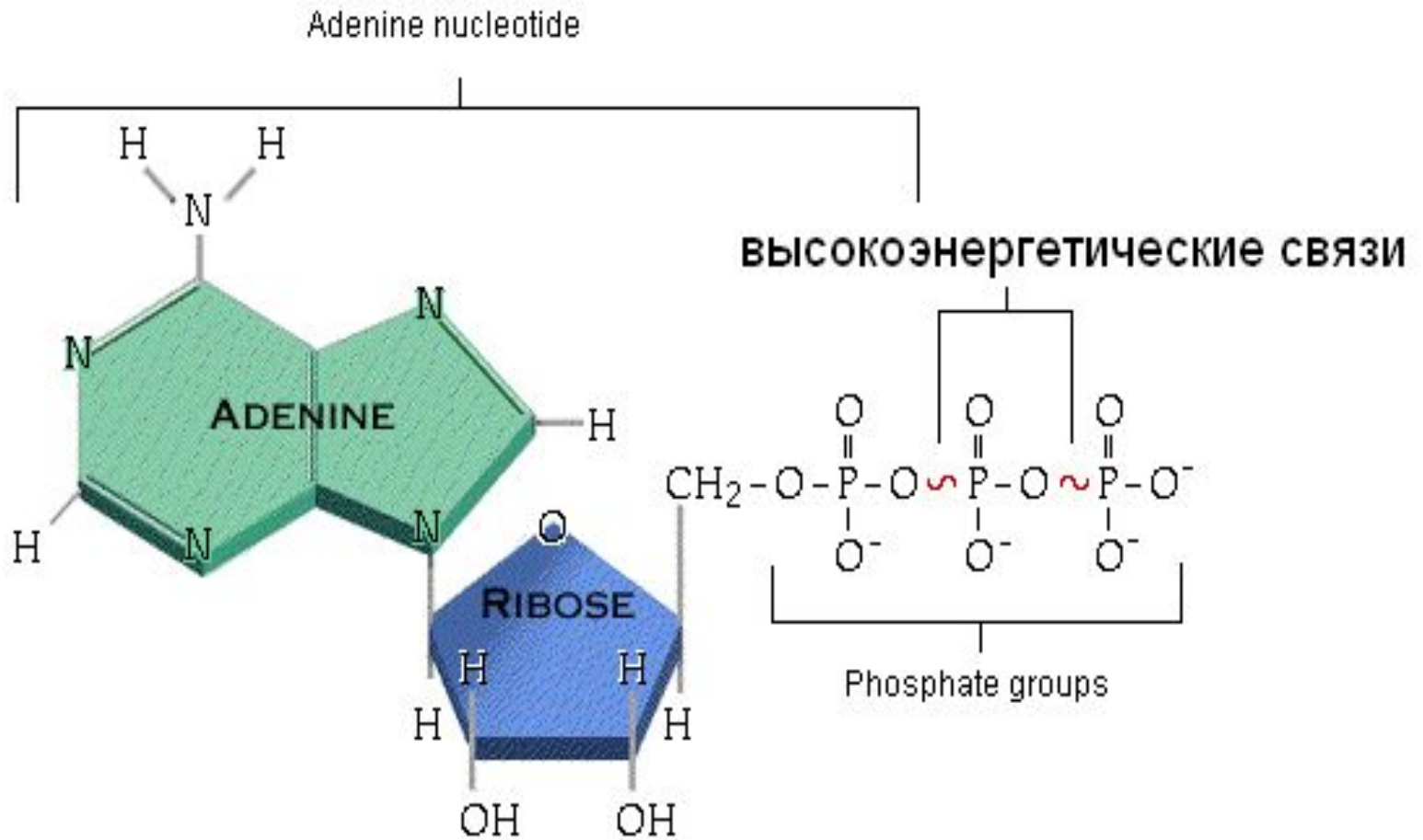
ФИЗИОЛОГИЯ МЫШЦ



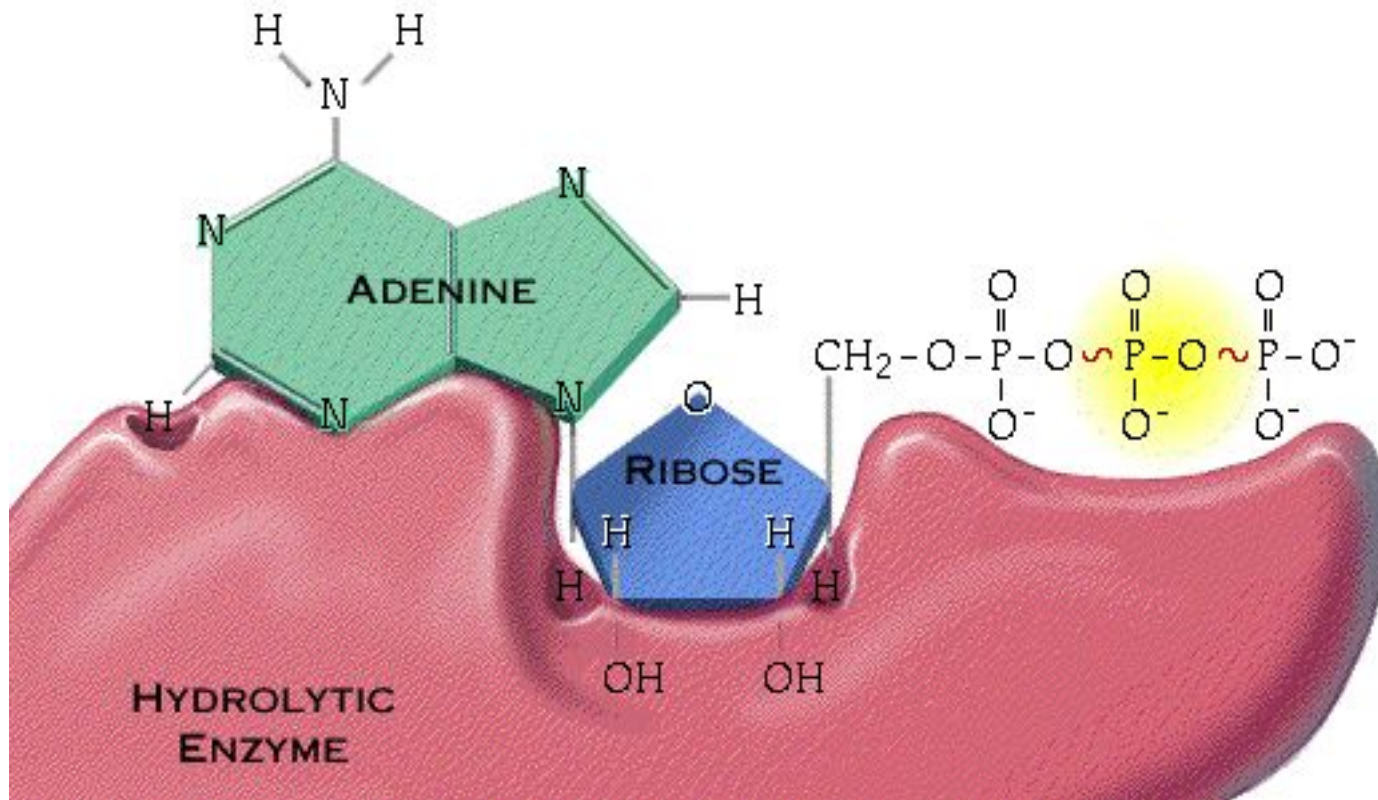
Адаптированный перевод текста
обучающей программы с
иллюстрациями

Метаболизм мышцы

Структура АТФ



Гидролиз АТФ



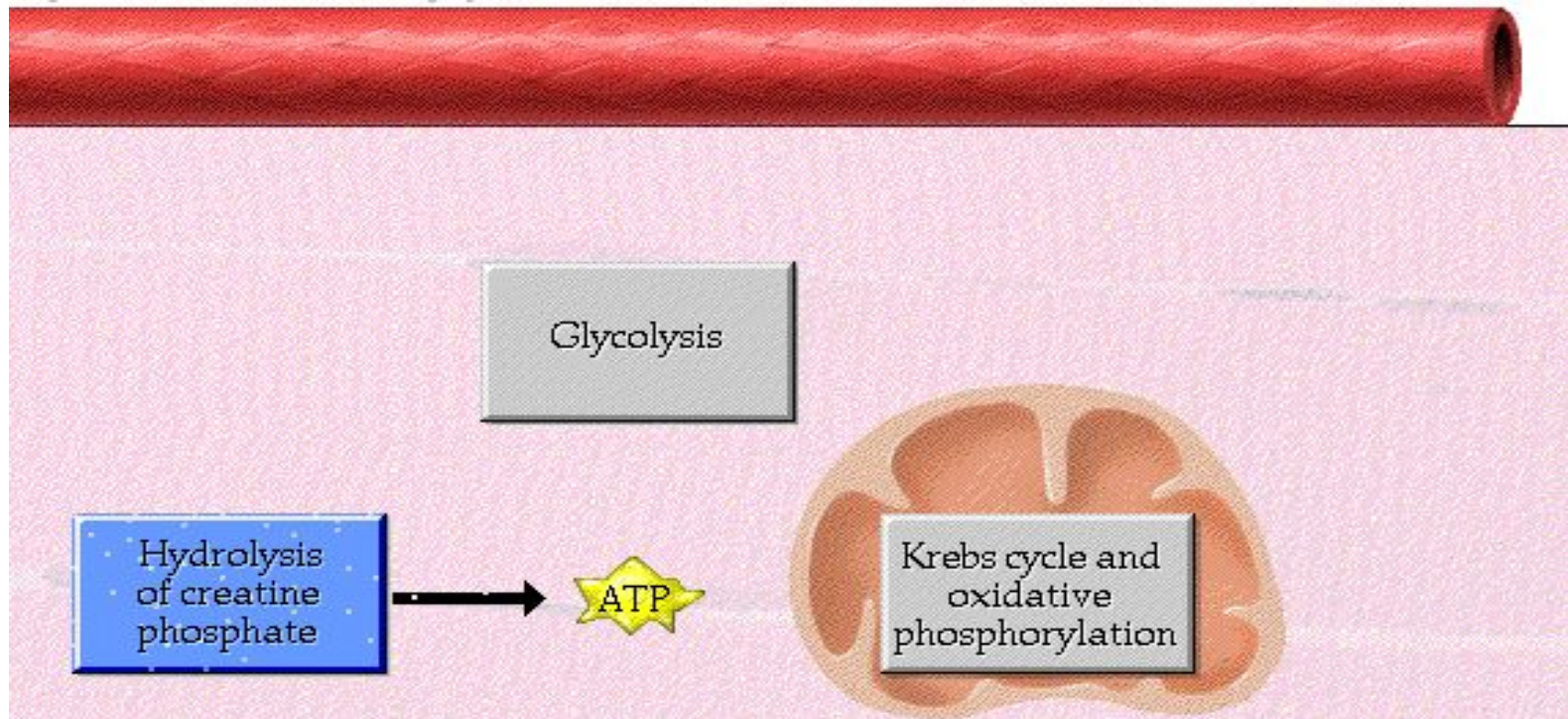
Потенциальная (запасенная) энергия АТФ высвобождается при разрыве концевых высокоэнергетических связей **гидролитическими ферментами**.

Энергия, необходимая для мышечного сокращения, запасается в виде АТФ. Однако, количество АТФ ограничено и исчерпывается во время нескольких одиночных мышечных сокращений. Чтобы поддерживать мышечное сокращение необходимо постоянное образование новых макроэргических молекул.

Когда уровень АТФ в мышечном волокне снижается, используются три источника для синтеза АТФ:

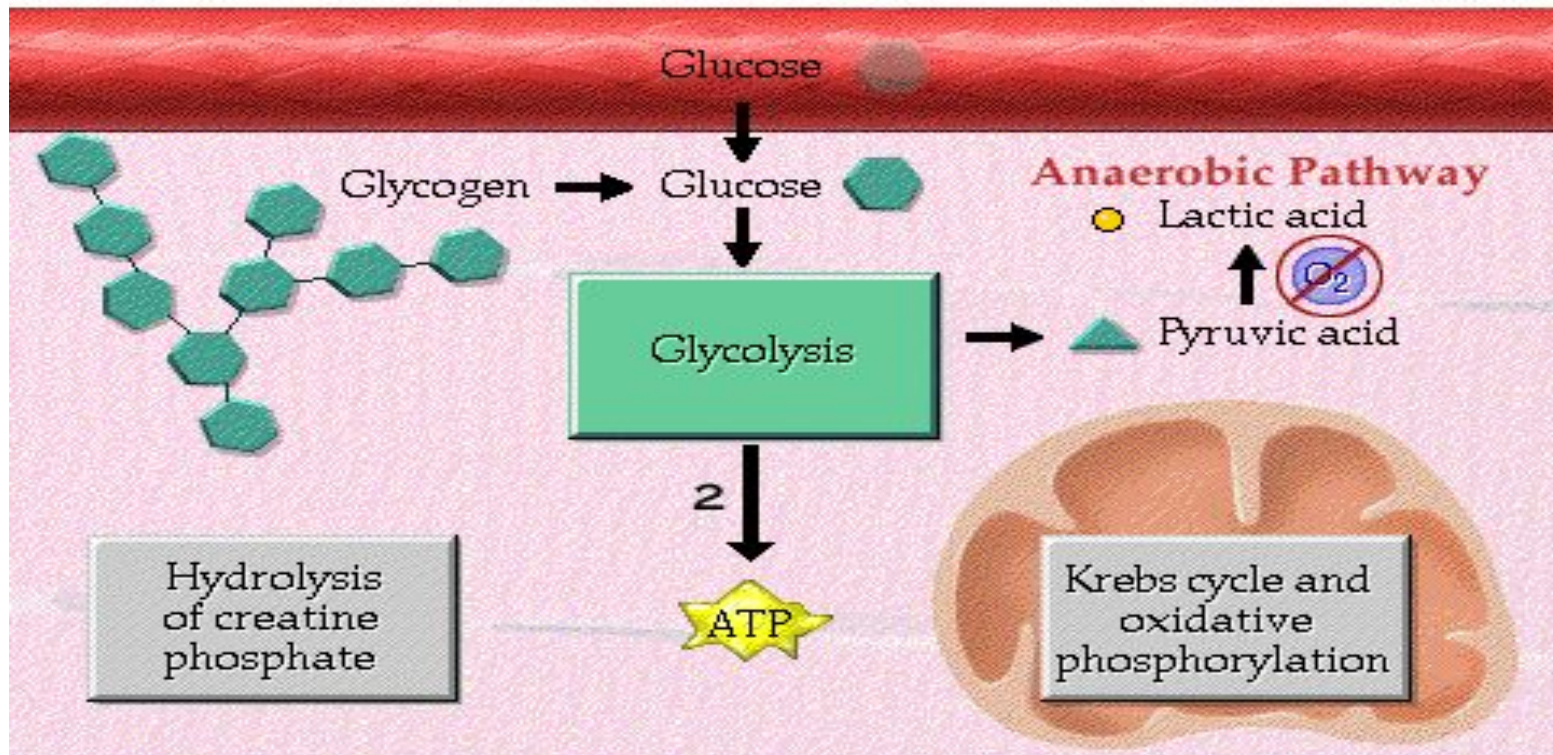
- Гидролиз креатин-фосфата
- Анаэробный путь – гликолиз
- Оксидативное фосфорилирование - цикл Кребса.

Роль креатин-фосфата



Креатин-фосфат – самый быстрый источник восполнения АТФ в мышце. С помощью ферментативных реакций фосфатные группы переносятся с молекул креатин-фосфата на АДФ. При этом образуется АТФ. Количество креатин-фосфата в мышце ограничено и быстро истощается. Этот путь образования АТФ может обеспечить примерно 5 секунд максимальной двигательной активности мышцы.

Роль гликолиза

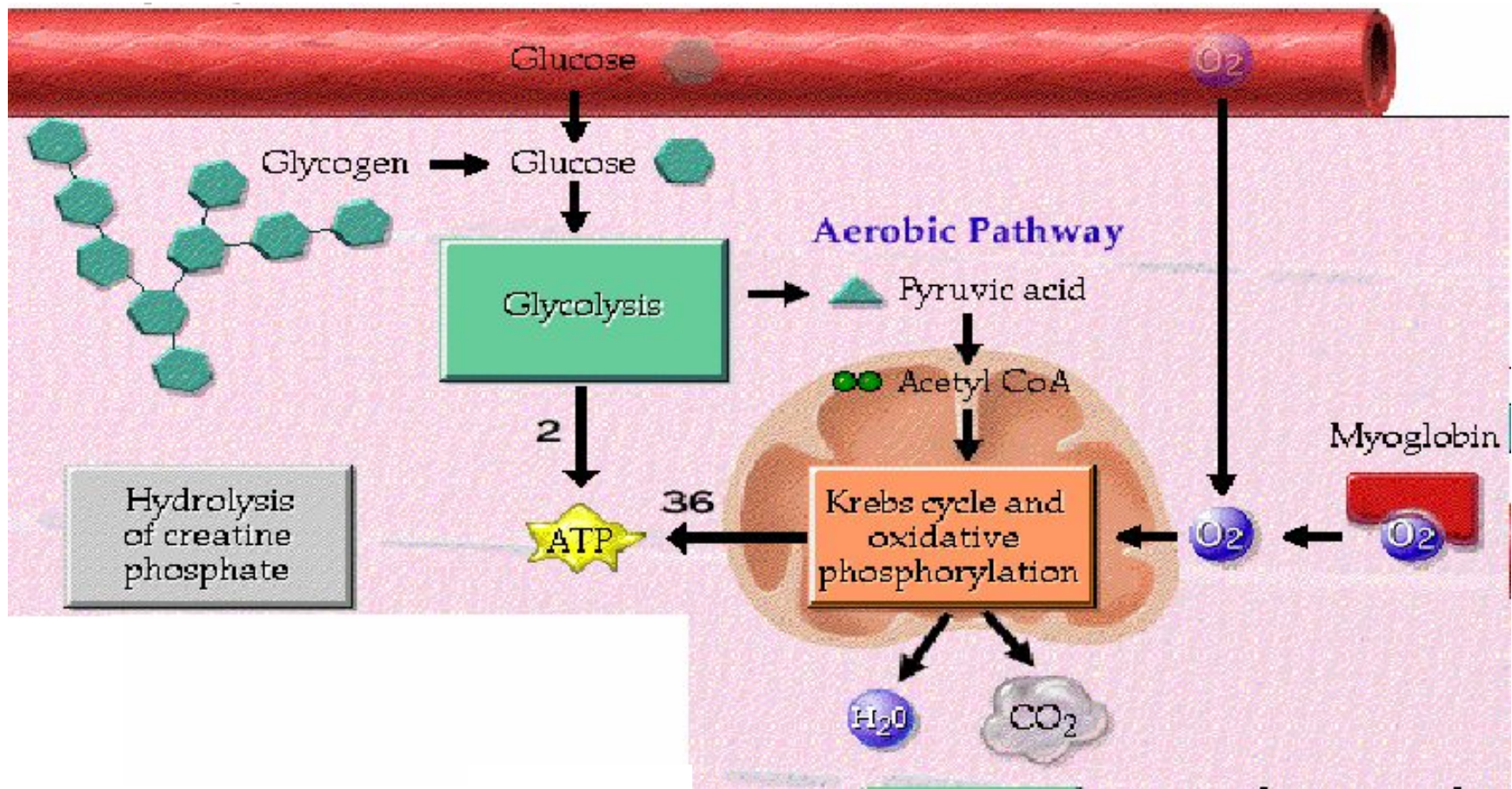


Глюкоза – главный источник энергии для синтеза АТФ. Глюкоза может поступать в мышечное волокно непосредственно из крови, а может образовываться из запасенного в мышце гликогена.

Глюкоза может использоваться в процессе **гликолиза**. При гликолизе одной молекулы глюкозы образуется **2 молекулы АТФ** и **пировиноградная кислота**, которая **в отсутствие кислорода** превращается в **молочную кислоту**. Т.о. молочная кислота – конечный продукт анаэробного метаболизма глюкозы.

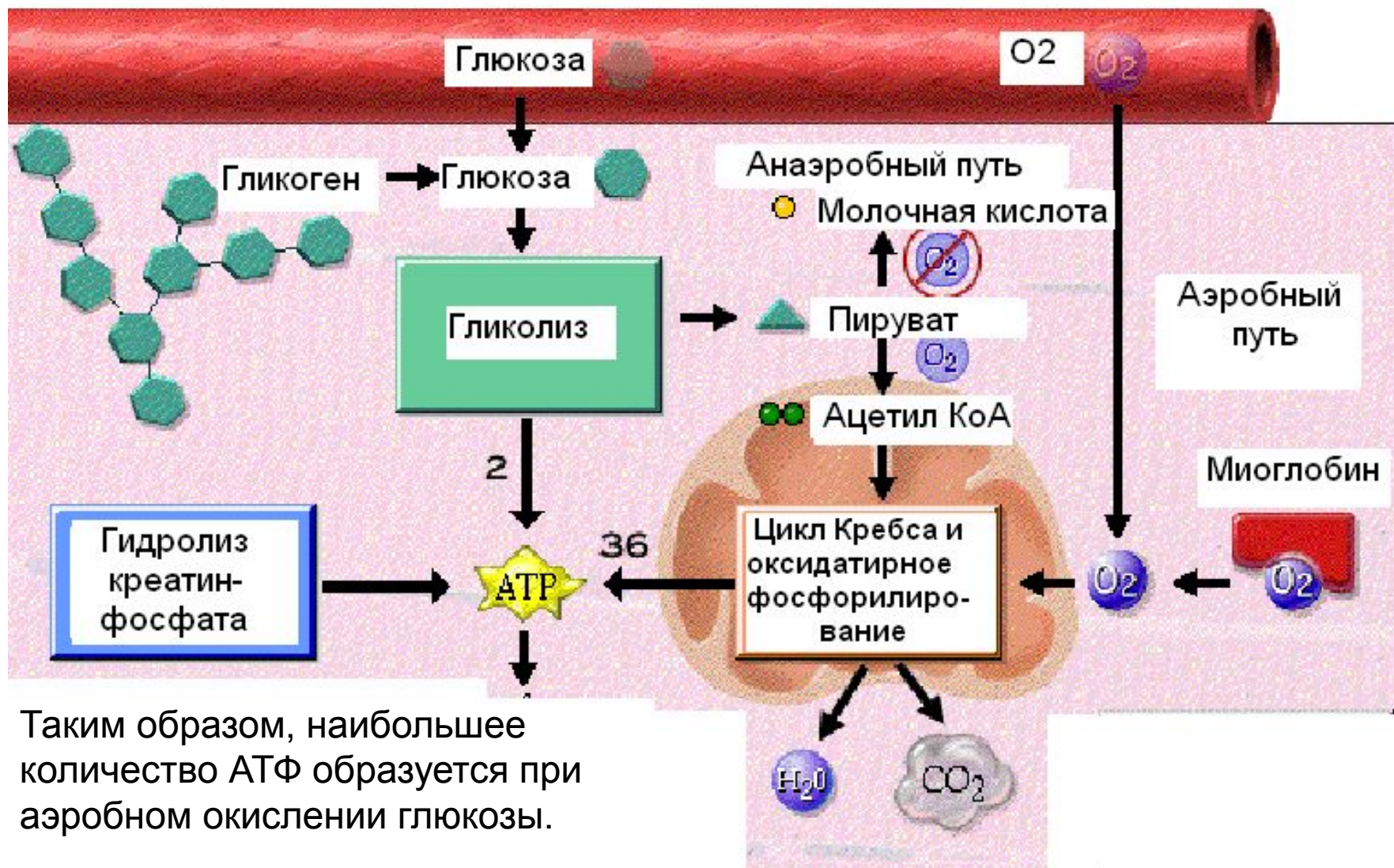
Гликолиз может обеспечить 1-2 мин максимальной двигательной активности мышцы.

Окислительное фосфорилирование



В присутствии кислорода реализуется **аэробный путь** образования АТФ. При этом образуется углекислый газ, вода и **36 молекул АТФ**. Аэробное окисление глюкозы может обеспечить длительную активность средней мощности.

3 способа образования АТФ в мышечном волокне



Таким образом, наибольшее количество АТФ образуется при аэробном окислении глюкозы.

Мышцы способны выполнять различные виды движения. Поэтому существуют разные типы мышечных волокон с преобладанием разного типа синтеза АТФ, что отражается на их морфологии.

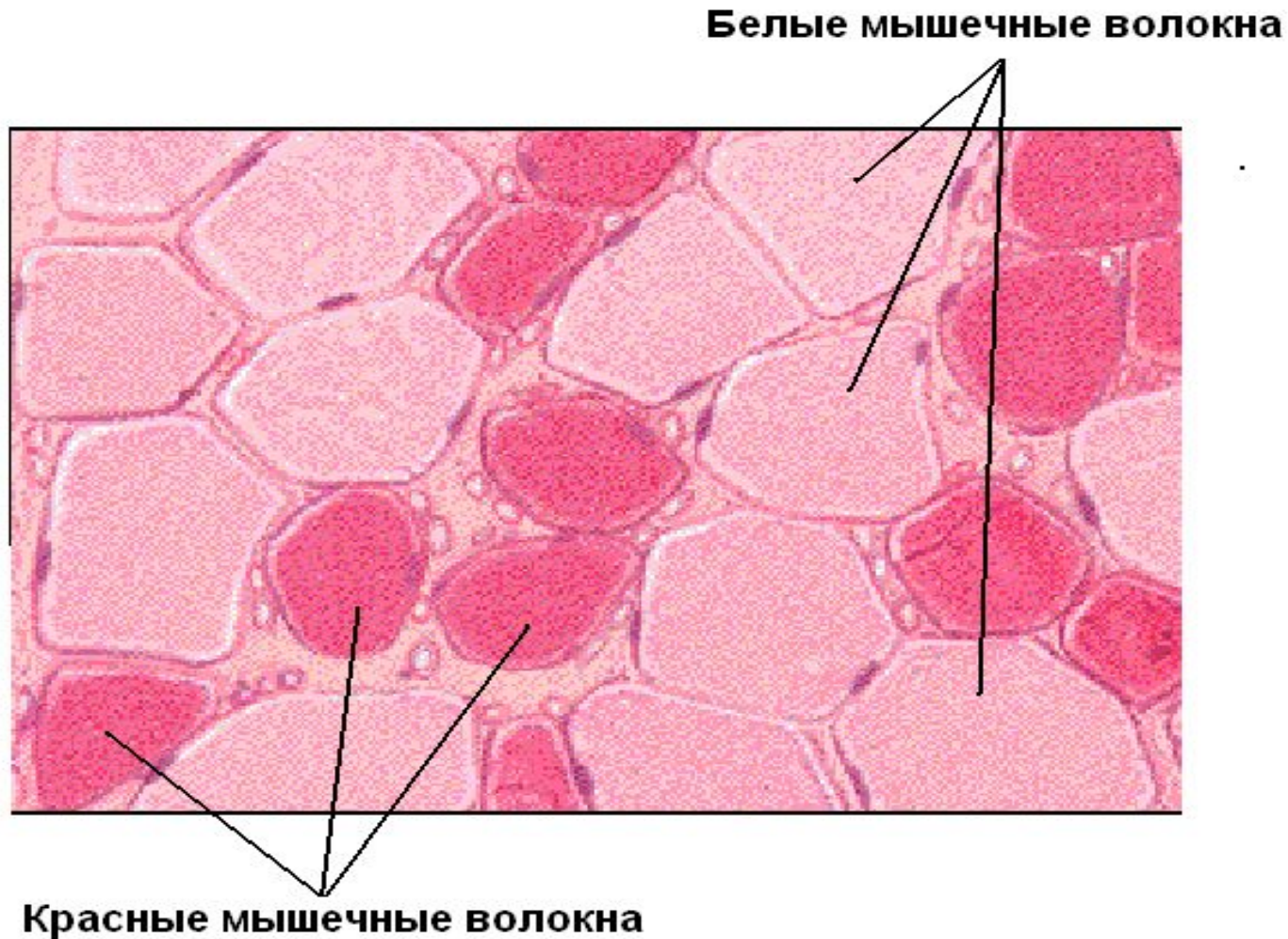


Рис.: Поперечный срез скелетной мышечной ткани

Белые мышечные волокна



Красные мышечные волокна

Белые мышечные волокна:

- Имеют относительно большой диаметр
- Отличаются светлым цветом, поскольку в них снижено количество миоглобина
- Окружены небольшим количеством капилляров
- Имеют относительно небольшое количество митохондрий
- Характеризуются высоким содержанием гликогена

Белые мышечные волокна получают АТФ, главным образом, за счет гликолиза. Из-за небольшого количества окружающих капилляров и миоглобина эти волокна используют мало кислорода. Незначительное количество митохондрий в цитозоле также определяет небольшое количество потребляемого кислорода. В то же время высокое содержание гликогена обуславливает достаточное количество молекул глюкозы для процесса гликолиза. Поэтому такие мышечные волокна называются **гликолитическими**.

Белые мышечные волокна



Красные мышечные волокна

Красные мышечные волокна

- Диаметр красных мышечных волокон примерно в 2 раза меньше диаметра белых мышечных волокон
- Отличаются темно-красным цветом из-за высокого содержания миоглобина
- Окружены большим количеством капилляров
- Имеют множество митохондрий
- Характеризуются низким содержанием гликогена

Для синтеза АТФ **красные мышечные волокна** используют, главным образом, цикл Кребса и окислительное фосфорилирование. Эффективному доступу и использованию кислорода способствует большое количество капилляров, высокое содержание миоглобина, множество митохондрий. Небольшой диаметр волокон облегчает диффузию кислорода. Из-за низкого количества гликогена для энергетического обеспечения красных мышечных волокон часто используется не глюкоза, а жирные кислоты. Последние распадаются до ацетил КоА и включаются в цикл Кребса. Поскольку красные мышечные волокна получают свою энергию, главным образом, при использовании кислорода, то их еще называют **оксидативными**.

- Волокна скелетных мышц подразделяются на **быстрые и медленные**. Быстрые и медленные мышечные волокна содержат разные изоферменты миозина, которые расщепляют АТФ с разной скоростью. Высокая АТФазная активность миозина характерна для быстрых волокон, а низкая АТФазная активность – для медленных.

На основании двух рассмотренных характеристик (скорость работы и тип метаболизма) выделяют три типа волокон скелетных мышц:

- медленные оксидативные волокна;
- быстрые оксидативные волокна;
- быстрые гликолитические волокна.

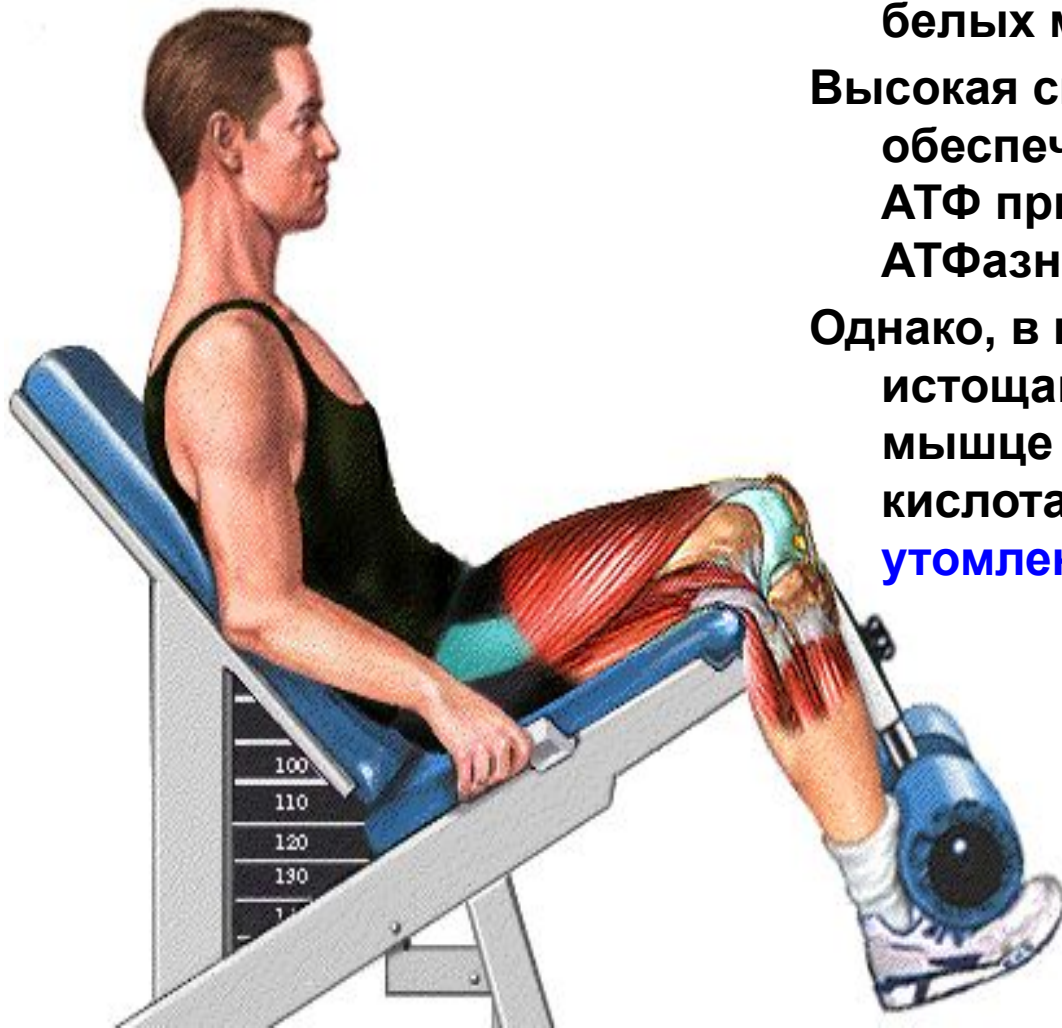
(четвертый теоретически возможный вариант – медленные гликолитические волокна не обнаружены).

Мышцы с преобладанием белых мышечных волокон нужны для осуществления быстрого и сильного мышечного сокращения.

Сила сокращения обеспечивается большим количеством миофибрилл в белых мышечных волокнах.

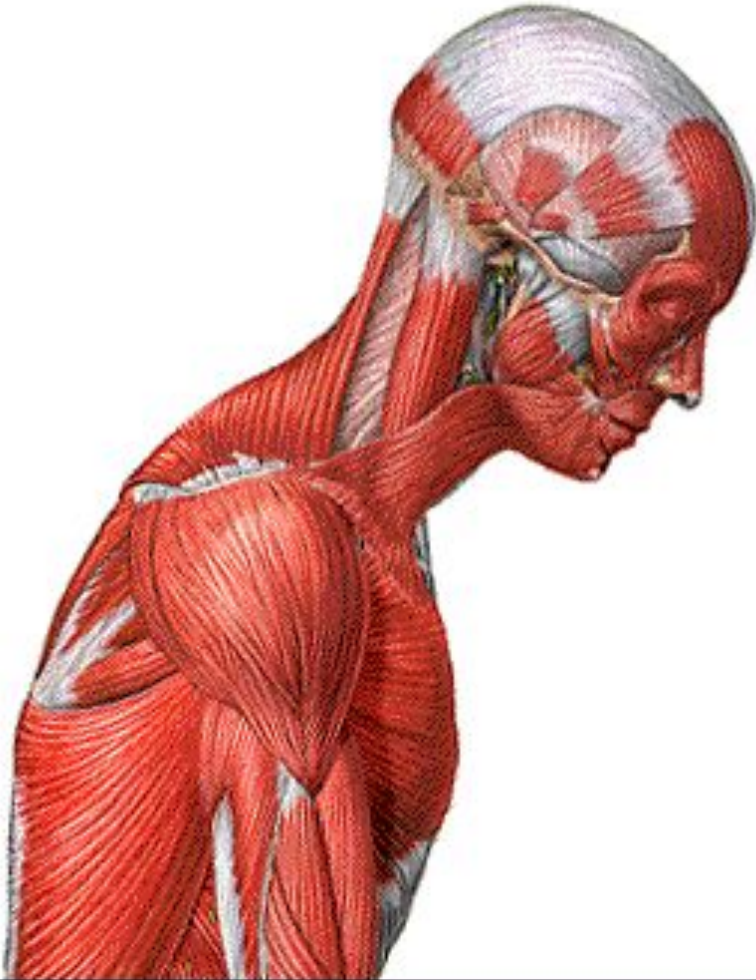
Высокая скорость сокращения обеспечивается быстрым синтезом АТФ при гликолизе и высокой АТФазной активностью миозина.

Однако, в процессе гликолиза быстро истощаются запасы гликогена в мышце и накапливается молочная кислота, что обеспечивает **быстрое утомление белых мышечных волокон.**

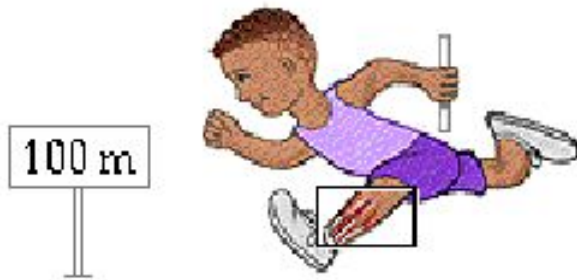


Мышцы с преобладанием красных мышечных волокон преимущественно служат для относительно медленных и продолжительных сокращений.

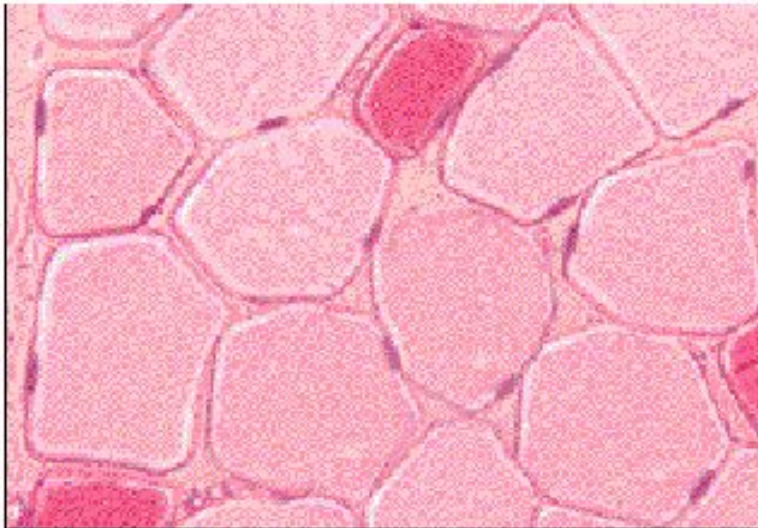
Мышцы с преобладанием красных мышечных волокон способны длительно поддерживать сокращение и очень устойчивы к утомлению.



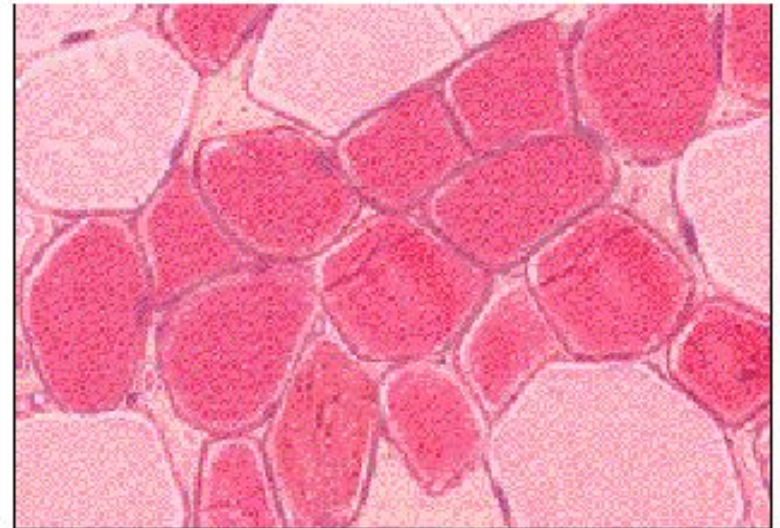
Каждая мышца представляет собой смесь разных мышечных волокон. У разных людей, занимающихся разными видами спорта, соотношение белых и красных волокон в мышцах существенно отличается.



Спринтер: в мышцах много белых мышечных волокон (быстрых и быстро-утомляемых)



Стайер: в мышцах много красных мышечных волокон (медленных и устойчивых к утомлению)



Р Е З Ю М Е

1) В процессе сокращения мышцы происходит постоянная затрата АТФ, что требует ресинтеза макроэргов.

2) АТФ может синтезироваться

- при гидролизе креатинфосфата
- при гликолизе
- при работе цикла Кребса и

окислительного фосфорилирования

3) Белые мышечные волокна используют для синтеза АТФ, главным образом, гликолиз. Эти волокна являются быстрыми и сильными, но они быстро утомляются.

4) Красные мышечные волокна получают АТФ, преимущественно, при работе цикла Кребса и окислительного фосфорилирования. Эти волокна устойчивы к утомлению и очень выносливы.

