

Энергетика клетки



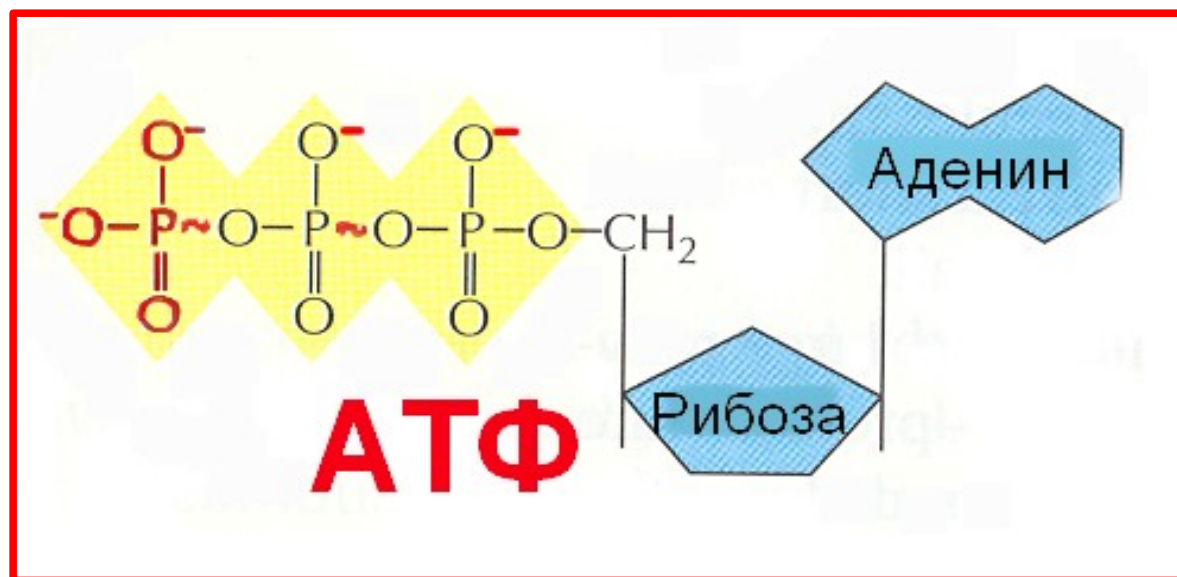
кДж/моль

32,23 (30,5)

36,0

33,4

Самый известный источник энергии в клетке — это АТФ. В молекуле АТФ — две макроэргические связи.



В молекуле АТФ — две макроэнергические связи.



кДж/моль

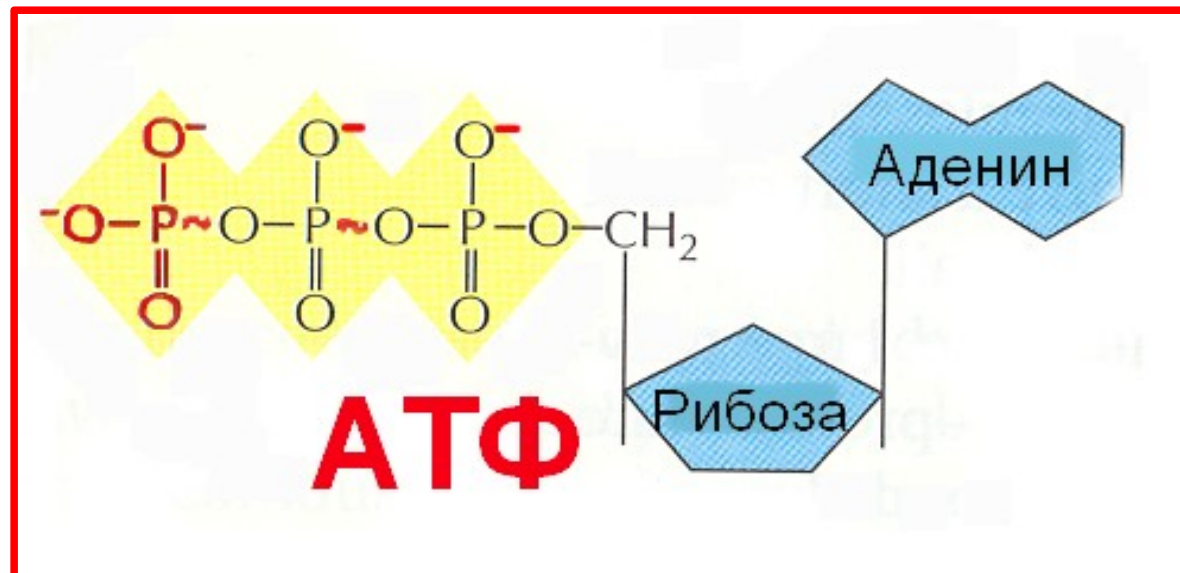
32,23 (30,5)

36,0

33,4

(Ф ~ Ф - пиррофосфат)

Одни ферменты разрывают связь между третьим и вторым фосфатом, другие — между вторым и первым. Во втором случае отщепляется пиррофосфат, который также содержит высоко энергетическую связь.



ГТФ и ЦТФ обладают такой же энергией макроэргической связи как и АТФ. Макроэргические связи есть и в других молекулах, кроме нуклеотидтрифосфатов

кДж/моль



32,23 (30,5)



36,0



33,4

1,3-дифосфоглицерат и фосфоенолпируват являются донорами энергии для получения АТФ в анаэробном гликолизе



кДж/моль
32,23 (30,5)



36,0



33,4

Ацетил-КоА

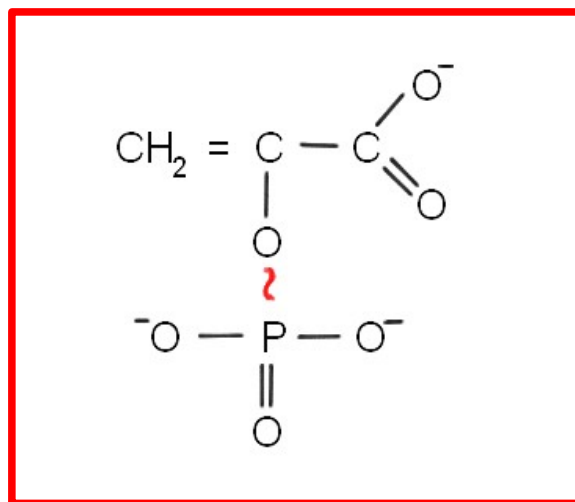
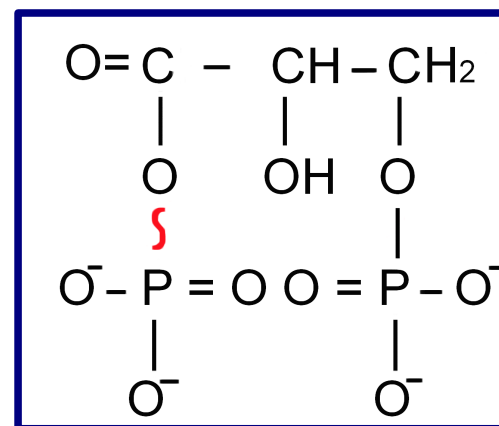
34,3

1,3 -дифосфоглицерат

34,1

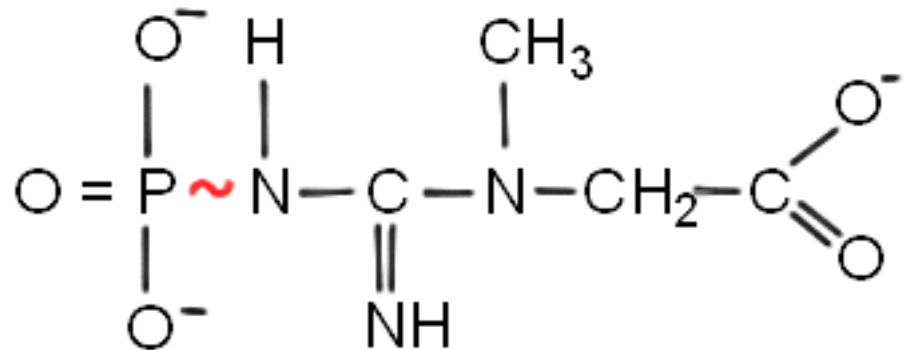
Фосфоенолпируват

54,05 (61,9)



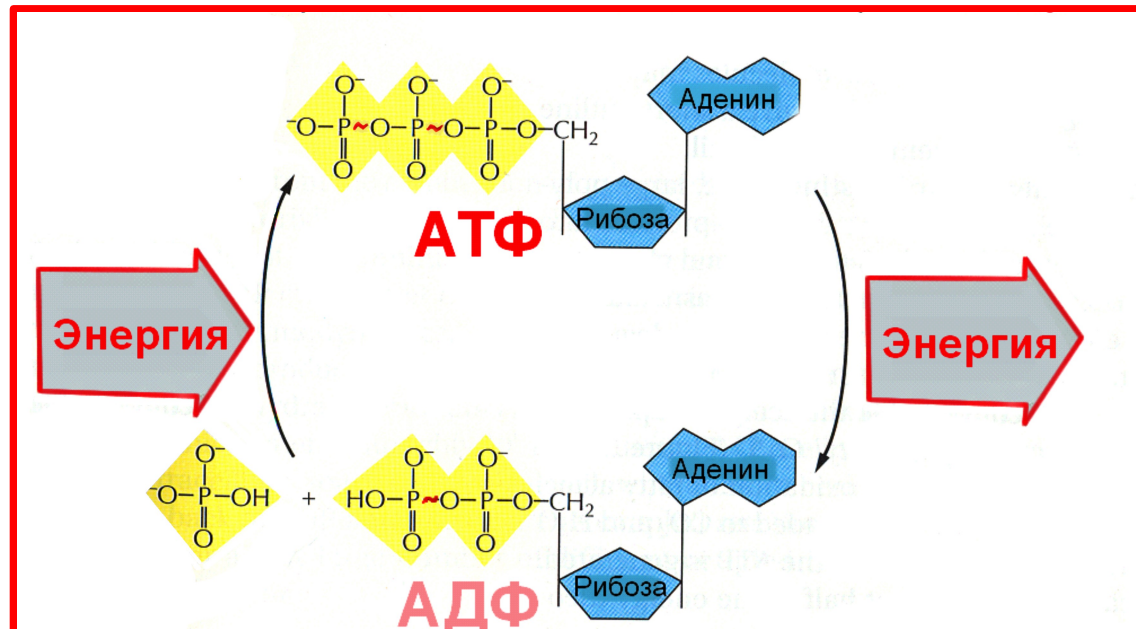
Креатинфосфат служит донором энергии при мышечном сокращении

	кДж/моль
АТФ \rightarrow АДФ + Ф	32,23 (30,5)
АТФ \rightarrow АМФ + Ф \sim Ф	36,0
Ф \sim Ф \rightarrow Ф + Ф	33,4
Ацетил-КоА	34,3
1,3 -дифосфоглицерат	34,1
Фосфоенолпируват	54,05 (61,9)
Креатинфосфат	42,7 (43,1)



Если энергия выделяется при расщеплении макроэргической связи, то она должна тратиться при её образовании.

	кДж/моль	
АТФ → АДФ + Ф	32,23 (30,5)	ГТФ
АТФ → АМФ + Ф~Ф	36,0	ЦТФ
Ф~Ф → Ф + Ф	33,4	
Ацетил-КоА	34,3	
1,3 -дифосфолицерат	34,1	
Фосфоенолпируват	54,05 (61,9)	
Креатинфосфат	42,7 (43,1)	



Существует два способа для получения молекулы с макроэнергической связью:



Взять энергию для присоединения фосфата (или ацетила) у органического соединения с высоко энергетической связью

Субстратное фосфорилирование

Использовать для присоединения фосфата энергию градиента ионов

Окислительное фосфорилирование

Анаэробный гликолиз - пример субстратного фосфорилирования: Глюкоза(C₆) → пируват (2xС₃) + 2АТФ

...1,3-дифосфоглицерат + АДФ = 3-фосфоглицерат + АТФ

...Фосфоенолпируват + АДФ = пируват + АТФ

Способ окислительного фосфорилирования Природа создала **только для получения АТФ.**



Взять энергию для присоединения фосфата (или ацетила) у органического соединения с высокоэнергетической связью

Субстратное фосфорилирование

Использовать для присоединения фосфата энергию градиента ионов

Окислительное фосфорилирование

Анаэробный гликолиз:



Большая часть энергии клетки создаётся в результате окислительного фосфорилирования в виде макроэргической связи АТФ. Затем эта энергия путем субстратного фосфорилирования распространяется по другим молекулам с высоко энергетическими связями.

Поэтому АТФ называют универсальным источником энергии в клетке.

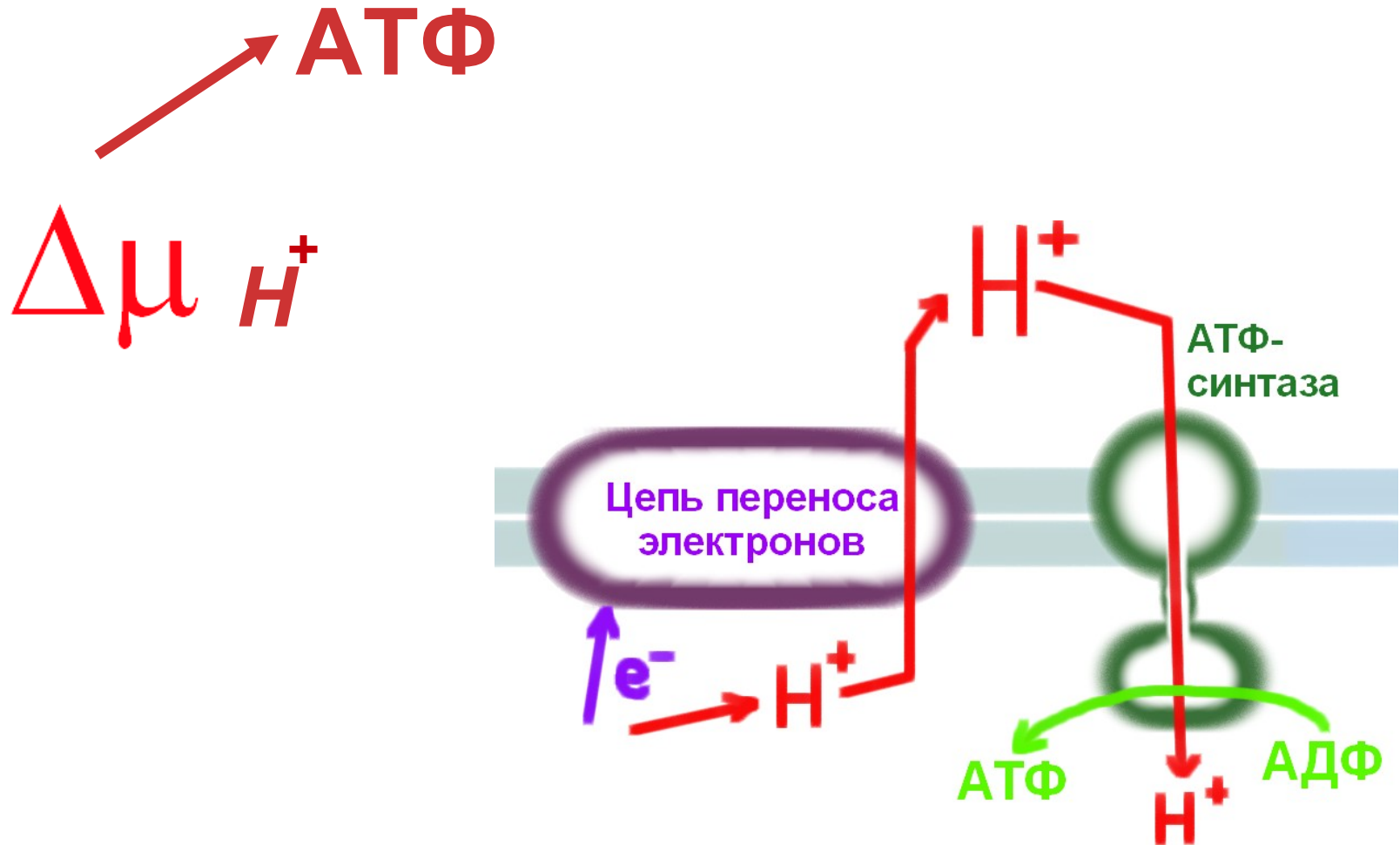
Для создания электрохимического градиента ионов обязательно нужна

- * **изолирующая мембрана,**
- * **механизм и энергия для перекачивания ионов, а также**
- * **механизм для превращения энергии градиента ионов в энергию макроэргической связи.**

Такими механизмами являются цепь переноса электронов и АТФ-синтаза, встроенные в мембрану .

Энергия электронов используется для перекачивания протонов или ионов натрия, мембрана способствует созданию их высокой концентрации. А АТФ-синтаза использует энергию градиента ионов для присоединения фосфата к АДФ.

Большинство организмов для окислительного фосфорилирования используют энергию электрохимического градиента ионов водорода.

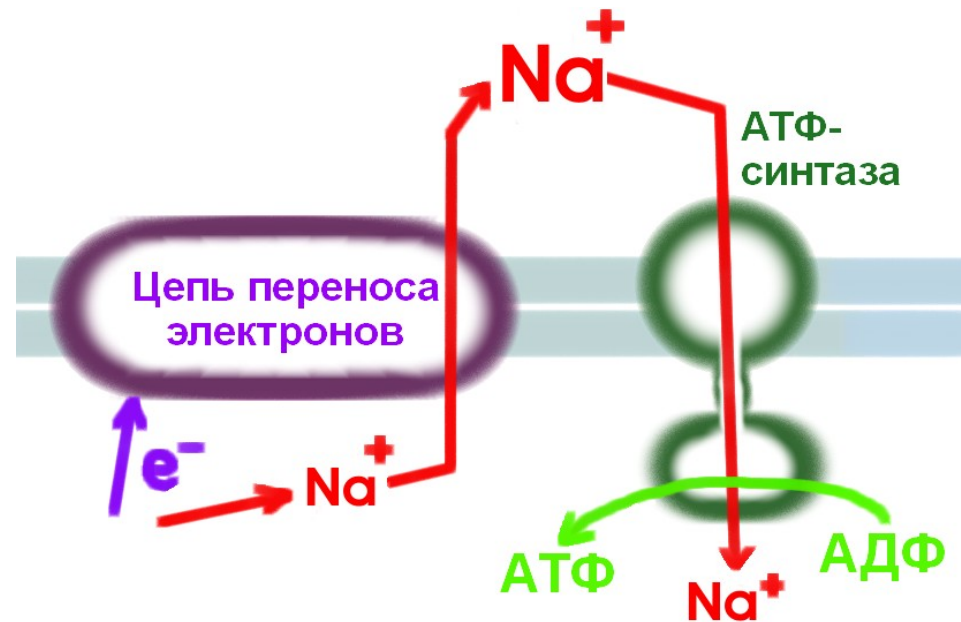


Некоторые виды архей для окислительного фосфорилирования используют энергию электрохимического градиента ионов натрия

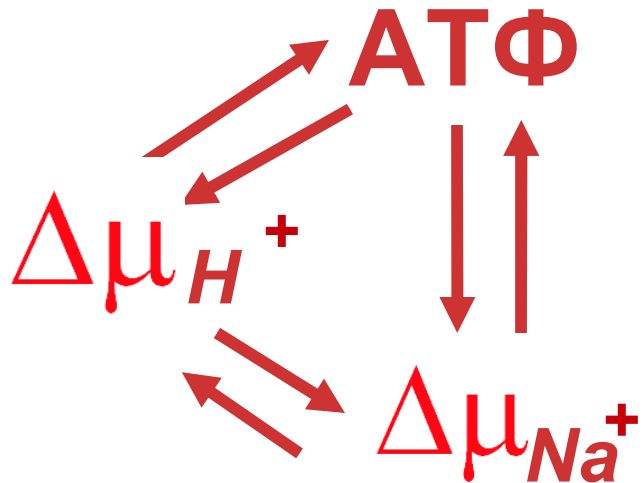
АТФ



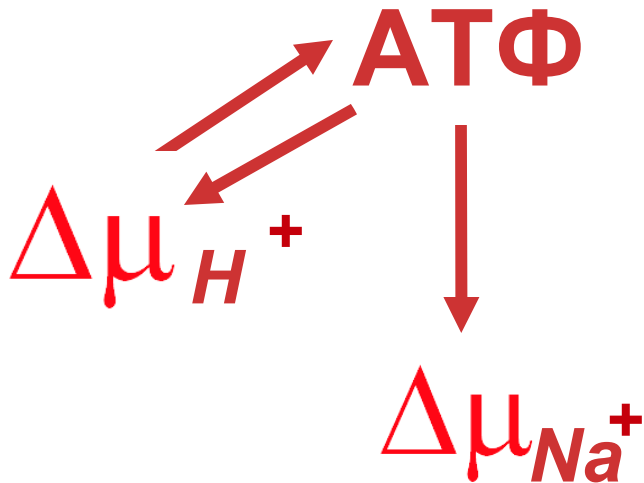
$\Delta\mu_{Na^+}$



У организмов, живущих на Земле, можно встретить все переходы видов энергии



Превращения видов энергии в животной клетке



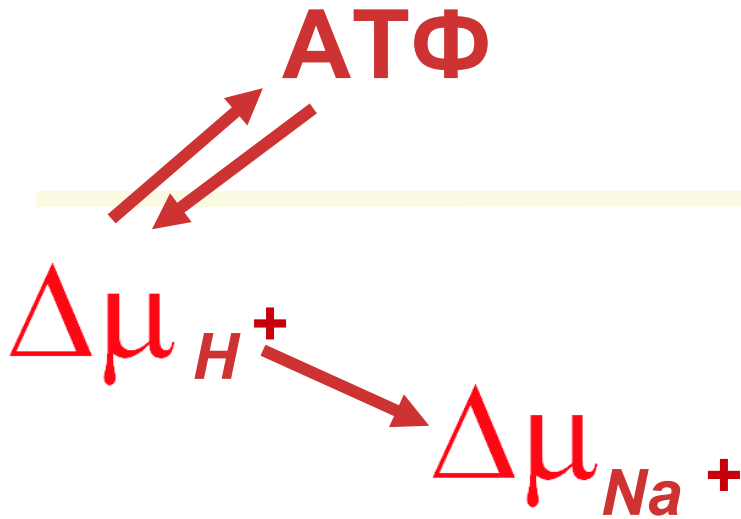
Животная клетка

Цепь переноса электронов \rightarrow $\Delta\mu_H$ \rightarrow **ATФ** Митохондрии

ATФ \rightarrow $\Delta\mu_H$ Лизосомы, Эндосомы, Секреторные гранулы

ATФ \rightarrow $\Delta\mu_{Na}$ Плазматическая мембрана

Превращения видов энергии в растительной клетке

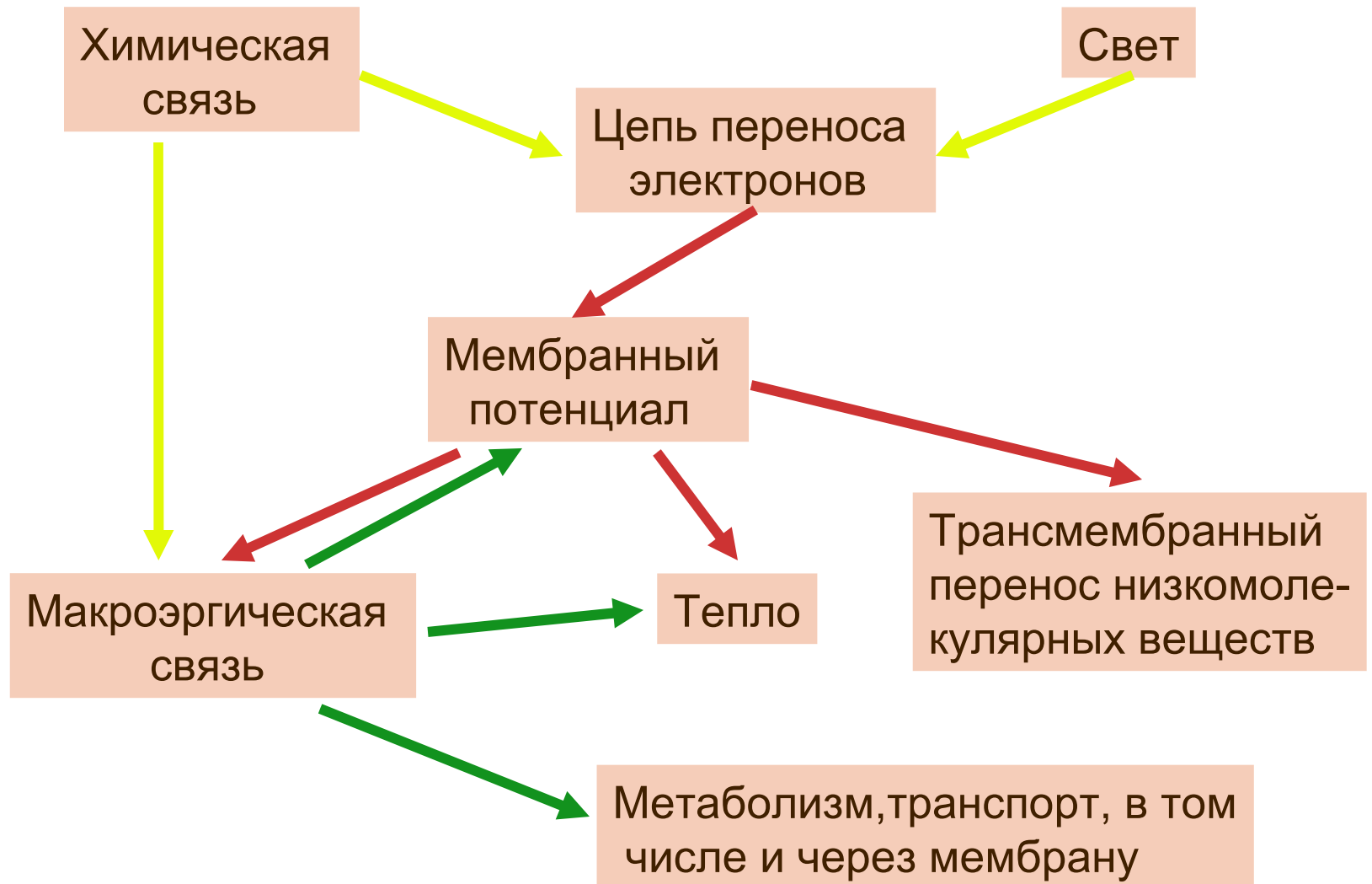


Растительная клетка

Цепь
переноса → $\Delta\mu_H$ → АТФ *Митохондрии*
электронов *Хлоропласты*

АТФ → $\Delta\mu_H$ *Вакуоль*
 $\Delta\mu_H$ → $\Delta\mu_{Na}$ *Плазматическая*
мембрана

Превращения и использование энергии в клетках



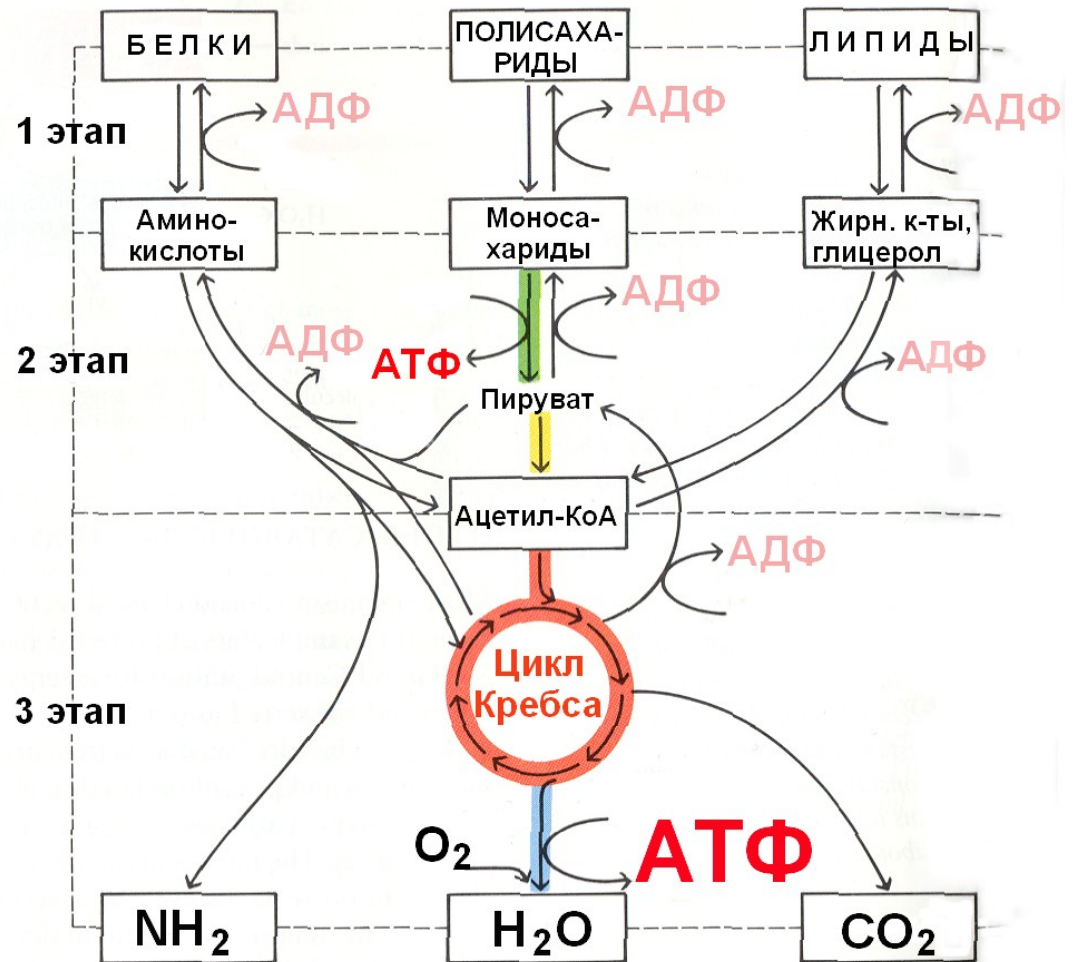
Большая часть энергии, заключенной в макроэнергических связях, образуется в виде АТФ в митохондриях,

Вторичные лизосомы, внеклеточная среда

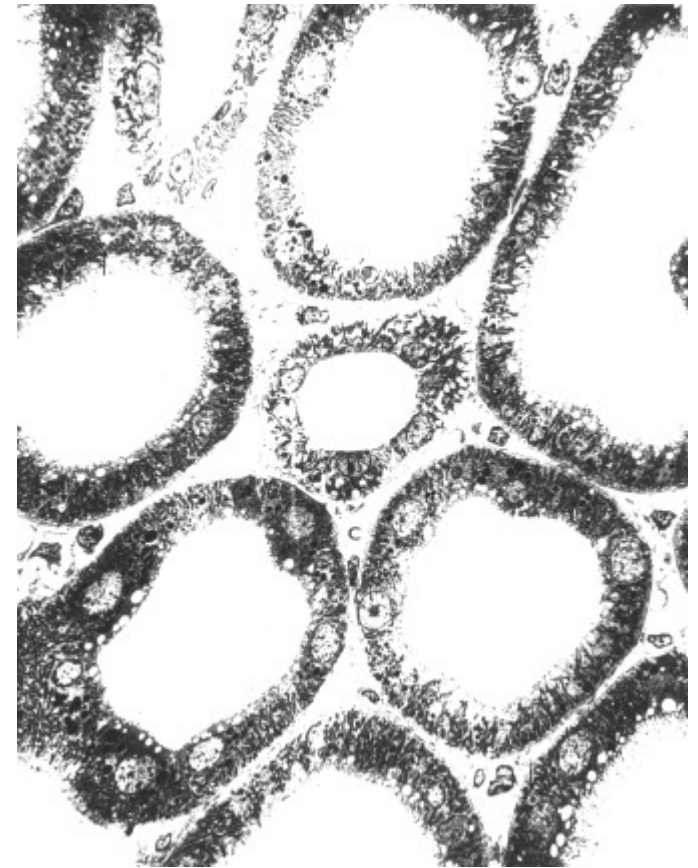
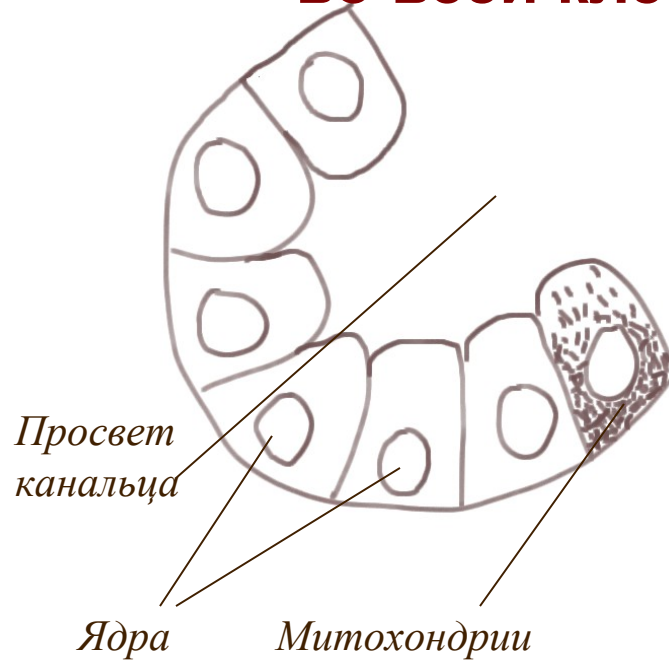
Цитозоль

Митохондрии

Основные пути метаболизма животной клетки

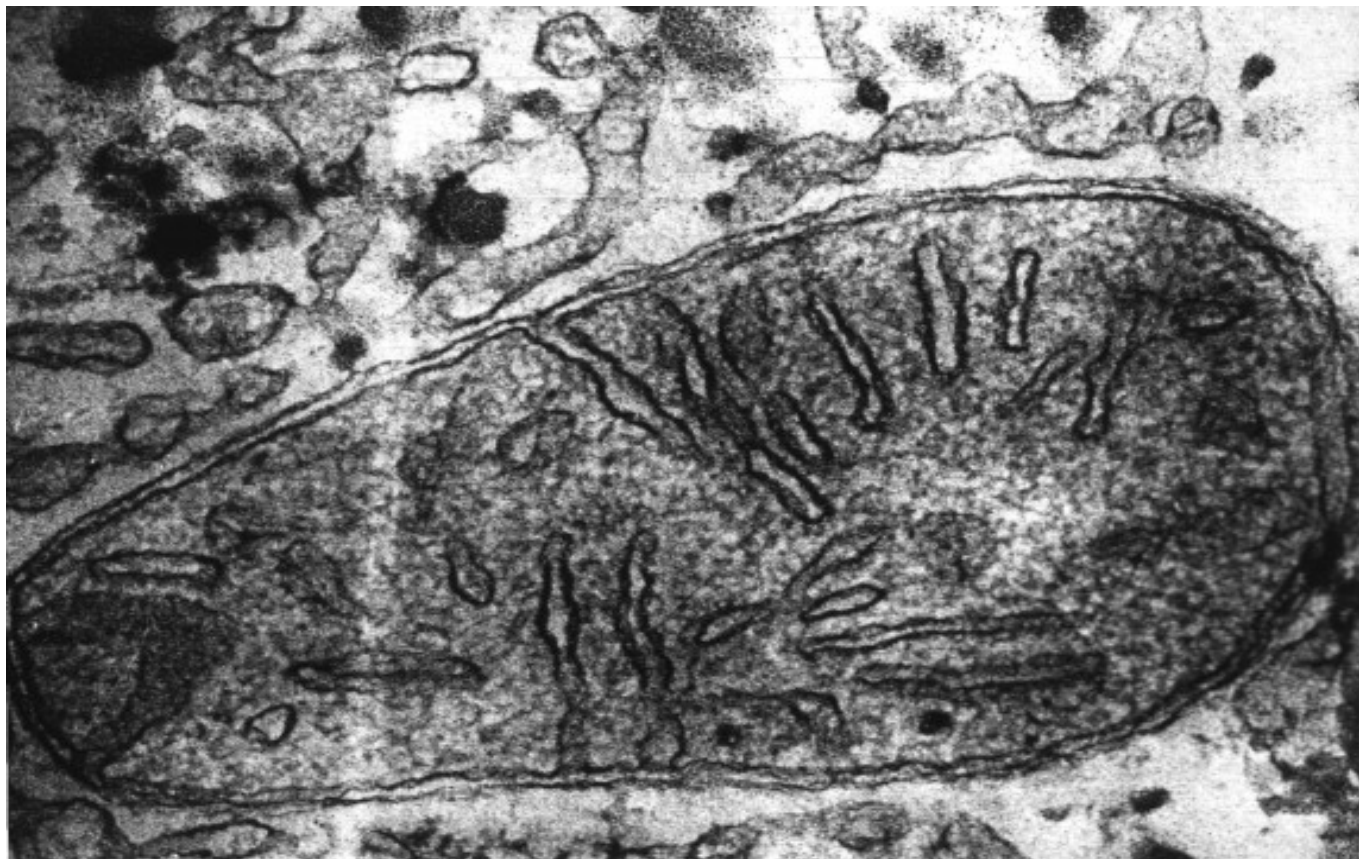


В митохондриях происходит образование АТФ путём окислительного фосфорилирования.
Эта АТФ транспортируется из митохондрий и используется **во всей клетке**



Митохондрии в клетках
эпителия почечных канальцев

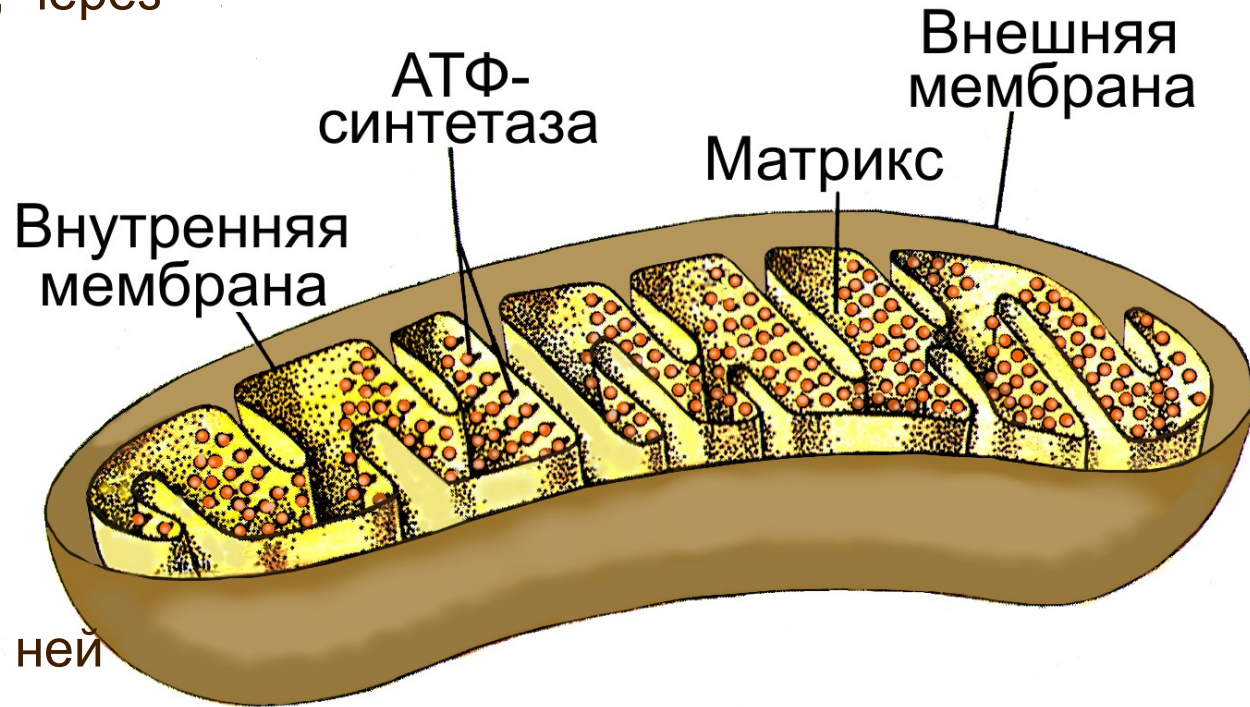
«Портрет» митохондрии из гепатоцита крысы



Схематичное изображение митохондрии из гепатоцитов млекопитающих

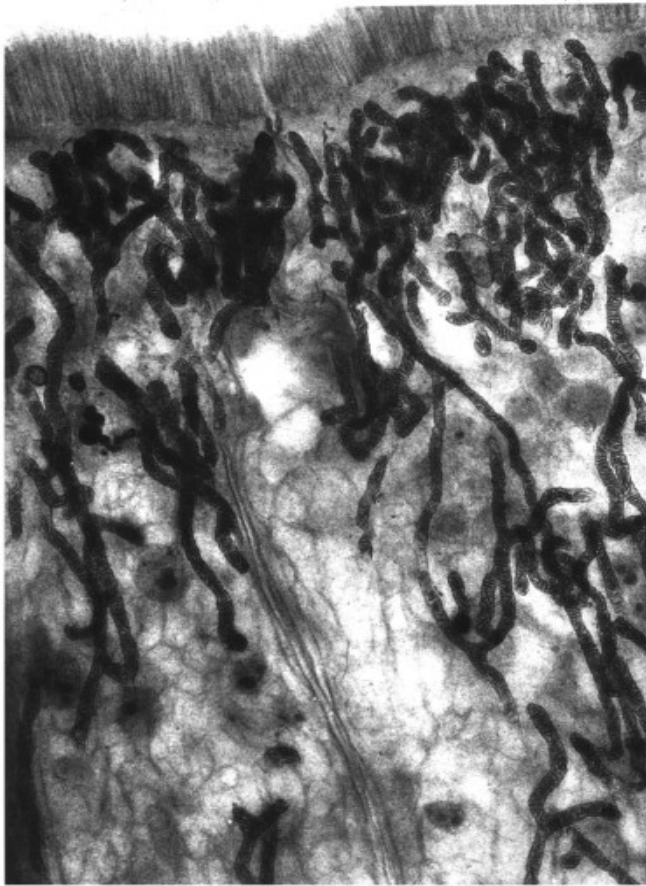
Во внешней мембране мало белков, многие образуют каналы, через которые из цитозоля в межмембранное пространство поступают низкомолекулярные вещества.

В внутренняя мембрана проницаема только для небольших неполярных веществ. В ней находятся белки цепи переноса электронов (ЦПЭ) и транспортные белки.

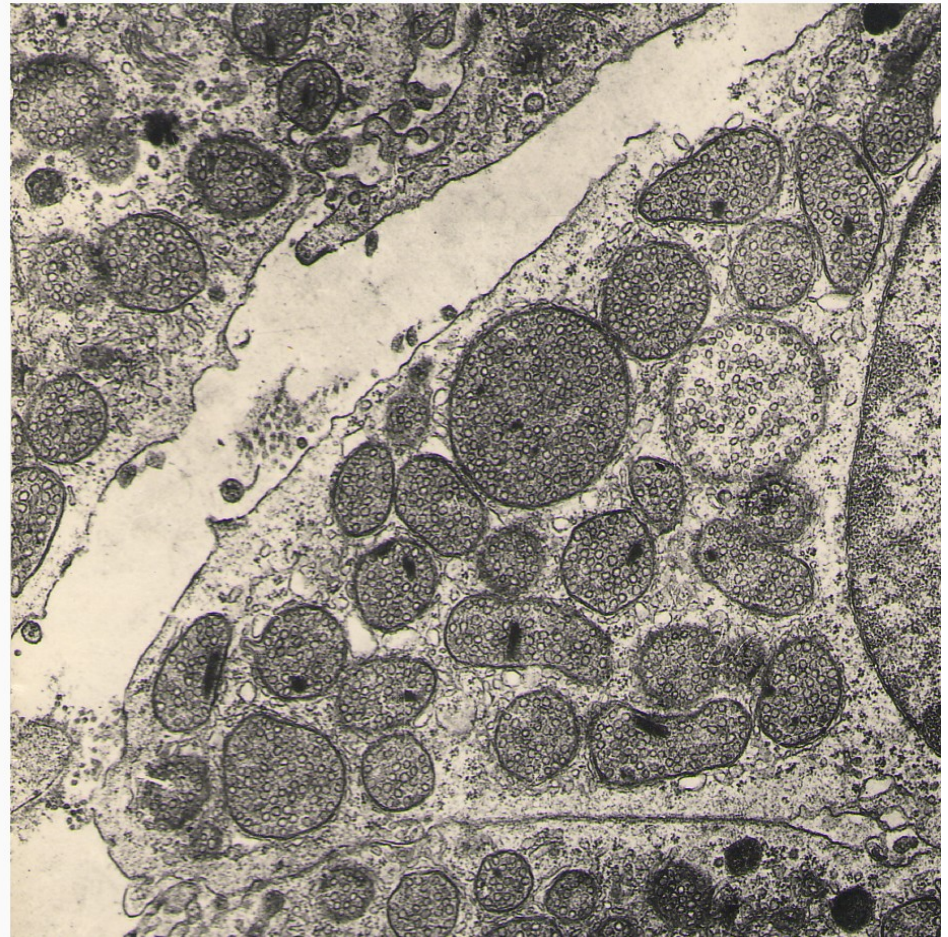


В матриксе расположены ДНК, РНК, рибосомы, ферменты цикла Кребса и многие другие ферменты. Они выполняют многочисленные функции митохондрий.

Форма митохондрий может быть разной.
Она различается в клетках разных **тканей** одного вида
и может отличаться у клеток организмов **разных видов**

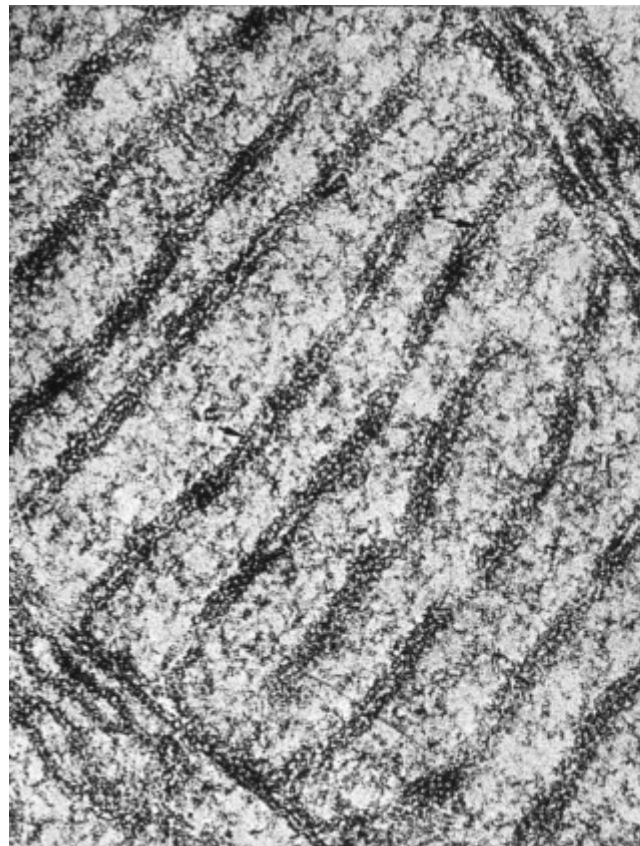
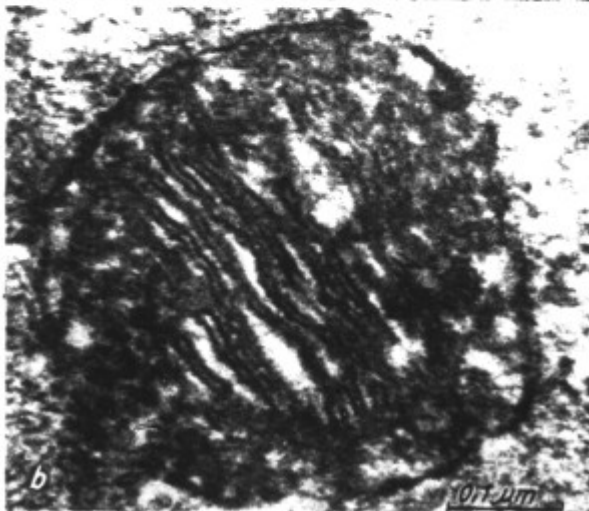


Нитевидные митохондрии в
клетках кишечника улитки

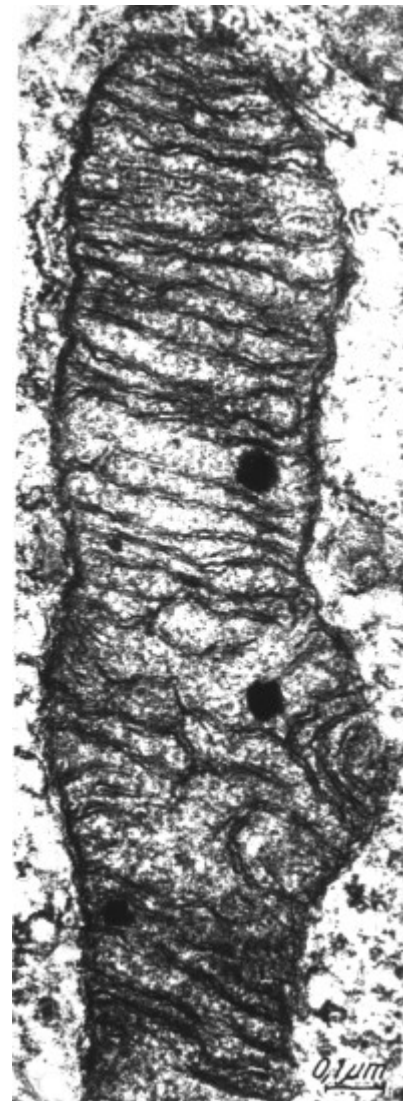
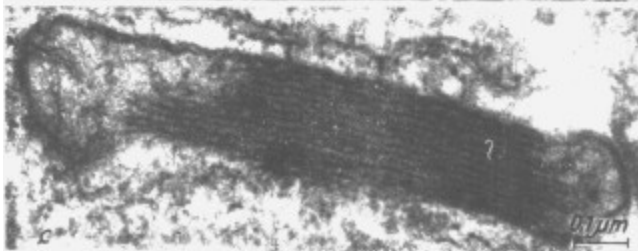
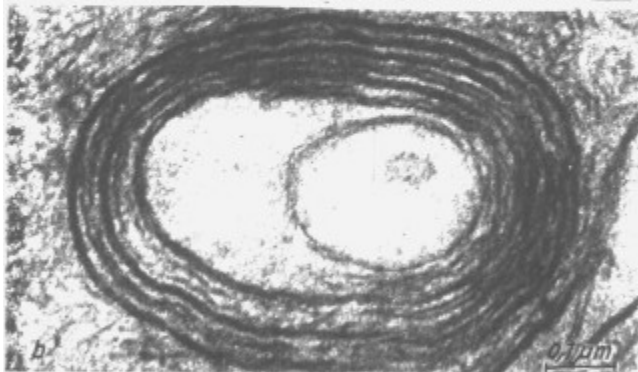
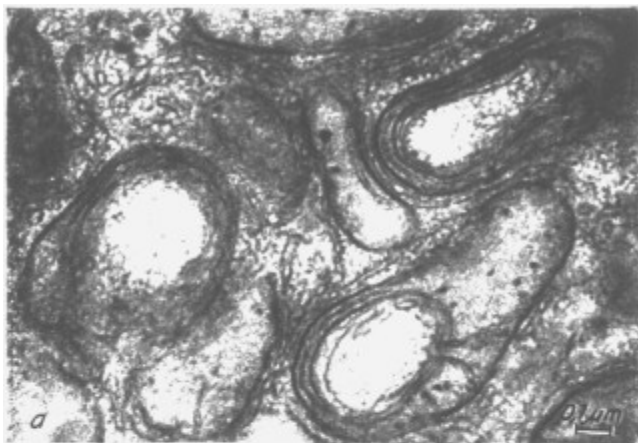


Трубчатые кристы в митохондриях
клеток коры надпочечников
млекопитающего

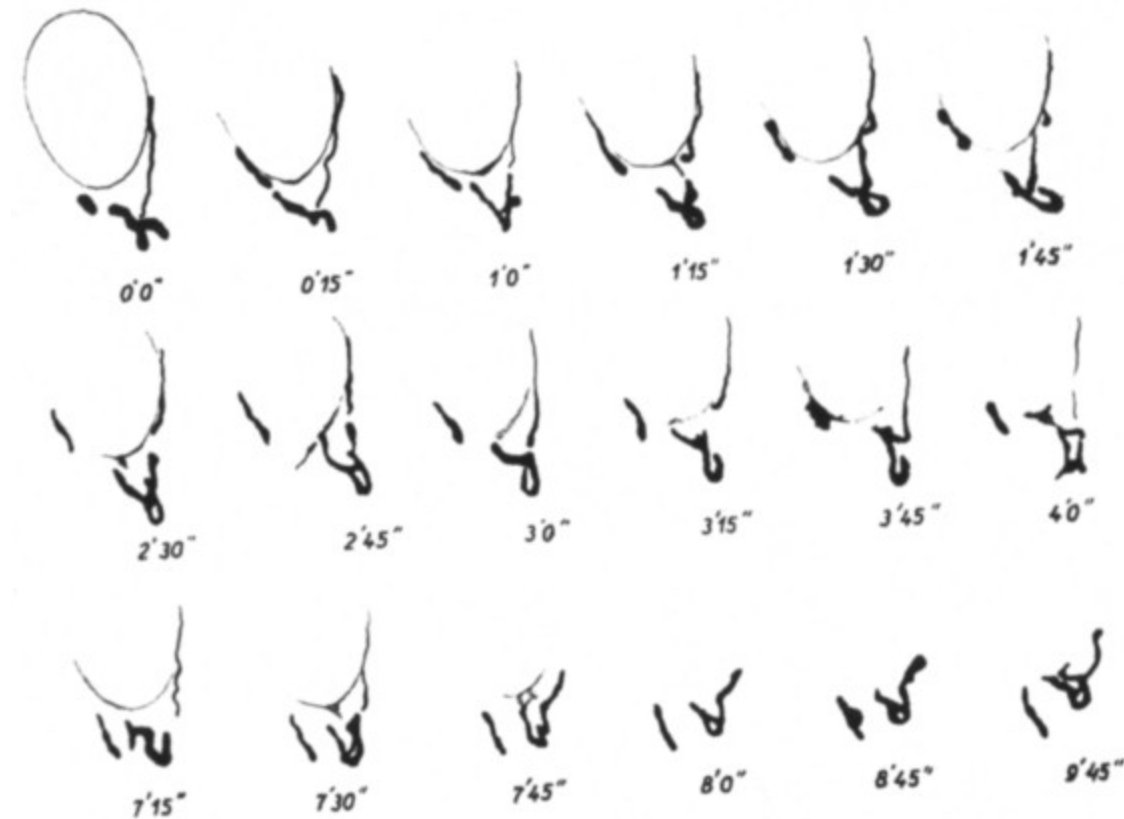
Форма митохондрий разнообразна



Форма митохондрий разнообразна

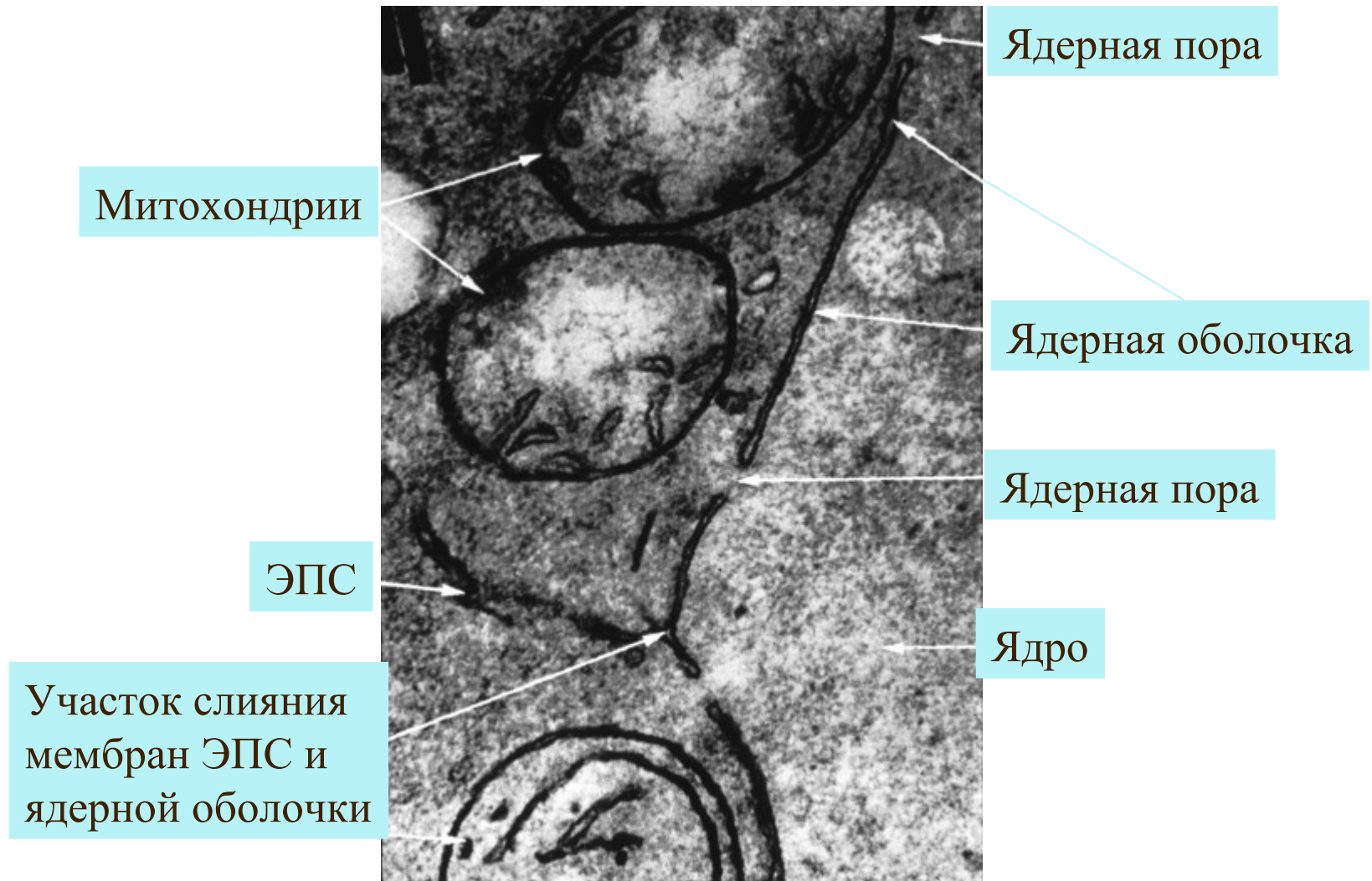


Форма митохондрий быстро меняется. Митохондрии могут сливаться вместе в более крупную структуру, а могут разделяться на мелкие.

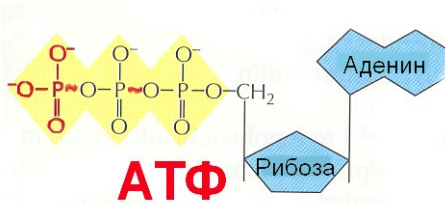


Это рисунки части клетки, сделанные через некоторые интервалы времени. Видно, как менялась форма митохондрий и их расположение относительно клеточного ядра.

Клетки не умеют запасать, хранить и транспортировать АТФ на большие расстояния. Они перемещают митохондрии в то место, где требуется АТФ.



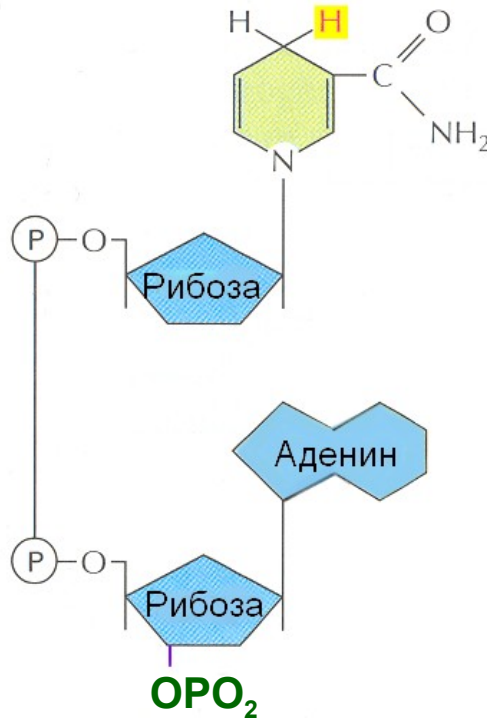
Знакомство с процессом окислительного фосфорилирования начинаем с коферментов:



Переносчик
фосфатной
группы



Переносчик ацильной группы



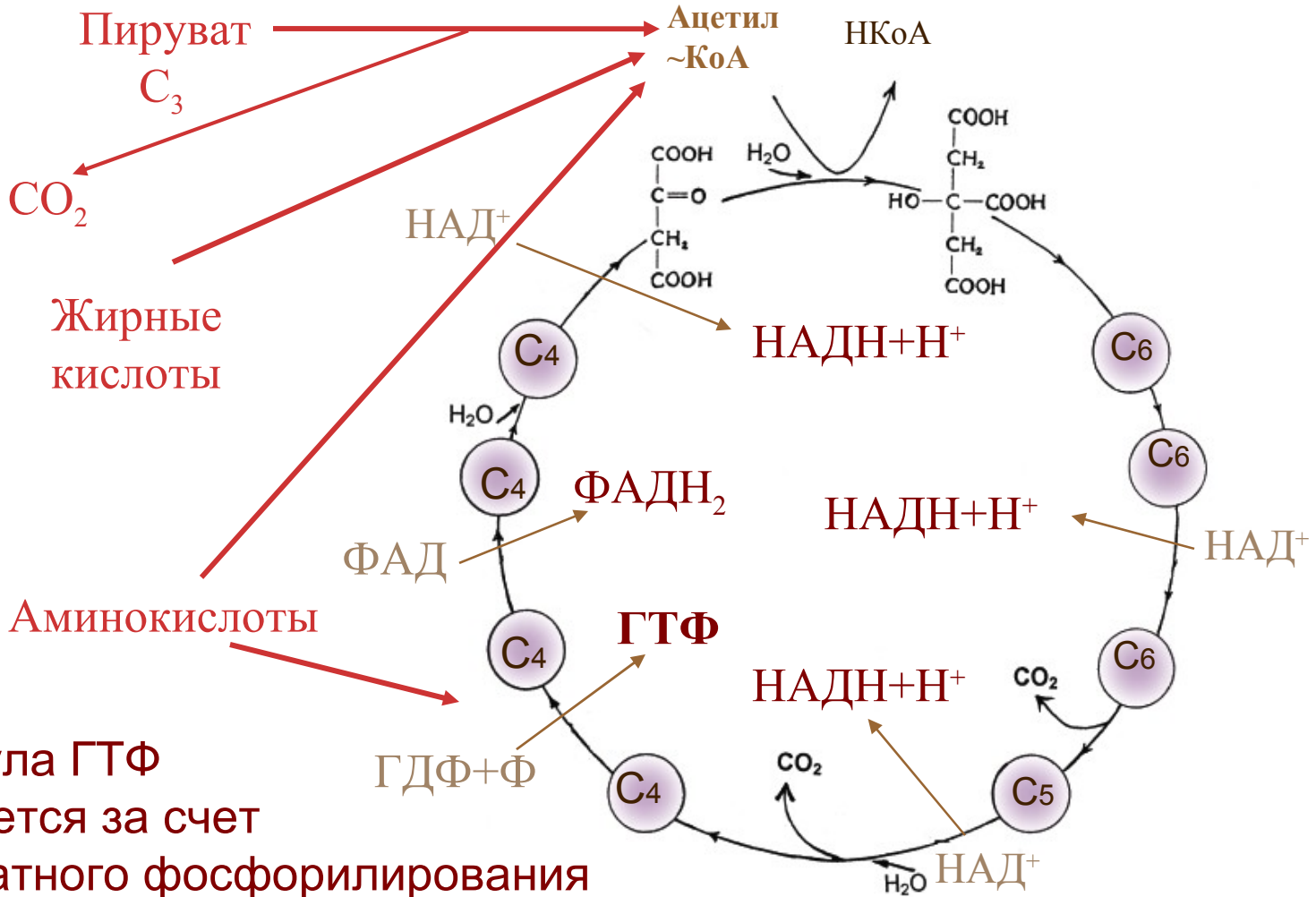
Переносчики протонов и электронов

Никотинамидаденин-
динуклеотид (НАД)

Никотинамидаденин-
динуклеотидфосфат
(НАДФ)

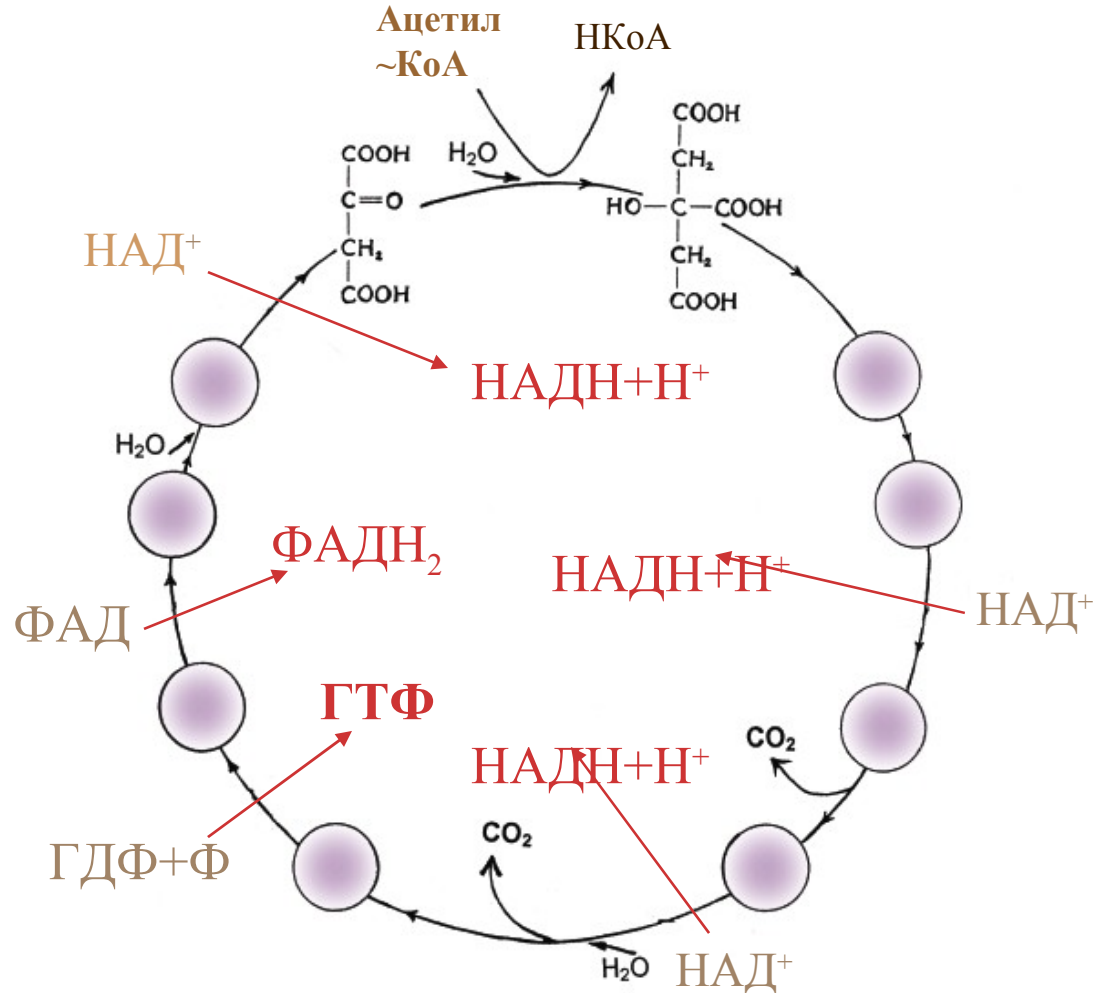
Флавинадениндинуклеотид (ФАД)

В матриксе митохондрий расположены ферменты цикла Кребса (цикла лимонной кислоты, цикла трикарбоновых кислот). Они расщепляют **органические соединения** до **углекислого газа, протонов и электронов.**

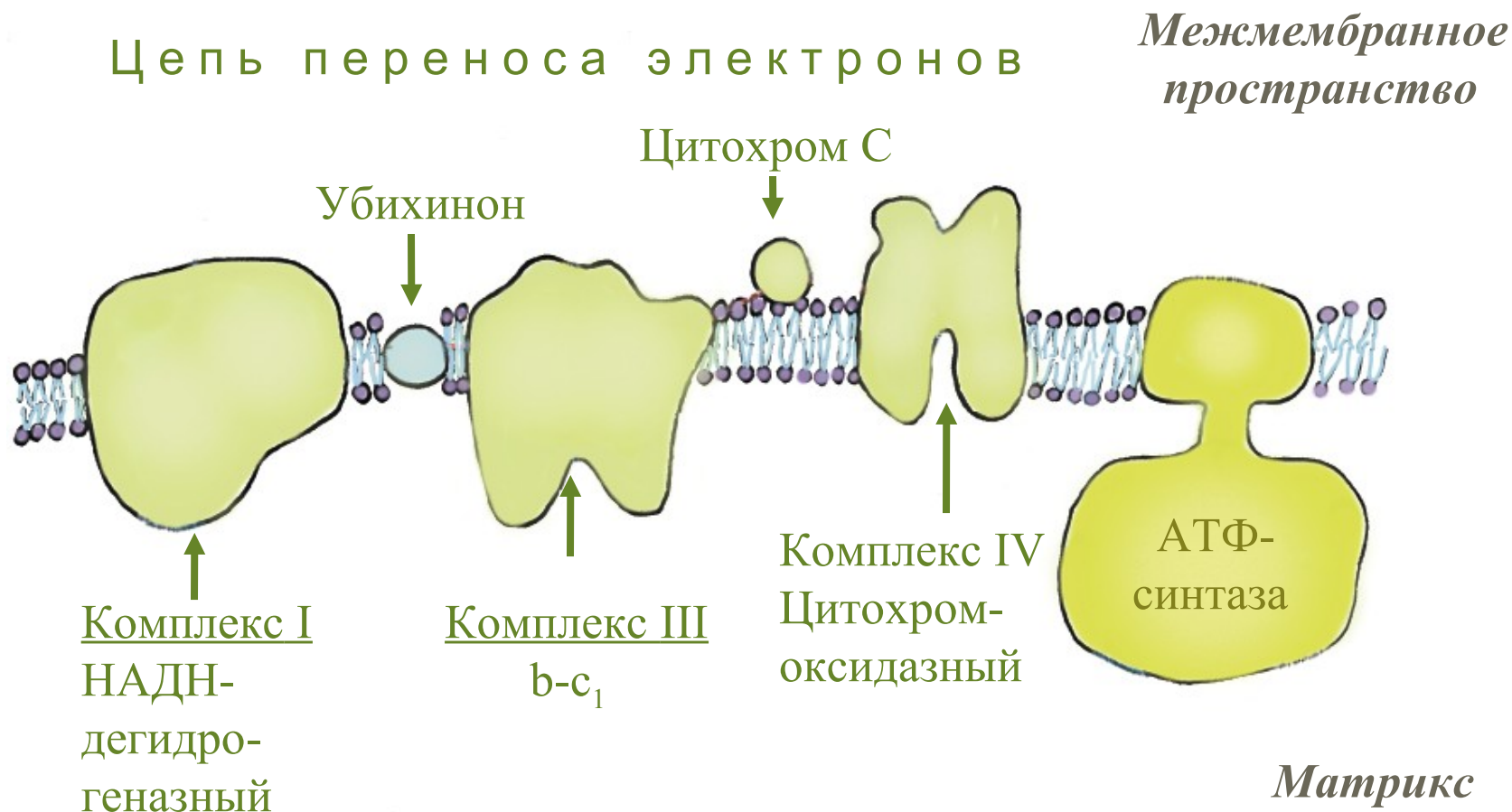


Молекула ГТФ образуется за счет субстратного фосфорилирования

НАДН⁺ и ФАДН₂ отдают электроны в **Цепь переноса электронов**, и их энергия используется для создания высокой концентрации протонов в межмембранном пространстве митохондрий.



Компоненты цепи переноса электронов и АТФ-синтаза



Компоненты ЦПЭ могут принять электрон и отдать его только в последовательности, изображенной на рисунке.

Компоненты цепи переноса электронов,
расположенные в мембране:

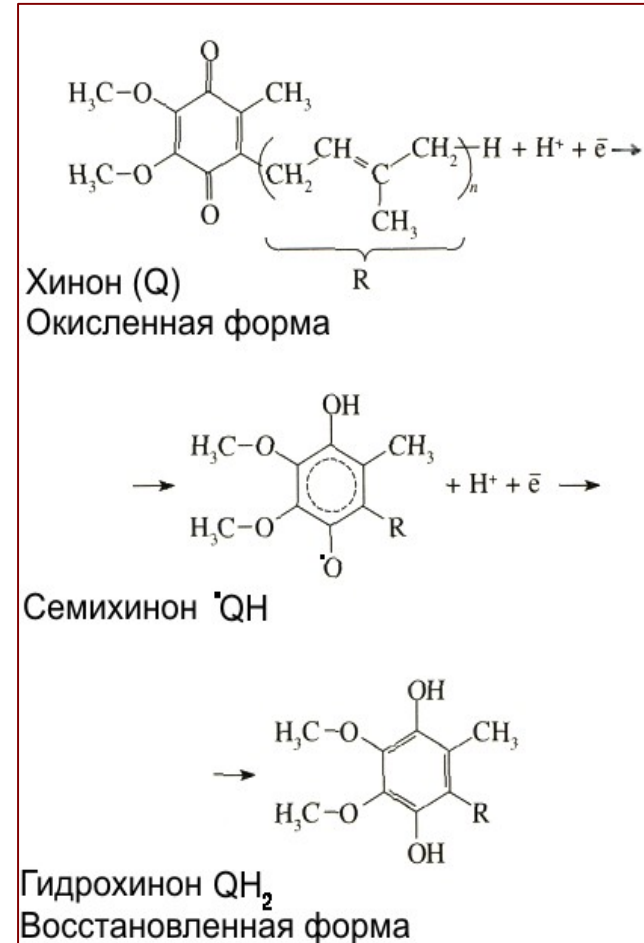
Белки:

Комплекс I	>40 полипептидов
Комплекс III	9 x 2 полипептидов
Комплекс IV	8 x 2 полипептидов

Убихинон — жирорастворимое соединение.

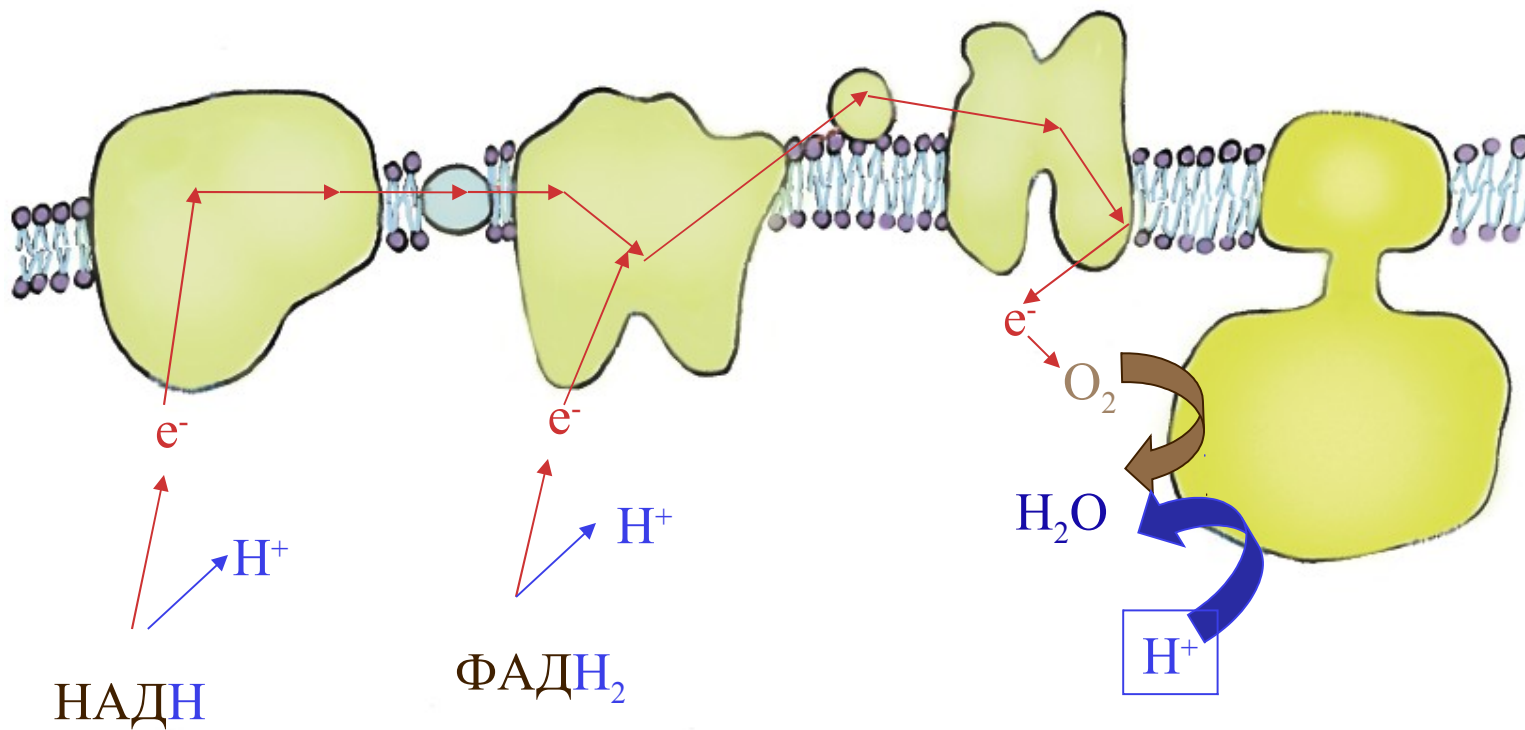
**Все мембранные компоненты постоянно
находятся в движении и передают
электрон при встрече.**

Цитохром С - полипептид с М.м. 13 000.
находится в межмембранном пространстве.
Он принимает электрон и отдает его, когда
приближается к мембране.



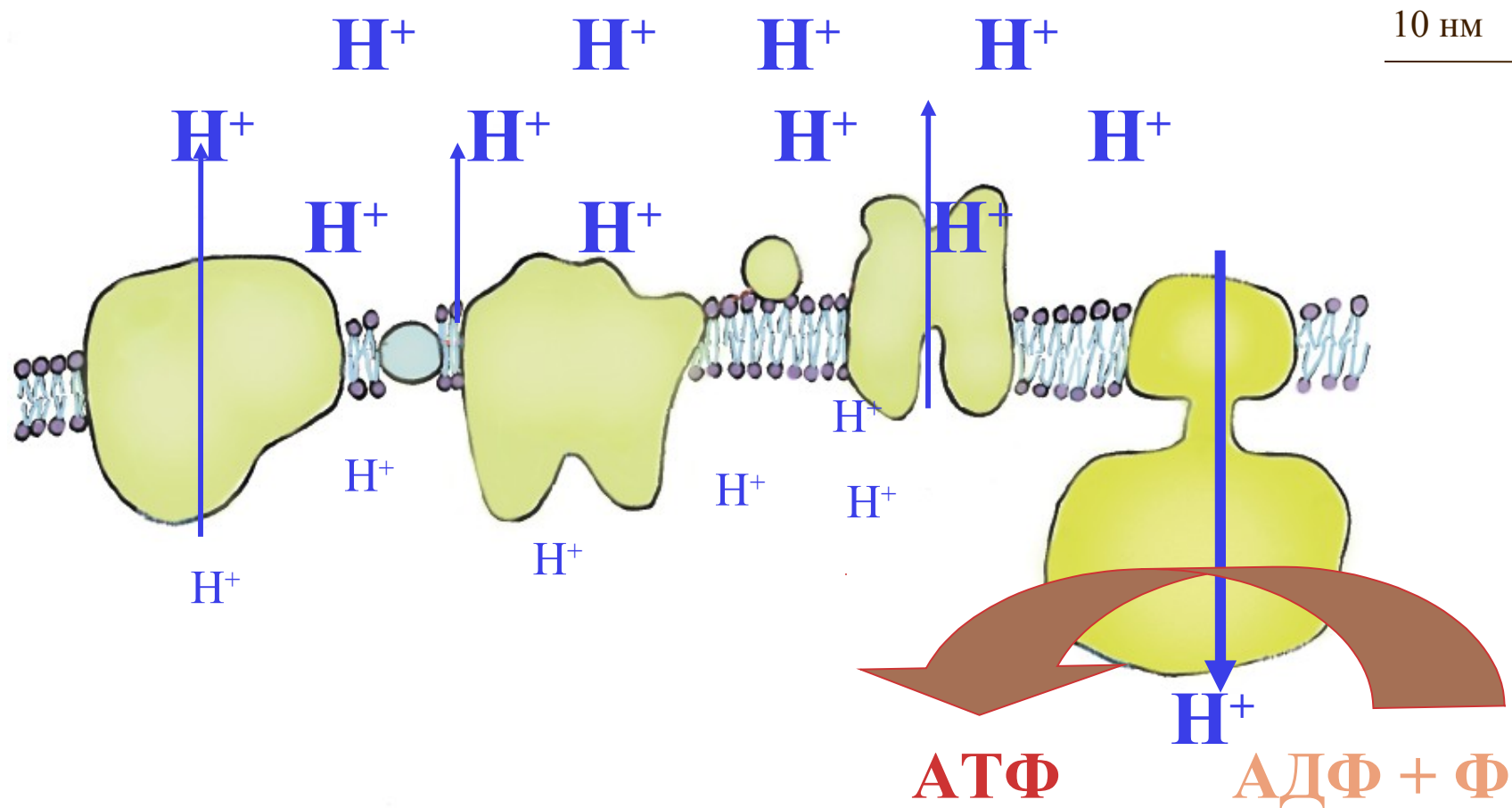
Электрон проходит по ЦПЭ и передается
молекулярному кислороду, присоединяя H^+ , он
превращается в H_2O

10 нм

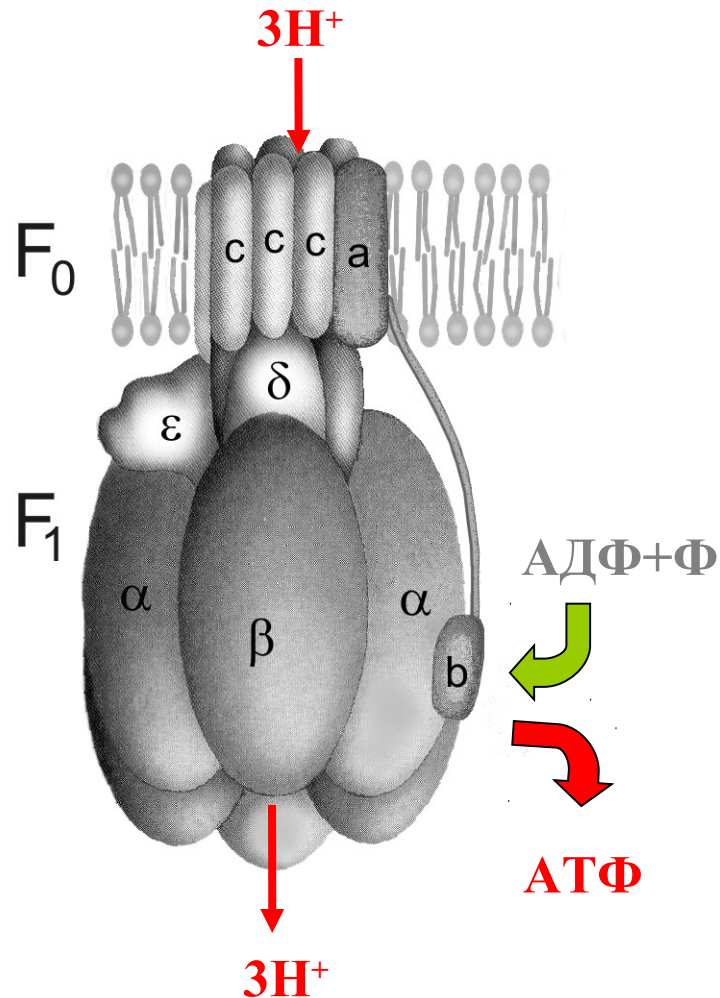


Матрикс

Комплексы I, II и III перекачивают протоны в межмембранное пространство. В результате в матрике создаётся рН 8, а в межмембранном пространстве рН 4-5. По градиенту концентрации протоны идут через АТФ-синтазу, их энергия используется для присоединения фосфата к АДФ.

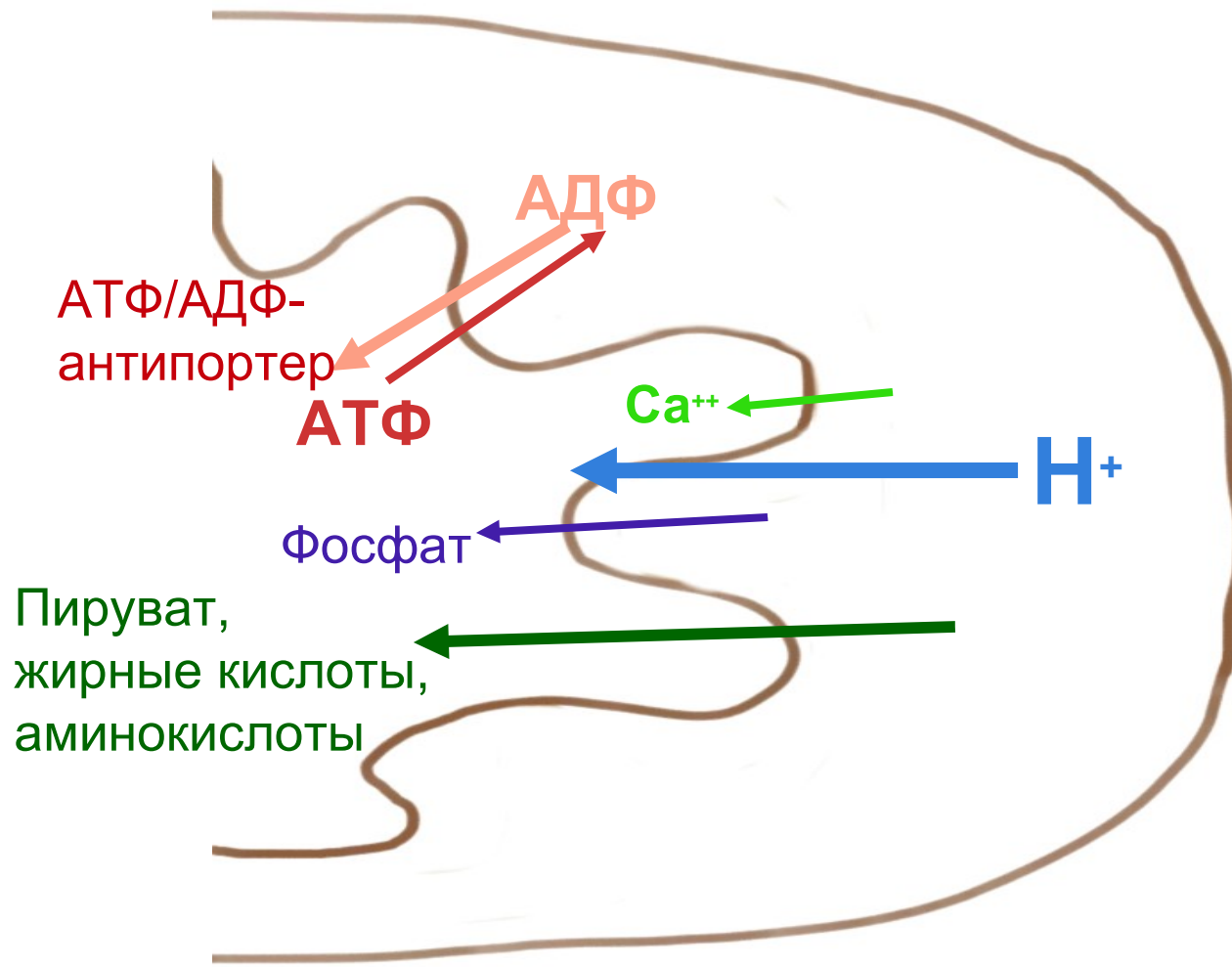


АТФ-синтаза — сложный комплекс из более чем 20 полипептидов.

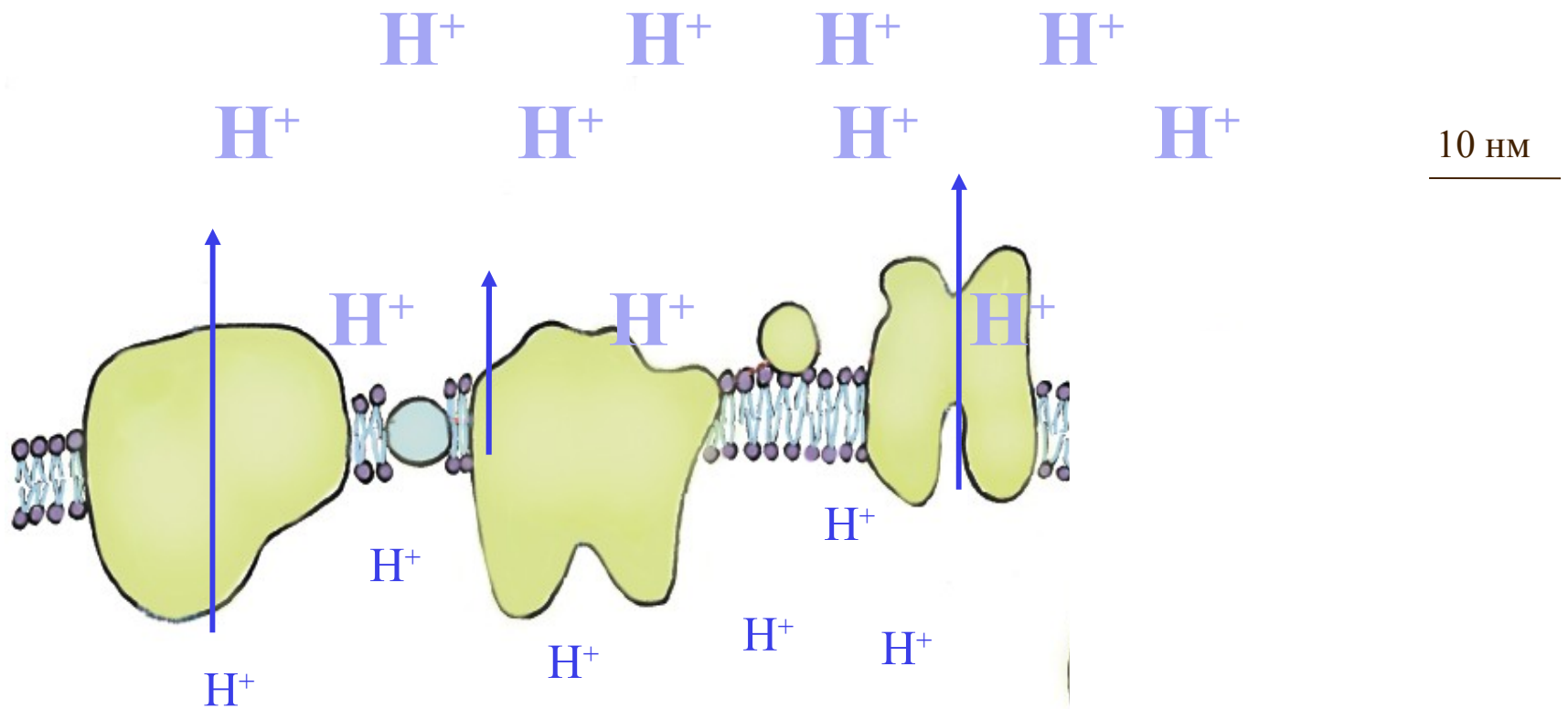


Для присоединения одного фосфат-иона к молекуле АДФ нужна энергия примерно трех протонов. **Но протоны необходимы и для других процессов.**

За счет энергии протонов осуществляется транспорт веществ через внутреннюю мембрану.



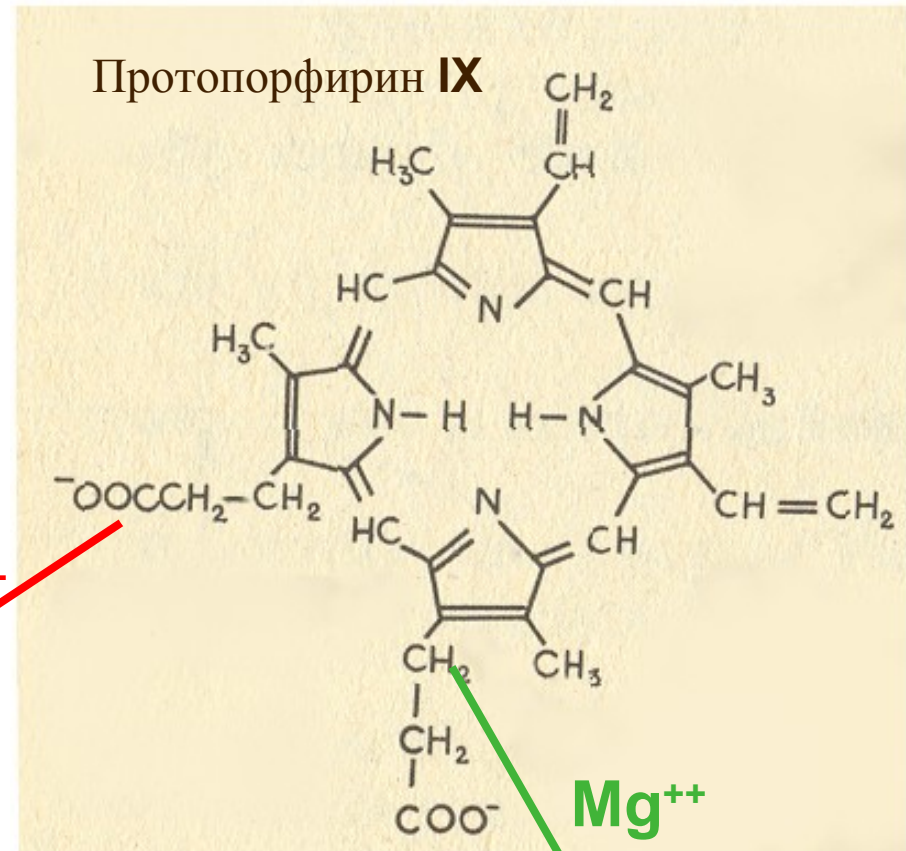
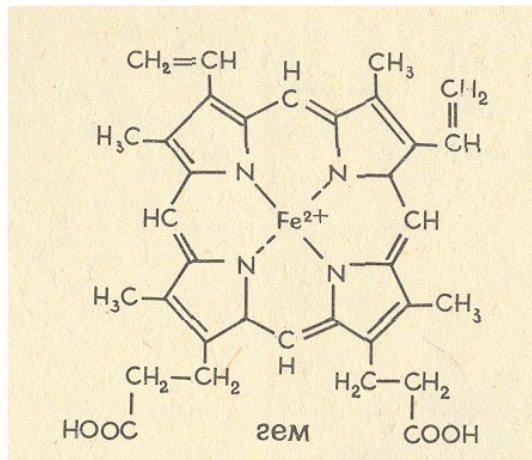
В буром жире вместо АТФ/АДФ-антипортера - белок **термогенин**. Он переносит не АТФ/АДФ, а протоны из межмембранного пространства в матрикс. В результате его работы выделяется тепло, но не образуется АТФ.



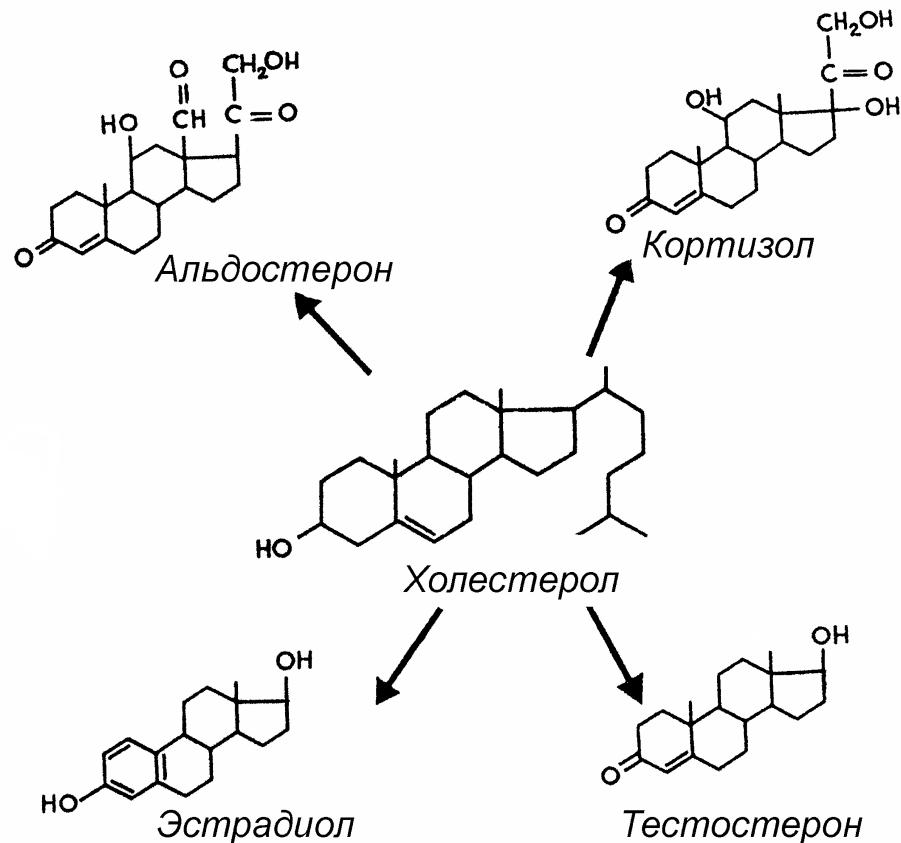
Функции митохондрий разнообразны

1. Окислительное фосфорилирование
2. Терморегуляция (термогенин)
3. Распад жирных кислот и образование ацетил-КоА
4. Удлинение цепей жирных кислот
5. Синтез порфиринов
6. Досинтез стероидных гормонов
7. Участие в метаболизме аминокислот
8. Участие в апоптозе
9. Репликация, транскрипция, трансляция

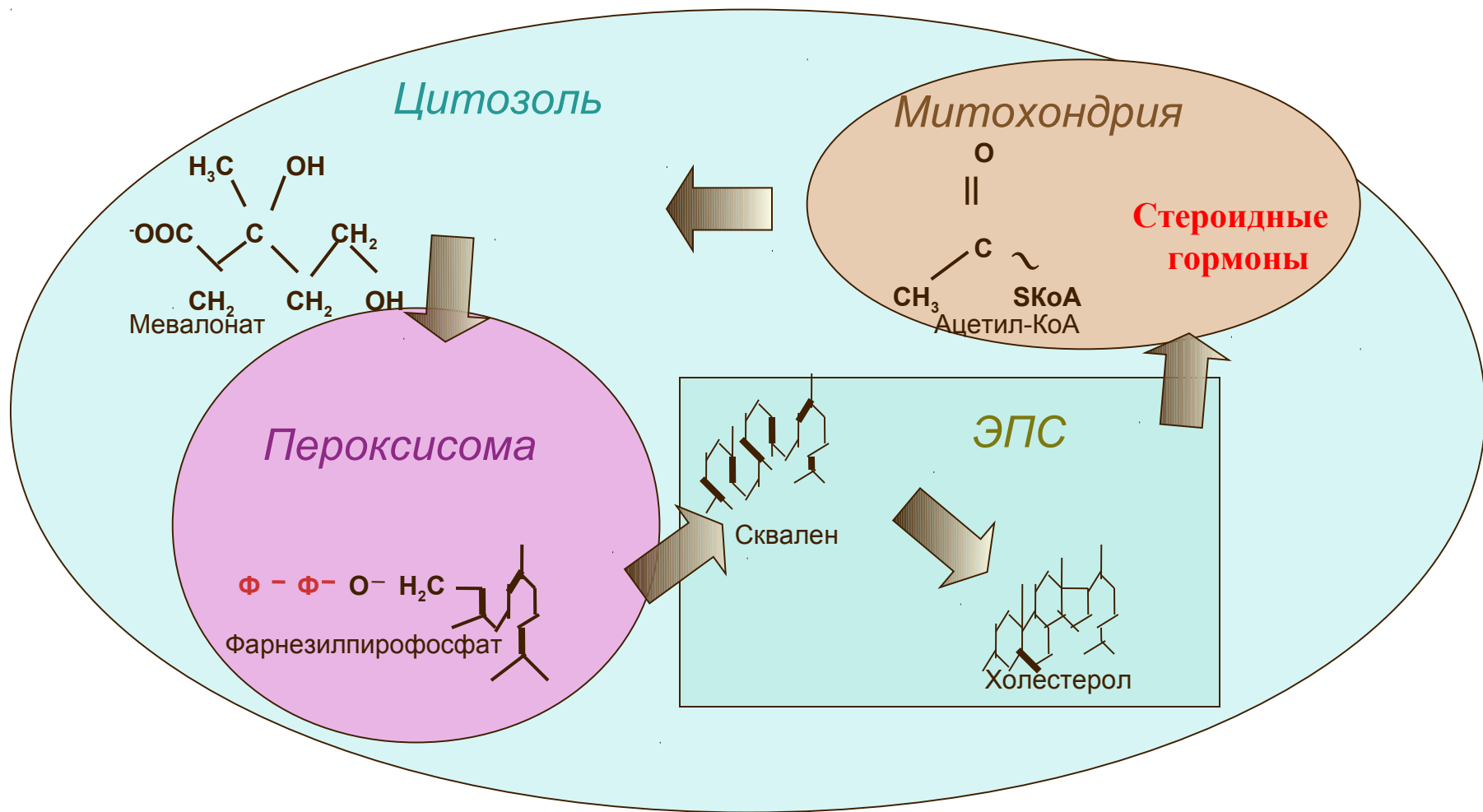
Порфирины важный компонент цитохромов, гемоглобинов, миоглобинов и хлорофилла. Порфирины синтезируются в митохондриях при участии ацетил-коэнзима А.

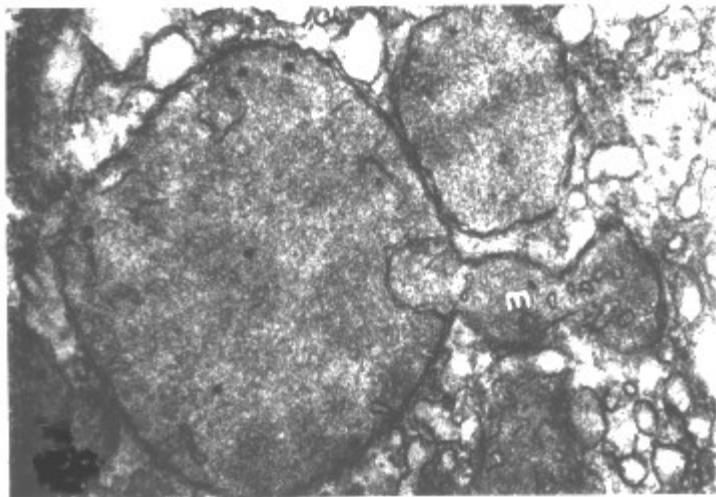
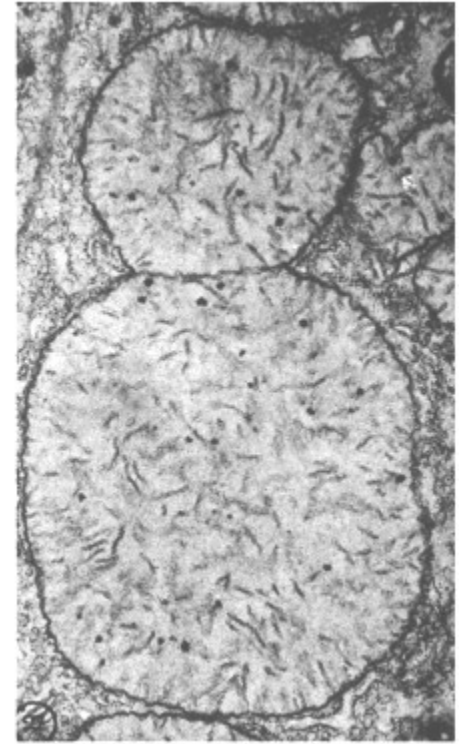
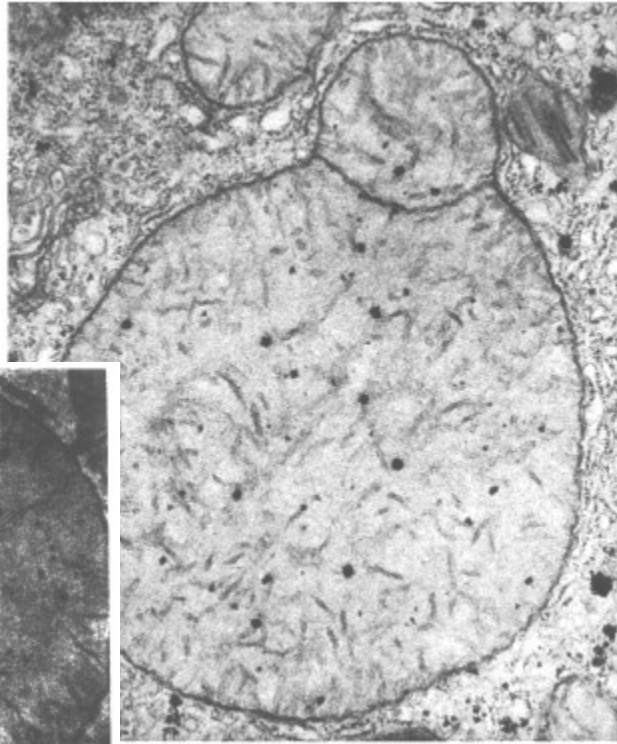
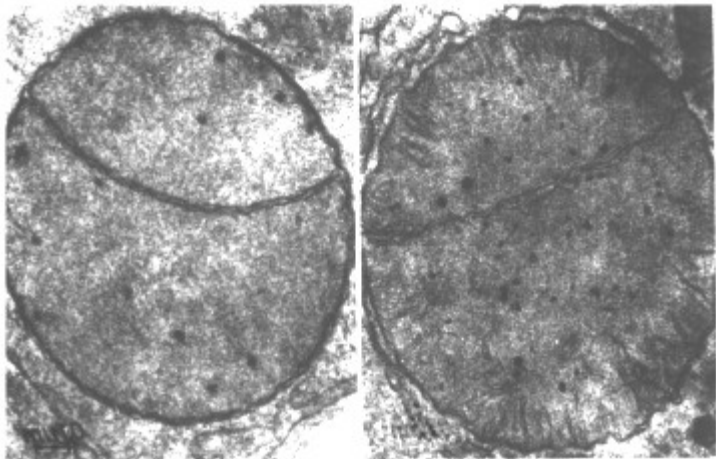


В матриксе митохондрий клеток коры надпочечников из холестерина при участии ацетил-Ко А синтезируются стероидные гормоны



На примере синтеза стероидных гормонов видно, что процессы метаболизма — это результат совместной работы многих компартментов.





Обычно в каждой митохондрии бывает несколько молекул ДНК. Разделившиеся митохондрии обязательно имеют молекулы ДНК, т. е. перед разделением митохондрии удваивают свои молекулы ДНК.