

Митохондрия. Строение и свойства.

Митохондрии - это органонды эукариотической клетки. По форме и размерам они похожи на бактериальную клетку. Представляют собой продолговатый цилиндр, диаметр которого составляет 0.5 -1.0 μm . Митохондрии можно увидеть под световым микроскопом после специальной окраски как отдельные зерна, но детали их строения впервые разглядели только под электронным микроскопом, см. панель.

Основные компоненты митохондрий (рис.1)

1. **Внешняя мембрана.** Содержит много белков. Это в значительной мере «дырявая» мембрана. В нее встроены порины, белки-поры, через их отверстия диаметром 2-3 нм могут проходить небольшие и даже заряженные молекулы с массой примерно до 5 кДа. (см. рис.2)
2. **Межмембранное пространство**
3. **Внутренняя мембрана.** Складчатая поверхность внутренней мембраны раз в 5 больше площади поверхности внешней мембраны. Складки называют **кристами**. Внутренняя мембрана на $\frac{3}{4}$ состоит из белков. Это белки Цепи Переноса Электронов (ЦПЭ), эту цепь называют также дыхательной цепью, белки АТФ-синтазы, транспортные белки (подробнее см. «Аэробная судьба пирувата»). Особенностью внутренней мембраны является высокое содержание особого фосфолипида, кардиолипина, отсутствующего в других мембранах клетки, см. рис.3.
4. **Матрикс.** Это внутреннее содержимое митохондрии. В нем находятся несколько молекул митохондриальной **ДНК**, **белоксинтезирующий аппарат** митохондрии - **рибосомы**, мРНК, тРНК, **ферменты** окислительного декарбоксилирования пирувата, ферменты цикла Кребса и цикла окисления жирных кислот. В матриксе обнаружены также гранулы, функция которых до сих пор неясна.

На рис 1 представлена классическая 3D- модель «мертвой» фиксированной митохондрии. А в живой клетке митохондрии – это динамические структуры, сливающиеся и делящиеся, образующие нитевидные структуры и трубчатые сети, см. рис 4. Митохондрии меняют свою форму и свое положение в клетке в соответствии с ее энергетическими потребностями. Митохондрии могут перемещаться по клетке вдоль элементов цитоскелета [art.]

Деление митохондрий выгодно клетке. Этот процесс гарантирует, что во время деления обе дочерние клетки получают митохондрии.

Слияние митохондрий также выгодно. Представим несколько митохондрий, имеющих разные дефекты в их ДНК, при слиянии таких митохондрий образуется вполне работоспособный органонд с полноценным генетическим материалом.

[Подробнее о слиянии и делении](#)

Рис 1. Модель строения митохондрии ([вики](#))

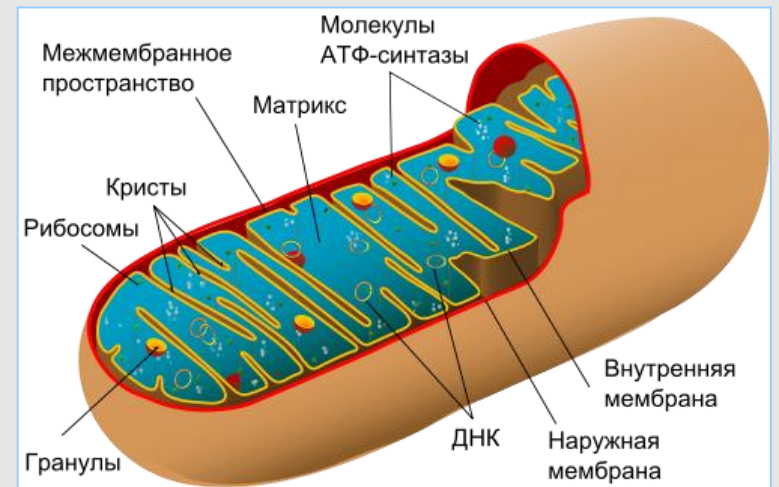


Рис.2. Структура одного из поринов митохондрий человека

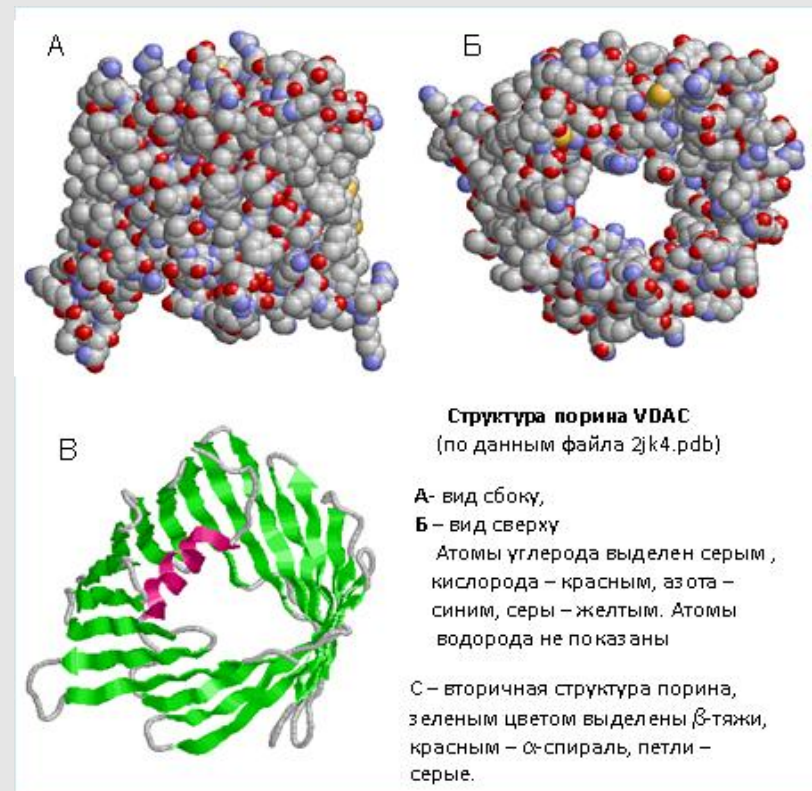


Рис 4. Сеть митохондрий в почкующейся клетке дрожжей (видна флуоресценция зеленого белка, находящегося в матриксе митохондрий, белым отмечены места почкования) Egner et al. (2002) Proc. Natl. Acad. Sci. USA99 (6), 3370–3375

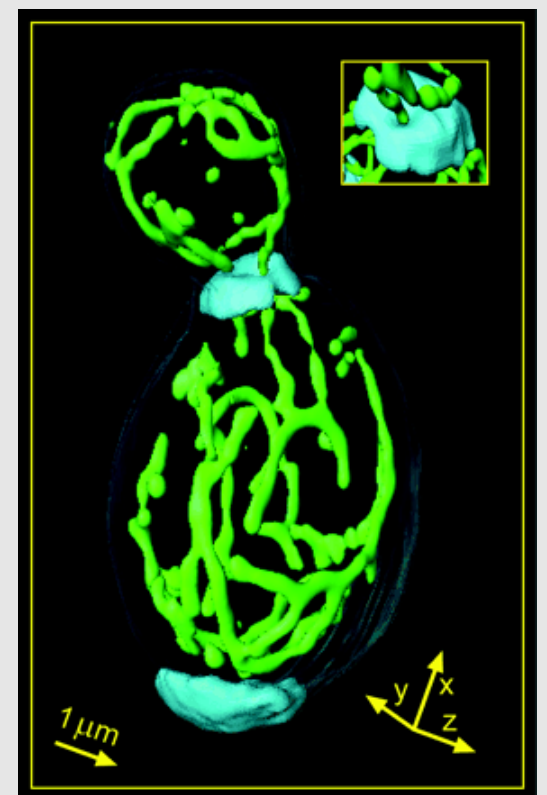
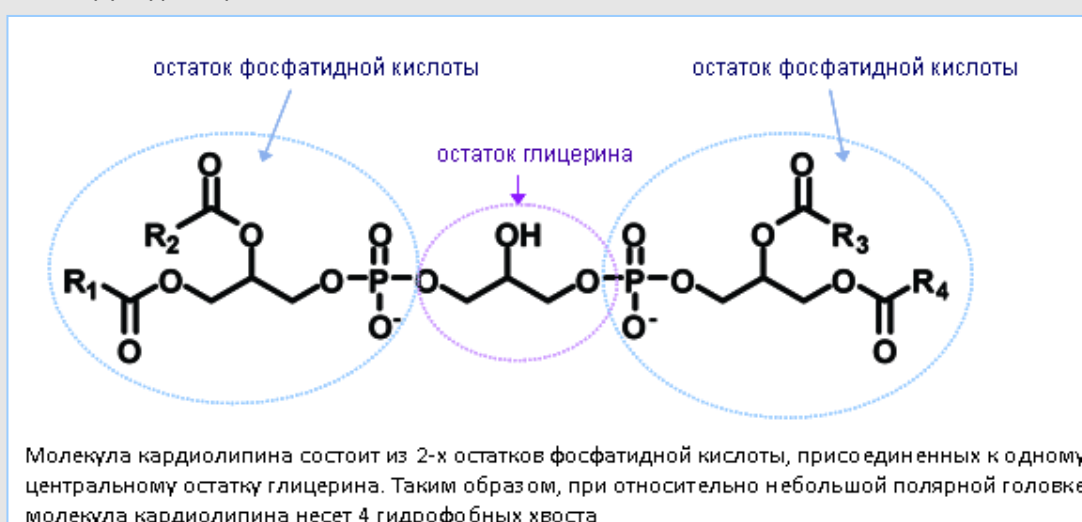


Рис.3. Структура кардиолипина



Видео

1. [Движение митохондрий по микротрубочкам \(микросъемка\)](#)
2. [Жизнь клетки](#) (знаменитая анимация. смотрите 4.05-4.15)



Представлены микрофотографии из книги пионера электронной микроскопии Дона В. Фосетта (D.W.Fawcett, "Cell", 2nd edition, 1981) по материалам [сайта Американского общества по изучению биологии клетки](#)

При рассматривании электронных микрофотографий следует помнить, что для такого исследования, как правило, препараты подвергаются жесткой химической фиксации, что может привести к появлению различных артефактов.

Типичное строение митохондрий

Под электронным микроскопом на ультратонких срезах клетки продольное сечение митохондрии выглядит как более или менее вытянутый овал.

Поверхность митохондрии образует **гладкая внешняя мембрана**, отделяющая органоид от цитоплазмы. Под ней на расстоянии примерно 8-10 нм находится **внутренняя складчатая мембрана**, ее складки (**кристы**) направлены внутрь органоида. Таким образом, пространство митохондрии разделено на две обособленные области, на два компартмента, - межмембранное пространство, разделяющее внешнюю и внутреннюю мембрану, и внутренний **матрикс**, ограниченный внутренней мембраной. Пространство внутри крист образует единое целое с межмембранным пространством.

На фотографии представлены митохондрии из ткани поджелудочной железы малой бурой ночницы (вид североамериканских летучих мышей).

Такие митохондрии рисуют в большинстве учебников. И хотя митохондрии из разных источников могут иметь существенно другую форму, общая схема строения из 2-х компартментов сохраняется у всех.

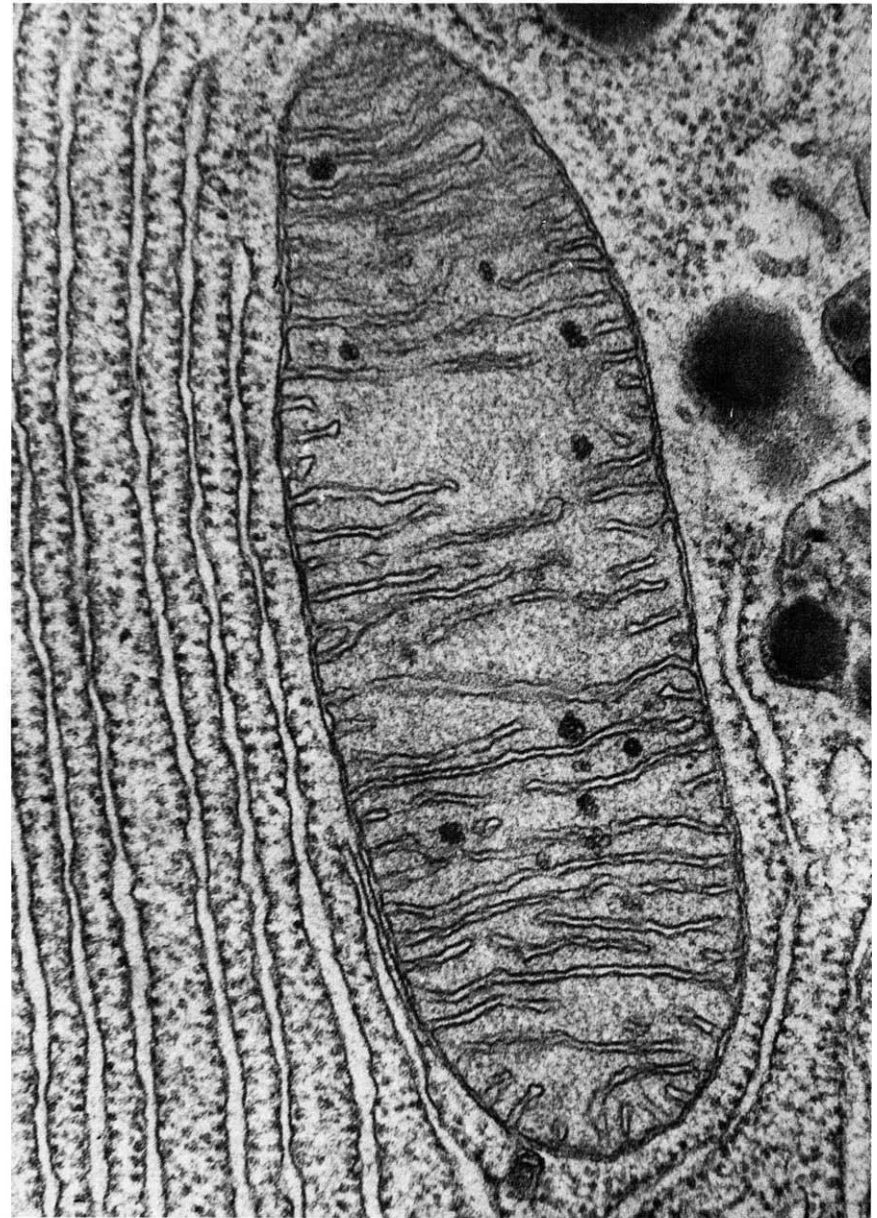


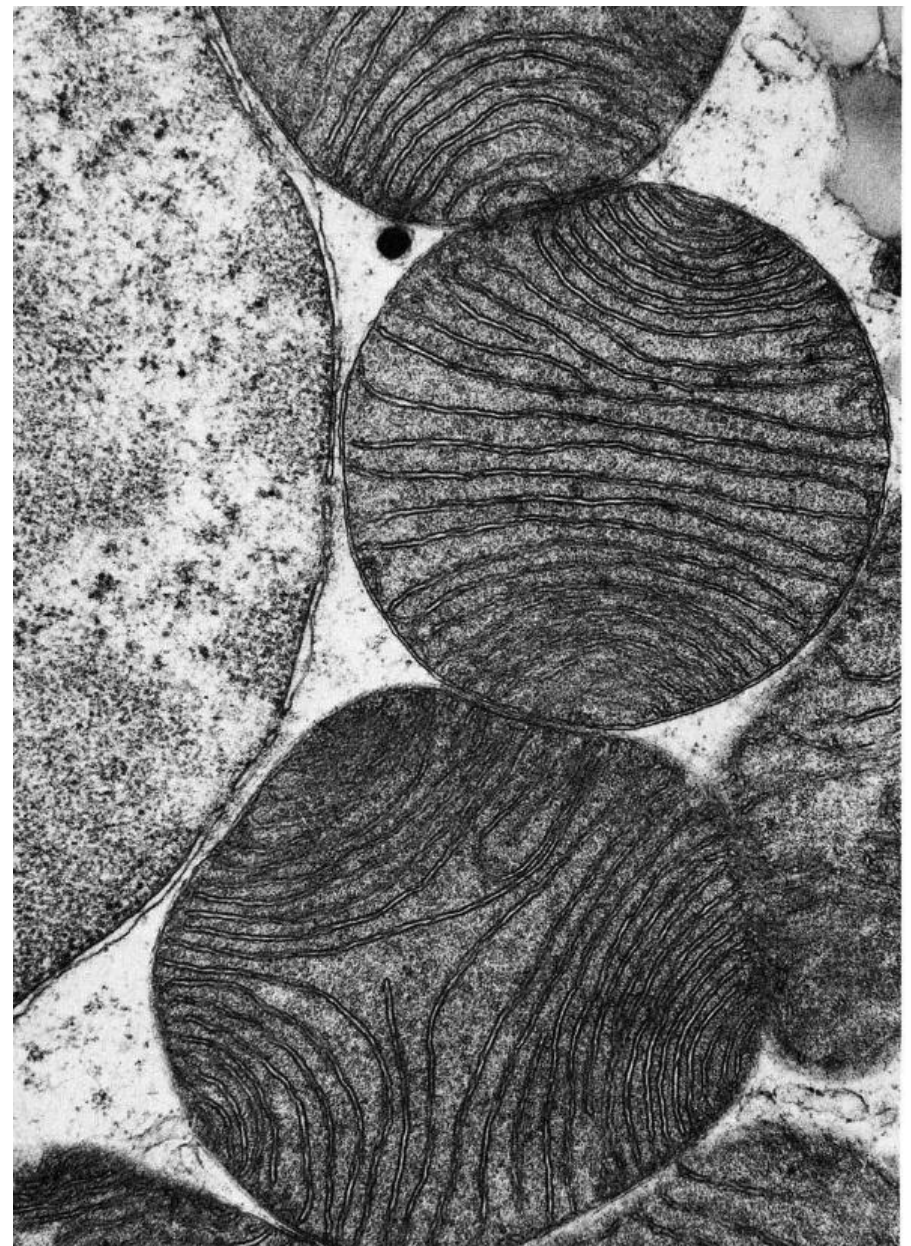
Figure 218. A longitudinal section of a mitochondrion and surrounding cytoplasm from pancreas of the bat, *Myotis lucifugus* (Micrograph courtesy of Keith Porter.)

Митохондрии в некоторых тканях могут иметь необычный вид

На фотографии представлены [митохондрии из бурого жира малой бурой ночницы](#)

Эти крупные митохондрии могут достигать размера 5-7µм в диаметре. Такие размеры вполне сопоставимы с размерами клеточного ядра (видно слева).

Кристы почти пересекают внутреннее пространство митохондрий, но именно «почти», при большом увеличении заметно, что пространство матрикса едино, не разделено на части.



Справка.

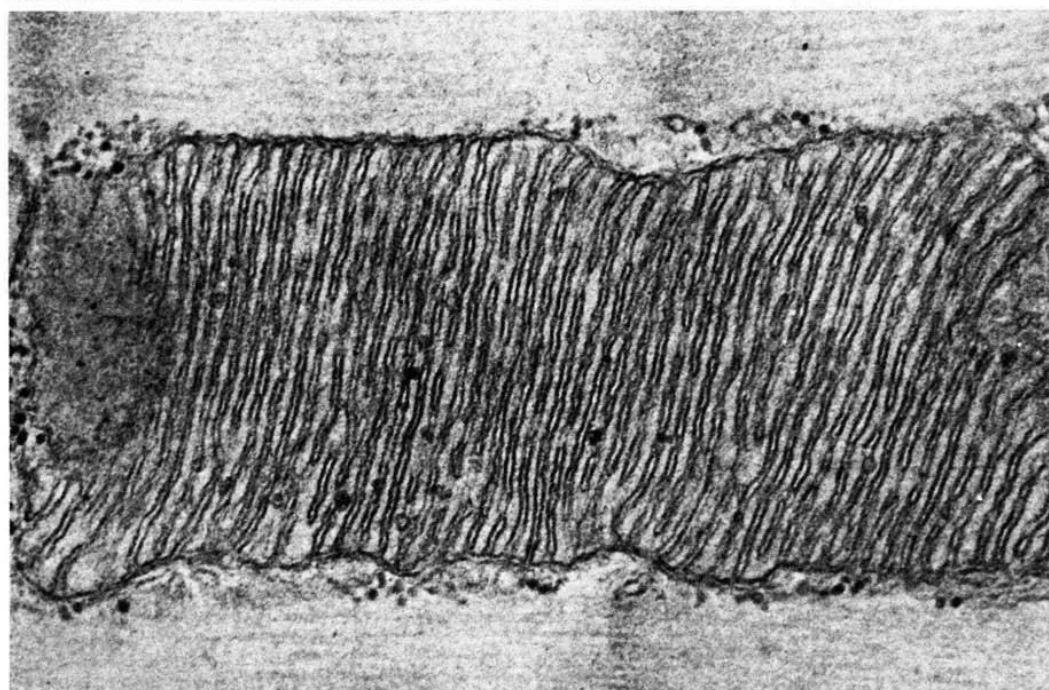
Бурая жировая ткань или бурый жир — один из двух видов жировой ткани у млекопитающих. Бурый цвет придает ткани большое количество митохондрий в ней. Ткань хорошо развита у новорожденных и у животных, впадающих в спячку. Основной функцией ткани является теплопродукция, т.е. выделение тепла в результате разобщения окислительного фосфорилирования в митохондриях, подробнее см. «Окислительное фосфорилирование»). Такая теплопродукция является одним из механизмов терморегуляции

Figure 238. Mitochondria of brown adipose cell from a bat, *Myotis lucifugus*.

Структура митохондрий зависит от энергетических потребностей клетки

Число крист на митохондрию зависит от интенсивности метаболизма

На верхней фотографии представлена митохондрия в относительно «спокойной» эпителиальной клетке, а внизу митохондрия из активно работающей скелетной мышцы.



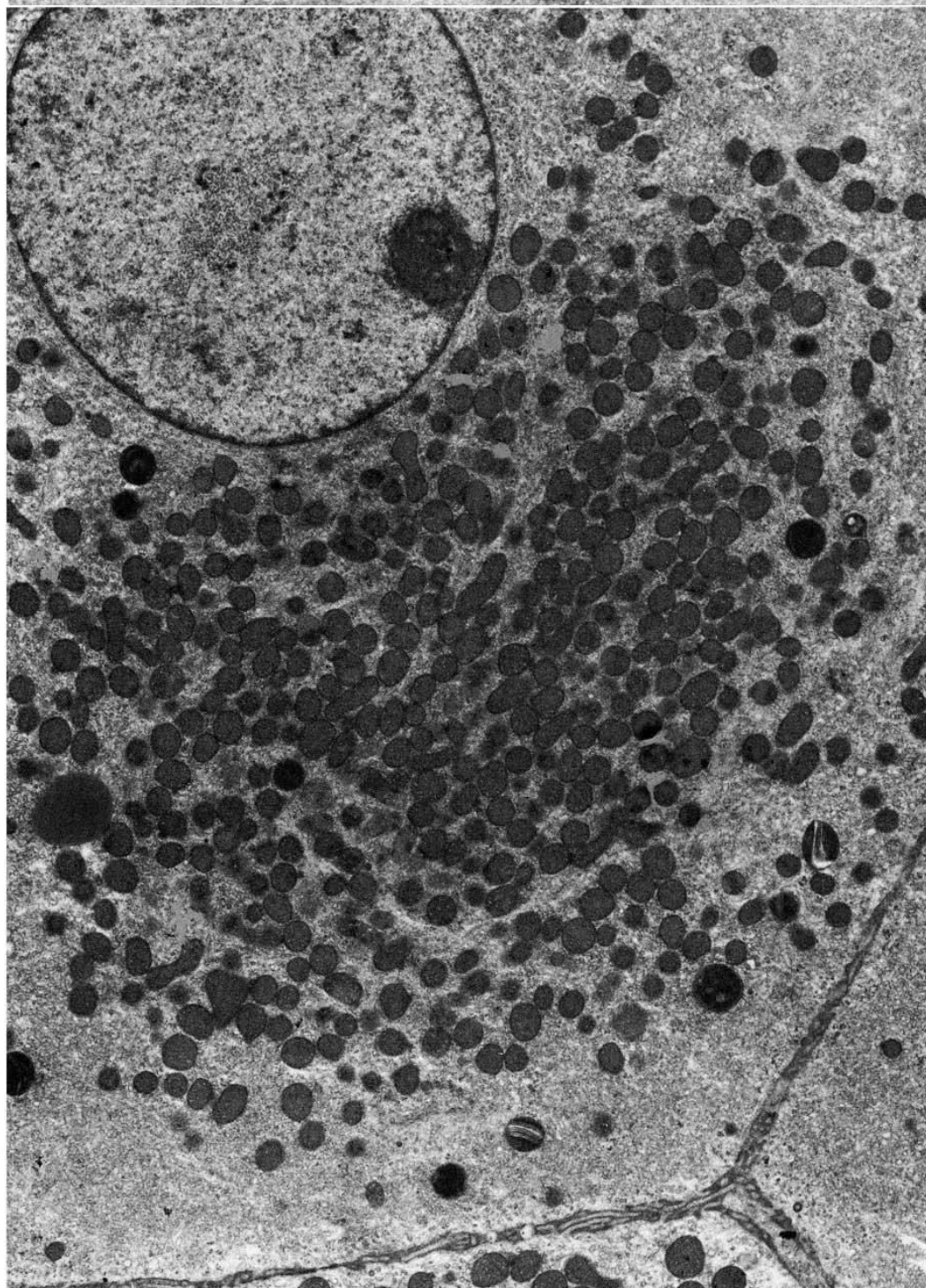
Число митохондрий на клетку

Число митохондрий в клетке точно определить очень трудно, это практически невыполнимая задача, ведь митохондрии могут сливаться или делиться.

Тем не менее некоторые оценки очень поучительны. Так, в недолгоживущих эритроцитах млекопитающих митохондрий нет вообще, а в клетках сердечной мышцы или печени их очень много. Принято, что в клетке печени общее число митохондрий может составлять до 2000, а их суммарный объем до 20% от объема клетки.

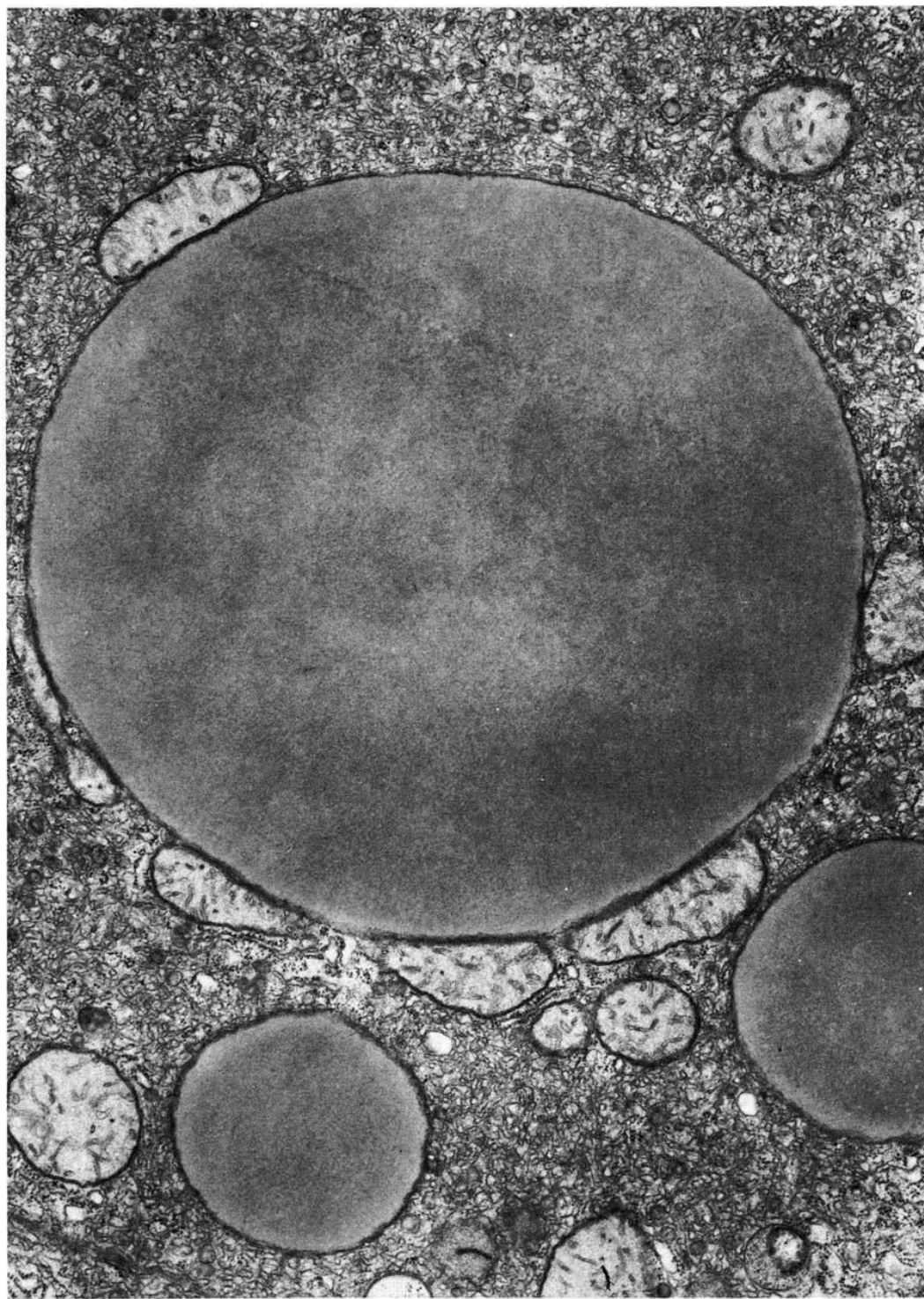
Положение митохондрий в клетке не случайно. Они собираются там, где много субстрата для окисления или там, где нужнее всего АТФ

Фотография справа показывает скопление митохондрий вокруг аппарата Гольджи в клетках Лейдига свиньи. Клетки Лейдига активно синтезируют и секретируют мужские половые гормоны, андрогены, в частности тестостерон..



Положение митохондрий в клетке не случайно

На фотографии справа видно, что митохондрии окружили капельку жира. Это микрофотография клеток печени хомячка, голодавшего 4 дня. Такое положение митохондрий легко объяснить: в матриксе митохондрий находятся главные ферменты окисления жирных кислот, а близкое расположение к субстрату видимо ускоряет его перенос внутрь митохондрий.



Положение митохондрий в клетке не случайно

Внутри жгутиков сперматозоидов позвоночных удлиненные, похожие на колбаски митохондрии обвивают центральную структуру жгутика (аксонему). Это облегчает диффузию АТФ к молекулярным моторам жгутика по всей его длине.

На фотографии справа показан срез жгутика сперматозоида грызуна сони. При таком ракурсе получился поперечный разрез митохондрий, обвивающих аксонему стык в стык к друг другу.



Митохондрии способны делиться

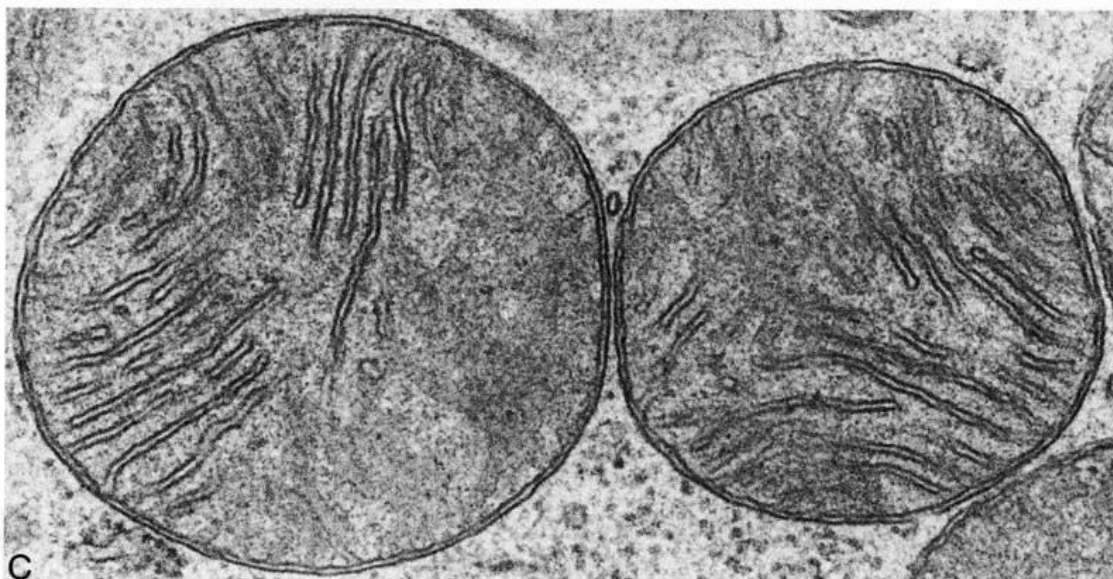
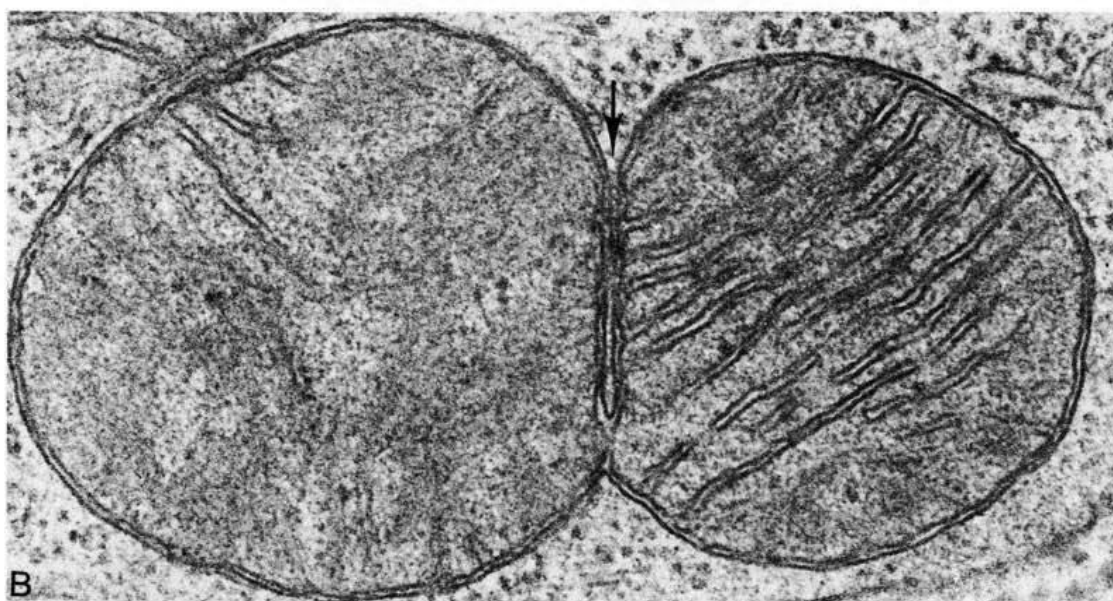
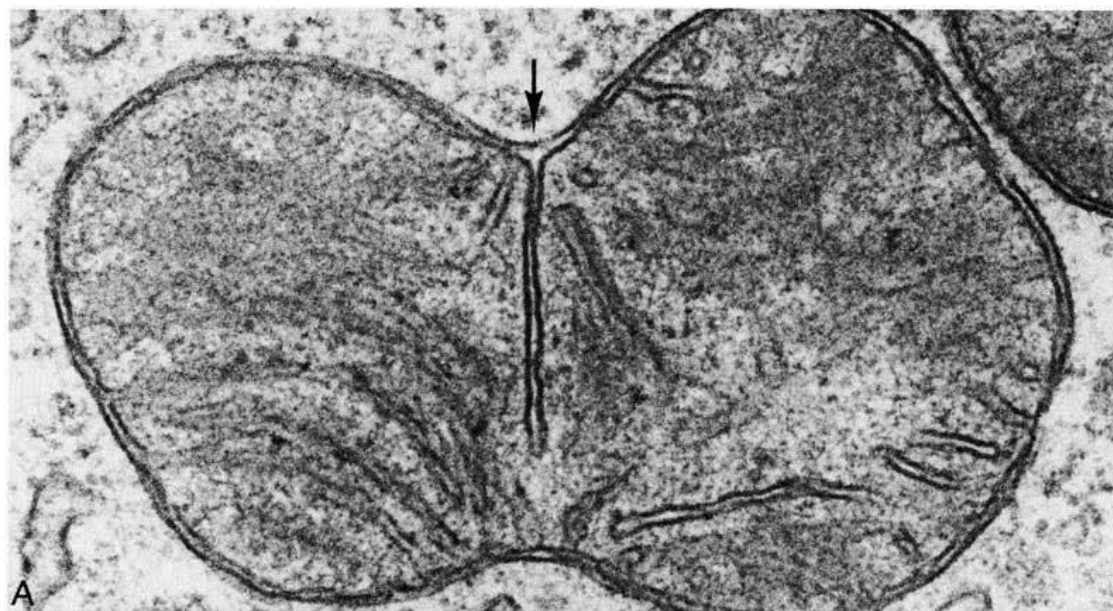


Figure 233 Dividing mitochondria from gastric mucosa of a mole. (Micrographs courtesy of Toku Kanaseki.)