



Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa

im. Stanisława Pigonia
w Krośnie

Biochemia

materiały uzupełniające do wykładów

Henryk Róžański

Entropia



Rudolf Clausius 1822-1888,
profesor Uniwersytetu w Zurichu i Bonn
Pojęcie entropii i zasada termodynamiki 1865 r.

Entropia – ang. entropy

- Jest miarą molekularnego stanu uporządkowania materii, miarą rozproszenia energii.
- Stany nie uporządkowane są bardziej prawdopodobne niż uporządkowane.
- Przejście do stanu nie uporządkowanego → przyrost entropii.
- Powstanie stanu uporządkowanego → zmniejszenie entropii.

Entropia



<http://sciphilos.info>



<http://dailytruthbase.blogspot.com>



<http://bladeordie.com>

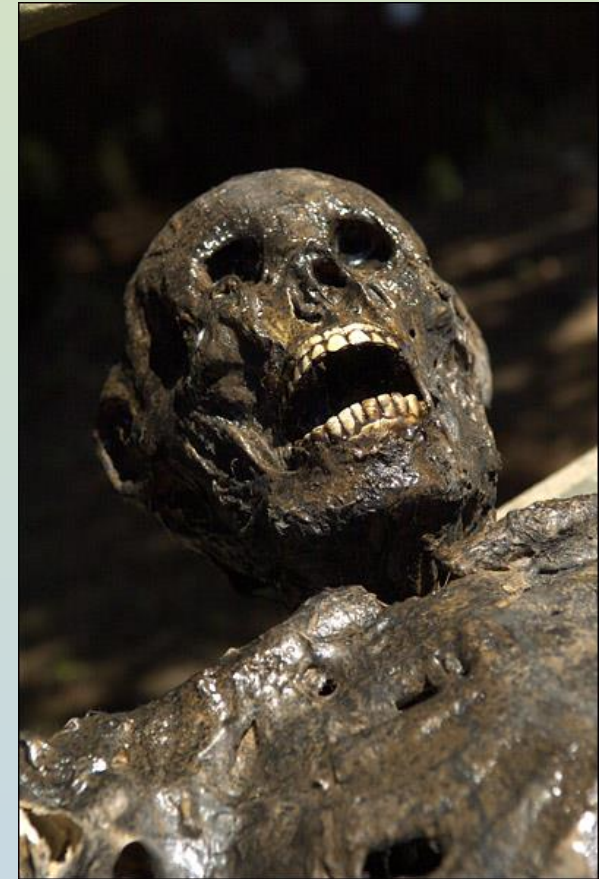
Entropia



<http://www.howtoloseweightquick.co>

**Dbanie o siebie, higiena,
oddychanie, odżywianie się,
dostarczanie energii, nakład
energii...**

**Śmierć – zatrzymanie procesów życiowych, brak asymilacji →
degradacja struktury organizmu**



<http://www.thestonehousemovie.com>

Entropia - Entropy

- Zgodnie z II zasadą termodynamiki przy procesach przebiegających spontanicznie entropia wzrasta.
- Wytworzenie stanu uporządkowania wyższego rzędu lub utworzenie potencjału termodynamicznego jest możliwe, gdy spadek entropii zostaje kompensowany przez wzrost entropii w innym miejscu (np. synteza białek i innych polimerów z substratów pozyskanych po uprzednim trawieniu pokarmu, na co potrzebna jest energia pozyskana w procesie oddychania).

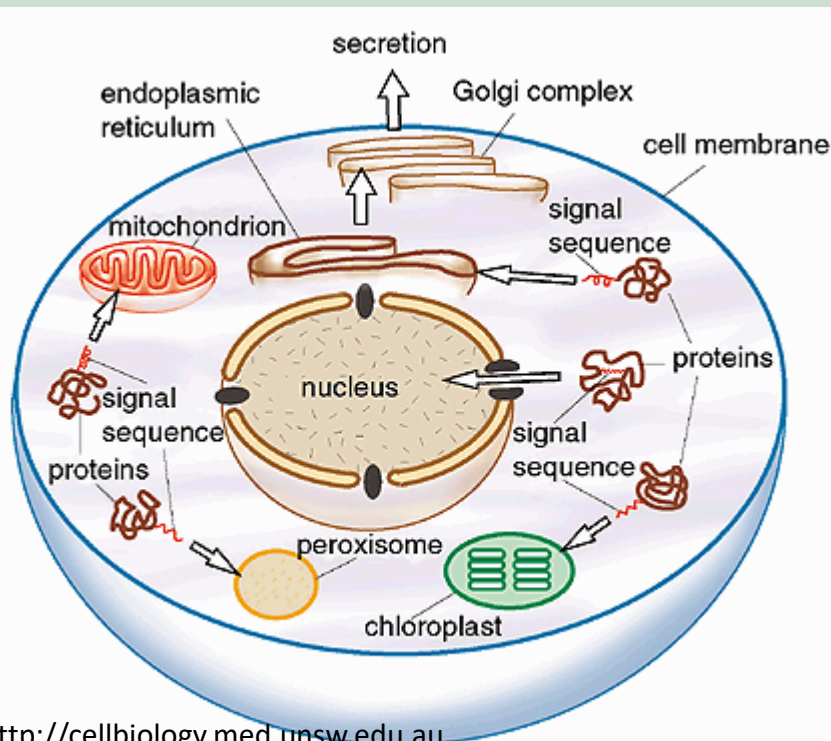
Kompartimentacja = przedziałowość (compartmentation)



<http://mppackaging.eu>

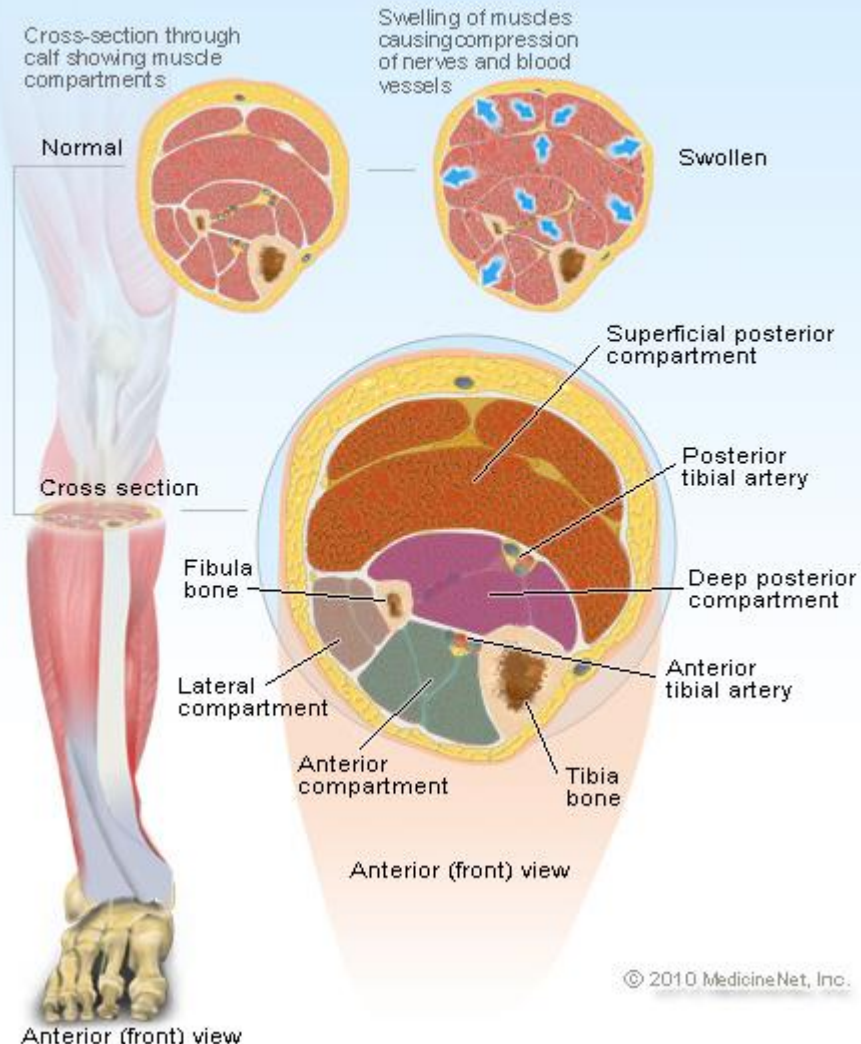


<http://www.made-in-china.com>



<http://cellbiology.med.unsw.edu.au>

Compartment Syndrome



© 2010 MedicineNet, Inc.

Entropia a Ziemia, czy Wszechświat

- Ziemia – geoorganizm (w ujęciu Haeckla) – entropia w stanie równowagi.
- Czy Ziemia i Wszechświat dążą do wysokiej entropii?

Hipoteza Gai

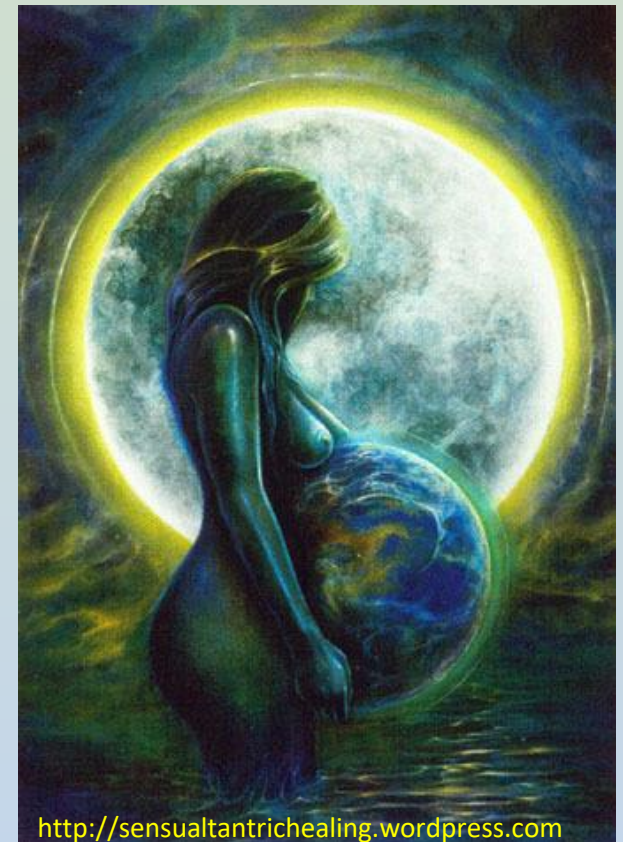
- Gaja – w mitologii greckiej Ziemia-Matka, wyłoniła się z chaosu.
- Ziemia – ciało ożywione, którego funkcje podtrzymują procesy fizjologiczne; jedność biosfery, atmosfery, oceanów i gleby.
- Stabilność warunków pozwalających na rozwój życia.
- Biosfera jest samoregulującym się superorganizmem, w którym działalność świata żywego wpływa na rozmaite aspekty środowiska Ziemi (np. klimat, atmosfera, zasolenie oceanów).

Gaia



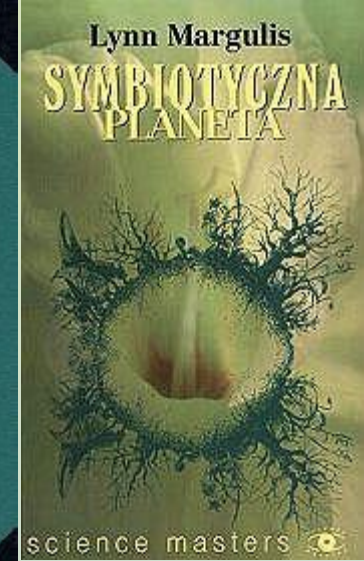
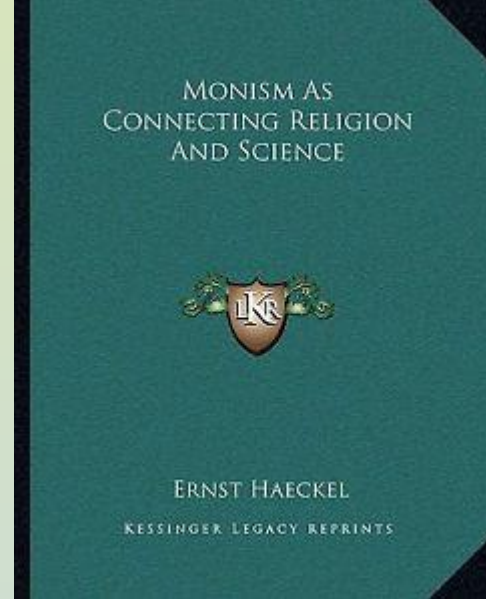
<http://www.sodahead.com/united-states/gaea-gaia--mother-earth>

<http://real-gaia.angelfire.com>



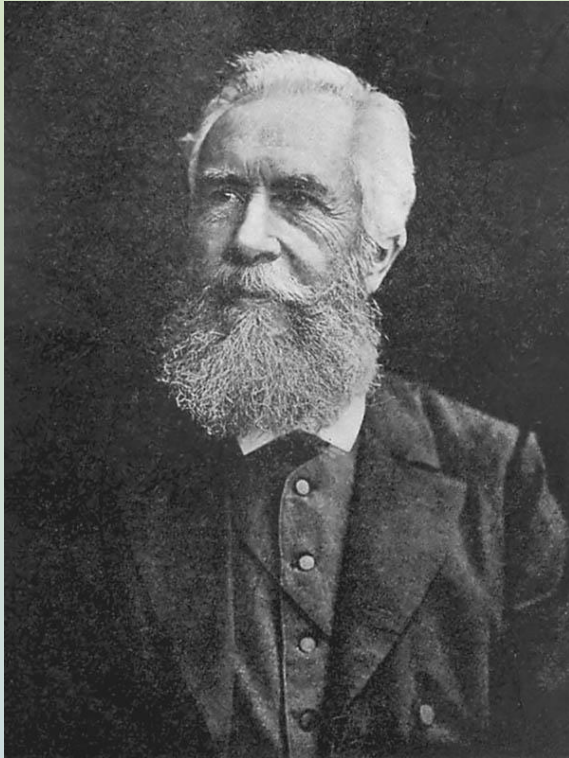
<http://sensualtantrichealing.wordpress.com>

Hierarchia układów ożywionych

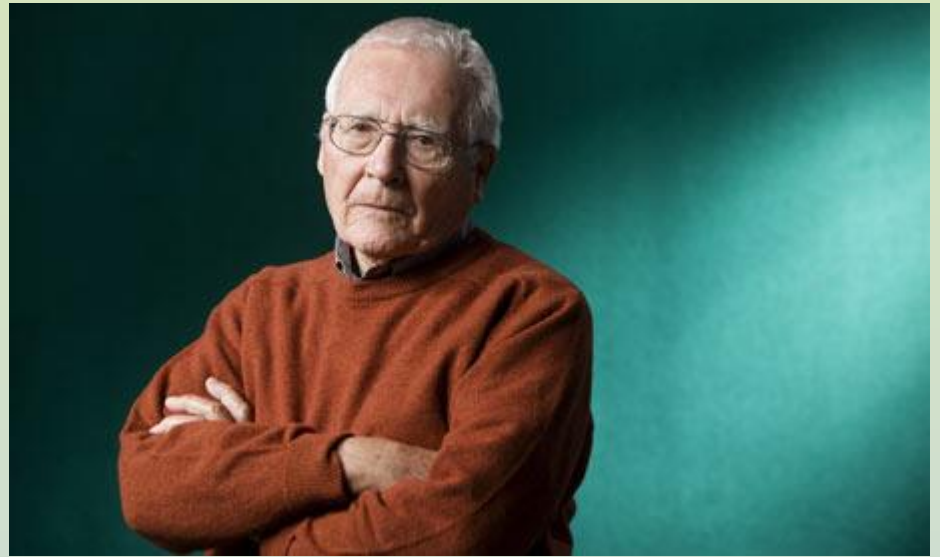


- **Geobiocenoza** ← biocenoza ← populacja ← organizm ← układy narządów ← narządy ← tkanki ← komórka ← organelle ← makrocząsteczki ← cząsteczki ← atomy ← *neutrony, protony, elektrony, fotony*.
- **Ernst Haeckel** (1834-1919) – monizm, podstawy hipotezy geoorganizmu.
- **James Ephraim Lovelock** ur. 1919 r. – hipoteza Gai z 1979 r.
- **Lynn Margulis** (1938-2011) – endosymbiotyczna teoria (1970 r.).





Ernst Haeckel



James Ephraim Lovelock



Lynn Margulis

Hackelizm

- Anatomia porównawcza
- Antropologia
- Systematyka
- Morfologia porównawcza
- Embriologia, badania nad teorią embrionalnego podobieństwa K.E. Baer'a

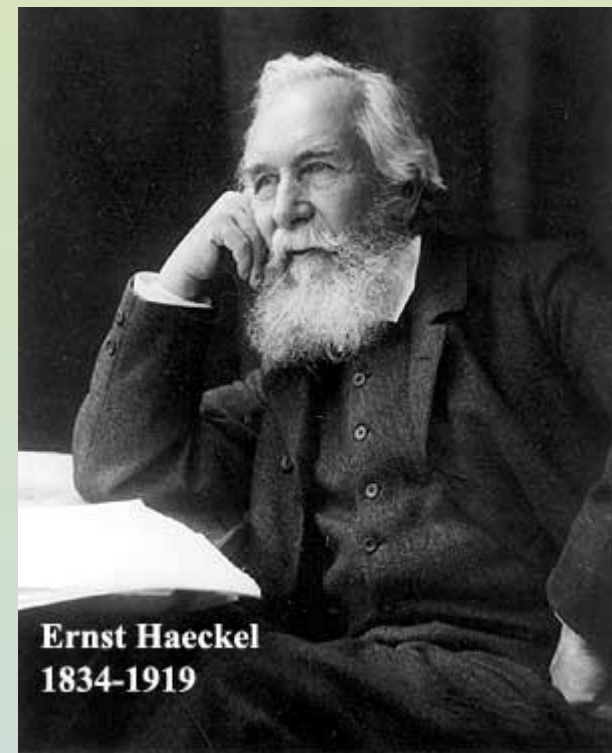


Karl Ernst von Baer 1792-1876

Karl Ernst Baer napisał w 1828 r. w dziele o *Rozwoju zwierząt...*
„embrion wyższych form zwierzęcych nigdy nie jest podobny do niższego zwierzęcia, lecz tylko do zarodka tych form”. Rozwój embrionalny ujawnia najpierw cechy ogólne, właściwe większej grupie zwierząt, potem dopiero cechy coraz bardziej specjalne.

Haeckelizm

- **Prawo biogenetyczne** z 1866 r.: rozwój osobniczy (ontogenetyczny) jest skróconym i uproszczonym powtórzeniem rozwoju rodowego (filogenetycznego), np. występowanie zębów u zarodków ptaków, łuki skrzelowe u żab, ssaków i ptaków.
- Biorąc pod uwagę przesunięcia rozwoju w czasie (heterochronia), jak i w pozycji danych organów (heterotopia), skróty i przyśpieszenia rozwojowe (tachygeneza) – można sądzić, że dowody embriologiczne przytaczane na korzyść teorii ewolucji, należą raczej do najmniej pewnych i mało ścisłych.



Haeckelizm a teologia

- Haeckel jest autorem między innymi: *Zarys filozofii monistycznej* (1905 rok), *Systematische Phylogenie* (tom 1-3 1884-1896), *Zarys morfologii ogólnej organizmów* (1866 rok). W 1869 roku wprowadził pojęcie ekologia. W 1866 roku ogłosił prawo biogenetyczne: ontogeneza jest powtórzeniem filogenezy. Głosił jedność świata materii i ducha. Pragnął reformy teologii, aby ta nie walczyła z postępami biologii:

„Tylko ten światopogląd, który widzi siłę Boską i ducha Bożego we wszystkich zjawiskach przyrody, ten tylko jedynie jest godzien Jego wielkości, obejmującej cały wszechświat.”

„Tylko wtedy, gdy skupimy w Bogu wszystkie siły, wszystkie objawy ruchu, wszelkie kształty i właściwości materii, uznając Jego jako sprawcę wszechrzeczy, wtedy tylko dochodzimy do tego wzniosłego i dla nas ludzi dostępnego obecnie pojęcia o Bogu i do sposobu uwielbienia Stwórcy, jedynie odpowiadającego Jego wielkości nieskończonej. Bo w nim my żyjemy, działamy - więc istniejemy. W taki to sposób filozofia przyrody staje się Teologią, i kult przyrody przeistacza się w prawdziwą służbę Bożą.”

(...). „Bóg jest wszechmocny, on jest jedynym .sprawcą i jedyną przyczyną wszechrzeczy, czyli innemi słowy: Bóg jest prawem powszechnej przyczynowości.

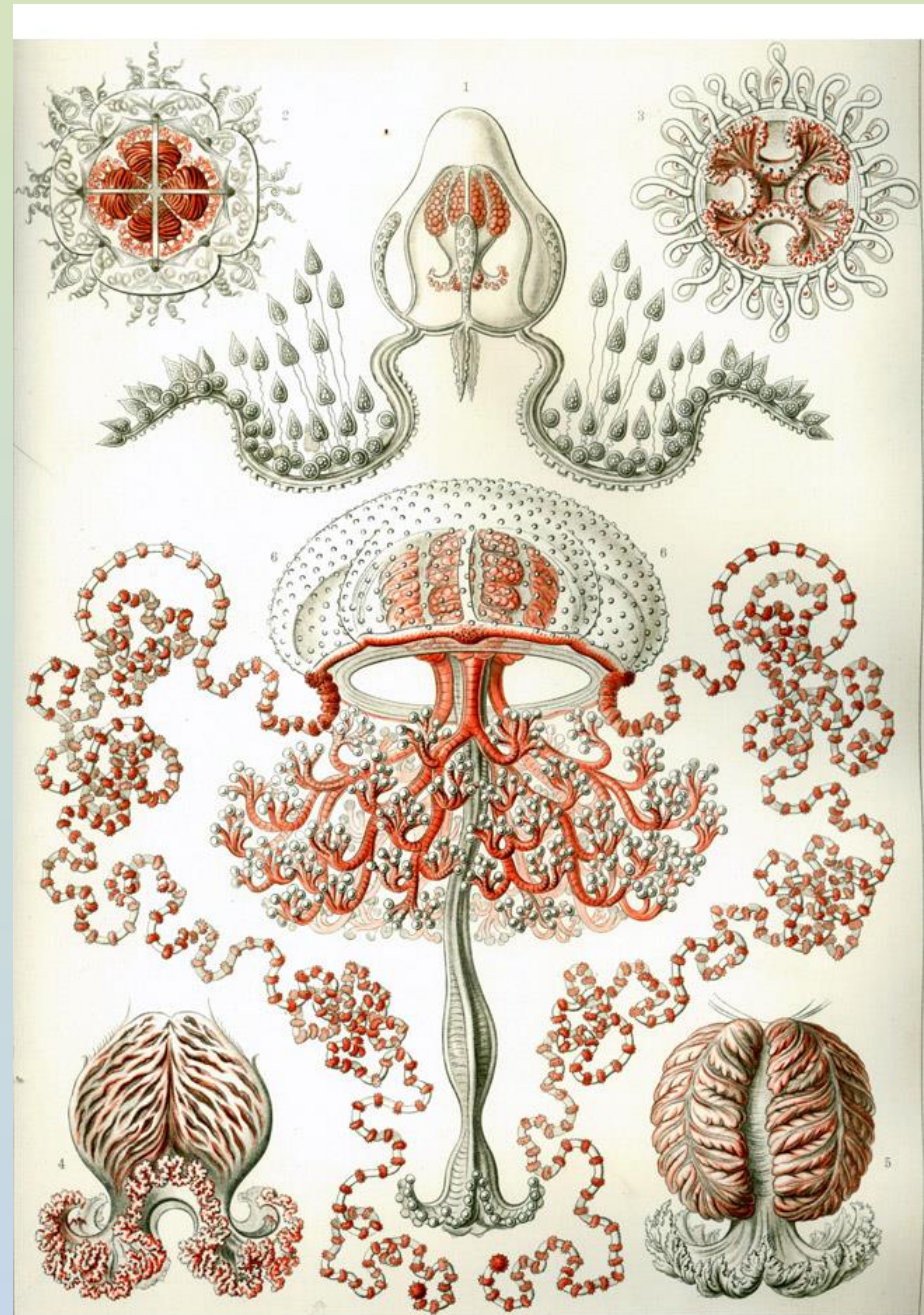
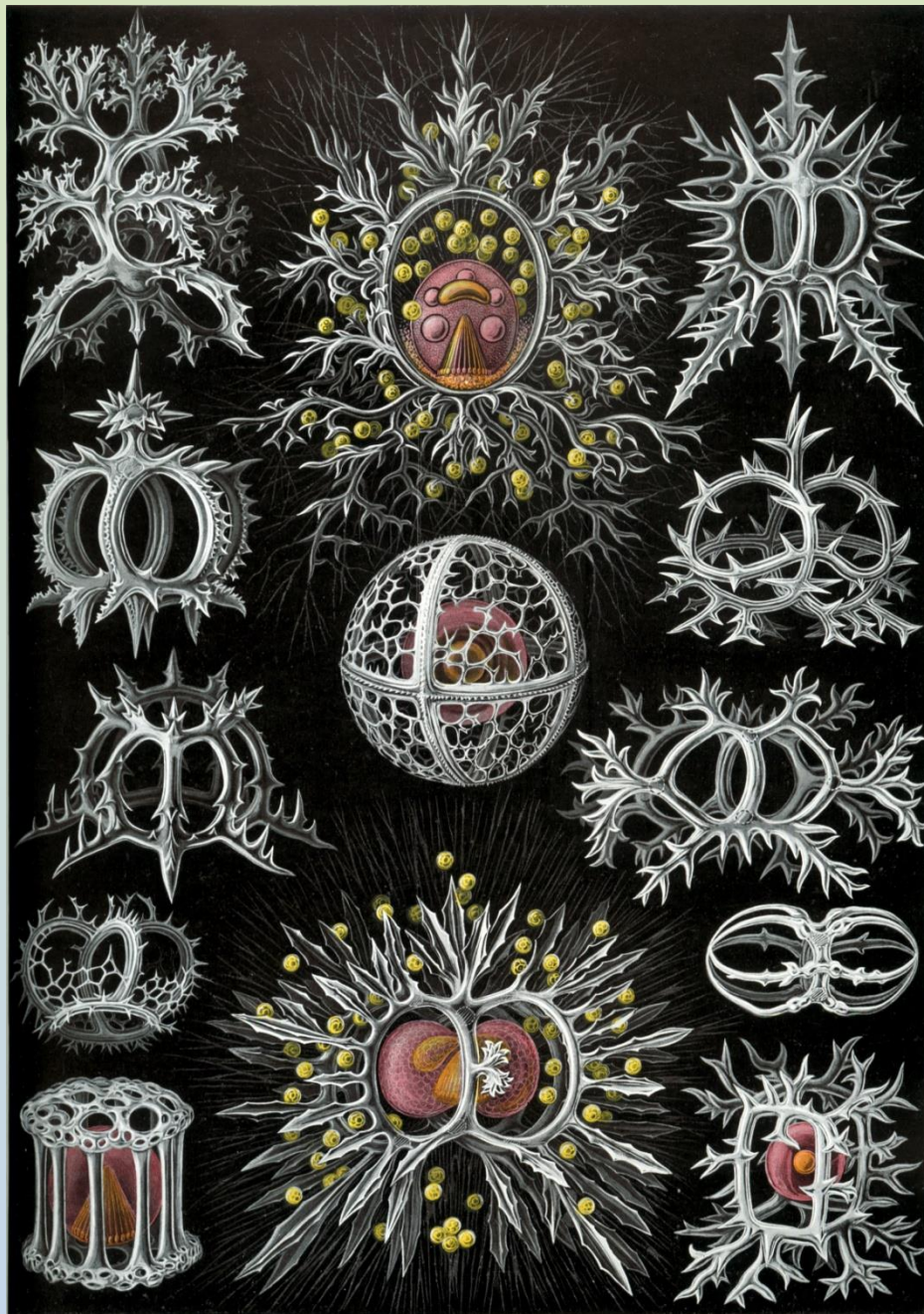
(...). „Bóg jest sumą wszystkich sił, a więc i całej materii.”

(...). „Gdy Monizm udowadnia jedność w całej przyrodzie, wskazuje tem zarazem, że istnieje jeden Bóg tylko, i że ten Bóg objawia się nam we wszystkich zjawiskach przyrody, od ruchów Monery poczynając, aż do olbrzymich przewrotów odbywających się na słońcach”

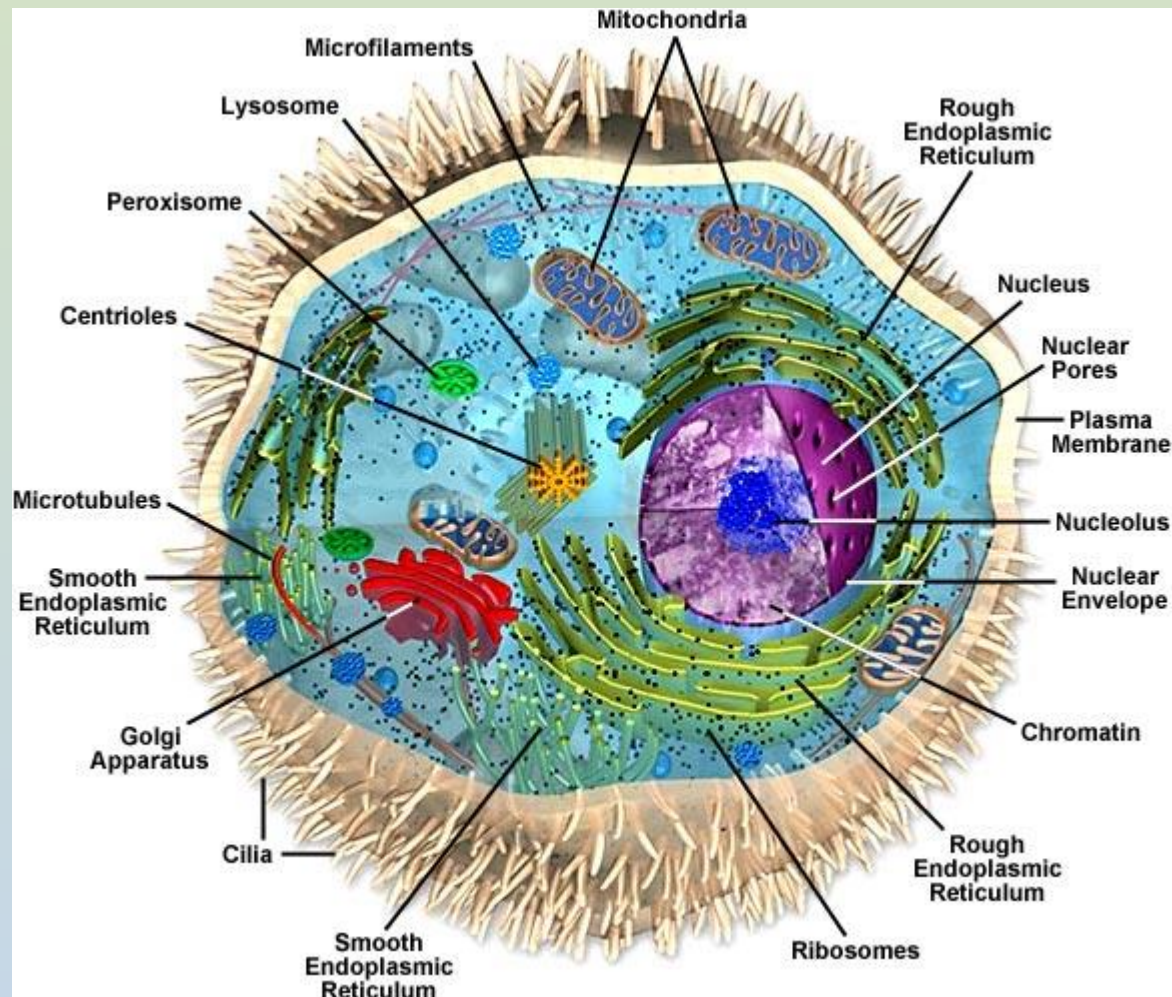
Ernst Haeckel



Ernst Haeckel



Biochemiczna kompartmentacja komórki



Źródło obrazka: http://homepage.smc.edu/wissmann_paul

Historia modelu budowy błon

- 1899 r. – model Overtona; komórka oddzielona jest od środowiska cienką warstwą lipidową.



Charles Ernest Overton (1865–1933)

Historia modelu budowy błon

- 1925 r. model Gortner'a i Grendela; lipidy otaczające komórkę przedstawiają układ dwuwarstwowy.
- 1935 r. model Davson'a i Daniellego; zakładali obecność warstewki białek po obu stronach podwójnej warstwy lipidowej (Bielańska-Osuchowska, Kawiak 1981 r.)

Historia modelu budowy błon

- 1965 r. model Robertson'a, pojęcie *unit membrane* – błony elementarnej; zakładał powszechność występowania regularnego układu trójwarstwowego: białka-lipidy-białka we wszystkich strukturach lamelarnych komórki.



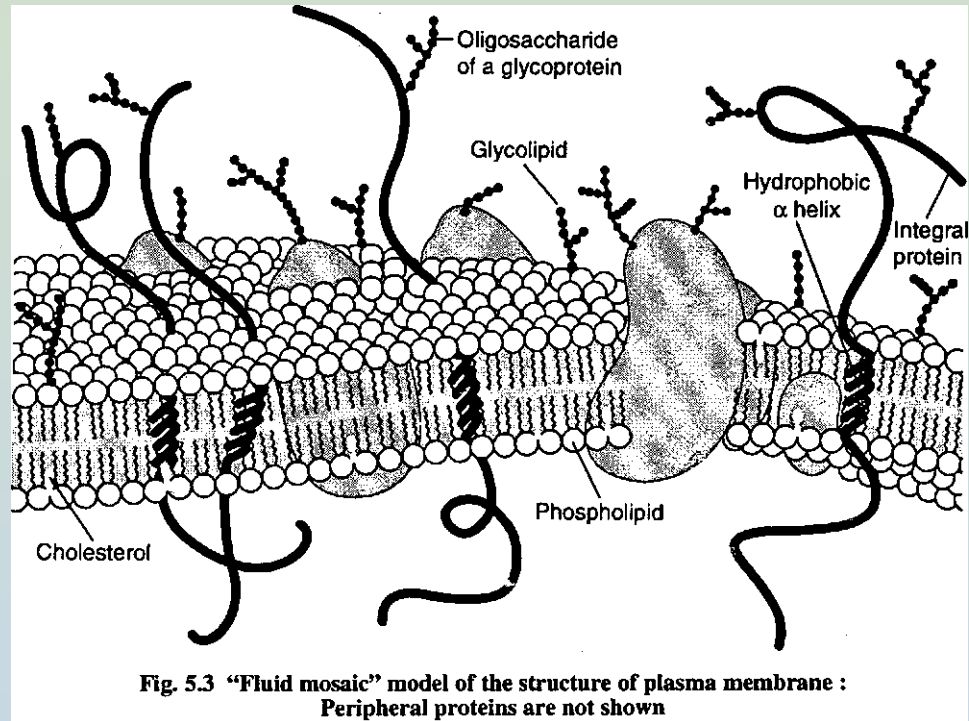
James David Robertson (1923 - 1995)

- 1972 r. model Singera i Nicolsona – mozaikowa struktura błony, uwzględniająca jej dynamikę.

Słuszną koncepcja mozaikowej struktury błony (Fluid mosaic model)



Seymour Jonathan Singer & Garth Nicolson

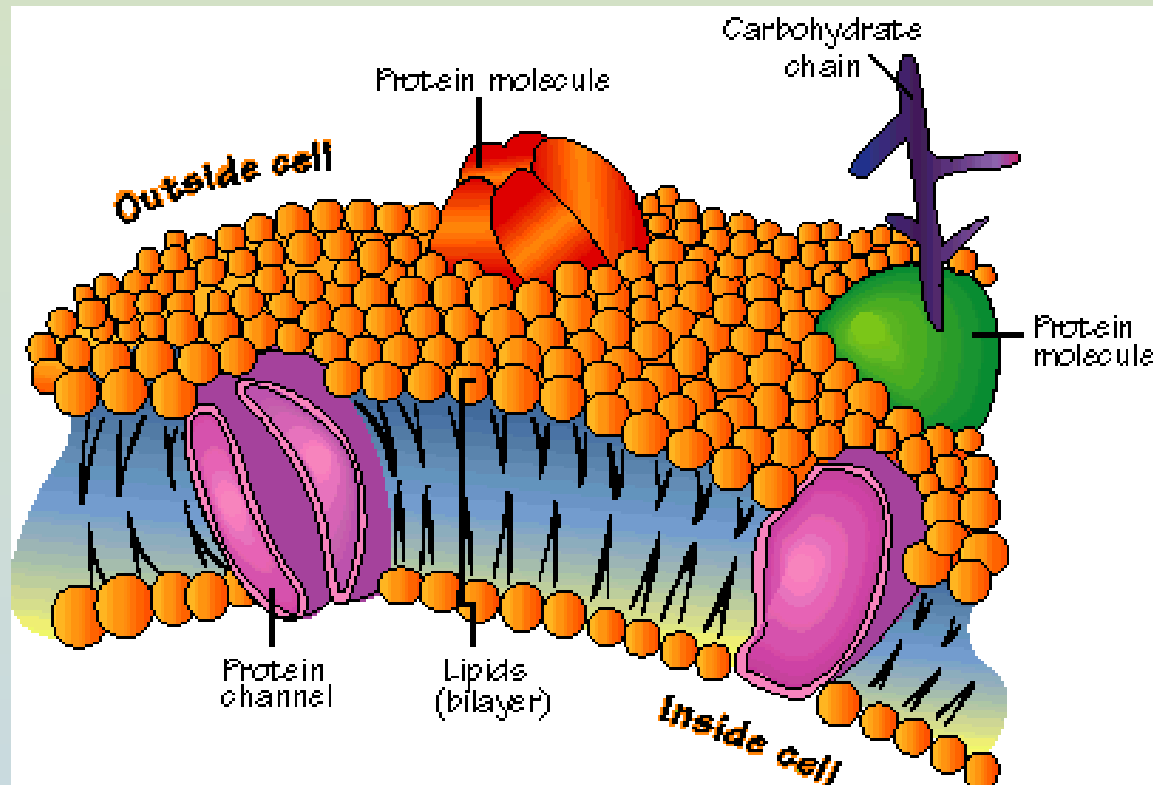


Źródło: <http://www.tutornext.com/brief-history-ultrastructure-plasma-membrane/8548>

Mozaikowy model błony

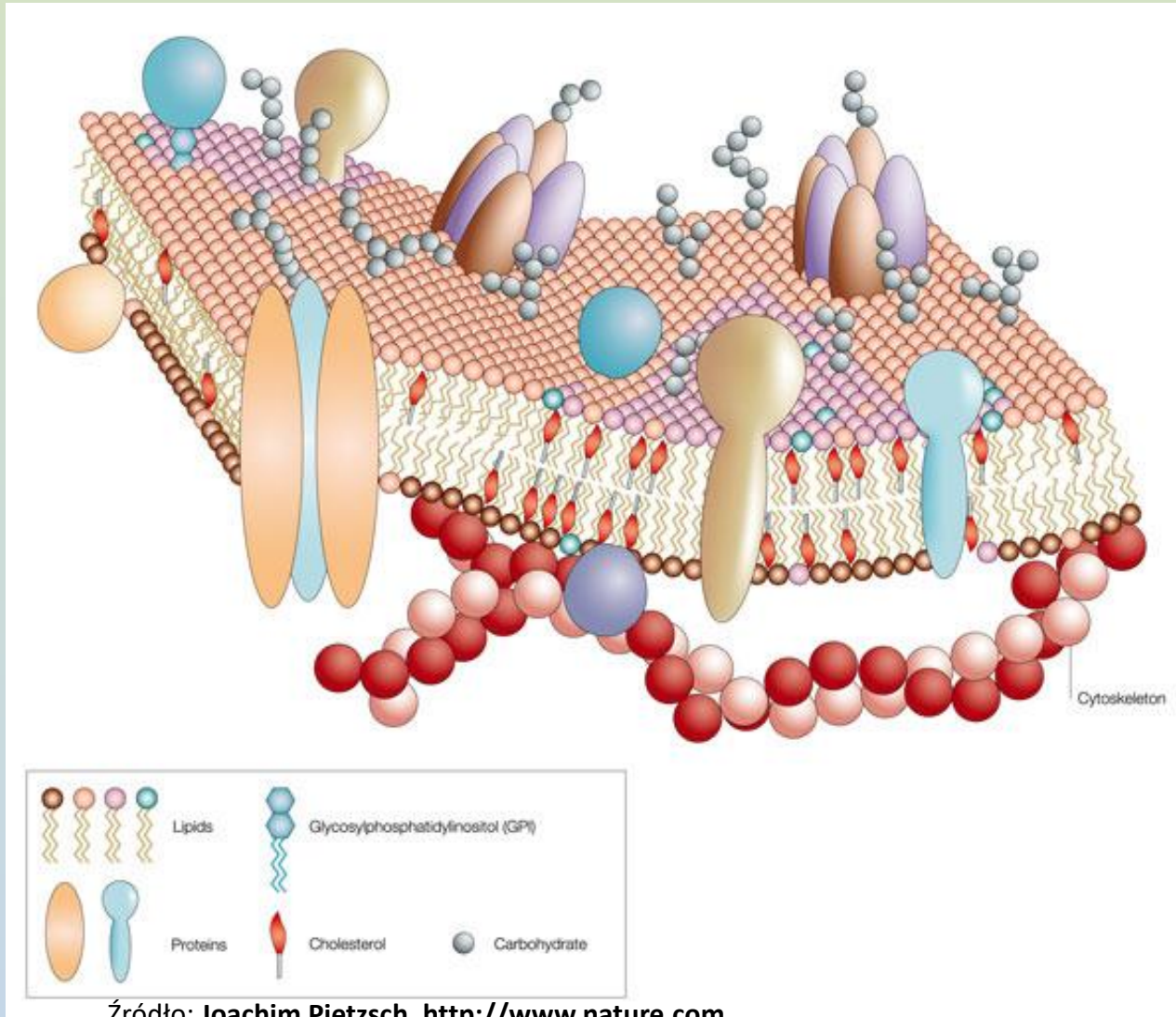


Wellcome Images



źródło: <http://www.delinetciler.net>

Mozaikowy model błony



Źródło: Joachim Pietzsch, <http://www.nature.com>

Mozaikowy model błony, funkcje błony.

Błona jest dwuwymiarowym roztworem zorientowanych lipidów i globularnych białek.

Błony ograniczają całą komórkę oraz tworzą poszczególne przedziały komórkowe, np. jądro, mitochondria, lizosomy.

Błony działają jako selektywnie przepuszczalne bariery umożliwiając różnicowanie wewnętrznego środowiska komórki lub organelli w stosunku do otoczenia.

Mozaikowy model błony, funkcje błony.

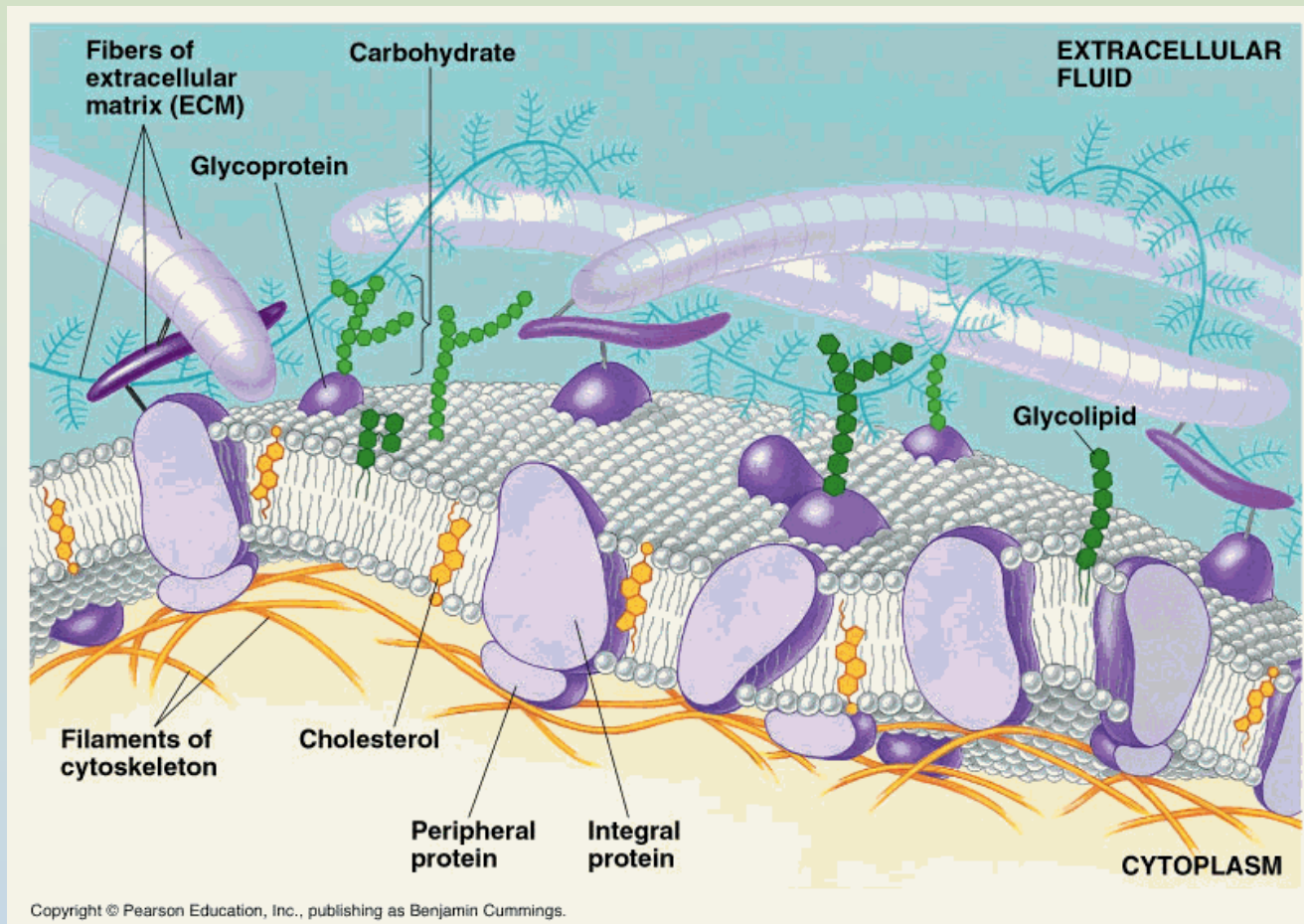
Błony zawierają specyficzne receptory odbierające bodźce zewnętrzne, zatem uczestniczą w procesach sygnalizacyjnych; biorą udział w wytwarzaniu sygnałów chemicznych i elektrycznych (Hames, Hooper 2002 r.).

Wszystkie błony zawierają dwa podstawowe składniki: lipidy i białka, niektóre również cukrowce.

Mozaikowy model błony, funkcje błony.

- Skład jakościowy i ilościowy lipidów, białek i cukrowców różni się w poszczególnych błonach (Sawicki 2005 r.; Minakowski, Weidner 2007 r.).
- Model płynnomozaikowy Jonathan'a Singer'a i Garth Nicolson przedstawia błonę jako dwuwymiarowy roztwór zorientowanych przestrzennie lipidów i globularnych białek. Integralne białka błonowe można rozpatrywać jako „góry lodowe” pływające w płaskim „morzu” lipidowym. Dwuwarstwowa organizacja lipidów działa zarówno jako ośrodek i rozpuszczalnik dla amfipatycznych integralnych białek błonowych, jak i jako bariera przepuszczalności. Lipidy mogą oddziaływać z pewnymi białkami błonowymi, oddziałując na funkcje błon. Białka błonowe mogą swobodnie dyfundować w płaszczyźnie dwuwarstwy.; jednakże białka błonowe nie mogą się przemieszczać z jednej strony dwuwarstwy na drugi ruchem „flip” (G.L. Patrick 2003 r.; Hames, Hooper 2002 r.).

Mozaikowy model błony, funkcje błony.



Struktura błon komórkowych elementarnych

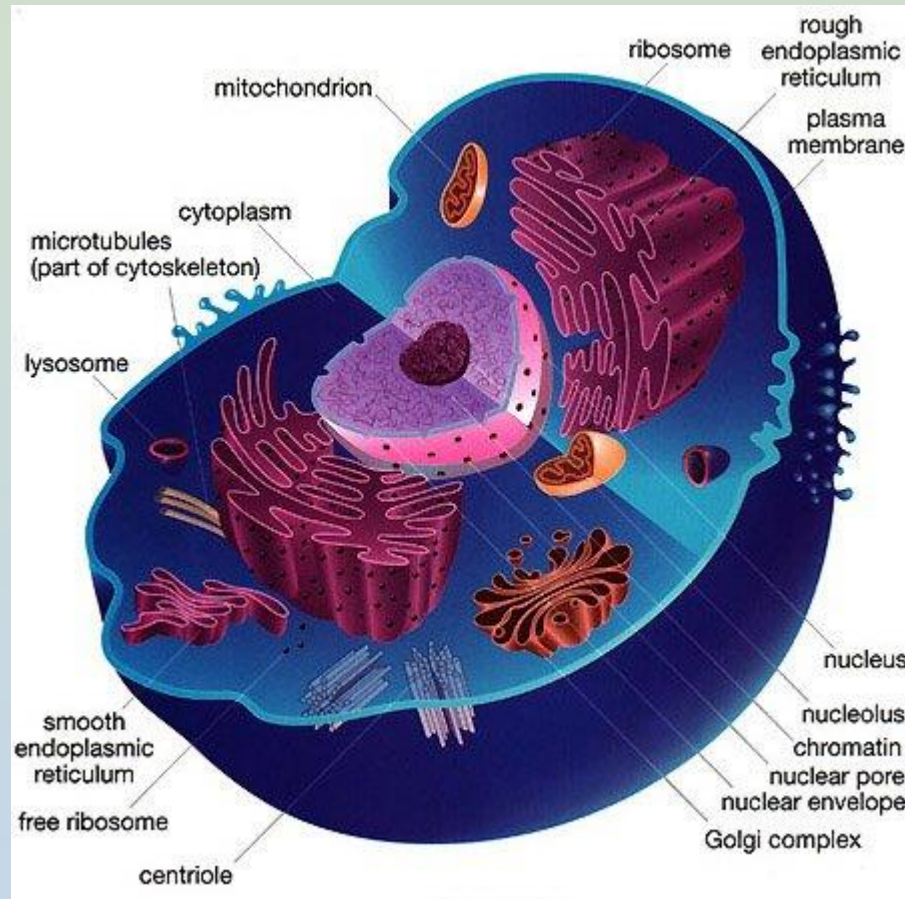
Błony komórki obejmują: cytolemmę (plasmolemma = plasmalemma), otaczającą komórkę od zewnątrz i błony śródkomórkowe. Błony śródkomórkowe tworzą liczne struktury o charakterze pęcherzyków, zbiorników, kanalików itp.

Aparat Golgiego
(diktiosomy) i plasmalemma



Struktura błon komórkowych elementarnych

- W przeciętnej komórce błona komórkowa stanowi zaledwie 2-5% wszystkich błon komórki a 95-98% przypada na błony śródkomórkowe.



Struktury błonowe komórki

Źródło: <http://www.uvm.edu/>

Struktura błon komórkowych elementarnych

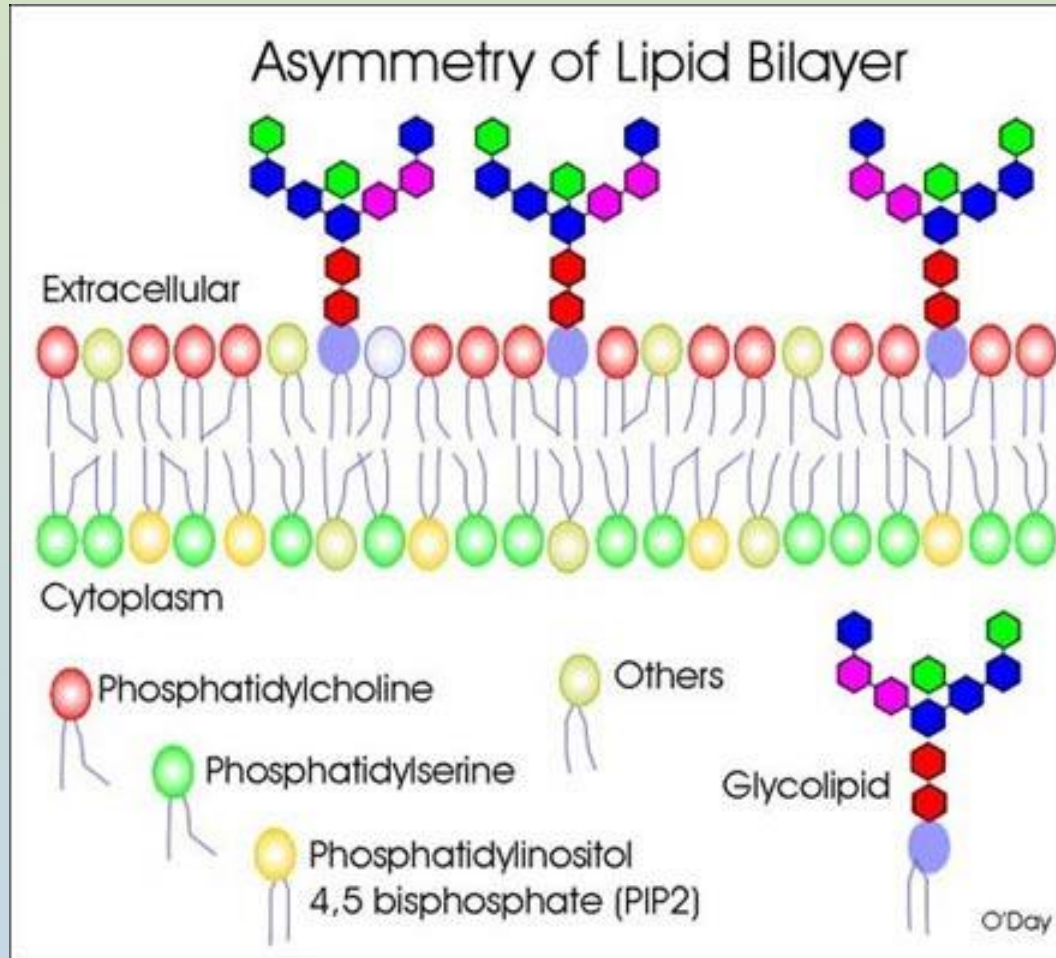
W skład błon wchodzi:

- **Fosfolipidy** (Fosfatydylocholina, fosfatydyloinozytol, fosfatydyloseryna, fosfatydyloetanolamina, sfingomielina);
- **Cholesterol**;
- **Glikolipidy**.

Składniki te zawiera błona komórkowa, natomiast błony śródkomórkowe nie zawierają prawie wcale glikolipidów i niewiele sfingomieliny i cholesterolu.

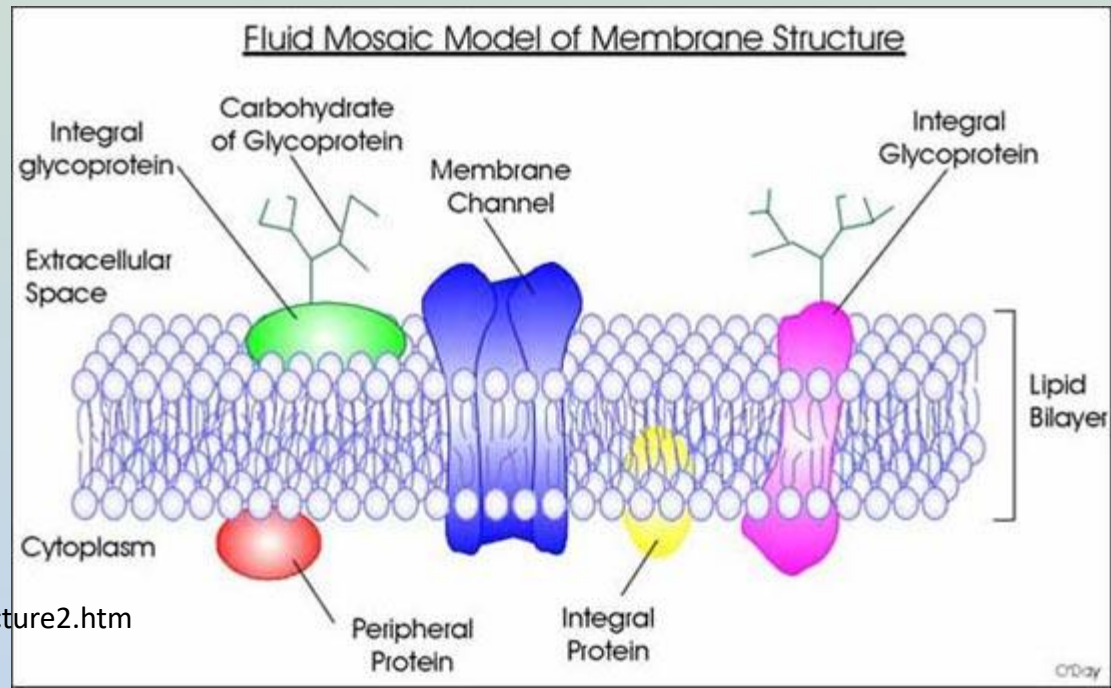
W błonie lipidowej znajdują się cząsteczki **białka**. Helisy alfa tych białek mogą przechodzić jedno- lub wielokrotnie przez szerokość błony. Są to **białka transbłonowe**.

Tłuszczowce błonowe



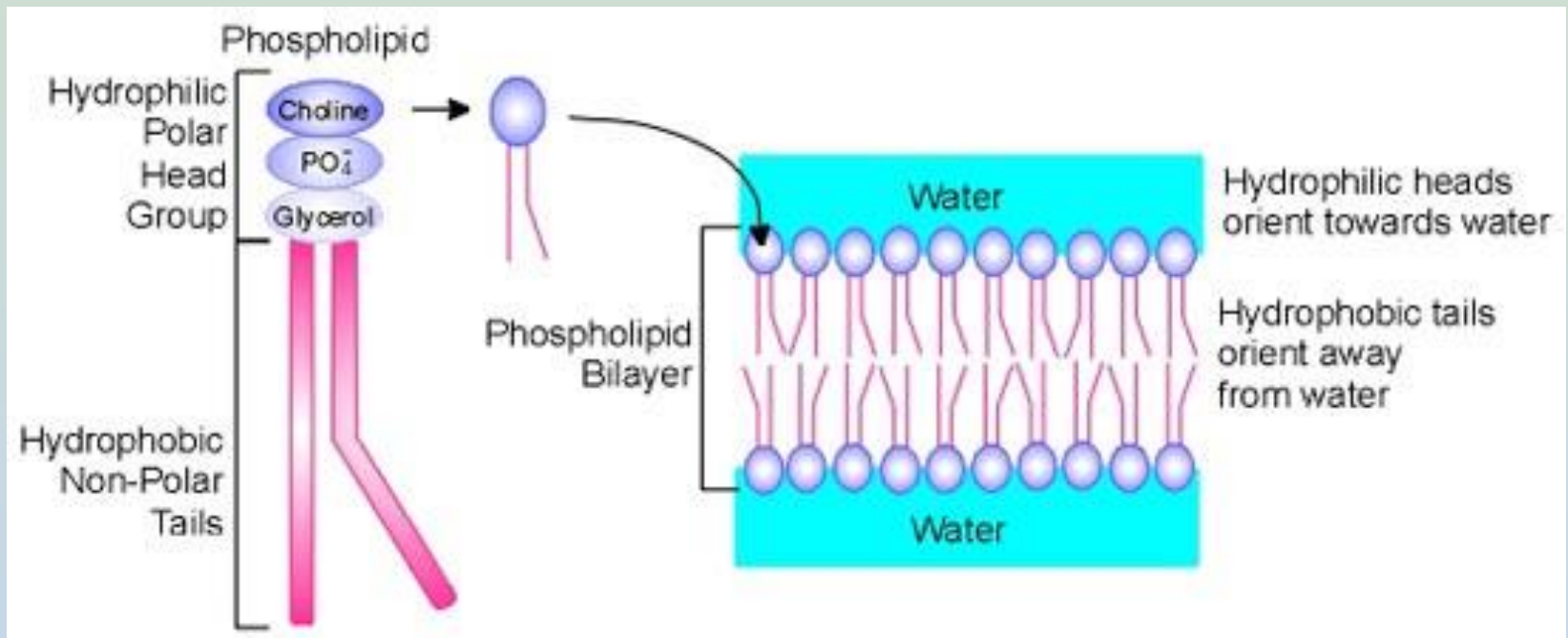
Struktura błon komórkowych elementarnych

Lipidy błon są amfipatyczne, czyli każda ich cząsteczka ma część hydrofilną (składającą się z polarnej grupy, np. choliny) i część hydrofobową (jeden lub dwa łańcuchy węglowodorowe).



Struktura błon komórkowych elementarnych

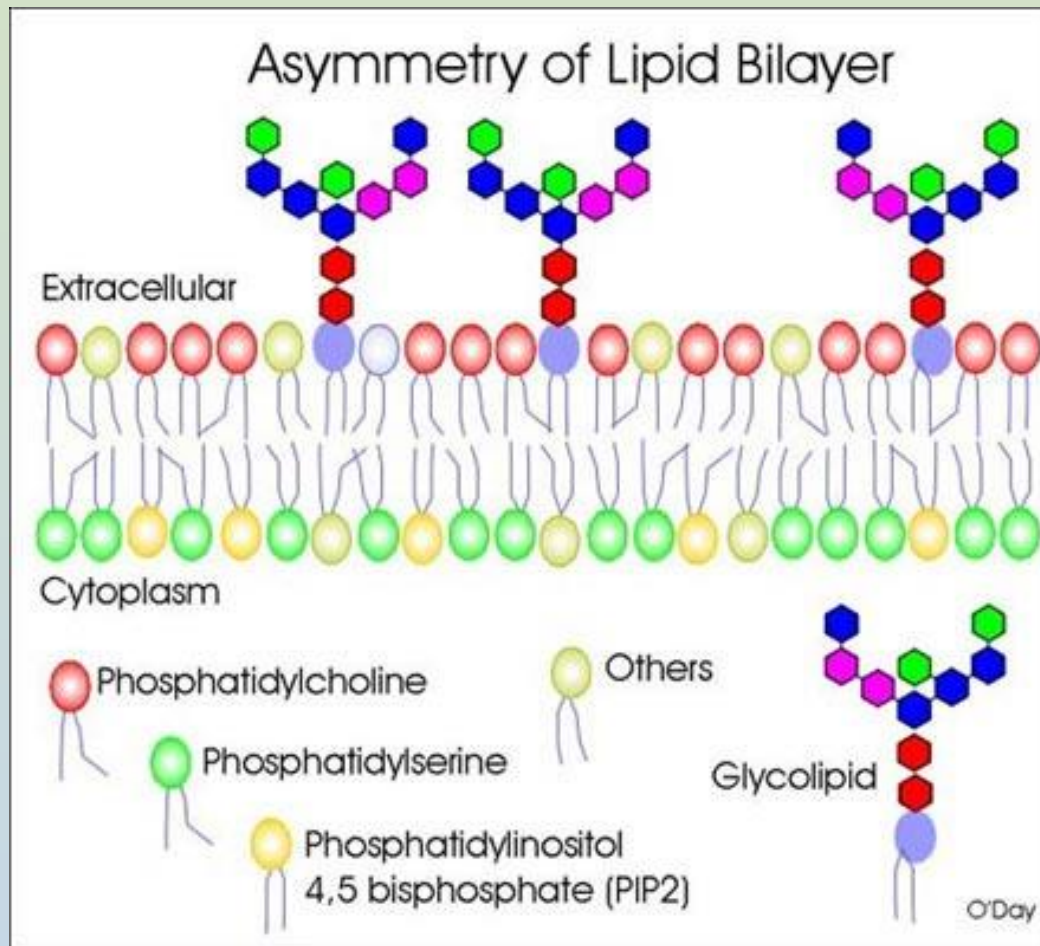
Części hydrofilne cząsteczek lipidów skierowane są ku powierzchni, a części hydrofobowe – ku wnętrzu błony.



Struktura błon komórkowych elementarnych

Dwuwarstwowa lipidowa błona jest **asymetryczna**, tj. fosfolipidy zewnętrznej warstwy zawierają głównie fosfatydylocholinę i glikolipidy, a fosfolipidy wewnętrznej warstwy głównie fosfatydyloserynę i fosfatydyloinozytol.

Struktura błon komórkowych elementarnych



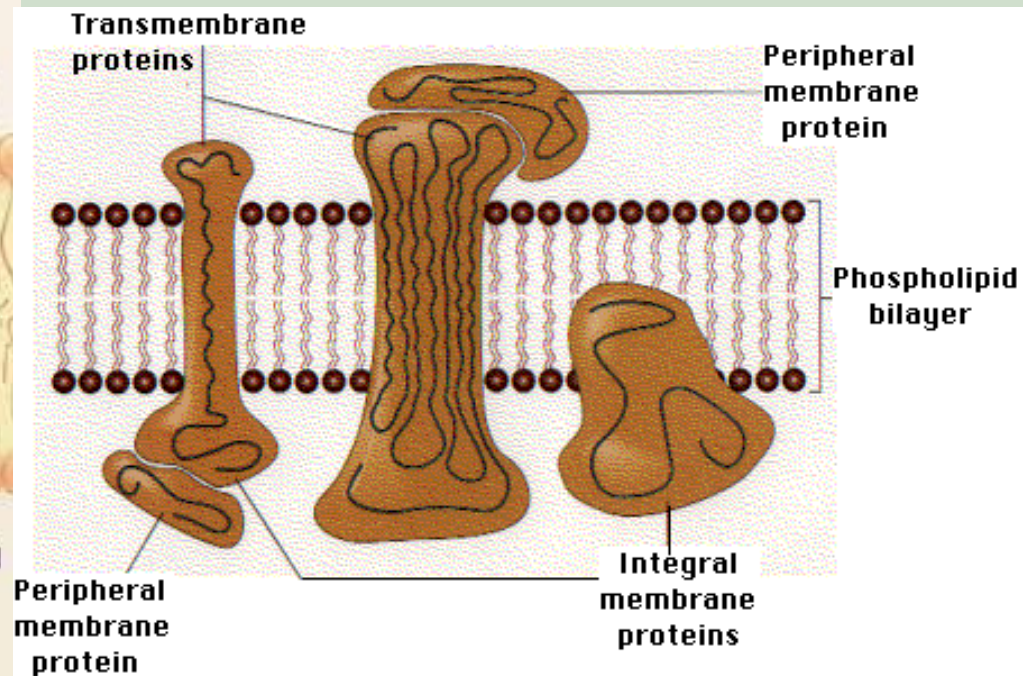
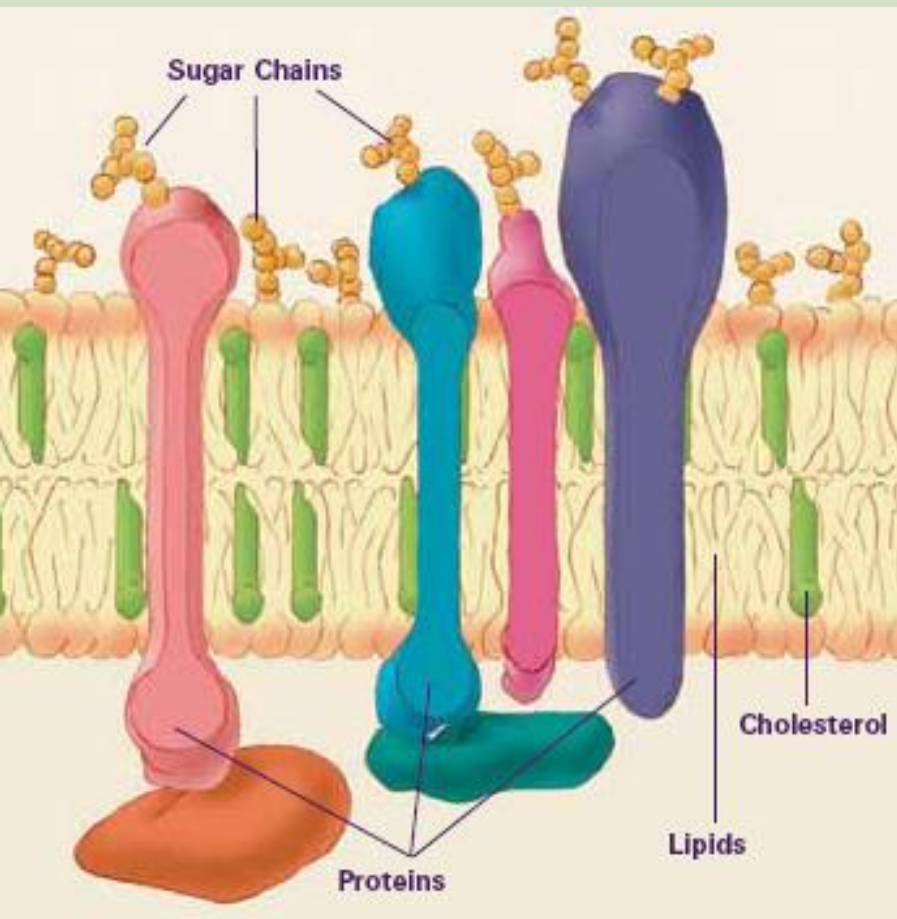
Struktura błon komórkowych elementarnych

Końce cząsteczek białek transbłonowych znajdują się po zewnętrznej i wewnętrznej stronie błony.

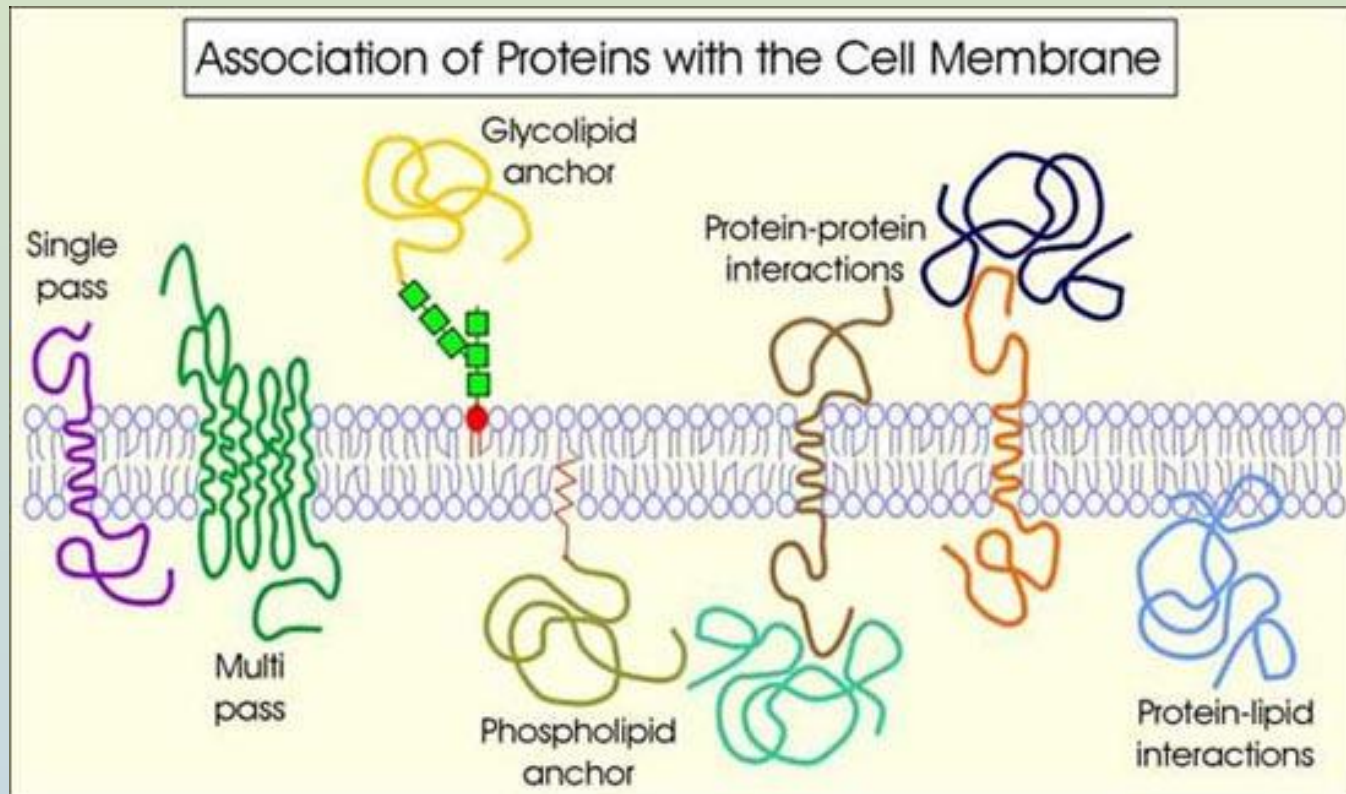
Końce zewnętrzne wiążą się z oligosacharydami, wytwarzając glikoproteiny. Takie białka transbłonowe są:

- receptorami, np. dla hormonów;
- białkami kanałowymi (umożliwiają przepływ jonów nieorganicznych i cząsteczek);
- białkami enzymatycznymi.

Składniki błon



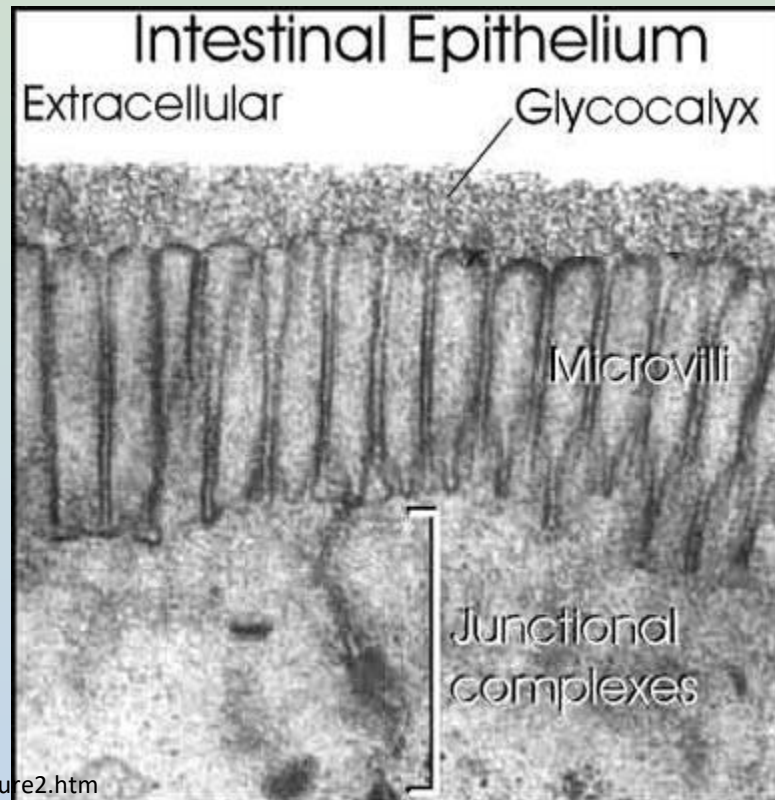
Białka błonowe



Białka i cukry błonowe

Wspólnie z białkami zaadsorbowanymi i sacharydami tworzą zewnętrzną warstwę na powierzchni komórki, zwaną **glikokaliksem**.

Wielocukry błony komórkowej biorą udział w wytwarzaniu bezpośrednich kontaktów między komórkami. Uczestniczą we wzajemnym rozpoznawaniu się komórek i w różnicowaniu tkanek.

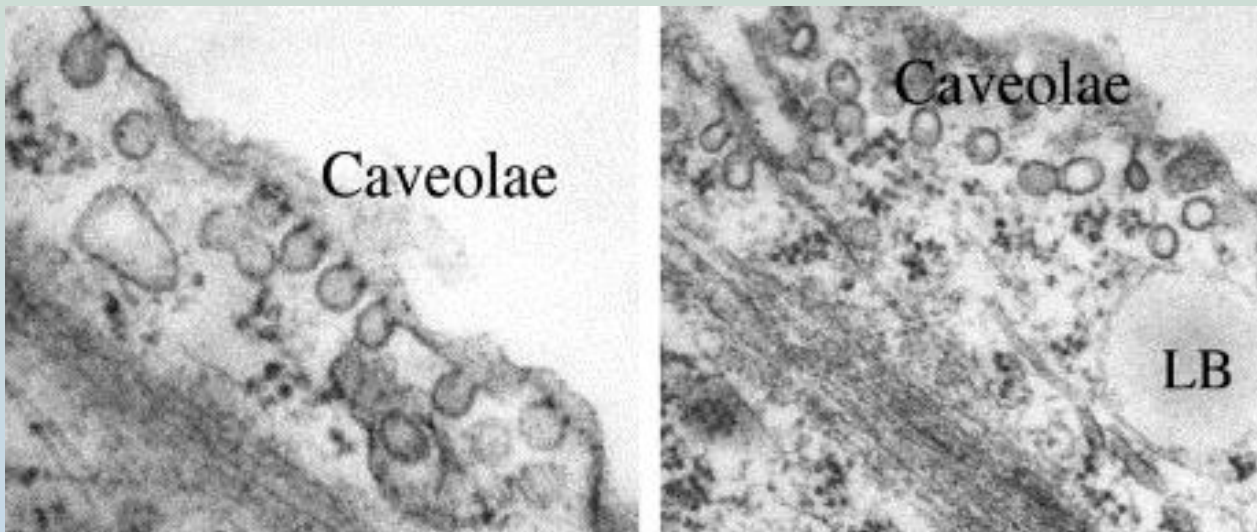


Białka błonowe

- Białka mogą skupiać się na niewielkiej powierzchni błony tworząc **czapeczki**.
- W niektórych miejscach błony znajdują się wyspy, w których dwuwarstwa lipidowa błony ma swoistą strukturę. Wyspy takie nazywane są **tratwami błony**. Oprócz nich znajdują się wgłębienia błony. Wgłębienia takie nazywane są **kaweolami błony**, a w ich błonie znajdują się swoiste białka – kaweoliny.

Kaweole i tratwy błonowe

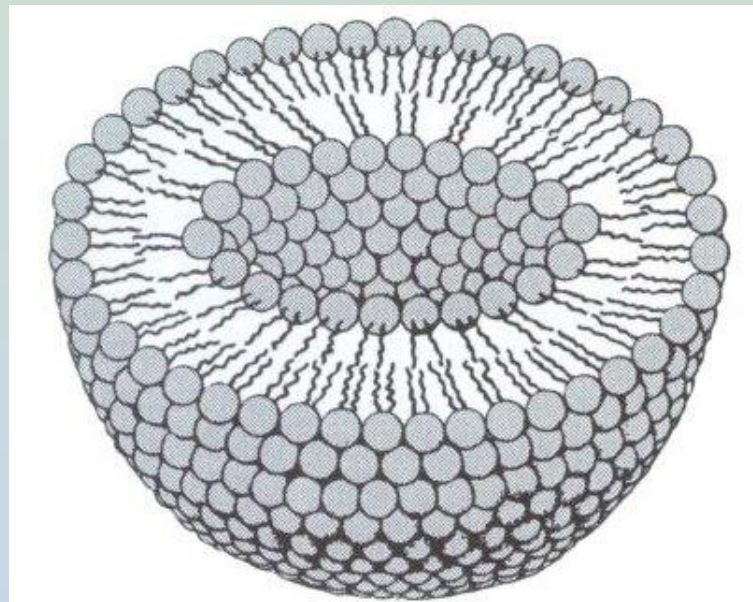
- Tratwy i kaweole błony zbudowane są z dwuwarstwy lipidowej, ale wśród ich lipidów przeważają glikolipidy, cholesterol i sfingolipidy. Zawierają także fosfatydyloinozytol.



Liposomy

Liposomy to pęcherzyki otoczone błoną. Służą do transportu tłuszczów w środowisku wodnym organizmu. Występują obficie w hepatocytach i enterocytach.

Komórki nabłonkowe jelita i komórki wątrobowe wytwarzają pęcherzyki których ścianę stanowi jedna lub dwie warstwy fosfolipidów, a we wnętrzu znajdują się triglicerydy i cholesterol. Te pęcherzyki są transportowane jako chylomikrony, o średnicy 0,1-0,5 μm .



Liposome structure formed by phospholipids

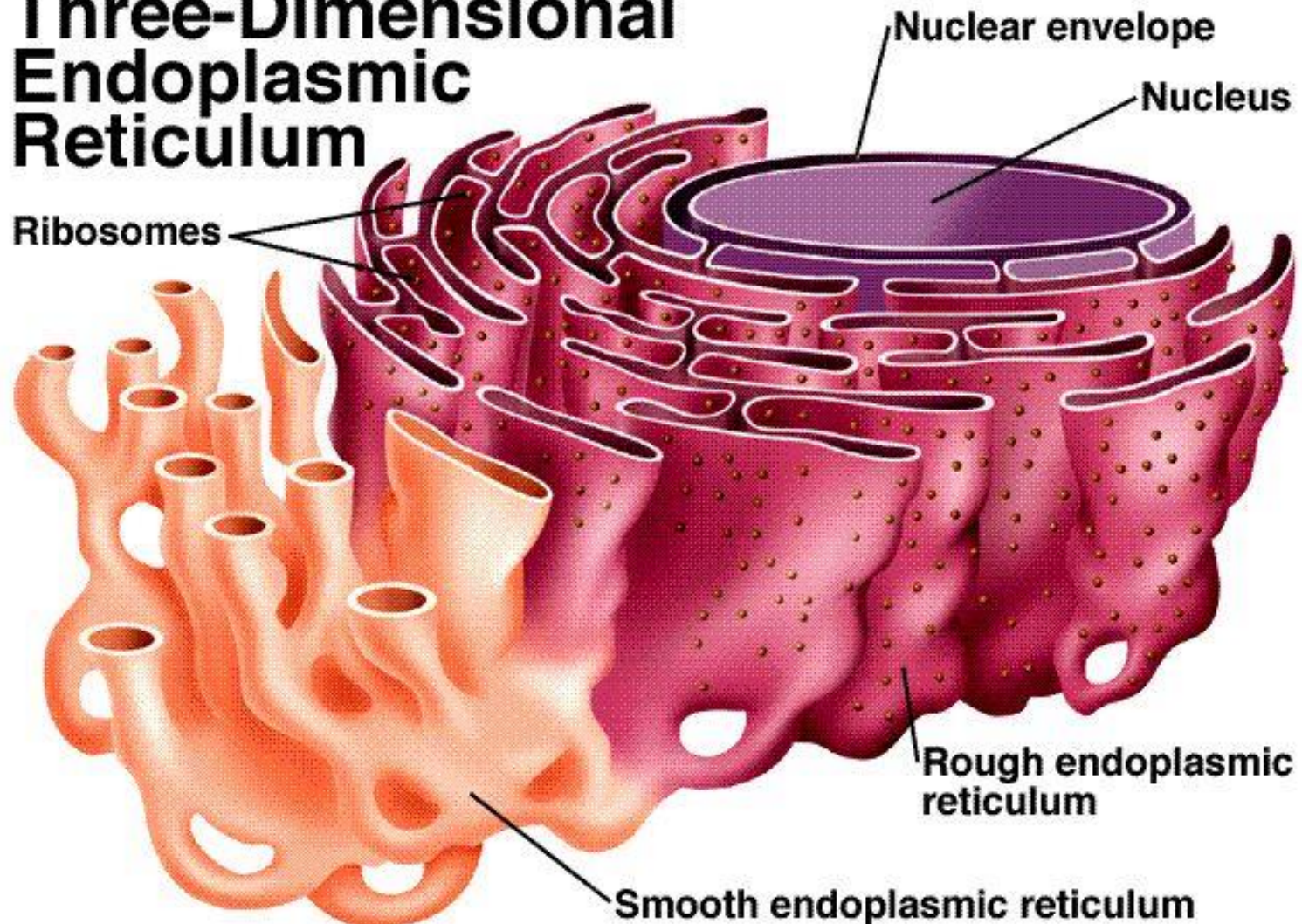
Siateczka śródplazmatyczna

Retikulum endoplazmatyczne (siateczka śródplazmatyczna, Endoplasmic reticulum, ER) jest strukturą cytoplazmatyczną, która zajmuje ok. 10% objętości komórki. Jest systemem zbiorników, kanalików, woreczków i pęcherzyków. Ściana retikulum składa się z błony, która oddziela cytosol od ich światła.

Siateczka śródplazmatyczna

Randy Moore, Dennis Clark, and Darrell Vodopich, Botany Visual Resource Library © 1998 The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

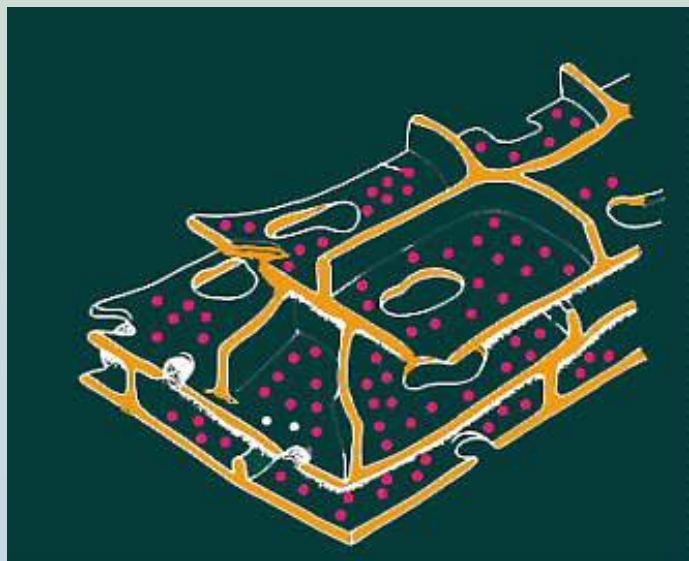
Three-Dimensional Endoplasmic Reticulum



Siateczka śródplazmatyczna

Dwa rodzaje ER:

- Retikulum endoplazmatyczne agranularne (siateczka śródplazmatyczna gładka)
- Retikulum endoplazmatyczne granularne (siateczka śródplazmatyczna szorstka).



Retikulum endoplazmatyczne granularne, model oraz zdj. z mikroskopu elektr.

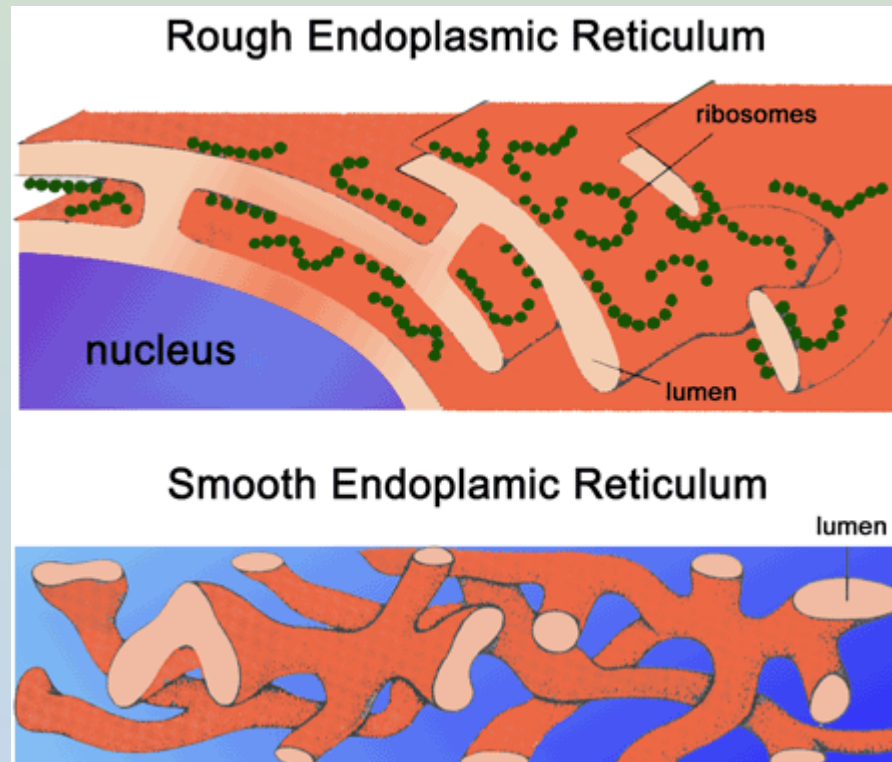
Gładka siateczka śródplazmatyczna

Retikulum endoplazmatyczne agranularne, Smooth Endoplasmic Reticulum, SER) - system rozgałęzionych kanalików o średnicy 20-30 nm, których ścianę stanowi błona zawierająca wiele białek receptorowych, enzymatycznych i kanałowych.

Występuje obficie w wyspecjalizowanych komórkach, np. mięśniowych, wątrobowych, syntetyzujących sterydy.

Gładka siateczka śródplazmatyczna

- Uczestniczy w metabolizmie tłuszczów;
- Bierze udział w detoksykacji szkodliwych metabolitów i ksenobiotyków;
- Gromadzi Ca^{2+} w dużym stężeniu.



Szorstka siateczka śródplazmatyczna

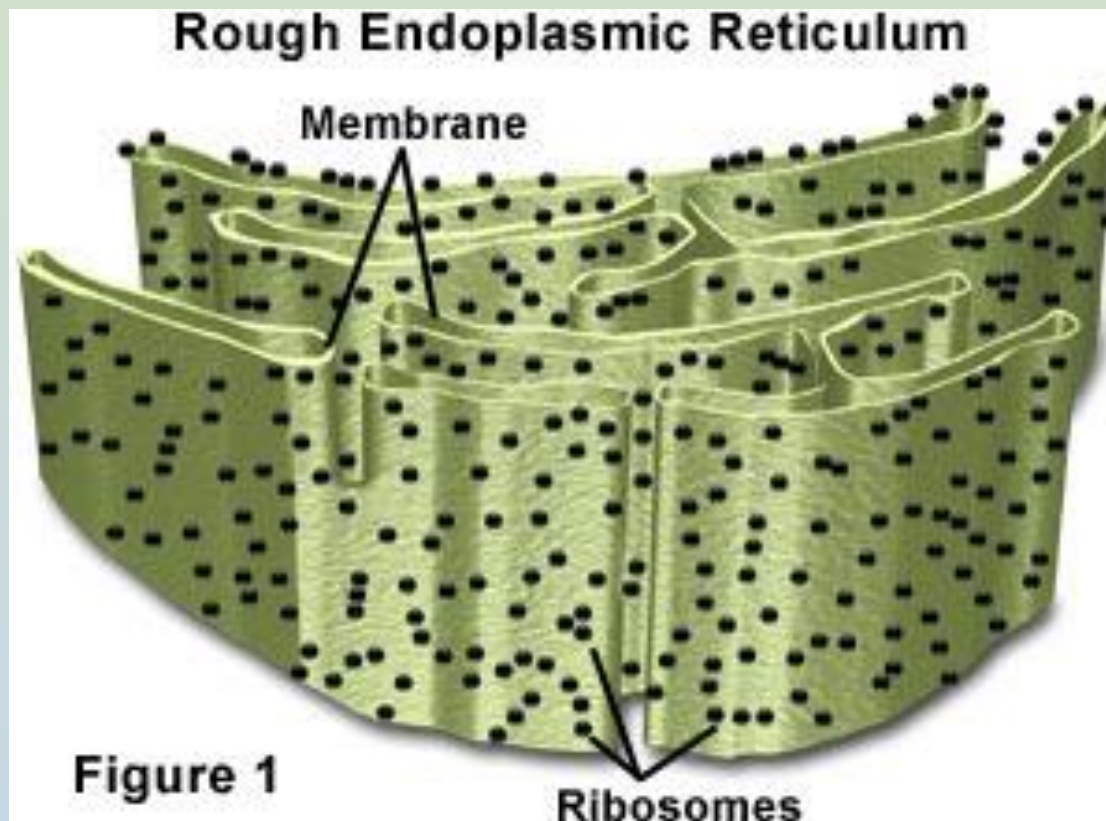
Retikulum endoplazmatyczne granularne (Rough Endoplasmic Reticulum, RER) złożone jest z leżących obok siebie płaskich zbiorników (cystern) o szer. 30-60 nm, których ścianę stanowi błona z licznymi rybosomami na jej zewnętrznej powierzchni.

Występuje we wszystkich komórkach mających jądra, z wyjątkiem plemników.

Szczególnie dobrze rozwinięta w komórkach wyspecjalizowanych w syntezie białek, np. w komórkach trzustki.

Cytoplazma takich komórek jest zasadochłonna z powodu obecności rybosomów.

Szorstka siateczka śródplazmatyczna

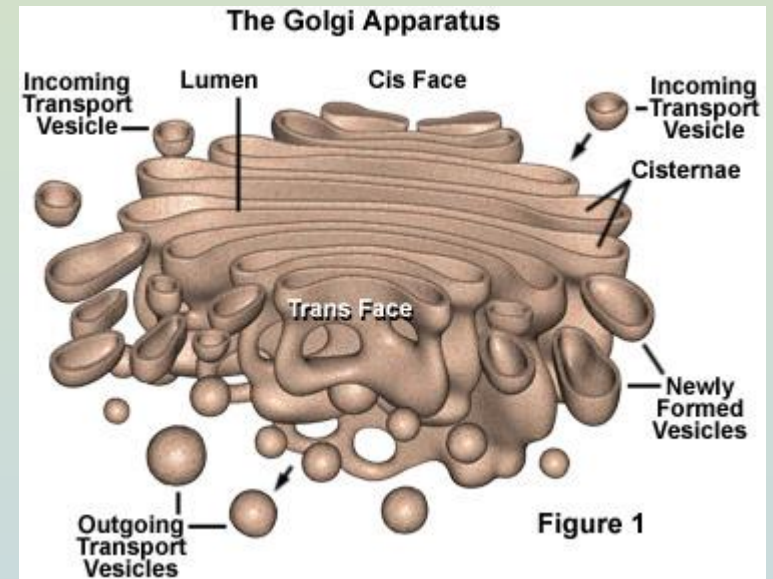
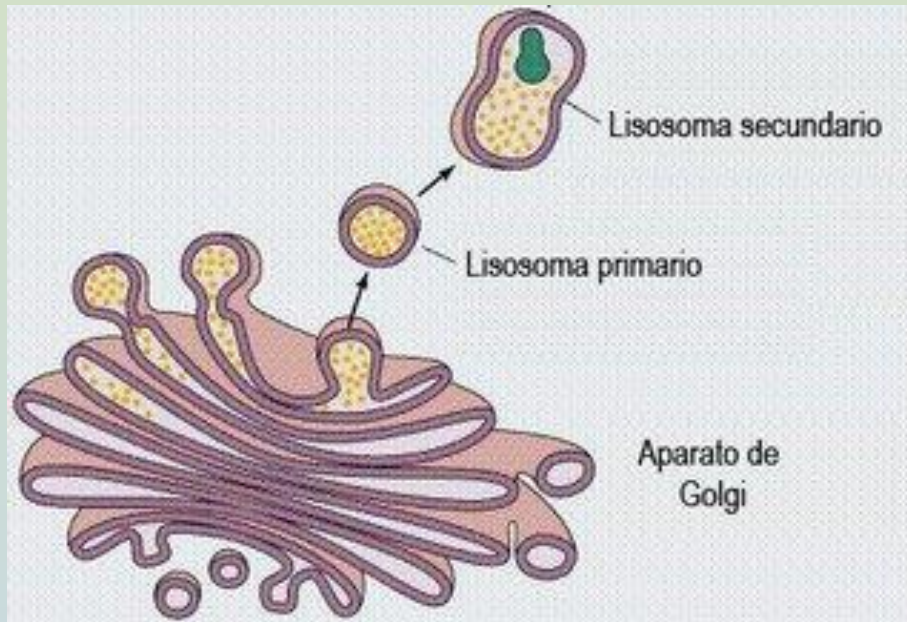


Aparat Golgiego i diktiosom

Jest o błoniasta struktura komórki, najczęściej zlokalizowana w pobliżu jądra. Złożona jest zwykle z 6-30 spłaszczonych woreczków-zbiorników oraz połączonych z nimi licznych rurek i pęcherzyków, których ściany zbudowane są z błony. Układ taki, którego średnica wynosi 1 μm jest nazywany diktiosomem (gr. diktyon – siatka, soma – ciało). Liczba diktiosomów w komórce waha się od kilku do 100. Licznie występują w komórkach wydzielniczych i wydaliniczych, np. w śluzowych.

Diktiosomy powstają z szorstkiej siateczki śródplazmatycznej oraz z zewnętrznej błony otoczki jądrowej.

Diktiosom



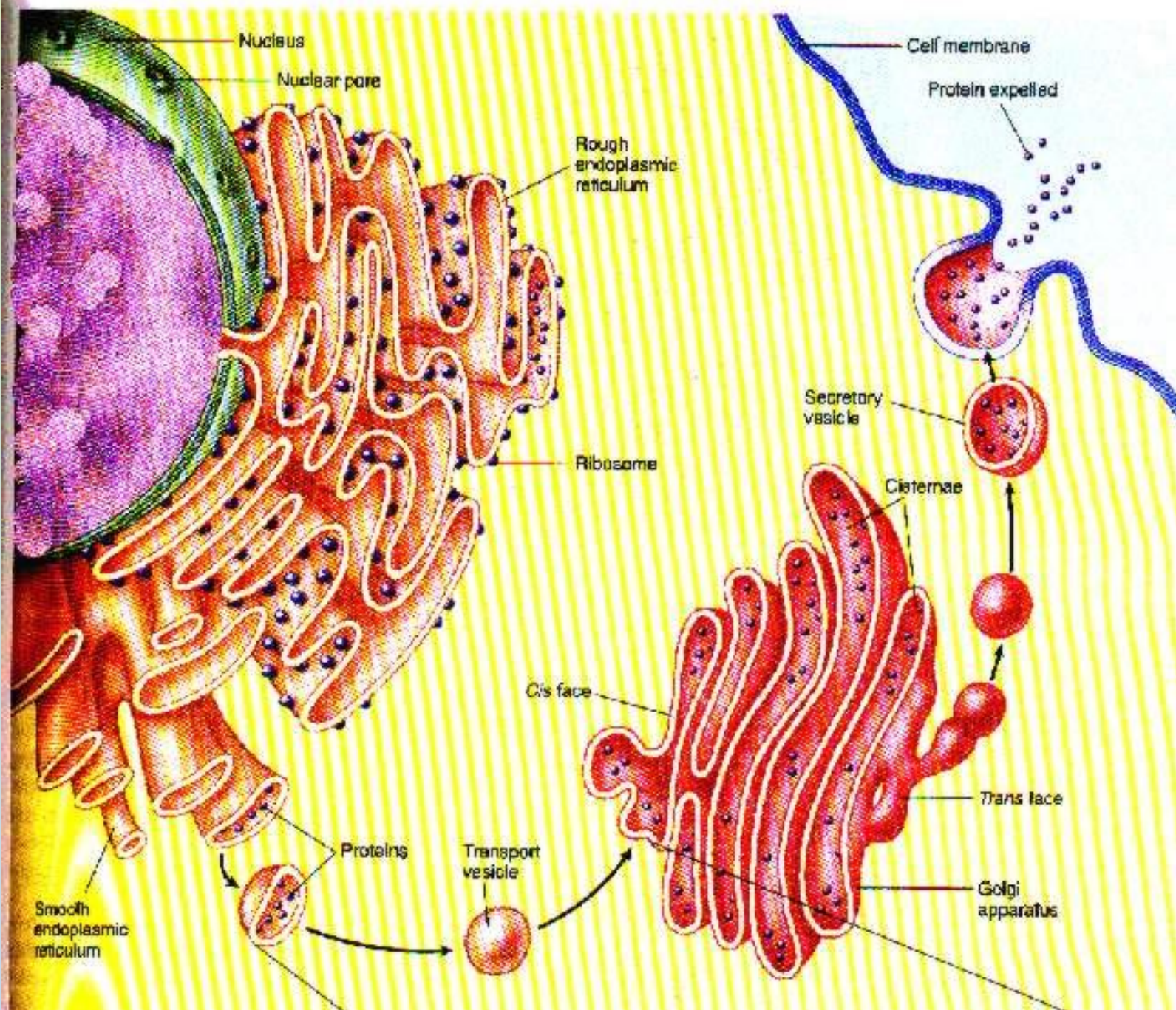
Źródło: <http://1.bp.blogspot.com/>

Diktiosom

- W diktiosomie wyróżnia się dwie powierzchnie: cis- syntezy i trans – dojrzewania.
- Powierzchnia cis zawiera zbiorniki zbudowane z błony z rybosomami.
- Powierzchnia trans posiada zbiorniki o błonach gładkich.
- Transport makrocząsteczek ze zbiornika do zbiornika w kierunku cis → trans odbywa się w pęcherzykach pączkujących z jednego zbiornika i fuzujących z innymi. Transport makrocząsteczek ze zbiorników trans do endosomów i ku błonie komórkowej (ogzocytoza) odbywa się w pęcherzykach powstających z udziałem białka klatryny.

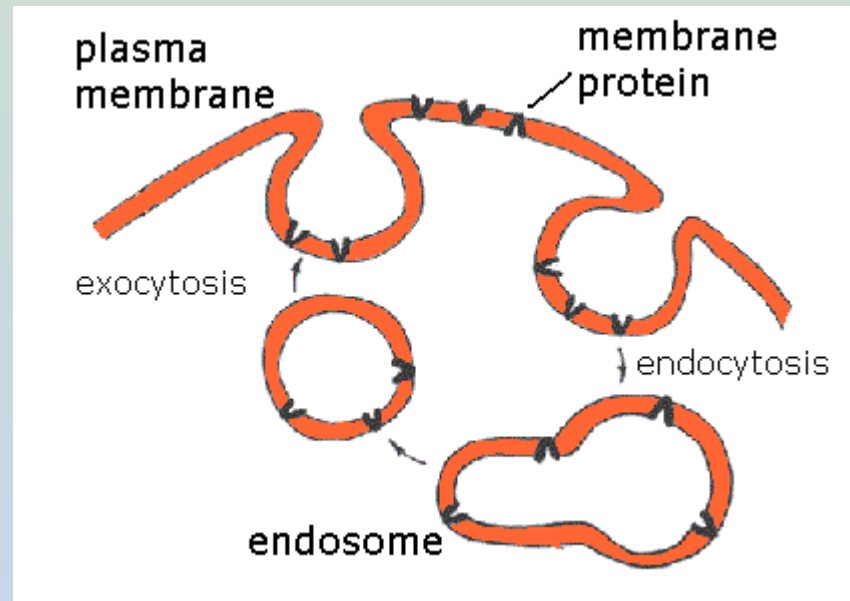
Diktiosom

- Kieruje przepływem makrocząsteczek
- Modyfikuje strukturę makrocząsteczek
- Segreguje makrocząsteczki wg budowy chemicznej.



Endosomy

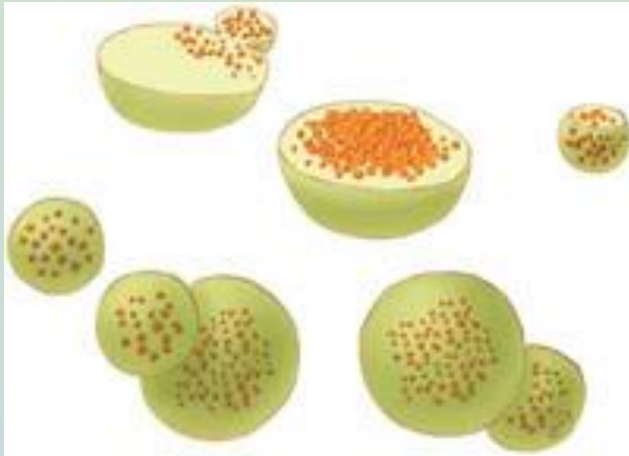
- Endosomy – ciała wewnętrzne – błoniaste struktury przybierające postać zbiorników i cewek. Biorą udział w endocytozie, segregacji i transporcie cząsteczek oraz makrocząsteczek białek w komórce.



Lizosomy

Lizosomy (gr. Lysis – rozpuszczanie, soma – ciało) to pęcherzyki otoczone błoną o średnicy do 1 μm . Zawartość lizosomów ma odczyn kwaśny i obejmuje enzymy: proteazy, lipazy, fosfolipazy, glikozydazy, sulfataza, fosfataza, nukleaza. Błona lizosomalna zawiera enzymy transbłonowe, które pełnią funkcje pompy protonowej pompującej do ich wnętrza H^+ , co obniża pH. Błona lizosomów jest przepuszczalna dla produktów powstających w wyniku aktywności hydrolaz. Te produkty mogą być wykorzystane przez komórkę po przedostaniu się do cytozolu. Lizosomy powstają ze zbiorników Aparatu Golgiego. Lizosomy uczestniczą w trawieniu wewnątrzkomórkowym.

Lizosomy

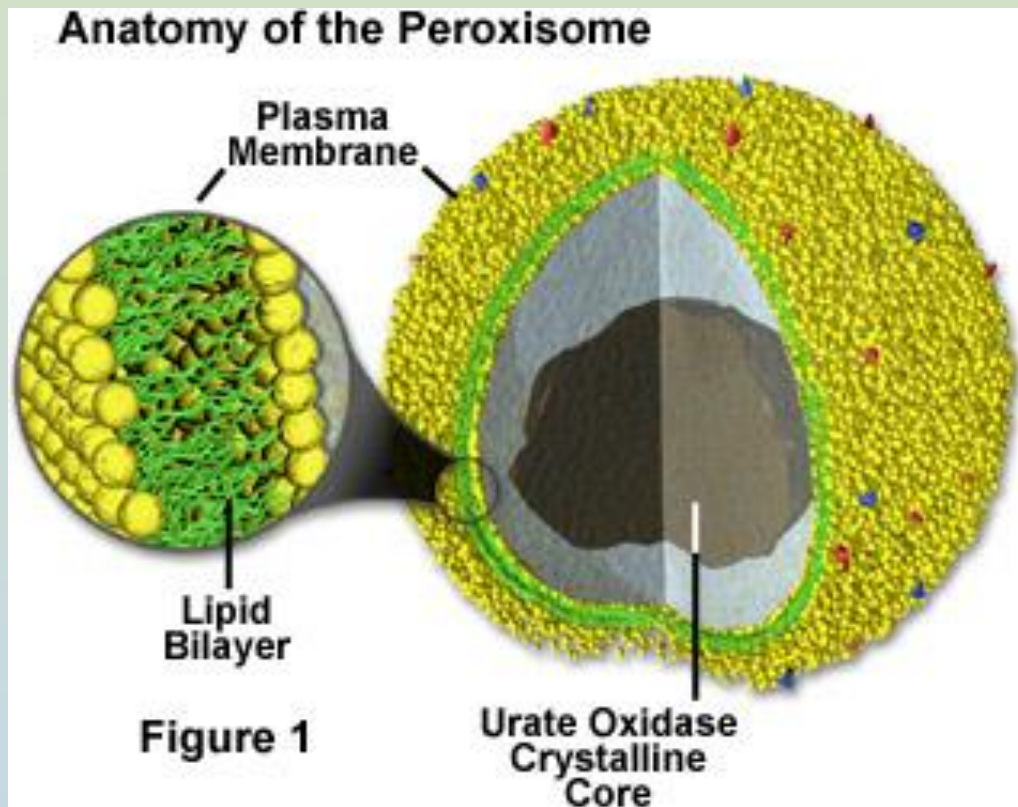


Źródło obrazka: <http://mrelderteaching.ca>

Peroksysomy

- Peroksysomy są pęcherzykami o średnicy 0,15-0,5 μm , otoczonymi błoną. Największe rozmiary osiągają w komórkach wątrobowych i nerkowych. W 1 komórce może być ich nawet 400. Zawierają katalazę, oksydazę D-aminokwasów oraz oksydazę moczanową. Niekiedy enzymy te przybierają formę krystaloidów wewnątrz peroksysomów.

Peroxisome



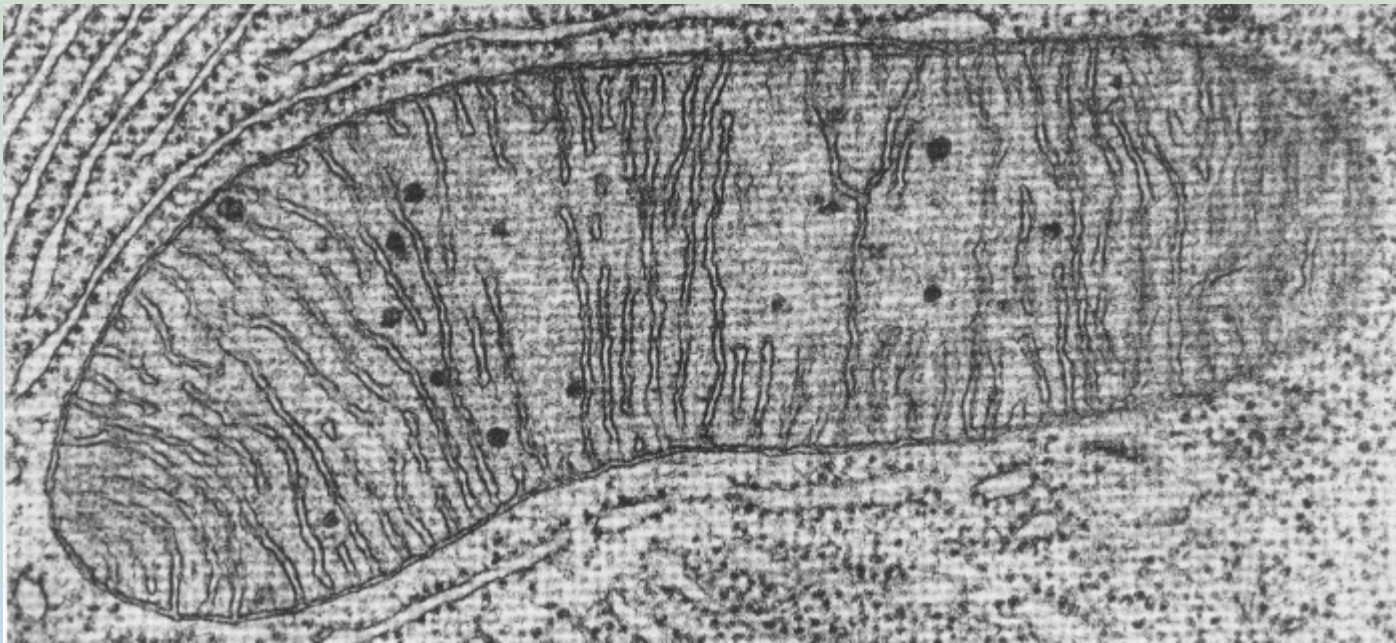
Źródło: <http://micro.magnet.fsu.edu>

Peroksysomy

Peroksysomy, podobnie jak mitochondria, są wyłączone z systemu recyrkulacji błon komórki. Białka i lipidy są do nich importowane za pomocą specjalnych białek kanałowych i nośnikowych. Peroksysomy przeprowadzają beta-oksydację, tj. wytwarzanie z kwasów tłuszczowych dwuwęglowych fragmentów, które następnie są przekształcane w acetylokoenzym A i transportowane do cytozolu (a dalej jako źródło energii w cyklu Krebsa). Peroksysomy uczestniczą w detoksykacji ksenobiotyków i metabolitów przez utlenianie. Powstają z gładkiej siateczki śródplazmatycznej, przez pączkowanie. Enzymy dla peroksysomów są syntetyzowane w granularnym retikulum endoplazmatycznym.

Mitochondria

Mitochondria to organelle występujące w prawie wszystkich komórkach jądrowych, poza nielicznymi wyjątkami: ameby patogenne i erytrocyty. Stanowią przedział metaboliczny zdecydowanie odrębny od cytoplazmy, chociaż powiązany z nią funkcjonalnie wieloma przenośnikami, pompami i kanałami.

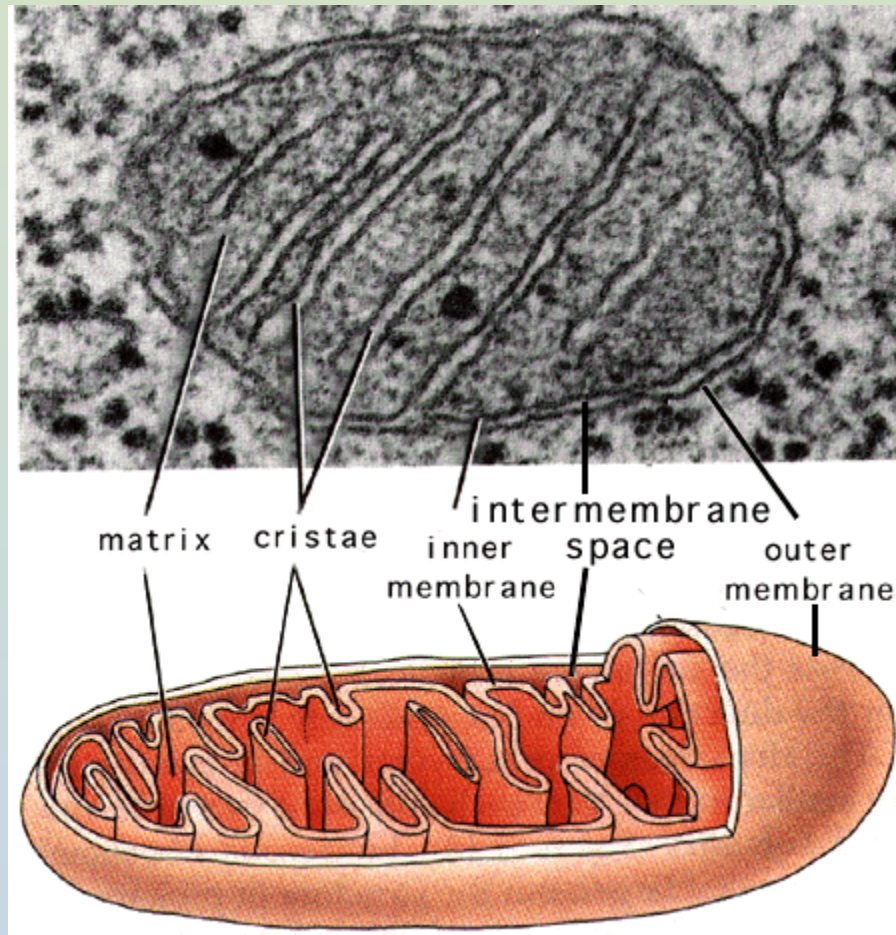


Źródło: <http://kfzfbp.uniag.sk>

Mitochondria

- Mitochondria, obok chloroplastów, zawierają pozajądrowy genom (DNA) zdolny do ekspresji (pierwotniak *Cryptosporidium* nie zawiera genomu w mitochondriach!).
- Większość komórek zawiera ich kilkaset, ale np. komórki wątroby do 2500, gdzie zajmują ok. 20% objętości komórki. Niektóre ameby wolno żyjące (odwrotnie niż w amebach patogennych) zawierają nawet kilkaset tysięcy mitochondriów. W oocycie jest ich 200 000.

Mitochondria



Źródło obrazka: <http://microbewiki.kenyon.edu>

Mitochondria

- Mitochondria (gr. mitos – nić, chondron – ziarno) przybierają kształt laseczek lub nitek.
- Otoczone są dwoma błonami zewnętrzną i wewnętrzną, z których każda jest typową dwuwarstwową błoną lipidową, zawierająca wiele wyspecjalizowanych białek błonowych.
- Błona wewnętrzna ulega charakterystycznym sfałdowaniom, wytwarzając grzebienie (cristae) mitochondrialne.

Mitochondria

Wewnętrzna błona mitochondrialna zawiera 3 rodzaje białek błonowych:

- Białka łańcucha oddechowego;
- Białka kompleksu enzymatycznego nazywanego syntazą ATP;
- Białka biorące udział w transporcie metabolitów do i z mitochondrium.

Kompleksy syntazy ATP można oglądać pod mikroskopem elektronowym jako grzybki na powierzchni błony wewnętrznej. Jest ich 10-100 tys. w 1 mitochondrium.

Mitochondrium

- Zewnętrzna błona mitochondrialna zawiera liczne błonowe kompleksy białek, biorące udział w transporcie różnych związków chemicznych, w tym również białek o m.cz. do 10 tys. Oraz białka enzymatyczne, przekształcające lipidy do takich ich postaci, które mogą być zużytkowane w macierzy mitochondrium.

Mitochondria

- Wnętrze mitochondrium składa się z bezpostaciowej macierzy (matrix) oraz przestrzenie międzybłonowej. W macierzy znajdują się enzymy katalizujące reakcje przemian kwasów tłuszczowych i kwasu pirogronowego, wytwarzanie acetylokoenzymu A.
- W macierzy mitochondrialnej znajdują się rybosomy oraz kilka kopii mitochondrialnego DNA (mtDNA), który jest kolisty.

Mitochondria

