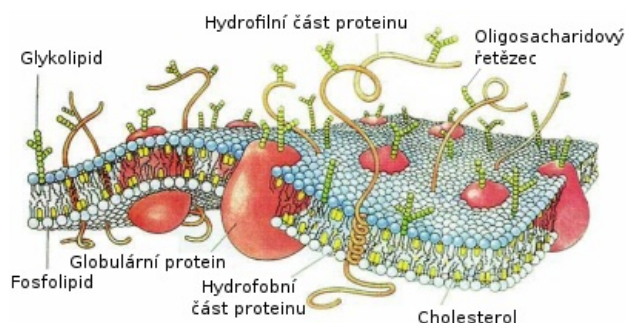


# Biologická membrána

**Biologická membrána** (biomembrána, buněčná membrána) se vyskytuje **na povrchu buněk** a tvoří semipermeabilní bariéru mezi dvěma kompartmenty (buněčným obsahem a extracelulárním prostředím). Vyskytuje se také **na povrchu membránových organel** v buňce, jako jsou mitochondrie, Golgiho aparát nebo endoplazmatické retikulum. Zastává mnoho důležitých funkcí, jako transport látek, přijímá informace ze svého okolí a také k slouží k vzájemnému rozpoznávání a komunikaci mezi buňkami.

## Struktura

Základním stavebním kamenem biologických membrán je **lipidová dvojvrstva**. V ní jsou zabudovány **membránové proteiny**, které propůjčují membráně její specifické funkce a vlastnosti. Na vnějším povrchu membrán se mohou nacházet sacharidy fungující jako signální molekuly. V savčích buněčných membránách se vyskytují i molekuly cholesterolu. Biologická membrána je silná asi 5 nm.



Biologická membrána

## Lipidy

Lipidy jsou látky biologického původu (chemicky se jedná o estery alkoholů a vyšších mastných kyselin). V biologických membránách se vyskytují převážně **lipidy se dvěma uhlovodíkovými alifatickými řetězci**, které většinou obsahují i další látky (např. zbytek kyseliny fosforečné nebo sacharid). Právě tyto molekuly způsobují tzv. amfifilní charakter lipidů. Zatímco je molekula alkoholu a na ni připojené dva uhlíkaté řetězce hydrofóbní, tvoří kyselina fosforečná část hydrofilní. Tento fakt vede ve vodném prostředí k vytváření uspořádaných struktur (micely, liposomy, lipidová dvojvrstva), které orientují lipidy polární hlavičkou směrem k vodě a hydrofóbními ocásky směrem dovnitř, čímž je ochrání před stykem s vodou. Popsané chování je založeno na elektrostatických interakcích a tvorbě vodíkových můstků.

Lipidů existuje v lidském těle celá řada, můžeme je ale rozdělit na dvě základní skupiny **glycerolfosfolipidy** a **sfginolipidy**. Pokud se jedná o lipid s fosfátovou hlavičkou mluvíme obecně o **fosfolipidech**.

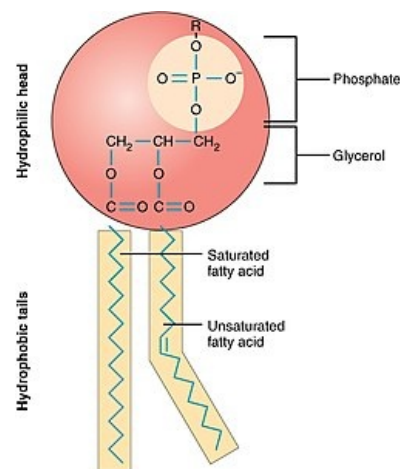
*Podrobnější informace naleznete na stránce Lipidy.*

## Proteiny

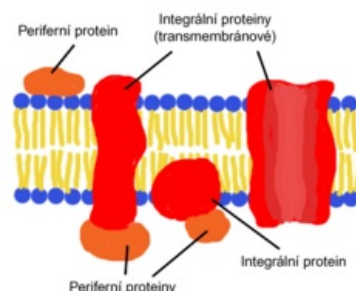
Pouze několik látek může přes lipidovou dvojvrstvu procházet volně, ty ostatní musí být přes membránu přeneseny **pomocí proteinů**. Proteiny tedy vytváří specifické vlastnosti buněčných membrán a jsou i specificky rozmístěny.

Proteiny plní v membránách celou řadu úkolů. Kromě zmíněného **přenosu iontů, metabolitů a živin**, může protein také **ukotvovat membránu** k makromolekulám uvnitř či vně buňky. Mnoho proteinů fungují též jako **receptory**, jejichž úkolem je rozpoznávat chemické signály v okolí. Toto je velmi důležité pro vzájemnou **komunikaci mezi buňkami**. Proteiny vykazující enzymatickou aktivitu katalyzují specifické reakce. Speciální vláknité proteiny pak tvoří buněčný kortex, který vytváří podmembránovou síť, připojenou k povrchu membrány. Ta podpírá a zesiluje buněčné membrány a **pomáhá udržovat tvar buněk**.

**Integrální proteiny** jsou těsně navázány k membráně pomocí hydrofóbních sil. Je velmi těžké je od membrány oddělit, zasahují až mezi lipidové řetězce. Integrální proteiny jsou stejně jako fosfolipidy amfifilní, části vystavené vodě vykazují hydrofilní charakter a části zařazené mezi lipidy hydrofóbní (nepolární).



Stavba membránového lipidu.  
Červeně – hydrofilní hlavička, žlutě – 2 MK tvořící hydrofobní část molekuly



Proteiny v biologické membráně

Pokud takový protein prochází celou lipidovou dvojvrstvou, mluvíme o **proteinech penetrujících/transmembránových**, pokud projdou jen částí membrány, jde o **proteiny nepenetrující**.

**Periferní proteiny** nasedají na povrch membrán pomocí elektrostatických sil nebo za vytvoření vodíkových můstků. Přidružují se k integrálním proteinům a je relativně snadné je od membrány oddělit.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Proteiny.*

## Sacharidy

Povrch biologické membrány eukaryotických buněk je často doplněn o molekuly sacharidů. Ty se mohou připojit na molekuly lipidů i proteinů (vzniknou tzv. glykoproteiny). Všechny sacharidy se nacházejí pouze na vnější straně membrány, kde tvoří plášť zvaný **glykokalyx**. Ten slouží jako ochrana přes poškození a propůjčuje buňce slizovitý povrch (oligosacharidy i polysacharidy jsou schopné absorbovat vodu). Ten využijí hlavně pohyblivé buňky, jako jsou krvinky. Dále slouží sacharidy jako **rozpoznávací znamení buněk**, mohou totiž tvořit velmi rozmanité útvary.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Sacharidy.*

## Fluidita membrány

V roce 1972 vytvořili S. J. Singer a G. L. Nicolson model struktury biologické membrány, tzv. **model tekuté (fluidní) mozaiky**, který zahrnuje poznatek, že lipidová dvojvrstva je dvourozměrnou kapalinou, v níž jednotlivé složky nejsou rigidně vázány na jednom místě, ale mohou se zde různě (i když ne zcela volně) pohybovat.

**Stupeň tekutosti membrány** vyjadřuje jak snadno se lipidové molekuly pohybují v rovině dvojné vrstvy. Závisí na zastoupení jednotlivých složek a musí být udržován v určitých mezích. Míra tekutosti při dané teplotě **závisí na fosfolipidech**, a též **na povaze uhlovodíkových řetězců**. Čím těsněji a pravidelněji se může řetězec sbalit, tím viskóznější a méně tekutá dvojvrstva bude. Uspořádání uhlovodíkových řetězců ovlivňují zejména dvě z jejich vlastností – **délka a nasycenost**. Kratší řetězce zmenšují snahu uhlovodíkových konců navzájem interagovat, a proto tekutost dvojvrstvy zvyšují. Každá dvojná vazba vytváří drobnou nepravidelnost, která ztěžuje přikládání jednoho řetězce k druhému. Lipidové dvojvrstvy s větším obsahem dvojných vazeb jsou tekutější. V živočišných buňkách je tekutost membrány snižována **přítomností cholesterolu**, jenž v membráně vyplňuje mezery mezi sousedními fosfolipidovými molekulami. Dvojvrstva je cholesterolem zpevňována, snižuje se její tekutost a propustnost. Tohoto faktu využívají např. bakterie a kvasinky, které se musí přizpůsobovat měnícím se teplotním podmínkám. V jejich buňkách se délky řetězců a složení neustále mění tak, aby byla tekutost membrány zachována.

Tekutost biomembrány je pro buňku důležitá z mnoha důvodů. Umožňuje membránovým proteinům **interagovat a rychle difundovat** v rovině membrány, což je důležité například při buněčné signalizaci. Umožňuje membránovým lipidům a proteinům se **přemístit** z místa, kde byly po své syntéze začleněny, do jiných míst v buňce. Umožňuje membránám **fúzi** (splnutí) a smísení jejich molekul. Zajišťuje také **rovnoměrné rozdělení membránových molekul** mezi dceřiné buňky při buněčném dělení.

## Pohyblivost membránových složek

Lipidová dvojvrstva si sice zachovává organizovanou strukturu, ale její jednotlivé molekulové složky v ní provádějí náhodné pohyby (Brownův pohyb), charakteristické pro kapalně skupenství.

Bylo prokázáno, že molekuly fosfolipidů neustále vykonávají v dvojvrstvě rychlé **rotační a translační pohyby**. Frekvence těchto pohybů jsou řádu  $\mu\text{s}^{-1}$  a poloha dvou sousedních molekul se vymění asi  $10^7$  x za sekundu. Bílkoviny se svou pohyblivostí v biomembráně značně odlišují. Některé z nich vykonávají pohyb neustále jako lipidy, jiné, vytvářející v membráně kanály, stojí na místě.

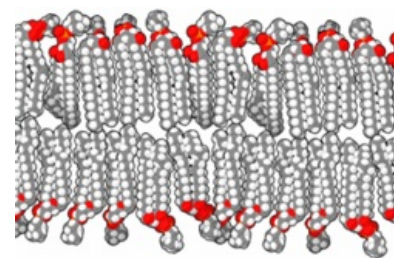
Membránové složky tedy vykonávají několik různých způsobů pohybu. Možná je **rotace** celých molekul v ploše membrány, **laterální pohyb** v membráně a **překlápění** molekul z jedné vrstvy lipidů do druhé.

**Rotační pohyb** (tj. rotační difuze) je popisován pomocí rotačního difuzního koeficientu jako

$$D_R = \frac{k_B T}{4\pi r^2 h \eta},$$

kde  $k_B$  je Boltzmannova konstanta,  $r$  poloměr rotující molekuly,  $h$  její výška, a  $\eta$  je viskozita okolního prostředí.

Dalším pohybem, jenž se v membráně uskutečňuje je **laterální difuze** - tzv. „plutí“ listem membrány. V membráně tvořící dvourozměrnou kapalinu se stavební lipidové molekuly volně pohybují ve své vlastní vrstvě libovolným směrem v rovině membrány. Odvození koeficientu laterální difuze  $D_L$  vychází z Einsteinovy rovnice pro Brownův pohyb a má tvar



Pohyby lipidů v membráně

$$D_L = \frac{vd^2}{4},$$

kde  $d$  je průměrná vzdálenost mezi molekulami v membráně a  $v$  je frekvence přeskoků molekuly. Vzdálenost  $x$ , kterou membránová molekula urazí za čas  $t$ , lze určit s použitím Einsteinovy rovnice pro dvourozměrný systém, kdy

$$x = 2(D_L t)^{\frac{1}{2}}.$$

Posledním, poměrně vzácným typem jsou **pohyby překlápěcí** (flip-flop, příčná difuze). U proteinů se téměř nevyskytují vůbec. Další důležitou vlastností biomembrán je strukturní a funkční asymetrie. Projevuje se jak v rozložení bílkovin, tak v rozdílném složení vnitřní a vnější lipidové vrstvy. Rozložení různých druhů polárních lipidů v obou membránách je uspořádáno tak, aby byla co nejvíce snížena četnost flip-flop pohybů. Pro překlápění lipidů při jejich inserci do biomembrán existují specifické, ATP-dependentní enzymy, nazývané **flipázy**.

## Propustnost membrán

Přenos **nepolárních (lipofilní) nízkomolekulárních** sloučenin (uhlovodíky, steroidy,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$ ) probíhá prostřednictvím **volné difúze**, která je řízena I. Fickovým zákonem. Tyto sloučeniny většinou proniknou drobným pórem, který se může na krátkou dobu v membráně vytvořit (např. kvůli intenzivnímu pohybu lipidů). Malé polární molekuly jako je voda, močovina nebo ethanol mohou také využít k přechodu membrány volná místa, která vznikají při chaotickém a rychlém pohybu dlouhých řetězců. Pro **hydrofilní látky** je nepropustná, tyto látky mohou přes membránu prostupovat pouze prostřednictvím různých **přenašečů nebo kanálů**, např. voda prostupuje kanály zvanými akvaporiny.

## Kooperativita a flexibilita

Další významnou vlastností struktury biologických membrán je **kooperativita**. Vyplývá z opakujícího se uplatňování nekovalentních vazeb. Má tři důležité důsledky: dvojvrstvy vykazují přirozenou snahu se **rozšiřovat**, **uzavírat se** a **zocelovat se** (otvory v dvojvrstvě jsou energeticky nevýhodné).

**Flexibilita** označuje schopnost membrán ohýbat se (vytvářet záhyby). Jde o další důležitou vlastnost, určuje spodní hranici 25 nm pro velikost váčků, které se mohou z membrány tvořit.

## Pasivní elektrické vlastnosti membrán

### Membrány a stejnosměrný proud

Pokud bychom zapojili biologickou membránu do obvodu se stejnosměrným proudem, bude jako většina látek vykazovat vlastnosti rezistoru (bude mít odpor). Aktuální odpor membrán bude záležet na mnoha faktorech např. složení membrány nebo teplotě. Měrná elektrická vodivost je rozdílná pro membrány, pro extracelulární a intracelulární prostor. U membrán se může měrná elektrická vodivost pohybovat okolo hodnoty  $10^{-6}$ - $10^{-8}$  S/m, u cytoplazmy a mezibuněčného prostoru je 0,2 – 1,0 S/m. Pokud proud prochází membránou dochází také k depolarizaci membrány a ke zvýšení její permeability.

Pro velký odpor biologický membrán se přenáší stejnosměrný proud v organismu hlavně mezibuněčnou tekutinou.

### Membrány a střídavý proud

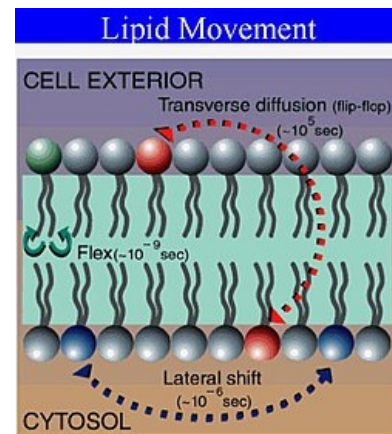
Vzhledem k tomu že membrána je složena ze dvou vrstev (deselek) fosfolipidů mezi kterými je prostor (izolant), vyazuje po zapojení do obvodu s střídavým proudem znaky kondenzátoru. Membrána začne tvořit elektrické pole, je schopna nakumulovat elektrickou energii a má vlastní kapacitanci.

Proto pokud budeme používat nízké frekvence u střídavého proudu, bude impedance membrán vyšší než při použití vyšších frekvencí.

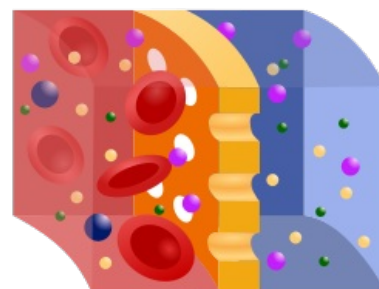
## Odkazy

### Související články

- Buněčná membrána
- Biologická membrána
- Architektura biologických membrán
  - Lipidová dvojvrstva



Pohyby lipidů v membráně: rotace (zeleně), laterální pohyb (modře), flip-flop (červeně)



Semipermeabilní membrána (žlutě) v průběhu hemodialýzy

- Membránový protein
- Membránový kanál
- Biologická membrána a transport látek přes biologickou membránu
- Membránový transport
  - Aktivní transport
  - Pasivní transport

## Externí odkazy

- ▶ Osmosis: Cell membrane ([https://www.osmosis.org/learn/Cell\\_membrane](https://www.osmosis.org/learn/Cell_membrane))
- ▶ Ninja Nerd: Cell membrane ([https://www.youtube.com/watch?v=iYG\\_GH1EdEc](https://www.youtube.com/watch?v=iYG_GH1EdEc))

## Použitá literatura

- BRUCE, Alberts, D BRAY a A JOHNSON, et al. *Základy buněčné biologie*. 1. vydání. Ústí nad Labem : Espero Publishing, 1998. 630 s. ISBN 80-902906-0-4.
- AMLER, Evžen, Tomáš BLAŽEK a Jindřiška HEŘMANSKÁ. *Praktické úlohy z biofyziky*. [1. vyd.]. Praha: Ústav biofyziky 2. lékařské fakulty UK, 2006
- VAJNER, Luděk, Jiří UHLÍK a Václava KONRÁDOVÁ. *Lékařská histologie I. Cytologie a obecná histologie*. 1. vydání. Praha : Karolinum, 2012. Kapitola 1  
Cytologie. s. 8-10. ISBN 978-80-246-1860-9.
- VODRÁŽKA, Zdeněk. *Biochemie*. 2. vydání. 1996. ISBN 8020006001.
- ZÁVODSKÁ, Radka. *Biologie buněk*. 1. vydání. Praha : Scientia, 2006. Kapitola 4  
Cesta za poznáním buněk začíná: molekuly života. s. 36. ISBN 80-86960-15-3.
- ŠVÍGLEROVÁ, Jitka. *Biologická membrána* [online]. Poslední revize 2009-02-18, [cit. 2010-11-12]. <[https://web.archive.org/web/20160306065550/http://wiki.lfp-studium.cz/index.php/Biologická\\_membrána](https://web.archive.org/web/20160306065550/http://wiki.lfp-studium.cz/index.php/Biologická_membrána)>.
- UHROVÁ, Helena. *Elektrické pole v buňkách a v organismu* [online]. [cit. 2015-10-25]. <[http://fchi.vscht.cz/files/uzel/0010359/003Elektricke\\_pole\\_v\\_bunkach\\_a\\_organismech.pdf](http://fchi.vscht.cz/files/uzel/0010359/003Elektricke_pole_v_bunkach_a_organismech.pdf)>.