

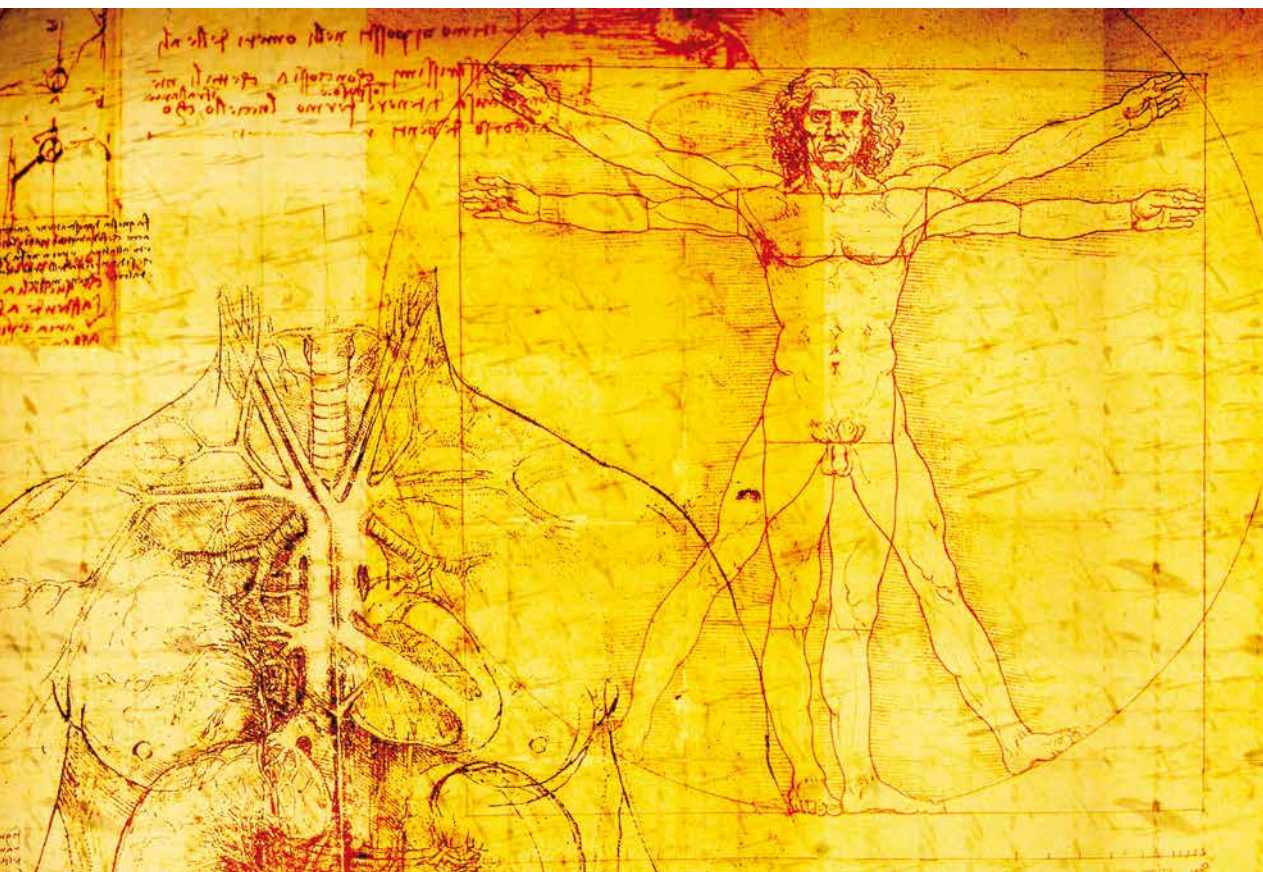
Josef Petřek

---

# Základy fyziologie člověka

pro nelékařské zdravotnické obory

---





Josef Petřek

---

# **Základy fyziologie člověka**

**pro nelékařské zdravotnické obory**

---

**Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy**

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

**Prof. MUDr. Josef Petřek, CSc.**

## **ZÁKLADY FYZIOLOGIE ČLOVĚKA pro nelékařské zdravotnické obory**

**Autor:**

Prof. MUDr. Josef Petřek, CSc.

**Recenzent:**

Prof. MUDr. Zdeněk Jirák, CSc.

© Grada Publishing, a.s., 2019

Cover Photo © depositphotos.com, 2019

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 7224. publikaci

Odpovědná redaktorka Mgr. Ivana Podmolíková

Sazba a zlom Karel Mikula

Obrázky v knize dodal autor.

Počet stran 168 + 4 strany barevné přílohy

1. vydání, Praha 2019

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s.

*Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.*

*Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.*

ISBN 978-80-271-2808-2 (ePub)

ISBN 978-80-271-2807-5 (pdf)

ISBN 978-80-271-2208-0 (print)

# Obsah

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Obecný a buněčný základ fyziologie člověka</b>          | <b>11</b> |
| 1.1      | Funkční uspořádání těla                                    | 11        |
| 1.1.1    | Tělní tekutiny   | 11        |
| 1.1.2    | Živočišná buňka  | 13        |
| 1.1.3    | Transport látek přes buněčnou membránu                     | 16        |
| <b>2</b> | <b>Membránová fyziologie dráždivých a vzrušivých tkání</b> | <b>19</b> |
| 2.1      | Nervová buňka – morfologická a funkční charakteristika     | 19        |
| 2.1.1    | Membránový potenciál a jeho hlavní determinanty            | 20        |
| 2.1.2    | Vzruch   | 21        |
| 2.1.3    | Místní podráždění  | 23        |
| 2.1.4    | Přenos vzruchů mezi neurony (synapse)                      | 23        |
| 2.2      | Svalové tkáně – morfologická a funkční charakteristika     | 25        |
| 2.2.1    | Stavba a druhy svalových tkání                             | 25        |
| 2.2.2    | Elektrické a mechanické projevy aktivity kosterního svalu  | 27        |
| 2.2.3    | Elektrické projevy aktivity buněk srdečního svalu          | 28        |
| 2.3      | Receptory smyslových orgánů                                | 30        |
| <b>3</b> | <b>Fyziologie krve a imunity</b>                           | <b>31</b> |
| 3.1      | Krevní buňky   | 31        |
| 3.1.1    | Červené krvinky  | 31        |
| 3.1.2    | Bílé krvinky   | 32        |
| 3.1.3    | Krevní destičky  | 35        |
| 3.2      | Krevní plazma  | 35        |
| 3.2.1    | Anorganické součásti krevní plazmy                         | 35        |
| 3.2.2    | Organické součásti krevní plazmy                           | 36        |
| 3.3      | Imunitní mechanismy  | 37        |
| 3.3.1    | Imunita – základní pojmy                                   | 37        |
| 3.3.2    | Klasifikace a stručná charakteristika imunoglobulinů       | 37        |
| 3.3.3    | Komplementový systém                                       | 38        |
| 3.3.4    | Druhy imunity  | 38        |
| 3.4      | Krevní skupiny   | 40        |
| 3.4.1    | Systém AB0(H)  | 40        |
| 3.4.2    | Systém Rh (rhesus faktor)                                  | 40        |
| 3.4.3    | Ostatní aglutinogeny                                       | 41        |
| 3.4.4    | Určování krevních skupin                                   | 41        |
| 3.5      | Zástava krvácení   | 41        |
| 3.5.1    | Průběh hemostázy   | 41        |
| <b>4</b> | <b>Fyziologie kardiiovaskulárního systému</b>              | <b>43</b> |
| 4.1      | Fyziologie srdce   | 43        |
| 4.1.1    | Základní údaje   | 43        |
| 4.1.2    | Mechanické děje během srdečního cyklu                      | 44        |
| 4.1.3    | Funkce chlopní   | 45        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.1.4    | Srdeční ozvy . . . . .   | 46        |
| 4.1.5    | Srdeční výdej . . . . .  | 46        |
| 4.2      | Proudění krve v cévách . . . . .   | 47        |
| 4.2.1    | Úvodní poznámky . . . . .  | 47        |
| 4.2.2    | Rozdělení srdečního výdeje pro orgánové oběhy . . . . .                    | 48        |
| 4.2.3    | Objemy krve v jednotlivých oddílech cévního řečiště . . . . .              | 49        |
| 4.2.4    | Rychlost proudu krve v cévním řečišti; funkce pružníku . . . . .           | 49        |
| 4.2.5    | Tlak krve v tepnách . . . . .  | 50        |
| 4.2.6    | Výměnné děje v kapilárách – vznik tkáňového moku . . . . .                 | 51        |
| 4.3      | Regulace kardiovaskulárního systému . . . . .                              | 52        |
| <b>5</b> | <b>Fyziologie dýchání . . . . .</b>  | <b>53</b> |
| 5.1      | Mechanika dýchání . . . . .  | 53        |
| 5.1.1    | Ventilace . . . . .  | 53        |
| 5.1.2    | Interpleurální prostor . . . . .   | 53        |
| 5.1.3    | Tlaky v dutině hrudní . . . . .  | 54        |
| 5.1.4    | Elasticita, povrchové napětí, kolaps alveolů, surfaktant . . . . .         | 55        |
| 5.1.5    | Vdech a výdech . . . . .   | 55        |
| 5.1.6    | Odpor dýchacích cest a plic . . . . .                                      | 56        |
| 5.1.7    | Plicní objemy . . . . .  | 56        |
| 5.2      | Výměna dýchacích plynů mezi alveolárním vzduchem a krví . . . . .          | 58        |
| 5.2.1    | Složení alveolárního vzduchu . . . . .                                     | 58        |
| 5.2.2    | Difuze přes alveolokapilární membránu . . . . .                            | 59        |
| 5.2.3    | Transport kyslíku z plic do tkání . . . . .                                | 59        |
| 5.2.4    | Transport oxidu uhličitého z tkání do plic . . . . .                       | 61        |
| 5.3      | Vnitřní, tkáňové dýchání . . . . .   | 62        |
| 5.4      | Regulace dýchání . . . . .   | 62        |
| <b>6</b> | <b>Fyziologie trávení a vstřebávání . . . . .</b>                          | <b>64</b> |
| 6.1      | Sekreční aktivita gastrointestinálního traktu . . . . .                    | 64        |
| 6.1.1    | Sliny – vlastnosti, složení . . . . .                                      | 64        |
| 6.1.2    | Žaludeční sekrece . . . . .  | 65        |
| 6.1.3    | Exokrinní sekrece slinivky břišní . . . . .                                | 68        |
| 6.1.4    | Sekrece žluči . . . . .  | 69        |
| 6.1.5    | Sekrece v tenkém střevě . . . . .  | 70        |
| 6.1.6    | Sekrece v tlustém střevě . . . . .   | 72        |
| 6.2      | Úloha jednotlivých oddílů GIT při trávení a resorpci . . . . .             | 72        |
| 6.2.1    | Ústní dutina . . . . .   | 72        |
| 6.2.2    | Hltan a jícn . . . . .   | 73        |
| 6.2.3    | Žaludek . . . . .  | 74        |
| 6.2.4    | Tenké střevo . . . . .   | 75        |
| 6.2.5    | Vstřebávání v tenkém střevě . . . . .                                      | 77        |
| 6.2.6    | Tlusté střevo . . . . .  | 78        |
| 6.2.7    | Játra . . . . .  | 79        |
| <b>7</b> | <b>Přeměna látek a energií, racionální výživa, termoregulace . . . . .</b> | <b>81</b> |
| 7.1      | Přeměna látek . . . . .  | 81        |
| 7.2      | Přeměna energií . . . . .  | 81        |
| 7.2.1    | Základní pojmy . . . . .   | 82        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 7.2.2     | Měření a hodnocení energetické přeměny . . . . .                                  | 83         |
| 7.3       | Racionální výživa . . . . .   | 83         |
| 7.3.1     | Základy racionální výživy . . . . .   | 83         |
| 7.3.2     | Zásady racionální výživy . . . . .  | 87         |
| 7.4       | Řízení tělesné teploty . . . . .  | 88         |
| 7.4.1     | Základní údaje . . . . .  | 88         |
| 7.4.2     | Tvorba tepla . . . . .  | 88         |
| 7.4.3     | Výdej tepla . . . . .   | 88         |
| 7.4.4     | Řízení tělesné teploty . . . . .  | 89         |
| <b>8</b>  | <b>Tvorba a vylučování moči . . . . .</b>   | <b>90</b>  |
| 8.1       | Hlavní funkce ledvin – přehled . . . . .  | 90         |
| 8.2       | Funkční morfologie ledvin . . . . .   | 90         |
| 8.3       | Tvorba primární moči . . . . .  | 92         |
| 8.3.1     | Glomerulární filtrace . . . . .   | 92         |
| 8.3.2     | Úprava primární moči na moč definitivní . . . . .                                 | 93         |
| 8.3.3     | Vylučování definitivní moči z těla . . . . .                                      | 95         |
| <b>9</b>  | <b>Acidobazická rovnováha . . . . .</b>   | <b>96</b>  |
| 9.1       | Regulace koncentrace $H^+$ v tělních tekutinách . . . . .                         | 96         |
| 9.1.1     | Zdroje kyselin a zásad v organismu . . . . .                                      | 96         |
| 9.1.2     | Úloha pufrových systémů v udržení acidobazické rovnováhy . . . . .                | 97         |
| 9.1.3     | Respirační kompenzace poruch acidobazické rovnováhy . . . . .                     | 98         |
| 9.1.4     | Renální kompenzace poruch acidobazické rovnováhy . . . . .                        | 99         |
| 9.1.5     | Poruchy acidobazické rovnováhy . . . . .  | 100        |
| <b>10</b> | <b>Fyziologie senzorických systémů . . . . .</b>                                  | <b>102</b> |
| 10.1      | Somato-viscerální systém . . . . .  | 102        |
| 10.1.1    | Systém povrchní kožní citlivosti . . . . .  | 102        |
| 10.1.2    | Systém hlubokého cití . . . . .   | 103        |
| 10.1.3    | Interoceptivní (viscerální) systém . . . . .                                      | 104        |
| 10.1.4    | Korové projekční oblasti somato-viscerálního systému . . . . .                    | 105        |
| 10.2      | Zrakový systém . . . . .  | 106        |
| 10.2.1    | Optická část sítnice – morfologické a funkční poznámky . . . . .                  | 106        |
| 10.2.2    | Fotochemické vlastnosti zrakových receptorů . . . . .                             | 107        |
| 10.2.3    | Zrakové vnímání . . . . .   | 108        |
| 10.2.4    | Zrakový systém – podnětové prahy . . . . .  | 109        |
| 10.3      | Sluchový systém . . . . .   | 110        |
| 10.3.1    | Periferní části sluchového systému . . . . .                                      | 110        |
| 10.3.2    | Funkční význam zevního a středního ucha pro percepci zvuku . . . . .              | 110        |
| 10.3.3    | Mechanika vnitřního ucha . . . . .  | 111        |
| 10.3.4    | Centrální části sluchového systému . . . . .                                      | 111        |
| 10.3.5    | Směrové slyšení . . . . .   | 111        |
| 10.3.6    | Základní pojmy z fyziologické akustiky . . . . .                                  | 112        |
| 10.4      | Vestibulární systém . . . . .   | 113        |
| 10.4.1    | Morfologická a funkční charakteristika receptorů vestibulárního systému . . . . . | 113        |
| 10.4.2    | Centrální části vestibulárního systému . . . . .                                  | 115        |
| 10.5      | Chuťové a čichové ústrojí . . . . .   | 115        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 10.5.1    | Podmínky excitace a funkční charakteristika chuťových receptorů . . . . .                       | 115        |
| 10.5.2    | Čichové ústrojí . . . . .   | 116        |
| <b>11</b> | <b>Výkonné funkce centrálního nervového systému . . . . .</b>                                   | <b>118</b> |
| 11.1      | Neuroefektor exteromotorický . . . . .  | 118        |
| 11.1.1    | Morfologická a funkční charakteristika efektorů a periferních vývodních neuronů . . . . .       | 118        |
| 11.1.2    | Charakteristika spinálního motorického systému . . . . .  | 119        |
| 11.1.3    | Podíl supraspinálních struktur na řízení motorické aktivity . . . . .                           | 124        |
| 11.1.4    | Volní, úmyslné, cílené pohyby . . . . .   | 131        |
| 11.1.5    | Změny motorických funkcí u zvířat po poškození jejich CNS . . . . .                             | 131        |
| 11.2      | Neuroefektor interomotorický . . . . .  | 133        |
| 11.2.1    | Základní morfologická a funkční charakteristika hladkých svalů . . . . .                        | 133        |
| 11.2.2    | Vliv sympatiku a parasympatiku na aktivitu efektorů . . . . .                                   | 135        |
| 11.2.3    | Úloha centrálních struktur v řízení vegetativních funkcí . . . . .                              | 137        |
| 11.3      | Organizace a funkční význam retikulární formace . . . . .                                       | 137        |
| 11.3.1    | Funkční charakteristika vzestupného retikulárního systému . . . . .                             | 137        |
| <b>12</b> | <b>Fyziologie žláz s vnitřní sekrecí . . . . .</b>  | <b>140</b> |
| 12.1      | Hormony – obecné vlastnosti . . . . .   | 140        |
| 12.2      | Endokrinní aktivita hypothalamu a hypofýzy . . . . .  | 141        |
| 12.2.1    | Hormony hypothalamu a zadního laloku hypofýzy (neurohypofýzy) . . . . .                         | 141        |
| 12.2.2    | Hormony předního laloku hypofýzy (adenohypofýzy) . . . . .                                      | 142        |
| 12.3      | Endokrinní aktivita štítné žlázy . . . . .  | 143        |
| 12.4      | Endokrinní aktivita příštítných tělísek . . . . .   | 144        |
| 12.5      | Endokrinní aktivita nadledvin . . . . .   | 144        |
| 12.5.1    | Dřeň nadledvin . . . . .  | 144        |
| 12.5.2    | Kůra nadledvin . . . . .  | 145        |
| 12.5.3    | Reakce organismu na stres . . . . .   | 146        |
| 12.6      | Endokrinní aktivita slinivky břišní . . . . .   | 147        |
| 12.7      | Hormony produkované endokrinními buňkami v orgánech, které mají jinou základní funkci . . . . . | 149        |
| <b>13</b> | <b>Fyziologie reprodukce . . . . .</b>  | <b>151</b> |
| 13.1      | Mužský reprodukční systém . . . . .   | 151        |
| 13.1.1    | Produkce mužských pohlavních buněk (spermatogeneze) . . . . .                                   | 151        |
| 13.1.2    | Hormonální aktivita varlat . . . . .  | 152        |
| 13.1.3    | Vlastní pohlavní spojení . . . . .  | 152        |
| 13.2      | Ženský reprodukční systém . . . . .   | 152        |
| 13.2.1    | Cyklické změny endometria (menstruační cyklus) . . . . .  | 152        |
| 13.2.2    | Produkce ženských pohlavních buněk (oogeneze) . . . . .   | 153        |
| 13.2.3    | Endokrinní aktivita vaječníků . . . . .   | 154        |
| 13.2.4    | Pohlavní spojení . . . . .  | 155        |
| 13.2.5    | Těhotenství . . . . .   | 155        |
| <b>14</b> | <b>Homeostatické mechanismy udržující stálý objem ECT . . . . .</b>                             | <b>157</b> |



|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>Seznam zkratk</b> . . . . . | <b>158</b> |
| <b>Literatura</b> . . . . .    | <b>160</b> |
| <b>Rejstřík</b> . . . . .      | <b>162</b> |



# 1 Obecný a buněčný základ fyziologie člověka

## 1.1 Funkční uspořádání těla

Lidský organismus představuje jednu z nejsložitěji uspořádaných forem živé hmoty. Základní stavební a funkční jednotkou těla je **živočišná buňka**, která je nositelkou všech životních funkcí.

### Základní životní funkce

- **metabolismus** – souhrn všech chemických reakcí probíhajících v těle, které umožňují organismu vytvořit potřebné látky, vzájemně je přeměňovat a uvolňovat z nich energii
- **dráždivost** – schopnost zachycovat změny zevního a vnitřního prostředí a reagovat na ně
- **hybnost** – schopnost pohybu celého těla či jeho jednotlivých částí
- **růst** – zmnožení a zvětšování buněk tvorbou nové živé hmoty
- **reprodukce** – vývoj nového jedince z vajíčka oplozeného spermií

**Soubor buněk** stejného tvaru, původu a stejné hlavní funkce **tvorí tkáň**.

Běžně rozlišujeme pět typů tkání: [1] epitel, [2] tkáň pojivová, [3] tkáň svalová, [4] tkáň nervová a [5] zvláštní tekutou tkáň, kterou představuje krev a lymfa.

**Více tkání tvoří orgán** s určitou strukturou a funkcí. Orgán obvykle plní více funkcí, avšak jeho hlavní funkci často určuje jen jedna z tkání, které jej vytvářejí.

**Orgány** s jednotlivými dílčími funkcemi **se spojují v orgánovou soustavu** či funkční systém, který slouží vyšší společné funkci.

**Fyziologie** je funkční věda, která **zkoumá a vysvětluje činnost organismu**, tj. zabývá se aktivitou jeho funkčních systémů.

- Analyzuje jejich aktivity, vzájemnou spolupráci, a snaží se tak odhalit, jak každý z nich přispívá k činnosti organismu jako celku.
- Stranou jejího zájmu nezůstávají ani složité vztahy mezi organismem a neustále se měnícím prostředím, které jej obklopuje a v podstatě určuje jeho životní podmínky.

### 1.1.1 Tělní tekutiny

Každou buňku v lidském těle obklopuje **vrstvička intersticiální tekutiny** (vnitřní prostředí), z níž buňka přijímá živiny a odevzdává do ní zplodiny vznikající při jejich přeměně. V důsledku těchto aktivit buňky se mění složení intersticiální tekutiny – např. pH, teplota, osmolarita,  $pO_2$ ,  $pCO_2$ , hladina energetických substrátů apod. – jednotlivé proměnné se tak odchyľují od běžných hodnot a v některých situacích se mohou jednotlivé veličiny vychýlit i mimo přípustný interval.

**Relativní stálost prostředí<sup>1</sup>**, v němž buňky žijí, je však podmínkou nezbytnou pro jejich existenci a fungování. Je proto třeba narušenou rovnováhu vnitřního prostředí

1 Stálost je chápána ve smyslu přípustného intervalu hodnot – optimální interval.

neustále obnovovat, tj. udržovat dynamickou rovnováhu vnitřního prostředí, udržovat **homeostázu**.

**Homeostatické mechanismy** (regulační procesy na principu zpětných vazeb) odchylky proměnných od přípustných hodnot tlumí, popř. kompenzují, a umožňují tak organismu se na změny adaptovat. Jinými slovy homeostatické mechanismy zajišťují optimální životní podmínky pro všechny buňky, orgány a funkční soustavy a pro organismus jako celek.

Pojem **homeostáza v širším slova smyslu** zahrnuje nejen mechanismy udržující dynamickou rovnováhu vnitřního prostředí, ale také soubor fyziologických mechanismů, jež slouží k obnovení normálního stavu organismu, pokud byl narušen působením nejrůznějších změn v prostředí, ve kterém organismus žije.

### Druhy a objemy tělních tekutin

Intersticiální tekutina (tkáňový mok) spolu s tekutinou uvnitř cév (plazmou) tvoří extracelulární tekutinu (**ECT**). Tekutina uložená v buňkách reprezentuje intracelulární tekutinu (**ICT**). Součet obou představuje celkovou tělesnou vodu (**CTV**), která u dospělého muže činí zhruba 60 %, u ženy 50 % jejich tělesné hmotnosti (tab. 1.1).

**Tab. 1.1** Rozložení tělních tekutin u dospělého muže (hmotnost 70 kg)

|   |  |  |
|---|--|--|
|   | <b>extracelulární voda</b><br>20 % tělesné hmotnosti<br>14 litrů | <b>krevní plazma</b><br>5 % tělesné hmotnosti<br>3,5 litru |
|   |  | <b>tkáňový mok</b><br>15 % tělesné hmotnosti<br>10,5 litru |
| <b>celková tělesná voda</b><br>60 % tělesné hmotnosti<br>42 litrů | <b>intracelulární voda</b><br>40 % tělesné hmotnosti<br>28 litrů |  |

### Složení tělních tekutin

Selektivní propustnost cytoplazmatické membrány pro jednotlivé ionty je příčinou **rozdílného složení ICT a ECT** (tab. 1.2). Obecně lze říci, že hlavními ionty v ECT jsou  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ . Naproti tomu v ICT je to  $\text{K}^+$ , který je zde nashromážděn v koncentraci mnohonásobně větší než v ECT. Kromě  $\text{K}^+$  jsou v ICT přítomny také organické ionty, jejichž přesné složení není zatím známo.

Základní mechanismy, které **udržují relativně stálé složení ICT**, reprezentuje difuze, osmóza a aktivní transport. Naproti tomu **relativně stálé složení ECT je podmíněno** těsnou součinností systému nervového a endokrinního se systémem kardiiovaskulárním, dýchacím, trávicím a vylučovacím.

**Tab. 1.2** Vybrané charakteristiky ECT, ICT a hodnota rovnovážného potenciálu pro daný iont<sup>2</sup>

| Proměnná                                   | ICT (mmol/l)       | ECT (mmol/l) | Rovnovážený potenciál |
|--|--------------------|--------------|-----------------------|
| Na <sup>+</sup>                            | 15                 | 140          | 58                    |
| K <sup>+</sup>                             | 135                | 4            | -92                   |
| Ca <sup>2+</sup>                           | $2 \times 10^{-4}$ | 4            | 129                   |
| Cl <sup>-</sup>                            | 4                  | 120          | -89                   |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>              | 10                 | 24           | -23                   |
| HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>             | 20                 | 4            |                       |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>              | 4                  | 1            |                       |
| bílkoviny, aminokyseliny, močovina a další | 152                | 1            |                       |

### 1.1.2 Živočišná buňka

Živočišná buňka je nejmenší dokonale organizovaná součást živých organismů. Skládá se z těla a jádra a každé z nich z dalších součástí. Živá hmota vyplňující vnitřek buňky se nazývá **protoplazma**. Tvoří ji **cytoplazma** (protoplazma buněčného těla) a **karyoplazma** (protoplazma jádra). Cytoplazma obsahuje kromě jemně rozptýlených bílkovin, lipidů, glykogenu a zrníček sekretů a pigmentů různé soli a hlavně 70–80 % vody.

Představuje koloidní roztok, který je v některých částech buňky tekutý, v jiných má charakter pevnějšího gelu. Součástí karyoplazmy je chromatin (komplex DNA a proteinů).

Zrnka, kapénky, vakuoly či krystaly v plazmě tvořené zásobními látkami buňky nebo produkty jejího metabolismu označujeme pojmem **paraplazma**.

Naproti tomu pracovní struktury, jež se nacházejí uvnitř cytoplazmy (např. mikrofilamenta, mikrotubuly), bývají označovány pojmem **metaplazma**.

V různých orgánech jsou buňky vysoce specializované. Přesto, bez ohledu na stupeň jejich specializace, se ve většině z nich vyskytují shodné struktury (**organely**). V následujícím textu připomeneme některé z nich.

#### Buněčné organely

##### Buněčné jádro

Jádro typické lidské buňky obalují dva listy jaderné membrány. Mezi nimi se nachází úzký **perinukleární prostor** (cisterna). Oba listy jaderné membrány místy splývají, a formují tak jaderné póry, které slouží k obousměrnému transportu látek mezi nukleoplazmou a cytoplazmou.

Buněčné jádro obsahuje **46 megamolekul DNA** (deoxyribonukleové kyseliny). V jádře je vlákno dvoušroubovice DNA v určitých intervalech stočeno kolem center

2 Hodnoty podle BULLOCK, J., BOYLE, J., WANG, M. B. *Physiology*. 2<sup>nd</sup> ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1991.

(histonů), která jsou tvořena histonovými proteiny. Komplex DNA a proteinů se nazývá **chromatin**.

V **průběhu dělení buňky** se sbalení kolem histonů rozvolní a chomáče chromatinu se přemění na **22 párů** homologních chromozomů (**autozomů**) a na **2** chromozomy nehomologní (**gonozomy**). Chromozomy obsahují podrobnou informaci o všech dědičných znacích a individuálních vlastnostech daného jedince.

**Základní jednotkou dědičné informace je gen**. Reprezentuje jej úsek polynukleotidového řetězce DNA se specifickou funkcí, tj. se schopností utvářet při dělení buňky svoje vlastní přesné kopie, jež se přenášejí do dalších generací.

Genetická **informace je kódována** pořadím purinových a pyrimidinových bází nukleotidového řetězce. Na jejím přenosu do ribozomů (viz dále) participuje informační RNA (ribonukleová kyselina).

Většina buněčných jader obsahuje **jadérko**. Tvoří jej četná granula obsahující RNA. V jadérku probíhá syntéza ribozomů.

### Mitochondrie

Mitochondrie jsou přítomny v cytoplazmě všech typů eukaryotních buněk s výjimkou zralých erytrocytů savců. Jsou to protáhlé, ovoidní, eliptické nebo disku podobné útvary obklopené vnější a vnitřní membránou.

Vnější membrána je hladká a určuje celkový tvar organely. Vnitřní membrána je zřasena do záhybů (krist). Mezi zevní a vnitřní membránou se nachází mezimembránový prostor. Vnitřní prostor mitochondrie mezi kristami vnitřní membrány je vyplněn hustou hmotou – mitochondriální matrix.

**Vnější membrána** je hustě pokryta **enzymy, které jsou zapojeny** do biologických oxidací. Produkty vzniklé jejich činností jsou dále zpracovávány uvnitř mitochondrie.

**Vnitřní membrána** obsahuje **enzymy, které přeměňují** produkty metabolismu sacharidů, proteinů a lipidů na oxid uhličitý a vodu a **zachycují** energii uvolněnou oxidačními procesy za současné tvorby adenosin trifosfátu (ATP). Např. celkový zisk energie z aerobního odbourání 1 molu glukózy až na oxid uhličitý a vodu je 36–38 molů ATP.

Mitochondrie **jsou „elektrárny“ eukaryotní buňky** a podílejí se na komplikovaných respiračních reakcích buňky, jejichž konečným produktem je ATP. Mitochondrie vyrábějí asi 90 % energie spotřebovávané buňkami, tkáněmi a orgány.

### Ribozomy

Ribozomy jsou místem, kde probíhá **syntéza proteinů**. Vyskytují se v buňce buď jako volné v cytoplazmě (**monozomy**), nebo sdružené a připojené na jednu informační ribonukleovou kyselinu (mRNA) – polyribozomy (**polyzomy**), a na endoplazmatické retikulum.

### Endoplazmatické retikulum

Endoplazmatické retikulum tvoří bohatý systém vzájemně propojených miniaturních membránových cisteren a kanálků uložených v cytoplazmě.

Rozlišujeme **dva typy** endoplazmatického retikula.

- první typ, tzv. drsné (granulární) endoplazmatické retikulum – má na cytoplazmatické straně membrány navázány ribozomy a polyribozomy
- druhý typ, hladké (agranulární) endoplazmatické retikulum – ribozomy na povrchu membrány navázány nemá

**Drsné endoplazmatické retikulum** se podílí na syntéze bílkovin. Vznikají v něm také fosfolipidy a cukry, které s vytvořenými bílkovinami tvoří komplexy.

**Hladké endoplazmatické retikulum** katalyzuje přeměnu lipidů. V buňkách produkujících steroidy se podílí na vzniku steroidních hormonů z cholesterolu a v jaterních buňkách plní funkci detoxikační. Důležitou úlohu hraje také v buňkách kosterního a srdečního svalu (zásobárna vápníkových iontů).

### Golgiho aparát

Golgiho aparát tvoří soubor membránou uzavřených váčků (cisteren), které jsou k sobě přiloženy jako talíře tak, že jejich konvexita směřuje k jádru buňky. Golgiho aparát je v těsném kontaktu s endoplazmatickým retikulem a **účastní se přechovávání, úprav a transportu proteinů** vytvořených ribozomy.

### Lyzozomy

Lyzozomy reprezentují váčky s jednoduchou membránou. Obsahují více než 40 kyselých hydroláz, které **jsou schopny štěpit prakticky všechny makromolekuly**, zejména bílkoviny, nukleové kyseliny, polysacharidy, mukopolysacharidy a lipidy.

Enzymy vyskytující se v lyzozomech vznikají na polyribosomech drsného endoplazmatického retikula a jeho cisternami jsou transportovány do Golgiho aparátu, odkud se vydělí ve formě váčků (**primární lyzozomy**). Primární lyzozomy pak fúzí s membránou vakuol obsahujících fagocytovaný materiál (fagocytární vakuola, fagozom) za vzniku **sekundárního lyzozomu** (fagolyzozomu), v němž se odehrávají trávicí procesy.

Lyzozomy tedy představují jakýsi **buněčný „trávicí aparát“**. Ten odstraňuje z buňky nežádoucí extracelulární materiál, který se do ní dostal fagocytózou či pinocytózou. Některé produkty „tráveného“ materiálu se absorbují přes stěnu trávicí vakuoly, jiné buňka vyvrhne ven exocytózou.

### Cytoskelet

Cytoskelet reprezentuje systém mikrofilament, mikrotubulů a intermediárních filament v cytoplazmě. Je odpovědný za dynamickou organizaci cytoplazmy a transport informací v těle buňky. Pomáhá udržovat tvar buňky a pozici organel v ní, umožňuje aktivní pohyb buňky a poskytuje zakotvení pro jiné buňky.

Primárně **cytoskelet tvoří** mikrotubuly, mikrofilamenta a intermediární filamenta.

- **mikrotubuly** – dlouhé duté struktury s vnitřním průměrem 15 nm; představují transportní dráhy, které pro vezikuly a organely (sekreční granula a mitochondrie) zprostředkovávají pohyb z jedné části buňky do části druhé
- **mikrofilamenta** – dlouhá a pevná vlákna o průměru 4–6 nm tvořená aktinem, který se podílí spolu s myozinem na vzniku svalového stahu (kontrakce)
- **intermediární filamenta** – tvoří různé skupiny proteinů uspořádané do dlouhých tyčinkovitých útvarů; vytvářejí ohebné podpůrné lešení pro buňku a pomáhají buňce vzdorovat vnějšímu tlaku

### Cytoplazmatická membrána

Cytoplazmatická membrána ohraničuje tělo buňky, včetně jejích výběžků. Chrání buňku před zevními vlivy a pomáhá uchovat její tvar. Podílí se významně na udržování složení intracelulárního a extracelulárního prostředí, a zajišťuje tak integritu buněk v tkáních.

Detailní **stavba plazmatické membrány** se liší podle typu tkáně a buňky, nicméně všechny membrány charakterizují některé **společné rysy**:

- Každou membránu tvoří **lipidy** (fosfolipidy, glykolipidy a cholesterol). Molekuly lipidů mají hydrofilní a hydrofobní konec (jsou amfipatické) a ve vodním prostředí tvoří dvojvrstvu. V dvojvrstvě jsou orientovány hydrofilní části molekul vně, hydrofobní části dovnitř.
- Další stavební součástí každé plazmatické membrány jsou **proteiny** (lipoproteiny a glykoproteiny). Globulární proteiny jsou zanořeny do zevní a vnitřní vrstvy plazmatické membrány (**periferní proteiny**), protáhlejší proteiny prostupují celou membránou (**integrální proteiny**).

**Membránové proteiny zajišťují** řadu specifických procesů spojených s transportními a rozpoznávacími funkcemi membrán:

- Připoutávají buňky k sobě navzájem a k bazální membráně (odtud jejich pojmenování buněčné adhezni molekuly).
- Aktivně transportují ionty přes membránu – pumpy.
- Transportují látky po jejich elektrochemickém gradientu pomocí usnadněné difuze.
- Utvářejí v membráně iontové kanály, jež za určitých okolností umožňují vstup iontů do buňky nebo z buňky.
- Tvoří receptory pro vazbu neuromediátorů a hormonů.
- Mají také funkci enzymů a katalyzují reakce na povrchu membrány.

### 1.1.3 Transport látek přes buněčnou membránu

#### Prostá difuze a její determinanty

Při prosté difuzi se transportovaná látka pohybuje z místa vyšší koncentrace do místa nižší koncentrace. Její přesun přes membránu ustává v okamžiku, kdy se koncentrace v obou oddílech vyrovnají.

**Látky rozpustné v tucích** procházejí buněčnou membránou přímo ve směru koncentračního gradientu.

**Množství látky, které prostoupí membránou za jednotku času**, je přímo úměrné koncentračnímu gradientu dané látky, velikosti difuzní plochy a difuznímu koeficientu a nepřímo úměrné difuzní vzdálenosti, tj. tloušťce membrány.

**Látky rozpustné ve vodě** procházejí membránou **pouze přes vodní kanály** („póry“), které formují transmembránové proteiny. **Difuzní koeficient** těchto látek je proporcionální velikosti jejich molekuly. Částice větší než 8 nm nemohou těmito kanály procházet prostou difuzí.

Některé **vodní iontové kanály** jsou trvale otevřené, jiné jsou řízené, tzn., že mají vrátka („hradla“), která se zavírají či otvírají.

Zavření nebo otevření kanálů (**vrátkování**) může způsobit změna membránového napětí (**napěťově řízené kanály**) nebo navázání chemické látky, ligandu (**ligandem řízené kanály**). Ligand může pocházet ze zevního prostředí (mediátor, hormon), nebo může být součástí vnitřního prostředí buňky (intracelulární  $\text{Ca}^{2+}$ , cAMP nebo některý z G-proteinů). Některé kanály může vrátkovat také mechanické natažení (**mechanicky řízené kanály**, kanály citlivé na „napnutí“ cytoskeletu).



### Usnadněná difuze

Velké molekuly neprojdou malými kanály v membráně. Na její druhou stranu se však mohou dostat poté, co se navázaly na **aktivní místo bílkovinného nosiče**. Probíhá-li transport částice na proteinovém nosiči ve směru jejího elektrochemického gradientu, tedy bez dodávky energie, hovoříme o usnadněné difuzi.

**Do okamžiku plného nasycení nosiče** je rychlost usnadněné difuze přímo úměrná koncentračnímu gradientu. **V okamžiku saturace nosiče** se difuze zastaví, a to bez ohledu na momentální výši koncentračního gradientu. Právě tento fakt **odlišuje usnadněnou difuzi od difuze prosté**.

### Osmóza

Osmóza představuje pasivní typ transportu, při němž **přestupuje rozpouštědlo** (nejčastěji voda) přes polopropustnou membránu z prostoru s méně koncentrovaným roztokem do prostoru s více koncentrovaným roztokem.

Polopropustná membrána je v tomto případě propustná pro rozpouštědlo a méně propustná nebo zcela nepropustná pro rozpuštěné látky. Je-li polopropustná membrána **alespoň částečně propustná pro rozpuštěné látky**, může voda přestupující přes membránu s sebou „strhávat“ i molekuly rozpuštěné látky (**tah rozpouštědla, solvent drug**).

**Tlak, který je schopen zabránit pohybu molekul rozpouštědla** přes membránu do oblasti s vyšší koncentrací rozpuštěné látky, pro kterou je membrána nepropustná, **se nazývá osmotický tlak roztoku**. Jeho hodnota se vyjadřuje v osmolech (Osm) a je **přímo úměrná počtu částic v roztoku na jednotku jeho objemu**.

**Osmolární koncentrace látky v roztoku** se měří velikostí snížení jejího bodu tuhnutí. Jeden mol nedisociovaného solutu (např. glukóza rozpuštěná v 1 kg vody) sníží bod tuhnutí o 1,858 °C. Uvedená hodnota představuje tzv. **kryoskopickou konstantu vody**. Bod tuhnutí plazmy je v průměru -0,54 °C, což odpovídá osmolární koncentraci **290 mOsmol/l**.

### Primární aktivní transport

Primární aktivní transport probíhá proti elektrochemickému gradientu, což **vyžaduje přísun energie**. **Nejrozšířenějším typem** aktivního transportu je **Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> pumpa**. Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPáza (membránový protein) katalyzuje hydrolyzu ATP na ADP. Uvolněná energie je pak využita na **transport 3 iontů Na<sup>+</sup> z buňky ven a 2 iontů K<sup>+</sup> do buňky**. Aktivita Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> pumpy **udržuje v ICT vysokou koncentraci K<sup>+</sup> a nízkou koncentraci Na<sup>+</sup>**. **K útlumu Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> pumpy dochází** při velmi nízké koncentraci ATP nebo Na<sup>+</sup> uvnitř buňky nebo K<sup>+</sup> v ECT.

### Sekundární aktivní transport

Tento transportní systém je sám o sobě pasivní, ale **využívá energii Na<sup>+</sup> koncentračního gradientu**, při jehož vytváření se spotřebovává energie.

Systém může pracovat jen tehdy, když je:

- koncentrace Na<sup>+</sup> v ECT vyšší než koncentrace Na<sup>+</sup> uvnitř buňky
- k dispozici membránový protein, který má dvě vazebná místa – jedno pro iont Na<sup>+</sup> a druhé pro transportovanou látku (glukóza, aminokyseliny apod.)

Pokud se transport dvou látek (**spřážený transport**) realizuje stejným směrem, hovoříme o **symportu** (např. transport glukózy a aminokyselin z lumenu střeva do enterocytů).

Pokud se transportovaná látka pohybuje v opačném směru než sodný iont, hovoříme o **antiportu** ( $\text{Na}^+$ - $\text{Ca}^{2+}$  výměník ve vlákních srdečního svalu nebo  $\text{Na}^+$ - $\text{H}^+$  výměník v ledvinových tubulech).

### Exocytóza a endocytóza

**Exocytóza** je proces, jímž buňky uvolňují (nebo vyvrhují) větší molekuly či struktury do svého okolí. Exocytózou se obvykle transportují látky, které nemohou samostatně prostupovat přes membránu, např. proteiny a cholesterol. Exocytóza vyžaduje přítomnost  $\text{Ca}^{2+}$ , přísun energie a přítomnost transportních proteinů.

**Endocytóza** je proces opačný k exocytóze. Při endocytóze pohlcejí buňky ze zevního prostředí extracelulární tekutinu, jiné buňky či pevné částice. Endocytóza začíná invaginací plazmatické membrány, která nakonec pohlčovanou látku obklopí – vznikne membránový váček.

Endocytóza **má více variant**. Jednou z nich je **fagocytóza** – pohlcování cizorodého materiálu („buněčné pojidání“). Další variantu představuje **pinocytóza** – pohlcování malých kapének tekutiny („buněčné pití“).

### Filtrace – transport přes stěnu kapilár

Filtrace je pochod, při němž je tekutina, popř. látky v ní rozpuštěné, protlačována přes kapilární stěnu silou, kterou představuje **rozdíl tlaků na obou stranách kapiláry**. Stěnou kapiláry, přesněji otvory ve spojeních mezi endotelovými buňkami, mohou procházet jen ty látky, jejichž molekula je menší, než je skutečná velikost pórů.

Stěna kapilár, která odděluje plazmu od intersticiální tekutiny, není ve všech orgánech těla stejně vystavěna. Ve všech kapilárách je však **prakticky neprostupná** pro plazmatické bílkoviny a jiné koloidy. Tato skutečnost je příčinou vzniku tzv. **koloidně osmotického tlaku** (25–30 mm Hg) uvnitř cévy. Koloidně osmotický tlak vyvíjený plazmatickými koloidy se nazývá **onkotický tlak**.

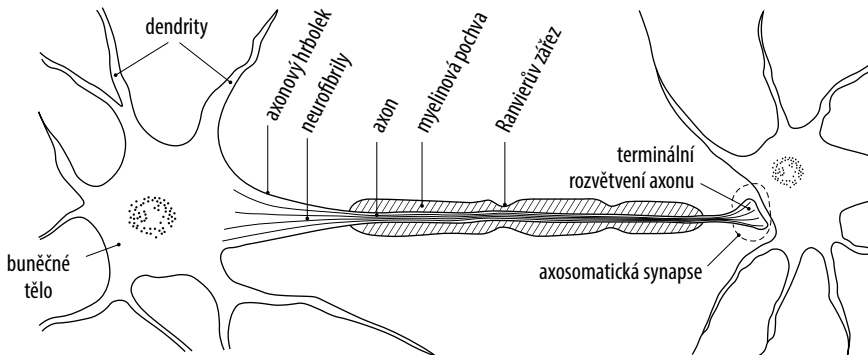
**Velikost filtrace** přes kapilární stěnu **určuje** tzv. **efektivní filtrační tlak**, tj. hodnota tlaku krve v kapiláře (hydrostatický tlak) zmenšená o hodnotu tlaku onkotického. Pokud je hydrostatický tlak vyšší než tlak onkotický, **probíhá filtrace** (přesun tekutiny z kapiláry do intersticia). V situacích, kdy tlak onkotický převyšuje tlak hydrostatický, **probíhá resorpce** (přesun tekutiny z intersticia do kapiláry).

## 2 Membránová fyziologie dráždivých a vzrušivých tkání

**Dráždivost, vzrušivost** či **reaktivita** jsou synonyma označující základní vlastnost živé hmoty, tj. její schopnost reagovat charakteristickým způsobem na změny prostředí (podněty). Zvláště vysoce je tato schopnost rozvinuta u buněk nervových, svalových a u receptivních buněk smyslových orgánů.

### 2.1 Nervová buňka – morfologická a funkční charakteristika

Nervová buňka (neuron) je základní funkční a stavební jednotkou nervové tkáně. Kromě neuronů jsou v nervové tkáni zastoupeny buňky neuroglie. Neuron představuje vysoce specializovanou buňku, která je schopna přijímat určité formy signálů (podněty), zpracovávat je a výslednou informaci předat jiným neuronům či výkonným orgánům.



**Obr. 2.1** Schematický nákres motoneuronu

Podstatnou část neuronu (obr. 2.1) tvoří buněčné tělo ohraničené buněčnou membránou, jádro s jadérkem a subcelulární struktury (endoplazmatické organely). Z buněčného těla vystupuje množství bohatě se větvících krátkých výběžků – dendritů. Povrch buněčného těla i dendritů je pokryt synaptickými terčíky.

Typický neuron má také jeden dlouhý nitkovitý výběžek – axon. Svazky axonů spojené vazivem v jeden celek formují periferní nervy. Konečná rozvětvení axonu se stýkají s dendrity či těly jiných neuronů (synaptická spojení) nebo zakončují u buněk výkonných orgánů (efektorů), tj. vytvářejí kontakty s vlákny hladkého, kosterního a srdečního svalu nebo s buňkami žláz.

U řady nervových buněk je axon (s výjimkou iniciální části a konečných rozvětvení) obklopen myelinovou pochvou. Pochva není souvislá, ale je v pravidelných intervalech přerušena zářezy (Ranvierovy zářezy).

Neurony jsou různé velké; jejich těla měří od 4  $\mu\text{m}$  do 130  $\mu\text{m}$ . Také tvar neuronů je rozmanitý a počty jejich výběžků jsou rozdílné.

**Z funkčního hlediska lze neuron rozdělit na několik částí**, z nichž každá plní jinou funkci. Buněčné tělo spolu s dendrity představuje **receptivní segment neuronu**, tj. místo, kde se přijímají a integrují mnohočetné potenciálové změny vyvolané synaptickými spojeními. V místě odstupe axonu od buněčného těla (**iniciální segment axonu**) vzniká vzruchová aktivita. Vzruchy se pak šíří axonem k jeho konečným rozvětvením, kde akční potenciály způsobí uvolnění synaptického přenašeče.

### 2.1.1 Membránový potenciál a jeho hlavní determinanty

Rozdílná koncentrace elektricky aktivních částic (iontů) v ICT a ECT (viz tab. 2.1) způsobuje, že na rozhraní mezi vnitřním a zevním prostředím, tj. mezi oběma stranami cytoplazmatické membrány, vzniká potenciálový rozdíl. Říkáme, že **membrána je elektricky polarizovaná**.

Tento potenciál je běžně označován pojmem **klidový membránový potenciál**. V klidu nese vnitřní povrch membrány záporný náboj a zevní povrch náboj kladný. Hodnota klidového membránového potenciálu kolísá u různých buněk v rozmezí od -4 do -100 mV; u nervových vláken je potenciálový rozdíl přibližně -50 až -90 mV.

**Úroveň elektrické polarizace membrány** (klidový membránový potenciál) určuje:

- nerovnoměrné rozložení difuzibilních iontů vně a uvnitř buňky
  - přítomnost nedifuzibilních organických iontů v ICT (negativně nabitě bílkoviny, fosfáty aj.) vede k tomu, že se malé difuzibilní ionty ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) rozloží v obou prostorech (ICT a ECT) nerovnoměrně
  - koncentrace difuzibilních kationtů je větší v tom prostoru, kde jsou přítomny nedifuzibilní anionty, zatímco koncentrace difuzibilních aniontů se chová opačně – je větší v tom prostoru, kde se difuzibilní anionty nevyskytují
- aktivita  $\text{Na}^+$ -K pumpy
  - aktivním transportem  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  proti jejich koncentračním gradientům, tj. transportem  $\text{Na}^+$  z buňky do ECT a transportem  $\text{K}^+$  z ECT do buňky
- rozdílná propustnost membrány v klidu pro jednotlivé ionty
  - konstanty permeability jednotlivých iontů (P), které udávají jejich relativní permeabilitu ve srovnání s permeabilitou pro draslík, jsou:

$$P_{\text{K}^+} : P_{\text{Na}^+} : P_{\text{Cl}^-} = 1 : 0,04 : 0,45$$

Membránový potenciál **výrazně ovlivňuje pohyb každého z iontů** přes membránu. Hodnota potenciálu membrány, při níž nedochází k prostému pohybu určitého iontu ve směru jeho koncentračního gradientu, představuje tzv. **rovnovážný potenciál pro tento iont** (tab. 2.1).

Teoretické výpočty a praktická měření ukázaly, že **hodnota klidového membránového potenciálu prakticky nezávisí na koncentraci  $\text{Na}^+$  v ECT a ICT**. Příčinou je nízká propustnost cytoplazmatické membrány pro  $\text{Na}^+$  v klidu. **Změny koncentrace iontů  $\text{K}^+$  však jeho hodnotu výrazně ovlivňují**.

Při zvýšení koncentrace  $\text{K}^+$  v ECT se hodnota membránového potenciálu snižuje, při vyrovnání obou koncentrací je roven nule a při zvýšení koncentrace  $\text{K}^+$  v ICT se naopak jeho hodnota zvyšuje (vzrůstá jeho negativita).

Určitý stupeň elektrické polarizace membrány **je nezbytnou podmínkou** její dráždivosti, tj. schopnosti odpovídat na působení podnětu charakteristickou změnou me-