

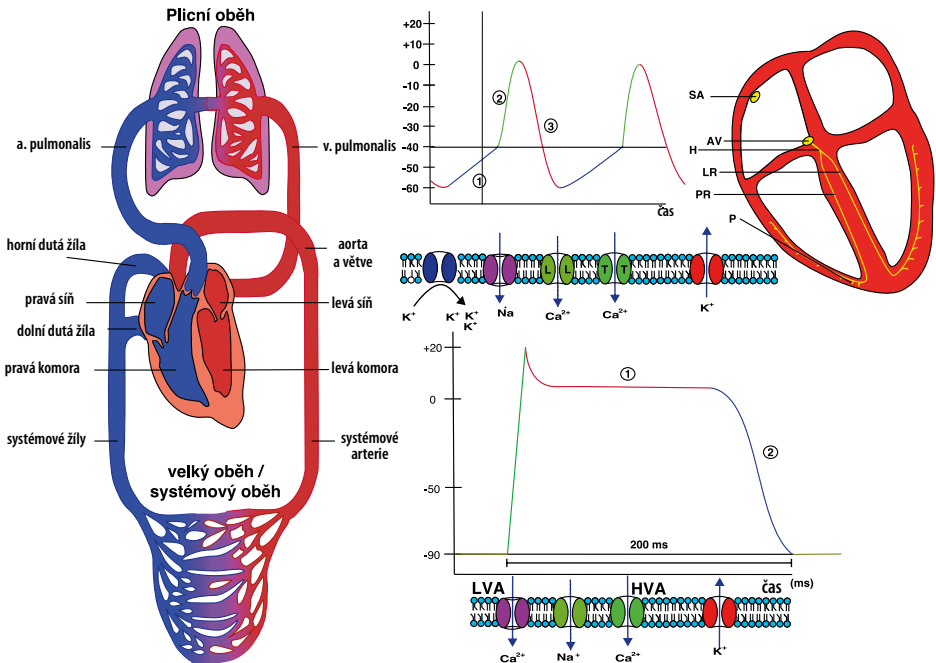
## 14. Přehled oběhové soustavy a funkce jejích jednotlivých částí

Oběhový systém zajišťuje dodávku živin a kyslíku tkáním a současně odvádí katabolity k orgánům umožňujícím jejich vyloučení. Mimoto se podílí na udržování stálého vnitřního prostředí (viz oddíl 7.), přenáší informace (humorální systém – viz kapitolu 18.) a přispívá k účinné termoregulaci.

Oběhový systém je systémem uzavřeným ve smyslu vymezení trubic vůči okolí. U nižších živočichů totiž trubice oběhového systému mohou ústít do tělních dutin.

Tento uzavřený okruh se dělí na (viz obrázek 14):

- 1) **velký oběh** (který zásobuje všechny orgány a zároveň odvádí jejich metabolity),
- 2) **malý oběh** (tj. funkční zásobení plic, díky němuž dochází k oxyličení krve a odvodu oxidu uhličitého).



**Obrázek 14:** **Vlevo:** schéma oběhu. **Uprostřed nahoře:** mechanismus vzniku spontánní rytmické aktivity se zobrazením molekulárního mechanismu. **Vpravo nahoře:** převodní systém srdeční. SA – uzel sinoatriální, AV – uzel atrioventrikulární, H – svazek Hisův, PR a LR – pravé a levé raménko Tawarova, P – vlákna Purkyňova. **Vpravo dole:** vznik AP srdeční svaloviny (pracovního myokardu) se zobrazením molekulárního mechanismu. LVA, HVA: nízkým a vysokým napětím aktivované vápníkové kanály.

K tomu, aby krev proudila v cévách, je třeba práce srdce, která se spotřebovává mj. na tření proudící kapaliny. Tlak v arteriích má přitom **tlakovou rezervu**, která umožňuje relativně nezávislý odběr krve jednotlivými orgány. Ten může být modifikován mnohočetnými **regulačními mechanismy**.

Evolučně se systém vyvíjí od jednoho čerpadla (které mají ryby, od něj je krev vedena k žábrám a pak do celého organismu) k systému dvou čerpadel v jednom orgánu (levá a pravá komora), jak existuje u ptáků a savců.

**Cévy** představují systém, který rozvádí krev po organismu, je možné je dělit dle různých kritérií založených na jejich morfologickém uspořádání a velikosti tlaku uvnitř (pružník, rezistenční cévy, kapiláry, kapacitní cévy).

Objem krve je vyšší u muže – 5,5l vs. 4,5l u ženy. Z celkového objemu krve je 85% v cévách systémového oběhu, a z toho je 75% v kapacitních cévách. Zhruba 14% z tohoto objemu je lokalizováno v pružníku, 8% objemu v kapilárách a 3% v rezistenčních cévách. Z cirkulující krve je pak 9% v cévách plicního řečiště a 7% v srdci.

## 14.1 Srdce

Srdce je svalový orgán, který se rytmicky stahuje a tím umožňuje cirkulaci krve v oběhovém systému. Svalovina srdce má zvláštní uspořádání. Do určité míry se podobá svým žíháním kosternímu svalu, ale buněčná jádra jsou uprostřed svalových vláken, vlákna se složitě větví a jsou spojena interkalárními disky, v nichž jsou membrány buněk spojeny nexy. To umožňuje průchod iontů, takže se vzruch šíří rychleji, než by tomu bylo, pokud by se předával z buňky na buňku. Hovoříme o soubunní (syncytium). V srdci jsou dva základní typy buněk (samozřejmě mimo mnoha dalších s podpůrnou či nutriční funkcí):

- 1) **pacemakerové buňky** (to jsou modifikované svalové buňky),
- 2) **buňky pracovního myokardu**.

### 14.1.1 Převodní systém srdeční, pacemakerový potenciál, akční potenciál pracovní svaloviny

#### 14.1.1.1 Pacemakerové buňky

Systém, který je **původcem rytmické srdeční aktivity**, se označuje jako **převodní systém srdeční** a skládá se ze (viz obrázek 14 vpravo nahoře):

- 1) sinoatriálního uzlu,
- 2) atrioventrikulárního uzlu,
- 3) Hisova svazku,

- 4) Tawarových ramének (pravého a levého),
- 5) Purkyňových vláken.

Tyto shluky modifikovaných svalových buněk vytvářejí spontánní rytmickou aktivitu na základě svých vlastností, přičemž **všechny** výše jmenované struktury **mohou spontánně měnit polaritu** (vytvářejí vzruchy). Instabilita potenciálu vede k označení těchto buněk jako **buněk neúplně polarizovaných**.

Základem vzniku rytmické aktivity (viz obrázek 14) je **disproporce mezi dobou otevření a uzavření** tzv. „stále otevřených“ **K<sup>+</sup> kanálů**. Jestliže je jejich doba uzavření delší než doba otevření, je přestup K<sup>+</sup> do extracelulárního prostředí méně efektivní než jeho pohyb v opačném směru, K<sup>+</sup> se začíná hromadit uvnitř buňky. To vede k mírné depolarizaci, aktivaci nízkým napětím aktivovaných Ca<sup>2+</sup> kanálů, další depolarizaci ① až k prahu pro otevření pomalých nespecifických kanálů (prochází jimi Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, ale i K<sup>+</sup>) ② a následně k pomalé **repolarizaci** aktivací pomalých K<sup>+</sup> kanálů ③. Pomalá depolarizace, která vede k posunu potenciálu na prahovou hodnotu pro otevření pomalých nespecifických kanálů, se označuje jako **spontánní diastolická depolarizace** ①. To je základní schéma, jak dochází ke vzniku spontánní rytmické aktivity v buňkách **sinoatriálního uzlu**. V dalších strukturách můžeme vznik spontánní rytmické aktivity označit zjednodušeně (**s výjimkou Purkyňových vláken**) jako obdobný.

Důležitou skutečností v srdeční činnosti je, že **vzruch se ze síní na komory může šířit pouze přes atrioventrikulární uzel a Hisův svazek (jinak jsou síně a komory elektricky navzájem izolovány)**. Mezi síněmi a komorami je totiž nevodivá vazivová tkáň. To je fyziologicky výhodné, neboť díky tomu je čerpací funkce srdce dostatečně účinná (systola komor začíná až po skončení systoly síní, všechny oblasti komor se díky tomu kontrahují téměř současně). Případné spojky mezi síněmi a komorami pak mají význam za patologických situací při vzniku arytmií.

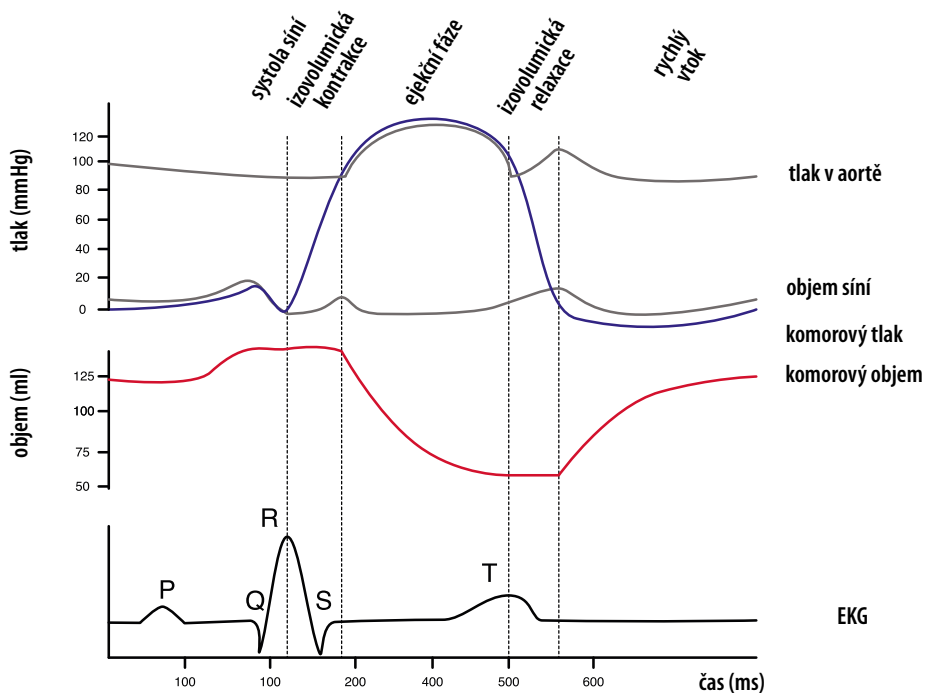
#### **14.1.1.1 Srdeční automacie, gradient srdeční automacie**

Za **normálních okolností** ovšem vzniká vzruchová aktivita **pouze v buňkách sinoatriálního uzlu**. Ten totiž vytváří vzruchy **s vyšší frekvencí než všechny ostatní struktury**, takže je jejich činnost utlumena a vzruchy v nich nevznikají. Vzruchy v nich mohou vzniknout pouze za předpokladu, že byl odstraněn vliv nadřazené struktury (to se označuje jako **hierarchie srdeční, gradient srdeční automacie**). Zjednodušeně řečeno: dříve než se kupříkladu AV uzel může spontánně depolarizovat, přejde přes něj vlna depolarizace z SA uzlu.

### 14.1.1.2 Buňky pracovního myokardu, dráždivost a refrakterní perioda myokardu

Buňky pracovního myokardu nejsou schopny spontánně rytmické vzruchy vytvářet (může k tomu dojít pouze za patologických podmínek; samotný fakt odstranění vlivu nadřazené struktury by ke vzniku spontánní rytmicity nevedl).

**Akční potenciál** (AP, viz obrázek 14) buněk pracovního myokardu je charakteristický především **dlouhou dobou svého trvání** (v porovnání s AP nervového vlákna či kosterního svalu, případně fázického typu hladké svaloviny), která je daná fází plateau. Plateau ① je ta část AP, kdy do intracelulárního prostoru vstupují ionty  $\text{Ca}^{2+}$ , případně i  $\text{Na}^+$  a **protitokem  $\text{K}^+$** , což znamená **dlouhou depolarizaci**. Dlouhá depolarizace ② je podkladem **dolouhé refrakterní fáze**. U AP s pomalou depolarizací trvá relativní refrakterní fáze ještě po ukončení repolarizace ③, což se označuje jako **postrepolarizační refrakterita**. S tím souvisí i to, že na rozdíl od kosterního svalu **není u srdeční svaloviny možný vznik tetanického stahu** (dlouhodobý stah se zvyšující se silou kontrakce), neboť dlouhá depolarizace je přibližně časově shodná s dobou stahu srdečního svalu, takže **nový AP vyvolá nový svalový stah** a nezvyšuje sílu kontrakce původního stahu.



**Obrázek 15:** Srdeční revoluce ve vztahu k tlaku v aortě, levé předsíni, levé komoře, objemu levé komory, postavení chlopní a EKG.