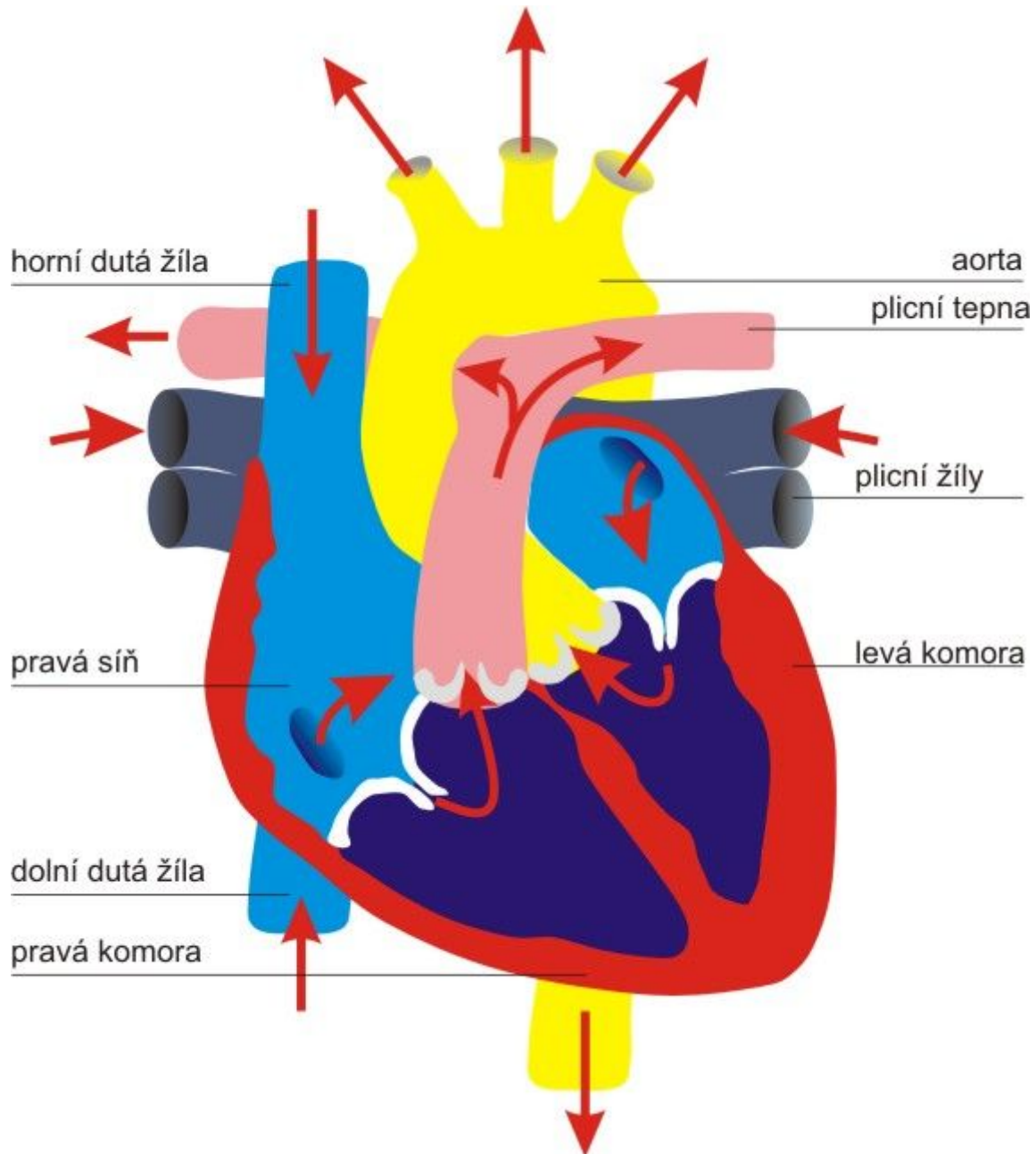


05. Biologie myokardu



Krev

- může své základní funkce v organismu plnit jenom za podmínky, že v organismu **obíhá**
- **je nestlačitelná**
- protéká srdcem **jednosměrně**

Uzavřený okruh kardiovaskulární soustavy se dělí na dva nestejně velké dílčí okruhy

Velký a malý oběh

Malý oběh (plicní oběh)

= stará se o zajištění okysličení krve

= napojuje se na **pravou komoru srdeční** a tvoří jej **plicní tepna**, její větve, poměrně široké **arterioly**, bohatě větvené **plicní kapiláry**, postupně se spojující **plicní venuly** a konečně **čtyři plicní žíly**, které ústí do **levé srdeční síně**

- vede z pravé srdeční komory do plic
- z plic do levé srdeční síně

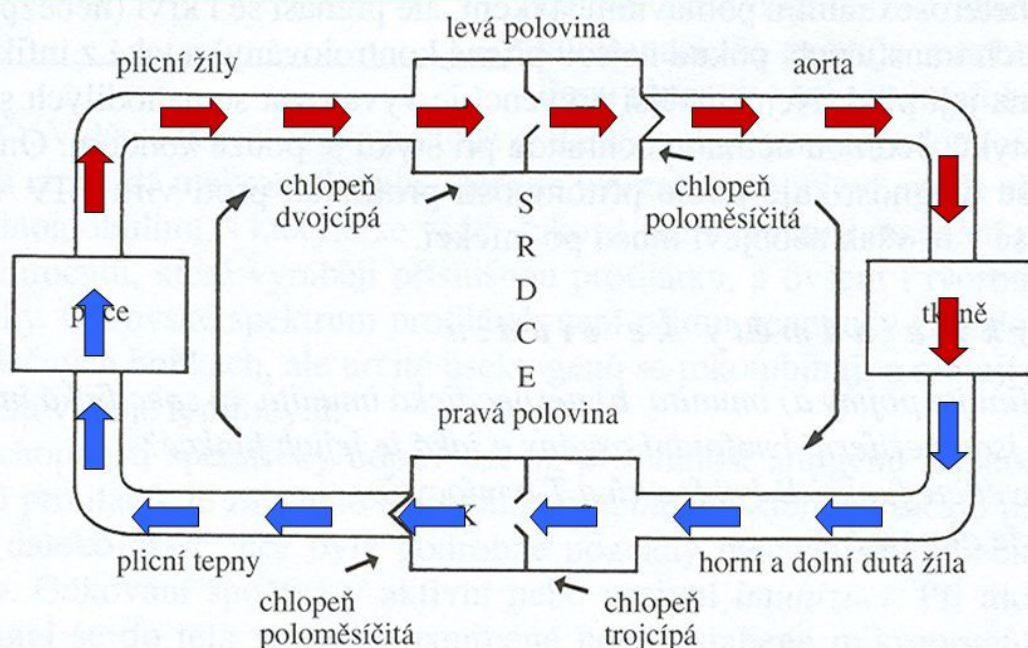
Velký (tělní, systémový) oběh

= stará se o přísun krve do celého těla

- vede z levé srdeční komory přes aortu ven do těla
- je zakončen horní a dolní dutou žílou, která vede do pravé srdeční síně

= navazuje na **levou komoru** a sestává z **aorty**, větších a menších **arterií**, poměrně dlouhých a úzkých **arteriol**, hustě se rozvětvující **kapilární síť**, **venul** a postupně se spojujících **žil**, jež konečně jako **horní a dolní dutá žíla** vracejí krev do **pravé srdeční síně**

MALÝ KREVNÍ OBĚH



Obr. 28 Základní schéma krevního oběhu u člověka (srdce v období diastoly); S – síně, K – komora

VELKÝ KREVNÍ OBĚH

4 Základní vlastnosti myokardu

1. **automacie** - srdce pracuje za vhodných podmínek i po vynětí z organismu (srdce králíka), a to spontánně, bez umělého dráždění; má tedy schopnost automaticky vytvářet vzruchy v pravidelném rytmu (rytmicita)
2. **vodivost** - vzruch jednou vzniklý se převádí na ostatní oblasti a oddíly srdce
3. **dráždivost** - proužek myokardu, který nejeví spontánní činnost, anebo tepající srdce v období diastoly lze podráždit elektrickým podnětem určité velikosti, a tak vyvolat jeho stah
4. **stažlivost** - schopnost reagovat na podráždění stahem určité velikosti; velikost stahu je závislá např. na intervalu, který uplynul od předchozího stahu

Činnost každého srdečního oddílu se projevuje pravidelným, rytmickým střídáním stahu (**systoly**) a ochabnutí, relaxace (**diastoly**). Systola síní trochu předchází systolu komor, která časově spadá do začátku síňové diastoly. V pravé síni se nachází **sinus venosus** (pro nás **pacemaker** = udavatel kroku), který samočinně generuje v pravidelných intervalech vzruchy, které se šíří na ostatní oddíly srdce a vyvolávají postupně jejich stah.

Další důležité poznámky

- srdeční sval = myokard = typ sarkomerické svaloviny
- srdce = dutinový sval (4 pracovní dutiny) = 2 síně a 2 komory
- srdce se rytmicky smršťuje (kontrahuje) a ochabuje (relaxuje)
 - kontrakce a relaxace se rytmicky střídá
- krev protéká jednosměrně
 - jednosměrnost toku krve je zajištěna chlopenním aparátem
- v síních jsou chlopně jen na výtokovém ústí (výstup)
- komory mají chlopně na vtokovém ústí (cípaté) (vstup) i na výtokovém ústí (poloměsíčité) (výstup)

Systola a diastola

Systola

= vypuzování krve ven do oběhu

- je děj aktivní - silou kontrakce vláken myokardu roste v srdeční dutině tlak a krev je ze srdeční dutiny vypuzována

Diastola

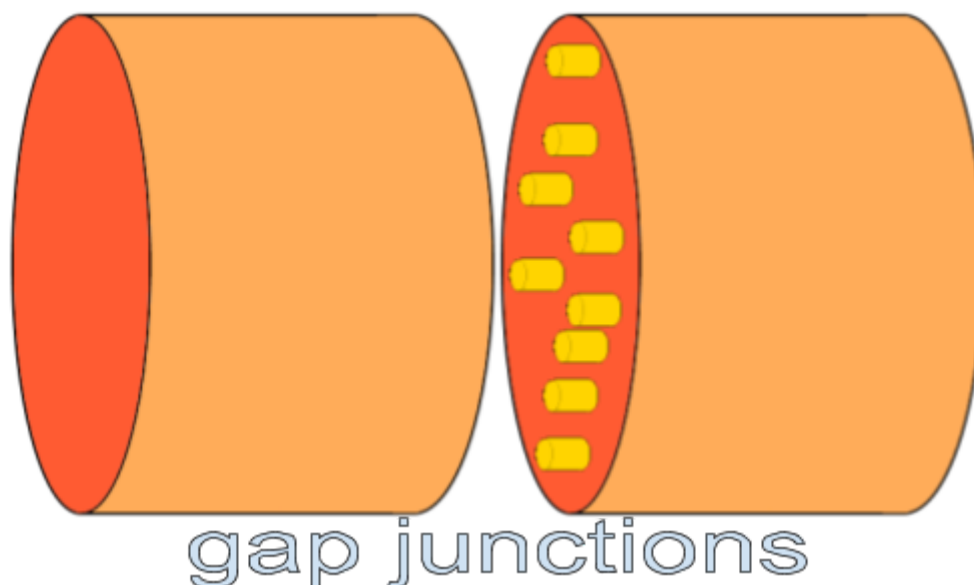
= plnění srdeční dutiny krví

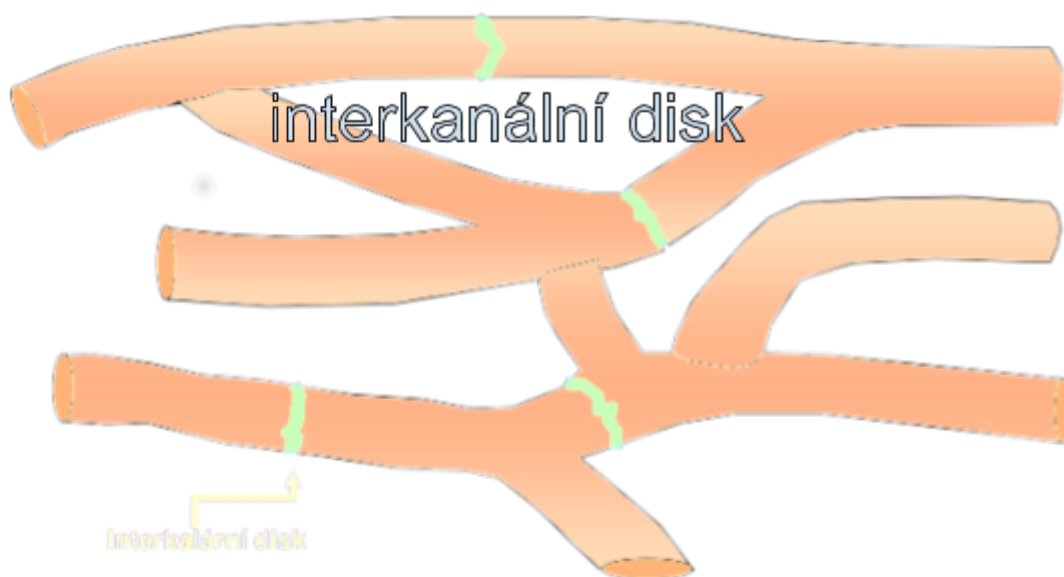
- je děj pasivní - nedochází k nasátí krve

Srovnání s kosterním svalem

Morfologické rozdíly

Kosterní sval	Myokard
Svazek paralelně probíhajících válcovitých mnohojaderných vláken	Mnohojaderná větvičí se vlákna, různé délky a tloušťky, forumující stěnu srdečních dutin
vlákna jsou navzájem velmi dobře elektricky izolována	vlákna a buňky navzájem velmi dobře elektricky komunikují (pomocí nízkoodporových můstků = gap junctions)
tvár vláken je monotóní, liší se jen tloušťkou a tvarem	značná polymorfie (heterogenita) ve tvaru vláken (buněk)
systém transversálních tubulů a terminálních cisteren formuje triady	vztah t-tubulů a depositních částí sarkoplasmatického retikula je nepravidelný; triády chybí
délka sarkomery je cca 2.2 μ m	délka sarkomery je cca 1.8 μ m
bohatší na sarkoplasmatické retikulum	chudší na sarkoplasmatické retikulum
svazek vláken je spojen zpravidla na obou stranách do vazivové struktury - šlacha; výjimkou jsou svěrače a kruhové svaly (oční a ústní)	jednotlivá vlákna se větví a spojují se na čele tzv. interkalárními disky; ty zajišťují jednak mechanickou pevnost a dále obsahují vysokou koncentraci GJ



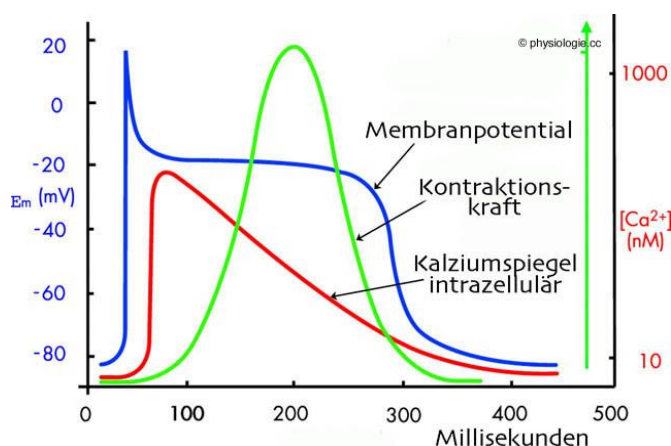
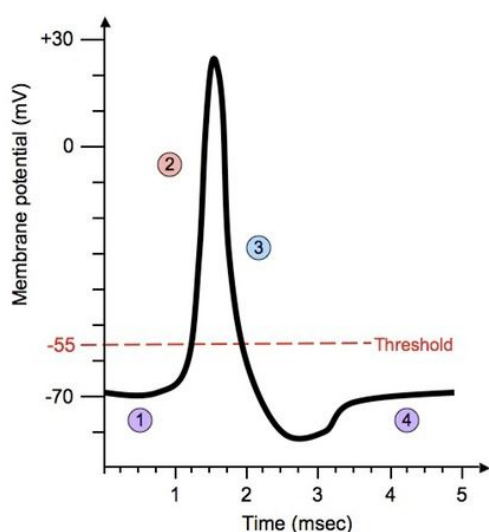


Zjednodušené schéma vztahů vláken formujících srdeční sval

Rozdíly v mechanismu spuštění elektrické aktivity

Kosterní sval - čeká na signál z terminálu somatického motorického vlákna (od nervu)
 Myokard - vzruchy vznikají ve specializovaných buňkách (pacemakerových) a šíří se z jednoho vlákna na druhé.

Rozdíly v elektrofyziologických projevech



Rozdíly v elektrických vztazích svalových buněk

Rozdíly v hospodaření s aktivátorem stahu (Ca^{2+})

Kosterní sval stimulovaný v roztoku bez Ca^{2+} dokáže přežít až desítky minut - jsou vidět svalová trnutí i po odumření

Myokard stimulovaný v roztoku bez Ca^{2+} exponenciálně ztrácí sílu kontrakcí až do vymizení

Rozdíly v bezprostřední potřebě kyslíku k činnosti

Kontrakce kosterního svalu v roztoku bez kyslíku slábnou pozvolna (práce na kyslíkový dluh)

Kontrakce myokardu slábnou během několika stahů a průběh kontrakce se deformuje = především se zpomaluje fáze relaxace

Metabolismus myokardu

V klidu:

- $\frac{2}{3}$ mastné kyseliny
- $\frac{1}{3}$ cukerné látky (glukóza, laktát)

Při fyzickém zatížení:

- převažují cukerná látky, zejména laktát, glukóza a aminokyseliny

Při nadměrné produkci ketolátek (hladovění, diabetes) převážně acetoacetát

Klíčovou látkou srdečního metabolismu je kyslík; veškeré reakce probíhají aerobně

Buňky myokardu

Kardiomyocyty

= svalové buňky sarkomerického typu

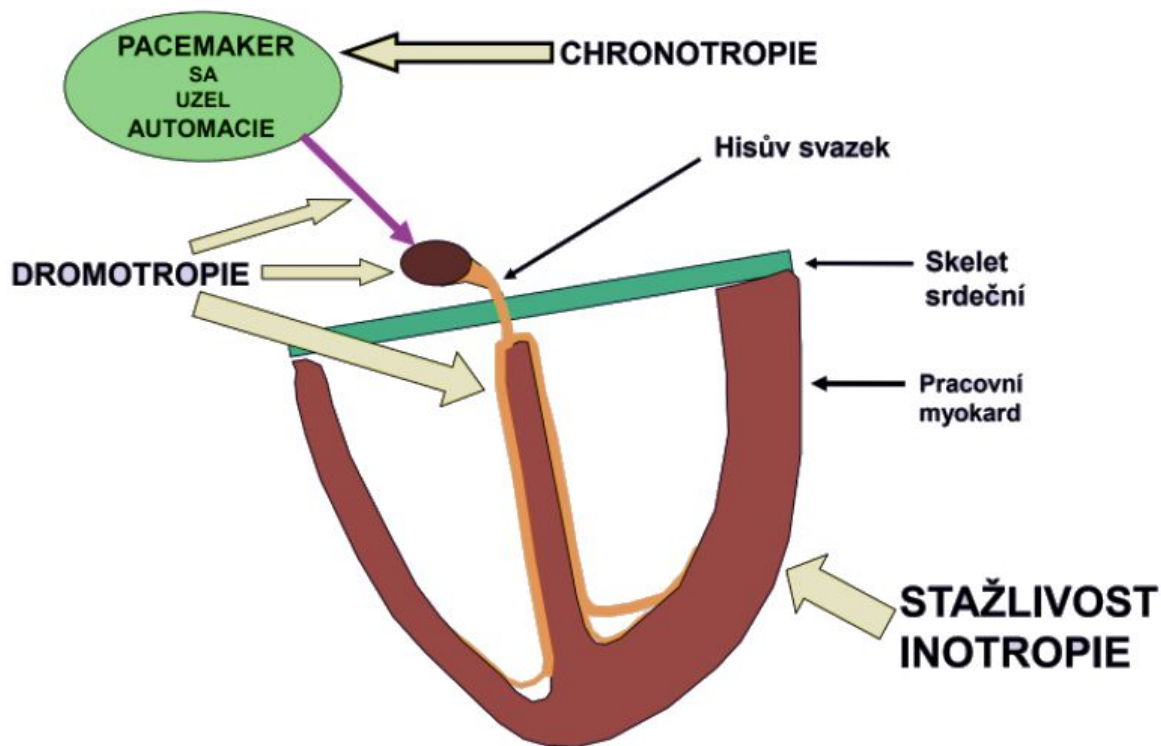
- a) pracovní kardiomyocyty - generují sílu srdečního svalu
- b) specializované kardiomyocyty
 - i) pacemakerové = způsobilé produkovat vzruchy
 - ii) sloužící k rozvodu vzruchové aktivity

Vazivové buňky

- a) fibrocity (skelet srdeční a chlopenní aparát)
- b) fibroblasty (oblasti nodální tkáně)
- c) cévní stěna

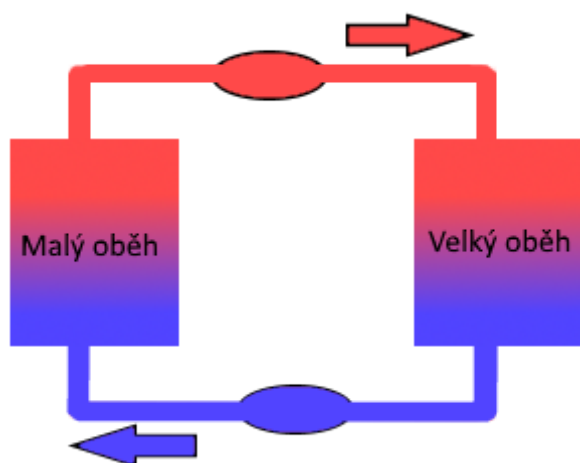
Kardiocyty

- převážně v síních
- endokrinně aktivní (produkují mimo jiné atropeptiny)



Srdeční výdej (minutový objem srdeční, MOS)

= množství krve vypuzené jednou komorou do příslušné části oběhu za zvolený časový úsek (obvykle 1 minuta)



Normální poměr srdečního výdeje:

- **5 litrů/min** z/do velkého oběhu
- **5 litrů/min** z/do malého oběhu

Poměr je tedy 5/5 litrů/min

Pokud je tento poměr porušen, dochází k problémům

Pokud je výdej **levé komory menší než pravé** → **krev se hromadí před levou síní** a v plicích → vzniká plicní otok.

Pokud je výdej **pravé komory menší než levé** → **krev se hromadí na periferii** → otok jater (například)

Výpočet

$$SV = f \times SO$$

SV [l/min] ... srdeční výdej

f [tepů/min] ... frekvence

SO [ml/min] ... systolický objem

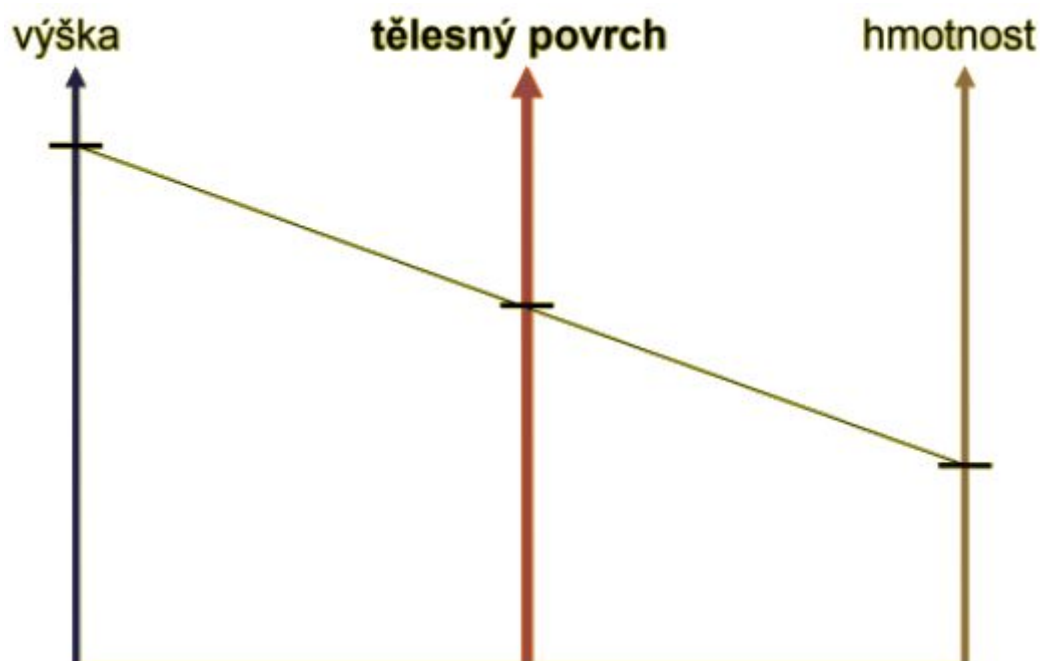
Klidová frekvence se pohybuje v rozmezí 60 - 80 tepů/minutu

Klidový systolický objem má rozměr 60 - 80 ml/minutu

Skutečná velikost SV je závislá na řadě dalších parametrů - výška, hmotnost, pohlaví, věk, trénovanost, zdravotní stav...)

Srdeční index

= určuje se jako srdeční výdej připadající na m² tělesného povrchu; tělesný povrch se určuje obtížně a proto je možné užít tzv. nomografického určení tělesného povrchu (podle různých parametrů) pro příslušné pohlaví a věkovou skupinu



Výpočet

$$SI = \frac{SV}{\text{tělesný povrch}}$$

SI [l/m²] ... srdeční index

SV [l/min] ... srdeční výdej

tělesný povrch [m²]

Příklad:

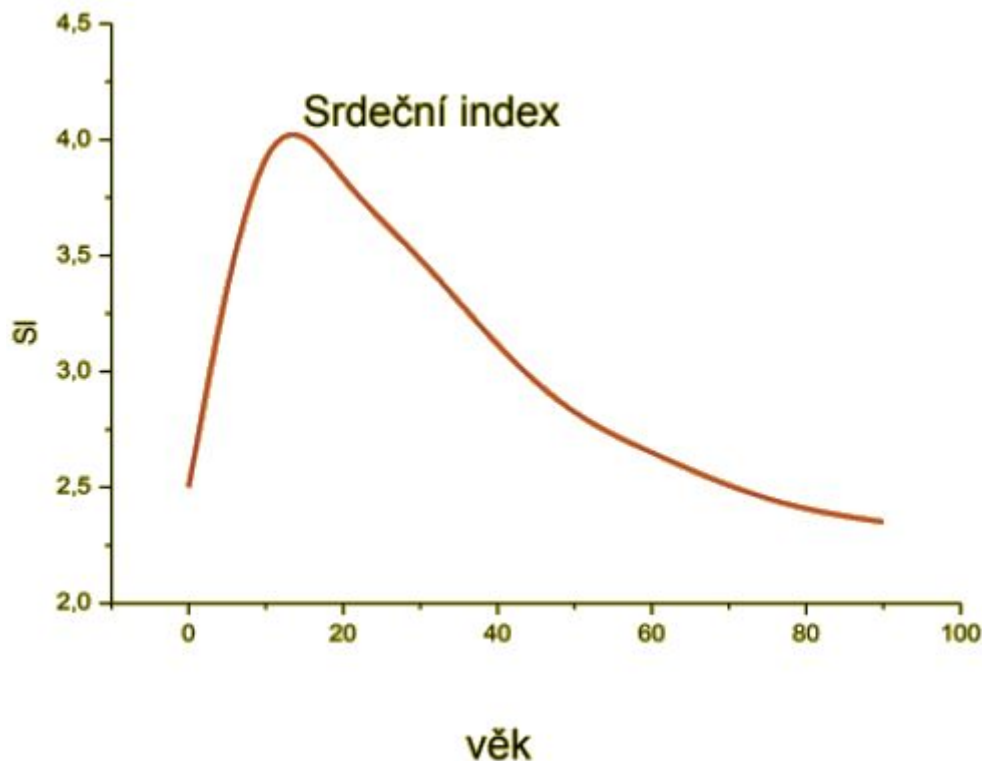
tělesný povrch dvacetiletého muže hmotnosti 70 kg je cca 1.7m²

Příklad:

přiměřeně trénovaný muž vykazuje SI:

$$SI = \frac{SV}{\text{členný povrch}} = \frac{5,5}{1,7} = 3,2 \text{ litru/m}^2$$

Srdeční index roste přibližně do 20 roku jedince, pak začne klesat až do konce života.



Průtok krve

- rychlost proudu krve v určité části řečiště závisí na úhrnné ploše, kterou krev protéká
- **s rostoucím průřezem klesá rychlost pohybu krve**

průtok je funkcí čtvrté mocniny poloměru

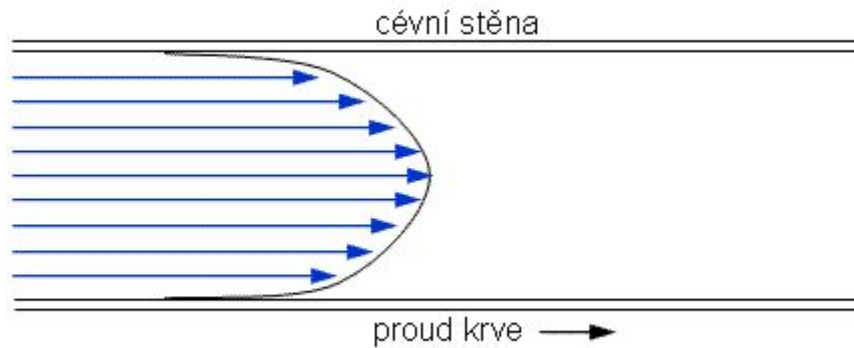
relativně malé změny průměru cévy způsobují významné změny v průtoku

- **vazokonstrikce** = řízené zúžení cévy → pokles průtoku
- **vazodilatace** = řízené rozšíření cévy → zvýšení průtoku

Laminární a turbulentní proud krve

Laminární proudění (přímočaré)

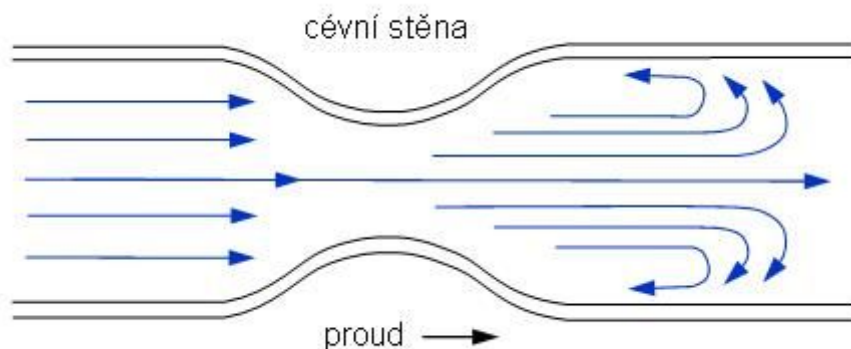
= částice kapaliny se pohybují ve vzájemně rovnoběžných vrstvách, aniž by se navzájem mísily



- v trubici (cévě) má malou rychlost, která pomalu stoupá od okraje ke středu trubice, kde je největší
- příčinou stoupající rychlosti ke středu je fakt, že u stěn vzniká veliké tření → nižší rychlost
- zůstává zachováno až do kritické rychlosti, kdy se mění na proudění turbulentní
- pravděpodobnost přechodu na turbulentní proudění je ovlivněna kromě rychlosti proudění ještě průměrem trubice (cévy), viskozity a hustoty kapaliny
- pružnost cévních stěn zvyšuje jeho stabilitu

Turbulentní proudění (vířivé)

= při proudění dochází k turbulencím (něco jako vracející se proud u jezu)



- mohou být způsobeny větvením cév, nebo nehomogenitou jejich stěn
- způsobují vibrace cévních stěn → vznik slyšitelných šelestů

Pohyb krve

= krev se pohybuje po tlakovém spádu gradientu

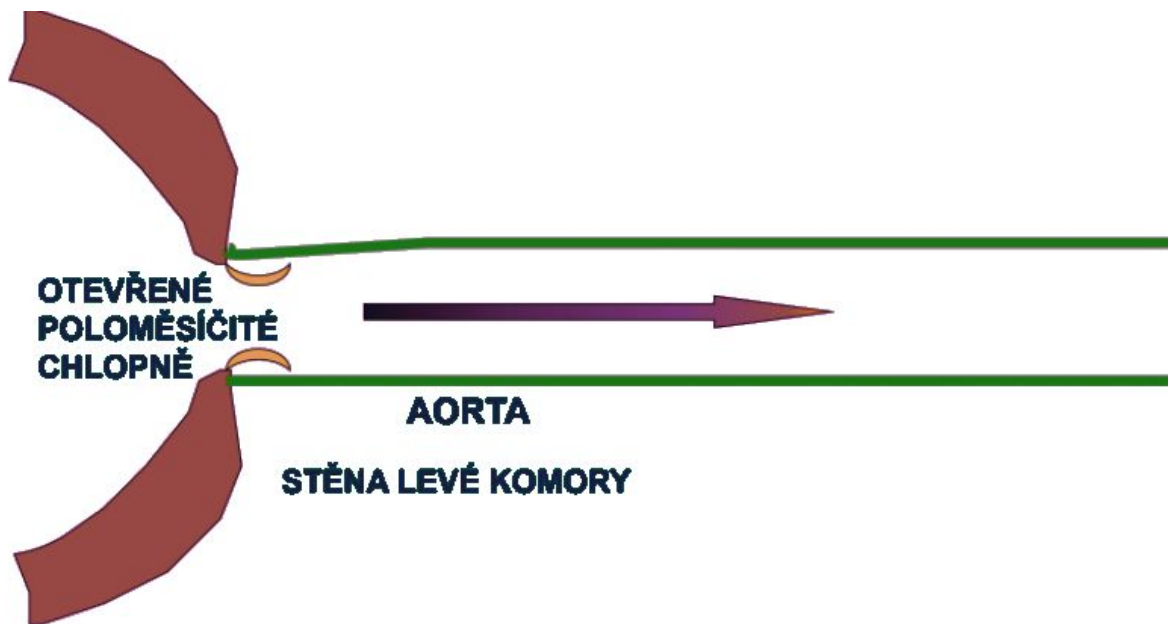
Tlakový gradient v krevním řečišti

= tlakový gradient vzniká díky srdeční práci

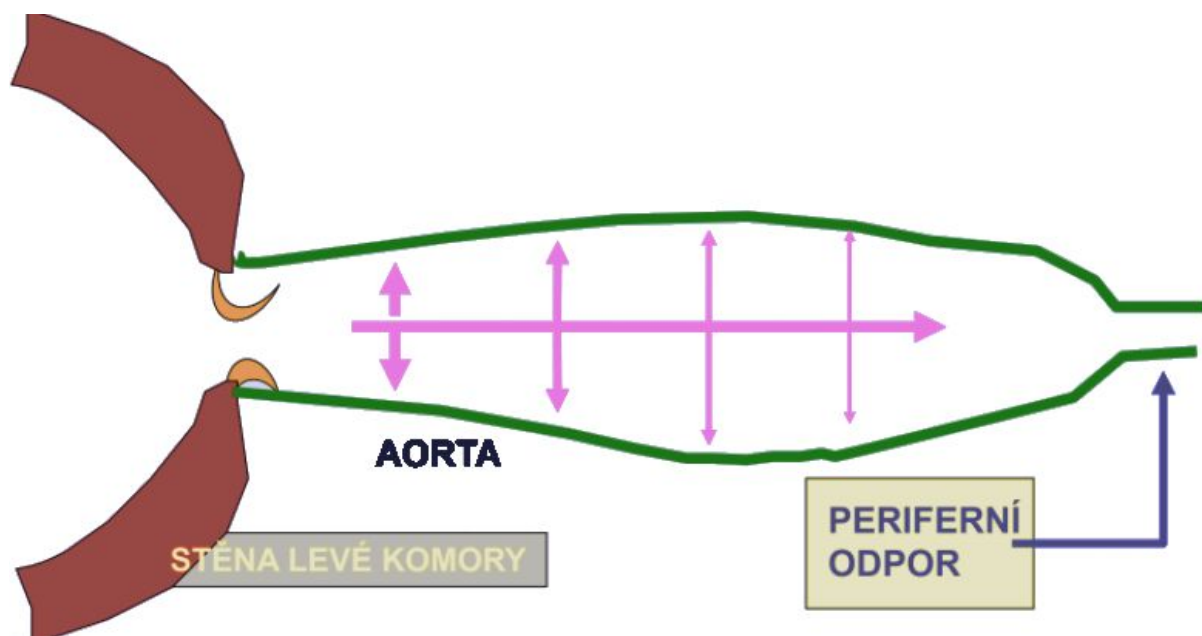
V době ejekční fáze **systoly vzniká tlakový gradient** - je generovaný samotným srdcem

V období **diastoly (srdce relaxuje)** je tlakový gradient generován **periferním odporem**

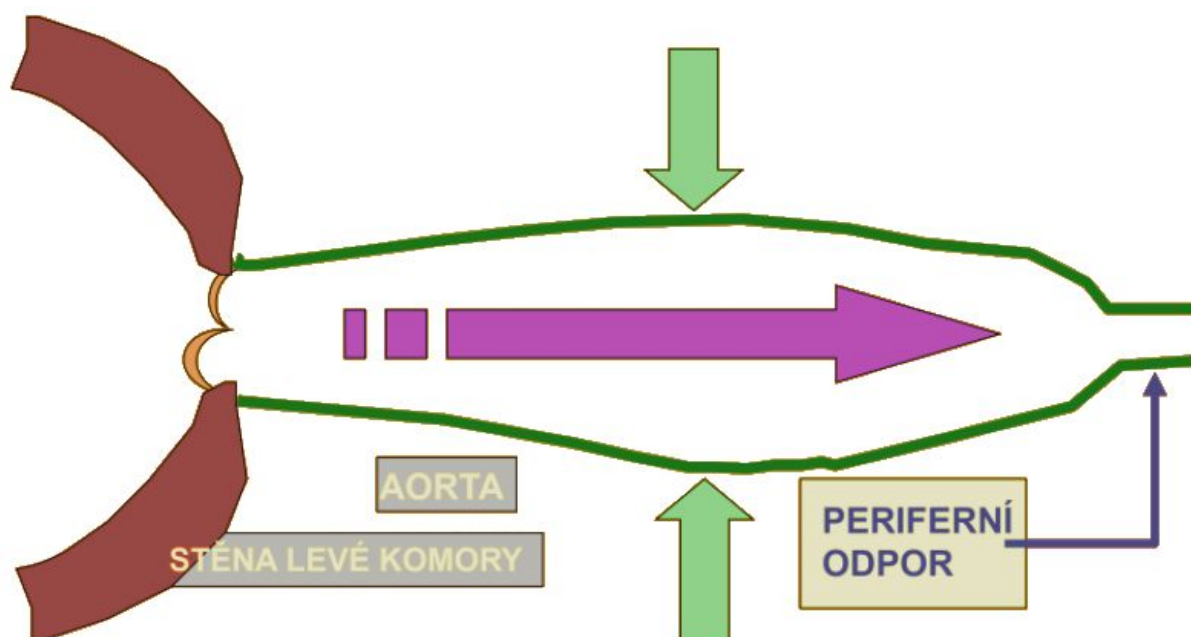
V době diastoly jsou uzavřeny chlopně mezi tepnou a srdeční komorou a přímá srdeční práce s na produkci tlakového gradientu nepodílí



Během komorové systoly je přímým zdrojem tlakového gradientu kontrakce myokardu (přímá srdeční práce)



Mezi stěnou levé komory a tepnou s periferním odporem se nachází elastická tepna, do které se nahrne velké množství krve, které nestačí projít přes periferní odpor. Část kinetické energie se uplatní jako síla (tlak) na stěny elastických pružných tepen. Tím dochází k vakovitému pasivnímu rozepětí stěny aorty a jejích velkých větví.



Po ukončení systolické fáze srdce relaxuje. Uzavřou se poloměsíčné chlopně a energie uložená do pružného rozepjetí aorty způsobuje návrat stěn do původní polohy. Tím je v době diastoly vytlačována krev a zachován gradientní tlak.