

# **ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI KREVNÍHO OBĚHU**

**Oběhová soustava je uzavřený  
systém cév a srdce; naplněný  
krví**

**System cirkulace je funkční jen v kooperaci s funkcemi krve.**

**Eufemisticky řečeno, krev, která necirkuluje přestává být efektivní;  
cirkulace bez krve nemůže fungovat.**

**Krev je nestlačitelná kapalina.**

**V důsledku této vlastnosti vykazuje proudění krve řadu specifických charakteristik.**

**Krev vytéká ze srdce tepnami  
(arteriemi);**

**přesněji řečeno krev je ze srdce v  
době systoly vypuzována (ejekční  
fáze).**

**V období diastoly krev plní  
srdeční dutiny.**

Protože levá komora vypuzuje krev aortou do těla (systému) označuje se tato část *systémový oběh*, (velký oběh), ten je ukončen vtokem horní a dolní žíly do pravé síně.

Z pravé předsíně krev plní pravou komoru. Z pravé komory je krev vypuzena prostřednictvím plicnice do plic. Tato část se nazývá *plicní oběh* (malý oběh).

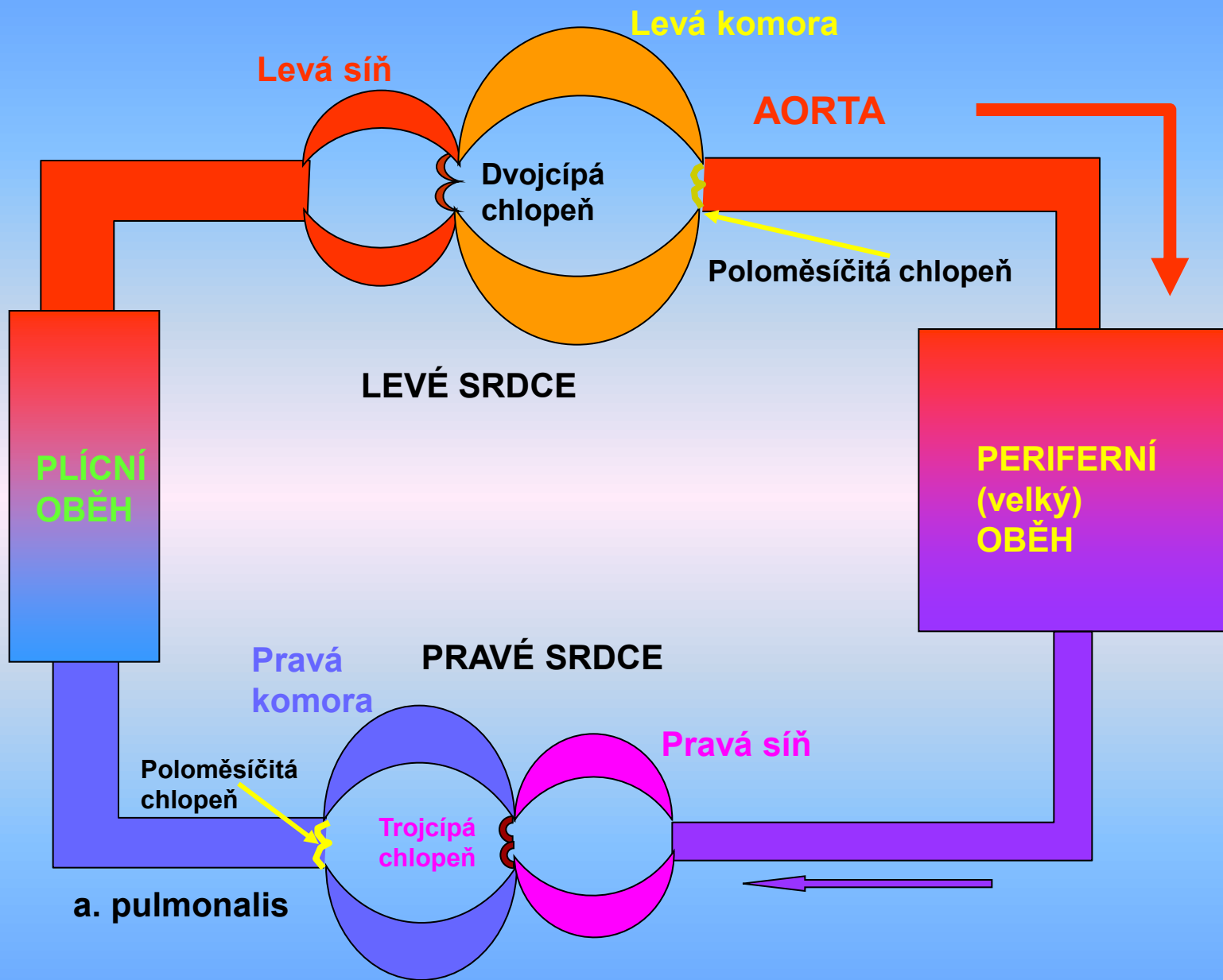
V plicích dochází k regeneraci obsahu dýchacích plynů.

Krev z plic proudí do levé předsíně plicními žilami (obvykle jsou čtyři).

Následovně krev přetéká do levé komory a celý cyklus se opakuje.

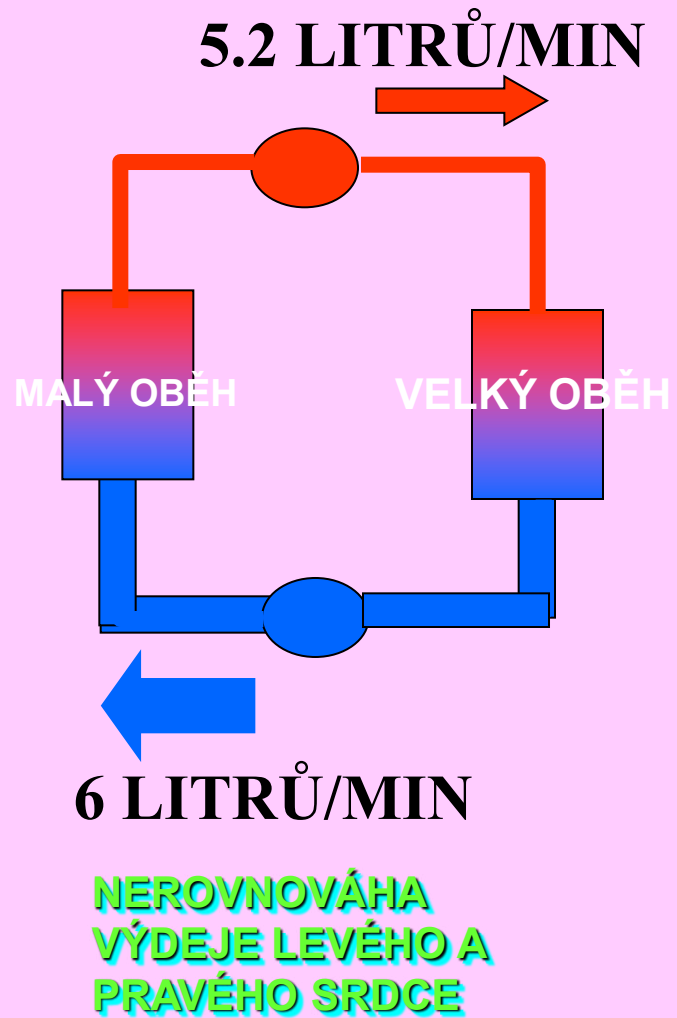
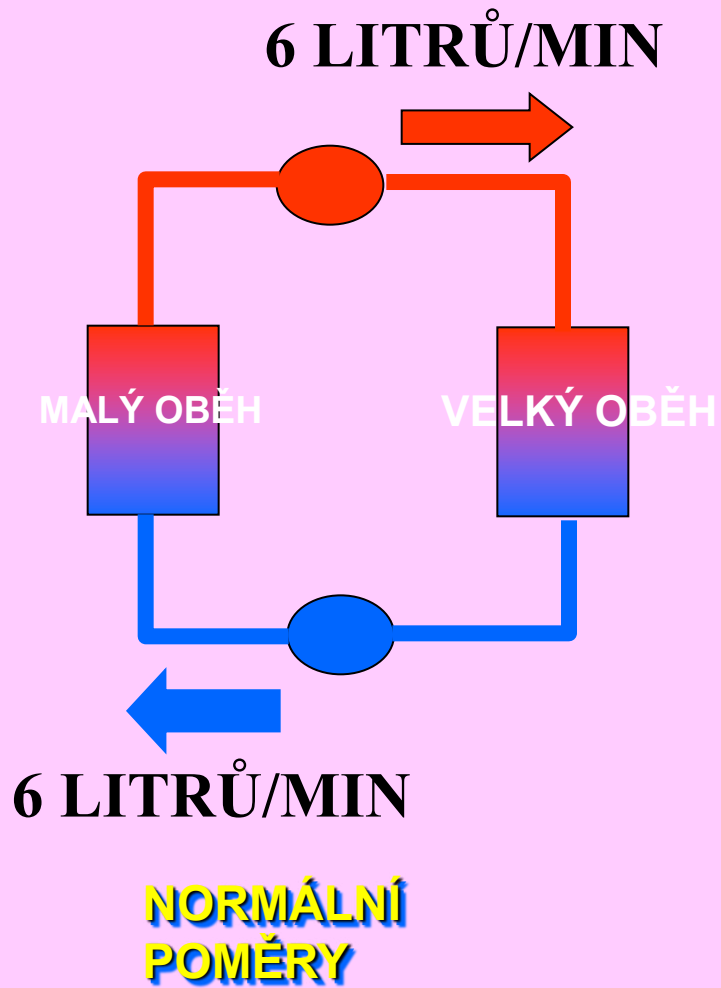
**V oběhové soustavě se krev pohybuje jednosměrně. Jednosměrnost je určena chloppenními systémy srdce.**

**Obecný vzorec směru cirkulace je: levá komora – aorta – systémový oběh – žilní systém velkého oběhu – pravá předsíň – pravá komora – plicnice – plíce – plicní žíly – levá síň.**





# SRDEČNÍ VÝDEJ



**SRDEČNÍ VÝDEJ = MNOŽSTVÍ KRVE  
VYPUZENÉ JEDNOU KOMOROU DO  
PŘÍSLUŠNÉ ČÁSTI OBĚHU ZA ZVOLENÝ  
ČASOVÝ ÚSEK,  
OBVYKLE ZA 1 MINUTU.**

**(PROTO SE NĚKDY POUŽÍVÁ NÁZVU:  
Minutový objem srdeční, MOS).**

**KREV JE  
NESTLAČITELNÁ**

**ZA NORMÁLNÍCH OKOLNOSTÍ SE VÝDEJ LEVÉ  
KOMORY ROVNÁ VÝDEJI KOMORY PRAVÉ**

**POKUD JE NAPŘÍKLAD VÝDEJ KOMORY LEVÉ  
MENŠÍ NEŽ KOMORY PRAVÉ, KREV SE HROMADÍ  
PŘED LEVOU SÍNÍ A POSLÉZE V PLICÍCH. VZNIKÁ  
PLICNÍ OTOK**

POKUD JE VÝDEJ KOMORY PRAVÉ MENŠÍ NEŽ  
KOMORY LEVÉ, KREV SE HROMADÍ NA  
PERIFERII (NAPŘ. OTOK JATER)

**KREV TEČE V ŘEČIŠTI JEN  
JEDNÍM SMĚREM**

# **Směr toku krve určují chlopenní systémy v srdci**

**CÍPATÉ CHLOPNĚ SE OTEVÍRAJÍ ZE SÍNĚ DO  
KOMORY, V OPAČNÉM SMĚRU SE ZAVÍRAJÍ**

**POLOMĚSÍČITÉ CHLOPNĚ SE OTEVÍRAJÍ  
DO VELKÉ TEPNY (VLEVO DO AORTY,  
VPRAVO DO a. PULMONALIS); ZPĚTNÝ  
POHYB KRVE JE UZAVÍRÁ**

**POHYBY CHLOPNÍ JSOU  
PASIVNÍ**

# Pohyby chlopní určuje rozdíl tlaků působících z jedné a z druhé strany

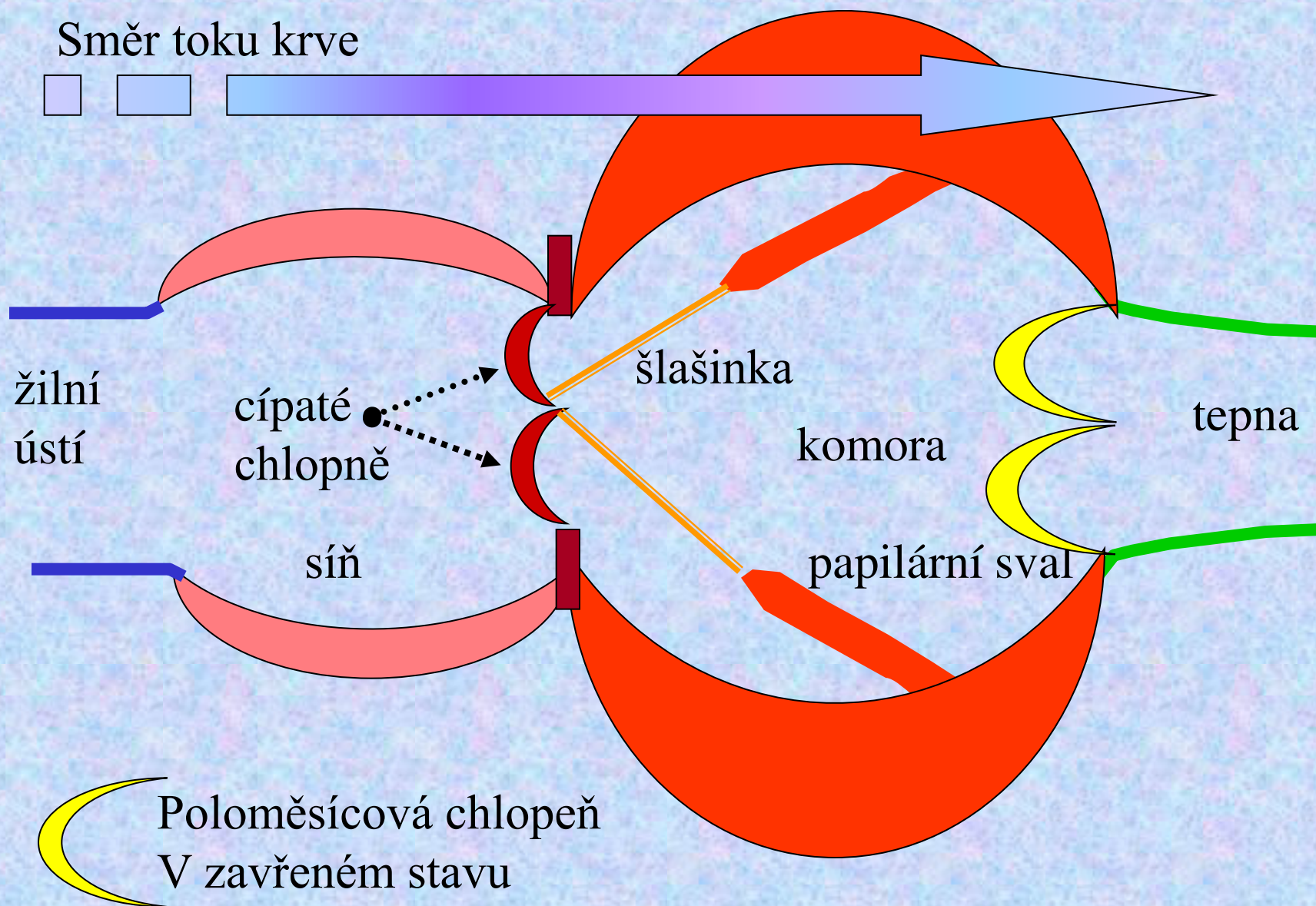
Tlak je definován jako působení síly na plochu:

$$P = \frac{F}{S}$$

Plocha chlopně je přibližně stejná na obou stranách, tudíž se tlak projeví rozdílnou silou  $F$ . Pokud je  $F$  větší v otevíratelném směru, chlopeň se otevírá; v opačném případě zavírá



Směr toku krve



# **JAK SE MĚNÍ PRŮTOK KRVY CÉVOU S JEJÍM PRŮMĚREM**

Rychlost proudu krve v určité části řečiště závisí na úhrnné ploše, kterou krev protéká.

Lze odvodit, že

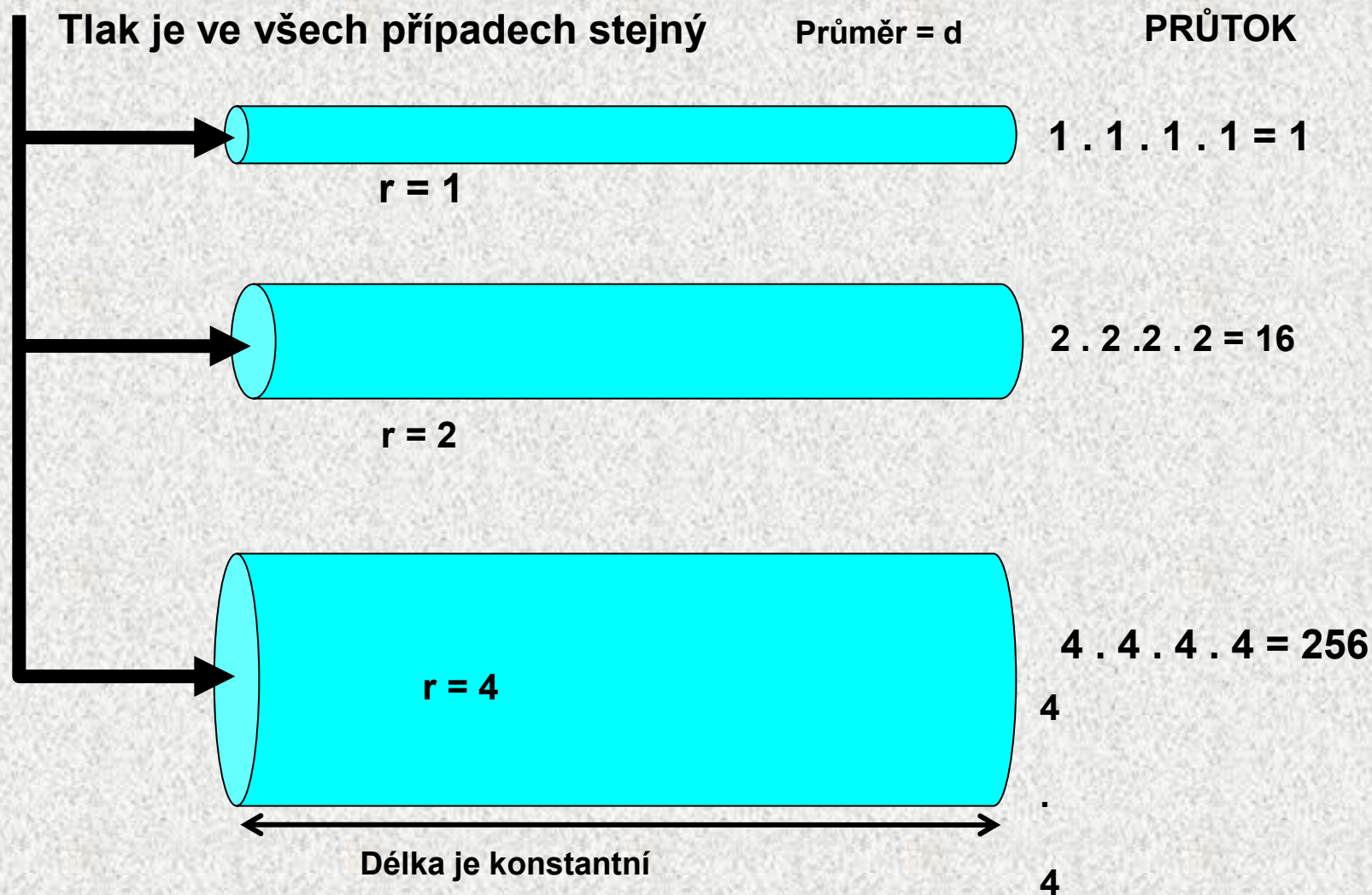
$$S \cdot v = \text{konstantě}$$

$S$  je úhrnná plocha dané části řečiště,  $v$  je rychlost proudu krve.

Zjednodušeně lze shrnout:

s rostoucím průřezem klesá rychlost pohybu krve.

# Z TEORETICKÉ HYDRODYNAMIKY PLYNE, ŽE PRŮTOK JE FUNKCÍ ČTVRTÉ MOCNINY POLOMĚRU



**Z UVEDENÉ ZÁVISLOSTI VYPLÝVÁ, ŽE RELATIVNĚ MALÉ ZMĚNY PRŮMĚRU CÉVY ZPŮSOBUJÍ VÝZNAMNÉ ZMĚNY V PRŮTOKU.**

Stěna cévy je vybavena hladkou svalovinou, která může navozovat řízenou vazokonstrikci (zúžení cévy) a tím pokles průtoku, nebo řízenou vazodilataci (rozšíření cévy) a tím zvýšení průtoku.

Reakce cévní hladké svaloviny jsou určeny:

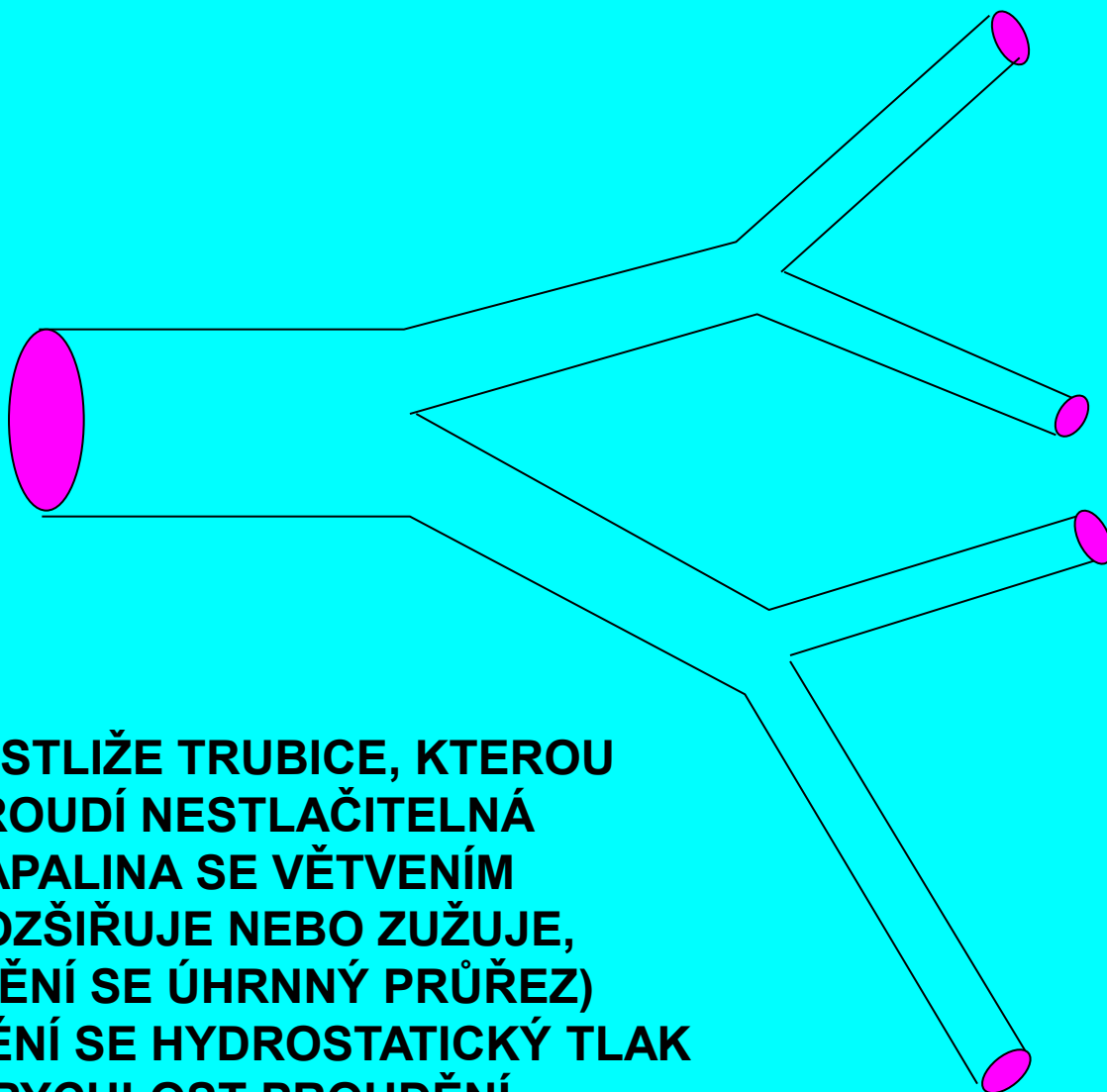
- 1) vazomotorickými nervy (vazokonstrikční, vazodilatační)
- 2) vazoaktivními informačními molekulami (látky uvolňované tkáněmi v místě průtoku, místní hladina  $O_2$ , hormony, a další.

Jediným typem cév, které postrádají hladkou svalovinu jsou  
**KAPILÁRY**

U žil někdy užíváme názvu venokonstrikce a venodilatace

Pokud dojde k povšechné vazokonstrikci nebo vazodilataci, označujeme tento stav generalizovaná vazokonstrikce (vazodilatace).

Změny průměru cév (zejména generalizované) významně mění periferní odpor (a tím se podílejí na regulaci TK)

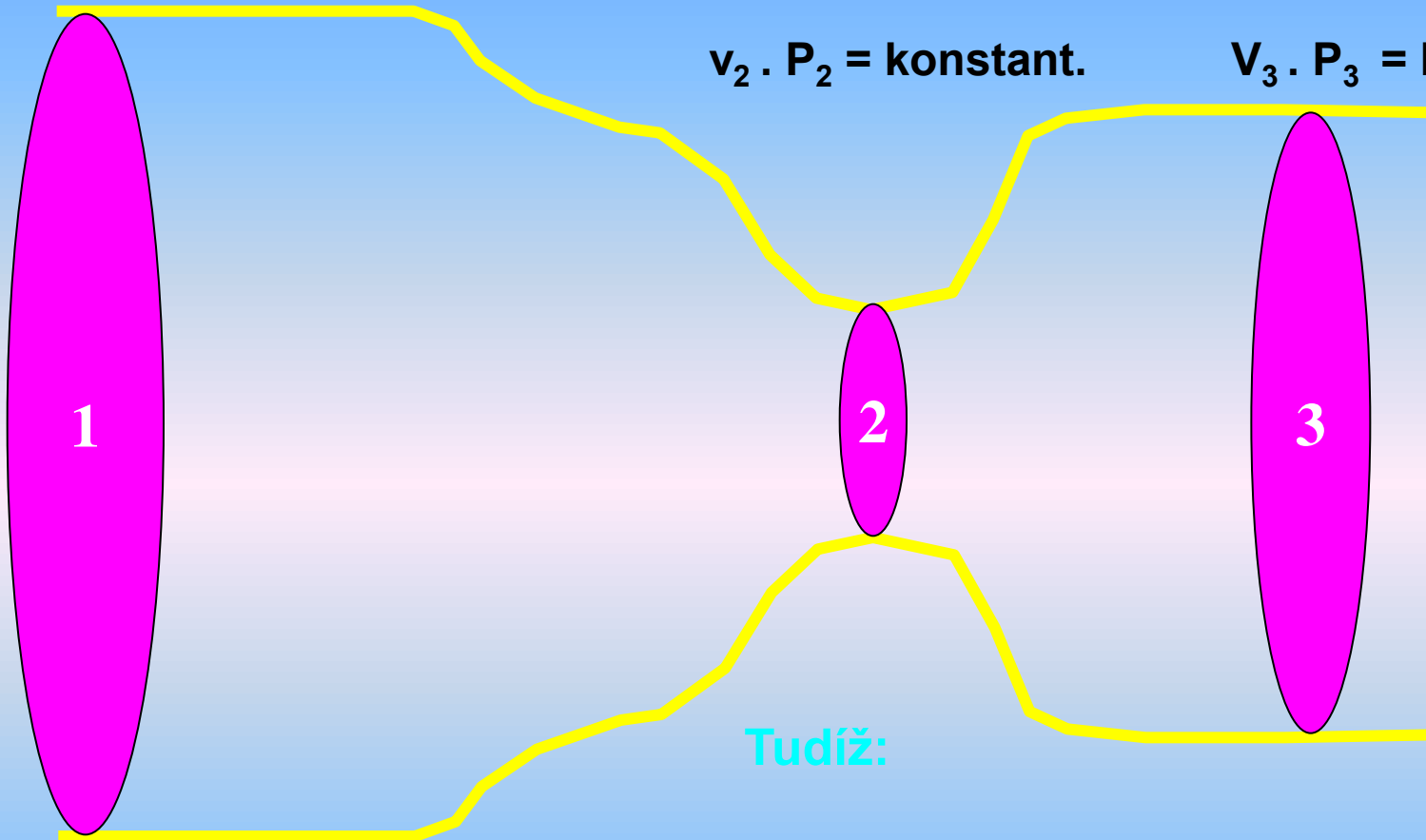


**JESTLIŽE TRUBICE, KTEROU  
PROUDÍ NESTLAČITELNÁ  
KAPALINA SE VĚTVENÍM  
ROZŠÍŘUJE NEBO ZUŽUJE,  
(MĚNÍ SE ÚHRNNÝ PRŮŘEZ)  
MĚNÍ SE HYDROSTATICKÝ TLAK  
A RYCHLOST PROUDĚNÍ**

$$v_1 \cdot P_1 = \text{konstant.}$$

$$v_2 \cdot P_2 = \text{konstant.}$$

$$V_3 \cdot P_3 = \text{konst.}$$



Tudíž:

$$V_1 \cdot P_1 = v_2 \cdot P_2 = v_3 \cdot P_3 \dots = \text{konst.}$$

RYCHLOST =  $v$

TLAK =  $P$

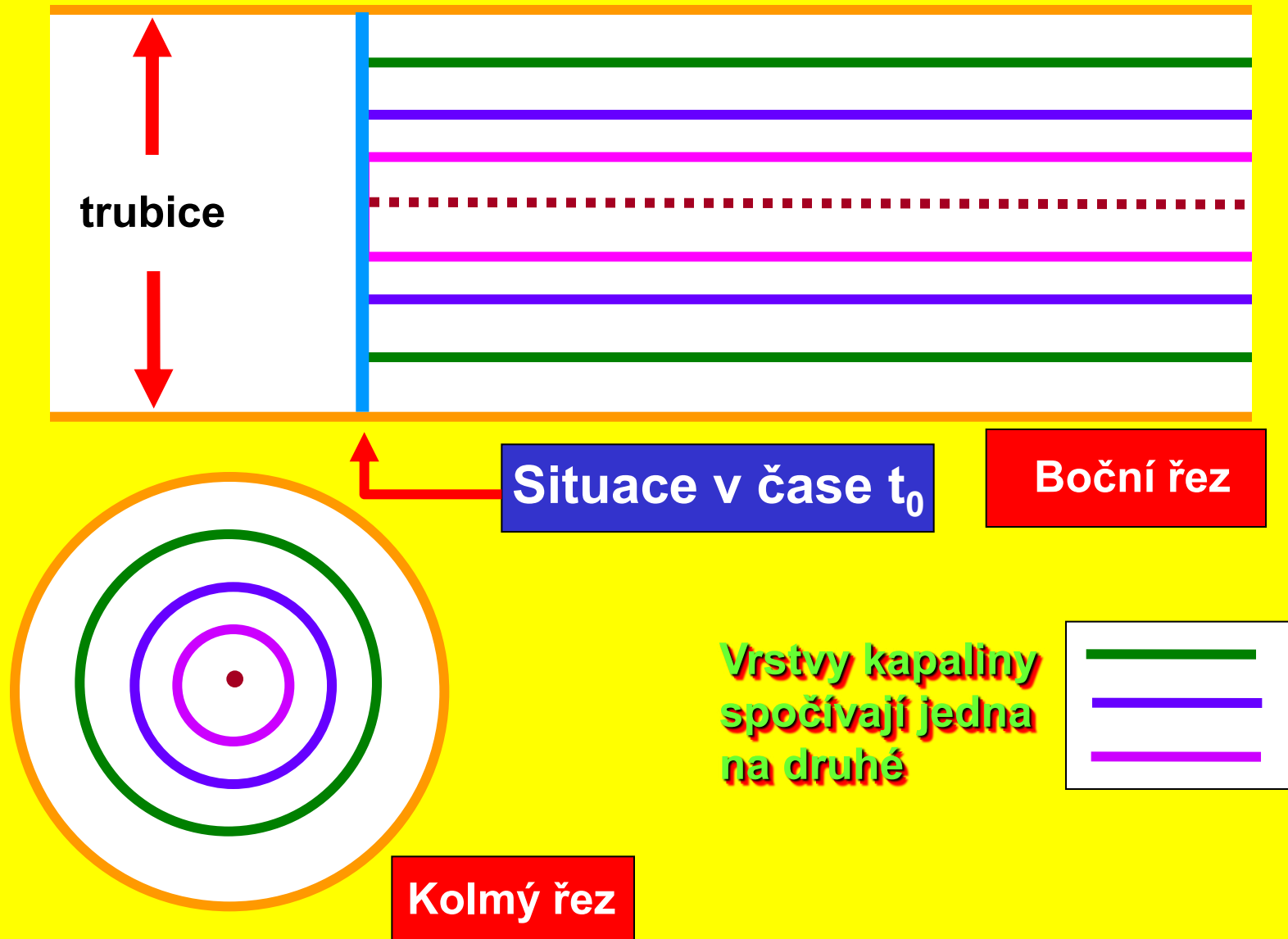
# Proud krve je laminární nebo turbulentní

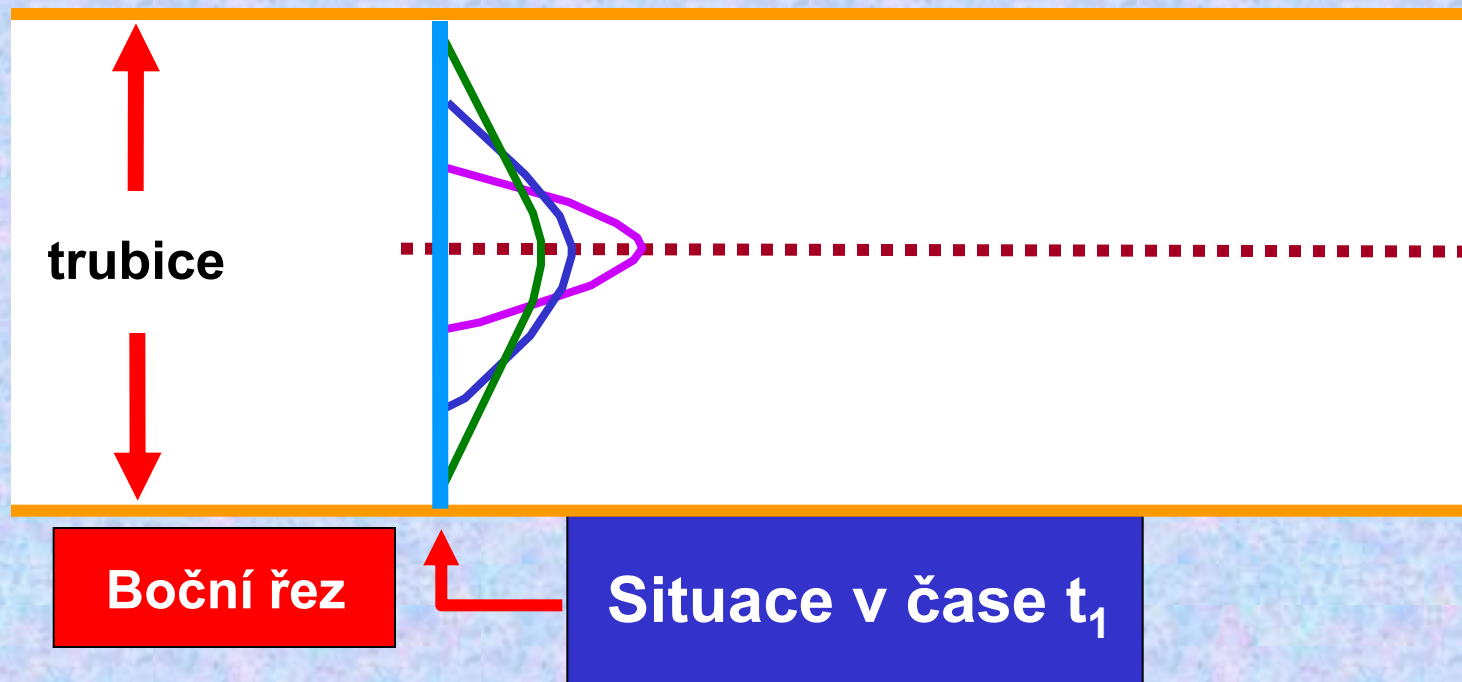
Pohyb krve v srdečních dutinách během srdečního cyklu obsahuje (s výjimkou izovolumických fází komorových dutin) vždy laminární i turbulentní komponenty.

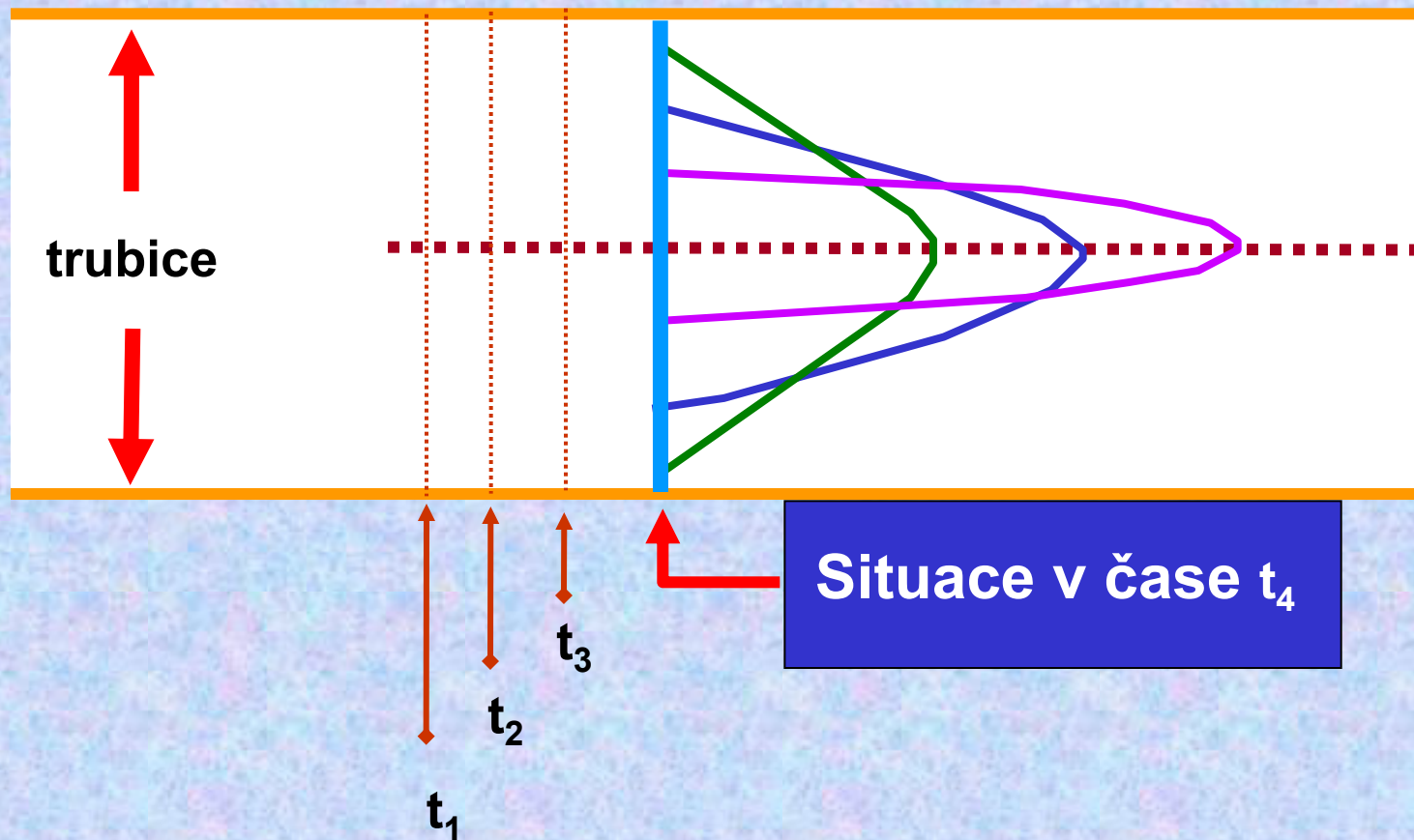


# Charakter proudění

## Proudění laminární







# PŘI LAMINÁRNÍM PROUDĚNÍ SE JEDNOTLIVÉ VRSTVY KAPALINY POHYBUJÍ PO SOBĚ ANIŽ SE VÝRAZNĚ MÍSÍ.

Z důvodů, které plynou ze zákonů hydrodynamiky, lze změřit, že osová (střední) vrstva se pohybuje nejrychleji a směrem ke stěně trubice se pohyb zpomaluje. Příčinou je vzájemné tření pohybujících se vrstev. Nejpomaleji se pohybuje vrstva, která je v přímém kontaktu se stěnou trubice (zde k deceleraci přispívá i tření o stěnu).

**PRAKTICKÝM DŮSLEDKEM UVEDENÉHO ROZDĚLENÍ RYCHLOSTÍ LAMINÁRNĚ TEKOUcí KAPALINY, NAPŘÍKLAD KRVE V CÉVÁCH, JE ROZVRSTVENÍ KRVE A KREVNÍCH BUNĚK.**

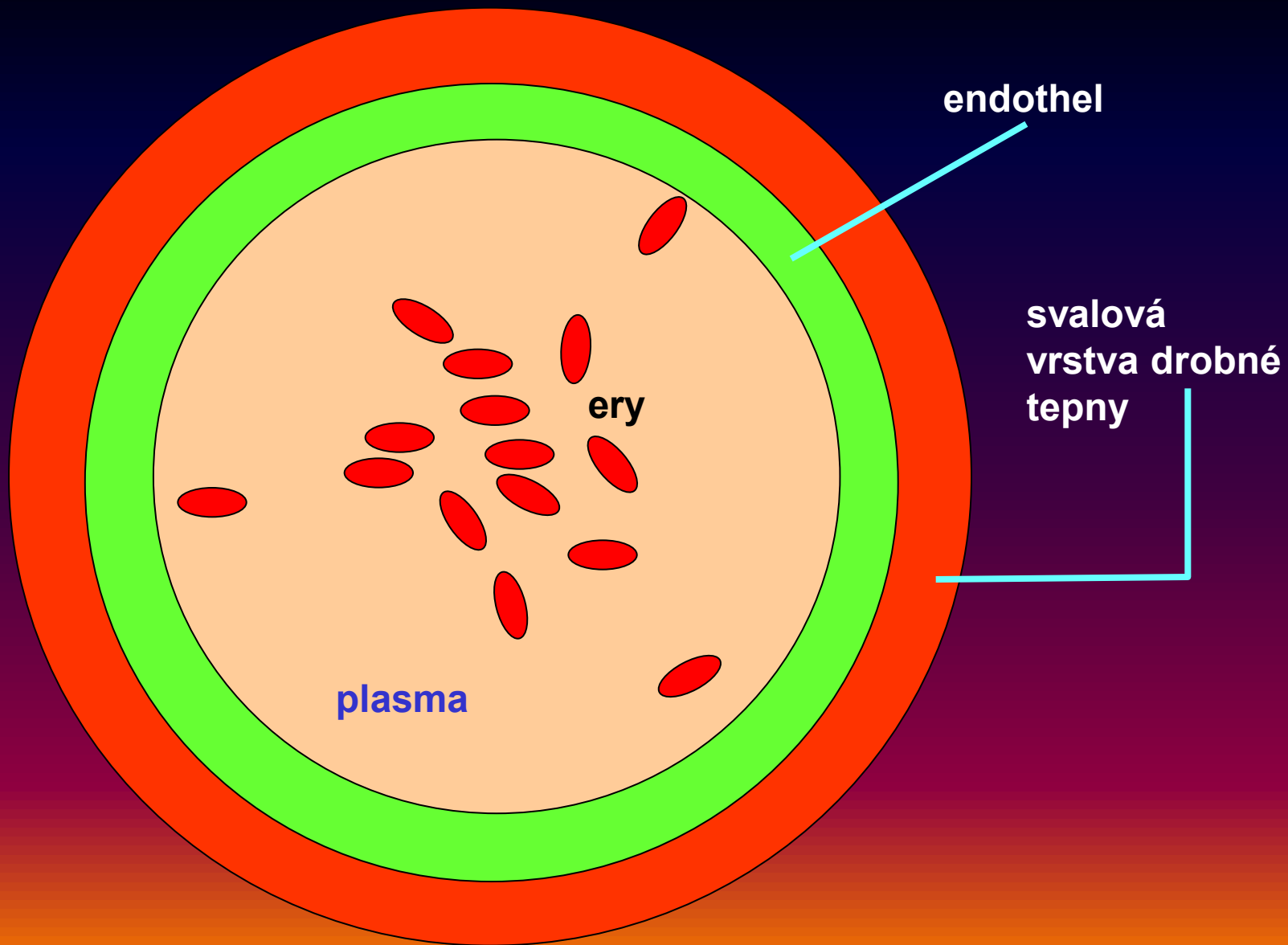
V nejrychleji se pohybující osově vrstvě se pohybují krvinky (hematokrit je zde největší); u stěn převažuje proud plasmy s relativně nižším hematokritem.

**Tento fenomen je nejvýraznější na úrovni drobných tepen.**

Perivaskulární prostor

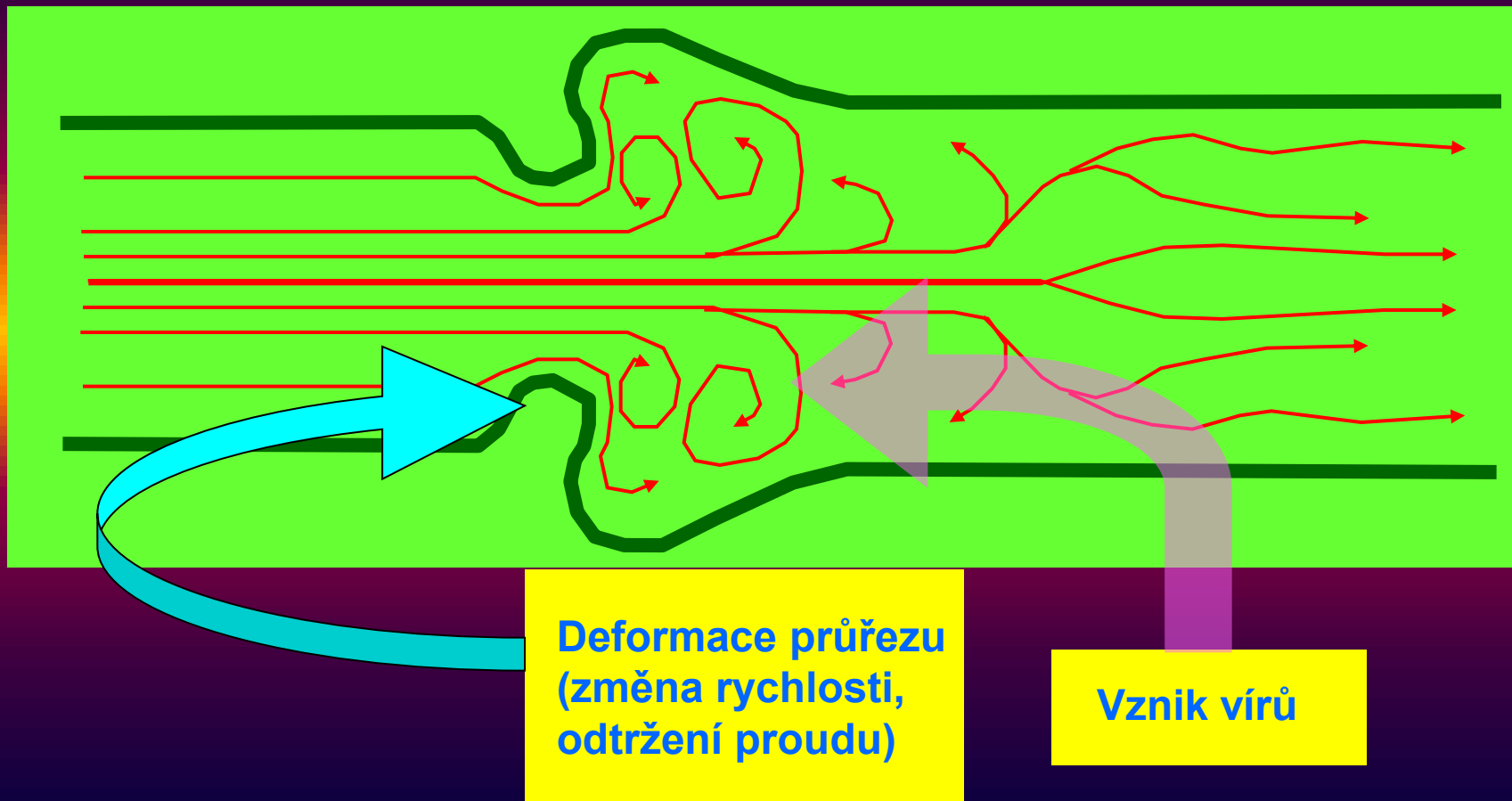
Perivaskulární prostor





# Proudění turbulentní

Víry způsobují vibrace cévní stěny = vznik šelestů



**Turbulence (turbulentní proudění krve)  
způsobí vibrace cévní (srdeční) stěny,  
které mohou být slyšitelné jako  
šelesty.**



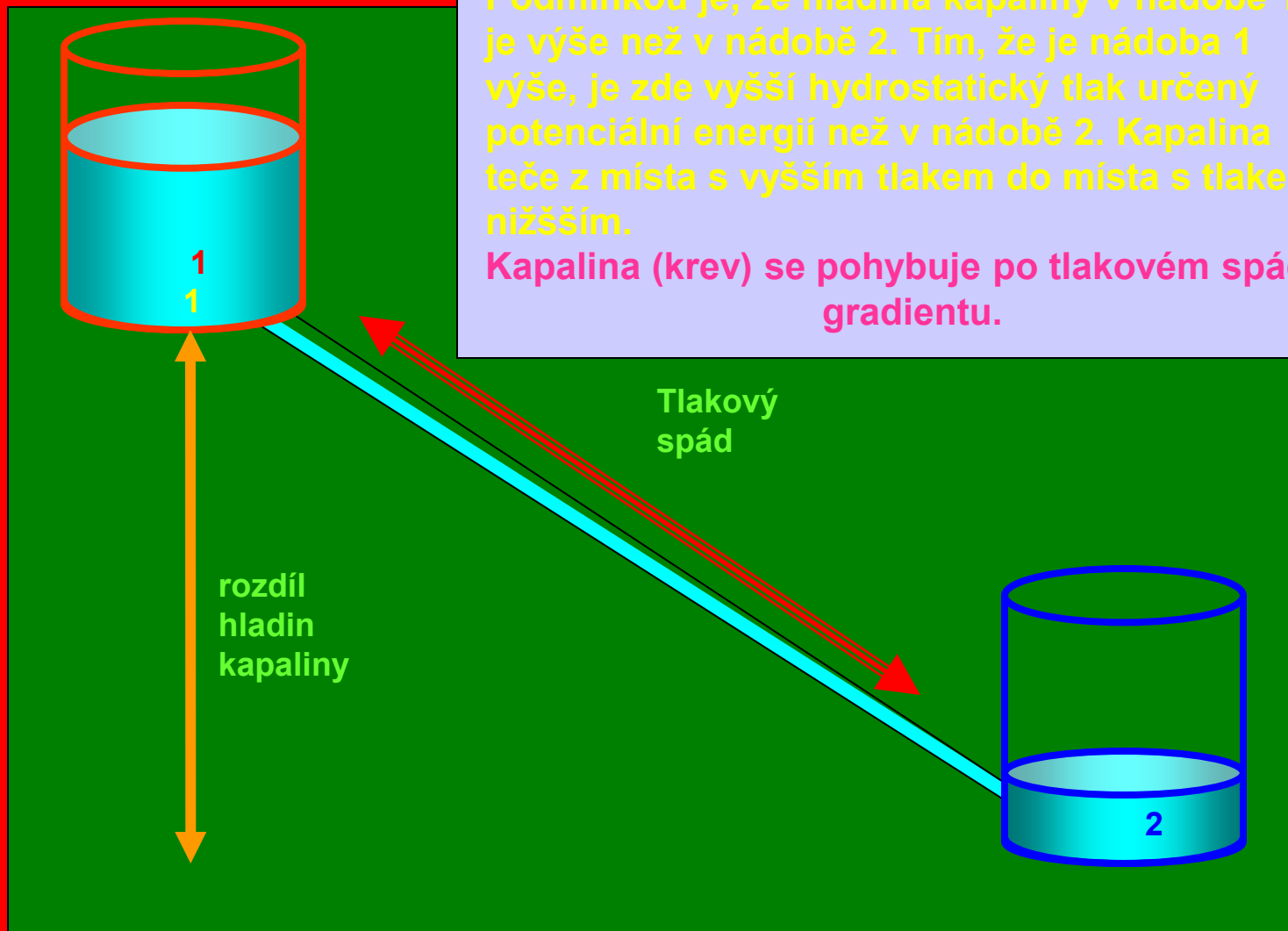
# Přehled parametrů cirkulace

| Struktura       | úhrnná plocha průřezu cm <sup>2</sup> | tloušťka stěny | tlak (mmHg) | objem k krve %               |
|-----------------|---------------------------------------|----------------|-------------|------------------------------|
| Aorta           | 4.5                                   | 2 mm           | 100         | cca 2                        |
| Střední arterie | 20                                    | 1 mm           | 90          | 8                            |
| Arterioly       | 400                                   | 20 μm          | 60 – 30     | 1                            |
| Kapiláry        | 4 500                                 | 1 μm           | 30 – 18     | 5                            |
| Venuly          | 4000                                  | 2 μm           | 18 – 15     | } 54                         |
| Střední žíly    | 40                                    | 0.5 mm         | 15 – 10     |                              |
| Duté žíly       | 18                                    | 1.5 mm         | 10          |                              |
| Plicní řečiště  |                                       |                |             | 18 (z toho 10 v žilách plic) |
| Srdce           |                                       |                |             | 9 - 12                       |

## Rychlost pohybu krve v různých částech řečiště

| Typ cévy                   | úhrnný průřez         | rychlost proudu   |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|
| Aorta                      | 4.5 cm <sup>2</sup>   | 0.33 m/s (1,3 –0) |
| Kapiláry                   | 4 500 cm <sup>2</sup> | 0,0033 m/s        |
| Horní a dolní<br>dutá žíla | 18 cm <sup>2</sup>    | 0.1 m/s           |

**Co je příčinou pohybu krve  
v řečišti ?**



Kapalina vytéká z nádoby 1 do nádoby 2. Podmínkou je, že hladina kapaliny v nádobě 1 je výše než v nádobě 2. Tím, že je nádoba 1 výše, je zde vyšší hydrostatický tlak určený potenciální energií než v nádobě 2. Kapalina teče z místa s vyšším tlakem do místa s tlakem nižším.

Kapalina (krev) se pohybuje po tlakovém spádu gradientu.

Co je  
zdrojem  
TLAKOVÉHO  
GRADIENTU  
V KREVNÍM  
ŘEČIŠTI ?

# **PŘÍMOČAŘE LZE ODPOVĚDĚT, ŽE PŘÍČINOU TLAKOVÉHO GRADIENTU JE SRDEČNÍ PRÁCE.**

Současně si musíme uvědomit, že srdce vypuzuje krev ve dvou taktech (systola = vypuzování), (diastola = plnění srdce)

**V době ejekční fáze systoly (kdy je krev vypuzována kontrakcí srdeční svaloviny, je systola přímou příčinou tlakového gradientu**

**V době diastoly jsou uzavřeny chlopně mezi tepnou a srdeční komorou (poloměsíčité chlopně) a přímá srdeční práce se na produkci tlakového gradientu nepodílí.**

**Je pak otázkou, kde je zdroj tlakového gradientu pro období diastoly ?**



Arteriální řečiště je uspořádáno tak, že ze srdce vystupují tepny s převahou elastických vláken. Chování těchto tepen lze přirovnat k pružné gumové hadici. Tuto vlastnost mají aorta a velké tepny v blízkosti srdce.

Za řečištěm elastických, pružných cév, následují tepny a arterioly, které kladou proudu krve relativně velký odpor (odporové cévy, ve stěně mají velké množství hladké cévní svaloviny a proto mohou ve velkém rozmezí měnit průměr a tudíž i průtok).

Tato vlastnost společně s viskozitou krve (ta se stává na periférii výraznější), neboť kromě vnitřního tření se uplatňuje tření o stěny cév. Úhrnná plocha stěny cév se směrem do periferie zvětšuje.

Periferie se tak stává hlavní příčinou **PERIFERNÍHO ODPORU**.

**ZJEDNODUŠENĚ LZE KREVNÍ TLAK  
SCHEMATICKY VYPOČÍTAT PODLE VZTAHU:**

**R = PERIFERNÍ ODPOR**

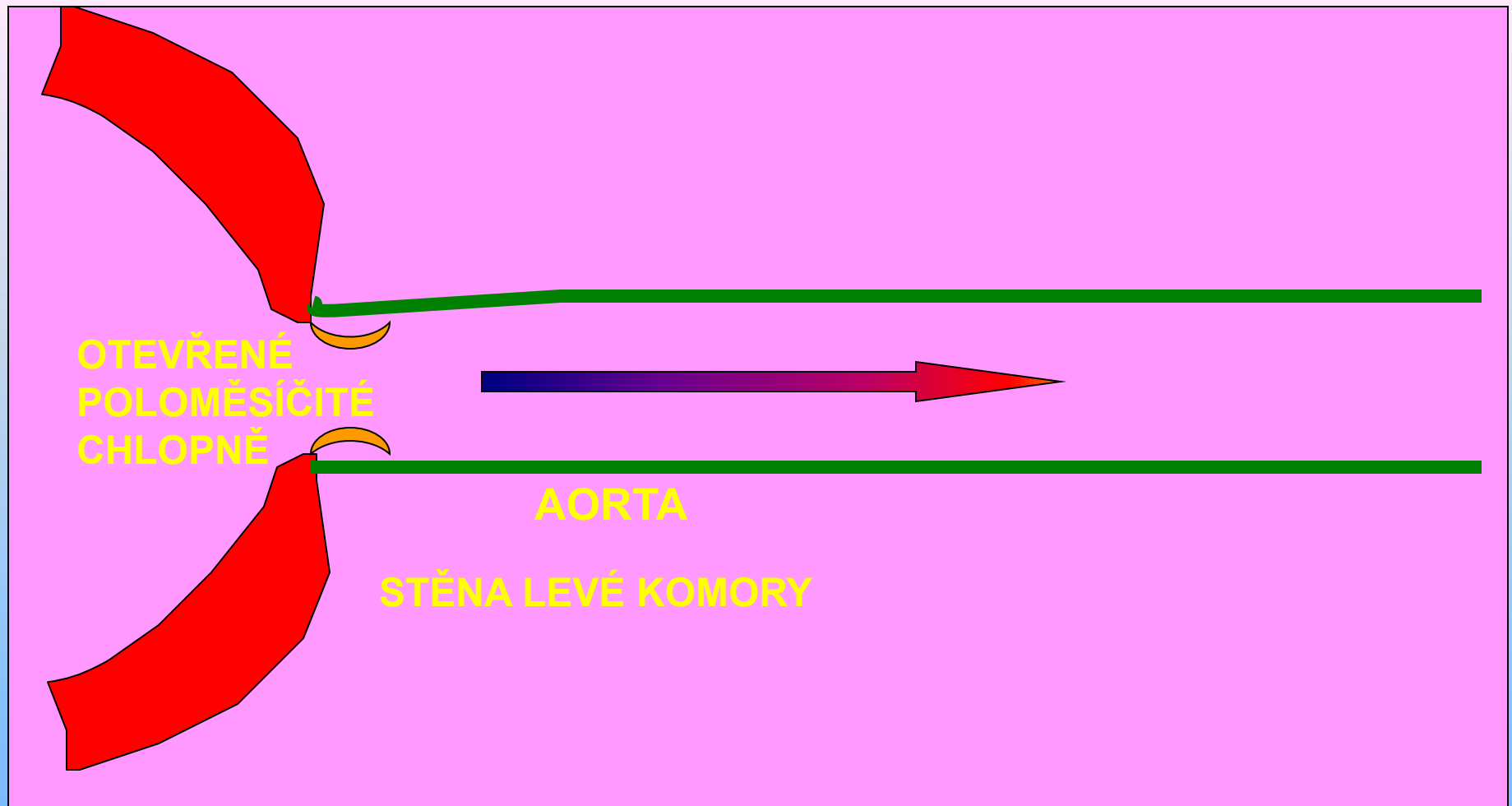
$$\text{TK} = \text{SV} \times \text{R}$$



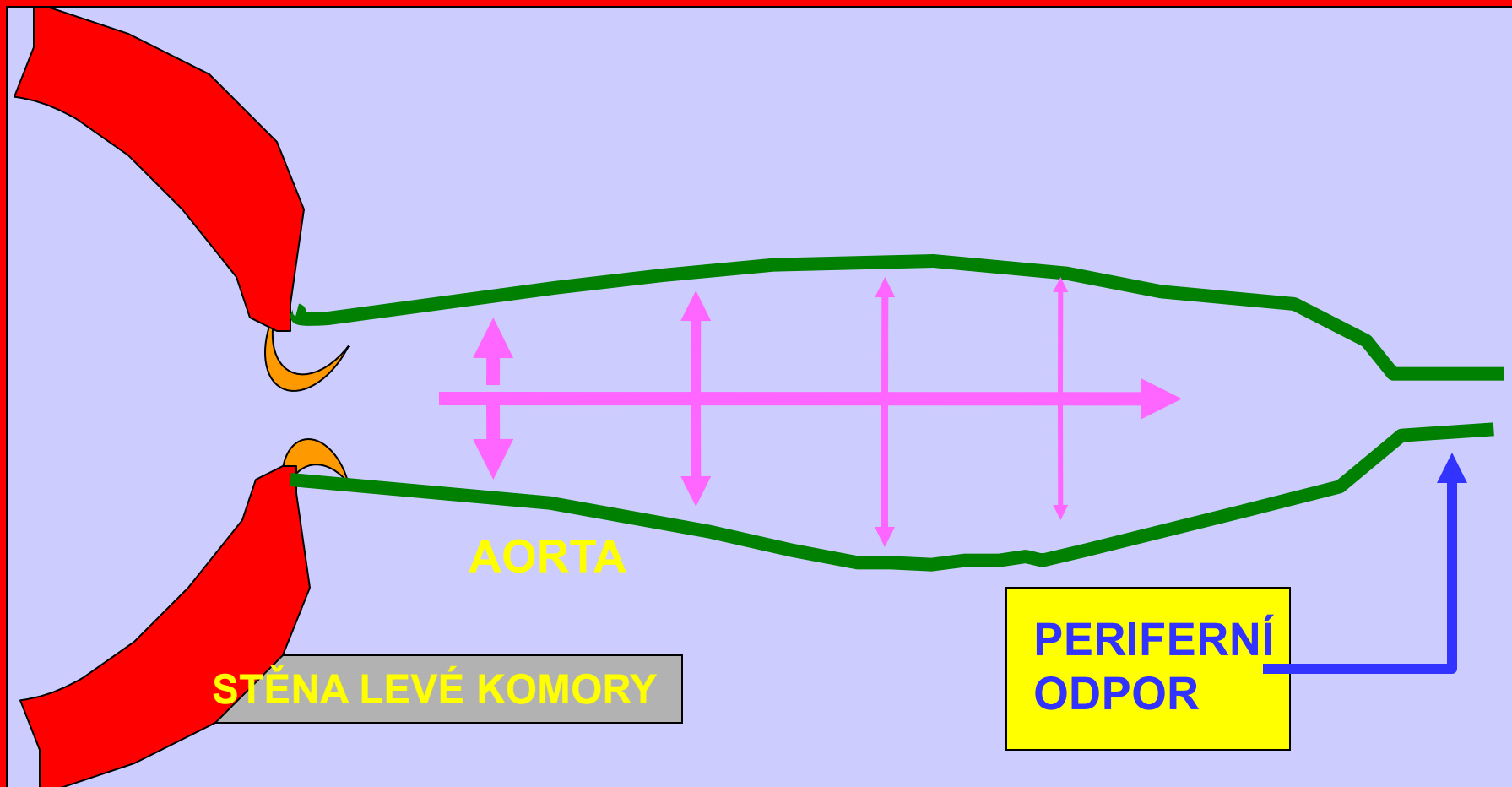
**PERIFERNÍ ODPOR JE ÚHRNNÁ SÍLA  
BRÁNÍCÍ TOKU KRVĚ**

## **PŘÍČINY PERIFERNÍHO ODPORU JSOU:**

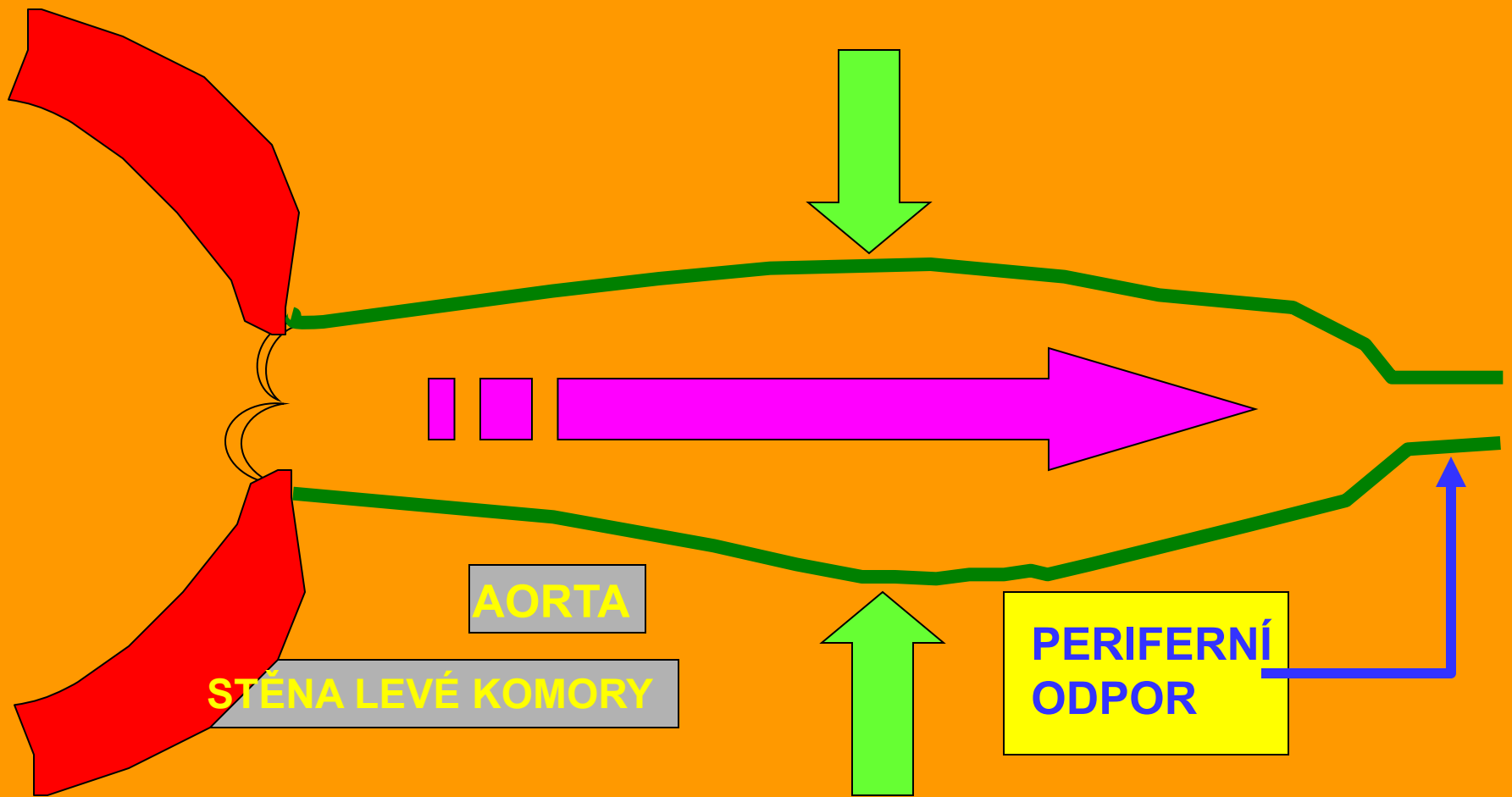
- 1) VIZKOZITA KRVE**
- 2) TŘENÍ KRVE O ENDOTEL**
- 3) VZRŮST CÉVNÍ PLOCHY SMĚREM K ŘEČIŠTI  
MIKROCIRKULACE**
- 4) NÁHLÉ ZŮŽENÍ NA ÚROVNI PŘECHODU  
DROBNÉ TEPNY – ARTERIOLY**
- 5) VAZOMOTORICKÉ REAKCE CÉV**



BĚHEM EJEKČNÍ FÁZE KOMOROVÉ SYSTOLY JE PŘÍMÝM ZDROJEM  
TLAKOVÉHO GRADIENTU KONTRAKCE MYOKARDU (PŘÍMÁ SRDEČ-  
NÍ PRÁCE)



**BĚHEM EJEKČNÍ FÁZE JE ZA ČASOVOU JEDNOTKU VYPUZENO Z KOMORY VÍCE KRVE, NEŽ MŮŽE VE STEJNÉM ČASE ODTÉCI DO PERIFERIE (BRÁNÍ TOMU PERIFERNÍ ODPOR) A ČÁST KINETICKÉ ENERGIE SE UPLATNÍ JAKO SÍLA (TLAK) NA STĚNY ELASTICKÝCH (PRUŽNÝCH) TEPEN. DOCHÁZÍ K VAKOVITÉMU PASIVNÍMU ROZEPĚTÍ STĚNY AORTY A JEJÍCH VELKÝCH VĚTVÍ.**



V SOUVISLOSTI S UKONČENÍM EJEKČNÍ FÁZE PRUDCE KLESÁ INTRAVENTRIKULÁRNÍ TLAK, ZPĚTNÝM POHYBEM KRVE DOJDE K UZÁVĚRU POLOMĚSÍČITÝCH CHLOPNÍ A ENERGIE ULOŽENÁ DO PRUŽNÉHO ROZEPJETÍ AORTY ZPŮSOBUJE NÁVRAT STĚN DO PŮVODNÍ POLOHY A TÍM JE V DOBĚ DIASTOLY VYTLAČOVÁNA KREV.

**PRIMÁRNÍM ZDROJEM TLAKOVÉHO  
GRADIENTU  
JE  
SRDEČNÍ PRÁCE**

**V DOBĚ SYSTOLY (V OBDOBÍ OTEVŘENÝCH POLOMĚSÍČITÝCH CHLOPNÍ) JE ZDROJEM TLAKOVÉHO GRADIENTU PŘÍMO KONTRAKCE SRDEČNÍCH VLÁKEN.**

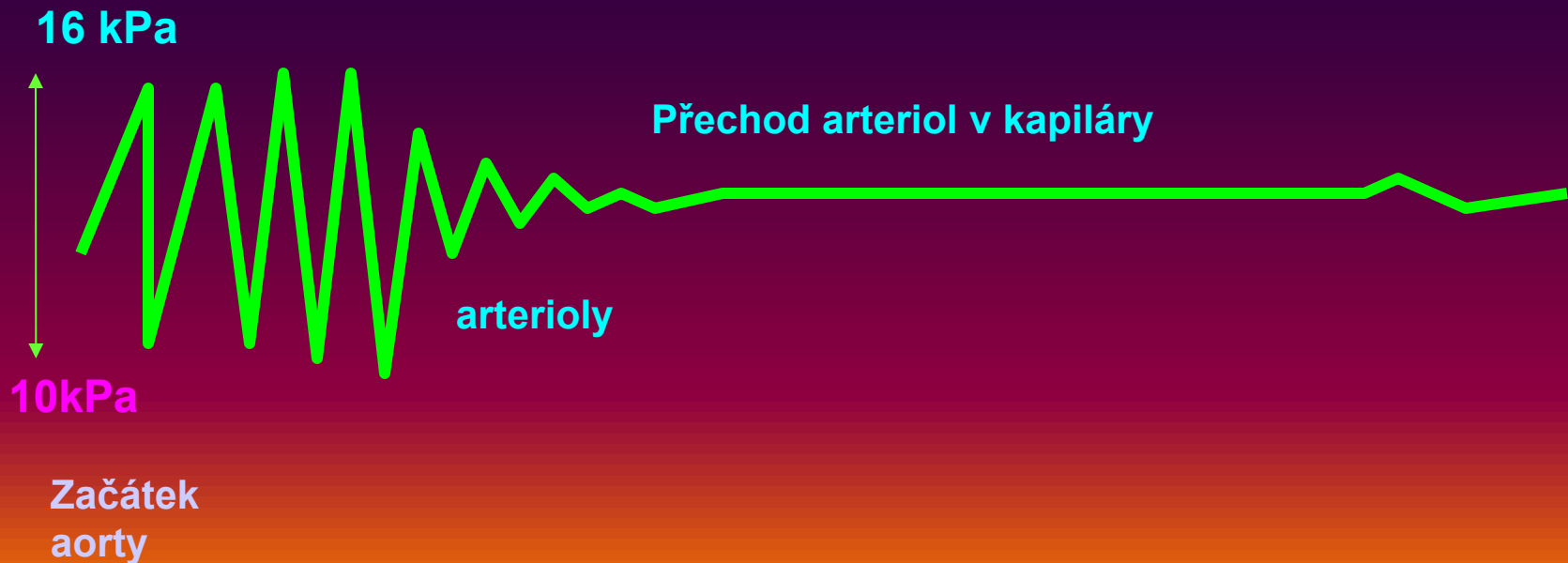
**V DOBĚ DIASTOLY (JSOU UZAVŘENY POLOMĚSÍČITÉ CHLOPNĚ) JE BEZPROSTŘEDNÍ PŘÍČINOU EXISTENCE TLAKOVÉHO GRADIENTU SÍLA PRUŽNÉHO ROZEPJETÍ ELASTICKÝCH TEPEN. TENTO FENOMEN NAZÝVÁME**

**PRUŽNÍK**

**SYSTOLA A DIASTOLA SE RYTMICKY STŘÍDAJÍ A PROTO DOCHÁZÍ K RYTMICKÉMU STŘÍDÁNÍ DETERMINACE TLAKOVÉHO GRADIENTU.**

**Během ejekční fáze má vyšší hodnotu, než během diastoly.**

**Tento fenomen se směrem do periferie zmenšuje a na úrovni přechodu arteriol v kapiláry zaniká.**





**Skutečnost, že hodnoty krevního tlaku kolísají  
ve velkých tepnách lze pro praktické užití  
zjednodušit zavedením veličiny**

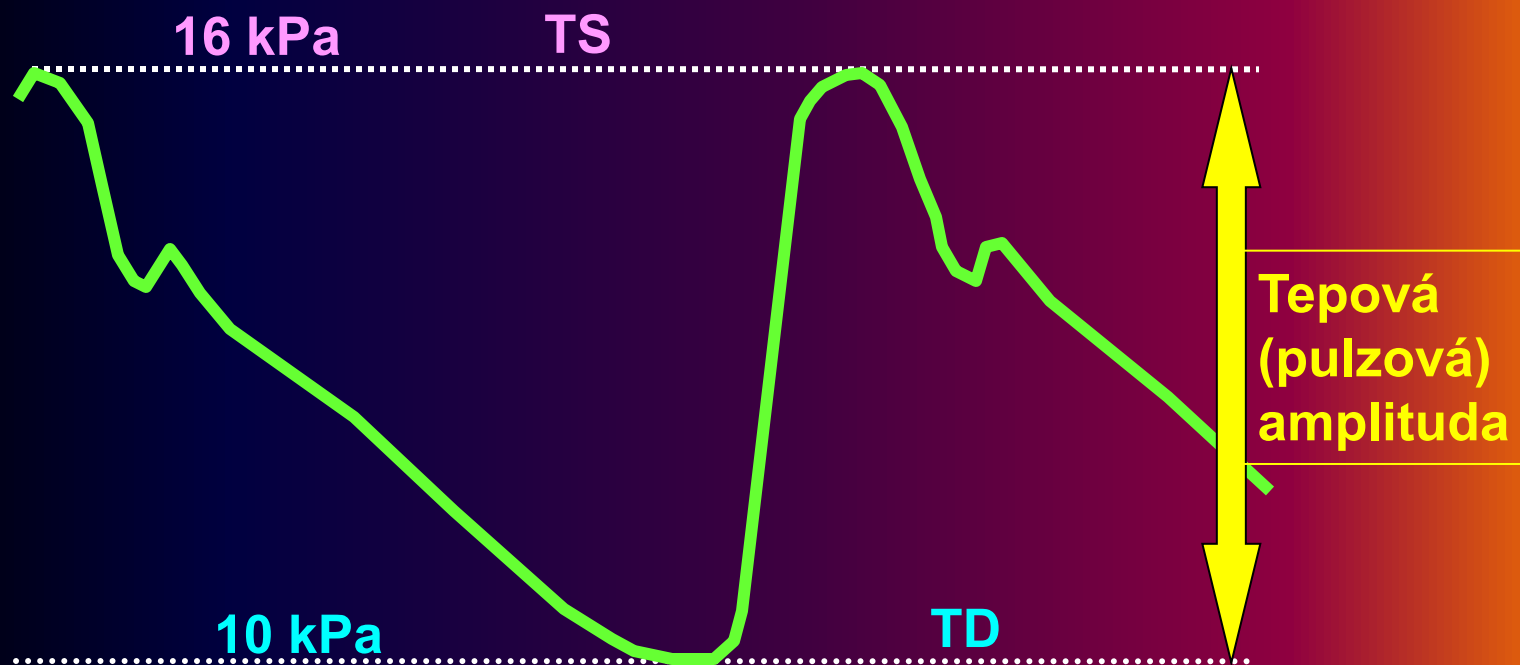
## **Střední arteriální tlak**

**(někdy se doporučuje užívat názvu střední  
cirkulační tlak)**

**Pro převod tlaku v mm Hg na jednotky SI  
se užívá převodní vztah  
 $1 \text{ mm Hg} = 0.1333 \text{ kPa}$**

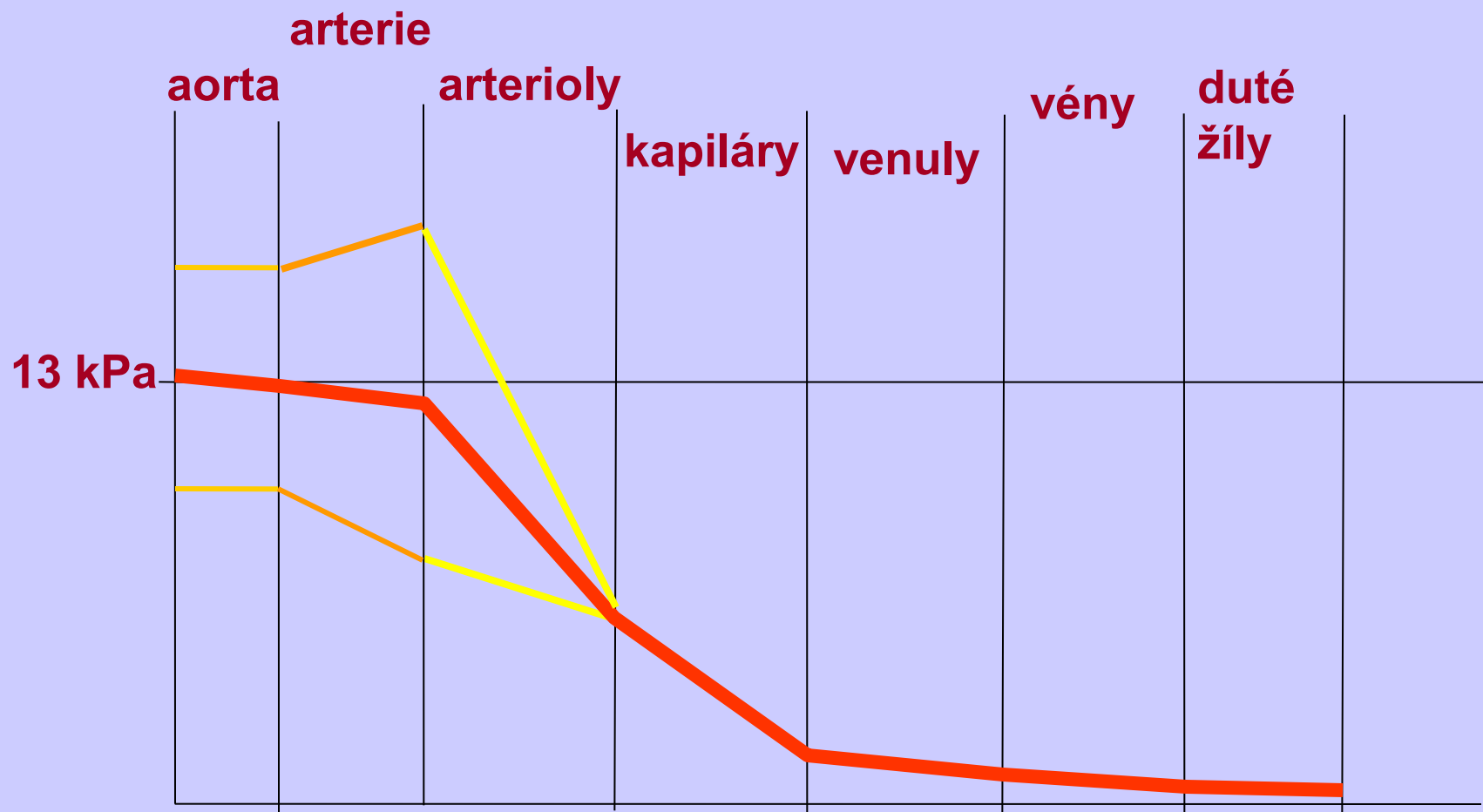
**V klinickém slova smyslu se tlakem rozumí jeho systolická  
a diastolická hodnota ve výši srdce, zpravidla měřeno vleže.**

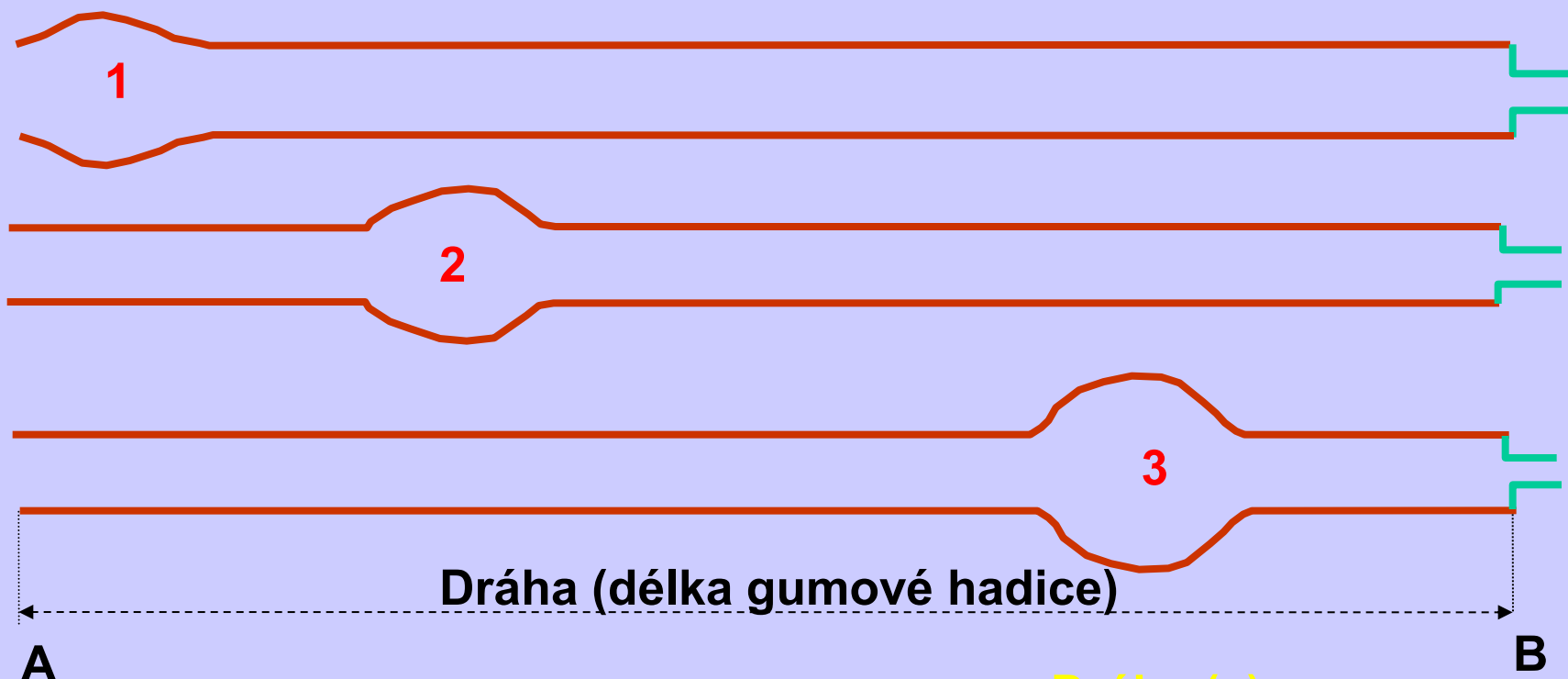
# Kolísání tlaku v cévách na úrovni srdce :



$$SAT = TD + 1/3 ( TS - TD )$$

# Tlakový gradient systémového řečiště Vyjádřený prostřednictvím SAT (SCT)





Rychlost šíření pulzové vlny se vypočítá =

$$\frac{\text{Dráha (s)}}{\text{Čas nezbytný pro přesun vlny z bodu A do bodu B}}$$

Platí, čím je hadice (céva) poddajnější (pružnější, elastičtější), tím pomaleji se vlna šíří. S věkem ubývá elasticity cév a pulzová vlna zrychluje. Z rychlosti šíření PV lze soudit na kvalitu cévy.