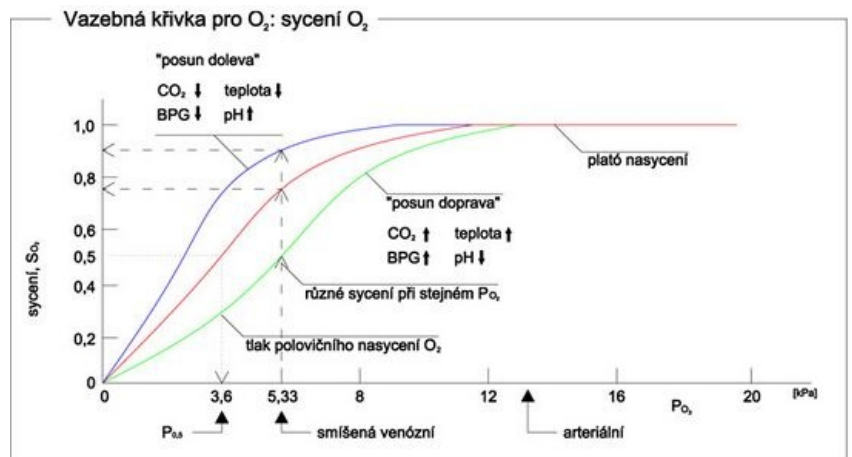


# Transport kyslíku krví

**Kyslík**, jako životně důležitá molekula je transportována krví a to díky krevnímu barvivu – hemoglobinu. Vazba kyslíku na hemoglobin má své zákonitosti.

## Vazba kyslíku

Normálně je **97 % kyslíku** v krvi proudící z plic do periferních tkání **vázáno na hemoglobin (Hb)**. Zbývajících **3 % jsou fyzikálně rozpuštěné** v plazmě. Vazba kyslíku na hemoglobin je samozřejmě reverzibilní. Pokud je  $pO_2$  vysoký, kyslík se váže na hemoglobin (př. plicní kapiláry), pokud je  $pO_2$  nízký, kyslík vystupuje z vazby s hemoglobinem (př. tkáňové kapiláry).



Fyzikálně rozpuštěný kyslík zaujímá objem 3 ml v 1 litru krve, vázaný na hemoglobin pak okolo 197 ml. To proto, že 1 g hemoglobinu váže až 1,34 ml kyslíku a průměrná koncentrace hemoglobinu v krvi je 150 g/l. V 5 l krve je tedy přibližně 1 l kyslíku.

Asi **98 % krve**, které se dostane do levé síně, prochází přes plicní kapiláry a je nasyceno kyslíkem na **104 mmHg** (v naší literatuře se často setkáváme s hodnotou 100 mmHg). Zbývajících **2 %** prochází přes **bronchiální cirkulaci** (krev se sem dostává z aorty) a není ve styku s plicními kapilárami (tzv. shunt flow). Tato krev má hodnotu  **$pO_2$  40 mmHg** – jako normální systémová venózní krev. Tyto dvě složky se v levé síni smíchají a tak **výsledný  $pO_2$  v levé síni je 95 mmHg**.

**Krev odtékající z plic** má tedy  $pO_2$  95 mmHg, což znamená, že **saturace kyslíkem je průměrně 97 %** (viz vazebná/disociační křivka kyslíku). **Krev odtékající z periferních tkání** má průměrně  $pO_2$  40 mmHg, takže její **saturace je 75 %**.

Hemoglobin se sytí kyslíkem podle parciálního tlaku kyslíku. To znázorňuje saturační křivka. Ta má jednoznačně esovitý tvar, což dokazuje, že deoxyhemoglobin má nižší afinitu ke kyslíku než oxyhemoglobin. S každou navázanou molekulou kyslíku se afinita hemoglobinu ke kyslíku zvyšuje.<sup>[1]</sup> Zároveň to ukazuje na fakt, že i při poměrně vysokém snížení parciálního tlaku kyslíku v krvi se saturace hemoglobinu výrazně nezmění.

V krvi, která je z 97 % satureována, je na 100 ml krve 19,4 ml kyslíku vázaného na hemoglobin. Po průchodu tkáněmi se tato hodnota sníží na 14,4 ml  $O_2$  ( $pO_2$  40 mmHg, saturace 75 %). Z toho vyplývá, že normálně se **z krve do tkání uvolňuje 5 ml  $O_2$**  z každých 100 ml krve (z 5 l krve je to 250 ml  $O_2$ ).

Za normálních okolností má intersticiální tekutina  $pO_2$  také 40 mmHg (při této hodnotě přestupuje do intersticiální tekutiny právě oněch 5 ml  $O_2$  z každých 100 ml krve). Při **usilovném cvičení** tato hodnota klesá až na 15 mmHg. To znamená, že se z hemoglobinu uvolňuje více kyslíku, až ho nakonec navázaného na Hb zůstane jen 4,4 ml ve 100 ml krve. Do tkáně se tedy dostává **15 ml  $O_2$**  z každých 100 ml krve (= 19,4 – 4,4). **Uvolňování kyslíku se tak zvýší trojnásobně** (což se zvýšením srdeční akce – šestkrát až sedmkrát – dává až dvacetinásobné zvýšení transportu kyslíku do tkání).

**Rozpuštěného kyslíku** v krvi s hodnotou  $pO_2$  95 mmHg je asi 0,29 ml na 100 ml krve. Po průchodu tkáněmi (40 mmHg) je rozpuštěného kyslíku 0,12 ml na 100 ml krve. To znamená, že pouze **0,17 ml rozpuštěného  $O_2$**  z každých 100 ml krve se uvolní do tkání (3 %  $O_2$  transportovaného krve do tkáně – viz výše). Během cvičení může podíl toho transportu klesnout na 1,5 %. Naopak při inhalaci kyslíku s vysokým  $pO_2$  se tento podíl může zvýšit a může hrozit až otrava kyslíkem.

## Faktory ovlivňující saturaci hemoglobinu

### pH

- Čím nižší pH, tím nižší afinita hemoglobinu ke kyslíku. Posun doprava. (Tzv. Bohrův efekt)
- Čím vyšší pH, tím vyšší afinita hemoglobinu ke kyslíku. Posun doleva.

### $pCO_2$

- Zvýšení  $p\text{CO}_2$  vede ke snížení pH. To vede ke snížení afinity hemoglobinu ke kyslíku. Posun doprava.
- Snížení  $p\text{CO}_2$  vede ke zvýšení pH. To vede ke zvýšení afinity hemoglobinu ke kyslíku. Posun doleva.

## Teplota

- Čím vyšší teplota, tím nižší afinita hemoglobinu ke kyslíku. Posun doprava.
- Čím nižší teplota, tím vyšší afinita hemoglobinu ke kyslíku. Posun doleva.

## 2,3-bisfosfoglycerát

- Čím vyšší koncentrace 2,3-bisfosfoglycerátu (BPG), tím nižší afinita hemoglobinu ke kyslíku. Posun saturační křivky doprava.
- Čím nižší koncentrace 2,3-BPG, tím vyšší afinita hemoglobinu ke kyslíku. Posun saturační křivky doleva.

2,3-BPG je důležitý při adaptaci na hypoxii – jeho koncentrace se zvyšší.

## Jak je to v těle

- Plíce = snížení  $p\text{CO}_2$  → vyšší pH → posun saturační křivky doleva → kyslík se váže na Hb
- Tkáně = zvýšení  $p\text{CO}_2$  → nižší pH → posun saturační křivky doprava → kyslík se uvolní z Hb

## Měření

Saturace hemoglobinu kyslíkem se měří metodou pulsní oxymetrie. Měření saturace je také součástí vyšetření prstovým pletysmografem.

## Odkazy

### Související články

- Transport  $\text{CO}_2$  krví
- Vazba  $\text{O}_2$  na Hb

### Reference

1. TROJAN, Stanislav, et al. *Lékařská fyziologie*. 4., přeprac. a uprav vydání. Praha : Grada Publishing, a.s, 2003. 772 s. ISBN 80-247-0512-5.

### Použitá literatura

- TROJAN, Stanislav, et al. *Lékařská fyziologie*. 4., přeprac. a uprav vydání. Praha : Grada Publishing, a.s, 2003. 772 s. ISBN 80-247-0512-5.
- GUYTON, Arthur C a John E HALL. *Textbook of Medical Physiology*. 11. vydání. Elsevier, 2006. 11; ISBN 978-0-7216-0240-0.