

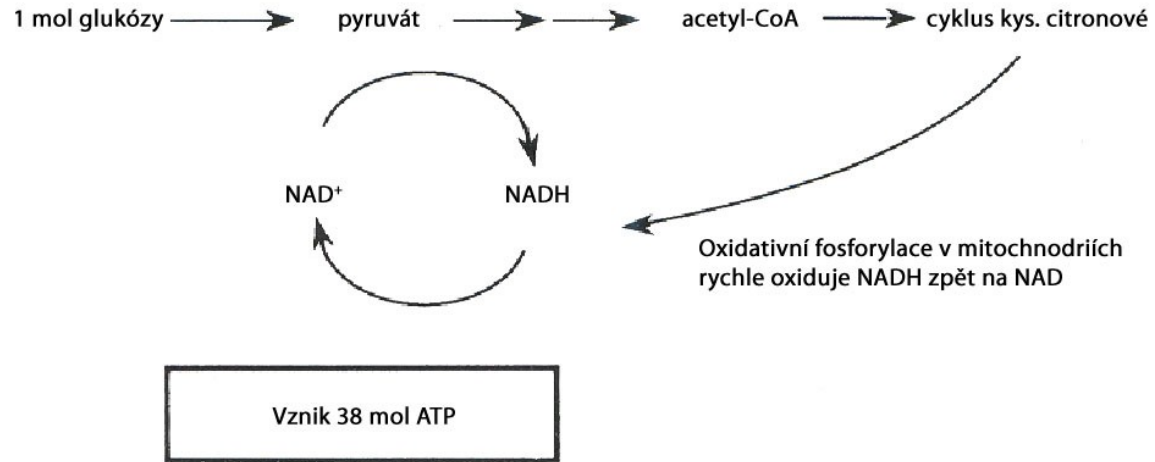
# Metabolismus kyslíku v organismu

Měření energetického výdeje

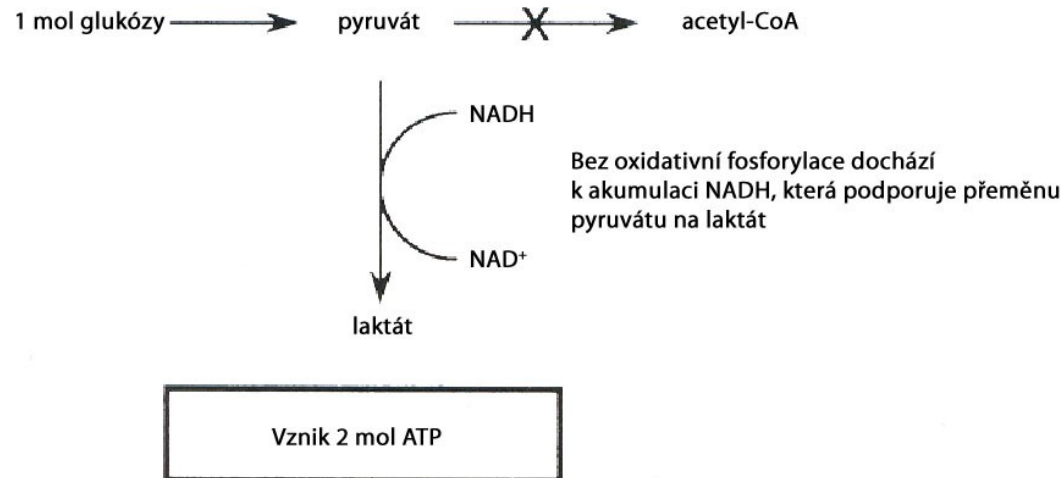
Dusíková bilance

Doc.MUDr. Milan Dastych, CSc., MBA

## Aerobní metabolismus



## Anaerobní metabolismus



Snížená dodávka kyslíku do tkání

Oxidativní metabolismus se snižuje

Hromadí se NADH (NAD se snižuje)

Pyruvát se přeměňuje na laktát  
namísto acetyl-CoA

hromadí se laktát

Tvoří se málo ATP (nedostatek ATP)

Porucha intracelulárního prostředí  
(vzestup Ca a Na; pokles K a Mg)

smrt buňky

# Účinná respirace/oxygenace tkání záleží na

- $pO_2$  a obsahu  $O_2$  ve vdechovaném vzduchu
- ventilaci / perfuzi
- výměně plynů v plicích
- koncentraci hemoglobinu
- vazbě kyslíku na hemoglobin
- srdečním výdeji a perfuzi tkání

## Složení suchého atmosferického vzduchu

	78%	dusík
	<b>20.9%</b>	<b>kyslík</b>
	0,03%	oxid uhličitý
cca	1,0%	inertní plyny

# Parciální tlak kyslíku

Atmosferický tlak 101,5 kPa

$$pO_2 = (101,5 - 6,25) * 0,21 = \mathbf{19,9 \text{ kPa}}$$

	$pO_2$ (kPa)
Vdechovaný vzduch	19,9
Vydechovaný vzduch	15,4

# Kyslíkový gradient

	pO <sub>2</sub> [kPa]
atmosferický vzduch	19,9
alveolární vzduch	14,6
arteriální krev	13,3
venózní krev	5,3
cytoplazma buněk	2,7
mitochondrie	0,3

**FiO<sub>2</sub>**

Frakční inspirační kyslík

atmosferický vzduch.....	0,21
arteficiální ventilace obvykle.....	0,4
čistý kyslík .....	1,0



# Mrtvý prostor

Prostor bez výměny s atmosferickým vzduchem

- anatomický mrtvý prostor (dýchací cesty)
- alveolární mrtvý prostor (neperfundované alveoly)

# Ventilace

Zajišťuje výměnu plynů mezi atmosférou a plicemi

**Perfuze**

**Krevní prokrvení plic**

# Možné příčiny hypoxie

## Atmosferický vzduch

### Nízký parciální tlak kyslíku

**vysoká nadmořská výška** – vysoké hory, výškové lety

**spotřebovaný kyslík** – hoření v uzavřeném prostoru

**vysoký obsah CO<sub>2</sub>** - psí jeskyně

## hypoventilace

**útlum dechového centra** (Hypnotika, Morfin)

**bolest při dýchání** (poranění hrudníku, pleuritida)

**slabost dýchacích svalů** (vyčerpané osoby)

# Možné příčiny hypoxie

## Difuze kyslíku přes alveolokapilární membránu

plicní edém  
fibrotický proces

## Poměr ventilace / perfuze

alveolární ventilace je přibližně	4 l/min.
srdeční výdej průměrně	5 l/min
V/P poměr =	0,8

# Plicní zkratky

**Vyjadřují % neoxygenované krve po průchodu plicemi  
[ < 5.0 % ; < 0.05 ]**

**Zahrnují krev protékající neventilovanými oblastmi plic  
(atelektáza, šoková plíce)**

# Možné příčiny hypoxie

## hemoglobin

**Koncentrace celkového hemoglobinu**  
anémie

**Efektivní koncentrace hemoglobinu**

**oxyhemoglobin**

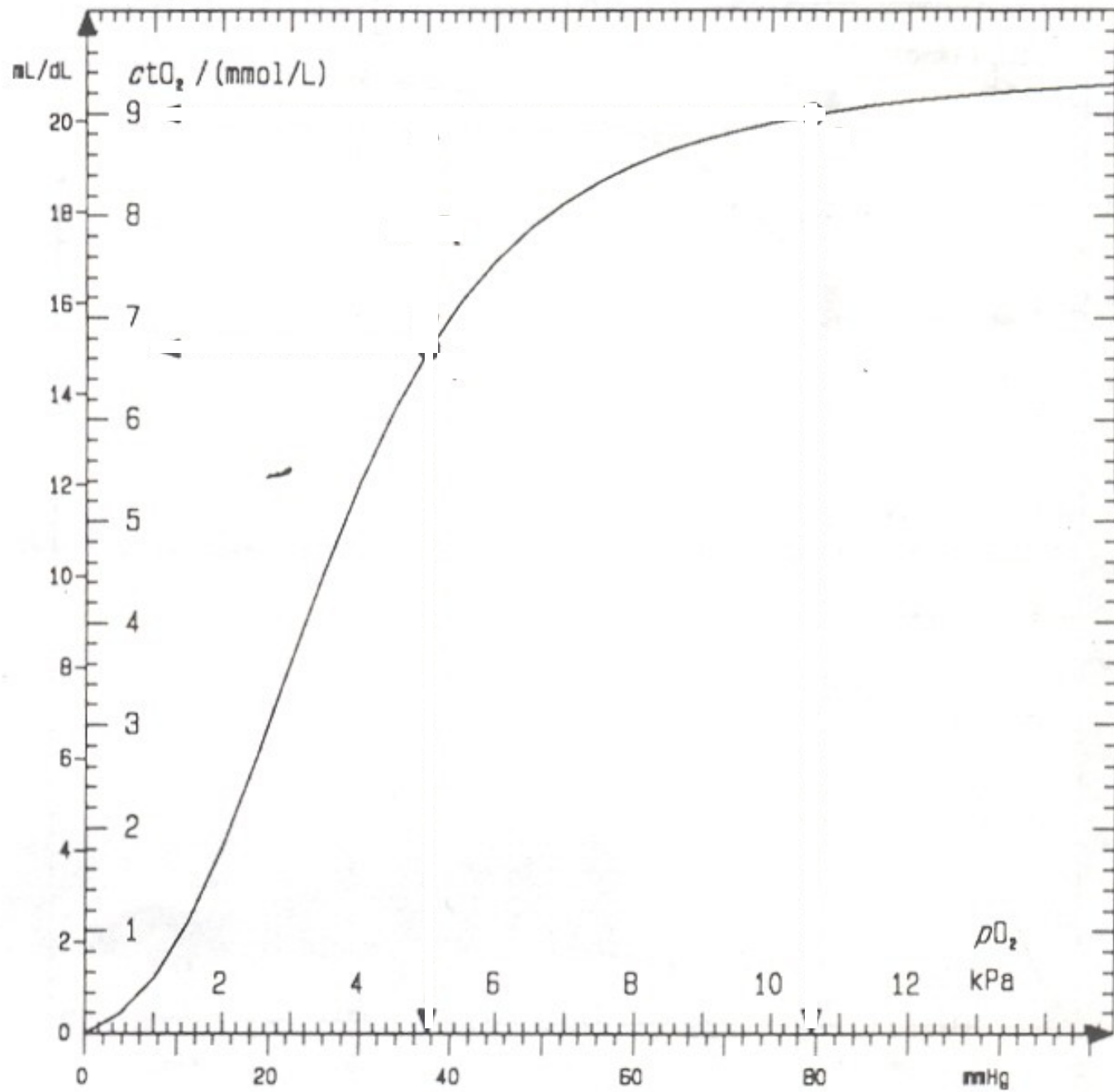
karbonylhemoglobin  
methemoglobin

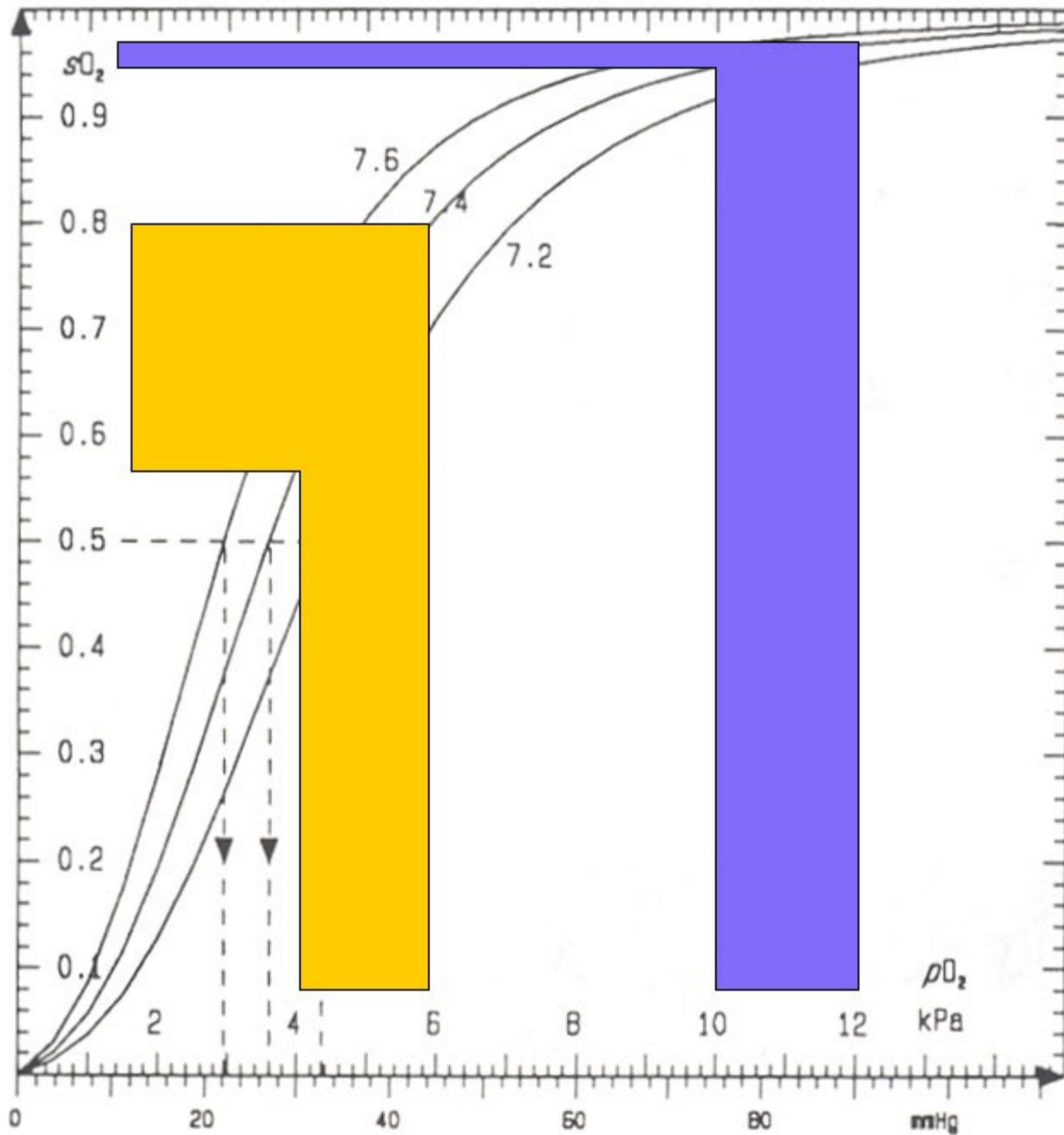
# **Disociační křivka kyslíku**

## **Saturační křivka hemoglobinu**

Vztah mezi  $pO_2$  a saturací hemoglobinu kyslíkem







Poloha disociační křivky kyslíku  
odráží afinitu kyslíku k hemoglobinu.

**Matematickým vyjádřením je hodnota  $p_{50}$**

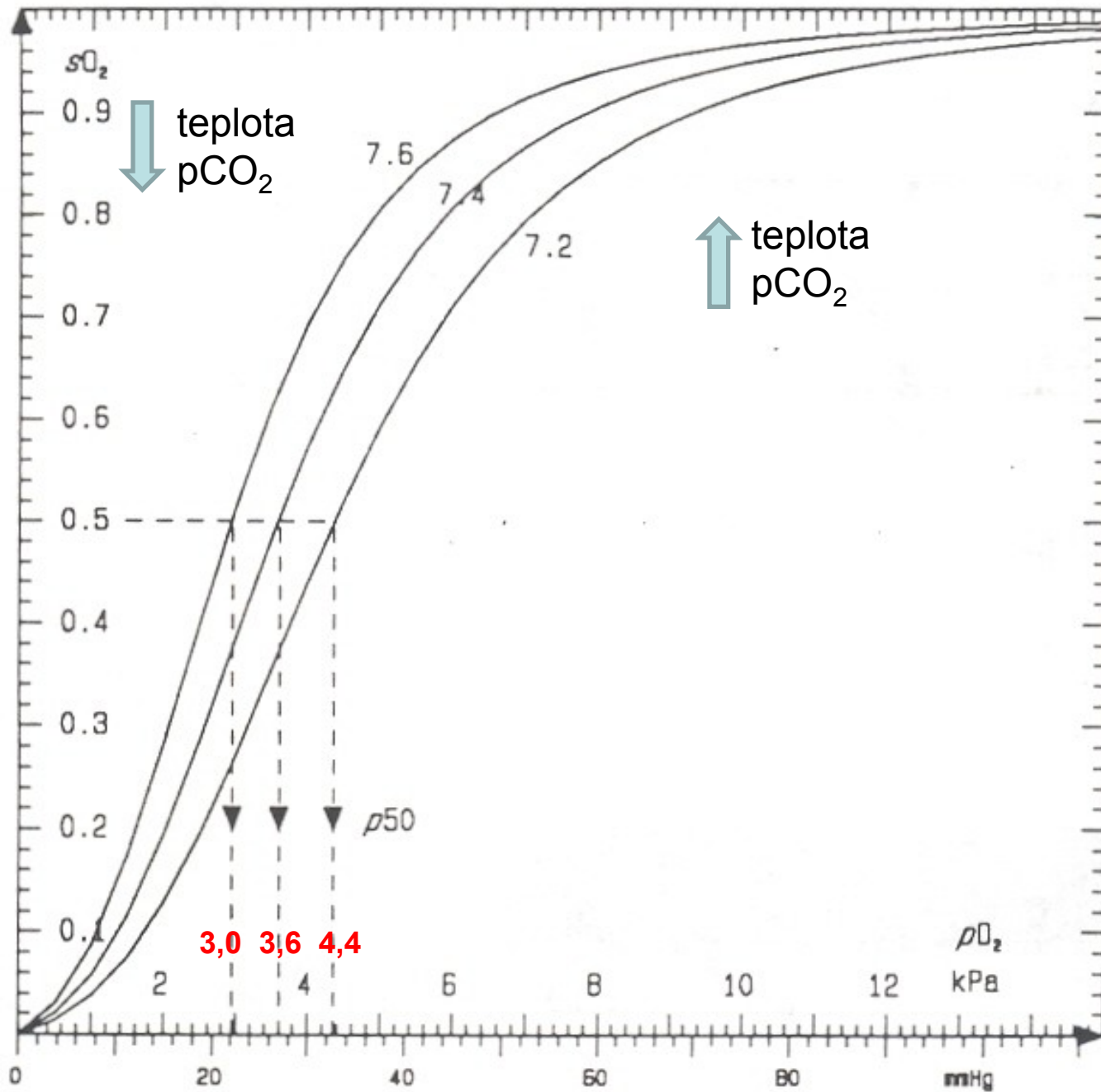
**$pO_2$  potřebný pro 50% saturaci hemoglobinu kyslíkem**

**afinitu kyslíku k hemoglobinu snižuje:**  
(posun křivky doprava)

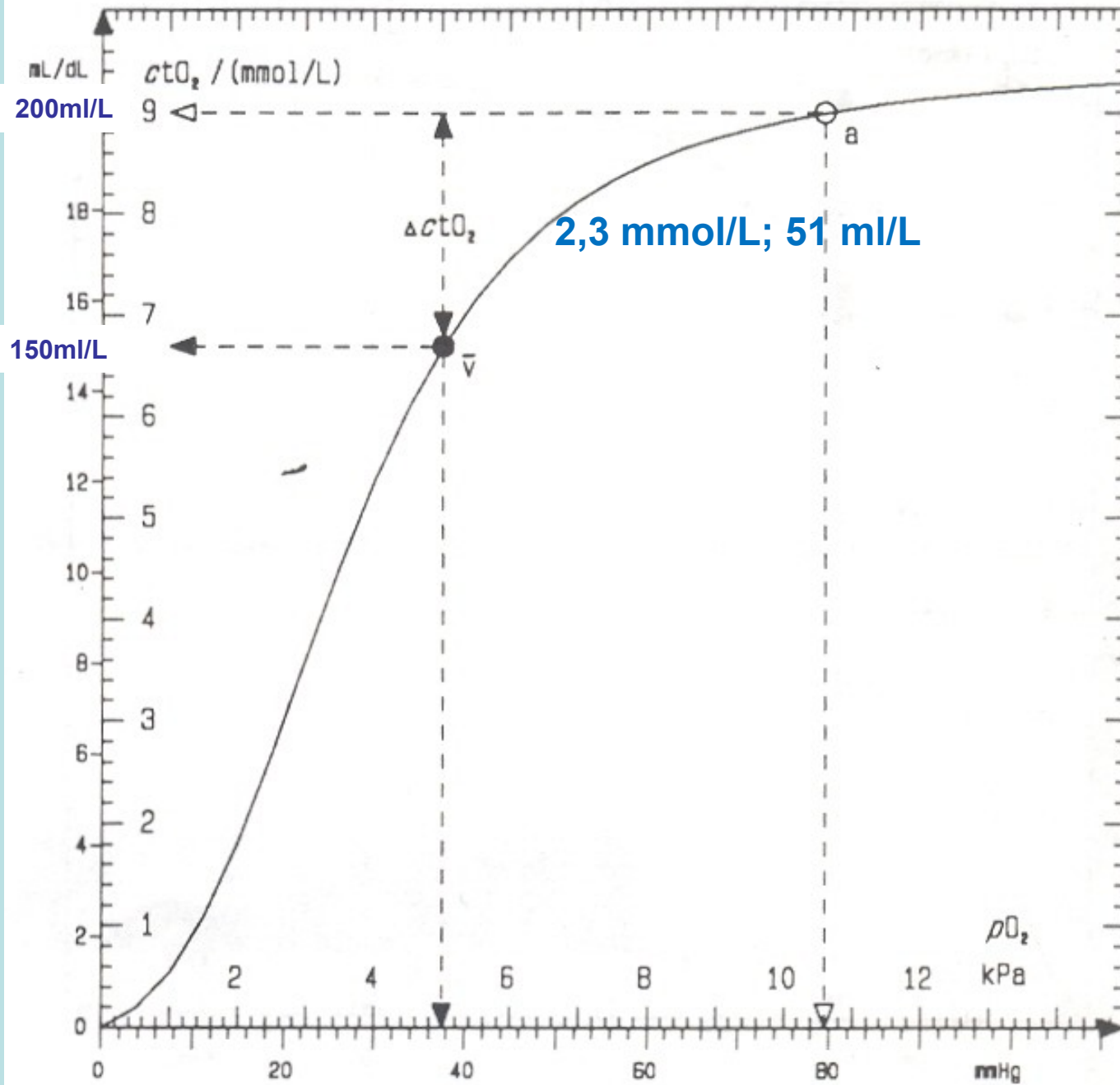
- zvýšená teplota
- snížené pH
- zvýšený pCO<sub>2</sub>
- zvýšení koncentrace 2,3-difosfoglycerátu v erythrocytech

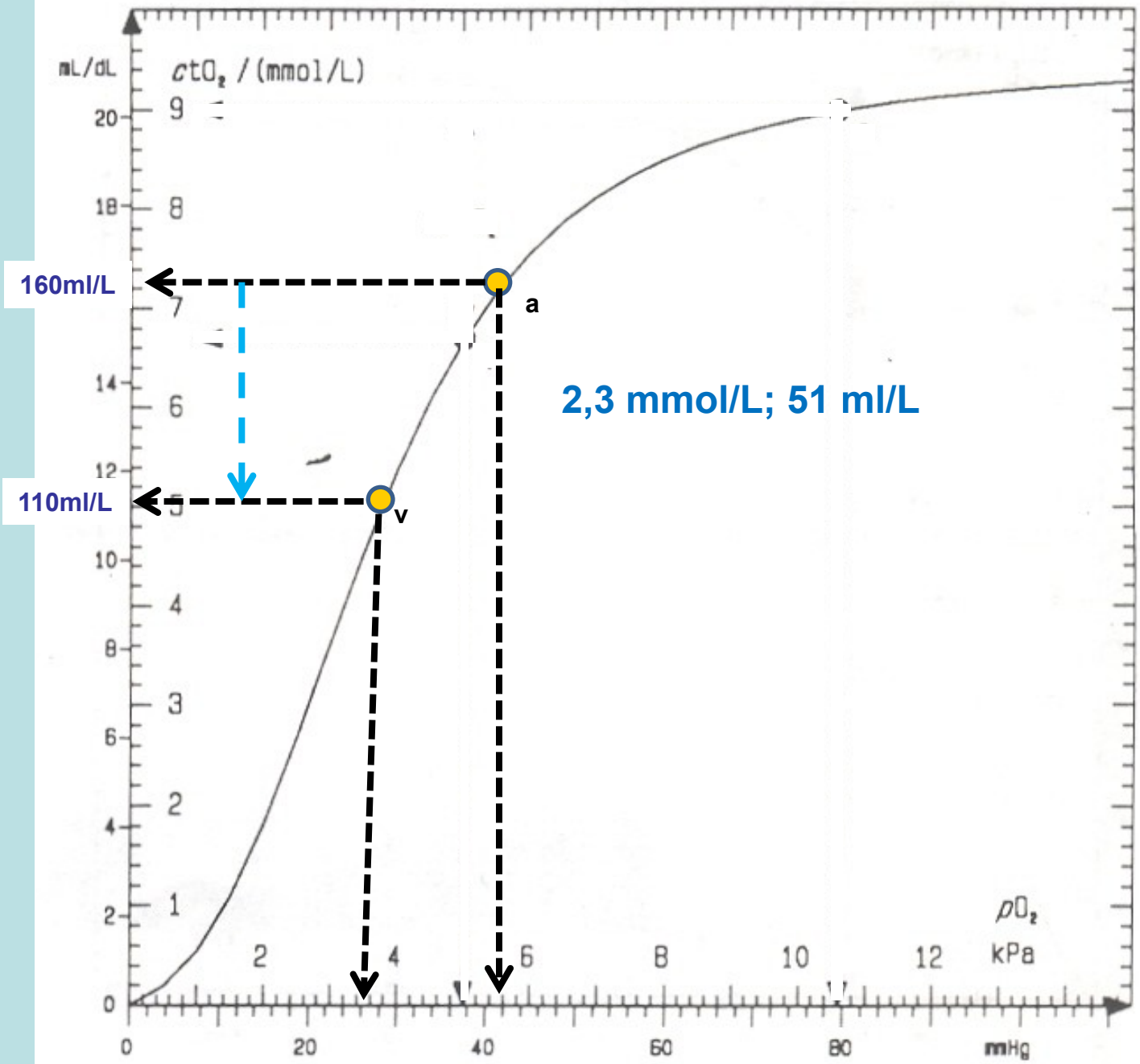
graficky.....posun křivky doprava

matematicky.....zvýšení hodnoty p<sub>50</sub>











# Kyslíkový gradient

	pO <sub>2</sub> [kPa]
atmosferický vzduch	19,9
alveolární vzduch	14,6
arteriální krev	13,3
venózní krev	5,3 (<4,0.....<2,5)
cytoplazma buněk	2,7
mitochondrie	0,3

# Možné příčiny hypoxie

## Srdeční výdej

srdeční selhání  
infarkt myokardu  
hemodynamicky závažné arytmie

## Prokrvení tkání

hypovolemie  
šok  
centralizace krevního oběhu

# Respirační insuficience

## *Chronická respirační insuficience*

- **parciální**, postihující dodávku kyslíku (hypoxie)
- **globální** spojená i s retencí oxidu uhličitého (hyperkapnie a respirační acidóza)

## *Akutní respirační insuficience*

**syndrom akutní dechové tísně-ARDS** (adult respiratory distress syndrom) je závažný stav spojený s vysokou úmrtností. Často bývá spojen s šokovým stavem (šoková plíce) i jako součást multiorgánového selhání různé etiologie.

# Plicní patologie

Plicní zánět ...pneumonie

Atelektáza ....bezvzdušnost

Plicní fibróza...vazivová přeměna

Nádor plic a bronchů

Pneumotorax ..kolaps plic

Plicní embolie

# Hypoxie

nedostatek kyslíku ve tkáních

**Kys. mléčná** - produkt anaerobního metabolismu

[< 2,2 mmol/L]

1,3-4,4 mmol/L.....mortalita 20 %

4,5-8,9 mmol/L.....mortalita 73 %

septický stav

> 3,0 mmol/L .....špatná prognóza

# Perinatální asfyxie

Asfyxie je jednou z nejčastějších příčin úmrtí nebo těžkého poškození plodu.

Příčiny mohou být na straně matky (srdeční, plicní choroby, porušený průtok krve placentou, abnormální děložní kontrakce) dále ji může vyvolat komprese nebo uzal na pupečníku, předčasné odloučení placenty nebo patologie plodu (vrozené srdeční vady, poruchy srdečního rytmu, těžká anemie, sepse, pneumonie apod).

Samostatnou jednotkou je **respiratory distress syndrom (RDS) novorozenců**.

Vyskytuje se především u nedonošených dětí. Příčinou je **nedostatek plicního surfaktantu** v nezralých plicích. Ten zabraňuje kolapsu alveolů v expiriu a brání tak vzniku funkčních atelektáz.

Stupeň **porodní asfyxie** se klinicky hodnotí pomocí **Apgar score**.

Hodnota score 0-3 v 5., 10., 15. a 20. minutě po porodu se považuje za výrazně patologickou.

K laboratornímu posouzení závažnosti hypoxie plodu se používá stanovení pH v pupečnickové krvi odebrané při porodu. **Pro hypoxii svědčí hodnota pH<7,0.**

# Apgar score

Srdeční akce

Dýchání

Svalový tonus

Barva kůže

Reakce na podráždění

Hodnocení 0.....1.....2

Optimální hodnota 10

Těžká hypoxie 0 - 3

## Vliv vysoké nadmořské výšky

Složení atmosferického vzduchu je stejné u hladiny moře i na Mount Everestu, liší se pouze barometrický tlak a tím i parciální tlak kyslíku. Snížený  $pO_2$  působí hypoxii, která vyvolává řadu adaptačních reakcí. Při dlouhodobějším pobytu ve vyšší nadmořské výšce se jedná především o zvýšenou tvorbu erythropoetinu (EPO) v ledvinách s následnou stimulací tvorby hemoglobinu a erytrocytů s výsledným zvýšením kyslíkové kapacity krve. Zvyšuje se i 2,3-bisfosfoglycerát, který usnadňuje uvolňování kyslíku do tkání. Těchto adaptačních mechanismů se využívá při přípravě vysokohorských horolezců ale často i pro zvýšení kyslíkové výkonnosti u různých vrcholových sportovních disciplín.



# Potápění

S opačnou problematikou se potýkají potápěči. S hloubkou ponoru pod hladinu se dramaticky zvyšuje tlak a tím i  $pO_2$  vdechovaného vzduchu až do toxických hodnot. **Při dýchání vzduchu o stejném složení jako je atmosferický vzduch tak hrozí hyperoxie.** Pro potápění do větších hloubek se proto používá směs plynů, která obsahuje menší podíl kyslíku (tzv. Trimix). Nadbytečný dusík a kyslík je v této směsi nahrazen netečným plynem (heliem).

# Biologický materiál pro měření kyslíku

Nejvhodnější materiál pro měření kyslíku je **arteriální krev**  
(arteriální punkce je relativně invazivní výkon)

**Arterializovaná kapilární krev** z ušního lalůčku (dospělí)  
z patičky (novorozenci)

**Odběr krve musí být proveden anaerobně**

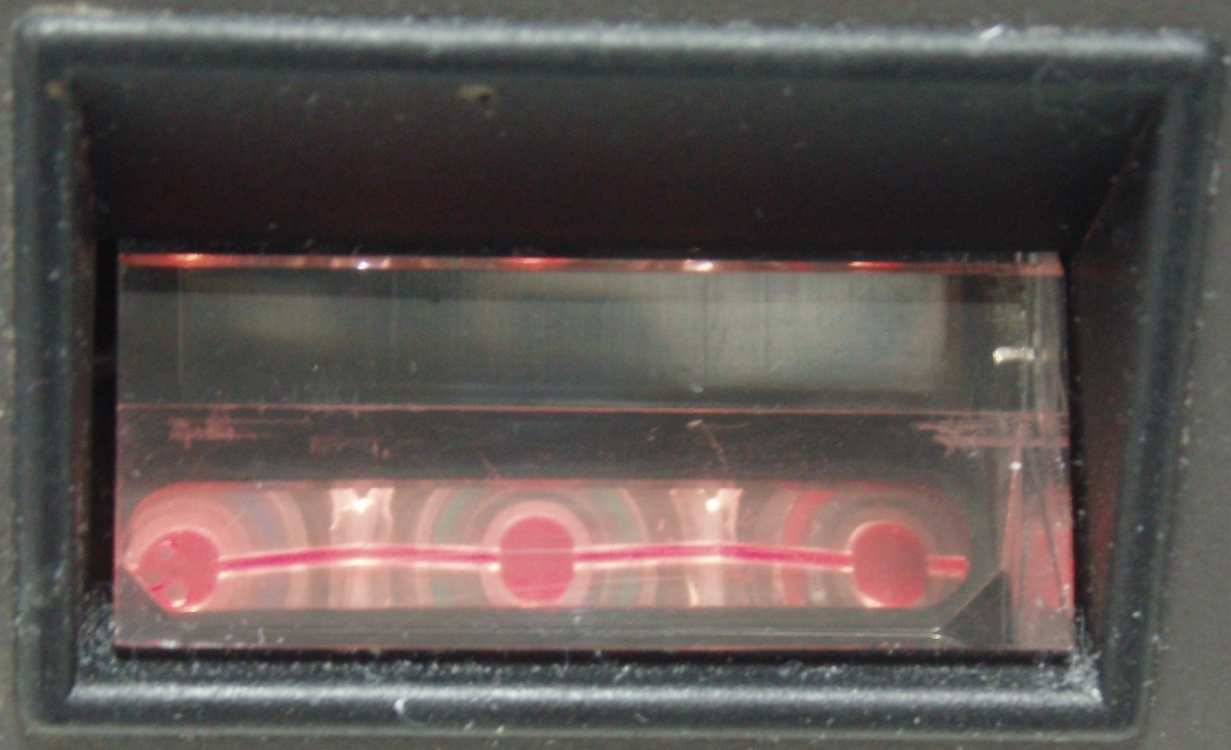


Blood gas

LOT 5094201

Exp. 2007-10





# Energetický výdej a krytí energetické potřeby

Potřeba energie se liší - u různých pacientů  
u různých chorob  
v různém čase

# Výpočet základního energetického výdeje

Harris-Benedict (rovnice)

výška (cm) .... váha(kg).... věk(roky).... pohlaví (M/W)

*(BMR – Basal Metabolic Rate)- Harris Benedict*

***BMR (w): 655 + (9,6 x weight) + (1,8 x height) – (4,7 x age)***

***BMR (m): 66 + (13,8 x weight) + (5 x height) – (6,8 x age)***

1°C nad 37°C..... + 10 %

střední stres ..... + 30 %

závažný stres..... + 100 %

# Nepřímá kalorimetrie

Těsný vztah mezi energetickým výdejem a spotřebou kyslíku

## Měření spotřeby kyslíku

rozdíl mezi obsahem kyslíku  
ve vdechovaném a vydechovaném vzduchu



# Nepřímá kalorimetrie

$$\text{O}_2 \text{ [l/min]} \times 1440 \times 4,83 \times 4,18 = \text{kJ}$$

Energetický ekvivalent  
[kcal/l spotřebovaného kyslíku]

glukóza.....	5,05 kcal
tuk.....	4,69 kcal
bílkovina.....	4,49 kcal

# **Dusíková bilance**

# Dusíková bilance

$$\text{Proteiny [g]} \times 0.16 = \text{Dusík [g]}$$

$$\text{Urea [mmol/24h]} \times 0.0336 = \text{Dusík [g]}$$

100g bílkovin; AK x 0.16 = 16 g N

urea 450 mmol/24h x 0.0336 = 15 g N

extrarenal.....1-2 g N