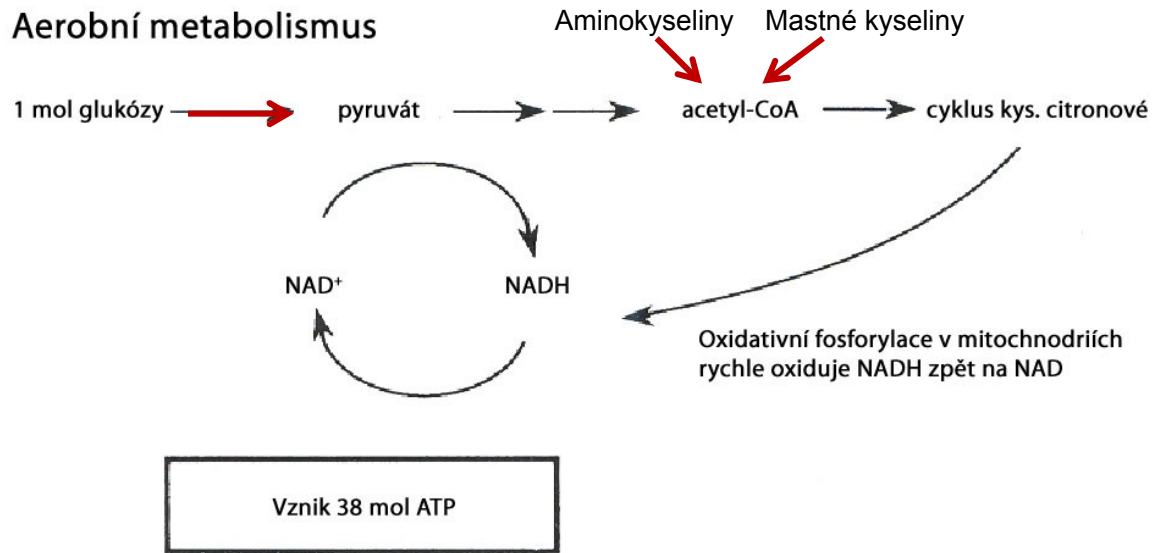


Metabolismus kyslíku v organismu

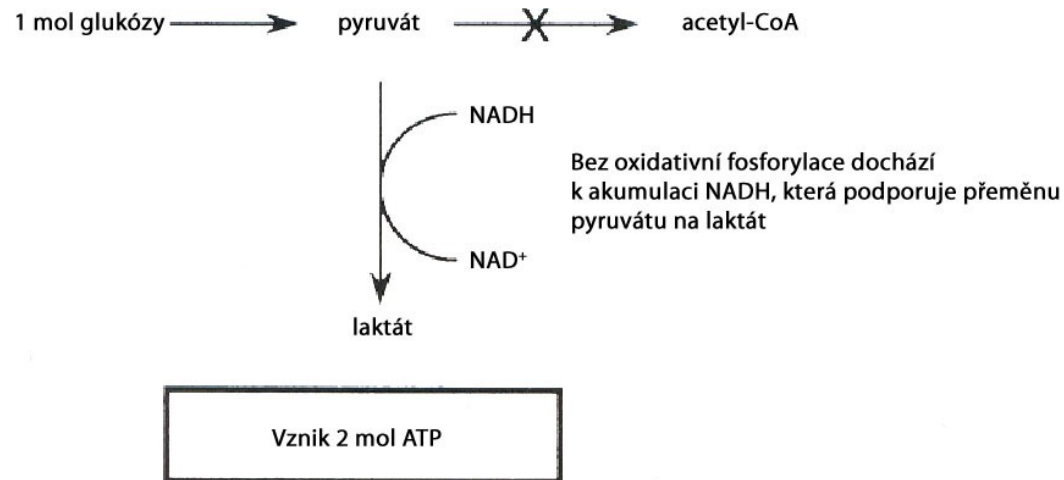
Měření energetického výdeje

Dusíková bilance

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
	20.9%	kyslík
	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 ₂ [kPa]
atmosferický vzduch	19,9
alveolární vzduch	14,6
arteriální krev	13,3
venózní krev	5,3
cytoplazma buněk	2,7
mitochondrie	0,3



Frakční inspirační kyslík

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

Dýchací systém se dělí anatomicky a funkčně do dvou částí

dýchací cesty

trachea, bronchy, terminální bronchioly

respirační zóna (struktury, ve kterých dochází k výměně plynů)

respirační bronchioly, alveolární dukty a alveoly

Mrtvý prostor

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

Perfuze

Perfuze je větší při bazi plic než ve hrotě

Ventilace

Zajišťuje výměnu plynů mezi atmosférou a plicemi

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

Možné příčiny hypoxie

Atmosferický vzduch

Nízký parciální tlak kyslíku

vysoká nadmořská výška – vysoké hory, výškové lety

spotřebovaný kyslík – hoření v uzavřeném prostoru

vysoký obsah CO₂ - psí jeskyně

hypoventilace

útlum dechového centra (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 zkraty

**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

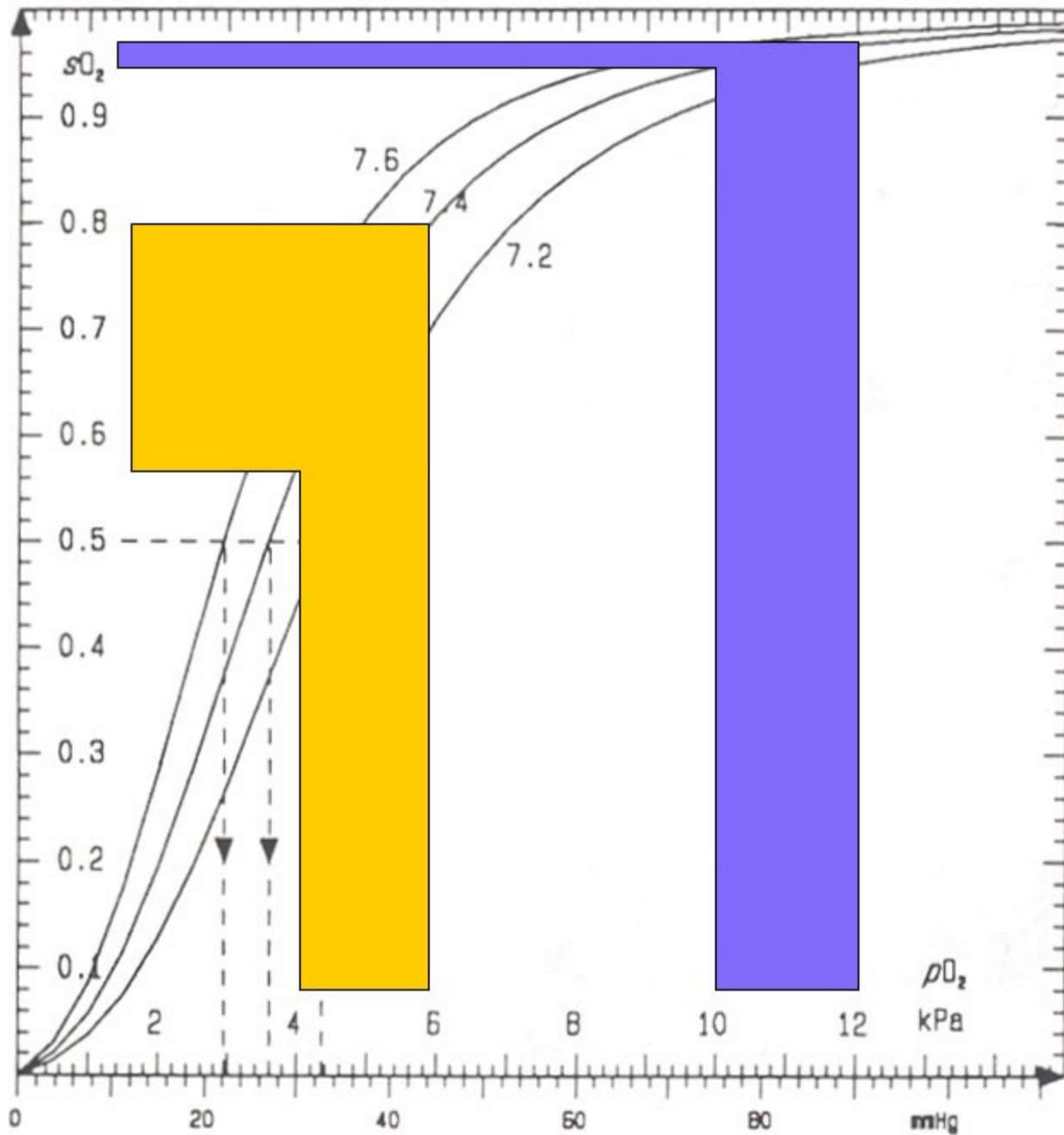
Saturační křivka hemoglobinu

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

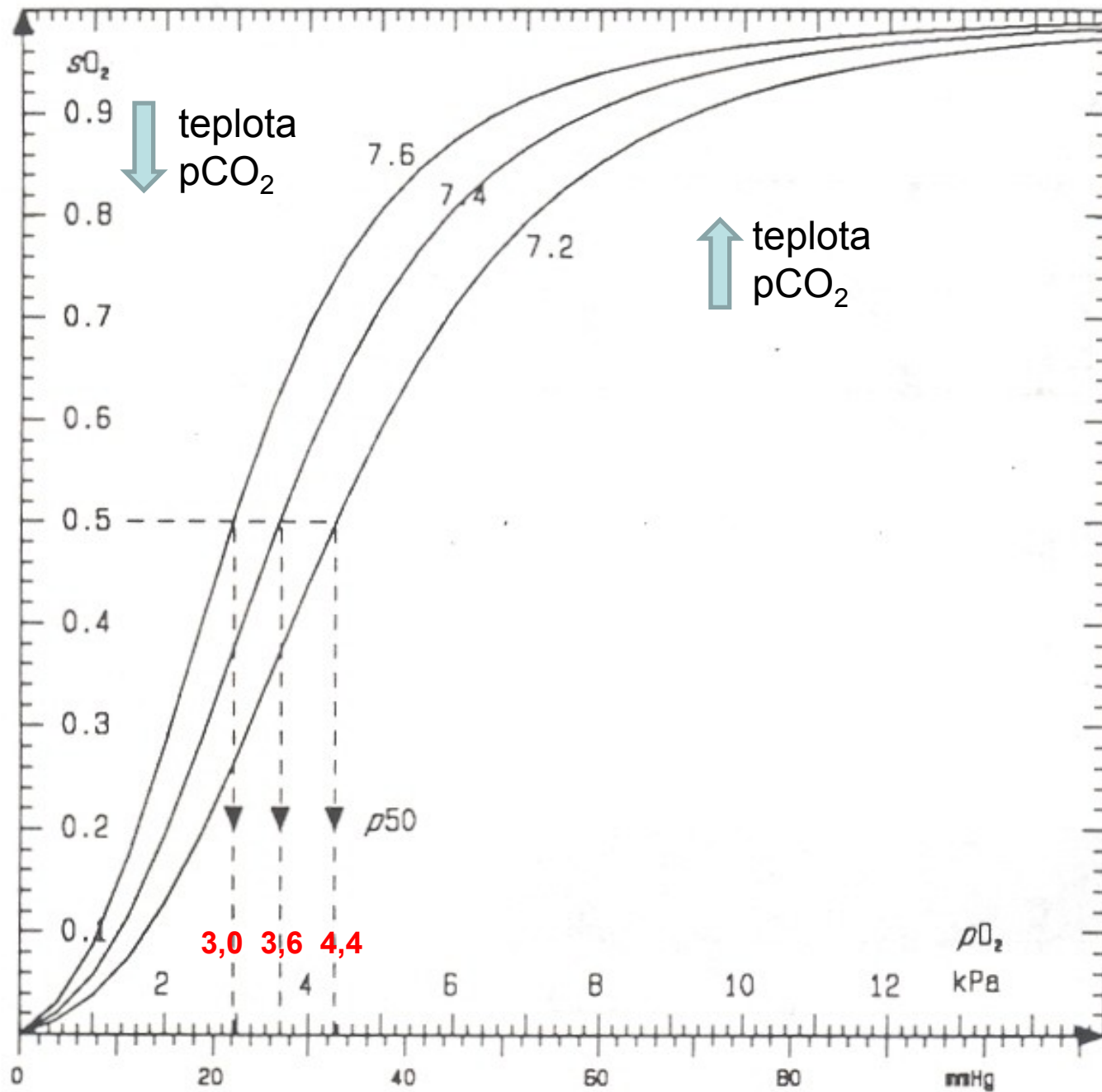


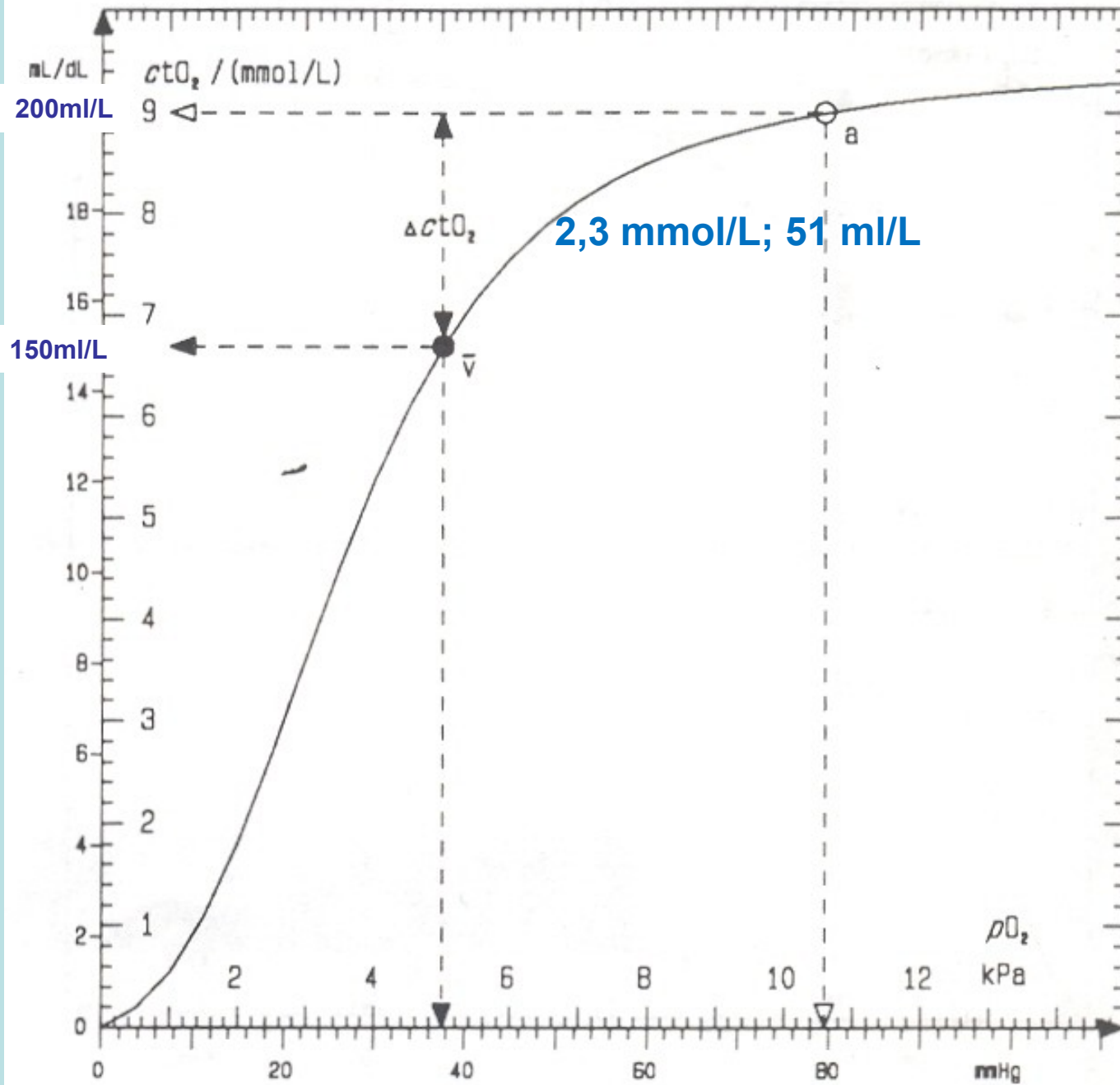
afinitu kyslíku k hemoglobinu snižuje:
(posun křivky doprava)

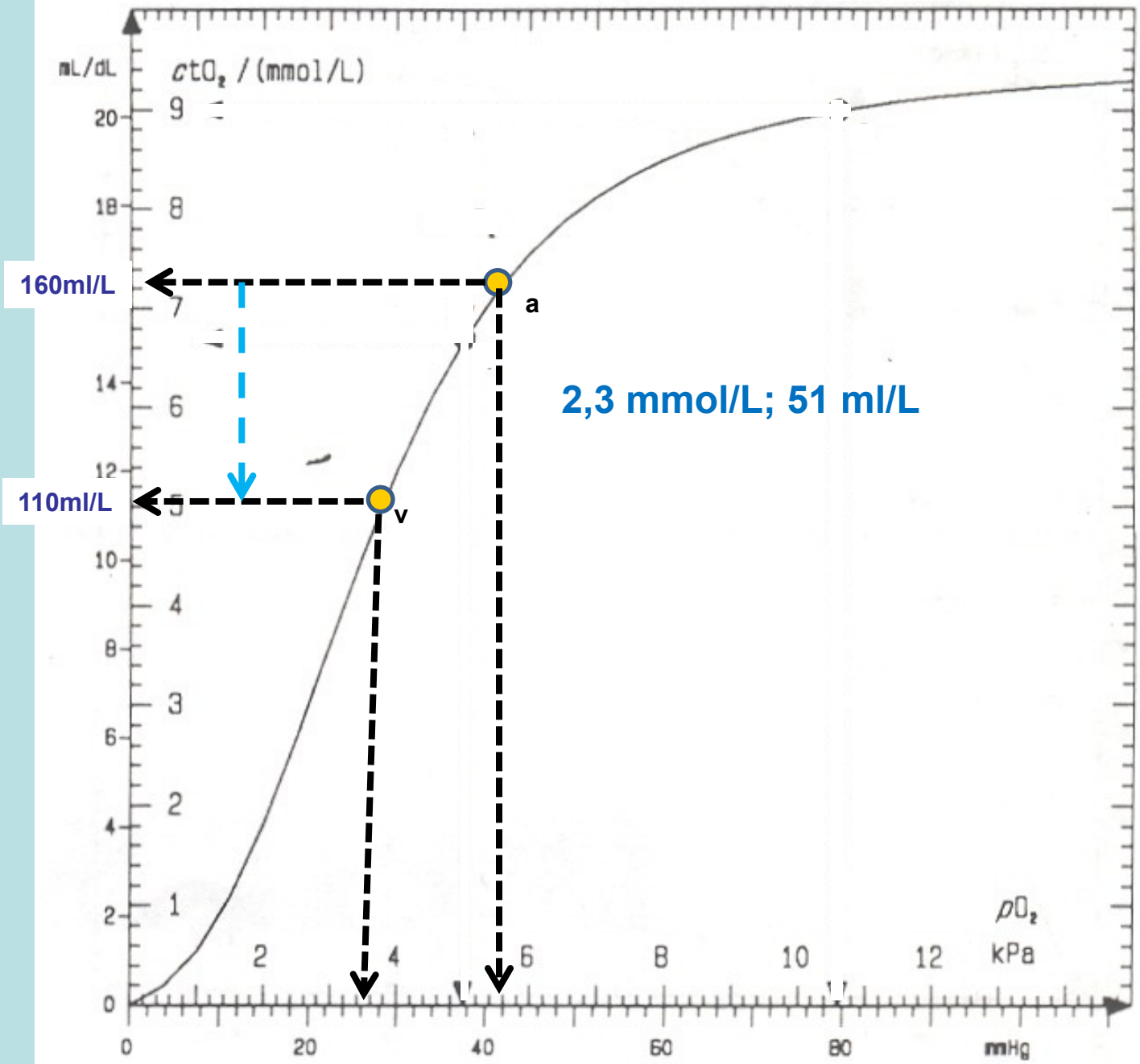
- zvýšená teplota
- snížené pH
- zvýšený pCO₂
- zvýšení koncentrace 2,3-difosfoglycerátu v erythrocytech

graficky.....posun křivky doprava

matematicky.....zvýšení hodnoty p₅₀







Kyslíkový gradient

	pO ₂ [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

	arteriální krev	smíšená žilní krev
konc. hemoglobinu [mmol/l]	9,0	9,0
saturace hemoglobinu [0,00]	0,98	0,68
pO ₂ [kPa]	13,3	5,3
ctO ₂ [mmol/l]	9,0	6,7
a-v rozdíl O ₂ [mmol/l]	2,3	
a-v rozdíl O ₂ [ml/l]	51	

Možné příčiny hypoxie

Srdeční výdej

srdeční selhání
infarkt myokardu
hemodynamicky závažné arytmie

Prokrvení tkání

hypovolemie
šok
centralizace krevního oběhu

hypoxická hypoxie

- dostatečné množství a parciální tlak kyslíku ve vdechovaném vzduchu
- adekvátní ventilace-výměna alveolárního vzduchu
- optimální poměr ventilace / perfuze na úrovni plicního paretchnymu
- efektivní difuze kyslíku z alveolárního vzduchu přes alveolo-kapilární membránu do krve

anemická/transportní hypoxie

- dostatečné množství funkčního (efektivního) hemoglobinu v krvi
- optimální afinita a vazba kyslíku na hemoglobin

cirkulační/ischemická hypoxie

- adekvátní minutový srdeční výdej

histotoxická hypoxie

- účinné uvolnění kyslíku do tkání a buněk
- aerobní metabolismus buňky

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.

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/Lšpatná 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 uzel 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.

Srdeční činnost	0	1	2
Dýchání	0	1	2
Barva kůže	0	1	2
Svalový tonus	0	1	2
Reakce na podráždění	0	1	2

Maximální hodnota **10**

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

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

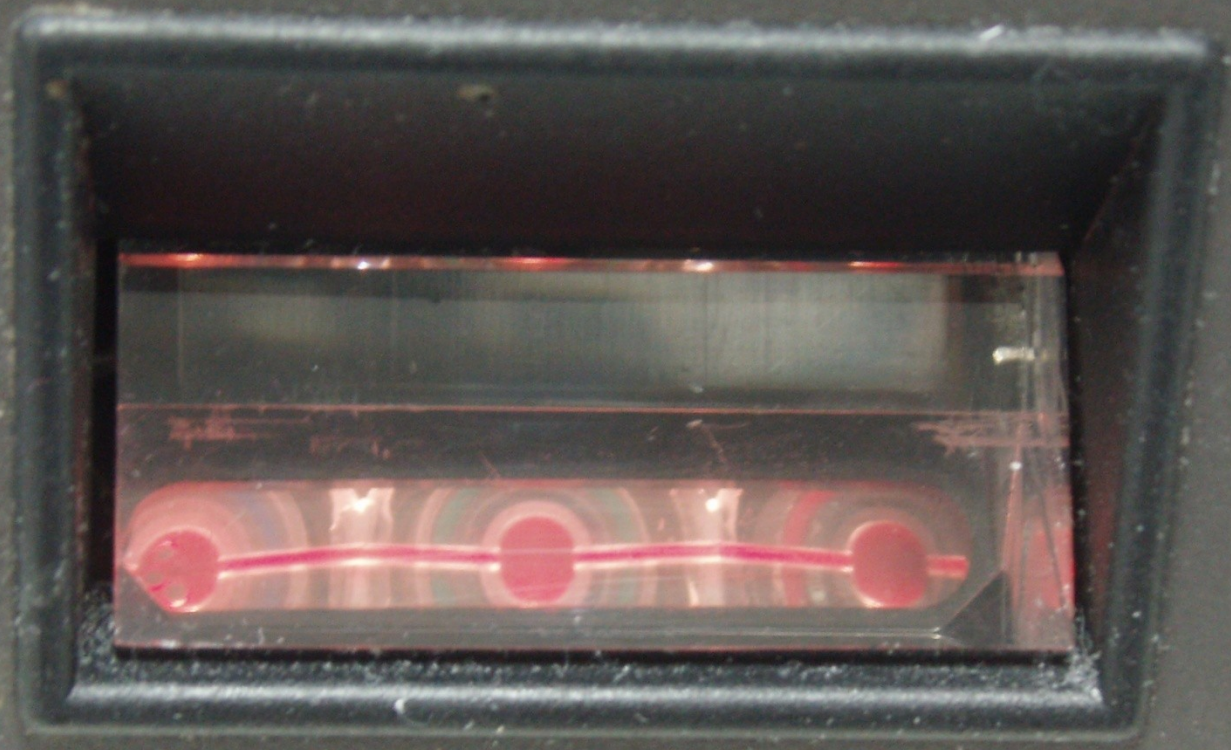


Blood gas

LOT 5094201

/Exp. 2007-10





Energetický výdej a krytí energetické potřeby

Potřeba energie se liší - od pacienta k pacientovi
od choroby k chorobě
z hodiny na hodinu

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

	spotřeba kyslíku		nárůst
	před operací	1.den po operaci	%
celková anestezie	250 ml/min (360 l/24 hod)	290 ml/min (418 l/24h)	16 %
epidurál		257 ml/min (370 l/24h)	3 %