



# Delta PCO<sub>2</sub> jako hemodynamický parametr

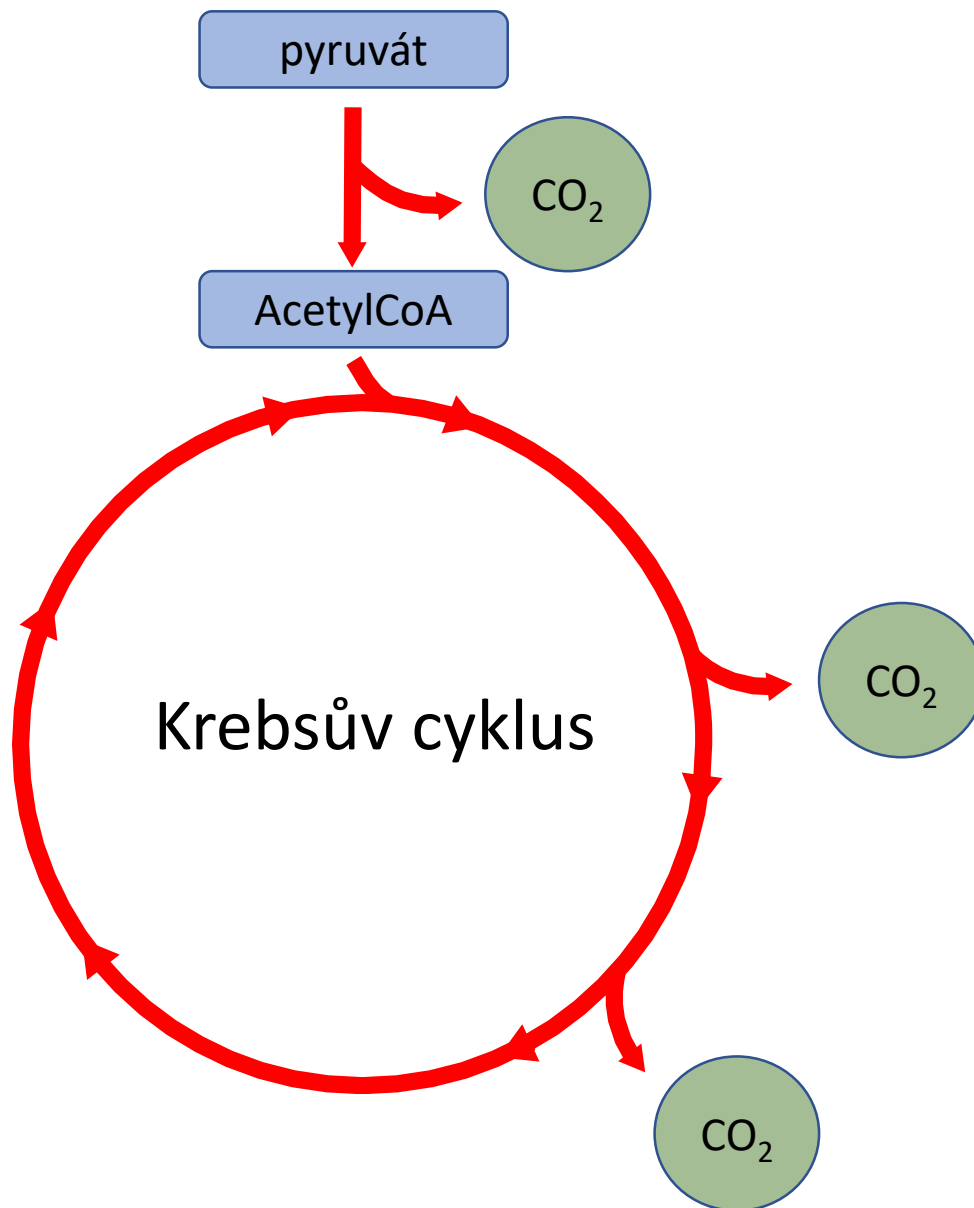
Petr Waldauf

KAR FNKV

- $p\text{CO}_2 \text{ gap} = P_{\text{cvCO}_2} - P_{\text{aCO}_2}$

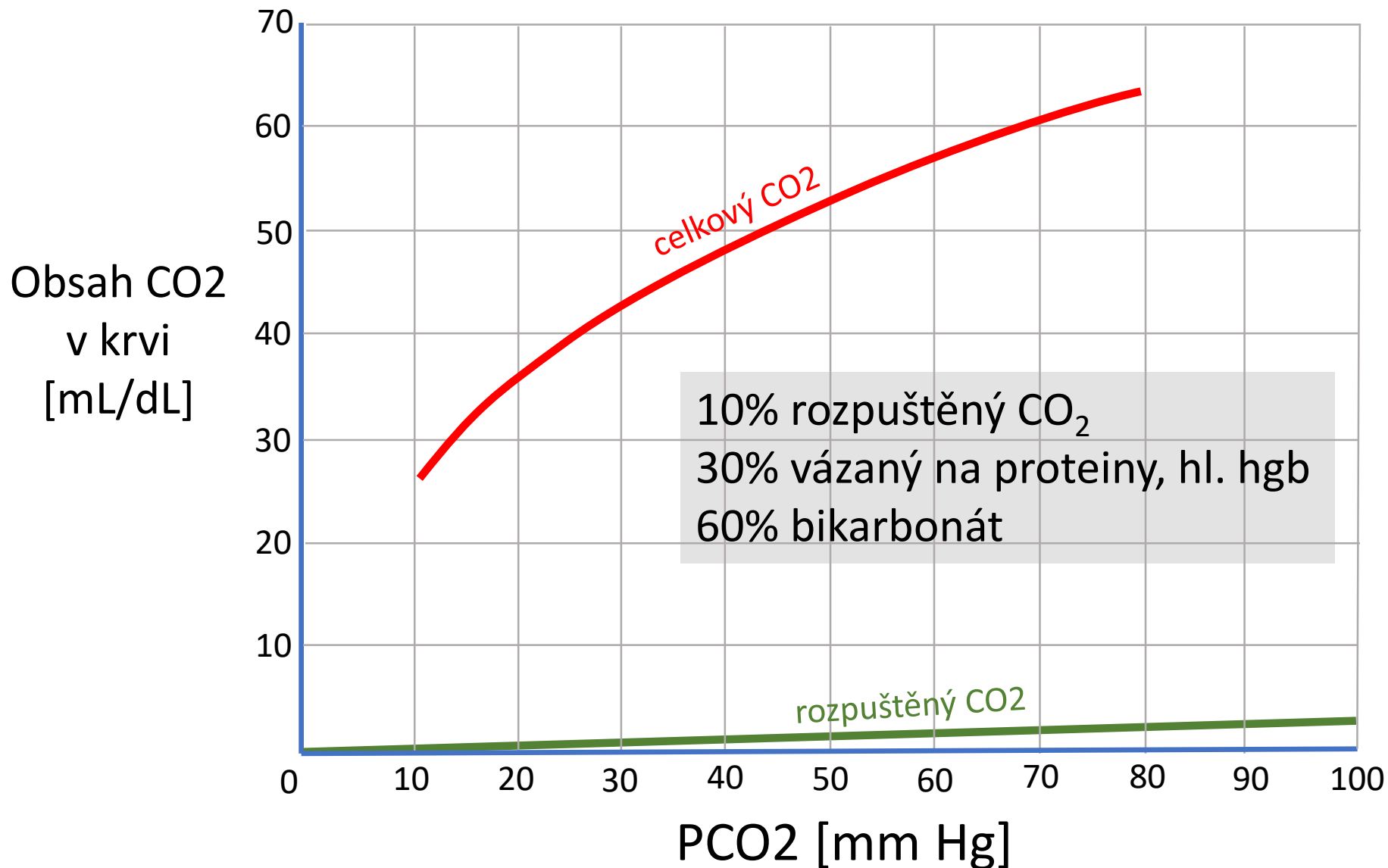
je markerem **adekvátnosti průtoku krve** tkáněmi  
(je daný průtok schopný eliminovat tvořící se  $\text{CO}_2$ ?)

- fyziologicky je **2-5 mmHg (0.3-0.7 kPa)**
- **Cut point = 6 mmHg (0.8 kPa)**
- **NENÍ MARKEREM TKÁŇOVÉ HYPOXIE !!!**
- $\text{ScvO}_2$  není schopná spolehlivě říci jestli je perfuze tkání adekvátní



CO<sub>2</sub> je dominantně  
produkováno aerobně

# CO<sub>2</sub> disociační křivka



## Výpočet obsahu CO<sub>2</sub> v krvi je ale komplikovaný a zatížen chybou měření

**ctCO<sub>2</sub>(B)**

**Eq. 11** [5]:

$$\begin{aligned} \text{ctCO}_2(\text{B}) = & 9.286 \times 10^{-3} \times p\text{CO}_2 \times \text{ctHb} \times \left[ 1 + 10^{(\text{pH}_{\text{Ery}} - \text{pK}_{\text{Ery}})} \right] \\ & + \text{ctCO}_2(\text{P}) \times \left( 1 - \frac{\text{ctHb}}{21.0} \right) \end{aligned}$$

where

Eq.	Description
9.1	$\text{pH}_{\text{Ery}} = 7.19 + 0.77 \times (\text{pH} - 7.40) + 0.035 \times (1 - s\text{O}_2)$
9.2	$\text{pK}_{\text{Ery}} = 6.125 - \log \left[ 1 + 10^{(\text{pH}_{\text{Ery}} - 7.84 - 0.06 \times s\text{O}_2)} \right]$

$\text{CO}_2$  má 20-30x vyšší rozpustnost než  $\text{O}_2$

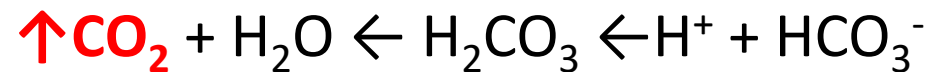
Rozpuštěný  $\text{CO}_2$  hraje významnou roli v přenosu  $\text{CO}_2$  mezi tkáněmi a krví

..přestože v krvi tvoří jen 10% transportovaného obsahu  $\text{CO}_2$

Anaerobní produkce CO<sub>2</sub> je dána hl. tzv. „Coca-Cola efektem“



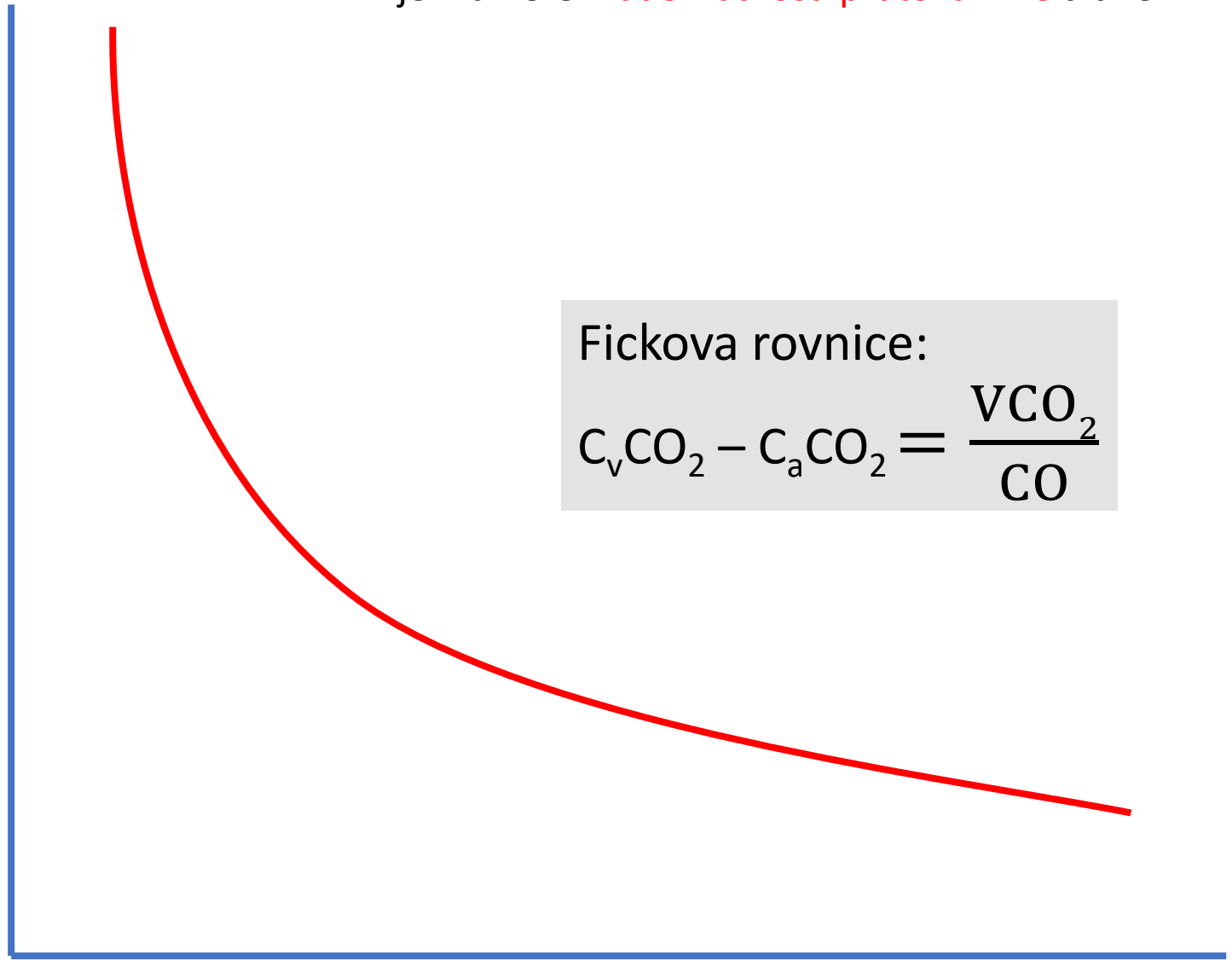
Laktát → ↓pH



V menší míře dalšími procesy jako jsou dekarboxylace

...  $p\text{CO}_2 \text{ gap} = P_{\text{cvCO}_2} - P_{\text{aCO}_2}$   
je markerem **adekvátnosti průtoku krve** tkáněmi ...

Rozdíl v **obsahu**  $\text{CO}_2$  mezi  
venozní a arteriální krví  
 $(C_{\text{vCO}_2} - C_{\text{aCO}_2})$



Fickova rovnice:

$$C_{\text{vCO}_2} - C_{\text{aCO}_2} = \frac{V\text{CO}_2}{\text{CO}}$$

Srdeční výdej (CO)



To samé platí pro rozdíl obsahu O<sub>2</sub> mezi arterií a žílou

Rozdíl v **obsahu** O<sub>2</sub> mezi  
Arteriální a venozní krví  
( $C_aO_2 - C_vO_2$ )

Fickova rovnice:

$$C_aO_2 - C_vO_2 = \frac{VO_2}{CO}$$

**Ale pozor !!!**

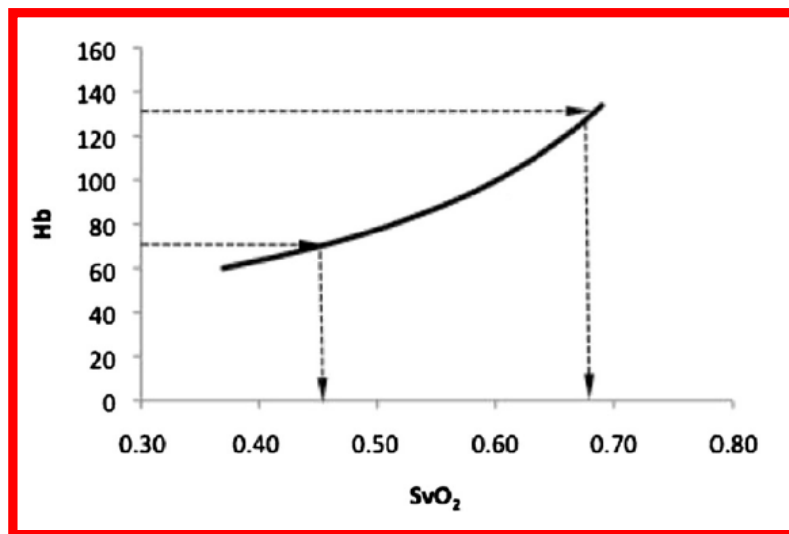
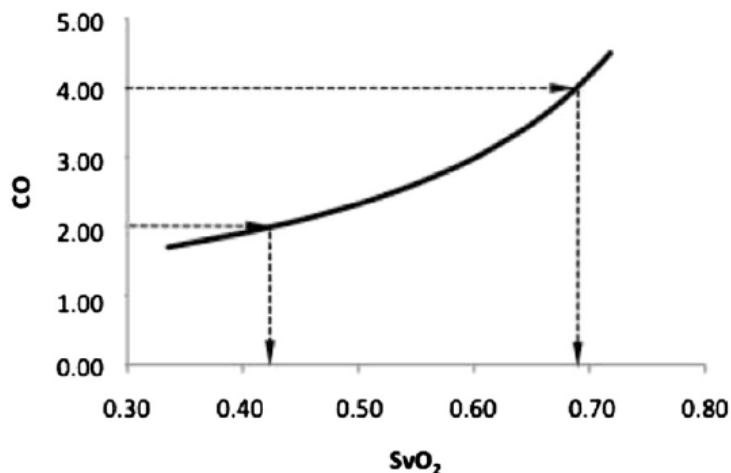
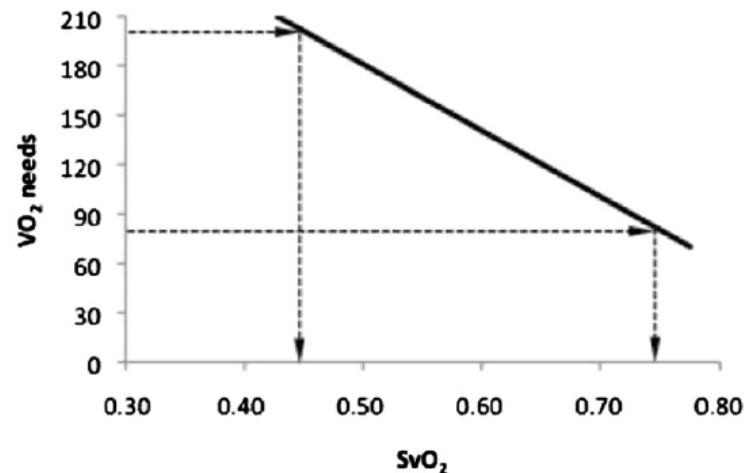
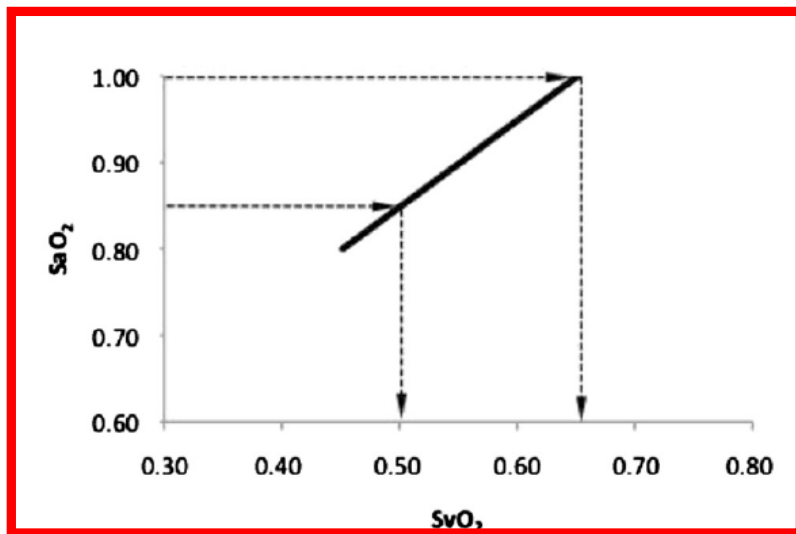
Srdeční výdej (CO)

REVIEW

Central venous oxygenation: when physiology explains apparent discrepancies

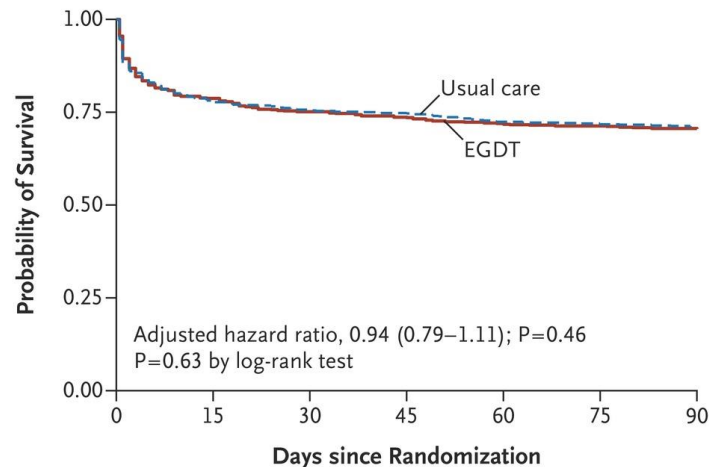
Pierre Squara

Rozdíl obsahu O<sub>2</sub> mezi arterií a žílou je významně závislý také na hgb a SaO<sub>2</sub> (plicní zkraty!!!)



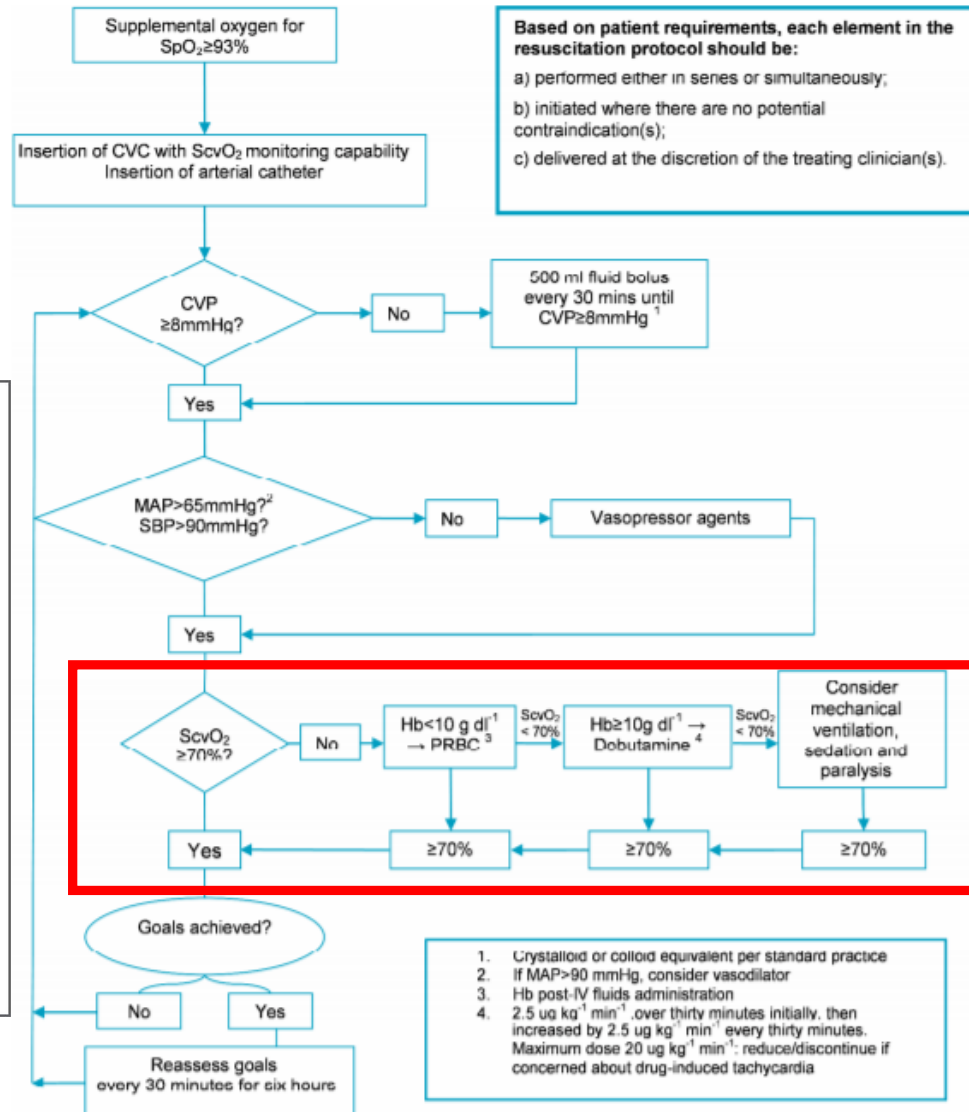
# Trial of Early, Goal-Directed Resuscitation for Septic Shock

Paul R. Mouncey, M.Sc., Tiffany M. Osborn, M.D., G. Sarah Power, M.Sc., David A. Harrison, Ph.D., M. Zia Sadique, Ph.D., Richard D. Grieve, Ph.D., Rahi Jahan, B.A., Sheila E. Harvey, Ph.D., Derek Bell, M.D., Julian F. Bion, M.D., Timothy J. Coats, M.D., Mervyn Singer, M.D., J. Duncan Young, D.M., and Kathryn M. Rowan, Ph.D., for the ProMISe Trial Investigators\*

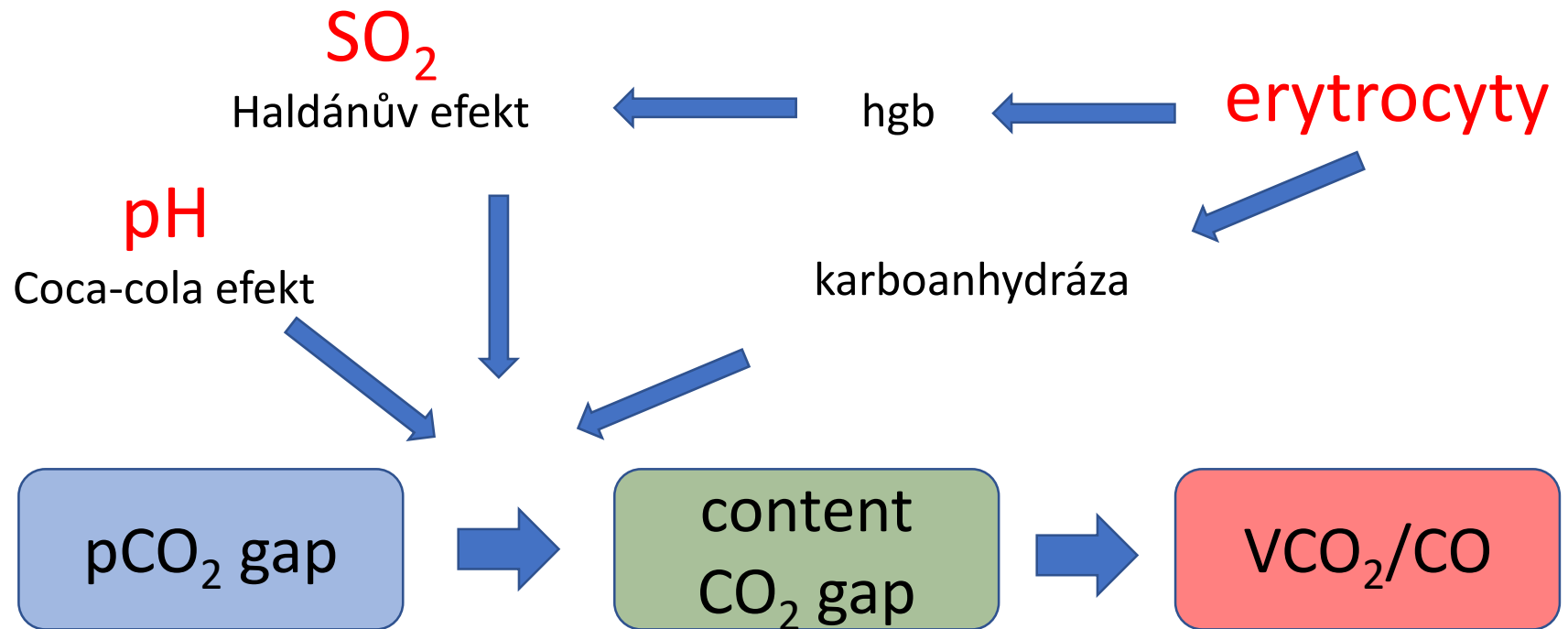


## No. at Risk

	625	492	470	461	449	445	440
EGDT							
Usual care	626	487	469	464	448	445	439



In patients with septic shock who were identified early and received intravenous antibiotics and adequate fluid resuscitation, hemodynamic management according to a strict EGDT protocol did not lead to an improvement in outcome.

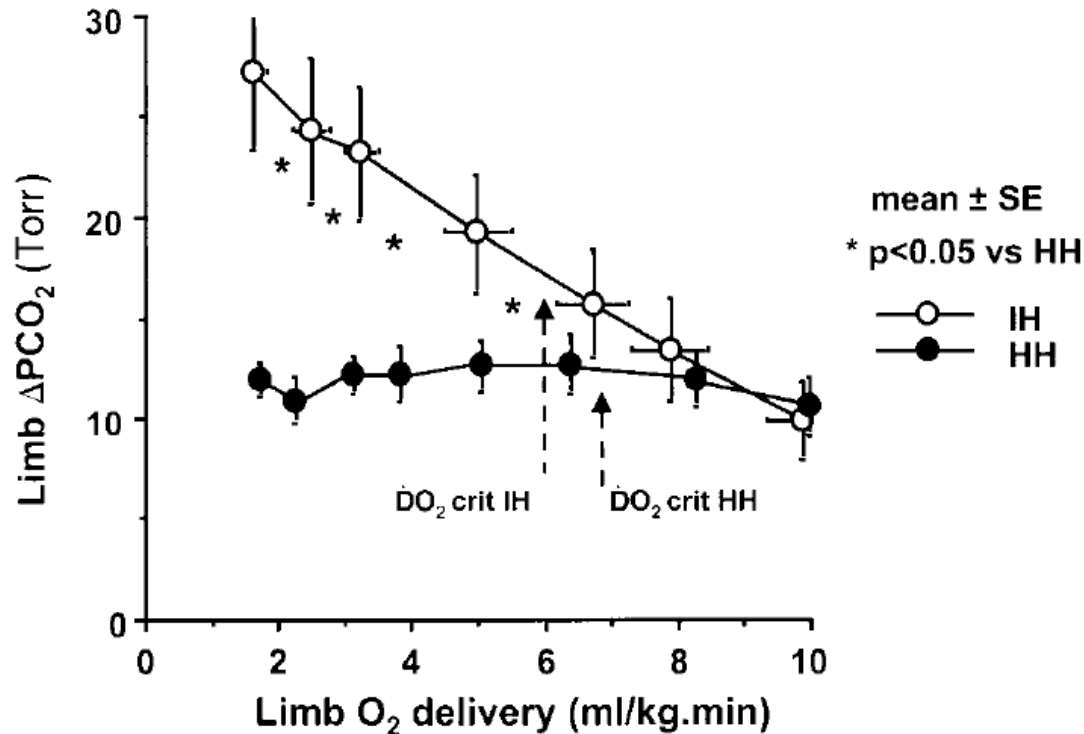


Výpočet gapu obsahu  $\text{CO}_2$  je složitý a zatížený chybou (měření)  
 $p\text{CO}_2$  gap je aproximací  $c\text{CO}_2$  gapu  
Vztah mezi  $p\text{CO}_2$  a  $c\text{CO}_2$  je ale ovlivňován řadou složitých mechanismů...

# Venoarterial CO<sub>2</sub> difference during regional ischemic or hypoxic hypoxia

*J Appl Physiol*  
89: 1317–1321, 2000.

BENOIT VALLET,<sup>1</sup> JEAN-LOUIS TEBOUL,<sup>2</sup> STEPHEN CAIN,<sup>3</sup> AND SCOTT CURTIS<sup>4</sup>



- Ischemická hypoxie  
→ zvýšený CO<sub>2</sub> gap
- Hypoxická hypoxie  
→ normální CO<sub>2</sub> gap

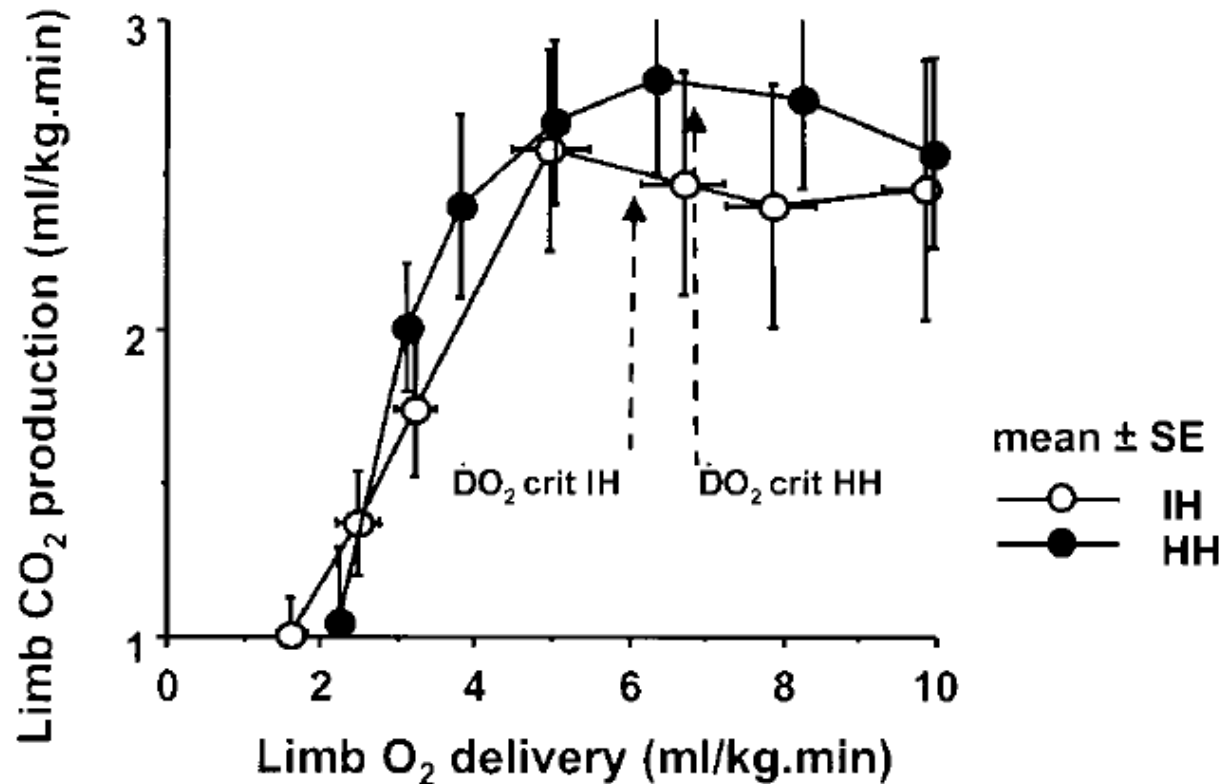
... pCO<sub>2</sub> gap = PcvCO<sub>2</sub> – PaCO<sub>2</sub>

je markerem **adekvátnosti průtoku krve tkáněmi nikoliv hypoxie tkání...**

# Venoarterial CO<sub>2</sub> difference during regional ischemic or hypoxic hypoxia

*J Appl Physiol*  
89: 1317–1321, 2000.

BENOIT VALLET,<sup>1</sup> JEAN-LOUIS TEBOUL,<sup>2</sup> STEPHEN CAIN,<sup>3</sup> AND SCOTT CURTIS<sup>4</sup>



Při hypoxii tkání přestává být CO<sub>2</sub> produkováno!  
Dekarboxylační procesy se účastní na produkci CO<sub>2</sub> jen minimálně...

Shock type	Lactate	O <sub>2</sub> ER	ScvO <sub>2</sub>	cvaCO <sub>2</sub> gap
Cardiogenic hypovolemic	HI	HI	LO	HI
Anemic hypoxemic	HI	HI	LO	LO
Distributive	HI	LO	HI	HI
Cytopathic	HI	LO	HI	LO

Kombinace ScvO<sub>2</sub> a pCO<sub>2</sub> gapu může pomoci k diferenciální diagnostice šokových stavů

Maurizio Cecconi  
Daniel De Backer  
Massimo Antonelli  
Richard Beale  
Jan Bakker  
Christoph Hofer  
Roman Jaeschke  
Alexandre Mebazaa  
Michael R. Pinsky  
Jean Louis Teboul  
Jean Louis Vincent  
Andrew Rhodes

**Consensus on circulatory shock  
and hemodynamic monitoring. Task force  
of the European Society of Intensive Care  
Medicine**

18. In patients with a central venous catheter,  
we suggest measurements of

**ScvO<sub>2</sub> and V-ApCO<sub>2</sub>**

to help assess the underlying pattern  
and the adequacy of cardiac output  
as well as to guide therapy  
(Level 2; QoE moderate (B))



$$\frac{p\text{CO}_2 \text{ gap}}{C_A - \text{VO}_2}$$

Je aproximací  
respiračního kvocientu

$$\text{RQ} = \frac{V\text{CO}_2}{V\text{O}_2}$$

Metabolismus:

Sacharidů: RQ=1

Tuků: RQ= 0.7

Proteinů: RQ= 0.8

**Anaerobní metabolismus  $R > 1$**

$$\frac{p\text{CO}_2 \text{ gap} [\text{mmHg}]}{C_A - \text{VO}_2 [\text{ml/dL}]}$$

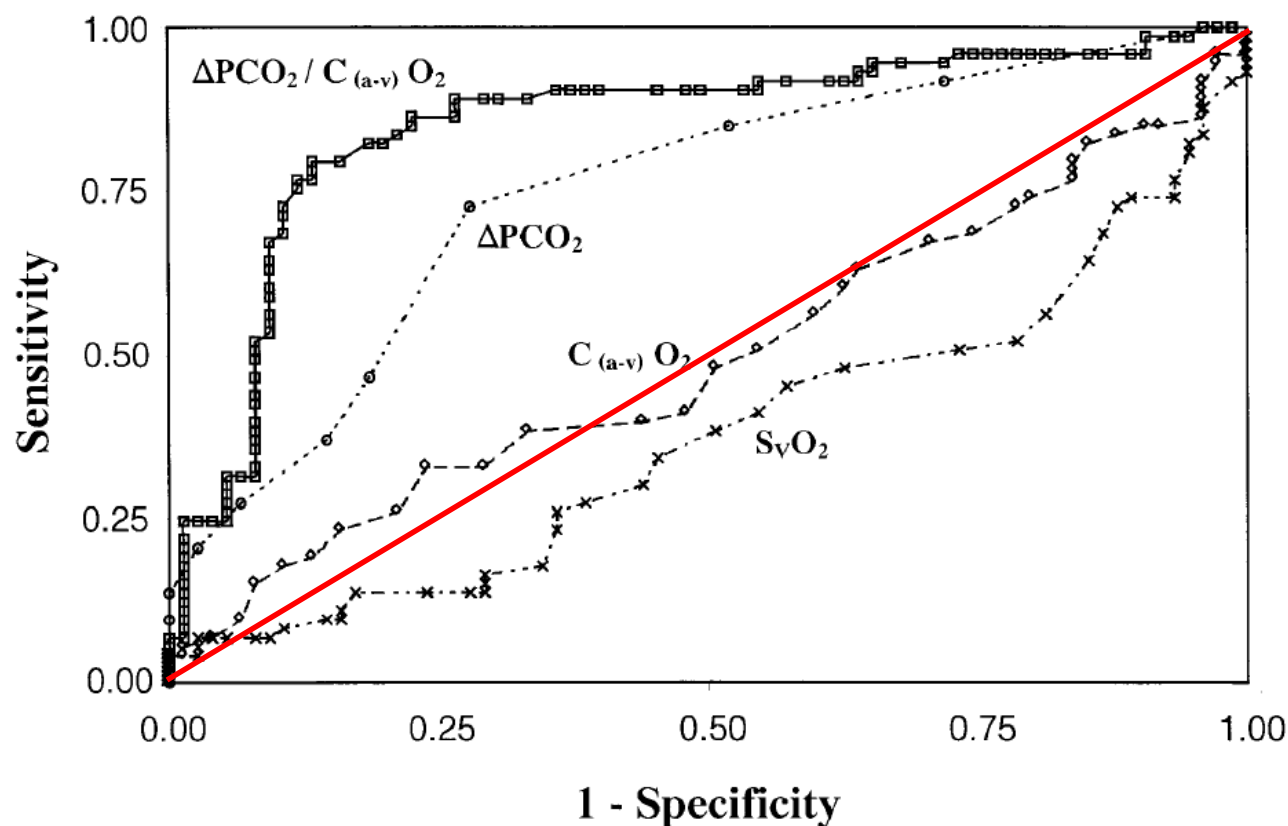
Může být použit jako marker  
anaerobního metabolismu

**Cutpoint 1.4 ( $p\text{CO}_2$  v mmHg)**

Armand Mekontso-Dessap  
Vincent Castelain  
Nadia Anguel  
Mabrouk Bahloul  
Franck Schauvliege  
Christian Richard  
Jean-Louis Teboul

## Combination of venoarterial $\text{PCO}_2$ difference with arteriovenous $\text{O}_2$ content difference to detect anaerobic metabolism in patients

ROC, detekce anaerobního metabolismu  
(laktát > 2 mmol/L)

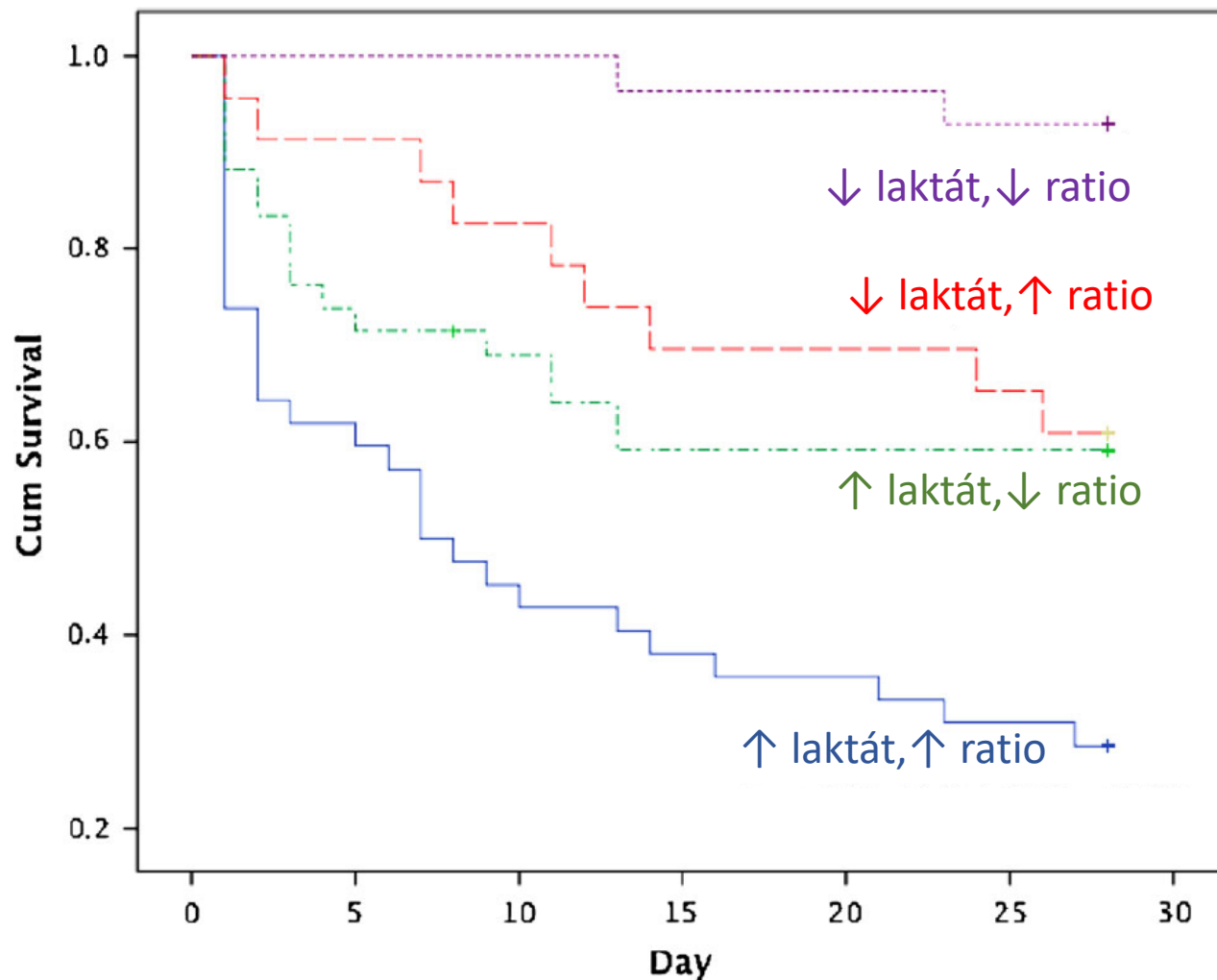




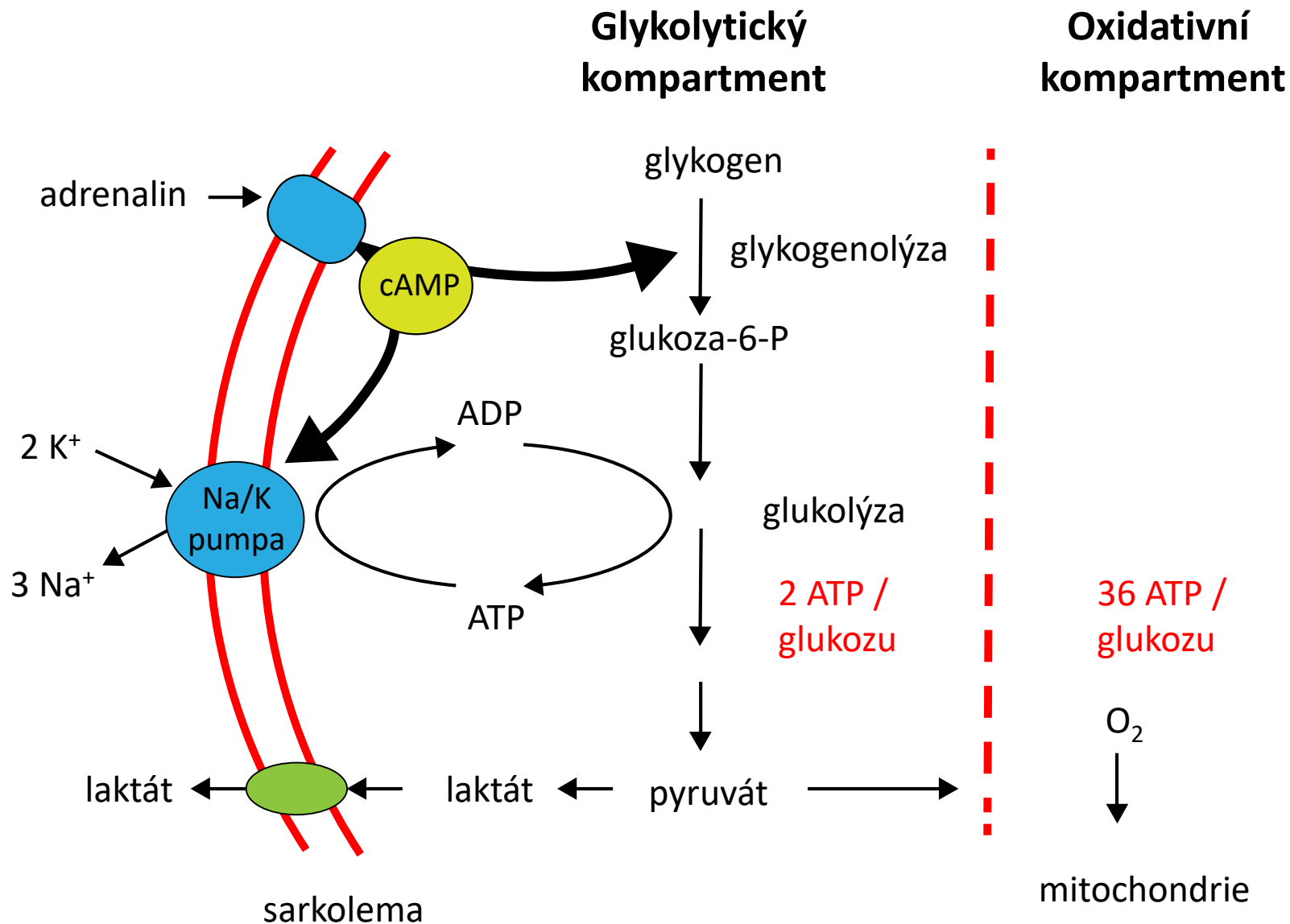
Gustavo A. Ospina-Tascón  
Mauricio Umaña  
William Bermúdez  
Diego F. Bautista-Rincón  
Glenn Hernandez  
Alejandro Bruhn  
Marcela Granados  
Blanca Salazar  
César Arango-Dávila  
Daniel De Backer

# Combination of arterial lactate levels and venous-arterial CO<sub>2</sub> to arterial-venous O<sub>2</sub> content difference ratio as markers of resuscitation in patients with septic shock

Laktát &  $\frac{pCO_2 \text{ gap}}{C_A - VO_2}$



# Aerobní produkce laktátu ve svalu



# Hypotéza

hyperlaktatemie

Typ A

anaerobní

pCO<sub>2</sub> gap

+

$(\text{pCO}_2 \text{ gap})/(\text{CA}-\text{VO}_2)$   
by měly být **zvýšený**

Zvýšený poměr L/P

Typ B

aerobní

snížená  
clearance játry

pCO<sub>2</sub> gap

+

$(\text{pCO}_2 \text{ gap})/(\text{CA}-\text{VO}_2)$   
by měly být **normální**

Normální poměr L/P

66-letá cca 130 kg cyklistka s anamnézou asthma bronchiale sražená OA. Na místě byla v krátkém bezvědomí. Provedena OTI + UPV.

Vyloučeno trauma, pacientka k-p stabilní.

Vstupní **laktát 1.8 mmol/L**

Extubační pokus po vyloučení traumatu selhal pro bronchospasmus (+ obtížná reintubace).

Aplikovány kortikoidy (systémově + inhalačně) + inhalačně beta2-mimetika.

Následně vzestup laktátu na **7.4 mmol/L i přes oběhovou stabilitu (NIBP 130/75, SR 95/min, bez podpory).**

**SvO<sub>2</sub> 74%**

**pCO<sub>2</sub> gap 0.3 kPa (2.3 mmHg) = není hypoperfuze**

**(pCO<sub>2</sub> gap)/(CA-VO<sub>2</sub>) 0.8 (mmHg\*dL/ml) = není anaerobní metabolismus**

**Za 24 hod laktát 1 mmol/L bez intervence**

**AEROBNÍ PRODUKCE LAKTÁTU? (stres + beta2-mimetika)**

**SNÍŽENÁ UTILIZACE LAKTÁTU? (kortikoidy)**

75-letý muž s anamnézou mnohočetného myelomu akutně operovaný pro patologickou fr. T8 s plegií DKK. Podáván dexametazon a následně methylprednisolon ve spinální dávce.

Výkon s krevní ztráta odhadem 1600 ml která hrazena, kardiopulmonální stabilní (IBP 125/60, SR 65/min, NAD

0.05 – 0.1 µg/kg/min).

ABR odebraný po výkonu: hgb 110, laktát 12.8 !!!

ScvO<sub>2</sub> 72.3%

pCO<sub>2</sub> gap 0.3 kPa (2.3 mmHg) = není hypoperfuze

(pCO<sub>2</sub> gap)/(CA-VO<sub>2</sub>) 0.71 (mmHg \*dL/ml) = není anaerobní metabolismus

Laktát po celou dobu pobytu na ICU (5 dní) > 10 mmol/L

AEROBNÍ PRODUKCE LAKTÁTU? (myelom)

SNÍŽENÁ UTILIZACE LAKTÁTU? (kortikoidy)

86 letý pacient po totální duodenopankreatektomii pro CA hlavy pankreatu.

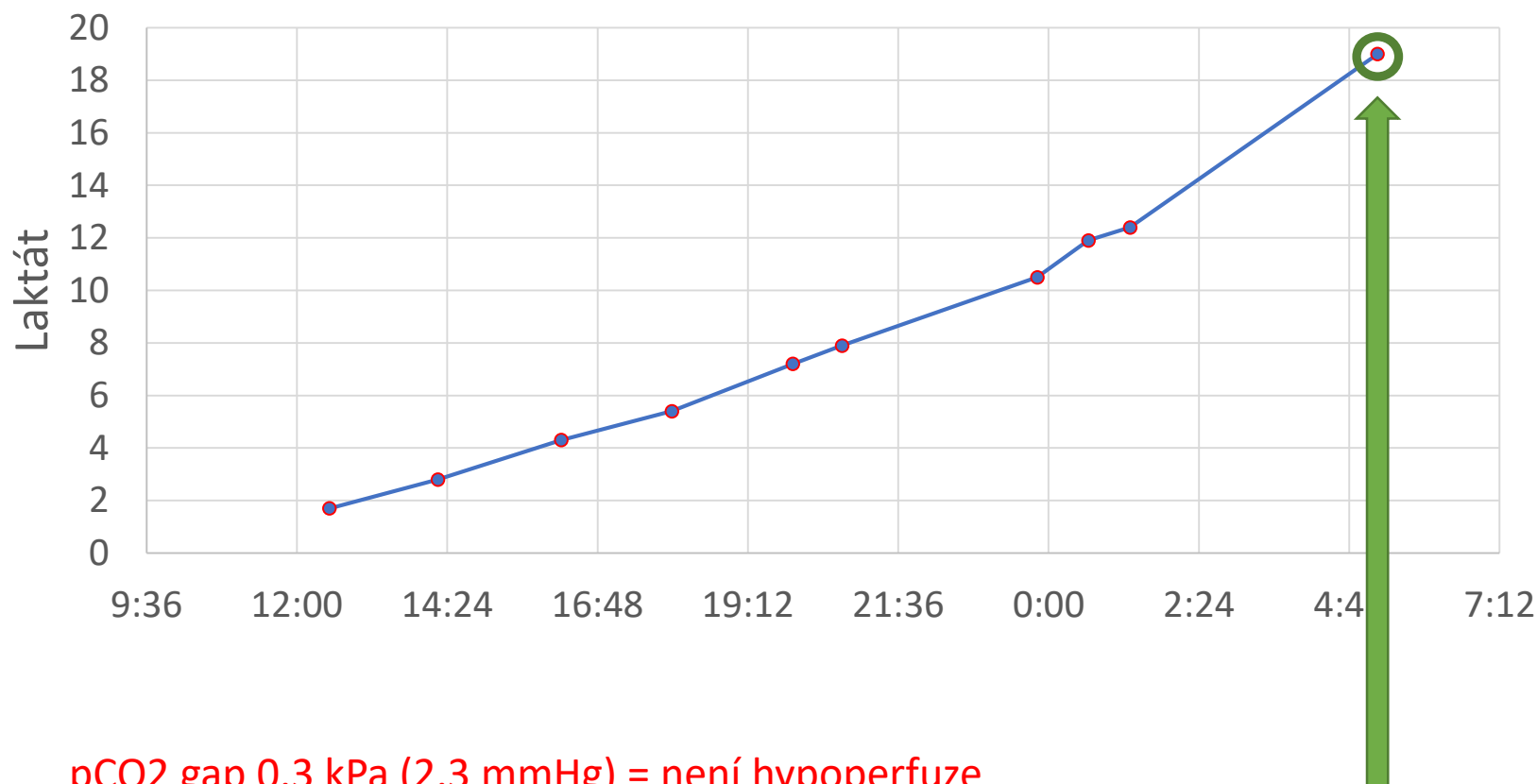
Během výkonu svorka na a.hepatica i v.portae.

Po výkonu oběhová nestabilita na stoupající dávce NAD 0.28..1.8  $\mu\text{g/kg/min}$

Zároveň stoupá hladina laktátu



	Sál		KAR							
čas	12:31	14:15	16:13	17:59	19:55	20:42	23:49	0:38	1:18	5:15
Laktát	1.7	2.8	4.3	5.4	7.2	7.9	10.5	11.9	12.4	19



pCO<sub>2</sub> gap 0.3 kPa (2.3 mmHg) = není hypoperfuze

(pCO<sub>2</sub> gap)/(CA-VO<sub>2</sub>) 0.81 (mmHg/ml) = není anaerobní metabolismus

**Příčinou je snížená clearance laktátu játry!!!**

52-letá pacientka s TU hlavy pankreatu po hemipancreatodudenectomie (s. Traverso).

Pooperačně elevace laktátu, oběhově stabilní bez katech. podpory s dobrou diurézou.

Laktát 5.3 mmol/L

Hgb 129 g/L

SvO<sub>2</sub> 71.2%

pCO<sub>2</sub> gap 1.06 kPa (8 mmHg) = známky hypoperfuze

(pCO<sub>2</sub> gap)/(CA-VO<sub>2</sub>) 1.58 (mmHg\*dL/ml) = anaerobní metabolismus

CT angio: uzávěr a.mesenterica superior

40-letý muž po suicidiálním pokusu skokem z výše (cca 8 metrů).

Na CT dominuje poranění páteře a pánve – konzervat. postup.

Během noci vzestup podpory NAD z 0.4 na 1.1 µg/kg/min.

Rano:

hgb 92 g/L

laktát 1.4 mmol/L

pCO<sub>2</sub> gap 1.02 kPa (8 mmHg) = známky hypoperfuze

(pCO<sub>2</sub> gap)/(CA-VO<sub>2</sub>) 1.86 (mmHg\*dL/ml) = anaerobní metabolismus

Na kontrolním CT hemothorax + tekutina v d.b.

zaveden HD + oper. revize - ošetřeno krvácení z lig. teres hepatis

# Závěr

pCO<sub>2</sub> gap je markerem **adekvátnosti průtoku krve** tkáněmi

(pCO<sub>2</sub> gap)/(CA-VO<sub>2</sub>) je časným markerem anaerobního metabolismu

Oba markery mohou pomoci rozlišit anaerobní a aerobní produkci laktátu/sníženou clearance laktátu játry

+ časně rozpoznat hypoperfuzi s počínajícím anaerobním metabolismem (laktát je v normě)