

A large, bright yellow starburst shape with a dark blue outline, centered on a light blue background. The starburst has multiple sharp points of varying lengths, creating a dynamic, sun-like appearance.

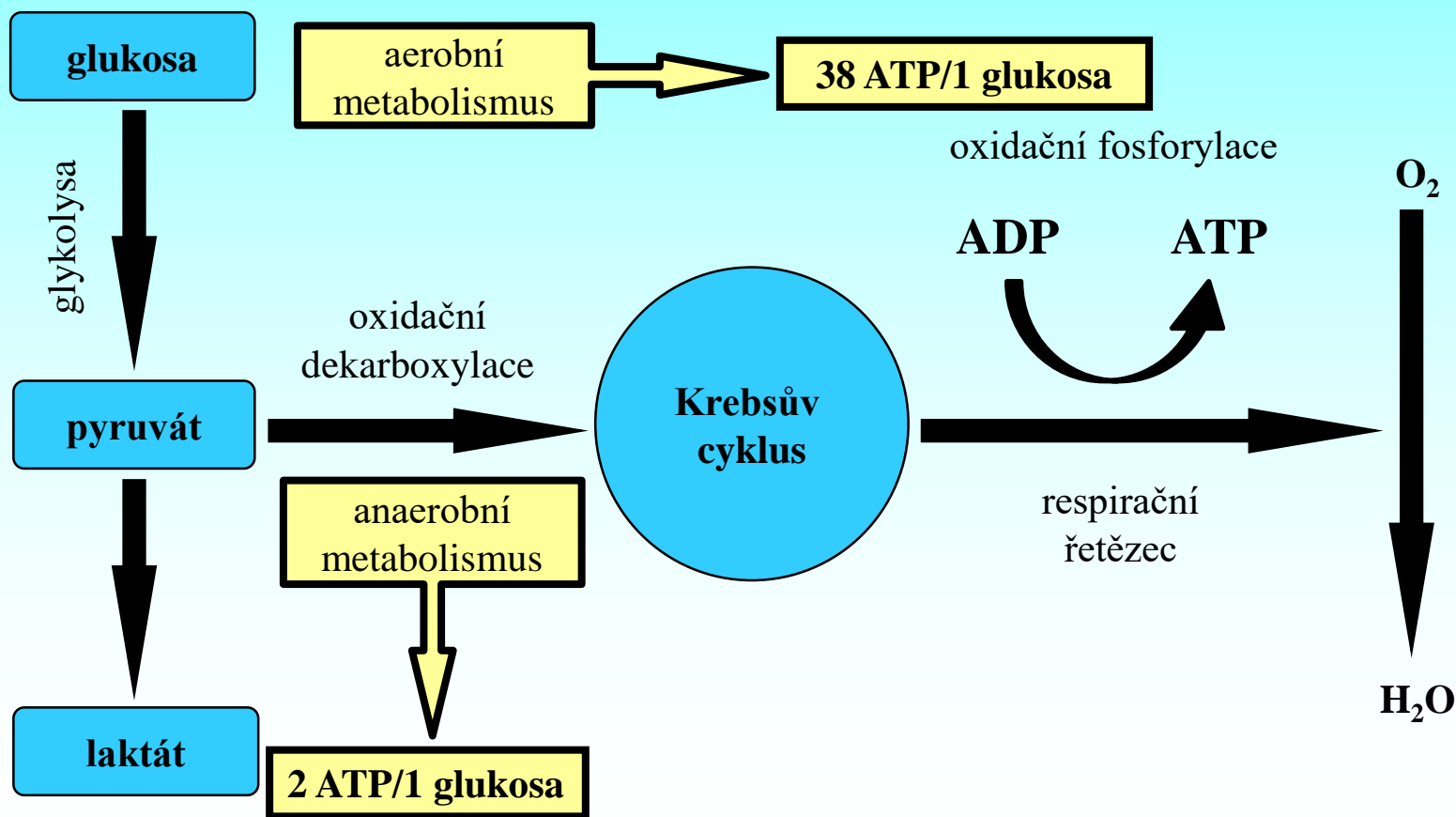
KEB

P. Kelbich a spol.

Vedle přítomnosti imunokompetentních buněk (IB) v extravaskulárním kompartmentu (EVK) je potřebná též informace o úrovni jejich aktivity. Tzn. pro detekci a určení charakteru lokálního zánětu v EVK potřebujeme vedle morfologických parametrů též parametry funkční.



Výbornými funkčními parametry jsou parametry energetického metabolismu glukosy, jinými slovy, určení rozsahu anaerobního metabolismu v EVK. Samotná koncentrace laktátu v extravaskulární tekutině (EVT) není ale ovlivněna pouze rozsahem anaerobního metabolismu, ale také množstvím energetického substrátu, tedy glukosy. Východiskem je výpočet teoretické produkce ATP za aktuálních energetických poměrů v EVK.



$$x = [\text{glucose}] [mMol \cdot l^{-1}]$$

$$y = [\text{lactate}] [mMol \cdot l^{-1}]$$

$$X_{anaerobic} = \frac{x}{2}$$

$$X_{aerobic} = x - X_{anaerobic} = x - \frac{x}{2}$$

$$[ATP]_{anaerobic} = y$$

$$[ATP]_{aerobic} = 38 \left(x - \frac{y}{2} \right)$$

$$[ATP] = [ATP]_{anaerobic} + [ATP]_{aerobic}$$

$$[ATP] = y + 38 \left(x - \frac{y}{2} \right)$$

$$KEB = \frac{[ATP]}{x}$$

$$KEB = \frac{y + 38 \left(x - \frac{y}{2} \right)}{x} = 38 - 18 \frac{y}{x}$$

$$KEB = 38 - 18 \frac{[\text{lactate}]_{CSF}}{[\text{glucose}]_{CSF}}$$

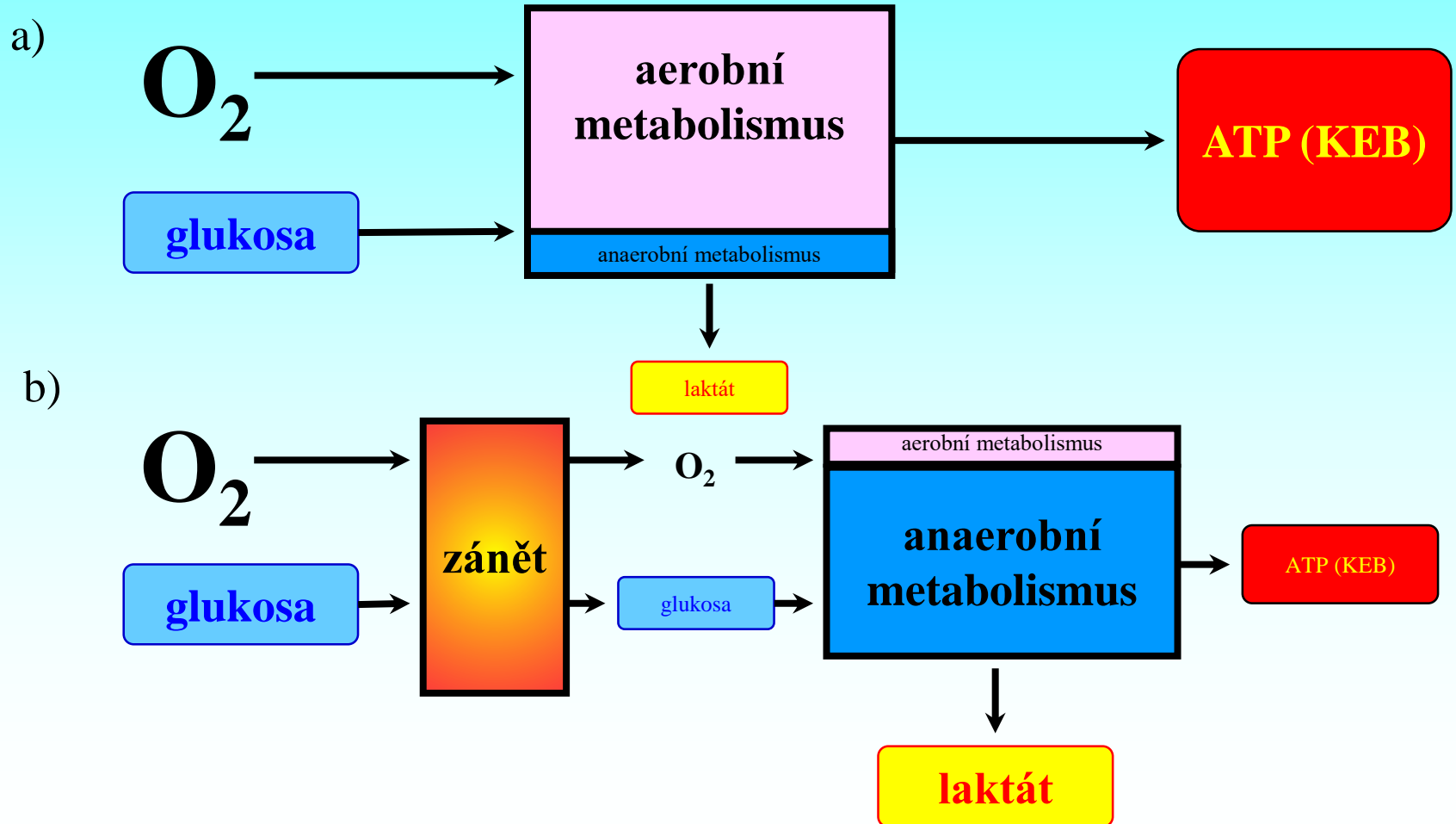
Výpočet teoretické produkce ATP vychází z těchto axiomů:

1. Z 1 molekuly glukosy se aerobně získá 38 molekul ATP.
2. Z 1 molekuly glukosy se anaerobně získají 2 molekuly ATP.
3. 1 molekula glukosy se 6 C dává vzniknout 2 molekulám laktátu se 3 C.

Odvozeným vztahem je „Koefficient Energetické Balance“ (KEB) vyjadřující průměrný počet molekul ATP vyprodukovaných z 1 molekuly glukosy v EVK.

Proč to všechno?

- Za normálních okolností je v EVK dostatek kyslíku, a tak procesy probíhají převážně aerobně, tzn. s hojnou produkcí ATP vyjádřenou vysokou hodnotou KEB.
- Při patologickém procesu v EVK, jehož podstatou, příčinou či následkem je zánět, dochází k aktivaci IB. Energetické nároky aktivovaných IB vzrůstají a ty spotřebovávají více glukosy a kyslíku. Zvýšená spotřeba kyslíku vede k rozvoji anaerobního metabolismu. Ten je značně neefektivní, tzn. produkce energie v podobě ATP klesá a my to pozorujeme na snižující se hodnotě KEB.



Na základě zjištěných hodnot KEB lze zkonstruovat energetickou pyramidu umožňující specifikaci charakteru zánětu v EVK.

KEB = 38,0

**normální nález
nebo
mírné serosní zánětlivé změny**

KEB = 28,0

serosní zánět

KEB = 15,0

KEB = 10,0

**oxidační vzplanutí
profesionálních fagocytů**

KEB < 0,0

Jak to tedy vypadá v praxi? Nejlépe předvést na příkladech:

1. glukosa = 4,0 mmol/l, tzn. $4 \times 6,022 \cdot 10^{20}$ molekul v 1 l EVT; laktát = 2,0 mmol/l, tzn. $2 \times 6,022 \cdot 10^{20}$ molekul v 1 l EVT.

-ty 2 laktáty vznikly anaerobně z 1 ze 4 glukos. Tato glukosa byla tedy přeměněna anaerobně za produkce 2 ATP.

-zbylé 3 glukosy se přeměnily aerobně, každá s produkcí 38 ATP.

-celková produkce ATP tedy je: $2 + 3 \times 38 = 116$ ATP; podělíme počtem glukos (4) a výsledek je KEB = 29,0, čili **normální energetické poměry v EVK.**

Výpočet pomocí vzorce: $KEB = 38 - 18 \cdot \text{laktát/glukosa}$; $KEB = 38 - 18 \cdot 2/4 = 29,0$

2. glukosa = 2,0 mmol/l, tzn. $2 \times 6,022 \cdot 10^{20}$ molekul v 1 l EVT; laktát = 2,0 mmol/l, tzn. $2 \times 6,022 \cdot 10^{20}$ molekul v 1 l EVT.

-ty 2 laktáty vznikly anaerobně z 1 ze 2 glukos. Tato glukosa byla tedy přeměněna anaerobně za produkce 2 ATP.

-zbylá 1 glukosa se přeměnila aerobně, tedy s produkcí 38 ATP.

-celková produkce ATP tedy je: $2 + 1 \times 38 = 40$ ATP; podělíme počtem glukos (2) a výsledek je KEB = 20,0, čili **zvýšené energetické nároky aktivovaného imunitního systému při serosním zánětu v EVK.**

Výpočet pomocí vzorce: $KEB = 38 - 18 \cdot 2/2 = 20,0$

3. glukosa = 1,0 mmol/l, tzn. $1 \times 6,022 \cdot 10^{20}$ molekul v 1 l EVT; laktát = 2,0 mmol/l, tzn. $2 \times 6,022 \cdot 10^{20}$ molekul v 1 l EVT.

-ty 2 laktáty vznikly anaerobně z 1 glukosy. Tato glukosa byla tedy přeměněna anaerobně za produkce 2 ATP.

-celková energetická produkce tedy je 2 ATP; podělíme počtem glukos (1) a výsledek je KEB = 2,0, čili vysoký rozsah anaerobního metabolismu v EVK při **razantním zánětu s oxidačním vzplanutím**

profesionálních fagocytů.

Výpočet pomocí vzorce: $KEB = 38 - 18 \cdot 2/1 = 2,0$

Párkrát se mě ptali, co představují ve vzorci pro KEB konstanty 38 a 18. Moje tehdejší odpověď: 38 je maximální produkce ATP z 1 glukosy při 100% aerobním metabolismu a těch 18 vyšlo při odvození.

Okolnosti mě ale donutily se i nad tímto detailem zamyslet a HEURÉKA!!!

-model počítá s odečtením anaerobní části (červená) od aerobní (modrá);

-čili od maximální aerobní produkce ATP z 1 6C glukosy, tzn. **38** ATP odečteme to, co jde na vrub anaerobního metabolismus, tzn. **18*x** ATP (2 ATP) se vyprodukuje při glykolyse, za pyruvát je to tedy aerobní produkce 36 ATP na jednu 6C glukosu, na 3C laktát to tedy dělá **18ATP**);

-18 ATP na 1 laktát se roznásobí poměrem laktátu ku glukose (=x).

Příklady:

1. glukosa = 4,0 mmol/l, laktát = 2,0 mmol/l
KEB = $38 - 18 \cdot 0,5$ laktátu = 29,0

2. glukosa = 2,0 mmol/l; laktát = 2,0 mmol/l
KEB = $38 - 18 \cdot 1,0$ laktátu = 20,0

3. glukosa = 1,0 mmol/l; laktát = 2,0 mmol/l
KEB = $38 - 18 \cdot 2,0$ laktátu = 2,0

