B4

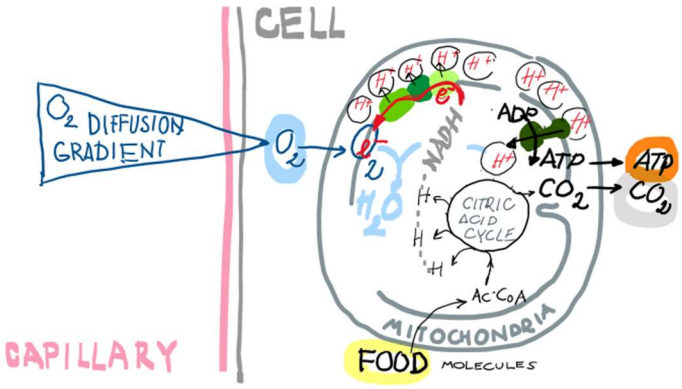
ELIMINACE CO2

CO2 je metabolickým produktem štěpení energetických substrátů (sacharidů, tuků a bílkovin).

O2 je nutným předpokladem aerobního metabolismu, neboť umožňuje kontinuální provoz dýchacího řetězce (odebírá elektrony přenašečům, aby mohly čerpat protony H+ mezi listy mitochondriální membrány, a tak vytvořit koncentrační gradient H+ nutný pro syntézu ATP).

Obrázek: *Odpověď na otázky:*

- Co je zdrojem energie?
- Z čeho pochází CO2?
- Jak vzniká ATP?
- Jakou roli při uvolňování energie hraje kyslík a na co se spotřebovává?



Zdrojem energie je potrava. Její štěpy vstupují do Krebsova cyklu, ve kterém jsou jim postupně odnímány vodíky. To, co zbyde, je CO2. Vodíky jsou dopraveny k vnitřní mitochondriální membráně a pomocí elektronového transportního řetězce čerpány proti koncentračnímu gradientu do prostoru mezi membránami. Vytvořený gradient H+ umožňuje tvorbu ATP z ADP enzymem ATP syntázou. Kyslík má vyšší elektronegativitu než články elektronového transportního řetězce ve vnitřní mitochondriální membráně. Proto je finálním akceptorem elektronů v tomto ději. Po navázání elektronů se slučuje s H+ v mitochondriální matrix na vodu, čímž se spotřebovává. Proto ho ve tkáni ubývá. To podmiňuje difusi dalších molekul O2 z krve a uvolňování O2 z hemoglobinu.

Poměr (molární poměr = také objemový poměr) **vyprodukovaného CO2 a spotřebovaného O2 se nazývá respirační kvocient**, pro sacharidy má hodnotu 1, pro ostatní substráty jen o málo méně. Z toho vyplývá, že musíme eliminovat zhruba stejné množství CO2 jako dodáváme O2.

Transport CO2 krví probíhá z naprosté většiny (90%) formou bikarbonátu. Ostatní způsoby jsou vazba na globinovou část hemoglobinu a fyzikálně rozpuštěná frakce. Bikarbonát vzniká z CO2 činností karboanhydrázy v erytrocytech při průtoku krve tkání.

$CO_2+H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$

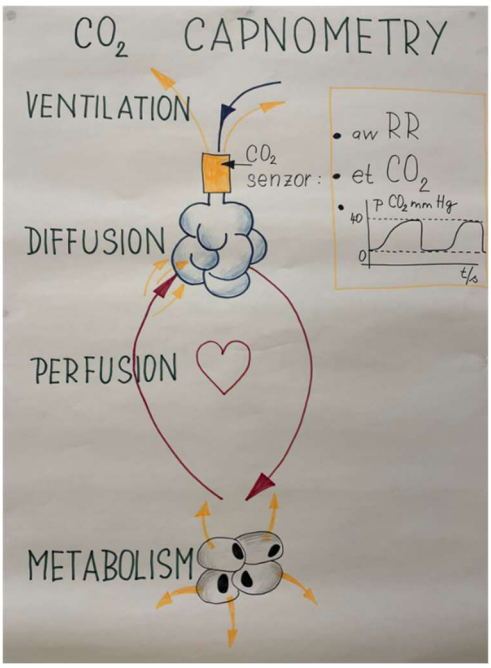
V plicích, kde je parciální tlak CO2 nižší než ve tkáních, probíhá reakce opačným směrem, uvolněné CO2 difunduje do alveolárního prostoru a je vydechováno.

Množství metabolismem vyprodukovaného CO2 a eliminovaného CO2 musí být stejné. Pokud by tomu tak nebylo, změnilo by se pH krve, nárůst v organismu by vedl k acidóze, úbytek k alkalóze. Vzhledem k tomu, že enzymy potřebují pro svou funkci optimální pH (bílkoviny jsou funkční jen za

určité konformace), došlo by k selhání organismu. Parciální tlak CO2 je tedy velmi pečlivě registrován centrálními chemoreceptory a podle jeho hodnoty je upravována velikost minutové ventilace.

Minutovou ventilaci, při které dochází k **eliminaci stejného množství CO2, jako bylo vyprodukováno** metabolismem, nazýváme **normoventilace**, odvedeme,li **méně**, jedná se o **hypoventilaci,** při **větším** odvodu hovoříme o **hyperventilaci**. Vždy s odpovídajícími důsledky pro pH vnitřního prostředí.

KAPNOMETRIE, PROMĚNNÉ etCO2



Princip: CO_2 se stanovuje spektrofotometricky (v infračerveném spektru) ve vzduchu, který proudí dýchacím okruhem. Senzor je umístěn tak, aby kontinuálně četl (vzorkoval) nadechovaný a pak vydechovaný vzduch. Tedy typicky na endotracheální rource nebo na masce. Při nádechu se kalibruje na 0 (obsah CO2 v atmosféře je pro tyto účely zanedbatelný), při výdechu zakresluje hodnoty do grafu (viz obrázek).

etCO2: je hodnota získaná z vydechovaného proudu vzduchu na konci výdechu (**e**nd **t**idal) a odpovídá zhruba parciálnímu tlaku CO2 v alveolárním prostoru a **v arteriální krvi**. Bývá o 5 mmHg nižší kvůli příměsi vzduchu z mrtvého prostoru (při klidovém dýchaní).

Proměnné etCO2: naměřená hodnota závisí na intenzitě metabolismu, funkci oběhu, plicní difusi a ventilaci, viz obrázek. Díky citlivé regulaci pCO2 v krvi je fyziologicky relativně konstantní. Vzhledem k možnosti volně ovlivnit ventilaci, je snadné demonstrovat vliv změn této proměnné na etCO2. V různých patologických stavech je etCO2 zdrojem informace i o ostatních proměnných, viz simulovaná úloha.

Respirační frekvence: registrací změn směru vzduchu proudícího kapnometrickou kyvetou získáme počet dechových cyklů za minutu. Zkratka **awRR** na monitoru znamená **a**ir**w**ay **R**espiratory **R**ate a říká, že hodnota byla získána přímo snímáním proudu vzduchu v dýchacích cestách. Přestože je nutné se o dechové aktivitě přesvědčit i vlastními smysly, je přístrojová registrace dechové frekvence velmi praktická kvůli průběžné orientaci zdravotníka o dechové aktivitě/úsilí nestabilního pacienta.

RESPIRAČNÍ FREKVENCE, IMPEDANČNÍ MĚŘENÍ

Dechovou frekvenci lze stanovit i z kolísání elektrického odporu hrudníku podle fáze dechového cyklu (nádech - vzestup odporu, pokles vodivosti, výdech – pokles odporu, nárůst vodivosti). Připojíme-li k hrudníku EKG kabely, můžeme kromě EKG signálu snímat i odpor hrudníku. Na monitoru se pak zobrazí vedle zkratky RR hodnota dechové frekvence. Barva podsvícení hodnoty se zpravidla shoduje s barvou podsvícení EKG záznamu, aby bylo jasné, jak byla hodnota pořízena. Snímání dechové frekvence z proudu vydechovaného vzduchu je přesnější než impedanční měření. Pro pacienty, kteří nemají těsnící masku ani kanylu v dýchacích cestách (což jsou podmínky použití přímého měření dechové frekvence), je to metoda snadno proveditelná a orientačně dostatečná.

SLEDOVÁNÍ ORGANIZMU V PRŮBĚHU CELKOVÉ ANESTEZIE

Celková anestezie je farmakologicky navozené bezvědomí, nejčastěji za účelem provedení bolestivého výkonu. Některá anestetika sama vedení bolesti nebrání, a proto je potřebné je kombinovat s analgetiky. Náročnější chirurgické výkony probíhají se zajištěním dýchacích cest (intubací), jednodušší jen v krátkodobé anestezii bez intubace po předchozím lačnění (prevence aspirace).

Díky ztrátě vědomí je i jinak fyziologický jedinec z mnoha důvodů v ohrožení života, jeho stav se může měnit, změnu je nutné zaregistrovat, porozumět mechanismu jejího rozvoje a vhodně zareagovat. Proto je tato úloha po náležitém zjednodušení vhodná pro studenty fyziologie.

Rizika celkové anestezie:

- pokles svalového tonu, neprůchodnost dýchacích cest
- útlum kmenových center:
    - obranné reflexy dýchacích cest (riziko aspirace)
    - dechové centrum (zástava dechu)
    - kardioinhibiční a excitační centrum (bradykardie a hypotenze)

Prevence:

příprava (anamnéza, předoperační vyšetření včetně laboratorního, lačnění)

pečlivé vyšetření před výkonem slouží jako srovnávací stav (base line) pro následné kontroly během výkonu

anesteziologický protokol: opakované kompletní vyšetření v krátkých časových intervalech, s cílem časného odhalení nepříznivého vývoje (trendu) a reakce na něj (situační bdělost). Současně je to i zdravotnická dokumentace s forensním významem (ochrana pacienta i lékaře).

Monitorování stavu pacienta v průběhu celkové anestezie

Vědomí + Celkový stav	Sledování nástupu účinku celkového anestetika v úvodu výkonu, přetrvávání kvalitní sedace v průběhu celého zákroku a návratu vědomí po jeho ukončení. Kontrola účinného potlačení reakce na bolest. Záznam výsledku: AVPU + speciální položky (přítomnost křečí, popis zornic…podrobněji B6) Celkový stav: tělesná teplota, hydratace
Dýchání	Fyzikálně, přístrojově (SpO2, kapnometrie, impedanční měření respirační frekvence). Záznam hodnot, často i grafické zobrazení trendů kvůli včasnému rozpoznání změn. Záznam všech intervencí (např. toaleta dýchacích cest, odsávání).
Oběh	Fyzikálně, přístrojově (EKG – před výkonem 12 svodové, během výkonu permanentně jedno-svodové, TK neinvazivně opakovaně v 10 min intervalech, jsou-li hodnoty stabilní), ne-li, častěji. Záznam všech hodnot, grafické zobrazení trendů. Záznam intervencí, např. zavedení cévních kanyl.
Záznam o časech a dávkách podaných léků	

Podoba anesteziologického protokolu, seznam sledovaných položek viz protokol B4.