

koncentrácia na konci výdychu (End-tidal Carbon Dioxide - EtCO<sub>2</sub>) je **blízka koncentrácií** v kapilárach pľúc. Táto korelácia medzi EtCO<sub>2</sub> a parciálnym tlakom CO<sub>2</sub> v artériovej krvi (PaCO<sub>2</sub>) je základom pre využitie kapnometrie v klinickej praxi ako **neinvazívneho monitorovania koncentrácie CO<sub>2</sub> v artériovej krvi**.

Hodnota EtCO<sub>2</sub> je za fyziologických podmienok o 0,7 kPa nižšia ako PaCO<sub>2</sub>, za patologických situácií sa tento rozdiel môže **zväčšiť**, napr. pri nestabilnej cirkulácii a ventilácii, kedy vzniká nepomer medzi ventiláciou a perfúziou (V/Q) (atelektáza, embolizácia, hypovolémia).

**Normálne hodnoty EtCO<sub>2</sub> sú 38 ± 5 mmHg alebo 5,1 ± 0,7 kPa** vyjadrené ako **tlak** a **5,1 %** vyjadrené ako **objem**.

Hodnota EtCO<sub>2</sub> je priamym indikátorom adekvátnosti eliminácie CO<sub>2</sub> v pľúcach, indikátorom priechodnosti dýchacích ciest, nepriamym indikátorom produkcie CO<sub>2</sub> (stupňa metabolizmu, telesnej teploty) a stavu krvného obehu, ktorý transportuje CO<sub>2</sub> do pľúc.

**Dáta** z kapnografu tak umožňujú neinvazívne hodnotiť parametre **A, B a C**, t.j. správnosť umiestnenia pomôcky v dýchacích cestách, prítomnosť obštrukcie dýchacích ciest (**airway**), adekvátnosť spontánnej a umelej ventilácie (**ventilation**), pľúcnej cirkulácie (embólia), nepomeru ventilácie/perfúzie, periférnej cirkulácie (šok, zastavenie obehu) i kvalitu stláčania hrudníka počas KPR (**circulation**). Tieto dáta je ale potrebné interpretovať v klinickom kontexte.

**Normálna hodnota EtCO<sub>2</sub>** indikuje, že je prítomný metabolizmus, v ktorom sa vytvára CO<sub>2</sub>, že je adekvátna cirkulácia a je primeraná ventilácie pľúc pri priechodných dýchacích cestách.

## 1 Spôsob merania

Kyslíčnik uhličitý ako viacatómový plyn absorbuje infračervené žiarenie. Lúč infračerveného svetla s vlnovou dĺžkou 4250 nm prechádza cez meraciu komôrku, ktorou prúdi plynná vzorka, pričom jeho výsledná intenzita na meracom senzore koreluje s koncentráciou CO<sub>2</sub>.

Na snímanie vzorky plynu existujú snímače umiestnené priamo v prúde plynu (**mainstream**), pričom nameraná hodnota sa prenáša elektrickým káblom do monitora, ako aj snímače umiestnené v telese monitora, do ktorého je plyn privádzaný hadičkou s použitím nasávacej pumpy (**sidestream**). Oba snímače majú svoje výhody i nevýhody.

V súčasnosti sa pre sidestream metódu používa technológia **microstream**, pri ktorej na meranie postačuje malý objem nasávaného plynu a hadička spájajúca snímač s monitorom sa nezanáša vlhkosťou. Metódu je možné použiť aj u spontánne dýchajúcich pacientov, kedy sa vzorka odoberá z komôrky umiestnenej pred ústami, pričom pacient môže súčasne inhalovať kyslík (obr. 1a), alebo inhalovať kyslík s pretlakom s možnosťou podpornej ventilácie cez nosovú masku (obr. 1b).

**Mainstream** snímače sa miniaturizovali, do jedného malého bloku je v súčasnosti možné umiestniť snímač i zobrazovaciu jednotku (obr. 1c).

Kapnometre sú dnes voliteľnou súčasťou **záchranárskych monitorov** a stávajú sa súčasťou defibrilátorov.



**Obrázok 1a** Monitorovanie EtCO<sub>2</sub> pri spontánnom dýchaní a aplikácii kyslíka (Microstream)



**Obrázok 1b** Monitorovanie ETCO<sub>2</sub> pri aplikácii kyslíka pretlakom

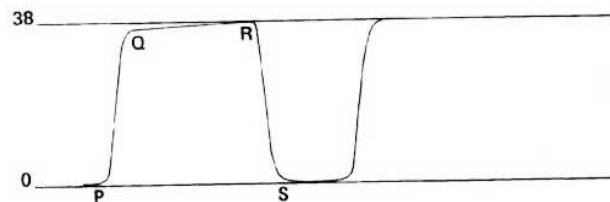


**Obrázok 1c** Miniatúrny kompletný mainstream kapnograf EMMA Massimo

## 2 Kapnografická krivka - kapnogram

Okrem merania hodnoty EtCO<sub>2</sub> (**kapnometria**) je pre prax dôležitý záznam priebehu hodnoty v čase – **kapnografia**. Krivka sa zaznamenáva alebo zobrazuje pri dvoch rýchlostiach: reálna hodnota pri 12,5 mm/sek a trendové hodnoty pri 25 mm/min.

Krivka normálneho kapnografu pozostáva zo **štyroch** fáz (obr. 2). Z východzej nulovej hodnoty (inspírium) dochádza k rýchlemu vzostupu z P na Q. Nasleduje temer horizontálne plató medzi Q a R (mierny vzostup k R). Od R nasleduje rýchly pokles na nulu. Body P, Q, R a S sú ostro lomené, ale mierne zaoblené. Interval PQR predstavuje expírium, SP inspírium. Hodnota v bode R predstavuje end-expiračnú hodnotu CO<sub>2</sub> - **EtCO<sub>2</sub>**.



**Obrázok 2** Normálna kapnografická krivka

### 2.1 Hodnotenie kapnogramu

Pri hodnotení kapnogramu sa zohľadňuje frekvencia kriviek (frekvencia dýchania), rytmus (pravidelnosť dýchania), základná čiara (spätné vdychovanie), výška (EtCO<sub>2</sub>) a tvar krivky.

Základné atribúty kapnogramu:

- existuje iba jeden normálny tvar
- frekvencia závisí od frekvencie dýchania
- rytmus závisí od stavu respiračného centra alebo od funkcie ventilátora
- základňa by mala byť na nulovej úrovni
- výška krivky závisí od hodnoty CO<sub>2</sub> na konci výdychu (koreluje s hodnotou v krvi).

### 2.2 Základné pravidlá pri analýze kapnografickej krivky

Do úvahy sa berie nielen samotný **tvar** krivky, ale aj priebeh hodnoty EtCO<sub>2</sub> v čase (**trend**).

1. **Náhly pokles** EtCO<sub>2</sub> na nulu, alebo na nízku hodnotu, indikuje **technickú** poruchu – zalomená kanyla, porucha prístroja, rozpojenie okruhu, odpojenie pacienta, porucha ventilátora (obr. 3). Pri náhlom poklese na temer nulu treba overiť prítomnosť netesnosti (zároveň je nízky inspiračný tlak) alebo obštrukcie (vysoký inspiračný tlak) v systéme.
2. **Exponenciálny pokles** EtCO<sub>2</sub> v priebehu 1 - 2 minút indikuje náhlu poruchu ventilácie alebo cirkulácie - zastavenie obehu, pľúcna embólia, pokles krvného tlaku, náhla závažná hyperventilácia (obr. 4).
3. **Postupný vzostup** EtCO<sub>2</sub> je prejavom hypoventilácie alebo rýchleho vzostupu telesnej teploty.
4. **Postupný pokles** EtCO<sub>2</sub> svedčí pre narastajúcu hyperventiláciu, znižovanie telesnej teploty, pokles pľúcnej alebo periférnej perfúzie.