

Kapnometrie – více než jen údaj o CO₂

David Astapenko ^{1,2}, Vladimír Černý ¹⁻⁶

¹Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny, Fakultní nemocnice Hradec Králové, Hradec Králové, Česká republika

²Lékařská fakulta v Hradci Králové, Univerzita Karlova, Česká republika

³Centrum pro výzkum a vývoj, Fakultní nemocnice Hradec Králové, Hradec Králové, Česká republika

⁴Klinika anesteziologie, perioperační a intenzivní medicíny, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Masarykova nemocnice v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, Česká republika

⁵Department of Anesthesia, Pain Management and Perioperative Medicine, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada

⁶Technická Univerzita Liberec

Abstrakt

Kapnometrie je jednoduchá, neinvazivní a spolehlivá metoda, která měří hodnotu vydechované koncentrace oxidu uhličitého (EtCO₂). Přínosná je nejen samotná absolutní hodnota EtCO₂, ale i její grafické znázornění v čase – kapnografická křivka. Kapnometrie poskytuje užitečné informace o kardiopulmonálním aparátu pacienta: adekvátní minutová plicní ventilace, srdeční výdej, obstrukce v dýchacích cestách a míra ventilace mrtvého prostoru. Kapnometrie spolehlivě predikuje polohu tracheální rourky v dýchacích cestách a při kardiopulmonální resuscitaci zvyšuje její účinnost a umožňuje s vysokou mírou pravděpodobnosti odhadnout obnovení spontánní cirkulace v průběhu resuscitace.

Klíčová slova: kapnometrie, umělá plicní ventilace, kardiopulmonální resuscitace

Capnometry – more than just the value of CO₂

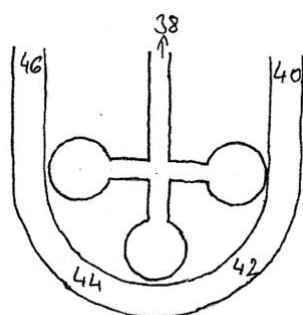
Summary

Capnometry is a simple, non-invasive and reliable method that provides the value of exhaled carbon dioxide (EtCO₂) concentration. Not only the EtCO₂ value itself is beneficial, but also its graphical representation over time - the capnographic curve. Capnometry provides useful information about the patient's cardiopulmonary apparatus: adequate minute lung ventilation, cardiac output, airway obstruction, and dead ventilation. Capnometry further increases the safety of artificial lung ventilation, reliably predicts the position of the endotracheal cannula in the airways and increases the effectiveness of cardiopulmonary resuscitation and allows with a high degree of probability to assess the return of spontaneous circulation during resuscitation.

Key words: capnometry, artificial ventilation, cardiopulmonary resuscitation

Klinická fyziologie a princip kapnometrie

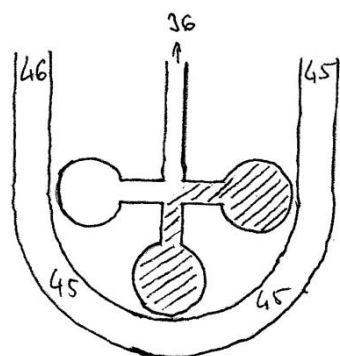
Oxid uhličitý (CO_2) je jeden z výsledných produktů buněčného metabolismu. Přenášen v krvi je několika způsoby: ve formě bikarbonátu vznikajícího v erythrocytech, navázaný na hemoglobin a volně rozpuštěný v plazmě. Normální hodnota obsahu CO_2 v arteriální krvi (kapnémie) je $5,3 \text{ kPa} \pm 0,5 \text{ kPa}$ ($40 \text{ mmHg} \pm 5 \text{ mmHg}$). Z těla je oxid uhličitý eliminován plicemi, vylučování závisí na stavu alveolární ventilace a perfuzi plic. Alveolární ventilace je dána minutovou ventilací plic, velikosti anatomického a fyziologického mrtvého prostoru, aktivitě metabolismu organismu a správně fungujících chemoreceptorech. Za normálních okolností je minutová produkce CO_2 (VCO_2) 200 ml/min . Normální minutová ventilace je kolem 8 litrů/min (dechový objem, $\text{V}_T - 500 \text{ ml}$; dechová frekvence, $\text{DF} - 14-16/\text{min}$). V plicích CO_2 proudí difuzí přes alveolokapilární membránu $20x$ rychleji než kyslík v opačném směru, jeho eliminace v plicích je tedy závislá na perfuzi (obr. 1).



Obr. 1: Ventilacně perfuzní vztah zdravé plicé.

Čísla představují hodnoty koncentrace (tenze) CO_2 v mmHg. Na levé straně arteriální část plicní kapiláry, na pravé straně venózní část. Šipka udává hodnotu EtCO_2 .

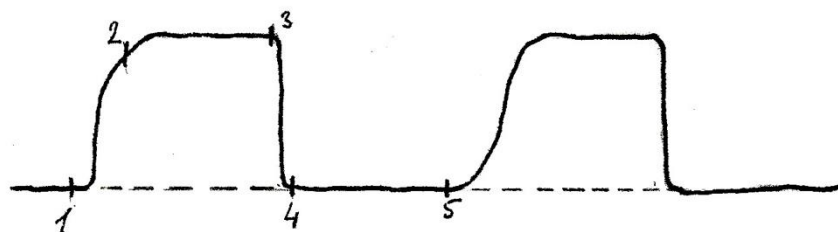
Koncentraci CO_2 lze měřit jak v krvi (vyšetřením krevních plynů), tak ve vydechaném vzduchu, na konci výdechu – EtCO_2 (Et – *end tidal*). Měření ve vydechaném vzduchu funguje na principu pohlcování infračerveného světla. Hodnotit lze v průběhu výdechového ramena okruhu umělé plicní ventilace (tzv. *main stream* – hlavní proud), tak aktivním odtažením vzorku z výdechového ramene (tzv. *side stream* – boční proud). Metoda je rychlá, spolehlivá a neinvazivní – lze měřit i při nezajištěných dýchacích cestách (např. při použití obličejové masky během iniciální fáze KPR). Normální hodnota EtCO_2 je $35-45 \text{ mmHg}$ (resp. $4,6-6 \text{ kPa}$). Fyziologická alveolokapilární diference je $2-5 \text{ mmHg}$ (resp. $0,5 \text{ kPa}$). Při vyšším rozdílu, resp. nižší hodnotě EtCO_2 , než je hodnota PaCO_2 ve smíšené žilní krvi dochází k tzv. ventilacně–perfuznímu nepoměru. Tento stav je typický u pacientů s plicním edémem, těžkou pneumonií, mimoplicní formou akutní respirační tísně dospělých (ARDS), aspirací nebo inhalačním traumatem. Alveoly jsou „zalité“ edémovou (transudát) nebo zánětovou (exsudát) tekutinou a v přilehlých kapilárách nedochází k adekvátní výměně plynů, vzniká plicní zkrat (obr. 2). Důležité informace poskytuje nejen samotná hodnota EtCO_2 , ale i její projekce v čase – kapnografická křivka (obr. 3).



Obr. 2: Ventilacně perfuzní poměr a plicní zkrat.

V alveolech je přítomna edémová tekutina. Čísla představují hodnoty koncentrace CO_2 v mmHg. Na levé straně arteriální část plicní kapiláry, na pravé straně venózní část. Šipka udává hodnotu EtCO_2 . Je přítomna patologicky vysoká alveolokapilární diference.

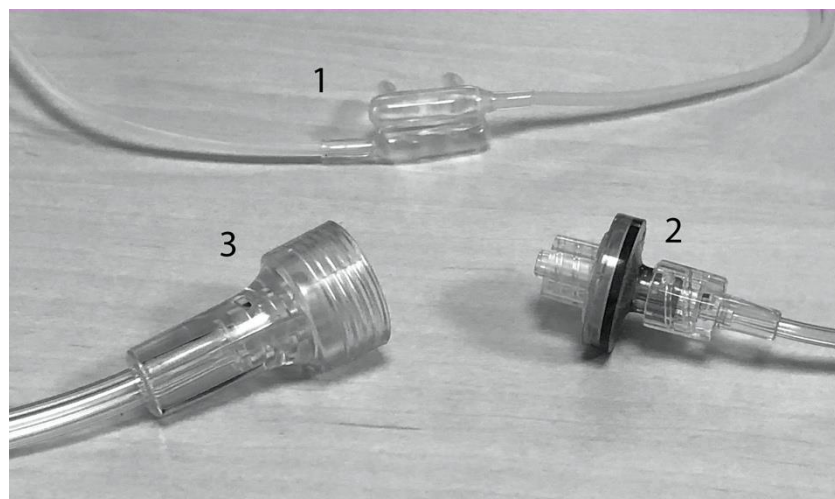
Obr. 3: Fyziologická kapnografická křivka.



Obr. 3: 1–2 zahájení výdechu vzduchu z mrtvého prostoru; 2–3 výdech alveolárního vzduchu s plató a hodnotou EtCO₂; 3–4 zahájení nádechu vzduchu z anatomického mrtvého prostoru; 4–5 nádech atmosférického vzduchu.

Využití v urgentní medicíně

Kapnometrie je považována za nedílnou součást bezpečné umělé plicní ventilace (UPV). Při absenci hodnot krevních plynů může být v průběhu UPV využita k orientační kontrole adekvátnosti nastavené minutové ventilace. Použití kapnometrie rovněž umožňuje včasnou identifikaci řady situací, které mohou vést k poškození pacienta (např. rozpojení okruhu, nedostatek kyslíku při používání tlakových lahví, obstrukce tracheální rourky) v důsledku nepoznané hypoxie [1]. Při zajištění dýchacích cest je kapnometrie spolehlivou metodou kontroly pozice tracheální rourky nebo tracheostomické kanyly v dýchacích cestách [2], s využitím nejenom v podmínkách nemocniční péče, ale i např. v rámci transportu nemocných na UPV [1]. Monitorace EtCO₂ zvyšuje rovněž bezpečnost sedace [3], v těchto případech jsou používány systémy kombinující oxygenoterapii a monitoraci EtCO₂ (obr. 4) [4]. Kapnometrie se stala i nedílnou součástí kardiopulmonální resuscitace (KPR) [5], kde umožňuje (za předpokladu, že nejde o zástavu oběhu vyvolanou primárně plicní příčinou) posouzení efektivity masáže a odhad míry pravděpodobnosti obnovení spontánní cirkulace (ROSC). Při optimálně prováděné nepřímé srdeční masáži dosahuje EtCO₂ hodnot kolem 20 mmHg. Při náhlém vzestupu signalizuje ROSC a je v tomto ohledu spolehlivějším prediktorem než palpace krčních tepen s nutností přerušit nepřímou srdeční masáží [6] a v porovnání s novými metodami, jako např. dopplerovské vyšetření průtoku v karotidách, je zlatým standardem [7]. Hodnota EtCO₂ pod 10 mmHg prakticky vylučuje ROSC a příznivou dlouhodobou prognózu [8]. Kapnometrii lze při KPR provést i při nezajištěných dýchacích cestách při použití těsně přiléhající obličejové masky s držením oběma rukama.



Obr. 4: Duální nosní brýle
1 – nosní část s kanylami (vrchní část je napojena na kapnometrii, spodní část přivádí kyslík)
2 – napojení na kapnometrii
3 – napojení na zdroj kyslíku

Diagnostika a intervence na základě hodnoty či změny EtCO₂

Hodnota EtCO₂ a její změny v čase mohou přispět k analýze příčiny klinického stavu a korigovat probíhající léčebné intervence.

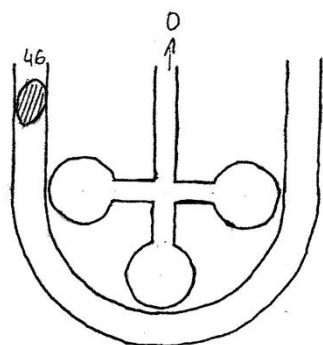
Při zahájení UPV:

Nízká hodnota EtCO₂ může být u pacienta, který hyperventiloval a má respirační alkalózu (např. u velmi bolestivých stavů) a při nízkém srdečním výdeji (rozsáhlý akutní infarkt myokardu, dekompenzace chronického srdečního selhávání, myxedémové kóma, intoxikace β -blokátory).

Vysoká hodnota EtCO₂ provází exacerbace chronické obstrukční plicní nemoci (lze měřit i při použití celo-obličejové masky pro neinvazivní podpůrnou ventilaci), záchvat asthma bronchiale (pokud pacient dospěje až k zajištění dýchacích cest), sepsi a tyreoidální bouři.

Během UPV:

Při náhlém poklesu hodnoty EtCO₂ musíme vždy vyloučit technickou závadu (rozpojení okruhu, obstrukci nebo dislokaci tracheální rourky). Náhlý pokles obecně signalizuje zvýšení ventilace mrtvého prostoru. Tento stav je nejčastěji vyvolán plicní embolií (obr. 5), méně často rychle se horšícím ventilačně-perfuzním nepoměrem plic (viz obr. 2). Náhlý vzestup hodnoty EtCO₂ upozorní na nastavení nízké dechové frekvence (tedy hypoventilaci), provází reperfuzi (např. u pacientů s ROSC po KPR) a je přítomen u velmi vzácné maligní hypertermie po použití suxamethonia pro tracheální intubaci [9].



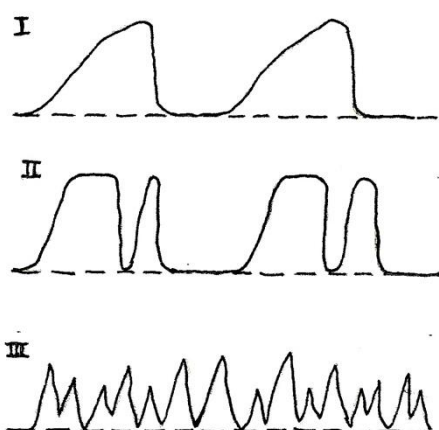
Obr. 5: Znázornění ventilace mrtvého prostoru při plicní embolii. Ventilované alveoly kolem sebe nemají perfundovanou kapilární síť. Číslo udává hodnotu tenze CO₂ v arteriálním konci plicní kapiláry. Šipka udává vydechovanou koncentraci CO₂ z okrsku mrtvého prostoru.

Změna tvaru kapnografické křivky

Fyziologický tvar kapnografické křivky (viz obr. 2) je přítomen u pacienta, který nemá výraznou patologii dýchacích cest. U pacienta s těžkou obstrukcí v bronchiálním stromu (bronchospasmus, CHOPN, asthma bronchiale) není přítomné typické dlouhé plató a křivka nabývá charakteristického úkosu. Při účinnosti naší terapie můžeme často pozorovat normalizaci křivky ještě během transportu do zdravotnického zařízení (viz obr. 6/I) [10]. Pozor, adekvátní terapie však nemusí být vždy účinná.

U pacienta se spontánní dechovou aktivitou a reziduální svalovou relaxací pozorujeme nepravidelnou křivku, na které lze vystopovat řízené dechy ventilátorem a vlastní dechy pacienta. Tento nesoulad mezi dechovým úsilím pacienta a nastaveným ventilačním režimem UPV se nazývá interference (obr. 6/II).

Při provádění nepřímé srdeční masáže během KPR je kapnografická křivka zatížena četnými artefakty, ale udávaná hodnota EtCO₂ odpovídá většinou reálné hodnotě (obr. 6/III) [8].



Obr. 6: Nepravidelnosti kapnografické křivky

I – obstrukce v dýchacích cestách

II – interference s UPV

III – artefakty při nepřímé srdeční masáži při KPR

Detailní popis viz text.

Body k zapamatování

- 1) *Kapnometrie je jednoduchá, neinvazivní a spolehlivá metoda zvyšující bezpečnost postupů zajištění dýchacích cest a umělé plicní ventilace*
- 2) *Obvyklé cílové hodnoty EtCO₂ během UPV jsou v rozmezí 35–45 mmHg (vyjma speciálních klinických situací)*
- 3) *Náhlé změny v hodnotách EtCO₂ anebo tvaru křivky musí být vždy neprodleně vyhodnoceny*
- 4) *Kapnometrie během KPR přispívá ke zvýšení účinnosti srdeční masáže a umožňuje odhadnout pravděpodobnost ROSC*

Reference

- [1] Syrovátka L, Deyl I. Přínos kapnometrie v PNP. *Anest Intenziv Med* 2001; 11(3):151–154.
- [2] Bullock A, Dodington JM, Donoghue AJ, Langhan ML. Capnography use during intubation and cardiopulmonary resuscitation in the pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care Lippincott Williams and Wilkins* 2017; 33(7):457–61.
- [3] Hinkelbein J, Lamperti M, Akeson J, Santos J, Costa J, Robertis E, et al. European Society of Anaesthesiology and European Board of Anaesthesiology guidelines for procedural sedation and analgesia in adults. *Eur J Anaesthesiol.* 2018; 35(1):6–24.
- [4] Aminiahidashti H, Shafiee S, Zamani Kiasari A, Sazgar M. Applications of End-Tidal Carbon Dioxide (ETCO₂) Monitoring in Emergency Department; a Narrative Review. *Emerg (Tehran, Iran) Shahid Beheshti University of Medical Sciences* 2018; 6(1):e5.
- [5] Monsieurs KG, Nolan JP, Bossaert LL, Greif R, Maconochie I, Nikolau NI, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015. *Resuscitation* 2015; 95:1–80.
- [6] Semmons R, Falk J. Predicting a pulse: Can monitoring heart rate and end-tidal carbon dioxide minimize compression pauses and impact outcomes in out-of-hospital cardiac arrest? *Resuscitation* 2013; 84(1):3-4.
- [7] Yilmaz G, Silcan M, Serin S, Caglar B, Erarslan Ö, Parlak I. A comparison of carotid doppler ultrasonography and capnography in evaluating the efficacy of CPR. *Am J Emerg Med W.B. Saunders* 2018; 36(9):1545–49.
- [8] Kodali BS, Urman RD. Capnography during cardiopulmonary resuscitation: Current evidence and future directions. *J Emerg Trauma Shock* 2014 Oct-Dec; 7(4): 332–340.
- [9] Rosenberg H, Pollock N, Schiemann A, Bulger T, Stowell K. Malignant hyperthermia: a review. *Orphanet J Rare Dis BioMed Central Ltd.* 2015; 10(1):1–19.

- [10] Babik B, Csorba Z, Czövek D, Mayr PN, Bogáts G, Peták F. Effects of respiratory mechanics on the capnogram phases: importance of dynamic compliance of the respiratory system. Crit Care BioMed Central 2012; 16(5):R177.

MUDr. David Astapenko, Ph.D.
Fakultní nemocnice Hradec Králové
Sokolská 581
500 05 Hradec Králové

E-mail: astapenko.d@seznam.cz

Příspěvek došel do redakce 21. srpna 2020, po úpravách přijat k tisku 25. srpna 2020