

Veterinární univerzita Brno

Fakulta veterinárního lékařství

Klinika chorob psů a koček

Oddělení chirurgie a ortopedie



MONITORING ANESTEZIE

PSA A KOČKY

MVC. Tereza Pipišová

MVDr. Veronika Fojtíková

MVDr. Lukáš Novák, Ph.D.

MVDr. Petr Raušer, Ph.D.

Brno 2022

Projekt IVA VFU

2022FVL/1660/13

OBSAH

KLINICKÝ MONITORING.....	3
Cirkulace.....	4
Dýchání.....	4
Oční projevy	5
Faryngeální reflex.....	6
Svalový tonus	6
Bolestivost	7
PŘÍSTROJOVÝ MONITORING.....	7
Elektrokardiografie (EKG).....	7
Pulsní oxymetrie	10
Systémový krevní tlak	11
Kapnometrie a kapnografie	15
Spirometrie	17
Teplota	18
Svalové uvolnění	19
Glykémie	20
Produkce moči	21
Acidobazická rovnováha, krevní plyny	22

Monitorování zvířete během anestezie snižuje riziko komplikací včetně úmrtí. Brodbelt popisuje, že přibližně 0,1 – 0,2 % zdravých a 0,5 – 2 % nemocných psů a koček uhynie v souvislosti s anestézií. Perianestetický monitoring lze rozdělit do dvou skupin: **klinický** a **přístrojový** monitoring. V průběhu anestezie je vhodné oba způsoby vzájemně kombinovat, abychom dosáhli co nejpřesnějšího přehledu o stavu zvířete. Výhody a nevýhody jednotlivých typů jsou uvedeny v tabulce 1. Před anestézií je také vhodné zkontrolovat dostupnost léků (anestetik, antagonistů a dalších) a také funkčnost přístrojových systémů a pomůcek pro anestezii.

Tabulka 1: Srovnání výhod a nevýhod klinického a přístrojového monitoringu

Klinický monitoring	Přístrojový monitoring
+ levný + nenáročný na vybavení	+ relativně přesný + aktuální hodnoty + trendy
- některé ukazatele neměřitelné - nepřesný, nutná zkušenost - chybí hodnoty	- drahý - "elektronická chyba"

Během anestezie rozlišujeme čtyři fáze (tzv. Guedelovo schéma): analgezie, excitace, fáze chirurgické anestezie a paralýzy. Každá fáze se vyznačuje jiným stupněm útlumu vědomí, ale také rozdílnou funkcí životně důležitých systémů (viz dále). Jedním z cílů monitoringu je udržet zvíře ve fázi chirurgické anestezie po celou dobu výkonu.

KLINICKÝ MONITORING

Během klinického (neelektronického) monitoringu lze využít několik smyslů – zrak, hmat, sluch, čich. Zrakem lze hodnotit např. barvu sliznic, pohyby hrudního koše, rotaci očního bulbu. Hmat využijeme k hodnocení periferního pulsu, času kapilárního plnění, očních reflexů a teploty povrchu těla zvířete. Auskultačně hodnotíme např. srdeční ozvy a dýchací šelesty. Čichem lze odhalit např. netěsnosti inhalačního systému.

Cirkulace

V rámci sledování cirkulace lze klinicky monitorovat puls, čas kapilárního plnění a barvu sliznic.

Puls (tep) palpujeme nejčastěji na *arteria femoralis*, měříme tepovou frekvenci a kvalitu pulsu. Ve fázi chirurgické anestezie by měl být puls pravidelný, bez arytmií. Při úvodu do anestezie může být puls silnější, zrychlený, mohou se objevit arytmie.

Čas kapilárního plnění (CRT, *Capillary Refill Time*) posuzujeme mírnou kompresí nepigmentované sliznice, nejčastěji v dutině ústní. Sliznice by po uvolnění komprese měla nabýt původní růžovou barvu do 1 vteřiny. Při přechodu do hlubokých fází anestezie se čas kapilárního plnění prodlužuje.

Sliznice by měly být vždy růžové. Barvu sliznic bychom měli posuzovat za denního světla. Při použití α -2 adrenergických agonistů může vlivem periferní vazokonstrikce docházet na sliznicích k barevným změnám.

Změny cirkulace při jednotlivých fázích anestezie shrnuje tabulka 2.

Tabulka 2: Projevy cirkulace při jednotlivých fázích anestezie

Parametr	I. fáze analgezie	II. fáze excitace	III. fáze chirurgické anestezie			IV. fáze paralýzy
			a)	b)	c)	
Puls	silný, zrychlený	(arytmie)	pravidelný			nehmatný
CRT	< 1 s			> 1 s		
Barva sliznic	růžová					cyanóza

Dýchání

Dechovou činnost posuzujeme adspekčně, kdy sledujeme pohyby hrudníku. Hodnotíme frekvenci, hloubku a typ dýchání. Ve fázi chirurgické anestezie by dýchání mělo být pravidelné, dostatečně hluboké, diafragmatické.

V analgetické fázi může docházet k zadržování dechu nebo k jeho zrychlení. Nejrizikovější fáze pro zvíře je fáze excitace, kdy může nastat i apnoe. Nepravidelné dýchání se obvykle

vyskytuje pouze na začátku anestezie nebo při probouzení. Pokud se dech změní z hlubokého na povrchní, může hrozit přechod do paralytického stádia.

Projevy dechové činnosti při jednotlivých fázích anestezie shrnuje tabulka 3.

Tabulka 3: **Projevy dýchání při jednotlivých fázích anestezie** (↑↑↑ výrazně zvýšený, ↓ mírně snížený, ↓↓ středně snížený, ↓↓↓ výrazně snížený)

Parametr	I. fáze analgezie	II. fáze excitace	III. fáze chirurgické anestezie			IV. fáze paralýzy
			a)	b)	c)	
Dechový objem	↑↑↑ zadržování dechu	zadržování dechu	↓	↓↓	↓↓↓	
Hloubka dýchání	hluboké	povrchní	hluboké	povrchní		zástava
Typ dýchání	smíšené			diafragmatické		apnoe
Pravidelnost	nepravidelné		pravidelné			

Oční projevy






Mezi další důležité ukazatele patří oční projevy. V počátečních fázích anestezie se setkáváme s nystagmem. Zvíře může vykazovat záškuby očního bulbu, případně může bulbus mírně rotovat. Ve fázi chirurgické anestezie je oční bulbus rotován ventrálním směrem. Vymizí reflexy (palpebrální a korneální) a oko přestává slzet (je třeba rohovku a spojivkový vak lubrikovat).

Při snížení hloubky anestezie se bulbus vrací zpátky do centrální polohy, oko je v mióze a zvíře se budí. Pokud dojde k návratu do centrální polohy a oko je v mydriáze, zvíře přechází do paralytické fáze.

Oční projevy mohou být ovlivněny použitými anestetiky (atropin, disociační anestetika), myorelaxancii nebo očními abnormalitami (uveitida, glaukom).

Oční projevy při jednotlivých fázích anestezie shrnuje tabulka 4.

Tabulka 4: **Oční projevy při jednotlivých fázích anestezie** (+++ normální intenzita, ++ snížená intenzita, + slabá intenzita, 0 vymizelý)

Parametr	I. fáze analgezie	II. fáze excitace	III. fáze chirurgické anestezie			IV. fáze paralýzy
			a)	b)	c)	
Bulbus		nystagmus	ventrálně rotovaný			
Poloha bulbu/Stav pupily						
Pupilární reflex	+++	++	+	-	-	-
Slzení	+++	++	-	-	-	-
Víčkový reflex	+++	++	-	-	-	-
Rohovkový reflex	+++	+++	+	-	-	-

Faryngeální reflex

Vymizení tohoto reflexu je důležité pro provedení intubace, sondáže či endoskopie gastrointestinálního traktu. Faryngeální reflex vymizí mezi excitační fází a fází chirurgické anestezie.

Při použití disociačních anestetik tento reflex může vymizet až v pozdějších stádiích anestezie. U koček vymizí až v případě, kdy kočka přechází do středního až hlubokého stádia chirurgické anestezie.

Svalový tonus

Všechny svaly nerelaxují stejně rychle. Nejdříve relaxují svaly očních víček, okohybné svaly, svaly hltanu, hrtanu a žvýkací svaly. Posléze relaxují svaly distální části hrudních a pánevních končetin, a poté svaly proximálních částí hrudních končetin. Poslední ze svalů na končetinách relaxují proximální části pánevních končetin. Nejpozději relaxují svaly stěny břišní, mezižeberní svaly a jako úplně poslední bránice. K obnově funkce svalů dochází přibližně v obráceném pořadí.

Pokud dojde k uvolnění análního svěrače, je nutné zkontrolovat hloubku anestezie. Jeho uvolnění je jeden z příznaků, kdy zvíře přechází do stádia paralýzy.

Svalový tonus ovlivňují některá anestetika a myorelaxancia.

Bolestivost

Bolestivost je důležitým klinickým parametrem ať už v průběhu anestezie nebo při plném vědomí.

Mezi klinické projevy bolestivosti můžeme zařadit vzestup dechové a srdeční frekvence, krevního tlaku nebo teploty, mění se velikost pupily – mydriáza, dále dochází ke zvýšené produkce slin – zejména u koček, k vokalizaci, k odezvě na palpaci, ke změně mentálního stavu, spontánního chování, zvířata vykazují známky agrese nebo naopak apatie.

Bolestivost lze kvantifikovat i laboratorně hladiny katecholaminů, kortizolu nebo glukózy.

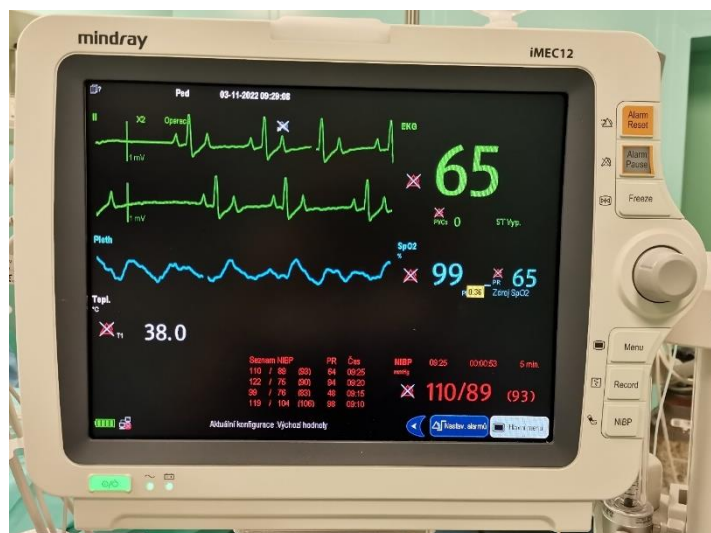
PŘÍSTROJOVÝ MONITORING

Přístrojový (elektronický) monitoring nám přináší důležité informace o stavu zvířete, které nelze získat klinickým vyšetřením. Přístrojový monitoring poskytuje relativně přesné hodnoty měřitelných ukazatelů.

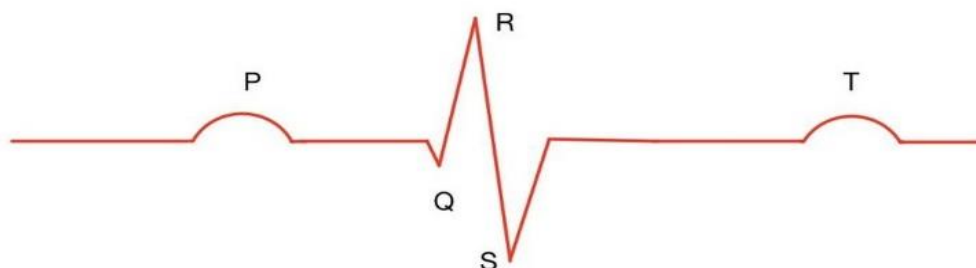
Elektrokardiografie (EKG)

Elektrokardiografie je grafická prezentace elektrické srdeční aktivity (obrázek 2 a 3). Používá se pro detekci a charakteristiku arytmí, poruch převodu vzduchu, detekci zvětšené srdeční komory, odhalení ischemie myokardu a dalších. Jde o základní přístrojovou monitorovací metodu. Neposkytne nám úplné informace o funkčnosti srdce, to nám poskytnou další vyšetření, např. ultrasonografické.

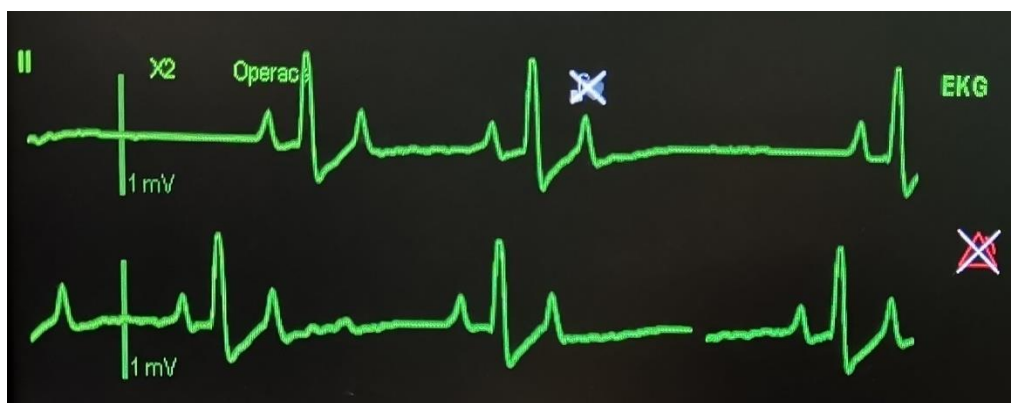
Obrázek 1: Monitor životních funkcí



Obrázek 2: **EKG křivka** (P – vlna P, QRS – komplex QRS, T – vlna T)



Obrázek 3: **Záznam EKG křivky z monitoru životních funkcí**



Při anestezii se většinou používá tři svodový systém, kdy se svody (elektrody) zapojují do blízkosti srdce nebo na obě hrudní a levou pánevní končetinu. Elektrody na zvíře lze připevnit krokosvorkami (nevýhodou je traumatizace kůže; obrázek 4) nebo elektrody přilepíme na neosrstěnou (hlavní polštářek tlapky; obrázek 5) nebo oholenou část těla.

Další možností je snímání EKG jícnovou sondou (obrázek 6), která na svém konci obsahuje všechny tři EKG elektrody. Sonda se zavádí u zvířat v anestezii jícnem nad bází srdeční (obrázek 7). Součástí jícnové EKG sondy obvykle bývá teplotní čidlo pro měření jícnové teploty.

V průběhu anestezie je elektrokardiografie u zvířat spolehlivě použitelnou metodou pouze pro hodnocení srdeční frekvence a srdečního rytmu.

Obrázek 4, 5: **Krokosvorky s připevněnou elektrodou pro záznam EKG (vlevo) a elektrody na hlavním polštářku tlapky (vpravo)**



Obrázek 6, 7: **Jícnová EKG sonda (vlevo) a naměření správné vzdálenosti jícnové EKG sondy (vpravo)**



Pulsní oxymetrie

Pulsní oxymetrie nás informuje o saturaci hemoglobinu kyslíkem. Nepřímo nás informuje o úrovni dýchání – výměně plynů v plicích a o perfuzi tkání, kde je čidlo umístěno. Čidlo přikládáme na místo, které je dobře prokrvené a není pigmentované – nejčastěji jazyk (obrázek 8), ucho, rektum, kůže prstů atd. Hodnota saturace hemoglobinu kyslíkem v případě, že zvíře dýchá vzduch s 21 % kyslíku, by měla být vyšší než 96 %. Pokud je vzduch obohacený kyslíkem, saturace by se měla pohybovat nad 98 %. Za hypoxii považujeme stav, kdy je saturace hemoglobinu kyslíkem pod 90 %.

Obrázek 8: Čidlo pro měření pulsni oxymetrie připevněné na jazyku



Kromě absolutní hodnoty saturace hemoglobinu kyslíkem můžeme monitorovat i pletysmografickou křivku (obrázek 9), která udává informace o vlastní pulsni aktivitě.

Obrázek 9: Záznam pletysmografické křivky a hodnota saturace hemoglobinu kyslíkem z monitoru životních funkcí



Pulsní oxymetrie je parametr přístrojového monitoringu, který je nejvíce zatížený chybou. Je třeba použít správné čidlo pro konkrétní měřenou tkáň. U zvířete může dojít k ischemizaci tkáně v důsledku její hypoperfuze např. při použití látek zvyšujících periferní vaskulární rezistenci (vasokonstrikci), jakými jsou např. α_2 agonisté a disociační anestetika. Výsledky pulsní oxymetrie ovlivňuje i pigmentace měřených tkání nebo elektrokauterizace.

Systémový krevní tlak

Systémový krevní tlak je parametr, na kterém se podílí srdeční frekvence, tepový objem a systémová vaskulární rezistence. Krevní tlak může být vysoký i v případě nízké srdeční frekvence, malého tepového objemu, ale vysoké systémové rezistence. Můžeme měřit systémový krevní tlak **arteriální** a **venózní**.

Arteriální krevní tlak můžeme měřit systolický (SAP, *Systolic arterial pressure*) a diastolický (DAP, *Diastolic arterial pressure*) krevní tlak, výpočtem pak získáme i střední arteriální krevní tlak (MAP, *Mean arterial pressure*). Arteriální krevní tlak lze měřit přímo a nepřímě.

Mezi nejčastěji používané metody měření **arteriálního krevního tlaku** patří nepřímé metody, mezi které řadíme oscilometrii a ultrazvukovou metodu. Při oscilometrii tlak manžety (obrázek 10) vnímá odezvy pulsní vlny. Manžetu můžeme přiložit na distální části končetin nad místo arterie (obrázek 12) nebo na kořen ocasu. Velikost šířky manžety (obrázek 11) musí mít 40 % obvodu končetiny nebo ocasu v daném měřeném úseku. Pokud použijeme nesprávnou velikost manžety, může být tlak poddimenzovaný při příliš široké manžetě nebo naddimenzovaný při příliš úzké manžetě. Touto metodou můžeme měřit SAP i DAP, výpočtem pak získáme i MAP.

Obrázek 10: Manžety pro oscilometrické měření krevního tlaku



Obrázek 11, 12: Měření správné šířky manžety (vlevo) a přiložení adekvátní manžety (vpravo)



Ultrazvuková metoda využívá Dopplerův efekt (obrázek 14). Ultrazvukové čidlo přiložíme na končetinu na kůži nad periferní arterii (obrázek 13) tak, aby byla ultrazvukem detekována pulsní vlna, což se projeví zvukovým šumem.

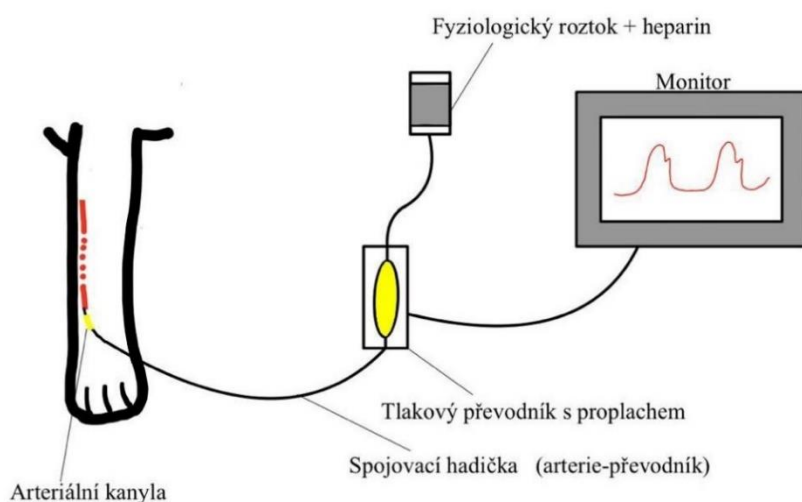
Obrázek 13, 14: Přiložení ultrazvukového čidla na arterii (vlevo) a měření krevního tlaku ultrazvukovou metodou (vpravo)



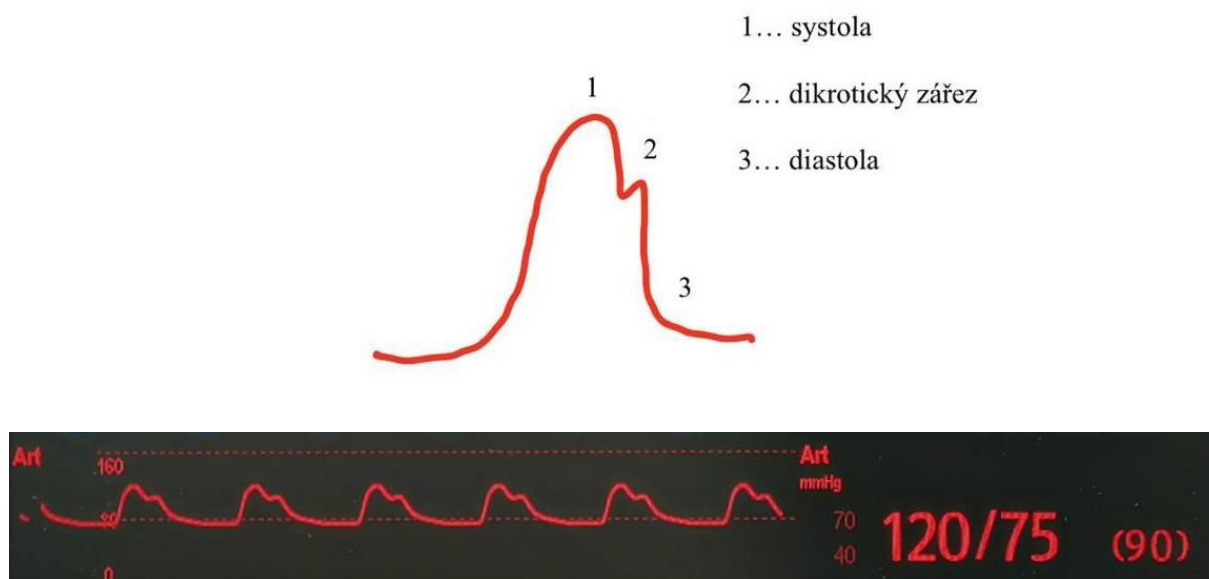
Proximálně mezi čidlo a srdce se přiloží manžeta, která se nafoukne. Tím se zaškrtní proudění krve do končetiny, přestane být detekována pulsní vlna a zvukový šum. Následně začneme z manžety upouštět vzduch. V momentě, kdy začneme opět detekovat pulsní vlnu a zvukový šum, dojde k obnově perfuze. V tomto okamžiku odečteme u psů na tlakoměru hodnotu systolického arteriálního tlaku. Tato metoda se považuje za přesnější ve srovnání s oscilometrií. U koček se vzhledem k vysoké srdeční frekvenci považuje naměřená hodnota za střední arteriální tlak.

Přímá metoda měření **arteriálního tlaku** je nejpřesnější, ale také nejvíce invazivní. Do arterie (nejčastěji do *arteria dorsalis pedis*) zavedeme katétr kontinuálně proplachovaný heparinizovaným fyziologickým roztokem a tuto soustavu spojíme přes tlakový převodník s monitorem (obrázek 15). Získáme tím také křivku arteriálního tlaku (obrázek 16 a 17).

Obrázek 15: Schéma měření krevního tlaku přímou metodou



Obrázek 16, 17: Schéma a popis křivky arteriálního tlaku (nahore) a záznam křivky arteriálního tlaku z monitoru životních funkcí (dole)



O cirkulujícím objemu tekutin a o funkčnosti srdce (zejména pravého) nás informuje **centrální venózní tlak** (CVP, *Central Venous Pressure*). Katétr (nejlépe centrální venózní) zavedeme přes *vena jugularis* před pravou síň a tlakovým převodníkem propojeným s monitorem nebo pomocí vodního sloupce získáme hodnoty centrálního venózního tlaku. Normální hodnoty centrálního venózního tlaku by měly být u psů 0 – 5 cm H₂O. Kromě centrálního lze měřit i periferní žilní tlak, jeho přínosnost a výpovědní hodnota jsou však limitovány, proto se jeho měření běžně neprovádí.

Kapnometrie a kapnografie

Jedním z nejpřínosnějších monitorovacích způsobů je kapnometrie, při které měříme koncentraci oxidu uhličitého v průběhu dechové akce. Nepřímo nás tím získáme informaci nejen o ventilaci a perfuzi plic, ale i o dalších částech dýchacího systému nebo inhalačního zařízení. Koncentraci oxidu uhličitého můžeme měřit buď technikou *main-stream* (elektronické čidlo je napojeno na konec endotracheální rourky; obrázek 18) nebo technikou *side-stream* (od konce endotracheální rourky se sběrnou hadičkou odebírají vzorky plynu, které se analyzují v monitoru; obrázek 19).

Obrázek 18: Čidlo pro *main-stream* techniku měření koncentrace CO₂



Technika *main-stream* je rychlejší ale méně přesná, technika *side-stream* je naopak pomalejší ale přesnější. Pro správnou funkci měření je zpravidla třeba, aby bylo zvíře zaintubováno a endotracheální rourka byla dostatečně utěsněna. Výjimečně však lze technikou *side-stream* měřit koncentraci CO₂ v anestetické masce.

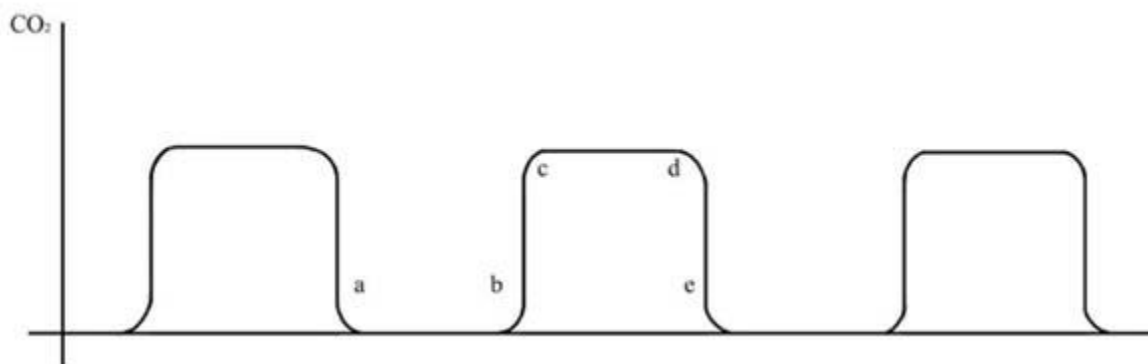
Nejdůležitější hodnotou je koncentrace oxidu uhličitého na konci výdechu – tzv. endexpirační koncentrace CO_2 (ETCO_2 , *End-Tidal CO_2*), jejíž fyziologické hodnoty by se měly pohybovat v rozmezí 35 – 40 mm Hg nebo 4,6 – 5,3 kPa.

Kapnografie zaznamenává křivku koncentrace CO_2 v průběhu celého dechového cyklu (obrázek 20 a 21).

Obrázek 19: **Napojení vzorkovací hadičky (žlutá šipka) pro *side-stream* techniku měření koncentrace CO_2**



Obrázek 20: **Schéma a popis kapnografické křivky** (a-b bazální linie, b-c exspirium, c-d expirační plató, d *End-Tidal CO_2* , d-e inspirium)



Obrázek 21: Záznam kapnografické křivky a hodnoty ETCO₂ z monitoru životních funkcí



Kapnografie zobrazuje patologické změny velmi rychle. Pulsní oxymetrie obvykle reaguje se zpožděním, EKG křivka přitom nemusí vykazovat změny žádné. Krevní tlak nám ukáže aktuální změny pouze tehdy, pokud ho měříme invazivně.

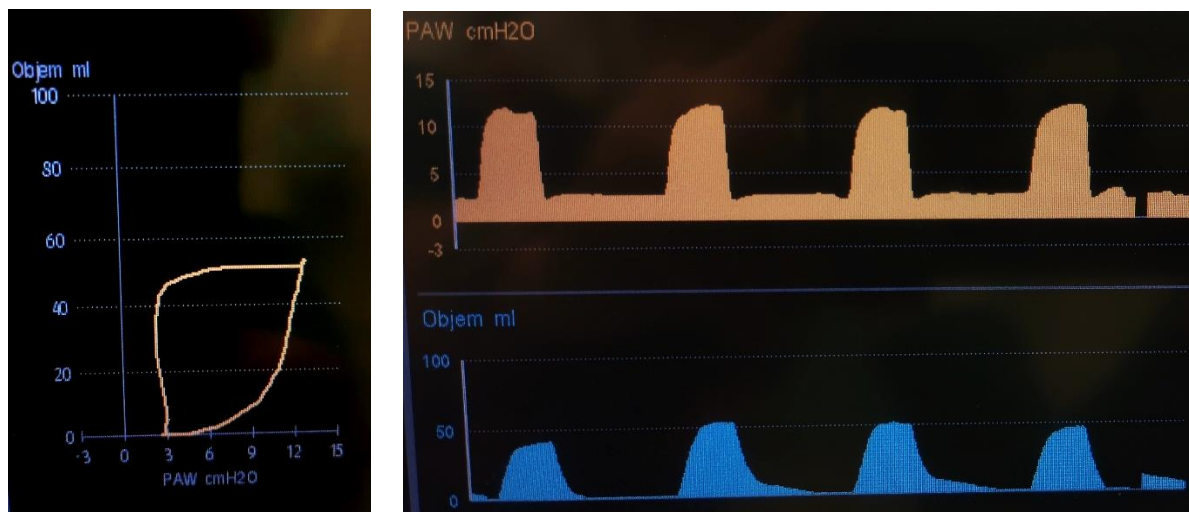
Spirometrie

Spirometrie patří mezi nákladnější metody přístrojového monitoringu. Informuje nás o ventilaci pomocí tzv. Pitotovy trubice (obrázek 22). Měří rychlost proudění plynu, na jehož základě vypočítává objem plynu, dále měří tlak a počítá poddajnost plic (*compliance*). Mimo číselných hodnot poskytuje spirometrie různé typy křivek, např. křivka závislosti průtoku na objemu, tlaku na objemu a další (obrázek 23 a 24). Na základě změn křivek, můžeme odhalit řadu patologií např. emfyzém plic, intratorakální obstrukce a další.

Obrázek 22: Spirometrická koncovka s Pitotovou trubicí a konektory pro spirometrii (2x) a pro kapnografii (1x)



Obrázek 23, 24: **Záznam spirometrické křivky závislosti tlaku na objemu (vlevo) a záznam tlakové (oranžová křivka) a objemové křivky (modrá křivka) v závislosti na čase z monitoru životních funkcí (vpravo)**



Teplota

Teplotu nejčastěji měříme v rektu nebo v jícnu (obrázek 25) zavedením teplotního čidla (samostatně, případně jako součást jícnové EKG sondy). Jícnová teplota je přibližně o 0,5 – 1 °C vyšší, než teplota rektální a více se blíží teplotě tělesného jádra. Můžeme měřit také teplotu na periférii, např. kůže v meziprstí, která je ovšem podle úrovně perfuze o 2 – 4 °C nižší než teplota tělesného jádra.

Obrázek 25: Zavedení teplotního čidla (žlutá šipka) do jícnu



Svalové uvolnění

Pokud používáme myorelaxancia, zejména periferní nedepolarizující, je vhodné zvíře monitorovat z hlediska stupně svalového uvolnění. Používají se k tomu neurostimulátory, jejichž stimulační elektrody se připevňují do blízkosti průběhu motorických nervů jako např. *nervus ulnaris* nebo *nervus peroneus*. Při stimulaci nervu elektrickým proudem o nízké intenzitě (60 – 80 mA po dobu 0,2 milisekund) generovaným elektrodami zvíře reflexně pohybuje danou končetinou, na níž je umístěno čidlo snímající intenzitu pohybu. Tato technika se označuje akceleromyografie (obrázek 26). Nejčastěji se v klinické praxi používá technika TOF (*Train-of-Four*). Zvíře dostane čtyři impulsy, na něž reaguje čtyřmi pohyby končetiny. Následně se vypočítává poměr mezi intenzitou 1. a 4. pohybu. Pokud je zvíře při vědomí, 1. a 4. pohyb končetiny by měly být srovnatelné, respektive poměr intenzity 4. a 1. pohybu by měl

být větší než 0,9. Pokud dojde k poklesu svalového tonu, tak se intenzita pohybu končetiny s každým následujícím stimulem snižuje. Při úplné relaxaci nereaguje končetina odezvou ani na jeden stimul.

Obrázek 26: Akceleromyografie



Glykémie

Přínosný je také monitoring glykémie. Hladinu krevní glukózy měříme glukometrem (obrázek 27) z krve. Normální hodnoty by měly být 3,1 – 6,7 mmol/l. Glykémie se zpravidla neměří rutině, ale pouze u mladých zvířat, zvířat trpících *diabetes mellitus*, u zvířat v sepsi, zvířat s inzulinomem nebo s křečemi.

Obrázek 27: **Glukometr pro měření hladiny krevní glukózy**



Produkce moči

Produkce moči je parametr, který vypovídá o funkčnosti ledvin a jejich perfuzi, nepřímo tak i o cirkulujícím objemu tekutin. Pokud chceme spolehlivě kvantifikovat produkci moči, je potřeba zavést zvířeti močový katétr, nejlépe Foleyho (obrázek 28). Jinou možností je vážení podložky, do které zvíře močí, případně vážení zvířete samotného. Produkce moči by se měla pohybovat v rozmezí 1 – 2 ml/kg/hod.

Obrázek 28: **Foleyho močový katétr**



Acidobazická rovnováha, krevní plyny

Pro malá zvířata je stanovení krevních plynů a acidobazické rovnováhy důležité při specializovaných výkonech nebo řešení neodkladných situací. Lepší je odběr arteriální krve, u venózní krve může být interpretace omezena. Krev se sbírá do speciálních stříkaček, tak aby byl odběr anaerobní. Následně je nezbytná okamžitá analýza vzorku.