

PŘEHLEDOVÝ ČLÁNEK

Monitorování hloubky celkové anestezie

Divák J.^{1,2}, Frelich M.^{1,2}, Kula R.^{1,2}¹Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny, FN Ostrava²Lékařská fakulta, OU v Ostravě, Ostrava*Anest. intenziv. Med., 27, 2016, č. 6, s. 349–357*

ABSTRAKT

Monitorování v rámci celkové anestezie (CA) můžeme rozdělit na monitorování jednotlivých složek CA (složka: hypnotická, analgetická a svalové relaxace) nebo na monitorování funkce orgánových systémů, mezi které patří monitorování hloubky CA.

Hloubka CA je definována jako pokles činnosti centrální nervové soustavy (CNS) a pokles schopnosti reakce CNS na zevní podněty. Nedostatečnou hloubku CA doprovází vysoké riziko peroperačního procitnutí s vážnými důsledky pro pacienta, včetně posttraumatické stresové reakce a závažných pooperačních psychologických obtíží. Incidence peroperačního procitnutí je uváděna v rozmezí od 0,1 % do 0,2 % a přispívá k němu celá řada rizikových faktorů, a to jak ze strany pacienta, tak ze strany chirurgického výkonu a také ze způsobu vedení CA. Recentní studie přinesly důkazy o tom, že ani příliš hluboká CA není žádoucí a je spojena s horší pooperační prognózou.

Cílem tohoto článku je poskytnout čtenáři základní přehled o možnostech monitorování hloubky CA. Jsou zmíněna doporučení ohledně monitorování hloubky CA a také doporučení postupu při výskytu peroperačního procitnutí.

Přehledový článek byl zpracován s využitím výsledků databáze PubMed/Medline, byla zvolena klíčová slova: „depth of general anaesthesia, monitor, monitoring, awareness“.

KLÍČOVÁ SLOVA

monitorování hloubky celkové anestezie – hloubka celkové anestezie – peroperační procitnutí – EEG – evokované potenciály

ABSTRACT

Divák J., Frelich M., Kula R.: Depth of anaesthesia monitoring

Monitoring in the course of general anaesthesia (GA) may be divided into the monitoring of individual GA components (hypnotic, analgesic and muscle relaxation), and monitoring of the function of organ systems, which also includes monitoring of the depth of GA.

Depth of GA is defined as a decrease of the central nervous system (CNS) activity, and a decrease of the CNS ability to react to external stimuli. Insufficient GA depth is associated with a high risk of perioperative awareness and can lead to serious consequences for the patient, including the post-traumatic stress reaction and serious post-operative psychological consequences. The incidence of perioperative awareness is reported between 0.1 and 0.2%; the condition is associated with a number of risk factors which can be divided into patient factors, surgical procedure factors and risk factors related to the GA management. Recent studies suggest that excessively deep GA may be associated with worsened postoperative prognosis as well.

The aim of the article is to provide the reader with a basic overview of the depth of GA monitoring options. The authors mention recommendations regarding depth of GA monitoring, and recommendations for the management of perioperative awareness.

The review article has been prepared using PubMed/Medline databases, with the following keywords: depth of general anaesthesia, monitor, monitoring and awareness.

KEYWORDS

monitoring the depth of general anaesthesia – depth of general anaesthesia – perioperative awareness – EEG – evoked potentials

1 ÚVOD

Pojem monitorování pochází z latinského slova „monere“ (varovat, připomínat). Základním cílem monitorování je včasná detekce abnormalit fyziologických funkcí. I když má monitorová-

ní obecně kontinuální charakter, jednorázové klinické vyšetření je vždy jeho neoddelitelnou součástí. Umožňuje totiž proces monitorování individualizovat podle potřeb a aktuálního stavu pacienta [1]. Monitorování v rámci celkové

anestezie (dále CA) lze rozdělit na monitorování jednotlivých složek CA a monitorování funkce orgánových systémů.

1. 1 MONITOROVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK CA

Celková anestezie je definována jako reverzibilní útlum CNS navozený nitrožilními nebo inhačními anestetiky, projevuje se ztrátou vědomí, vyřazením vnímání a reakce na zevní nociceptivní podněty [2]. K monitorování jednotlivých složek CA patří monitorování složky hypnotické, analgetické a v případě užití myorelaxancií také monitorování blokády nervosvalového přenosu, tedy:

- hypnotické složce odpovídá úroveň vědomí, respektive bdělosti s možností probudit pacienta vnějším stimul (kupříkladu poklep na glabulu, oslovení) [3];
- analgetické složce odpovídá intenzita autonomní a somatické odezvy na vnější algický stimul. Podstatou této odpovědi je vzájemná kooperace nociceptivního a autonomního nervového systému [3]. Nespecifická autonomní odezva (tachykardie, hypertenze, pocení a slinění) na zevní stimul je vždy známkou bolesti nebo nedostatečné analgetizace. Různé možnosti monitorování autonomního nervového systému využitím analýzy srdeční variability, dopplerovské flowmetrie, pletyzmograficky odvozených indexů a pupilárního reflexu mohou pomoci při monitorování autonomního nervového systému a tím i úrovně analgetizace [4];
- složce nervosvalové blokády odpovídá úroveň reflexní svalové odpovědi na elektrický stimul [3].

1. 2 MONITOROVÁNÍ FUNKCE JEDNOTLIVÝCH ORGÁNOVÝCH SYSTÉMŮ

Další možností je monitorování funkce jednotlivých orgánových systémů klinickým sledováním a pomocí přístrojové techniky [5].

Monitorování můžeme rozdělit na:

- monitorování respirace: dechové frekvence, pulzní oxymetrie, kapnometrie a kapnografie;
- monitorování kardiovaskulárního systému:
 - a) klinicky – sledováním kapilárního návratu, srdeční frekvence, barvy kůže, diurézy;
 - b) pomocí přístrojové techniky – standardně EKG křivka, měření krevního tlaku a v indikovaných případech měření srdečního výdeje;
- monitorování stupně svalové relaxace různými metodami relaxometrie;
- monitorování tělesné teploty;
- monitorování CNS (monitorování hloubky CA) [5].

2 HLOUBKA CELKOVÉ ANESTEZIE

Pojem hloubka CA neboli hloubka hypnózy, označuje pokles činnosti CNS a pokles schopnosti

reakce CNS na zevní podněty [6]. Během chirurgického výkonu je žádoucí dosáhnout adekvátní hloubky celkové anestezie. Zatímco hluboký stupeň CA, jež má za následek utlumení činnosti kardiovaskulárního systému (snadno rozpoznatelnou) a prodlouženou dobu probuzení, opačný jev, mělká anestezie, se monitoruje obtížněji a z pohledu pacientů vyvolává větší obavy. Je proto pro anesteziologickou praxi důležité hodnocení hloubky CA [7].

2. 1 PEROPERAČNÍ PROCITNUTÍ

Procitnutí v průběhu CA s explicitními vzpomínkami – jako důsledek příliš mělké anestezie – je vážná anesteziologická komplikace, která také může nepříznivým způsobem ovlivnit pooperační průběh [8]. Pacientem je často popisováno jako bdělost bez pocitu bolesti, nemožnost pohybu, vnímání chirurgické procedury v průběhu operace, sluchové vjemy, či blíže nespecifikovaná nepříjemná zkušenost z pobytu v nemocnici. Velice vážnou formou je posttraumatická stresová porucha (post-traumatic stress disorder) [9]. Dostupné literární zdroje uvádějí, že přibližně 87 % všech případů procitnutí v průběhu CA je možno přičíst na vrub nedostatečné hloubce CA, mezi další příčiny peroperačního procitnutí patří:

- neočekávaná vyšší spotřeba anestetik pacientem (7 %),
- porucha a nesprávné používání anesteziologických přístrojů (9%) [10].

Tab. 1 Rizikové faktory procitnutí v průběhu CA [9]

Pacient a jeho anesteziologická anamnéza	předchozí epizoda procitnutí
	abúzus drog a alkoholu
	chronická bolest s vysokými dávkami opioidů
	obtížná intubace
	ASA IV–V
Chirurgický výkon	nízká kardiovaskulární rezerva
	kardiochirurgie
	porodnictví – císařský řez
	traumatologie
Vedení anestezie	emergentní chirurgie
	užití nervosvalového relaxancia v udržovací fázi CA
	totální intravenózní anestezie (TIVA)
	kombinace N ₂ O + opioidy
	reduované dávky anestetika v průběhu nervosvalové blokády
	neurochirurgické výkony s monitorováním evokovaných potenciálů: - somatosenzorických (SEP) - motorických (MEP)

Incidence peroperačního procitnutí je uváděna v rozmezí 0,1–0,2 % až 0,3–0,4 %, přičemž tato čísla zahrnují jak podezřelé, tak také potvrzené případy. U pacientů, kteří jsou ohroženi vysokým rizikem výskytu peroperačního procitnutí, se incidence blíží až k 1 % [8]. Například u CA z důvodu císařského řezu je incidence uváděna ve výši 0,4 %, u dětí až 0,8 %. U těžkých polytraumat je uváděna incidence až 11–43 % [9,11]. V rámci prevence peroperačního procitnutí je potřeba věnovat pozornost rizikovým faktorům, jak ze strany pacienta, tak také ze strany chirurgického výkonu a vedení CA (tab. 1) [9].

2. 2 „TRIPLE LOW“

O významu monitorování hloubky CA se tradičně diskutuje především v souvislosti s příliš mělkou CA, tedy s problematikou peroperačního procitnutí. Naproti tomu nedávno publikované studie přinesly důkazy o tom, že ani příliš hluboká CA není žádoucí a je spojena s horší pooperační prognózou. Kupříkladu čas z celkové anestezie, který pacient „stráví“ v pásmu hodnot bispektrálního indexu (dále BIS) < 45, je spojen s vyšší pooperační mortalitou. Očekávaná reakce na vysoké frakce minimální alveolární koncentrace (MAC) anestetika je hypotenze a nižší hodnoty BIS (což ukazuje na hlubší hypnózu a potlačení elektrické aktivity mozku). A naopak nízká hodnota MAP a nebo BIS u pacientů s nízkou frakcí MAC je atypická a může identifikovat pacienty, kteří jsou neobvykle citliví na anestezii a u nichž existuje riziko komplikací. Nízká hodnota BIS v kombinaci s nízkou hodnotou frakce minimální alveolární koncentrace (dále MAC) a středního arteriálního tlaku (dále MAP) – tzv. „triple low“ (MAP < 75 mm Hg, MAC < 0,70, BIS < 45), je považována za významný prediktor prodloužení délky pobytu v nemocnici a také pooperační mortality u nekardiochirurgických operací [12]. Je však nutno uvést, že existují také studie, ve kterých autoři nezjistili spojení mezi kumulativní dobou trvání „triple low“ a pooperační mortalitou u pacientů podstupujících nekardiochirurgický operační výkon [13, 14].

3 METODY MĚŘENÍ HLOUBKY CA

Sledování hloubky CA je monitorováním úrovně hypnózy/sedace a je vedeno s cílem dosažení optimální hloubky CA a tím současně minimalizace rizika peroperačního procitnutí. Anesteziologové v praxi k hodnocení hloubky CA využívají běžně několika metod. Jednou z nich je sledování změn normálních fyziologických proměnných (srdeční akce, krevní tlak), mnohé studie však ukázaly, že tyto parametry nejsou zcela spolehlivé. Další možností je monitorování koncentrace vola-

tilního anestetika ve spojení s koncepcí minimální alveolární koncentrace (MAC) [7]. Hloubka CA navozená určitým inhalačním anestetikem závisí na jeho hladině, respektive na koncentraci, partiálním tlaku daného anestetika v mozku. K dosažení určité hloubky CA je nutná určitá minimální koncentrace inhalačního anestetika v alveolárním vzduchu. Tato koncentrace se označuje pojmem minimální alveolární koncentrace (MAC) a je definovaná jako alveolární koncentrace, při níž 50 % všech pacientů nereaguje obrannými pohyby na incizi kůže. Dále pak byly stanoveny modifikované definice MAC umožňující dokonalejší přizpůsobení hloubky CA na konkrétní podněty: MAC EI₅₀, MAC BAR₅₀ a MAC_{awake} (MAC EI₅₀: alveolární koncentrace anestetika, která u 50 % pacientů umožňuje tracheální intubaci bez komplikací; MAC BAR₅₀: alveolární koncentrace anestetika, která u 50 % pacientů potlačí adrenergní reakci na incizi kůže; MAC_{awake}: alveolární koncentrace, při níž pacienti již nereagují na slovní výzvu)[2]. Bohužel, ani tato metoda hodnocení hloubky CA podle frakce MAC se neukázala jako plně spolehlivá. Jedna rozsáhlá studie ve skutečnosti prokázala, že frekvence probuzení při operaci byla stejná, bez ohledu na to, jestli bylo v průběhu CA použito monitorování MAC či nikoliv. Monitorování koncentrace volatilního

Tab. 2 Metody měření hloubky CA [7]

Klinické hodnocení/tradiční metody		PRST skóre
		vodivost kůže
		technika izolovaného předloktí
		spontánní povrchový elektromyograf
		nižší stažitelnost jícnu
Elektrická aktivita mozku	EEG	variabilita srdeční frekvence
		BIS
		entropie
		narcotrend
		monitor mozkových funkcí
		monitor pro analýzu funkce mozku
		analýzátor stavu pacienta
		SNAP index
	evokované potenciály	monitor pro analýzu funkce mozku
		somatosenzorické evokované potenciály
		vizuální evokované potenciály
		sluchové evokované potenciály

Vysvětlivky: PRST skóre – Pressure Rate Sweating Tears score, BIS – bispektrální index, EEG – elektroencefalogram

anestetika zjevně nemá při aplikaci výhradně nitrožilního anestetika žádný význam [7].

Metody měření hloubky CA lze rozdělit do dvou základních skupin (tab. 2) [7]:

- monitorování hloubky CA založené na klinickém/tradičním sledování,
- monitorování hloubky CA založené na sledování elektrické aktivity mozku.

3. 1 MONITOROVÁNÍ HLOUBKY CA ZALOŽENÉ NA KLINICKÉM/TRADIČNÍM MONITOROVÁNÍ

3. 1. 1 PRST (Evansovo) skóre

PRST skóre představuje nejčastěji užívaný skórovací systém, hodnotící autonomní činnost související s krevním tlakem (P-PRESSURE), srdeční frekvencí (R-RATE), pocením (S-SWEATING) a slzením (T-TEARS) (tab. 3) [15]. Výhoda tohoto systému spočívá v jeho jednoduchosti, jelikož nevyžaduje žádná speciální vybavení. Použité parametry však nejsou specifické pro účinky anestezie a hodnoty se mohou mezi jednotlivci lišit. Hodnoty v pásmu 0–3 představují dostatečnou hloubku CA [7]. Podle publikovaných studií [16, 17] umožňuje hodnocení hloubky CA pomocí PRST skóre ve spojení s užitím BIS přesnou titraci anestetik, s cílem dosažení optimální hloubky CA.

Tab. 3 PRST skóre (Evansovo skóre) [15]

	Stav	Skóre
Krevní tlak (Pressure)	< + 15	0
	< + 30	1
	> + 30	2
Srdeční akce (RATE)	< + 15	0
	< + 30	1
	> + 30	2
Pocení (Sweating)	není	0
	vlhká kůže	1
	vlhká postel z pocení	2
Slzení (Tears)	nejsou slzy při otevřených očích	0
	nadbytek slz při otevřených očích	1
	plynulé slzení	2

3. 1. 2 Vodivost kůže

Principem metody je měření vodivosti kůže, která je závislá na produkci potu.

Při zvýšené produkci potu odpor kůže klesne a zvýší se vodivost (tzv. galvanická kožní reakce, „skin conductance response“ – odezva vodivosti ků-

že) [18]. Goddard G. F. zjistil statisticky významnou nepřímou závislost mezi vodivostí kůže a hloubkou CA u 67 takto sledovaných pacientů. Přesnost tohoto sledování mohou snížit faktory ovlivňující produkci potu (např. atropin, autonomní neuropatie) [19].

3. 1. 3 Technika izolovaného předloktí

Technika „izolovaného předloktí“, byla poprvé popsána Tunstalem u porodní anestezie.

Při použití této techniky je na kůži pacienta naložen turniket, který je nafouknut nad hodnotu systolického krevního tlaku, před aplikací svalových relaxancií. Pohyb paže – buď spontánní, nebo „na povel“ – ukazuje na bdělost pacienta, nemusí však nutně explicitně vyjadřovat stav „při vědomí“. Po 15–20 minutách anesteziolog turniket sejme, může jej však znovu nafouknout, pokud bude nezbytné podat další svalová relaxancia. Někteří autoři argumentují tím, že odpověď „na povely“ v průběhu CA je pozdní známkou při snaze zabránit návratu vědomí a bdělosti [20].

3. 1. 4 Spontánní povrchový elektromyograf (SEMG – spontaneous surface electromyogram)

Principem této metody je zachycení elektrické aktivity svalových vláken povrchovou elektrodou umístěnou nad bříškem svalu. Byl vybrán m. frontalis pro nízkou odezvu na centrální myorelaxans. U bdělých pacientů zachycuje SEMG m. frontalis různé typy aktivit:

1. aberantní volní aktivitu podmíněnou nedostatečnou relaxací subjektu,
2. některé typy abnormní spontánní aktivity svalových vláken nebo jejich skupin (fascikulace, myokymie atd.).

S navozením a prohlubováním anestezie dojde k poklesu četnosti volní aktivity, s postupným odezníváním anestezie se výskyt aktivity navrácí na původní úroveň [21].

3. 1. 5 Nižší stažitelnost jícnu (LOC – lower oesophageal contractility)

V rámci této metody je využíván poznatek, že hladké svalstvo v dolní polovině jícnu si dokáže udržet svou potenciální aktivitu i po úplné paralýze kosterního svalstva navozené myorelaxancií. Evan J. et al. přišli jako první s myšlenkou, že hloubku CA lze měřit právě mírou spontánních kontrakcí dolní části jícnu [22]. Publikované doklady o použití této metody jsou nicméně omezené [7].

3.1.6. Variabilita srdeční frekvence (HRV – heart rate variability)

Nedávný výzkum pomocí zvířecích modelů ukázal, že anestetika buď přímo, nebo nepřímo působí nejprve na mozkový kmen a poté pravděpodobně inhibují mozkovou kůru pomocí ascendentních eferentních drah ze středního mozku. Může být

proto dobrým ukazatelem hloubky CA objektivní měření aktivity autonomního systému zprostředkovaného mozkovým kmenem, který není ovlivněn jiným faktorem než hloubkou CA. Speciální analýza HRV odhalila tři složky:

1. výkyvy nízkofrekvenční – pokládané za cirkadiánní;
2. kolísání střední frekvence – přičítané baroreceptorovému reflexu;
3. vysokofrekvenční kolísání HRV – shoduje se s dechovou frekvencí, přičemž se zvyšuje srdeční frekvence během nádechu a klesá při výdechu, přes převážně parasympatické reflexy spojující receptory v plicích a aortě s vagovými motorickými neurony inervujícími srdce. Ta se označuje pojmem respirační sinusová arytmie (RSA). Různé studie [23, 24] ukázaly, že úroveň RSA odráží úroveň hloubky celkové anestezie [7].

3. 2 MONITOROVÁNÍ HLOUBKY CA ZALOŽENÉ NA MONITOROVÁNÍ ELEKTRICKÉ AKTIVITY MOZKU

Většina zařízení určených ke sledování elektrické aktivity mozku za účelem posouzení účinku anestetik zaznamenává EEG aktivitu z elektrod umístěných na čele. Systémy lze rozdělit na ty, které zpracovávají spontánní EEG a EMG aktivitu, a ty, které snímají reakce vyvolané sluchovými podněty, tj. sluchově evokovaný potenciál (auditory evoked potential – AEP). Po zesílení a převodu analogového EEG signálu na digitální doménu, jsou údaje o frekvenci, amplitudě, latenci, a/nebo fázových vztazích odvozené z nativního-surového EEG nebo AEP zpracovány pomocí různých algoritmů pro zpracování signálu za účelem získání číselného údaje, často označovaného jako „index“, který se obvykle pohybuje v rozmezí od 0 do 100. Tento index představuje progresi klinických stavů vědomí („při vědomí“, „zklidněný“, „lehká anestezie“, „hluboká anestezie“), přičemž hodnota 100 znamená stav při vědomí a hodnota 0 se vyskytuje u izoelektrického EEG (tzv. burst suppression: EEG křivka charakterizovaná obrazem krátkých úseků vysokovoltážních výbojů hrotů (burst) a následné utlumené aktivity).

Důležitou součástí softwaru ve většině monitorovacích zařízení jsou rozpoznávací algoritmy určené k tomu, aby se zabránilo kontaminované, a proto nesprávné hodnotě „indexu“. I když aktivita EMG z pokožky hlavy může být považována za artefakt z hlediska čisté analýzy EEG, může být významným zdrojem klinicky relevantních informací. Náhlý výskyt frontální EMG aktivity ze svalů skalpu (a m. frontalis) je známkou somatické odezvy na nociceptivní podnět vyplývající z nedostatečné analgezie a může varovat před blížícím se

probuzením. Některé monitory proto samostatně poskytují informace o úrovni EMG aktivity [7].

3. 2. 1 BIS (bispektrální index)

Je patentovaný algoritmus, který převádí jeden kanál frontálního EEG na index hypnotické úrovně – tzv. bispektrální index (BIS). Pro výpočet hodnoty BIS se několik proměnných odvozených z časové domény EEG (analýza „burst“ a „suppression“), frekvenční domény (výkonové spektrum) a bispektra (interferenční fázové vztahy) sloučí do jediného indexu. BIS uvádí hodnotu v rozmezí od 0 (stav bezvědomí, izoelektrické EEG) do 100 (plné vědomí) [7].

Monitorování hloubky CA touto metodou má své limitace, výsledek monitorování ovlivňují:

- a) některé léky (ketamin a někdy oxid dusný v koncentracích > 50 % způsobují aktivaci EEG a komplikují interpretaci BIS),
- b) neurologická onemocnění (např. epilepsie, apalický syndrom) a v neposlední řadě
- c) vliv věku (zvláště děti do 1 roku) a
- d) elektrická aktivita svalů [5, 7].

3. 2. 2 Entropie

Monitorování entropie je založeno na získávání a zpracování „surových“ signálů EEG a FEMG (elektromyogram musculus frontalis) pomocí algoritmu entropie. Entropie popisuje nesrovnalosti, složitost či nepředvídatelnost vlastností signálu. Je to vlastnost fyzikálního systému nebo datového řetězce skládajícího se z velkého počtu prvků. S prohloubením anestezie se záznam EEG stává pravidelnějším. Bylo prokázáno, že entropie signálu poklesne, když pacient usne, a opět se zvýší, pokud se pacient probudí [7]. Monitor entropie zobrazuje dva indexy: stavovou entropii (SE) a entropii odpovědi (RE). Hodnoty SE a RE jsou uvedeny na škále od 0 do 91 a od 0 do 100, hlavní rozdíly mezi těmito hodnotami se vztahují k příspěvkům frekvencí 32–47 Hz. Nedostatečná anestezie nebo probuzení v závěru anestezie jsou spojeny s prudkým nárůstem FEMG aktivity, kterému často předchází postupný nárůst. Právě tato charakteristika FEMG byla využita při vývoji algoritmu entropie [25]. V multicentrické studii se potvrdilo, že hodnoty RE a SE se blíží hodnotám BIS při nástupu bezvědomí v průběhu totální intravenózní anestezie s propofolem [26].

3. 2. 3 Narcotrend

Narcotrend je EEG monitor určený k měření hloubky CA. Výsledkem původní verze softwaru byla klasifikace hloubky CA o šesti písmenech: A (při vědomí), B (zklidněný), C (lehká anestezie), D (celková anestezie), E (celková anestezie s hlubokou hypnózou), F (celková anestezie s „burst

suppression“). V nejnovější verzi softwaru byla stupnice abecedy převedena do číselné stupnice nazvané index Narcotrendu, udávající hodnoty od 0 (hluboká anestezie) do 100 (při vědomí). Tato stupnice je podobná stupnici BIS [27].

3. 2. 4 Monitor mozkových funkcí (CFM – Cerebral Function Monitor)

Monitor CFM poskytuje výsledky měření variací amplitudy EEG získané ze dvou elektrod umístěných ve vlasové části hlavy. Trvale monitoruje impedanci elektrody a jeho výsledkem jsou varování související se zaznamenanými artefakty. Využití této techniky je rozmanité: kardiochirurgie, monitorování pacientů po KPR, hodnocení nástupu účinku a hloubky anestezie, délky působení nových anestetik a dalších sedativních léků, hodnocení pacientů s metabolickou encefalopatií, nebo monitorování novorozenců po hypoxickém infarktu v rámci neonatologie [28, 29]. V rámci monitorování hloubky CA však zájem o tuto metodu poklesl [7].

3. 2. 5 Monitor pro analýzu funkce mozku (CFAM – Cerebral Function Analysis Monitor)

CFAM je další fází vývoje monitoru pro sledování cerebrálních funkcí. CFAM byl vyvinut z dříve používaného CFM. Poskytuje možnost podrobnější analýzy amplitudy EEG a analyzuje také frekvence vln ve standardních beta, alfa, theta a delta pásmech. Dokáže analyzovat EEG ze dvou vstupních kanálů, sledovat standardní EEG a dále vypočítat vizuální, sluchové a somato-senzorické evokované potenciály a evokované potenciály mozkového kmene. Využití CFAM zahrnuje sledování hloubky CA, sledování adekvátnosti cerebrální perfuze v kardiochirurgii, využití v neurologii pro kontrolu stavu status epilepticus [28, 29].

3. 2. 6 Analyzátor stavu pacienta (PSA – Patient State Analyser)

PSA monitor zpracovává kvantitativní EEG (QEEG) pro získání indexu – Patient State Index (PSI). Kvantitativní elektroencefalografie (QEEG) je oblast zabývající se numerickou analýzou dat získaných prostřednictvím EEG. EEG signál je softwarově zpracován ve formě bezrozměrného čísla PSI v rozmezí od 0 (EEG charakterizované pomocí burst suppression) do 100 (plné vědomí) [30]. Odvození PSI je založeno na pozorování, že při ztrátě a návratu vědomí dochází k prostorovým změnám v distribuci elektrické energie u QEEG. V praxi je užíván PSI monitor „Physiometrix PSA 400 monitor“, v novější verzi pak monitor „SEDLine“ [7].

3. 2. 7 SNAP index

SNAP II monitor vypočítá SNAP index z jednokanálového zařízení určeného ke sledování pacientů

va EEG. Odebírá vzorky EEG signálů a pomocí vlastního algoritmu analyzuje jak vysokofrekvenční (80–420 Hz), tak nízkofrekvenční (0,1–18 Hz) složky signálu. Existují důkazy o tom, že vysokofrekvenční součást EEG poskytuje informace týkající se stavu vědomí pacienta. Výstupem je index SNAP uváděný v rozmezí od 0 (burst suppression) až do 100 (plně při vědomí). Podle dostupných studií je SNAP index citlivým ukazatelem stavu vědomí [31, 32].

3. 2. 8 Monitor pro analýzu stavu mozku (CSM – Cerebral State Monitor)

CSM je přenosný ruční přístroj k měření hloubky celkové anestezie pomocí Cerebral State Indexu (CSI). CSI, stejně jako BIS, vyjadřuje bezrozměrnou číselnou hodnotu mezi 0–100 a byl vytvořen pro sledování úrovně vědomí v průběhu celkové anestezie. Výpočet hodnoty CSI je založen na složitém algoritmu využívajícím čtyři dílčí parametry vypočítané ze spontánního EEG: „ α ratio“, „ β ratio“, „ δ ratio – α ratio“ a „burst ratio“. Tyto čtyři dílčí parametry jednotlivě korelují s hloubkou anestezie [33].

3. 3 MONITOROVACÍ PŘÍSTROJE PRO SLEDOVÁNÍ EVOKOVANÝCH POTENCIÁLŮ MOZKU

Monitory evokovaných potenciálů měří elektrickou aktivitu v určitých oblastech mozku v reakci na stimulaci specifických senzorických nervových drah.

3. 3. 1 Somatosenzorické evokované potenciály (SSEP – Somatosensory Evoked Potentials)

Supermaximální podnět je aplikován na periferních nervech, zatímco snímající kožní elektroda je umístěna na příslušné senzorické oblasti. Obecně platí, že většina anestetik zvyšuje latenci a snižuje amplitudu takto získaného signálu v závislosti na podané dávce.

3. 3. 2 Vizuální evokované potenciály (VEP – Visual Evoked Potentials)

Do speciálních brýlí jsou začleněny diody emitující světlo a oční nerv je stimulován frekvencí 2 Hz. EEG elektrody pořizují záznamy z týlu. Ačkoliv VEP jsou považovány za méně spolehlivé než AEP, byly použity k monitorování funkce při operaci lézí zahrnující hypofýzu, zrakový nerv a chiasma opticum.

3. 3. 3 Sluchové evokované potenciály (AEP – Auditory Evoked Potentials)

AEP jsou definovány jako průchod elektrické aktivity z hlemýžďe vnitřního ucha do mozkové kůry, která vytváří křivku skládající se z 15 vln. Průběh lze rozdělit do tří částí: sluchové evokované potenciály mozkového kmene (BAEP – Brainstem

Auditory Evoked Potentials), sluchové evokované potenciály se střední latencí (MLAEP – Middle Latency Evoked Potentials) a sluchové potenciály s dlouhou latencí (LLAEP – Long Auditory Evoked Potentials). Technologie AEP aktivně měří reakci mozku na akustické podněty. Je to vhodná volba pro měření vědomí pacienta v anestezii, protože sluch je během anestezie posledním zachovaným smyslem a před probuzením se znovu aktivuje jako první. Aktivní stimulaci zajišťují sluchátka, k měření AEP se používají jednorázové elektrody. Z matematické analýzy AEP generuje přístroj „AEP index“ uváděný v rozmezí od 0 do 100 [7].

3. 4 VYUŽITÍ MONITORŮ HLOUBKY CELKOVÉ ANESTEZIE V PRAXI

Monitory pro měření BIS a entropie byly navrženy a studovány tak, aby korelovaly s EEG signály u dospělých pacientů, s vnímáním hloubky sedace a poskytováním anestezie pacientům s různorodým zdravotním stavem. Vzhledem k tomu, že tyto přístroje jsou v klinické praxi dostupné již více než dvě desetiletí, BIS monitor je používán jako „zlatý standard“, oproti kterému jsou veškeré další monitory hloubky CA porovnávány, to však nutně neznamená, že BIS monitor je nejlepší z nich. Významnou vlastností je složitost jednotlivých algoritmů, jelikož každý monitor je charakterizován svým vlastním algoritmem a dosud nebyl žádný algoritmus publikován s plnou technickou specifikací výrobce [34].

Do dnešního dne rovněž žádná odborná společnost nevydala doporučení týkající se povinného používání monitorů hloubky CA v průběhu vedení celkové anestezie, jejich použití by tak mělo být zvažováno individuálně [35].

Jelikož pro ověření funkčnosti BIS monitoru byla použita EEG data od dospělých pacientů, ne-

ní možno tyto údaje automaticky extrapolovat na malé děti, jelikož charakter EEG křivky u dětí se blíží dospělé EEG křivce až kolem pátého roku věku dítěte. Srovnání hodnot BIS mezi dospělou a dětskou populací naznačuje, že BIS monitor funguje přibližně stejně u dospělých a dětí starších jednoho roku věku. Studie provedené do dnešní doby tak prokázaly, že stávající monitorování BIS poskytuje užitečné informace u dětských pacientů a představuje slibný příslib pro použití této techniky v průběhu dětské anestezie, podobně jako je tomu u dospělých pacientů [7].

4 DOPORUČENÍ PRO PRAXI V OBLASTI PREVENCE PROCITNUTÍ V PRŮBĚHU CELKOVÉ ANESTEZIE

The American Society of Anesthesiologists (ASA) ustanovila pracovní skupinu deseti expertů, jejichž úkolem bylo:

1. přezkoumat a posoudit aktuálně dostupnou literaturu v oblasti procitnutí v průběhu CA,
2. dosáhnout konsenzuálního názoru odborníků a
3. vytvořit doporučení pro klinickou praxi.

Výsledkem aktivit této pracovní skupiny jsou níže uvedená doporučení [6].

4. 1 DOPORUČENÝ POSTUP K VEDENÍ ANESTEZIE S CÍLEM PREVENCE PEROPERAČNÍHO PROCITNUTÍ

- Pacienti bez premedikace mohou potřebovat vyšší dávky intravenózního indukčního anestetika.
- Úroveň koncentrace inhalačního anestetika (frakce MAC) je nutno udržovat na dostatečné úrovni, která se podle odborné literatury uvádí jako dostatečná k udržení pacienta ve spánku.
- Úroveň analgezie má být dostatečná tak, aby po probuzení pacient necítil bolest.

Tab. 4 Rozdělení monitorování hloubky CA podle principu metody [9]

Metoda	Monitor	Index
EEG	BIS monitor	BIS
	Narcotrend	Narcotrend index
	Monitor mozkových funkcí (CFM – Cerebral Function Monitor)	
	Monitor pro analýzu funkce mozku (CFAM – Cerebral Function Analysis Monitor)	
	Analýzátor stavu pacienta (PSA – Patient State Analyzer), Physiometrix	PSA index
	PSA 400 monitor, SEDline monitor	
	SNAP II monitor	SNAP index
EEG+EMG	Monitor pro analýzu funkce mozku (CSM – Cerebral State Monitor)	CSI
	Entropy	Response entropy – RE State entropy – SE
EEG+AEP	AEP monitor	AEP index

- Pečlivé klinické sledování pacienta.
- Pravidelná kontrola anesteziologických přístrojů a dokumentace.
- Pokud existuje podezření, že by mohlo v průběhu chirurgického výkonu a anestezie dojít k procitnutí, potom je nezbytné zvážit podání přípravku s amnestickým účinkem. Tímto způsobem bude pacient ušetřen následků možné posttraumatické stresové poruchy.
- V případě analgosedace je možné použít např. sluchátka s přenosem hudby, s cílem zabránit spojení si vjemů v průběhu operace.

4. 2 DOPORUČENÝ POSTUP V PŘÍPADĚ JIŽ DIAGNOSTIKOVANÉHO PEROPERAČNÍHO PROCITNUTÍ

Anesteziolog, který podával celkovou anestezii:

- Měl by být informován o peroperačním procitnutí pacienta a měl by ho osobně navštívit.
- Měl by zkontrolovat záznam o průběhu CA.
- Pokud je to možné, je vhodné provést/zajistit provedení kontroly zařízení (monitorovací a anesteziologický přístroj), které byly použity v rámci CA, zda se u nich nevyskytla porucha.
- Měl by provést rozhovor s pacientem, omluvit se mu a vysvětlit, jak mohlo k probuzení dojít.
- Měl by být proveden záznam v dokumentaci tak, aby i v budoucnosti byli anesteziologové o problému peroperačního procitnutí informováni.
- Měl by být informován vedoucí pracovník oddělení, který by měl být přítomen rozhovoru s pacientem.
- Podle potřeb je nutno pro postiženého pacienta zajistit konzultaci psychologa.

4. 3 DOPORUČENÍ TÝKAJÍCÍ SE MONITOROVÁNÍ HLOUBKY CA

- Peroperační monitorování hloubky CA s cílem omezení výskytu peroperačního procitnutí by se mělo sestávat z kombinace více metod: využití klinických postupů a běžných monitorovacích přístrojů.
- Použití myorelaxancií může maskovat reflexní pohyby pacienta a tím je podpořen význam monitorovacích metod měřících hloubku CA.
- Sledování funkce mozku kvůli četnosti peroperačního procitnutí se v klinické praxi rutinně neprovádí, jeho užití by však mělo být zváženo ve specifických indikacích: pacienti se zvýšeným rizikem peroperačního procitnutí, pacienti s nutností aplikace menšího množství anestetik, v úrazové chirurgii, u císařského řezu a při TIVA [6, 7].

5 ZÁVĚR

Různé možnosti monitorování hloubky CA představují další pokrok v rámci bezpečného vedení CA. Alespoň jedna z možných forem monitorování hloubky CA by se měla stát rutinní součástí denní anesteziologické praxe na každém pracovišti. Její častější využívání může pomoci předejít peroperačnímu procitnutí pacienta, což nemusí být vzácný jev vzhledem k vývoji krátce působících anestetik, užívání myorelaxancií a také častému užívání metody TIVA, kdy je riziko procitnutí vyšší.

Prevence peroperačního procitnutí zahrnuje komplexní soubor předpokladů a postupů, mezi které patří:

- sofistikované monitorování v průběhu CA,
- dobrý klinický úsudek anesteziologa,
- pravidelná kontrola přístrojového vybavení,
- zajištění nepřetržité dodávky anestetik (inhalančních, intravenózních),
- spolupráce s pacientem, u kterého došlo již v minulosti k peroperačnímu procitnutí.

Tento soubor předpokladů a postupů by měl být součástí protokolu řízení kvality v anestezii [7].

LITERATURA

1. Ševčík, P., Matějovič, M. (eds.). *Intenzivní medicína*. 3., přepracované a rozšířené vyd. Praha: Galén, c2014. ISBN 978-80-7492-066-0.
2. Larsen, R. *Anestezie*. Vyd. 2. české. Překlad Jarmila Drábková. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0476-5.
3. Handl, Z. *Monitorování pacientů v anesteziologii, resuscitaci a intenzivní péči – vybrané kapitoly*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1999. ISBN 80-7013-291-4.
4. Guignard, B. Monitoring analgesia. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 2006, 20, 1, p. 161-180.
5. Gašparec, P. *Princípy detskej anestézie*. Martin: Osveta, 2010. ISBN 978-80-8063-340-0.
6. Apfelbaum, J. L. et al. American Society of Anesthesiologists Task Force on Intraoperative Awareness. Practice advisory for intraoperative awareness and brain function monitoring: a report by the American Society of Anesthesiologists task force on intraoperative awareness. *Anesthesiology*, 2006, 104, p. 847-864.
7. Sinha, P. et al. Monitoring devices for measuring the depth of anaesthesia – An overview. *Indian Journal of Anaesthesia*, 2007, 51, 5, p. 365.
8. Shanks, A. M. et al. Alerting thresholds for the prevention of intraoperative awareness with explicit recall: a secondary analysis of the Michigan Awareness Control Study. *Eur. J. Anaesth. (EJA)*, 2015, 32, 5, p. 346-353.
9. Borzova, V., Smith, C. Monitoring and prevention of awareness in trauma anaesthesia. *The Internet Journal of Anesthesiology*, 2010, 23, 2.
10. Ghoneim, M. M. et al. Awareness during anesthesia: risk factors, causes and sequelae: a review of reported cases in the literature. *Anesth. Analg.*, 2009, 108, 2, p. 527-535.

11. Bruhn, J. et al. Depth of anaesthesia monitoring: what's available, what's validated and what's next?. *Brit. J. Anaesth.*, 2006, 97, 1, p. 85–94.
12. Sessler, D. I. et al. Hospital stay and mortality are increased in patients having a “triple low” of low blood pressure, low bispectral index, and low minimum alveolar concentration of volatile anaesthesia. *J. Am. Soc. Anesth.*, 2012, 116, 6, p. 1195–1203.
13. Kertai, M. D. et al. Bispectral index monitoring, duration of bispectral index below 45, patient risk factors, and intermediate-term mortality after noncardiac surgery in the B-Unaware Trial. *J. Am. Soc. Anesth.*, 2011, 114, 3, p. 545–556.
14. Kertai, M. D., White, W. D., Gan, T. J. Cumulative duration of “triple low” state of low blood pressure, low bispectral index, and low minimum alveolar concentration of volatile anaesthesia is not associated with increased mortality. *J. Am. Soc. Anesth.*, 2014, 121, 1, p. 18–28.
15. Evans, J. M., Davies, W. L. Monitoring anaesthesia. *Clin Anesth.*, 1984, 2, p. 243–262.
16. Rahul, R., Sowmya, M. J., Rangalakshmi, S., Roshan Kumar, B. N., Karthik, G. S. Monitoring Depth of Anaesthesia Using PRST Score and Bispectral Index. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*, 2015, 4, 25, p. 4282–4292. doi: 10.14260/jemds/2015/619.
17. Smajic, J. et al. Assessment of depth of anaesthesia: PRST score versus bispectral index. *Medical Archives*, 2011, 65, 4, p. 216.
18. Sobotka, P. *Patologická fyziologie: praktikum*. 4., upr. vyd. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2128-9.
19. Goddard, G. F. A pilot study of the changes of skin electrical conductance in patients undergoing general anaesthesia and surgery. *Anaesthesia*, 1982, 37, 4, p. 408–415.
20. Russell, I. F. Isolated forearm technique. *Anaesthesia*, 1990, 45, 8, p. 687.
21. Herregods, L. et al. EEG and SEMG monitoring during induction and maintenance of anaesthesia with propofol. *Int. J. Clin. Monitor. Comput.*, 1989, 6, 2, p. 67–73.
22. Evans, J. M., Davies, W. L., Wise, C. C. Lower oesophageal contractility: a new monitor of anaesthesia. *The Lancet*, 1984, 323, 8387, p. 1151–1154.
23. Healy, T. E. J., Bellman, M. H., Pomfrett, C. J. D. Respiratory sinus arrhythmia indicates light anaesthesia during caesarean-section. *Anesth. Analg.*, 1994, p. U91.
24. Pomfrett, C. J. D., Barrie, J. R., Healy, T. E. J. Respiratory sinus arrhythmia reflects surgical stimulation during light enflurane anaesthesia. *Anesth. Analg.*, 1994, p. U185.
25. Kotur, P. F. Entropy: A new measure of anaesthetic depth. *Indian J. Anaesth.*, 2004, 48, p. 170–171.
26. Gao, J. D. et al. Evaluation of entropy for monitoring the depth of anaesthesia compared with bispectral index: a multicenter clinical trial. *Chinese Med. J.*, 2012, 125, 8, p. 1389–1392.
27. Schultz, B. et al. Sleeping stage based systems (Narcotrend). *New aspects of high technology in medicine*, 2000, p. 285–291.
28. Maynard, D. E., Jenkinson, J. L. The cerebral function analysing monitor Initial clinical experience, application and further development. *Anaesthesia*, 1984, 39, 7, p. 678–690.
29. Lukášková, J., Tomšíková, Z., Kokštejn, Z. Význam monitorování mozkové aktivity pomocí integrované amplitudy EEG aktivity u novorozenců s časným asfyktickým syndromem. *Neonatologické listy*, 2012.
30. Cassingham, S. F. et al. The Physiometrix PSA 4000 decreases propofol usage and hastens discharge in gynecological day surgery procedures. *Anesthesiology*, 2002, 96, p. A5.
31. Wong, C. A. et al. A comparison of the SNAP II™ and BIS XP™ indices during sevoflurane and nitrous oxide anaesthesia at 1 and 1.5 MAC and at awakening. *Brit. J. Anaesth.*, 2006, 97, 2, p. 181–186.
32. Wong, C. A. et al. The Association Between Propofol-Induced Loss of Consciousness and the SNAP™ Index. *Anesth. Analg.*, 2005, 100, 1, p. 141–148.
33. Pilge, S. et al. Time Delay of Index Calculation Analysis of Cerebral State, Bispectral, and Narcotrend Indices. *J. Am. Soc. Anesth.*, 2006, 104, 3, p. 488–494.
34. Rani, D. D. et al. Depth of general anaesthesia monitors. *Indian J. Anaesth.*, 2012, 56, 5, p. 437.
35. Høymork, S. C. Assessing the depth-of-hypnosis. *Tidsskrift for den Norske lægeforening: tidsskrift for praktisk medicin, ny raekke*, 2010, 130, 6, p. 633–637.

Autoři prohlašují, že nemají střet zájmů.

Do redakce došlo dne 13. 4. 2016.

Do tisku přijato dne 5. 6. 2016.

Adresa pro korespondenci:

MUDr. Jan Divák

Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny
Fakultní nemocnice Ostrava
Tř. 17. listopadu 1790
708 52 Ostrava-Poruba
e-mail: dija@centrum.cz