

Rok 2024 v přehledu – Celková anestezie

Bláha J., Nguyenová Q. G., Bartošová T.

Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny, 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy
a Všeobecná fakultní nemocnice v Praze

Při zadání termínu „general anesthesia“ uvede PubMed za poslední rok 1 530 klinických studií, přehledů, systematických review nebo metaanalýz. Je nemožné vybrat „vše to nejdůležitější“, proto se tento text soustředil pouze na 4 oblasti, které autoři považují za klíčové. První z nich je bezopioidní anestezie (OFA) a její rostoucí role v současné anesteziologii. OFA zahrnuje anesteziologické techniky, které sice mohou snížit výskyt PONV, pooperační spotřebu opioidů a urychlit zotavení, ale vyžadují pečlivější sledování hemodynamiky a dávkování analgetik kvůli riziku bradykardie a prodlouženému pobytu v pooperační péči. Druhým tématem je remimazolam, nový ultrakrátké působící benzodiazepin, a to jako alternativa k tradičním anestetikům, zejména pro stabilizaci hemodynamických parametrů. Dále se tento výroční přehled věnuje pokročilým metodám monitorace hloubky anestezie, jako je použití elektroencefalogramu a jeho přínosu v perioperační péči. A na konec náš přehled za poslední rok sleduje možnosti využití umělé inteligence (AI) v oblasti anesteziologie. AI se ukazuje jako slibný nástroj pro zlepšení predikce komplikací, optimalizaci dávek anestetik a zajištění vyšší bezpečnosti pacientů.

Klíčová slova: celková anestezie, bezopioidní anestezie, hloubka anestezie, monitorace, remimazolam, PONV, umělá inteligence, strojové učení, prediktivní systémy, rok 2024.

Year 2024 in review – General anaesthesia

Searching for the term “general anesthesia”, PubMed lists 1530 clinical trials, reviews, systematic reviews, or meta-analyses in the last year. It is impossible to select “all the most important”, so this text has focused on only 4 areas that the authors consider as key. The first is opioid-free anesthesia (OFA) and its growing role in today’s anesthesiology. OFA involves anesthetic techniques that, although they can reduce the incidence of PONV, postoperative opioid consumption, and speed recovery, require closer monitoring of hemodynamics and analgesic dosing because of the risk of bradycardia and prolonged postoperative stay. The second topic is remimazolam, a new ultra-short-acting benzodiazepine, as an alternative to traditional anaesthetics, particularly for stabilizing haemodynamic parameters. Next, this annual review focuses on advanced methods of monitoring the depth of anaesthesia, such as the use of the electroencephalogram, and its contribution to perioperative care. Finally, our review over the past year looks at the potential use of artificial intelligence (AI) in anaesthesiology. AI is proving to be a promising tool for improving the prediction of complications, optimizing anesthetic doses, and ensuring greater patient safety.

Key words: general anesthesia, non-opioid anesthesia, depth of anesthesia, monitoring, remimazolam, PONV, artificial intelligence, machine learning, predictive systems, year 2024.

Úvod

Následující text přináší přehled několika významných tematických oblastí a prací publikovaných za posledních 12 měsíců z oblasti anesteziologie. Při obrovském množství ročně publikovaných článků není v silách jednotlivce, natož autora tohoto přehledu, takové množství informací jakkoli obsáhnout. Uvedený text proto není, protože být nemůže, objektivním přehledem všeho podstatného, co bylo k tématu anestezie za poslední rok publikováno a jedná

se pouze o snahu autora zdůraznit některé oblasti, které on sám považuje za významné.

Bezopioidní anestezie

Bezopioidní anestezie neboli anestezie bez intraoperačního podání opioidů (opioid-free anesthesia; OFA), je heterogenní skupina technik celkové anestezie, jejichž základním principem je intraoperační nepodání opioidů. Ačkoli je tento přístup znám již dlouho, byl vnímán většinově

KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA:

doc. MUDr. Jan Bláha, Ph.D., MHA, LL.M., jan.blaha@vfn.cz

Článek přijat redakcí: 14. 11. 2024

Cit. zkr: Anest intenziv Med. 2024;35(5):305-310

pouze jako okrajová alternativa klasické opioidní anestezie. V poslední době se ale dostává do širšího anesteziologického zájmu a rok 2024 přinesl řadu publikovaných klinických studií i systematických přehledů, které se zaměřují na OFA ve srovnání s tradiční opioidní anestézií, ale i s opioid šetřícími přístupy. Většina těchto prací zkoumala vliv OFA na pooperační zotavení, výskyt pooperační nauzey a zvracení (PONV), analgetickou spotřebu opioidů po operaci a délku pobytu v postanestetické péči (PACU) v různých chirurgických oborech. První z nich, studie Hao et al., analyzovala na 80 pacientech vliv OFA na kvalitu zotavení po laparoskopické cholecystektomii. Výsledky ukázaly, že pacienti podstupující OFA dosáhli vyššího skóre kvality pooperačního zotavení (QoR-15) a vykázali nižší výskyt opioidních vedlejších účinků během prvních dvou dnů po operaci [1]. Podobné výsledky přinesla i práce Barakat et al. zaměřená na pacienty podstupující operace páteře – OFA vedla k nižší spotřebě morfinu během prvních 24 hodin (17 vs. 27 mg) a zároveň snižovala výskyt PONV. Na druhou stranu ale u pacientů po OFA byla signifikantně vyšší potřeba antihypertenzní léčby a rovněž delší pobyt na PACU (114 vs. 89 min.) ve srovnání s tradiční opioidní anestézií [2]. S delším pobytem pacientů na PACU je spojeno používání OFA i při thorakoskopických resekcích plic, současně i s vyšším rizikem bradykardie. V kontextu profylaxe PONV a multimodální analgezie snížila OFA vedená SPI výskyt PONV po torakoskopické resekcii plic na polovinu (15 % vs. 32 %), ačkoli byla spojena s delším pobytem na PACU (o 16 minut) [3]. I další práce se věnovaly vztahu OFA a PONV. Metaanalýza Ao et al. 12 randomizovaných studií (RCT) a 922 pacientů hodnotila OFA v porovnání s opioid šetřící anestézií u pacientů podstupujících laparoskopickou bariatrickou chirurgii s výsledkem, že OFA významně snižuje riziko PONV, a to bez následného zvýšení podávání analgetik. Je však spojena s vyšším rizikem bradykardie [4]. I v gynekochirurgii se OFA osvědčila jako efektivní přístup ke snížení výskytu PONV. Metaanalýza 6 RCT a 514 pacientů Zhang et al. ukázala, že i zde OFA vede ke snížení incidence PONV i potřeby antiemetické léčby, a stejně jako v předchozí metaanalýze nebyly rozdíly v intenzitě pooperační bolesti ani ve spotřebě analgetik [5]. Stejnou kvalitu pooperační analgezie u OFA při gynekologických laparoskopických operacích potvrdila i RCT Hu et al., kde OFA s použitím lidokainu a esketaminu dosáhla srovnatelných výsledků jako balancovaná anestezie se sufentanilem, a to při obdobných extubačních časech i četnosti peroperačních komplikací [6].

Ačkoliv jsou výhody OFA přesvědčivé, a přestože dle publikovaných výsledků by se mohlo zdát, že OFA je výhodnější a bezpečnější alternativou klasické opioidní anestezie, její implementace vyžaduje přísné sledování hemodynamických parametrů a přesné dávkování adjuvantních analgetik, jako jsou dexmedetomidin a esketamin, které mají ale úzké terapeutické rozmezí. Shanthanna a Joshi proto ve svém přehledu poukazují na to, že OFA může být spojena s rizikem hemodynamických komplikací, zejména s bradykardií, což vyžaduje zvláštní pozornost při složitějších chirurgických zákrocích [7]. Navíc OFA je prokazatelně výhodná zejména pro vybrané skupiny pacientů, mezi něž patří obézní pacienti podstupující laparoskopickou bariatrickou operaci. Multimodální analgezie včetně lokální/regionální anestezie může umožnit OFA u vybraných, minimálně invazivních operací, ale u operací s vysokými požadavky na pooperační opioidy je nutný další výzkum. Jak ve svém přehledu uvádí Mieszczański et al., opioidy se tradičně používají jako součást vyvážené anestezie a jejich nahrazení vyža-

duje použití kombinace koanalgetik a různých typů lokální a regionální anestezie, které mají rovněž své vedlejší účinky, omezení a potenciální nevýhody. Navíc i přes rostoucí množství důkazů jsou empirické údaje o superioritě OFA ve srovnání se standardní anestézií s multimodální analgezií rozporuplné a potenciální přínosy jsou v mnoha studiích zpochybňovány [8]. Příkladem je práce Bao et al., kde RCT se 174 pacienty po videoasistované thorakoskopické chirurgií neprokázala ani snížení PONV, ani snížení opioidů v pooperační analgezií, naopak OFA byla spojena se závažnými nežádoucími kardiovaskulárními příhodami [9]. Schiessler a Leffler proto hodnotí výzvy a omezení OFA s ohledem na bezpečnost a účinnost, a zmiňují nutnost individuálního přístupu podle specifik operace a potřeb pacienta, což vyžaduje vyšší úroveň personalizace anesteziologické péče [10]. Úplné vyhnutí se intraoperačním opioidům tak zůstává sporné, protože nemusí nutně zajistit vyhnutí se pooperačním opioidům. Příkladem mohou být větší výkony jednodenní chirurgie, například primární totální endoprotézy kyčelního kloubu. Chassery et al. u těchto výkonů nenalezli žádný rozdíl v časnosti zotavení a účinné úlevě od pooperační bolesti mezi OFA a anestézií šetřící opioidy. Ve srovnání s anestézií šetřící opioidy nesnižovala OFA nijak spotřebu opioidů během prvních 24 h, a nenaznačovala tak žádný významný přínos úplného intraoperačního vyhnutí se opioidům [11]. Naopak studie Wang et al. na 120 pacientech, kteří podstoupili různé malé a středně velké operační výkony, ukázala po OFA zlepšenou kvalitu pooperačního zotavení a lepší hemodynamickou stabilitu s nižším výskytem respirační deprese (0 vs. 10 %), což lze potenciálně přičíst především sníženému výskytu PONV (2 vs. 25 %) [12]. Významný vliv na účinnost OFA mají i psychologické faktory. U 120 pacientů s laparoskopickou gastrektomií se je například snažila identifikovat RCT Bae et al. Ukázalo se, že prospěch z OFA měli pacienti s katastrofizací bolesti nebo vysokou citlivostí na bolest, zatímco pacienti bez těchto charakteristik nikoli [13]. Dokud tak nebudou k dispozici signifikantnější data týkající se specifických kombinací pro jednotlivé postupy a jednotlivé pacienty, jakož i dávky a délky podávání přídatných látek, je v intraoperačním období lepší než striktní OFA praktikovat spíše opioidy šetřící přístup [7].

Remimazolam

Remimazolam, nový ultrakrátce působící benzodiazepin, vzbuzuje stále větší zájem díky své rychlé indukci a kratší době zotavení, což z něj činí potenciální alternativu k propofolu. Přestože remimazolamu byla věnována již část loňského Roku v přehledu [14], patří nepochybně i do toho letošního – jen v PubMedu najdeme pod klíčovými slovy „remimazolam anesthesia“ za posledních 12 měsíců 129 článků, z nichž jsme vybrali 11 klíčových metaanalýz a systematických přehledů. Navíc od letošního roku je remimazolam k dispozici pro anesteziologickou praxi i u nás. Použití remimazolamu versus ostatní anestetika, nejčastěji propofol, lze hodnotit především ze tří pohledů – kvalita zotavení, hemodynamika a PONV.

První z vybraných metaanalýz, Wu et al., zahrnula devět RCT s celkem 745 pacienty a hodnotila efekt remimazolamu kombinovaného s flumazenilem ve srovnání s propofolem na zotavení po celkové anestezii. Výsledky ukázaly, že kombinace remimazolam-flumazenil zkrátila dobu probouzení (-4,34 min.), extubace (-4,26 min.) a pobytu

v PACU (-4,42 min.). Navíc bylo zaznamenáno nižší riziko respirační deprese ($RR = 0,2$) ve srovnání s propofolem, ale kombinace byla spojena s vyšším rizikem resedace ($RR = 4,15$), což poukazuje na potřebu zvýšené opatrnosti při užívání této kombinace v klinické praxi [15]. Jedním z faktorů ovlivňujících kvalitu pooperačního zotavení je kvalita/hloubka anestezie, udržované například pomocí monitorace elektroencefalogramového bispektrálního indexu (BIS). Studie Yang et al. proto v RCT srovnávala BIS u pacientů, kteří podstoupili krátkou anestezii v TIVA jak s remimazolamem, tak s propofolem. Pacientkám podstupujícím opakovanou hysteroskopickou operaci (HSK) bylo náhodně přiděleno použití nejprve remimazolamu (0,27 mg/kg pro indukci a 1 mg/kg/h pro udržování) a při další HSK po 3 měsících propofol (2,0 mg/kg pro indukci a 6 mg/kg/h pro udržování) nebo v opačném pořadí. Studii dokončilo sedmáct pacientek a výsledky ukázaly, že remimazolam udržuje vyšší úroveň BIS než propofol. Korelaci mezi BIS a hloubkou anestezie navozenou remimazolamem je třeba dále studovat. Současně s remimazolamem byly menší intraoperační hemodynamické změny krevního tlaku a srdeční frekvence, zotavení bylo rychlejší a bylo méně nežádoucích reakcí a menší bolestivost injekce, ale větší byl naopak výskyt intraoperačních pohybů těla a škytavka [16]. Kvalita subjektivního zotavení (QoR) po použití remimazolamu byla analyzována v metaanalýze Hung et al., která zahrnovala 13 studií a 1 418 pacientů. Výsledky ukázaly, že celkové skóre QoR bylo podobné pro obě skupiny, avšak pacienti v remimazolamové skupině se zotavili rychleji – remimazolam byl spojen s pomalejším úvodem anestezie (32 s), ale rychlejším obnovením vědomí než propofol (96 s). Remimazolam byl navíc spojen s nižším rizikem potřeby rescue analgezie na oddělení PACU ($RR = 0,62$), nikoli však na oddělení [17]. Na kvalitu zotavení (QoR-15 a QoR-40) se zaměřila i metaanalýza 13 RCT s 1 305 pacienty autorů Zhu et al. Pacienti s remimazolamem vykazovali ve srovnání s propofolem o něco vyšší skóre fyzické nezávislosti (QoR-5 $RR = 0,79$, QoR-40 bez rozdílu), společně s lepší hemodynamickou stabilitou – nižší výskyt hypotenze ($RR = 0,48$) a bradykardie ($RR = 0,18$), a nižší bolestí při aplikaci ($RR = 0,03$) [18]. Lepší hemodynamická stabilita je potenciálně výhodou především u starších a křehkých pacientů. Pereira et al. proto hodnotili 11 RCT s 947 pacienty staršími 60 let, kteří podstoupili celkovou anestezii. Ve shodě s ostatními analýzami remimazolam i u geriatrické populace oproti propofolu snížil riziko intraoperační hypotenze ($RR = 0,41$) a bradykardie, ale prodloužil čas do ztráty vědomí [19]. I další metaanalýza, kterou provedli Wegner et al., zahrnovala 16 studií s 1 951 pacienty, se zaměřila se na hemodynamické účinky remimazolamu vs. propofolu během celkové anestezie. Remimazolam byl spojen s výrazně nižším rizikem intraoperační hypotenze ($RR = 0,47$) a bradykardie ($RR = 0,39$). Kromě toho vyžadovali pacienti méně časté podání vazodilátorů (RR = 0,54), což ukazuje na lepší hemodynamickou stabilitu při použití remimazolamu. Zlepšení se projevilo i ve výšce středního arteriálního tlaku (rozdíl 8 mmHg) [20]. D'Andrea Ursileo et al. se ve své práci zaměřili na použití remimazolamu u kardiologických pacientů a provedli systematicko-narativní přehled zahrnující 21 studií. Zjistili, že remimazolam má sice výhodnější hemodynamický profil v porovnání s jinými hypnotiky, což je klíčové právě pro pacienty s vysokým kardiovaskulárním rizikem, ale i přes přínosy ve stabilitě krevního tlaku byly nálezy

ohledně incidence pooperačního deliria a dávkování nejednotné [21]. Další metaanalýza, Huang et al., analyzovala 16 studií s 1 897 pacienty a byla zaměřena na výskyt i dalších nežádoucích účinků. Ukázalo se, že remimazolam měl ve srovnání s propofolem nižší riziko hypotenze ($RR = 0,50$), hypoxemie ($RR = 0,43$), bradykardie ($RR = 0,53$) a bolesti při aplikaci ($RR = 0,07$). Výsledky tak ukázaly, že remimazolam může být bezpečnější volbou s nižším výskytem závažných vedlejších účinků během celkové anestezie [22]. A na konec i He et al., analyzující 34 RCT s 4 847 pacienty zjistili, že remimazolam významně snižuje incidenci intraoperační hypotenze ($RR = 0,48$) a bradykardie ($RR = 0,40$) ve srovnání s kontrolními skupinami. Remimazolam se ukázal být výhodný jak pro celkovou anestezii, tak i pro procedurální sedaci [23]. A to samé nakonec potvrdila i poslední metaanalýza Chen et al. sedmi RCT zahrnujících pacienty podstupující endoskopické výkony – remimazolam je srovnatelný s propofolem z hlediska bezpečnosti a efektivity, přičemž nabízí výhody v hemodynamické stabilitě [24].

Jestliže je pro anesteziologa nejvýznamnějším aspektem anestezie hemodynamická stabilita, kvalita probuzení a bezpečnost, pro pacienta je to především výskyt PONV. Yoo et al. ve své RCT studii na 40 pacientech podstupujících laparoskopické abdominální výkony ukázali, že v porovnání se sevofluranem může volba remimazolamu jako intraoperačního hypnotika snížit výskyt PONV (45 % vs. 5 %) i nutnost podání rescue antiemetika (dexametazon 30 % vs. 0 %) a snížit celkové použití antiemetik po dobu 24 h po laparoskopické operaci. Přitom kvalita zotavení, hodnocená skóre QOR-15 po 24 hodinách od operace, byla u remimazolamu i sevofluranu obdobná [25]. Výhody remimazolamu stran PONV ukázali i Kim et al. ve své metaanalýze 11 RCT s 1 514 pacienty. Výsledky ukázaly, že remimazolam významně snižuje PONV ve srovnání s inhalačními anestetiky, ale nebyl prokázán rozdíl ve srovnání s propofolem. Pacienti léčení remimazolamem vykazovali také vyšší spokojenost se zotavením [26].

Monitorace hloubky anestezie

Pokud v případě remimazolamu byla jako jeden z faktorů ovlivňujících kvalitu pooperačního zotavení zmiňována monitorace hloubky anestezie, je to jedno dalších významných současných témat. Věnují se mu například dva přehledové články Laferrière-Langlois et al. a Baron Shahaf et al. [27, 28], poukazující na to, že technologická zlepšení sice vedla k novým strategiím monitorování, jejichž cílem je převést kvalitativní fyziologický stav do kvantitativních ukazatelů, ale optimální strategie monitorování hloubky anestezie (Depth of Anesthesia; DoA) a analgezie nadále podněcují mnoho diskuzí. Historicky se při monitorování DoA používaly pohyby pacienta jako náhražka stavu vědomí. Farmakokinetické modely a metricky, včetně minimální alveolární koncentrace u inhalačních anestetik a modelů cíleně řízené infuze u intravenózní anestezie, poskytl klinikům další poznatky, ale až elektroencefalografie a její deriváty (processed EEG; pEEG) nabízejí skutečný potenciál pro personalizaci anesteziologické péče. Zdá se, že současné studie potvrzují, že monitorování pEEG snižuje množství podávaných anestetik, zkracuje dobu pobytu na PACU a může snížit výskyt pooperačního deliria (bez ohledu na obtíže s definicí tohoto stavu). Na rozdíl od vývoje v oblasti monitorů pEEG monitorace nocicepce zaostává. Stejně jako u anestetik ale může nadměrná analgezie vést ke škodlivým vedlejšími účinkům, zatímco nedostatečná analgezie je

spojena se zvýšenou stresovou reakcí, horší hemodynamickou stabilitou a dysregulací koagulačního, metabolického a imunitního systému. Obecně se objevily 3 různé strategie monitorování: monitorování motorických reflexů, centrálního nervového systému a autonomního nervového systému. I přes jejich nedostatky lze jasně říci, že nociceptivní monitorování překonává standardní klinické monitorování bolesti hodnocením vitálních funkcí a vede ke snižování perioperačního užívání opioidů. Laferrière-Langlois et al. se v této oblasti věnují především pupilometrii, SPI (surgical pleth index), ANI (analgesia nociception index) a NLI (nociception level index) a naznačují, jak by jejich používání mohlo ovlivnit budoucí vývoj. A nastiňují i očekávatelné důsledky budoucích monitorovacích technologií pro anesteziologickou praxi, kde se předpokládají 3 transformační scénáře: pomoc při vytváření optimálního analgetického léku, nástup obousměrných neuron-mikroelektronických rozhraní a synergickou kombinaci hypnózy a virtuální reality [27, 28]. Stav současné evidence monitorace DoA hodnotí i práce Brook et al. s tím, že existují jasné důkazy, že monitorování DoA může snížit výskyt nedostatečně hluboké anestezie, pooperačního deliria a zlepšit některé pooperační výsledky a pooperační klinické ukazatele, jako jsou orgánová dysfunkce, mortalita a délka pobytu. I přes to, že technologie monitorování DoA mají svá omezení, je monitorování DoA velkým příslibem pro zvýšení bezpečnosti pacientů ve většině, ne-li u všech, anesteziologických populací [29]. Temmermand et al. pak upozorňují, že stárnutí vede k anatomickým a fyziologickým změnám v mozku, které jej činí citlivějším na tlumivé účinky anestetik a zvyšují riziko pooperačních neurokognitivních komplikací, jako je pooperační delirium a pooperační kognitivní dysfunkce. Začlenění monitorovacího systému DoA, např. BIS, do klinické praxe u starších pacientů tak může přispět k individuálnějšímu a na pacienta zaměřenému přístupu k vedení anestezie, což v konečném důsledku zlepší perioperační výsledky a bezpečnost [30]. V použití BIS u chirurgických výkonů byly ale v řadě studií zaznamenány rozporuplné výsledky týkající se přínosu této technologie pro monitorování hloubky anestezie. Metaanalýza Gu et al. proto analyzovala 40 RCT s výsledkem, že ve srovnání s konvenčním monitorováním hloubky anestezie snížilo monitorování BIS riziko pooperační kognitivní dysfunkce (RR = 0,85), zkrátilo dobu otevření očí, dobu zotavení orientace, dobu extubace a dobu pobytu na PACU. Vedle toho monitorace pomocí BIS signifikantně snížila dávku anestetik. Z výsledků vyplývá, že použití BIS u celkové anestezie zvyšuje nejen efektivitu anesteziologické péče, ale i celkovou účinnost chirurgické péče [31]. Schmierer et al. k tématu monitorace DoA vypracovali syntetické review se zaměřením na EEG techniky a jejich úlohu při zlepšování klinického monitorování. Na základě zkoumání 117 článků s významným dopadem se jejich hodnocení zabývá nuancemi extrakce příznaků, vytvářením modelů a návrhem algoritmů v analýze DoA založené na EEG. Identifikují mezery ve znalostech, zejména potřebu lepší spolupráce pro přístup k datům, která je nezbytná pro vývoj úspěšných modelů strojového učení a prediktivních algoritmů pro řízení anestezie u pacientů v reálném čase. Vyzývají také k zdokonalení procesů hodnocení modelů, aby byla zajištěna jejich robustnost u různých demografických skupin pacientů a anestetik. A zdůrazňují potenciál technologického pokroku pro zvýšení přesnosti, bezpečnosti a výsledků pacientů v anestezii, což otevírá cestu k novému standardu v anesteziologické péči [32]. Nové

technologie, napříč medicínou, a tudíž i v anesteziologii, jsou v současné době propojovány s umělou inteligencí (AI).

AI v anesteziologii

Umělé inteligenci a jejímu klinickému využití v anesteziologii se věnuje systematický přehled Lopes et al., do kterého bylo zahrnuto celkem 46 článků, které byly rozděleny do 4 kategorií s ohledem na jejich klinickou použitelnost: monitorování hloubky anestezie, techniky řízené obrazem související s anestezií, predikce událostí/rizik souvisejících s anestezií a kontrola podávání léčiv. Ve všech oblastech vykazovala většina testovaných metod umělé inteligence lepší výsledky ve srovnání s tradičními metodami. Příkladem je použití AI pro periferní nervové blokády nebo cévní přístupy. A výsledky ukazují například významně zvýšenou přesnost identifikace cíle jehly pro epidurální anestezii, kde ve srovnání s klinickou metodou pouze manuální palpce dosahují AI systémy založené na konvoluční neuronální síti (CNN) správnou identifikaci úrovně bederních obratlů s přesností 85 %, u obézních pacientů (s BMI nad 3) pak s úspěšností na první pokus 80 %. Systém navádí anesteziology k otáčení a úpravě polohy ultrazvukové sondy, aby našli ideální místo vpichu. Podle zjištění dokázali i anesteziologové s omezenými zkušenostmi s interpretací ultrazvukových snímků najít ideální místo punkce rychle a přesně. Jiným příkladem mohou být prediktivní modely na podkladě neuronových sítí a strojového učení (ML) při předpovídání postindukční hypotenze (definované jako hypotenze vyskytující se od tracheální intubace do incize) s úspěšností 84 %. Nebo k identifikaci pacientů s vysokým rizikem hypotenze během spinální anestezie, kde AI modely dosahovaly senzitivity i specifity 76 %, tedy vyšší než zkušený anesteziologové (senzitivita 16–36 %, specifita 64–87 %). Použití umělé inteligence bylo studováno také při predikci dalších komplikací, jako je hypoxemie nebo PONV, kde jako vstupů pro predikci PONV bylo použito 7 proměnných – pohlaví, typ operace, ASA status, délka anestezie, kuřácké návyky, anamnéza předchozí PONV a užití pooperačního opioidu – a AI vykazovala přesnost 83 %. Systémy umělé inteligence se úspěšně integrují do klinické praxe i v anesteziologii a zlepšují rozhodovací schopnosti lékařů, přesnost diagnostiky a terapeutickou odezvu [33]. Zdravotnictví v současné době generuje obrovské množství elektronických zdravotních údajů a jejich zpracování, a hlavně interpretace se bez AI již nedokáže obejít. Ukázkovým příkladem je kardioanestezie a následná intenzivní péče. Mathis et al. ve svém přehledu zkoumali silné stránky a omezení AI/ML při monitorování hloubky anestezie, transtorakální/transezofageální echokardiografie a optimalizace zdrojů na operačním sále. Výsledkem hodnocení je přesvědčení, že AI a ML mohou významně přispět k pochopení mnoha složitých, a zatím nepochopených scénářů zdravotní péče, a to nejen v kardioanesteziologii, ale i v dalších oborech, a mohly by se uplatnit při řešení problémů v oblasti monitorace hloubky anestezie, optimalizace kardiologických operačních sálů, echokardiografie a dalších perspektivních oborů. Vzhledem k absenci multicentrických údajů nebo důkladného testování, případně včetně klinických studií, je však třeba dbát na opatrnost, aby se při zavádění modelů založených na umělé inteligenci a ML předešlo zkreslení a nezamýšleným důsledkům nebo možnému poškození pacientů. Aby se takové aplikace mohly

závěs a udržet v čase, je před námi ještě dlouhá cesta sledování kvality dat a ladění výkonnosti algoritmů s tím, jak se pacienti, intervence a kontext poskytování zdravotní péče dále vyvíjejí. Pokroky v monitorování DoA a integrace AI do anesteziologie zdůrazňují posun k personalizované, datově řízené péči o pacienta. Monitorování

DoA stále zlepšuje výsledky, zejména u zranitelných skupin, zatímco AI slibuje zvýšení efektivity rozhodování a řízení operačních procesů. Budoucí výzkum by se měl zaměřit na překonání technických a etických výzev, aby se naplno využil potenciál AI v anesteziologii [34].

PROHLÁŠENÍ AUTORŮ: Prohlášení o původnosti: Práce je původní a nebyla publikována ani není zasílána k recenznímu řízení do jiného média. **Střet zájmů:**

Autoři prohlašují, že nemají střet zájmů v souvislosti s tématem práce. **Financování:** Podpořeno MZ ČR – RVO VFN64165.

LITERATURA

- Hao C, Xu H, Du J, Zhang T, Zhang X, Zhao Z, et al. Impact of Opioid-Free Anesthesia on Postoperative Quality of Recovery in Patients After Laparoscopic Cholecystectomy-A Randomized Controlled Trial. *Drug Des Devel Ther.* 2023 Nov 28;17:3539-3547. doi: 10.2147/DDDT.S439674. PMID: 38046284; PMCID: PMC10693280.
- Barakat H, Al Nawwar R, Abou Nader J, Aouad M, Yazbeck Karam V, Gholmieh L. Opioid-free versus opioid-based anesthesia in major spine surgery: a prospective, randomized, controlled clinical trial. *Minerva Anesthesiol.* 2024;90(6):482-490.
- Feng CD, Xu Y, Chen S, Song N, Meng XW, Liu H, et al. Opioid-free anaesthesia reduces postoperative nausea and vomiting after thoracoscopic lung resection: a randomised controlled trial. *Br J Anaesth.* 2024 Feb;132(2):267-276. doi: 10.1016/j.bja.2023.11.008. Epub 2023 Dec 1. PMID: 38042725.
- Ao Y, Ma J, Zheng X, Zeng J, Wei K. Opioid-Sparing Anesthesia Versus Opioid-Free Anesthesia for the Prevention of Postoperative Nausea and Vomiting after Laparoscopic Bariatric Surgery: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Anesth Analg.* 2024 Apr 5. doi: 10.1213/ANE.0000000000006942. Epub ahead of print. PMID: 38578868.
- Zhang Z, Li C, Xu L, Sun X, Lin X, Wei P, et al. Effect of opioid-free anesthesia on postoperative nausea and vomiting after gynecological surgery: a systematic review and meta-analysis. *Front Pharmacol.* 2024 Jan 4;14:1330250. doi: 10.3389/fphar.2023.1330250. PMID: 38239201; PMCID: PMC10794765.
- Hu Y, Zhang QY, Qin GC, Zhu GH, Long X, Xu JF, et al. Balanced opioid-free anesthesia with lidocaine and esketamine versus balanced anesthesia with sufentanil for gynecological endoscopic surgery: a randomized controlled trial. *Sci Rep.* 2024 May 23;14(1):11759. doi: 10.1038/s41598-024-62824-3. PMID: 38782997; PMCID: PMC1116438.
- Shanthanna H, Joshi GP. Opioid-free general anesthesia: considerations, techniques, and limitations. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2024 Aug 1;37(4):384-390. doi: 10.1097/ACO.0000000000001385. Epub 2024 May 9. PMID: 38841911.
- Mieszczański P, Kołacz M, Trzebiecki J. Opioid-Free Anesthesia in Bariatric Surgery: Is It the One and Only? A Comprehensive Review of the Current Literature. *Healthcare (Basel).* 2024 May 27;12(11):1094. doi: 10.3390/healthcare12111094. PMID: 38891169; PMCID: PMC11171472.
- Bao R, Zhang WS, Zha YF, Zhao ZZ, Huang J, Li JL, Wang T, Guo Y, Bian JJ, Wang JF. Effects of opioid-free anaesthesia compared with balanced general anaesthesia on nausea and vomiting after video-assisted thoracoscopic surgery: a single-centre randomised controlled trial. *BMJ Open.* 2024 Mar 1;14(3):e079544. doi: 10.1136/bmjopen-2023-079544. PMID: 38431299; PMCID: PMC10910406.
- Schiessler J, Leffler A. Opioid-free anesthesia: Wrong track or meaningful exit from the era of opioid-based analgesia? *Anaesthesiologie.* 2024;73(4):223-231.
- Chassery C, Atthar V, Marty P, Vuillaume C, Casalprim J, Basset B, et al. Opioid-free versus opioid-sparing anaesthesia in ambulatory total hip arthroplasty: a randomised controlled trial. *Br J Anaesth.* 2024 Feb;132(2):352-358. doi: 10.1016/j.bja.2023.10.031. Epub 2023 Dec 2. PMID: 38044236.
- Wang P, Zhou X, Wang S, Sheng F, Liu C, Wang Y, et al. Opioid-free anesthesia improves postoperative recovery quality of small and medium-sized surgery: a prospective, randomized controlled study. *Minerva Anesthesiol.* 2024 Sep;90(9):759-768. doi: 10.23736/S0375-9393.24.18125-4. PMID: 39279482.
- Bae MI, Oh J, Lee HS, Park S, Kwon IG, Song Y. Influence of psychological factors and pain sensitivity on the efficacy of opioid-free anesthesia: A randomized clinical trial. *Gen Hosp Psychiatry.* 2024 Jul-Aug;89:84-92. doi: 10.1016/j.genhosppsych.2024.04.001. Epub 2024 Apr 4. PMID: 38838608.
- Bláha J, Bartošová T, Nguyenová QG. Rok 2023 v přehledu - Celková anestezie. *Anest. intenziv. Med.* 2023;34(5):244-250. doi: 10.36290/aim.2023.068.
- Wu Q, Xu F, Wang J, Jiang M. Comparison of Remimazolam-Flumazenil versus Propofol for Recovery from General Anesthesia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med.* 2023 Nov 26;12(23):7316. doi: 10.3390/jcm12237316. PMID: 38068368; PMCID: PMC10707179.
- Yang C, Jiao J, Nie Y, Shao W, Zhang H, Huang S. Comparison of the bispectral indices of patients receiving remimazolam and propofol for general anesthesia: a randomized crossover trial. *Anaesth Crit Care Pain Med.* 2024 Jun;43(3):101377. doi: 10.1016/j.accpm.2024.101377. Epub 2024 Mar 15. PMID: 38494158.
- Hung KC, Wang WT, Liu WC, Hsu CW, Huang YT, Wu JY, et al. Comparing subjective quality of recovery between remimazolam- and propofol-based total intravenous anesthesia for surgical procedures: a meta-analysis. *Syst Rev.* 2024 Sep 17;13(1):235. doi: 10.1186/s13643-024-02660-8. PMID: 39289773; PMCID: PMC11409698.
- Zhu C, Xie R, Qin F, Wang N, Tang H. Comparison of the recovery quality between remimazolam and propofol after general anesthesia: systematic review and a meta-analysis of randomized controlled trials. *PeerJ.* 2024 Aug 26;12:e17930. doi: 10.7717/peerj.17930. PMID: 39210920; PMCID: PMC11361258.
- Pereira EM, Moraes VR, Gaya da Costa M, Nascimento TSD, Slawka E, Júnior CG, et al. Remimazolam vs. propofol for general anaesthesia in elderly patients: a meta-analysis with trial sequential analysis. *Eur J Anaesthesiol.* 2024 Oct 1;41(10):738-748. doi: 10.1097/EJA.0000000000002042. Epub 2024 Aug 12. PMID: 39069837; PMCID: PMC11377052.
- Wegner BM, Wegner GM, Spagnol LW, Costa LA, Spagnol VW, Paiva DF. Comparison between hemodynamic effects of remimazolam and propofol during general anesthesia: a systematic review and meta-analysis. *Minerva Anesthesiol.* 2024 Oct;90(10):901-911. doi: 10.23736/S0375-9393.24.18041-8. Epub 2024 Aug 5. PMID: 39101304.
- D'Andrea Ursolo J, Licheri M, Barucco G, Losiggio R, Frau G, Pieri M, et al. Remimazolam for anesthesia and sedation in cardiac surgery and for cardiac patients undergoing non-cardiac surgery: a systematic-narrative hybrid review. *Minerva Anesthesiol.* 2024 Jul-Aug;90(7-8):682-693. doi: 10.23736/S0375-9393.24.17943-6. Epub 2024 May 21. PMID: 38771145.
- Huang L, Liu H, Zou X, Ding J, Tao S. Adverse Drug Events Observed with the Newly Approved Remimazolam in Comparison to Propofol for General Anesthesia in Patients Undergoing Surgery: A Meta-analysis. *Adv Ther.* 2024 May;41(5):1896-1910. doi: 10.1007/s12325-024-02820-1. Epub 2024 Mar 13. PMID: 38480661.
- He TY, Zhong RP, Zhong WB, Huang GM, Liu XC. Effect of remimazolam on intra-operative hypotension: Systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Eur J Anaesthesiol.* 2024 Dec 1;41(12):898-909. doi: 10.1097/EJA.0000000000002057. Epub 2024 Sep 11. PMID: 39262323.
- Chen J, Zhou H, Liu K. A commentary on 'The safety and efficacy between remimazolam and propofol in intravenous anaesthesia of endoscopy operation: a systematic review and meta-analysis'. *Int J Surg.* 2023 Dec 1;109(12):4371-4372. doi: 10.1097/JIS.0000000000000710. PMID: 37816162; PMCID: PMC10720836.
- Yoo YM, Park JH, Lee KH, Yi AH, Kim TK. The incidences of nausea and vomiting after general anesthesia with remimazolam versus sevoflurane: a prospective randomized controlled trial. *Korean J Anesthesiol.* 2024 Aug;77(4):441-449. doi: 10.4097/kja.23939. Epub 2024 Apr 19. PMID: 38637272; PMCID: PMC11294881.
- Kim SY, Sim KM, Na HS, Koo BW, Shin HJ. Effect of remimazolam for general anesthesia on postoperative nausea and vomiting: A systematic review and meta-analysis. *Anaesthesiologie.* 2024 Oct;73(10):685-693. English. doi: 10.1007/s00101-024-01454-w. Epub 2024 Sep 13. PMID: 39271579.
- Laferrière-Longlois P, Morisson L, Jeffries S, Duclos C, Espitalier F, Richebé P. Depth of Anesthesia and Nociception Monitoring: Current State and Vision For 2050. *Anesth Analg.* 2024 Feb 1;138(2):295-307. doi: 10.1213/ANE.0000000000006860. Epub 2024 Jan 12. PMID: 38215709.
- Baron Shahaf D, Shahaf G. Intraoperative EEG-based monitors: are we looking under the lamp post? *Curr Opin Anaesthesiol.* 2024 Apr 1;37(2):177-183. doi: 10.1097/ACO.0000000000001339. Epub 2024 Jan 10. PMID: 38390951.
- Brook K, Agarwala AV, Li F, Purdon PL. Depth of anesthesia monitoring: an argument for its use for patient safety. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2024 Dec 1;37(6):689-696. doi: 10.1097/ACO.0000000000001430. Epub 2024 Sep 2. PMID: 39248004.
- Temmerman R, Centimole Z, Morgan B, Greenier E. The Utility of BIS™ Monitoring in Anesthesia for Elderly Patients. *AANA J.* 2024 Jun;92(3):7-13. PMID: 38758719.
- Gu Y, Hao J, Wang J, Liang P, Peng X, Qin X, et al. Effectiveness Assessment of Bispectral Index Monitoring Compared with Conventional Monitoring in General Anesthesia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Anesthesiol Res Pract.* 2024 Aug

7;2024:5555481. doi: 10.1155/2024/5555481. PMID: 39149130; PMCID: PMC11325011.

32. Schmierer T, Li T, Li Y. Harnessing machine learning for EEG signal analysis: Innovations in depth of anaesthesia assessment. *Artif Intell Med.* 2024 May;151:102869. doi: 10.1016/j.artmed.2024.102869. Epub 2024 Apr 4. PMID: 38593683.

33. Lopes S, Rocha G, Guimarães-Pereira L. Artificial intelligence and its clinical application in Anesthesiology: a systematic review. *J Clin Monit Comput.* 2024 Apr;38(2):247-

259. doi: 10.1007/s10877-023-01088-0. Epub 2023 Oct 21. PMID: 37864754; PMCID: PMC10995017.

34. Mathis M, Steffner KR, Subramanian H, Gill GP, Girardi NI, Bansal S, et al. Overview and Clinical Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning in Cardiac Anesthesiology. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2024 May;38(5):1211-1220. doi: 10.1053/j.jvca.2024.02.004. Epub 2024 Feb 15. PMID: 38453558; PMCID: PMC10999327.