

2. Intraoperační fáze: monitorace, predikce a podpora rozhodování

Intraoperační prostředí je pro využití AI mimořádně vhodné díky kontinuálnímu toku dat a nutnosti rychlé klinické reakce. Praktický potenciál však mají pouze nástroje, které pomáhají časně rozpoznat riziko, srozumitelně upozornit na jeho pravděpodobný mechanismus a podpořit bezpečnou reakci lékaře – nikoli ty, které přidávají další číslo na monitor bez návazné klinické akce.

V oblasti hemodynamického monitorování patří k nejdiskutovanějším aplikacím AI predikce intraoperační hypotenze z křivky invazivního měření krevního tlaku. Hypotension Prediction Index (HPI; proprietární algoritmus) vyjadřuje riziko blížící se hypotenze a může upozornit na pokles středního arteriálního tlaku pod kritickou hranici s předstihem několika minut [17]. Randomizovaná studie HYPE z roku 2020 v malé monocentrické skupině elektivních nekardiochirurgických pacientů ukázala, že HPI použitý jako časný varovný systém v kombinaci s hemodynamickým diagnostickým a léčebným protokolem snížil časově váženou hypotenzní zátěž, tedy ukazatel zahrnující hloubku i dobu trvání hypotenze [18]. Tento výsledek však nelze automaticky interpretovat jako prokázané zlepšení morbidit nebo mortality. Studie hodnotila fyziologický náhradní parametr, nikoli tvrdý klinický ukazatel.

Následná metodologická kritika upozornila, že predikční výkon HPI mohl být nadhodnocen kvůli způsobu výběru trénovacích a validačních dat. Část jeho zdánlivě přidané hodnoty může souviset již s aktuální hodnotou středního arteriálního tlaku, nikoli pouze s komplexní analýzou arteriální tlakové křivky [19, 20].

Evropský multicentrický registr EU HYPROTECT, publikovaný v roce 2023 na základě zařazování pacientů v letech 2021–2022, přinesl prospektivní observační data z 12 center v pěti evropských zemích u 702 analyzovaných pacientů používajících software HPI. Studie ukázala velmi nízkou intraoperační hypotenzní zátěž při monitoraci HPI. Sama o sobě však nenahrazuje důkaz o zlepšení tvrdých patientských výsledků [21]. Registr byl financován výrobcem softwaru HPI, společností Edwards Lifesciences, a řada autorů uvádí vazby na tuto společnost. Při interpretaci výsledků je proto vhodné tuto skutečnost zohlednit.

Recentní multicentrická randomizovaná studie z roku 2025 u středně až vysoce rizikových pacientů podstupujících elektivní abdominální chirurgický výkon ukázala, že management řízený HPI nesnížil výskyt středně těžkého až těžkého pooperačního akutního poškození ledvin během prvních 7 dnů po operaci ani celkových komplikací oproti standardní péči [22]. Je tedy zásadní rozlišovat snížení hypotenzní zátěže jako náhradní parametr od prokázaného klinického benefitu. Dalším limitem čistě prediktivního přístupu je skutečnost, že odhad rizika hypotenze nevysvětluje její mechanismus ani odpovídající reakci na ni. Na tuto interpretační rovinu navazuje koncept hemodynamické fenotypizace, který integruje parametry, jako jsou krevní tlak, srdeční výdej, tepový objem, srdeční frekvence a cévní rezistence. Podle Micharda a Abou-*Araba* přitom u omezeného souboru hemodynamických dat nemusí být komplexní algoritmus strojového učení nezbytný [23].

Za zmínku stojí také automatizovaná analýza kontinuálního EKG pro intraoperační detekci arytmií. Ta však zatím zůstává ve fázi vývoje. Recentní anesteziologicky anotovaný soubor s technicky validovaným

klasifikátorem dokládá proveditelnost, nikoli klinický přínos nebo připravenost k rutinnímu nasazení [24].

Další oblastí intraoperačního využití AI jsou closed-loop systémy a automatizovaná titrace léčiv. Nejde o autonomní anestezii, ale o automatizovanou zpětnovazební regulaci předem definované cílové proměnné, například hloubky anestezie podle BIS/EEG nebo třeba vybraného hemodynamického cíle [25].

Klinické studie a metaanalytická data však ukazují především technickou proveditelnost tohoto systému a lepší udržení předem definovaných cílových proměnných [26]. Randomizovaná studie s multi-closed-loop systémem z roku 2020, který automatizoval titraci hloubky anestezie, analgezie, cílené tekutinové terapie podle hemodynamických parametrů a ventilace, prokázala lepší kontrolu bispektrálního indexu (BIS), méně času v hluboké anestezii, nižší výslednou intraoperační tekutinovou bilanci a možný vliv na zpožděné neurokognitivní zotavení, nikoli však jednoznačný dopad na tvrdé klinické výsledky [27]. Novější randomizovaná studie automatizovaného řízení propofolu, remifentanilu a rokuronia z roku 2023 ukázala, že closed-loop systém dokázal udržet sedaci, analgezii a svalovou relaxaci ve srovnatelné kvalitě jako manuální vedení anesteziology. I zde však jde především o procesní ukazatele, nikoli o průkaz zlepšení patientských výsledků [28]. Podobně vazopresorové closed-loop systémy prokazují lepší udržení zvoleného hemodynamického cíle v malé monocentrické randomizované studii automatizované titrace noradrenalinu. Zatím však bez průkazu dopadu na pooperační komplikace nebo jiné tvrdé klinické výsledky [29].

AI-asistovaná analýza EEG se snaží z komplexního signálu vytěžit více než nabízejí běžné číselné indexy hloubky anestezie. Je přitom zásadní rozlišovat standardní procesovaný EEG monitoring, například BIS nebo entropii, od výzkumných modelů strojového a hlubokého učení pracujících s hrubým nebo vícesvodovým EEG, jejichž výkon závisí na použitém souboru dat, typu monitorace, populaci a anestetikách [30]. Modely strojového a hlubokého učení jsou zkoumány pro odhad hloubky anestezie, rozpoznávání dynamických přechodů anestetického stavu a detekci nadměrného útlumu. Současná evidence však zdůrazňuje potřebu robustnější validace napříč populacemi, typy anestetik a klinickými postupy [30]. Jako příklad predikčního využití lze uvést monocentrickou retrospektivní studii DELPHI-EEG (Ahn et al., 2025), v níž model využívající 6svodové intraoperační EEG a údaje o věku a pohlaví dosáhl AUC 0,87 pro predikci pooperačního deliria. Vzhledem k nízké četnosti pooperačního deliria v testovaném souboru, omezené spolehlivosti pozitivních predikcí a absenci externí validace však zatím nejde o nástroj s prokázaným klinickým přínosem ani o samostatný prostředek prevence deliria [31].

V oblasti zajištění dýchacích cest se AI rozvíjí zejména ve třech směrech: predikce obtížných dýchacích cest, asistence při intubaci a automatizované hodnocení polohy endotracheální rourky. Zkoumají se modely využívající klinická data, řečové znaky nebo analýzu obličejových obrazů, stejně jako nástroje podporující videolaryngoskopii či roboticky asistovanou intubaci. Dosavadní evidence je však převážně časná a heterogenní, a proto je nejbližší role těchto nástrojů spíše v podpoře předoperačního posouzení, volby strategie a kontroly technických kroků, nikoli v nahrazení klinického posouzení dýchacích cest [32].