

SOUBORNÉ SDĚLENÍ

Sedem aktuálních trendov umelej inteligencie v pediatrii

Seven current trends in artificial intelligence in pediatrics

Andrej Thurzo¹, Ľudmila Podracká²

¹Klinika ortodoncie a regeneratívnej a forenznej stomatológie, Lekárska fakulta Univerzity Komenského, Bratislava

²Detská klinika, Lekárska fakulta Univerzity Komenského, Národný ústav detských chorôb, Bratislava

SÚHRN

Thurzo A, Podracká Ľ. Sedem aktuálních trendov umelej inteligencie v pediatrii

Umelá inteligencia (AI) si rýchlo nachádza uplatnenie v pediatrii naprieč rôznymi oblasťami medicíny. Tento prehľad predstavuje sedem najaktuálnejších tém využitia AI v starostlivosti o detských pacientov, vrátane diagnostického zobrazovania, prediktívnej analytiky na včasné varovanie pred zhoršením stavu, personalizovanej medicíny s dôrazom na genomiku a farmakogenomiku, podpory pri diagnostike neurovývojových a behaviorálnych porúch, inteligentných klinických rozhodovacích systémov, telemedicíny a diaľkového monitorovania, ako aj etických výziev spojených so zavádzaním AI u detí. V každej z týchto oblastí už výskum ukazuje hmatateľné prínosy – od zlepšenia presnosti a rýchlosti diagnostiky až po možnosť individualizovať liečbu a zefektívniť starostlivosť. Zároveň upozorňujeme na špecifiká detskej populácie, ktoré si vyžadujú opatrnosť pri vývoji a nasadzovaní AI, najmä pokiaľ ide o kvalitu dát, bezpečnosť, transparentnosť a etické zásady. Pre pediatrov je dôležité oboznámiť sa s možnosťami aj limitáciami umelej inteligencie, aby mohli zodpovedne využiť jej potenciál na zlepšenie zdravotnej starostlivosti o deti.

Kľúčové slová: umelá inteligencia, pediatria, strojové učenie, diagnostika, personalizovaná medicína, telemedicina, etika AI

SUMMARY

Thurzo A, Podracká Ľ. Seven current trends in artificial intelligence in pediatrics

Artificial intelligence (AI) is rapidly finding its application in pediatrics across various areas of medicine. This review presents seven of the most current topics in the use of AI in pediatric care, including diagnostic imaging, predictive analytics for early warning of deterioration, personalized medicine with a focus on genomics and pharmacogenomics, support in diagnosing neurodevelopmental and behavioral disorders, intelligent clinical decision support systems, telemedicine and remote monitoring, as well as the ethical challenges related to implementing AI in children. In each of these domains, research already demonstrates tangible benefits – from improving the accuracy and speed of diagnosis to enabling individualized treatment and more efficient care. At the same time, we highlight the specific characteristics of the pediatric population that require caution when developing and deploying AI, especially regarding data quality, safety, transparency, and ethical standards. For pediatricians, it is important to become familiar with both the possibilities and limitations of artificial intelligence in order to responsibly harness its potential to improve child healthcare.

Key words: artificial intelligence, pediatrics, machine learning, diagnostics, personalized medicine, telemedicine, AI ethics

Korešpondujúci autor:

doc. MUDr. Andrej Thurzo, PhD., MHA, MPH
Klinika ortodoncie a regeneratívnej a forenznej stomatológie LF UK
Dvořákovo nábrežie 4
811 02 Bratislava
Slovenská republika
Thurzo3@uniba.sk

ÚVOD

Pokroky v oblasti umelej inteligencie (AI) a strojového učenia prinášajú do medicíny nové nástroje, ktoré majú potenciál zásadne ovplyvniť diagnostiku aj liečbu. Pediatria nie je výnimkou – hoci detskí pacienti majú svoje špecifiká (menšie objemy dát, meniaci sa anatómia a fyziológia s vekom, odlišná epidemiológia ochorení), práve tu môže AI výrazne pomôcť tam, kde sú tradičné postupy náročné alebo zdĺhavé. Nasledujúci prehľad predstavuje sedem kľúčových oblastí, v ktorých sa AI v pediatrii v súčasnosti najviac rozvíja. Pri každej téme uvádzame príklady využitia podporené odbornou literatúrou a výskumom.

AI V DIAGNOSTICKOM ZOBRAZOVANÍ

Jednou z najviac rozvinutých oblastí je využitie AI pri analýze medicínskych snímok v pediatrii. Moderné algoritmy hlbokého učenia dokážu na rádiologických snímkach identifikovať patologické nálezy s presnosťou porovnateľnou s odborníkmi. Napríklad konvolučné neurónové siete dosiahli úroveň rádiológa pri detekcii pneumónií na detských snímkach hrudníka.⁽¹⁾ Systematický prehľad ukázal, že viaceré modely na klasifikáciu detskej pneumónie z RTG snímok vykazovali senzitivitu a špecifitu až okolo 95-96 %, pričom niektoré dosiahli takmer 100% presnosť.⁽²⁾ AI sa uplatňuje aj v ďalších modalitách zobrazovania – napríklad pri hodnotení ultrazvukových snímok srdca u detí dokáže algoritmus automaticky rozpoznať vrodené srdcové chyby alebo odmerať ejekčnú frakciu, čo zefektívňuje prácu detského kardiológa. V onkologickej rádiológii a patológii zasa modely dokážu identifikovať nádory na MRI či histologických preparátoch. AI týmto spôsobom zvyšuje rýchlosť a objektivitu diagnostiky, pomáha včas odhaliť ochorenia aj v podmienkach, kde nemusí byť k dispozícii skúsený detský rádiológ.

PREDIKTÍVNA ANALYTIKA A VČASNÉ VAROVNÉ SYSTÉMY

Ďalšou horúcou oblasťou je využívanie AI na predikciu zhoršenia zdravotného stavu a komplikácií u detí. Prediktívne modely spracúvajú veľké množstvo údajov z elektronických zdravotných záznamov alebo monitorov a hľadajú vzorce signalizujúce nastupujúci problém skôr, než by ho odhalila bežná klinická kontrola. Na neonatologických intenzívnych jednotkách sa už využívajú algoritmy na kontinuálne hodnotenie variability srdcovej frekvencie a ďalších fyziologických parametrov novorodenca. Známy je systém HeRO, ktorý na základe odchýlok srdcovej frekvencie predpovedá riziko sepsy u predčasne narodených detí – v štúdií zavedenie tohto AI systému viedlo k poklesu úmrtnosti novorodencov o vyše 20 %.⁽³⁾ U starších detí sa strojové učenie skúma napríklad na predpovedanie exacerbácií astmy či rizika ketoacidózy pri diabete. V primárnej starostlivosti v Británii bol vyvinutý algoritmus, ktorý z údajov z bežných vyšetrení dokázal identifikovať deti v ranom štádiu rozvoja diabetu

I. typu skôr než tradičné metódy, čo môže umožniť včasnejší zásah.⁽⁴⁾ Podobne sa experimentuje s predikciou epileptických záchvatov či zhoršenia chronických stavov. Takéto včasné varovné systémy môžu dať lekárom náskok – upozornia na pacienta, ktorý sa zatiaľ klinicky javí v poriadku, no údaje naznačujú hroziacu komplikáciu, takže je možné skôr zasiahnuť a zlepšiť prognózu.

PERSONALIZOVANÁ MEDICÍNA, GENOMIKA A FARMAKOGENOMIKA

AI výrazne napreduje aj v personalizácii pediatrickej starostlivosti. Každé dieťa má unikátny genetický profil a iné predispozície; spracovať komplexné genomické dáta však presahuje ľudské možnosti. Tu dnes nastúpila umelá inteligencia, ktorá vie v genóme identifikovať patologické varianty a priradiť ich ku konkrétnym klinickým prejavom. Vďaka strojovému učeniu sa podarilo urýchliť diagnostiku zriedkavých genetických chorôb u kriticky chorých novorodencov – kombinácia rýchleho sekvenovania celého genómu a automatizovaného AI rozpoznávania fenotypových znakov umožnila stanoviť diagnózu už v priebehu niekoľkých desiatok hodín, čo má zásadný význam pre včasné nasadenie liečby.⁽⁵⁾ AI sa tiež využíva na tzv. **fenotypovanie** – napríklad analýzou fotografie tváre dieťaťa dokáže algoritmus rozpoznať črty typické pre určité genetické syndrómy, čím pomáha klinikom v diagnostike vzácnych porúch (prístup známy aj z aplikácií ako Face2Gene).⁽⁶⁾ Ďalšou podoblasťou je farmakogenomika a optimalizácia liečby. U detí často neplatí princíp „malý dospelý“ a dávkovanie liekov či výber terapie treba prispôsobiť individuálne. AI modely dokážu na základe genetických polymorfizmov predpovedať, ako dieťa zareaguje na konkrétny liek – pomáhajú napríklad identifikovať deti, u ktorých hrozia závažné nežiaduce účinky alebo u ktorých treba upraviť dávku.⁽⁷⁾ Už dnes existujú databázy a algoritmy odporúčajúce liečbu na mieru podľa genetického profilu pacienta.⁽⁵⁾ Celkovo AI urýchľuje pretaženie poznatkov z genetiky a „omik“ vied do klinickej praxe – smerom k precíznej medicíne šitej na mieru dieťaťa.^(5,8)

VÝVOJOVÉ PORUCHY A DUŠEVNÉ ZDRAVIE

Pediatrickí pacienti často čelia diagnózam v oblasti neurovývoja a psychiky, kde je AI taktiež sľubným nástrojom. Najviac pozornosti sa venuje poruche autistického spektra (PAS) a ďalším vývinovým poruchám. Diagnostika autizmu je zložitý proces, vyžaduje skúsený multidisciplinárny tím a často sa stanovenie diagnózy odďaľuje až do vyššieho veku dieťaťa.^(9,10) Umelá inteligencia môže pomôcť zefektívniť skríning aj diagnózu PAS. Napríklad algoritmy analyzujúce videozáznamy dieťaťa dokážu vyhodnotiť vzorce správania, očné kontakty či mimiky a identifikovať deti s vysokou pravdepodobnosťou autizmu. V neďávnej klinickej štúdií bol overený AI-poháňaný diagnostický nástroj (softvér ako zdravotnícke zariadenie), ktorý kombinuje údaje z dotazníkov pre rodičov a lekárov s automatizovanou analýzou

krátkych domácich videí dieťaťa. Tento systém (známy ako Canvas Dx) získal autorizáciu FDA a v testoch dosiahol u detí vo veku 1,5 až 6 rokov senzitivitu vyše 98 % a špecifickosť okolo 79 % pri detekcii autizmu, pričom dokázal urýchliť diagnostiku v primárnej starostlivosti.⁽¹¹⁾ Iné prístupy využívajú analýzu jemných črt tváre – štúdia z roku 2024 ukázala, že kombináciou hrubého a detailného hodnotenia mimiky z fotografií dokáže AI odhaliť autizmus s vysokou presnosťou.⁽¹²⁾ Popri PAS sa výskum venuje aj poruche pozornosti s hyperaktivitou (ADHD) či poruchám učenia, kde sa skúša AI na predikciu diagnózy z neuropsychologických testov alebo dokonca z obrazových dát mozgu. Okrem diagnostiky nachádza AI uplatnenie aj v terapii duševných porúch – vznikajú napríklad chatboty a aplikácie pre dospievajúcich, ktoré využívajú strojové učenie na poskytovanie psychoedukácie či kognitívno-behaviorálnej intervencie. Hoci tieto technológie nenahradia odbornú starostlivosť, môžu slúžiť ako doplnok, znižovať stigma a zlepšiť dostupnosť pomoci. Všetky tieto inovácie v oblasti behaviorálnej a vývojovej pediatrie však musia byť dôkladne klinicky validované, aby sme zabezpečili, že sú spoľahlivé a bezpečné pre citlivú detskú populáciu.

AI V PODPORE KLINICKÉHO ROZHODOVANIA

Klinické rozhodovacie systémy podporované umelou inteligenciou (AI-CDS) predstavujú ďalší rozvíjajúci sa trend. Na rozdiel od tradičných „pravidlových“ systémov (ktoré poskytujú upozornenia na základe vopred definovaných kritérií) dokážu AI modely učiť sa z dát ponúknuť dynamickjšie a presnejšie odporúčania. V pediatrii sa už vyvíjajú inteligentné moduly integrované do nemocničných informačných systémov, ktoré napríklad upozornia lekára na možnú diagnózu, ak algoritmus rozpozná u pacienta nezvyčajnú kombináciu príznakov a výsledkov vyšetrení. Príkladom je model zabudovaný v elektronickej zdravotnej dokumentácii, ktorý identifikuje deti s rizikom klinického zhoršenia – napríklad predpovedá, u ktorého pacienta na lôžku sa v najbližších hodinách rozvinie sepsa alebo respiračné zlyhanie, a odporučí preventívne kroky. Štúdie naznačujú, že ML-algoritmy v takýchto systémoch vedú dosiahnuť vyššiu presnosť a menej falošných poplachov než klasické prístupy založené na prahových hodnotách.⁽¹³⁾ Ďalšie využitie AI-CDS je pri podporovaní rozhodnutí o liečbe – systém môže navrhnúť vhodnú dávku lieku na základe hmotnosti a farmako-genetického profilu dieťaťa alebo upozorniť na odchýlky od pediatrických guidelines. Dôležité však je, aby tieto nástroje boli pre lekárov zrozumiteľné (tzv. explainable AI)⁽¹⁴⁾ a ľahko zakomponovateľné do klinického workflow. Zatiaľ je integrácia AI do každodennej pediatrickej praxe len na začiatku, no očakáva sa jej boom – najmä ak sa opakovane preukáže, že výrazne pomáha redukovať chyby a zlepšovať výsledky liečby detských pacientov.

TELEMEDICÍNA A DIAĽKOVÝ MONITORING S AI

Pandémia COVID-19 urýchlila rozmach telemedicíny nielen v zubnom lekárstve, ale aj v pediatrii a zároveň poukázala na možnosti využitia digitálnych technológií a AI pri starostlivosti na diaľku. Dnes majú mnohí mladí pacienti inteligentné nositeľné zariadenia (wearables) alebo domáce senzory, ktoré kontinuálne zbierajú údaje – od srdcovej frekvencie cez saturáciu kyslíka, glukózu v krvi (senzory u diabetikov) až po údaje o fyzickej aktivite či spánku. AI zohráva úlohu pri interpretácii tohto obrovského množstva dát v reálnom čase. Algoritmy vedú z detekovaných trendov a anomálií upozorniť rodiča či lekára, že napríklad dieťa s astmou môže smerovať k exacerbácii alebo že diabetik má neobvykle kolísavé glykémie vyžadujúce úpravu inzulínového režimu. Systematický prehľad technológií pre diaľkový monitoring chronicky chorých pacientov poukazuje, že AI umožňuje filtráciu šumu a vyhodnocovanie údajov z viacerých senzorov naraz, čím zvyšuje spoľahlivosť týchto systémov.⁽¹⁵⁾ V kombinácii s telemedicínou – teda vzdialenými konzultáciami cez video či chat – to znamená, že lekár môže mať virtuálne pod dozorom pacienta doma. Napríklad v detskej kardiológii sa počas pandémie osvedčilo sledovanie pacientov s vrodenými chybami srdca cez telekardiológiu, kde rodičia pravidelne posielali údaje a videá zo špeciálnych aplikácií a AI pomáhala triážovať, ktorí pacienti potrebujú kontrolu skôr. Do budúcnosti sa ráta aj s tým, že rodičia budú môcť pomocou smartfónu nasnímať napríklad kožnú vyrážku či ucho dieťaťa a AI predbežne vyhodnotí, či ide o niečo banálne, alebo je nutné vyhľadať lekára. Telemedicínske platformy obohatené o prvky umelej inteligencie tak môžu zlepšiť dostupnosť odborníka pre vzdialené alebo zaneprázdnené rodiny a zároveň poskytnúť určitú prehľadovú starostlivosť mimo nemocnice. Je však nevyhnutné zabezpečiť kybernetickú bezpečnosť a súkromie dát pri týchto riešeniach, keďže ide často o citlivé informácie prenášané online.^(6,16–18)

ETICKÉ VÝZVY A POŽIADAVKY PRI IMPLEMENTÁCII AI

Zavádzanie umelej inteligencie do pediatrie prináša nielen technické, ale aj etické a právne otázky. Deti predstavujú zraniteľnú populáciu, ktorej **dáta** si vyžadujú osobitnú ochranu. Súčasné AI modely zatiaľ postrádajú fundamentálnu schopnosť obavy-strachu z ublíženia pacientovi.⁽¹⁹⁾ Modely trénované prevažne na dospelých môžu v detskej medicíne zlyhávať – detský organizmus prechádza dynamickým vývojom a algoritmus musí brať do úvahy vekové a vývojové odlišnosti. Objavuje sa pojem tzv. vekom podmienenej algoritmickej predpojatosti (age-related bias), keď model získaný z dospelých dát nefunguje správne u detí.⁽²⁰⁾ Taktiež existuje riziko, že AI systém bude menej presný v určitých podskupinách detí (napr. novorodenci vs. adolescenti alebo rozdiely podľa etnickej skupiny), ak nemá dostatočne reprezentatívne tréningové dáta. Preto odborníci zdôrazňujú potrebu zostavovať detské datasety a zahrnúť do vývoja AI špecifické pediatrické parametre.⁽²⁰⁾ Ďalšou výzvou je súhlas a transparentnosť: deti nemôžu plne rozhodovať o použití

svojich údajov, preto je tu **rodičovský súhlas** a otázka opätovného súhlasu, keď dieťa dosiahne adekvátne chápanie – tzv. právo dieťaťa na otvorenú budúcnosť znamená, že by nemalo dôjsť k nezvratným rozhodnutiam na základe AI, ktoré by neskôr obmedzili možnosti mladého človeka.⁽²⁰⁾ Dôležitá je aj **vysvetliteľnosť**: klinici aj rodičia by mali rozumieť aspoň rámcovo, na akom princípe AI k danému odporúčaní dospela, inak môže chýbať dôvera v systém. Vývojári AI v pediatrii preto začínajú implementovať zásady ako privacy-by-design (zabudovaná ochrana súkromia) a regulátory formujú prvé smernice. V roku 2023 vznikol rámec odporúčaní ACCEPT-AI, ktorý špecificky definuje princípy pre bezpečné zapojenie pediatrických dát a AI algoritmov – zahŕňa požiadavky na súhlas, spravodlivosť, ochranu údajov a priebežné monitorovanie algoritmov v čase.⁽¹⁹⁾ V praxi to znamená, že nemocnice zavádzajúce AI musia mať etické komisie a protokoly na kontrolu týchto systémov. Napokon, zákonodarcovia budú musieť držať krok – napríklad riešiť zodpovednosť za omyly AI (či zodpovedá lekár, vývojár, alebo inštitúcia) a nastaviť regulácie, aby AI v medicíne slúžila vždy v najlepšom záujme dieťaťa.

ZÁVER

Dnes bez preháňania možno povedať, že patríme k posledným generáciám lekárov, ktoré ešte zažili postupy liečby detí v dobe pred AI a občas mali to potešenie byť najmúdrejším „algoritmom“ na oddelení. Aj keď sofistikované AI modely už dnes vedia nájsť zo snímok, zvukov či iných údajov priam neuveriteľné nálezy či súvislosti, ľudskosť vo vzťahu k malému pacientovi, jeho obavám a rodičovskej neistote zatiaľ nevie nahradiť žiadna neurónová sieť. Je pravdepodobné, že vzťah postavený medzi ľuďmi na dôvere lekár-pacient AI rozbiť nebude. Naša úloha sa aj preto mení: popri empatickom rozhovore bude čoskoro rovnako samozrejmé, ako je dnes schopnosť lekára čítať a písať, aj poznanie používania umelej inteligencie v diagnostike a liečbe, pri rozhodovaní a predikciách. Klinická gramotnosť v používaní AI sa totiž v priebehu jednej dekády stane základnou zručnosťou. Čím skôr si ju osvojíme, tým lepšie budeme pripravení na budúcnosť pediatrickej starostlivosti. |

LITERATÚRA

1. **Rajpurkar P, Irvin J, Zhu K, et al.** CheXNet: radiologist-level pneumonia detection on chest X-rays with deep learning. [Internet]. 2017 [cit. 12. 7. 2025]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1711.05225>
2. **Field EL, Tam W, Moore N, McEntee M.** Efficacy of artificial intelligence in the categorisation of paediatric pneumonia on chest radiographs: a systematic review. *Children* 2023; 10(3): 576.
3. **Fairchild KD.** Predictive monitoring for early detection of sepsis in neonatal ICU patients. *Curr Opin Pediatr* 2013; 25(2): 172–179.
4. **Daniel R, Jones H, Gregory JW, et al.** Predicting type 1 diabetes in children using electronic health records in primary care in the UK: development and validation of a machine-learning algorithm. *Lancet Digit Health* 2024; 6(6): e386–e395.
5. **Hassan M, Awan FM, Naz A, et al.** Innovations in genomics and big data analytics for personalized medicine and health care: a review. *Int J Mol Sci* 2022; 23(9): 4645.
6. **Kováč P, Jackuliak P, Bražinová A, et al.** Artificial intelligence-driven facial image analysis for the early detection of rare diseases: legal, ethical, forensic, and cybersecurity considerations. *AI* 2024; 5(3): 990–1010.
7. **Barker CIS, Groeneweg G, Maitland-van der Zee AH, et al.** Pharmacogenomic testing in paediatrics: clinical implementation strategies. *Br J Clin Pharmacol* 2022; 88(10): 4297–4310.
8. **Clark MM, Hildreth A, Batalov S, et al.** Diagnosis of genetic diseases in seriously ill children by rapid whole-genome sequencing and automated phenotyping and interpretation. *Sci Transl Med* 2019; 11(489).
9. **Kyselíková K, Baroková Ž, Dukonyová D, et al.** Language deficit in boys with autism spectrum disorder in relation to maternal reproductive health, endocrine disruptors, and delivery method. *Ceska Gynekol* 2024; 89(5): 360–369.
10. **Megerian JT, Dey S, Melmed RD, et al.** Evaluation of an artificial-intelligence-based medical device for diagnosis of autism spectrum disorder. *NPJ Digit Med* 2022; 5(1): 57.
11. **Chen J, Chen C, Xu R, Liu L.** Autism identification based on the intelligent analysis of facial behaviors: an approach combining coarse- and fine-grained analysis. *Children* 2024; 11(11): 1306.
12. **Ramgopal S, Sanchez-Pinto LN, Horvat CM, et al.** Artificial intelligence-based clinical decision support in pediatrics. *Pediatr Res* 2023; 93(2): 334–341.
13. **Thurzo A.** Provable AI ethics and explainability in medical and educational AI agents: trustworthy ethical firewall. *Electronics* 2025; 14(7): 1294.
14. **Peyroteo M, Ferreira IA, Elvas LB, et al.** Remote monitoring systems for patients with chronic diseases in primary health care: systematic review. *JMIR Mhealth Uhealth* 2021; 9(12): e28285.
15. **Palacios C, Hernandez J, Ajmal A, et al.** Digital health, technology-driven or technology-assisted interventions for the management of obesity in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev.* 2025; 7(7).
16. **Thurzo A, Kurilová V, Varga I.** Artificial intelligence in orthodontic smart application for treatment coaching and its impact on clinical performance of patients monitored with AI-teleHealth system. *Healthcare* 2021; 9(12): 1695.
17. **Surovková J, Haluzová S, Strunga M, et al.** The new role of the dental assistant and nurse in the age of advanced artificial intelligence in telehealth orthodontic care with Dental Monitoring: preliminary report. *Appl Sci* 2023; 13(8): 5212.
18. **Thurzo A, Thurzo V.** Embedding fear in medical AI: a risk-averse framework for safety and ethics. *AI* 2025; 6(5): 101.
19. **Muralidharan V, Burgart A, Daneshjou R, Rose S.** Recommendations for the use of pediatric data in artificial intelligence and machine learning (ACCEPT-AI). *NPJ Digit Med* 2023; 6(1): 166.