

# Digitalizácia zubnej praxe: diagnostika a liečba pomocou umelej inteligencie

Gazdík Ľ., Lehotská V.

MDDr. Ľubomír Gazdík<sup>1,2</sup>, prof. MUDr. Viera Lehotská, PhD.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> II. Rádiologická klinika LF UK a OÚSA Bratislava

<sup>2</sup> Ortodoncia Gazdík, s.r.o., Dolný Kubín

## Súhrn a kľúčové slová

Digitalizácia zubnej praxe prechádza dynamickým vývojom, pričom jedným z najvýznamnejších impulzov je integrácia umelej inteligencie (UI) do diagnostických a terapeutických procesov. Tento článok predstavuje aktuálne možnosti využitia UI v stomatológii, od automatizovanej analýzy röntgenových snímok až po plánovanie zložitých zákrokov pomocou 3D modelov a chirurgických šablón. Diskutuje sa využitie deep learning algoritmov na detekciu kazov, parodontálnych lézií či anomálií v snímkach, ako aj rozvoj optických technológií bez ionizujúceho žiarenia. V terapeutickom oblasti sa UI uplatňuje pri segmentácii CBCT dát, návrhu implantologických a ortodontických plánov, ako aj vo výrobe protetických náhrad. Príspevok zároveň poukazuje na limity a zodpovednosť pri klinickom rozhodovaní, pričom zdôrazňuje, že UI je nástrojom na podporu – nie náhradou – odborného úsudku lekára. Cieľom článku je ponúknuť prehľad aktuálnych technológií a možného budúceho smerovania stomatológie.

**Kľúčové slová:** umelá inteligencia, digitálna stomatológia, diagnostika, liečba

Moderná digitalizácia zubnej praxe so sebou prináša čoraz viac nástrojov založených na umelej inteligencii (UI). UI v stomatológii už nie je hudbou budúcnosti – dnešní zubní lekári ju môžu využívať v každodennej diagnostike a plánovaní liečby.

## Možnosti využitia UI v diagnostike zubných ochorení

Jednou z najviac rozvinutých oblastí je automatizovaná analýza RTG - snímok. Tradične zubný lekár skúma röntgenové snímky, spoliehajúc sa na svoje vedomosti a skúsenosti. V dnešnej dobe je už štandardom digitálna forma zobrazenia. Posun od „vývojky a ustaľovača“ k digitálnym senzorom a platničkám je predpokladom skutočného automatizovaného spracovania snímok. S pomocou UI je možné fázu analýz ešte výrazne zrýchliť a spresniť. Deep learning algoritmy natréňované na tisíce až miliónoch zubných röntgenov dokážu rozpoznať jemné odchýlky a variácie (Khalifa). Tie môžu znamenať začínajúci kaz, úbytok kosti pri parodontitíde alebo periapikálny nález. UI tak vie upozorniť na podozrivé miesta na snímke, ktoré by mohli uniknúť ľudskému oku, a poskytnúť zubárovi akoby „druhý pár očí“. Niektoré konkrétne riešenia sú zamerané na diagnostické postupy v úzkej oblasti, ako je napríklad čelustná ortopédia. Na trhu je už ale viacero produktov, ktoré sa zameriavajú aj na základnú diagnostiku najčastejšieho patologického procesu v dutine ústnej – zubného kazu.

Patologické nálezy môžu byť farebne zvýraznené priamo na snímke (Diagnocat, Second opinion). Kazy môžu byť vizuálne zvýraznené červenou farbou a oblasti s podozrením na period-

ontálne poškodenie žltou. Takéto farebné prekrytie uľahčuje orientáciu v snímke a rýchlejšie rozhodnutie, čomu venovať pozornosť. UI tiež pomáha objektívne merať rozmery nálezov či vzdialenosť od okraja výplne k zubnej dreni. To prispieva k spresneniu diagnózy. Spomenuté aplikácie dokážu rozpoznať desiatky klinických stavov od zubného kazu, cez periapikálne lézie až po abnormality čelustných dutín. Dokážu tak zhodnotiť široké spektrum bežných zubných problémov na bite-wing, periapikálnych aj panoramatických snímkach.

Trend, ktorým sa môžu uberať zobrazovacie metódy v zubnom lekárstve, ukazuje aj nedávno prezentovaná technológia. Ručný intraorálny skener využíva neinvazívnu, optickú koherentnú tomografiu (OCT) na vytváranie vysokokvalitných priečnych obrazov. Technológia OCT dokáže registrovať variácie v štruktúre tkaniva pod líniou ďasien, cez tekutiny a pod povrchom zuba bez použitia ionizujúceho žiarenia. OCT preukázala presnosť 90 % pri detekcii kazov (Shimada). Dáta zo skenera sú spracované a pomocou UI je možné vytvoriť 3D objemové údaje pre diagnostiku a plánovanie liečby. Prístroj zatiaľ nie je dostupný na trhu, ale dá sa predpokladať, že podobné technológie rozšíria diagnostické možnosti zubných lekárov.

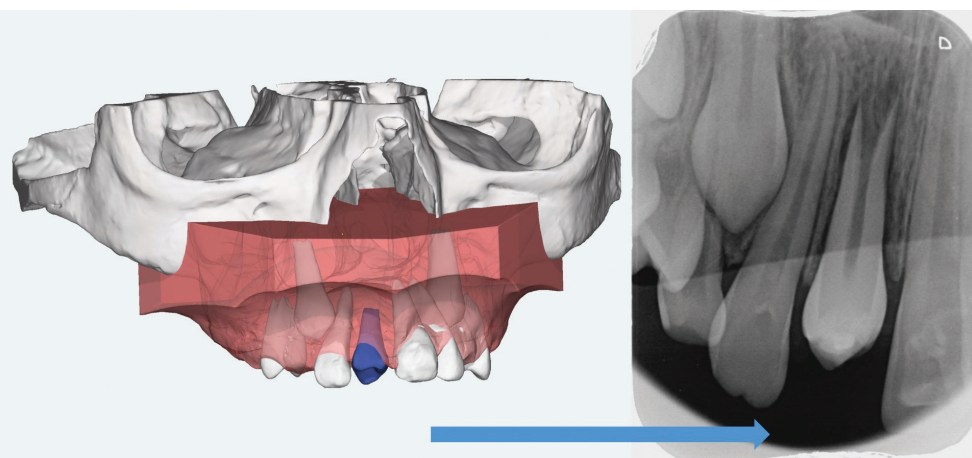
Pri téme využitia UI v diagnostike v zubnom lekárstve, ale aj iných medicínskych odboroch je dôležitá skutočnosť, že žiadny aktuálne dostupný model umelej inteligencie nenesie zodpovednosť za definitívnu diagnózu. Stále je to lekár, kto musí výsledky overiť a potvrdiť. UI môže občas vyznačiť falošne pozitívny nález (napr. označí artefakt na snímke ako kaz) alebo naopak ničो prehliadnuť, ak ide o atypický prípad mimo jej tréningových dát. Lekár preto nemôže bezhlavo dôverovať technológiám, ale musí každý navrhnutý nález skontrolovať klinicky. Umelá inteligencia je pomocník, nie náhrada lekára. Úloha zubára sa tak mení, ale nie odbúrava – z diagnostika sa môže v niektorých oblastiach stať supervízor UI systému a finálny rozhodca.

## Využitie UI v liečbe

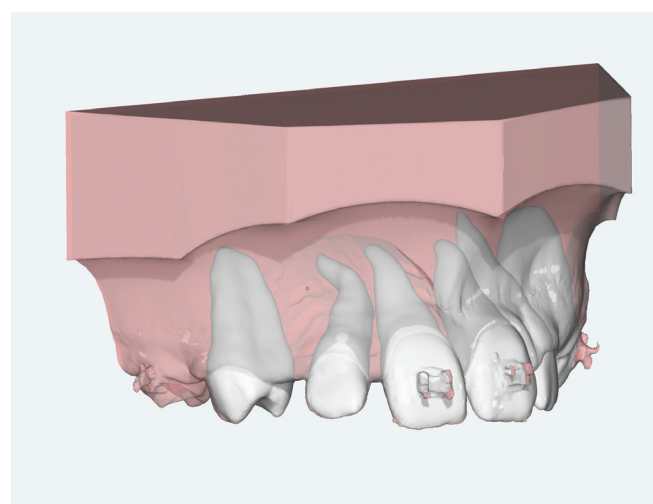
Kým diagnostika je oblasť, kde je aplikácia UI prítomná dlhšie, jej potenciál v liečbe sa začína naplno ukazovať až v poslednom čase. Umelá inteligencia pomáha lekárom nielen odhaliť problém, ale aj navrhnúť optimálny liečebný plán, a to na mieru konkrétnemu pacientovi.

Jednou oblasťou digitalizácie plánovania liečby je využitie UI na segmentáciu DICOM dát z CBCT alebo CT vyšetrení. Segmentácia umožňuje automaticky rozlíšiť a vyznačiť konkrétne anatomické štruktúry – od jednotlivých zubov, koreňových kanálikov, kostí až po mäkké tkanivá a patologické útvary. Tieto údaje sú potom spracované do 3D modelov, ktoré výrazne zlepšujú orientáciu lekára v priestore a zvyšujú presnosť plánovania zákroku. Výstupom segmentácie môže byť napríklad izolovaný 3D model zuba určeného na autotransplantáciu. Týmto spô-

sobom sa vytvára pre lekára interaktívne pracovné prostredie, v ktorom je možné „virtuálne operovať“ - simulovať zákroky ešte pred reálnou intervenciou. Takéto nástroje menia spôsob, akým lekár pristupuje k diagnostike a liečbe – od statickej snímky k plnohodnotnej priestorovej analýze.



Obr. 1: Virtuálna skúška pozície zuba pred autotransplantáciou (zub 25 v mieste 11) a kontrolná RTG snímka po zákroku  
Zdroj: archív autora



Obr. 2: Superimpozícia intraorálneho scanu a segmentovaných zubov z CBCT pri kontrole pozície dilacerovaného koreňa zuba 12

Zdroj: archív autora

V implantológii sa UI využíva pri plánovaní pozície implantátu – softvér na základe rezov z CBCT a digitálneho odtlačku vytvorí presný návrh, ktorý rešpektuje anatomické štruktúry aj estetické požiadavky. Následne môže byť vytvorená chirurgická šablóna pre presné zavedenie implantátu (napr. DTX Studio Implant). V ortodoncii sa zas algoritmy používajú na tvorbu liečebných plánov pre priesvitné alignery (napr. Invisalign), kde UI vyhodnocuje stovky predchádzajúcich prípadov a predikuje pohyb zubov počas jednotlivých fáz liečby.

Pri výrobe protetických náhrad (korunky, mostíky) UI skracuje čas návrhu – automaticky identifikuje okraje preparácie, navrhuje tvar korunky podľa susedných zubov a kontroluje oklúziu. Tieto návrhy môže zubný technik ďalej upravovať, čo znižuje chybovosť a urýchľuje celý proces.

V budúcnosti možno očakávať rozvoj robotickej asistencie, kde UI nebude slúžiť len ako podpora pri plánovaní, ale bude aktívne riadiť presné pohyby nástrojov počas chirurgických

základov. Tento trend už dnes naznačujú prvé klinicky využívané robotické asistenčné systémy pre zavádzanie dentálnych implantátov (napríklad Yomi). V jednom systéme je tak spojená sila UI a robotiky, čím umožňuje lekárovi vykonávať zákrok s vysokou presnosťou, stabilitou a kontrolou. Systém poskytuje

spätnú väzbu v reálnom čase, čím znižuje riziko odchýlok od plánovanej trajektórie preparácie a zároveň zachováva citlivý „hmatový“ kontakt operátora s pacientom (Bahrami). V budúcnosti by podobné technológie mohli nachádzať uplatnenie nielen v implantológii, ale aj pri extrakciách zubov, parodontálnych zákrokoch či maxilofaciálnej chirurgii. Robotická asistencia riadená UI tak otvára dvere k ešte vyššej úrovni precíznosti v zubnej chirurgii, pričom stále ponecháva kontrolu v rukách lekára.

Aj v liečbe teda platí, že UI je cenný nástroj, ktorý dokáže zvýšiť presnosť, predvídateľnosť a komfort pre pacienta. Konečné rozhodnutia však stále zostávajú v rukách odborníka – lekára. Integrácia UI do zubnej praxe je postupný proces, ktorý

si vyžaduje technickú aj mentálnu prípravu. Ak sa urobí citlivo a s rozumom, výsledkom môže byť výrazné zefektívnenie práce, zvýšenie kvality starostlivosti a spokojnejší pacienti. Umelá inteligencia dokáže byť pre zubára skvelým pomocníkom – odhaliť skryté kazy, zmerať stratu kosti, navrhnúť liečbu – no vždy by mala fungovať ruka v ruke s odborným okom lekára. Digitalizácia zubnej praxe takto získava nový rozmer, kde sa spája to najlepšie z ľudskej expertízy a strojovej precíznosti.

Na záver možno povedať, že UI v stomatológii už dnes reálne pomáha v diagnostike a liečbe a jej význam bude v budúcnosti narastať. Zubný lekár budúcnosti nebude nahradený počítačom, ale pravdepodobne bude využívať počítačom podporované nástroje na to, aby poskytoval ešte lepšiu zdravotnú starostlivosť. Už dnes máme k dispozícii technológie, ktoré sme si pred pár rokmi nevedeli predstaviť – ich správnym zaradením do praxe môžeme zlepšiť starostlivosť o pacientov a uľahčiť si každodennú prácu. UI je výborný pomocník, pokiaľ poznáme jeho limity a využijeme jeho silné stránky na maximum. Digitalizácia zubnej praxe tak nie je len o bezpapierovej ambulancii, ale aj o „inteligentnej ambulancii“, kde rutinné úlohy stráži UI a zubný lekár sa môže viac sústrediť na to podstatné – na pacienta a jeho zdravotný úspech.

## Zdroje

1. Al-Khalifa, S. et al.: The Use of Artificial Intelligence in Caries Detection: A Review. Bioengineering (Basel, Switzerland) vol. 11, 9 936.
2. Bahrami, R. et al.: Robot-assisted dental implant surgery procedure: A literature review. Journal of dental sciences vol. 19,3 (2024): 1359-1368.
3. Shimada, Y., et al.: 3D imaging of proximal caries in posterior teeth using optical coherence tomography. Scientific reports vol. 10,1 15754.

## Korešpondujúci autor:

MDDr. Ľubomír Gazdík

Ortodontia Gazdík, s.r.o., Dolný Kubín