

FOLYAMATOPTIMALIZÁLÁS AZ ORTODONCIÁBAN STRUKTURÁLT LELETEZÉS ÉS AUTOMATIZÁLT KEFALOMETRIAI ELEMZÉS SEGÍTSÉGÉVEL

Ph.D. Tézisfüzet
Bagdy-Bálint Réka, DMD



Fogorvostudományi Tagozat
Semmelweis Egyetem

Témavezető:

Dr. Rózsa Noémi Katinka habil. Ph.D., egyetemi tanár

Hivatalos bírálók:

Dr. Joób-Fancsaly Árpád habil. Ph.D., egyetemi tanár

Dr. Vitályos Géza Ph.D., egyetemi adjunktus

A komplex vizsgabizottság elnöke:

Dr. Gera István habil. Ph.D., egyetemi tanár

A komplex vizsgabizottság tagjai:

Dr. Gerber Gábor habil. Ph.D., egyetemi tanár

Dr. Nagy Ákos Ph.D., egyetemi docens

Budapest
2025

1. Bevezetés

Napjaink digitális világa, a mesterséges intelligencia (MI) a modern segédeszközök és a robottechnológia kiemelkedő lehetőséget teremtenek az orvosi diagnosztika, a terápiás eljárások és a kutatási folyamatok dinamikus fejlődésére. A mélytanuló rendszerek alkalmazása forradalmasítja az orvostudományt jelentős idő- és energiamegtakarítást eredményezve. A kefalometriai elemzés közel egy évszázados fejlődésen ment keresztül, és mára elérkeztünk oda, hogy a korábban kizárólag manuálisan végzett feladatokat egyre inkább az automatizált, gépi megoldásokra bízunk. Azonban felmerül a kérdés: ténylegesen kihasználjuk-e ezt a potenciált, vagy az adatkezelési rendszerek hiányosságai miatt elvész az MI által nyújtott előny?

Még olyan nemzetközileg elismert akadémiai közegben is, ahol a betegellátás, a kutatás és az oktatás egyaránt kiemelt szerepet kap, világossá vált számomra, hogy e területek fejlődésének egyik alappillére, az adatok rendszerezett és szakszerű tárolása, továbbra is háttérbe szorul. Bár az elmúlt évek innovációs törekvései példátlan mennyiségű adat hozzáférhetőségét tették lehetővé, és korábban nem érzékelt összefüggések feltárását is elősegítették, ugyanakkor a keletkezett adatok strukturált gyűjtése és újrahasznosítása továbbra sem megoldott.

A strukturált, átlátható és könnyen hozzáférhető adatkezelés alapvető fontosságú a bizonyítékokon alapú klinikai döntéshozatal, a minőségbiztosítás és az akadémiai versenyképesség fenntartása szempontjából. Ennek ellenére világszerte számos intézmény küzd ma is e követelmények teljesítésével. Dolgozatomban egy MI alapú teleröntgen-kiértékelő szoftver fejlesztési folyamatának modellezésén és tesztelésén túl külön figyelmet fordítok arra is, hogyan lehet a

gyors, automatizált folyamatok révén keletkező nagy mennyiségű adatot érdemben hasznosítani. E két fejlesztés együttes, egy felületen történő megvalósítása szilárd hidat képez a mesterséges intelligencia és az adatvezérelt egészségügy egysége, ésszerű és hatékony alkalmazása felé.

2. Célkitűzések

Első lépésként egy áttekintő irodalomkutatás segítségével, korábbi tanulmányok alapján kívántam alátámasztani, hogy az egészségügyi ágazatban is egyre nagyobb teret nyernek a modern digitális eszközök, az elektronikus munkafolyamatok, valamint az innovatív adatfeldolgozási módszerek. További munkámat a betegellátás minőségének javítása, a költséghatékonyság fokozása, valamint a kutatási eredmények és az intézmények közötti kommunikáció fejlesztésének lehetőségei vezérelték. A klinikánkon alkalmazott dokumentációs rendszerek felmérése során nyert tapasztalatok alapján célul tűztam ki egy saját fejlesztésű leletező adatbázis kiépítését, amelyben az orvosi adatok strukturált formában rögzíthetők a későbbi újrafelhasználhatóság és elemzés érdekében.

Ezt követően egy konvolúciós neurális hálózat (CNN) rétegekből felépülő, ún. kaszkádolt modell tanulási folyamatának vizsgálatára került sor, amely különböző minőségű teleröntgen-felvételeken végzett kefalometriai mérőpont-meghatározást. Tanulmányunk során azt kívántuk igazolni, hogy az alkalmazott MI alapú modell diagnosztikai pontossága és időhatékonysága szoros összefüggést mutat a tanító adatok mennyiségével és minőségével. Hipotézisünk szerint azonban egy bizonyos tanítási adatmennyiség felett a további bővítés már csak elenyésző javulást eredményez.

További célunk volt annak bemutatása, hogy klinikailag releváns változók, például kefalometriai szög- és arányértékek tekintetében az MI-modell képes a pontos mérőpont-meghatározásra, ezáltal rövidebb idő alatt megbízható támogatást nyújt az ortodonciai diagnózis felállításához.

3. Módszerek

3.1. Irodalomkutatás

Pubmed/Medline adatbázisban MeSH kifejezések és szabad szöveg felhasználásával elsősorban angol nyelvű szisztematikus áttekintő irodalmat kerestünk az e-egészségügy, dokumentáció, elektronikus egészségügyi leletezés, komputerizált és strukturált kulcsszavakkal.

3.2. Belső klinikai kutatás

Klinikánkon felmértük a jelenleg alkalmazott, íratlan belső protokollokra épülő dokumentációs rendszert, amely páciensenként egy papíralapú kartonból és egy PowerPoint-prezentációból áll. Harminc páciens teljes dokumentációját (n=60) tizennégy tematikus területen elemeztük, egyes anamnesztikus és diagnosztikai információk jelenlétére és elérhetőségére fókuszálva. Rögzítettük a rendelkezésre álló és hiányzó adatok arányát, valamint a visszakereséshez szükséges időt, majd méréseinket statisztikai módszerekkel (Pearson-korreláció, kétmintás t-próba) értékeltük.

3.3. Saját fejlesztésű strukturált leletező adatbázis kiépítése

Miután a szakirodalom, valamint a saját méréseink alapján is meggyőződünk arról, hogy a strukturált adatgyűjtés és adatfeldolgozás szükséges és ígéretes technika lehet az orvosi diagnosztikus, terápiás és kutatási folyamatok fejlesztésében, a

Graid IT Solutions Kft. informatikus szakembereinek segítségével kiépítettem saját ortodonciai strukturált kiértékelési sablonunkat. A sablon lehetővé teszi a klinikai dolgozók számára, hogy a kefalometriai, fotó- és modellanalízis eredményeit egy interaktív platformon rögzítsék, amellyel párhuzamosan létrejön egy standardizált SQL-adatbázis. A tematikusan felépített adatbázist a diagnosztikai lépések sorrendjéhez igazítottam, figyelembe véve a klinikai kutatócsoportok (pl. diabétesz, hasadék, arc-állcsontsebészet, minicsavar) igényeit. Az SQL-alapú rendszer kulcsszavas kereséssel és Excel-kompatibilis exportálással biztosít gyors lekérdezhetőséget. A Semmelweis Egyetem Klinikai Adatszolgáltató Intézetének megalakulásával az adatbázist az egyetem Biobank Hálózatába helyeztük át.

3.4. Automatizált kefalometriai elemzés céljából létrehozott MI algoritmus tesztelése

A tanítási halmaz létrehozásához klinikánk OnyxCeph3TM adatbázisából 1600 korábban kiértékelte teleröntgen-felvételt randomizált és anonimizált módon exportáltunk. A képek kalibrációját és felbontását egyenként ellenőriztük, és szükség esetén módosítottuk a CephAssistant szoftver követelményeknek megfelelően. Ezt követően röntgenenként 50 mérőpont X és Y koordinátáit külön XLS fájlformátumban mentettük el, hogy a fejlesztés során az informatikusok által közvetlenül felhasználhatók legyenek. A CNN modellt összesen 1600 laterális teleröntgen-felvételen tanítottuk. A tanítási adathalmaz fokozatos bővítésével (400, 800, 1200 és 1600 elemszámú tanítókészlet) minden tanítási ciklust követően az adott modellt egy 78, eltérő minőségű teleröntgen-felvételből álló, szintén randomizált módon kiválasztott tesztkészleten értékeltük. A röntgenfelvételeket szubjektív minőségi osztályozás alapján 1-től 5-ig terjedő skálán csoportosítottuk. A

teszthalmaz reprezentativitását keresztvalidációval igazoltuk, amely során tízezer ismétléses mintavételt alkalmaztunk. Munkánk során minden kiértékelés két kalibrációs pontján túl ugyanazt a 48 anatómiai struktúrának megfelelő kefalometriai referenciapontot vettük figyelembe. A hasonló kutatásokban jellemzően alkalmazott 15-20 mérőponttal szemben a vizsgálatunk a teljes kefalometriai elemzés széles körű hatékonyságát demonstrálja.

A vizsgálat során a 78 röntgenfelvételt összesen tíz alkalommal értékeltük ki újra, amelynek időigényét a Ceph Assistant szoftver automatikusan rögzítette. Kétszer két szakorvos manuálisan, egérkattintással végezte el a referenciapontok elhelyezését, ezt követően négy alkalommal kizárólag a mesterséges intelligencián alapuló automatikus kiértékelés történt. Végül további négy esetben egy szakorvos a MI által generált pontokat felülvizsgálta, és szükség esetén manuálisan, egérhúzással módosította azok pozícióját. Vizsgálatunk során mértük a korrekcióhoz szükséges időtöbbletet és azt az elmozdulási távolságot is, amely a szakorvosi beavatkozás eredményeként keletkezett. Méréseink alapjául a manuális korrekciók átlaga szolgált arany standardként. A rendszer pontosságának kvantitatív értékeléséhez az egyes anatómiai struktúrák X és Y koordinátáira vonatkozóan az L2-euklideszi távolságot alkalmaztuk, amely a két pont közötti legrövidebb távolságot mutatja a koordináta rendszerben. Ennek alapján háromféle mérési eredményt vetettünk össze: a manuális kiértékelést, az automatikusan elhelyezett referenciapontokat, valamint a szakorvosi korrekcióval kiegészített pontlehelyezést. Emellett elemeztük ugyanazon szakorvos különböző időpontokban végzett mérései közötti eltéréseket, valamint két szakorvos kiértékeléseinek összehasonlíthatóságát is.

4. Eredmények

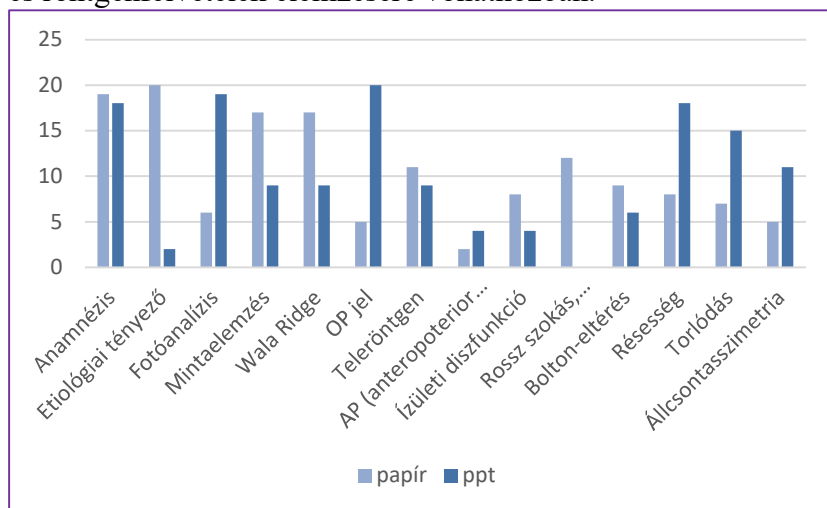
4.1.Szakirodalmi áttekintés

A szakirodalmi áttekintés alapján megállapítható, hogy bár az adatkezelés technológiai kihívásai jelentősek, az adatok visszakereshetősége, kutatási és terápiás követhetősége, valamint populációs elemzésekben való újra felhasználhatósága elsősorban a strukturált és standardizált dokumentáció meglétén múlik. Ugyanakkor ez a metódus korlátozza a szabad szöveges dokumentáció kifejezőerejét, mivel az eltérések és anomáliák rögzítését előre definiált kulcsszavak használatához köti. Mivel a strukturált leletezés lehetővé teszi a pontos szűrést és csökkenti a szinonimák használatából adódó inkonzisztenciák kockázatát előnye különösen akkor érvényesül, ha az adatok későbbi feldolgozása szükséges vagy azok MI alapú tanításra lesznek felhasználva. Ezzel szemben a narratív dokumentáció elsősorban olyan esetekben előnyös, amikor az adatok utólagos újraelemzése nem indokolt, ám az eltérések és összefüggések részletes, árnyalt megfogalmazása kulcsfontosságú. Az áttekintés rámutat arra is, hogy a vizsgált tanulmányok többsége még inkább a papíralapú és az elektronikus dokumentáció közötti különbségekre összpontosít, míg a strukturálás és standardizálás elektronikus egészségügyi dokumentáció minőségére gyakorolt konkrét hatása tudományosan még nem teljesen alátámasztott.

4.2. A klinikai dokumentáció hatékonyságának belső vizsgálata

Harminc beteg papíralapú és PowerPoint-prezentációban (PPT) nyilvántartott dokumentációját (n=60) vizsgáltuk meg 14 tematikus szempont mentén, összesen 840 kérdés válaszait kutatva. Nem találtunk szignifikáns összefüggést a

dokumentáció típusa és a rögzített információ mennyisége között; összesen 290 adatot rögzítettünk, amelyek 50,3%-a papíralapú, míg 49,7%-a PowerPoint-formátumú volt. Ugyanakkor a statisztikai teszt eredménye szignifikáns különbséget mutatott a dokumentáció típusa és az egyes kérdésekre adott válaszok száma között. Az 1. ábrán látható, hogy a papíralapú kártya több választ eredményezett a kórtörténetre és a klinikai diagnosztikára, míg a PowerPoint-alapú dokumentáció esetében több válasz született a fényképes és röntgenfelvételek elemzésére vonatkozóan.



1. ábra: Papír és PPT válaszok a 14 tematikus szempont szerint

Ez megerősítette azt a hipotézisünket, miszerint a Semmelweis Egyetem Gyermekfogászati és Fogszabályozási Klinikáján használt dokumentációs eljárások digitalizálása és strukturálása szükséges a klinikai dokumentáció hatékonyságának javítása érdekében. Ezen eredmények ösztönözték egy egyedi, jól strukturált fogszabályozási leletező felület kifejlesztését, amely fokozatosan egy teljes körű fogorvostudományi SQL-adatbázis létrehozásához vezet.

4.3. Saját strukturált leletezési rendszer fejlesztése

Informatikus szakemberek közreműködésével építettünk egy átfogó, strukturált fogszabályozási leletező adatbázist, amely a részletes kórtörténettől a komplex diagnosztikán át egy hosszú távú orvosi dokumentációs platformig terjed. A rendszer célja a standard és interdiszciplináris fogszabályozási eljárások támogatása, miközben a rutinszerű fogszabályozási mérések rögzítésére is alkalmas.

The image shows a screenshot of a medical questionnaire interface. It is divided into several sections with blue headers:

- Did you have any trauma to the face, teeth or chin**: Includes radio buttons for 'Yes' (selected) and 'No', and checkboxes for 'face' and 'teeth' (selected). There are also 'When?' fields with date pickers (dd/MM/yyyy) for 'chin' and another 'When?' field.
- General medical history**: Includes an 'Allergy' section with radio buttons for 'Yes' (selected) and 'No', and a list of checkboxes for 'food' (selected), 'lactose', 'milk protein' (selected), 'gluten', 'walnut', 'skin' (selected), 'metal', 'nikkel', and 'chrome'.
- CPITN-INDEX (Community Periodontal Index of Treatment Needs)**: A text input field.
- Functional examination**: Includes a 'Breathing' section with radio buttons for 'Nose Breathing' and 'Mouthbreathing' (selected). A 'Lip tone' section has radio buttons for 'normal' and 'incompetent lip closure' (selected). An 'M. mentalis tone' section has radio buttons for 'normal' and 'strong' (selected). A 'Bad habits' section has radio buttons for 'yes' (selected) and 'no', and checkboxes for 'nail biting', 'lipsucking', 'tumb sucking' (selected), 'tongue thrust', and 'other'.
- Music instrument**: Includes radio buttons for 'yes' (selected) and 'no', and checkboxes for 'wind' (selected), 'string', 'keyboard' (selected), and 'other'.
- sport**: Includes radio buttons for 'yes' (selected) and 'no', and checkboxes for 'professional' (selected), 'cardio' (selected), 'anaerob', 'individual', 'team' (selected), 'hobby', and 'no'.
- stress (subjective)**: A horizontal slider bar.
- sleeping**: A section header at the bottom.

2. ábra: Válaszok mentén generált felugró kérdések az allergiákra, rossz szokásokra, hobbikra és életmódbeli tényezőkre vonatkozóan

A platform kórtörténeti moduljában a kezelőorvos szisztematikusan végighalad az általános orvosi, fogorvosi és fogszabályozási anamnézis kérdésein, amelyek válaszai igen/nem formátumban strukturáltak. A válaszok alapján további kérdések generálódnak (pl. különböző betegség- és allergiatípusokra, rossz szokásokra, hobbikra vagy életmódbeli tényezőkre vonatkozóan) (2. ábra). Ezen kérdéseket az extra- és

intraorális klinikai vizsgálatok, valamint a funkcionális elemzés kitöltendő kérdőíve követ.

Az adatgyűjtési folyamat során az ortodonciai értékelés szempontjából releváns diagnosztikai eredmények, például fényképek, röntgenfelvételek és fogászati minták elemzése is rögzítésre kerülnek. A bevitt adatok és a megfelelő képletek alapján a szoftver automatikusan kiszámít bizonyos eltéréseket, pl. Wala-Ridge vagy Bolton-diszkrepancia értékeit.

Diabetes Mellitus?

☒ yes

from when?

09/17/2008

Blood glucose level?

8,7

HbA1C level?

6,9

%

Ketone Body level?

0,7

Diabetes therapy?

☒ yes

☒ pen

☐ pump

Insulin type?

Gyors hatású és NPH humán
inzulinok 25:75

She/he uses a sensor?

☒ yes

Screws for distalization

☒ Tiger Dental

☒ - infrazygomatic screw: 2x14 mm DualTop (Tiger Dental)

☐ palatal screw: 2 mm x 12 mm DualTop (Tiger Dental)

☐ palatal screw: 2 mm x 14 mm DualTop (Tiger Dental)

☒ palatal screw: 2 mm x 16 mm DualTop (Tiger Dental)

☐ palatal screw: 2,5 mm x 12 mm DualTop (Tiger Dental)

☐ palatal screw: 2,5 mm x 14 mm DualTop (Tiger Dental)

☐ palatal screw: 2,5 mm x 16 mm DualTop (Tiger Dental)

☐ Savaria Dental

Screws for mesialization

☐ Tiger Dental

☐ Savaria Dental

☐ RMO

Screws for direct or indirect anchorage

☒ interradicular bracket or button head: RMO 1.6X 8 mm

☐ interradicular bracket or button head: AO 1,5 mmx8 mm

Screws for expansion:

☒ Tiger Dental

☒ palatal screw in M4 and M5 position: 2 mm x 12 mm DualTop (Tiger Dental)

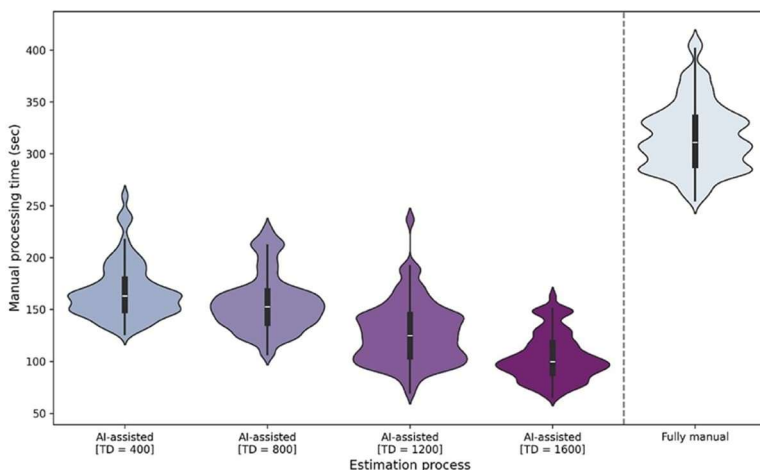
3. ábra: Kérdőívek a DM és a TAD munkacsoportok igényeire szabottan

Az adatbázist tematikusan strukturáltam, igazodva a diagnosztikai lépések sorrendjéhez, és a klinikákon folyó kutatások specifikus igényeihez. A rendszer különösen hasznos olyan kutatási területeken, mint a diabetes mellitus (DM), ikervizsgálatok, hasadékos ellátás, maxillofaciális sebészet, miniimplantátumok (TAD) alkalmazása és egyéb interdiszciplináris együttműködésekben. (3. ábra)

4.4. Automatizált kefalometriai elemzés pontossága és időhatékonysága

4.4.1. Kiértékelésre fordított idő

A kizárólag mesterséges intelligencia által végzett predikciók mindössze 0,43 másodperc alatt készültek el. Időhatékonysági szempontból megállapítható, hogy a Ceph Assistant használata korrekcióval együtt is lényegesen gyorsabb volt, mint a hagyományos manuális röntgenelemzés, amely átlagosan 315 másodpercet vett igénybe. A 4. ábra violin plot



Estimation process	Mean	Std	Min	50%	Max
Fully manual	315.91	32.51	254.71	310.99	407.14
AI-assisted [TD=400]	167.02	26.79	126.08	162.97	259.37
AI-assisted [TD=800]	156.17	27.20	106.77	152.33	227.80
AI-assisted [TD=1200]	127.36	29.35	69.92	124.47	236.57
AI-assisted [TD=1600]	104.12	22.50	65.70	99.79	162.70

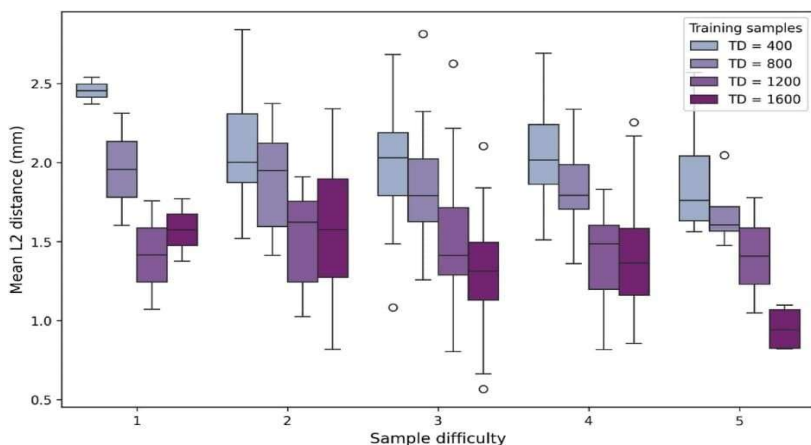
4. ábra: Violin plot diagram a két vizsgáló manuális elemzése (fully manual) és a Ceph Assistant modell kiértékeléseinek szenior vizsgáló által elvégzett korrekcióira (AI-assisted) fordított idők összehasonlítása

diagramján jól látható, hogy az algoritmus tanításának előrehaladtával folyamatos csökkenés figyelhető meg a

korrekciós időkben, amelyek 104 és 167 másodperc közötti tartományba estek.

4.4.2 Euklédieszi L2 távolság szerinti hibák a kefalometriai mérőpontok különböző detektálási módszereiben

Az arany standard és a MI közötti medián L2 eltérés az 1600 képen tanított modell esetén 2,17 mm volt, míg a szakorvosi korrekcióhoz viszonyítva ez mindössze 1,05 mm-re, jó minőségű felvételek esetén pedig 1 mm-en belülre csökkent. A korrekció és az MI összehasonlításakor tapasztalt kisebb különbség arra utal, hogy a MI befolyásolhatja a klinikust a döntéshozatalban. Az 5. ábra box plot diagramja jól mutatja, hogy a korrekció utáni L2 távolságok a négy modellenél a tanítási ciklusok számával és a felvételek minőségével együtt csökkennek. Ugyanazon szakorvos különböző időpontban végzett mérései között medián 1,68 mm, míg két szakorvos értékelései között 1,66 mm eltérést mértünk. Az 1600-as modell jobb minőségű felvételeken, vagy korrekcióval tehát pontosabb eredményt adott, mint a humán vizsgálók egymáshoz képest vagy egy szakorvos önmagához képest két különböző időpontban.



5. Ábra: Box plot diagram a teleröntgenek minőségének jelentőségéről

4.4.3. Klinikai szempontból releváns diagnosztikai mérési hibák

A fogsabályozásban a diagnosztikai és kezelési paraméterek, például a szögek és arányok meghatározása jellemzően legalább három kefalometriai pontra épül, ezért az egyes pontok X és Y koordinátáinak L2 hibája önmagában korlátozott klinikai jelentőséggel bír. A hibák gyakorlati hatásának pontosabb értelmezéséhez kiszámítottuk, hogy ezek az eltérések milyen mértékben befolyásolják a releváns szögek és arányok alakulását. Három pont által meghatározott szögek esetén a modell és az arany standard közötti átlagos különbség a 1600 képes tanítás után $0,17^\circ$ és $1,09^\circ$ között alakult. Négy pont által meghatározott szögek esetén ez az eltérés $0,05^\circ$ és $1,86^\circ$ között mozgott. Vizsgáltuk továbbá az alsó és felső arcmagasság arányát is, amelyet az N, SnA és Me pontok alapján számoltunk. A 78 kefalogramra vonatkozó elemzés szerint a becsült arány 3,14%-kal tért el az arany standardtól a TD = 1600 elemszámú tanítás után. Ugyanebben az esetben, a TD = 1200 modellnél az eltérés csupán 0,8 százalék volt, ami megerősíti azt a feltételezést, hogy a modell teljesítménye egy bizonyos tanítási ciklus után már nem javul számottevően.

5. Következtetések

A korábbi szakirodalmi áttekintés rámutat, hogy az információs és kommunikációs technológiák alkalmazása terén az egészségügyi ágazat európai szintű lemaradásban volt, bár ez mára egyre inkább érvényét veszti. Ugyanakkor bizonyítékot szolgáltat arra vonatkozóan, hogy az elektronikus dokumentáció javítja a betegellátás hatékonyságát, pozitívan befolyásolja a lelet minőségét, valamint lehetőséget teremt az adatok újrafelhasználására és a minőségbiztosításban is fontos szerepet játszik.

Vizsgálatunk eredményei alapján megállapítható, hogy a jelenlegi dokumentációs gyakorlat, legyen az papíralapú vagy PPT-formátumú elektronikus lelet, jelentős hiányosságokat mutat, és bár bizonyos szempontok szerint praktikus, nem nyújt kellően megbízható alapot nagy esetszámú, retrospektív vagy populációs szintű elemzések támogatására. Egy strukturált, egységes nyelvezetet alkalmazó, testreszabható elektronikus leletező rendszer bevezetése nemcsak a teljes körű diagnosztika elvégzését ösztönözné, hanem hosszú távon is visszakereshető, statisztikailag értékelhető adatokat szolgáltatna, különösen értékes támogatást nyújtva a növekedésben lévő páciensek követésében.

A Ceph Assistant alkalmazása klinikai környezetben mind időhatékonyság, mind pontosság tekintetében biztató eredményeket mutatott: egyetlen teleröntgen kiértékelése átlagosan több mint öt perc időmegtakarítást eredményezett. A korrekcióval együtt is gyorsabbnak és pontosabbnak bizonyult, mint a manuális elemzés. Ezen módszerrel kisebb L2 eltéréseket mértünk, mint két szakorvos, illetve egy szakorvos két különböző időpontban végzett mérései között. A képek kvalitatív, szubjektív kiértékelhetőségi értékei jelentősen befolyásolták az elemzések megbízhatóságát. Bár a MI önálló predikciói enyhén meghaladták a szakirodalomban fellelhető átlagos 2 mm-es hibaértéket, a medián érték közel maradt ehhez. A mérések pontosságát befolyásolta, hogy kutatásunkban relatíve sok, összesen 48 mérőpontot vizsgáltunk, valamint, hogy a tesztelést még nagyon rossz minőségű felvételeken is elvégeztük, így egy széles spektrumú teszt adathalmazzal végeztünk reprezentatív felmérést.

Elegendő mennyiségű és megfelelő minőségű tanulóadat birtokában a MI-alapú kefalometriai elemzés klinikai relevanciáját meghatározó térben és időben is precíz, megbízható diagnosztikai eszközként alkalmazható. Bár a

predikciók esetenként torzítottak lehetnek, a modell lehetőséget biztosít a manuális korrekcióra, de önállóan is képes a klinikai döntéshozatalt érdemben támogatni, ezáltal valódi hozzáadott értéket képvisel a mindennapi gyakorlatban.

A disszertáció új tudományos eredményei:

1. A strukturált és szabványosított dokumentáció értékes lehetőségeket biztosít az adatok szükség szerinti újra felhasználására és jelentősen javítja az orvosi nyilvántartások minőségét, ugyanakkor konkrét hatása tudományosan még nem teljesen alátámasztott.
2. Munkám eredménye az első olyan strukturált fogszabályozási leletezési felület, amely komplexitása és interdiszciplináris jellege révén újszerű módszert kínál mind a kutatásban, mind a klinikai gyakorlatban.
3. Hozzájárultam egy klinikailag elfogadható MI-alapú kefalometriai elemző szoftver bevezetéséhez, amelyet kiterjedt tudományos kutatás során modelleztünk és szigorúan teszteltünk, mielőtt az valós idejű klinikai gyakorlatba került volna.
4. A szoftver elemzési eredményeit integráltuk a strukturált leletező adatbázisunkba, lehetővé téve az kiértékelések könnyű elérését.
5. Ezek az eredmények és innovációk együttesen jelentős előnyöket kínálnak, amelyek várhatóan meghatározó szerepet fognak játszani a fogorvostudományok jelenlegi és jövőbeli fejlődésében.

6. A jelölt tudományos mutatói

A tézissel kapcsolatban megjelent tudományos közlemények:

- Bagdy-Bálint R, Szabó G, Zováthi ÖH, Zováthi BH, Somorjai Á, Köpenczei Cs, Rózsa NK. Accuracy of automated analysis in cephalometry. J Dent Sci, 2025;20(2):830-84. Q1; IF: 3,4
- Bagdy-Bálint R, Pálvölgyi EF, Németh B, Rózsa NK. A strukturált leletezés jelentősége az egészségügyben [Importance of structured data in health care]. IME Egészségügyi vezetők szaklapja - tudományos folyóirat. 2024;23(1):52-62.

Egyéb tudományos közlemények:

- Bagdy-Bálint R, Rózsa NK. Importance of structured data in health care. Abstract of oral presentation on PhD Scientific Days 2023; 2023 June 22-23; Budapest, Hungary.
- Strukturált ortodonciai adatbázis. Biobank Hálózat, Semmelweis Egyetem Dashboard [Internet]. 2024 [cited 2025 Jan 1]. Available from: <http://biobank.intra.usn.hu/index.php/site/login>

Nem a tézissel kapcsolatban megjelent tudományos közlemények:

- Lőrincz G, Bagdy-Bálint R, Rózsa NK. Digitalizációs munkafolyamatok a gyermekfogászat területén. In: Rózsa NK, Gábris K, Tarján I, editors. Gyermek- és ifjúsági fogászat. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2023. p. 389-398.
- Rózsa NK, Bagdy-Bálint R. Új paradigmák a gyermekfogászatban: nem-, illetve minimálinvazív terápiás lehetőségek. In: Rózsa NK, Gábris K, Tarján I, editors.

Gyermek- és ifjúsági fogászat. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2023. p. 121-133.

- Rózsa NK, Bagdy-Bálint R. Prevenció. In: Rózsa NK, Gábris K, Tarján I, editors. Gyermek- és ifjúsági fogászat. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2023. p. 61-83.
- Bagdy-Bálint R, Szegedi L, Lőrinc G, Felkai T. Digitális munkafolyamatok az ortodoncia területén In: Rózsa NK, Gábris K, Kaán M, editors. Fogszabályozás és állcsontortopédia. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2025. p. 99-124.
- Balaton G, Bagdy-Bálint R. Kivehető készülékek. In: Rózsa NK, Gábris K, Kaán M, editors. Fogszabályozás és állcsontortopédia. Budapest: Semmelweis Kiadó; 2025. p. 158-182.

1. A tézissel kapcsolatban megjelent eredeti közlemények teljes impact factor értéke: IF: **3.4**
2. Az egyéb tudományos közlemények teljes impact factor értéke:-
- 1+2. A könyvtári adatlapon megjelent impact factor érték kumulatív átlaga: Σ IF: **3.4**

Nyilatkozat a generatív mesterséges intelligencia és MI-alapú technológiák alkalmazásáról az írási folyamat során

A dolgozat elkészítése során a ChatGPT nevű mesterséges intelligencia alapú eszközt használtam a szöveg magyarra fordításának, nyelvi megfogalmazásának és érthetőségének javítására. Az eszközt egyes mondatok és kifejezések finomítására vettem igénybe. A szöveget ezt követően átnéztem és szerkesztettem, a dolgozat önálló munkám eredménye és végleges tartalmáért teljes felelősséget vállallok.