

Mesterséges intelligencia szerepe a csípő- és térdprotetikai műtétekben: szisztematikus irodalmi áttekintés

The Role of Artificial Intelligence in Hip and Knee Arthroplasty: A Systematic Literature Review

Lengyel Livia^{1,2} ✉, Kercksmarik Bence Ferenc^{3,4}, Kauth Zoltán^{3,4}, Zomborszky Márton^{3,4}, Lám Judit¹, Szabó István^{3,4}

¹Semmelweis Egyetem Egészségügyi Közzolgálati Kar Egészségügyi Menedzserképző Központ

²Semmelweis Egyetem Doktori Iskola Mentális Egészségtudományi Tagozat

³Kaposi Mór Oktató Kórház Ortopédiai Egység

⁴TritonLife Magánkórház Kaposvár

✉ lengyel.livia@emk.semmelweis.hu

Háttér: A mesterséges intelligencia (MI) rohamos fejlődése egyre jelentősebb hatással van az ortopéd sebészetre, különösen a csípő- és térdprotézisműtétekre. Az olyan MI-technológiák, mint a gépi tanulás és a mélytanulás, mind szélesebb körben kerülnek alkalmazásra a diagnosztika pontosságának növelése, a műtéti tervezés javítása, a műtéti navigáció, valamint a posztoperatív ellátás támogatása céljából.

Módszer: A PRISMA irányelvek alapján szisztematikus irodalmi áttekintést végeztünk az MI alkalmazásait vizsgáló és a térd- és csípőprotetikai ellátás területén.

Eredmények: A kutatás 2 adatbázisban összesen 290 tanulmányt azonosított, ezekből a vizsgálat során 45 felelt meg a kritériumoknak. Az eredményeket a klinikai folyamat három szakaszára bontva értékeltük, ezek a műtét előtti, alatti és utáni időszak. A preoperatív szakaszban az MI hozzájárul a képalkotó vizsgálatok automatizált értelmezéséhez, a betegek kiválasztásához, a kockázatbecsléshez, valamint az implantátumok személyre szabott tervezéséhez. A műtét során a navigációs rendszerek és robotasszisztált sebészeti megoldások növelik a beavatkozások pontosságát és optimalizálják az implantátum elhelyezését. A posztoperatív szakaszban az MI-modellek képesek előre jelezni a gyógyulási eredményeket, támogatni a rehabilitáció személyre szabását és nyomon követni a komplikációk kockázatát.

Következtetés: A mesterséges intelligencia forradalmasítja csípő- és térdprotézisműtéteket, javítja a műtétek pontosságát, a betegközpontú megközelítést és a kimenetek előrejelzését a teljes ellátási folyamat során. A meglévő korlátok leküzdésére irányuló további kutatások és az alkalmazási lehetőségek bővítése révén az MI még nagyobb szerepet kaphat az ortopéd sebészet jövőjében.

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, térdprotézis-beültetés, csípőprotézis-beültetés, robotsebészet, gépi tanulás, robotasszisztált műtétek, digitális egészségügy

Background: The rapid advancement of artificial intelligence (AI) is significantly impacting orthopaedic surgery, especially hip and knee arthroplasty. Machine

learning and deep learning are increasingly being used to improve diagnostic accuracy, enhance surgical planning, support surgical navigation, and assist in postoperative care.

Method: A systematic literature review was conducted using the PRISMA guidelines to examine AI applications in hip and knee arthroplasty.

Results: The search identified 290 studies across two databases, of which 45 met the inclusion criteria. The findings were evaluated across three clinical phases: preoperative, intraoperative, and postoperative. In the preoperative phase, AI contributes to the automated interpretation of imaging studies, patient selection, risk stratification, and the personalised planning of implants. Navigation systems and robot-assisted surgical solutions increase procedural accuracy and optimise implant placement during surgery. In the postoperative phase, AI models can predict recovery outcomes, support personalised rehabilitation, and monitor the risk of complications.

Conclusion: Artificial intelligence is revolutionising hip and knee arthroplasty by improving surgical precision, enabling a patient-centred approach, and enhancing outcome prediction across the entire continuum of care. Further research to overcome current limitations and expand application areas will allow AI to play an even greater role in the future of orthopaedic surgery.

Keywords: artificial intelligence, total knee arthroplasty, total hip arthroplasty, machine learning, robot-assisted surgeries, robotic surgery, digital health

BEVEZETÉS

A digitalizációval új korszak indult az elmúlt évtizedekben az orvostudományban, így az ortopédiában is. A mesterséges intelligencia (a továbbiakban MI) forradalmasítja a klinikai döntéshozatalt, az adatelemzést, valamint a személyre szabott ellátást. Az ortopédia különösen fogékony az MI-alapú megoldások integrációjára, tekintettel a rendelkezésre álló

nagy mennyiségű képzőképző diagnosztikai, klinikai és biomechanikai adata. A csípő- és térdprotézis-beültetések az utóbbi évtizedekben nemcsak a leggyakrabban végzett ortopédiai beavatkozások közé tartoznak, hanem kiemelkedően sikeresek is [1], azonban a páciensek egyre növekvő elvárásai, a még jobb klinikai eredmények iránti törekvés, valamint a műtési precizitás és egyénre szabott ellátás igénye indokoltá teszi a mesterséges intelligencia és a digitális technológiák integrációját ezen a szakterületen is.

Mint Federer és Jones összegzik, az elmúlt évtizedben a mesterséges intelligencia fejlődése alapjaiban változtatta meg az ortopédiai gyakorlatot, az MI különböző formái, köztük a gépi tanulás, a mélytanulás és a nagy nyelvi modellek egyre hangsúlyosabb szerepet töltenek be az ortopéd sebészben, az orvosi döntéstámogatásban és a betegellátási folyamatok optimalizálásában [2]. Geda és szerzőtársai 2024-es elemzésünkben összefoglalták, hogy az MI ortopédiai alkalmazásának területei szerteágazóak: a képzőképző diagnosztika automatizált értékelésétől kezdve a betegkiválasztáson és kockázatbecslésen át a műtési tervezésig és a posztoperatív követésig terjednek, ezáltal támogatva a szakembereket a műtési pontosságban, a szövődmények elkerülésében, valamint magas színvonalú, illetve személyre szabott ellátásban [3].

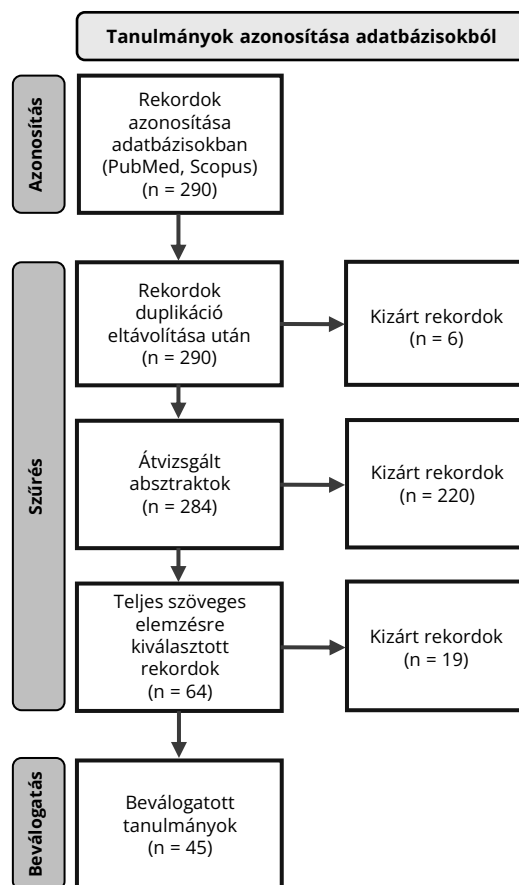
Szisztematikus irodalmi elemzésünk célja, hogy átfogó képet nyújtson a mesterséges intelligencia csípő- és térdprotetikai alkalmazásairól, kiemelve a kutatási trendeket, a klinikai gyakorlat lehetőségeit, valamint a felmerülő kihívásokat.

MÓDSZEREK

Az irodalmi áttekintés 2025 márciusában készült a PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) irányelvek szerint. Az elemzés kizárólag angol nyelven, lektorált, teljes szöveggel elérhető tanulmányokat tartalmazott. Kutatásunkban kifejezetten a térd- és csípőprotézis-műtétekre fókuszáltunk, ennek megfelelően a keresési stratégia az „AI” és „artificial intelligence” kulcsszavak mellett kitért a következőkre, „total joint replacement”, „total hip replacement”, „total knee replacement”, „total knee arthroplasty”, „total hip arthroplasty”, „orthopedic surgery”. A keresési metodikában a címben, absztraktban és kulcsszavakban megjelenő keresési kifejezésekre koncentráltunk, a 2020 és 2025 között megjelent publikációkban. A beválogatásba teljes egészében, angolul elérhető, felnőtt humán betegeket érintő tanulmányokat soroltuk, melyek elektív műtetre vonatkoztak.

EREDMÉNYEK

A kezdeti keresés során összesen 290 találatot regisztráltunk (258 a PubMed, 32 a Scopus adatbázisból). A 6 ismétlődő tétel eltávolítása után 284 egyedi találat maradt további feldolgozásra. Ezek absztraktját két szerző egymástól függetlenül tekintette át, az előre meghatározott beválogatási kritériumok alapján 64 cikk került kiválasztásra és teljes szövegű elemzésre. A keresés utolsó szakaszában további



1. ábra

A tanulmányok kiválasztásának folyamata a PRISMA folyamatábra szerint (saját szerkesztés)

19 publikációt zártunk ki, ezek nem voltak teljes szöveggel elérhetőek, illetve nem álltak rendelkezésre angol nyelven. A tanulmányok kiválasztásának menetét az 1. ábra mutatja be.

Nem választottuk be azon cikkeket, amelyek nem kifejezetten ezzel a két műtési típussal foglalkoztak, valamint a műtési anesztéziát vizsgálókat, továbbá kizártuk a traumatológiai tanulmányokat, illetve nem emeltük be a kizárólag az osteoarthritis diagnosztizálását, mérését, prognózisát felmérő tanulmányokat. Nem kerültek a beválogatott publikációk közé olyanok, melyek az emberi képességek és MI-megoldások összehasonlítását, az orvosok/orvostanhallgatók oktatását és ennek összevetését az MI lehetőségeivel vizsgálták, továbbá a beteg tájékoztatásának elkészítése során használható MI-megoldások. Végezetül kizártuk azon tanulmányokat, melyek a páciensek és orvosok mesterséges intelligenciával kapcsolatos percepcióit mérték.

Az áttekintett tanulmányok alapján a mesterséges intelligencia szerepét három fő kategóriába soroltuk, a műtési folyamat megközelítéséből eredően, így preoperatív, intraoperatív és posztoperatív alkalmazás szerint. Az egyes műtési szakaszokon belül további alkategóriákat határoztunk meg, melyeket a 2. ábra szemléltet. Az elemzésbe bevont tanulmányokat az online változatban elérhető melléklet 1. számú táblázata tartalmazza.

Mesterséges intelligencia szerepe a csípő- és térdprotetikai műtétekben



2. ábra
(saját szerkesztés)

MEGBESZÉLÉS

Preoperatív szakasz

A mesterséges intelligencia alapjaiban változtatta meg a műtét előtti tervezés gyakorlatát az ortopédiában, fejlett diagnosztikai és prediktív képességeket kínálva, amelyek új szintre emelik a műtét előtti előkészületeket és a betegek állapotának felmérését [4–8]. A hagyományos képkötő eljárásokkal szemben a modern gépi tanulási algoritmusok képesek összetett orvosi adatokból finom részleteket kinyerni, így olyan szintű pontosságot és személyre szabhatóságot biztosítanak, amely korábban elképzelhetetlen volt. Ezek a fejlett algoritmusok 3D-s anatómiai modelleket hoznak létre, amelyek segítségével a sebészek pontosan feltérképezhetik a beteg ízületi anatómiáját, szimulálhatják a műtét folyamatát és annak várható kimenetelét, valamint nagy pontossággal előre jelezhetik a lehetséges szövődményeket. Egyes MI-megoldások képesek felismerni a korai ízületi kopás jeleit, értékelni a csontminőséget, és megbízhatóan előre jelezni a műtét utáni komplikációk kockázatát [9–11]. A mesterséges intelligencia alkalmazásának egyik legfontosabb célja a nagyízületi protetikában, hogy olyan átfogó, személyre szabott prediktív modelleket hozzon létre, amelyekkel a betegellátás nemcsak gyorsabbá, hanem hatékonyabbá és célzottabbá is válik [12–14].

Az MI-alapú képelemzés alapvető fontosságú a műtét előtti értékelés és a műtési tervezés szempontjából. Cullen és szerzőtársai teljesen automatizált rendszert fejlesztettek ki a térd beállításának értékelésére anterior-posterior (AP) röntgenfelvételek alapján, amely kiváló egyezést mutatott a kézi mérésekkel [15]. Lau és szerzőtársai egy olyan gépi tanulási modellt hoztak létre, amely 96,3%-os pontossággal észleli a térdízületi protézisek megazulását [13]. Khojastehnezhad és társai a törések felismerésében és az artrózis súlyosságának osztályozásában alkalmaztak képfeldolgozásra alkalmas mélytanulási algoritmusokat, tanulmányuk jelentős javulást mutatott a diagnosztikai pontosságban [16].

A pontos betegkiválasztás és a lehetséges kockázatok előrejelzése optimalizálja a műtési eredményeket. Az MI ma

már lehetővé teszi a műtési kockázatok kifinomultabb becslését és a klinikai eredmények pontosabb előrejelzését is. Ezek a rendszerek olyan paramétereket használnak fel, mint a beteg demográfiai adatai, kórelőzményei és képkötő diagnosztika eredményei, ezáltal segítik a kockázatok (pl.: fertőzés, lazulás, ficam) kiszűrését és a személyre szabott műtési stratégiák kialakítását [15,17]. Az MI elérte azt a fejlettségi szintet, ahol már képes a betegekről rendelkezésre álló sokféle adatot – például klinikai, képkötő diagnosztikai és demográfiai információkat – integrálni, és ezekből részletes, egyénre szabott kockázati előrejelzéseket készíteni. Ezáltal az orvosi ellátás túllép a hagyományos, „utólagos” (reaktív) kezeléseken, és egyre inkább a megelőzésre, illetve a személyre szabott beavatkozásokra fókuszál [13,18–20].

A műtét előtti tervezés kapcsán Lambrechts és szerzőtársai egy mesterséges intelligencia által vezérelt, páciens-specifikus preoperatív tervezési algoritmust vezettek be a térdprotéziseknél, amely közel 40%-kal csökkentette a sebési korrekciókat és javította az implantátum méretezési pontosságát [8]. Chen és szerzőtársai tanulmánya szerint az MI-alapú preoperatív tervezés akár 92%-os pontossággal is automatizálható, ami jelentősen csökkenti az emberi hibák lehetőségét [21]. Olyan mélytanulási algoritmust fejlesztettek ki, amely képes a csípőprotézis-műtét ideális időzítését előre meghatározni, mindössze egyetlen medenceröntgen alapján [21]. Al Zoubi és munkatársai olyan MI-alapú rendszert alkalmaztak, amely nemcsak adatokat elemez (descriptive) vagy előre jelez (predictive), hanem konkrét javaslatokat is tesz arra, hogyan lehet a legjobban megszervezni a műtési időbeosztást (prescriptive) [22]. Ezáltal például csökken a várakozási idő, jobban kihasználhatóvá válnak a műtők, és a sebészek is hatékonyabban tudnak tervezni – vagyis az egész műtési folyamat gördülékenyebbé válik. A technológia hozzájárulhat a műtési idő csökkenéséhez is, az MI-alapú tervező- és navigációs rendszerek precízebb műtési kivitelezést tesznek lehetővé, ezáltal csökken a beavatkozások időtartama és a szövődmények aránya is [3,4]. A gyorsabb és pontosabb implantátumbehelyezés, valamint a személyre szabott műtési tervek révén csökken a műtői idő, ami nemcsak az erőforrá-

sok hatékonyabb kihasználását segíti, hanem a betegek számára is előnyös: kisebb szöveti trauma, rövidebb kórházi tartózkodás és gyorsabb mobilizáció jellemzi a posztoperatív időszakot [4,5].

Az MI új alapokra helyezi az implantátumtervezést, túlélve a hagyományos, sorozatgyártott protéziseken. A mesterséges intelligencia és a biomechanika találkozása új távlatokat nyit a személyre szabott, adatvezérelt megoldások felé, amelyek egyre pontosabban igazodnak a betegek egyéni igényeihez [23–26]. A gépi tanuláson alapuló algoritmusok mára hatékony eszközzé váltak abban, hogy olyan precízen megtervezett, személyre szabott implantátumokat hozzanak létre, amelyek a páciens egyedi anatómiai adottságaihoz igazodnak [27,28]. Ezek az algoritmusok bonyolult számítási modelleket alkalmaznak az ízületek mozgásának és terhelésének elemzésére, így pontosabb képet adnak az implantátum és a környező szövetek kölcsönhatásáról, valamint segítenek előre jelezni a hosszú távú klinikai eredményeket [29–31]. Az MI-alapú módszerek jelentősen hozzájárulnak annak jobb megértéséhez, hogy az implantátumok hogyan működnek együtt a szövetekkel, olyan részletességű ismereteket kínálva, amelyeket korábban nem lehetett elérni.

A mesterséges intelligencia által támogatott biomechanikai modellezés szimulálja az ízületi mechanikát és előrejelzi az implantátum viselkedését fiziológiás terhelés alatt. Bár kevés tanulmány foglalkozott ezzel közvetlenül, Khojastehnezhad és munkatársai a mesterséges intelligencia és a biomechanikai szimulációk integrációját ígéretes lehetőségként említik az implantátumtervezés és a műtéti eredmények javításában [16]. Míg a hagyományos ortopédiai protézistervezés jellemzően általánosított anatómiai modelleken és szabványos gyártáson alapult, addig a mai MI-alapú rendszerek lehetővé teszik, hogy a protéziseket betegspecifikus biomechanikai eszközként definiáljuk [31,32].

Intraoperatív szakasz

A mesterséges intelligencia integrációja alapvetően alakítja át a műtéti beavatkozásokat azáltal, hogy fejlett navigációs és döntéstámogató rendszereket kínál. Ezek az innovatív technológiák valós idejű támogatást nyújtanak a sebészek számára, növelik a műtéti precizitást, és potenciálisan csökkentik a beavatkozással járó szövődmények kockázatát [7,14,33,34]. A gépi tanulási algoritmusok képesek milliméter-pontosságú irányítást biztosítani a beavatkozás során, észlelve az esetleges eltéréseket, valamint azonnali korrekciós javaslatokat téve – ezzel jelentősen túlszárnyalva az emberi érzékelés és kézügyesség korlátait [20,35–37]. Az MI-vezérelt robotikai rendszerek nem csupán eszközök, hanem együttműködő, adaptív partnerek a sebészeti folyamat során, az emberi képességeket meghaladó precizitást biztosítva [23,32]. Képesek valós időben alkalmazkodni az egyéni anatómiai sajátosságokhoz, optimalizálják a műszeres mozgáspályákat, és minimalizálják a műtéti trauma mértékét [38,39]. Hasan és munkatársai az MI és a robotika együttesét vizsgálták a csípő- és térdprotéziseknél, és megállapították, hogy

ezek a technológiák javítják a műtéti pontosságot, csökkentik a variabilitást és megkönnyítik az implantátumelhelyezést [12]. Al Zoubi és munkatársai szintén kiemelték a mesterséges intelligencia hozzájárulását a műtői folyamatok optimalizálásához [22]. Az MI-alapú rendszerek hozzájárulnak a standardizált műtéti folyamatok kialakításához, ezáltal növelve az eredmények reprodukálhatóságát. A precíz, algoritmusokon alapuló műtéti tervezés és kivitelezés révén az eredmények kevésbé függnak az operátor tapasztalatától vagy szubjektív megítélésétől, ami különösen fontos a minőségbiztosítás szempontjából [6]. Több kutatás is arra a következtetésre jutott, hogy az MI-alapú analízisek robotrendszerbe integrálása javítja a sebészek teljesítményét és a betegek eredményeit, bár az olyan akadályok, mint a költségek és a képzés továbbra is fennállnak [12,22].

Posztoperatív időszak

Míg a hagyományos orvoslás főként statisztikai modellekre és általános populációs adatokra épít, az MI lehetőséget ad arra, hogy minden egyes beteg esetében külön-külön, részletesen megjósoljuk a lehetséges kimeneteleket. Ez a szemléletváltás új korszakot nyit a nagyüzeti protézisekkel kapcsolatos döntésekben és a kockázatok kezelésében [18–20]. A mesterséges intelligencián alapuló prediktív rendszerek hatalmas adatbázisok segítségével azonosítják a lehetséges kockázati tényezőket, és ezek alapján dolgoznak ki proaktív stratégiákat a szövődmények megelőzésére. Ennek eredményeként javul a megbízhatóság és a műtétek sikereségi aránya is [40,41].

A mesterséges intelligenciával támogatott rehabilitációs protokollok új korszakot nyitnak a betegfelépülésben: az általános protokollok helyét egyre inkább az egyénre szabott, adaptív kezelési stratégiák vehetik át. Ezek az intelligens rendszerek képesek a beteg állapotához és válaszreakcióihoz igazítani a terápiát, ezzel fokozva a funkcionális gyógyulás mértékét és a betegek elégedettségét [13,32,42]. A fejlett gépi tanulási algoritmusok és a nagy mennyiségű adatfeldolgozás révén az MI átforgalmazhatja a posztoperatív betegellátást, elősegítve a célzott, egyénre szabott gyógyulást [22,43,44]. A gépi tanulás új távlatokat nyitott a posztoperatív felépülés előrejelzésében, lehetővé téve az egészségügyi szakemberek számára, hogy személyre szabott stratégiákat alkalmazzanak.

A prediktív modellek nem csupán előre jeleznek, hanem egyre pontosabban segítik a komplikációk megelőzését is. Ezzel új lehetőségeket teremtenek a sebészeti kockázatok korai felismerésére és az időben történő beavatkozásokra. Hussain és munkatársai kimutatták, hogy az MI képes olyan rejtett kockázati tényezőket felismerni – például a csonttörések esélyére vonatkozóan –, amelyeket a hagyományos klinikai értékelés nem tud feltárni [18]. Hidaka és munkatársai olyan MI-modellt dolgoztak ki, amely nemcsak a csípőízületi artrózis előrehaladását képes előre jelezni hagyományos röntgenfelvételek és klinikai adatok alapján, hanem korai szakaszban képes azonosítani a potenciális szövődményeket, lehetőséget teremtve így az időben történő beavatkozásokra

[34]. A gépi tanulási modellek képesek előre jelezni a beteg egyéni felépülési pályáját, észlelni a komplikációk vagy gyenge funkcionális eredmények kockázatát, mely lehetővé teheti a célzottabb terápiás döntéseket és a személyre szabott rehabilitációs programok kidolgozását [33,34,45]. Chen [13] és Jang [7], valamint szerzőtársaik bizonyították, hogy az MI képes előre jelezni az eredményeket, például a műtét időtartását és a jelentős klinikai javulás elérésének valószínűségét. Hasan és munkatársai azt tárgyalták, hogy az MI hogyan támogatja a műtét utáni monitorozást és értékelést, javítva a szövődmények felismerését [12].

Ugyanakkor az MI és robotizált technológiák alkalmazása nem csupán klinikai előnyöket jelenthet, hanem szerepet játszik az egészségügyi intézmények szakmai arculatának és presztízsének erősítésében is. Az innovatív megoldások bevezetése támogatja a szakorvosok megtartását, valamint az új ortopéd-sebész-munkatársak toborzását [3–5]. Ezek a korszerű technológiák hozzájárulnak továbbá a betegbizalom erősítéséhez, a páciensek hajlamosabbak olyan ellátóhelyet választani, ahol a modern orvostechnológiai megoldások alkalmazása a minőség és biztonság garanciájaként jelenik meg [3,6].

Kihívások, korlátok

Ezen figyelemre méltó fejlődés ellenére az elemzésbe bevont tanulmányok szerzői elismerik a jelenlegi MI-technológiák korlátait. A terület folyamatos fejlesztést igényel a robusztus, reprodukálható és klinikailag releváns eredmények biztosítása érdekében. A figyelemre méltó fejlődés ellenére az MI sebészeti környezetbe történő bevezetése nem mentes a kihívásoktól. Rupp és szerzőtársai ortopéd sebészek körében végzett felmérése összességében pozitív, de óvatos hozzáállást mutatott az MI-technológiákkal kapcsolatban [14]. Tanulmányuk hangsúlyozta az emberi szaktudás és ítélőképesség megőrzésének fontosságát a technológiai innováció mellett [14]. Bár az MI nagy lehetőségeket kínál, a kutatók hangsúlyozzák a körültekintő bevezetés szükségességét. Siddiqui és szerzőtársai kiemelték az MI-alapú ortopéd képfeldolgozás során előforduló torzítások kezelésének fontosságát [46].

Mindemellett továbbra is kihívást jelent az MI-rendszerek klinikai validációja, a torzítások kiküszöbölése, valamint a technológiák etikus és biztonságos alkalmazása [7,16]. Az MI és a gépi tanulás ortopédiai alkalmazásának jelenlegi helyzetét áttekintő tanulmányok kiemelik, hogy bár az innovációk jelentős potenciált hordoznak magukban, számos technikai és etikai kihívás megoldásra vár még [47].

KÖVETKEZTETÉS

Az MI alkalmazási területei az ortopédián belül rendkívül szerteágazóak: a radiológiai képeken történő törésfelismeréstől és osteoarthritis osztályozástól kezdve a személyre szabott implantátumtervezésen és preoperatív szimulációkon át egészen a műtét utáni rehabilitációs folyamatok prediktív modellezéséig. Az algoritmusok nem csupán a diagnosztikai és sebészi pontosság növelésében játszanak szerepet, hanem hozzájárulhatnak az orvosi hibák csökkentéséhez, valamint a betegek életminőségének javításához is. Bár még számos kihívás áll előttünk, a kutatás és fejlesztés jelenlegi iránya alapján az MI egyre meghatározóbb szereplőjévé válik az ortopédiai ellátás jövőjének. Az MI-alapú megoldások pontosabb, személyre szabottabb és hatékonyabb ellátást ígérnek – mindezzel hozzájárulva a betegek által megélt jobb klinikai eredményekhez.

Az eddigi eredmények alapján a mesterséges intelligencia beépülése az ortopédiába ígéretes, de folyamatos és körültekintő fejlesztést, validációt és integrációt igényel a mindennapi klinikai gyakorlatban.

Szerzői munkamegosztás

LL: Conceptualization, Design, Methodology, Investigation, Writing, Visualization

BK: Investigation, Writing

ZK: Investigation, Supervision

MZ: Supervision, Writing – review & editing

JL: Conceptualization, Methodology, Supervision, Writing – review & editing

ISz: Supervision, Writing – review & editing

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Romanò CL, Romanò D, Dell'Oro F, et al. Healing of surgical site after total hip and knee replacements show similar telethermographic patterns. *J Orthop Traumatol*. 2011;12(2):81–86. doi:10.1007/s10195-011-0135-1
- [2] Federer SJ, Jones GG. Artificial intelligence in orthopaedics: A scoping review. *PLoS ONE*. 2021;16(11):e0260471. doi:10.1371/journal.pone.0260471
- [3] Geda MW, Yuk Ming Tang, Lee CKM. Applications of artificial intelligence in orthopaedic surgery: A systematic review and meta-analysis, *Eng Appl Artif Intell*. 2024;133 (Part D):108326. doi:10.1016/j.engappai.2024.108326
- [4] Akhtar M N, Haleem A, Javaid M, et al. Artificial intelligence-based orthopaedic perpetual design. *J Clin Orthop Trauma*. 2024;49: 102356. doi:10.1016/j.jcot.2024.102356
- [5] Benhenneda R, Brouard T, Charousset C, et al. Can artificial intelligence help decision-making in arthroscopy? Part 2: The IA-RTRHO model – a decision-making aid for long head of the biceps diagnoses in small rotator cuff tears. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2023;109(8S):103652. doi:10.1016/j.otsr.2023.103652
- [6] Hu Y, Pan S, Zhao X, et al. Value and clinical application of orthopedic metal artifact reduction algorithm in CT scans after orthopedic metal implantation. *Korean J Radiol*. 2017;18(3):526–535. doi:10.3348/kjr.2017.18.3.526

- [7] Jang SJ, Rosenstadt J, Lee E, Kunze KN. Artificial intelligence for clinically meaningful outcome prediction in orthopedic research: Current applications and limitations. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2024;17(6):185–206. doi:10.1007/s12178-024-09893-z
- [8] Lambrechts A, Wirix-Speetjens R, Maes F, et al. Artificial Intelligence Based Patient-Specific Preoperative Planning Algorithm for Total Knee Arthroplasty. *Front Robot AI*. 2022;9: 840282. doi:10.3389/frobt.2022.840282
- [9] Allaart LJH, Spanning SV, Lafosse L. et al. Developing a machine learning algorithm to predict probability of retear and functional outcomes in patients undergoing rotator cuff repair surgery: protocol for a retrospective, multi-centre study. *BMJ Open*. 2023;13(2): e063673. doi:10.1136/bmjopen-2022-063673
- [10] Cangelosi A, Riberi G, Titolo P. et al. Augmented reality simulation framework for minimally invasive orthopedic surgery. *Comput Biol Med*. 2025;189: 109943. doi:10.1016/j.combiomed.2025.109943
- [11] Iwasa M, Takao M, Soufi M. et al. Artificial intelligence-based volumetric analysis of muscle atrophy and fatty degeneration in patients with hip osteoarthritis and its correlation with health-related quality of life. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2023;18(1):71–78. doi:10.1007/s11548-022-02797-8
- [12] Hasan S, Ahmed A, Waheed MA. et al. Transforming Orthopedic Joint Surgeries: The Role of Artificial Intelligence (AI) and Robotics. *Cureus*. 2023;15(8): e43289. doi:10.7759/cureus.43289
- [13] Lau LCM, Chui ECS, Man GCW. et al. A novel image-based machine learning model with superior accuracy and predictability for knee arthroplasty loosening detection and clinical decision making. *J Orthop Translat*. 2022;36:177–183. doi:10.1016/j.jot.2022.07.004
- [14] Rupp MC, Moser LB, Hess S. et al. Orthopaedic surgeons display a positive outlook towards artificial intelligence: A survey among members of the AGA Society for Arthroscopy and Joint Surgery. *J Exp Orthop*. 2022; 11(3):e12080. doi:10.1002/jeo2.12080
- [15] Cullen D, Thompson P, Johnson D. et al. An AI-based system for fully automated knee alignment assessment in standard AP knee radiographs. *Knee*. 2025;54:99–110. doi:10.1016/j.knee.2025.02.013
- [16] Khojastehnezhad MA, Youseflee P, Moradi A. et al. Artificial Intelligence and the State of the Art of Orthopedic Surgery. *Arch Bone Jt Surg*. 2025;13(1):17–22. doi:10.22038/abjs.2024.84231.3829
- [17] Hinterwimmer F, Lazic I, Suren C. et al. Machine learning in knee arthroplasty: specific data are key—a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022; 30(2):376–388. doi:10.1007/s00167-021-06848-6
- [18] Hussain A, Fareed A, Taseen S. Bone fracture detection—Can artificial intelligence replace doctors in orthopedic radiography analysis? *Front Artif Intell*. 2023;6: 1223909. doi:10.3389/frai.2023.1223909
- [19] Longo UG, De Salvatore S, Piccolomini A. et al. Revolutionizing total hip arthroplasty: The role of artificial intelligence and machine learning. *J Exp Orthop*. 2025; 12(1):e70195. doi:10.1002/jeo2.70195
- [20] Wilhelm NJ, von Schacky CE, Lindner FJ. et al. Multicentric development and validation of a multi-scale and multi-task deep learning model for comprehensive lower extremity alignment analysis. *Artif Intell Med*. 2024;150:102843. doi:10.1016/j.artmed.2024.102843
- [21] Chen CC, Wu CT, Chen CPC. et al. Predicting the risk of total hip replacement by using a deep learning algorithm on plain pelvic radiographs: diagnostic study. *JMIR Form Res*. 2023;7:e42788. doi:10.2196/42788
- [22] Al Zoubi F, Kashanian K, Beaulé P. et al. First deployment of artificial intelligence recommendations in orthopedic surgery. *Front Artif Intell*. 2024;7:1342234. doi:10.3389/frai.2024.1342234
- [23] Beyaz S. A brief history of artificial intelligence and robotic surgery in orthopedics & traumatology and future expectations. *Jt Dis Relat Surg*. 2020;31(3):653–655. doi:10.5606/ehc.2020.75300
- [24] Dean MC, Oeding JF, Diniz P. et al. Leveraging digital twins for improved orthopaedic evaluation and treatment. *J Exp Orthop*. 2024;11(4):e70084. doi:10.1002/jeo2.70084
- [25] Kurmis AP, Ianunzio JR. Artificial intelligence in orthopedic surgery: evolution, current state and future directions. *Arthroplasty*. 2022;4(1):9. doi:10.1186/s42836-022-00112-z
- [26] Mickley JP, Kaji ES, Khosravi B. et al. Overview of artificial intelligence research within hip and knee arthroplasty. *Arthroplast Today*. 2024;27:101396. doi:10.1016/j.artd.2024.101396
- [27] Bortoli M, Fiore M, Tedeschi S. et al. GPT-based chatbot tools are still unreliable in the management of prosthetic joint infections. *Musculoskelet Surg*. 2024;108(4):459–466. doi:10.1007/s12306-024-00846-w
- [28] Smith AM, Jacquez EA, Argintar EH. Assessing the efficacy of an AI-powered chatbot (ChatGPT) in providing information on orthopedic surgeries: a comparative study with expert opinion. *Cureus*. 2024;16(6):e63287. doi:10.7759/cureus.63287
- [29] Ampadi Ramachandran R, Chi SW, Srinivasa Pai P. et al. Artificial intelligence and machine learning as a viable solution for hip implant failure diagnosis—Review of literature and in vitro case study. *Med Biol Eng Comput*. 2023;61(6):1239–1255. doi:10.1007/s11517-023-02779-1
- [30] Homma Y, Baba T, Watari T. et al. Recent advances in the direct anterior approach to total hip arthroplasty: a surgeon's perspective. *Expert Rev Med Devices*. 2023; 20(12):1079–1086. doi:10.1080/17434440.2023.2280986
- [31] Milella F, Famiglini L, Banfi G. et al. Application of machine learning to improve appropriateness of treatment in an orthopaedic setting of personalised medicine. *J Pers Med*. 2022;12(10):1706. doi:10.3390/jpm12101706

- [32] Kennedy SM, Vasanathanathan A, Amudhan K. Exploring the frontiers of metal additive manufacturing in orthopaedic implant development. *MethodsX*. 2024;13:103056. doi:10.1016/j.mex.2024.103056
- [33] Ram PR, Jeyaraman M, Jeyaraman N. et al. Revolutionizing orthopedic healthcare: the role of robotics. *Cureus*. 2023;15(9):e44820. doi:10.7759/cureus.44820
- [34] Hidaka R, Matsuda K, Igari T. et al. Development and accuracy of an artificial intelligence model for predicting the progression of hip osteoarthritis using plain radiographs and clinical data: a retrospective study. *BMC Musculoskeletal Disord*. 2024;25(1):893. doi:10.1186/s12891-024-08034-4
- [35] Boel F, de Vos-Jakobs S, Riedstra NS- et al. Automated radiographic hip morphology measurements: an open-access method. *Osteoarthritis Imaging*. 2024;4(2):100181. doi:10.1016/j.ostima.2024.100181
- [36] Guo R, Zou Y, Zhang S. et al. Preclinical validation of a novel deep learning-based metal artifact correction algorithm for orthopedic CT imaging. *J Appl Clin Med Phys*. 2023;24(11):e14166. doi:10.1002/acm2.14166
- [37] Li Y, Ma J, Ma X. et al. Research progress in application of artificial intelligence to intraoperative navigation assisted by an orthopedic robot. *Chin J Orthop Trauma*. 2023;25(1):88–92. doi:10.3760/cma.j.cn115530-20221018-00519
- [38] Jayakumar P, Moore MG, Furlough KA. et al. Comparison of an artificial intelligence-enabled patient decision aid vs educational material on decision quality, shared decision-making, patient experience, and functional outcomes in adults with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial. *JAMA Netw Open*. 2021;4(2):e2037107. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.37107
- [39] Marsilio L, Moglia A, Rossi M. et al. Combined Edge Loss UNet for optimized segmentation in total knee arthroplasty preoperative planning. *Bioengineering (Basel)*. 2023;10(12):1433. doi:10.3390/bioengineering10121433
- [40] Kara GK, Turan K, Eroglu ON. et al. Is the acetabular cup orientation different in robot-assisted and conventional total hip arthroplasty with right-handed surgeons using an anterolateral approach? *Cureus*. 2023;15(7):e42335. doi:10.7759/cureus.42335
- [41] Youssef Y, De Wet D, Back DA. et al. Digitalization in orthopaedics: a narrative review. *Front Surg*. 2023;10:1325423. doi:10.3389/fsurg.2023.1325423
- [42] Nemati HM, Christensson A, Pettersson A. et al. Precision of cup positioning using a novel computed tomography based navigation system in total hip arthroplasty. *Medicina (Kaunas)*. 2024;60(10):1589. doi:10.3390/medicina60101589
- [43] Khosravi B, Rouzrokh P, Erickson BJ. et al. Analyzing racial differences in imaging joint replacement registries using generative artificial intelligence: advancing orthopaedic data equity. *Arthroplast Today*. 2024;29:101503. doi:10.1016/j.artd.2024.101503
- [44] Mast NH, Oeste CL, Hens D. Assessing total hip arthroplasty outcomes and generating an orthopedic research outcome database via a natural language processing pipeline: development and validation study. *JMIR Med Inform*. 2025;13:e64705. doi:10.2196/64705
- [45] Andriollo L, Picchi A, Iademauro G. et al. The role of artificial intelligence and emerging technologies in advancing total hip arthroplasty. *J Pers Med*. 2025;15(1):21. doi:10.3390/jpm15010021
- [46] Siddiqui IA, Littlefield N, Carlson LA. et al. Fair AI-powered orthopedic image segmentation: addressing bias and promoting equitable healthcare. *Sci Rep*. 2024;14(1):16105. doi:10.1038/s41598-024-66873-6
- [47] Kumar V, Patel S, Baburaj V. et al. Current understanding on artificial intelligence and machine learning in orthopaedics—a scoping review. *J Orthop*. 2022;34:201–206. doi:10.1016/j.jor.2022.08.020

A SZERZŐK BEMUTATÁSA



Lengyel Livia 1998-ban közgazdász, majd 2000-ben marketingkommunikációs szakközgazdászsi diplomát szerzett. 2022-ben végzett a Semmelweis Egyetem Egészségügyi Menedzserképző Központ egészségügyi menedzser mesterképzésén. Jelenleg a Semmelweis Egyetem Doktori Iskola doktorjelöltje. Közel két évtizede tevékenykedik

a hazai privát egészségügyben, emellett részt vesz az SE EMK és a Magyar Egészségügyi Menedzsment Társaság szakmai munkájában.



Kauth Zoltán 2010-ben végezett a Pécsi Egyetem Általános Orvosi Karán. 2017-ben szerezte ortopédiai és baleseti sebész szakvizsgáját. 2017-től a Somogy megyei Kaposi Mór Oktató Kórház Baleseti sebészeten dolgozik. 2016-tól aktív a magánellátásban, 2022 óta tagja a kaposvári TritonLife Magánkórházban tevékenykedő Innovatív

Ortopéd Sebészek csoportjának.



Kercsmarik Bence 2018-ban a Debreceni Egyetem Általános Orvostudományi Karán diplomázott, ezt követően a Tolna Vármegyei Balassa János Kórház, valamint a Pécsi Tudományegyetem Szigetvári Kórház Sürgősségi Osztályain dolgozott. 2020 szeptemberétől a Somogy Vármegyei Kaposi Mór Oktató Kórház Ortopédiai Osztályán gyógyít. 2022-ben csatlakozott a kaposvári TritonLife Magánkórház ortopéd csapatához. 2023-tól a Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Karának oktatója.

tályain dolgozott. 2020 szeptemberétől a Somogy Vármegyei Kaposi Mór Oktató Kórház Ortopédiai Osztályán gyógyít. 2022-ben csatlakozott a kaposvári TritonLife Magánkórház ortopéd csapatához. 2023-tól a Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Karának oktatója.



Zomborszky Márton orvosi diplomáját 2011-ben a Pécsi Tudományegyetem Orvostudományi Karán szerezte. 2011 szeptembere óta dolgozik a Somogy Megyei Kaposi Mór Oktató Kórházban,

ahol 2025-től az Aktív Mozgásszervi Sebészeti Centrum Ortopédiai Egységének egységvezető főorvosa. 2022 óta tagja a kaposvári TritonLife Magánkórházban tevékenykedő Innovatív Ortopéd Sebészek csoportjának.



Szabó István 1993-ben szerzett általános orvosi diplomát a Pécsi Orvostudományi Egyetemen, amit 2000-ban ortopédiai, majd 2008-ban sportorvostani és 2014-ben traumatológia szakvizsgával egészített ki. 2004-ben szerezte PhD-fokozatát, majd 2012-ben habilitált. A Somogy Vármegyei Kaposi Mór Oktató Kórház Ortopédiai Osztály ortopédiai osztályának osztályvezető főorvosa 2025-ig, egyetemi magántanár. A kaposvári TritonLife Magánkórház vezető ortopéd sebésze.

vizsgával egészített ki. 2004-ben szerezte PhD-fokozatát, majd 2012-ben habilitált. A Somogy Vármegyei Kaposi Mór Oktató Kórház Ortopédiai Osztály ortopédiai osztályának osztályvezető főorvosa 2025-ig, egyetemi magántanár. A kaposvári TritonLife Magánkórház vezető ortopéd sebésze.

Lám Judit szerzői bemutatása az IME 2025/1. Digitális egészségügy különszámában *Az egészségügyi dolgozók kiberbiztonsági ismereteinek javítása a betegbiztonság javítása érdekében* c. cikk végén, a 17. oldalon található.

Melléklet 1. táblázat
A beválogatott közlemények főbb módszertani jellemzői

Szerző	Év	Ország	Műtési terület	Minta (n=)	Módszer	Tematika
Cangelosi et al.	2025	Olaszország	ortopéd sebészet		irodalmi áttekintés	augmentált valóság (AR) szerepe az ortopéd sebészetben
Mast et al.	2025	USA, Belgium	csípő	1290	longitudinális vizsgálat	diagnosztikus döntéstámogatás, kockázatbecslés
Cullen et al.	2025	UK	térd	376	validációs vizsgálat	diagnosztikus döntéstámogatás, számítógépes tervezés (műtét)
Longo et al.	2025	nemzetközi	csípő		irodalmi áttekintés	MI és gépi tanulás szerepe csípőprotézis-beültetésben
Rodriguez-Merchan et al.	2025	Spanyolország	csípő, térd		levél a szerkesztőnek	MI szerepe a protézisbeültetésben
Andriollo et al.	2025	Olaszország	csípő		irodalmi áttekintés	MI szerepe csípőprotézis-beültetésben
Hidaka et al.	2024	Japán	csípő	361	validációs vizsgálat	diagnosztikus döntéstámogatás, kockázatbecslés
Khosravi et al.	2024	USA	csípő, térd	480.407 (rtg-felvétel)	retrospektív vizsgálat	diagnosztikus döntéstámogatás, kockázatbecslés
Siddiqui et al.	2024	USA	csípő, térd	1473 (rtg-felvétel)	validációs vizsgálat	diagnosztikus döntéstámogatás, kockázatbecslés
York et al.	2024	UK, Olaszország	térd	1241 (rtg-felvétel)	validációs vizsgálat	diagnosztikus döntéstámogatás, kockázatbecslés
Wilhelm et al.	2024	Németország	térd	594	validációs vizsgálat	diagnosztikus döntéstámogatás, számítógépes tervezés (műtét)
Dean et al.	2024	Svédország, USA, Luxemburg	csípő, térd, váll		irodalmi áttekintés	digitális iker az ortopédiában
Zsidai et al.	2024	Svédország	ortopéd sebészet		irodalmi áttekintés	MI szerepe az ortopéd sebészetben
Georgiakakis et al.	2024	UK	csípő, térd		irodalmi áttekintés	MI szerepe csípő- és térdprotézis-beültetésben
Mickley et al.	2024	USA	csípő, térd		irodalmi áttekintés	MI szerepe csípő- és térdprotézis-beültetésben
Jang et al.	2024	USA	csípő, térd		irodalmi áttekintés	MI szerepe csípő- és térdprotézis-beültetésben, diagnosztikus döntéstámogatás
Chatterjee et al.	2024	UK	sebészet		irodalmi áttekintés	robotika szerepe a sebészetben
Boel et al.	2024	Hollandia	csípő	4625	prospektív vizsgálat	számítógépes tervezés (implantátum, műtét)
Akhtar et al.	2024	India	csípő, térd, váll	n.a.	prospektív vizsgálat	számítógépes tervezés (implantátum)
Park et al.	2024	Dél-Korea	térd	81	validációs vizsgálat	számítógépes tervezés (műtét, protézis)
Mozafari et al.	2024	Kína	csípő		irodalmi áttekintés	számítógépes tervezés (műtét)
Nemati et al.	2024	Svédország	csípő	33	prospektív vizsgálat	számítógépes tervezés (műtét), diagnosztikus döntéstámogatás
Al Zoubi et al.	2024	Kanada	csípő, térd	228	validációs vizsgálat	számítógépes tervezés (műtét), műtői pontosság

Melléklet 1. táblázat (folytatás)
A beválogatott közlemények főbb módszertani jellemzői

Szerző	Év	Ország	Műtéti terület	Minta (n=)	Módszer	Tematika
Chen et al.	2023	Tajvan	csípő	4643	validációs vizsgálat	diagnosztikus döntéstámogatás
Iwasa et al.	2023	Japán	csípő	43	prospektív vizsgálat	diagnosztikus döntéstámogatás, kockázatbecslés
Pagano et al.	2023	Németország	csípő, térd	100	retrospektív vizsgálat	diagnosztikus döntéstámogatás, kockázatbecslés
Youssef et al.	2023	Törökország	ortopéd sebészet		irodalmi áttekintés	digitálizáció az ortopédiában
Chen, H.	2023	Kína	csípő, térd, váll		irodalmi áttekintés	MI és augmentált valóság (AR)
Hasan et al.	2023	nemzetközi	csípő, térd, váll		szekesztőségi közlemény	MI és robotika szerepe a protézisbeültetésben
Zsidai et al.	2023	Svédország	ortopéd sebészet		irodalmi áttekintés	MI szerepe az ortopéd sebészetben
Kurmis, A. P.	2023	USA	terd		irodalmi áttekintés	MI szerepe térdprotézis-beültetésben
Kara et al.	2023	Törökország	csípő	113	retrospektív vizsgálat	robotika a csípőprotézis-beültetésben
Ram et al.	2023	India	csípő, térd		szekesztőségi közlemény	robotika szerepe a protézisbeültetésben
Ampadi et al.	2023	USA	csípő		irodalmi áttekintés	számítógépes tervezés (implantátum, műtét)
Benhenneda et al.	2023	Franciaország	váll	199	prospektív vizsgálat	számítógépes tervezés (műtét)
Marsilio et al.	2023	Olaszország	terd	876 (CT-felvétel)	validációs vizsgálat	számítógépes tervezés (műtét)
Lau et al.	2022	Kína	terd	440 (rtg-felvétel)	validációs vizsgálat	diagnosztikus döntéstámogatás, kockázatbecslés, számítógépes tervezés (műtét)
Hinterwimmer et al.	2022	Németország	terd		irodalmi áttekintés	gépi tanulás szerepe a térdprotézis-beültetésben
Kurmis et al.	2022	Ausztrália	csípő, térd		irodalmi áttekintés	MI szerepe csípő- és térdprotézis-beültetésben
Rodríguez-Merchán et al.	2022	Spanyolország	terd		irodalmi áttekintés	MI, gépi és mély tanulás szerepe csípőprotézis-beültetésben
Lambrechts et al.	2022	Belgium	terd	5409	retrospektív vizsgálat	számítógépes tervezés (műtét)
Milella et al.	2022	Olaszország	csípő, térd	n.a.	validációs vizsgálat	számítógépes tervezés (műtét), műtői pontosság
Lopez et al.	2021	USA	csípő, térd		irodalmi áttekintés	MI és gépi tanulás, mint döntéstámogatás
Birkhoff & Schijven	2021	Hollandia, Németország	ortopéd sebészet		irodalmi áttekintés	MI szerepe az ortopédiai műtőben
Beyaz, S.	2020	Törökország	ortopéd sebészet		irodalmi áttekintés	MI és robotika szerepe az ortopéd sebészetben