

MESTERSÉGES INTELLIGENCIA AZ EGÉSZSÉGÜGYBEN: A TRIAGE-TÓL A REHABILITÁCIÓIG

DOI <https://doi.org/10.29068/HO.2026.1-2.53-67>

SZERZŐK Surányi Zsolt Mihály őrnagy, MH Egészségügyi Központ, a Nemzeti Közszer-
lati Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola doktorandusza (ORCID: 0009-
0001-8707-2765, MTMT: 10090221)
Dr. habil. Négyesi Imre ezredes, Nemzeti Közszerlati Egyetem, Hadtudomá-
nyi és Honvédtisztképző Kar, Informatikai Tanszék (ORCID: 0000-0003-1144-
1912, MTMT: 10002896)

KULCSSZAVAK mesterséges intelligencia, egészségügy

ABSZTRAKT *Napjainkra szinte megkerülhetetlen tényező lett a mesterséges intelligen-
cia, a mindennapi életünk egyre több területén jelenik meg. A különböző szakterületek
közül – mint például a gazdasági, pénzügyi, kutatás, informatika – talán az egészség-
ügy területén figyelhető meg a legmarkánsabb térnyerése az MI'-nek. Az egészségügyi
területen való alkalmazásakor azonban nemcsak a betegeket, de a szakdolgozókat is
meg kell győzni arról a tényről – elkerülve az ismeretlentől való félelemérzetet –, hogy
az új technológia minden téren a javukat szolgálja.*

*Jelen cikk betekintést enged a különböző egészségügyi szakterületeken alkalmazható
MI-technológiák fejlődésébe és használatába napjainkban és a közeljövőben, továbbá
azok potenciális veszélyével is foglalkozik.*

BEVEZETÉS

A 20. század elejéig az orvoslás sok eset-
ben a megfigyeléseken és a belőlük levont
következtetéseken alapult, valamint a
helyi szokások vagy hiedelmek befo-
lyásolták a tudományos alapok helyett.
Az orvosképzés (és vele párhuzamosan
a gyógyítás) területén a szabványosítást
és az ezzel egyidejű minőségbiztosítás

megjelenését az Amerikai Orvosi Tár-
saság² 1847-es megalakulásához kötik.
A megszerzett tudás és annak megosz-
tása innentől kezdve exponenciálisan
terjedni kezdett. A nyomtatott kiadvá-
nyokat lassan felváltotta a digitális tér,
és az ismeretanyagok egyre több ember
számára váltak elérhetővé.

1 Angolul: Artificial Intelligence (AI).

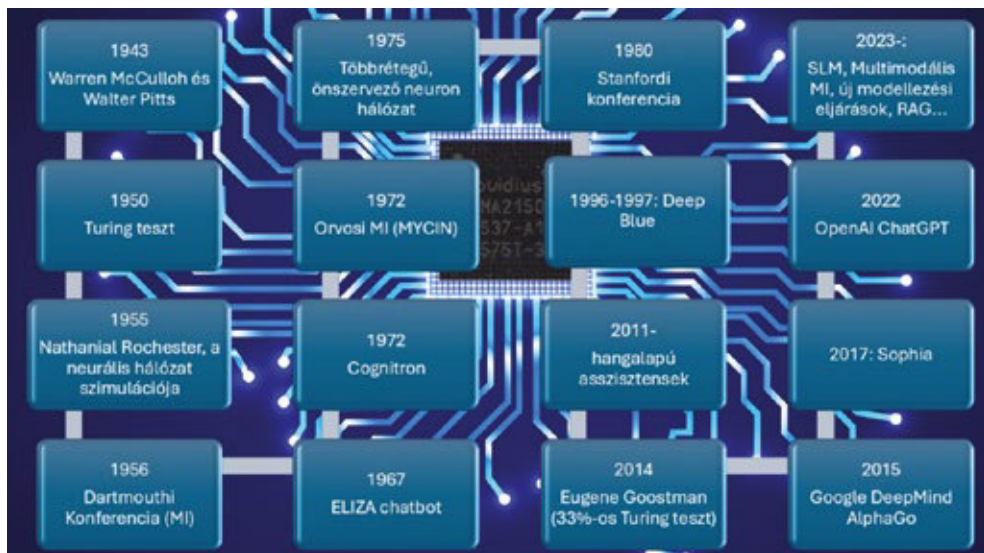
2 American Medical Association (AMA).

A számítógép megjelenésével az emberiségnek lehetősége nyílt az összegyűjtött adatokat rendszerezni és tudományos felismeréseket tenni. Ezek az adatok nagy mennyiségű információt tartalmaznak, szerkezetükben is nagyon változatosak, és a számítógépes programokkal nagyon gyorsan feldolgozhatók. A tudomány *Big Data* néven nevezi az ilyen típusú adatokat.³

Szabó és társai cikkükben az alábbiak szerint definiálták a várható paradigmaváltást: Az egészségügyi aranyláz középpontjában az adat áll. Az adat életet ment, sőt egyes esetekben például a genetikai információk összehasonlítása szolgál a célzott kezelések alapjául, azaz adat nélkül nincs gyógyítás. Az adat ugyanakkor alkalmas közpénz megtakarítására és gazdasági érték előállítására is. Az emberiség számára a digitális

egészségügy azt az ígéretet hordozza, hogy segítségével olyan helyekre is eljut az egészség, ahol korábban nem volt elérhető. A digitális egészségügy olyan lesz a 21. században, mint a védőoltások a múlt században. Az adat jelentőségét jól érzékelteti a nemzetközi irodalomban már évek óta használt mondás, miszerint az adat az új nemesfém, az új olaj.⁴

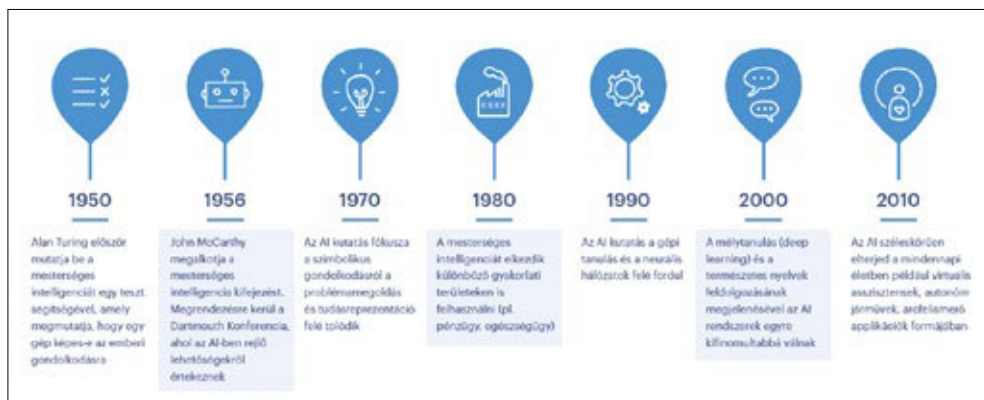
Dr. Meskó Bertalan orvosi jövőkutató *Az egészségügyben alkalmazott mesterséges intelligencia* című előadásában kitért arra, hogy az MI az orvosokat a döntéshozatalban, a pácienseket az adataik elemzésében, az egészségügy vezetőit pedig a folyamatok finomhangolásában fogja segíteni, de csak akkor, ha megfelel a technológia a bizonyítékokon alapuló orvoslás feltételeinek. Hangsúlyozta, hogy „a mi generációnk felelőssé-



1. ábra. A mesterséges intelligencia kronológiája (forrás: <https://real.mtak.hu/213317>)

3 NÉGYESI Imre; KISS Csaba: *A mesterséges intelligencia a hadisérültek rehabilitációjában.*

4 SZABÓ Zoltán Attila és mások: *A digitális egészségügyi ökoszisztéma fogalmának és elemeinek nemzetközi és hazai áttekintése.*



2. ábra. Az MI rövid története. (Az idővonalat 100%-ban az OpenAI GPT-3 algoritmus generálta, <https://www.webnode.com/hu/blog/files/AI-timeline-HU.png>)

ge, hogy megtanulja az AI-t oly módon használni, hogy előnyeit kiélvezzük, de közben ne veszítsük el a kontrollt”⁵

Jelenünk MI-technológiájának és az ennek alapját képező neurális hálózatoknak a története az 1940-es években kezdődött. Warren McCulloch neurofiziológus és Walter Pitts matematikus közösen publikált tanulmányukban vázolták fel az idegsejtek általuk feltételezett működési sajátosságait 1943-ban. Elméletük bemutatása érdekében egy elektromos áramkörökre épülő, egyszerű neurális hálózatot hoztak létre (1. ábra).⁶ Napja-

inkra a mesterséges intelligencia virtuális neurális hálózatokat használ, melyek a biológiai agyhoz hasonlóan működnek, hogy felismerjék az adatokban lévő mintázatokat, és döntsenek az ezekre az adatokra adott válaszról.

A cikkben a teljesség igénye nélkül bemutatjuk az egészségügy több szakterületét, ahol az MI már napjainkban is jelen van, továbbá a közeljövőben várható újdonságokat is megemlíjtjük. Végezetül a jelenleg ismert veszélyekre is kitér a cikk, melyek az MI használata során felmerülhetnek.

TRIAGE⁷

Az MI alkalmazása a triage folyamatában forradalmasíthatja a betegellátást, különösen a sürgősségi helyzetekben és a harctéri körülmények között. Továbbá jelentős mértékben hozzájárul-

hat a triage folyamat hatékonyságának növeléséhez, javítva ezzel a betegellátás minőségét és gyorsaságát. Az MI alkalmazása lehetővé teszi a pontosabb diagnózist, az optimális erőforrás-kezelést

5 BÓDI Bernadett: *Mesterséges intelligencia az egészségügyben – víziók és kihívások.*

6 OLLÁRI Viktor Szilárd, SURÁNYI Zsolt Mihály: *A mesterséges intelligencia alkalmazásának egyes kérdőjelei.*

7 A triage francia szó, jelentése: szétválogatni. A sérültek és betegek osztályozására és súlyossági állapotuk szerinti besorolására használatos eljárás az egészségügyben (kiejtése: triázs).

és a folyamatos betegmonitorozást, ami különösen fontos az egészségügyi ellátás első állomásán. Az új technológiák és megoldások nemcsak a diagnózist és a kezelést teszik hatékonyabbá, hanem hozzájárulnak a sérültek életminőségének javításához is. Bemutatunk néhány részterületet, ahol az MI értékes támogató lehet.⁸

- Gyorsabb és pontosabb betegértékelés: Az MI-algoritmusok képesek nagy mennyiségű adatot (például vitális jelek, a sérülés típusa, a beteg anamnézise) valós időben elemezni, és javaslatot tenni a beteg sürgősségi kategóriájára. Ez segíthet csökkenteni az emberi hibák lehetőségét és felgyorsítani a döntéshozatalt, ami kritikus lehet egy MASCAL⁹ esetén.
- Prediktív analitika a beteg állapotromlásának előrejelzésére: Az MI-modellek képesek a beérkező adatok alapján előre jelezni, hogy mely betegek vagy sérültek állapota romolhat a legprogresszívebben. Ez lehetővé teszi a proaktív beavatkozást és a rendelkezésre álló erőforrások hatékonyabb elosztását a legsürgősebb esetekre.
- Erő- és szakanyagforrás-optimalizálás: Az MI segíthet a rendelkezésre álló egészségügyi személyzet, felszerelés és gyógyszerkészlet optimális elosztásában a triage során az előre jelzett betegszám és a sérülések súlyossága alapján. Ez különösen fontos lehet katasztrófahelyzetekben, MASCAL vagy harctéri körülmények között.

- Az objektív döntéshozatal támogatása: Az MI-algoritmusok elfogultságtól mentesen, objektíven, kizárólag az adatokra támaszkodva segíthetik a triage személyzetét a döntések meghozatalában. Ez növelheti a méltányosságot és csökkentheti a szubjektív tényezők befolyását.
- Telemedicina és távmonitorozás: Az MI-alapú rendszerek lehetővé tehetik a betegek távoli előzetes felmérését és monitorozását a helyszínen vagy a szállítás közben. Ez segíthet az egészségügyi létesítményeknek vagy kórházaknak felkészülni a beérkező betegekre és ehhez optimalizálni a rendelkezésre álló erőforrásokat.
- Dokumentáció és jelentések automatizálása: Az MI segíthet a triage folyamatának dokumentálásában és a szükséges jelentések automatikus generálásában, csökkentve az egészségügyi személyzetre nehezedő adminisztratív terheket.
- Kiképzés és szimuláció: Az MI-alapú szimulációs eszközök valóság-hű helyzeteket teremthetnek (AR¹⁰- vagy VR¹¹-környezet) a triage-ban részt vevő személyzet képzéséhez és a döntéshozatali készségeik fejlesztéséhez, azáltal, hogy különböző, de valóság-hű eseményeket generálnak. „A szimulációalapú oktatás olyan megközelítése a klinikai gyakorlatoknak, amely lehetőséget nyújt a képzésben részt vevőknek arra, hogy változatos, „valós” élethelyzetbeli tapasztalatokat

8 ADEBAYO, Da'Costa és mások: *AI-driven triage in emergency departments: A review of benefits, challenges, and future directions.*

9 Mass Casualty: tömeges, nagyszámú és súlyos állapotú sérülttel járó esemény.

10 Augmented Reality: kiterjesztett valóság.

11 Virtual Reality: virtuális valóság.

szerezhessenek, a saját és a betegek egészségének veszélyeztetése nélkül”.¹²

Fontos megjegyezni, hogy az MI a triage során egy támogató eszköz, és nem

helyettesíti a képzett orvos és egészségügyi személyzet szakértelmét és klinikai ítélőképességét. Az emberi felügyelet és a végső döntéshozatal továbbra is elengedhetetlen.

TRIAGE A HARCTÉREN

A harctéri triage egy kritikus folyamat, amelynek célja a sebesült katonák gyors és hatékony osztályozása a rendelkezésre álló erőforrások (személyzet, felszerelés, idő) optimális felhasználása mellett. A cél a legtöbb élet megmentése és a maradandó károsodások minimalizálása, mindez harctéri körülmények között.

Fontos hangsúlyozni, hogy a harctéri triage rendkívül összetett és dinamikus folyamat. Az MI itt egy értékes segítő eszköz lehet, amely a gyorsaságot, a pontosságot és az adatvezérelt döntéshozatalt támogatja. A végső döntést azonban mindig a helyszínen lévő egészségügyi szakszemélyzetnek kell meghoznia, figyelembe véve a helyszíni körülményeket és a klinikai ítélőképességét.

A harctéri triage eltér a civil sürgősségi ellátástól, mivel korlátozott erőforrások állnak az egészségügyi szakszemélyzet rendelkezésére, valamint dinamikusan változó és veszélyes környezetben történik az ellátás. A harctéri körülmények speciális kihívásai (kommunikációs nehézségek, időjárási viszonyok, ellenséges tevékenység) is befolyásolhatják az MI alkalmazhatóságát és megbízhatóságát.

Az MI a harctéri triage folyamatát a döntéshozatal különböző aspektusaiban az alábbiakkal képes támogatni:¹³

- Valós idejű adatelemzés: A harctéri sérültekről gyűjtött egészségügyi adatok (vitális paraméterek, a sérülés mechanizmusa, látható sérülések) az MI-algoritmusok segítségével villámgyorsan elemezhetők. A katonán viselt szenzorok vagy az egészségügyi ellátó által rögzített információkat azonnal fel lehet dolgozni, továbbá telemedicina segítségével továbbadni. Az MI-alapú alkalmazások segíthetik a könnyű sérülteket az állapotuk önálló felmérésében és a tüneteik rögzítésében, ezzel is csökkentve az egészségügyi személyzet terheit.
- Automata/automatizált riasztások: Az MI képes felismerni a kritikus élettani értékeket (pl. magas pulzus vagy légzésszám, kritikus vérnyomás, oxigénszint-csökkenés) és azonnali riasztást küldeni az egészségügyi személyzetnek, felhíva a figyelmet a legsürgősebb esetekre vagy a várható állapotrosszabbodásra.
- Priorizálás a rendelkezésre álló erőforrások figyelembevételével: Az MI segíthet a várható állapotromlás prognosztizációjában, a rendelkezésre álló erőforrások és kapacitások figyelembevételével a sérültek kiürítési sorrendjének felállításában is.

¹² FEJES Zsolt Dezső és mások: *E-volution a védelem-egészségügyben*.

¹³ RIGGENBACH, Zachary William és mások: *AI on the Front Lines: A Primer for the Military Health Professional*.

PREDIKTÍV ANALITIKA

A prediktív analitika főként statisztikai és elemzési szakterületeken használatos kifejezés, mely magába foglalja a statisztikai eljárásokat, a gépi tanulás szintjeit és a különböző adatbázisok optimalizációját a feldolgozásuk során. Az MI-rendszer adatfeldolgozási technikák és eszközök összessége, amelyek előrejelzéseket készítenek a jövőbeli eseményekről vagy viselkedésekről a múltbeli és jelenlegi adatok elemzése alapján. Továbbá statisztikai algoritmusokat és gépi tanulási technikákat alkalmaz, hogy azonosítsa a mintákat és trendeket, amelyek alapján pontos előrejelzéseket készíthetünk.

A számítógépek fejlődése az 1950-es évektől kezdve forradalmasította az adatelemzést, lehetővé téve nagyobb adathalmazok feldolgozását. Az 1990-es években a *Big Data* és az adatbányászat térnyerése új lendületet adott a prediktív analitikának. Azóta a mesterséges intelligencia és a gépi tanulás integrációja tovább növelte az előrejelzések pontosságát és alkalmazási lehetőségeit. A prediktív analitika az egészségügyben forradalmi változásokat hozhat, mivel lehetővé teszi:

- *a betegségek korai felismerését*: az algoritmusok elemzik a betegek kórtörténetét és biometrikus adatait, hogy azonosítsák a betegségek kialakulásának kockázatát;
- *a kezelések személyre szabását*: a prediktív analitika segít az orvosoknak a legmegfelelőbb kezelési terv kidolgozásában, figyelembe véve a beteg egyedi jellemzőit, ezzel is növelve az egészségügyi ellátórendszerek hatékonyságát.

A prediktív analitika alkalmazása a katonai egészségügyben jelentős előnyökkel járhat. A betegségek korai felismerése a katonai környezetben nem csupán az egyéni egészség megőrzését szolgálja, hanem a kontingens hadrafoghatóságát is, és a misszió sikerességének kulcsfontosságú tényezője lehet. Egy járvány vagy fertőző betegség gyors terjedése egy katonai egységen belül komoly logisztikai és operatív kihívásokat jelenthet. Az MI által támogatott prediktív modellek képesek elemezni a katonák mozgását, a környezeti tényezőket és a korábbi egészségügyi adatokat, így előre jelezhetik a potenciális járványkitöréseket vagy a betegségek terjedésének kockázatát. Ez lehetővé teszi a megelőző intézkedések – mint például célzott vakcináció vagy fokozott és szigorított higiéniai protokollok – időben történő bevezetését, minimalizálva a betegség okozta műveleti képesség csökkenését. A NATO-ban ezen törekvések a saját erők védelmének (FHP)¹⁴ részét képezik.

A kezelések személyre szabása a katonai egészségügyben speciális kihívásokra adhat választ. A hadszíntéren szerzett sérülések gyakran komplexek és azonnali, precíz beavatkozást igényelnek. A prediktív analitika segíthet az orvosoknak és az egészségügyi szak személyzetnek abban, hogy a sérülés jellege, a katona egyéni fiziológiai adatai és kórtörténete alapján a legmegfelelőbb ellátási stratégiát válasszák ki. Például az algoritmusok elemezhetik a sérülés mértékét és a vitális jeleket, hogy előre jelezzék a lehetséges komplikációkat és támogassák a gyors és hatékony döntéshozatalt a kritikus helyze-

14 Force Health Protection.

tekben. Hosszú távon pedig a személyre szabott rehabilitációs tervek kidolgozásában is segíthet az MI, figyelembe véve

a katona egyéni felépülési ütemét és a szolgálatba történő mielőbbi visszatérésének igényét.

PREDIKTÍV ANALITIKA AZ EPIDEMIOLÓGIAI SZAKTERÜLETEN

A Magyarországon települő NATO Katona-egészségügyi Kiválósági Központ (*NATO Centre of Excellence for Military Medicine*) által végzett kutatás alapján megállapították, hogy az EpiNATO-2¹⁵ nem alkalmas arra, hogy időben riaszson fertőző betegségek kitörésére, illetve CBRN-harcanyagok bevetésére. Ennek oka a jelentések egyhetes időintervalluma, ami túl hosszú idő ahhoz, hogy időben lehessen reagálni egy fertőzésre vagy támadásra. Ezen konklúzió levonása segítette elő azt az elhatározást, hogy sürgetve elrendeljenek egy valódi NRTS-típusú képesség biztosításához szükséges fejlesztést. Ezen törekvés gyümölcse lett a *NATO Real Time Surveillance Tool (NRTS)*.

Ez az eszköz átlátható módon teszi lehetővé a NATO-missziókban részt vevő csapataink egészségi állapotának közel valós idejű megfigyelését. Nagymértékben segíti a lehetséges betegségek/fertőzések kitörésének, az esetleges harcanyagok terjedésének azonosítását, így lehetővé teszi a gyors reagálást, ezáltal elősegíti, hogy a lehető leghamarabb meg tudjuk állítani a betegségek vagy a károkozás terjedését. Ezt az eszköz úgy biztosítja, hogy figyelmeztető jelek és tünetek konstellációját vizsgálja, nem vár laboratóriumi vizsgálattal megerősített diagnózisokra. Ha bizonyos számú betegnél ugyanazon jelek és tünetek jelentkeznek, akkor a rendszer riasztást generál.¹⁶

KÉPALKOTÓ DIAGNOSZTIKA

A képalkotó diagnosztika területén a mesterséges intelligencia nem az orvos helyettesítését, hanem az orvos kiterjesztett képességeinek támogatását szolgálja, különösen olyan erőforráshiányos környezetben, mint a harctéri betegellátás. Ezt a szakterületet a *második szempár*¹⁷ koncepciójával írhatjuk le a

legpontosabban. A harctéri missziók során vagy a sürgősségi ellátás túlterhelt időszakokban gyakori probléma a radiológus szakorvos hiánya, így az MI alkalmazása az orvosi felvételek előszűrésében életmentő jelentőséggel bírhat, ezzel is hozzájárulva az időablak csökkentéséhez.

15 A NATO-missziókban jelenleg alkalmazott, heti rendszerességgű egészségügyi jelentési formátum.

16 KECSKÉS Attila: *Nagy adatbázisok és a mesterséges intelligencia (MI) epidemiológiai felhasználási lehetőségei a nemzetközi katona-egészségügyben.*

17 Second pair of eyes.

A második szempár

A diagnosztikában ez a kifejezés egy biztonsági és minőségbiztosítási elvre utal. A lényege a kettős ellenőrzés (más néven „a négy szem elve”), mely alapján egy leletet, mintát vagy diagnózist két, egymástól független szakember is megvizsgál, hogy minimalizálják a té-

vedés lehetőségét. Nem bizalmatlanság az első szakvéleményt kiállító orvossal szemben, hanem egy szakmai protokoll, ami a beteg biztonságát garantálja, különösen olyan területeken, ahol az emberi tényező (figyelem, fáradság) befolyásolhatja az eredményt.

Az MI megjelenése a radiológia területén

A mesterséges intelligencia – különösen a mélytanulás¹⁸ és a konvolúciós neurális hálózatok (CNN)¹⁹ technológiája – alkalmas a röntgen-, CT- és MRI-felvételek azonnali, automatizált elemzésére. Ez a képesség kritikus fontosságú lehet katonai műveletek során (pl. Role 1-es vagy Role 2-es szintű katonai ellátóhelyeken), ahol nem biztosított a 24 órás radiológusi jelenlét.

Ide tartozik a számítógéppel támogatott diagnosztika (Computer-Aided Detection), ami már most is képes a mellkasröntgenen a TBC- vagy a COVID-szűrésre, továbbá a fogászati panoráma röntgenfelvételen az állkapocsban található gyulladásos elváltozás felismerésére – ez a katonai alkalmassági vizsgálatoknál is folyamatgyorsításként alkalmazható eljárás lehet.²⁰

Azonban nem szabad teljesen az MI-re támaszkodni a leletek során. Amikor az orvosi diagnosztikáról beszélünk, a legfontosabb kérdés nem az, hogy ki a gyorsabb, hanem hogy ki téved

kevesebbet (az MI vagy az ember). A kutatások kétféle hibát mérnek:

- amikor nem vesszük észre a bajt (*a szenzitivitás hiánya*);
- és amikor vaklármát csapunk (*a specificitás hiánya*).

A mesterséges intelligencia és a humán diagnosztika hatékonyságának összehasonlítására három meghatározó, nemzetközileg elismert tanulmány eredményeinek elemzésére és azok összehasonlítására került sor. (1. táblázat)

A *The Lancet Digital Health*²¹ folyóiratban közölt átfogó vizsgálat – amely a röntgen-, CT- és MRI-felvételek általános képalkotását elemezte – rámutatott, hogy a betegségek észrevételében (szenzitivitás) a szakorvosok és az algoritmusok közel azonos szinten teljesítenek (86,4% illetve 87,0%), gyakorlatilag döntetlen eredményt mutatva. Ugyanakkor az egészséges esetek felismerésében (specificitás) az MI pontosabbnak bizonyult (92,5% szemben az orvosok

18 Deep Learning.

19 Convolutional Neural Networks.

20 Computer-Aided Detection: számítógéppel támogatott észlelés.

21 Liu, Xiaoxuan és mások: *A comparison of deep learning performance against health-care professionals in detecting diseases from medical imaging: a systematic review and meta-analysis.*

1. táblázat. A szenzitivitás és a specificitás összehasonlítása az ember és az MI között (a szerzők szerkesztése)

Publikáció	Orvosi szakterület	Teljesítmény, mutató	Orvosok	Mesterséges intelligencia (MI)	Eredmény
The Lancet Digital Health	általános képalkotás (röntgen, CT, MRI vegyesen)	szenzitivitás (a betegség észrevétele)	86,40%	87,00%	döntetlen (minimális MI-előny)
		specificitás (egészségesek felismerése)	90,50%	92,50%	Az MI pontosabb (kevesebb téves riasztás)
Nature	mellrákszűrés (mammográfia)	téves pozitív csökkenés (USA-minta)	Referencia	-5,70%	Az MI sokkal pontosabb (kevesebb felesleges visszahívás)
		téves pozitív csökkenés (USA-minta)	Referencia	-9,40%	Az MI sokkal pontosabb (kevesebb felesleges visszahívás)
Annals of Oncology	melanoma (dermoszkópos képek)	szenzitivitás (betegség észrevétele)	86,60%	95,00%	Az MI érzékenyebb (több elváltozást vett észre)
		specificitás (ugyanazon érzékenység mellett)	71,30%	82,50%	Az MI pontosabb (sokkal kevesebb téves gyanú)

90,5%-ával), ami kevesebb téves riasztást eredményez.

A *Nature*²² magazinban publikált kutatás kifejezetten a mammográfias mellrákszűrésre fókuszált, ahol az emberi tényezőből fakadó vaklárma gyakori probléma. Az eredmények azt mutatták, hogy az MI alkalmazásával az USA-mintán vizsgált esetekben 5,7%-kal, illetve 9,4%-kal csökkent a téves pozitív diagnózisok aránya a referenciacsoporthoz képest. Ez a javulás jelentős mértékben csökkentheti a páciensek felesleges visszahívását és a szorongást okozó indokolatlan további vizsgálatokat.

A legszembetűnőbb különbséget az *Annals of Oncology*²³ tanulmánya rögzítette a melanoma²⁴ dermoszkópos²⁵

felismerése terén. Ebben a szegmensben a mesterséges intelligencia mindkét mutatóban felülmúlta a humán diagnosztákat: a betegség észrevételében (szenzitivitás) 95,0%-os pontosságot ért el az orvosok 86,6%-os átlagával szemben, miközben a specificitás terén is jóval magasabb, 82,5%-os eredményt produkált a szakemberek 71,3%-os teljesítményéhez képest. Ezek az adatok alátámasztják, hogy a bőrgyógyászati diagnosztikában az MI mint második szempár kiemelkedő hatékonysággal képes támogatni a korai felismerést.

A három kutatás adatait összegezve kijelenthető, hogy a mesterséges intelligencia a képelemzésben kevesebbet téved, de ez nem jelenti az orvosok

22 MCKINNEY, Scott Mayer és mások: *Addendum: International evaluation of an AI system for breast cancer screening.*

23 HAENSLE, H.A. és mások: *Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists.*

24 A bőr pigmentet termelő sejteiből kiinduló rosszindulatú bőrdaganat.

25 Bőrgyógyászati diagnosztikai eszköz (nagyítót és polarizált fényforrást tartalmaz).

szerepének végét. A jövőt a *hibrid diagnosztika* jelenti, ahol az MI kiszűri a

hibákat és eltéréseket, de az orvos hozza meg a végső döntést.

MI általi prioritizálás a diagnosztikai triage-ban

Az algoritmusok képesek a beérkező képek közül azonnal kiszűrni a kritikus, életet veszélyeztető vagy maradandó károsodást okozó eseteket (pl. légmell, koponyaűri vérzés, csigolyatörés).

A rendszer piros zászlóval jelöli meg azt a felvételt, amit a leletező orvosnak azonnal látnia kell, így a sürgős esetek nem váraognak a leletezési sorban, hanem azokat előresorolja az alkalmazás.

Az MI megjelenése a hordozható diagnosztika területén

A mesterséges intelligencia technológiával történő támogatás a hordozható készülékek (például a POCUS²⁶) területén is megjelent, ezáltal napjainkban már nem csupán passzív képkalkoló eszközként, hanem aktív diagnosztikai asszisztensként tekinthetünk rájuk.

Ezek a rendszerek valós időben képesek vezetni a nem radiológus végzettségű szakorvos kezét – vizuálisan jelezve a vizsgálófej optimális helyzetét –, így segítve például a belső vérzések felkutatását vagy a vénabiztosítást nehéz körülmények között.

REHABILITÁCIÓ

A rehabilitáció gyakran hónapokig tartó, komplex folyamat, ahol a mesterséges intelligencia nemcsak a személyre szabott gyógyulási terv összeállítását

biztosíthatja, hanem a folyamatos monitorozást is lehetővé teszi, ezzel közvetlenül hozzájárulva a katonák szolgálatba történő mielőbbi visszatéréséhez²⁷.

Első lépés a rehabilitáció felé: kiürítés

A harctéri sérültek kimentése/kiürítése az ellátási lánc első, kritikus lépése. Ebben nyújthat segítséget a *Battlefield Extraction-Assist Robot*²⁸ (BEAR), melynek elsődleges feladata a sérült katonák kimentése az ellenséges tűzből az élőerő kockáztatása nélkül (*1. kép*). Erős hidraulikus rendszerének és

egyedi lánctalpas kialakításának köszönhetően a robot képes nehéz terhet – akár egy teljes felszerelésben lévő sérültet – hosszú távon és egyenetlen terepen is stabilan szállítani, miközben az MI folyamatosan elemzi a terepvizonyokat az egyensúly megőrzése érdekében.²⁹

26 Point-of-Care Ultrasound: ágy melletti ultrahang/ultrahangvizsgálat (az eszköz mobilitását hangsúlyozza).

27 Return to Duty (RTD).

28 Battlefield Extraction-Assist Robot: harctéri kiürítést végző robot.

29 NÉGYESI Imre, RIKK János: *Katonai feladatok támogatása mesterséges intelligenciával.*



1. kép. BEAR-robot (forrás: <https://api.army.mil/e2/c-images/2010/11/22/92710/size0-full-army.mil-92710-2010-11-23-061154.jpg>)

Rehabilitáció lépésről lépésre

A súlyos végtagsérülést szenvedett katonák klinikai rehabilitációjában az MI-vezérelt robotikus eszközök és az exoskeletonok jelentik a technológiai evolúció következő lépcsőfokát. Bár a technológia gyökerei az 1960-as évekre nyúlnak vissza – amikor az amerikai hadsereg még az „emberfeletti erő” elérését célozta meg³⁰ –, a mai orvosi alkalmazás célja a funkcióvesztett végtagok újratanítása (2. kép).

Ezek az eszközök hatékony segítséget nyújtanak például a járás újbóli elsajátításában. Működésük alapja, hogy a mesterséges intelligencia szenzorok segítségével képes érzékelni a páciens izmainak apró, szabad szemmel talán nem is lát-

ható rezdüléseit (a mozgási szándékot), és a robotika csak olyan mértékben segíti a mozgást, amennyire az feltétlenül szükséges.

Ez az „asszisztív”³¹ működésmód kulcsfontosságú, mivel nem végzi el a munkát a sérült helyett, hanem aktív részvételre ösztönzi az idegrendszert, ezáltal gyorsítva a neurális regenerációt. Az exoskeletonok lehetővé teszik az objektív méréseket, így a gyógyulási folyamat pontosan követhető, precízebb rehabilitációs tervek építhetők fel.³²

A rehabilitáció a kórház elhagyása után is folytatódik. A távrehabilitáció (*telerehab*) és a gépi látáson alapuló

30 WEINHOFER Judit: *A katona-egészségügy szerepe a rehabilitáció 21. századi fejlődésében* (1.)

31 Határozott, magabiztos, önérvényesítő, de nem agresszív.

32 WEINHOFER Judit: *A katona-egészségügy szerepe a rehabilitáció 21. századi fejlődésében* (1.)



2. kép. Az exoskeleton használata a rehabilitációs célok elérésében (forrás: <https://www.researchgate.net/profile/Ahmad-Innab/publication/338257885/figure/fig10/AS:879155298197506@1586618365526/The-use-of-exoskeleton-to-reach-the-goals-of-rehabilitation.png>)

mozgáselemzés révén a katonák akár otthonukban vagy a laktanyában is végezhetik az előírt gyógytornát. Egy egyszerű kamera és egy MI-szoftver segítségével a rendszer valós időben figyeli a mozgást, és vizuális visszajelzést ad, ha a páciens helytelenül végzi a gyakorlatot – mintha egy gyógytornász állna mellette. Ez a megoldás jelentősen tehermentesíti a központi rehabilitációs intézeteket, miközben biztosítja a terápia szakmai felügyeletét.³³

Egy friss kutatásban metaanalízis igazolta, hogy az MI által támogatott

rehabilitáció a fájdalomcsökkentés és a funkcionális javulás terén is felveszi a versenyt a hagyományos módszerekkel.³⁴

Végezetül, az adatvezérelt prognózis a parancsnokok számára nyújt stratégiai információt. Az MI elemzi a rehabilitációs folyamat során keletkező hatalmas adatmennyiséget, és nagy pontossággal képes előre jelezni, hogy a katona mikor lesz újra hadrafogható.³⁵ Ez az információ elengedhetetlen a humán erőforrás-gazdálkodás és a műveleti tervezés szempontjából.

AZ MI HASZNÁLATÁNAK VESZÉLYEI

A mesterséges intelligencia használata is tartalmaz veszélyforrásokat, melyek kiküszöbölése vagy legalábbis csökkentése is elsődleges célként kell, hogy megfogalmazódjon. Nick Bostrom a

*Szuperintelligencia*³⁶ című könyvében leszögezi, hogy az embernél intelligensebb mesterséges intelligenciák egzisztenciális katasztrófát jelentenek számunkra.

33 JLELI, Mohamed és mások: *Artificial Intelligence-driven remote monitoring model for physical rehabilitation*.

34 LUO, Zixuan és mások: *Effectiveness of AI-assisted rehabilitation for musculoskeletal disorders: a network meta-analysis of pain, range of motion, and functional outcomes*.

35 Return to Duty (RTD).

36 BOSTROM, Nick: *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*.

Black box, a fekete doboz probléma

A megnevezés egy metaforikus kifejezés, amely arra utal, hogy egy rendszer működése nem feltétlenül transzparens vagy teljesen értelmezhető. Az informatikai fejlesztők is szembesülnek azzal a kihívással, hogy nem tudják teljesen megérteni, hogyan hozzák meg döntéseiket a mesterségesintelligencia-rendszerek.

Leggyakrabban a neurális modellek kapcsán jelenhet meg az elszámoltathatóság és az átláthatóság hiánya, mely a bemenő (input) adatok és a megkapott (output) végeredmény közötti elemezhetetlenségben manifesztálódik. Ennek a bizonytalanságnak az orvosi diagnosztika területén kiemelt jelentősége van, hiszen ha a megadott tünetekből vagy eredményekből kapott diagnózishoz vezető döntésmechanizmus láncolata nem megismerhető vagy kiismerhető, akkor a hibás döntésért hozott felelősség kérdése is tisztázatlan lehet.

Az MI-programok átláthatósága bizalmat ébreszt és csökkenti a felhasználói előítéletet, miszerint a programban észrevétlen hibák vagy ártó szándékú, tudatos fejlesztői torzítások vannak, melyek az adatelemzésben nem szakmailag alátámasztott döntést eredményeznek. Olyan helyzetekben, melyekben az emberi élet lehet a tét, nincs helye bizonytalanságnak vagy potenciális bizalomhiánynak. A MI-ben véletlenül vagy szándékosan rejtőző hibák téves predik-

ciókhoz vezethetnek, melyek összességében torzítják a végső eredményt vagy diagnózist.

„A legtöbb kortárs MI-technológia legriasztóbb jellemzője kifürkészhetetlen mivoltuk. [...] Egyrészt egy bonyolult MI-rendszer pontosságát csak egy másik bonyolult MI-rendszer képes ellenőrizni. Másrészt még az MI létrehozói is a feketedoboz áldozatai. Igen, mindez pontosan azt jelenti, hogy nemcsak az MI működési mechanizmusát képtelenek megmagyarázni, hanem arról sincs fogalmuk, hogy az MI miképp éri el a kívánt eredményt. [...] Nem nehéz belátni, hogy a feketedoboz jelenti a legfőbb gátat az elszámoltathatóság és a megfelelő szabályozási keretrendszer létrehozása előtt az MI által okozott károk felelősségének megállapítására. A megmagyarázhatóság létfontosságú követelmény a nagy kockázatú és nagy tétellel bíró rendszerek (pl. katonai, klinikai, előrejelző, rendfenntartó stb.) esetében, amelyek előfeltétele a felhasználói bizalom.”³⁷

A fenti problémákra megoldást jelenthet az úgynevezett magyarázható MI (XAI)³⁸, mely olyan folyamatok és módszerek összessége, ami lehetővé teszi az emberi felhasználók számára, hogy megértsék és megbízzanak a gépi tanulási algoritmusok által létrehozott eredményekben és kimenetekben. A XAI a mesterséges intelligencia modelljének, várható hatásának és lehetséges torzításainak leírására szolgál.

37 TILESCH György, HATAMLEH, O.: *Mesterség és intelligencia – Vegyük kezünkbe sorsunkat az MI korában.* 139–140. o.

38 XAI: eXplainable Artificial Intelligence.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- ADEBAYO, Da'Costa és mások: *AI-driven triage in emergency departments: A review of benefits, challenges, and future directions*. In: International Journal of Medical Informatics Vol. 197., 105838. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2025.105838>. (A letöltés időpontja: 2024. december 14.)
- BÓDI Bernadett: *Mesterséges intelligencia az egészségügyben – víziók és kihívások*. Semmelweis.hu, 2022. május 11. <https://semmelweis.hu/hirek/2022/05/11/tudomanyos-es-uzleti-szalon-az-egeszseg-ugyben-alkalmazott-mesterseges-intelligen-cia>. (A letöltés időpontja: 2025. január 6.)
- BOSTROM, Nick: *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford University Press, 2014.
- FEJES Zsolt Dezső és mások: *E-volution a védelem-egészségügyben*. In: Honvédorvos 2024/3–4, 61–69. o. <https://doi.org/10.29068/HO.2024.1-2.61-69>. (A letöltés időpontja: 2025. július 9.)
- HAENSSLE, H.A. és mások: *Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists*. In: Annals of Oncology 2018/29, 1836–1842. o. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdy166>. (A letöltés időpontja: 2025. december 18.)
- JLELI, Mohamed és mások: *Artificial Intelligence-driven remote monitoring model for physical rehabilitation*. In: Journal of Disability Research 2024/1, e20230065. <https://doi.org/10.57197/JDR-2023-0065>. (A letöltés időpontja: 2025. december 21.)
- KECSKÉS Attila: *Nagy adatbázisok és a mesterséges intelligencia (MI) epidemiológiai felhasználási lehetőségei a nemzetközi katonai-egészségügyben*. In: Innováció Menedzsment Egészségügy (IME) 2024/2 különszám, 4–7. o. <https://doi.org/10.53020/IME-2024-KSZ-201>. (A letöltés időpontja: 2025. április 14.)
- LIU, Xiaoxuan és mások: *A comparison of deep learning performance against health-care professionals in detecting diseases from medical imaging: a systematic review and meta-analysis*. In: The Lancet Digital Health 2019/1, 271–279. o. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(19\)30123-2](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(19)30123-2). (A letöltés időpontja: 2025. december 18.)
- LUO, Zixuan és mások: *Effectiveness of AI-assisted rehabilitation for musculoskeletal disorders: a network meta-analysis of pain, range of motion, and functional outcomes*. In: Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 2025/13, <https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1660524>. (A letöltés időpontja: 2025. december 20.)
- McKINNEY, Scott Mayer és mások: *Addendum: International evaluation of an AI system for breast cancer screening*. In: Nature 2020/577, 89–94. o. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1799-6>. (A letöltés időpontja: 2025. december 18.)
- NÉGYESI Imre, Kiss Csaba: *A mesterséges intelligencia a hadisérültek rehabilitációjában*. In: Hadtudományi Szemle 2024/1, 121–130. o. <https://doi.org/10.32563/hsz.2024.1.8>. (A letöltés időpontja: 2025. december 18.)
- NÉGYESI Imre, RIKK János: *Katonai feladatok támogatása mesterséges intelligenciával*. In: Sereg Szemle: A Magyar Honvédség Összhaderőnemi Parancsnokság folyóirata 2017/3–4, 120–136. o. <https://honvedelem.hu/images/media/5f58bfbfe98846551776108.pdf#page=120>. (A letöltés időpontja: 2025. december 17.)
- OLLÁRI Viktor Szilárd, SURÁNYI Zsolt Mihály: *A mesterséges intelligencia alkalmazásának egyes kérdőjelei*. In: Honvédorvos 2024/3–4, 75–92. o. <https://doi.org/10.29068/HO.2024.3-4.73-90>. (A letöltés időpontja: 2025. január 5.)
- RIGGENBACH, Zachary William és mások: *AI on the Front Lines: A Primer for the Military Health Professional*. In: Military Medicine, Vol. 190., 1851–1857. o. <https://doi.org/10.1093/milmed/usaf165>. (A letöltés időpontja: 2025. május 9.)
- SZABÓ Zoltán Attila és mások: *A digitális egészségügyi ökoszisztéma fogalmának és elemeinek nemzetközi és hazai áttekintése*.

In: Információs Társadalom, 2021/3, 47–66. o. <https://doi.org/10.22503/inftars.XXI.2021.3.3>. (A letöltés időpontja: 2025. május 9.)

TILESCH György, HATAMLEH, Omar: *Mesterség és intelligencia – Vegyük kezünkbe sorsunkat az MI korában*. Libri Könyvkiadó Kft., Budapest, 2023.

WEINHOFFER Judit: *A katona-egészségügy szerepe a rehabilitáció 21. századi fejlődésében (1.)*. In: Honvédségi Szemle 2022/1, 131–147. o. HSZ_2022_1_131-147_Weinhoffer.pdf. (A letöltés időpontja: 2025. december 21.)

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEALTHCARE: FROM TRIAGE TO REHABILITATION

AUTHORS

Maj. Zsolt Mihály Surányi, HDM Medical Centre, National University of Public Service, Doctoral School of Military Engineering, PhD student
Col. Imre Négyesi PhD, Ludovika – University of Public Service, Faculty of Military Sciences and Officer Training, Department of Information Technology

KEYWORDS

artificial intelligence, AI, healthcare

ABSTRACT

By now, artificial intelligence has become an almost indispensable factor, emerging in an increasing number of areas of our daily lives. Among various professional fields – such as economics, finance, research, and IT – the expansion of AI is perhaps most prominent in the healthcare sector. However, regarding its implementation in healthcare, it is crucial to convince not only patients but also healthcare professionals – thereby avoiding the fear of the unknown – that this new technology serves their best interests in every respect.

This article provides insight into the development and application of AI technologies across various healthcare specializations, both currently and in the near future, while also addressing their potential risks.