

Mesterséges intelligencia a cukorbetegség kezelésében: lehetőségek és kihívások

Sztanek Ferenc dr.¹

¹ Debreceni Egyetem Általános Orvostudományi Kar, Belgyógyászati Intézet

Kulcsszavak

- 1-es típusú cukorbetegség
- 2-es típusú cukorbetegség
- gépi tanulás
- mélytanulás
- mesterséges intelligencia

Összefoglalás

A mesterséges intelligencia (MI) és a gépi tanulás paradigmaváltást hoznak a medicinaiban, adatalapú, személyre szabott megoldásokat nyújthatnak a cukorbetegség, a társuló szív- és érrendszeri kockázat és a mikrovaskuláris szövődmények felismerésére és kezelésére. Az elmúlt években zajló MI-forradalom főbb technológiai a gépi tanulás és a mélytanulás, amelyek jelentős fejlődést értek el a különböző számítási erőforrások növekedésével és a számítógépek teljesítményének drámai javulásával. A gépi tanulás elveit már korábban is használták arra, hogy algoritmusokat fejlesszenek ki főleg az 1-es típusú cukorbetegség kezelésére vagy a diabéteszes retinopátia diagnosztikájára. A digitális terápiák már bizonyították hatékonyságukat az életmódi terápia terén a 2-es típusú cukorbetegség kezelésében is. Az MI lehetővé teszi a cukorbetegség tüneteinek, vércukorértékeinek és egyéb paramétereinek egyszerű és folyamatos távmonitorozását. Javulhat a cukorbetegség önkezelése, a közösségi média és az online közösségek növelhetik a páciensek részvételét a cukorbetegség ellátásában. A technikai fejlesztések segítségével optimalizálni lehet az erőforrások eloszlását és felhasználását az egészségügyi ellátás során. Az MI nagy mennyiségű adat felhasználásával és értékelésével magas szintű következtetéseket képes levonni, így mind a betegek, mind az egészségügyi szakemberek hasznát láthatják a klinikai döntéstámogatásnak. Ebben az áttekintő előadásban bemutatjuk a legfontosabb MI-alapú orvostechikákat és a cukorbetegséggel kapcsolatos jövőbeli lehetőségeket.

A szerző levelezési címe: Dr. Sztanek Ferenc

Debreceni Egyetem Általános Orvostudományi Kar
Belgyógyászati Intézet, Anyagcsere Betegségek Tanszék
4032 Debrecen, Nagyerdei krt. 98.
E-mail: sztanek@belklinika.com



Key words

- artificial intelligence
- deep learning
- machine learning
- type 1 diabetes
- type 2 diabetes

Artificial intelligence in diabetes management: opportunities and challenges

Artificial intelligence (AI) and machine learning are bringing a paradigm shift in medicine, they can provide data-based, personalized solutions for the recognition and treatment of diabetes, associated cardiovascular risk and microvascular complications. The main technologies of the AI revolution in recent years are machine learning and deep learning, which have made significant progress with the increase in various computing resources and the dramatic improvement in computer performance. The principles of machine learning have already been used to develop algorithms mainly for the treatment of type 1 diabetes or the diagnosis of diabetic retinopathy. Digital therapies have already proven their effectiveness in the field of lifestyle therapy in the treatment of type 2 diabetes. MI enables simple and continuous remote monitoring of diabetes patients' symptoms, blood sugar values and other parameters. Diabetes self-management can improve, and social media and online communities can increase patient participation in diabetes care. The distribution and use of resources during health care can be optimized with the help of technical developments. By using and evaluating large amounts of data, AI can draw high-level conclusions, so both patients and healthcare professionals can benefit from clinical decision support. In this overview presentation, we will present the most important AI-based medical technologies and future opportunities related to diabetes.

Az adatalapú mesterséges intelligencia (MI) által biztosított megoldások széles körben elterjedtek számos iparágban, azonban az egészségügyben lassabban valósulnak meg az informatikai változások. A cukorbetegség ellátása különösen alkalmas lehet az adatalapú megközelítésekre, mivel világos irányelvek és terápiás célértékek állnak rendelkezésre, jelentős a szövődmények szűrése és kezelése, továbbá a betegség magas előfordulása miatt költséghatékony megoldásokra van szükség.¹ Az adaptív MI támogathatja a diagnosztikai és személyre szabott kezelési folyamatokat, míg a digitális alkalmazások segíthetik a betegek önkezelését, beleértve a vércukorszint követését, az étkezési választások figyelemmel kísérését és a fizikai aktivitás monitorozását, amelyek hozzájárulhatnak a betegközpontú egészségügyi ellátás előmozdításához. Az MI-alapú megközelítések személyes és közvetlen betekintést nyújthatnak a cukorbetegség ellátásába, ami a betegek egészségtudatosabb viselkedését és a kezelés hatékonyságának javulását eredményezheti. Azonban az adatalapú döntéshozatal és az MI-technológiák

alkalmazása még nem terjedt el a mindennapi diabetológiai gyakorlatban, kivéve néhány, az inzulinpumpákra és a folyamatos glükózérzékelő szenzorokra kifejlesztett alkalmazást 1-es típusú cukorbetegségben.²

A cukorbetegség ellátása során jelentős lehetőségek rejlenek a különböző forrásokból származó nagy mennyiségű adat feldolgozásában. Az orvosi nyilvántartások demográfiai adatokat, orvosi kórelőzményeket, diagnózisokat, gyógyszeres kezeléseket és laboratóriumi eredményeket tartalmaznak, míg a cukorbetegség által rögzített adatok, például a glükózszint, vérnyomás, testsúly és fizikai aktivitás, szintén fontos információforrást jelentenek. További értékes adatok származhatnak a társadalmi és környezeti tényezőkből, valamint az időjárás és a gazdasági trendekből is. Habár a genomikai adatok még nem állnak széles körben rendelkezésre, várhatóan jelentős szerepet kapnak a jövő egészségügyi előrejelzéseiben és a precíziós medicinában.¹ Ugyanakkor a jelenleg rendelkezésre álló információk sem kerülnek teljes mértékben kihasználásra, mivel korlátozott az adatokat összegző és

értelmező gyakorlati technológiákhoz való hozzáférés. Az MI és a digitális egészségügy iránti érdeklődés azonban egyre növekszik, amit a finanszírozási ráfordítások és a kutatási források növekedése is jól jelez.²

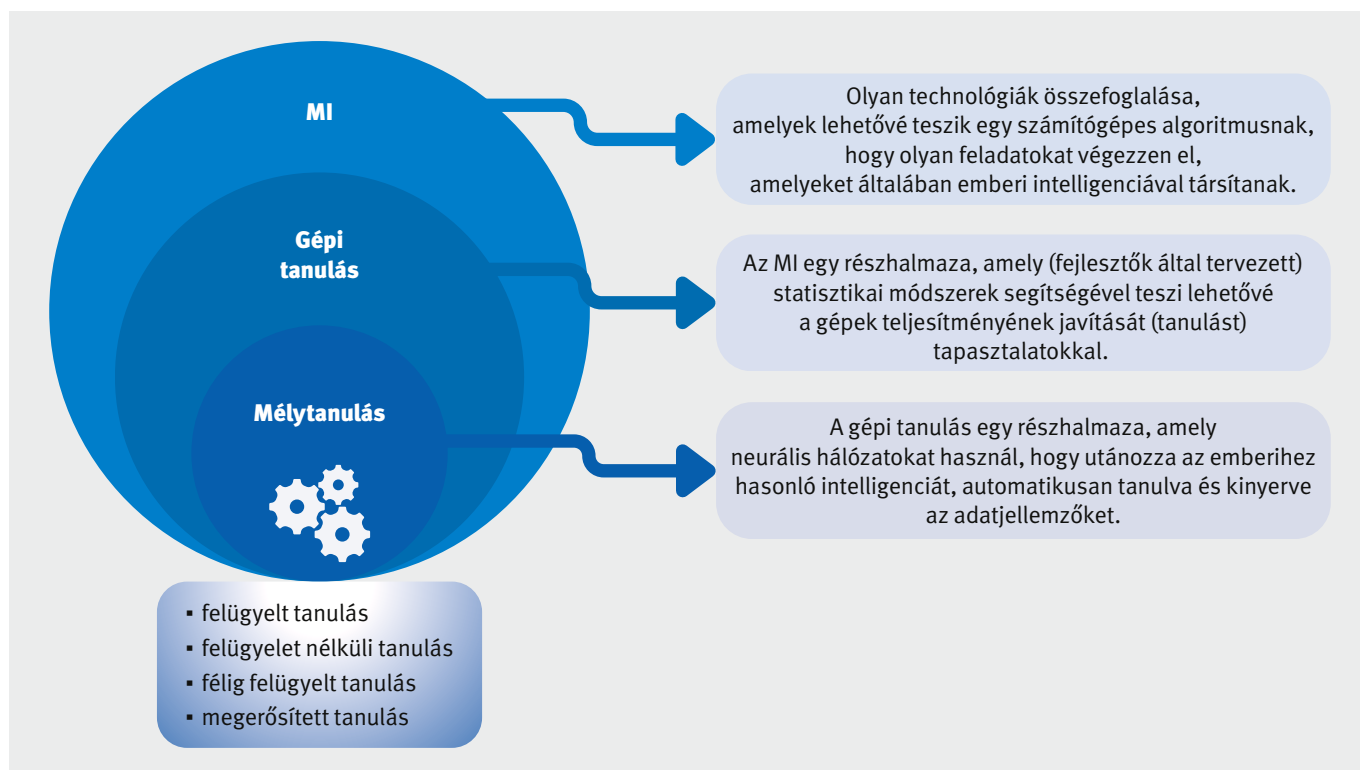
MI A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA?

Az MI olyan tudományos és technológiai terület, aminek célja olyan számítógépes rendszerek és algoritmusok kifejlesztése, amelyek képesek emberi intelligenciát igénylő feladatokat elvégezni. Ezek a feladatok magukban foglalhatják a tanulást, érvelést, problémamegoldást, beszéd- és képfelismerést, döntéshozatalt, valamint a természetes nyelv megértését és generálását.³ Az MI segíthet az egészségügyi diagnosztika és kezelés terén, elősegítve a korai betegségfelismerést és a pontosabb terápiás ajánlásokat.

Ezenkívül hozzájárulhat a betegségek prognózisának javításához és a gyógyszerfejlesztési folyamatok hatékonyságának növeléséhez. Az MI-alkalmazások idővel kiváltják a rutin jellegű, nem kreatív, ismétlődő feladatok elvégzését igénylő munkaköröket az egészségügyben is.⁴

A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA TÍPUSAI ÉS TECHNOLOGIÁJA

Az MI különböző típusait három fő kategóriába sorolhatjuk. A szűk vagy gyenge MI (Artificial Narrow Intelligence) bizonyos feladatokra, például képfelismerésre, beszédfelismerésre vagy adatbányászatra specializálódik, azonban nem rendelkezik általános intelligenciával és nem képes tanulni az adott szűk területen kívül. Az általános vagy erős MI (Artificial General Intelligence) már



1. ábra. A mesterséges intelligencia és alkotórészei

© Mackenzie et al., 2023, Diabetologia. doi:10.1007/s00125-021-06038-8

A mű a CC BY 4.0 (Nemzetközi Nevezd meg! 4.0) licenc szerint használható fel (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

az emberi intelligencia általánosabb jellemzőit próbálja utánozni, és képes lehet számos különböző, összetett feladat megoldására, tanulásra, érvelésre, bonyolultabb problémák megértésére és a változó környezethez való alkalmazkodásra is. Végül a mesterséges szuperintelligencia (Artificial Superintelligence) a legfejlettebb típus, amely az emberi intellektusnál jóval magasabb szinten működne, és képes lenne minden ismert feladatot gyorsabban és pontosabban megoldani, és akár saját intelligenciáját is fejleszthetné.^{2,3}

Az MI-technológiák széles skáláját vizsgálják az egészségügy különböző területein a feladatok megoldásában (1. ábra).¹ A gépi tanulás (machine learning) jelenleg az MI-technológia fő motorja, amely intelligens rendszerek létrehozását teszi lehetővé statisztikai módszerek alkalmazásával. A gépi tanulási algoritmusok sajátossága, hogy az adatok felhasználásával tanulnak anélkül, hogy arra kifejezetten programozva lennének. Ezek a rendszerek automatikusan képesek a rendelkezésre álló adatokból és tapasztalatból is valamilyen tudásanyagot létrehozni és mintázatokat rögzíteni anélkül, hogy kifejezetten utasításokat kapnának. Általában az MI-rendszerek fejlesztéséhez nagy mennyiségű információt és algoritmust használnak fel, hogy a gépi tanulás során megvizsgálhassák az adatok közötti kapcsolatokat és a rendszerek tanulhassanak belőlük. A gépi tanulási módszerek közé tartoznak a döntési fák, mesterséges neurális hálózatok, genetikai algoritmusok vagy támogató vektorgépek.³ A diabetológia területén évek óta folynak kutatások a mesterséges hasnyálmirigy-rendszerek fejlesztésére, amelyek szubkután inzulinadagoló eszközök és a folyamatos glükózmonitorozásból származó adatokat használják fel, valamint gépi tanulási módszereken alapuló algoritmusokat terveznek 1-es típusú cukorbetegségben szenvedő betegek kezelésére.⁵

A mélytanulás (deep learning) a gépi tanulás fejlettebb formája, amely komplex mesterséges neurális hálózatok alkalmazásán alapul. Ezek a neurális hálózatok több rétegben elhelyezkedő mesterséges neuronokból állnak, és hierarchikus módon dolgoznak. Az alsóbb szinteken egyszerűbb feladatokat végeznek el, például az élek vagy színek felismerését a számítógépes látás területén, vagy a természetes nyelvfeldolgozást. A felsőbb szinteken képesek egyre összetettebb, absztrakt jellemzőket

megkülönböztetni, például arcok vagy beszélt nyelv felismerése. A mélytanulási módszerek célja, hogy automatikusan megtanulják és kinyerjék az adatok rejtett jellemzőit és összefüggéseit anélkül, hogy előre meghatározott utasítások alapján lennének programozva. Ennek köszönhetően az alkalmazások rendkívül bonyolult feladatokat képesek elvégezni, mint például beszédfelismerés, képfelismerés vagy nyelvi fordítás, emberi szintű vagy azt meghaladó pontossággal és hatékonysággal. A mélytanulási módszerek közé tartoznak a konvolúciós neurális hálózatok, a rekurrens neurális hálózatok, a gépi fordítás algoritmusai és a mély többrétegű perceptronok.³ Összességében a mélytanulással alkalmazott többrétegű neurális hálózatok és nagy mennyiségű adatfelhasználás lehetővé teszi komplex problémák megoldását, így jelentős potenciált rejt az MI fejlesztésében és széles körű alkalmazásaiban. A különféle mélytanulási módszerek kiemelkedő eredményeket érhetnek el a cukorbetegség diagnosztikájában és kezelési ajánlásaiban, valamint a mikro- és makrovaszkuláris szövődmények felismerésében, túlszárnyalva a hagyományos gépi tanulási megközelítéseket. Ugyanakkor az adatok hiánya és a modellek értelmezhetőségének problémái jelenleg korlátozzák az alkalmazásukat.⁶ A mélytanulás gyors fejlődése és az elérhető adatok növekedése azonban lehetőséget kínál ezen kihívások megoldására, és széles körű klinikai alkalmazást tehet lehetővé.

A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA TANULÁSI MÓDSZEREI

Az MI alkomponensei különböző tanulási módszereket alkalmaznak, mint például a felügyelt, felügyelet nélküli, félig felügyelt és megerősített tanulás. A felügyelt tanulás során a rendszer előre címkézett adatokat használ, hogy a bemeneti adatok és a hozzájuk tartozó címkék alapján modelleket építsen fel, így a bemeneti adatok alapján képesek előre jelezni a kimeneti kategóriákat. Például, orvosi képfelvételen kiképzett MI-alapú rendszerek meghatározhatják, hogy egy új képen megjelenített eltérés kóros vagy nem kóros eredményű-e.⁷ Egy felügyelt tanuláson alapuló, hordozható eszközös MI-rendszert használtak fel cukorbetegség vércukorszintjének előrejelzésére. A rendszer tanítása során előre megjelölt adatokat használtak, amelyek

tartalmazták a páciensek vércukorszintjét különböző időpontokban, étkezési szokásaikat, fizikai aktivitásukat és gyógyszeres kezeléseiket. Az algoritmus ezek alapján képes előre jelezni a vércukorszint változásait, így segítve az optimális inzulin dózis meghatározását.⁸

A felügyelet nélküli tanulás lényege, hogy nincs szükség címkézett adatokra, mivel az algoritmus maga fedez fel mintázatokat és struktúrákat a bemeneti adatok között, és ezeket kategóriákba sorolja. Csak nyers adatok szükségesek bemenetként, míg a kimenet a rendszer által kategorizált adatok, csoportosítások vagy klaszterek. Például egy felügyelet nélküli tanuláson alapuló algoritmus használható cukorbeteg adatok klaszterezésére. A rendszer képes elemző és csoportosító munkát végezni a páciensek adatain anélkül, hogy előre definiálnánk a betegségeket vagy specifikus jellemzőket.⁷ Egy ilyen megközelítést alkalmaztak egy korábbi tanulmányban is, ahol az algoritmus a páciensek vércukorszintjeit és más releváns adatokat használt fel a különböző diabétesz-al típusok azonosítására és az azokhoz kapcsolódó egyedi mintázatok feltérképezésére, ezzel elősegítve a személyre szabott kezelési stratégiák kidolgozását.⁹

A félig felügyelt tanulás lényege, hogy kombinálja a felügyelt és a felügyelet nélküli tanulás módszereit kis mennyiségű címkézett adatot és nagy mennyiségű nem címkézett adatot felhasználva a tanuláshoz. A bemenet kis mennyiségű címkézett adatot és nagy mennyiségű nem címkézett adatot tartalmaz, míg a kimenet az algoritmus jobb teljesítménye, mivel kihasználja a nem címkézett adatok által nyújtott információkat is.⁷ A cukorbetegség kezelésében alkalmazott félig felügyelt tanuláson alapuló rendszerek már igazolták hatékonyságukat. Ezek az MI-alapú rendszerek képesek előre jelezni a vércukorszintet akkor is, ha a címkézett adatok (például a vércukormérések és kapcsolódó események) korlátozottak, viszont rendelkezésre áll rengeteg nem címkézett adat, mint például életmódbeli információk, étkezési szokások és fizikai aktivitás.¹⁰ Az algoritmus ezeket a különböző típusú adatokat egyaránt felhasználja annak érdekében, hogy pontosabb előrejelzéseket és kezelési javaslatokat adjon.

A megerősített tanulás lényege, hogy a rendszer autonóm módon működő algoritmus, amely a környezetével való interakciók során tanul, bizonyos cselekvésekért való jutalmazás által fejlesztve az optimális döntéshozatalt.

A bemenet kezdetben nem előre definiált adatbázis, hanem a rendszer saját döntései alapján kapott visszajelzések. A kimenet pedig az, hogy a rendszer idővel megtanul optimális döntéseket hozni a cél elérése érdekében. Egy megerősített tanulás alapú rendszer használata a robotsebészetben, ahol a robot folyamatosan tanul a sebészeti beavatkozások során kapott visszajelzésekből, hogy egyre pontosabb és hatékonyabb műveleteket hajtson végre.⁷ Egy megerősített tanulás alapú rendszert próbáltak ki 1-es típusú cukorbeteg inzulinszádosztására optimalizálására. Az algoritmus a páciensek vércukorszintjének folyamatos monitorozásával, valamint az inzulin adagolásával kapcsolatos visszajelzések alapján tanul. A cél az, hogy a rendszer idővel megtanulja, hogyan adagolja optimálisan az inzulint a vércukorszint megfelelő szinten tartása érdekében, minimalizálva a hipo- és hiperglikémiás epizódokat.¹¹

Összefoglalva, a gépi tanulási és mélytanulási módszerek lehetővé teszik MI-alkalmazások fejlesztését, amelyek elősegítik a korábban fel nem ismert mintázatok felfedezését az adatokban anélkül, hogy szükség lenne a döntési szabályok meghatározására minden konkrét feladathoz, vagy figyelembe kellene venni a bemeneti jellemzők közötti bonyolult interakciókat.

KLINIKAI DÖNTÉSTÁMOGATÁS A CUKORBETEGEK ELLÁTÁSA SORÁN

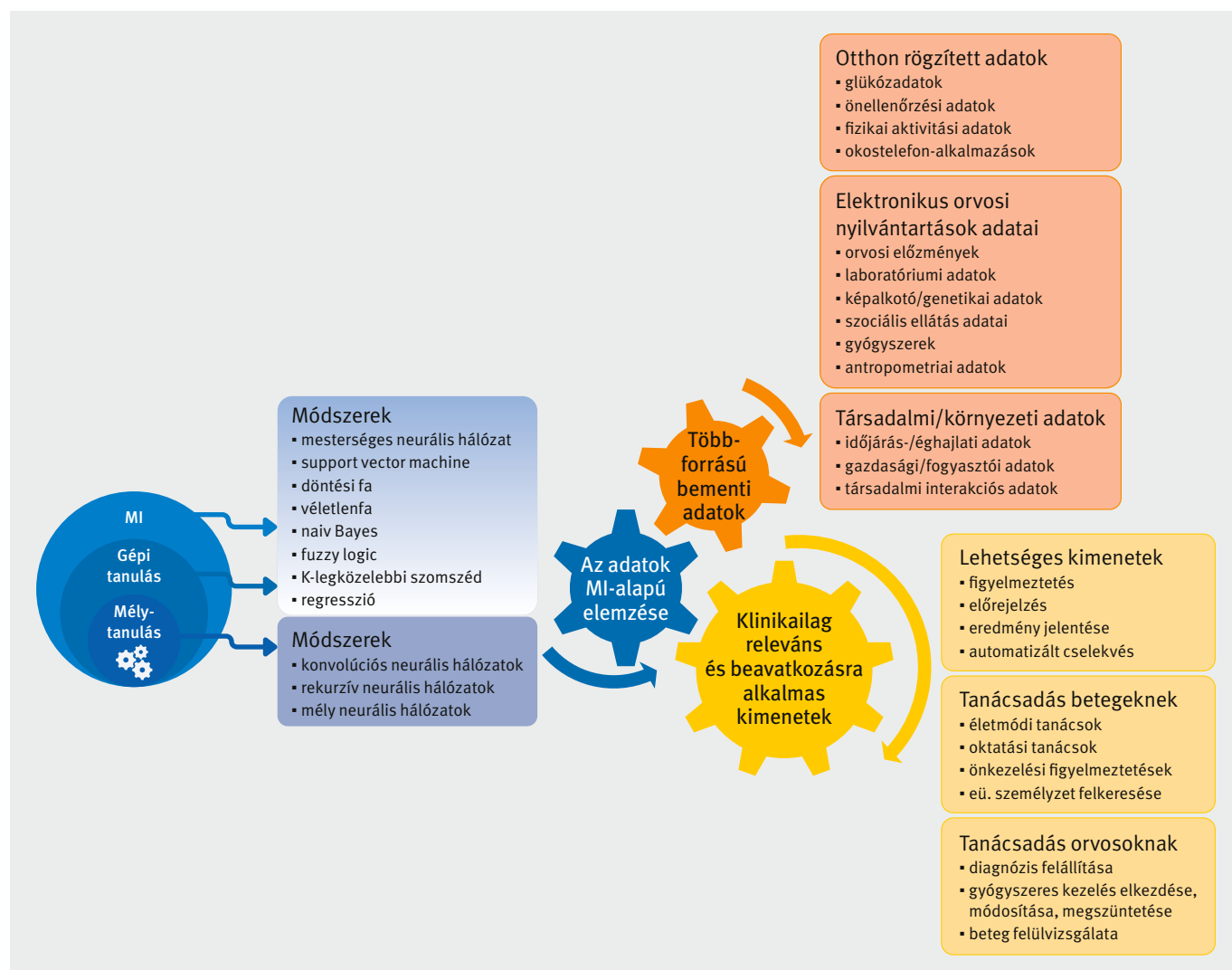
A klinikai döntéstámogatásban az MI alkalmazása jelentős szerepet fog játszani a jövőben, mivel segítheti a nagy adathalmazok elemzését, korszerű információkhoz juttathatja a beteget és a kezelőorvost, javítva az egészségügyi ellátás minőségét és a klinikai eredményeket. A klinikai döntéshozatalt segítő eszközök különböző forrásokból származó adatokat (pl. vércukorszint, elektronikus orvosi nyilvántartások, társadalmi és környezeti adatok stb.) gyűjtenek és elemeznek, majd figyelmeztetéseket, előrejelzéseket és automatikus cselekvéseket generálhatnak, amelyek segíthetik a betegek életmódbeli tanácsadását és oktatását, valamint támogatják az orvosi diagnózisalkotást és a kezelés beállítását.¹² Ezek a rendszerek különösen hasznosak lehetnek a diabetológia területén is, ahol a kezelőorvosoknak komplex irányelvek és multidiszciplináris kezelési célok alapján kell gyógyszeres kezelést indítaniuk

vagy módosítaniuk (2. ábra).¹ Lehetőség nyílna a betegek nagy számának kezelésére, az előjegyzési listák rövidítésére, valamint a bonyolult monitorizálási követelmények egyszerűsítésére is. A bizonyítékalapú gyógyítás fejlődésével az MI támogatta döntéshozatal népegészségügyi szinten javíthatja a cukorbetegség és egyéb anyagcsere-betegségek prevenciójának ellátásában, a korlátozott szakorvosi hozzáférés és az eltérő népességszintű edukáció kezelésében.^{1,13} Bár elméleti szinten jelentős előrelépések történtek az MI segítségével támogatott klinikai döntéshozatal fejlesztésére, a szoftveres eszközök fejlesztése még nem tart

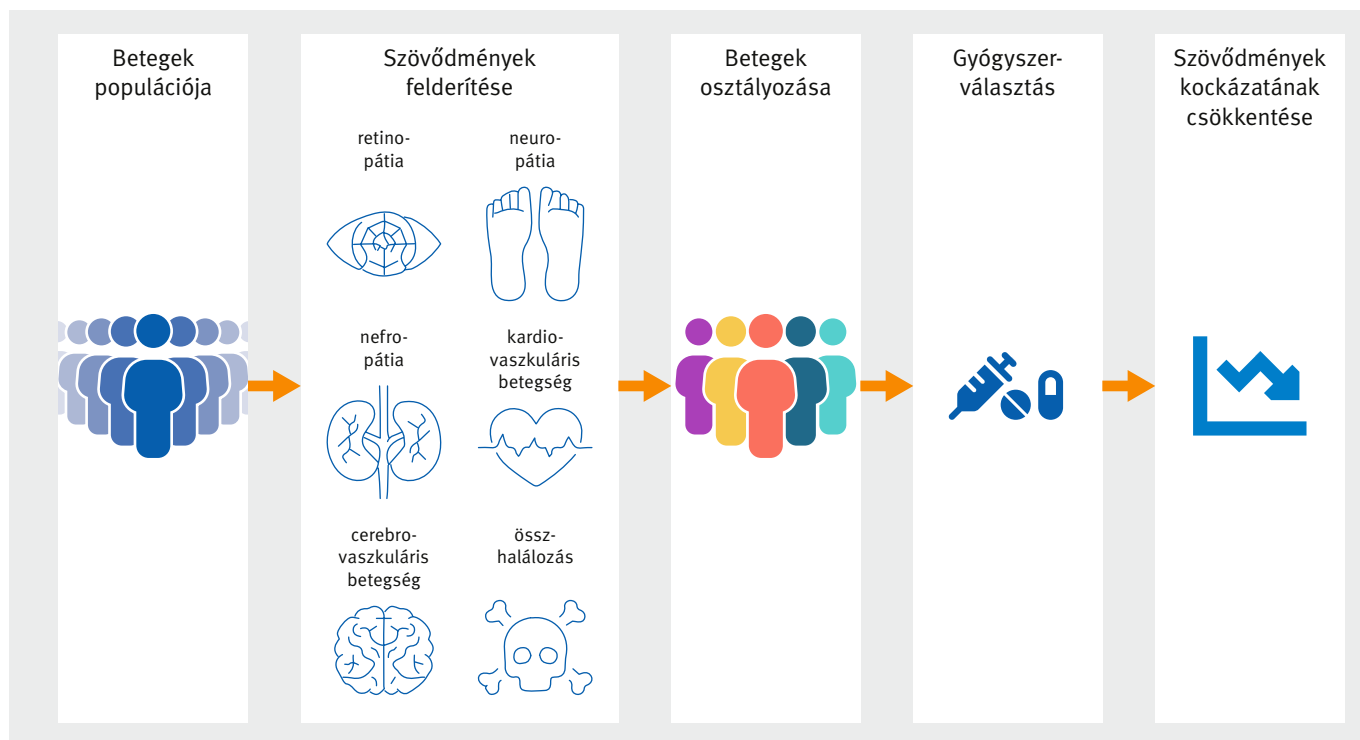
lépést a meglévő klinikai informatikai rendszerekbe való integrálással, ami szükséges az ilyen jellegű egészségügyi ellátás további javulásához és a klinikai előnyök kihasználásához.

A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALKALMAZÁSA A DIABETOLÓGIA TERÜLETÉN

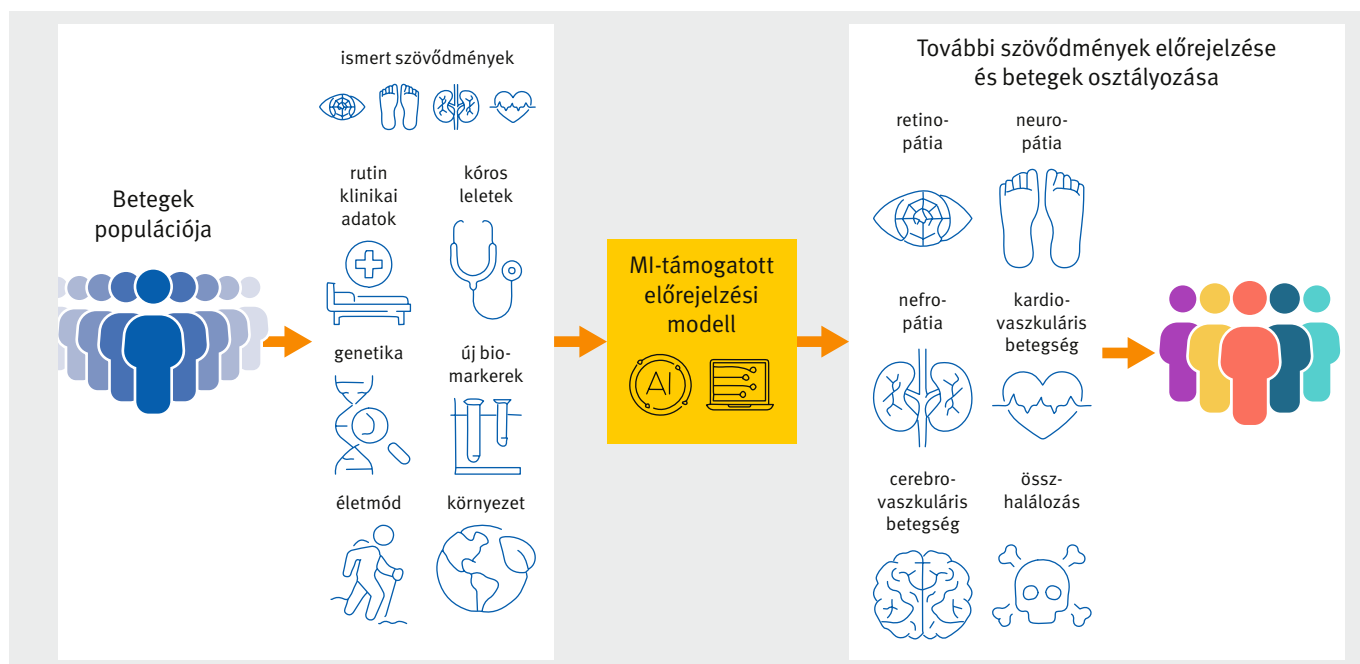
A klinikai döntéshozatal segítésére az MI számos módon alkalmas, ezek közül legfontosabb a precíziós



2. ábra. Klinikai döntéstámogatás mechanizmusa a cukorbetegség ellátása során (Mackenzie et al., 2023 alapján¹)



3. ábra. Hagyományos precíziós prognosztika cukorbetegségben



4. ábra. Mesterséges intelligencia által támogatott precíziós prognosztika cukorbetegségben

diagnosztika és prognosztika megvalósulása lehet. A hagyományos precíziós diabetológiai ellátásban végső soron a szakorvos értékeli a betegek klinikai és laboratóriumi adatait, a cukorbetegség szövődményeit és az egyéb krónikus betegségeket (3. ábra).¹ Ezek alapján történik meg a betegek osztályozása, majd a gyógyszerválasztás és a terápiás célok elérésére való törekvés. Az MI által támogatott precíziós prognosztikai modellben a vizsgált betegpopuláció számos klinikai és laboratóriumi adatán, ismert mikro- és makrovaszkuláris szövődményein és korábbi betegségein kívül az életmódi tényezők, genetikai adatok, esetleges új biomarkerek, környezeti és társadalmi tényezők is rendelkezésre állhatnak (4. ábra).¹ Ezek felhasználásával a klinikai döntéshozatalt segítő eszközök az MI által támogatott előrejelzést alkothatnak, majd az esetleges jövőbeli szövődmények és a személyre szabott gyógyszeres terápia szempontjából osztályozhatják a cukorbetegeket.

Az MI-vel támogatott eszközök különböző szinteken hasznosíthatóak a diabetológiában. Betegek szintjén az MI-alapú alkalmazások segíthetnek a vércukorszint nyomon követésében, személyre szabott oktatást és támogatást nyújthatnak, valamint fejlett eszközökkel, mint a folyamatos glükózmonitorozó rendszerek és a közel zárt rendszerű inzulinpumpák, javíthatják a vércukorszint szabályozását. A kezelőorvosok számára az MI támogatja a diagnosztikát és személyre szabott terápiákat kínálhat, automatizált retinaszűrést biztosíthat a diabeteses retinopátia felismeréséhez, valamint előre jelezhet egyéb mikrovaszkuláris és kardiovaszkuláris szövődményeket. Népegészségügyi szinten az MI segítheti a kockázatértékelést, azonosítva a magas kockázatú csoportokat és a cukorbetegség korai jeleit, így elősegítve a megelőzést és a korai kezelés indítását.

Betegszintű kezelés: oktatás és támogatás

Az MI által nyújtott oktatás és önkezelés támogatása számos előnnyel járhat a cukorbetegyek ellátása során. A hagyományos, személyes találkozók hiányosságait rugalmas digitális eszközök képesek lehetnek kiküszöbölni a széles körű oktatás és az egyedi tanácsadás biztosításával. Az MI-alapú online eszközök adatvizualizációkat hozhatnak létre az egészségügyi nyilvántartások és otthoni

feljegyzések alapján, ami segítheti a cukorbetegség kezelésének megértését és javíthatja a betegek együttműködését.¹⁴ A glükózmonitorozással kapcsolatos értesítések és az életmódbeli beállításokra vonatkozó ajánlások különösen hatékonyak lehetnek a fiatalabb, digitálisan művelt és motivált személyeknél, valamint különösen a gesztációs diabetesz kezelésében, mivel segíthetik a glikémiás kontroll javítását és csökkentik a terhességi szövődmények kockázatát.¹⁵ Az aktivitási és táplálkozási adatok integrálását lehetővé tevő, MI-támogatott alkalmazások összetett és automatizált tanácsokat biztosíthatnak és segíthetnek az inzulinadagolás számításánál 1-es és 2-es típusú cukorbetegyek esetén is. Az MI a cukorbetegség szövődményeinek előrejelzésében is segíthet, és olyan eszközök fejlesztését teszi lehetővé, amelyek közvetlenül, személyre szabottan mutatják be a jövőbeli szövődmények kockázatát a cukorbetegyek számára. Ezek az előnyök hozzájárulhatnak a betegek individualizált kezeléséhez és motiválásához, valamint az életmódbeli és viselkedési változtatások támogatásán túl a terápiás célértékek elérését is előremozdíthatják a cukorbetegség kezelésében.¹⁶

Betegszintű kezelés: folyamatos glükózmonitorozás és az inzulinkezelés optimalizálása

Az MI-technológiák a folyamatos glükózmonitorozó és a különböző bonyolultságú és autonómiájú inzulinadagoló rendszerek esetén elérhetővé váltak a cukorbetegyek kezelésében. A bőrön viselhető glükózszenzorok megjelenése lehetővé tette az intermittáló vagy folyamatosan működő vércukor-monitorozást, amely valós idejű adatokat és trendeket biztosít, és az inzulinadagoló rendszerekkel is összekapcsolható, megteremtve az autonóm inzulinadagolás lehetőségét.¹⁶ Az MI-támogatott rendszerek széles skálája áll rendelkezésre az inzulinadagolás területén, kezdve az inzulinbólus dózisszámításától az autonóm inzulinadagoló zárt hurokrendszerekig. A folyamatos glükózmonitorozás és a zárt huroktechnológiák kedvezően befolyásolják a céltartományban eltöltött időt és a hipoglikémiás események csökkentését 1-es típusú cukorbetegségben.¹⁷ Az MI-alapú klinikai döntéstámogató rendszerek automatizált inzulintitrációs ajánlásokat adhatnak a 2-es típusú cukorbetegyek esetén, amelyek orvosi konzultációval együtt

hatékonyan működhetnek. A gépi tanulási technikák fejlesztése ígéretes kutatási területnek számít a jövőbeni cukorbetegséget kezelő eszközök fejlesztése és a hipoglikémia előrejelzése szempontjából.¹⁸

Képi elemzés a diagnosztikában: a diabéteszes retinopátia szűrése és egyéb alkalmazások

Az MI alkalmazása a diabéteszes retinopátia szűrésében és követésében csökkentheti az emberi erőforrás igényét, lehetővé téve hatékonyabb és gazdaságosabb szűrőprogramok szervezését. Több autonóm MI-alapú rendszer már kifejlesztésre került vagy fejlesztés alatt áll a diabéteszes retinopátia vizsgálatára, néhányat már engedélyeztek és beépítettek a kereskedelmi forgalomban lévő vizsgálóeszközökbe.¹⁹ Önkéntes, alacsony kockázatú cukorbeteg tesztalanyokkal végzett MI-támogatott és automatizált szemészeti szűrővizsgálatok már hosszabb távon is elfogadottan alkalmazhatóak az Egyesült Államokban és az Egyesült Királyságban, a jelentős biztonsági és hatékonysági előnyökre tekintettel.²⁰ Emellett a retinális képek jellemzői, különösen genetikai adatokkal kombinálva és a közös patofiziológiai mechanizmusokra támaszkodva, hasznos biomarkerekké válhatnak a teljes kardiovaszkuláris kockázat és más szervekkel kapcsolatos szövődmények előrejelzésében 1-es és 2-es típusú cukorbeteg esetén.²¹

Az egyéb diabéteszes szövődmények vizsgálata során számos képelemzésre épülő alkalmazás létezik, mint például a neuropátia talaján kialakuló diabéteszes láb sebeit és fekélyeit vizsgáló MI-alapú rendszerek. A sebek progressziójának követése általában kihívást jelent a klinikusok számára, különösen akkor, ha csak szöveges leírások állnak rendelkezésre. Az adatalapú rendszerek lehetővé teszik a lábmonitorozás minőségének javítását, mivel egyszerűen kezelik és rögzítik a standardizált formátumban készített otthoni vagy orvosi fotódokumentumokat. Az ilyen jellegű adatok összegzése után az MI-támogatott eszközök képesek lehetnek a diabéteszes láb szűrésére vagy az aktív lábsebek nyomon követésére a felületi jellemzők (pl. terület, szín) figyelembevételével, és releváns riasztásokat biztosíthatnak a beteg és az orvosa számára klinikai romlás esetén.²² A mélytanulási megközelítések szokatlan módon is alkalmazhatóak lehetnek az elektronikus egészségügyi nyilvántartások képeinek

adatgyűjtésével egyéb célokra is, mint például a 2-es típusú cukorbetegség diagnózisának előrejelzésére rutin céllal készített mellkasröntgen-képek alapján. Egy friss tanulmányban bemutatott előre jelző modell képes volt a mellkasröntgenek alapján az ektópiás zsírszövet lerakódásának azonosítására a mediastinumban, és ezek alapján a 2-es típusú cukorbetegség megbízható előrejelzésére, ami bepillantást nyújthat egy összetettebb prediktív szűrési potenciálra is biológiai rendszerekben.²³

Klinikai döntéstámogatás: szövődmények előrejelzése és diagnosztikai támogatás

Az egészségügyi adatok hatékony felhasználása során kiemelkedő jelentőségű lehet az egészségi állapot jövőbeni változásának előrejelzése. A cukorbetegség esetében ez legtöbbször a rövid és hosszú távú szövődmények előrejelzésére irányul, mint például a kórházi kezelést igénylő, súlyosan alacsony vagy magas vércukorértékek (ideértve a diabéteszes ketoacidózist is), valamint a szív- és érrendszeri betegségek, a szemészeti, neuropátiás és vese-szövődmények kockázata.²⁴ Korábban a nagy kardiovaszkuláris kockázatokat becslő vizsgálatok, mint a Framingham-tanulmányok és az Egyesült Királyság Prospektív Diabétesz Tanulmány (UKPDS) eredményei voltak alkalmazhatóak a cukorbetegség szövődményeinek előrejelzésére. Mostanra számos egyéb kockázatbecslő modellt és adatok feldolgozására alkalmas MI-alapú eszköz fejlesztettek ki, amelyek konkrét szövődményekre összpontosítanak, mint például a diabéteszes retinopátia vagy a hipoglikémia előrejelzése.^{25,26} A lábszövődmények, mint például a diabéteszes fekélyek és amputációk megelőzése szintén fontos terület lehet, korai beavatkozásokhoz kapcsolódva jelentős egészségügyi és szociális költségmegtakarítást eredményezhet. A diabéteszes láb egyszerű és automatizált kockázati kalkulátorai révén személyre szabott szűrést, utánkövetést és önkezelési tanácsokat lehet nyújtani a cukorbetegnek.²⁷

A kezelőorvos számára nyújtott döntéstámogatás területén a cukorbetegség esetében számos lehetőség nyílt a diagnosztikában és a cukorbetegség típusainak megállapításában, ideértve az 1-es és 2-es típusú cukorbetegség mellett a ritka, de jól meghatározott monogenetikus altípusokat is.^{13,28} A 2-es típusú cukorbetegség

heterogenitására tekintettel további csoportok alkotása fenotípusos és poligén klaszterezés alapján segíthet a cukorbetegség prognózisa és a preferált kezelés meghatározásában is.²⁹

A modern vércukorszint-csökkentő gyógyszerek számának növekedésével a terápiaválasztás is egyre nehezebbé válhat, különösen a nem diabetológiával foglalkozó orvosok számára. A szénhidrátháztartásra kifejtett előnyök mellett a modern készítmények hosszú távú kardiovaszkuláris előnyeinek figyelembevétele is egyre fontosabbá válik, amit a magyarországi és nemzetközi irányelvek is tükröznek.^{30,31} A személyre szabott terápiaválasztás segíthet a terápiás célok elérésében, a gyógyszerválasztás racionalizálásában és a mellékhatások minimalizálásában.¹²

Az elektronikus egészségügyi nyilvántartási adatok is segíthetnek a betegek gyógyszerre adott válaszában előrejelzésében. A farmakogenomika egyre jelentősebb kutatási terület, és a genetikai változatosság meghatározása hozzájárulhat az egyének közötti terápiás különbségek és az adott gyógyszerre adott klinikai válasz előrejelzéséhez. Az elérhető egészségügyi adatok mennyiségének növelésével tovább javítható az MI-eszközök pontossága és érzékenysége, ezáltal a klinikai döntéstámogatási rendszerek multimodális bemeneti és kimeneti lehetőségekkel is felállíthatók.³²

I A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA KORLÁTAI

Az MI alkalmazásának kihívásai és korlátai az egészségügyi ellátás területén több szempontból is megnyilvánulnak. Habár az MI és a gépi tanuláson alapuló metódusok képesek támogatást nyújtani az orvosi döntéshozatalban és a terápiás válasz előrejelzésében, nem helyettesítik teljes mértékben az orvosi gondolkodást és klinikai tapasztalatot. Az MI használata sokszor az átlagos betegek

jellemzőinek figyelembevételére hajlamosít, azonban a szélsőséges eseteket elhanyagolhatja.³³ Az adatvédelem során felmerülő kihívások és etikai aggodalmak mellett a gazdasági és társadalmi egyenlőtlenségek, valamint a digitális műveltség hiánya is további problémákat vehet fel. A nagyfokú automatizáció lehetővé teszi az MI számára a döntéshozatal emberi beavatkozás nélkül, ez hatékonyabb adatfeldolgozást eredményezhet, ugyanakkor megnehezíti az algoritmusok magyarázatát. Felmerül a felelősség kérdése is az MI által támogatott döntéshozatal során. Emellett nem minden beteg és kezelőorvos nyitott az új technológiák alkalmazására, és az intézmények közötti szabványosítás és a jogi szabályozás hiányosságai további kihívást jelenthetnek.³⁴

I KÖVETKEZTETÉSEK

Az MI alkalmazása a diabetológiában számos területen forradalmasíthatja a cukorbetegség kezelését és megelőzését. Az MI segítséget nyújt a betegek önkezelésében, személyes és online orvosi konzultációk során a terápiás terv felállításában és a gyógyszeres kezelés módosításában, valamint az egészségügyi adatok gyűjtésében és kutatásában is hasznos lehet. Az előre jelző modellek fejlesztése révén az MI segíthet a cukorbetegség kockázatának és szövődményeinek becslésében, lehetővé téve a személyre szabott gondozást. A betegek képesek lehetnek betegségük önálló kezelésére, miközben az egészségügyi személyzet időben és célzottan beavatkozhat az adott technológiai platformokon keresztül. Ezek a fejlesztések időt és költséget takaríthatnak meg az egészségügyi ellátó részére, hiszen az adatok távolról gyűjthetők, és a virtuális kezelés időszaki helyettesítheti a klinikai látogatásokat. Az MI már most jelentős változást hozott a cukorbetegség ellátásában, és további fejlődés várható a jövőben.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Mackenzie SC, Sainsbury CAR, Wake DJ: Diabetes and artificial intelligence beyond the closed loop: a review of the landscape, promise and challenges. *Diabetologia* 2024; 67(2): 223-235. doi:10.1007/s00125-023-06038-8
2. Guan Z, Li H, Liu R, et al.: Artificial intelligence in diabetes management: Advancements, opportunities, and challenges. *Cell Rep Med* 2023; 4(10): 101213. doi:10.1016/j.xcrm.2023.101213
3. Afsaneh E, Sharifdini A, Ghazzaghi H: Recent applications of machine learning and deep learning models in the prediction, diagnosis, and management of diabetes: a comprehensive review. *Diabetol Metab Syndr* 2022; 14(1): 196. doi:10.1186/s13098-022-00969-9

4. Nomura A, Noguchi M, Kometani M: Artificial intelligence in current diabetes management and prediction. *Curr Diab Rep* 2021; 21(12): 61. doi:10.1007/s11892-021-01423-2
5. Rigla M, García-Sáez G, Pons B: Artificial intelligence methodologies and their application to diabetes. *J Diabetes Sci Technol* 2018; 12(2): 303-310. doi:10.1177/1932296817710475
6. Zhu T, Li K, Herrero P: Deep learning for diabetes: A systematic review. *IEEE J Biomed Health Inform* 2021; 25(7): 2744-2757. doi:10.1109/JBHI.2020.3040225
7. Oikonomou EK, Khera R: Machine learning in precision diabetes care and cardiovascular risk prediction. *Cardiovasc Diabetol* 2023; 22(1): 259. doi:10.1186/s12933-023-01985-3
8. Makroum MA, Adda M, Bouzouane A: Machine learning and smart devices for diabetes management: Systematic review. *Sensors* 2022; 22(5): 1843. doi:10.3390/s22051843
9. Woldaregay AZ, Launonen IK, Albers D, et al.: A novel approach for continuous health status monitoring and automatic detection of infection incidences in people with type 1 diabetes using machine learning algorithms (Part 2): A personalized digital infectious disease detection mechanism. *J Med Internet Res* 2020; 22(8): e18912. doi:10.2196/18912
10. Eghbali-Zarch M, Masoud S: Application of machine learning in affordable and accessible insulin management for type 1 and 2 diabetes: A comprehensive review. *Artif Intell Med* 2024; 151: 102868. doi:10.1016/j.artmed.2024.102868
11. Ahmad S, Beneyto A, Contreras I: Bolus Insulin calculation without meal information. A reinforcement learning approach. *Artif Intell Med* 2022; 134: 102436. doi:10.1016/j.artmed.2022.102436
12. Tarumi S, Takeuchi W, Chalkidis G, et al.: Leveraging artificial intelligence to improve chronic disease care: Methods and application to pharmacotherapy decision support for type-2 diabetes mellitus. *Methods Inf Med* 2021; 60: e32-e43. doi:10.1055/s-0041-1728757
13. Rabie O, Alghazzawi D, Asghar J, et al.: A decision support system for diagnosing diabetes using deep neural network. *Front Public Health* 2022; 10: 861062. doi:10.3389/fpubh.2022.861062
14. Cunningham SG, Stoddart A, Wild SH, et al.: Cost-utility of an online education platform and diabetes personal health record: Analysis over ten years. *J Diabetes Sci Technol* 2023; 17(3): 715-726. doi:10.1177/19322968211069172
15. Li J, Huang J, Zheng L, et al.: Application of artificial intelligence in diabetes education and management: Present status and promising prospect. *Front Public Health* 2020; 8: 173. doi:10.3389/fpubh.2020.00173
16. Bergenstal RM, Johnson M, Passi R, et al.: Automated insulin dosing guidance to optimise insulin management in patients with type 2 diabetes: a multicentre, randomised controlled trial. *Lancet* 2019; 393(10176): 1138-1148. doi:10.1016/S0140-6736(19)30368-X
17. Boughton CK, Hovorka R: New closed-loop insulin systems. *Diabetologia* 2021; 64(5): 1007-1015. doi:10.1007/s00125-021-05391-w
18. Mujahid O, Contreras J, Vehi J: Machine learning techniques for hypoglycemia prediction: Trends and challenges. *Sensors* 2021; 21(2): 546. doi:10.3390/s21020546
19. Grzybowski A, Brona P, Lim G, et al.: Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: a review. *Eye* 2020; 34(3): 451-460. doi:10.1038/s41433-019-0566-0
20. Ipp E, Liljenquist D, Bode B, et al.: Pivotal evaluation of an artificial intelligence system for autonomous detection of referable and vision-threatening diabetic retinopathy. *JAMA Netw Open* 2021; 4(11): e2134254. doi:10.1001/jamanetworkopen.2021.34254
21. Mordi IR, Trucco E, Syed MG, et al.: Prediction of major adverse cardiovascular events from retinal, clinical, and genomic data in individuals with type 2 diabetes: A population cohort study. *Diabetes Care* 2022; 45(3): 710-716. doi:10.2337/dc21-1124
22. Anisuzzaman DM, Wang C, Rostami B, et al.: Image-based artificial intelligence in wound assessment: A systematic review. *Adv Wound Care* 2022; 11(12): 687-709. doi:10.1089/wound.2021.0091
23. Pyrros A, Borstelmann SM, Mantravadi R, et al.: Opportunistic detection of type 2 diabetes using deep learning from frontal chest radiographs. *Nat Commun* 2023; 14(1): 4039. doi:10.1038/s41467-023-39631-x
24. Schiborn C, Schulze MB: Precision prognostics for the development of complications in diabetes. *Diabetologia* 2022; 65(11): 1867-1882. doi:10.1007/s00125-022-05731-4
25. Ochs A, McGurnaghan S, Black MW, et al.: Use of personalised risk-based screening schedules to optimise workload and sojourn time in screening programmes for diabetic retinopathy: A retrospective cohort study. *PLoS Med* 2019; 16(10): e1002945. doi:10.1371/journal.pmed.1002945
26. Felizardo V, Garcia NM, Pombo N, et al: Data-based algorithms and models using diabetics real data for blood glucose and hypoglycaemia prediction – A systematic literature review. *Artif Intell Med* 2021; 118: 102120. doi:10.1016/j.artmed.2021.102120
27. Leese GP, Stang D, Pearson DW: A national approach to diabetes foot risk stratification and foot care. *Scott Med J* 2011; 56(3): 151-155. doi:10.1258/smj.2011.011113
28. da Silva Santos T, Fonseca L, Santos Monteiro S, et al.: MODY probability calculator utility in individuals' selection for genetic testing: Its accuracy and performance. *Endocrinol Diabetes Metab* 2022; 5(5): e00332. doi:10.1002/edm2.332
29. Slieker RC, Donnelly LA, Fitipaldi H, et al.: Replication and cross-validation of type 2 diabetes subtypes based on clinical variables: an IMI-RHAPSODY study. *Diabetologia* 2021; 64(9): 1982-1989. doi:10.1007/s00125-021-05490-8
30. Jermendy G, Gaál Zs, Gerő L, et al.: A diabetes mellitus kórismézéséről, a cukorbetegség antihyperglykaemiás kezeléséről és gondozásáról felnőttkorban. *Egészségügyi Közlöny* 2023; 73(13): 1137-1246.
31. Davies MJ, Aroda VR, Collins BS, et al.: Management of hyperglycaemia in type 2 diabetes, 2022. A consensus report by the American Diabetes Association (ADA) and the European Association for the Study of Diabetes (EASD). *Diabetologia* 2022; 65(12): 1925-1966. doi:10.1007/s00125-022-05787-2
32. Mannino GC, Andreozzi F, Sesti G: Pharmacogenetics of type 2 diabetes mellitus, the route toward tailored medicine. *Diabetes Metab Res Rev* 2019; 35(3): e3109. doi:10.1002/dmrr.3109
33. Nano J, Carinci F, Okunade O, et al.: A standard set of person-centred outcomes for diabetes mellitus: results of an international and unified approach. *Diabet Med* 2020; 37(12): 2009-2018. doi:10.1111/dme.14286
34. Celi LA, Cellini J, Charpignon ML, et al.: Sources of bias in artificial intelligence that perpetuate healthcare disparities-A global review. *PLOS Digit Health* 2022; 1(3): e0000022. doi:10.1371/journal.pdig.0000022