

**A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA ALKALMAZÁSÁNAK RELEVANCIÁI
AUTIZMUS SPEKTRUM ZAVAR DIAGNOSZTIKÁJÁBAN ÉS ELLÁTÁSÁBAN**

Author(s) / Szerző(k):

Trixler Bettina
Pécsi Tudományegyetem
(Magyarország)

Pusztafalvi Henriette
Pécsi Tudományegyetem
(Magyarország)

Első szerző e-mail címe:
trixler.bettina@gmail.com

Cite: Trixler Bettina és Pusztafalvi Henriette (2025): A mesterséges
Idézés: intelligencia alkalmazásának relevanciái autizmus spektrum zavar
diagnosztikájában és ellátásában. *Mesterséges Intelligencia –
interdiszciplináris folyóirat*, VII. évf. 2025/1. szám. 33-55.
Doi: <https://www.doi.org/10.35406/MI.2025.1.33>



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-
NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

EP / EE: Ethics Permission / Etikai engedély: KFS/2025/MI0003

Reviewers: Public Reviewers / Nyilvános Lektorok:
Lektorok: 1. Barcsi Tamás (Dr. habil.), Pécsi Tudományegyetem
2. Diósi Szabolcs (Ph.D.), Pécsi Tudományegyetem

Anonymous reviewers / Anonim lektorok:
3. Anonymous reviewer (Ph.D.) / Anonim lektor (Ph.D.)
4. Anonymous reviewer (Ph.D.) / Anonim lektor (Ph.D.)

Absztrakt

Az autizmus spektrum zavar komplex és heterogén jellege komoly kihívásokat támaszt mind a diagnosztikai, mind az oktatási folyamatokban. A mesterséges intelligencia és a robotika fejlődése új, innovatív eszközöket kínál a személyre szabott, adaptív beavatkozások megvalósítására. Jelen dolgozat célja átfogó áttekintést nyújtani a mesterséges intelligencia alkalmazásának szerepéről, valamint a készségfejlesztésben betöltött szerepéről az autista gyermekek és fiatalok támogatása során.

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, autizmus, diagnosztika, fejlesztés

Diszciplína: gyógypedagógia, pszichológia, egészségtudomány

Abstract

RELEVANCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN AUTISM SPECTRUM DISORDER

The complex and heterogeneous nature of Autism Spectrum Disorder poses significant challenges in both diagnostic and educational processes. Advances in artificial intelligence and robotics offer new, innovative tools for implementing personalized and adaptive interventions. The aim of this paper is to provide a comprehensive overview of the role of artificial intelligence in supporting children and young people with autism, with particular focus on its application in diagnostics and skill development.

Keywords: artificial intelligence, autism, diagnostics, intervention

Disciplines: special education, psychology, health sciences

A mesterséges intelligencia alkalmazása az autizmus spektrum zavarokkal élők támogatásában jelentős potenciált kínál mind a diagnosztikai, mind az oktatási folyamatok fejlesztésére. Nemzetközi kutatások eredményei rámutatnak, hogy ezen technológiai intervenciók elősegíthetik a társas elköteleződés növelését, miközben hangsúlyozzák a környezeti és egyéni tényezők befolyásoló szerepét. A kvantitatív és kvalitatív módszertani megközelítések együttes alkalmazása mélyebb betekintést tesz lehetővé az intervenciók

eredményességének megértésébe. Jelenleg a robotikai rendszerek többsége távirányított működésű, ami korlátozza alkalmazhatóságukat dinamikus, hosszú távú beavatkozások esetén. Ezzel szemben az adaptív, személyre szabott mesterséges intelligencia alapú technológiák rugalmasan igazodnak az egyén szükségleteihez. Kiemelten fontos a technológia preferálhatóságának, interakciós mintázatainak, valamint az alkalmazhatóságot befolyásoló demográfiai és kognitív tényezőknek a feltárása. Az autizmus heterogenitásából ere-

dően az egyéni különbségek figyelembevétele nélkülözhetetlen az eredményes felhasználás érdekében. A technológiai eszközök alkalmazása elősegítheti a tanulási folyamatok gyorsítását és a megszerzett készségek valós élethelyzetekbe történő hatékony átültetését. A mesterséges intelligencia felelősségteljes és tudatos alkalmazása jelentős előrelépést jelenthet az autizmus korai felismerésében és támogatásában, azonban további célzott kutatások szükségesek a nemi, földrajzi és társadalmi különbségek mérséklése, valamint az inkluzív és fenntartható oktatási környezet kialakítása érdekében.

A tanulmány az autizmus spektrum zavar alapvető jellemzőinek áttekintésével indul, majd a digitális technológiák alkalmazási lehetőségein keresztül fokozatosan vezet be az olvasót a mesterséges intelligencia nyújtotta innovatív intervenciók és oktatási potenciálba.

Autizmus spektrum zavar

Az autizmus spektrum zavar az idegrendszer pervazív fejlődési zavara, amely a szocio-kommunikációban nyilvánul meg, illetve ismétlődő viselkedéses minták jellemzik (APA, 2022). Az állapot jellegéből adódóan az érintettek speciális támogatást, figyelmet igényelnek (Franchini és tsai, 2018). Az autizmus előfordulási gyakorisága folyamatosan emelkedő tendenciát mutat (Croen és tsai, 2015). A WHO (2011) jelentése szerint a világ népességének 15%-ra rendelkezik fizikai, mentális vagy érzékszervi fogyatékossgal, a becslések szerint fogyatékossgal élő gyermekek száma 93 és 150 millió lehet, bár viszonylag kevés

információ áll rendelkezésre róla. Zeidan és tsai (2022) alapján az autizmus globális prevalenciája 1% körül mozog. Az állapot jelen ismeretek szerint nem gyógyítható, az érintettek élethosszig tartó egyéni támogatást igényelnek, az állapothoz kapcsolódó költségek a családokra nagy terhet rónak (Keder és tsai, 2022).

Az autizmus spektrum zavar diagnosztizálása magas szintű szakértelmet igényel, amely számos régióban korlátozottan érhető el, miközben az autizmus társadalmi ismertsége is alacsony. Ez gyakran késedelmes, pontatlan vagy téves diagnózishoz, illetve az érintettek félreértelmezéséhez és stigmatizációjához vezet (Dubey és tsai, 2024). Bár a mesterséges intelligencia sikeresen alkalmazható bizonyos betegségek kockázatának előre jelzéséhez, autizmus esetén nagyfokú a tüneti és okozati heterogenitás, ezért nehéz mérhetővé tenni a közös genetikai mintázatokat. Ezzel együtt a strukturális és funkcionális agyi képalkotó eljárások, valamint neuropszichológiai és neurofiziológiai markerek sem egyértelműek, egyelőre ezek a faktorok nem képesek megbízhatóan támogatni a diagnózis felállítását (Uddin, Wang és Woodbury-Smith, 2019).

Digitális technológiák lehetőségei a személyre szabott ellátásban

A digitális technológiák alkalmazása jelentős potenciált hordoz az autizmus spektrum zavarok differenciáldiagnosztikájának támogatásában, objektív és bizonyítékokon alapuló klinikai döntések elősegítésében, miközben

csökkenti az ellátórendszer leterheltségét. Az automatizált, multimodális tünetértékelés – kognitív, viselkedéses és neurobiológiai dimenziók mentén –, lehetővé teszi a személyre szabott prognózisalkotást és terápiatervezést, valamint a tünetek hosszú távú, folyamatos monitorozását. Fontos megjegyezni, hogy a technológiák nem a klinikai döntéshozatal kiváltására, hanem mindössze azok kiegészítésére szolgálnak, elősegítve az objektivitást és a szakemberek kapacitásainak tehermentesítését (Koehler és Falter-Wagner, 2023).

Jelenleg nem állnak rendelkezésre olyan költséghatékony, otthoni környezetben is alkalmazható megoldások, amelyek megfelelnek az autizmus-specifikus fejlesztési követelményeknek. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a robotok a gyermek-felnőtt interakcióit facilitálni képesek, motivációt jelentenek (Dickstein-Fischer és tsai, 2011). Ugyanakkor többségük kontrollált környezetben, rövid beavatkozási időszak mellett és utókövetés nélkül zajlott, ami korlátozza az eredmények általánosíthatóságát, és megfontolt értelmezést tesz szükségessé (Scassellati és tsai, 2018). Zhang és tsai (2019) megállapítása szerint a szociális robotok alkalmazása várhatóan egyre jelentősebb szerephez jut a mindennapi életben, a kutatási eredmények pedig értékes támpontokat adnak a robotok fejlesztéséhez és klinikai alkalmazásához az intervenciók során.

Az érintettek számára gyakran nehézséget okoz a társas kapcsolatok kialakítása és fenntartása. A kutatások alapján elmondható, hogy a fejlesztésekbe történő bevonhatóságot növelik a technikai eszközök és robotok, melyek

alkalmazása hozzájárul az inkluzív oktatás megvalósításához (Tuna, 2022). A mesterséges intelligencia dinamikus fejlődése azonban új lehetőségeket teremt az oktatás területén, különösen a sajátos nevelési igényű tanulók egyéni képességprofiljához igazodó támogatás kialakításában (Karsenti, 2019). A jövő oktatási rendszereiben kulcsfontosságúvá válik a mesterséges intelligencia alapú technológiák és a pedagógusok közötti szoros együttműködés, amely képes előmozdítani egy befogadóbb, differenciáltabb és hatékonyabb tanulási környezet kialakítását valamennyi diák számára. Ennek ellenére a pedagógus szerepe továbbra is nélkülözhetetlen, hiszen az oktatók személyes jelenléte, empátikus hozzáállása, valamint a tanulók egyéni szükségleteihez való érzékeny alkalmazkodás alapvető feltétele a támogató és fejlesztő tanulási környezet fenntartásának. Ezek a technológiák elsősorban a szociális interakció, a kommunikáció és az önálló életvezetéshez szükséges készségek fejlesztését célozzák.

A robotok kiszámítható működése, strukturaltsága és következetessége megkönnyíti az autista gyermekek számára a tanulási folyamatot, valamint csökkentheti a környezeti ingerekből fakadó stresszt. A mélytanuláson alapuló algoritmusok különösen hatékonyak lehetnek az autizmus rendkívül heterogén megnyilvánulási formáinak felismerésében és megértésében, mivel képesek sokféle és eltérő információk feldolgozására és mintázatok felismerésére. E technológiák lehetővé teszik a beavatkozások finomhangolását a tanulók egyéni jellemzőihez igazítva. Mindezek tükrében az eszközök alkalmazása az autista

tanulók oktatásában nemcsak ígéretesnek tekinthető, hanem egyre hangsúlyosabb kutatási irányt is képvisel a pedagógia területén (Barua és tsai, 2022). Általánosan releváns gyakorlati elvként hangsúlyozandó a megfelelő felkészülés fontossága, a környezeti tényezők gondos figyelembevétele, a fokozatos hozzászoktatás alkalmazása, a támogató és elkötelezett szakmai jelenlét biztosítása, valamint az egyénre szabott, rugalmas megközelítések következetes érvényesítése (McGregor és tsai, 2025).

Robotika alkalmazása és egyéb technológiai válaszok az autizmus kihívásaira

A digitális technológiák felhasználási területe rendkívül szerteágazó, az érintettek támogatásában kedvező kimeneti mutatókat prezentálnak az eredmények. Milne és tsai (2018) virtuális ágenseket alkalmaztak a beszélgetési technikák, a figyelem és a beszélgetőváltás gyakorlása érdekében. Az írás sebességének javításáért – a kézírás olvashatóságának megtartása mellett –, Palsbo és Hood-Szivek (2012) alkalmazott robot-asszisztált mozgásfejlesztést. So és tsai (2018) tanulmánya szerint a robot-alapú beavatkozás a gesztusok és a verbális jelzések megjelenését növelték. Zhang és tsai (2019) robottal végzett játékos szituációk során a bizalmatlanságot és megfélemlítést vizsgálták. A robotika alkalmazása az utánzási képességekben is támogatást jelentett (Alnafjan és tsai, 2024). Illetve a szemkontaktus gyakorisága és időtartama, valamint a releváns verbális kezdeményezés tekintetében is előre mutatók az adatok

(Chung, 2018). A robotok egyik előnye közé tartozik, hogy képesek érzelmeket felismerni és visszajelzést adni (Nagae és Lee, 2022), így a szociális készségfejlesztésben is vizsgálándó hasznosságuk (Holeva és tsai, 2024). Kim és tsai (2024) a virtuális valóság segítségével szimulált különféle munkahelyi szociális helyzeteket, mely támogatás az önhatékonyság értékelésére, önismeretre és szorongáskezelésre is pozitívan hatott.

A nemzetközi eredmények figyelembevételével úgy tűnik, az autizmus spektrum zavarral diagnosztizált személyek előnyben részesítik a nem szociális ingereket (Annaz és tsai, 2010). Bekele és tsai (2023) vizsgálatában az autizmussal élő gyermekek szignifikánsan több időt töltöttek a humanoid robotok megfigyelésével, mint neurotípikus társaik. Shamsuddin és tsai (2012), valamint Sophokleous és tsai (2021) szerint ennek fő okai a motiváció és a megfelelő formájú támogatás, amit a technikai eszközök biztosítani képesek. Alapvetően a mobilon elérhető, gyermekek számára fejlesztett, tanulást segítő alkalmazások – például a testrészek felismerését és megnevezését támogató interaktív játékok –, is hasznosnak bizonyulnak a szókincsfejlesztésben és növelik a tanulási motivációt (Eder et al., 2016). Azon számítógépes játékok is elköteleződést váltanak ki, amelyek pontozásos, vagy jutalmazásos rendszeren alapulnak, Chen és tsai (2019) például az autista gyermekek érzelmi készségeinek és fogalmi megértési képességeinek fejlesztésében azonosított pozitív változásokat. Számos kutatás igazolta, hogy az autizmus spektrum zavarral diagnosztizált

személyek többsége érdeklődést mutat a technológiai eszközök iránt, és megfelelő attitűddel viszonyulnak a digitális eszközök használatához, különösen a számítógépes tanulási formákhoz (Lin és tsai, 2013).

A robotok esetén a felhasználó képességeihez adaptálható az interakciók típusa, illetve az eszköz által kibocsátott ingerek is szabályozhatók. A fejlesztés során alkalmazott technikai eszközparknak képesnek kell lennie felkelteni és fenntartani a gyermekek figyelmét, valamint elősegíteni a magas szintű részvételt a foglalkozásokon, hogy a beavatkozás valóban hatékony legyen (Schadenberg és tsai, 2020). A robotok potenciálja abban rejlik, hogy képesek egyszerre emberi jellemzőket és szociális jelzéseket közvetíteni, miközben megőrzik a tárgyakra jellemző egyszerűséget (Thill és tsai, 2013). Következésképpen viselkednek és nem mutatnak előítéletet, vagy nem ítélik meg az érintettek felett, ami kiszámíthatóságot biztosít és a helyzetből eredő társas szorongást csökkenti (Scassellati, 2007). A robotokat úgy programozzák, hogy elősegítse a társas viselkedések értelmezését, képesek legyenek információkat gyűjteni, illetve automatikusan kivitelezni bizonyos feladatokat. Az emberi reakciók megértésében a beszéd és a testbeszéd értelmezése alapvető, ugyanakkor technológiailag összetett feladat. Ezért az érintett személyek támogatása különböző szakterületek együttműködését igényli (Egido-García és tsai, 2020). A robotok limitált, szabályozható reakciói pozitív hatással lehetnek az érintettekre (Belpaeme és tsai, 2018), ugyanakkor ha a reakció nem érkezik meg 2 másodpercen

belül, a fejlesztésben részesülő személyben frusztrációt válthat ki (Shiwa és tsai, 2008).

Mind a robotokkal, mind a szakemberekkel végzett fejlesztés hatékonynak bizonyul az autista személyek önálló kérdés kezdeményezésének támogatásában (Huskens és tsai, 2013). Watanabe, Nishida és Kumazaki (2025) a verbális és nonverbális kommunikációban tapasztalt szignifikáns változást a beavatkozást követően. Mindemellett a nyelv, az utánzás, a figyelem és a kommunikációs készségek fejlesztésében is releváns lehet alkalmazásuk (Zorcec és tsai, 2021). Bár a robotokkal végzett intervenciók programok hatékonyságát alátámasztó bizonyítékok még nem elegendőek, több kutatásban már szignifikáns eredményeket mutattak ki a beavatkozások hatására. Chung, Kuen-Fung és Chow (2025) randomizált, kontrollált vizsgálatában és a robot által támogatott intervenciók csoportban jelentős különbséget találtak a kommunikációban és a reciprok társas interakciók tekintetében, valamint a szülők is a társas részvétel pozitív változásairól számoltak be.

Az egyéni preferenciák jelentősen eltérhetnek a robottípusok elfogadottságában – súlyosabb érintettség esetén gyakrabban részesítik előnyben a humanoid robotokat. A közelmúltban bekövetkezett nagyléptékű fejlődés szinte előrevetíti ezen technológiák alkalmazását autizmus esetén, azonban a fejlesztések nagyfokú heterogenitása miatt a kutatók eltérő tapasztalatokról számolnak be (lásd: Kumazaki és tsai, 2017), ezért figyelembe kell venni, hogy a gyermekek nem minden esetben reagálnak pozitívan az eszközökre (Feil-Seifer

és Mataric, 2011). Noha a képzett szakemberek által végzett személyes klinikai beavatkozások hatékonyan hozzájárulnak a társas kommunikáció, különösen a spontán beszélgetések fejlesztéséhez, ezek a beavatkozások gyakran költségigényesek és sokak számára nehezen hozzáférhetők, tekintettel az autizmus magas prevalenciájára és a megfelelő szakmai képzés hiányára.

A mesterséges intelligencia alkalmazása a szűrésben és diagnosztikában

A mesterséges intelligencia területén autizmus relevanciával megjelenő kutatások többsége az Amerikai Egyesült Államokból és az Egyesült Királyságból származik, amely a gazdasági és megfelelő politikai támogatottsággal magyarázható (Wu és tsai, 2023). A mesterséges intelligencia, különösen a gépi tanulási algoritmusok alkalmazása, jelentős előrelépést eredményezhet az autizmus diagnosztikai folyamatainak pontosabbá és hatékonyabbá tételében. A hagyományos szűrőeszközök mellett a kérdőívek és otthoni környezetből származó videók gépi tanulási algoritmusokkal történő elemzése érzékenység és specifitás tekintetében is alkalmasnak bizonyult. Abbas és tsai (2018) kutatása szerint az otthoni videók mesterséges Intelligencia általi elemzése lehetővé teszi az autizmus gyorsabb és szélesebb körű szűrését. Mindemellett a videókból hiányzó viselkedési jellemzők kezelése is alapvető fontosságú a megbízhatóság fenntartásához az állapot felismerésében. Tariq és tsai (2019) szintén otthoni videók elemzésén alapuló, kétlépcsős gépi tanulási modellt fejlesztettek

ki a fejlődési késések korai felismerése érdekében. Első lépésben a tipikusan fejlődő és atipikus viselkedést differenciálták, a második lépés pedig az autizmus és egyéb fejlődési zavarok azonosítására szolgált. A modell 76%-os és 85%-os pontosságot ért el az első és második lépésben, illetve mindkét esetben 76%-os érzékenységet mutatott. Az eredmények a klinikai megfigyelésekkel összhangban álltak.

A szemmozgáskövetés elemzése 90%-os pontosságot és 93%-os specifitást mutatott Oliveira és tsai (2021) vizsgálatában. De Belen és tsai (2024) az autizmus azonosításában 94,59%-os pontosságot, 100%-os érzékenységet és 76,47%-os specifitást értek el, a tünetek súlyosságának előrejelzésében pedig modelljük 94,74%-os pontosságot, 87,50%-os érzékenységet és 100%-os specifitást mutatott, amely hasznos perspektívát jelenthet alacsony életkorú gyermekek azonosítása esetén.

A szemmozgáskövető technológia alkalmazása az autizmus állapotának azonosítása és a tünetek súlyosságának meghatározása szempontjából annak indikátora lehet. Az autista gyermekek tekintetének eltérő fókuszát (először az arcüregek, háttér, testrészek, idegen rasszok és ismeretlen arcok esetén pedig kevesebb társas jelzésre összpontosult a figyelem) azonosította Kang és tsai (2020) a neurotipikus alanyokhoz képest. Junxia és tsai (2018) is hasonló eredményeket találtak: autista gyermekeknél a közös figyelem és a száj fixációs idejének aránya szignifikánsan alacsonyabb volt, több figyelmet fordítottak a háttérre és a testre. Wan és tsai (2019) a száj és a test fixációs ideje alapján szignifikánsan meg

tudták különböztetni az autista és neuro-típusos gyermekeket 85,1%-os pontossággal.

Jelenlegi ismereteink szerint az autizmusnak nincsenek egyértelmű genetikai diagnosztikus markerei; ezzel szemben a mesterséges intelligencia segíthet nagyméretű adatbázisok elemzésében a genetikai kockázatok azonosítása érdekében. Mindez nem közvetlen diagnosztikai célt szolgál, hanem kockázatbecslésre és kutatás támogatására alkalmas (Joudar, Albahri és Hamid, 2022). Chen és tsai (2020) rámutattak, hogy a diagnosztika folyamatának támogatásában a strukturális mágneses rezonancia képalkotás (MRI) alkalmazása is potenciállal bírhat, mert 75% feletti pontossággal képes megkülönböztetni az autista és diagnózissal nem rendelkező személyek felvételeit olyan agyi területek alapján, amelyeket korábban is összefüggésbe hoztak már az autizmussal (homloklebeny, halántéklebeny vagy a hippocampus). A diffúziós tenzor képalkotás (DTI), a funkcionális mágneses rezonancia képalkotás (fMRI), valamint a gépi tanulás és mélytanulási technikák kombinációja szintén lehetőséget kínál a korai felismerésre, az agyi struktúrák megváltozásának és a funkcionális konnektivitás elemzésén keresztül (Helmy és tsai, 2023). Supekar és tsai (2022) agyi aktivitás mintázatok alapján különböztették meg az autista és a tipikus fejlődésmentet mutató személyeket és ezzel együtt előre jelezték a szocio-kommunikációs tünetek súlyosságát is.

Wolff és tsai (2022) szerint az autizmus és a figyelemhiányos hiperaktivitás-zavar (ADHD) differenciáldiagnosztikája rendkívül fontos a gyakorlatban, mivel eltérő támogatási mód-

szereket igényel, és a félrediaosztizálás hosszú távon komoly nehézségeket okozhat. Vizsgálatuk alapján az autizmus diagnosztikai eszközeiben – mint az Autizmus Diagnosztikus Interjú javított változat (ADI-R) és az Autizmus Diagnosztikus Obszervációs Séma (ADOS) –, akár kevesebb tétel is elég lehet a különbségek pontos megállapításához és a folyamat hatékonyabbá tételéhez. Schulte-Rüther és tsai (2023) az autizmus és más diagnózisok megkülönböztetése érdekében az ADOS 3. moduljának tételpontszámait elemezték; a mesterséges intelligencia alapú modellek képesek voltak felismerni a különbségeket, továbbá az autizmus és az ADHD együttes előfordulását is azonosítani. Wall és tsai (2012) tanulmányában alkalmazott gépi tanulás az ADOS 1-es moduljának rövidítését tette lehetővé anélkül, hogy az értékelés pontossága csökkent volna. A gépi tanulási algoritmus 8 ADOS-tétel alapján képes volt az autizmussal élő gyermekeket közel 100%-os pontossággal azonosítani. A szülők által megfogalmazott aggodalmak szövegelemző eszközök segítségével történő vizsgálatát végezte Ben-Sasson és tsai (2018) néhány célzott kérdés hozzáadásával. A szűrőeszközök az esetek 58%–88%-ában azonosították az autizmus kockázatát, családi előfordulás esetén pedig háromszorosára nőtt a kockázat kimutatásának valószínűsége. Egy ausztráliai kutatás során több mint 260 000 anyagyermek egészségügyi adatainak elemzésével fejlesztettek ki egy gépi tanuláson alapuló modellt, amely képes volt azonosítani a legfontosabb kockázati tényezőket. A modell jónak bizonyult, azonban még fejlesztésre

szorul a nagyobb pontosság elérése érdekében (Betts és tsai, 2023). Dick és tsai (2025) több mint 700 000 anya-gyermek adatpárt elemeztek és gépi tanulási modelleket alkalmaztak az állapot 18-60 hónapos korban történő előre jelzésére. A modell 70,9%-os érzékenységet és 69,6%-os pontosságot ért el. Ezzel együtt azonban a mesterséges intelligencia alkalmazása számos kihívást is tartogat, beleértve a diagnosztikai kódok használatát, a jellemzők kiválasztását, az értékelési mérőszámok megválasztását és az adatok osztályegyensúlyának hiányát (Thabtah, 2019).

Zhang (2025) szerint a mesterséges intelligencia alapú modellek képesek lehetnek az autizmus spektrum zavarokra jellemző viselkedéses minták nagyobb pontosságú azonosítására akár már 13 hónapos kortól, mely a diagnosztikai folyamat idejét jelentős mértékben lerövidítheti. A jövőbeli modellek fejlesztése során fontos figyelembe venni a diagnosztikai folyamatok szakmai alapelveit és a klinikai környezet sajátosságait (Cavus és Tsai, 2021), hogy javítsák a szűrésre és diagnosztizálásra használt eszközök hatékonyságát és eredményességét. Emellett Bone és Tsai (2016) a különböző tesztek kombinálásának lehetőségét is felvetik a diagnosztikai teljesítmény növelése érdekében. Az új technológiák hozzájárulhatnak az epidemiológiai vizsgálatok szöveges adatainak hatékony elemzéséhez, különösen ott, ahol a hagyományos kiértékelési módszerek jelentős idő- és munkaigénnyel járnak. A modell az autizmus prevalenciáját viszonylag pontosan becsülte meg (1,46%, szemben a publikált 1,55%-os értékkel) és 86,5%-os egyezést

mutatott a szakértők által meghatározott esetdefiníciókkal, 84,0%-os érzékenységgel és 89,4%-os pozitív prediktív értékkel (Maenner és tsai, 2016).

Az autizmus spektrum zavarral kapcsolatos kockázatok korai és egyszerű szűrésére egyre nagyobb szükség mutatkozik, tekintettel a diagnosztizált esetek számának gyors ütemű növekedésére, a diagnosztikai folyamat hosszú várakozási idejére, az egészségügyi ellátórendszerekre nehezedő pénzügyi terhekre, valamint a társadalmi következményekre (Xipolitopoulos, Nikiforos és Exarchos, 2021). Az autizmus spektrum zavar hagyományos diagnosztikai módszerei nagymértékben támaszkodnak a viselkedéses vizsgálatokra, amelyek gyakran időigényesek, szubjektívek és szakértők bevonását igénylik. Az agyi aktivitás, arcfelismerés, szemmozgáskövetés, viselkedési megfigyelések és genetikai markerek adatait mesterséges intelligencia segítségével elemezve a kutatók hozzáférhetőbb, hatékonyabb és megbízhatóbb diagnosztikai eszközöket fejleszthetnek a kutatók a zavar súlyosságának előrejelzése, a fejlődés nyomon követése és a gyermek szükségleteinek felmérése céljából. Azonosíthatóvá válhatnak tehát olyan finom jelek és mintázatok, amelyeket az ember által végzett megfigyeléssel nehéz lenne észlelni. Ha az állapot felismerése, diagnosztizálása időben megtörténik, akkor az érintettek korábban hozzájuthatnak a szükséges ellátáshoz. Az adatminőség, az adatvédelmi és etikai, valamint a klinikai integráció kérdése mindazonáltal további kihívásokat tartogat (Solek és tsai, 2025).

A mesterséges intelligencia alkalmazásának egyéb területei

A mesterséges intelligencia alkalmazása számos további lehetőséget kínál, amit a rendelkezésre álló, kutatási szempontból releváns és előremutató tanulmányok is megerősítenek. Downs és tsai (2018) autista fiatalok egészségügyi dokumentációja alapján az öngyilkossági kísérletek kockázatát kívánták feltérképezni. A gépi tanulás alkalmazása lehetővé teheti az egészségügyi és társadalmi adatok közötti bonyolult összefüggések feltárását, amelyek befolyásolják az autista személyek öngyilkossági gondolatainak gyakoriságát és a mentális egészségügyi szolgáltatások igénybevételét (Marlow és tsai, 2025). A cyberbullying jelenségének felismerésében és a helyzetek kezelésében is segítséget képesek nyújtani a mesterséges intelligencia alapú virtuális ágensek (Ferrer, Ali és Hughes, 2024).

Kiarashi és tsai (2024) kutatásában mesterséges intelligenciát alkalmazó, (off-body) alvásmonitorozó rendszert használtak, amely képes volt előre jelezni az autizmus spektrum zavarral élő személyeknél a reggeli időszakban jelentkező súlyos, kihívást jelentő viselkedéseket. Eredményeik szerint az alvásminőség megbízható prediktora lehet a másnapi problémás viselkedéseknek.

A mesterséges intelligencia az élet más területein is hasznos segítséget nyújthat, például az állásinterjúkra való felkészülés során a nonverbális kommunikáció fejlesztésében. Ennek eredményeként a felhasználók magabiztosabbá váltak, és alacsonyabb stresszszintet mutattak Kumazaki és tsai (2019) vizsgálatában.

A mesterséges intelligencia és a robotok fontos szerepet játszhatnak a pszichoszociális készségek fejlesztésében. Holeva és tsai (2024) kutatása szerint javultak az autisták neuropszichológiai tesztekben elért eredményei, amit a szülői visszajelzések is megerősítettek. Turan és tsai (2023) az érzelmek kifejezésének képességében mutatkozó korlátok mérésére fókuszáltak, míg Mayor és tsai (2023) szerint a modellek megbízhatóan támogatják az autista személyek érzelmi állapotának megértését.

A mesterséges intelligenciát alkalmazó eszközök – megfelelő képzés mellett –, támogatást nyújthatnak a szülők és pedagógusok munkájában a fejlesztés során. Lehetőséget teremthetnek a személyre szabott tanulásra, növelhetik a motivációt (Barua és tsai, 2022; Li és tsai, 2024), valamint hozzájárulhatnak a kommunikációs stratégiák hatékonyabb megválasztásához, ezzel javítva az inkluzív oktatás minőségét (Lampos, Mintz és Qu, 2021).

A MI alkalmazása a gyógypedagógusok munkáját is támogathatja a tanítás során, különösen a tanítási lépések következetes alkalmazásának elősegítésében (Griffen és tsai, 2024). A mesterséges intelligencián alapuló társas segítő robotok katalizálhatják az Alkalmazott Viselkedéselemzés (ABA) protolloknak megfelelő terápiás intervenciók végrehajtását, alkalmazkodva a segítségnyújtás lehetőségeihez és a megerősítés módjaihoz (Korneder és tsai, 2022). Koegel és tsai (2025) egy mesterséges intelligencia-alapú program empátiát fejlesztő hatását vizsgálták autizmussal élő serdülők és felnőttek körében. Az eredmények alapján a rendszer szignifikáns

javulást eredményezett az empátikus kommunikáció terén, amely a spontán társas interakciókban is megnyilvánult. A résztvevők többsége elégedettségéről számolt be, és fokozott önbizalmat tapasztalt a társas helyzetekben.

Crippa és tsai (2015) mozgásos feladatok kinematikai elemzését végezték el az autizmus korai azonosítása érdekében. A testtartás szabályozása Li, Mache és Todd (2020) szerint eltér a neurotipikus populációétól, de mesterséges intelligencia segítségével ezek az eltérések nagy pontossággal azonosíthatók. A talpi nyomás középpont elmozdulásainak (COP) mérésével a poszturális kontroll mintáztatának sikeres azonosítása vált lehetővé a gépi tanulás segítségével autizmusban.

Az atipikus kézmozgások differenciálását is gépi tanulási osztályozók képesek segíteni (Lím és tsai, 2017).

A vokális sztereotípiák mérésének objektív és automatizált lehetőségét Dufour, Lanovaz és Cardinal (2020) vetette fel. A vizsgálatukban résztvevő gyermekek eredményei erősen korreláltak a diagnosztikát végző szakemberek méréseivel. A beszédatadatokból származó mintázatok azonosítása is hozzájárulhat a korai felismeréshez (Lee és tsai, 2020). Tang és tsai (2023) perifériás vérminták mRNS expressziós szintjét vizsgálták meg bioinformatikai módszerek és a mesterséges intelligencia alkalmazásával, azonban kijelenthető, hogy a biomarkerek érvényességének megerősítéséhez további kutatásokra van szükség. Liao, Duan és Wang (2022) fiziológiai és viselkedési adatok kombinációját (elektroencefalográfia, szemfixáció és arckifejezések azo-

nosítása) alkalmazták az állapot felismerése érdekében.

Fiske és tsai (2019) kutatása szerint a mesterséges intelligencia mentális egészségügyi alkalmazása etikai szempontból számos előnnyel jár, mint például az új terápiás lehetőségek, a nehezen elérhető csoportok bevonása, a kliensek elköteleződésének erősítése, valamint az egészségügyi szakemberek tehermentesítése. Mindazonáltal komoly etikai kihívások is felmerülnek, többek között a nem kívánt hatások megelőzése, az adatetika kérdései, az alkalmazásfejlesztés és klinikai integráció szabályozatlansága, valamint a szabályozási és etikai keretek hiányosságai. További aggályokat vet fel a technológiai visszaélések lehetősége, a meglévő egészségügyi egyenlőtlenségek mélyülése, valamint az autonómia védelme, a nem ember által mediált terápia szerepe, az algoritmusok átláthatósága, továbbá a mesterséges intelligencia hosszú távú hatása az emberképre és a betegségfelfogásra.

Összefoglalás

A mesterséges intelligencia és robotika alkalmazása az autizmus spektrum zavarral élők támogatásában ígéretes lehetőségeket kínál a diagnosztikai és oktatási folyamatok fejlesztésére. A nemzetközi tanulmányok eredményei alátámasztják, hogy ezen intervenciók fokozhatják a társas elköteleződést, ugyanakkor hangsúlyozzák a kontextuális tényezők jelentőségét is. A kvantitatív és kvalitatív kutatási módszerek együttes alkalmazása mélyebb megértést nyújthat a beavatkozások

eredményességének vizsgálatában. A jelenlegi robotikai rendszerek még többnyire távirányított működésűek, ami korlátozza hosszabb távú és dinamikus beavatkozások során történő alkalmazhatóságukat. Ugyanakkor az adaptív válaszadásra képes számítógépes és robotikai technológiák rugalmasan igazodhatnak az autisták szükségleteihez, lehetőséget teremtve az egyénre szabott intervenciókra.

Fontos kutatási irányt jelent az e típusú ingerek hatásosságának és preferálhatóságának vizsgálata. Az autista gyermekek különböző mértékben mutatnak érdeklődést a technológia iránt, és a robotok megjelenése, valamint mozgásmintázatai (társas jelzések felnagyítása, zavaró ingerek korlátozása) jelentősen befolyásolhatják az interakciók sikerességét. A robotokhoz való affinitás olyan tényezőktől is függhet, mint az életkor, a nem és az intelligenciaszint. E tekintetben a jövőbeli kutatásoknak tisztázniuk kell, hogy mely robottípusok bizonyulnak optimálisnak a különböző profillal rendelkezők esetében.

Az autizmus rendkívül heterogén természetéből adódóan a gyermekek eltérően reagálnak ugyanazon beavatkozásokra. Korábbi vizsgálatok is eltérő eredményeket mutattak ki az arcra, szemre vagy szájra irányuló figyelem tekintetében, ami tovább erősíti a differenciált megközelítés szükségességét. A jövőbeli kutatásoknak ezért figyelembe kell venniük az egyéni különbségeket, a korcsoportokat, valamint az intellektuális képességek eltéréseit. Bár a randomizált, kontrollált vizsgálatok elengedhetetlenek a beavatkozások hatékonyságának bizonyítására, iskolai környezetben ezek etikai aggályokat vethetnek fel, különösen,

ha a hatékony támogatási formák visszatartása történne meg. Ugyanakkor a kontrollcsoportos vizsgálatok szükségessége továbbra is fennáll a bizonyítékalapú következtetések megerősítéséhez.

Külön figyelmet érdemel az autista lányok bevonása a vizsgálatokba, mivel a jelenlegi kutatások többsége elsősorban fiúkra fókuszált. Emellett vizsgálni szükséges, hogy az intervenciók során tanult készségek hosszabb távon is fennmaradnak-e, és mennyiben segítik elő az otthoni, iskolai és közösségi részvételt. A mesterséges intelligencia térnyerése az oktatásban nemcsak lehetőségeket, hanem etikai kihívásokat is magában hordoz. A mesterséges intelligencia eszközök fenn tartása, karbantartása és javítása ráadásul jelentős anyagi terhet jelenthet, amely további hozzáférési korlátokat eredményezhet, különösen hátrányos helyzetű csoportok esetén. A mesterséges intelligencia alkalmazásán alapuló eszközök használata gyorsabb tanulást tehet lehetővé, valamint kedvezőbb átvitelt biztosíthat a tanult készségek és a valós élethelyzetek között. Ezen technológiák különösen hasznosak lehetnek az alapellátásban, ahol a diagnosztikai kapacitás növelése és a korai beavatkozás lehetőségének megteremtése kiemelten fontos.

Összegzésül elmondható, hogy a témában publikált vizsgálatok ígéretes eredményeket mutatnak. A mesterséges intelligencia alkalmazása segíthet objektív mutatók mentén támogatni a klinikai döntéshozatalt. A technológia felelősségteljes és tudatos alkalmazása jelentős előrelépést hozhat az autizmus spektrum zavarral diagnosztizált gyermekek

korai azonosításában és támogatásában, ugyanakkor szükség van további, célzott kutatásokra, amelyek a nemi, földrajzi és társadalmi különbségek csökkentésére fókuszálnak, és amelyek hosszú távon hozzájárulnak az inkluzív, méltányos és fenntartható oktatási környezet kialakításához.

Irodalom

Abbas, H., Garberson, F., Glover, E., & Wall, D. P. (2018). Machine learning approach for early detection of autism by combining questionnaire and home video screening. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 25(8), 1000–1007.

DOI:

<https://www.doi.org/10.1093/jamia/ocy039>

Alnafjan, A., Alghamdi, M., Alhakbani, N., & Alohal, Y. A. (2024). Improving imitation skills in children with autism spectrum disorder using the NAO robot and a human action recognition. *Diagnostics*, 15.

DOI:

<https://www.doi.org/10.3390/diagnostic15010060>

Annaz, D., Campbell, R., Coleman, M., Milne, E., & Sweetenham, J. (2012). Young children with autism spectrum disorder do not preferentially attend to biological motion. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42, 401–408. DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s10803-011-1256-3>

American Psychiatric Association. (2022). *Diagnostic and statistical manual of mental*

disorders (5th ed., text rev.). American Psychiatric Publishing.

<https://www.mredscircleoftrust.com/storage/app/media/DSM%205%20TR.pdf>

Barua, P. D., Vicnesh, J., Gururajan, R., Oh, S. L., Palmer, E., Azizan, M. M., Kadri, N. A., & Acharya, U. R. (2022). Artificial intelligence enabled personalised assistive tools to enhance education of children with neurodevelopmental disorders—A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1192.

DOI:

<https://www.doi.org/10.3390/ijerph19031192>

Bekele, E. T., Lahiri, U., Swanson, A. R., Crittendon, J. A., Warren, Z. E., & Sarkar, N. (2013). A step towards developing adaptive robot-mediated intervention architecture (ARIA) for children with autism. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 21(2), 289–299. DOI:

<https://www.doi.org/10.1109/TNSRE.2012.2230188>

Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A., Scassellati, B., & Tanaka, F. (2018). Social robots for education: A review. *Science Robotics*, 3(21), eaat5954. DOI: <https://www.doi.org/10.1126/scirobotics.aat5954>

Ben-Sasson, A., Robins, D. L., & Yom-Tov, E. (2018). Risk assessment for parents who suspect their child has autism spectrum disorder: Machine learning approach. *Journal of Medical Internet*

- Research*, 20(4), e134. DOI:
<https://www.doi.org/10.2196/jmir.9496>
- Betts, K. S., Chai, K., Kisely, S., & Alati, R. (2023). Development and validation of a machine learning-based tool to predict autism among children. *Autism Research*, 16(5), 941–952. DOI:
<https://www.doi.org/10.1002/aur.2912>
- Bone, D., Bishop, S. L., Black, M. P., Goodwin, M. S., Lord, C., & Narayanan, S. S. (2016). Use of machine learning to improve autism screening and diagnostic instruments: Effectiveness, efficiency, and multi-instrument fusion. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 57(8), 927–937. DOI:
<https://www.doi.org/10.1111/jcpp.12552>
- Cavus, N., Lawan, A. A., Ibrahim, Z., Dahiru, A., Tahir, S., Abdulrazak, U. I., & Hussaini, A. (2021). A systematic literature review on the application of machine-learning models in behavioral assessment of autism spectrum disorder. *Journal of Personalized Medicine*, 11(4), 299. DOI:
<https://www.doi.org/10.3390/jpm11040299>
- Chen, J., Wang, G., Zhang, K., Wang, G., & Liu, L. (2019). A pilot study on evaluating children with autism spectrum disorder using computer games. *Computers in Human Behavior*, 90, 204–214. DOI:
<https://www.doi.org/10.1016/j.chb.2018.08.057>
- Chen, T., Chen, Y., Yuan, M., Gerstein, M., Li, T., Liang, H., Froehlich, T., & Lu, L. (2020). The development of a practical artificial intelligence tool for diagnosing and evaluating autism spectrum disorder: Multicenter study. *JMIR Medical Informatics*, 8(5), e15767. DOI:
<https://www.doi.org/10.2196/15767>
- Chung, E. Y. (2018). Robotic intervention program for enhancement of social engagement among children with autism spectrum disorder. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*. DOI:
<https://www.doi.org/10.1007/s10882-018-9651-8>
- Chung, E. Y., Sin, K.-F., & Chow, D. H. (2025). Effectiveness of robotic intervention on improving social development and participation of children with autism spectrum disorder - A randomised controlled trial. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 55(2), 449–456. DOI:
<https://www.doi.org/10.1007/s10803-024-06236-2>
- Crippa, A., Salvatore, C., Perego, P., Forti, S., Nobile, M., Molteni, M., & Castiglioni, I. (2015). Use of machine learning to identify children with autism and their motor abnormalities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(7), 2146–2156. DOI:
<https://www.doi.org/10.1007/s10803-015-2379-8>
- Croen, L. A., Zerbo, O., Qian, Y., Massolo, M. L., Rich, S., Sidney, S., et al. (2015). The health status of adults on the autism spectrum. *Autism*, 19(7), 814–823. DOI:

- <https://www.doi.org/10.1177/1362361315577517>
- de Belen, R. A. J., Eapen, V., Bednarz, T., & Sowmya, A. (2024). Using visual attention estimation on videos for automated prediction of autism spectrum disorder and symptom severity in preschool children. *PLoS ONE*, 19(2), e0282818. DOI: <https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0282818>
- Dick, K., Kaczmarek, E., Ducharme, R., Bowie, A. C., Dingwall-Harvey, A. L. J., Howley, H., Hawken, S., Walker, M. C., & Armour, C. M. (2025). Transformer-based deep learning ensemble framework predicts autism spectrum disorder using health administrative and birth registry data. *Scientific Reports*, 15(1), 11816. DOI: <https://www.doi.org/10.1038/s41598-025-90216-8>
- Dickstein-Fischer, L., Alexander, E., Yan, X., Su, H., Harrington, K., & Fischer, G. S. (2011). An affordable compact humanoid robot for Autism Spectrum Disorder interventions in children. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011, 5319–5322. DOI: <https://www.doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6091316>
- Downs, J., Velupillai, S., George, G., Holden, R., Kikoler, M., Dean, H., Fernandes, A., & Dutta, R. (2018). Detection of suicidality in adolescents with autism spectrum disorders: Developing a natural language processing approach for use in electronic health records. *AMIA Annual Symposium Proceedings*, 2017, 641–649. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5977628/>
- Dubey, I., Bishain, R., Dasgupta, J., Bhavnani, S., Belmonte, M. K., Gliga, T., Mukherjee, D., Lockwood Estrin, G., Johnson, M. H., Chandran, S., Patel, V., Gulati, S., Divan, G., & Chakrabarti, B. (2024). Using mobile health technology to assess childhood autism in low-resource community settings in India: An innovation to address the detection gap. *Autism*, 28(3), 755–769. DOI: <https://www.doi.org/10.1177/13623613231182801>
- Dufour, M. M., Lanovaz, M. J., & Cardinal, P. (2020). Artificial intelligence for the measurement of vocal stereotypy. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 114(3), 368–380. DOI: <https://www.doi.org/10.1002/jeab.636>
- Eder, M. S., Diaz, L. J. M., Madela, J. R. S., Mag-usara, M. U., & Sabellano, D. D. M. (2016). Fill Me App: An interactive mobile game application for children with autism. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (ijim)*, 10(3), 59. DOI: <https://www.doi.org/10.3991/ijim.v10i3.5553>
- Egido-García, V., Estévez, D., Corrales-Paredes, A., Terrón-López, M.-J., & Velasco-Quintana, P.-J. (2020). Integration of a social robot in a pedagogical and logopedic intervention with children: A case study. *Sensors*,

- 20(22), 6483. DOI:
<https://www.doi.org/10.3390/s20226483>
- Feil-Seifer, D., & Mataric, M. (2011). Automated detection and classification of positive vs. negative robot interactions with children with autism using distance-based features. In *Proceedings of the 6th International Conference on Human-Robot Interaction—HRI 2011* (p. 323). DOI:
<https://www.doi.org/10.1145/1957656.1957785>
- Ferrer, R., Ali, K., & Hughes, C. (2024). Using AI-based virtual companions to assist adolescents with autism in recognizing and addressing cyberbullying. *Sensors*, 24(12), 3875. DOI:
<https://www.doi.org/10.3390/s24123875>
- Fiske, A., Henningsen, P., & Buyx, A. (2019). Your robot therapist will see you now: Ethical implications of embodied artificial intelligence in psychiatry, psychology, and psychotherapy. *Journal of Medical Internet Research*, 21(5), e13216. DOI:
<https://www.doi.org/10.2196/13216>
- Franchini, M., Zoller, D., Gentaz, E., Glaser, B., de Wilde, H. W., Kojovic, N., et al. (2018). Early adaptive functioning trajectories in preschoolers with autism spectrum disorders. *Journal of Pediatric Psychology*, 43(7), 800–813. DOI:
<https://www.doi.org/10.1093/jpepsy/jsy024>
- Griffen, B., Lorah, E. R., Caldwell, N., Hantula, D. A., Nosek, J., Tincani, M., & Lemley, S. (2024). The effects of artificial intelligence on implementors' fidelity of instructional strategies during handwashing acquisition in children with autism. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 36(5), 793–819. DOI:
<https://www.doi.org/10.1007/s10882-023-09937-1>
- Helmy, E., Elnakib, A., ElNakieb, Y., Khudri, M., Abdelrahim, M., Yousaf, J., Ghazal, M., Contractor, S., Barnes, G. N., & El-Baz, A. (2023). Role of artificial intelligence for autism diagnosis using DTI and fMRI: A survey. *Biomedicine*, 11(7), 1858. DOI:
<https://www.doi.org/10.3390/biomedicines11071858>
- Holeva, V., Nikopoulou, V. A., Lytridis, C., Bazinas, C., Kechayas, P., Sidiropoulos, G., Papadopoulou, M., Kerasidou, M. D., Karatsioras, C., Geronikola, N., Papakostas, G. A., Kaburlasos, V. G., & Evangeliou, A. (2024). Effectiveness of a robot-assisted psychological intervention for children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 54(2), 577–593. DOI:
<https://www.doi.org/10.1007/s10803-022-05796-5>
- Huskens, B., Verschuur, R., Gillesen, J., Didden, R., & Barakova, E. (2013). Promoting question-asking in school-aged children with autism spectrum disorders: Effectiveness of a robot intervention compared to a human-trainer intervention. *Developmental Neurorehabilitation*, 16(5), 345–356. DOI:
<https://www.doi.org/10.3109/17518423.2012.739212>

- Joudar, S. S., Albahri, A. S., & Hamid, R. A. (2022). Triage and priority-based healthcare diagnosis using artificial intelligence for autism spectrum disorder and gene contribution: A systematic review. *Computers in Biology and Medicine*, 146, 105553. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.compbio-med.2022.105553>
- Junxia, H., Jiannan, K., Gaoxiang, O., Zhen, T., Meng, D., Dan, Z., & Xiaoli, L. (2018). A study of EEG and eye tracking in children with autism. *Chinese Science Bulletin*, 63(15), 1464–1473. DOI: <https://www.doi.org/10.1360/n972017-01305>
- Kang, J., Han, X., Hu, J. F., Feng, H., & Li, X. (2020). The study of the differences between low-functioning autistic children and typically developing children in the processing of the own-race and other-race faces by the machine learning approach. *Journal of Clinical Neuroscience*, 81, 54–60. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.jocn.2020.09.039>
- Karsenti, T. (2019). Artificial intelligence in education: The urgent need to prepare teachers for tomorrow's schools. *Formation et profession*, 27(1), 105–111. DOI: <https://www.doi.org/10.18162/fp.2018.a166>
- Keder, R. D., Mittal, S., Stringer, K., Wallis, K. E., Wallace, J. E., & Soares, N. S. (2022). Society for Developmental & Behavioral Pediatrics position statement on telehealth. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 43(1), 55–59. DOI: <https://www.doi.org/10.1097/DBP.0000000000001046>
- Kiarashi, Y., B, P. S., Rad, A., Reyna, M., Anderson, C., Foster, J., Lantz, J., Villavicencio, T., Hamlin, T., & Clifford, G. (2024). Off-body sleep analysis for predicting adverse behavior in individuals with autism spectrum disorder. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 28(11), 6886–6896. DOI: <https://www.doi.org/10.1109/JBHI.2024.3455942>
- Kim, S. I., Jang, S. Y., Kim, T., Kim, B., Jeong, D., Noh, T., Jeong, M., Hall, K., Kim, M., Yoo, H. J., Han, K., Hong, H., & Kim, J. G. (2024). Promoting self-efficacy of individuals with autism in practicing social skills in the workplace using virtual reality and physiological sensors: Mixed methods study. *JMIR Formative Research*, 8, e52157. DOI: <https://www.doi.org/10.2196/52157>
- Koegel, L. K., Ponder, E., Bruzzese, T., Wang, M., Semnani, S., Chi, N., Koegel, B., Swarnakar, A., & Lam, M. (2025). Using artificial intelligence to improve empathetic statements in autistic adolescents and adults: A randomized clinical trial. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s10803-025-06734-x>
- Koehler, J. C., & Falter-Wagner, C. M. (2023). Digitally assisted diagnostics of autism spectrum disorder. *Frontiers in*

- Psychiatry*, 14, 1066284. DOI: <https://www.doi.org/10.3389/fpsyt.2023.1066284>
- Korneder, J., Louie, W. G., Pawluk, C. M., Abbas, I., Brys, M., & Rooney, F. (2022). Robot-mediated interventions for teaching children with ASD: A new intraverbal skill. *Assistive Technology*, 34(6), 707–716. DOI: <https://www.doi.org/10.1080/10400435.2021.1930284>
- Kumazaki, H., Muramatsu, T., Yoshikawa, Y., Corbett, B. A., Matsumoto, Y., Higashida, H., Yuhi, T., Ishiguro, H., Mimura, M., & Kikuchi, M. (2019). Job interview training targeting nonverbal communication using an android robot for individuals with autism spectrum disorder. *Autism*, 23(6), 1586–1595. DOI: <https://www.doi.org/10.1177/1362361319827134>
- Kumazaki, H., Warren, Z., Muramatsu, T., Yoshikawa, Y., Matsumoto, Y., Miyao, M., Nakano, M., Mizushima, S., Wakita, Y., Ishiguro, H., Mimura, M., Minabe, Y., & Kikuchi, M. (2017). A pilot study for robot appearance preferences among high-functioning individuals with autism spectrum disorder: Implications for therapeutic use. *PLoS One*, 12(10), e0186581. DOI: <https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0186581>
- Lampos, V., Mintz, J., & Qu, X. (2021). An artificial intelligence approach for selecting effective teacher communication strategies in autism education. *NPJ Science of Learning*, 6(1), 25. DOI: <https://www.doi.org/10.1038/s41539-021-00102-x>
- Leblanc, E., Washington, P., Varma, M., Dunlap, K., Penev, Y., Kline, A., & Wall, D. P. (2020). Feature replacement methods enable reliable home video analysis for machine learning detection of autism. *Scientific Reports*, 10(1), 21245. DOI: <https://www.doi.org/10.1038/s41598-020-76874-w>
- Lee, J. H., Lee, G. W., Bong, G., Yoo, H. J., & Kim, H. K. (2020). Deep-learning-based detection of infants with autism spectrum disorder using auto-encoder feature representation. *Sensors* (Basel), 20(23), 6762. DOI: <https://www.doi.org/10.3390/s20236762>
- Li, G., Zarei, M. A., Alibakhshi, G., & Labbafi, A. (2024). Teachers and educators' experiences and perceptions of artificial-powered interventions for autism groups. *BMC Psychology*, 12(1), 199. DOI: <https://www.doi.org/10.1186/s40359-024-01664-2>
- Li, Y., Mache, M. A., & Todd, T. A. (2020). Automated identification of postural control for children with autism spectrum disorder using a machine learning approach. *Journal of Biomechanics*, 113, 110073. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.110073>
- Liao, M., Duan, H., & Wang, G. (2022). Application of machine learning techniques to detect the children with

- autism spectrum disorder. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022, 9340027. DOI: <https://www.doi.org/10.1155/2022/9340027>
- Lim, Y., Partridge, K., Girdler, S., & Morris, S. L. (2017). Standing postural control in individuals with autism spectrum disorder: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 47, 2238–2253. DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s10803-017-3144-y>
- Lin, C.-S., Chang, S.-H., Liou, W.-Y., & Tsai, Y.-S. (2013). The development of a multimedia online language assessment tool for young children with autism. *Research in Developmental Disabilities*, 34(10), 3553–3565. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.ridd.2013.06.042>
- Maenner, M. J., Yeargin-Allsopp, M., Van Naarden Braun, K., Christensen, D. L., & Schieve, L. A. (2016). Development of a machine learning algorithm for the surveillance of autism spectrum disorder. *PLoS ONE*, 11(12), e0168224. DOI: <https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0168224>
- Marlow, N. M., Kramer, J. M., Kirby, A. V., & Jacobs, M. M. (2025). Protocol for socioecological study of autism, suicide risk, and mental health care: Integrating machine learning and community consultation for suicide prevention. *PLoS ONE*, 20(3), e0319396. DOI: <https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0319396>
- Mayor Torres, J. M., Medina-DeVilliers, S., Clarkson, T., Lerner, M. D., & Riccardi, G. (2023). Evaluation of interpretability for deep learning algorithms in EEG emotion recognition: A case study in autism. *Artificial Intelligence in Medicine*, 143, 102545. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102545>
- McGregor, C., von dem Hagen, E., Wallbridge, C., Dobbs, J., Svenson-Tree, C., & Jones, C. R. (2025). Supporting autistic children's participation in research studies: A mixed-methods study of familiarizing autistic children with a humanoid robot. *Autism Developmental Language Impairments*, 10, Article 23969415251332486. DOI: <https://www.doi.org/10.1177/23969415251332486>
- Milne, M., Raghavendra, P., Leibbrandt, R., & Powers, D. M. W. (2018). Personalisation and automation in a virtual conversation skills tutor for children with autism. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 12(3), 257–269. DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s12193-018-0272-4>
- Nagae, T., & Lee, J. (2022). Understanding emotions in children with developmental disabilities during robot therapy using EDA. *Sensors*, 22(14), 5116. DOI: <https://www.doi.org/10.3390/s22145116>
- Oliveira, J. S., Franco, F. O., Revers, M. C., Silva, A. F., Portolese, J., Brentani, H.,

- Machado-Lima, A., & Nunes, F. L. S. (2021). Computer-aided autism diagnosis based on visual attention models using eye tracking. *Scientific Reports*, 11(1), 10131. DOI: <https://www.doi.org/10.1038/s41598-021-89023-8>
- Palsbo, S. E., & Hood-Szivek, P. (2012). Effect of robotic-assisted three-dimensional repetitive motion to improve hand motor function and control in children with handwriting deficits: A nonrandomized phase 2 device trial. *American Journal of Occupational Therapy*, 66(6), 682–690. DOI: <https://www.doi.org/10.5014/ajot.2012.004556>
- Scassellati, B. (2007). How social robots will help us to diagnose, treat, and understand autism. In S. Thrun, R. Brooks, & H. Durrant-Whyte (Eds.), *Robotics research* (Vol. 28, pp. 455–463). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://www.doi.org/10.1007/978-3-540-48113-3_47
- Scassellati, B., Boccanfuso, L., Huang, C.-M., Mademtzi, M., Qin, M., Salomons, N., Ventola, P., & Shic, F. (2018). Improving social skills in children with ASD using a long-term, in-home social robot. *Science Robotics*, 3(21), eaat7544. DOI: <https://www.doi.org/10.1126/scirobotics.aat7544>
- Schadenberg, Reidsma, D., Heylen, D. K. J., & Evers, V. (2020). Differences in spontaneous interactions of autistic children in an interaction with an adult and humanoid robot. *Frontiers in Robotics and AI*, 7. DOI: <https://www.doi.org/10.3389/frobt.2020.00028>
- Schulte-Rüther, M., Kulvicius, T., Stroth, S., Wolff, N., Roessner, V., Marschik, P. B., Kamp-Becker, I., & Poustka, L. (2023). Using machine learning to improve diagnostic assessment of ASD in the light of specific differential and co-occurring diagnoses. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 64(1), 16–26. DOI: <https://www.doi.org/10.1111/jcpp.13650>
- Shamsuddin, S., Yussof, H., Ismail, L. I., Mohamed, S., Hanapiah, F. A., & Zahari, N. I. (2012). Initial response in HRI – A case study on evaluation of child with autism spectrum disorders interacting with a humanoid robot NAO. *Procedia Engineering*, 41, 1448–1455. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.334>
- Shiwa, T., Kanda, T., Imai, M., Ishiguro, H., & Hagita, N. (2008). How quickly should communication robots respond? In *Proceedings of the Third International Conference on Human Robot Interaction—HRI 2008*. Amsterdam, The Netherlands, 12–15 March 2008.
- So, W. C., Wong, M. K., Lam, W. Y., Cheng, C. H., Yang, J. H., Huang, Y., Ng, P., Wong, W. L., Ho, C. L., Yeung, K. L., & Lee, C. C. (2018). Robot-based intervention may reduce delay in the production of intransitive gestures in Chinese-speaking preschoolers with

- autism spectrum disorder. *Molecular Autism*, 9, 34. DOI: <https://www.doi.org/10.1186/s13229-018-0217-5>
- Solek, P., Nurfitri, E., Sahril, I., Prasetya, T., Rizqiamuti, A. F., Burhan, B., Rachmawati, I., Gamayani, U., Rusmil, K., Chandra, L. A., Afriandi, I., & Gunawan, K. (2025). The role of artificial intelligence for early diagnostic tools of autism spectrum disorder: A systematic review. *Turkish Archives of Pediatrics*, 60(2), 126–140. DOI: <https://www.doi.org/10.5152/TurkArchPediatri.2025.24183>
- Sophokleous, A., Christodoulou, P., Doitsidis, L., & Chatzichristofis, S. A. (2021). Computer vision meets educational robotics. *Electronics*, 10(6), 730. DOI: <https://www.doi.org/10.3390/electronics10060730>
- Supekar, K., Ryal, S., Yuan, R., Kumar, D., de Los Angeles, C., & Menon, V. (2022). Robust, generalizable, and interpretable artificial intelligence-derived brain fingerprints of autism and social communication symptom severity. *Biological Psychiatry*, 92(8), 643–653. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.biopsych.2022.02.005>
- Tang, H., Liang, J., Chai, K., Gu, H., Ye, W., Cao, P., Chen, S., & Shen, D. (2023). Artificial intelligence and bioinformatics analyze markers of children's transcriptional genome to predict autism spectrum disorder. *Frontiers in Neurology*, 14, 1203375. DOI: <https://www.doi.org/10.3389/fneur.2023.1203375>
- Tariq, Q., Fleming, S. L., Schwartz, J. N., Dunlap, K., Corbin, C., Washington, P., Kalantarian, H., Khan, N. Z., Darmstadt, G. L., & Wall, D. P. (2019). Detecting developmental delay and autism through machine learning models using home videos of Bangladeshi children: Development and validation study. *Journal of Medical Internet Research*, 21(4), e13822. DOI: <https://www.doi.org/10.2196/13822>
- Thabtah, F. (2019). Machine learning in autistic spectrum disorder behavioral research: A review and ways forward. *Informatics for Health and Social Care*, 44(3), 278–297. DOI: <https://www.doi.org/10.1080/17538157.2017.1399132>
- Thill, S., Pop, C. A., Belpaeme, T., Ziemke, T., & Vanderborght, B. (2013). Robot-assisted therapy for autism spectrum disorders with (partially) autonomous control: Challenges and outlook. *Paladyn*, 3(4), 209–217. DOI: <https://www.doi.org/10.2478/s13230-013-0107-7>
- Tuna, A. (2022). Inclusive education for young children with autism spectrum disorder: Use of humanoid robots and virtual agents to alleviate symptoms and improve skills, and a pilot study. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, 7(2), 274–282. DOI:

- <https://www.doi.org/10.53850/joltida.1071876>
- Turan, B., Algedik Demirayak, P., Yildirim Demirdogen, E., Gulsen, M., Cubukcu, H. C., Guler, M., Alarslan, H., Yilmaz, A. E., & Dursun, O. B. (2023). Toward the detection of reduced emotion expression intensity: An autism sibling study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 45(3), 219–229. DOI: <https://www.doi.org/10.1080/13803395.2023.2225234>
- Uddin, M., Wang, Y., & Woodbury-Smith, M. (2019). Artificial intelligence for precision medicine in neurodevelopmental disorders. *NPJ Digital Medicine*, 2, 112. DOI: <https://www.doi.org/10.1038/s41746-019-0191-0>
- Wall, D. P., Kosmicki, J., Deluca, T. F., Harstad, E., & Fusaro, V. A. (2012). Use of machine learning to shorten observation-based screening and diagnosis of autism. *Translational Psychiatry*, 2(4), e100. DOI: <https://www.doi.org/10.1038/tp.2012.10>
- Wan, G., Kong, X., Sun, B., Yu, S., Tu, Y., Park, J., Lang, C., Koh, M., Wei, Z., Feng, Z., Lin, Y., & Kong, J. (2019). Applying eye tracking to identify autism spectrum disorder in children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 49(1), 209–215. DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s10803-018-3690-y>
- Watanabe, T., Nishida, K., & Kumazaki, H. (2025). Initial study of verbal and nonverbal communication training through the collaborative operation of a humanoid robot for individuals with autism spectrum disorder. *Asian Journal of Psychiatry*, 106, 104423. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.ajp.2025.104423>
- Wolff, N., Kohls, G., Mack, J. T., Vahid, A., Elster, E. M., Stroth, S., Poustka, L., Kuepper, C., Roepke, S., Kamp-Becker, I., & Roessner, V. (2022). A data driven machine learning approach to differentiate between autism spectrum disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder based on the best-practice diagnostic instruments for autism. *Scientific Reports*, 12(1), 18744. DOI: <https://www.doi.org/10.1038/s41598-022-21719-x>
- Wu, X., Deng, H., Jian, S., Chen, H., Li, Q., Gong, R., & Wu, J. (2023). Global trends and hotspots in the digital therapeutics of autism spectrum disorders: A bibliometric analysis from 2002 to 2022. *Frontiers in Psychiatry*, 14, 1126404. DOI: <https://www.doi.org/10.3389/fpsyt.2023.1126404>
- Xipolitopoulos, C., Nikiforos, M. N., & Exarchos, T. (2021). Machine learning for autistic spectrum disorder risk screening. In *Advances in Experimental Medicine and Biology* (Vol. 1338, pp. 81–87). Springer. DOI: https://www.doi.org/10.1007/978-3-030-78775-2_10
- Zeidan, J., Fombonne, E., Scorch, J., Ibrahim, A., Durkin, M. S., Saxena, S.,

- Yusuf, A., Shih, A., & Elsabbagh, M. (2022). Global prevalence of autism: A systematic review update. *Autism Research*, 15(5), 778–790. DOI: <https://www.doi.org/10.1002/aur.2696>
- Zhang, S. (2025). AI-assisted early screening, diagnosis, and intervention for autism in young children. *Frontiers in Psychiatry*, 16, 1513809. DOI: <https://www.doi.org/10.3389/fpsy.2025.1513809>
- Zhang, Y., Song, W., Tan, Z., Zhu, H., Wang, Y., Lam, C. M., Weng, Y., Hoi, S. P., Lu, H., Chan, B. S. M., Chen, J., & Yi, L. (2019). Could social robots facilitate children with autism spectrum disorders in learning distrust and deception? *Computers in Human Behavior*, 98, 140–149. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.chb.2019.04.008>
- Zorcec, T., Ilijoski, B., Simlesa, S., Ackovska, N., Rosandic, M., Popcevic, K., Robins, B., Nitzan, N., Cappel, D., & Blum, R. (2021). Enriching human-robot interaction with mobile app in interventions of children with autism spectrum disorder. *Prilozi (Makedonska Akademija na Naukite i Umetnostite Oddel Medicinski Nauki)*, 42(2), 51–59. DOI: <https://www.doi.org/10.2478/prilozi-2021-0021>