

Forradalmi újítások a szemészetben: a robotok növekvő szerepe a mikrosebészeti technikában

Turgut, Ferhat dr.^{1, 2, 3, 5} ■ Pálya Fanni dr.⁴ ■ Saad, Amr dr.^{2, 3}
Santos, Rui dr.^{2, 3} ■ Spitznagel, Tahm dr.^{2, 3} ■ Somfai Gábor Márk dr.^{2, 3, 5} 
Nagy Zoltán Zsolt dr.*⁵ ■ Becker, Matthias Dieter dr.*^{2, 3, 6}

¹Gutblick AG, Pfäffikon, Svájc

²Szemészeti Klinika, Stadtspital Zürich, Zürich, Svájc

³Spross Research Institute, Zürich, Svájc

⁴Észak-pesti Centrumkórház – Honvéd Kórház, Szemészeti Osztály, Budapest

⁵Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Szemészeti Klinika, Budapest

⁶Heidelbergeri Egyetem, Orvosi Kar, Szemészeti Klinika, Heidelberg, Németország

Az elmúlt évtizedek során a szemészeti mikrosebészet figyelemre méltó átalakuláson ment keresztül. A sebészeti pontosság növekszik, az anatómiai és funkcionális eredmények javulnak. A robotizált rendszerek integrálása a mikrosebészeti innováció határait feszegeti, fokozott stabilitást, remegéscsökkentést és szubmilliméteres irányíthatóságot kínálva a szemészeti beavatkozások során. Összefoglaló tanulmányunkban a robotasszisztált sebészeti technikák jelenlegi helyzetét tekintjük át a szemészetben, különös tekintettel a legfrissebb fejlesztésekre, a klinikai alkalmazásra és a fejlesztés jövőbeli lehetőségeire. A robotizált rendszereket három fő típusba soroljuk és elemezzük: kézi segédeszközök, közös manipulációs rendszerek, valamint telemanipulációs platformok. Megvizsgáljuk és bemutatjuk ezek technikai jellemzőit és alkalmazási területeit. Bár több ígéretes prototípus már eljutott a korai klinikai vizsgálatok szakaszába, a technológiák széles körű elterjedését korlátozzák a szigorú engedélyeztetési szabályok, a magas költségek és a nagy esetszámú tanulmányok hiánya. Különösen hiányoznak a prospektív klinikai tanulmányok, amelyek a robotasszisztált beavatkozásoknak a hagyományos sebészeti beavatkozásokhoz viszonyított, ún. „non-inferiority” voltát igazolnák. E korlátok ellenére a szemészeti robotasszisztált sebészet az utóbbi időben gyorsan fejlődik, köszönhetően az interdiszciplináris innovációnak, a növekvő befektetéseknek és az automatizált sebészet iránti fokozódó érdeklődésnek. A képalkotás integrációjával, a mesterséges intelligencia és a precíziós vezérlés folyamatos fejlődésével a robotizált asszisztencia jelentős potenciállal bír a szemészeti mikrosebészet területén is. A további kutatás és együttműködés kulcsfontosságú lesz a technológia teljes klinikai hasznosításához – egy biztonságosabb, reprodukálhatóbb és rendkívül precíz szemsebészeti korszak kezdetét hozva el.

Orv Hetil. 2025; 166(36): 1403–1411.

Kulcsszavak: robotizált sebészeti eljárások, szemészeti sebészeti beavatkozások, mikrosebészet, sebészeti eszközök, mesterséges intelligencia

Revolutionary innovations in ophthalmology: the enhanced role of robots in microsurgical techniques

Ophthalmic microsurgery has undergone a remarkable transformation over recent decades, marked by increasing surgical precision and significantly improved anatomical and functional outcomes. The integration of robotic systems into this field represents a new frontier in microsurgical innovation, offering enhanced stability, tremor reduction, and sub-millimeter control during complex intraocular procedures. In this narrative review, we explore the current landscape of robotic-assisted surgical techniques in ophthalmology, with a focus on recent advancements, clinical implementation, and future directions. We categorize and analyze the three main types of robotic systems – handheld assistive devices, co-manipulation systems, and telemanipulation platforms – and examine their respective technical features and applications. While several promising prototypes have progressed to early clinical trials, the widespread adoption of these technologies remains limited by regulatory hurdles, high costs, and a lack of large-scale outcome data. In particular, standardized measures for non-inferiority compared to conventional surgery are still missing.

*A két szerző egyenlő arányban osztozik az utolsó szerzőségeen.

Nonetheless, the field is advancing rapidly, driven by interdisciplinary innovation, increased investment, and growing interest in surgical automation. With ongoing improvements in imaging integration, artificial intelligence, and precision control, robotic assistance holds great potential to reshape ophthalmic surgery. Continued research and collaboration will be key to unlocking its full clinical utility – ushering in a new era of safer, more reproducible, and highly precise eye surgery.

Keywords: robotic surgical procedures, ophthalmologic surgical procedures, microsurgery, surgical instruments, artificial intelligence

Turgut, F, Pálya F, Saad, A, Santos, R, Spitznagel, T, Somfai GM, Nagy ZZs, Becker, MD. [Revolutionary innovations in ophthalmology: the enhanced role of robots in microsurgical techniques]. *Orv Hetil.* 2025; 166(36): 1403–1411.

(Beérkezett: 2025. július 15.; elfogadva: 2025. július 21.)

Rövidítések

CE = (Conformité Européenne) európai megfelelőség; FDA = (U.S. Food and Drug Administration) az Amerikai Egyesült Államok Élelmiszer-biztonsági és Gyógyszerészeti Hivatala; ILM = (internal limiting membrane) belső határmembrán; IRISS = (Intraocular Robotic Interventional Surgical System) Intraocularis Robotsebészeti Intervenció Rendszer; OCT = (optical coherence tomography) optikaikoherencia-tomográfia; PSS = (Preceyes Surgical System) Preceyes Sebészeti Rendszer; SHER = (Steady-Hand Eye Robot) közös vezérlésű szemsebészeti rendszer

A robotizált sebészeti rendszerek mára a modern orvostudomány megkerülhetetlen szereplőivé váltak. Javítják a sebészi pontosságot, csökkentik a beavatkozások invazivitását, és ezáltal javítják a műtéti eredményeket számos orvosi területen. A fejlesztések közül kiemelkedik az Intuitive Surgical, Inc. által fejlesztett da Vinci sebészeti rendszer, amely páratlan sikert ért el: 2023-ra világszerte több mint 8500 egységet telepítettek [1]. Ezt a telemanipuláción és mozgásarányosítási technológián alapuló rendszert egyedül 2023-ban közel 2 286 000 műtétnél használták, elsősorban nőgyógyászati, urológiai és általános sebészeti beavatkozások során. E lenyűgöző adatok jól tükrözik a rendszer előnyeit: kiemelkedő pontosság, az emberi kézremegésből adódó hibák csökkentése, javuló sebészi ergonómia, valamint minimálisan invazív technikák alkalmazása, amelyek gyorsabb felépülést, jobb anatómiai-funkcionális eredményeket és rövidebb kórházi tartózkodást tesznek lehetővé. Bár a da Vinci rendszer képviseli az iparági etalont, új technológiák – például a Telelap Alf-X és a Revo-I rendszer – is közelednek a klinikai alkalmazhatóság felé, és új korszakot jeleznek a robotasszisztált sebészetben [2]. A da Vinci rendszert a nagy műszerméretei és a mikrosebészeti alkalmazhatóság hiánya miatt a szemsebészetben egyelőre nem vezették be.

A szemészeti műtétek – különösen a retinát érintő beavatkozások – nagy kihívást jelentenek az operatőrnek, mivel rendkívüli pontosságra van szükség szűk munkaterületen belül. A hibahatár csupán néhány mikrométer, és

akár a legkisebb kézremegés súlyos következményekkel járhat [3]. Emellett az emberi mélységészlelés korlátai is nehezítik a manipulációt és az eszközök stabilizálását a hosszabb műtétek során. Ezek a nehézségek fokozottan vannak jelen szürkehályog- és vitreoretinalis műtétek során, amelyeknél az érzékeny szövetek precíz manipulációja kulcsfontosságú.

A robotika megjelenése a szemészetben a fejlett szenzorok, aktuátorok, valós idejű számítási rendszerek és nagy felbontású optikai eszközök technológiájának bevonásával átalakítja a mikrosebészeti beavatkozásokat [4]. Ezek a fejlesztések javítják a sebész kezűgyességét és irányítási képességét, lehetővé téve korábban kivitelezhetetlennek tartott beavatkozásokat, és egyben a sebészeti automatizálás alapjait is megteremtik [5, 6]. Mindezen lehetőségek ellenére a robotizált rendszerek elterjedése a szemészetben lassabban halad, mint más sebészeti szakterületeken.

Ez az összefoglaló a robotasszisztált szemészeti mikrosebészet legújabb fejlesztéseit tekinti át, kitérve a modern szemsebészeti gyakorlat kihívásaira. Munkánkban bemutatjuk a jelenleg kutatási és klinikai környezetben világszerte alkalmazott szemészeti robotizált rendszereket, és kitekintést adunk a jövőbeli lehetőségekbe ezek alkalmazását illetően.

A jelenleg használt robotizált eszközök áttekintése

A robotizált szemsebészet területe az elmúlt években jelentős fejlődésen ment keresztül. Számos innovatív rendszert fejlesztettek a mikrosebészeti beavatkozások pontosságának, stabilitásának és biztonságosságának növelésére. A szemsebészet összetettsége, különösen a szem szűk tereiben végzett műtétek miatt fokozottan érvényesülnek a robotika előnyei, mint például a remegés kiszűrése, a mozgások arányosítása és az erősített vizualizáció.

A robotizált rendszerek sokféleségének átláthatósága érdekében osztályozásuk a műtét során alkalmazott emberi irányítás és robotizált segítségnyújtás mértéke alap-

ján történik [7]. Ez a kategorizálás segít megkülönböztetni a rendszereket automatizáltsági szintjük, a sebésszel való interakció módja és a műtéti munkafolyamatra gyakorolt hatásuk szerint. Négy, alapvetően eltérő működési módot különböztetünk meg:

Kézi műszerek: A sebész kezének meghosszabbítása-ként működnek, elsődleges céljuk a fiziológiás kézremegés csökkentése és a finommotoros irányítás javítása. Lehetővé teszik a műszerek közvetlen manuális kezelését.

Közös vezérlésű rendszerek (komanipuláció): A sebész és a robot együttesen irányítja az eszközt. Valós idejű remegéscsillapításra képesek, ezzel biztosítva a mozgásstabilizálást, megtartva a megszokott sebészi érzetet.

Telemanipulációs rendszerek: A sebész egy távoli vezérlőkonzolon keresztül irányítja a műtétet. A kézmozdulatokat precízen, arányosan kicsinyített robotmozgásokként hajtja végre a rendszer a szemén belül. Ez a típusú robotasszisztencia maximális pontosságot nyújt, és használatával teljesen kiiktatható a kézremegés.

Mágnesesen irányított mikrorobotok: Külső mágneses mezők segítségével navigált apró robotizált eszközök a szemén belül lehetővé tesznek olyan minimálisan invazív beavatkozásokat, amelyek hagyományos sebészeti eszközökkel nem lennének kivitelezhetők.

Ezzel az osztályozási módszerrel a robotizált rendszerek a sebész szabadkézi tevékenységével való együttműködés, az automatizáltság szintje, valamint az irányítás

átruházásának mértéke alapján rendszerezhetők. Minden működési módnak vannak előnyei és korlátai, fejlesztésük formálja a robotizált szemsebészet jövőképét. Az 1. táblázatban részletesen összehasonlítjuk a legfontosabb robotizált rendszereket, feltüntetjük a robotokat fejlesztő intézményeket, elsődleges alkalmazási területeiket és technikai előnyeiket, szerepüket a robotika fejlődésében.

Kézi műszerek

A robotizált kézi műszerek a fiziológiás remegés kiszűrésében és az erőérzékelésben segítenek, a sebészi munkafolyamatot csak minimálisan befolyásolják. Ezek az eszközök az operátor kezének meghosszabbításaként működnek, az akaratlan mozgások csökkentésével növelik a precizitást [8].

Micron (Carnegie Mellon Egyetem)

A MICRON, amelyet a Carnegie Mellon Egyetem és a Johns Hopkins Egyetem közösen fejlesztett, egy robotizált kézi műszer. Ez a rendszer aktív stabilizációs mechanizmusok segítségével csökkenti a fiziológiás remegést. A MICRON egy retinavéna-kanülálással foglalkozó preklinikai vizsgálatban 52%-kal csökkentette az eszköz

1. táblázat | A jelenleg ismert szemészeti robotok összehasonlítása

A robot neve	Intézmény/Cég	Típus	Elsődleges felhasználási terület	Előnyök	Kihívások
Micron	Carnegie Mellon & Johns Hopkins	Kézi műszer	Tremor csökkentése mikrosebészeti műtétek során	Tremorcsökkentés, jó irányíthatóság, hordozható	Klinikai validációra vár
Mynutia	Catholic University of Leuven	Komanipuláció	A retinavéna kanülálása	Nagyfokú stabilitás, precizitás	Korlátozott kereskedelmi elérhetőség
Steady-Hand Eye Robot	Johns Hopkins University	Komanipuláció	Az epiretinalis membrán eltávolítása, stabilitásjavítás	A műtét kevésbé fárasztó a sebész számára, növeli a precizitást	Még kutatási fázisban
Preceyes Surgical System	Preceyes B.V.	Telemanipuláció	Retinaműtétek (subretinalis injekciók, membráneltávolítás, retinavéna-kanülálás)	Kiemelkedő precizitás, remegésmentes mozgás, CE-tanúsítvány	Korlátozott elérhetőség a klinikai gyakorlatban
ORYOM	ForSight Robotics	Telemanipuláció	Szürkehályog-műtétek	–	Fejlesztés alatt
LUCA	AcuSurgical	Telemanipuláció	Különféle szemműtétek	Jobb irányíthatóság és nagyobb precizitás	Korlátozott mennyiségű tanulmány áll rendelkezésre
Intraocular Robotic Interventional Surgical System	University of California, Los Angeles (UCLA)	Telemanipuláció	Elülső és hátsó szegmentumot érintő műtétek	Nagyfokú precizitás összetett műtétek során	Korai kutatási szakaszban
Ophthorobotics	Ophthorobotics	Automata injekciós rendszer	Automata intraocularis injekciók	Automata injekcióbeadás követéssel és dokumentációval	Még nem érhető el kereskedelmi forgalomban
Eye Explorer	Tokyo Institute of Technology	Robotizált endoszkóptartó	A vizualizáció javítása szemműtétek során	Kéz nélküli endoszkóptartás, jobb vizualizáció	További validáció szükséges, korlátozott elterjedés

CE = európai megfelelőség

pozíciós hibáinak előfordulását, ezzel javítva a posztoperatív eredményeket [9].

A MICRON rendszer legújabb fejlesztései közé tartozik az erőérzékelés integrálása, amely haptikus visszajelzést biztosít a sebészek számára a finom mozdulatok végrehajtásakor. Ezek az újítások kulcsfontosságúak voltak a sikerességi arány növelésében a preklinikai modellekben, különösen a nagy precizitást igénylő feladatoknál, amilyen például a retinavéna kanulálása [10]. A rendszer képvezérelt keretrendszert is tartalmaz, amely valós idejű visszajelzést használ optikaikoherencia-tomográfia (OCT) alapján, javítva ezzel a térbeli tájékozódást és a mélységérzékelést a műtét során [11].

A MICRON ergonomikus kialakítása nem csak technikai előnyöket kínál, alkalmazásával a műtét kevésbé kimerítő a sebész számára – ez különösen előnyös lehet a hosszabb beavatkozásoknál, például az epiretinalis membrán eltávolításakor, amelynél kulcsfontosságú a hosszú ideig fenntartott nagyfokú precizitás [12]. Bár a klinikai validáció még folyamatban van, az előzetes eredmények azt sugallják, hogy a MICRON forradalmasíthatja a szemészeti mikrosebészetet, javítva a posztoperatív eredményeket és csökkentve a szövődmények előfordulási gyakoriságát [13].

Több tanulmányban vizsgálták a MICRON alkalmazhatóságát különböző műtéteknél, beleértve a vitreoretinalis műtéteket és az elülső szegmens beavatkozásait is. A valós idejű mozgáskkalázás hozzáadásával nagyfokú precizitást értek el sertésszemmodelleken végzett vizsgálatok során [14].

Közös vezérlésű (komanipulációs) eszközök

A közös vezérlés, más néven „kéz a kézben” (angolul „hand in hand”) módszer egy robotizált rendszer és egy sebész egyidejű irányítását jelenti. Ez a módszer csökkenti a mozgások amplitúdóját, ezáltal mérsékli a remegést, miközben a sebész fogásától függetlenül fenntart egy stabil pozíciót. Használatával kiterjeszthető a sebészileg elérhető terület nagysága. Azáltal, hogy minimalizálja a remegés okozta eszközvég-pozicionálási hibákat, a közös vezérlés lehetővé teszi olyan mikrosebészeti beavatkozások elvégzését, amelyek robotizált vezérlés nélkül nehezebben lennének kivitelezhetők. Hasznos lehet például a fentebb említett retinavéna-kanulálás során, hozzájárulva a műszer stabilizálásához és a remegés csillapításához, lehetővé téve a precíz gyógyszerinjekció beadását. Alkalmazása során csökkenthető a sebész kar- és kézfáradása azáltal, hogy a kézi műszert rögzített pozícióban tartja.

Steady-Hand Eye Robot (Johns Hopkins Egyetem)

A Steady-Hand Eye Robot (SHER), amelyet a Johns Hopkins Egyetemen fejlesztettek ki, közös vezérlésű szemsebészeti rendszer. Az eszköz ötvözi a sebész moz-

gását a robotikus stabilizációval, jelentősen csökkentve az élettani remegéseket és növelve a precizitást a mikrosebészeti eljárások során. Különösen retinavéna-kanulálás során volt kimutatható a megnövekedett stabilitás, amely a iatrogén szövődmények arányának csökkenéséhez vezetett [15].

A legújabb szakirodalmi áttekintésekben kiemelt technológiai előrelépések közé tartoznak a biztonsági protokollok fejlesztései, amelyek elősegítik az eszközhasználatból eredő traumák minimalizálását. További fejlesztés az intelligens algoritmusok integrációja, amelyek lehetővé teszik a valós idejű sebészi kihívásokhoz való adaptív alkalmazkodást [4]. Ezek a fejlesztések jelentős mértékben csökkenthetik az eljárásokhoz kapcsolódó szövődmények előfordulását, továbbá javítják a klinikai kimenetelt olyan, nagy precizitást igénylő beavatkozások esetén, mint a retinavéna kanulálása vagy a subretinalis injekciók beadása.

A rendszer kialakítása haptikus visszacsatolást alkalmaz, amely fokozza a sebész manuális kontrollját, lehetővé téve a finom szövetek nagy pontosságú manipulációját. *Uneri és mtsai* eredményei alapján ez a megközelítés jelentősen csökkenti az olyan komplex műtéti technikák elsajátításához szükséges tanulási időt, mint például a membrán 'peeling' [16]. A kézi műszer stabilizációja számottevően csökkenti a sebészi fáradtságot, ami kiemelt jelentőséggel bírhat az elhúzódó operációk során [17].

A SHER rendszer egyik kulcsfontosságú jellemzője a fejlett képalkotó technológiákkal – különösen az OCT-vel – való integráció, amely valós idejű mélységérzékelést és térbeli tájékozódást tesz lehetővé. *Ebrahimi és mtsai* vizsgálata szerint ez az integráció kritikus szerepet játszik a szubmilliméteres pontosságot igénylő beavatkozások, például az epiretinalis membrán diszekciója során [18].

További vizsgálatok a SHER rendszer génterápiás alkalmazhatóságát is elemezték, különös tekintettel azokra az eljárásokra, amelyek precíz és elnyújtott injekcióbeadást igényelnek. Az eredmények alátámasztják a rendszer hatékonyságát a sebészi hibák minimalizálásában, valamint a posztoperatív eredmények javításában [19]. Kísérleti tanulmányok rávilágítottak, hogy a rendszer a szemészeti beavatkozások során széles körben alkalmazható, hangsúlyozva a sebészi standardizálhatóságban és reprodukálhatóságban rejlő előnyöket [20].

A SHER folyamatos technológiai fejlődésen megy keresztül, mint például a mesterséges intelligencián alapuló mozgáskkalázás és a kiterjesztett valóságot alkalmazó interfészek alkalmazása. Ezen innovációk célja a sebészi precizitás további növelése, valamint a robotasszisztált rendszer felhasználóbarátabbá tétele [21, 22].

Mynutia Robotikai Rendszer (KU Leuven)

A Mynutia Robotikai Rendszert a Micro- and Precision Engineering Group at KU Leuven fejlesztette ki, kifejezetten a vitreoretinalis mikrosebészet során végzendő,

rendkívüli precizitást igénylő feladatok támogatására. A platform komanipulált architektúráján alapul, és párhuzamos karú szerkezeti felépítést alkalmaz mechanikus távoli forgásponttal (ún. „remote center of motion”), segítve a műszerek stabilizálását, illetve hatékonyan csilapítva az operátor fiziológiás kézremegését.

Egy preklinikai, *in vivo* vizsgálat során, amelyet a retinavéna-elzáródás sertésszemmodelljén végeztek, a rendszer 18 esetből 15-ben sikeresen hajtott végre a retinavéna kanülálását. A kanül stabil intraluminalis pozícióját több mint három percen keresztül fenn tudták tartani, technikai meghibásodás nélkül [23].

A kedvező előzetes eredmények alapján került sor az első, humán alanyokon végzett klinikai vizsgálatra a Leuveni Egyetemi Kórházban, amelynek célja a robotasszisztált retinavéna-kanülálás klinikai kivitelezhetőségének értékelése volt. Négy, retinavénás ágelzáródásban szenvedő beteg részesült célzott okriplazmin-injekciós kezelésben. A robotikai rendszer lehetővé tette a kanül pozíciójának stabil fenntartását, valamint a hatóanyag precíz, akár tíz percen keresztül történő vénába juttatását, mikroszkópos vizualizáció és intraocularis megvilágítás mellett [24].

A beavatkozások részletes analízise megerősítette, hogy a rendszer által biztosított mozgásstabilitás és nagyfokú pontosság lehetővé tette a hatóanyag lassú és egyenletes adagolását közvetlenül a retinavénákba – ami a kézremegésből adódó korlátok miatt manuális eszközökkel nem lenne elérhető [25].

A Mynutia platform továbbra is aktív fejlesztés alatt áll, és a klinikai alkalmazhatóság irányába halad. A jelenlegi fejlesztési irányvonalak az ergonómia javítására, a haptikus interfész finomhangolására, valamint a rendszer standard sebészeti munkafolyamatokba történő zökkenőmentes integrációjára koncentrálnak [26].

Telemanipulációs rendszerek

A telemanipulációs megközelítés – más néven *leader-follower* (vezető-követő) rendszer – különálló robotikus manipulátort alkalmaz, amelyhez a sebészeti eszközöket rögzítik, és amelyet a sebész mozgásvezérlő távirányítóval irányít. Ezt a vezérlőt közvetlenül a műtéti terület mellett vagy egy attól távolabb eső konzolon lehet elhelyezni. Egy számítógépes rendszer a sebész utasításait a robotkar számára értelmezhető mozgásparancsokká alakítja át.

A telemanipulációs robotok lehetőséget biztosítanak a kézremegés kiszűrésére, valamint arra, hogy az eszközöket előre meghatározott pozícióban, hosszabb időtartamon keresztül stabilan tartsák. A rendszer kulcsfontosságú előnyei közé tartozik a mozgás skálázhatósága, valamint a műtéti feladatok részleges automatizálása. Ezek a tulajdonságok alkalmassá teszik a telemanipulációs rendszereket különféle statikus és dinamikus sebészeti beavatkozások támogatására.

Preceyes Sebészeti Rendszer

A Preceyes Surgical System (PSS) nagy precizitású intraocularis beavatkozásokra tervezett robotikai platform, amelyet a hollandiai Preceyes B. V. fejlesztett ki Eindhovenben, és amelyet a Carl Zeiss Meditec 2022-ben akvizitált. A rendszer, amely már rendelkezik CE-tanúsítvánnyal, olyan eljárások támogatására készült, mint a retinavéna kanülálása és a subretinalis injekciók beadása. A sebész egy 'joystick' (botkormány) segítségével irányítja az eszközt. A rendszer számottevően csökkenti a retinalis traumák előfordulási gyakoriságát, és növeli a műtéti precizitást a hagyományos technikákhoz képest. E tulajdonságok a szemsebészet területén jelentős technológiai előrelépést jelentenek.

Alapvető innovációk

Rezgésmentes mozgás: A PSS rezgéscsillapító mechanizmust alkalmaz, amely kiszűri a kézremegést, ezáltal lehetővé teszi a szubmikrométeres pontosságot. Ez a funkció különösen fontos olyan beavatkozások során, mint a subretinalis injekciók beadása és a retinavéna-kanülálás [27].

Többkaros konfiguráció: A rendszer többkaros konfigurációt is támogat, amely lehetővé teszi több műszer egyidejű használatát. Ez előnyt jelent bimanuális (kétkézes) műtétek esetén, összetett retinalis eljárások során, mint a membrán peeling vagy a subretinalis injekciók beadása [28].

Biztonsági funkciók: Virtuális határoló zónák akadályozzák meg a műszerek túlzott elmozdulását, csökkentve ezzel a retinasérülés kockázatát komplex beavatkozások során [29].

Alkalmazási területek

Subretinalis injekciók: A PSS lehetővé teszi terápiás anyagok rendkívül precíz, célzott bejuttatását a retina alá, meghaladva a manuális technikák pontosságát. Ez különösen fontos a retina betegségeinek új típusú, célzott terápiáiban [5, 30].

Az epiretinalis membrán eltávolítása: A robotasszisztált műtéti mozgásvezérlés növeli a precizitást és a mozgás stabilitását, ami potenciálisan csökkenti a szövetmanipuláció mértékét és a retinasérülés kockázatát [28, 31, 32].

A retinavéna kanülálása: A PSS lehetővé teszi a műszerek stabil pozícióban tartását hosszabb időn keresztül, ezáltal elősegítve a precíz gyógyszerinjekciót vénaelzáródás esetén, továbbá csökkenti a szöveti sérülés gyakoriságát és a műtéti időt [33, 34].

LUCA sebészeti rendszer

A LUCA robotikai rendszert az AcuSurgical (Montpellier, Franciaország) vállalat fejlesztette ki a vitreoretinalis sebészeti beavatkozások precizitásának és biztonságosságának növelésére. Bár hivatalos klinikai vizsgálati ered-

ményeket még nem publikáltak, a rendszer első klinikai alkalmazásának adatai arra utalnak, hogy jelentős potenciállal rendelkezik a sebészi kimenetek javításában.

A közelmúltban lezajlott első klinikai esetek során a LUCA rendszer sikeresen vett részt vitreoretinalis műtétek kivitelezésében súlyos mellékhatások nélkül [35, 36]. A sebészek beszámolóí alapján számottevő javulás tapasztalható az irányíthatóságban és a vizualizációban, különösen az érzékeny retinalis szövetekkel való manipuláció során [35]. Ez a fejlesztés fontos mérföldkő lehet a szemészeti robotika fejlődésében.

A rendszer kialakítása lehetővé teszi a zökkenőmentes integrációt a meglévő sebészeti munkafolyamatokba, intuitív vezérlőfelületet kínál, ezenfelül a fejlett képalkotó technológiák javítják a vizualizáció minőségét. Ez különösen az olyan precíziós eljárások hatékony kivitelezésekor előnyös, mint az epiretinalis membrán levonása vagy a subretinalis injekciók beadása [37].

A fejlesztés következő szakaszában a LUCA célja félautomatikus funkciók és kibővített képalkotó modalitások integrálása. E technológiai újítások várhatóan hozzájárulnak a rendszer alkalmazási spektrumának szélesítéséhez, és megalapozhatják szerepét a jövőbeli szemsebészeti beavatkozások során [38].

Intraocular Robotic Interventional Surgical System

Az Intraocular Robotic Interventional Surgical System (IRISS), amelyet a Kaliforniai Egyetem, Los Angeles (UCLA) kutatói fejlesztettek ki, a robotikát ötvözi olyan képalkotó technológiákkal, mint az intraoperatív OCT. Elülső és hátsó szegmentumot érintő műtétek során is alkalmazható. A rendszer két robotikus kart irányít, ez lehetővé teszi bimanuális beavatkozások elvégzését, ami előnyös lehet például a capsulorhexis során [39].

Az IRISS kiterjesztettvalóság-interfészeket és valós idejű OCT-képalkotást integrál a vizualizáció és a precizitás javítására, komplex sebészi manőverek közben. Az elsődleges értékelések alapján a rendszer jól alkalmazható a szürkehályog-műtét lépéseinél [40]. A félautomata funkciók következetes támogatást nyújtanak a sebészek számára összetett beavatkozások során [41].

A kutatások az IRISS-be integrálható mesterséges intelligencia lehetőségével is foglalkoztak, amely tovább növelheti a precizitást, és segítheti a döntéshozatalt komplex szemészeti eseteknél [40]. A preklinikai vizsgálatok azt jelzik, hogy a rendszer javíthatja az elülső és hátsó szegmentum sebészeti eredményeit, de további kutatások szükségesek klinikai hasznosságának megerősítésére [42].

Mágneses vezérlésű mikrorobotok

A mágneses vezérlésű mikrorobotok minimálisan invazív alternatívát kínálnak intraocularis műtétekhez. Ezek a rendszerek lehetővé teszik a pontos finommozgásokat

anélkül, hogy fizikailag kapcsolódnának a szemhez. Mágneses vezérlésű példák a Horizon Surgical Systems és az IRISS, amelyek preklinikai vizsgálatok során hatékonyan bizonyultak.

A legújabb kutatások a retinaműtétekre tervezett mikrorobotrendszerek fejlődését hangsúlyozzák. Ezek a robotok külső mágneses mezőket használnak az intraocularis eszközök pontos irányításához, különösen alkalmasak retinavéna-kanülálásra és gyógyszeradagolásra [43, 44]. A hagyományos eszközökkel ellentétben a mágneses vezérlésű mikrorobotok minimális fizikai kontaktust igényelnek a szem szöveivel, ami csökkenti a szöveti trauma mértékét, és növeli a beavatkozás biztonságosságát. Preklinikai vizsgálatok azt mutatják, hogy ezek a rendszerek képesek átlépni a manuális korlátokat szemészeti műtétek során, és a klinikai alkalmazhatóság irányába haladnak [45].

További fejlesztések

Ophthalmorobotics

Az Ophthalmorobotics egy svájci székhelyű vállalat, amely továbbfejlesztette a mágneses vezérlésű mikrorobotikai koncepciót egy precíz nyomkövető rendszerrel, íriszszkenneléssel, valamint automatikus videódokumentációval kiegészítve. Céljuk egy teljesen automatizált intra-vitreális injekciós rendszer kifejlesztése, amely nagyfokú precizitást biztosít, és csökkenti az eljárás szövődémeinek kockázatát. Az előzetes eredmények biztatóak, de klinikai vizsgálatok még nem történtek ezzel a rendszerrel.

Következtetés

A robotizált rendszerek integrálása a retinalis mikrosebészetbe számos előnnyel járhat, beleértve a megnövekedett precizitást, stabilitást, valamint az automatizáció lehetőségét. Egy retinalis mikrosebészeti robotasszisztens esetében alapvető követelmény az eszközök hordozhatósága, a kis tömeg, a könnyű rögzíthetőség a műtőasztalhoz, valamint a kompatibilitás a jelenleg elérhető nagy felbontású vizualizációs rendszerekkel. Emellett elengedhetetlen, hogy a rendszer biztonságos eszközmanipulációt biztosítson, és megfelelően reagáljon a páciens akaratlan mozgásaira.

A robotasszisztencia optimalizálja és standardizálja a meglévő sebészeti eljárásokat, csökkenti a komplikációk előfordulási gyakoriságát, valamint lerövidíti a sebészek tanulási görbéjét. A valós idejű adatok és elemzésük növeli az eljárás pontosságát, míg a szimulátorok kiegyenlítik a különbséget a tapasztalt és a kezdő sebészek között. A mikrosebészet automatizálása valószínűleg a jövő egyik iránya lesz, ahol a robotok rutinszerű műtéti lépéseket hajtanak végre, míg a sebészi szakértelemre komplex feladatok esetén lesz szükség.

Az olyan fejlett technológiák, mint az OCT és az erőmérés, javítják a sebészek érzékelését és pontosságát.

Ezek a rendszerek nagy teljesítményű vezérlő számítógépeket és kalibrációs módszereket tartalmaznak, amelyek biztosítják az anatómiailag biztonságos mozgásokat az eljárások során. A robotika által nyújtott precizitás lehetővé teszi olyan új, nagy pontosságú beavatkozások elvégzését, amelyek manuálisan nem kivitelezhetők. Ilyen például a retinavéna-elzáródások kezelése és a génterápia, amelyek lassú, kontrollált hatóanyag-bevitelt igényelnek az érintett szemterületeken.

Robotizált szemsebészeti beavatkozások korlátozott számú betegnél már sikeresen megvalósultak olyan rendszerek segítségével, mint a PSS, ám a da Vinci robot kivételével a legtöbb rendszer még nem érhető el kereskedelmi forgalomban rutinszerű klinikai használatra. Az egyik fő korlátozó tényező, hogy ezeknek a robotikai platformoknak a többsége még nem rendelkezik az amerikai Élelmiszer-biztonsági és Gyógyszerészeti Hivatal (FDA) engedélyével vagy CE-tanúsítvánnyal. A szabályozási jóváhagyás kulcsfontosságú a biztonság, a hatékonyság és a standardizálhatóság szempontjából, a tanúsítványok hiánya pedig arra utal, hogy a legtöbb szemészeti robotikai rendszer még a fejlesztés korai szakaszaiban tart.

A szemészeti sebészet jövőjében várhatóan hibrid rendszerekkel találkozunk majd, amelyek a feladat-specifikus alkalmazásoktól a teljesen automatizált műtétekig fejlődhetnek, intelligens szenzorok, mesterséges intelligencia-algoritmusok és a valós idejű képalkotás integrációjával [46]. Ahogy a robotikai technológia tovább érkezik, és megkapja a szükséges engedélyeket, egyre realisabbá válhat használata a mindennapi gyakorlatban, ezáltal pontosabb műtéteket végezhetünk majd kevesebb komplikációval és jobb eredményekkel. Várható, hogy a robotasszisztált szemsebészeti rendszerek megjelenésével hasonló trend lesz hazánkban is megfigyelhető, mint a műtétes társszakmákban, amelyeknél az utóbbi években-évtizedekben a robotasszisztált sebészet fokozatosan teret hódít [47, 48].

A teljesen automata, kizárólag a robot által végzett műtétek gondolata bár futurisztikusnak tűnhet, de már inkább a jelen része, mint a távoli jövőé. A Johns Hopkins Egyetem friss publikációjában mesterséges intelligenciára épített, hangalapú vezérléssel irányított, önállóan végrehajtott epehólyag-eltávolításról számolnak be, amelyet egy da Vinci robot végzett *ex vivo* sertésmoделlben [49]. Mindez nem elképzelhetetlen a szemsebészet számára sem, bár igaz, eddig a pontig még hosszú út vezet, a robotizált hasi sebészet fejlődéséhez hasonlóan.

Bár a robotizált rendszerek ígéretes lehetőséget kínálnak a szemészeti mikrosebészeti pontosság növelésére, számos kihívással kell még szembenéznie a technológiának. A robotasszisztált beavatkozások jelenleg lényegesen hosszabb műtéti idővel járnak, különösen a bevezetés korai szakaszában, ami elsősorban a rendszer összetett előkészítésének és a meredek tanulási görbének tudható be. További nehézséget jelent a haptikus visszacsatolás hiánya, a rendszer magas beszerzési és fenntar-

tási költségei, valamint a sebészi képzés biztosítása. Hiányoznak még a nagyszabású, randomizált klinikai vizsgálatok, amelyek a robotizált asszisztencia előnyeit tudományos szempontból igazolnák. Számos alapvető kérdés továbbra is megválaszolatlan, többek között az, hogy a robotikus precizitás vajon jobb látásélességhez, kevesebb komplikációhoz (például az ILM-trauma előfordulásának csökkenéséhez) vagy gyorsabb funkcionális felépüléshez vezet-e. A megfelelő klinikai végpontok – legyenek azok anatómiai, funkcionális vagy munkafolyamat-alapúak – meghatározása kulcsfontosságú lesz a jövőbeli vizsgálatok elvégzéséhez.

A robotasszisztencia potenciális előnyei túlmutatnak a retinasebészeten, és kiterjedhetnek más szemészeti eljárásokra is, mint például a glaucomasztent-beültetés és a szürkehályog-műtétek. E beavatkozások jobb reprodukálhatósága fokozott hatékonyságot és biztonságot eredményezhet. A robotika alkalmazása a nagyfokú ismételhetséget igénylő környezetekben tovább növeli a költséghatékonyságot, támogatva az automatizálást és a sebészeti eljárások standardizálását valós idejű adatok és bevált gyakorlatok alapján.

Összefoglalva, a robotasszisztencia – amelyet interdiszciplináris együttműködés és előrelátó finanszírozás hajt – jövője a szemészeti sebészetben rendkívül ígéretes. A robotikai rendszerek folyamatos fejlődése fokozza a sebészeti precizitást, optimalizálja az eljárásokat, és végző soron javítja a műtéti eredményeket a szemsebészet különböző területein.

Anyagi támogatás: A szerzők a kézirat elkészítéséhez nem kaptak anyagi támogatást.

Szerzői munkamegosztás: A kézirat kidolgozásához, írásához és átdolgozásához valamennyi szerző jelentős mértékben hozzájárult. A közlemény végleges változatát minden szerző elolvasta és jóváhagyta.

Érdekltségek: A szerzőknek nincs a bemutatott tartalommal kapcsolatos anyagi érdekltségekük.

Irodalom

- [1] Intuitive Surgical. Annual report 2023. Available from: <https://isrg.intuitive.com/static-files/e9ed7c14-f042-4923-b7cca1458e11e67b> [accessed: March 4, 2025].
- [2] Warren H, Dasgupta P. The future of robotics. *Investig Clin Urol.* 2017; 58: 297–298.
- [3] Roizenblatt M, Grunenmacher AT, Belfort Junior R, et al. Robot-assisted tremor control for performance enhancement of retinal microsurgery. *Br J Ophthalmol.* 2019; 103: 1195–1200.
- [4] Mi H, MacLaren RE, Cehajic-Kapetanovic J. Robotising vitreoretinal surgeries. *Eye (Lond).* 2025; 39: 673–682.
- [5] Ladha R, Meenink T, Smit J, et al. Advantages of robotic assistance over a manual approach in simulated subretinal injections and its relevance for gene therapy. *Gene Ther.* 2023; 30: 264–270.

- [6] Zhang P, Kim JW, Gehlbach P, et al. Autonomous needle navigation in retinal microsurgery: evaluation in ex vivo porcine eyes. *IEEE Int Conf Robot Autom.* 2023; 2023: 4661–4667.
- [7] Iordachita II, de Smet MD, Naus G, et al. Robotic assistance for intraocular microsurgery: challenges and perspectives. *Proc IEEE Inst Electr Electron Eng.* 2022; 110: 893–908.
- [8] Payne CJ, Yang GZ. Hand-held medical robots. *Ann Biomed Eng.* 2014; 42: 1594–1605.
- [9] Yang S, MacLachlan RA, Riviere CN. Manipulator design and operation for a six-degree-of-freedom handheld tremor-canceling microsurgical instrument. *IEEE ASME Trans Mechatron.* 2015; 20: 761–772.
- [10] Yang S, Wells TS, MacLachlan RA, et al. Performance of a 6-degree-of-freedom active microsurgical manipulator in handheld tasks. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2013; 2013: 5670–5673.
- [11] Singh G, Jie WW, Sun MT, et al. Overcoming the impact of physiologic tremors in ophthalmology. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2022; 260: 3723–3736.
- [12] Wells TS, MacLachlan RA, Riviere CN. Toward hybrid position/force control for an active handheld micromanipulator. *IEEE Int Conf Robot Autom.* 2014; 2014: 772–777.
- [13] Zhang T, Gong L, Wang S, et al. Hand-held instrument with integrated parallel mechanism for active tremor compensation during microsurgery. *Ann Biomed Eng.* 2020; 48: 413–425.
- [14] Gonenc B, Balicki MA, Handa J, et al. Evaluation of a micro-force sensing handheld robot for vitreoretinal surgery. *Rep U S.* 2012; 2012: 4125–4130.
- [15] Alamdar A, Usevitch DE, Wu J, et al. Steady-hand eye robot 3.0: optimization and benchtop evaluation for subretinal injection. *IEEE Trans Med Robot Bionics* 2024; 6: 135–145.
- [16] Uneri A, Balicki MA, Handa J, et al. New steady-hand eye robot with micro-force sensing for vitreoretinal surgery. *Proc IEEE RAS EMBS Int Conf Biomed Robot Biomechatron* 2010; 2010: 814–819.
- [17] Esfandiari M, Kim JW, Zhao B, et al. Cooperative vs. teleoperation control of the steady hand eye robot with adaptive sclera force control: a comparative study. *IEEE Int Conf Robot Autom.* 2024; 2024: 8209–8215.
- [18] Ebrahimi A, Urias MG, Patel N, et al. Adaptive control improves sclera force safety in robot-assisted eye surgery: a clinical study. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2021; 68: 3356–3365.
- [19] Wu J, Li G, Urias M, et al. An optimized tilt mechanism for a new steady-hand eye robot. *Rep U S.* 2020; 2020: 3105–3111.
- [20] Roth R, Wu J, Alamdar A, et al. Towards a clinically optimized tilt mechanism for bilateral micromanipulation with steady-hand eye robot. *Int Symp Med Robot.* 2021 Nov; 2021: 1–7.
- [21] Kuru I, Gonenc B, Balicki M, et al. Force sensing micro-forceps for robot assisted retinal surgery. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2012; 2012: 1401–1404.
- [22] Gonenc B, Tran N, Gehlbach P, et al. Robot-assisted retinal vein cannulation with force-based puncture detection: micron vs. the steady-hand eye robot. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2016; 2016: 5107–5111.
- [23] Willekens K, Gijbels A, Schoevaerdts L, et al. Robot-assisted retinal vein cannulation in an in vivo porcine retinal vein occlusion model. *Acta Ophthalmol.* 2017; 95: 270–275.
- [24] Gijbels A, Smits J, Schoevaerdts L, et al. In-human robot-assisted retinal vein cannulation, a world first. *Ann Biomed Eng.* 2018; 46: 1676–1685.
- [25] Ourak M, Smits J, Esteveny L, et al. Combined OCT distance and FBG force sensing cannulation needle for retinal vein cannulation: in vivo animal validation. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2019; 14: 301–309.
- [26] Willekens K, Gijbels A, Smits J, et al. Phase I trial on robot assisted retinal vein cannulation with ocriplasmin infusion for central retinal vein occlusion. *Acta Ophthalmol.* 2021; 99: 90–96.
- [27] Edwards TL, Xue K, Meenink HC, et al. First-in-human study of the safety and viability of intraocular robotic surgery. *Nat Biomed Eng.* 2018; 2: 649–656.
- [28] Turgut F, Somfai GM, Heussen FM, et al. Robot-assisted epiretinal membrane peeling: a prospective assessment of pre- and intra-operative times and of surgeons' subjective perceptions. *J Clin Med.* 2023; 12: 2768.
- [29] Forslund Jacobsen M, Konge L, Alberti M, et al. Robot-assisted vitreoretinal surgery improves surgical accuracy compared with manual surgery: a randomized trial in a simulated setting. *Retina* 2020; 40: 2091–2098.
- [30] Cehajic-Kapetanovic J, Xue K, Edwards TL, et al. First-in-human robot-assisted subretinal drug delivery under local anesthesia. *Am J Ophthalmol.* 2022; 237: 104–113.
- [31] Eberle A, Turgut F, Somfai GM, et al. Comparison of surgical times between manual and robot-assisted epiretinal membrane peeling. *Transl Vis Sci Technol.* 2024; 13: 27.
- [32] Faridpooya K, van Romunde SH, Manning SS, et al. Randomised controlled trial on robot-assisted versus manual surgery for pucker peeling. *Clin Exp Ophthalmol.* 2022; 50: 1057–1064.
- [33] De Smet MD, Meenink TC, Janssens T, et al. Robotic assisted cannulation of occluded retinal veins. *PLoS ONE* 2016; 11: e0162037.
- [34] De Smet MD, Stassen JM, Meenink TC, et al. Release of experimental retinal vein occlusions by direct intraluminal injection of ocriplasmin. *Br J Ophthalmol.* 2016; 100: 1742–1746.
- [35] Ophthalmology Breaking News. Ophthalmology robot LUCA completes world's first retinal surgery. Available from: <https://ophthalmologybreakingnews.com/ophthalmology-robot-luca-completes-worlds-first-retinal-surgery-> [accessed March 6, 2025].
- [36] University of Montpellier. The LUCA robot successfully performs its first ophthalmic surgeries on patients. Available from: <https://www.umontpellier.fr/en/articles/le-robot-luca-realise-avec-succes-ses-premieres-operations-ophtalmologiques-sur-patients> [accessed March 6, 2025].
- [37] Surgical Robotics Technology. AcuSurgical completes first clinical study with LUCA robotic surgery platform. 4 July, 2024. Available from: <https://www.surgicalroboticstechnology.com/news/acusurgical-completes-first-clinical-study-with-luca-robotic-surgery-platform/> [accessed: March 6, 2025].
- [38] Surgical Robotics Technology. AcuSurgical completes first clinical case with LUCA robotic surgery platform. 8 March, 2024. Available from: <https://www.surgicalroboticstechnology.com/news/acusurgical-completes-first-clinical-case-with-luca-robotic-surgery-platform/> [accessed: March 6, 2025].
- [39] Chen CW, Francone AA, Gerber MJ, et al. Semiautomated optical coherence tomography-guided robotic surgery for porcine lens removal. *J Cataract Refract Surg.* 2019; 45: 1665–1669.
- [40] Gerber MJ, Hubschman JP, Tsao TC. Robotic posterior capsule polishing by optical coherence tomography image guidance. *Int J Med Robot.* 2021; 17: e2248.
- [41] Chen CW, Lee YH, Gerber MJ, et al. Intraocular robotic interventional surgical system (IRISS): Semi-automated OCT-guided cataract removal. *Int J Med Robot.* 2018; 14: e1949.
- [42] Wilson JT, Gerber MJ, Prince SW, et al. Intraocular robotic interventional surgical system (IRISS): mechanical design, evaluation, and master-slave manipulation. *Int J Med Robot.* 2018; 14: e1842.
- [43] Wu Z, Troll J, Jeong HH, et al. A swarm of slippery micropellers penetrates the vitreous body of the eye. *Sci Adv.* 2018; 4: eaat4388.
- [44] Ullrich F, Bergeles C, Pokki J, et al. Mobility experiments with microrobots for minimally invasive intraocular surgery. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013; 54: 2853–2863.
- [45] Noh S, Hong HK, Kim DG, et al. Magnetically controlled intraocular delivery of dexamethasone using silica-coated magnetic nanoparticles. *ACS Omega* 2024; 9: 27888–27897.

- [46] Turgut F, Ueda K, Saad A, et al. Real-time integration of optical coherence tomography thickness map overlays for enhanced visualization in epiretinal membrane surgery: a pilot study. *Bioengineering* 2025; 12: 271.
- [47] Bécsi Á, Hüttl A, Kubik A, et al. Initial experiences with robot-assisted partial nephrectomy. [Kezdeti tapasztalataink a robot-asszisztált részleges nephrectomiával.] *Orv Hetil.* 2024; 165: 997–1001. [Hungarian]
- [48] Papp A, Palkovics A, Sindler DL, et al. Robotic-assisted laparoscopic Heller–Dor’s cardiomyotomy and fundoplication for achalasia. [Achalasia miatt végzett robotasszisztált laparoszkópos cardiomyotomia és fundoplicatio. (Heller–Dor-műtét).] *Orv Hetil.* 2023; 164: 542–547.
- [49] Kim JW, Chen JT, Hansen P, et al. SRT-H: A hierarchical framework for autonomous surgery via language-conditioned imitation learning. *Sci Robot.* 2025; 10: eadt5254.

(Somfai Gábor Márk, PhD,
Augenklinik, Stadtspital Zürich
Birmensdorferstrasse 497,
CH-8063 Zürich, Schweiz
e-mail: gabor.somfai@stadtspital.ch)

„Sua servat qui salva esse vult communia.”
(A magáét vigyázza, ki meg akarja védeni a közöst.)

A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek.