

Mesterséges intelligencia alapú országos döntéstámogató rendszer bevezetése a hazai stroke-ellátás javítására

SZIKORA ISTVÁN, MAGYAR BENCE, TÉGLÁS SÁNDOR, SZUDI GÁBOR, SZALMÁS ORSOLYA, CZENCZ MÁTÉ, KONDOR MÁTÉ, POZSÁR KINGA, NARDAI SÁNDOR, ERŐSS LÓRÁND, ÓVÁRY CSABA, HORVÁTH KRISZTINA, MOLNÁR FERENC JÓZSEF, PÁPAI GYÖRGY, JANCsó ÁDÁM, SZABÓ ZOLTÁN, BENES EDVÁRD, CHADAIDE ZOLTÁN

INTRODUCTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED NATIONAL DECISION SUPPORT SYSTEM TO IMPROVE STROKE CARE IN HUNGARY

BEVEZETÉS – Ischaemiás stroke esetén a rekanalizációs kezelés indikációja képalkotó vizsgálatokon alapul. Az indikáció felállítással, szükség esetén a képanyag más intézménybe történő továbbításával járó idővesztés minimalizálása érdekében mesterséges intelligenciával (MI) működő stroke képalkotó hálózatot (eStroke-hálózat) alakítottunk ki Magyarországon. A jelen közlemény célja ennek a bemutatása.

ANYAG ÉS MÓDSZER – Az Országos Mentális Ideggyógyászati és Idegsebészeti Intézet (OMI) szervezésében kiépített hálózatba 28 stroke-központot, köztük négy thrombectomiás központot vontunk be. A Pécsi Egyetem által korábban kiépített, és az OMI projektrel párhuzamosan bővített hálózat 10 centrumot fed le, így az ország 38 stroke-központjában érhető el a szolgáltatás. A stroke-CT-vizsgálatok mindegyik központból automatikusan egy központi teleradiológiai szerveren át a központi képelemző szerverre kerülnek, ahol MI-alapú szoftver (eStroke, Brainomix Ltd.) vizsgálja az ischaemiás terület kiterjedését (ASPECT-skála), a nagyérelzáródás tényét és lokalizációját, a kollaterális keringés minőségét, valamint a standard CT-perfúziós paramétereit. A feldolgozott képek és az eredmények automatikusan visszakerülnek a küldő intézet és a releváns thrombectomiás központ képtárház rendszerébe, valamint elérhetővé válnak anonimizált formában, felhőszolgáltatáson keresztül asztali számítógépen vagy mobilapplikációban.

INTRODUCTION – Indication for recanalization therapy of acute ischemic stroke is based on imaging procedures. In order to minimize the time loss passing by recognizing the condition and the transfer of images to other facility, we established a stroke imaging network (eStroke network) supported by Artificial Intelligence (AI) in Hungary. Our study aims to present this system.

METHODS AND MATERIAL – Organized by the National Institute of Mental Health, Neurology, and Neurosurgery (NIMNN), we included a total of 28 stroke centers, among them 4 thrombectomy centers. An earlier network of the University of Pécs and the widened network parallel with the NIMNN project cover 10 centers thus the service is now available in 38 stroke centers of this country. Stroke CT scans are automatically transmitted via the central teleradiology server to a central image processing server which analyzes the size of the ischemic area (ASPECT score), detects large vessel occlusion and its localization, analyzes the quality of collateral circulation and standard CT perfusion parameters using an AI based software (eStroke, Brainomix Ltd.). Results and processed images are sent automatically back to the PACS system of the sending institution and that of the concerning thrombectomy center and become available in anonymous form via cloud by desktop computers or mobile application.

dr. SZIKORA István (levelező szerző/correspondent), MAGYAR Bence, TÉGLÁS Sándor, dr. SZUDI Gábor, dr. SZALMÁS Orsolya, dr. CZENCZ Máté, dr. KONDOR Máté, dr. POZSÁR Kinga, dr. NARDAI Sándor, dr. ERŐSS Lóránd: Országos Mentális Ideggyógyászati és Idegsebészeti Intézet/National Institute of Mental Health, Neurology and Neurosurgery; H-1145 Budapest, Amerikai út 57.
E-mail: h13424szi@ella.hu

dr. ÓVÁRY Csaba: Budapesti Bajcsy-Zsilinszky Kórház/ Budapesti Bajcsy-Zsilinszky Hospital, Budapest
HORVÁTH Krisztina: Országos Korányi Pulmonológiai Intézet/Korányi National Institute of Pulmonology, Budapest

MOLNÁR Ferenc József, dr. PÁPAI György: Országos Mentőszolgálat/National Ambulance Services, Budapest

JANCsó Ádám, SZABÓ Zoltán, BENES Edvárd: Belux Csoport Kft./Belux Group Ltd., Budapest
dr. CHADAIDE Zoltán: Brainomix Europe Kft./Brainomix Europe Ltd., Szeged

Érkezett: 2023. december 18. Elfogadva: 2024. február 5.

<https://doi.org/10.33616/lam.34.0145>

EREDMÉNYEK – Működésének első egy éve alatt a rendszer 16 276 betegről készült 38 060 szkent dolgozott fel. Az OMIII tapasztalatában, 65, illetve 152 betegből álló mintában másodlagos betegtranszport esetén a Mentőszolgálathoz érkező első segélyhívástól a thrombectomiás központba érkezésig eltelt idő ezen időszakban 38 perccel, 4 óra 18 percről 3 óra 40 percre csökkent.

KÖVETKEZTETÉS – Az akut stroke-ellátás eredményeinek javítása technikailag lehetséges a központi MI-alapú képalkotó hálózat kialakításával. Az eStroke-hálózat működtetése rövidíti a betegszállítási transzportidőket, de ennek további optimalizálása szükséges.

stroke, mesterséges intelligencia, képanalízis, stroke-network, drip and ship model

RESULTS – During the first year of operation, the system has processed 38,060 scans of 16,276 patients. In NIMN experience by samples of 65 and 152 cases, for drip and ship patients the time from the first alerting of the ambulance service, until arrival at the thrombectomy center was reduced by 38 minutes from 4:18 to 3:40 minutes.

CONCLUSION – Building an AI based central stroke imaging network for improving of stroke care's results is technically feasible. Operation of the eStroke system is capable of reducing patient transportation times, however, further optimization is needed.

stroke, artificial intelligence, image analysis, stroke network, drip and ship model

Hazánkban évente körülbelül 27-30 ezer kórházi felvétel történik akut stroke-esemény miatt. Az esetek túlnyomó többségét kitevő ischaemiás esetekben a maradandó rokkantság vagy halál elkerülésére a legnagyobb esélyt az elzáródott érkeresztmetszet mielőbbi megnyitása nyújtja (1). Az indikációs kritériumok bővülésével folyamatosan nő az ilyen rekanalizációs kezelésre alkalmas betegek száma. Bár a gyors egymásutánban megjelenő nagy elemszámú vizsgálatok eredményei alapján az irányelvek gyorsan változnak, jelenleg mind az intravénás thrombolysis (IVT), mind a mechanikus thrombectomy (MT) indikációjának felállítása képalkotó vizsgálatokhoz kötött. A képalkotó diagnózis, a radiológiai lelet elkészítése és az indikáció felállítása időigényes folyamat.

Ez különösen a legsúlyosabb, nagyérokklúzió (NÉO) által okozott esetekben járhat jelentős idővesztéssel. Ezekben az esetekben ugyanis a primer stroke-központokban elkészült képalkotó vizsgálat eredményét konzultálni kell a thrombectomiás központban dolgozó neurointervenciókollégákkal. Jelenleg érvényes irányelvek szerint thrombectomy akkor indokolt, ha 6 órán belül natív CT-vel vizsgálva a korai ischaemiás terület kiterjedése korlátozott (ASPECT-skálán >5), (2) és CTA-val igazolt az elülső Willis-köri nagyerek valamelyikének (a. carotis interna, cerebri media, anterior) elzáródása. Hat órán túl, de 24 órán belül komplex képalkotó vizsgálatokkal (CT-perfúzió, MR) választhatók ki azok a betegek, akik még profitálhatnak a thrombectomiából. Bár irányelvekben még nem szerepel, több randomizált vizsgált bizonyítja, hogy thrombectomy indikált a hátsó Willis-köri elzáródásokban is (a. basilaris) (3), továbbá eredményes nagyobb kiterjedésű korai ischaemiás jelek mellett is (ASPECT >2) (4, 5). Ezekben az esetekben miután a thrombectomy indikációja megszületett, gondoskodni kell a beteg továbbszállításáról. Ez a legtöbb esetben újabb mentőszállítás megrendelését igényli, további idővesztéssel jár. Számos tanulmány igazolja, hogy az önálló életvitelre alkalmas túlélés esélye [módosított Rankin-skála (mRS) 0–2] a tünetkezdettől a sikeres rekanalizációig eltelt idővel párhuzamosan csökken (6–8). Ezért a betegszállítási idő lerövidítése kritikus kérdés, mely a bemutatott projekt elsőrendű célja. Intézetünk, az Országos Mentális, Ideggyógyászati és Idegsebészeti Intézet (OMIII), mint az ország legnagyobb forgalmú thrombectomiás központja, 16 stroke-központból fogad rendszeresen betegeket thrombectomiára és ezért kiemelten érdekelt a beszállítási idő lerövidítésében. Míg a mentőszállítási időkre az OMIII kevés hatással bír, a döntési idő lerövidítésében támogatni tudja a küldő intézeteket. Ennek érdekében, az EFOP 5.2.6. európai uniós pályázat finanszírozásával 28 hazai intézményt kiszolgáló mesterséges intelligencia (MI-) támogatott stroke képalkotó hálózatot hoztunk létre, melynek felépítését és működését az alábbiakban mutatjuk be.

Anyag és módszer

Az érintett kórházakban működő képalkotó berendezések és képarchiváló rendszerek (PACS) különbözőségeit, valamint a gyors és biztonságos képtovábbítás ebből is fakadó nehézségeit figye-

lembe véve központosított rendszer kialakítását terveztük. A bevont intézetekből DICOM formátumban érkező, meghatározott protokoll szerint végzett koponya-CT-vizsgálatokat központi teleradiológiai szerver fogadja és továbbítja a képfeldolgozó szerverre, melyen az MI-alapú értékelő szoftver fut. A kiértékelt képanyag, valamint az értékelés numerikus eredményei ugyancsak a teleradiológiai szerveren keresztül visszajutnak a küldő, valamint (amennyiben thrombectomiára van szükség) a fogadó intézetbe. A küldő intézetben elérhetővé válnak az intézet képarchiváló rendszerében (PACS), valamint mind a küldő, mind a fogadó intézmény számára internet segítségével számítógépen vagy okostelefonon. Ez utóbbi pseudoanonimizált módon, webböngészővel vagy mobilapplikáció segítségével történik. Az adattovábbítás minden esetben biztonságos hálózaton, GDPR-kompatibilis módon történik. A rendszer a képtovábbítás és értékelés mellett kommunikációs platformként is működik, mely megkönnyíti az érintett intézetek szakszemélyzete között folytatandó konzultációt.

Az eredményességet részben a havonta feldolgozott esetszámokkal, részben a beszállítási idők változásával mértük. Utóbbi érdekében az Országos Mentőszolgálat (OMSZS) segítségével retrospektíve vizsgáltuk a rendszer bevezetése előtt, 2021-ben két hónap alatt az OMIII-be thrombectomiára szállított betegek szállítási adatait. Ezt hasonlítottuk össze a 9 hónappal a rendszer beüzemelését követően három hónapon keresztül részben prospektív, részben retrospektív módon gyűjtött adatokkal. Ennek során vizsgáltuk az első ellátóhelyre érkezéstől az onnan való továbbindulásig eltelt időt [ajtó be – ajtó ki idő (AB-AK)] és az első mentőhívástól az OMMI-ben érkezésig eltelt időt [hívás-OMIII idő (HÉ)].

Eredmények

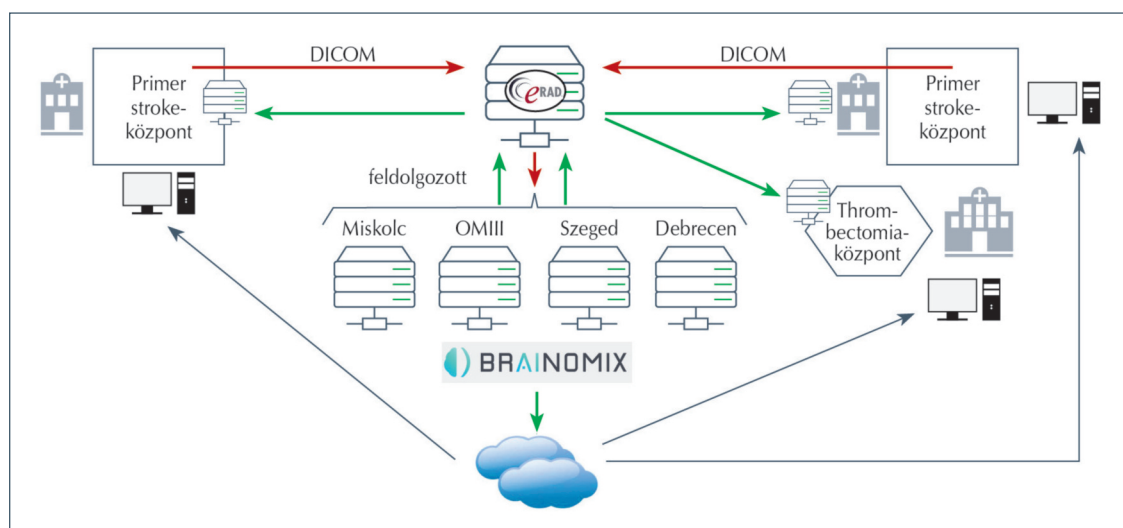
A rendszer felépítése és működése

Az előzetes adminisztratív feladatok lebonyolítása (rendszertervezés, előkészítés, adatvédelem, közbeszerzés, szerződéskötések stb.) másfél évet, a rendszer üzembehelyezése 3 hónapot vett igénybe. A rendszer tervezése során az elsődleges cél az volt, hogy az automatizált, gyors képanalízis az ország minden stroke-centruma számára elérhető legyen. Ennek érdekében egyenként felvettük a kapcsolatot az érintett intézmények menedzsmentjével, neurológiai és radiológiai és informatikai osztályainak vezetőivel. A szakmai egyetértést követően ugyancsak egyé-

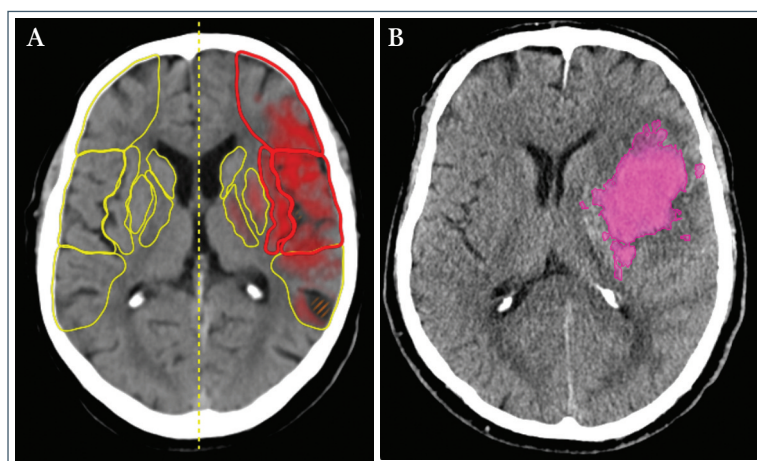
1. táblázat. Az OMIII eStroke hálózatában részt vevő intézetek

Bajcsy-Zsilinszky Kórház, Budapest
Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Kórház, Miskolc
Bács-Kiskun Megyei Oktatókórház, Kecskemét
Debreceni Egyetem Neurológiai Klinika, Debrecen
Dél-budai Centrumkórház Szent Imre Egyetemi Oktatókórház
Dr. Bugyi István Kórház, Szentes
Dr. Kenessey Albert Kórház, Balassagyarmat
Fejér Megyei Szent György Kórház, Székesfehérvár
Jahn Ferenc Dél-pesti Kórház
Jász-Nagykun-Szolnok Megyei Hetényi Géza Kórház, Szolnok
Jávorszky Ödön Kórház, Vác
Markhot Ferenc Oktató Kórház, Eger
Országos Mentális Ideggyógyászati és Ideszegészeti Intézet, Budapest
Pest Megyei Flór Ferenc Kórház, Kistarcsa
Pándy Kálmán Kórház, Gyula
Péterfy Kórház-Rendelőintézet Országos Traumatológiai Intézet, Budapest
Szegedi Tudományegyetem, ÁOK Neurológiai és Radiológiai Klinika, Szeged
Semmelweis Egyetem, Neurológiai és Radiológiai Klinika, Budapest
Semmelweis Kórház, Kiskunhalas
Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Kórházak és Egyetemi Oktatókórház, Nyíregyháza
Szent Borbála Kórház, Tatabánya
Szent Damján Görögkatolikus Kórház, Kiskvárd
Szent Lázár Megyei Kórház, Salgótarján
Szent Pantaleon Kórház, Dunaújváros
Toldy Ferenc Kórház, Cegléd
Uzsoki Utcai Kórház, Budapest
Vaszary Kolos Kórház, Esztergom
Új Szent János Kórház és Szakrendelő, Budapest

nileg egyeztettük az OMIII és a partnerek közötti szerződést, adatvédelmi egyezményt, valamint a szükséges informatikai tennivalókat. A közbeszerzési eljárást érvényes jogszabályoknak megfelelően a Digitális Kormányzati Ügynökség folytatta le. A közbeszerzés és az EU-s pályázat által szabott szűk keretek miatt az üzembehelyezést igen gyorsan (3 hónap) kellett elvégezni. Ez alatt számos protokoll, illetve tűzfalbeállítási problémát kellett megoldani, mely a rendszert üzemeltető Belux Kft. szakembereinek munkáját dicséri. A kiépített rendszerben az OMIII mint szolgáltató biztosítja a rendszer működését a 28 felhasználó számára. Az OMIII hálózatában részt vevő 28 intézet felsorolását az 1. táblázat tartalmazza. A Pécsi Egyetem által korábban kiépített, és az OMIII projekttel párhuzamosan bővített hálózat 10



1. ábra. Az OMIII hálózatának rendszer-architektúrája. A központi teleradiológiai szervert az eRAD (Belux Kft, Magyarország) PACS szoftver, a képelemző szerver az eStroke 360 (Brainomix Europe) képanalitikai szoftver működteti



2. ábra. Feldolgozott natív CT (Brainomix, eASPECT). A: A sárga vonalak az ASPECT-régiók határait, a pirossal határolt és sátrózott terület korai ischaemiás jeleket mutató régiót jelöl. B: A rózsaszínnel jelölt terület vérzést mutat

centrumot fed le, így a két rendszer által az ország 38 stroke-központjában érhető el a szolgáltatás. A kiépített hálózat rendszer-architektúráját az 1. ábra szemlélteti.

A rendszer alapvető funkciói

A MI-támogatott szoftver az alábbi feladatokat látja el:

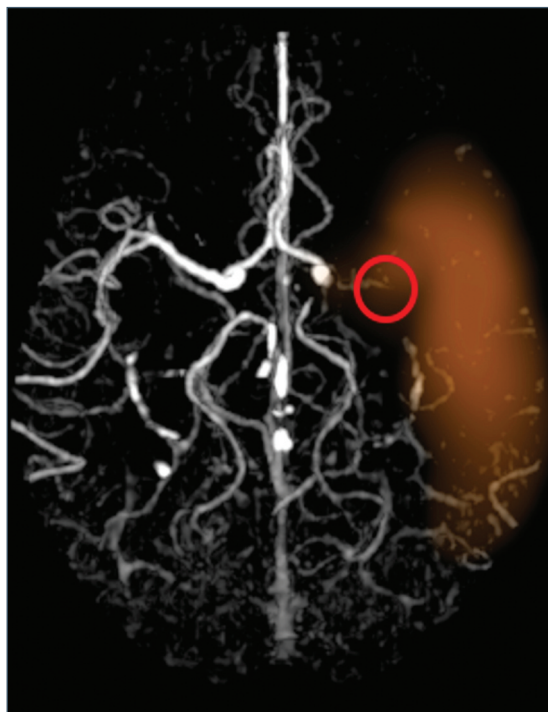
- A szoftver jelenleg az elülső Willis-kör (arteria carotis interna, cerebri media, cerebri anterior) verőereinek és azok vérellátási területének értékelésére képes. A vertebrobasilaris rendszer elemzése jelenleg zajló további fejlesztés tárgya.

- Szegmentálás: a korai ischaemiás jelek értékelésére használt ASPECT-osztályozáshoz (2) szükséges anatómiai területek automatikus kijelölése.

- eASPECT: a korai ischaemiás jeleket mutató területek színekkel jelölése és ennek alapján a korai ischaemia kiterjedését jelző, 1-től 10-ig terjedő ASPECT-skála- (2) érték megadása és az ischaemiás területek térfogatának kiszámítása. A szoftver automatikusan kijelöli a CT-képeken az ASPECT-skála által használt anatómiai régiókat, majd az azonos területeket az ép és az érintett oldalon összehasonlítva a denzitáértékek numerikus összevetésével állapítja meg az érintett régióban a korai ischaemia fennállását (2. ábra, A). Vérzés esetén az ischaemiától jól elkülöníthető módon, eltérő színnel jelöli az érintett területet a szoftver (2. ábra, B).

- eCTA: a CT-angiográfia megjelenítése multiplanáris rekonstruált felvételeken, valamint az elülső Willis-kör ágaiban [distalis arteria carotis interna (ACI) és arteria cerebri media főtrzs (ACM)] NÉO automatikus detektálása és jelölése. A kollaterális keringés minőségének értékelése a munkaképeken észlelt érsűrűség alapján az érintett és az egészséges oldal összehasonlításával az elzáródott érszakasz vérellátási területén a négyfokozatú Tan-skála (9) szerint (3. ábra).

- eCTP: az agyi átáramlást elemző CT-perfúziós vizsgálatok automatikus értékelése az elülső Willis-kör területén, a véglegesen károsodott ischaemiás mag és a hipoperfúzió miatt fenyegetett állomány (penumbra) színekkel jelölésé-



3. ábra. Feldolgozott CT-angiográfia (Brainomix, eCTA). Piros karika az elzáródott arteria cerebri media főtörzset, a narancssárga satírozás a vérrellátás nélkül maradt területet jelöli, melynek kollaterális keringését a rendszer kiszámolja

vel és térfogatuk, valamint a két térfogat közti különbség (mismatch) kiszámításával és ugyan csak színkódolt jelölésével (4. ábra).

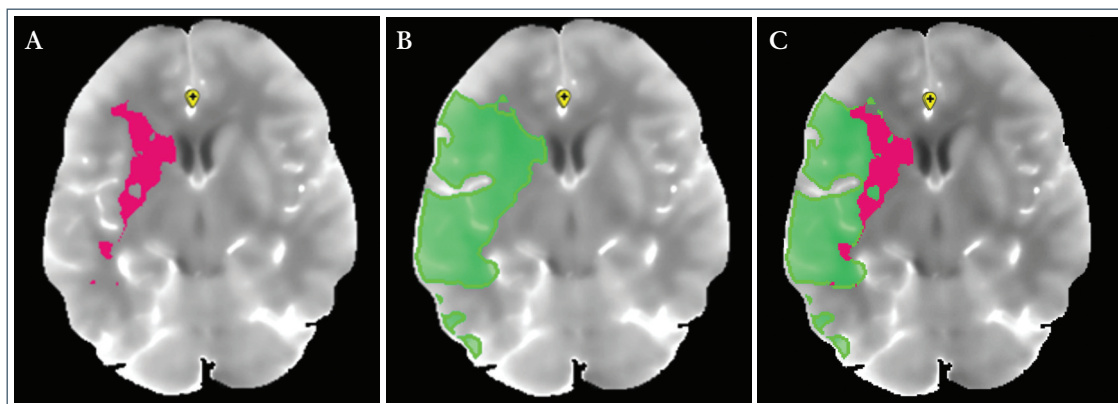
Üzemeltetési tapasztalatok

A rendszer beüzemelését követően (2022. október 1.) mintegy 6 hónap alatt elérte a havi átlag 1600 (1400–1800) eset feldolgozását. A működés

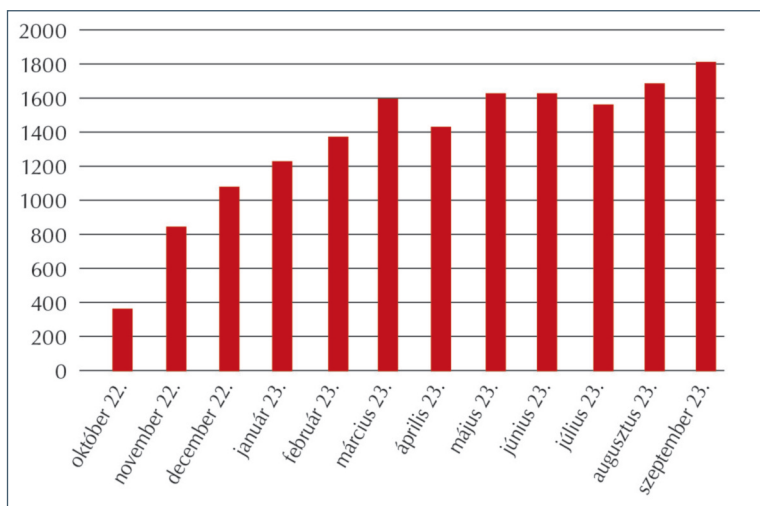
első egy évében összesen 16 276 betegen 38 060 szken értékelése történt meg (5. ábra). A képtovábbítási és értékelési idő átlagosan 7–8 perc volt a képanyag feltöltésétől a feldolgozott anyag visszatöltéséig. A kiértékelés idő maximum 2 perc alatt volt, a képtovábbítási idő az adatfeltöltéstől a visszaküldésig 7–10 perc között változott. Mindez a korábbi gyakorlathoz képest drasztikus változást jelent. Ugyanis míg bizonyos intézmények között lehetett egyéni internetkapcsolat (VPN), amely a hálózati sebességtől függően képes volt képtovábbításra, az intézmények többsége között semmilyen biztonságos és gyors DICOM továbbítási lehetőség nem állt rendelkezésre.

A vizsgált időszakban rendszerszintű működészavar (downtime) nem volt, leszámítva a tervezett rendszer update, illetve upgrade néhány perces, illetve néhány órás kimaradásait. Ugyanakkor a felhasználók lokális működészavarái (hardvercsere, PACS-átállítás, tűzfalbeállítások módosítása) néhány felhasználó esetén okozott néhány napos, egy-egy esetben több hetes működéskimaradást, mely az üzemeltető Belux Csoport és a helyi informatikai szolgálat közös beavatkozását igényelte. Ezen esetek szűrésére és mielőbbi korrekciójára a Brainomix vállalatnál folyamatos monitoring rendszert hoztunk létre, mely az egyes felhasználók aktivitáscsökkenését jelzi, lehetővé téve a gyors beavatkozást. Emellett az OMIII és a Brainomix vállalat közösen ismételt továbbképző kurzusokat biztosít a felhasználók számára, részben központi tanfolyamok, részben személyes helyszíni látogatások formájában.

Tekintettel a primer és a thrombectomiás centrumok rögzített hálózatára, a rendszer bevezetése a betegutakat érdemben nem módosította, új thrombectomiás központ működését azonban lényegesen segítheti.



4. ábra. Feldolgozott eset: CT-perfúzió (Brainomix eCTP). A pirossal jelölt terület az infarktusmagot (A és C), zöld a perfúziós deficitet (penumbra) (B és C) jelöli



5. ábra. A rendszer által feldolgozott esetszámok, 2022–2023

Betegszállítási adatok

Az eStroke-hálózat üzembehelyezését megelőzően, 2021. szeptember–októberben 65 beteg érkezett az OMIII-be másodlagos transzporttal thrombectomiára, közülük 50 beteg esetében találtunk értékelhető adatokat. Az AB-AK idő 2:33', a HÉ idő pedig 4:18' volt. Az üzembehelyezést követően, 2023. július–októberben 152 thrombectomiára érkezett beteg közül 132 esetben találtunk megbízható adatokat. Közülük 83 másodlagos transzporttal érkező beteg esetén az AB-AK idő átlag 2:18', medián 1:57' (0:45' – 6:24'), a HÉ idő átlag 3:55', medián 3:44' (0:50' – 6:29') volt. Az összes thrombectomiára érkező és értékelhető adatokkal rendelkező beteg közül mindkét vizsgált időszakban 13% érkezett elsődleges transzporttal. Fontos változás ugyanakkor, hogy 2023-ban a fenti 83 eseten kívül 31 beteg (23%) másodlagos transzporttal jött ugyan, de úgy, hogy az első szállító mentőegység megvárta a döntést az első ellátóhelyen, így nem volt szükség második mentőrendelésre és kiszállásra. Ez utóbbi esetekben a HÉ idő [átlag 1:38', medián 1:44' (0:31' – 2:56')] mindössze 22 perccel volt hosszabb, mint direkt transzport esetén [átlag 1:16', medián 1:11' (0:19' – 3:58')], de 2:17 perccel rövidebb, mint tényleges másodlagos transzport mellett (3:55').

Megbeszélés

A gyakran ismételt jelszó, „time is brain” (az idő agy) mögött súlyos számok állnak. Akut stroke-betegek képalkotó vizsgálatainak végzett térfogat-

mérések, szövettani adatok és statisztikai számítások szerint NÉO okozta akut stroke esetén kezelés nélkül percnként 1,9 millió neuron, 14 milliárd szinapszis és 12 km mielinizált idegrost pusztulhat el (10). Az állományvesztés megelőzése kizárólag a keringés helyreállításával, azaz az elzáródott érkeresztmetszet megnyitásával lehetséges. Az ehhez szükséges rekanalizációs kezeléseket korábban szigorú időablakokhoz kötötték, mely intravénás thrombolysis esetén 3, majd 4,5 óra, thrombectomia esetén 6 óra volt. A korszerű képalkotó vizsgálatok elterjedésével azonban lehetségessé vált, hogy a kezelés indikációját ne általános érvényű időablakok, hanem a ténylegesen károsodott és még menthető agyterület aránya alapján egyénre szabottan állítsuk fel. Így IVT esetén az időablak fejlett képalkotó vizsgálatokkal kiválogatott betegek számára 9 órára (11–13), míg MT esetén 24 órára (4, 5) emelkedett. Emellett a legutóbbi időkben bebizonyosodott, hogy MT még kiterjedt korai ischaemiás jelek (ASPECT 3–5) és késői időablak (24 h) mellett is növeli a betegek egy szűkebb rétegének esélyét az önellátó túlélésre, anélkül, hogy rontaná bármely beteg klinikai kimenetelét (14–17). A hatékony terápia lehetőségeinek kiszélesedése azonban növeli ugyan a kezelhető betegek számát, de semmi esetre sem csökkenti sem az időtényező, sem a képalkotó vizsgálatok fontosságát. A döntési idő felgyorsítása érdekében automatizált, MI-vezérelt képalkotó hálózatot vezettünk be az ország 28 stroke-központja számára. Az MI, és ezen belül az általunk használt szoftver (eStroke, Brainomix) megbízhatóságát számos korábbi publikáció igazolta, mind a korai ischaemiás jelek (ASPECT-skála) értékelésében, mind a NÉO automatikus detektálásában, a kollaterális keringés értékelésében, illetve a perfúziós vizsgálatok elemzésében (18–20). Az MI-alapú képanalitikai rendszereket a világon elterjedten alkalmazzák a stroke-diagnosztika meggyorsítására. Jelentősége különösen megnőtt a Covid-19-járvány során, nemcsak a diagnózis felállításában, hanem a betegmenedzsment logisztikájának támogatásában is (21). Hazánkban korábban is (intézetünkben 2016 óta) alkalmaztak MI-alapú stroke-diagnosztikát. Ezekben az években azonban csak a nagy stroke-ellátó központok, nevezetesen az egyetemi klinikák és az OMIII rendelkeztek ezzel a lehetőséggel.

A használat során korán nyilvánvalóvá vált, hogy ennek legnagyobb haszna nem a komprehzív centrumokban, hanem éppen a primer stroke-felvevő intézetekben lenne, ahol mind a sürgősségi, mind a radiológiai és neurológiai osztály számos szerteágazó feladatai között a

stroke-diagnosztika és menedzsment csak egy a sok közül. Amellett, hogy ezekben az intézményekben az MI nagy segítséget jelentene házon belül, óriási jelentőségű lehet, ha az MI által feldolgozott eredmény konzílium céljára automatikusan eljut (képi formában) a területileg illetékes thrombectomiás központba is azokban az esetekben, amikor MT-re van vagy lehet szükség. Elméletileg ez megoldható lenne ugyan minden egyes primer és thrombectomiás központ között kialakított internetkapcsolat segítségével is, gyakorlatilag azonban az ismert adatvédelmi, adatbiztonsági és technikai nehézségek miatt a múltban ez nem, vagy csak részlegesen valósult meg. Ezért döntöttünk az EU pályázat lehetőségének birtokában egy széles körű központi hálózat kialakítása mellett. Ehhez a Pécsi Egyetem által korábban kialakított szűkebb körű hálózat példáját mintául véve egy innovatív modellt vezetünk be. Ennek lényege, hogy az MI-támogatott képelemző szoftver (eStroke, Brainomix Europe Ltd.) egy központi szerveren fut, a stroke-centrumokban készült CT-vizsgálatok eredeti (teljes, DICOM) képanyagát pedig egy központi teleraradiológiai szerver (eRAD, Belux Csoport Kft.) gyűjti be és továbbítja automatikusan a képelemző szerverre. A kiértékelt felvételek, és az értékelés numerikus eredményei ugyanezen az úton jutnak vissza a küldő, és ezzel egy időben a potenciális fogadó (thrombectomiás) intézetbe, ahol mind a helyi képatchiváló (PACS) rendszeren (a küldő intézetben), mind felhőn keresztül asztali számítógépen és okostelefonon elérhetővé válnak. Logisztikai szempontból különösen nagy előny, hogy a mobilapplikáció azonnali jelzést küld az érintett intézmények ügyeletes munkatársainak az értékelés elkészültéről, illetve a NÉO detektálásáról. Emellett a rendszer lehetőséget ad a klinikai adatok rögzítésére és üzenet formájában továbbítására, valamint támogatja az intézmények közti kommunikációt akár telefon, akár üzenet formájában. Intézetünk hálózatának kialakításával párhuzamosan a pécsi egyetem is fejlesztette hálózatát, jelenleg 10 intézményt szolgál ki, így Magyarország 39 stroke-centruma közül a rendszer 38-ban elérhető. A két hálózat minden tekintetben kompatibilis és átjárható.

A bevezetett centrális modell Európa- és világszerte egyedülálló. Eddigi tapasztalataink szerint a kezdeti technikai nehézségek leküzdése után megbízhatóan működik. Technikai hibák előfordulnak, így állandó felügyeletet és esetenként gyors beavatkozást igényel, mely a rendszer működtetői (intézetünk és Belux Csoport) szoros együttműködésével jól kezelhető. Az elért ered-

mények a feldolgozott esetszámok és a feldolgozási sebesség tekintetében figyelemreméltók és minden tekintetben igazolják a konstrukció megalapozottságát és a szoftver alkalmasságát. A betegszállítási idők tényleges másodlagos transzport esetében továbbra is sok kívánnivalót hagynak maguk után. A betegfelvétel és továbbállítás között eltelt időt számos tényező befolyásolja, melyek közül a diagnózis felállítása csak egy, a többi az MI alkalmazása nem befolyásolja. Ugyanakkor az időadatok rögzítésével lehetővé teszik az egyéb tényezők hatásának vizsgálatát is, így a jövőben elősegítheti a logisztikai algoritmusok javítását. Eddigi adatgyűjtésünk legfőbb tanulsága (az OMIII betegfelvételi területén) az, hogy a továbbállításához két külön mentőegység igénybevétele minden esetben súlyos idővesztéssel jár. Ezért a továbbiakban annak lehetőségét kell keressük, hogyan lehet az elsődleges centrumokban a döntési időt úgy lerövidíteni, hogy azt az első beszállító egység megvárassa, és újabb egység kivonulása helyett egyenesen továbbvihesse a beteget, amennyiben az szükséges.

Korlátok

Tekintettel az adatvédelmi előírásokra, a vizsgált betegek klinikai adatai a szerzők számára nem elérhetők. Klinikoradiológiai összefüggések elemzése csak az egyes felhasználók számára lehetséges a saját beteganyaguk esetén. A rendszer jelen állapotában a betegszállítási adatokat nem rögzíti, így azokat külön, az Országos Mentőszolgálat és az OMIII munkatársainak jelentős erőfeszítésével kell összegyűjteni és az egyéb adatokkal párosítani. Ez gyakran ellentmondásokhoz vezet és következményes adatvesztéssel jár. Jelen közlemény célja a rendszer bevezetésének bemutatása.

Összefoglalás

A stroke-ellátásban a tünetkezdét és a definitív terápia megkezdése között eltelt idő minimalizálása céljából 28 intézményt lefedő, MI-alapú, automatikus képtovábbító és elemző eStroke-rendszert építettünk ki az EU EFOP 5.2.6 pályázat támogatásával. A hálózat a pécsi egyetem 10 kórházat kiszolgáló hasonló rendszerével együtt lényegében az ország teljes stroke-ellátó intézményrendszerét kiszolgálja. A kezdeti eredmények igazolják az egyedülálló, innovatív, centrális modell működőképességét és megfelel-

nek a tervezés során elvárt teljesítménynek. Az adatok elemzése az OMIII betegfelvételi területén a betegszállítási idők javulását mutatja, de jelzi, hogy ennek további javítása szükséges. Az eredmények alapján ez akkor érhető el, ha másodlagos transzport esetén a döntési idő úgy lerövidül, hogy az eredeti beszállító mentőegység továbbszállíthatja a beteget.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS – Köszönet illeti az 1. táblázatban felsorolt minden partner intéz-

ményünk adminisztratív és szakmai munkatársait a rendszer kialakítása és üzembehelyezése során tanúsított odaadó támogatásukért és rugalmasságukért, a Miniszterelnökség Emberi Erőforrás Fejlesztési Programok Végrehajtásáért Felelős Helyettes Államtitkárságának mint irányítóhatóságnak, valamint az OMIII Gazdasági Igazgatóságának és Pályázati Irodájának munkatársait a pályázat bonyolításában nyújtott pótolhatatlan támogatásért és fáradhatatlan munkájukért.

Irodalom

1. Rha JH, Saver JL. The impact of recanalization on ischemic stroke outcome: a meta-analysis. *Stroke* 2007;38(3):967-73. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000258112.14918.24>
2. Barber PA, et al. Validity and reliability of a quantitative computed tomography score in predicting outcome of hyperacute stroke before thrombolytic therapy. ASPECTS Study Group. Alberta Stroke Programme Early CT Score. *Lancet* 2000;355(9216):1670-4. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02237-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02237-6)
3. Jovin TG, et al. Trial of thrombectomy 6 to 24 hours after stroke due to basilar-artery occlusion. *N Engl J Med* 2022;387(15):1373-84. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2207576>
4. Albers GW, et al. Thrombectomy for Stroke at 6 to 16 Hours with Selection by Perfusion Imaging. *N Engl J Med* 2018;378(8):708-18. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1713973>
5. Jovin TG, Nogueira D. Investigators, thrombectomy 6 to 24 hours after stroke. *N Engl J Med* 2018;378(12):1161-2. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1801530>
6. Peretz S, et al. Effect of time from onset to endovascular therapy on outcomes: the National Acute Stroke Israeli (NASIS)-REVASC registry. *J Neurointerv Surg* 2020;12(1):13-8. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2019-014928>
7. Kim JT, et al. Onset to reperfusion time as a determinant of outcomes across a wide range of ASPECTS in endovascular thrombectomy: pooled analysis of the SWIFT, SWIFT PRIME, and STAR studies. *J Neurointerv Surg* 2020;12(3):240-5. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2019-014906>
8. Bourcier R, et al. Association of time from stroke onset to groin puncture with quality of reperfusion after mechanical thrombectomy: A meta-analysis of individual patient data from 7 randomized clinical trials. *JAMA Neurol* 2019;76(4):405-11. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2018.4510>
9. Tan IY, et al. CT angiography clot burden score and collateral score: correlation with clinical and radiologic outcomes in acute middle cerebral artery infarct. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30(3):525-31. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1408>
10. Saver JL. Time is brain-quantified. *Stroke* 2006;37(1):263-6. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000196957.55928.ab>
11. Campbell BCV, et al. Extending thrombolysis to 4.5-9 h and wake-up stroke using perfusion imaging: a systematic review and meta-analysis of individual patient data. *Lancet* 2019;394(10193):139-47. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)31053-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31053-0)
12. Ma H, et al. Thrombolysis guided by perfusion imaging up to 9 hours after onset of stroke. *N Engl J Med* 2019;380(19):1795-803. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1813046>
13. Thomalla G, et al. MRI-guided thrombolysis for stroke with unknown time of onset. *N Engl J Med* 2018;379(7):611-22. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1804355>
14. Sarraj A, et al. Trial of endovascular thrombectomy for large ischemic strokes. *N Engl J Med* 2023;388(14):1259-71. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2214403>
15. Huo X, et al. Endovascular therapy in acute anterior circulation large vessel occlusive patients with a large infarct core (ANGEL-ASPECT): protocol of a multicentre randomised trial. *Stroke Vasc Neurol* 2023;8(2):169-74. <https://doi.org/10.1136/svn-2022-001865>
16. Bendszus M, et al. Endovascular thrombectomy for acute ischaemic stroke with established large infarct: multicentre, open-label, randomised trial. *Lancet* 2023;402(10414):1753-63. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(23\)02032-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)02032-9)
17. Sundaram VK, et al. Automated ASPECTS in acute ischemic stroke: A comparative analysis with ct perfusion. *AJNR Am J Neuroradiol* 2019;40(12):2033-8. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6303>
18. Olive-Gadea M, et al. Baseline ASPECTS and e-ASPECTS correlation with infarct volume and functional outcome in patients undergoing mechanical thrombectomy. *J Neuroimaging* 2019;29(2):198-202. <https://doi.org/10.1111/jon.12564>
19. Amukotuwa SA, Straka M, Smith H, Chandra RV, Dehkharghani S, Fischbein NJ. Automated detection of intracranial large vessel occlusions on computed tomography angiography: A single center experience. *Stroke* 2019;50(10):2790-8. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.119.026259>
20. Nagel S, et al. e-ASPECTS software is non-inferior to neuroradiologists in applying the ASPECT score to computed tomography scans of acute ischemic stroke patients. *Int J Stroke* 2017;12(6):615-22. <https://doi.org/10.1177/1747493016681020>
21. Nagaratnam K, et al. Innovative use of artificial intelligence and digital communication in acute stroke pathway in response to COVID-19. *Future Healthc J* 2020;7(2):169-73. <https://doi.org/10.7861/fhj.2020-0034>