

A MENISZKUSZOK DEGENERATÍV ÉS TRAUMÁS ELVÁLTOZÁSAI INNOVATÍV DIAGNOSZTIKAI ÉS TERÁPIÁS ELJÁRÁSOK

THE DEGENERATIVE AND TRAUMATIC LESIONS OF THE MENISCI INNOVATIVE DIAGNOSTIC AND THERAPEUTIC PROCEDURES

TARJÁNI GERGELY^{*},¹ – BUDA KLÁRA^{*,**}

^{*}Miskolci Egyetem, Egészségtudományi Kar

^{**}Sátoraljaújhelyi Erzsébet Kórház

Összefoglalás: Az emberi test önmagában egy parányi univerzum: elemei bonyolult, egymásra épülő és alkalmanként sérülékeny rendszert alkotnak. A mozgató szervrendszer fontos ízületének, a térdnek a sérülései gyakran a meniszkuszok sérüléseit takarják. Ezek diagnosztizálásához és a terápia kiválasztásához adott nagy segítséget a képalkotó eljárások folyamatos fejlődése. A meniszkuszsérülések kezelésének menete: az alkalmazott képalkotó eljárások kiválasztása, a terápiai eljárások megnevezése, a sérült rész detektálása és reszekálása. A meniszkuszsérülések felismerésénél egyre nagyobb szerepet kap a mesterséges intelligencia gyakorlati alkalmazása, amelynek pontossága ma már eléri a 80-90%-ot. A meniszkuszsérüléseknél alkalmazható terápiai eljárások fejlődésének távlatai ma még beláthatatlanok. De az, hogy a napi orvosi gyakorlat folyamatosan megújul és hatékonyabbá válik, az senki előtt sem lehet kérdéses.

Kulcsszavak: meniszkusz, mesterséges intelligencia, összejtkezelés, képalkotó eljárások, meniszkuszváltozások

Summary: The human body itself can be likened to a miniature universe, with its various elements intricately connected, forming a complex and interdependent system that is at times delicate. Among the crucial components of this system, injuries to the knee often conceal underlying damages to the meniscus, a vital joint in the musculoskeletal structure. Thanks to the ongoing advancements in imaging techniques, the diagnosis and treatment selection for such injuries have been significantly facilitated. When it comes to managing meniscal injuries, several factors come into play, including the utilization of appropriate imaging modalities, determining the need for therapeutic procedures, as well as detecting and removing the damaged portions. The practical implementation of artificial intelligence has emerged as a crucial tool in accurately identifying meniscal injuries, boasting an impressive accuracy rate of 80-90%. EEs for the future of therapeutic interventions for meniscal injuries, it remains uncertain. However, one thing is indisputable: the field of medical practice is continually evolving and becoming more effective, ensuring enhanced efficiency in our daily healthcare routines.

Keywords: meniscus, artificial intelligence, stem cell therapy, imaging, meniscus lesions

¹ Levelező szerző: Tarjáni Gergely, e-mail: tarjanigergely569@gmail.com

BEVEZETÉS

A térd a mozgató szervrendszerünk egyik ízülete, melynek legfontosabb alkotóelemei a meniszkuszok. A meniszkuszok sérülése gyakori jelenség, akár traumás keresztzalag szakadás miatt, akár degeneratív ok következtében. A 20. század második felében sokáig az volt az elképzelés, hogy a meniszkuszoknak nincsen semmilyen biológiai vagy élettani szerepük; ennek megfelelően, ha szakadást találtak rajta, teljes meniszcektómiával az egész meniszkuszt eltávolították. Napjainkban ezeknek a sérüléseknek körültekintő gyógyításához szükséges mind a megfelelő terápia ismerete, mind a fejlett képalkotó eljárások alkalmazása azért, hogy az egyes szakadásokat pontosabban fel tudjuk térképezni. A meniszkuszok elváltozásai az életminőséget nagyban romboló tényezővé is alakulhatnak, ezért lehetőleg ezek mielőbbi kezelése szükséges.

A meniszkuszok fiziológiás és patológiás viszonyai

A sípcsont sekélyes ízületi felszíneit mélyíti ki a két C betű alakú rostosporc képződmény: a mediális és laterális meniszkusz. A meniszkuszok biomechanikai szerepe a legjelentősebb, ami az ízületet alkotó csontrészek közötti stressz eloszlásában jelentkezik. Ez hasonló az autó lengéscsillapítóinak működéséhez. Mindkét meniscus három részre osztható: egy elülső szarvra (*cornu anterior*), egy testre (*corpus*) és egy hátulsó szarvra (*cornu posterior*) [1].

A meniszkuszszakadások (*laesio meniscus*) a Nemzetközi Artroszkópiai, Térdsebészeti és Ortopédiai Sportorvosi Társaság (ISAKOS) szerint az alábbi kategóriákba sorolhatók: longitudinális-vertikális, horizontális, radiális, vertikális és horizontális „fül”, gyökér és komplex szakadások [2].

A szakadástípusok eloszlása megfelel a sérülések okok szerinti eloszlásának, mivel mind a longitudinális, mind a radiális szakadások traumás okból, a horizontális szakadások pedig inkább degeneratív okból keletkeznek. A komplex szakadásokat nehéz egyértelműen besorolni traumás vagy degeneratív okhoz, hiszen többféle szakadástípust tartalmaznak, melyek mindkét típusra jellemzőek [2].

Meniszkusz képalkotó módszerek és nehézségeik

A meniszkuszok állapotának feltérképezésére használatos két legérzékenyebb módszer az ultrahang és az MRI képalkotás. Az ultrahanggal a meniszkuszokat körülvevő csontos képletek miatt csak korlátozott értékelést lehet felmutatni, hiszen a tömör csonttól a mechanikai hullám teljesen visszaverődik. Emiatt csupán a meniszkusz külső harmada vizsgálható ilyen módon. Az ultrahang-diagnosztikában a meniszkuszszakadások indirekt jelei (pl. perimeniscalis ciszta) segítségével pontosabban kimutatható a szakadások jelenléte [3].

Az MRI hozza a legpontosabb és részletgazdagabb eredményt a meniszkuszvizsgálatok terén. A meniszkuszok nagy víztartalmuk miatt jól leképezhetők, mert az MRI-képalkotáshoz szükséges hidrogénatomok sokaságát tartalmazzák. Az MRI-képalkotás hátránya a műtermékekben rejlik, a meniszkuszok közelében futó

ínszalagok egybevetülhetnek a meniszkusszal, így fals pozitív eredményt adhatnak. Továbbá a különböző fejlődési variánsok is befolyásolják a képalkotás pontosságát [3].

Kutatásunk célja a Borsod-Abaúj-Zemplén Vármegyei Központi Kórház és Egyetemi Oktatókórház meniszkuszproblémával kezelt páciensei körében a térd MR-képalkotási gyakorlatok és eredmények összehasonlítása az artroszkópos műtétek zárójelentésében leírtakkal. Fő célunk az MRI és az artroszkópia szenzitivitásának és diagnosztikai pontosságának megállapítása, és a legújabb terápiás és képalkotó módszerek bemutatása idegen nyelvű szakirodalmi ismeretanyagok felhasználása mentén.

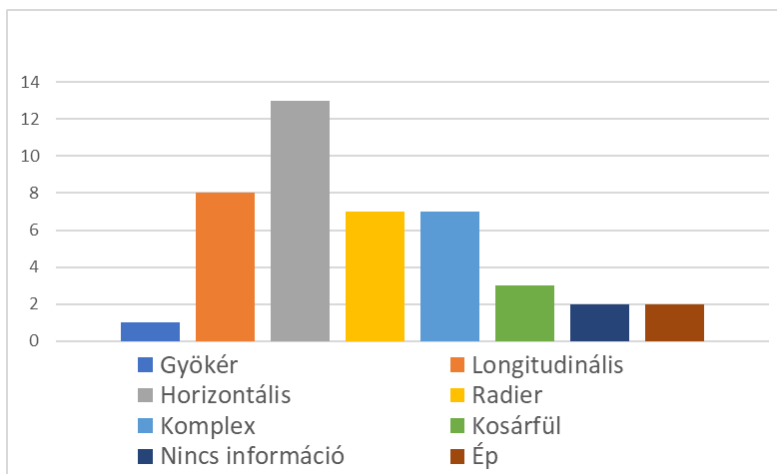
ANYAG ÉS MÓDSZEREK

Kutatásunk alatt betegadatokat és zárójelentéseket tekintettünk át retrospektív módon a B.-A.-Z. Vármegyei Központi Kórház és Egyetemi Oktatókórház medikai rendszeréből, a 2020-as évből. A vizsgálat során a térdízületi meniszkusz-érintett betegeket választottuk ki a térdízületi MR-képalkotáson átesett betegek közül (500 fő). 43 fő felelt meg a két fő kritériumnak, és rendelkezett térd MRI-vel és arthroscopiával is. A páciensek térd MRI vizsgálati leleteit, valamint a készült arthroscopiás műtéti beavatkozások zárójelentéseit vizsgáltuk.

A kutatás során az általunk nyert adatokat Microsoft Office Excel segítségével elemeztük és dolgoztuk fel.

KUTATÁSI EREDMÉNYEK ÉS MEGBESZÉLÉS

A leggyakoribb degeneratív szakadásforma a mediális meniszkusz hátsó szarvának horizontális szakadása, vagy a meniszkusz komplex szakadása (1. ábra).

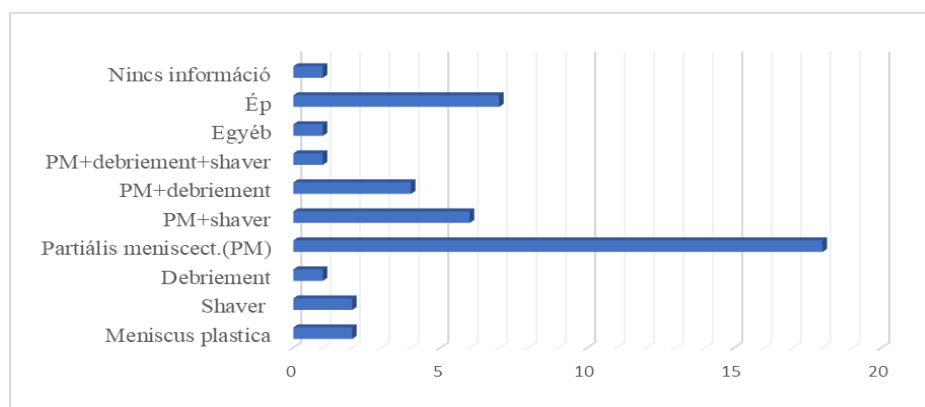


1. ábra. Szakadások típusai térd MRI-k szerint

A degeneratív szakadások valamilyen artrózissal társulnak. A leggyakoribb traumás szakadás a vertikális longitudinális szakadás mind mediálisan, mind laterálisan. Az ultrahang-diagnosztikában a meniszkuszszakadások indirekt jelei (pl. perimeniscalis ciszta) segítségével pontosabban kimutatható a szakadások jelenléte. Az MRI hozzá a legpontosabb eredményt a meniszkuszdiagnózis felállításánál. Az artroszkópia során az MRI által vizsgált meniszkusz állapotáról bizonyosodnak meg, majd az adott sérülésnek megfelelő műtéti megoldást alkalmazzák. Artroszkópia során kevesebb degeneratív meniszkusz sérült beteg kerül ellátásra, mint traumás.

A meniszkuszsérülések korszerű terápiai ellátására az artroszkópia nyújt lehetőséget. A B.-A.-Z. Vármegyei Központi Kórházban a külföldi protokollal megegyezően a vizsgált betegek körében a meniszkusz részleges eltávolításának (PM = parciális meniszektómia) száma a legmagasabb. A törmelékeltávolítás (debridement) és a meniszkusz „borotvával” történő eltávolítása (shaver) is fontos kiegészítő elemei a parciális meniszektómiának. Ezek a precizitást segítik elő. A meniszkuszplasztikák (transzplantációk) száma alacsony, ellentétben a nyugati államokkal, ahol a bevett gyakorlat része mind az emberből származó, mind a mesterséges implantátumos módszer is. A másik, külföldön sikerrel alkalmazott eljárás az összejtterápia, ami degeneratív esetben akár a meniszkusz teljes pótlására is lehetőséget nyújthat.

Az 1. ábrán az MRI-diagnózisok láthatók. Ezeket összehasonlítva az artroszkópiás leletekkel a 7 ép és 1 egyéb okból végzett beavatkozás eredménye eltér az MRI-vel diagnosztizált szakadások eredményeitől. A 43 főből ez 16%-os eltérést jelent, amit nem tekintünk jelentős különbségnek. (2. ábra)



2. ábra. Artroszkópos műtéti megoldások

Innovatív képalkotási és terápiai módszerek

Mesterséges intelligencia: A mélytanuló algoritmusok világa

A számítástechnika világában a különböző számítógépes algoritmusok rohamos fejlődésének köszönhetően megszületett az a mesterséges intelligencia, ami a radiológia különböző területein szolgáltathat biztos eredményeket. Az alábbiakban az

Egyesült Államokban fejlesztett, és klinikailag bizonyított mesterséges intelligenciát mutatom be bővebben, amit a Stanfordi Egyetemen fejlesztettek ki az MRI-diagnosztikában való alkalmazásra [5].

Ez a mesterséges intelligencia az úgynevezett „mélytanuló” (DL = deep learning) algoritmusok segítségével képes arra, hogy „megtanuljon” különböző feladatokat, és alkalmazza ezeket a muszkoskeletális képalkotásban (röntgen, UH, CT, MRI). Ilyen feladatnak számít a különböző képanyagok (rekonstrukciók és szintetikus képek) és a szöveti felbontás elemzése, valamint a különböző betegségek felismerése és kategorizálása. A „mélytanuló” (DL) algoritmusok működése a konvolúciós neurális hálózaton (CNN) alapszik. A CNN tulajdonképpen egy szűrőtípus, ami az adott szekvenciára ráhelyezve hoz „önálló” döntéseket. A CNN felépítését az emberi szervezet ingerfelfogó rendszere inspirálta, ahogy az idegsejtek („neuronok”) is csak a megfelelő nagyságú ingert engedik tovább, így ez a rendszer is csak a megfelelő információ felhalmozódása után reagál [6].

2019-ben, a Francia Radiológus Társaság meniszkuszszakadás detektálási felhívására megoldásul két kutatás érkezett. Mindkét megoldás DL-algoritmuson alapult, viszont komplett szekvenciák helyett csak egy előre kiválasztott sagittális FatSat szelvet elemeztek, ami T2-súlyozott volt. Az algoritmus 91–94% közötti pontosságot ért el, és képes volt nemcsak a szakadás jelenlétének megállapítására, hanem vertikális vagy horizontális csoportbesorolásra is [5].

2019-ben volt még egy másik kísérlet is a DL algoritmusok terén, ami a nem sokkal előtte bemutatott verziót fejlesztette tovább. Ez háromirányú PD-súlyozott képeket elemzett és három súlyossági csoport szerint kategorizálta a szakadásokat (sértetlen meniscus, enyhe vagy közepes szakadás és súlyos szakadás). A DL algoritmus így 82%-os szenzitivitást és 90%-os specificitást ért el [5].

2020-ban egy teljesen automatikus DL-algoritmus képes volt arra, hogy nemcsak megtalálta a meniszkuszszakadást, hanem az oldaliságát is jelezte. koronális és sagittális PD-súlyozott FatSat MR-képeken tesztelték a programot. A DL-algoritmus így 84%-os szenzitivitást és 88%-os specificitást ért el a mediális meniszkuszszakadások tekintetében, míg a laterális oldalon 58%-os szenzitivitást és 92%-os specificitást mutatott. Az eredményeket ellenőrző radiológusok teljesítménye mintegy 10%-kal előzte meg a mesterséges intelligenciát [5].

2021-ben egy olyan DL-algoritmus került kifejlesztésre, ami képes volt megtalálni a szakadásokat koronális és sagittális FS PD-súlyozott MR-képeken. A radiológusok leletei adták a kiindulási alapot a program számára, ami így 89%-os szenzitivitást, 84%-os specificitást és 93%-os pontosságot ért el [5].

Meniszkusz összejt terápia

A képalkotó eljárások fejlődésével egyre kifinomultabb képet kapott az orvostudomány a térd különböző részeiről, mint például a meniszkuszok biomechanikai szerepéről is. Ennek következtében a terápia terén is, és háttérbe szorultak a drasztikus megoldások (mint a teljes meniszekektómia), és inkább a meniszkuszok állományának megtartására helyeződött a hangsúly. Az újabban artroszkópiával is kivitelezhető

műtéti megoldások között találjuk a parciális meniszekтомиát, a meniszkuszjavítást (repair), a meniszkusztranszplantációt és a meniszkusz allograft transzplantációt [7].

Az őssejtterápia, egy olyan korszerű megoldás, ami a korábbi műtéti megoldások hátrányait igyekszik elkerülni. Kezdetben az őssejtbeültetést sikerrel alkalmazták különböző degeneratív állapotok felszámolásánál (femurfejnekrozis), vagy a gerinc porckorongjait érintő problémák megszüntetésénél. A meniszkuszsérülések kezelésénél szükséges új porc, rostok és a vérkeringés kialakítása, amit az őssejtek különböző differenciálódásával érnek el, ezek emellett még mediátorként is szolgálnak. Az őssejteket mezenchimális állományból és a csontvelőből szerzik be, ezek a legideálisabbak a meniszkuszterápiához. A csontvelői őssejtek differenciálódási tulajdonságai lehetővé teszik, hogy nemcsak a meniszkuszt alkotó rostosporccá tudnak alakulni, hanem a sejtek extracelluláris mátrixát is pótolni tudják. Ez azért fontos, mert az újránövesztett meniszkusz szöveti állománya keveredik a páciens saját állományával, így teljes mértékben elkerülhető a kilökődés. Egyetlen hátránya a csontvelő begyűjtésének nehézsége, mivel ez invazív módon, perkután punkcióval történik. A mezenchimális állományi őssejteket a szinóviumból szerzik be. Az így nyert őssejtek genetikai tulajdonságaikkal sokkal közelebb állnak a belső ízületi szövetek (szinóvium, meniszkusz, szalagok) genetikájához, így ezen a téren megelőzik a csontvelői őssejteket [8].

Egy 2019-es eseteírás számol be a Japánban úttörőként végzett őssejtterápiáról, amit 2013 novembere és 2014 novembere között végeztek betegeken. A kiválasztott 5 betegnek komplex degeneratív meniszkuszzakadása volt a meniszkuszzakadásokra jellemző klinikai tünetekkel (instabilitás érzés, fájdalom stb.). Mezenchimális állományi őssejteket használtak a klinikai kísérletben, amit a betegek szinóviális állományából szereztek be. A beavatkozást megelőzően MRI-vel és artroszkópos úton is ellenőrizték a betegek állapotát. A szinóviális „betakarítás” (*synovial harvest*) során megfelelő mennyiségű szöveti állományt szereztek be, és 300 ml vért csapoltak le páciensenként 2 héttel a visszatranszplantáció előtt [9].

A Lysholm-skála szerint, amit térdállapot-értékelésre használnak, az őssejtkezelés után javulás tapasztalható a páciensek állapotában. A beavatkozás után 1 évvel az értékek tovább javultak ahhoz képest, amilyenek a kezelés előtt voltak. Az őssejtkezelés után két évvel készült 3D MRI-szekvenciákon az őssejtekkel kezelt mediális és az egészséges laterális meniszkusz ugyanolyan intenzitással jelenik meg. Ebből arra lehet következtetni, hogy állapotukat tekintve egyenlőek. [9].

KÖVETKEZTETÉS

A 20. század második felében a meniszkuszokat haszontalan testrésznek tekintették és a legtöbb esetben sérülésnél teljesen el is távolították azt. A képalkotó eljárások fejlődésével viszont változott ez az elképzelés és napjainkban nagyon fontos biomechanikai szerepet tulajdonítanak neki a terheléelosztás tekintetében. Ennek megfelelően a terápiás eljárások is egyre kifinomultabbak és csak a sérült meniszkuszrészre összpontosítanak az eltávolítás vagy a reparáció során. A külföldi gyakorlatban pedig találunk napjainkban úttörőnek számító terápiákat (allograft

transzplantáció vagy összejtkezelés) és képelemző eljárást (mesterséges intelligencia), melyek a tudomány jelen állása szerint a jövőt képviselik.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Tarsoly E. (2010). *Funkcionális anatómia*. Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest.
- [2] Rosas H. G. (2014). Magnetic resonance imaging of the meniscus. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*, 22 (4), pp. 493–516. <https://doi.org/10.1016/j.mric.2014.07.002>
- [3] Lefevre, N. – Naouri, J. F. – Herman, S. – Gerometta, A. – Klouche, S. – Bohu, Y. (2016). A Current Review of the Meniscus Imaging: Proposition of a Useful Tool for Its Radiologic Analysis. *Radiology research and practice*, 2016, p. 8329296. <https://doi.org/10.1155/2016/8329296>
- [4] Deviandri, R. – Daulay, M. C. – Iskandar, D. – Kautsar, A. P. – Lubis, A. M. T. – Postma, M. J. (2023).: Health-economic evaluation of meniscus tear treatments: a systematic review. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy : official journal of the ESSKA*, Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07278-8>
- [5] Fritz, B. – Fritz, J. (2022). Artificial intelligence for MRI diagnosis of joints: a scoping review of the current state-of-the-art of deep learning-based approaches. *Skeletal Radiology*, 51 (2), pp. 315–329. <https://doi.org/10.1007/s00256-021-03830-8>
- [6] Li, Z. – Liu, F. – Yang, W. – Peng, S. – Zhou, J. (2022). A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 33 (12), pp. 6999–7019. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2021.3084827>
- [7] Cengiz, I. F. – Pereira, H. – Espregueira-Mendes, J. et al. (2017). Treatments of Meniscus Lesions of the Knee: Current Concepts and Future Perspectives. *Regen. Eng. Transl. Med.* 3, pp. 32–50. <https://doi.org/10.1007/s40883-017-0025-z>
- [8] Bian, Y. – Wang, H. – Zhao, X. – Weng, X. (2022). Meniscus repair: up-to-date advances in stem cell-based therapy. *Stem Cell Research & Therapy*, 13 (1), p. 207. <https://doi.org/10.1186/s13287-022-02863-7>
- [9] Sekiya, I. – Koga, H. – Otabe, K. – Nakagawa, Y. – Katano, H. – Ozeki, N. – Mizuno, M. – Horie, M. – Kohno, Y. – Katagiri, K. – Watanabe, N. – Muneta, T. (2019). Additional Use of Synovial Mesenchymal Stem Cell Transplantation Following Surgical Repair of a Complex Degenerative Tear of the Medial Meniscus of the Knee: A Case Report. *Cell transplantation*, 28 (11), pp. 1445–1454. <https://doi.org/10.1177/0963689719863793>