

Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar

Egészségtudományi Doktori Iskola

Pécs

Doktori Iskola vezetője: PROF. DR. BÓDIS JÓZSEF egyetemi tanár

**Képi vezérelt és kontrollált perkután lézeres
dekompresszió porckorongban *ex vivo***

PhD téziszfüzet

DR. CSELIK ZSOLT

Témavezető:

PROF. DR. REPA IMRE egyetemi tanár

Társtémavezető:

PROF. DR. BOGNER PÉTER egyetemi tanár

Onkológia-egészségtudomány (P-6) doktori program

Programvezető:

PROF. DR. EMBER ISTVÁN egyetemi tanár

Diagnosztikai képalkotás (P-6/2) alprogram

Alprogramvezető:

PROF. DR. BOGNER PÉTER egyetemi tanár

Pécs, 2012

1. Bevezetés

A negyven év feletti populáció 65-70%-a élete során legalább egyszer tapasztalt már olyan mértékű ágyéki gerincfájdalmat, mely komoly akadályt képezte mindennapi tevékenységeinek. Az OLEF 2003 felmérése alapján megállapították, hogy a férfiak 49,1%-a és a nők 63,9%-a tapasztalt már korábban fájdalmat a nyaki, háti vagy ágyéki gerincszakaszon. Egy, az Egyesült Királyságban készült tanulmány szerint a krónikus fájdalomhoz köthető egészségügyi kiadások – beleértve a direkt és indirekt költségeket is – mértéke nagyon nagy. Egyes becslések szerint a deréktáji fájdalom kezelésének költségei elérik az ischaemiás szívbetegségekre fordított összeget. A gerinc kontrollálatlan és nem megfelelően kivitelezett mechanikai terhelése a porckorong nyomásának emelkedésén keresztül kialakult előboltosulás miatt idegkárosodáshoz és a beidegzett terület funkcióvesztéséhez vezethet.

A porckorongsérv terápiás lehetőségei

A lumboischialgia leggyakoribb okaként szolgáló porckorongsérv kórképző jelentőségét az 1900-as évek elején ismerték fel. Sokáig a kezelés kizárólag konzervatív módszerekkel történt, majd a sebészi terápia fejlődésével széles körben kezdték alkalmazni az újabb sebészeti módszereket. Napjainkban egyre több esetben ajánlanak minimál invazív módszert a fájdalom enyhítése érdekében. Ezek az eljárások a porckorong térfogatának csökkentésére vagy a nociceptív receptorok hőablációjára irányulnak. A minimál invazív módszerek között az 1970-es években megjelentek a lézerrel végzett sebészeti beavatkozások. Porckorongbetegségeknél a lézerfény segítségével, a nucleus pulposus-sal közölt hőenergia szintén ígéretes minimál invazív fájdalomenyhítő, a porckorong nyomását csökkentő eljárás.

2. Célkitűzés

A korábban feltárt és az ismertetett irodalmi eredményeket figyelembe véve az alábbi célok elérését tűztük ki:

1. PLDD folyamán eddig rutinszerűen alkalmazott, a beavatkozás ellenőrzésére szolgáló képalkotó eljárásokon túl a sebészeti navigáció használata előnnyel jár. E megállapítást alapul véve célunk volt annak igazolása, hogy a lézerszál porckorongba történő pozicionálása 3,0 mm-en belüli pontossággal elvégezhető;
2. bizonyítani, hogy az első pontban megjelölt pontossággal elkerülhető az ér- és idegképletek sérülése;
3. csökkenteni a személyzetet érő sugárterhelést a sebészeti navigáció segítségével végzett PLDD-beavatkozás során;
4. igazolni, hogy a PLDD-beavatkozás okozta kis térfogatban bekövetkezett fizikai hatás MR-vizsgálati módszerekkel mérhető;
5. vizsgálni az infravörös tartományú lézerefény MR-képalkotással detektált fizikai hatását patológiai módszerekkel;
6. vizsgálni az eltérő hullámhosszú (980 nm *vs.* 1470 nm) lézerefény hatásának különbségét hisztopatológiai módszerekkel.

3. A vizsgálat anyaga és módszerei

Ex vivo intervenciós vizsgálatainkat a Kaposvári Egyetem Egészségügyi Centrumában végeztük. A CT- és MR-vizsgálatokat itt és a Pécsi Diagnosztikai Központban végeztük.

A kísérletsorozat két szakaszból állt:

- 1.a** sebészeti navigáció alkalmazása - képalkotó vizsgálatok (CT/MRI/sebészeti képerősítő) kontrollja mellett - a nucleus pulposus pontos megközelítése és elérése, valamint a folyamat reprodukálhatósága érdekében,
- 1.b** a nucleus pulposussal közölt energia képalkotó vizsgálattal (kvalitatív MR-mérésekkel) és patológiai módszerekkel történő detektálása.
- 2.** Különböző hullámhosszúságú dióda lézerefény hatásának összevetése kvalitatív és kvantitatív képalkotó eljárásokkal, patológiai vizsgálatokkal PLDD esetén.

A vizsgálathoz használt specimenek

A mintákat a Kaposvári Egyetem, Egészségügyi Centrum Kutatás Etikai Bizottságának iránymutatásait követve készítettük elő és használtuk fel. Két *ex vivo* sertés valamint három *ex vivo* borjú lumbális gerincszakaszt használtunk fel a kísérlethez.

A sebészeti navigáció alkalmazása

Az elektromagnetikus kereső technológián alapuló navigációs trokárt komputer asszisztált navigációs rendszerrel együtt alkalmaztuk. Ez a rendszer a preoperatív CT- és/vagy MR-felvételeket, illetve elektromágneses elven alapuló keresőtechnológiát használ fel arra, hogy egy adott anatómiai régióban a sebészeti eszköz térbeli helyzetéről és irányáról visszajelzést adjon.

A navigációs készülék megtervezte az optimális behatolás irányát, mellyel elkerülhetjük a régióban található neurovaszkuláris képletek sérülését.

A lézer alkalmazási protokollja

A vizsgálathoz kisméretű, nagy intenzitású dióda lézerkészüléket alkalmaztunk, melynek kibocsátott lézerfény hullámhossza 980 ± 10 nm valamint 1470 ± 10 nm volt. A sertés specimének lézeres kezelése alkalmával 20 W teljesítményt használtunk impulzus módban.

A kísérlet első felében hat porckoronggal egyenként 100 J-os frakcióemeléssel, lépésekben történt energiaközlés (220–705 J között), míg a másik hat porckoronggal egyenként 500 Joule-t közöltünk. A kísérletsorozat második felében borjú specimenen végeztük a beavatkozásokat. 980 ± 10 nm és 1470 ± 10 nm hullámhosszúságú lézerfényvel a porckorongokkal ugyanolyan nagyságú energiát, egyenként 500 J (500–509 J) közöltünk az összes egyéb fizikai paraméter változatlanul hagyásával.

Képalkotó eljárások

A navigáció folyamatához a beavatkozás előtt CT-vizsgálatot végeztünk. A fizikai hatás detektálása miatt standard körülmények között MR-képalkotás is történt, melyet a lézerkezelés előtt és azt követően is elvégeztünk. A sebészeti navigációval kontrollált beavatkozást C-karos flouroszkóppal ellenőriztük.

Dozimetria

A korábban standardnak számító röntgen-átvilágítás helyett napjainkban egyéb eljárások használatosak a képi vezérelt és kontrollált sebészeti beavatkozások ellenőrzésére. A keresztmetszeti képalkotás (CT/MRI) által nyert többlet anatómiai információ különböző navigációs készülékek használatával kiválthatja a C-karos flouroszkóp alkalmazását, így nagymértékben csökkenti a direkt és a szórt röntgensugárzás dóziséját. Elsőként mértük a szórt sugárzást PLDD-beavatkozás során.

A specimenek patológiai feldolgozása

A lézerbeavatkozást és a képalkotó vizsgálatokat követően azonnal eltávolítottuk a specimenekből a porckorongokat a patológiai feldolgozáshoz.

4. Eredmények

A képalkotás szerepe a PLDD-beavatkozások során

Jelen vizsgálatainkban alkalmazott képalkotó eljárások részletesebb térbeli és szöveti felbontást nyújtottak, mint a szummációs leképezésen alapuló C-karos fluoroszkópia. A perkután beavatkozás kontrollálásához alkalmazott CT-navigáció által szolgáltatott térbeli konfigurációs adatok megkönnyítették a navigációs trokár pozicionálását, az axiális és sagittalis képeken, lehetővé téve a precíz lézerablációt a porckorongon. Megállapítottuk, hogy a navigációs trokár pontos illesztése a porckorongba a sebészeti navigációs rendszer segítségével 1,0-1,5 mm közötti pontossággal történt ($1,4 \pm 0,2$ és $1,1 \pm 0,2$ mm), melyet kontroll röntgenfelvételekkel és a navigációs rendszerben látható – virtuális – trokártól való térbeli eltérés detektálásával is igazoltunk. A pontos anatómiai térinformáció birtokában a lézertrokár célterületre történő bejuttatása a hagyományos C-karos fluoroszkópos technikához képest rövidebb idő alatt történt, így a kontrollként használt röntgen alkalmazási ideje az anteroposterior és laterális nézetben egyenként nem haladta meg a 9 másodpercet az egyes porckorongok szintjén.

4. Dozimetriai eredmények

A személyzet és a specimen dózisterhelésének megállapítása érdekében a sugárforrástól 50 illetve 100 cm-re mértük a szórt sugárdózist. A méréshez használt fantom izocentrikusan helyezkedett el, a röntgensőtől és a

képerősítőtől egyaránt 40 cm-re. Az alkalmazott átvilágító berendezés dózisteljesítménye átvilágítás esetén 80 μ rtg/s.

A berendezés munkaasztalának árnyékoló tulajdonsága miatt a dózisterhelés akkor volt a legalacsonyabb, amikor a röntgenső PA-irányban állt, és attól legalább 1 m-es távolságra helyezkedett el a személyzet (az egy éves megengedett határérték 0,0024%-a, az öt éves határérték 0,0012%-a). A 90 vagy 270 fokban elhelyezett gantrynél nem volt árnyékoló közeg az operátor és a forrás között, mely nagyobb dózisterhelést jelentett. A legnagyobb terhelést 50 cm-re a 90 vagy 270 fokban álló röntgensőtől mértük. Ezek az értékek az egy éves határérték 0,0232%-át, az öt éves határérték 0,0116%-át jelentették.

Az általunk fellelt irodalmi hivatkozásokban egy pedicle screw behelyezéséhez kontrollként használt C-karos fluoroszkóp használati ideje 38 s volt. A kísérletünkben kapott eredmény alapján – a sebészeti navigáció alkalmazásával – a személyzetet és a beteget érő dózisterhelést egynegyedére tudtuk csökkenteni.

A PLDD fizikai hatásának detektálása MR-vizsgálattal

- a)* Összehasonlítva a lézerbesugárzást megelőző képekkel, a posztoperatív kvalitatív MR-vizsgálatokkal detektálni tudtuk a porckorongban a lézerabláció pontos helyét. Az elemzést követő makroszkópos vizsgálat kimutatta, hogy a navigációs trokár pozicionálása a terveknek megfelelő porckorong célterületre történt. Nagyítás alatt az ágyéki gerincszakasz optikai és MR-felvételeinek elemzése nem mutatott ideggyöksérülést és vaszkuláris struktúrasérülést.
- b)* A kísérletsorozat második felében a különböző hullámhossz okozta eltérő különbségek vizsgálata volt a célunk. A borjú specimen minden egyes porckorongjával azonos nagyságú energiát közöltünk impulzusmódban, azonos teljesítményen. A különbségek detektálása miatt a kezelés előtt és után kvantitatív MR-méréseket végeztünk.

A 980 nm hullámhosszúságú lézerfény kezelés után a jelintenzitás szignifikánsan csökkent a T₁ súlyozott, és szignifikánsan emelkedett a T₂ súlyozott felvételeken a kvarcszál közvetlen környezetében. A kvarcszál helyzete a T₁ és T₂ súlyozott képeken észlelhető volt. Mindamellett nem tudtunk szignifikáns jelintenzitás-változást kimutatni a nucleus pulposus egészére vonatkoztatva a T₁ és T₂ súlyozott felvételeken. A 980 nm hosszúságú lézer hatása vizsgálatunk alapján csupán a kvarcszál környezetére limitálódik. Látható változást sem a teljes nucleus pulposus, sem pedig a lézer applikátor környezetében nem tapasztaltunk a diffúziós mérésekkel.

Az 1470 nm hullámhosszúságú lézerfény esetében a T₁ súlyozott képeken is látható a 980 nm hullámhosszúságú lézerkezelés után észlelt ahhoz hasonló, de nem szignifikáns mértékű változás. Ugyanakkor a nucleus pulposus egészét tekintve viszont a T₁ súlyozott felvételeken szignifikáns emelkedést mértünk. Az 1470 nm hullámhosszú lézerfény okozta változás a kvarcszál környezetében a T₂ és a diffúzió súlyozott mérésekkel nem volt látható. A T₂ súlyozott képek jelintenzitása az egész nucleus pulposusban nem mutatott változást, míg az ADC a T₁ súlyozott mérésekhez hasonlóan szignifikánsan emelkedett.

Patológiai eredmények

- a)* A rutin patológiai feldolgozás kimutatta, hogy a lézerszál környezetében karbonizációs zóna alakul ki, valamint a karbonizációs zónát körülvevő gőzbuborékok mérete függ a lézerfény hullámhosszától.
- b)* A különböző hullámhosszúságú lézerfény okozta hatások között különbséget igazoltunk. 980 nm hullámhosszúság esetén a karbonizációs zóna szélesebb volt, a keletkezett gőzbuborékok mérete nagyobb volt, és összefolyó szerkezeti képet mutatott. A gőzbuborékok zónája 600–700 µm szélességű volt, ellentétben az 1470 nm hullámhossz esetén észlelt 300–400 µm-es zónával, ahol a gőzbuborékok nem mutattak konfluáló képet.

5. Következtetések és megbeszélés

A minimál invazív sebészet – a kicsi műtéti metszéseken vagy a trokáron keresztül – ötvözi a gerincműtétek hagyományos módszereit a speciális képalkotó eljárásokkal. Ez teszi lehetővé a kis behatolásból megközelíthető részek hozzáférhetőségét, szövetkímélő technikákkal minimalizálja a beteget érő traumát, rövidebb kórházi tartózkodást eredményez, csökkenti a fájdalmat és gyorsítja a munkába való visszatérést. A navigáció a képi vezérelt műtétek kulcsfontosságú elemévé vált az anatómiailag olyan összetett területeken, mint a gerinc.

Dolgozatomban bemutattuk a számítógépes navigáció alkalmazását a félvezető dióda lézerefény száloptikán keresztüli pozicionálására, követésére perkután végzett minimál invazív lézer diszkektómiában. Az eljárás kivitelezését nehezíti az adott anatómiai szituáció (erek és idegek a csigolyanyúlványok közvetlen közelében), ezért fontos a sebészeti eszköz biztonságos, precíz navigálása a műtéti területen. Bemutattuk, hogy lehetséges a sebészeti eszköz precíz lokalizálása a célterületben, melyet 2,0 mm-es vagy annál kisebb pontossági hibahatáron belül tudtunk elvégezni. Ezáltal elérhető a porckorong térfogatának csökkentése hőközléssel. Valójában a sebészeti eszköz végpontjának pozicionálása 1,0–1,5 mm pontosságú volt. Ahogy várható volt, a legnagyobb precizitást az L₄ csigolyán értük el, mindkét mintában 1,0 mm-es pontossággal. Az L₄ csigolya szintjén csatlakoztatható a legnagyobb biztonsággal a dinamikus referenciaeszköz, ezért ezen a szinten volt várható a legpontosabb regisztráció. Minél távolabb volt a célterület az L₄ csigolyától, a pontosság úgy csökkent a pillanatnyi potenciálváltozások következtében. Ezek a potenciálváltozások legfeljebb mikrométer nagyságú pontatlanságot eredményeztek, és az általános pontossági cél elérését nem befolyásolták. A minimál invazív gerincműtétek számának növekedésével a korlátozottan észlelhető anatómiai területek perkután megközelítésének igényével együtt nő

a C-karos fluoroszkópia intraoperatív használata. Az ilyen eljárások során az operatőr és a mûtő személyzete sokszor közvetlenül a képerősítõ mellett helyezkedik el, ami nagyobb sugárterheléshez vezet, de a kísérleteinkben alkalmazott navigációval a dózisterhelés ideje jelentõsen csökkenthetõ volt.

A direktröntgen-sugárzásban dolgozó személyzet egészségkárosodását megelőzendõ a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) irányelvei alapján a 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet I. Dóziskorlátok, radonkoncentrációk munkavállalókra vonatkozó cselekvési szintjei bekezdés 1.3. pontja korlátozó tényezõt vezetett be. Eszerint a dózisterhelés a következõképpen alakulhat: egymást követõ öt naptári évben nem haladhatja meg a 100 mSv korlátot, és egyetlen évben sem haladhatja meg az 50 mSv-t. Méréseink alapján a személyzetre jutó dózisterhelés a beavatkozás idõtartama alatt a röntgenforrástól 50 cm-re (PA-állású röntgencsõ esetén) 0,0096%-a az egy éves, és 0,0048%-a az öt éves határértéknek. A sugárforrástól 100 cm-re ezek az értékek 0,0024% az egy évre, és 0,0012% az öt évre vetített sugárterhelés tekintetében.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy a röntgen képalkotással támogatott beavatkozások a gerincsebész számára a röntgensugárzás szintjének sokkal nagyobb dózisu expozícióját eredményezi, összehasonlítva egyéb sebészeti szakmákkal. A sebészek gyakran különbözõ technikákat alkalmaznak a sugárzás expozíciós idejének minimalizálására, ilyen például a sebészeti fogó használata, vagy egyéb, a kezet érõ sugárzástól védõ eszköz. A navigációs eszköz használata segít mellõzni ezeket a hagyományos technikákat és biztonságos hátteret nyújt mind a beavatkozás pontos elvégzéséhez, mind pedig a beteg és az operáló személyzet sugárterhelésének csökkentéséhez. Tudomásunk szerint a beavatkozáshoz használt C-karos fluoroszkópia idejének monitorozására még nem irányult vizsgálat a perkután lézer diszkektómiás beavatkozások során, de összehasonlítva a nyílt és minimál invazív számítógépes navigációval végzett eljárásokat, az expozíciós idõ csökkenthetõ. Eredményeink alapján megállapíthatjuk, hogy az irodalomban fellelt javaslatok

szerint, de sebészeti navigációval végzett beavatkozás során – a személyzet távolságának és helyzetének a röntgensugártól való függvényében – a nemzetközi határérték akár 0,0012%-ára is csökkenthető a beavatkozók dózisterhelése.

BENZEL és munkatársai pedicle screw behelyezésére irányuló idegsebészeti beavatkozásnál arról számoltak be, hogy röntgen fluoroszkópia használatával minimum 38 s-ra volt szükség egy csavar beültetéséhez. Egy másik vizsgálatban a bőr alatti csavar elhelyezéséhez a röntgenkészüléket 63 s-ig alkalmazták. A CHOI vezette munkacsoport navigációs eljárással történő összehasonlító tanulmányban ez az idő csigolyaívenként átlagosan 4,6 s volt. Ez szignifikáns csökkenést jelent a röntgensugár expozíciójában a betegnek és a személyzetnek egyaránt. Különböző külső tényezők befolyásolhatják a röntgensugárzás expozíciós idejét a perkután technikák esetén. Ilyen lehet, ha az anatómiai célterület pontjai nincsenek jól meghatározva, vagy különböző műtéti eljárásokat alkalmazunk, de itt említhetjük a műtéti és radiológiai technikák eltérő tapasztalatokon alapuló alkalmazását is.

A standard C-karos fluoroszkóp egyedüli alkalmazásával szemben a váz nélküli sztereotaxiás sebészeti navigációs technika folyamatosan fejlődik, mely az elért pontosságban mutatkozik meg. Tudomásunk szerint, nem publikáltak adatot az elektromágneses alapú keresőrendszer sebészeti pontosságáról vagy optoelektronikai irányítási rendszerekről PLDD esetében. A váz nélküli számítógéppel navigált technológia javítja a beavatkozáshoz szükséges eszköz elhelyezésének pontosságát, és minimalizálja a sugárzás expozícióját, mely a jövő egyik fő célja. A számítógéppel támogatott sebészeti navigáció használatával az intraoperatív C-karos fluoroszkópiás röntgenkészülék alkalmazása elkerülhető, vagy legalábbis nagymértékben csökkenthető a navigációs készülék irányítása alatt. Továbbá a fluoroszkópiás alkalmazás időtartamának minimalizálása csökkenti a műtét idejét, ezáltal a fertőzés kockázata is csökken. A modern C-karos fluoroszkópia ígéretes fejlődést mutat a tekintetben, hogy CT-minőségű felvételeket képes szolgáltatni, valamint egyesíthető a sebészeti navigációval. A sebészeti navigáció folyamatos

alkalmazása előnyt jelent a sebészeti eszköz pontos térbeli elhelyezésénél (pl. implantátum, biopszia). A valós idejű információk három síkban történő megjelenítése segítséget nyújt a beavatkozás megtervezésekor az anatómiai területen a mélység érzékelésében, amely segíthet elkerülni a többszöri, step-by-step eszköz pozicionálást, és segít elkerülni az eszköz nem megfelelő helyre történő elhelyezését. Az ilyen típusú sebészeti kiegészítés növelheti az eljárás kényelmét, és lehetővé teszi, hogy az operatőrnek kevesebbet kelljen extrapolálni a kétdimenziós információkat háromdimenzióssá, ennél fogva minimalizálja a tévedést. A gyakorlati alkalmazáson túl a különböző minimál invazív sebészeti eljárások további fejlesztésében, oktatásában is fontos szerepet tölthet be. A gerincsebészek tréningen fejleszthetik ismereteiket a lézerműtétekben, endoszkópiában és egyéb minimál invazív eljárásokban. A sebészeti navigációs technológia azonban nem helyettesíti a klinikai tapasztalatokat, az alapvető anatómiai tudást és ítélőképességet.

A negyven év feletti populáció 65-70%-ánál legalább egy alkalommal előfordult már ágyéki gerincfájdalom, ami hatással van a mindennapi tevékenységre. Ez a fájdalom - sérvvel vagy anélkül - okozója lehet rokkantságnak és komoly gazdasági, egészségügyi következményei vannak. A minimál invazív technikák, mint például a perkután lézeres porckorong nyomáscsökkentés (PLDD), a standard nyitott diszkektómiák ígéretes alternatívájának tűnnek. PLDD-beavatkozás során a nucleus pulposusból kis térfogatot vaporizálunk el, így a porckorong nyomása csökken, és a herniálódott annulus fibrosus szalagokra és kilépő ideggyökre nehezedő nyomása megszűnik. CHOY nyomán 2002-ig több mint 35 000 PLDD-beavatkozást végeztek. A legújabb vizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy a PLDD gondosan válogatott beteganyagon megfelelő megoldást nyújthat. Mégis, dacára a potenciális gazdasági és egészségügyi előnyöknek, a PLDD még mindig kísérleti eszköz számos sebész számára, tekintve a szerény számú tudományos bizonyítékot. Vizsgálódásunk célja a sebészeti navigáció segítségével elérhető pontosság bizonyításán túl az volt, hogy a szövettani

vizsgálattal összevetve leírjuk a lézeres porckorong abláció hatását kvalitatív és kvantitatív MR-mérésekkel. A konvencionálisan alkalmazott 980 nm hullámhosszúságú lézer mellett 1470 nm hullámhosszt is használtunk a szövettani különbségek vizsgálatához. Az 1470 nm hullámhosszúságú lézerfény abszorpciós képessége vízben negyvenszerese a 980 nm hullámhosszúságú lézerfénynek és ismerve a csigolya közti porckorong víztartalmát, joggal várhattunk eltérő hatást.

A porckorongok hőmérsékletét a lézerbeavatkozás előtt és után is mértük. Az MR-méréseket csak akkor kezdtük, miután a specimenek szobahőmérsékletre visszahűltek. Ez azért fontos, mert az összes kvantitatív MR-paraméter hőmérsékletfüggő. A két hullámhossz alkalmazása előtt és után elvégzett T_2 súlyozott mérések alatt nem tapasztaltunk hőmérsékletkülönbségre utaló jelkülönbséget a nucleus pulposusban. A 980 nm hullámhossz alkalmazása konfluáló gőzbuborékokat, széles karbonizációs zónát, kifejezettebb szöveti roncsolódást eredményezett a kvarcszál környezetében. Az MR-paraméterek láthatóan a karbonizációs zóna területén változtak. A kvarcszál környezetében a T_1 -érték csökkent, mely korrelál a vaporizáció következtében lecsökkent víztartalommal. A T_2 -érték emelkedése a karbonizáció területén a szöveti anizotrópiával (proteoglikánok térbeli elhelyezkedése), valamint a proteoglikán-tartalom megváltozásával magyarázható. A diffúziós értékekben nem tapasztaltunk eltérést a kezelt térfogatban, mely az alacsony térbeli felbontás miatt adódhatott (nagy térfogatú voxel effektus). A porckorong egészét tekintve viszont nem tapasztaltunk paraméter-változást. Láthatóan a 980 nm hullámhosszú lézerfény jól lokalizálható szöveti hatást okoz, és a közölt energia jól körülírt térfogatban nyelődik el.

Az 1470 nm hullámhossz okozta karbonizáció kisebb térfogatban jelentkezett, a kialakult gőzbuborékok nem mutattak konfluáló szerkezetet. A kezelés hatásai kizárólag a T_1 súlyozott felvételeken látszottak, a T_2 és diffúzió súlyozott felvételeken nem tudtunk szöveti változást detektálni,

szemben a 980 nm hullámhosszúságú lézerefény alkalmazásakor tapasztaltakkal. A T_1 -értékek a karbonizációs zónában csökkentek, mely a víztartalom csökkenésével korreláltak, bár ez csak tendenciózus volt, a szignifikáns mértéket nem érte el ($p = 0,069$). Az összes porckorong esetében ugyanakkora energiaközlés történt mindkét hullámhossz esetében, ennél fogva a paraméterek elemzése alapján az 1470 nm hullámhossz esetében észlelt keskenyebb karbonizációs zóna arra enged következtetni, hogy az abszorpciós felesleg a karbonizációs zónától távolabb jelenik meg. Mind a T_1 , mind pedig a diffúziós értékek szignifikáns emelkedése tapasztalható, amikor a teljes nucleus pulposust vizsgáltuk, míg a T_2 -érték változatlan maradt. A T_1 -érték a teljes nucleus pulposusban emelkedett, mely ellentétes tendenciát mutat a karbonizációs zóna térfogatában észleltekkkel. Az emelkedett T_1 - és ADC-értékek az agyban ödémára utalnak, azonban a nucleus pulposus víztartalmának növekedése a lézerkezelést követően elég valószínűtlen. Feltételeztük, hogy az 1470 nm hullámhosszúságú lézerefény esetében a nucleus pulposus szabad víztartalma nő, tekintve, hogy abszorpciós képessége nagyobb a 980 nm hullámhosszúságú lézerefénynél, mely így MR-vizsgálattal is megjeleníthető.

Összefoglalva, a különböző MR-paraméterek változása (ADC és T_1 -jel emelkedés a nucleus pulposus egészében) alapján 1470 nm hullámhosszúságú lézerefény hatására más szöveti kölcsönhatást észleltünk. Ezek alapján érdemes lehet az 1470 nm hullámhossz porckorongra tett hatását *in vivo* vizsgálni. Az 1470 nm hullámhosszúságú lézerefény kifejezett hőhatásának vizsgálatára, követésére alkalmas a mágneses rezonancia vizsgálat, segítségével megóvhatjuk a környező szöveteket a hősokktól. Néhány tanulmány az 1470 nm hullámhosszúságú lézerefény használati előnyét az urológiai és érsebészeti beavatkozások területén már bizonyította.

Vizsgálataink korlátai: fő korlátozó tényező az *in vitro* kísérletben a szobahőmérséklet lehet. A cadaverek *ex vivo* vizsgálatánál nagyon fontos volt a minták azonos hőmérsékleten tartása, mivel ettől eltérő esetben a kvantitatív

MR-mérések hamis eredményt adnának. Emiatt végeztük el a T_2 súlyozott vizsgálatokat is, melyek nagyon érzékenyek a hőmérséklet változására. Amennyiben a két specimen porckorongjai között a hőmérséklet nem egyezett volna, akkor a T_2 -mérések biztosan szignifikáns különbséget mutattak volna a beavatkozások során. Továbbá a T_2 - és ADC-mérések térbeli felbontása nem szolgáltatott elegendő információt (térbeli pontot) ahhoz, hogy érzékelhetővé váljon az esetleges MR-paraméter-változás a karbonizációs zóna közvetlen környezetében az 1470 nm hullámhosszúság alkalmazása esetén.

Összességében megállapítjuk, hogy csigolya közti porckorongon dióda lézer PLDD-beavatkozás hatása különböző MR-paraméterekkel jellemezhető és követhető. A lézerkezelés hatásának kvantitatív MR-mérése segíthet a PLDD-terápia objektív értékelésében. Tapasztalataink szerint az 1470 nm hullámhosszúságú lézerfény alkalmazása esetén a nagyobb vízabszorpciós képessége miatt hatását elsősorban az egész nucleus pulposusra fejtí ki, szemben a 980 nm hullámhosszal, ami a kvarcszál környezetében okoz mérhető elváltozást.

6. Új tudományos eredmények

1. A minimál invazív perkután lézer diszkektómiát komputer asszisztált sebészeti navigációs rendszer alkalmazásával 2,0 mm-es pontossággal tudtuk elvégezni.
2. Kísérletünkkel bizonyítottuk, hogy a kétdimenziós leképezést nyújtó sebészeti röntgenhez viszonyítva a háromdimenziós térinformációt megjelenítő CT-képkalkotás használata előnyösebb a biztonság szempontjából. Az CT a sebészeti röntgenhez képest nem online képkalkotási eljárás volt vizsgálatunkban. A vizsgálati területbe eső ér- és idegképletek – a beavatkozás következtében kialakult – sérülését nem detektáltuk.
3. Az alkalmazott navigációs eljárás segítségével lényegesen lerövidült a beavatkozáshoz szükséges idő, mely a kontrollként használatos C-karos sebészeti röntgen okozta sugárterhelés mérséklődéséhez vezetett. Ez a beteg és a személyzet dózisterhelésének csökkenését eredményezte, melyet a világon elsőként igazoltunk.
4. Az MR-képkalkotás alkalmas – a kis céltérfogat ellenére – a perkután lézer diszkektómia hatásának kvalitatív és kvantitatív vizsgálatára, melyet kutatásunkkal bizonyítottunk.
5. Patológiai módszerekkel Magyarországon elsőként mutattuk ki a PLDD mágneses rezonancia vizsgálattal igazolt fizikai hatását.
6. A világon elsőként írtuk le a lézerfény fizikai hatásainak a hullámhosszal korreláló patológiai különbségét, melyet szövettani vizsgálatokkal támasztottunk alá.

7. Az értekezés alapjául szolgáló közlemények, absztraktok és előadások

Az értekezés alapjául szolgáló közlemények idegen nyelven

JAKO, R. A. VON – CSELIK, Zs.: Percutaneous laser discectomy guided with stereotactic computer-assisted surgical navigation. *Lasers Surg. Med.*, 2009. 41(1): 42–51. **IF: 2.603**

CSELIK, Zs. – ARADI, M. – JAKO, R. A. VON – LELOVICS, Zs. – JUHÁSZ, I. – EGYHÁZI, Zs. – BOGNER, P. – REPA, I. – SCHWARCZ, A.: Impact of infrared laser light-induced ablation at different wavelengths on bovine intervertebral disc ex vivo: evaluation with magnetic resonance imaging and histology. *Lasers Surg. Med.*, 2012. **IF₂₀₁₁: 2.748**

Az értekezés alapjául szolgáló absztraktok

Az értekezés alapjául szolgáló absztrakt idegen nyelven

CSELIK, Zs. – ARADI, M. – JUHÁSZ, I. – EGYHÁZI, Zs.: Quantitative magnetic resonance imaging of intervertebral disc damage by laser irradiation. [1st International Doctoral Workshop on Natural Sciences. Pécs/Hungary, 3rd October 2012.] In: SZABÓ, I. (Ed.): *1st International Doctoral Workshop on Natural Sciences, University of Pécs. Program.* P. 45. (Nr. P-11.)

Az értekezés alapjául szolgáló absztraktok magyar nyelven

CSELIK Zs. – ARADI M. – LELOVICS Zs. – JAKO, R. A. VON – REPA I. – SCHWARCZ A.: A porckorongban lézerrel kiváltott szöveti roncsolódás vizsgálata kvantitatív MRI-módszerekkel. [Neuroimaging Workshop 2011. Budapest, 2011. május 26–27.] In: KOZÁK LAJOS RUDOLF – POPPER MÓNIKA (szerk.): *Neuroimaging Workshop 2011 absztraktok.* 6. o.

CSELIK Zs. – JAKO, R. A. VON – ARADI M. – SCHWARCZ A. – EGYHÁZI Zs. – VISKI A. – LELOVICS Zs. – REPA I.: Percutan Laser Disc Decompression (PLDD) hatásának vizsgálata 1,5 T MRI alkalmazásával ex vivo borjú cadaveren. [51. Somogyi Egészségügyi Napok – Pannon Egészségügyi Napok. Siófok, 2011. szeptember 2–3.] In: HUNYADY B. – LELOVICS Zs. (szerk.): *51. Somogyi Egészségügyi Napok – Pannon Egészségügyi Napok előadásainak és poszttereinek összefoglalói.* Kaposvár: Kaposi Mór Oktató Kórház, 2011. 12–13. o.

Összefoglaló tudományometriai táblázat az MTMT adatbázis alapján

| Közlemény típusok | Száma | Független hivatkozások száma |
|---|--------------|------------------------------|
| I. Tudományos folyóiratcikk | 4 | |
| Teljes cikk, nemzetközi folyóiratban (idegen nyelven) | 4 | 9 |
| Teljes cikk, magyar nyelven | - | - |
| II. Könyv | - | |
| a) Szakkönyv/Szerkesztett könyv | - | - |
| Szakkönyv/Szerkesztett könyv, idegen nyelven | - | - |
| Szakkönyv/Szerkesztett könyv, magyar nyelven | - | - |
| III. Könyvfejezet | 2 | |
| Könyvfejezet, idegen nyelven | - | - |
| Könyvfejezet, magyar nyelven | 2 | - |
| IV. Proceedings* | 1 | |
| Idegen nyelven | 1 | - |
| Magyar nyelven | - | - |
| Tudományos közlemények összesen (I-IV.) | 7 | 9 |
| Egyéb tudományos művek** | 41 | 1 |
| Összesített impakt faktor | 8,708 | |
| Idézettség száma | | 12 |
| Hirsch-index | 3 | |

Megjegyzések:

* Konferencia előadások folyóiratban vagy könyvben, absztraktok nélkül.

** Ide értve a nem-teljes folyóiratcikket és a nem ismert lektoráltságú folyóiratokban megjelent műveket.

Forrás:

<https://vm.mtmt.hu/search/tmtosztaly.php?lang=0&vanlink=1&search=1&AuthorID=10020204&oszt=0&showmode=#> (2012-11-01)