

Doktori (PhD) értekezés tézisei

AZ ÍNHÜVELY BIOMECHANIKÁJA A KÉZ HOSSZÚ UJJAIN

Készítette: Dr. Mester Sándor

Doktori Iskola Vezetője: Prof. Nagy Judit M.D., PhD., D.Sc.

Programvezető: Prof. Bellyei Árpád M.D., PhD., D.Sc.

Témavezető: Prof. Nyárády József M.D., PhD.

Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Pécs

2006

Bevezetés

Az ínhüvely szerepe, és az ujjak hajlítóínsérülései után helyreállításának szükségessége évtizedek óta vita tárgya a kutatók között.

A hajlítóinak műtéti ellátása szükségessé teszi az ínhüvely megnyitását. Az erőfeszítések arra irányulnak, hogy az ínhüvely szalagos elemeit ennek során megőrizzük, vagy helyreállítsuk, mivel az úgynevezett pulley-rendszer integritásának épsége számos anatómiai, biomechanikai és klinikai tanulmány szerint a funkcionális eredmény szempontjából kiemelkedő fontosságú. Az ínhüvely hártás részei megóvásának a jelentősége azonban továbbra sem nyilvánvaló.

A hajlítóinak proximal felé csúszása nem csak a flexiót, hanem az ínhüvely megrövidülését is eredményezi. A hajlítás során az összezáródó pulley-rendszer végül egy tisztán szalagos csatornát eredményez. Mivel a pulley-k tengelyirányú deformálódása a flexio során limitált, az ínhüvely rövidülése döntő mértékben abból ered, hogy a hártás részek a szalagos csatorna külső felszínére kigyűrődnek. A membranosus ínhüvely gyűrődésének vezérlő mechanizmusát mindeddig nem vizsgálták.

Célkitűzések

Munkánk során vizsgálni kívántuk:

1. az emberi ínhüvely anatómiáját és fiziológiás mozgásait,
2. a sérülés, vagy műtét után az ínhüvely biomechanikájában bekövetkező pathológiás változások modellezésének lehetőségét,
3. az ínhüvely és a környező szövetek biomechanikájának tükrében, a minimálisan invazív hajlítóínsébszét irányába mutató lehetőségeket.

Humán funkcionális anatómiai és biomechanikai vizsgálatok

1. Az ínhüvely tenographiás vizsgálata

Anyag és módszerek

Cadaver kezek nyolc hosszú ujján végeztünk tenographiát a carpometacarpalis ízületben történt exarticulatio után. Az ínhüvely kontrasztanyaggal különböző mértékben történt feltöltése után az oldalirányból készített felvételeket vizsgáltuk. A teljes flexio és exensio mellett számos ízületi pozícióban történtek a vizsgálatok. További két kézen úgy történt a vizsgálat, hogy az ujjugarakat nem távolítottuk el. Mértük az ízületek helyzetét, a hajlítóinak távolságát az ízületek forgástengelyétől, valamint a proximalis ínhüvelyszák elmozdulását.

Eredmények

A hajlítóínhüvely morfológiai megjelenése attól függött, hogy mennyi volt a beadott kontrasztanyag. A pulley-k negatív lenyomatuk (a pulley-nak megfelelően az ínhüvely töltődésének hiánya palmarisan) révén voltak megkülönböztethetők. 0,2 ml kontrasztanyag csak a synovialis recessusokat töltötte fel, míg 0,5 ml a membranosus részeket, mint a hajlítóinak körüli mandzsettákat ábrázolta. Az ujjak flexiója és extenziója egy keverő mechanizmust tárt fel a proximalis, tenyéri ínhüvelyszák és az ujjban lévő recessusok között. A hajlítóinak a PIP és DIP ízületek fölött egyenes vonalú áthidalást mutattak 40 és 80, illetőleg 40 és 60 fok flexió között, mely azt jelezte, hogy az ezen ízületek feletti pulley-k ebben a mozgástartományban nincsenek terhelés alatt. A hajlítóinak erőkarja az MP, PIP és DIP ízületek felett a flexio során egyharmaddal növekedett.

2. Az ínhüvely belső felszínének makroszkópos vizsgálata

Anyag és módszerek

18 hosszú ujjat vizsgáltunk cadaver kezeken, finom műszereket, nagyítót és operációs mikroszkópot használva. Az ujjperceken át csontablakokat készítettünk, hogy a hajlítóinak eltávolítása után az ínhüvely zavartalan mozgását megfigyelhessük. Az ínhüvely mozgásait direkt lateralis feltárásból is vizsgáltuk. A bőr-subcutis-ínhüvely lebenyt végül a csontos vázról történő eltávolítás után kiterítve is megfigyeltük.

Különösen figyelmet szenteltünk az ínhüvely membranosus részei gyűrődésének, valamint a pulley-rendszer elcsúszásának az ujj passzív flexiója és extenziója során. Az ínhüvely mozgásait fotókon és videofilmeken dokumentáltuk.

Eredmények

Az általunk alkalmazott feltárások során a pulley-rendszert igen egyszerűen tudtuk vizsgálni, mivel a belfelület felől nézve a pars membranacea-tól élesen elkülönül. A PIP és DIP ízületek passzív flexiója a pars membranacea fokozatos kigyűrődését eredményezte az összecukódó szalagok által képezett csatorna külső felszínére. Teljes hajlításban az újonnan képződött recessusok szondával feltárhatók voltak a szalagok közötti résekben. A palmaris kigyűrődés az ízületek ismételt passzív hajlítása és nyújtása során mindig bekövetkezett. Sosem észleltük a pars membranacea-nak az ínhüvely üregébe gyűrődését, vagy a szalagok közé történő becsípődését. Egy mutató- és két középső ujjban észleltük, hogy a C1 keresztzalag proximális szárai, valamint a keresztződése az A2 pulley distalis szabad szélé mögé, a palmaris-lateralis felszínre csúszott.

A direkt laterális feltárásnál szintén synovialis zsebek voltak megfigyelhetők az A2 pulley distalis szélénél, egy kisujjat kivéve, az összes vizsgált ujjban; míg az A1 pulley proximális szélénél egy mutató-, egy gyűrűs- és egy kisujjban.

A C1 pulleynek az A2 pulley distalis szélé mögé csúszása ebből a laterális nézetből is megfigyelhető volt.

3. Kísérletes direkt laterális feltárás

Anyag és módszerek

Cadaver kezek három mutató és két középső ujján úgy tártuk fel a hajlítóinakat a mediolateralis vonalból indított metszéssel, hogy a bőr-subcutis lebenyt nem emeltük fel az ínhüvelyről. A feltárás 1-1,5 mm-es szélét hagyott meg az ínhüvely tapadási vonalánál a későbbi varrat végett. A vizsgált ujj mélyhajlító inát az ínhüvely 5/0-s monofil varróanyaggal történt zárása után hosszirányban annyira terheltük meg, hogy az ujjat teljesen behajlítsa. Ezt követően a varratvonalat palmaris, hosszirányú feltáráshól vizsgáltuk meg.

Eredmények

A „direkt lateralis” ínhüvely feltárásnál a mediolateralisan vezetett bőrmetszés egyenes vonalától az ínhüvely dorsalis tapadási vonala nagymértékben eltér, az utóbbi hullámos lefutásának okán. Az ínhüvely megnyitásának indítását ezért csak ott találtuk biztonságosnak, ahol az ínhüvely közvetlenül a csonton tapad, azaz vagy az A2 gyűrűszalag distalis harmadában, vagy az A4 gyűrűszalagnak megfelelően. Amint az ínhüvely megnyitásra került, a további incisiót maga az ínhüvely ürege vezette.

Az ínhüvely tapadásánál meghagyott szél elegendőnek bizonyult az ínhüvely zárásához. A varratvonalat mindegyik esetben épnek találtuk, amikor azt a mélyhajlító terhelése után belülről megvizsgáltuk.

4. A subcutis rostrendszerének vizsgálata

Anyag és módszerek

Két, a csukló magasságában exartikulált, friss cadaver kézen kanuláltuk az arteria radialisokat és ulnarisokat, majd a kezeket pufferezett formalinnal 30 vízcentiméter nyomással perfundáltuk. Az egyik kéz ujjait behajlítva rögzítettük, míg a másik kézen az ujjakat semiflectalt helyzetben hagytuk, illetve nyújtott helyzetben rögzítettük. Fixálás után az ujjakat a carpometacarpalis ízületben leválasztottuk. A hajlított mutató, középső és kisujjakat szikével és oscillációs fűrésszel a sagittalis középvonalban átvágtuk. A metszlapokat picrosyriusszal festettük, majd operációs mikroszkóp alatt vizsgáltuk. Ugyanígy jártunk el egy semiflectalt mutató és nyújtott kisujj esetében is. A félig hajlított középső és gyűrűsujjakról az oldalsó középvonaltól palmarisan lévő lágyrészeket egy blokkban eltávolítottuk, és azokat az ujj hossz tengelyére merőleges síkban 3 mm-es szeletekre vágtuk. A szeleteket mindkét felszínükön picrosyriusszal festettük, és nagyítás alatt vizsgáltuk. Trauma miatt amputált két kézujj palmaris lágyrészeit formalinban fixáltuk, és paraffinba ágyasztuk. A blokkokból reprezentatív harántmetszeteket készítettünk, melyeket haematoxylin-eosin festés után fénymikroszkópban vizsgáltunk.

Eredmények

Az ujjak sagittalis metszetein az alapperc és középperc palmaris zsírtestjében (subcutisában) picrosyriusszal festődő septumok ábrázolódtak, melyek az ujjak flexiós helyzetétől függően különböző mintázatot mutattak. A nyújtott helyzetben

fixált ujjban a szélesebb septumok egyenesek voltak, és ferdén futottak az ínhüvelytől a bőrhöz. A fő septumok íveltek voltak a semiflectált ujjban, míg a teljesen hajlított ujjban az ínhüvelyre közel merőlegesen futottak le.

Szondával történő vizsgálatkor a subcutan szövetek nem voltak elválaszthatók a pars membranaceától. Ezzel szemben a subcutissal való kapcsolat az A1, A2, A3 és A4 pulley-k felett kifejezetten laza volt.

A proximalis és distalis ízületi redők környezetében az erősebb sővények a subcutan zsírszövet zárt compartmentjeit rajzolták ki a harántmetszeteken. Gyakori lelet volt egy, az ínhüvely median sagittalis vonalától induló, septum a distalis interphalangealis ízületi redő és az alapizületi redő közötti területen, de a redők közvetlen közelében ez nem volt jól demonstrálható. Némely esetben a septum rostjainak a középvonali kereszteződését is megfigyeltük.

A harántmetszeteken nem láttunk a bőrre merőlegesen futó septumokat. Azok a sővények, amelyek a neurovascularis kötegtől palmarisan haladtak el, az ínhüvely középvonalának közelében eredtek, majd dorsal felé ívelve elágazódtak, mielőtt a bőrt elérték volna az ér- idegköteg magasságában, vagy attól dorsal felé.

Az ínhüvely-subcutis határ szondával történő vizsgálata hasonló eredményre vezetett, mint a sagittalis metszeteknél. Míg a pars membranacea területek szorosan kapcsolódtak a subcutishoz, addig a az A2 és A4 gyűrűszalagok területéből származó kimetszésekben a pulley-kat csak az eredésüknél lévő lágyrészösszeköttetés tartotta helyben.

A haematoxylin-eosinnal festett fénymikroszkópos metszetek alacsony nagyításnál a septumok elhelyezkedése tekintetében nagy hasonlóságot mutattak a picrosyriusszal festett makroszkópos metszetekkel.

Közepes nagyítással a septumokban kollagén kötegek voltak láthatók, melyek gyakran rétegeket képeztek. Ezek a kollagén kötegek különböztek azoktól a rostoktól, melyek a zsírtestecskéket zárták körbe, mivel a kötegek homogénebbek, orientáltabbak és haematoxylinnel erősebben festődők voltak. A kollagénkötegek párhuzamos, rétegformáló elrendeződése típusosan 600-tól 1000 μm -ig változott, de találtunk 2500 μm hosszú, septumra emlékeztető ilyen struktúrát is. A kollagénkötegek fellelhetők voltak az ínhüvely közelében, a subcutan zsírtestben és a bőrhöz közel is. Gyakran megfigyelhető volt a membranosus ínhüvellyel való egyesülésük, de a pulley-k felett egy érben gazdag, a szalagos ínhüvellyel párhuzamosan futó fibrosus rétegben végződtek.

A leletek alapján az ujj proximalis ujjpercarázda és a distalis interphalangealis ízületi barázda közé eső palmaris lágyrészeinek mozgására vonatkozóan olyan modellt hoztunk létre, melyben a subcutis rostrendszere vezérli a membranosus ínhüvely gyűrődését és elsimulását. A modell fő elemei a hártás ínhüvely, a subcutan zsírtest, a bőr és az ínhüvelyt a bőrrel összekötő subcutan rostrendszer. A

subcutan zsírtestnek az ujj hajlítása során létrejövő deformálódása a bőr elődomborodását eredményezi, melynek következtében a subcutan rostrendszer megfelelő része – ideértve a Grayson-szalagokat is – megfeszül. Ennek eredménye a membranosus ínhüvely palmaris és lateralis irányú kigyűrődése az ízület aktuális pozíciójától függően.

5. Az ínhüvely scanning elektronmikroszkópos vizsgálata

Anyag és módszer

Trauma miatt roncsolt kéz amputált mutatóujját 10 %-os formaldehidben fixáltuk. A fixálás után a csontról az összes palmaris lágyrészt leválasztottuk, és a hajlítóínhüvely belső felszínét is magában foglaló 2x2x5 mm-es szövetblokkokat metszettünk ki az A3-C2 pulley-k területéről. A mintákat glutáraldehiddel történt utófixálást követően kakodilát-pufferes mosás, felszálló alkoholsorban és kritikuspont szárítókészülékben történt víztelenítés, majd arany-gőzölés után scanning elektronmikroszkóppal (100C/ASID-4) vizsgáltuk.

Eredmények

A pulley-membranosus rész átmenet vizsgálata a szalagok lekerekített szélét mutatta azokon a területeken is, ahol a makroszkópos vizsgálattal sima felszín találtunk. Ez a lelet indirekt módon támogatja a membranosus ínhüvely mozgásainak subcutis felől történő vezérlését hangsúlyozó teóriánkat.

A pulley-k belfelszíne egy, az ujj hossz tengelyére merőleges bordázottságot mutatott. Ennek a leletnek a jelentősége jelenleg nem egyértelmű, de rokonságban lehet azzal a mechanizmussal, melyet néhány emlősállatban írtak le, ahol a hajlítóinak és az ínhüvely közötti zárómechanizmus függeszkedéskor képes az izmokra ható húzóerő kikapcsolására.

II. Modellvizsgálatok tyúk hajlítóínhüvelyen

Anyag és módszerek

Mediolateralis feltárást végeztünk nyolc tyúk 16 lábujján. Bal oldalon a bőr-subcutis lebenyt felpreparáltuk az ínhüvelyről az utóbbi megnyitását megelőzően. Jobb oldalon a bőr – subcutis – ínhüvely lebeny egységét megőrizve nyitottuk meg

az ínhüvelyt. Ezt követően harántmetszéseket készítettünk a felpreparált lebenyeken, hogy modellezzük a sérülés hatását. Az ínhüvelyt monofil tova futó varrattal, a bőrt csomós öltésekkel zártuk, az ujjakat nem rögzítettük. Az ujjpárokat a másodiktól a tizedik postoperatív hetekig vizsgáltuk. Mértük az eltávolított ujjak viscoelasticus ellenállását a leghosszabb hajlítón különböző súllyal történő terhelésekor. A palmaris lágyrészeket azok eltávolítása után makroszkóposan figyeltük meg, illetőleg haematoxylin-eosin festés után fénymikroszkópos, továbbá megfelelő előkészítés után scanning elektronmikroszkópos vizsgálatokat végeztünk a kimetszett mintákon.

Egy második kísérleti sorozatban 12 tyúkon a korábbival egyező feltárásokat végeztünk, de csak egyik oldalon. Az operált oldali ujjakat az ellenoldali ép ujjak viscoelasticus sajátosságaival hasonlítottuk össze oly módon, hogy egy erőmérő és átalakító műszert közbeiktatva, 10 mm/min. állandó sebességgel húztuk a körömperc hajlítóját. Az elmozdulást az erő függvényében XY recorderen rögzítettük.

Kakasok 4 középső lábujján végeztünk funkcionális anatómiai megfigyeléseket. Az ínhüvely belső felszínét direkt lateralis feltárás után vizsgáltuk. A pulley-rendszer anatómiáját és a membranosus ínhüvely mozgásait makroszkóposan figyeltük meg.

Eredmények

A subcutis-bőr lebenynek az ínhüvelyről történt felpreparálásával operált ujjak viscoelasticus ellenállását mindkét műtéti sorozatban a postoperatív negyedik hét körüli maximummal emelkedettnek találtuk azokhoz viszonyítva, melyekben a direkt lateralis feltárást végeztük. Ezt a különbséget a közvetlen postoperatív periódusban nem tudtuk demonstrálni, illetőleg az a postoperatív tizedik hétre fokozatosan megszűnt.

A subcutan hegesezés elhelyezkedésében meglévő különbségeket mind makroszkóposan, mind fény- és elektronmikroszkópos vizsgálatokkal demonstrálni tudtuk. A hegeképződés dinamikája párhuzamosságot mutatott az ujjak viscoelasticus ellenállásában mért változásokkal.

A funkcionális anatómiai vizsgálatok a tyúk ínhüvely belfelületén az emberi ujjakban észleltékhez hasonló recessusképződést mutattak.

III. Humán klinikai vizsgálatok

1. Mágneses rezonancia vizsgálatok

Anyag és módszer

22 MR vizsgálatot végeztünk 13 beteg, és 2 egészséges önkéntes ujjain. Preoperatív 1 vizsgálat, postoperatív a 6-10. héten 6, a 10-12. héten 8, 6 hó és 4 év között 5 vizsgálat történt. A vizsgálatot megelőző beavatkozások: mélyhajlítón varrat 8, mélyhajlítón reinsertio 1, ínpótlás szabad íngrafttal 2, ínhüvelyképzés siliconrúddal 1 eset. A vizsgálatokat 1,5 Tesla Siemens Magnetom készülékkel, illetőleg 1,5 Tesla Signa készülékkel végeztük. A vizsgálatok során fej-, csukló-, illetőleg temporomandibularis ízületi, felületi tekercseket használtunk, és a T1 súlyozott sagittalis, coronalis és transversalis metszeteket értékeltük.

Eredmények

A hajlítóinak és az ínhüvely lefutását az ujjak nyújtott és hajlított helyzetében a tenographiás leletekkel egyezőnek találtuk.

A preoperatív vizsgálat során az íncsonkok helyzete pontosan meghatározható volt. A késői postoperatív eseteknél a heg elhelyezkedését a hajlítóinaktól dorsalisnak találtuk. A direkt laterális feltárás után a subcutan hegképződést az MR jól ábrázolta. A pulley-elégtelenség szintén diagnosztizálható volt a hajlítóinak és az ujjperc közötti megnövekedett távolság révén.

2. Az ínhüvely endoscopos vizsgálata

Anyag és módszer

Hajlítóínműtét során három betegnél végeztünk endoscopos vizsgálatot. A műtét során egy esetben hajlítóínpótlás második fázisa, két esetben késői hajlítón rekonstrukció történt. Merev és flexibilis (Storz) endoscopokat használva vizsgáltuk a pseudoínhüvely belfelületét és a sérült ínhüvely endoscopos recanalisatiójának lehetőségeit.

Eredmények

Az ínhüvely belfelületének vizsgálata endoscoppal sikeresnek bizonyult. Az íngraft behúzása az endoscop munkacsatornáján át bevezetett csipesszel könnyen elvégezhető volt. Úgy tűnik azonban, hogy az ínhüvely recanalisatioja csak akkor válik lehetségessé, ha az erre alkalmas eszközök kifejlesztésre kerülnek.

3. Az ínhüvely direkt lateralis feltárása

Anyag és módszer

Két férfi és egy nőbeteg sérült mutató-, gyűrűs-, illetve kisujján végeztük a hajlítónak feltárását direkt lateralis behatolásból. Mindhárom esetben késői primaer reconstructió történt a sérülést követő 2. és 3. hét között. A feltárást az A2 pulley distalis szélénél kezdtük. Az incisiót distal felé folytattuk és az két esetben az A4 pulleyt is érintette. Az ínvarratok után az ínhüvelyt tofafutó monofil varróanyaggal zártuk, és postoperatív korai kontrollált mobilizálást kezdtünk.

Eredmények

A direkt lateralis feltárásból végzett ínvarratok sebészi szempontból sikeresek voltak. A módszer azonban technikailag nehéznek bizonyult, és alkalmazása csak a PIP ízület környezetében bekövetkezett insérüléseknél ajánlható. Ezen minimálisan invazív feltárásnak a továbbfejlesztése akkor tűnik lehetségessnek, ha egy hasonlóan minimálisan invazív hajlítóínvarrat alkalmazásával együtt történhet.

Új eredmények

1. A hajlítónak erőkarja az MP, PIP és DIP ízületek felett növekszik az ujj hajlítása során.
2. A PIP és DIP ízületek feletti ínhüvelyszalagok csak ciklikus terhelésnek vannak kitéve.
3. Az ínhüvelyszalagok az összezáródáson túl egymásra is csúsznak az ujj hajlítása során.
4. A flexio-extensio a synovialis folyadékra keverő hatással van.
5. A membranosus ínhüvely mozgásának vezérlése a subcutis felől történik.
6. A subcutan rostrendszer elsősorban az ínhüvely membranosus részeihez rögzül.
7. A subcutan rostrendszert a palmaris zsrítetek deformálódása vezérli és ez a deformálódás eredményezi a membranosus ínhüvely gyűrődését.
8. A tyúk lábujj hajlítóínhüvely belfelszínének gyűrődése hasonló az emberi ujjban észleltekhöz.
9. A tyúk lábujjakon végzett modellkísérletek az mutatják, hogy a konvencionális hajlítón feltárások önmagukban is átmenetileg rontják az ujj mobilitását.
10. A hajlítóinvarrat sikeresen végezhető bizonyos esetekben, az úgynevezett direkt lateralis feltárást alkalmazva.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani családomnak és mindazon munkatársaimnak, akik munkám elkészítését lehetővé tették, vagy abban segítően közreműködtek.

Külön köszönet illeti munkahelyi és tudományos vezetőimet:

Prof. Dr. Forgon Mihályt, Prof. Dr. Bíró Vilmost, Prof. Dr. Nyárády Józsefet, Prof. Dr. Bellyei Árpádot

Nagyon köszönöm a munkában közvetlenül közreműködő kollégák segítségét, akik nélkül eredményt nem érhettem volna el. Kitüntetésnek érzem, hogy velük dolgozhattam:

Dr. Schmidt Béla, Dr. Dérczy Katalin, Dr. Moser Tamás, Ifj. Dr. Kellermayer Miklós, Prof. Dr. Repa Imre, Prof. Dr. Bogner Péter, Dr. Berényi Ervin, Dr. Baranyai Ferenc, Dr. Tóth Ferenc, Dr. Cseh Gellért