

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 hajlítósérülései után helyreállításának szükségessége évtizedek óta vita tárgya a kutatók között.

A hajlítónak 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 megővésének a jelentősége azonban továbbra sem nyilvánvaló.

A hajlítónak 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 mindaddig nem vizsgálták.

Célkitűzések

Munkánk során vizsgálni kívántuk:

1. az emberi ínhüvely anatómiáját és fiziológias mozgásait,
2. a sérülés, vagy műtét után az ínhüvely biomechanikájában bekövetkező pathológias változások modellezésének lehetőségét,
3. az ínhüvely és a környező szövetek biomechanikájának tükrében, a minimálisan invazív hajlítórinszcéssel 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 hajlítónak távolságát az ízületek forgástengelyétől, valamint a proximalis ínhüvelyzszak 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 megkülönböztethetőek. 0,2 ml kontrasztanyag csak a synovialis recessusokat töltötte fel, míg 0,5 ml a membranosus részeket, mint a hajlítónak körüli mandzsettákat ábrázolta. Az ujjak flexiója és extenziója egy keverő mechanizmust tárt fel a proximalis, tenyéri ínhüvelyzszak és az ujjban lévő recessusok között. A hajlítónak 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 hajlítónak 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 hajlítónak 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 innhüvely membranosus részei gyűrődésének, valamint a pulley-rendszer elcsúszásának az ujj passzív flexiója és extenziója során. Az innhüvely mozgásait fotókon és videofilmekken 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 összecusukódó szalagok által képezett csatorna külső felszínére. Teljes hajlításhoz az újonnan képződött recessusok szondával feltáráshoz 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 innhüvely üregébe gyűrődését, vagy a szalagok közé történő becsúszódását. 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 lebent nem emeltük fel az innhüvelyről. A feltárás 1-1,5 mm-es szélét hagyott meg az innhüvely tapadási vonalánál a későbbi varrat végett. A vizsgált ujj mélyhajlító inát az innhüvely 5/0-s monofil varróanyaggal történt zárása után hosszirányban annyira terheljük meg, hogy az ujjat teljesen behajlítsa. Ezt követően a varratvonalat palmaris, hosszirányú feltáráshoz vizsgáljuk meg.

Eredmények

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

Az innhüvely tapadásánál meghagyott szél elegendőnek bizonyult az innhüvely 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 exarikulált, 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 oszillációs 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 hossztengeleyére 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 ívelték 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 membranceától. Ezzel szemben a subcutissal való kapcsolatot az A1, A2, A3 és A4 pulley-k felett kifejezetten laza volt.

A proximális és distalis izületi 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 izületi redő és az alapizületi redő közötti területen, de a redők közvetlen közelében ez nem volt jól demonstrálható. Némely esetben a septum rostjainak a középvonali keresztmetszetét is megfigyeltük.

A harántmetszeteken nem látnak a bőrre merőlegesen futó septumokat. Azok a sővények, amelyek a neurovascularis kötegtől palmarisan haladtak el, az ínhüvely középvonalának közelében eredtek, majd dorsál felé ívelve elágazódtak, mielőtt a bőrt elérték volna az ér- idegköteg magasságában, vagy attól dorsál felé. Az ínhüvely-subcutis határ szondával történő vizsgálata hasonló eredményre vezetett, mint a sagittalis metszeteknél. Míg a pars membrancea területek szorosan kapcsolódtak a subcutishoz, addig a az A2 és A4 gyűrűszalagok területéből származó kímetszésekben a pulley-kat csak az eredésüknél lévő lágyrészösszeköttetés tartotta helyben.

A haematoxilin-eosinnal festett fénymikroszkópos metszetek alacsony nagyításnál a septumok elhelyezkedése tekintetében nagy hasonlóságot mutattak a picrosyrusszal 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 zsírtesticskéket zárták körbe, mivel a kötegek homogénebbek, orientáltabbak és haematoxylinnel erősebben festődtek voltak. A kollagénkötegek párhuzamos, rétegmálmó elrendeződése úpusosan 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 proximális ujjpercbarázda és a distalis interphalangealis izületi barázda közé eső palmaris lágyrészeinek mozgására vonatkozóan olyan modellt hoztunk létre, melyben a subcutis rostrendszere vezérli a membranosus ínhüvely gyűrűdését és elsimulását. A modell fő elemei a hátyás 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 kigyűrűződése az izület aktuális pozíciójától függően.

5. Az ínhüvely scanning elektronmikroszkópos vizsgálata

Anyag és módszer

Trauma miatt roncolt 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 glutaráldéhidrel történő utófixálást követően kakodilát-pufferes mosás, felszálló alkoholsorban és kritikus-pont szárítókészülékben történő 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 felszínét találtunk. Ez a lelet indirekt módon támogatja a membranosus ínhüvely mozgásainak subcutis felől történő vezérlését hangsúlyozó teóriánkat.

A pulley-k belfelszíne egy, az ujj hosszengelyére merőleges bordázottságot mutatott. Ennek a letnek a jelentősége jelenleg nem egyértelmű, de rokonságban lehet azzal a mechanizmussal, melyet néhány emlőállatban írtak le, ahol a hajlítónak és az ínhüvely közötti zárómechanizmus függeszkedésre képes az izmokra ható húzóerő kikapcsolására.

II. Modellvizsgálatok tyúk hajlítóínhüvelven

Anyag és módszerek

Mediolateralis feltárást végeztünk nyolc tyúk 16 lábujján. Bal oldalon a bőr-subcutis lebontást felpreparáltuk az ínhüvelyről az utóbbi megnyitását megelőzően. Jobb oldalon a bőr – subcutis – ínhüvely lebonyegését megőrzve nyitottuk meg

az ínhüvelyt. Ezt követően harántmetszéseket készítettünk a felpreparált lebenyeken, hogy modellezzük a sérülés hatását. Az ínhüvelyt monofil tovaftató 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 súlylal 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 kímésített 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 sajátságaihoz 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 laterális 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 laterális 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 hegképződés 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 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 íngraftal 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 izületi, felületi tekercseket használtunk, és a T1 súlyozott sagittalis, coronalis és transversalis metszeteket értékeltük.

Eredmények

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

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

2. Az ínhüvely endoscopos vizsgálata

Anyag és módszer

Hajlítónműtét során három betegnél végeztünk endoscopos vizsgálatot. A műtét során egy esetben hajlítópótlás második fázisa, két esetben késői hajlítón rekonstrukció történt. Merev és flexibilis (Storz) endoscopokat használtunk vizsgálatunk a pseudoínhüvely belfelületét és a sérült ínhüvely endoscopos recanalizációjának lehetőségéit.

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 recanalizációja 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 folytatuk és az két esetben az A4 pulleyt is érintette. Az ínvarratok után az ínhüvelyt tovaftató monofil varróanyaggal zártuk, és postoperatív korai kontrollált mobilizálást kezdtünk.

Eredmények

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

Új eredmények

1. A hajlítónak erőkarja az MP, PIP és DIP izületek felett növekszik az ujj hajlítása során.
2. A PIP és DIP izületek feletti ínhüvelyszalagok csak ciklikus terhelésnek vannak kitéve.
3. Az ínhüvelyszalagok az összeháródáson 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 rostrendszer a palmaris zsírtetek deformálódása vezérlő és ez a deformálódás eredményezi a membranosus ínhüvely gyűrődését.
8. A tyúk lábujj hajlítóninüvely belfelületének gyűrődése hasonló az emberi ujjban észleltekhez.
9. A tyúk lábujjakon végzett modellkísérletek az mutatják, hogy a konvencionális hajlítón feltárások önmagukban is átmenetileg rontják az ujj mobilitását.
10. A hajlítóninvarrat 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 vezetőimmet:

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. Kitiűntetésnek 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

PhD theses

Biomechanics of the flexor tendon sheath of the long fingers

Sándor Mester M.D.

Program director: Prof. Árpád Bellyei M.D., Ph.D., D.Sc.

Faculty of Medicine, Pécs University

2005

Introduction

The role of the tendon sheath and the necessity of its restoration after flexor tendon injuries of the fingers have been subjects of debates among researchers during the last decades.

Surgery on the flexor tendons of the fingers necessitates an approach through the tendon sheath. Efforts are directed toward preserving or restoring the ligamentous elements of the sheath, due to the importance of the integrity of the pulley system with respect to functional outcome, according to numerous anatomical, biomechanical, and clinical studies. The significance of preserving the membranous sheath, however, has remained unclear.

Proximal gliding of the flexor tendons in the fingers results not only in bending but also in shortening of the tendon sheath. During flexion, the closing pulley system eventually forms a purely ligamentous tunnel. Because axial shortening of the pulley elements is limited during flexion, the vast majority of the shortening occurs as a result of folding of the membranous parts on the outer aspect of the ligamentous tunnel. The controlling mechanism of the folding and unfolding of the membranous sheath has not yet been studied in detail.

Aims

We have aimed to

1. investigate of the anatomy and the physiologic movements of the human flexor tendon sheath,
2. modeling the impact of the pathologic changes in the biomechanics of the tendon sheath after trauma or flexor tendon surgery,
3. define the direction toward a minimally invasive tendon surgery in the light of the biomechanics of the sheath and the surrounding tissues.

I. Human anatomy and biomechanics

1. Tenography of the flexor tendon sheath

Materials and methods

Tenography has been performed on eight long fingers of fresh cadavers after disarticulation at the carpometacarpal joint. Lateral views were examined after filling the sheath with different amounts of contrast material. Series of films were taken at several joint positions including extension and full flexion. Further two hands were examined without disarticulation of the fingers.

Joint positions, distance of the flexor tendons from the joint axes, and the displacement of the proximal cul de sac were measured and recorded.

Results

The tenographic appearance of the tendon sheath was dependent on the filling volume of the contrast material. The ligamentous structures were identified as lack of filling on the palmar aspect of the sheath. 0.2 ml of contrast material filled the synovial recesses only, while 0.5 ml volume depicted the membranous parts as cuffs around the flexor tendons. Flexion and extension of the fingers revealed a pump mechanism between the proximal cul de sac and the membranous pockets in the free finger. Straight bridging of the flexor tendons was found above the PIP and DIP joints between 40 to 80 degrees and 40 to 60 degrees respectively, thus indicating no loading of the pulleys above these joints. The moment arm of the flexor tendons above the MP, PIP and DIP joints proved to be increasing by one third during flexion.

2. Macroscopic studies on the inner surface of the flexor tendon sheath

Materials and methods

18 long fingers of fresh cadavers have been examined using fine instruments, binoculars and operating microscope. Methods included creating bone windows through the phalanxes and removal of the flexor tendons in order to observe the undisturbed movements of the sheath. Movements of the sheath were also observed

through direct lateral access. Finally the skin-subcutaneous tissues-sheath flap was examined after removal from the rest of the finger. Special attention was paid to the folding of the membranous sheath and sliding the pulley system during the passive flexion-extension of the joints. Movements of the sheath were recorded on photos and video films.

Results

The pulleys and the membranous sheath were easily distinguishable through the bone windows created across the phalanxes. Passive flexion of the PIP and DIP joints resulted in gradual disappearance of the synovial lining on the outer aspect of the forming ligamentous tunnel. At full flexion the newly formed synovial recesses could be visualized by probing the interligamentous spaces. The palmar folding of the synovial sheath was a consequent phenomenon during several repeated flexion and extension of the joints. Inward folding or catching of the synovial lining between the ligaments has never occurred. Sliding of the proximal lashes and the central crossing part of the C1 pulley behind the distal edge of the A2 pulley on its outer aspect was observed in one index and two middle fingers.

The direct lateral approach also revealed synovial pockets at the distal edge of the A2 pulley in all of the examined fingers except one small finger, while at the proximal edge of the A1 pulley in one index, one ring and one small finger. Sliding of the proximal part of the C1 pulley behind the distal edge of the A2 one was observable from this lateral view as well.

3. Experimental direct lateral approach

Materials and methods

An approach to the flexor tendons in the midlateral line of the fingers, without elevation of the skin - subcutaneous tissues flap, have been performed on three index and two middle fingers of cadaver hands. The approach left a one - one and a half millimeter of the edge of the sheath undisturbed for suture anchorage. The deep flexor of the finger concerned was axially loaded until full flexion after closure of the sheath with 5/0 monofil suture material. Then the suture line was examined from inside through a palmar midline incision.

Results

The undulating course of the flexor tendon sheath is much different from the straight line of the midlateral skin incision in the extended finger. For this reason safe opening of the sheath can be started only at those parts where it is anchored directly to the bony frame, i.e. at the distal end of the A2 or at the A4 pulley. When the sheath cavity entered, the further incision is guided by the sheath itself.

The remaining edge of the sheath provided a safe closure of the sheath. The suture line was found intact when examined from inside after loading of the deep flexor tendon.

4. Examination of the subcutaneous fibrous system

Materials and methods

Two cadaver hands were detached at the wrist level. The radial and ulnar arteries were cannulated, and the hands were perfused with buffered formalin at 30 cm water pressure. The fingers of the first hand were fixated in full flexion, while those of the second hand were left semiflexed or kept in full extension. After fixation, the finger rays were detached at the metacarpal base level. The bent index, middle, and small fingers were cut in the sagittal midline using a knife and a power saw. The cut surfaces were stained with picosyrus red and examined under the operating microscope. The same procedure was followed on one semiflexed index and one extended small finger. The palmar soft tissues of the semiflexed middle and ring fingers were removed as one unit at the lateral midline level and cut into 3-mm slices perpendicular to the long axis of the fingers. The slices were stained on both surfaces with picosyrus red and examined under magnification. The palmar soft tissues of one middle and one index finger amputated due to trauma were fixated and embedded in paraffin. Representative transverse sections were stained with hematoxylin and eosin and examined under the microscope.

Results

The sagittal sections disclosed different patterns of the picosyrus red stained septa of the subcutaneous fat pads over the proximal and middle phalanxes depending on the bent position of the fingers. In the finger fixed in extension the wider septa were straight, running obliquely from the tendon sheath to the skin. The main septa showed

a curved course in the semiflexed finger, while at full flexion those were positioned nearly perpendicular to the sheath.

Probing of the specimens revealed strong adherence of the subcutaneous tissues to the membranous sheath. On the other hand the connection between the A1, A2, A3, A4 pulleys and the subcutaneous tissues was very loose.

In the vicinity of and proximal to the distal interphalangeal joint crease the main septa outlined closed compartments of the subcutaneous fat on the transverse sections. A septum originating from the sheath in the sagittal midline was a frequent finding between the distal interphalangeal joint crease and the proximal digital crease but it was not well demonstrated in the vicinity of the palmar creases.

In some occasions crossing of its fibers could be demonstrated.

No septa running perpendicular toward the lateral aspect of the skin were found on the transverse sections. The ones going round the neurovascular bundle on its palmar aspect were originating close to the midsagittal line of the tendon sheath and were curving dorsally and arborizing before reaching the dermis at the level of or dorsal to the palmar digital artery.

Probing of the sheath-subcutaneous tissue interface of the transverse sections resulted in similar findings as of the sagittal ones. The subcutaneous tissues were not easily separable from the pulleys at the membranous regions, while slices of the A2 and A4 pulleys were frequently kept in place only by their connections at their origins.

The hematoxylin and eosin stained light microscopy sections under low magnification showed great similarity to the picrosirius red stained macroscopic sections in terms of the septal arrangement of the palmar soft tissues.

Intermediate magnification revealed collagen bundles in the septa, frequently arranged as layers. These bundles were different from the fibers enclosing the fat lobules as the bundles were more homogenous, more oriented and more intensely stained by hematoxylin. Parallel, layer forming orientation of the collagen bundles was typically observed in length of 600 to 1000 μm , but even 2500 μm long septum-like such a structure was also found. The collagen bundles were found close to the tendon sheath, in the mid-substance of the fat pad and close to the skin too. Their merging with the membranous sheath was commonly seen while above the pulleys those ended in a layer of fibrous tissue rich in vessels which ran parallel with the pulleys.

Based on the findings a model of the palmar soft tissues between the proximal interphalangeal and distal interphalangeal palmar creases of the fingers was created, in which the subcutaneous fibrous system controls the folding and unfolding of the membranous sheath. The key elements of the model are the membranous sheath, the fat pad, the skin and the subcutaneous fibrous system connecting the membranous sheath to the skin. Deformation of the fat pad during joint flexion results in bulging of the skin which in turn tightens the corresponding parts of the subcutaneous fibrous system, including the Grayson's ligaments (Fig 7 and 8). The resulting effect is the palmar and lateral folding of the membranous flexor tendon sheath in accordance with the joint position.

5. Scanning electronmicroscopy of the human flexor tendon sheath

Materials and methods

Index finger amputated due to trauma has been fixated in 10 % of formalin. After fixation 2x2x5 mm tissue blocks containing of the inner surface of the sheath as well have been cut off from the palmar soft tissues. The samples were postfixed in glutaraldehyde, dehydrated in series of ethanol, and after critical point drying coated with gold. Scanning electron microscopy was performed using a 100C/ASID-4 instrument.

Results

Examination of the pulley - membranous sheath transition revealed rounded edge of the ligaments even at those structures where macroscopic observation found an even surface. This finding indirectly supports the concept of controlling of membranous sheath by the subcutaneous tissues.

The inside surface of the pulleys showed a ribbed pattern perpendicular to the long axis of the finger. The significance of this finding is not clear but might be in kinship with a mechanism described in some animal species where a locking mechanism between the flexor tendons and the sheath is capable to relieve the load on the muscles.

II. Model studies on the toes of chicken

Materials and methods

Midlateral approaches have been performed on 16 middle toes of eight chicken. On the left the skin and subcutaneous tissues were elevated before opening the flexor tendon sheath. On the right the skin, subcutaneous tissues and the sheath were raised as one compound flap. Then transverse incisions were done to model a wound caused by injury. After closure of the sheath with monofil suture material and the skin with interrupted stitches the toes were left to move unrestricted. The pairs of toes were examined from the second up to the tenth postoperative weeks. Changes of the viscoelastic resistance of the toes were studied by loading the longest flexor tendons with different forces. The palmar soft tissues were examined by macroscopic observation. Light microscopy specimens were stained with hematoxylin and eosin as well as samples were studied by scanning electron microscope.

In a second series of experiments the same surgery was performed as above but only on one side in twelve chicken. The viscoelastic properties of the operated toes were compared to the intact toes on the opposite side. Continuous 10 mm/min traction was applied by a mechanical actuator on the longest flexor tendon through a tensile load-transducer. The traction force was registered as a function of the tendon excursion on an X-Y recorder.

Functional anatomic observations were performed on four middle toes of roosters. **The inner surface of the flexor tendon sheath** was examined through direct lateral approaches. The anatomy of the pulley system and the movements of the membranous sheath were recorded.

Results

In both series of surgeries the viscoelastic resistance of the toes operated by elevation of the subcutaneous tissues from the tendon sheath showed an increase around the fourth postoperative week when compared to the ones where midlateral approach to the flexor tendons was utilized. This difference could not be demonstrated in the immediate postoperative period and gradually disappeared by the tenth postoperative week.

Difference in the position of the scarring of the subcutaneous tissues was demonstrable in the transverse sections macroscopically, by light microscopy and scanning electronmicroscopy as well. The dynamics of the scar formation was found parallel with the changes of the viscoelastic resistance of the toes. The functional anatomic studies on the inner surface of the chicken toes revealed a synovial pocket formation similar to the one found in human fingers.

III. Human clinical studies

1. Magnetic resonance imaging

Materials and methods

MRI examinations have been performed on 22 fingers of 13 patients and two healthy volunteers. One study was performed preoperatively, six between the 6-10., eight between the 10-12., five between the 26-158. postoperative weeks, respectively. Surgeries performed before the examination included deep flexor tendon suture in eight, deep flexor tendon reinsertion in one, free tendon grafting in two and silicon rod implantation in one case. Head, wrist and TM joint surface coils were used with 1,5 Tesla Siemens Magnetom and 1,5 Tesla Signa instruments. Predominantly the T1 weighted sagittal, coronal and transversal sections were evaluated.

Results

The course of the flexor tendons and the sheath in the extended and bent positions of the fingers was found in accordance with those of the tenographic findings. The position of the tendon stumps could be localized properly by the preoperative examination. Scar formation in late postoperative cases could be localized dorsal to the flexor tendons. The site of the subcutaneous scar formation was depicted well after direct lateral approach. The MRI examination also revealed the pulley insufficiency through the increased distance between the flexor tendons and the corresponding phalanx.

2. Endoscopy of the tendon sheath

Materials and methods

Endoscopy of the sheath has been performed during flexor tendon surgery of three patients. The surgeries consisted of second phase of flexor tendon grafting in one and late flexor tendon reconstruction in two cases. The inner surface of the pseudosheath and the possibilities of endoscopic recanalisation of the injured sheath were examined using rigid and flexible endoscopes (Storz).

Results

Observation of the inner surface of the flexor tendon sheath proved to be possible by endoscopy. Retraction of tendon graft into the sheath could be performed using forceps through the instrument channel of the endoscope. Recanalisation of the sheath however seems to be possible only after further improvement of the instruments.

3. Direct lateral approach of the flexor tendons

Materials and methods

Late primary sutures of flexor tendons have been performed through direct lateral approaches on one index, ring and little fingers of three patients. The approach was started at the distal end of the A2 pulley. The incision of the sheath was extended distally and involved the A4 pulley in two cases. After the tendon sutures the sheath was closed with running monofilament suture and early controlled mobilization was started postoperatively.

Results

The flexor tendon sutures performed by utilizing the direct lateral approach resulted in surgical success. However the method proved to be technically difficult and its use had to be limited to the injuries which occurred in the vicinity of the PIP joint. Further improvement of this minimally invasive approach can be expected by development of a similarly minimally invasive tendon suture.

New results

1. The moment arm of the flexor tendons is increasing during the finger flexion above the MP, PIP and DIP joints.
2. The pulleys above the PIP and DIP joints resist only cyclic loading.
3. The pulleys slide upon each other in addition to their closure during flexion of the finger.
4. Flexion and extension of the finger results in a mixing effect of the synovial fluid.
5. The controlling mechanism of the movements of the membranous sheath is located in the subcutaneous tissues.
6. The subcutaneous fibrous system adheres predominantly to the membranous flexor tendon sheath.
7. Deformation of the palmar fat pads guides the subcutaneous fibrous system and this deformation results in the folding of the membranous sheath.
8. The folding pattern of the inner surface of the flexor tendon sheath in chicken toes is similar to that of the human fingers.
9. Model studies in chicken toes indicate that conventional approaches themselves result in a temporary deterioration in the mobility of the toes.
10. Flexor tendon surgery can be successfully performed through the so called direct lateral approach under certain circumstances.

PublicationsOriginal articles

1. Tomcsányi, T., Mester, S. Tigyí, A.:
Studies on the structure of rat liver messenger ribonucleoprotein 1.
Acta Biochim. Biophys. Acad. Sci. Hung. 16: 11-19, 1981.
2. Kovácsy Á., Bíró V., Nyárády J., Mester S.:
A mozgás helyreállítása a kéz irreparábilis idegsérülései után.
Magyar Traumat. Orthop. és Helyreáll. Seb. 32: 195-200, 1989.
3. Mester S., Bíró V., Schmidt B.:
Újabb megfigyelések az emberi hajlítóművelő morfológiájáról és biomechanikájáról.
Magyar Traumat. Orthop. és Helyreáll. Seb. 32: 251-61, 1989.
4. Mester S., Bíró V.:
Tenodermodesis: eljárás a végizület feletti inveterált extensorín sérülések kezelésére.
Magyar Traumat. Orthop. és Helyreáll. Seb. 34: 29-32, 1991.
5. Mester S., Schmidt B., Baranyai F., Ifj. Kellermayer M., Bíró V.:
Az inművelő körüli posztoperatív hegesezés kísérletes vizsgálata.
Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet, Plasztikai Sebészet 36: 421-6, 1993.
6. S. Mester, B. Schmidt, K. Derczy, J. Nyarady, V. Biro:
Biomechanics of the human flexor tendon sheath investigated by tenography.
Journal of Hand Surgery (British and European Volume), 20B: 500-504, 1995.

IF: 0,158

7. Tóth F., Nyárády J., Mester S.:
Funkcionális töréskezelés a IV-V. metacarpus diaphysis töréseinek ellátásában. *Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet, Plasztikai Sebészet.* 42: 287-92, 1999.
8. Mester S., Nyárády J., Bálint L.:
Alkari hajlítók izmok eredésének leválasztása (Flexor slide műtétünk). *Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet, Plasztikai Sebészet.* 42: 287-93, 1999.
9. Toth F., Mester S., Cseh G., Bener A., Nyarady J., Lovasz G.:
Modified carpal box technique in the diagnosis of suspected scaphoid fractures.
Acta Radiol. 44(3): 319-25, 2003.
IF: 0,914
10. Szabó Gy., Mester S., Tóth F.:
Cincinnati incision combined with medial rotational fasciocutaneous flap for clubfeet with pathologic soft tissues.
Orthopedics, 28(4): 368-70, 2005.
IF: 0.553 (2004)
11. Mester S., Schmidt B., Szabo G., Toth F., Nyarady J.:
Biomechanics of the membranous flexor tendon sheath: the role of Grayson's ligaments.
Plast Reconstr Surg. 117(2): 497-506, 2006.
IF: 1.872 (2004)

Published, peer-reviewed abstracts

1. *S. Mester*:
Küntscher nailing through joints.
Abstracts: Gerhard Küntscher Kreis, Osteosynthese International p:296. 1991.
2. *S. Mester, B. Schmidt, K. Derczy, V. Biro*:
Comparative studies on the biomechanics of the human flexor tendon sheath by tenography and anatomical dissections.
Abstracts: Vth International Congress of Hand Surgery, European medical Bibliography for Hand Surgery, Vol. 1. (Suppl.) p:214. 1991.
3. *S. Mester, B. Schmidt, V. Bíró, P. Szekeres*:
Biomechanics of the human flexor tendon sheath examined from within. 1st Congress of the Federation of the European Societies for Surgery of the Hand; Book of Abstracts, Longman Group UK Ltd, 13-4. 1993.
4. *S. Mester, E. Berényi, P. Bogner, I. Repa, V. Bíró*:
Magnetic resonance imaging examinations on injured flexor tendons in zone 2 of the hand.
1st Congress of the Federation of the European Societies for Surgery of the Hand; Book of Abstracts, Longman Group UK Ltd, p:66. 1993.
5. *J. Nyárády, S. Mester, G. Farkas, Gy. Zadravecz*:
Femoral shaft fractures complicated with arterial injury: tactics of initial management.
Abstracts: Gerhard Küntscher Kreis, Osteosynthese International p:33. 1994.
6. *S. Mester, K. Derczy, I. Naumov*:
To preserve or not to preserve: the importance of the pulley structure elements in the finger biomechanics.
Abstracts book: The 6th SICOT Trainees Meeting. p:11. 1995.
7. *Mester S., Schmidt B., Derczy K.*:
Az inhomogén biomechanikai szerepe a kézujj mozgásában.
Előadáskivonatok: A Magyar Ortopéd Társaság Kongresszusa 14.o.1995.

8. *S. Mester, F.Toth, M. Kellermayer, J. Nyarady*:
Consequences of the Scar Formation Around the Flexor Tendon Sheath: A Comparative Study in Chicken.
European Orthopaedic Research Society Transactions Vol. 6 Editor Antti Alho. 6th Annual Conference, 15-16 June 1996, Bergen, Norway.
9. *J. Nyarady, F. Toth, S. Mester*:
The operative treatment of unstable Colles' fractures.
Acta Orthopaedica Scandinavica Suppl. No. 270, 67: 40. 1996
IF: 0,702
10. *S. Mester*:
Spontaneous elbow dislocation in birth palsy.
Abstract Volume: The 8th Congress of the International federation of Societies for Surgery of the Hand, Istanbul, 2001
11. *S. Mester*:
Unilateral external fixator elongation in neglected radial clubhand.
8th Congress of the Federation of the European Societies for Surgery of the Hand, Poster Book, Amsterdam, 2002
12. *S. Mester, B. Schmidt, F. Toth, J. Nyarady*:
Role and structural organization of Grayson's ligaments.
9th Congress of the International Federation of Societies for Surgery of the Hand, Budapest, 2004
Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet, Plasztikai Sebészet 47(suppl.2): 230, 2004.

Kumulatív impact factor: 4,199