

# Új Mini-optical Tracking Technológia Minimálisan Invazív Sebészetben

**Christopher Richard von Jako, M.S.**

M.Sc., Nuclear Engineering (1993)  
Radiological Sciences and Technology  
Massachusetts Institute of Technology  
Cambridge, MA

**Ph.D. Tézis**

**Biomedical Sciences,  
Klinikai és Kísérleti Idegtudomány területén**

**Témavezetők: Prof. Tamás Dóczi, M.D., Ph.D., D.Sc.  
Dr. Attila Schwarcz, M.D., Ph.D.**



**Pécsi Tudományegyetem  
Általános Orvostudományi Kar  
Idegsebészeti Klinika  
2014**



## 1. Bevezetés

Ma a legtöbb ember tisztában van a GPS (globális helymeghatározó rendszer) navigációs eszközök jelentőségével az aktuális tartózkodási hely meghatározásában. Ez a disszertáció egy sebészeti navigációs rendszer kifejlesztésére összpontosít, amely közvetlenül össze van kapcsolva az orvosi képalkotó rendszerekkel, így fel lehet használni a képalkotókból származó összes információt egy adott célpontról a pontos diagnózis felállítására illetve a betegség kezelésére. Jelen dolgozat különösen arra összpontosít, hogy fejlessze és javítsa azokat a specifikus perkután eljárásokat, amikor is egy tűt vagy trokár kanült helyezünk a testbe képi útmutatás alapján.

Az elmúlt két évtizedben növekvő tendenciát mutat, hogy a műtőben a kevésbé invazív módszerek kerüljenek előtérbe. Ez idő alatt a különböző technikák a minimálisan invazív sebészetben (MIS) minimalizálták a nyílt műtétekhez kapcsolódó fájdalmat és morbiditást, miközben megfelelő körülmények között, megőrizték a kapcsolódó diagnosztikai vagy terápiás célokat, rövidebb regenerálódási idő mellett. Ezért, ha lehetséges és alkalmazható, a betegek és az orvosok túlnyomó többsége inkább a MIS technikákat részesíti előnyben.

Az egyik legnagyobb kihívást a MIS esetében az jelenti, hogy egy intervenciós eszközt a megfelelő célpontba juttassunk a direkt vizualizáció nyújtotta előnyök nélkül, a szervek és szövetek iatrogen sérülését elkerülve. Kisebb seb ejtésével közvetlen rálátással, vagy miniatűr videokamerát használva adott fényforrás mellett, az orvosok képesek voltak manipulálni az intervenciós eszközöket és végső soron műtétet végezni, ez közvetlen minimálisan invazív közvetlen hozzáférést (MIDAST™) biztosít, más néven az ún. kulcslyuk sebészet, több kis bemetszés (laparoszófia), vagy természetes nyílások (endoszófia) felhasználásával.

A diagnosztikai képalkotó eszközök (pl. CT vagy MR) felhasználása is egy módszer néhány MIS eljárásban intervenciós eszköz követéséhez a testben, valamint meghatározni annak helyzetét és irányát a tervezett célhoz képest. Mind a MIDAST, a laparoszópos és az endoszópos technikák esetén, az intraoperatív képalkotás hatékony felhasználása intervenciós vezérlése nagymértékben függ az orvos tudásától és tapasztalatától. Számos próba és hibaciklus megfigyelésére lehet szükség, mely során több repetitív kép készül, különösen, ha a célpont kicsi vagy az optimális útvonal megtalálása több problémát rejt magában.

A sebészeti navigáció (olykor kép - irányított műtétnek is nevezik) egy olyan technológia, amely egyre szélesebb körben lett elfogadott az elmúlt tizenöt évben számos sebészeti szakterületen (pl. idegsebészet, fül-orr-gégészeti műtét, stb.). Ez a technológia lehetővé teszi, hogy az orvosok, megkeressék és követni tudják a beavatkozási eszközök útját az előzetes radiológiai kép alapján, amely hasonló ahhoz, ahogy a GPS megkeres egy autót a tárolt útvonalak segítségével. Ma a sebészeti navigációs rendszerek optikai vagy elektromágneses (EM) tracking technológiákat hasznosítanak annak érdekében, hogy regisztrálják a navigált eszköz térbeli elhelyezkedését. A klinikai gyakorlatban ez a folyamat lehetővé teszi, hogy az eszköz gyakorlatilag látható és folyamatosan követhető egy számítógép-monitoron az előre elkészített radiológiai képek felhasználásával a beteg anatómiai sajátosságainak megfelelően.

Egy sebészeti navigációs rendszer létrehozásának célja, hogy segítse az orvost egy adott intervenciós eszköz pontos célzásában, vezetésében, és elhelyezésében, és ezzel potenciálisan: 1) lehetővé teszi az optimális, személyre szabott műtéti terv kiválasztását intelligens előzetes tervezési kapacitásokkal, 2) növekvő eljárási pontosságot biztosít, miközben csökkenti a

műtéti hiba kockázatát 3) csökkenti a beavatkozási időt,4) amennyiben rendelkezésre állnak intraoperatív képalkotó eljárások, csökkenti a köztes intraoperatív felvételek számát 5) csökkenti a betegre és az orvosra gyakorolt sugárterhelést, ami az ionizáló sugárzást alkalmazó intraoperatív képalkotó forrásokból származhat, mint például a C-kar vagy a CT-szkenner.

A jelenlegi sebészeti navigációs követési módszerek nem korlátok nélküliek. A legtöbb terjedelmes, összetett és ezért időigényes. Gyakran járnak technológiai kihívást jelentő kompromisszumokkal, amelyek akadályozzák a standard klinikai munkafolyamatokat, és költséges beállításokat eredményeznek, amelyek gátolják, vagy egyszerűen nem teszik lehetővé rutinszerű használatukat MIS beavatkozásokban. Ezzel szemben áll egy új nyomkövető technológia, amely csökkenti a hagyományos kompromisszumok szükségességét. Jelen dolgozat erre helyezi a fő hangsúlyt.

## 2. Célok

Ez a dolgozat módszerek és rendszerek fejlesztésére összpontosít, a pontos eszköz elhelyezésére képi útmutatás alatt. Megértve a jelenlegi sebészeti navigációs megközelítés korlátait, az elsődleges cél egy új, rugalmas, egyszerű és pontos nyomon követéses technológiai platform tervezése, tesztelése, és részletes leírása volt. Mely percután eszközök elhelyezését teszi lehetővé, és elejét veszi azoknak hiányosságoknak, amelyek a jelenlegi sebészeti nyomkövető rendszerekre jellemzőek. Így egy új sebészeti navigációs tracking technológiát fejleszteni.

Az új technológia az optikai nyomkövető technológia egy miniatürizált megvalósítása néhány hagyományos kompromisszum nélkül. Kihasználva mindössze két, viszonylag olcsó, apró alkatrészt, a dolgozat bemutatja az új minioptikai nyomkövető technológiai platformot.

A következő cél egy kiaknázatlan percutan eljárás lehetővé tétele volt az új minioptikai nyomkövető technológiát kihasználva. A sebészeti navigáció nem volt megfelelően kihasználva az intervenciós radiológia területén elsősorban a költségek, valamint néhány egyéb korlát miatt. Így a cél az volt, hogy a minioptikai nyomkövető rendszereket alkalmassá tegyünk intervenciós tüdő és máj beavatkozásokban. Egy klinikai megvalósíthatósági tanulmány került megtervezésre és véghez vitelre mindkét területen a biztonság, a hatékonyság és a pontosság bizonyítása céljából.

A harmadik cél egy meglévő sebészeti navigációs alkalmazás megerősítése volt. Ez magában foglalta az új minioptikai követő technológiai platform alkalmazhatóságának igazolását az idegsebészetben. A rendszer igazítva lett, próbapadon be lett vizsgálva a pontosság és a munkafolyamat integráció szempontjából nem-klinikai környezetben a sztereotaxiás intracranialis alkalmazásokhoz. A végső cél a technológiai platform rugalmasságának feltárása volt néhány lehetséges jövőbeli alkalmazás felvetése által.

### **3. Új minioptikai nyomkövető technológia**

#### **3.1 Bevezetés**

A minioptikai követési technológia platform funkciója három fő részből áll: 1) a miniatűr, könnyű videó kamera, amely csatlakozik egy szabványos intervenciós eszközhöz (pl. biopszia tű); 2) egy öntapadós regisztrációs matrica video-és radiológiai röntgensugaras képalkotó számára látható jelzésekkel; és a 3) egy 3-D nyomkövető szoftver számítógépes munkaállomásra telepítve.

A regisztrációs matrica steril és a betegre van helyezve a CT felvételek előtt, a matrica egybeeső referencia-markereket tartalmaz, amelyek láthatóak mind a videoképen mind a diagnosztikai képen. A színes referencia- markerek, amelyek a matrica tetején helyezkednek el, hozzák létre a videó adatot, a referencia- sugárfogó markerek, amelyek a matrica belsejében találhatóak a diagnosztikai adatok létrehozásáért felelősek. Ezek az egybeeső referencia markerek lehetővé teszik egy intervenciós eszköz regisztrációját a képalkotó térben. A videó kép egy adott beavatkozási eszközre szerelt videokamerától érkezik. A színes referencia-markerek helyének képei alapján a szoftver lehetővé teszi egy virtuális eszköz nyomon követését, ahogy közeledik a felhasználó által kiválasztott anatómiai célhoz. A számítógép a kijelzőn a 3D nyomkövető szoftver segítségével megjeleníti az eszköz szimulációját a CT-képeken, ezzel vezérlési információt ad, hogy segítse a felhasználót az eszköz cél felé történő irányításában.

#### **3.2 A pontosság tesztelése**

Egy egyedi próbapad került felállításra a rendszer teljesítményének és térbeli pontosságának értékelésére. A padon a vizsgálatok egy egyedi tesztkamra segítségével lettek elvégezve. A vizsgáló kamra egy dobozból állt amelyben a céllemezek különböző mélységben voltak elhelyezve a regisztrációs matricától, ami a felső panelre volt szerelve. Minden céltábla tartalmazott 25 db 1 mm-es megmunkált célylukát, amely töltve volt sugárzást visszaverő festékkel. A klinikai használat szimulálása céljából, ezeket a rádió-opak lyukakat detektáltuk CT szkennel segítségével ezzel meghatározva a kiindulási pontokat a pontossági vizsgálatokhoz.

Egy kalibrációs lépést követve, egy 18G-s méretű trokár tűt helyeztünk közvetlenül mindegyik lyukba a cél minden lemezén, a mérési eltérések a megcélzott lyukakhoz képest a rendszer segítségével lettek kiszámolva. Ezeket a vizsgálatokat megismételtük összesen 225 ponton. Kihhasználva a mért eltéréseket a minioptikai nyomkövető rendszer szoftverből, a 3-D navigációs eszköz pontosságához laboratóriumi átlagot és a kapcsolódó standard szórást számoltunk.

#### **3.3 Eredmények**

A próbapadon a minioptikai nyomkövető rendszer pontossága függ a videokamera teljesítményétől, a regisztrációs matrica tulajdonságaitól és a CT képek paramétereitől. Az eredményül kapott pontossági adatok jól korreláltak a fantom koordinátákkal és a CT-képekkel. A gyűjtött 225 célpont alapján, az átlagos 3-D navigáció pontossága  $1,54 \pm 0,64$  mm. Ez jó összhangban van más navigációs rendszerek eredményeivel, amelyekről beszámoltak az irodalomban.

## **4. Minimálisan invazív tüdő beavatkozás klinikai vizsgálat**

### **4.1 Bevezetés**

A CT -vezérelt tű biopszia egy jól megalapozott technika a gyanús tüdő csomók értékelésében. A technika korlátozott morbiditással és mortalitással jár. A mellkasi CT fokozottabb használata jelentős növekedéshez vezetett a meghatározatlan pulmonális góccok kimutatásában, különösen azon csomók esetében, amelyek kisebbek. Ezek a kis csomók dilemmát jelentenek, mert az ismételt intervallum megfigyeléses CT vizsgálatokat nem lehet megfelelően lefolytatni, ha a göb bizonyított intervallum növekedést mutatott a korábbi CT-vizsgálat óta. Ezért volt megfelelő a kereslet növekedése a mintavétel irányába ezen nagyobb kihívást jelentő elváltozások esetében.

Különböző technikákat, mint a CT-vezérelt fluoroszkópia, amely gyors, frissített fluoroszkópiás képeket közvetít a CT- szkennerekbe, használnak annak érdekében, hogy javítsa a siker arányát, de ezek a technikák a hardver-és a klinikai technika jelentős módosítását igénylik.

Ennek a klinikai megvalósíthatósági tanulmánynak az a célja, hogy értékelje a segédprogramot és azt, hogy a minioptikai nyomkövető rendszer milyen mértékben könnyíti meg a tüdő csomók CT -vezérelt biopsziáját, prospektíven mérve hatékonyságát és a biztonságát egyszerre több intézményben és intervenció radiológus bevonásával.

### **4.2 Anyagok és módszerek**

Kutatási Etikai Bizottság által jóváhagyott, multicentrikus, prospektív, egykarú, nem-vak megvalósíthatósági vizsgálat folyt négy kórházban hét tapasztalt radiológussal.

Minden beteg CT -vezérelt biopsziát végeztek gyanús tüdő csomó felderítése céljából. Az egyik intézményben vizsgáltuk a tanulmány beválasztási és kizárási kritériumokhoz való ragaszkodást. Az első 48 főt, aki megfelelt a kritériumoknak, felkérték, hogy vegyenek részt a vizsgálatban. Annak érdekében, hogy biztosítsák a sokszínűséget az értékelt csomók tekintetében, a betegeket a gyanús tüdő csomók átlagos méretére nézve csoportosították. A protokollnak megfelelően betegek 20 %-ánál az elváltozások 1,0 cm és 1,5 cm között, 40 %-ánál 1,5 cm és 3,0 cm között , és 40%-kal nagyobb, mint 3,0 cm voltak. A felvétel a betegek egyes csoportjába megszűnt, amint a csoport elérte a cél- számát. Ezen kívül, egy beavatkozás összetettségére vonatkozó osztályozás került meghatározásra egy nagyobb komplexitású, valamint egy kisebb komplexitású csoportban. A komplexitás kritérium alapja a cél helye, és a beteg általános egészségi állapota volt.

A hatásosság vizsgálat elsődleges végpontja a siker mértéke volt, miszerint a biopsziás tű olyan helyre lett helyezve, ami alkalmas arra, hogy a vett szövetminta gyanús tüdő csomót tartalmazzon. Miután a navigációt a biopsziás tűvel elvégezték, a göbről készült CT-képeket a radiológus alaposan áttekintette ami hozzájárult a sikerhez.

Az eljárás során és a kötelező követés alatti nemkívánatos eseményeket (adverse event, AE-k) prospektív módon tártuk fel annak érdekében, hogy a dokumentáljuk a biztonságot.

Volt több fontos módosítás a minioptikai nyomkövető rendszerben annak érdekében, hogy alkalmazható legyen a tüdővel kapcsolatos megvalósíthatósági tanulmányban. Először is, a kamera rögzítő rendszert, amely lehetővé teszi, hogy fel lehessen szerelni a különböző

eszközöket, beavatkozással úgy módosították, hogy lehetővé tegye a nagyobb rugalmasságot. Továbbá, design módosítás is történt a regisztrációs matricában, amely lehetővé tette, hogy könnyebb legyen eltávolítani az eljárás végén. Végül, design módosítások történtek a szoftver eredeti prototípusában, hogy könnyebb felhasználói élményt nyújtson. Pontosabban, frissítések történtek a grafikus felhasználói felületen.

### **4.3 Eredmények**

A kohorsz 28 férfiből és 20 nőből állt, átlagéletkor 66,7 év ( 36 és 89) volt . Az átlagos lézió mérete 3,3 cm ( tartomány 1,0-9,2 cm) . Minden beavatkozás , az elváltozás méretét és összetettségét figyelmen kívül hagyva találkozott az elsődleges hatékonysági végponttal, 100%-os biopsziás tú elhelyezés a szövetminta megszerzésére alkalmas helyre a tüdő céljában, amely a vizsgálatban résztvevő kutató által volt meghatározott. Ezek az adatok megerősítik a minioptikai nyomkövető rendszer hatékonyságát a perkután CT -vezérelt tüdő beavatkozásokban.

Nem kerültek rögzítésre készülékhez kapcsolódó vagy váratlan nemkívánatos események. A vizsgálat során megfigyelt váratlan nemkívánatos események a tüdő biopszia eljárás ismert szövődményei voltak. A legtöbb megfigyelt nemkívánatos esemény természetében vagy enyhe vagy mérsékelt volt, de nem okozott semmilyen tartós gondot a beteg számára. Összesen 29 betegnél (60,4 %) jelentkezett AE, annyi amely bármely CT-vezérelt tüdőbiopszia eljárás ismert komplikációs rátájába is beilleszkedik. Az AE-k megjelenése magasabb volt a kisebb elváltozások és bonyolultabb csoportok esetében, amely összhangban áll a nagyobb kihívást jelentő természetükkel.

## **5. Minimálisan invazív máj beavatkozás klinikai vizsgálata**

### **5.1 Bevezetés**

A CT-vezérelt képalkotás olyan májat érintő beavatkozások esetében, mint a diagnosztikus biopszia vagy a terápiás abláció széles körben elfogadottá vált.

Ezen esetekben az ultrahang-vezérelt módszer nem képes kellőképpen vizualizálni az elváltozást, és szűk határok között mozog az adott eszköz biztonságos alkalmazhatósága. Viszont máj biopszia esetében a CT nagy pontossággal felhasználható. A terápiás ablatio az elsődleges vagy másodlagos rosszindulatú képződmények esetében lehet megfelelő gyógymód, de természetesen hatékonysága függ a műszer pontos elhelyezésétől. Itt alacsony a komoly szövődmények-, illetve az eljáráshoz kapcsolódó halálozási arány.

Az köztudott, hogy a CT hatékony felhasználása nagyban függ a radiológus tudásától és tapasztalatától. Szükség lehet számos finomításra a hiba ciklusok feltérképezésekor, ahol ismételt CT-vizsgálat is végezhető. Ez különösen akkor igaz, ha a célterület kicsi, esetleg mélyen vagy nehéz szögben lehet csak megközelíteni.

Ennek a klinikai megvalósíthatósági tanulmánynak az volt a célja, hogy értékelje az új optikai nyomkövető rendszer hatékonyságát és biztonságosságát, valamint, hogy megkönnyítse a CT-vezérelt eszköz megfelelő elhelyezését máj beavatkozások esetében.

## 5.2 Anyagok és módszerek

A Kutatási Etikai Bizottság jóváhagyta, hogy két-centrumos, prospektív, egykarú, un. nem-vak megvalósíthatósági vizsgálatot végezzen négy tapasztalt radiológus.

Minden beteget, aki tervezett CT-vezérelt máj biopszián vagy ablation esett át, az egyik résztvevő intézményben megvizsgálták, hogy megfelel-e a tanulmány felvételi és kizárási kritériumainak. Az első alkalmasnak ítélt 20-at felkérték, hogy vegyenek részt a vizsgálatban. Annak érdekében, hogy biztosítsák a gócok sokszínűségét, a betegeket a következőképpen csoportosították:

- 1.) legalább öt esetben a lézió mérete egyenlő, vagy kevesebb mint 2,0 cm legnagyobb átmérő,
- 2.) legalább két esetben a beavatkozás a bal lebenyben található,
- 3.) legalább két esetben az elváltozások mélyebben vannak mint 8 cm a bőr alatt, 4.) legalább három esetben a beteg decubitus elhelyezkedésű.

Csakúgy, mint a tüdő tanulmányban, a célzott végpont elérése volt a legfontosabb a készülék megfelelő pozicionálással, ami alkalmassá tette a tervezett beavatkozásra. A kutató alaposan megvizsgálta az eszköz végső pozícióját a CT képek alapján. A megbízhatóság ismét dokumentálásra került értékelve az összes AE. szempontot.

Itt a rendszerben ismét számos fejlesztés történt annak érdekében, hogy máj beavatkozások alkalmával használható legyen. A regisztrációs matricát újból jelentős mértékben módosították, hogy nagyobb rugalmasságot biztosítson. További fejlesztések történtek a szoftverben is, mely már több automatizációt engedett az eljárások elmentésénél.

## 5.3 Eredmények

A kohorsz 13 férfiből és 7 nőből állt, átlagéletkoruk 63,1 év (szórás 38-80). A betegek többsége, 70%-a, CT-vezérelt májbiopszián esett át, míg a fennmaradó rész CT-vezérelt terápiás abláción. Az átlagos lézió mérete 3,1 cm (tartomány 1,1-6,9 cm). Minden beavatkozás -függetlenül a lézió nagyságától, illetve a speciális szempontoktól- találkozott az elsődlegesen meghatározott végponttal, mégpedig a 100%-os hatékonysággal elhelyezett eszköz segítségével a kutató által megtervezett beavatkozás helyén. Ezek az adatok megerősítik a minioptikai nyomkövető rendszer percután CT-vezérelt máj beavatkozások hatékonyságát. Készülékhez kapcsolódó, vagy váratlan, nemkívánatos esemény továbbra sem került rögzítésre. Csak egy betegnél volt enyhe AE, azt is sikerült megoldani beavatkozás nélkül.

## 6. Minimálisan invazív agyi beavatkozás klinikai vizsgálata

### 6.1 Bevezetés

Az idegsebészeti navigációs rendszerek megjelenése előtt az idegsebész által használt diagnosztikai képek a páciens agyáról készült mentális 3-D modellre épültek. Így tervezték az optimális műtéti időzítést, illetve végezték el a sebészeti eljárást közvetlen vagy mikroszkopikus látás segítségével. Mára a navigáció általánossá vált, az intracranialis eljárásokat befolyásolja, tehát magát az ellátás színvonalát. A technológia méretében csökkentette a craniotomiát és segítette elkerülni a kárt az egészséges, ép agyterületek esetében.



Azonban a jelenlegi navigációs technológiának számos hiányossága van, ami a rutinszerű használatot részben vagy egyáltalán nem teszi lehetővé. Ezzel ellentétben, az alábbiakban ismertetjük a nyomkövető rendszer minioptikai idegsebészeti alkalmazások egy további adaptálását, egy laboratóriumban végzett megvalósíthatósági tanulmány alapján.

## 6.2 Anyagok és módszerek

Két jelentős tervezési módosítással a rendszer lehetővé tesz az agyban is hasznosítható eljárásokat. Az első jelentős módosítás a regisztrációs matricán történt, a második a szoftver kompenzálása a regisztrációs matrica tervmódosításának érdekében. Ez a változás elég jelentős volt ahhoz, hogy egy másik egyedi próbapadon a minioptikai nyomkövető rendszer teljesítményét a pontosság szempontjából értékelje.

Ugyanez a vizsgálati kamra került felhasználásra mint az előző vizsgálati tesztben. Ismét egy 18-as méretű trokár tűt helyeztünk közvetlenül minden 1 mm-es lyukhoz a cél minden lemezére, és a mérések eltéréseit a cél-lyukak szerint számoltuk a rendszerben. Ezeket a vizsgálatokat megismételtük összesen 225 ponton. Felhasználva az eltéréseket a minioptikai nyomkövető rendszer szoftverében, számoltuk a laboratóriumi átlag 3-D navigációs pontosságát és a kapcsolódó szórást.

Miután a pontosságot sikerült meghatározni, és az megfelelőnek bizonyult, megvalósíthatósági tanulmány készült egy antropomorf fej fantomon. A fej fantom belső terét átalakították és módosították annak érdekében, hogy biztonságosan tartsa a biopsziát. Ez a fantom lehetővé tette a szimulációt az agy 20 látható diszkrét radiológiai célján. Egy agyi biopsziás tű került elhelyezésre ezen célterületen az újonnan módosított minioptikai nyomkövető rendszer segítségével.

## 6.3 Eredmények

### 6.3.1 A munkapadon végzett teszt kísérlet

A teszt kamránkon összegyűjtött 225 db célpont alapján az átlagos 3-D navigáció pontossága  $1,41 \pm 0,53$  mm. Ez sokkal pontosabb, mint az előző rendszer verziója, és jól összhangban van más, az irodalomban szereplő navigációs rendszerekkel és idegsebészeti eljárásokkal.

### 6.3.2 Antropomorf fej fantom kísérlet

A fej fantomon 20 kis CT-n látható célpont került kijelölésre, melyek átlagos térfogata 0,14 cm<sup>3</sup> (0,01-0,84 cm<sup>3</sup>), és a fej fantom felszínétől mért átlagos mélysége 6,0 cm (4,0-10,8 cm).

Ahogy a korábbi vizsgálatoknál, a siker mértékét posztoperatív CT képek felülvizsgálatával határozták meg. Az összes célpont -mérettől vagy mélységtől függetlenül- találkozott az elsődlegesen meghatározott végpontban a 100%-os hatékonysággal elhelyezett eszköz tujével. Minden pontot eltaláltak, és ezekhez egy, CT-vel biztosított intervenció kellett. További módosítás nem volt szükséges. Ez az eredmény megerősíti a jelen megvalósíthatósági tanulmányban végzett beavatkozások hatékonyságát.

## **7. Konklúzió**

A minioptical követéses technológiai platform valódi előrelépést és potenciálisan jelentős paradigmaváltást jelent néhány hagyományos és nem hagyományos sebészeti navigációs alkalmazás terén, miközben örökölte a jelenlegi módszer attribútumait. A három sebészeti alkalmazást azonosították és sikeresen tesztelték az új technológiai platformon a pontosság és a hatékonyság terén. Az új technológia a hagyományos sebészeti navigációs rendszerekkel szemben nagyobb rugalmasságot, illetve az egyszerűség és a költséghatékonyság fenntartása mellett a MIS eljárásokhoz szükséges pontosságot teszi lehetővé.

## **8. Jövőbeni munka**

Az értekezés végső célja az, hogy az új minioptikai nyomkövető technológiai platform további alkalmazási lehetőségeit vizsgálja, ezáltal pedig tovább szélesítse a rendszer rugalmas felhasználási területeit. A pécsi munkacsoporttal együtt a nyomkövető rendszer MRI-s körülmények közé integrálásának lehetőségén dolgoztunk. A rendszer jól teljesített a kezdeti megvalósíthatósági kísérlet során, de MRI matrica design tekintetében további fejlesztések szükségesek.

A későbbiekben még fel kell tárnunk a potenciális gerinc alkalmazások lehetőségét. Számos vizsgálatot végeztek CT-alapú eljárások tekintetében több európai intézményben. Ugyanakkor fogalmilag ki kellene dolgozni egy radiológiai technológiát annak érdekében, hogy az a legjobban igazítható legyen a gerinc-alapú eljárások követelményeihez. Nagyobb módosításokra lenne szükség a matrica és szoftver tervezés szempontjából, hogy ez majdan további vizsgálatok alapjául szolgálhasson.

## **9. Köszönetnyilvánítás**

Óriási hálával tartozom és elismeréssel adózom Dóczi Tamás Professzor Úrnak a tőle kapott támogatásért és segítségért. Az ő bátorítása, útmutatása és barátsága nélkül az elmúlt két évtizedben ez a dolgozat nem jöhetett volna létre. Szeretném elismerésemet és köszönetemet kifejezni a másik témavezetőnek, Dr. Schwarcz Attilának is, aki folyamatában jelentősen hozzájárult a munkámhoz, felbecsülhetetlen értékű betekintést és folyamatos azonnali kritikus visszajelzést is nyújtva. Nem volt hiábavaló számomra az idő és elkötelezettség, valamint a személyes áldozat, amelyeket PhD témavezetőként tőle megtapasztaltam. Úgy gondolom, hogy megtiszteltetés számomra, hogy két ilyen magas minőségű témavezetővel dolgozhattam..

További fő támogatóimnak szeretném elismerésemet kifejezni, a pécsi Orsi Gergelynek, Perlaki Gábornak, Kathy Péternek és Kittka Bálintnak. Mindegyikük fontos szerepet töltött be a doktori munkám elvégzésében és a dolgozat megírásában. A legtöbb idegsebészeti munkát és a vizsgálatot a Pécsi Diagnosztikai Központban végeztük el. Szeretnék köszönetet mondani a munkatársaknak az együttműködésért és a késő esti hozzáférés biztosításáért, a támogatásért mind a CT- mind MRI osztályon.

Hálával tartozom a feleségemnek Sherinek és két csodálatos fiamnak, Nolannak és Drewnak. Folyamatos támogatásuk nélkül mindez nem lett volna elvégezhető. Ezen kívül nagy hálával tartozom szüleimnek Gézának és Máriának, és a bátyámnak Ronnak, a folyamatos

támogatásért és megerősítésért, hogy sikerüljön befejezni ezt a munkát. Édesapám volt az igazi inspiráció, hogy szenteljem a karrierem az orvostudományoknak. Az ő egész szakmai életútját úttörő jellegű gyógyszerfejlesztések, valamint a minimálisan invazív, mikro-, és lézer sebészetben elért eredmények fémjelzik. Édesanyám pedig igazi példakép volt abban, hogy az ember kizárólag végtelenül kemény munkával érheti el álmainak valóra válását.

Szeretném elismerésemet kifejezni kollégáimnak akikkel együtt dolgoztam a ActiViews-nál, különösen Yuval Zuknak és Pini Gilboanak, akik rendkívül segítőkészen és céltudatosan vezettek engem ezen az úton. Úgy gondolom, hogy kiváltság volt mindkettjükkel együtt dolgozni. Szeretnék köszönetet mondani Dr. Tatiana Cabrerának és Dr. David Valentinek és Susannak a Radiológiai Klinikán, McGillnek, Dr. Narinder Paulnak a Radiológiai Tanszék TGH-n, és Matt Dickmannak, valamint David Websternek a NeuroLogica Corporation-ben.

Nagyon hálás vagyok Ferenc A. Jolesz és Eric R. Cosman professzor uraknak. Az általuk képviselt egyesületek támogatása, édesapám segítsége mellett fontos volt orvosi biológia pályafutásom számára. Közvetlen hozzájárulást jelentett, hogy létezik gyógyszer és továbbra is segíteni tudunk az emberek millióinak szerte a világon. Professzor Jolesz egy magyarországi születésű és képzett idegsebész és neuroradiológus. Megtiszteltetés volt dolgozni Jolesz professzor csoportjában a műtéti tervezés Lab (a Brigham Női Kórház és a Harvard Medical School, Boston) mellett működő doktori iskolában a Massachusetts Institute of Technology-n (MIT).

Cosman professzor lett a legfiatalabb kinevezett fizika professzor az MIT-n. 1991-ben lett nyugalmazott professzora az MIT-nek és követte apját az elnök-vezérigazgatói poszton a bostoni orvosi eszközgyártó cégnél, az úgynevezett Radionics-nál, amíg ő a Covidien az üzleti tevékenységét irányította 2000-ben. Cosman professzor biztosította számomra az első alkalmat az orvostechikai eszközök terén, amikor állást ajánlott nekem a Radionics doktori iskolájában 1993-ban. A következő hét évben, ő továbbra is mentorom volt, kiemelkedően sok lehetőséget kínálva. Nagy megtiszteltetés volt számomra a Radionics vállalkozás irányítása 2003-2007-között.

Végül, szeretnék köszönetet mondani Eric Baconnek és Jay Studdardnak a Linsalata Capital Partners-nél, akik lehetővé tették munkám befejezését, valamint több magánszemélynek, akik a barátságukat ajánlották és folyamatosan támogatást nyújtottak, ami jelentős hatással volt az életemre és a karrieremre. Ők Dr. James Bath, Señor J. Fernando Corredor, Alexander Drosin, Richard Karelak, Zach Leber, Gary Mantha, Andrew Mullen, Dr. Michael Schulder, Dr. Michael Williams, és ismételten Yuval Zuk.

## 10. Irodalomjegyzék

### 10.1 A tézist megalapozó cikkek

- C. von Jako, G. Perlaki, G. Orsi, A. Schwarcz, T. Dóczy, “A Mini-optical Neuronavigation System for CT-guided Stereotaxy,” *Stereotactic and Functional Neurosurgery*, Vol. 91, pp. 1-9, 2014. Impact Factor: 1.46
- C. von Jako, Y. Zuk, O. Zur, P. Gilboa, “A novel accurate tracking system for percutaneous needle placement,” *IEEE T Biomed Eng*, Vol. 60, pp. 2222-5, 2013. Impact Factor: 2.35
- D. A. Valenti, G. Artho, LM. Boucher, C. von Jako, T. Cabrera, “Mini-optical Navigation System for CT-Guided percutaneous liver needle placements,” *Advances in Computed Tomography*, Vol. 2, pp. 77-82, 2013. Impact Factor: New journal

### 10.2 A tézist megalapozó előadások

- C. von Jako, “Engineering Leadership in the development of Minimally Invasive Surgical Products,” Northeastern University Gordon Engineering Leadership Program Invited Lecturer, Boston, May 2013.
- C. von Jako, “Minimally invasive CT-guided percutaneous thoracic and abdominal procedures aided with navigation,” Abdominal Imaging Research Conference, Massachusetts General Hospital, Boston, January 2013.
- D. Valenti, MD and C. von Jako, “CT-guided navigation in percutaneous procedures,” Navigation Tools and Video Games in Interventional Radiology, Society of Interventional Radiology, San Francisco, CA, March 2012.
- T. Caberra, MD and C. von Jako, “CT-guided navigation,” Guidance and Targeting Workshop, World Conference on Interventional Oncology, Chicago, IL, June 2012.
- D. Valenti, MD, C. von Jako, and Uri Shreter, PhD, “CT-guided navigation in lung biopsies,” Navigation Tools and Video Games in Interventional Radiology Workshop, Society of Interventional Radiology, Chicago, IL, March 2011.
- T. Caberra, MD and C. von Jako, “CT-guided navigation,” Ablation Hands-on Workshop, World Conference on Interventional Oncology, NYC, NY, June 2011.
- C. von Jako, “New application in CT-guided procedures,” AdvaMed 2010 MedTech Conference Invited Speaker, Washington, DC, October 2010.

### 10.3 A tézist megalapozó poszterek

- V. Demers, T. Cabrera, R. Lindsay, C. von Jako, D. Valenti, “New Frontiers in CT Guided Interventions: How Optical Guidance Can Get You Where You Want to Go,” World Congress of Interventional Oncology, New York, May 2013.
- D. Valenti, T. Cabrera, L. M. Boucher, V. Demers, U. Shreter, C. von Jako, “High technical success rate for liver needle placement with the CT-guide navigation system,” Society of Interventional Radiology, New Orleans, April 2013.
- T. Cabrera, L. M. Boucher, C. Torres, C. von Jako, D. Valenti, “CT navigation assist (NAV) systems, principles, indications and case examples,” European Congress of Radiology, Vienna, March 2012.