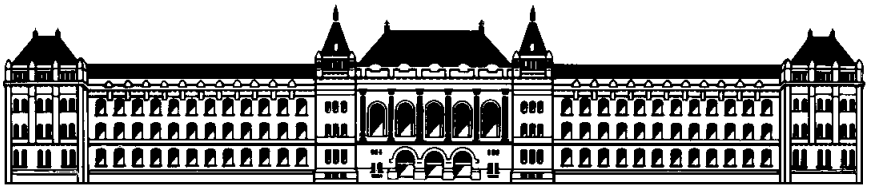

BUDAPESTI MŰSZAKI- ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR DOKTORI TANÁCSA

DOKTORI TÉZISFÜZETEI

Írta:

Bagi István
okleveles gépészmérnök

Csonttörések csavaros rögzítéseinek biomechanikai vizsgálata

című témakörből,
amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

Konzulens : Dr. Dévényi László

Budapest

2012

A kutatások előzménye

Korunk egyre általánosabban előforduló betegsége az időskori csontritkulás, amely a statisztikai adatatok szerint a 60 év feletti népesség közel 80%-ánál kimutatható. Az osteoporosis egyik legfontosabb következménye a könnyen, azaz viszonylag kis erőbehatásra létrejövő csonttörések előfordulása. Az átlagéletkor emelkedésével, és az ezzel, valamint a megváltozott életmóddal kapcsolatba hozható betegségekkel az ilyen típusú törések száma drasztikus növekedett az utóbbi évtizedekben.

Az osteoporoticus eredetű törések között a csípőtáji törések a legnagyobb jelentőségűek, ezek a törések hosszabb időre akadályozzák a beteget korábbi életvitelének folytatásában, a fájdalmak, a törés következményeképpen kialakuló funkció- és mozgásbeszűkülés az önellátást is nagymértékben korlátozhatja. Kutatásomban a combnyaktörésekkel foglalkozom részletesebben.

A combnyaktáji töréseket a szakirodalom biomechanikai és keringés élettani szempontból két fő csoportra osztja, az intracapsularis (medialis combnyak-), és az extracapsularis (lateralis combnyak-, basalis és tomportáji) törésekre. A két töréstípus a szövődmények formáiban és következményeiben is különbséget mutat, így műtéti ellátásuk is jelentősen különbözik, ezért ezeket a dolgozatomban részletesen ismertetem.

A combnyaktörésekkel kapcsolatos gyakori szövődmények, és az ebből adódó magas halálozás még mindig komoly terheket ró mind az egészségügyi ellátó rendszerre, mind a társadalomra. Az átlagéletkor emelkedése és a „civilizált” társadalmak típusos betegségei miatt már évtizedekkel ezelőtt drasztikusan elkezdett emelkedni a csípőtáji törések száma.

Amíg a csípőtáji törötteket konzervatívan kezelték, nagy részük a hosszas immobilizáció következtében kialakult szövődmények miatt meghalt a sérülést követő fél éven belül. Az első műtéti lehetőségek ugyan nagy előrelépést jelentettek, de a szövődmények magas aránya miatt folyamatos volt, és jelenleg is folyik a kutatás a hatékonyabb módszerek kidolgozása céljából. A combnyaktörés műtéti ellátásának kutatásában, fejlesztésében nemzetközileg is elismert eredményeket ért el az egykori Országos Baleseti és Sürgősségi Intézet Dr. Manninger Jenő professzor által vezetett munkacsoportja.

Hazánkban 1953-ban jött létre a combnyaktáji törésekkel foglalkozó kutatócsoport az Országos Traumatológiai Intézetben, ahol évtizedekig az ún. Smith–Petersen-szegezést fejlesztették. Dr. Manninger Jenő professzor 1990-ben kezdeményezte a kettős kanülált csavarozással való minimál invazív műtéti eljárást. Kezdetben azonban ez az eljárás nem volt általános és nem volt jól alkalmazható. A Manninger professzor vezette kutatócsoport kidolgozta a combnyaktörés kezelésére szolgáló teljes műtéti eljárást, és kifejlesztette a hozzá tartozó instrumentariumot. 1993-tól már általánosan alkalmazták az ún. percutan kettős kanülált csavarozási technikát a diszlokált combnyaktörések osteosynthesise esetén. A módszer a mérsékelt elmozdulással járó Garden III típusú mellett válogatott esetekben a Garden IV-es ill. megfelelő stabilitást növelő eljárásokat alkalmazva a Pauwels III-s és a lateralis combnyaktörések esetében is alkalmazható.

A percutan kettős kanülált csavarozási technikával néhány év alatt igen jelentős eredményeket értek el. Az orvosi „szakzsargon” tiszteletből máig „Manninger-csavarnak” hívja a kanülált combnyakrögzítő csavarokat.

Ehhez a kutatócsoporthoz csatlakoztam Manninger professzor meghívására. Az ún. „Svéd-csavar” továbbfejlesztésébe kapcsolódtam be, amelynek során a combnyak csavar különféle geometriai és konstrukciós kialakítását, majd 1994-től ezek biomechanikai vizsgálatát végeztem a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék adjunktusaként. Az első sikeres klinikai tapasztalatokat bemutató publikációk 1993-94-ben, a biomechanikai vizsgálatok első eredményei pedig 1996-ban jelentek meg.

Célkitűzések

A sikeres gyógyulás lényeges feltétele a törésrögzítés stabilitásának növelése. A hagyományos csavarok menetkialakítása azonban nem veszi figyelembe, hogy a combfej csontállománya nem homogén. A combnyaki rész spongiosa állománya idősebb korban egyre ritkább, a csontállomány sűrűsége csökken, míg a subchondralis régióban viszonylag tömör marad a csontszövet. Mivel idős korban a kanülált csavar jórészt a corticalis jellegű csontrétegben rögzít a legjobban, a hagyományos menetemelkedésű és menetkialakítású csavarok esetén alig több, mint egyetlen menet rögzíti a csavart. Az ún. duplex csavar esetében megváltoztatva a menetprofilt, lehetővé vált a csavar legfelső 4-5 mm-es részében a meneteknek egy profilosztással való megduplázása. Ezáltal a sűrűbb szövetű subchondralis régióban a nagyobb menetszám hatására várható, hogy a rögzítés stabilitása növekszik. Ilyen kialakítású csavart csonttörések csavaros rögzítésénél korábban nem használtak.

A combnyaktörések esetében a subchondralis régióba behajtott csavarok stabilitását, az azt befolyásoló tényezőket meghatározva a különféle kialakítású combnyak rögzítő csavarokkal végeselemes számításokat végzek. Meghatározom a kiszakító erőt, a csavarban ébredő helyi feszültségeket, elmozdulásokat, és az egyes paraméterek hatását a rögzítés stabilitására.

1. Kutatási célnak tűztem ki, hogy végeselemes számításokkal elemzem a combnyak csavarok különféle menetprofiljának hatását a törésrögzítés stabilitására. A csavarokat nem egyszerűsített modellel, hanem azok tényleges geometriájával, többféle menetprofillal vizsgálom.
2. Numerikus számításokkal vizsgálom, hogy egy új kialakítású, ún. duplex csavarnak van-e stabilitásnövelő hatása, és ha igen, ennek milyen számszerű mértéke mutatható ki.
3. Célom végeselemes számításokkal igazolni a combnyak csavarok pozicionálásának fontosságát, a csavarok pozicionálási hibája következtében fellépő stabilitáscsökkenést.
4. A számításokban vizsgálom még, hogy a combnyaktörés rögzítés csavar – csont kapcsolatánál mekkora szerepe van a súrlódásnak.
5. Kutatási céljaim közt szerepel annak vizsgálata, hogy a csavar környezetének geometriai kialakítása (a combfej egyszerűsített, és valósághű szegmentumának, illetve a teljes combfej geometriai modelljének) milyen hatása van az eredmények pontosságára.
6. A számításoknál a combfej corticalis állománya (subchondralis régió) mellett a spongiosus csontszerkezetet is figyelembe veszem.

7. A különféle kialakítású combnyak csavarok összehasonlító végeselemes vizsgálatát elvégzem különféle terhelési viszonyokra.
8. A végeselemes szilárdsági vizsgálatok eredményét összevetem a korábbi laboratóriumi kísérleti vizsgálatok eredményeivel.

Vizsgálati módszerek

A combnyaktörések csavaros rögzítésének stabilitását, az azt befolyásoló tényezőket vizsgálom végeselemes számításokkal.

Három különböző menetprofilú combnyak csavart vizsgálok különböző modellek esetén. A vizsgálatok céljára egyedileg kialakított geometriai modelleket és azok végeselemes hálózását, a terheléseket, megfogásokat, anyagjellemzőket, az érintkezési kapcsolatokat a stabilitást befolyásoló vizsgált paramétereknek megfelelően választom meg.

Az egyszerűbb modelleket a SolidWorks 2010-es CAD tervezőrendszer integrált végeselemes moduljával, a SolidWorks Simulation szoftver segítségével vizsgálom. Az összetettebb modellek és a mérési eredményekből származtatott nemlineáris anyagtörvény alkalmazása esetén, ahol sokkal nagyobb volt a számítási kapacitásigény, az ANSYS V13.0 végeselemes szoftvert használom. A numerikus szimuláció során meghatározom a kiszakító erőt, a csavarban ébredő helyi feszültségeket, elmozdulásokat, és az egyes paraméterek hatását a rögzítés stabilitására.

A számítási eredményeket összehasonlítom laboratóriumi mérési eredményekkel.

Új tudományos eredmények

1. tézis: A combnyaktörés csavaros rögzítésének stabilitását az általam végzett végeselemes analízis eredményei alapján a vizsgált geometriai paraméterek közül a csavar geometriája, ezen belül is a menetprofil kialakítása befolyásolja legnagyobb mértékben. A vizsgált HB, simplex és duplex menetprofilú csavarok közül minden megvizsgált csontmodell esetében a duplex csavarra kaptam a legnagyobb terhelhetőséget, a Manninger-csavarhoz viszonyítva 55±30 %-kal nagyobb értékkel. **[4]**, **[5]**, **[6]**

2. tézis: A csontrögzítés során alkalmazott csavarok pozicionálási hibája stabilitáscsökkenést okoz a vizsgált csavarok esetében. Végeselemes számításaim eredményei alapján megállapítottam, hogy a csont-szegmentumokba ±5º-os pozicionálási hibával behajtott csavarok esetén a hagyományos és a simplex menetű csavaroknál 10±2,5 %-kal, míg a duplex menetű csavaroknál 15±3,3 %-kal csökken a maximális teherbírás. A pozicionálási hibára a duplex menetű csavarok érzékenyebbek, mint a hagyományos és a simplex csavarok. **[3]**, **[4]**

3. tézis: A csontrögzítő csavar kapcsolatok analízise során modellezett csont-szegmentum geometriájának összetett hatása van a kiszakító erő nagyságára és a lokális feszültségek alakulására. Egyrészt a combfej tényleges alakját közelítő gömbös (gömbsüveg, félgömb) geometria figyelembevétele stabilitásnövekedést jelent a hasáb alakú modellekhez viszonyítva, másrészt

viszont megnöveli a menetkifutás elhelyezkedésének, ezáltal a kiszakító erőt csökkentő pozicionálási hibának a jelentőségét. Összességében a gömbös geometria figyelembevétele a kiszakító erő 10±1,5 % átlagos növekedését eredményezte mindegyik csavartípus esetén. **[3]**, **[4]**, **[6]**

4. tézis: Numerikus vizsgálatokkal kimutattam, hogy a csontszövetbe hajtott csavaroknál - alakzárással biztosított elfordulás esetén - a súrlódási tényező 0,0 és 0,5 közötti változtatása a feszültségmező maximum 6%-os módosulását idézi elő, ezért ez a vizsgálati paraméter befolyásolja legkevésbé a számítási eredményeket. Az ilyen jellegű számításoknál a súrlódási tényező zérus értékkel való figyelembevétele elfogadható. **[4]**, **[6]**

5. tézis: Biomechanikai vizsgálatokkal meghatározott mérési pontokra illesztett görbék alapján leírtam a combfejre érvényes feszültség-alakváltozás összefüggések egyenleteit, amelyek 20°C-on, a mért biológiai mintáknak megfelelő corticalis és spongiosa szövet esetén érvényesek:

Kiszakításnál:

$$\sigma = 9 \cdot 10^8 \varepsilon^5 - 2 \cdot 10^8 \varepsilon^4 + 8 \cdot 10^6 \varepsilon^3 - 146978 \varepsilon^2 + 1105{,}9 \varepsilon - 0{,}1459 \quad (1)$$

Nyomókísérletnél:

$$\sigma = 3 \cdot 10^{10} \varepsilon^5 - 5 \cdot 10^9 \varepsilon^4 + 2 \cdot 10^8 \varepsilon^3 - 4 \cdot 10^6 \varepsilon^2 + 33220 \varepsilon - 4{,}3891 \quad (2)$$

Az *(1)* és a *(2)* egyenlet 0,9785, illetve 0,9876 értékű regresszióval írja le a mérési eredményeim átlagát, így felhasználhatók anyagmodellként a csontok modellezésénél.
Ezekkel az anyagmodellekkel végzett végeselemes vizsgálatokban is a duplex menetű csavarok adtak kedvezőbb eredményeket, kiszakításnál 41,2%-kal nagyobb, míg nyomó igénybevételnél 54,1%-kal nagyobb határterhelést mutatott a Manninger-csavarhoz viszonyítva. **[1]**, **[2]**, **[4]**, **[6]**

6. tézis: A numerikus vizsgálatok mellett laboratóriumi kísérletekkel kimutattam, hogy a duplex csavar kitépéséhez szükséges erő 65%-kal növekedett a hagyományos csavarhoz képest. Ez az érték mintegy 10%-os hibán belül egyezik a numerikus szimulációk szolgáltatta eredményekkel, ezért kijelenthetem, hogy az általam felvett kiinduló adatok és modellezési beállítások (proximalis femur modell az anatómiai helyzetnek megfelelő nyomóterheléssel, alsó végén befogással, és a (2) egyenlet szerinti anyagmodellel) a valóságot jól közelítő, megbízható eredményt adnak. **[4], [6]**

Az eredmények hasznosítása

A vizsgálat gyakorlati hasznát egyrészt abban látom, hogy amennyiben a javasolt csavarkialakítás valóban a csavar törést rögzítő stabilitását növeli, akkor megfelelő műtéti indikáció és törés-repozíció esetén a rediszlokációs ráta csökkenhet.

A vizsgálat másrészt igazolhatja azt is, hogy a jól kivitelezett műtét elengedhetetlen része a pontos, fedett repozíció mellett a csavarok pozícionálása az anatómiai pontokhoz és egymáshoz képest. A csavarok feltámaszkodási pontjainak meghatározásával, valamint a csavarok irányának meghatározásával biztosítható a törés kívánatos zömülése (a tengely

szerinti összecsúszásának lehetősége) úgy, hogy a tengely szerinti elcsavarodást megakadályozzuk.

A megváltoztatott menetprofilú csavar alkalmazása pedig az osteosynthesis stabilitásának növelését és a combfej életképességének megőrzését, esetenként a műtéti indikáció kiszélesítését eredményezheti.

A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

[1] Bagi I, Béda PB: On an engineering model of a specific bone replacement material. *ACTA OF BIOENGINEERING AND BIOMECHANICS 4:(1) p. 685-687. (2002)*

[2] Bagi I, Béda PB: Modeling of a specific bone replacement material. *MATERIALS SCIENCE FORUM 414-415: p. 353-358. (2003)*
IF: 0.602, WoS link, Scopus link, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.414-415.353

[3] Bagi I, Flóris I: A combnyaktörést rögzítő csavarok subchondralis pozicionálási hibája következtében létrejövő stabilitáscsökkentő hatás vizsgálata végeselemes modellen. *MAGYAR TRAUMATOLÓGIA ORTOPÉDIA KÉZSEBÉSZET PLASZTIKAI SEBÉSZET 54:(4) (2011) p. 265-271*

[4] Bagi I: Finite element study of some parameters of bone fractures fixed with screws. *PERIODICA POLYTECHNICA-MECHANICAL ENGINEERING 55:(1) (2011) p. 57-61*

[5] Bagi I: A menetprofil-változtatás hatása a csonttörések csavaros rögzítésének stabilitására. *BIOMECHANICA HUNGARICA. IV (2). (2012) p. 16-23.*

[6] Bagi I: The effect of different parameters on the stability of femur neck fixing. *MATERIAL SCIENCE FORUM 2012.* (*Elfogadva)*

További tudományos közlemények

[7] Bagi I, Melly A: Biomechanical investigation of bone replacement materials. In: Penninger A, Kullmann L, Vörös G (szerk.) GÉPÉSZET 2004: Proceedings of the Fourth Conference on Mechanical Engineering. Budapest, Magyarország, 2004.05.27-2004.05.28. Budapest: Budapest University of Technology and Economics, p. 739-743.(ISBN: 963 214 7480)

[8] Bagi I, Sződy R: Development of a new type positioning instrument for collum femoris femoral neck screwing. In: Proceedings of Third Hungarian Conference on Biomechanics. Budapest, Magyarország, 2008.07.04-2008.07.05. p. 33-38. (ISBN: 978 963 06 4307 8)

[9] Bagi I, Bálint A: The Importance of Spin-off Companies in R&D activities. In: Qi ES Cheng G Shen JA Dou RL (szerk.) IEEE 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Beijing, Kína, 2009.10.21-2009.10.23. p. 525-529. (International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management IEEM)(ISBN: 978-1-4244-3670-5)
WoS link, Scopus link, DOI: 10.1109/ICIEEM.2009.5344535

[10] Hargitai G, Bagi I, Borbás L: Stability enhancement of hip's fractures. In: 27th DANUBIA - ADRIA Symposium. Wroclaw, Lengyelország, 2010.09.22-25. p. 22-25.

[11] Bagi I, et al: Könyvrészlet, 5. fejezet. In: Manninger J, Kazár Gy, Fekete K, Cserháti P (szerk.) A combnyaktörés kezelése osteosynthesissel.
Budapest: Medicina Könyvkiadó, 2002. p. 99-128. (ISBN: 963 242 744 0) Kötet megjegyzések: Országos Széchényi Könyvtár

[12] J Manninger, I Bagi, I Flóris, T Laczkó, P Soltay, P Cserháti, G Vámos, I Kádas: Kapitel 5: Biomechanische Aspekte der kanülierten Verschraubung - Experimente und Entwicklungen. In: Manninger, Bosch, Cserháti, Fekete, Kazár (szerk.) Osteosynthese der Schenkelhalsfraktur: ein Bildatlas. Wien; New York: Springer, 2005. p. 115-158. (ISBN: 3-211-20152-1)
DOI: 10.1007/3-211-27248-8_5Teljes kötet

[13] J Manninger, I Bagi, I Flóris, T Laczkó, P Soltay, P Cserháti, G Vámos, I Kádas: Chapter 5: Biomechanical aspects of canulated screw fixation. Experimental Investigations and Developments. In: Manninger, Bosch, Cserháti, Fekete, Kazár (szerk.) Internal fixation of femoral neck fractures: An atlas. Wien ; New York: Springer, 2007. p. 105-147. (ISBN: 978-3-211-68583-9)
DOI: 10.1007/978-3-211-68585-3_5 Teljes kötet

[14] Bagi I, Soltay P: Investigation of strength of femoral neck fracture fixation. In: III. Semmelweis Science Fair. Budapest, Magyarország, 1994. 04. 28. p. 112.

[15] Bagi I, Soltay P: Combnyaktörések új rögzítési módjainak mechanikai vizsgálata. Poszter előadás a BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezettani Intézet jubileumi tudományos ülésén, Budapest, 1996. május 24.

[16] Bagi I, Soltay P: Mechanical Investigation of the Screw Fixations of Femoral Neck Fractures. BUDAMED '96. 10th MATE and 1st MEDING Conference on Medical Engineering, Budapest 1996. augusztus 25.

[17] Bagi I, Soltay P, Dévényi L, Manninger J: Comparative Investigation on Screwed and Supplementary Anchoring Plate Fixings of Femoral Neck Fractures. Intensive course on "Recent Advances in Orthopaedic Biomechanics", Training University Centre, Bertinoro (Forli)-Italy, May 4-11, 1997.

[18] Dévényi L, Bagi I, Soltay P, Manninger J: Comparative Tensile Investigation on Femoral Neck Screws. Intensive course on "Recent Advances in Orthopaedic Biomechanics", Training University Centre, Bertinoro (Forli)-Italy, May 4-11, 1997.

[19] Soltay P, Bagi I, Dévényi L, Hargitai E: Comparative Mechanical Investigation of Parallel and Crossed, Pre-Stressed Intramedullary Nailing. Intensive course on "Recent Advances in Orthopaedic Biomechanics", Training University Centre, Bertinoro (Forli)-Italy, May 4-11, 1997.

[20] Soltay P, Fekete K, Kádas I, Manninger J, Bagi I: Stabilitätsbessernde Experimente bei Osteosynthesen von Hüftfrakturen. In: 3rd European Traumatology Congress. Amsterdam, Hollandia, 1998.06.17-1998.06.20. p. 115-116. (Nederlands Tijdschrift voor Traumatologie)

[21] Soltay P, Bagi I, Fekete K, Manninger J: Stabilitätsbessernde Experimente und Neue Entwicklungen bei Osteosynthesen von Schenkelhalsfrakturen. In: 12. Jahrestagung des GKK Osteosynthese International. Stuttgart, Németország, 1998.09.10-1998.09.12. p. 129.

[22] Bagi I, Béda P: Adott típusú csontpótló anyag modellezése. In: 3rd Conference and Exhibition on Materials Science, Testing and Informatics. Balatonfüred, Magyarország, 2001.10.14-2001.10.17. p. 116-117.(ISBN: 963 00 8200 4)

[23] Bagi I, Béda P: Többszintű mechanikai modellezés egyes csontpótló anyagok leírásánál. In: 4th Hungarian Conference and Exhibition on Materials Science, Testing and Informatics. Balatonfüred, Magyarország, 2003. 10. 12 - 2003. 10. 14. p. 104-105.(ISBN: 963 212 402 2)

[24] Seress Gy, Kurucz L, Bagi I: Új szempontok a combnyaktörések elemzésében. A Magyar Traumatológus Társaság kongresszusa és Fiatalok Fóruma, Pécs, 2005. szept. 8-10.

[25] Flóris I, Bodzay T, Baktai J, Vendégh Zs, Bagi I: Femur proximalis vég AO 31A.3 típusú töréseinek összehasonlító biomechanikai vizsgálata. II. Magyar Biomechanikai Konferencia, Debrecen, 2006. 06. 30 - 07. 1.

[26] Seress Gy, Bagi I, Kurucz L, Flóris I, Cserháti P: A combnyaktörés kezelésére kidolgozott új eljárás. II. Magyar Biomechanikai Konferencia, Debrecen, 2006. 06. 30-07. 1.

[27] Seress Gy, Kurucz L, Bagi I: Új szempontok a combnyaktörések elemzésében. A 40 éves Magyar Traumatológus Társaság 2006. évi Kongresszusa és Fiatalok Fóruma, Győr, 2006. szeptember 21-23.

[28] Seress Gy, Bagi I, Kurucz L, Flóris I, Cserháti P: A combnyaktörés kezelésére kidolgozott új eljárás. A Magyar Ortopéd Társaság és a Magyar Traumatológus Társaság 2007. évi közös kongresszusa és Fiatalok Fóruma, Nyíregyháza, 2007. június 20-23.

[29] Kádas I, Törköly T, Bagi I, Kádas D: Biomechanikai és véges elemes vizsgálatok tervezése és kivitelezése az orvosi gyakorlatban. A Magyar Ortopéd Társaság és a Magyar Traumatológus Társaság 2007. évi közös kongresszusa és Fiatalok Fóruma, Nyíregyháza, 2007. június 20-23.

[30] Bagi I, Bálint A: Interdisciplinarity and partnership in research and development: Study case of ELINOR Engineering Ltd. In: INTED2008 International Technology, Education and Development Conference. Valencia, Spanyolország, 2008.03.03-2008.03.05. p. 1-9.(ISBN: 978-84-612-0190-7)

[31] Laczkó T, Szalay K, Bagi I, Dobránszky J, Olasz S: Combnyaktörés kezelésére szolgáló rögzítő-csavarok stabilitásának növelése. In: III. Magyar Biomechanikai Konferencia. Budapest, Magyarország, 2008.07.04-2008.07.05. p. 27. Paper A-0054.

[32] Olasz S, Sződy R, Dobránszky J, Bagi I: Csavaros osteosynthesis stabilitásnövelése "AO" csavarok továbbfejlesztésével. Magyar Gyógytornászok Társasága VII. Kongresszusa, Balatonfüred, 2009. szept. 24-26.

[33] Olasz S, Dobránszky J, Bagi I, Laczkó T: Duplex menetű csavarok fejlesztése csonttörések rögzítéséhez. VII. Országos Anyagtudományi Konferencia, Balatonkenese, 2009. okt. 11-13.

[34] Bagi I, Olasz S, Dobránszky J, Sződy R, Laczkó T: Duplex menetű combnyakrögzítő csavar biomechanikai vizsgálata. IV. Magyar Biomechanikai Konferencia, Pécs, 2010. május 7-8.

[35] Hargitai G, Bagi I, Laczkó T, Olasz S: Csípőtáji töréskezelés során alkalmazott kettős kanülált csavarozás stabilitásfokozása az implantátum módosítása által. A Magyar Ortopéd Társaság és a Magyar Traumatológiai Társaság 2010. évi Közös Kongresszusa. Pécs, 2010. jún. 17-19.

[36] Bagi I: The effect of positioning error of screws on the stability of fixation. 28th Danubia - Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, 28 Sept.- 01 Oct. 2011, Siófok (2011), p. 45-46

[37] Bagi I: A combnyak-rögzítő csavarok pozicionálási hibájának hatása a rögzítés stabilitására. VIII. Országos Anyagtudományi Konferencia, 2011. október 9-11., Balatonkenese (2011), CD ROM, Abstracts, SO-18