

KITERJEDT CSONTHIÁNYOS KÖRNYEZETBEN ALKALMAZOTT VÁPAKOSARAK RÖGZÍTÉSÉT SZOLGÁLÓ CSAVAROK VÉGESELEM VIZSGÁLATA

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF SCREWS FOR FASTENING ACETABULAR CAGES USED IN EXTENSIVE BONE DEFICIENCY ENVIRONMENTS

*Szalai Enikő MSc hallgató, Dr. Váradi Károly professor emeritus, Dr. Szódy Róbert főorvos,
Dr. Borbás Lajos professor emeritus*

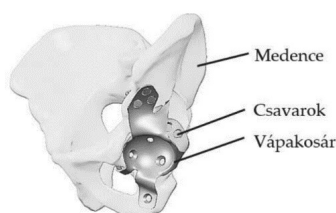
ABSTRACT

The study deals with the behavior of orthopedic screws in the context of the acetabular cage. It compares locking or cannulated screws with conventional orthopedic screws. The goal is to find out whether it is worthwhile to use other, commercially available screws under the particular loads around the pelvis, and to investigate how these screws behave in a bone deficient environment compared to conventional screws. After completing the simulations it seems that the cannulated cancellous safety lock (LCP) screw is the most suitable design for this purpose.

1. BEVEZETÉS

Jelentős mértékű csípőízületi porckopás kialakulása esetén a páciensbe teljes csípőimplantátumot ültetnek, hogy a beteg ismét fájdalommentesen járhasson. Bizonyos esetekben azonban az idő előrehaladtával a medencébe épített mesterséges vápa mögött olyan mértékű csontleépülés jelentkezik, hogy az implantátumot teljes egészében cserélni szükséges.

Dr. Szódy Róbert ortopéd-traumatológus főorvos és társai olyan egyedi, lemezalkatrészből készült revíziós vápakosarat fejlesztettek ki, mely áthidalja a fent említett, kiterjedt csonthiányt a medencében. Három páciens esetében alkalmazták már sikeresen ezt a konstrukciót (1. ábra) rendkívül biztató eredményekkel.



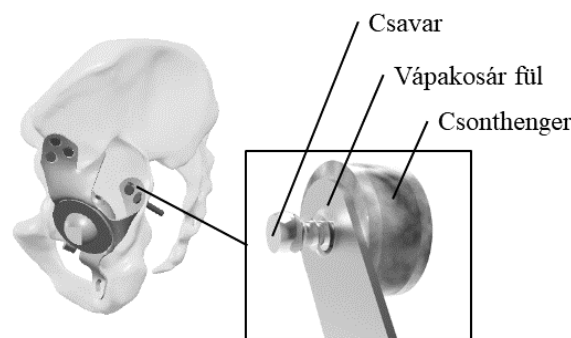
1. ábra. Egyedi, revíziós vápakosár [1]

Dóczy Martin Olivér, a BME Gép- és Terméktervezés Tanszék doktorandusza foglalkozik részleteiben a teljes vápakosár műszaki szempontú vizsgálatával [1].

Ezen cikk a vápakosár rögzítésére szolgáló, kereskedelmi forgalomban kapható, különböző ortopéd csavarkialakításokat hasonlítja össze abból a célból, hogy kiderüljön, rendelkezésre áll-e kedvezőbb megoldás, mint a jelenleg a kosár rögzítésére használt hagyományos, gömbfejű ortopéd csavar.

2. IDEALIZÁLT MODELLEK

A rögzítő elemek vizsgálatát idealizált beépítési környezetben, statikus terhelési esetekre vizsgáltuk. A modell, melyen a végelem szimulációkat végeztük egy három rétegű csontthengerből (corticalis-spongiosa-corticalis), a vápakosár egyik „füléből” valamint az azt rögzítő csavarból állt (2. ábra).



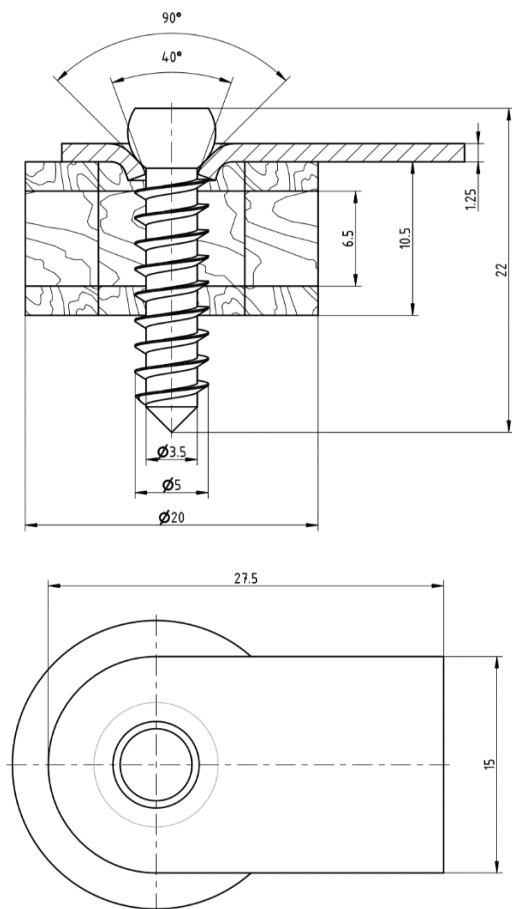
2. ábra. Vizsgálati környezet

A kereskedelmi forgalomban kapható csavarok közül a hagyományos (jelenleg a vápakosár rögzítését ellátó) gömbfejű csavart, szögstabil csavart, valamint ezek kanulált változatait hasonlítottuk össze különböző terhelési esetekben, valamint bizonyos csontrétegek hiányát feltételezve.

A vizsgált modelleket úgy alakítottuk ki, hogy azok geometriája pusztán az egyes csavarok beépítési megoldásaiban különbözzön, a csavarok magátmérője, menetprofilja, kanulált csavar esetében a furatátmérők, valamint a terhelési eseteket tekintve a húzóerők megegyeznek, ez által pedig összemérhetőek a különböző kialakítások eredményei.

A csavarmodelleknél az ISO 5835:1991 szabványt használtuk [2].

A hagyományos gömbfejű csavar esetében a modell méretei a 3. ábrának megfelelően kerültek kialakításra.

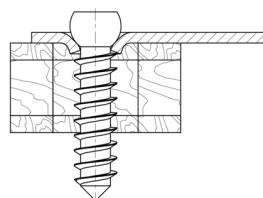


3. ábra. Modellek fő méretei

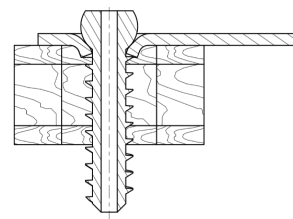
A további kialakítások ugyanezen fő méretek alapján valósultak meg a 4. ábrán látható módon.

Szögstabil csavarok stabilitását a csavarfejen található menet biztosítja, mely a lemezben kialakított menetbe csatlakozik.

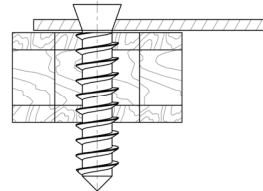
A 4. ábrán látható modelleken ez a menet nem jelenik meg, a kapcsolat pusztán a szimulációs környezetben, mint ragasztott kontakt szerepel.



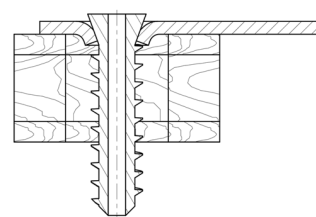
Hagyományos gömbfejű [3]



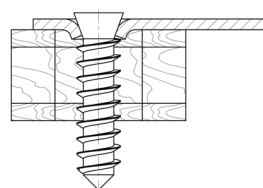
Kanulált, hagyományos gömbfejű [5]



Szögstabil, hézaggal szerelt [4]



Kanulált, szögstabil süllyesztettfejű [6]



Szögstabil, süllyesztettfejű [4]

4. ábra. Vizsgált kialakítások

A 4. ábrához kapcsolódó hivatkozások olyan kereskedelmi forgalomban kapható csavarokra mutatnak, melyek az egyes modelleknek megfeleltek.

Ellenőriztük a különböző csavarok viselkedését olyan esetekben is, mikor a csontállomány három rétege közül az alsó corticalis, vagy a középső szivacsos állomány (spongiosa) hiányzik, illetve vizsgáltuk a lemezt két, különböző irányú húzó terhelés esetén.

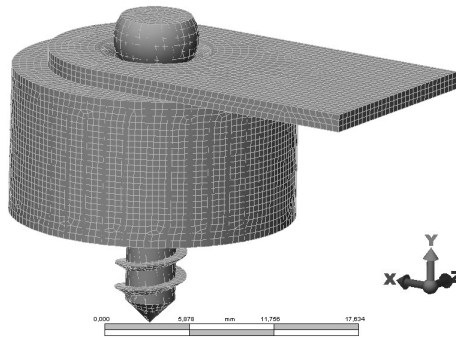
3. VÉGESELEMMODELL FELÉPÍTÉSE

A végeelemvizsgálatot Autodesk Simulation Mechanical 2015 szoftverrel végeztük. A modellek vizsgálata minden esetben egyforma beállítási környezetben történt a peremfeltételek, anyagtulajdonságok, a hálóméret, a terhelések és a kontaktok tekintetében.

3.1. Végeelem háló

A modellek hálózásakor brick elem típust alkalmaztunk, max. 0.5 [mm]-es elemmérettel (5. ábra).

Az egyes modellek esetében az elemszám ennek megfelelően 100 000-102 000 [db] között alakult.



5. ábra. Hálózás

3.2. Kényszerek

A csonthenger palástját fix megfogással rögzítettük, hiszen ez egy, a teljes medencecsontból „kimetszett” egység, tehát önmagában nem mozdulhat el a vizsgált terhelések hatására.

A lemez elfordulásának lehetőségét a csavar tengelye körül szintén rögzítettük, hiszen ez a vápakosár konstrukciós kialakításából adódóan a vizsgált terhelési esetekben nem fordulhat el.

3.3. Kontaktok

A csontretek a valóságban nem olyan élesen elkülönülő tartományok, mint azt a CAD modellben feltételeztük. Éppen ezért köztük ragasztott (bonded) kapcsolatot alkalmaztunk.

Fém- és csontfelületek találkozásánál súrlódásos kontaktot állapítottunk meg 0.3-as súrlódási tényező mellett. Ilyen kapcsolat van jelen a menet és a csont, valamint a lemez és a csont között is.

Hagyományos gömbfejű csavar esetében a csavarfej és a lemez között szintén súrlódásos kontakt lép fel, ekkor azonban a súrlódási tényező 0.23 [1].

Szögstabil csavar esetében a csavarfej és a lemez közötti menetes kapcsolatot ragasztott kontaktként modelleztük.

3.4. Anyagjellemzők

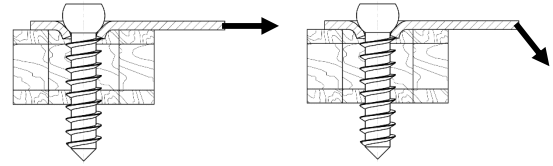
A vizsgálatokat homogén, lineárisan rugalmas, izotróp anyagtulajdonságok feltételezése mellett végeztük. A terhelő erőt úgy vettük fel, hogy az még, a vizsgált modellek esetében, a rugalmas határon belül maradjon.

1. táblázat. Anyagjellemzők [7]

	Rugalmassági modulus	Poisson tényező
Corticalis réteg	16 500 [MPa]	0.3
Spongiosa réteg	400 [MPa]	0.2
Csavar és lemez	200 000 [MPa]	0.26

3.5. Terhelési esetek

Minden esetben a lemezt terheltük 200[N] erővel az 6. ábrán jelölt irányoknak megfelelően. A terhelést a lemez végén található felületre, mint megoszló terhelés, adtuk meg.



6. ábra. Terhelési irányok

4. VÉGESELEMMODELL KIÉRTÉKELÉSE

4.1. Hagyományos, szögstabil, és süllyesztett fejű szögstabil csavarok összehasonlítása csonthiány esetén

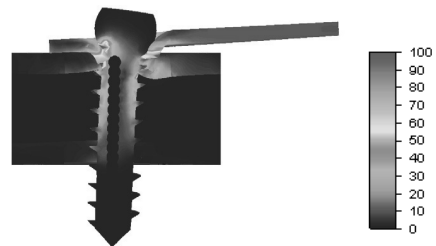
Ennek a vizsgálati esetnek a jelentősége a gyakorlatban ott jelenik meg, ha a vápakosár rögzítésekor valamilyen oknál fogva a lemez valamely furatának környezetében hiányos a csontállomány.

A terhelés a csavar tengelyére merőleges irányban hatott ezen vizsgálatok során.

Általánosságban elmondható, hogy a középső, spongiosa réteg hiánya a kialakuló egyenértékű feszültségek szempontjából nincsen jelentős hatással a csavarkötésekre.

Az alsó corticalis réteg hiánya azonban mindhárom csavarkötés (hagyományos gömbfejű; szögstabil, hézaggal szerelt; süllyesztett fejű, szögstabil) esetében a keletkező feszültségek növekedését eredményezte, ugyanakkor az egyes csavarok között már jelentős különbségeket figyelhetünk meg, amely megjelenik akkor is, ha mindhárom csontreteg jelen van.

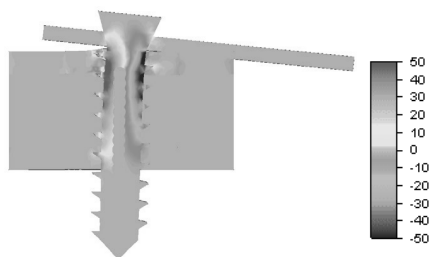
Hagyományos csavar esetében a lemez vége a terhelés hatására felfelé mozdul (7. ábra), ez által a lemez furatánál kialakított süllyeszték a csavarfejbe metsz. Ebből kifolyólag a lemez a gömbben végződő csavarfej tetpi, amely jelentős igénybevételt jelent a csavarszárra is, benne kedvezőtlen hajlító igénybevétel ébred.



7. ábra. Hagyományos gömbfejű csavar egyenértékű feszültségeloszlása

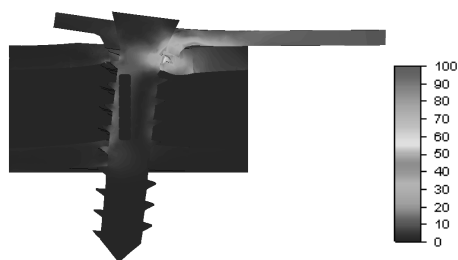
A szögstabil csavarkötés kialakításából fakadóan a lemezvége a húzás hatására a lemez és

a csont közötti hézag miatt lefelé mozdul el (a hézag, mint erőkar jelenik meg), a csavarfej azonban a lemezbe menetesen rögzül, így a csavarfej és a szár találkozásánál jelentős mértékű hajlító igénybevételnek (8. ábra) tesszük ki a kötőelemet.



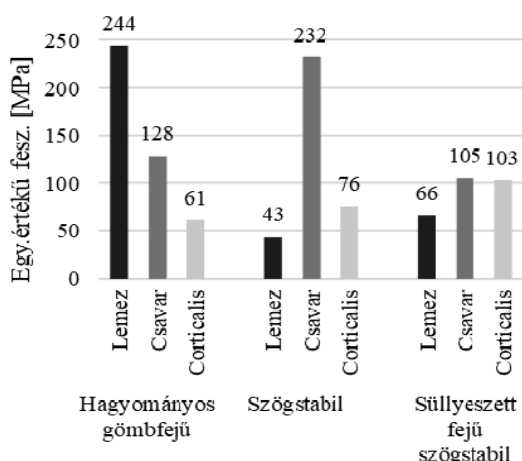
8. ábra. Hézaggal szerelt szögstabil csavar Y főfeszültsége

A legkedvezőbb kialakítás a lemez húzása esetén a süllyesztett fejű szögstabil csavar. Itt a csavarra ható hajlító igénybevétel nem olyan jelentős, mint a másik két kialakítás esetében (11. ábra), továbbá a kialakuló feszültségek is alacsonyabbnak adódtak.

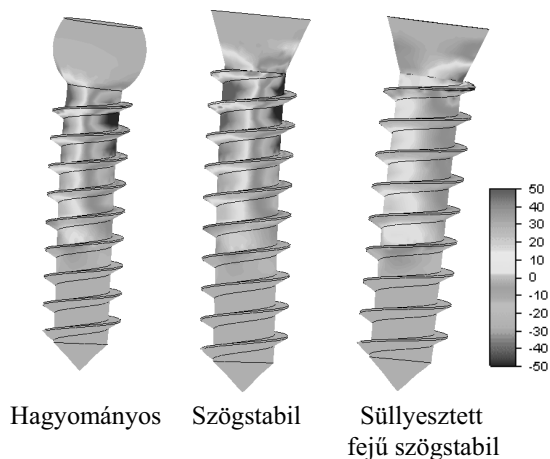


9. ábra. Süllyesztett fejű szögstabil csavar egyenértékű feszültségeloszlása

Ennek magyarázata, hogy a szögstabil csavarfej a palástja mentén kiterjedt felületen tudja átvenni lemezre adott terhelést (9. ábra).



10. ábra. Maximális egyenértékű feszültségek alakulása a kötésben résztvevő elemekben



11. ábra. Az egyes csavarokra ható hajlító igénybevétel eloszlása a csavarszárban

A 11. ábrán látható a lemez húzása által a csavarokban létrejövő hajlítás hatása. Az alakváltozás mindegyik megjelenítés esetében ötszörös nagyítással látszik.

(A használt végelemezőftver rendelkezik némi hiányossággal az eredmények megjelenítését illetően, ez okozza a csavarszár centrumában a semleges (egynemű) sávot, amely minden egyes eredmény képén megjelenik.)

Ellenőriztem az egyik modell esetében a szimulációt egy másik végelemezőftverben, amely azonos eredményeket hozott, így a megjelenítésbeli hiányosság az Autodesk Simulationben kapott eredményekre nincs hatással.)

4.2. A lemez csavarszár tengelyével 45°-os szöget bezáró húzással terhelve

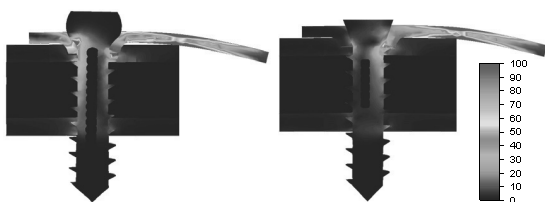
Ebben az esetben a 2. ábrán jelzett vápa fülére ható erőt reprezentálja a vizsgált igénybevétel.

Hézaggal szerelt szögstabil csavar esetében, éppen a hézagból kifolyólag, olyan magas feszültségértékek adódtak a terhelés hatására, hogy ilyen kialakítás alkalmazása a vápakosár környezetében nem javasolt.

A hagyományos és a süllyesztett fejű szögstabil csavar esetében már kedvezőbben alakulnak a feszültségértékek, ugyanakkor, ha a hagyományos kialakítást tekintjük, a csavar túllépi a megengedhető feszültségállapotot. Szem előtt kell tartani azonban, hogy ez a 200 [N]-os terhelő erő, az adott kialakítás esetén, egyetlen csavarra nézve igen jelentős.

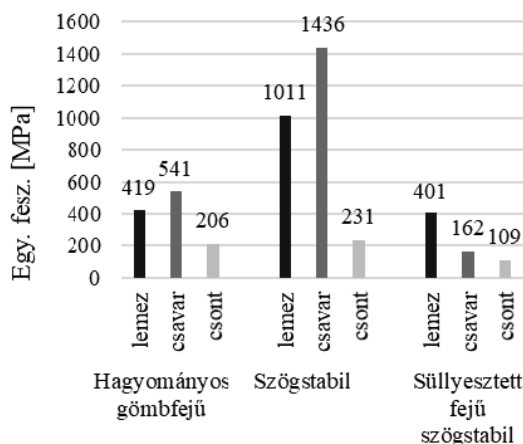
Süllyesztett fejű, szögstabil csavar azonban ebben a terhelési esetben is rendkívül kedvező eredményeket mutat. A feszültségek nem kúsznak a tönkremeneteli határ fölé, a lemezt leszámítva, melyre a 12. ábra ad magyarázatot. Magas egyenértékű feszültség abban a vonalban keletkezik, ahol a lemez és a

csont élben találkozhatnak. Ilyen a valós beépítési környezetben nem fordulhat elő. Fontos megjegyezni, hogy a csontállomány palástját fix megfogással rögzítettük, ez az oka annak, hogy benne nem jelenik meg a lemez nyomásából származó többletfeszültség.



12. ábra. A hagyományos és süllyesztett fejű szögstabil csavarok egyenértékű feszültségeloszlása

A 13. ábra jeleníti meg az egyes csavarkialakítások esetén az egyenértékű feszültségek alakulását a kötésben résztvevő elemekben. Míg a hagyományos kialakítás esetében a csavarban 540[MPa]-os maximális egyenértékű feszültség és jelentős hajlító igénybevétel jelenik meg, addig a süllyesztett fejű, szögstabil változatban a maximális feszültség mindössze 162[MPa].



13. ábra. Maximális egyenértékű feszültségek alakulása a kötésben résztvevő elemekben a lemez 45°-os húzása esetén

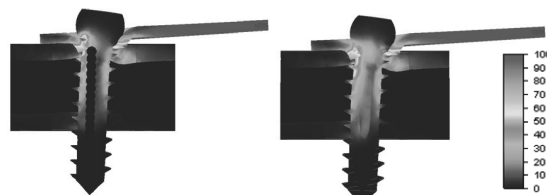
4.3. Hagyományos és süllyesztett fejű szögstabil csavar kanülált verziójának viselkedése

Ez a vizsgálat rendkívül érdekes eredményt hozott. Korábbi kutatásaink alkalmával hagyományos és kanülált csavarokat hasonlítottunk össze, melyekben a terhelést a csavarfejre adtuk, és azt a csavar tengelye irányában húztuk, hogy megállapítsuk, mekkora erő szükséges ahhoz, hogy a csavarokat a csontból „kitépjük”. Ezekben az esetekben a hagyományos és a kanülált csavarokban kialakult feszültségek között nem tudtunk jelentős különbséget felfedezni, pusztán a feszültség

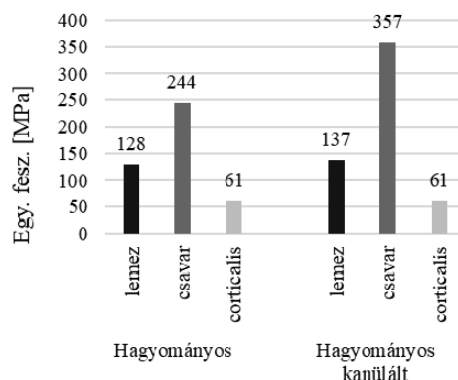
eloszlás volt kedvezőbb kanülált csavaroknál a menetekben.

A lemez csavarszárra merőleges terhelése esetén azonban a csavarszár tengelyén átmenő furat kedvező hatással volt mind a hagyományos gömbfejű, mind a szögstabil csavarra nézve.

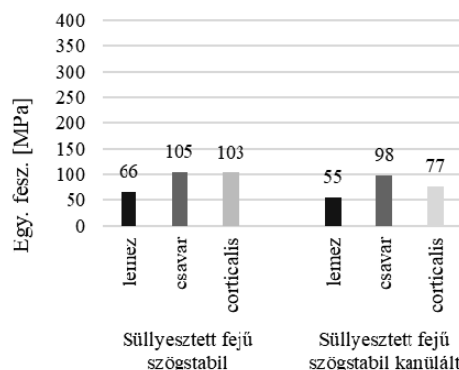
Míg a hagyományos gömbfejű csavarkialakításnál a süllyeszték és a csavarfej találkozásánál korábban megjelenő markáns csúcspont feszültség adódott alacsonyabbnak (14. ábra) és tevődött át az első menetre (15. ábra), addig a szögstabil süllyesztett fejű kialakítást tekintve minden, a kötésben résztvevő elem (lemez, csavar, csontállomány) a korábbi alacsony feszültségek még alacsonyabbnak adódtak (16. ábra).



14. ábra. A hagyományos csavar és kanülált változatának egyenértékű feszültségeloszlása



15. ábra. A hagyományos csavar és kanülált változatának maximális egyenértékű feszültségei



16. ábra. A süllyesztett fejű csavar és kanülált változatának maximális egyenértékű feszültségei

5. ÖSSZEGZÉS

Összefoglalva az eredményeket a következő megállapításokat tehetjük:

- Alsó corticalis réteg hiánya esetén a kötésben résztvevő elemekben magasabb egyenértékű feszültség adódott, mint a corticalis réteg megléte esetén, ugyanakkor a szivacsos állomány hiánya nem volt ilyen jelentős hatással a csavarkötésekre. Ennek jelentősége abban rejlik, ha a vápakosár rögzítése során a fülön lévő furat éppen olyan helyre esik, ahol a csontállomány minősége nem megfelelő, a lehetőségekhez mérten érdemesebb másik furatot választani.

- A csavar szárára merőleges, illetve 45°-os terhelési esetekben a süllyesztett fejű szögstabil kialakításnál az egyenértékű feszültségek látványosan alacsonyabbnak adódtak a másik két csavarkötéssel szemben.

- A süllyesztett fejű szögstabil csavar kanulált változatának eredményei további feszültségcsökkenést eredményeztek a kötésben résztvevő elemekben.

Az eredmények alapján tehát mindegyik vizsgált esetben a süllyesztett fejű, szögstabil csavarkialakítás bizonyult a legkedvezőbbnek.

Technikailag ennek a csavarnak az alkalmazása a vápakosár esetében úgy valósulhat meg, hogy a már eddig is meglévő „puha” lemez süllyesztékébe az önmetsző, menetes fej maga alakítja ki a szögstabil kapcsolatot.

Fontos azonban szem előtt tartani, hogy a vizsgálatok statikus terhelés mellett, pusztán a csavarok elsődleges stabilitását vizsgálták idealizált környezetben.

Ezzel szemben a valóságban az élő környezetbe épített csavarnak aktív biológiai kapcsolata van a környező szövetekkel, melyek terhelésre adott reakciója nem ismert, ugyanakkor a megfigyelések azt bizonyítják, hogy a medencébe épített dinamikus rendszerek, mint például az *1. ábrán* látható lemezalkatrészből készült vápakosár is, kedvező hatással van a csontthiányos környezet visszacsontosodására.

Ennek magyarázata, hogy amíg a kilazult, instabil rendszerek csontelhalást eredményeznek, addig a kontrollált mikromozgásra képes rendszerek csontosodást generálnak maguk körül.

A kanulált, szögstabil, süllyesztett fejű ortopéd csavar használatának lehetősége és további vizsgálatai ezen okból kifolyólag válhatnak szükségessé a továbbiakban.

6. IRODALOM

[1] Dóczy M.: Egyedi vápakosaras rögzítés vége-seleemes modelljének elkészítése. GÉP, LXIX. évfolyam, 2018. – 3.szám, 2019. 10. 17.

[2] ISO 5835:1991(en), <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5835:ed-1:v1:en> 2019. 10. 17.

[3] Cortical Screw: <https://www.eickemeyer.co.uk/Orthopaedic-Implants/Bone-Screws/2-0-mm-Cortical-Screw-Self-Tapping.html> 2019. 10. 21

[4] Cancellous Safety Lock (LCP) Screw: <https://decotechent.com/cancellous-safety-lock-lcp-screw-3-5mm-self-tapping.html> 2019. 10. 21

[5] Fully Threaded Cannulated Screw: <https://www.indiamart.com/proddetail/fully-threaded-cannulated-screw-4-0-mm-2802760830.html> 2019. 10. 21

[6] Cannulated Cancellous Safety Lock (LCP) Screw: <https://decotechent.com/cannulated-cancellous-safety-lock-lcp-screw-5-0mm-full-threads.html> 2019. 10. 21

[7] Bagi I. Csonttörések csavaros rögzítéseinek biomechanikai vizsgálata. PhD értekezés, Pattantyús Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola. Budapest; 2012