

**Sablonvezérelt és szabadkézi csontfúrás
esetén jelentkező intraosseális
hőmérséklet-emelkedés, különös tekintettel
a hűtött hűtőfolyadékok szerepére**

Dr. Boa Kristóf

PhD tézisfüzet

**Szegedi Tudományegyetem
Általános Orvostudományi Kar
Arc-, Állcsont- és Szájsebészeti Klinika
és
Traumatológiai Klinika**

2018

Bevezetés

Osszeintegrálódó dentális implantátumok behelyezése napjainkra gyakori sebészi beavatkozássá vált. Az optimális implantátumformával, az implantátumok anyagtanával, valamint felületmódosításával kapcsolatos kutatások mellett egyre nagyobb figyelem hárul a mind pontosabb preoperatív tervezésre, valamint intraoperatív behelyezésre. A virtuális tervezéshez az ún. *cone-beam computed tomography*, azaz CBCT megjelenésével kielégítő adatmennyiség nyerhető, alacsonyabb sugárdózis mellett. Jung és mtsai a navigált rendszereken belül két fő kategóriát különböztettek meg, a dinamikus és a statikus rendszereket. A dinamikus rendszerek infravörös technológia segítségével követik a kézidarab, valamint a csontos struktúrák meghatározott referenciapontjainak helyzetét, a sebész számára a preoperatív képalkotó vizsgálatokon alapuló virtuális modellen mutatva a fúrás ideális irányát. A statikus rendszerek ezzel szemben preoperatív módon legyártott, betegre szabott, a fogakon, vagy a nyálkahártyán rögzülő vezérlősablonokat használnak. A csont fúrása során a forgómozgás súrlódással jár, amelynek következtében hő termelődik. Eriksson és Albrektsson eredményei alapján a termális oszteonekrózis szövettani megjelenésének küszöbe 47°C-os hőmérséklet, 1 percen keresztül. A vezérlősablonok megjelenése óta komoly aggodalommal tekintenek a sebészek az ilyen módon történő fúrás esetén a hűtés hatékonyságára.

Célkitűzések

1. sz. vizsgálat

Első vizsgálatunk célkitűzése egy előzetes vizsgálat lefolytatása volt a vezérlősablonon keresztüli fúrás esetén történő külső hűtés alkalmazásával kapcsolatosan.

2. sz. vizsgálat

Második vizsgálatunk célja olyan kísérleti elrendezés megalkotása volt, amelyben az eddigieknél több potenciálisan fontos faktort kontrollálunk, mint például az axiális irányú nyomás, vagy a hűtőfolyadék áramlási sebessége. Ezen elrendezésben az alábbi változók kombinációját vizsgáltuk: a) sablonvezérelt vs. szabadkézi fúrás, b) 1200 vs. 1500 vs. 2000 RPM fordulatszám, c) 10°C vs. 15°C vs. 20°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet.

Anyagok és módszerek

1. sz. vizsgálat

Csontmodell – A fúrásokat bovin bordacsontok kortikális rétegeiben végeztük, mivel ezek termofizikai és anatómiai tulajdonságait, valamint elérhetőségük és kezelhetőségüket tekintve egyaránt ideálisak a rendelkezésre álló irodalmi adatok alapján. A bordacsontokat ugyanazon állatból nyertük. A nem használt csontokat -10°C -on, sóoldatban tároltuk. A méréseket megelőzően a csontokat $36\pm 1^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékletre melegítettük. A bordacsontok lapos szakaszát olyan hosszúságú szegmentumokra vágtuk, hogy azokra a 3×8 fúróvezető lyukkal rendelkező sebési sablon rögzíthető legyen. Ezt követően a csontokat hossz tengelyüknek megfelelően, a lapos felszínnel párhuzamosan kettévágtuk, majd a szivacsos állományt eltávolítottuk.

Kísérleti elrendezés – A hőmérséklet-méréseket infravörös termométerrel végeztük (VOLTcraft IR-380, Conrad, Németország). Mivel lapos csontszegmentumokat használtunk, így egy 3 oszlopban összesen 24 fúróvezető csatornát tartalmazó, univerzális vezérlőablont használtunk, amely a Smart Guide rendszerrel (Smart Dental Solutions Kft., Szeged, Magyarország) megegyező standardoknak megfelelően került legyártásra, 3D nyomtató segítségével (nyomtató: ProJet 3510 MP, alapanyag: VisiJet Stoneplast). A vezérlőablont

rögzítése a rendszer standard rögzítőtüskéinek segítségével történt a sablon négy sarkán lévő furaton keresztül. A fúrásokat ugyanazon tapasztalt dentoalveolaris sebész hajtotta végre, enyhe axiális pumpáló mozgással. A fúrásokat végző sebész nem látta a hőmérséklet-mérés eredményét a fúrások végzése közben. A fordulatszámot 800 RPM sebességben rögzítettük. A fúrási szekvencia mindegyik lépését vizsgáltuk (2,0 mm, 2,5 mm, 3,0 mm, valamint 3,5 mm fúróátmérők). Külső hűtést fecskendő segítségével alkalmaztunk, hűtőfolyadékként fiziológiás sóoldatot használtunk 25°C-on.

Adatgyűjtés és statisztika – A kezdeti és csúcshőmérsékleteket egy tizedesjegy pontossággal gyűjtöttük adatfájlba. A hőmérséklet-emelkedéseket RStudio (RStudio Inc., Boston, MA, USA) szoftver segítségével elemeztük statisztikailag. Kétmintás t-próbát, valamint Welch-féle t-próbát alkalmaztunk a szignifikancia szintjét előzetesen $\alpha=0,05$ -ben határoztuk meg.

2. sz. vizsgálat

Csontmodell – Vizsgálatunk során ugyancsak marha bordacsontot használtunk, tekintettel arra, hogy irodalmi adatok alapján ideális csontmodell hasonló vizsgálatok elvégzésére. A bordacsontok azonos állatból származtak, az állat nem kísérleteink céljából került feláldozásra. A nem használt csontokat a Sedlin

és Hirsch által leírt alapelveknek megfelelően -10°C -on, fiziológias sóoldatban tároltuk.

Kísérleti elrendezés – Ezen vizsgálatunk során a sablonvezérelt és szabadkézi csontfúrást egyaránt vizsgálatuk. A sablonvezérelt csoportban a fúrásokat olyan műtési sablon segítségével végeztük, amely jól illeszkedik a marhabordák lapos szegmentumaira. A műtési sablon a Smart Guide rendszer (dicomLAB Kft., Szeged, Magyarország) alapelveinek megfelelően készült, 2x5 fúróvezető csatornát tartalmazott, melyekbe beilleszthetőek voltak a rendszer különböző fúróátmérőjéhez tartozó szűkítőperselyei. A sablont úgy terveztük meg, hogy egy hőelem behelyezhető lehessen a majdani fűrt csatorna közelségébe. Ezen célból egy másik 3D-nyomtatott sablon segítségével mérőágyakat preparáltunk a fúróvezető csatorna és a csontfelszín találkozásának megfelelően. A szabadkézi csoport esetén a fúrások helyeit ugyanazon sablon segítségével jelöltük meg a csont felszínén, a mérőágyakat ugyanazon 3D-nyomtatott sablon segítségével helyeztük el, mint a sablonvezérelt csoportban. A mérőpontokat 1,8 mm-es mélységkontrollal preparáltuk. A hőelem behelyezését követően a mérőágyat szorosán kitöltöttük ugyanazon állat csontjából származó csontforgáccsal, majd az ágyat szigeteltük. A mérőágyak a következő távolságokra helyezkedtek el a fűrt csatornától: 1,0 mm-re a 3,5 mm-es, 1,25 mm-re a 3,0 mm-es,

1,50 mm-re a 2,5 mm-es, valamint 1,75 mm-re a 2,0 mm-es fűróátmérő esetén. A hőmérsékletmérésekre K-típusú hőelemet használtunk, amit megfelelő mérőműszerhez csatlakoztattunk (Holdpeak-885A, Holdpeak, Kína). A csontszegmentumokat óvatosan $37\pm 1^\circ\text{C}$ hőmérsékletűre melegítettük. A fúrások során azokat addig folytattuk, ameddig az intraoesszális hőmérséklet további emelkedésre utaló tendenciát nem mutatott. A fúrásokat állványos fűró segítségével végeztük (Bosch PBD 40, Bosch, Németország). Az axiális nyomás 2,0 kg-ban kontrolláltuk, amely az irodalmi adatok alapján tekinthető egy átlagos kézi erő kifejtésnek implantátumágy preparálásakor. A külső hűtést sebészi motor segítségével biztosítottuk (W&H Implantmed SI-923, W&H, Ausztria), az áramlási sebességet 105 ml/min értékre állítottuk, hűtőfolyadékként fiziológiás sóoldatot használtunk. A hűtőfolyadékot három különböző hőmérsékleten használtuk: 10°C , 15°C , valamint 20°C . A 2,5 mm, 3,0 mm, valamint 3,5 mm-es átmérőjű fúrások esetén a csatornákat előfűrtük 2,0 mm-es, 2,5 mm-es, valamint 3,0 mm-es fűrószárral.

Adatgyűjtés, statisztikai analízis – A hőmérséklet-értékeket egy tizedesvessző pontossággal gyűjtöttük (Microsoft Excel 2013 (v15.0), Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). A statisztikai analízis a Statistica for Windows 10.0 (Statsoft, Tulsa, OK, USA) szoftverrel történt. Normalitás tesztelésére

Shapiro-Wilk tesztet alkalmaztunk. Normális eloszlás esetén egyutas ANOVA történt post-hoc Tukey HSD teszttel, míg nem-normális eloszlás esetén Kruskal-Wallis ANOVA-t végeztünk.

Eredmények

1. sz. vizsgálat

A vizsgált fúrási szekvencia első lépése a 2,0 mm-es fúró használata, 48-48 fúrást végeztünk külső hűtés alkalmazásával és anélkül, átlagosan 4,77°C-os és 7,2°C-os hőmérséklet-emelkedést tapasztaltunk, a különbség statisztikailag szignifikánsnak bizonyult ($p < 0,001$). Külső hőmérséklet alkalmazásakor nulla, míg anélkül nyolc alkalommal tapasztaltunk a 10°C-os értéket meghaladó hőmérséklet-emelkedést. A fúrási szekvencia második lépését vizsgálva (a 2,0 mm-esre előfúrt csatorna 2,5 mm-es fúrószárral történő fúrása) az átlagos hőmérséklet-emelkedés külső hűtés alkalmazása mellett 5,22°C, míg anélkül 8,22°C volt, a különbség statisztikailag szignifikánsnak bizonyult ($p < 0,001$), a 10°C-os értéket előbbi esetben egyszer, utóbbi esetben tizenhatszer haladta meg a mért eredmény a 48 mérés közül. A szekvencia harmadik lépését vizsgálva (a 2,5 mm-es csatorna 3,0 mm-es fúrószárral történő fúrása) az átlagos hőmérséklet-emelkedés külső hűtés alkalmazása mellett 3,32°C, míg anélkül 8,48°C volt, a különbség statisztikailag szignifikánsnak bizonyult ($p < 0,001$), előbbi esetben 48 mérésből egyszer sem, míg utóbbi esetben 24 mérésből 18 alkalommal meghaladta a mért érték a 10°C-os értéket. A szekvencia utolsó, negyedik lépését vizsgálva (a 3,0 mm-es átmérőjű csatorna 3,5 mm átmérőjű fúrószárral való fúrása) az átlagos hőmérséklet-

emelkedés külső hűtés alkalmazása mellett 4,75°C, anélkül 9,40°C volt, a különbség szignifikánsnak bizonyult ($p < 0.001$), előbbi esetben 24-ből nulla, utóbbi esetben 24-ből tíz esetben mértünk 10°C-ot meghaladó értéket.

2. sz. vizsgálat

Az 1200 RPM fordulatszámmal végzett fúrásaink eredményei az alábbiakban foglalhatóak össze: 1) a szabadkézi fúrás 10°C-os hűtőfolyadék alkalmazása mellett szignifikánsan alacsonyabb hőmérséklet-emelkedést mutatott, mint a sablon-vezérelt fúrás 20°C-os hűtőfolyadék alkalmazásával, függetlenül a fúrószar átmérőjétől, 2) a 10°C-os és 20°C-os hűtőfolyadék alkalmazása mellett, szabadkézzel, azonos fúróátmérővel végzett fúrásokat összehasonlítva a 3,5 mm-es fúróátmérők kivételével minden esetben szignifikáns különbséget találtunk, 3) Szabadkézi fúrásokat összehasonlítva 10°C-os és 15°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet mellett szignifikáns különbséget találtunk a 2,5 és 3,0 mm-es fúróátmérőknél, 4) A sablon-vezérelt fúrásokat vizsgálva a 10°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet mellett szignifikánsan alacsonyabb hőmérséklet-emelkedést tapasztaltunk, mint 20°C-os hűtőfolyadék alkalmazásakor, tekintet nélkül a fúrószar átmérőjére, 5) A 3,5 mm-es fúróátmérő kivételével minden átmérő esetében szignifikánsan alacsonyabb hőmérséklet-emelkedést mértünk a sablon-vezérelt fúrásokkal, 10°C-os hűtőfolyadék-hőmérsékletet alkalmazva,

mint szabadkézi fúrásokkal, 20°C-os hűtőfolyadék-hőmérsékletet alkalmazva.

Az 1500 RPM fordulatszámmal végzett fúrásaink eredményei az alábbiakban foglalhatóak össze: 1) sablonvezérelt fúrások esetében, 3,0 és 3,5 mm-es fúróátmérőknél, 20°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet mellett mértünk a 10°C-os limitet meghaladó értékeket, 3,5 mm-es átmérőnél az átlagos hőmérséklet-emelkedés meghaladta a 11,0°C-ot is, 2) szabadkézi fúrásoknál, 20°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet mellett nem mértünk 8,8°C feletti értéket, az átlagok pedig 8,0°C alatt maradtak minden átmérő esetében, 3) 20°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet mellett a szabadkézi fúrások esetén mért értékek szignifikánsan alatta maradtak a sablon-vezérelt értékeknek mind a 3,0 mm-es ($p=0,000$), mint a 3,5 mm-es ($p=0,000$) fúróátmérőnél, 4) a 15°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet alkalmazása mind a sablon-vezérelt, mind a szabadkézi fúrások esetében 8,0°C alatt tartotta az hőmérséklet-emelkedést, 5) 15°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet alkalmazása esetében csak a 3,0 mm-es átmérőnél sikerült szignifikánsan magasabb hőmérséklet-emelkedést kimutatni a sablon-vezérelt technikát a szabadkézi fúráshoz hasonlítva ($p=0,032$), 6) 10°C-os hűtőfolyadék-hőmérsékletet használva minden átlag 6,0°C alatt maradt, valamint egyetlen mért hőmérséklet-emelkedés sem haladta meg a 7,1°C-ot, 7) 10°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet alkalmazása

minden statisztikailag szignifikáns különbséget eltörölt a sablonvezérelt és a szabadkézi csoportok között.

A 2000 RPM fordulatszámmal végzett fúrásaink eredményei az alábbiakban foglalhatóak össze: 1) 20°C-os hűtőfolyadék-hőmérsékletet alkalmazva az átlagos hőmérséklet-emelkedés meghaladta a 10°C-os limitet a 3,0 és 3,5 mm-es sablonvezérelt, valamint a 3,5 mm-es átmérőjű szabadkézi fúrások esetében, 2) továbbá, sablonvezérelt fúrások esetén, 20°C-os hűtőfolyadék-hőmérsékletet alkalmazva a legnagyobb mért érték elérte a 13,0°C-ot a 2,5 és 3,0 mm-es, valamint a 16,0°C-ot a 3,5 mm-es fúróátmérő esetén, 3) 20°C-os hűtőfolyadék-hőmérsékletet alkalmazva a sablonvezérelt fúrások szignifikánsan magasabb hőmérséklet-emelkedést mutattak a szabadkézi fúrásokkal összehasonlítva mindegyik fúróátmérő esetében (2,0 mm esetén $p=0,039$, 2,5 mm esetén $p=0,001$, 3,0 mm esetén $p=0,047$, valamint 3,5 mm esetén $p=0,000$), 4) a mért átlagok meghaladták a limitet a 3,0 mm-es, valamint a 3,5 mm-es átmérők esetében is, 15°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet alkalmazásakor, 5) 15°C-os hűtőfolyadék-hőmérsékletet alkalmazva minden fúróátmérő esetében a szabadkézi fúrások átlaga a biztonságos zónában maradt, 6) 15°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet mellett a sablon-vezérelt fúrások szignifikánsan magasabb hőmérséklet-emelkedést mutattak a szabadkézi fúrásokhoz viszonyítva a

2,0 mm-es ($p=0,000$), a 3,0 mm-es ($p=0,000$), valamint a 3,5 mm-es ($p=0,000$) átmérőnél egyaránt, 7) 10°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet alkalmazásakor egy átlagos hőmérséklet-emelkedés sem haladta meg a 7,0°C-ot, illetve egy mért érték sem haladta meg a 8,9°C-ot, 8) 10°C-os hűtőfolyadék-hőmérséklet alkalmazásakor nem volt kimutatható szignifikáns különbség a sablonvezérelt és a szabadkézi csoportok között.

Megbeszélés

A bemutatott eredményeink igazolták, hogy a vezérlősablon segítségével végzett fúrás esetén a szabadkézihez képest nagyobb hőmérséklet-emelkedéssel kell számolnunk, a z 1200 RPM sebességgel végzett fúrás azonban biztonságosnak tekinthető. Magasabb fordulatszámok esetén kritikus hőmérséklet-emelkedés jelentkezhet vezérlősablon használata mellett, és kizárólag a 10°C-osra hűtött hűtőfolyadék képes azt a biztonságos tartományban tartani. A 2000 RPM-es fordulatszám mellett szabadkézi fúrás esetén is kritikus hőmérséklet-emelkedést tapasztalhatunk, míg 1500 RPM sebességnél az valamivel a kritikus érték alatt marad.

Tekintettel arra, hogy kísérleti elrendezésünkben az axiális nyomást kontrolláltuk, valamint egyéb lokális faktorok is hatással lehetnek a hőmérséklet-emelkedésre, az 1500 vagy 2000 RPM fordulatszámmal végzett fúrás kerülendőnek tekinthető.

Következtetések

Vizsgálataink új eredményei az alábbiakban foglalhatóak össze: 1) Adataink alapján az 1200 RPM sebességű fúrás vezérlősablonon keresztül biztonságos lehet az intraosseális hőmérséklet-emelkedés tekintetében. 2) Fúrás 1500 és 2000 RPM fordulatszámmal, 20°C-os hűtőfolyadék alkalmazása mellett kritikus hőmérséklet-emelkedéssel járhat, így használatuk kerülendő. Amennyiben a klinikai helyzet megköveteli a magasabb fordulatszám használatát, 10°C-os hűtőfolyadék alkalmazása javasolt. 3) Kijelenthetjük, hogy adataink alapján vezérlősablonnal végzett implantátumágy-preparáció esetén 800 vagy 1200 RPM fordulatszám alkalmazása javasolt, hűtött hűtőfolyadék használata mellett.

A tézis alapjául szolgáló eredeti közlemények:

- I. **Boa K**, Varga E Jr, Pinter G, Csonka A, Gargyan I, Varga E. External cooling efficiently controls intraosseous temperature rise caused by drilling in a drilling guide system: an in vitro study. *British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 2015; 53(10):963-967. IF₂₀₁₅: 1,237
- II. **Boa K**, Barrak I, Varga E Jr, Joob-Fancsaly A, Varga E, Piffko J. Intraosseous generation of heat during guided surgical drilling: an ex vivo study of the effect of the temperature of the irrigating fluid. *British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 2016; 54(8):904-908. IF₂₀₁₆: 1,218
- III. Barrak I, **Boa K**, Joob-Fancsaly A, Sculean A, Piffko J. Heat generation during guided and freehand implant site preparation at drilling speeds of 1500 and 2000 RPM: an in vitro study (Revízióval elfogadva: *Oral Health and Preventive Dentistry*)

Egyéb közlemények:

- Barrak I, Joób-Fancsaly Á, Braunitzer G, Varga E Jr, **Boa K**, Piffkó J. Intraosseous heat generation during osteotomy performed freehand and through template with an integrated metal guide sleeve: an in vitro study.

- Implant Dentistry, 2018; 27(3):342-350.
IF₂₀₁₇: 1,307
- Barrak I, Joób-Fancsaly A, Varga E, **Boa K**, Piffko J. Effect of the combination of low-speed drilling and cooled irrigation fluid on intraosseous heat generation during guided surgical implant site preparation: an in vitro study. *Implant Dentistry*, 2017; 26(4):541-546. IF₂₀₁₇: 1,307
 - Csonka A, Sikarinkul E, Gargyan I, **Boa K**, Varga E. Operative management of bilateral Salter-Harris type III fractures of the proximal phalanges of the great toes of a 10-year-old female ballet dancer: a case report. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*, 2016; 25(4):393-396. IF₂₀₁₆: 0,638
 - Csonka A, Gargyan I, **Boa K**, Sadt Z, Varga E. *Bicondylaris tibia plató törések kettős lemezelése*. [Double plating of bicondylar tibial plateau fractures.] *Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet, Plasztikai Sebészet*, 2016; 59(3-4): 99-105.
 - Csonka A, Gargyan I, Borondy J, **Boa K**, Varga E. *Megoldást jelent-e a szögstabil implantátumok bevezetése a proximalis humerus törések ellátásában?* [Are angular stable implants suitable for the treatment of proximal humerus fractures?] *Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet, Plasztikai Sebészet*, 2016; 59(3-4): 107-112.

- Varga E, Csonka E, Kószó B, Pető Z, Ágoston Z, Gyura E, Nardai G, **Boa K**, Süveges G. Advanced Trauma Life Support (ATLS) in Hungary; The First 10 Years. *Bulletin of Emergency and Trauma*, 2016; 4(1):48-50.
- **Boa K**, Pintér G, Varga E Jr., Erdohelyi B, Varga E *Fúrás által okozott intraossealis hőmérséklet-emelkedés nagyszámú csontfúrás után: in vitro vizsgálataink eredménye.* [Intraosseous temperature rise due to drilling after excessive number of drillings: results of our in vitro investigations.] *Biomechanica Hungarica*, 2015; 8(1):28.
- Gargyan I, Vagi Zs, Csonka A, **Boa K**, Varga E. *β -tricalcium phosphate granulátum alkalmazása a tibia plató törések kezelésében.* [Administration of β -tricalcium phosphate granulate in the treatment of tibial plateau fractures.] *Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet, Plasztikai Sebészet*, 2015; 58(4):201-207.
- Gargyan I, Csonka A, **Boa K**, Kormondi S, Toth K, Varga E. *Periprotetikus distalis femurtörések minimál invazív lemezes rögzítése totál térdprotézis beültetése után.* [Minimally invasive plate osteosynthesis of distal periprosthetic femoral fractures after total knee replacement.] *Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet, Plasztikai Sebészet*, 2015; 58(4):209-216.

- Gargyan I, Csonka A, **Boa K**, Varga E. Complex treatment of complicated crural decollement injury in a diabetic patient. European Journal of Trauma and Emergency Surgery, 2015; 41(Suppl. 2):S182.