FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA XVIII.

Kolozsvár, 2013. március 21–22.

ÁLLKAPOCSCSONT 3D ANALÍZISE

TERDIK Andrew Attila, BOGNÁR Eszter, PATONAY Lajos

Abstract

Be it into vertebrae, the oral cavity, or the hip joint, surgeons inserting implants into hard, skeletal body parts need to understand the mechanical properties of dense cortical bone and spongy trabecular bone. Anchoring artificial materials into bone creates a clear need for better modeling of human bone properties so as to match implants to patients' with minimal mechanical strain and optimal implant survival. This research focuses on measuring the mechanical properties of bone in the human mandible. In many articles in the literature typical values of finite elements of jaw bones are measured, on the basis of which deductions are made for load-bearing strength, while others perform mechanical tests on cross-sections of mandible and extrapolate these to the whole bone. Publications which analyse the intact mandible are extremely rare. A freshly-frozen mandible was scanned at 0.1mm intervals with the help of a high-resolution YXILON Y.CT Modular computer-tomography scanner, in three orthogonal directions, x, y, and z. The pictures thus obtained, 3 times 500 images per mandible, were analysed using software on the basis of greyness levels. With this it was possible to establish which percentage of total bone mass was structurally effective and which took no part in load-bearing.

Keywords:

mandible, bone density, image analysis

Összefoglalás

Napjainkban kiemelt kutatási terület a csont belső szerkezete és mechanikai viselkedése. Több cikkben mérik az állkapocscsont bizonyos részegységeinek jellemző méreteit és ezek alapján vonnak le következtetéseket a terhelhetőségre, míg mások mandibula metszeteken végeztek mechanikai vizsgálatokat és ezeket terjesztik ki a teljes csonttra. Rendkívül kevés az olyan publikáció, amelyben a teljes mandibulát elemzik. Kísérleti munkánk arra irányult, hogy emberi állkapocscsontokban meghatározzuk a kortikális és a szivacsos csontállomány arányát, mennyiségét. Méréseinkhez nagy-pontosságú CT szkennert (YXILON Y.CT Modular) használtunk. A CT metszeti képek három egymásra merőleges irányban (x, y, z) készültek, 0.1 mm-es rétegvastagsággal. Az így létrejött képeket, csontonként megközelítően 3×500 darabot egy szoftver segítségével elemeztünk azok szürkeségi szintje alapján. Ezzel ismertté válik, hogy a teljes állkapocscsont hány százaléka pórus és mennyi, amely csontszövet.

Kulcsszavak:

állkapocscsont, csontsűrűség, képelemzés

1. Bevezetés

Az implantátumok és az emberi szövetek kapcsolata már régóta foglalkoztatja nemzetközi szinten a kutatókat. Az implantátumok teherviselésének és élettartamának növelése érdekében kiemelten fontos a csont belső szerkezetének és mechanikai viselkedésének megértése, kutatása. A CT segítségével kinyerhető információk hasznosítására többen tettek kísérletet. Katsumata munkatársaival Cone-Beam CT (CBCT) segítségével készített felvételek elemzésével igyekezett megválaszolni azt a kérdést, hogy milyen mérési hibákat okoz a vizsgált térfogaton kívüli szövetek jelenléte a vizsgált területen belüli

sűrűség értékekben [1]. Kaki és munkatársai által végzett kutatás a kortikális csontszövet térbeli eloszlására koncentrált aszimmetrikus állkapocscsontokban. Méréseiket kvantitatív CT (QCT) segítségével végezték [2]. Uchimaya csoportja összefüggést talált a csont ásványi sűrűsége (BMD) és a rugalmassági modulus között, azonban a szerkezeti felépítés és a rugalmassági modulus között már nem fedeztek fel egyértelmű kapcsolatot, amit a mérési pontatlanság okozta hibának tudtak be [3]. Bilhan és munkatársai csontsűrűséget mérték CT-vel és hagyományos módszerekkel és ellentmondásba ütköztek, ugyanis a két mérési eredmény nem volt összeegyeztethető [4]. Stoppie és kollégái hasonló kétségeket támasztottak a CT által meghatározott csontsűrűségi értékeket megbízhatóságát illetően. Az állkapocscsont CT vizsgálatából meghatározott Hounsfield számot összevetették ugyanazon minták rugalmassági modulusával (amelyet nyomóvizsgálattal határoztak meg) és a csont ásványi sűrűség értékével, ez utóbbit röntgen elnyelődéssel mérték. A Hounsfield egység (HU) alapján megállapított sűrűség jelentősen csökkent a kortikális csont vastagságának növekedésével. Ezek alapján az állkapocscsont nem modellezhető homogén csontként [5].

A felsorolt tanulmányok komoly kétségeket támasztanak a Hounsfield egység, mint a csontsűrűség mutatójának megbízhatóságával szemben. A csontot kompozit anyagként tekintve a Hounsfield egység nem ad elegendő információt a belső szerkezetre vonatkozóan, ugyanis a szivacsos és a kortikális csont sűrűségében egymástól eltér. Továbbá a szivacsos csontállományban önmagában is változik a sűrűsége, így tisztán radiológiai adatok alapján nem lehet megmondani a két csonttípus pontos arányát. Éppen ezért kísérleti munkánk arra irányult, hogy emberi állkapocscsontokban meghatározzuk a kortikális és a szivacsos csontállomány arányát, mennyiségét.

2. Kísérleti munka

A kísérletekben felhasznált állkapocscsontok az elhunytakból történő eltávolítást követően azonnal lefagyasztásra kerültek a Semmelweis Egyetemen (Budapest). Ebben az állapotban történt a szállítás a Győri Egyetemre ahol egy nagy-pontosságú CT szkennert (YXILON Y.CT Modular) használtunk. A szkenneléskor az állkapocscsontot a röntgensugárforrás és a foszfor képernyő közé helyeztük. A CT metszeti képek három egymásra merőleges irányban (x, y, z) készültek, 0.1 mm-es rétegvastagsággal, BMP (bitmap) formátumban.

Az állkapocscsont CT metszeteit ábrázoló képeken el kell különíteni a lágy, a vizsgálat tárgyát nem képező szöveteket. Ezt követően a szivacsos állományban lévő üregek mennyiségét kell meghatározni, valamint az állkapocscsont metszet valódi külső körvonalát. Ezt a két információt kiegészítve egy elemi CT szelet vastagságával már meghatározható az állkapocscsont teljes térfogata és az abban található csont mennyisége. Mivel a rétegszám növelésével (és a rétegvastagság csökkenésével) folyamatosan javul a térfogatmeghatározás pontossága, így egy megfelelően kisméretű rétegvastagságot választottunk (0,1 mm), de ez több száz darab réteget jelent, amelynek feldolgozása már szoftver alapú automatizálást igényel. A feladatot ellátó, erre a célra írt program a következő működési lépéseket hajtja végre (1. ábra):

1. lépés: a 8 bites szürkeárnyaltos képen az állkapocscsont körvonalának meghatározása a szürkességi szint alapján (1. ábra felső kép).

2. lépés: meg kell határozni a csont szivacsos állományának területét, amely sötétebb árnyalattal jelenik meg a felvételeken, mert ezeknek a szöveteknek kisebb a röntgensugárelnyelése, azonban a szivacsos állományt nem folytonosan veszi körbe az elsődleges körvonal meghatározás alapját képező világos árnyalatú, kortikális csont. Így előállhat olyan eset, amikor az első lépés eredménye egy nyitott csontkeresztmetszet, amelyet a folytatáshoz be kell zárni (1. ábra alsó kép), máskülönben a csonton belüli, sötét árnyalatú szivacsos állományt kizárja a program az elemzésből. A csont körvonalának bezárása bonyolult feladat és nagyban meghatározza a módszer pontosságát. Ezért el kell döntenie minden egyes képpontról, hogy az az állkapocs körvonalán belül van-e vagy kívül. A program ennek eldöntésére minden egyes pixelből 16 vonalat indít, sugár irányban egymástól egyenlő szögre. Majd azt vizsgálja, hogy e vonalak közül hány darab ütközik a korábban már megjelölt csont körvonallal. Amennyiben 14 vonalnál több (ez állítható érték), akkor a program ezt a csonton belüli képpontnak tekinti, ellenkező esetben kizárja az adott képpontot az elemzésből. Az eredmények pontosítása érdekében a program az aktuális szeletet megelőző, korábbi 10 szeleten kialakult körvonalakat rögzíti és ezt a információt felhasználja a nyitott körvonalak megfelelő lezárásához.

3. lépés: végül a meghatározott körvonalon belül megvizsgálja a program a szürkességi szint alapján, hogy melyik terület tartozik a szivacsos, melyik pedig a kortikális állományhoz.

Problémát okozott, hogy a képpontokból kiinduló vonalak az íves állkapocscsont túlsó oldalába ütköztek, így a program az adott képpontot hamisan tekintette csonton belülinek. Ezért a szoftver a úgy lett módosítva, hogy a pixelekből húzott vonalak hossza limitálható legyen, ezzel kizárva ezt a hibát. Az elemzést követően rendelkezésünkre áll minden egyes szeletre vonatkozóan a csontszelet teljes keresztmetszete és az abban található üreges, lágyabb szövetekkel teli keresztmetszet nagysága. Ezen értékeket beszorozva az elemi rétegek vastagságával, megkapjuk az elemi térfogatokat. A térfogatokat összegezése után pedig a teljes állkapocscsontra vonatkozó térfogat információt kapunk.

2. Eredmények

A CT szoftver által becsült csonttérfogat (üreges nélkül) $30,383.8 \text{ mm}^3$. Ez az érték jó összehasonlítási alapot nyújt a rétegekből meghatározott értékek összehasonlításához (2. ábra).

1. ábra A képszeletek feldolgozása

Az előlről történő szeletelés eredménye: teljes térfogat $43\,289\text{ mm}^3$, ennek 33,09%-a belső üreg (így a csont térfogata: $28\,964\text{ mm}^3$). Felülről készített CT felvételeken a teljes térfogat $43\,737\text{ mm}^3$, ebből 24,81% belső üreg (így a csont térfogata: $32\,885\text{ mm}^3$).

Jobbról végzett szkenneléskor $43\,849\text{ mm}^3$ a teljes térfogat és a belső üreges rész 33,19% (így a csont térfogata: $29\,297\text{ mm}^3$).

A három különböző irányból mért térfogat kis mértékben (<10%) eltér a Hounsfield-alapú térfogattól. A CT szoftver által adott térfogatérték is tartalmaz hibákat, hiszen a rétegelt adatokra épülő adattárolás jellegzetessége, hogy háromszög alakú felületelemekkel közelíti a valós felületet.

2. ábra A képszeletek feldolgozása

3. Összefoglalás

A CT szeletek elemzésén alapuló csontmennyiség meghatározásból kapott eredmények eltérnek egymástól, attól függően, hogy a CT szeletek milyen irányból készültek (előlről, felülről vagy jobbról). A jobbról és előlről végzett szkennelésből származó adatok közel esnek egymáshoz és emellett az sztereolitográf fájlokat kezelő szoftverből származó eredmény is ezekkel (szóráson belül) egybevágh. A felülről végzett szkennelés eredménye ugrik ki leginkább, bár az eltérés itt is kisebb, mint 10%. Ez valószínűleg az az oka, hogy kevesebb rétegből áll és egy réteg nagyobb felületeket tartalmaz és így nagyobb a hiba valószínűsége, ami kummulálódik.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk Barta Zoltánnak, aki elkészítette és folyamatosan javította a szoftvert, Kientzl Imrének a sok segítségért, valamint Kozma Istvánnak az állkapocscsontról készült képekért.

Irodalom

- [1] Tanner, Maiden, Lee et al.: Dental Implants Infections. Clinical Infectious Diseases 1997
- [2] Kaki, Miller, Okano et al.: Cortical bone mineral density in asymmetrical mandibles: a three-dimensional quantitative computed tomography study. European Journal of Orthodontics 2000
- [3] Uchiyama, Tanizawa, Muramatsu et al.: Three-dimensional microstructural analysis of human trabecular bone in relation to its mechanical properties. Bone 1998
- [4] Bilhan, Arat, Geckili: How Precise Is Dental Volumetric Tomography in the Prediction of Bone Density? International Journal of Dentistry 2012
- [5] Stoppie, Pattijn, Cleynenbreugel et al.: Structural and radiological parameters for the characterization of jawbone. Clinical Oral Implant Research 2005

Terdik Andrew Attila, hallgató

Munkahely: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Cím: 1111, Magyarország, Budapest, Bertalan Lajos utca, 7. MT épület

Telefon / Fax: (+36) 1463-1366

E-mail: attilat@gmail.com