ÜÇ FARKLI GÖRÜNTÜLEME TEKNİĞİNDEN ALINAN TİBİA ÖLÇÜMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF THE REALIABILITY OF TIBIA MEASUREMENTS FROM THREE DIFFERENT IMAGING TECHNIQUES

Öznur GÜLHAN
Arş. Gör. Dr., Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih – Coğrafya Fakültesi, Antropoloji Bölümü, Paleoantropoloji Anabilim Dalı,
oznurgulhan@gmail.com

Makale Bilgisi
Gönderildiği tarih: 1 Mart 2020
Kabul edildiği tarih: 28 Nisan 2020
Yayınlanma tarihi: 22 Haziran 2020

Article Info
Date submitted: 1 March 2020
Date accepted: 28 April 2020
Date published: 22 June 2020

Anahtar sözcükler
Antropoloji; Görüntüleme Teknikleri; Tibia Ölçümleri; Bilgisayarlı Tomografi; Gözlemci İçi Güvenilirlik

Keywords
Anthropology; Imaging Techniques; Tibia Measurements; Computed Tomography; Intra-Observer Reliability

DOI: 10.33171/dtcfjournal.2020.60.1.7

Öz

Antropolojik araştırmalarda özellikle de adli antropoloji çalışmalarında kullanılan bir yöntemin hata oranlarının verilmesi yapılan çalışmanın uygulanabilir olması için oldukça önemlidir. Günümüzde özellikle teknolojik gelişmelerle birlikte çok sayıda yeni yöntem geliştirilmekte ve literatüre eklenmektedir. Non-invaziv olması ve verilerin kalıcılığı gibi sebeplerden son yıllarda özellikle medikal görüntüleme teknikleri antropolojik araştırma süreçlerinde sıklıkla yararlanılan teknolojilerden biri olmaktadır. Bu sebeple bu tekniklerin kullanılmasıyla oluşturulan yeni yöntemlerin uygulanabilirliğini analiz etmek önemlidir. Ayrıca, Daubert standartları ile birlikte mahkemede kullanılan bilimsel çalışmalar için kabul edilirlik kriterlerinin oluşturulmasından bu yana adli antropologlar tarafından kullanılan yöntemler ciddi bir inceleme altına girmiştir. Bu sebeple, antropolojik araştırmalarda kullanılan biyolojik profillerin oluşturulmasında sıklıkla tercih edilen metrik ölçümlerin tekrarlanabilir ve güvenilir olmasını sağlamak önemlidir. Bu çalışmanın amacı; biyolojik profil veya popülasyon spesifik formüller oluşturmak için kullanılan metrik ölçümlerde aynı bilgisayar yazılımı içerisinde farklı görüntüleme tekniklerinden alınan tibia ölçümleri arasındaki gözlemci içi güvenilirliği analiz etmektir. Bu sebeple, bilgisayarlı tomografi görüntülerinden elde edilen 15 adet sanal tibia görüntüsü çalışmanın verisini oluşturmaktadır. OsiriX programı kullanılarak işlenen tibia görüntülerinden alınan beş adet metrik ölçüm SPSS 24.0 ve Excel yazılım paketleri kullanılarak analiz edilmiştir. Üç farklı görüntüleme tekniğinden alınan beş ölçüm ANOVA analizi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Gözlemci içi güvenilirlik analizi için sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) kullanılmış ve gözlemci hatası TEM, rTEM ve R hesaplanarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak tibiadan alınan metrik ölçümlerde üç farklı görüntüleme tekniği kıyaslandığında MDEB ölçümü dışında diğer dört ölçüm arasında anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Bununla birlikte yalnızca hacimsel görüntülemeden alınan beş ölçümün hepsi için gözlemci içi güvenilirlik 0.998-0.948 (yüksek güvenilirlik) arasında değişmekte ve bu durum özellikle adli antropoloji çalışmaları için önerilen değer aralıklarını karşılamaktadır. Bu sebeple, üç görüntüleme tekniği arasında hacimsel görüntülemeden alınan ölçümlerin gözlemci içi güvenilirliği en yüksek olduğu için ileride yapılacak çalışmalarda hacimsel görüntüleme modunun tercih edilmesinin daha güvenilir sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Abstract

The methods used in anthropological research especially in forensic anthropological investigations should have report potential error rates in order to become internationally applicable. Recently, many new methods with the advancement of technological improvements have been developed. Due to non-invasive nature, medical imaging techniques have become one of the frequently used technologies in anthropological research. Therefore, it is quite important to analyse the applicability of these new methods created using these techniques. Moreover, the methods used by forensic anthropologists have been under serious scrutiny since the creation of acceptance criteria for scientific studies that are especially used in court in order to meet Daubert standards. For this reason, it is important to ensure that the frequently preferred metric measurements are reproducible and reliable in the creation of biological profiles used in anthropological research. The aim of this study is to analyze intra-observer reliability between tibia measurements taken from different imaging techniques in the same computer software. Therefore, 15 tibia images obtained from computed tomography constitute the data of the study. Five metric measurements from tibia images processed using the OsiriX program were analyzed using SPSS 24.0 and Excel software packages. Five measurements taken from three different imaging techniques were compared using ANOVA analysis. For intra-observer reliability analysis, ICC was used and observer error was analyzed by calculating TEM, rTEM and R. As a result, when three different imaging techniques were compared in the metric measurements taken from the tibia, no significant difference was observed between the four measurements except MDEB measurement. However, for all five measurements taken from only volumetric imaging, intra-observer reliability ranges from 0.998-0.948 (high reliability), which meets the recommended value ranges specifically for forensic anthropology studies. Since the measurements taken from volumetric imaging among the imaging techniques have the highest intra-observer reliability, it is thought that preferring the volumetric imaging mode in future studies will yield more reliable results.

GİRİŞ

Son yıllarda meydana gelen teknolojik gelişmeler antropolojik çalışmalar için yeni yöntemler geliştirme fırsatları sunmuştur. Özellikle, medikal görüntüleme teknikleri aracılığı ile elde edilen görüntülerin antropolojik araştırma süreçlerinde kullanımı son zamanlarda oldukça yaygınlaşmıştır. Antropolojik çalışmalar, kapsamlı ve güvenilir osteometrik veriler sağlayan bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG), Ultrason (US), Konvansiyonel Radyografi ve DEXA gibi medikal görüntüleme tekniklerinin gelişmesinden büyük ölçüde faydalanmıştır (Grabherr ve diğerleri, "Post-Mortem Imaging in Forensic…"; Uldin; Villa ve diğerleri; Minier ve diğerleri; Bernadette; Gülhan "Antropolojide Non-Invaziv Görüntüleme Yöntemleri"). Bu tip sanal veriler, medikal görüntüleme teknikleri kullanılarak yaşayan bireylerden elde edilen kemiklerin iki boyutlu ve/veya üç boyutlu sanal temsillerinden oluşabilmekle birlikte (Franklin ve diğerleri; Decker ve diğerleri) ayrıca sıklıkla biyolojik antropoloji ve paleoantropolojide doğrudan incelenen kuru iskeletlerden de temin edilebilmektedir (Uldin).

Antropolojik araştırmalarda özellikle felâket kurbanlarının kimliklendirilmesi ve yeni standartların oluşturulması için bilgisayarlı tomografinin uygulanması literatürde uzun süredir incelenmektedir (Grabherr ve diğerleri, "Estimation of Sex…"; Kullmer; Dedouit ve diğerleri, "Virtual Anthropology and Forensic…"). Özellikle bu non-invaziv yöntemler, kültürel uygulamalardan dolayı maserasyona (sadece kemik dokusunun çalışılabilmesi için tüm yumuşak dokuların kemiklerden ayrılmasını sağlayan hazırlama tekniği) izin verilmediği durumlarda insan kalıntılarının üzerinde inceleme fırsatı sunduğu için oldukça önemlidir (Verhoff ve diğerleri 153). BT verileri ayrıca yaşayan bireyler üzerinde de çalışabilmeye izin verdiği için çağdaş popülasyonlarla ilgili araştırma yapmak amacıyla da kullanılabilmekte (Dedouit ve diğerleri, "Virtual Anthropology and Forensic…" 2) ve bu arşiv materyallerinin kullanımı, iskelet koleksiyonu olmayan ülkeler için güncel popülasyon üzerinde çalışma fırsatı sunmaktadır. Bununla birlikte oldukça parçalı ya da hassas kemikler üzerinde çalışma yapmak yerine bu kemiklerin medikal görüntüleme cihazları aracılığıyla kemiğe zarar vermeden görüntü alınabilmesi ve bu alınan görüntülerin kemiğin hem dışını hem de içini gözlemleme fırsatı vermesi, bu çalışma yöntemlerini daha tercih edilir kılmıştır. Bu sebeple, gerçek kemikler yerine BT görüntülerinin kullanımı toplu felaketlerden ve adli vakalardan ele geçirilmiş olan kömürleşmiş, oldukça hassas ve kırılgan veya yarı-ayrışmış (çürümüş) kalıntıların biyolojik profillerinin çıkarılmasında adli antropologlara yardımcı olabilmektedir

(Brough ve diğerleri, "Anthropological Measurement of the Juvenile…" 947; Robinson ve diğerleri 1290). Sanal görüntülerden elde edilen osteolojik verilerin kullanılmasının dört temel avantajı vardır. Bunlar; maserasyon olmadan kemik üzerinde çalışmaya olanak tanıması, yaşayan bireyler üzerinde araştırma yapılabilmesi, hassas ve kırılgan kuru kemiklere zarar vermeden çalışılabilmesi ve son olarak yalnızca kemiklerin tahrip edilmesi yoluyla incelenen iç yapılara erişilmesini sağlamasıdır (Corron ve diğerleri 51).

Özellikle biyolojik profil belirlerken kullanılan klasik yöntemler bilgisayar ortamına taşınarak kemiklerin ücretsiz veya ticari yazılımlar yardımıyla bilgisayar üzerindeki görüntülerinden elde edilmesi oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Biwasaka ve diğerleri; Schmeling; Clavero ve diğerleri; Hishmat ve diğerleri ; Gülhan, Harrison ve Kiris; Ramsthaler ve diğerleri). Medikal görüntüleme yöntemleri ile elde edilen sanal kemik görüntülerine, kuru kemikler üzerinden alınan klasik osteometrik yöntemleri uygulamak, değişkenler arasındaki tutarlılık sorununu gündeme getirmektedir (Corron ve diğerleri 34). Sanal ortamda elde edilen kemik görüntülerinden alınan ölçümlerin antropolojik çalışmalarda kullanılabilmesi için yeniden üretilebilir, tekrarlanabilir ve doğru olması gerekmektedir.

Literatürde direk kemik üzerinden doğrudan ölçülen değişkenler ile iki boyutlu kemik görüntüleri (Brough ve diğerleri, "Anthropological Measurement of the Juvenile…") veya üç boyutlu kemik görüntülerinden (Hildebolt ve diğerleri; Brough ve diğerleri, “Post-Mortem Computed…"; Stull ve diğerleri) alınan ölçümler karşılaştırılmış ve bu sanal görüntülerden elde edilen ölçümlerin doğruluğu belgelenmiştir. Bununla birlikte özellikle bu çalışmaların bir çoğu, kemiklerden direk alınan osteometrik ölçümlerle BT görüntülerinden elde edilen ölçümlerin karşılaştırmasını yapmış (Cavalcanti ve diğerleri) ve çıkan sonuçlar neticesinde bilgisayarlı tomografi diğer medikal görüntüleme yöntemleri içerisinde altın standart olarak kabul edilmiştir (Robinson ve diğerleri 1291). Bundan dolayı, antropoloji çalışmalarında metrik ölçümler alınırken özellikle son dönemlerde bilgisayarlı tomografi cihazının kullanımı artmıştır. Her ne kadar sağladığı görüntü kalitesi gerçek kemik üzerinde yapılan çalışmalara en yakın görüntüleri temin etmemize olanak sağlasa da bilgisayarlı tomografinin de dezavajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlardan en önemlisi bilgisayarlı tomografinin kullanılan kişiler için yüksek dozda radyasyon içermesidir (Brenner 66). Bu sebeple, tıbbi bir gerekçe olmadığı müddetçe bilgisayarlı tomografi çekilmesi etik değildir. Bundan dolayı, antropolojik araştırmalar için BT kullanımı ya kadavralar için uygulanan postmortem BT

(Grabherr ve diğerleri; Chiba ve diğerleri) olarak adlandırılan bir çekimle elde edilmekte ya da daha sık tercih edilen arşivsel tıbbi taramaların kullanıldığı retrospektif çalışmalar (Decker ve diğerleri; Ishak ve diğerleri) olarak gerçekleştirilmektedir.

Tüm bilimsel araştırmalarda olduğu gibi adli antropoloji çalışmalarında kullanmak için geliştirilen yöntemlerde tercih edilen ölçümlerin güvenilirliği ve tekrar edilebilirliği yöntemin tercih edilirliğinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır (Lesciotto 550; Tersigni-Tarrant ve Shirley 202; Fradella ve diğerleri 403). Özellikle metrik araştırmalarda alınan ölçümlerin tekrar edilebilirliği ve yeniden üretilebilirliği önemli bir rol oynamaktadır. Bu sebeple yapılan bir araştırmada, aynı koşullar altında ölçüm tekrar yapıldığında sonuçların aynı olması ve güvenilirliğinin yüksek olması beklenmektedir. Burada bahsedilen tekrar edilebilirlik aynı koşullar altında aynı ölçüm aracıyla aynı araştırmacı tarafından alınan ölçümlerin benzer sonuçlar vermesidir. Yeniden üretilebilirlik ise aynı koşullar altında, aynı ölçüm aracıyla farklı araştırmacılar tarafından alınan ölçümlerin benzer sonuçlar vermesidir (Corron ve diğerleri 38). Antropologlar kullandıkları yöntemlerin ne derece güvenilir olduğunu çalışmalarında göstermekle yükümlüdür. Bu sebeple kullandıkları yöntemlerin güvenilirliğini belirlemek için aynı araştırmacı tarafından alınan ve tekrarlanan ölçümleri ya da farklı araştırmacılar tarafından alınan ölçümlerin birbirleriyle karşılaştırılması sonucu istatistiki metotlar ile uyguladıkları güvenilirlik analizlerini kullanarak sonuçlar yayınlamaktadırlar.

Antropoloji'de son dönemlerde metrik ölçümler modern görüntüleme yöntemleri özellikle de bilgisayarlı tomografi kullanılarak alınmakta ve BT ile çekilen görüntüler çeşitli yazılım programları ile işlenerek farklı işleme teknikleri ile görüntüler elde edilebilmektedir. Bu sebeple literatürde antropometrik ölçümlerin alınmasında Multiplanar rekonstrüksiyon (Brough ve diğerleri, "Anthropological Measurement of the Juvenile Clavicle Using Multi-Detector Computed Tomography—Affirming Reliability"), Yüzey görselleştirme (Cavalcanti ve Vannier), Skenogram görüntü (Vaidya ve diğerleri; Kjellberg ve diğerleri), Maksimum Yoğunluk Projeksiyonu (Dedouit ve diğerleri, "New Identification Possibilities…") ve Hacimsel görüntüleme (Stull ve diğerleri; Ramsthaler ve diğerleri) gibi farklı görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır. Mevcut literatürde, antropolojik araştırmalarda bilgisayar yazılımları kullanılırken hangi görüntüleme tekniğinin tercih edilmesi gerektiği ile ilgili kesin bir fikir birliği söz konusu değildir. Bu sebeple makalede bilgisayarlı

tomografi görüntülerinin bilgisayar programına aktarılarak, literatürde en çok kullanılan üç görüntüleme tekniği ile analiz edilmesi planlanmıştır.

Bu çalışmanın birincil amacı; bilgisayarlı tomografi taramalarından elde edilen sanal tibia görüntülerinden alınan metrik ölçümlerin gözlemci içi güvenilirliğini test etmektir. Bu araştırmanın bir diğer amacı ise, bilgisayarlı tomografi verilerini işleyebilmek için kullanılan bilgisayar yazılımlarının sunduğu farklı görüntüleme teknikleri (Skenogram, 3B Multiplanar rekonstrüksiyon ve Hacimsel görüntüleme) arasında gözlemci içi güvenilirlik açısından bir fark olup olmadığını araştırmaktır.

YÖNTEM

Veri Kaynakları ve Veri Toplama

Bu çalışmada, verileri 2011- 2014 yılları arasında Türkiye'deki büyük eğitim ve araştırma hastanelerinden birinin radyoloji bölümünde 256 dilimli çift kaynaklı bilgisayarlı tomografi tarayıcısı (SOMOTOM Definition Flash, Siemens Medical Solutions, Forcheim, Almanya) kullanılarak çekilen BT görüntüleri içerisinden retrospektif olarak incelenerek herhangi bir patolojik problemi olmayan 15 tibia kemiği oluşturmaktadır.

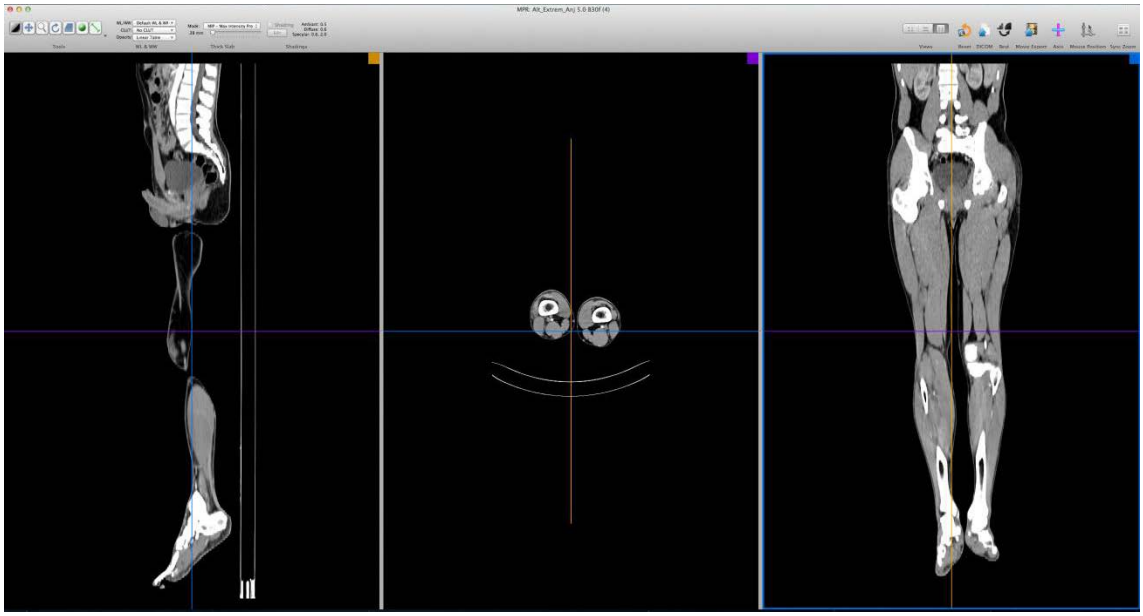
Görüntüleme Teknikleri

Toplanan BT verileri, OsiriX Lite (v.11.0.2) yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Bu yazılım 32 bit DICOM görüntüleyicili, gelişmiş bir açık kaynaklı PACS (Resim Arşivleme ve İletişim sistemi) iş istasyonudur (Greiner ve diğerleri 1877). Bu makalede kullanılan OsiriX programı, Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim (DICOM) görüntüleyicisinin bir örneğidir ve DICOM görüntüleri için kullanılan bir görüntü işleme programıdır (G. Kim ve diğerleri 487; Melissano ve diğerleri 396).

OsiriX yazılımında sunulan farklı görselleştirme modları arasından 3DMPR ve hacimsel görüntüleme teknikleri kullanılarak veri setinden 3B rekonstrüksiyonlar oluşturulmuştur. Ayrıca her BT çekiminde mevcut olan Skenogram görüntüsüde çalışmaya dahil edilmiştir. Bu üç tekniğin seçilme sebebi ise literatürde özellikle metrik ölçüm alınırken en yaygın kullanılan teknikler olmasıdır.

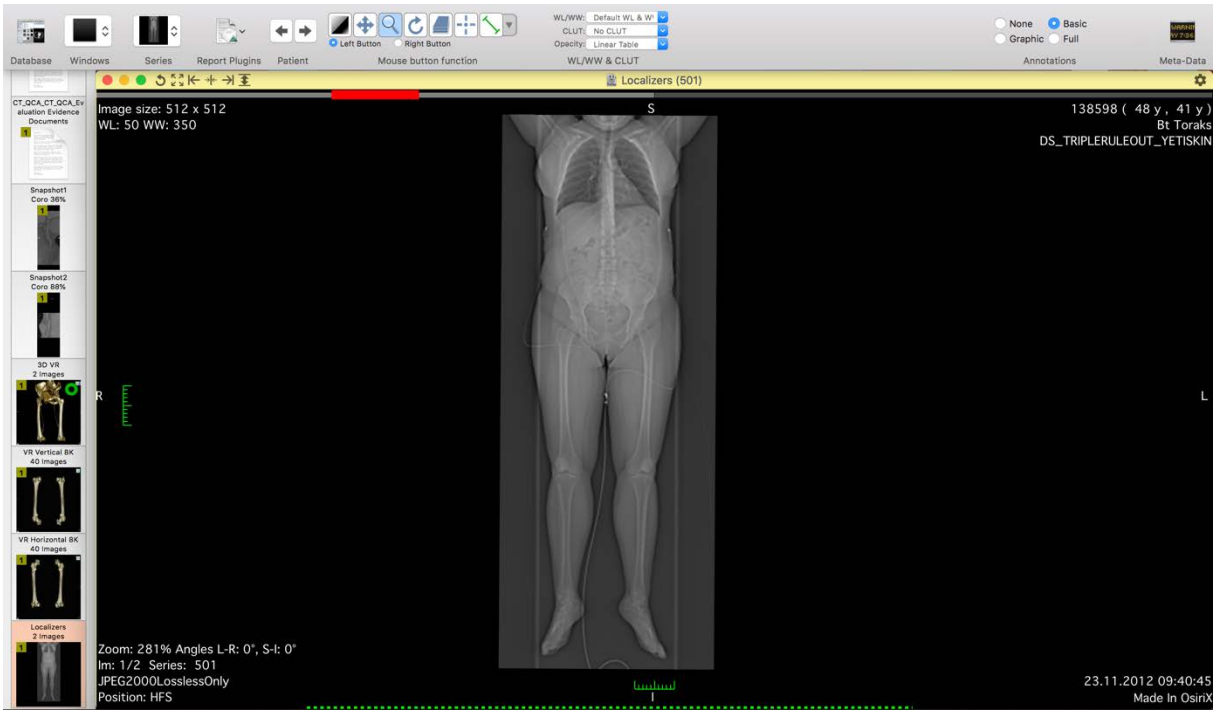
Multiplanar rekonstrüksiyon (MPR): Üç boyutlu Multiplanar Rekonstrüksiyon (3B MPR), orijinal BT görüntülerinin herhangi bir yönde ve açıda görüntülenebilmesini sağlayabilir. 3B MPR görüntüleyicisi, verileri üç pencerede gösterir böylece tibia ölçümleri x, y ve z düzlemlerinde yapılabilir. OsiriX, şu anda 2B ortogonal MPR, 3B Kavisli MPR ve 3B MPR olmak üzere üç farklı MPR modunu desteklemektedir. Bu çalışmada 3B MPR modu kullanılarak ölçümler alınmıştır.

Çalışılmak istenilen BT serisi, OsiriX yazılımının açılır menüsünden 3B MPR'ye tıklanarak açılır. Veriler, üç ortogonal MPR düzlemini gösteren üç farklı pencerede görüntülenmektedir. Eksen ızgara çizgileri, görüntüyü doğru pozisyona ve düzleme taşımak için kullanılabilir. Ayrıca, Taşı, Yakınlaştır ve Döndür komutları gibi araç çubuğu da doğru ölçümler almak için görüntüyü istenen konuma taşımak için kullanılabilir. 3B MPR görüntüleyici penceresi Şekil 1'de gösterilmiştir.



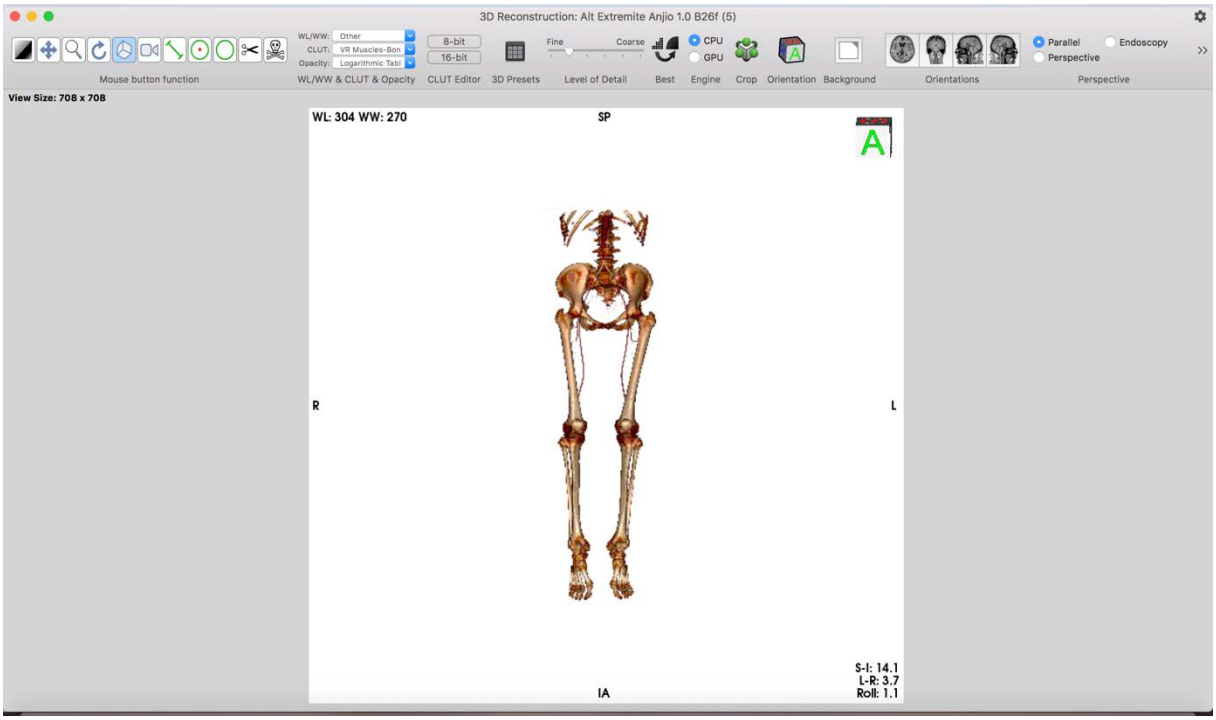
Şekil 1: 3B MPR görüntüleyici penceresi

Skenogram (Scout View/SW): Skenogramlar, BT çekimi esnasında kesitlerin nereden başlayıp hangi açıyla nereye kadar devam edeceğini planlamak ve kesitlerin konumlarını belirlemek için rutin olarak alınırlar (Brook ve diğerleri 211). BT sistem üreticisine bağlı olarak skenogramlar; kılavuz görüntü, topogram, tarama projeksiyonu ve Pilot taraması olarak da adlandırılır. Genellikle rutin BT uygulaması sırasında yapıldığından ve herhangi bir büyütme hatası olmadan ölçüm yönteminin gerçekleştirilmesi kolay olduğundan, skenogramlar çeşitli çalışmalarda uzun kemik ölçümlerini uygulamak için kullanılmıştır (Guenoun ve diğerleri; Vaidya ve diğerleri). İki boyutlu (2B) BT skenogram görüntüleri, düz film ve dijital röntgen tekniklerine eşdeğer görüntüler sunmakla birlikte, özellikle bacak uzunluklarının farklılıkları gibi uzun kemiklerden alınan linear ölçümler yapmak için sıklıkla kullanılmışlardır (Vaidya ve diğerleri; Kjellberg ve diğerleri; Sabharwal ve diğerleri). Skenogram görüntüleyici penceresi Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2: Skenogram görüntüleme penceresi

Hacimsel Görüntüleme (Volume Rendering/VR): Üç Boyutlu hacimsel görüntüleme (VR), kesitsel görüntüleri hacim oluşturularak üç boyutlu hale dönüştüren bir görüntüleme tekniğidir. Hacimsel görüntüleme modu, elde edilen 3B veri setini istenen herhangi bir açıdan görüntüleyebilir. Doğru klinik görüntüler üretme kolaylığı nedeniyle, hacimsel görüntüleme tekniği en kullanışlı üç boyutlu görüntü oluşturma yöntemi olarak kabul edilir (Sapse ve Kobilinsky 161; Calhoun ve diğerleri 762). Hastaların BT taramalarındaki DICOM veri setleri OsiriX yazılımına aktarıldıktan sonra seçilen seri, standart 3B görüntüleme pencerelerine tıklanarak açılır. OsiriX programına aktarılan BT görüntüleri tibiadan daha rahat ölçüm alabilmek için öncelikle tibiayı segmentasyon yöntemini kullanarak diğer kemiklerden ayırarak izole eder. Hacimsel görüntüleme (VR) penceresi Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3: Hacimsel görüntüleme penceresi

Tibia Metrik Ölçümleri

Antropolojide geleneksel osteometrik ölçümler kumpas ve osteometri tahtası kullanılarak direk kuru kemikten alınmaktadır. Ancak bu çalışmada bu klasik yöntemden uyarlanan 5 tibia ölçümü, BT görüntüleri kullanılarak üç farklı görüntüleme tekniği üzerinden alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan tibia ölçümlerinin tanımları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan Tibia ölçümlerinin tanımlamaları ve kısaltmaları

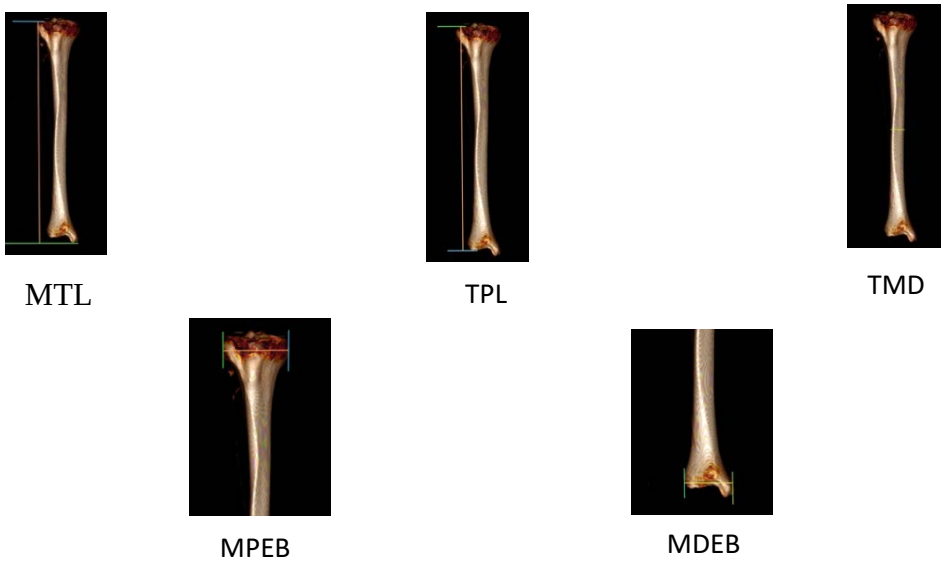
Değişkenler	Kısaltmalar	Tanımlar
Tibia uzunluğu	MTL[a]	Lateral konilin eklem yüzeyinin en üst kısmı ile medial malleolusun en alt noktası arasındaki uzunluk
Tibia maksimum proksimal epifiz genişliği	MPEB[a]	Tibia platosunun en geniş (yanlarda en fazla çıkıntı yapan) noktaları arasındaki maksimum uzunluk
Tibia maksimum distal epifiz genişliği	MDEB[a]	Medial malleolusdaki en medial noktası ile distal epifizdeki en lateral nokta arasındaki maksimum mesafe
Tibia mediolateral gövde genişliği	TMD[b]	Tibia gövdesinin ortasından alınan maksimum genişlik

Tibia Fizyolojik Uzunluk	TPL[c]	Lateral kondilin proximal yüzeyi ile medial malleosun tabanındaki talus ile eklem yapan distal yüzey arasındaki mesafe

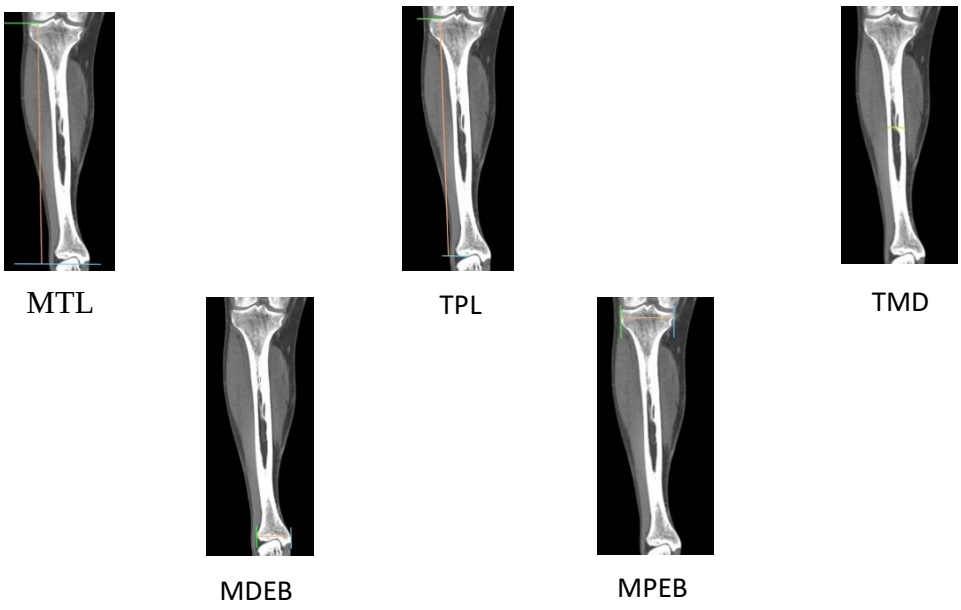
[a] Ölçümler Buikstra ve Ubelaker, (1994)'dan alınmıştır.
[b] Ölçümler Martin (1928)'den alınmıştır.
[c] Ölçümler Mongle, Wallace ve Grine, (2015)'dan alınmıştır.

Her bir görüntüleme modu OsiriX yazılımında açıldıktan sonra geleneksel ölçümlerin alınma kuralları göz önünde bulundurularak ölçümler hesaplanmıştır. Her bir ölçümden önce sanal görselleri oluşturulan tibia kemiği, mümkün olduğunca doğru landmarkları belirleyebilmek için manuel yazılım ayarları kullanılarak hizalanmıştır. Tüm landmarklar manuel olarak doğru bir şekilde işaretlendikten sonra doğrusal ölçüm modu kullanılarak ölçümler alınmıştır.

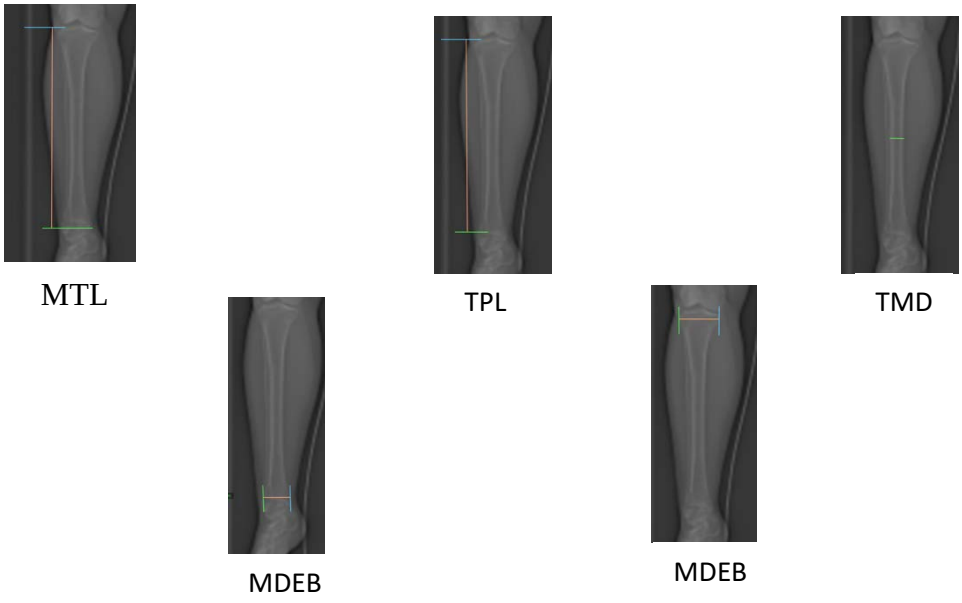
Hacim görüntüleme (Şekil 4), Multiplanar rekonstrüksiyon (Şekil 5) ve Skenogram (Şekil 6) görüntülerinden alınan ölçümler aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4: Hacimsel Görüntüleme Modu kullanılarak alınan Tibia Ölçümleri



Şekil 5: MPR Görüntüleme modu kullanılarak alınan Tibia Ölçümleri



Şekil 6: Skenogram görüntü kullanılarak alınan Tibia Ölçümleri

İstatistik

İstatistiksel analiz, WINDOWS için (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) SPSS 24.0 yazılımı ve Excel yazılımı (Microsoft Office 2010) kullanılarak yapılmıştır. Ölçümleri üç farklı görüntü tekniği (Hacimsel görüntüleme, 3B MPR ve Skenogram) arasında karşılaştırmak için tek yönlü tekrarlanan varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve hangi görüntüleme tekniğinin farklılık gösterdiğini inceleyebilmek için Bonferroni post hoc testi uygulanmıştır. Daha sonra, gözlemci içi güvenilirlik analizi için sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) kullanılmıştır. Ayrıca gözlemci hatası, Ölçüm teknik hatası (TEM), Mutlak TEM (rTEM) ve Güvenilirlik katsayısı (R) hesaplanarak analiz edilmiştir.

Hassasiyet için, en yaygın kullanılan gösterge Ölçüm Teknik Hatası'dır (TEM). Daha çok antropometrik ölçüm belirsizliğini değerlendirmek için kullanılır. TEM, tekrarlanan gözlemci içi ölçümler arasındaki standart sapmayı, yani aynı gözlemci tarafından bağımsız olarak alındığında hesaplar (Stomfai ve diğerleri 47).

TEM için kullanılan formül aşağıda verilmiştir.

$$TEM = \sqrt{\frac{(\sum D^2)}{2N}}$$

Bu formülde D, ölçümler arasındaki farkı ve N ölçülen toplam örneklem sayısını temsil etmektedir.

Mutlak TEM aşağıdaki formül kullanılarak göreli rTEM (%TEM) dönüştürülmüştür.

$$\%TEM = \left(\frac{TEM}{mean}\right) x100$$

Güvenilirlik katsayısı (R), ölçüm hatası olmayan bir popülasyondaki varyansın bir tahminini sağlar. Güvenilirlik katsayısı 0'dan (örneklemler arasındaki tüm farklılıklar ölçüm hatasının bir sonucudur) 1'e (ölçüm hatası olmadığını gösterir) değişmektedir. R genellikle yüzde olarak ifade edilmektedir (Stomfai ve diğerleri 48).

$$R\% = 1 - \left(\frac{TEM^2}{SD^2}\right)$$

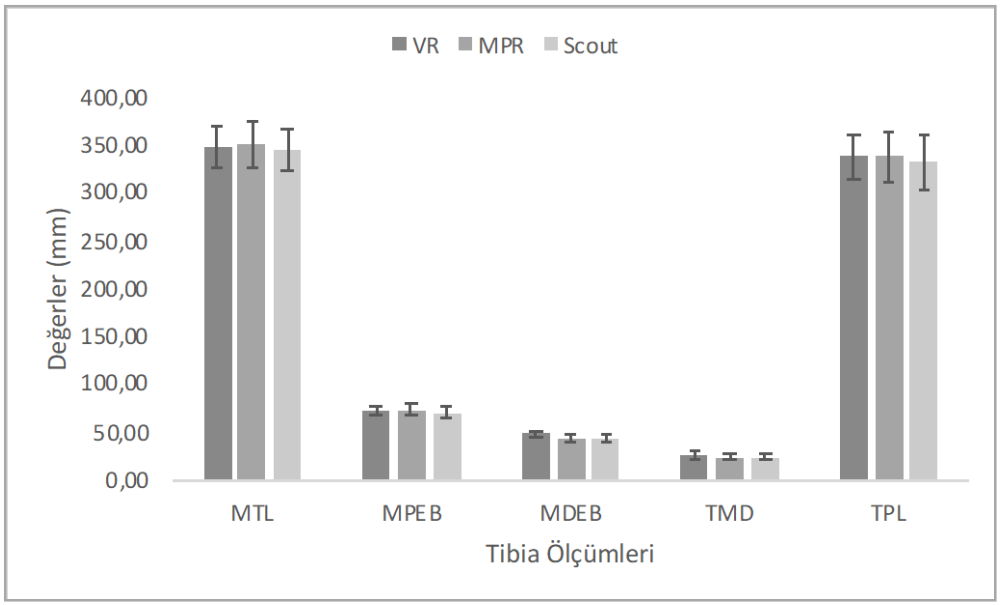
Ölçüm hatası örneklemin standart sapmasına göre küçük olduğunda R değeri yüksek olacaktır. Böylece, güvenilirlik katsayısı ne kadar yüksek olursa, ölçüm hassasiyeti de o kadar büyük olur. Genellikle 0.75'ten büyük R değerlerinin oldukça hassas olduğu düşünülmektedir (Weinberg ve diğerleri 369). Bununla birlikte

0.90'nın altındaki güvenilirlik katsayısına sahip ölçümlere dikkatli yaklaşılması gerektiği literatürde bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Torimitsu ve diğerleri 530.e4). Ayrıca daha küçük TEM değerleri daha hassas ölçümleri temsil ederken, %5'ten daha yüksek rTEM değerleri hassas olmayan ölçümleri ifade eder (Lottering ve diğerleri 35).

Anlamlılık değeri olarak $p<0.05$ kabul edilmiştir.

BULGULAR

Skenogram, 3B Multiplanar rekonstrüksiyon ve 3B Hacimsel görüntülemeden alınan ölçümlerin gözlemci içi güvenilirliği üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. İlk olarak üç farklı görüntüleme tekniğinin her ölçüm için değerlerinin karşılaştırılması grafiksel olarak gösterilmiştir. Beş değişken için her bir görüntüleme tekniğinden elde edilen ortalama değerler Şekil 7'de sunulmaktadır.



Şekil 7:Üç farklı yöntem için ortalama MTL, MPEB, MDEB, TMD ve TPL ölçümleri

Şekil 7'de Tibia maksimum proximal epifiz genişliği (MPEB) ölçümünün ortalamasının her üç görüntüleme tekniğinde birbirine oldukça yakın olduğu açıkça gözlenmektedir. Tibial uzunluk (MTL ve Fizyolojik uzunluk (TPL) için üç görüntüleme tekniği içinde ortalama değerler karşılaştırıldığında, hacimsel görüntüleme tekniğinin en düşük standart hataya sahip olduğu gözlenmektedir. Diğer taraftan, Tibia maksimum distal epifiz genişliği (MDEB) için üç görüntüleme tekniği içinde ortalama değerler karşılaştırıldığında diğer ölçümlere göre farkın daha fazla olduğunu ve skenogram görüntünün en düşük değere sahipken, hacimsel görüntülemenin en yüksek değere sahip olduğu gözlenmiştir.

Daha sonra üç görüntüleme tekniğinden elde edilen linear beş tibia ölçümü arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını hesaplamak için ANOVA kullanılmıştır. 0.05'in altındaki bir p değeri, üç yöntem arasındaki önemli ölçüm farkı ile ilişkilidir. ANOVA'nın sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Ölçüm türüne göre farklı görüntüleme tekniklerinin ANOVA sonuçları

Değişkenler	s.d.	F	p
MTL	2.42	0.215	0.807
MPEB	2.42	0.741	0.483
MDEB	2.42	7.136	0.002*
TMD	2.42	1.140	0.330
TPL	2.42	0.250	0.780

*(p<0.05)

Tablo 2'deki sonuçlara göre üç farklı görüntüleme tekniği arasında MDEB ölçümünde anlamlı bir fark vardır, ancak diğer dört ölçüm arasında anlamlı bir fark yoktur. Post hoc testinin sonuçlarına göre MDEB değişkeni için VR ve MPR modu (p=0.017) ve VR modu ile Skenogram (p=0.003) arasında anlamlı bir farklılık gözlenirken, MPR ve Skenogram arasında anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir.

Son olarak, üç görüntüleme tekniğinden alınan ölçümler için gözlemci içi güvenilirlik analiz edilmiştir. Aynı gözlemci tarafından aynı koşullar altında farklı zamanlarda alınan ölçümlerin güvenilirliğini analiz etmek için farklı istatiksel metotlar mevcuttur. Bu çalışmada tekrarlanan ölçümlerin güvenilirliği ICC ve hassasiyeti TEM analizleri kullanılarak yapılmış ve her ölçüm bir hafta arayla aynı araştırmacı tarafından iki kez tekrarlanmıştır. Sınıf içi korelasyon katsayısı üç farklı model sunar: iki yönlü karma etki modeli, iki yönlü rastgele etki modeli ve tek yönlü rastgele etki modeli. Bu çalışmada iki yönlü karma rastgele etki modeli, %95 güven aralığında tercih edilmiştir. ICC değeri 1'e yaklaştıkça güvenilirlik/uyum artmakta, 0'a yaklaştıkça uyum azalmaktadır (Steyn ve diğerleri 210.e2). Ayrıca, 0.90'dan büyük ICC değerleri yüksek güvenilirliği, 0.90 ila 0.75 arasındaki değerler iyi ve yeterli bir güvenilirliği, 0.75 ila 0.50 arasındaki değerler orta bir güvenilirliği ve 0.50'den küçük değerler düşük bir güvenilirliği ifade etmektedir (Koo ve Li 158).

Gözlemci içi güvenilirliğini analiz etmek için kullanılan sınıf içi korelasyon katsayılarının her değişken için değeri Tablo 3' de gösterilmektedir. Sonuçlara göre, VR ile oluşturulan görüntülerden alınan ölçümlerin ICC değerleri 0.913 ila 0.998

arasında değişirken, MPR ile oluşturulan görüntülerden alınan ölçümlerin ICC değerleri 0.635 ila 0.988 arasında ve Skenogram ile oluşturulan görüntülerden alınan ölçümlerin ICC değerleri 0.856 ila 0.950 arasında değişmektedir. Genel olarak, 3B Hacim oluşturma görüntülerinden alınan ölçümlerin, diğer iki görüntüleme tekniğine kıyasla gözlemci içi güvenilirliği açısından tüm değişkenler değerlendirildiğinde en yüksek güvenilirliğe sahip olduğu gözlenmiştir.

Tablo 3: Sınıf içi korelasyon karşılaştırma katsayısı (2 tekrar) (n=15)

Değişkenler	Hacimsel Görüntüleme ICC	MPR ICC	Skenogram ICC
MTL	0.998	0.996	0.950
MPEB	0.948	0.981	0.877
MDEB	0.913	0.848	0.702
TMD	0.961	0.635	0.856
TPL	0.996	0.988	0.889

Beş değerin tekrar ölçümlerinden hesaplanan TEM, rTEM ve R değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Güvenilirlik katsayısı (% R), göreceli teknik ölçüm hatası (% TEM) ve mutlak teknik ölçüm hatası (TEM) sonuçları

	N	SD	Ortalama	TEM	%TEM	R
MTL (VR)	15	24.77	351.10	1.39	0.39	0.99
MTL (MPR)	15	26.07	351.57	2.24	0.63	0.99
MTL (SW)	15	24.18	345.77	7.5	2.1	0.90
MPEB (VR)	15	5.14	72.57	1.63	2.25	0.89
MPEB (MPR)	15	5.94	73.66	1.18	1.60	0.96
MPEB (SW)	15	6.25	71.15	2.99	4.20	0.77
MDEB (VR)	15	3.50	49.15	1.41	2.88	0.83
MDEB (MPR)	15	5.00	44.36	2.59	5.84	0.73
MDEB (SW)	15	5.87	43.31	4.01	9.26	0.53
TMD (VR)	15	3.80	25.78	1.06	4.13	0.92
TMD (MPR)	15	2.82	24.10	1.59	6.60	0.68
TMD (SW)	15	3.21	24.08	1.62	6.76	0.74
TPL (VR)	15	25.23	340.55	1.52	0.44	0.99
TPL (MPR)	15	27.29	339.48	4.34	1.2	0.97
TPL (SW)	15	31.99	333.03	14.53	4.36	0.79

Kısaltmalar: R, güvenilirlik katsayısı; TEM, mutlak teknik ölçüm hatası; %TEM, göreli teknik ölçüm hatası; N, örneklem sayısı; SD, standart sapma; SW, Skenogram; VR, Hacimsel Görüntüleme; MPR, Multiplanar Rekonstrüksiyon.

Hacimsel görüntüleme modu için ortalama gözlemci içi rTEM % 0.39 ila 4.13 arasında, TEM değerleri 1.06 ila 1.63 arasında ve R değerleri 0.99 ila 0.83 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar, hacimsel görüntüleme modundan alınan ölçümler için yüksek derecede gözlemci içi hassasiyetin elde edilebileceğini göstermektedir. MPR modu için ortalama gözlemci içi rTEM % 1.18 ila 4.34 arasında, TEM değerleri 0.63 ila 6.60 arasında ve R değerleri 0.99 ila 0.68 arasında, Skenogram için ise rTEM % 1.62 ila 14.53 arasında, TEM değerleri 2.1 ila 9.26 arasında ve R değerleri 0.90 ila 0.53 arasında değişmektedir. Her üç görüntüleme tekniği için, en küçük rTEM (VR-0.39; MPR-0.63; SW-2.1) ve en yüksek güvenilirlik katsayısına (R) (VR-0.99; MPR-0.99; SW-0.90) sahip olduğundan dolayı MTL değişkeninin diğer değişkenler ile karşılaştırıldığında ölçüm hassasiyeti en yüksek değişken olduğu gözlenmiştir. Güvenilirlik katsayısı (R) 0.83 ve rTEM değeri 4.13 ile hacim görüntüleme modundan ölçümü yapılan TMD değişkeni kabul edilebilir değerler içerisinde bir ölçüm hassasiyetine sahip olmakla birlikte diğer değişkenler ile karşılaştırıldığında en düşük değerlere sahiptir. Bununla birlikte MPR modundan alınan ölçümleri değerlendirdiğimizde MTL, MPEB ve TPL değişkenleri 0.99 ila 0.96 arasında değişen güvenirlik katsayısına sahip oldukları için yüksek ölçüm hassasiyeti gösterirken, MDEB ve TMD değişkenleri 0.73 ila 0.68 değerinde güvenirlik katsayısına sahip olduklarından ve ayrıca %5 'ten yüksek rTEM değerleri (5.84 ve 6.60) ile hassas

olmayan ölçümler olarak değerlendirilebilirler. Skenogram görüntülerinden alınan ölçümler içerisinde ise MTL (TEM 7.5; rTEM 2.1; R 0.90), MPEB (TEM 2.99; rTEM 4.20; R 0.77), ve TPL (TEM 14.53; rTEM 4.36; R 0.79) değerleri ile yüksek ve orta derecede ölçüm hassasiyeti gösterirken MDEB (TEM 4.01; rTEM 9.26; R 0.53) değerleri ile düşük bir ölçüm hassasiyeti göstermektedir.

TARTIŞMA

Non-invaziv görüntüleme teknolojilerinin özellikle de medikal görüntüleme yöntemlerinden biri olan bilgisayarlı tomografinin antropolojik çalışmalarda kullanımı son yıllarda oldukça artmıştır. Bundan dolayı sanal antropoloji olarak adlandıran yeni bir alan geliştirilmiş (Kullmer 205) ve bu alanda yayınlanan çalışmaların sayısı hızla artmıştır (Giurazza ve diğerleri; Qiang ve diğerleri; G. Kim ve diğerleri). Bilgisayarlı tomografi, biyolojik profil oluşturma (Dedouit ve diğerleri, "New Identification Possibilities…"; Middleham ve diğerleri), fosil kalıntılarının incelenmesi (Spoor ve diğerleri; Böni, Ruhli ve Chhem), kitlesel felaket durumları (Høyer ve diğerleri) ile antemortem ve postmortem görüntülerin karşılaştırılması (Haglund ve Sorg) gibi farklı antropolojik incelemelerde kullanılmaktadır. Antropoloji çalışmalarında özellikle biyolojik profil oluşturulurken alınan metrik ölçümler oldukça önemlidir. Alınan bu metrik ölçümler cinsiyet tayini, boy uzunluğu gibi biyolojik profil oluştururken oldukça faydalı bilgiler edinilmesini sağlamaktadır (Thompson ve Black).

Bilgisayarlı tomografiden temin edilen görüntülerin orjinal kemikleri doğru bir şekilde yansıttıkları yapılan çalışmalar ile tekrar tekrar gösterilmiştir (Hildebolt ve diğerleri; Stull ve diğerleri) ancak yine de BT görüntülerinden elde edilen ölçümlerdeki gözlemci hataları kuru kemiklerden direk alınarak yapılandan büyük olabilmektedir. Burada yapılan hataya tarama parametleri, gözlemci deneyimi, görselleştirme modlarının seçimi, ve bu modların kullanımı gibi çeşitli sebepler neden olabilmektedir (Spake ve diğerleri). Yazılım programları bilgisayarlı tomografi görüntülerini görselleştirmek için çeşitli görüntüleme tekniklerini paketlerinde sunmaktadır. Bu sebeple, literatürde benzer çalışmalar farklı görüntüleme tekniklerini tercih edebilmektedirler. Antropolojide BT görüntülerini tercih eden çalışmalarda en sık kullanılan teknikler ise Skenogram (Harma ve Karakas; Sabharwal ve diğerleri; Vaidya ve diğerleri), Multiplanar Rekonstrüksiyon (Dong Kyu Kim ve diğerleri; Rutty ve diğerleri; Greiner ve diğerleri) ve Hacimsel görüntülemedir (Stull ve diğerleri; Zhang ve diğerleri; Gülhan, "Pelvis'ten Radyolojik Yöntemler…"). Bu nedenle bu çalışmada farklı görüntüleme teknikleriyle elde edilen ölçümlerin

gözlemci içi güvenilirliklerini karşılaştırmak için Skenogram görüntüleme, 3B Multiplanar Rekonstrüksiyon ve Hacimsel görüntüleme gibi üç farklı görüntüleme tekniğinden 5 tibia ölçümü alınmıştır.

Gözlemci içi güvenilirliği analiz etmek için sınıf içi korelasyon katsayıları (ICC) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, MPR görüntülerinden alınan ölçümlerin ICC değerleri 0.635 ila 0.996 arasında değişirken, 2B Skenogram görüntülerinden alınan ölçümlerin ICC değerleri 0.702 ila 0.950 arasında değişmekte ve 3B Hacim İşleme görüntülerinden alınan ölçümlerin ICC değerlerinin 0.913 ila 0,998 arasında değiştiği gözlenmektedir. 3B Hacimsel görüntüleme modundan alınan ölçümlerin gözlemci içi güvenilirlik değerleri diğer iki teknikle karşılaştırıldığında sadece hacimsel görüntülemeden alınan tüm ölçümlerin değerlerinin kabul edilen ICC değerine ulaştığı gözlenmektedir.

Çalışmada ayrıca ölçümlerin belirsizliğini ve hassasiyetini değerlendirmek için Ölçüm teknik hatası (TEM) kullanılmıştır. Temel olarak, hassasiyet bir ölçümün tekrarlanabilirliğinin bir değerlendirmesidir (Kieser) ve antropolojik bir çalışmada kullanılan bir yöntemin Daubert standartları uyarınca tekrarlanabilir ve güvenilir olduğunun kanıtlanması önemlidir.

Çalışmanın sonuçlarına göre hacim görüntüleme modundan alınan beş tibia ölçümlerinin hepsi TEM, rTEM ve R ile ilgili değerlendirildiğinde literatüre göre hassasiyet hatalarının küçük olduğu gözlenmiştir. Bundan dolayı, hacim görüntüleme modundan elde edilen ölçümler için yüksek derecede gözlemci içi hassasiyet elde edilebileceği gözlenmiştir. Buna rağmen, MPR ve Skenogram görüntülerinden elde edilen MTL, MPEB ve TPL ölçümlerinin TEM, rTEM ve R değerlerinin istenilen sınırda olmasına rağmen, MDEB ve TMD ölçümlerinin olması gereken sınırların üzerinde olması bu ölçümlerin hata oranlarının yüksek olduğunu ve kullanımında dikkat edilmesi gerektiği gözlenmiştir. MPR'dan alınan MPEB ölçümünün diğer iki modele göre görece daha yüksek ICC (Tablo 3) değerine sahip olmasına rağmen, bu işleme modunun doğası gereği her metrik ölçümün aynı güvenilirlikle alınabilmesi mümkün olmamıştır. Örneğin, TMD ölçümündeki düşük güvenilirlik değeri, şimdilik MPR tekniğinin tüm metrik ölçümler için yeterli bir gözlemci içi güvenilirlik sağlayamadığını göstermiştir. MPR modu kullanılarak yapılan ölçümler, kullanıcı tarafından belirlenen bir plan boyunca tek bir dilim üretilerek alınır. MPR kullanımına yönelik literatürdeki temel eleştirilerden bir tanesi, MPR görüntülerinden ölçüm alınırken belirlenen anatomik noktaların tutarlı bir yöneliminin sağlanabilmesinin zor olabileceğidir (Lottering ve diğerleri 35; Spake ve

diğerleri). Mesela, alınmak istenen ölçümün landmarklarının aynı düzlemde MPR üzerinde aynı anda görüntülenebilmesi mümkün olamayabilmektedir. Eğer landmarkla doğru bir şekilde belirlenemezse, bu durum ölçüm hatasını artırmaktadır.

Aynı şekilde Skenogramdan alınan bazı ölçümlerin güvenilirliği istenilen aralıkta olmasına rağmen, düşük güvenilirlik gösteren MDEB ve TMD gibi ölçümlerde vardır. Bununla birlikte diğer iki görüntüleme tekniği ile karşılaştırıldığında iki boyutlu görüntüye sahip olması sebebiyle metrik ölçümlerin sınırlılığı en fazla olan modeldir. Çünkü bu 2B görüntülerde, görüntüdeki kemiğin yönüne bağlı olarak literatürde kullanılan tüm metrik ölçümlerin alınabilmesi için gerekli landmarkların belirlenmesi zor hatta bazı durumlarda imkansız olabilmektedir. Bu durum bu tekniğin kullanılabilirliğini sınırlamaktadır. Her ne kadar Skenogram görüntüsünden alınan MTL, MDEB ve TPL ölçümlerinin güvenilirlik sonuçları iyi ve orta seviyede bulunmuş olsa da tibiadan alınan tüm ölçümlerin bu görüntüleme tekniğinde uygulanabilirliği olmadığı için daha kapsamlı ve daha farklı açılardan ölçüm alınması gereken çalışmalar için uygun olmadığı gözlenmektedir. Skenogramdan alınan ölçümler, VR ve MPR'dan alınan ölçümlere göre daha kısa zamanda ve daha kolay elde ediliyor olsa da görüntü kalitesi ve kemiğin sadece belli bir kısmının çalışılmasına olanak vermesi sebebiyle bu alanda yapılacak araştırmaların geneli için gerekli özellikleri karşılamadığını göstermektedir. Uygulama kolaylığı, kemiğin her açıdan görüntülenebilmesi MPR ve VR modlarının avantajlı yönleridir. Bununla birlikte, MPR'da bazı örneklemler için TMD gibi ölçümlerin uygulanmasının zor olduğu ve bunun için belli bir deneyim gerektiği gözlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre test edilen her bir değişkende hacimsel görüntülemenin güvenilirliği diğer iki görüntüleme tekniğine göre daha iyi bulunmuştur. Üç boyutlu hacimsel görüntüleme moduyla oluşturulmuş görüntüler, x, y ve z düzlemlerinde görselleştirilerek, istenilen metrik ölçümlerin elde edilmesi için gerekli anatomik yer işaretlerini tanımlayabilmek için döndürülebilmektedirler. Bu sebeple üç boyutlu hacimsel görüntü sağlayan ve kemiğin farklı noktalarının aynı görüntüde görünebilmesine izin veren VR'dan alınan landmarkların daha kolay belirlenebilmesini sağlamakta ve bu durumda ölçümün daha yüksek güvenilirlikle üretilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmada; VR'den alınan ölçümlerin gözlemci içi güvenilirliklerinin daha yüksek olmasının sebeplerinden biri VR'nin sağladığı görüntü yapısının tibiadan alınan ölçümler için gerekli landmarkların daha kolay belirlenebilmesi olabilir. Ancak, VR moduda bazı durumlarda segmentasyon

gerektirdiği için bu durum zaman alıcı olabilmekte ve gözlemcinin tecrübesine göre segmentasyon işlemi istenilen görüntünün elde edilmesini zorlaştırabilmektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlardan da anlaşıldığı gibi MPR, VR ve Skenogramdan elde edilen ölçümlerin gözlemci içi güvenilirliği arasındaki farklar yapılan araştırmaların geçerliliği ve bu çalışmaların birbirleri ile karşılaştırılabilirliği açısından oldukça önemlidir. Sonuç olarak tibiadan alınan 5 doğrusal ölçüm içerisinden MTL, MPEB ve TPL ölçümlerinde kullanılan görüntüleme tekniğinin güvenilirliği açısından çok az farklarının olduğu ancak MDEB ve TMD ölçümlerinde hacimsel görüntüleme modunun tercih edilmesinin daha güvenilir sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ancak ilerleyen yıllarda daha yüksek çözünürlüklü skenogram görüntülerinin kullanılması durumunda TMD gibi belirli ölçümlerle yapılacak çalışmalarda bu görüntüleme tekniğinden alınan ölçümün daha kolay ve kısa olması sebebiyle tercih edilmesi mümkün olabilir. Ancak yine de yukarıda belirtildiği gibi skenogram görüntülerin kemiğin sadece belli bir kısmını yansıtması antropolojik çalışmalarda kullanılan metrik ölçümlerin çeşitliliği düşünüldüğünde sınırlı bir kullanımın olması kaçınılmazdır.

Üç farklı görüntüleme tekniği arasındaki beş tibia ölçümünden ikisinde bulunan gözlemci içi güvenilirlik ve ANOVA analizi sonucu bir ölçümde çıkan anlamlı farklılık, örneklem sayısının küçük olması veya kullanılan her bir yöntemin optimize edilirken yapılan eksikler nedeniyle meydana gelmiş olabilir. Bununla birlikte, bu çalışmanın sonuçları aynı yazılım programı tarafından üretilse bile, bu üç teknik arasındaki bazı ölçümlerde hala farklılıklar olabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, benzer çalışmalardan alınan ve farklı görüntüleme tekniklerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmadan önce bu farklılıklar dikkate alınmalıdır. Ayrıca, hacim oluşturma yöntemi diğer iki yöntemden daha yüksek gözlemci içi güvenilirlik sonuçlarına sahip olduğundan, çalışmalarda eğer ölçüm yöntemleri elverişli ise hacim oluşturma tekniğinin kullanılması daha avantajlı gözükmektedir.

SONUÇ

Çağdaş iskelet materyallerinin olmadığı durumlarda araştırmacılar çalışmalarını yaşayan popülasyonlar üzerinde yapmaya başlamıştır. Bilgisayarlı tomografi gibi gelişen teknolojiyle artık tıbbi veri tabanlarında yer alan BT taramalarından doğru iskelet ölçümleri almak kolaylaşmıştır. Bu makalede, Skenogram, 3B Multiplanar rekonstrüksiyonu ve 3B hacim görüntüleme tekniklerinden alınan ölçümlerin gözlemci içi güvenilirliklerinin karşılaştırılması üzerine bir araştırma sunulmuştur. Üç görüntüleme yöntemi arasında yalnızca bir

ölçümde anlamlı bir fark varken diğer dört ölçüm arasında anlamlı bir fark yoktur. Genel olarak, 3B Hacim İşleme görüntülerinden alınan ölçümler, diğer iki görüntüleme tekniğine kıyasla en yüksek gözlemci içi güvenilirliğe sahiptir. Çalışmanın sonuçlarına göre VR'nin gözlemci içi güvenilirliği 0.998-0.948 (yüksek güvenilirlik) arasında değişmekte ve bu durum özellikle adli antropoloji çalışmaları için önerilen ICC değerini karşılamaktadır. MPR'dan alınan ölçümlerin gözlemci içi güvenilirliği 0.988-0.635 (yüksek güvenilirlik ile orta güvenilirlik) arasında değiştiği ve son olarak Skenogram görüntülerinden alınan ölçümlerin gözlemci içi güvenilirliği 0.950-0.702 (yüksek ve ortagüvenilirlik arasında) arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu çalışmadan çıkan sonuçlar BT'den elde edilen tibia görüntülerinden alınan metrik ölçümlerin gözlemci içi güvenilirliği ile ilgili antropolojik araştırmalarda bu teknikler kullanılırken fayda sağlayacaktır.

ÖNERİLER

Sonuç olarak tibiadan alınan beş metrik ölçümde üç farklı görüntüleme tekniği arasında çok ciddi farklar olmamakla birlikte çıkan sonuçlara göre görüntülemede VR'nin tercih edilmesinin daha doğru sonuçlar vereceği düşülmektedir. Ancak örneklem sayısı artırılarak ayrıca gözlemciler arası güvenilirlik uygulanarak yapılacak ileri bir çalışmanın bu metotlar arasındaki güvenilirlik kıyaslaması hakkında daha ayrıntılı yorumlar yapmamıza yardımcı olacaktır.

KAYNAKÇA

Bernadette, M. Manifold. "Bone Mineral Density in Children From Anthropological and Clinical Sciences: A Review." *Anthropological Review* 77.2 (2014): 111–135.

Biwasaka, Hitoshi ve diğerleri. "Analyses of Sexual Dimorphism of Reconstructed Pelvic Computed Tomography Images of Contemporary Japanese Using Curvature of the Greater Sciatic Notch, Pubic Arch and Greater Pelvis." *Forensic Science International* 219.1-3 (2012): 288.e1-288.e8. Web. 14 Aralık 2019.

Böni, Thomas, Frank Ruhli ve Rethy K. Chhem. "History of Paleoradiology: Early Published Literature, 1896-1921." *Canadian Association of Radiologists* 55.4 (2004): 203-210. Web. 19 Mayıs 2019.

Brenner, David J. "Should We Be Concerned about the Rapid Increase in CT Usage?" *Reviews on Environmental Health* 25.1 (2010): 63–68.

Brook, Olga R. ve diğerleri. "CT Scout View as an Essential Part of CT Reading." *Australasian Radiology* 51.3 (2007): 211–217.

Brough, Alison L. ve diğerleri. "Anthropological Measurement of the Juvenile Clavicle Using Multi-Detector Computed Tomography—Affirming Reliability." *Journal of Forensic Sciences* 58.4 (2013): 946–951.

---. "Post-Mortem Computed Tomography and 3D Imaging: Anthropological Applications for Juvenile Remains." *Forensic Science, Medicine, and Pathology* 8.3 (2012): 270–279.

Buikstra, Jane E. ve Dougles Ubelaker. *Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains.* Arkansas Archeological Survey Research Series, 1994.

Calhoun, Paul S. ve diğerleri. "Three-Dimensional Volume Rendering of Spiral CT Data: Theory and Method 1." *Radiographics* 19.3 (1999): 745–764.

Cavalcanti, Marcelo ve Michael Vannier. "Quantitative Analysis of Spiral Computed Tomography for Craniofacial Clinical Applications." *Dento Maxillo Facial Radiology* 27.6 (1998): 344–350.

Cavalcanti, Marcelo ve diğerleri. "Craniofacial Measurements Based on 3D-CT Volume Rendering: Implications for Clinical Applications." *British Institute of Radiolog* 33.3 (2004): 170-176.

Chiba, Fumiko ve diğerleri. "Age Estimation by Quantitative Features of Pubic Symphysis Using Multidetector Computed Tomography." *International Journal of Legal Medicine* 128.4 (2014): 667-673.

Clavero, Ana ve diğerleri."Sex Prediction from the Femur and Hip Bone Using a Sample of CT Images from a Spanish Population." *International Journal of Legal Medicine* 129.2 (2015): 373–383.

Corron, Louise ve diğerleri. "Evaluating the consistency, repeatability, and reproducibility of osteometric data on dry bone surfaces, scanned dry bone surfaces, and scanned bone surfaces obtained from living individuals." *Bulletins et Memoires de La Societe d'Anthropologie de Paris* 29.1-2 (2017): 33-53.

Decker, Summer J. ve diğerleri. "Virtual Determination of Sex: Metric and Nonmetric Traits of the Adult Pelvis from 3D Computed Tomography Models*,†." *Journal of Forensic Sciences* 56.5 (2011): 1107–1114.

Dedouit, Fabrice ve diğerleri. "New Identification Possibilities with Postmortem Multislice Computed Tomography." *International Journal of Legal Medicine* 121. 6 (2007): 507–510.

---. "Virtual Anthropology and Forensic Identification Using Multidetector CT." *The British Journal of Radiology* 87.1036 (2014): 1-12.

Fradella, Henry F. ve diğerleri. "The Impact of Daubert on the Admissibility of Behavioral Science Testimony." *Pepperdine Law Review* 30.2 (2003): 403–444.

Franklin, Daniel ve diğerleri. "Morphometric Analysis of Pelvic Sexual Dimorphism in a Contemporary Western Australian Population." *International Journal of Legal Medicine* 128.5 (2014): 861–872.

Giurazza, Francesco ve diğerleri. "Stature Estimation from Scapular Measurements by CT Scan Evaluation in an Italian Population." *Legal Medicine* 15.4 (2013): 202-208.

Grabherr, Silke ve diğerleri."Estimation of Sex and Age of 'Virtual Skeletons'–a Feasibility Study." *European Radiology* 19.2 (2009): 419-429.

---."Post-Mortem Imaging in Forensic Investigations: Current Utility, Limitations, and Ongoing Developments." *Research and Reports in Forensic Medical Science* 6 (2016): 25-37.

Greiner, Philippe ve diğerleri. "Computed Tomography Evaluation of the Femoral and Tibial Attachments of the Posterior Cruciate Ligament in Vitro." *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 19.11 (2011):1876-1883.

Guenoun, Benjamin ve diğerleri. "Reliability of a New Method for Lower-Extremity Measurements Based on Stereoradiographic Three-Dimensional Reconstruction." *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 98.5 (2012): 506–513.

Gülhan, Öznur. "Antropolojide Non-Invaziv Görüntüleme Yöntemleri." *Antropoloji* 38 (2019): 79–93.

---. "Pelvis'ten Radyolojik Yöntemler İle Cinsiyet Tayini: Türkiye Örneklemi." *Antropoloji* 36 (2018): 53–69.

Gülhan, Öznur, Karl Harrison ve Adem Kiris. "A New Computer-Tomography-Based Method of Sex Estimation: Development of Turkish Population-Specific Standards." *Forensic Science International* 255 (2015): 2-8.

Haglund, William D. ve Marcella H. Sorg. *Advances in Forensic Taphonomy: Method, Theory, and Archaeological Perspectives*. Boca Raton,FL:CRC Press, 2010.

Harma, Ahmet ve Hakki Muammer Karakas. "Determination of Sex from the Femur in Anatolian Caucasians: A Digital Radiological Study." *Journal of Forensic and Legal Medicine* 14.4 (2007): 190-194.

Hildebolt, Charles F. ve diğerleri. "Validation Study of Skull Three-dimensional Computerized Tomography Measurements." *American Journal of Physical Anthropology* 82.3 (1990): 283-294.

Hishmat, Asmaa Mohammed ve diğerleri. "Virtual CT Morphometry of Lower Limb Long Bones for Estimation of the Sex and Stature Using Postmortem Japanese Adult Data in Forensic Identification." *International Journal of Legal Medicine* 129.5 (2015): 1173-1182.

Høyer, Christian Bjerre ve diğerleri. "Investigation of a Fatal Airplane Crash: Autopsy, Computed Tomography, and Injury Pattern Analysis Used to Determine Who Was Steering the Plane at the Time of the Accident. A Case Report." *Forensic Science, Medicine, and Pathology* 8.2 (2012): 179-188.

Ishak, Nur-Intaniah ve diğerleri. "Estimation of Stature from Hand and Handprint Dimensions in a Western Australian Population." *Forensic Science International* 216.1 (2012): 199.e1-199.e7. Web. 25 Ekim 2019.

Kieser, Julius A. *Human Adult Odontometrics:the study of variation in adult tooth size*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

Kim, Dong Kyu ve diğerleri. "Method of Individual Adjustment for 3D CT Analysis: Linear Measurement." *BioMed Research International* 2016 (2016): 1-9.

Kim, Gihyeon ve diğerleri. "Accuracy and Reliability of Length Measurements on Three-Dimensional Computed Tomography Using Open-Source OsiriX Software." *Journal of Digital Imaging* 25.4 (2012): 486-491.

Kjellberg, Martin ve diğerleri. "Measurement of Leg Length Discrepancy after Total Hip Arthroplasty. the Reliability of a Plain Radiographic Method Compared to CT-Scanogram." *Skeletal Radiology* 41.2 (2012): 187–191.

Koo, Terry K. ve Mae Y. Li. "A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research." *Journal of Chiropractic Medicine* 15.2 (2016):155-163.

Kullmer, Ottmar. "Benefits and Risks in Virtual Anthropology." *Journal of Anthropological Sciences* 86 (2008): 205–207.

Lesciotto, Kate M. "The Impact of Daubert on the Admissibility of Forensic Anthropology Expert Testimony." *Journal of Forensic Sciences* 60. 3 (2015): 549–555.

Lottering, Nicolene ve diğerleri. "Introducing Standardized Protocols for Anthropological Measurement of Virtual Subadult Crania Using Computed Tomography." *Journal of Forensic Radiology and Imaging* 2.1 (2014): 34-38.

Martin, Rudolf. Lehrbuch der Anthropologie. Jena:Verlag von Gustav Fischer,1928. Web. 1 Ekim 2019.

Melissano, G. ve diğerleri. "Demonstration of the Adamkiewicz Artery by Multidetector Computed Tomography Angiography Analysed with the Open-Source Software OsiriX." *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery* 37.4 (2009): 395–400.

Middleham, Helen P. ve diğerleri. "Sex Determination from Calcification of Costal Cartilages in a Scottish Sample." *Clinical Anatomy* 28.7 (2015): 888–895.

Minier, Marie ve diğerleri. "Fetal Age Estimation Using MSCT Scans of the Mandible." *International Journal of Legal Medicine* 128.3 (2014): 493-499.

Mongle, Carrie S., Ian J. Wallace ve Frederick E. Grine. "Cross-Sectional Structural Variation Relative to Midshaft along Hominine Diaphyses. II. the Hind Limb." *American Journal of Physical Anthropology* 158.3 (2015): 398–407.

Qiang, Minfei ve diğerleri. "Measurement of Three-Dimensional Morphological Characteristics of the Calcaneus Using CT Image Post-Processing." *Journal of Foot and Ankle Research* 7.1 (2014): 7-19.

Ramsthaler, Frank ve diğerleri. "Digital Forensic Osteology: Morphological Sexing of Skeletal Remains Using Volume-Rendered Cranial CT Scans." *Forensic Science International* 195.1 (2010):148–152.

Robinson, Claire ve diğerleri."Anthropological Measurement of Lower Limb and Foot Bones Using Multi-Detector Computed Tomography." *Journal of Forensic Sciences* 53.6 (2008):1289–1295.

Rutty, Guy Nathan ve diğerleri. "The Role of Micro-Computed Tomography in Forensic Investigations." *Forensic Science International* 225.1-3 (2013):60-66.

Sabharwal, Sanjeev ve diğerleri. "Computed Radiographic Measurement of Limb-Length Discrepancy. Full-Length Standing Anteroposterior Radiograph Compared with Scanogram." *The Journal of Bone and Joint Surgery* 88.10 (2006): 2243–2251.

Sapse, Danielle ve Lawrence Kobilinsky. *Forensic Science Advances and Their Application in the Judiciary System.* Boca Raton,FL:CRC Press, 2011.

Schmeling, Andreas. "Age Estimation in the Living: Imaging and Age Estimation." *Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine*, Ed. Roger Byard ve Jason Payne-James. London: Elsevier Academic (2015): 70–78.

Spake, Laure ve diğerleri. "A Simple and Software-Independent Protocol for the Measurement of Post-Cranial Bones in Anthropological Contexts Using Thin-Slab Maximum Intensity Projection." *Forensic Imaging* (2020): 200354. Web. 25 Şubat 2020.

Spoor, Fred ve diğerleri. "Using Diagnostic Radiology in Human Evolutionary Studies." *Journal of Anatomy* 197.1 (2000): 61-76.

Steyn, M. ve diğerleri. "An Assessment of the Repeatability of Pubic and Ischial Measurements." *Forensic Science International* 214.1-3 (2012): 210.e1-210.e4. Web. 8 Eylül 2019.

Stomfai, S. ve diğerleri. "Intra-and Inter-Observer Reliability in Anthropometric Measurements in Children." *International Journal of Obesity* 35 (2011): 45–51. Web. 19 Ekim 2019.

Stull, Kyra E. ve diğerleri."Accuracy and Reliability of Measurements Obtained from Computed Tomography 3D Volume Rendered Images." *Forensic Science International* 238 (2014):133-140.

Tersigni-Tarrant, MariaTeresa A. ve Natalie R. Shirley. *Forensic Anthropology : An Introduction*. Boca Raton,FL:CRC Press, 2013.

Thompson, Tim. ve Sue Black. *Forensic Human Identification: An Introduction*. Boca Raton, FL:CRC Press, 2006.

Torimitsu, Suguru ve diğerleri. "Morphometric Analysis of Sex Differences in Contemporary Japanese Pelves Using Multidetector Computed Tomography." *Forensic Science International* 257 (2015): 530.e1-530.e7. Web. 1 Eylül 2018.

Uldin, Tanya. "Virtual Anthropology – a Brief Review of the Literature and History of Computed Tomography." *Forensic Sciences Research* 2.4 (2017): 165–173. Web. 1 Ekim 2019.

Vaidya, Rahul ve diğerleri. "CT Scanogram for Limb Length Discrepancy in Comminuted Femoral Shaft Fractures Following IM Nailing." *Injury* 43.7 (2012): 1176-1181.

Verhoff, Marcel A. ve diğerleri. "Digital Forensic Osteology—Possibilities in Cooperation with the Virtopsy® Project." *Forensic Science International* 174.2 (2008): 152–156.

Villa, Chiara ve diğerleri. "Evaluating Osteological Ageing from Digital Data." *Journal of Anatomy* 235.2 (2016): 386–395.

Weinberg, Seth M. ve diğerleri. "Intraobserver Error Associated with Measurements of the Hand." *American Journal of Human Biology* 17.3 (2005): 368-371.

Zhang, Kui ve diğerleri. "Sexual Dimorphism of Sternum Using Computed Tomography – Volume Rendering Technique Images of Western Chinese." *Australian Journal of Forensic Sciences* 48. 3 (2016): 297–304.