

Tamamlayıcı Görüntüleme Yöntemi: Raster-stereografinin Kullanılabilirliği ve Radyografi ile Validasyonu

Complementary Imaging Method: Applicability of Raster-stereography and Validation by Radiography

© Altuğ Yücekul

Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Öz

Amaç: Raster-stereografi (RST) tekrarlayan radyasyon dozlarından kaçınmak için radyografik görüntülemeye alternatif olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmanın amacı adölesan idiyoatik skolyoz hastalarında, retrospektif olarak çekilmiş olan RST'yi radyografi ile karşılaştırılmak ve sagittal, koronal ve horizontal düzlem parametrelerinde geçerlilik onayını (validasyon) belirlemektir.

Gereç ve Yöntem: Daha önce çift düzlemli radyografi (EOS) ile eş zamanlı RST çekimleri yapılmış hastalar retrospektif olarak tarandıktan sonra 31 hasta çalışmaya alındı. EOS ve RST'de uzunluk (gövde uzunluğu), pelvik parametreler (pelvik obliklik, pelvik eğiklik, sakral eğim, pelvik inklinasyon), sagittal düzlem (torakal kifoz, lomber lordoz, T1 eğim, sagittal imbalans), koronal düzlem (ana Cobb açısı, orta hat apikal deviasyon, T1 eğiklik) ve horizontal düzlem (rotasyon miktarı) parametreleri ölçüldü ve değerler karşılaştırılarak birbirleri ile ilişkileri incelendi.

Bulgular: Gövde uzunluk ölçümünde, RST ve EOS arasında yüksek ilişki bulundu ($r=0,940$; $p<0,001$). Koronal Cobb açısı, apeks-orta hat mesafesi, pelvik obliklik ve koronal dizilim ölçümlerinde (sırasıyla $r=0,628$, $r=0,832$, $r=0,815$, $r=0,577$; $p<0,001$) orta-yüksek ilişki olduğu saptandı. Torasik kifoz ve sagittal dizilimde orta dereceli ilişki saptanırken ($r=0,562$, $r=0,452$; $p=0,001$), lomber lordozda ilişki olmadığı görüldü ($r=-0,276$; $p>0,05$). Vertebra rotasyon ölçümünde RST ve EOS arasında zayıf bağıntı belirlendi ($r=0,377$; $p=0,004$).

Sonuç: RST ve EOS arasında koronal değerlerde orta-yüksek ilişki, sagittal ve horizontal düzlem ölçümlerinde orta-zayıf ilişki saptanmıştır. Skolyoz olan hastalarda, RST'nin deformiteyi anlamada ve analizinde başarılı sonuçlar verdiği saptanmıştır. Sagittal ve horizontal düzlem deformitelerinin analizinde ise daha fazla çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Rehabilitasyon ve korse ile takip edilen skolyoz hastalarında, özellikle büyüme çağında tekrarlayan radyasyon kullanımından kaçınmak için, RST'nin tamamlayıcı şekilde kullanımı mümkündür, ancak takip protokolleri konusunda ileri çalışmalar gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: EOS Radyografi, Rasterstereografi, Yüzey Topografisi, Adölesan İdiyoatik Skolyoz, Radyasyon Bağımsız Görüntüleme Yöntemleri

Abstract

Objectives: Raster-stereography (RST) has been developed as an alternative to plain radiography to avoid repeated radiation doses. The aim was to compare retrospectively evaluated RST with radiography in adolescent idiopathic scoliosis and to determine its validation in sagittal, coronal and axial plane parameters.

Materials and Methods: After retrospective evaluation of the patients with biplanar radiography (EOS) and RST scans, 31 patients were included. Height (trunk height), pelvic parameters (pelvic obliquity, pelvic tilt, sacral slope, pelvic inclination), sagittal plane (thoracic kyphosis, lumbar lordosis, T1 slope, sagittal imbalance), coronal plane (main Cobb angle, apical deviation, T1 tilt) and axial plane (rotation) parameters were measured in EOS and RST, and the values were compared for examining their relationships with each other.

Results: In trunk length measurements, a high correlation was observed between RST and EOS ($r=0.940$; $p<0.001$). In coronal Cobb angle, apex-midline distance, pelvic obliquity and coronal malalignment ($r=0.628$, $r=0.832$, $r=0.815$, $r=0.577$; $p<0.001$, respectively), a moderate-high correlation

Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Altuğ Yücekul

Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Tel.: +90 532 490 30 43 E-posta: ayucekul@gmail.com ORCID ID: orcid.org/0000-0002-1942-2444

Geliş Tarihi/Received: 24.12.2020 Kabul Tarihi/Accepted: 05.01.2021

©Telif Hakkı 2021 Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası, Galenos Yayınevi tarafından yayınlanmıştır.

Yayınlanan tüm içerik CC BY-NC-ND lisansı altındadır.



Abstract

was found. There was a moderate correlation in thoracic kyphosis and sagittal malalignment ($r=0.562$, $r=0.452$; $p=0.001$) while there was no correlation in lumbar lordosis ($r=-0.276$; $p>0.05$). A weak correlation was found in vertebral rotation measurements ($r=0.377$; $p=0.004$).

Conclusion: RST was successful in understanding the deformity and in coronal plane analysis. Further studies will determine its utility in the analysis of sagittal and axial planes. It is possible to use RST as a complement to radiography for patients undergoing scoliosis rehabilitation, especially in the growing age, to avoid repeated radiation exposure. Further studies are warranted to determine follow-up protocols.

Key Words: EOS Radiography, Rasterstereography, Surface Topography, Adolescent Idiopathic Scoliosis, Radiation-free Imaging Methods

Giriş

Adölesan idiopatik skolyoz (AIS) sagittal, koronal ve horizontal düzlemde dizilim ve şekil değişiklikleri ile karakterize, omurganın 3 boyutlu deformitesidir (1). Tanı ve takibinde doğrudan omurganın morfolojisinin görüntülenmesini sağlayan ayakta postero-anterior omurga radyografileri, Cobb açısı ölçümüne de izin vermesi nedeniyle altın standart olarak kabul edilmektedir (2). Radyografik değerlendirme, omurganın yalnızca 2 boyutlu görüntülenmesini sağlamanın yanı sıra, özellikle büyüme çağındaki çocukların takip ve tedavilerinde, yüksek doz radyasyon ve kanser ilişkisi nedeniyle ciddi dezavantajlara sahiptir (3,4). Geleneksel röntgen cihazlarında tekrarlayan yüksek doz iyonize radyasyon ve artmış onkojenik riskten kaçınmak için, düşük doz radyografik görüntüleme sistemleri (örneğin; EOS® düşük doz çift düzlemler radyografiler; EOS imaging, Paris, Fransa) ve radyasyon içermeyen yöntemler geliştirilmiştir.

Yüzey topografisi, skolyoz tanı ve takibinde, radyasyon içermeyen yöntemler arasında hasta takibi için tamamlayıcı bir araç olarak yer almaktadır (5). Yüzey topografisine dayanan ve radyografiye alternatif, Moiré topografisi, lazer tarayıcı, elektromanyetik topografi, ultrason görüntüleme ve raster-stereografi (RST) gibi çok farklı sistemler geliştirilmiştir (6-13). Drerup ve Hierholzer (14) tarafından radyografiye alternatif olarak geliştirilen RST'de (15), 3 boyutlu omurga deformitesinin ölçümü, nirengi prensiplerine dayanarak sırtın yüzeyi topografisinin analizi ile gerçekleştirilmektedir.

RST temelli sırt ölçüm yöntemlerinin, radyografi ile karşılaştırıldığındaki düşük korelasyon, omurganın 3 boyutlu yapısının anlaşılmasında radyografinin hala altın standart olduğunu göstermektedir (5). Ancak omurga deformitesinin dolaylı ölçümünün yapılabilmesi, ekonomik ve hızlı bir yöntem olması nedeniyle RST, erken tarama amacıyla ve omurga deformitesinin varlığının anlaşılmasında kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde en yaygın kullanılan RST ürünlerinden biri Formetrik-4D sistemidir (Formetric -4D Diers, International GmbH, Schlangenband, Almanya). Diers Formetrik-4D sisteminin, AIS'li hastaların spinal deformitelerinin değerlendirilmesinde kullanılmış, çoğu çalışma ile tekrar test güvenilirliği gösterilmiş

ancak, altın standart olan radyolojik ölçümler ile validasyonunu değerlendiren kısıtlı sayıda çalışması bulunmaktadır (16-22). Karşılaştırma çalışmalarında diğer bir kısıtlılık ise sadece birkaç radyografik parametreyi farklı metodolojiler ile değerlendirmiş olmalarıdır.

RST ölçümünü yapan medikal cihazların, omurga deformitesi takibi yapan merkezlerde yaygınlaşması ve artan bilimsel yayınlar sayesinde, son yıllarda radyasyon içermeyen alternatif görüntüleme ve takip yöntemi olarak kullanımı giderek artmaktadır (23). Bu çalışma ile amaçlanan AIS hasta grubunda, tüm vücut EOS çift-düzlemler görüntülemelerde elde edilen detaylı sagittal, koronal ve horizontal ölçümler ile formetrik-4D RST analizinde elde edilen ölçümleri, karşılaştırarak, iki sistemin ilişkilerini değerlendirmektir ve yerine kullanılabilirliğini saptamaktır.

Gereç ve Yöntem

Etik kurul izninin alınmasını takiben, çalışmaya katılma öncesinde onamları alınmış, skolyoz ile başvuran ve tüm vücut çift düzlemler radyografik değerlendirme için EOS çekimine ilave aynı gün RST görüntüsü olan hastalar, retrospektif olarak taranarak çalışmaya dahil edildi. Aynı gün çekimi olan hastalar çalışmaya alınarak, EOS ve RST çekimleri arasında farkındalık gelişmesi ve uzun zaman farkı nedeniyle duruş değişikliği olması ihtimalinin önüne geçilmesi hedeflendi.

Çalışmaya; 10 yaşından büyük, daha önce geçirilmiş cerrahi hikayesi olmayan, bilinen nörolojik problemi olmayan hastalar dahil edilirken sırtında dövme, yara izi olan hastalar ve vücut kitle indeksi 40 üzerinde olanlar çalışmadan çıkarılmışlardır.

RST

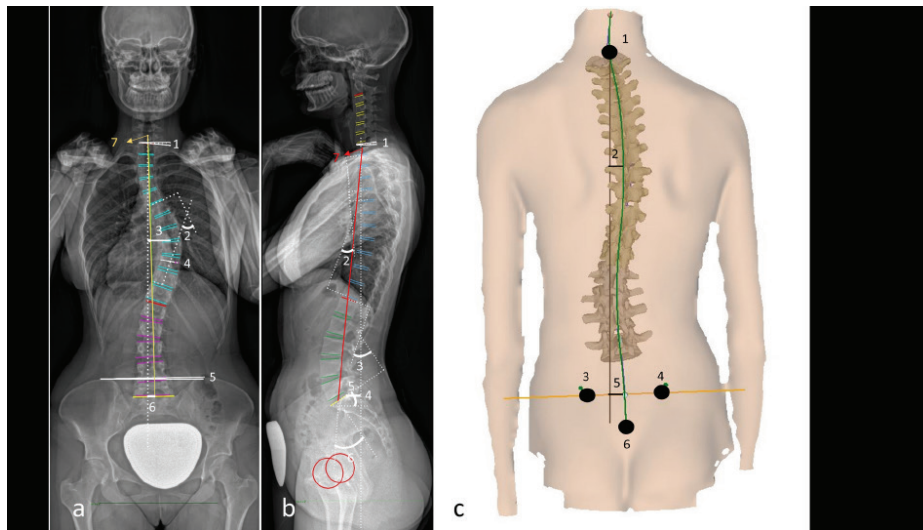
Katılımcıların omurgaları Dicom 3v3.11 işletim sistemli Diers formetrik-4D sistemi (DIERS International GmbH; Schlangenbad, Almanya) ile görüntülendi. RST'de hastanın sırtına beyaz ışık çizgileri (raster çizgileri) yansıtılmakta ve sırtın 3 boyutlu şeklinin bu çizgileri bükmesi kullanılarak, oluşan kavisli ışık desenleri kamera tarafından algılanmaktadır. Yazılım vasıtası ile, saptanan dış bükey ve iç bükey bölgeler, anatomik işaretlerin ve sabit noktaların hemen belirlenmesini sağlamakta ve matematiksel algoritma kullanılarak, omurganın 3-boyutlu

modeli yeniden yapılandırılmaktadır (24-26). Kullandığı anatomik noktalar; servikal bölgede vertebra prominens (VP), gluteal çizginin başlangıcı olarak sakrum noktası ve pelviste spina iliaca posterior superior pozisyonunu temsilen sağ ve sol lomber gamzelerdir (DR-DL) (Şekil 1). Gövdenin yüzey eğimi kırmızı ve mor alanlar olarak hesaplanarak, dış bükey ve iç bükey bölgeleri göstermekte, ek olarak pelvis ve omurganın 3 boyutlu rekonstrüksiyonunu sağlamaktadır (Şekil 2).

4D özelliği sayesinde, 3 boyutlu görüntülemeye ek olarak analize "zaman" dahil ederek görüntü 6-saniyelik veya 12-saniyelik zaman dilimlerinde alınmakta, böylece elde edilen görüntünün değişimi azaltılırken, doğruluğu artırılmaktadır.

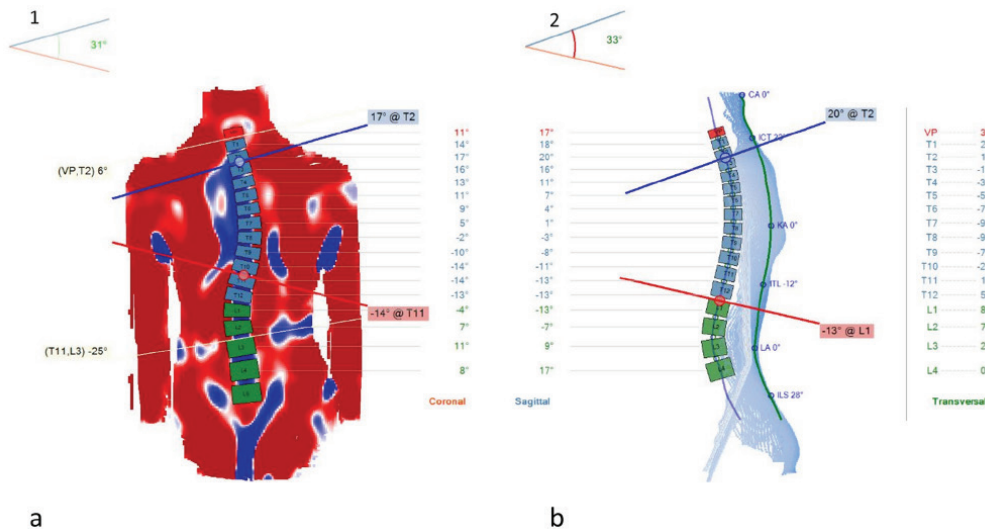
Ölçüm Prosedürü ve Parametreler

RST ölçümlerinde katılımcıların, rahatlamış, hareketsiz, iki ayağı üzerinde, kollar serbestte, sırtları kameraya dönük pozisyonda, topukları platformdaki işaretli alanda olacak şekilde, karşıya bakar pozisyonda çekimleri gerçekleştirildi. Güvenirliliğin artırılması için RST çekimi, EOS ile aynı gün aynı saat diliminde ve minimum süre aralığı olacak şekilde, eğitim almış aynı 2 fizyoterapist tarafından gerçekleştirildi. Ölçüm yapılan hastalarda üretici firma tarafından verilen yansıtıcı işaretçiye gerek olmadan, yazılımın tanımladığı anatomik yerler kullanılarak çekimler gerçekleştirildi. Radyografik çekimler rahatlamış durumda, karşıya bakar pozisyonda, eller klavikulada



Şekil 1: Spinal EOS görüntüleme yöntemi ile (a) antero-posterior, (b) lateral radyografik görüntüler ve ölçümleri ve (c) 4D formetrik DIERS görüntülerinde kullanılan anatomik noktalar. a; (1) T1t, (2) CA, (3) AD (+), (4) RaiRot, (5) PO, (6) C7-PL, (7) C7-S, b; (1) T1s, (2) TK, (3) LL, (4) sakral eğim, (5) SVA, (6) pelvis insidans, (7) T1-S, c; (1) vertebra prominens, (2) AD (+), (3) sol gamze, (4) sağ gamze, (5) C.I. VP-DM, (6) sakrum orta noktası

PO: Pelvik obliklik, TK: Torasik kifoz, LL: Lomber lordoz, T1s: T1 eğim, CA: Cobb açısı, AD (+): Sağa apikal deviasyon, T1t: T1 eğiklik, VR: Vertebra rotasyon, SVA: Sagittal denge, EOS: Çift düzlemli radyografi, DIERS: Fonksiyonel omurga ve postür analizi



Şekil 2: Raster-stereografi (formetrik-4D) yapılandırılmış omurga modeli. a) (1) Omurga modelinin posterior görünümü ve skolyoz açısı ölçümü (31°), b) (2) Modelin sagittal düzlemdeki anatomik noktaları ve torasik kifoz ölçümü (33°)

olacak şekilde çekildi ve ölçümler kalibre tüm vücut EOS görüntüleri üzerinden Surgimap v2.3.1.5 (Nemaris Inc., New York, Amerika Birleşik Devletleri) kullanılarak gerçekleştirildi.

Analiz edilen parametreler uzunluk, pelvik parametreler, sagittal düzlem, koronal düzlem ve horizontal düzlem alt başlıklarında incelendi (Şekil 1, 2).

Radyografik olarak koronal düzlemde, 7. servikal vertebra orta noktası ile sakrum superior orta noktasının mesafesi (C7-S), sagittal düzlemde 1. torakal (T1) ve 1. lomber (L1) vertebra ile sakrum gövdesinin orta noktalarının arasındaki mesafe (T1-S, L1-S) ölçüldü. Formetrik-4D sisteminde yazılımın otomatik hesapladığı VP-DM değeri alındı. Radyografik pelvis parametrelerinde; koronal düzlemde pelvik obliklik açısı, sagittal düzlemde pelvik insidans, pelvik eğiklik ve sakral eğim açısı ölçüldü.

RST'de otomatik algoritmanın DL ve DR'nin 3 boyutlu pozisyonuna göre analiz ettiği, pelvik obliklik, pelvik torsiyon ve pelvik inklınasyon açısal değerleri kullanıldı. Sagittal düzlem ölçümlerinde; EOS'de torakal kifoz (TK) açısı, torasik 2. vertebra üst köşesi ile on ikinci torasik vertebra (T12) alt köşesi arasından; lomber lordoz (LL) açısı, birinci lomber vertebra üst köşesi ile sakrumun üst köşesinden teğet geçen çizgilerin arasındaki açı olarak ölçüldü (Şekil 2). RST'de, ölçümlerde TK için VP-T12, LL için hesaplanmış T12-DM açısal değerler kullanılmıştır. Sagittal dizilimin değerlendirilmesinde radyografik olarak C7'den düz indirilen çizginin sakrum posterioruna mesafesi ölçüldü [sagittal denge (SVA)]. Karşılığında, RST sisteminde otomatik olarak belirlenen S.I. VP-DM değeri çalışmaya alınmıştır. Ayrıca sagittal düzlemde radyografik olarak T1 eğim ölçülmüş ve RST'de otomatik olarak hesaplanan T1 fleksiyon-ekstansiyon açısı ile karşılaştırılmıştır. Koronal düzlemde, radyografik olarak skolyotik eğriliği olan hastalarda eğriliğin son vertebra belirlenerek Cobb açısı üst son vertebra kranilyeli ve alt son vertebra kaudalinden teğet geçen çizgilerin arasındaki açı olarak ölçüldü. RST'de otomatik dışarı aktarılan "skolyoz açısı" parametresi çalışmaya alınmıştır (Şekil 2). RST'nin son vertebra seçimine müsaade etmemesi nedeniyle çalışmada radyografik olarak birden fazla skolyotik eğriliği olan hastalarda, EOS'de ölçülen en yüksek Cobb açısı çalışmaya dahil edildi. Radyografik olarak ölçülen en yüksek Cobb açılı skolyotik eğriliğin apeksinin, C7'den sakrumun ortasına çizilen çizgiye uzaklığı ölçüldü (Apeks deviasyon). Apeks orta hattın sağında ise +, solunda ise - değer verildi. RST'de otomatik hesaplanan eğriliğin apeks deviasyonu karşılaştırma parametresi olarak alındı. Koronal dizilimin saptanmasında C7 vertebra gövdesinden aşağıya indirilen düz çizginin, sakrum orta noktasına uzaklığı hesaplandı (C7-PL). Benzer şekilde RST'de vertebra prominansdan indirilen dik çizginin DM'den uzaklığını otomatik olarak veren C.I. VP-DM parametresi çalışmaya dahil edildi. Koronal düzlemde birinci torakal vertebra yer düzlemiyle yapmış olduğu açı T1 eğiklik

ölçüldü ve karşılığı RST'de T1 lateral-fleksiyon parametresi olarak alındı. Horizontal düzlem analizinde vertebra gövdelerinin rotasyonunu belirlemede EOS ölçümlerinde Raimondi methodu (Marrapese Editore-DemiS. r.1., Roma, İtalya) kullanıldı. Çalışmada torakolomber bileşkedeki vertebra radyografik olarak ölçümleri (RaiRot) ile, aynı vertebra RST'deki ölçülmüş olan rotasyonu (DiersRot) karşılaştırılmıştır.

İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler SPSS 23.0 (Armonk, NY: IBM Corp.) kullanılarak gerçekleştirildi. Normal dağılım testi Kolmogorov-Smirnov testi ile yapıldı. RST ve EOS ölçümlerindeki farklılığın saptanması amacıyla parametrik değerlerde Paired t-test, parametrik olmayan değerlerde Wilcoxon signed-rank test kullanıldı. Validasyon amacıyla, RST'den ve EOS'den elde edilen data, Pearson korelasyon katsayısı (r) kullanılarak analiz edildi. Pearson testi için anlamlılık; $p < 0,05$ olduğu durumlarda, korelasyon katsayısı $> 0,7 / < -0,7$ olduğunda güçlü; $r > 0,5 / < -0,5$ olduğunda orta; $r > 0,3 / < -0,3$ zayıf olarak kabul edildi. $P > 0,05$ veya $r < 0,3 / > -0,3$ korelasyon katsayısı olduğunda anlamlı fark yok olarak kabul edildi.

Bulgular

EOS ve RST çekimi olan toplam 145 hastadan, 31 hasta kriterleri karşılayarak çalışmaya dahil edildi (26 kadın, 5 erkek). Katılımcıların ortalama yaşı 17,4 (10-56) ve EOS ile RST çekimleri arasındaki sürenin 38,4 dakika (11-106) olduğu belirlendi. Ana eğrilik 20 hastada torasik bölgede, kalan 11 hastada ise lomber bölgedeydi. RST'de elde edilmiş olan veriler ile EOS da ölçülen radyografik değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Uzunluk alt başlığında VP-DM'nin C7-S ve T1-S ile ilişkisinin yüksek olduğu (sırasıyla $r = 0,940$, $r = 0,922$; $p < 0,001$) belirlendi. Pelvis parametrelerinde, PO'da iki ölçüm arasında yüksek ilişki olduğu ($r = 0,815$; $p < 0,001$), pelvik insidans ile pelvik torsiyon arasında orta dereceli ilişki olduğu saptandı ($r = 0,469$; $p = 0,008$). Sagittal parametrelerde, EOS'de ölçülen TK ile RST'de ölçülen VP-T12 arasında, orta dereceli ilişki olduğu ($r = 0,562$; $p = 0,001$), LL ile T12-DM arasında ilişki olmadığı saptandı ($r = -0,276$; $p = 0,133$). Sagittal düzlemde EOS'de ölçülen SVA ile RST'de ölçülen S.I. VP-DM arasında ve T1 eğim ile T1 fleksiyon-ekstansiyon değerleri arasında orta dereceli ilişkiler olduğu belirlendi ($r = 0,452$; $p = 0,011$ ve $r = 0,509$; $p = 0,003$). Koronal düzlem analizinde radyografik ölçülen ana Cobb açısı ile RST'de ölçülen skolyoz açısı arasında orta-yüksek ilişki saptandı ($r = 0,628$; $p = 0,001$). Ana eğriliklerin sağ (+) ve sol (-) apeks deviasyonlarının EOS ve RST ölçümlerindeki ilişkilerinde yüksek korelasyon olduğu görüldü (sırasıyla $r = 0,832$, $r = 0,685$; $p < 0,001$). Koronal dizilim, C7PL ile C.I. VP-DM arasında ($r = 0,577$; $p = 0,001$) ve T1 eğiklik ile T1 lateral-fleksiyon arasında ($r = 0,659$; $p < 0,001$) orta-yüksek ilişki olduğu görüldü. Rotasyonda, EOS ile RST değerleri arasında zayıf

ilişki bulunduğu belirlendi ($r=0,377$; $p=0,004$). RST ve radyografi ölçümleri, korelasyon katsayıları, güven aralıkları ve Paired t-test sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir. Çalışmada EOS ile RST arasında ilişki saptanan parametreler arasında gözlemlenen fark ile, iki çekim arasındaki geçen süre arasında ilişki olmadığı saptandı.

Tartışma

4D RST, konvansiyonel radyografinin yerine alternatif görüntüleme yöntemi olarak tanıtılmış ve omurga hastalarının tanı ve takibinde, girişimsel olmayan, uygun maliyetli ve aynı zamanda güvenilir bir görüntüleme yöntemi olması amaçlanmıştır. Bu nedenlerle 4D RST'nin, kullanım sıklığı, farklı omurga deformitelerinde giderek artmaktadır. Güvenirliliğini ve tekrarlanabilirliğini gösteren çeşitli çalışmalar olmakla beraber (27-29), altın standart görüntüleme yöntemi olan radyografi ile validasyonunu gösteren, incelenmiş az sayıda parametre ile kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır (24,29-32).

Tablo 1: Aynı zaman diliminde çekilmiş olan raster-stereografik ve radyografik ölçümlerin sonuçları

EOS	Ort. \pm SS*	DIERS	Ort. \pm SS*
Uzunluk			
C7-S (mm)	391,8 \pm 34,5	VP-DM (mm)	407,3 \pm 39,9
T1-S (mm)	404,1 \pm 39,2		
Pelvik Parametreler			
Pelvik obliklik ($^{\circ}$)	2,4 \pm 1,5	Pelvik obliklik ($^{\circ}$)	3,4 \pm 1,9
Pelvik insidans ($^{\circ}$)	39,8 \pm 18,9	Pelvik inklinasyon ($^{\circ}$)	22,5 \pm 6,3
Pelvik eğiklik ($^{\circ}$)	5,4 \pm 9	Pelvik torsiyon ($^{\circ}$)	2,1 \pm 1,2
Sakral eğim ($^{\circ}$)	34,4 \pm 14,6		
Sagittal Parametreler			
TK ($^{\circ}$)	29 \pm 18,5	VP-T12 ($^{\circ}$)	35,3 \pm 11,2
LL ($^{\circ}$)	46,9 \pm 21,4	T12-DM ($^{\circ}$)	29,5 \pm 8,4
SVA (mm)	-9,8 \pm 21,2	S.I. VP-DM (mm)	22,1 \pm 19,4
T1 eğim ($^{\circ}$)	11,9 \pm 12,3	T1 fleksiyon-ekstansiyon ($^{\circ}$)	16,6 \pm 8,7
Koronal Parametreler			
Ana eğrilik ($^{\circ}$)	16,5 (-46,74)	Skolyoz açısı ($^{\circ}$)	24,6 (-29,60)
Apeks deviasyon (+) (mm)	26,4 \pm 18,3	Apeks deviasyon (+) (mm)	21,2 \pm 15,7
Apeks deviasyon (-) (mm)	21,1 \pm 13,3	Apeks deviasyon (-) (mm)	8,6 \pm 8,4
C7-PL (mm)	-8 \pm 15,8	C.I. VP-DM (mm)	-6,5 \pm 17,7
T1 eğiklik ($^{\circ}$)	-1,5 \pm 5,2	T1 lateral fleksiyon ($^{\circ}$)	7,7 \pm 6,1
Rotasyon			
RaiRot ($^{\circ}$)	15,1 \pm 8,4	DiersRot ($^{\circ}$)	6,8 \pm 6,6

*Ortalama + SS standart sapma

($^{\circ}$): Açılar, Mm: Milimetre, TK: Torakal kifoz, LL: Lomber lordoz, SVA: Sagittal denge, VP: Vertebra prominens

Çalışmada AIS hastalarında, uzunluk, pelvis, sagittal ve koronal parametrelerde, RST'nin doğruluğu ile ilgili olarak, EOS ile arasında orta-yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmektedir. Gövde uzunluğu ölçümünde RST'nin 15 mm farkla daha fazla ölçme eğiliminde olduğu görülmektedir (Tablo 2). Literatürde daha önce yapılmış olan güvenilirlik çalışmalarında da RST'nin ortalama çok yüksek korelasyon katsayısı ($r=0,98$; $p<0,001$) ile yüksek güvenilirliğe sahip olduğu hem skolyotik hem de normal popülasyonda gösterilmiştir (16,17,33,34). Benzer şekilde torasik kifoz ölçümündeki yüksek korelasyonun hem sağlıklı hem de skolyotik hasta popülasyonunda görüldüğü belirtilmektedir ($r=0,92$; $p<0,001$) (34). Çalışmada torasik kifoz ölçümünde RST'nin TK'yi ortalama 6 derece daha yüksek ölçme eğiliminde olduğu, radyografi ile orta dereceli ve diğer çalışmalara kıyasla daha düşük ilişki gösterdiği görüldü. Ancak daha yüksek örneklem sayısına sahip Bassani ve ark.'nın (30) çalışması, çalışmamızdakine benzer şekilde, skolyotik hastalarda torasik kifoz ölçümünde orta dereceli ilişki saptamışken, skolyotik olmayan hasta popülasyonunda yüksek ilişki olduğunu belirtmektedir ($r=0,56-0,7$). Krott ve ark. (34) yapmış olduğu 11 çalışmanın yer aldığı LL değerlendirmesindeki RST'nin güvenilirliğini gösteren meta-analizinde RST'nin yüksek korelasyona sahip olduğu ($r=0,95$; $p<0,001$) ve skolyotik hastalar ile normal popülasyon arasında benzer sonuçların olduğu belirtilmektedir. Radyografi ile karşılaştıran başka bir validasyon çalışmasında skolyotik hasta popülasyonunda, RST'de elde edilen LL değerlerinin daha düşük olduğu ve orta dereceli ilişkili olduğu söylenmektedir ($r=0,51$; $p<0,001$) (30). Çalışmada LL'nin tanımlanmasında altın standart değerlendirme yöntemi olan radyografi ile RST arasında korelasyon olmadığı görülmüştür. Literatürde yer alan çalışmaların sonuçları ile gözlenen farklılık, radyografik ölçüm noktalarındaki farklılıktan kaynaklanabileceği gibi, yazılımın pelvis simülasyonunda sagittal düzlem için yeterli veri sağlamıyor olması da olabilir (30,35). Pelvik oblikliğin RST ile ölçümünde radyografi ile gözlenen yüksek ilişkinin, sagittal düzlemde elde edilmemesi de bu nedenle olabilir. PO ile ilgili literatürde yer alan validasyon çalışmalarında özellikle skolyotik hastalarda ilişki olduğu, dejeneratif disk hastalarında ilişki olmadığı gösterilmiştir (23,35). Literatürdekine benzer şekilde sagittal düzlemde pelvis radyografi değerleri ile RST'de ölçülmüş olan karşılıkları arasında anlamlı bir korelasyon çalışmada saptanamamıştır.

Çalışmada Cobb açısının tanımlanmasında RST'nin doğruluğu ile ilgili olarak, EOS ile RST arasında, RST'nin 8 derecelik eksik tahminde bulunma eğilimiyle beraber, aralarında orta- yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmüştür (Tablo 2). Literatürde yer alan, RST'nin radyografiye kıyasla (ortalama 6-10 derecelik) az ölçme eğilimi, çalışmada da benzer şekilde görülmüştür (23,29,36). RST ile elde edilen Cobb açısının güvenilirliğini gösteren 4 çalışmada benzer şekilde yüksek ilişki olduğu gösterilmiştir, ancak son dönem çalışmalarda Cobb açısının derecesi

yükseldikçe RST ile radyografi arasındaki korelasyonun azaldığı bildirilmiştir (29,30,32,36,37). Ana eğriliğin apeksinin sağa ve sola deviasyonunu belirlerken RST ile EOS arasında, özellikle sağ eğriliklerde, sola kıyasla yüksek ilişki olduğu görülmektedir ($r=0,832$ vs $r=0,685$). AIS'de, ana torasik eğriliklerde sağ apeks deviasyonu hakimiyeti olduğu ve lomber eğriliklerde sol apeks deviasyon sıklığının fazla olduğu bilinmektedir (38). Sağ apeks deviasyonda, sola kıyasla, daha yüksek ilişkinin görülmüş olması, RST'nin ağırlıklı olarak posterior elemanların daha rahat algılanabildiği torakal bölgeyi daha iyi değerlendirmesinden kaynaklanabilir.

Vertebra rotasyonunu belirlemede RST'nin EOS'de ölçülen Raimondi değeri ile ilişkisinin zayıf, ancak istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır. Mangone ve ark. (31) yapmış olduğu 25 hastalık çalışmada, 50 dereceden az olan skolyoz hasta grubunda, benzer şekilde Raimondi methodu ile RST arasında zayıf-orta dereceli ilişki olduğu ve lomber eğriliklerde ilişkinin daha az olacak şekilde gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Çalışmada saptanan ilişkinin literatürdeki örneğinden daha düşük olması, çalışmada daha geniş Cobb açısı aralığı olması (-46,74), torakal ve lomber eğrilik dağılımının benzer olmaması (T:20, L:11) ve RST'nin rotasyonu ölçerken kullandığı spinöz proses ile transverse düzlem arasındaki açının subkutan yağ dokunun kalınlığından etkileniyor olması gibi nedenlere bağlı olabilir.

Çalışmada değerlendirilen diğer parametrelerden; sagittal dizilim, T1 eğim, koronal dizilim ve T1 eğiklik ölçümünde,

RST'nin ölçümlerinin, EOS ile koronal düzlemde daha yüksek olacak şekilde orta şekilde ilişkili olduğu saptanmıştır (Tablo 2).

RST ile ölçülen değerler ile altın standart radyografik değerleri arasında ilişkinin ağırlıklı olarak koronal düzlemde, sagittal düzleme kıyasla daha iyi olduğu, sagittal düzleme bakıldığında ise, ilişkinin torakal bölge parametrelerinde, lomber ve pelvik bölgeye göre daha iyi olduğu saptanmıştır. RST'nin koronal düzlem analizinde sagittal düzleme kıyasla daha iyi sonuçlara sahip olmasında, idiopatik skolyoz deformitesinin, 3 boyutlu olsa da koronal düzlem hakimiyetli bir deformite olması rol oynayabilir. Schroeder ve ark. (39) RST ölçümlerinin tekrarlanabilirliği çalışmasında, sağlıklı bireylerde, sagittal düzlemde mükemmel sonuç elde ederken, aksine koronal düzlemde apeks sapması ve skolyoz açısında, kötü-orta sonuçlar elde etmişlerdir. Lomber parametrelerindeki zayıf ilişki ise muhtemelen, topografi ölçümünü etkileyen anatomik işaretler olan kotların lomber bölgedeki eksikliğinden kaynaklanabilir.

Mevcut bulgular, RST'nin omurga deformitesini tanıyabileceğini göstermekle beraber, klinik amaçla kullanımı için kısmi güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen ve literatürdekine benzer şekilde saptanan Cobb açısını saptamasındaki orta-yüksek dereceli ilişki, diğer radyasyon içermeyen görüntüleme yöntemlerine benzer veya daha iyidir. Korelasyon kat sayısı RST ve Moiré topografisi için 0,6-0,8 arası değişirken, ultrason görüntülemeleri için 0,8-0,9 ve

Tablo 2: Raster-stereografide ve radyografide ölçülmüş olan uzunluk, pelvik obliklik, torasik kifoz, lomber lordoz, sagittal denge, T1 eğim, Cobb açısı, sağa apikal deviasyon, sola apikal deviasyon, koronal denge, T1 eğiklik ve vertebra rotasyon değerleri, ölçümler arasındaki farklar ve standart sapmaları

	EOS	RS	EOS-RS farkı	EOS-RS korelasyon %95 GA	Paired t-test	
Uzunluk	391,8±34,5	407,3±39,9	15,4±13,9	0,940^v	0,811-1,070	<0,001
PO	2,4±1,5	3,4±1,9	0,4±1,9	0,815^v	0,595-1,035	0,254
TK	29±18,5	35,3±11,2	6,3±15,3	0,562^v	0,248-0,876	0,029
LL	46,9±21,4	29,5±8,4	-17,3±20,7	-0,276 ^ö		<0,001
SI	-9,8±21,2	22,1±19,4	12,2±34,6	0,452^w	0,114-0,791	<0,001
T1s	11,9±12,3	16,6±8,7	4,7±10,9	0,509^w	0,182-0,836	0,022
CA	16,5±38,5	24,6±19	8,1±30,4	0,628^v	0,333-0,924	0,145
AD (+)	26,4±18,3	21,2±15,7	-3,9±10,1	0,832^v	0,604-1,037	0,043
AD (-)	21,1±13,3	8,6±8,4	-11,6±9,7	0,685^v	0,390-0,975	<0,001
KI	-8±15,8	-6,5±17,7	-1,5±15,5	0,577^v	0,267-0,887	0,594
T1t	-1,5 ^ö ±5,2	7,7±6,1	9,2±10,4	0,659^v	0,373- 0,945	<0,001
VR	15,1±8,4	6,8±6,6	8,2±8,5	0,377^w	0,124-0,630	<0,001

Tablonun sağında radyografi ile raster-stereografi arasındaki korelasyon katsayıları, %95 güven aralığı (%95 GA) ve Paired t-test (p) değerleri verilmiştir (p<0,05 istatistiksel olarak anlamlı).

^vKorelasyonda anlamlılık p≤0,001 düzeyinde

^wKorelasyonda anlamlılık p<0,05 düzeyinde

^öKorelasyonda anlamlılık p>0,05 düzeyinde

PO: Pelvik obliklik, TK: Torasik kifoz, LL: Lomber lordoz, SI: Sagittal denge, T1s: T1 eğim, CA: Cobb açısı, AD (+): Sağa apikal deviasyon, AD (-): Sola apikal deviasyon, KI: Koronal denge, T1t: T1 eğiklik, VR: Vertebra rotasyon

elektromanyetik topografi için 0,3-0,6 arasında değişmektedir (9,12,13,23,35,37,38). Aynı zamanda RST'nin güvenilirliğinin, tekrarlanan ölçümlerde, zaman ve çekim aralıklarından bağımsız şekilde, orta dereceli skolyoza sahip AIS grubunda yüksek olduğu da bilinmektedir (37). Bu sebeple kullanımı, hafif-orta eğriliklerde, klinik takiplerde, radyografiyi tamamlayıcı olarak mümkün olabilir.

Çalışmanın Kısıtlılıkları

Çalışmada bazı kısıtlılıklar bulunmaktadır. İki ölçüm arasındaki duruş farkını asgari seviyeye indirmek için iki ölçüm arası süre olabildiğince kısa tutulmasına rağmen iki görüntüleme yöntemi arasındaki duruş farkı, RST çekiminde kollar yanda, rahat duruş pozisyonunda; EOS çekiminde eller klavikulada olacak şekilde gerçekleşmiş olduğu için, özellikle sagittal parametrelerde farklılık yaratmış olabilir. Eğriliklerdeki Cobb açısının şiddeti ve eğriliğin şeklindeki farklılıklar diğer kısıtlılıklardır. RST ölçümleri bir defa 4D olarak 12 saniye olarak alınmıştır. Çalışmada RST'de tekrar ölçümler alınmamış olması çalışmanın diğer bir kısıtlılığıdır. Ancak tekrarlanabilirlik çalışmalarında, RST'de ölçülebilen 40 parametreden 36'sında duruş pozisyonu ile etkilenmenin olmadığı, yakın ve uzak tekraralarda benzer sonuçları verdiği ve güvenilir olduğu gösterilmiştir (40). Çalışmada karşılaştırılan bütün parametreler bu 36 parametre içerisinde yer almaktadır. Daha önce literatürde tariflenmemiş olan sagittal, koronal ve horizontal RST parametrelerinin, radyografik karşılıklarına bakılmış olması ise çalışmanın önemli güçlü yanlarından.

Sonuç

Sonuç olarak RST, EOS ile koronal düzlemde orta- yüksek dereceli ilişki gösterirken, sagittal düzlemde bu ilişki orta düzeydedir. İki görüntüleme yöntemi arasında horizontal düzlemde zayıf ilişki olduğu; özellikle RST'nin pelvis parametrelerini ve lomber parametreleri ölçmede radyografik yöntemlere göre kısmi başarılı olduğu görülmektedir. Geleneksel görüntüleme yöntemlerinin yan etkileri göz önüne alındığında, RST'nin kısıtlılıkları olmasına rağmen, koronal düzlem patolojilerini saptamadaki doğruluğunun, orta-yüksek olması, ucuz, non-invazif ve tekrarlanabilir bir yöntem olması nedeniyle, AIS'de, hastaların takiplerinde kullanılabilir. Hangi tip eğriliklerde en güvenilir şekilde kullanılabileceği, takip sıklığı ve protokollerinin belirlenmesi için gelecekte, farklı eğrilik tiplerinde, daha homojen gruplarda, ileri çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Etik

Etik Kurul Onayı: Acıbadem Üniversitesi Etik Kurulu'ndan onay alınmıştır (no: ATADEK-2020/26).

Hasta Onayı: Retrospektif çalışmadır.

Hakem Değerlendirmesi: Editörler kurulunun dışından olan kişiler tarafından değerlendirilmiştir.

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek almadığı bildirilmiştir.

Kaynaklar

- Hattori T, Sakaura H, Iwasaki M, et al. In vivo three-dimensional segmental analysis of adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J.* 2011;20:1745-1750.
- Kuklo TR, Potter BK, Schroeder TM, et al. Comparison of manual and digital measurements in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:1240-1246.
- Ronckers CM, Land CE, Miller JS, et al. Cancer mortality among women frequently exposed to radiographic examinations for spinal disorders. *Radiat Res.* 2010;174:83-90.
- Doody MM, Lonstein JE, Stovall M, et al. Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. Scoliosis Cohort Study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000;25:2052-63.
- Don R, Capodaglio P, Cimolin V, et al. Instrumental measures of spinal function: is it worth? A state-of-the-art from a clinical perspective. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2012;48:255-273.
- Aroeira RM, de Las Casas EB, Pertence AE, et al. Non-invasive methods of computer vision in the posture evaluation of adolescent idiopathic scoliosis. *J Bodyw Mov Ther.* 2016;20:832-843.
- Prowse A, Pope R, Gerdhem P, et al. Reliability and validity of inexpensive and easily administered anthropometric clinical evaluation methods of postural asymmetry measurement in adolescent idiopathic scoliosis: a systematic review. *Eur Spine J.* 2016;25:450-466.
- Porto F, Gurgel JL, Russomano T, et al. Moiré topography: characteristics and clinical application. *Gait Posture.* 2010;32:422-424.
- Willner S. Moiré topography--a method for school screening of scoliosis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1979;95:181-185.
- Hill DL, Berg DC, Raso VJ, et al. Evaluation of a laser scanner for surface topography. *Stud Health Technol Inform.* 2002;88:90-94.
- Knott P, Mardjetko S, Nance D, et al. Electromagnetic topographical technique of curve evaluation for adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:E911-5; discussion E916.
- Zheng R, Chan AC, Chen W, et al. Intra- and Inter-rater Reliability of Coronal Curvature Measurement for Adolescent Idiopathic Scoliosis Using Ultrasonic Imaging Method-A Pilot Study. *Spine Deform.* 2015;3:151-158.
- Knott P, Pappo E, Cameron M, et al. SOSORT 2012 consensus paper: reducing x-ray exposure in pediatric patients with scoliosis. *Scoliosis.* 2014;9:4.
- Drerup B, Hierholzer E. Automatic localization of anatomical landmarks on the back surface and construction of a body-fixed coordinate system. *J Biomech.* 1987;20:961-970.
- Hackenberg L, Liljenqvist U, Hierholzer E, et al. Scanning stereographic surface measurement in idiopathic scoliosis after VDS (ventral derotation spondylodesis). *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 2000;138:353-359.
- Guidetti L, Bonavolontà V, Tito A, et al. Intra- and interday reliability of spine rasterstereography. *Biomed Res Int.* 2013;2013:745480.
- Schroeder J, Reer R, Braumann KM. Video raster stereography back shape reconstruction: a reliability study for sagittal, frontal, and transversal plane parameters. *Eur Spine J.* 2015;24:262-269.
- Frerich JM, Hertzler K, Knott P, et al. Comparison of radiographic and surface topography measurements in adolescents with idiopathic scoliosis. *Open Orthop J.* 2012;6:261-265.
- Manca A, Monticone M, Cugusi L, et al. Back surface measurements by rasterstereography for adolescent idiopathic scoliosis: from reproducibility to data reduction analyses. *Eur Spine J.* 2018;27:2130-2138.
- Hackenberg L, Hierholzer E, Pözl W, et al. Rasterstereographic back shape analysis in idiopathic scoliosis after anterior correction and fusion. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2003;18:1-8.

21. Mangone M, Raimondi P, Paoloni M, et al. Vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis calculated by radiograph and back surface analysis-based methods: correlation between the Raimondi method and rasterstereography. *Eur Spine J.* 2013;22:367-371.
22. Tabard-Fougère A, Bonnefoy-Mazure A, Dhouib A, et al. Radiation-free measurement tools to evaluate sagittal parameters in AIS patients: a reliability and validity study. *Eur Spine J.* 2019;28:536-543.
23. Knott P, Sturm P, Lonner B, et al. Multicenter Comparison of 3D Spinal Measurements Using Surface Topography With Those From Conventional Radiography. *Spine Deform.* 2016;4:98-103.
24. Drerup B, Hierholzer E. Back shape measurement using video rasterstereography and three-dimensional reconstruction of spinal shape. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1994;9:28-36.
25. Stokes IA, Moreland MS. Measurement of the shape of the surface of the back in patients with scoliosis. The standing and forward-bending positions. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69:203-211.
26. Liljenqvist U, Halm H, Hierholzer E, et al. [3-dimensional surface measurement of spinal deformities with video rasterstereography]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1998;136:57-64.
27. Schulte TL, Hierholzer E, Boerke A, et al. Raster stereography versus radiography in the long-term follow-up of idiopathic scoliosis. *J Spinal Disord Tech.* 2008;21:23-28.
28. Schülein S, Mendoza S, Malzkorn R, et al. Rasterstereographic evaluation of interobserver and intraobserver reliability in postsurgical adolescent idiopathic scoliosis patients. *J Spinal Disord Tech.* 2013;26:E143-149.
29. Tabard-Fougère A, Bonnefoy-Mazure A, Hanquinet S, et al. Validity and Reliability of Spine Rasterstereography in Patients With Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2017;42:98-105.
30. Bassani T, Stucovitz E, Galbusera F, et al. Is rasterstereography a valid noninvasive method for the screening of juvenile and adolescent idiopathic scoliosis? *Eur Spine J.* 2019;28:526-535.
31. Mangone M, Raimondi P, Paoloni M, et al. Vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis calculated by radiograph and back surface analysis-based methods: correlation between the Raimondi method and rasterstereography. *Eur Spine J.* 2013;22:367-371.
32. Schröder J. Non-invasive scoliosis-screening - A validity study for early diagnosis by means of raster stereography. *Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis.* 2015;4588-93.
33. Mohokum M, Mendoza S, Udo W, et al. Reproducibility of rasterstereography for kyphotic and lordotic angles, trunk length, and trunk inclination: a reliability study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35:1353-1358.
34. Krott NL, Wild M, Betsch M. Meta-analysis of the validity and reliability of rasterstereographic measurements of spinal posture. *Eur Spine J.* 2020;29:2392-2401.
35. Wanke-Jellinek L, Heese O, Krenauer A, et al. Is there any use? Validity of 4D rasterstereography compared to EOS 3D X-ray imaging in patients with degenerative disk disease. *Eur Spine J.* 2019;28:2162-2168.
36. Frerich JM, Hertzler K, Knott P, et al. Comparison of radiographic and surface topography measurements in adolescents with idiopathic scoliosis. *Open Orthop J.* 2012;6:261-265.
37. Manca A, Monticone M, Cugusi L, et al. Back surface measurements by rasterstereography for adolescent idiopathic scoliosis: from reproducibility to data reduction analyses. *Eur Spine J.* 2018;27:2130-2138.
38. Richards BS, Sucato DJ, Johnston CE, et al. Right thoracic curves in presumed adolescent idiopathic scoliosis: which clinical and radiographic findings correlate with a preoperative abnormal magnetic resonance image? *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35:1855-1860.
39. Schroeder J, Reer R, Braumann KM. Video raster stereography back shape reconstruction: a reliability study for sagittal, frontal, and transversal plane parameters. *Eur Spine J.* 2015;24:262-269.
40. Degenhardt BF, Starks Z, Bhatia S. Reliability of the DIERS Formetric 4D Spine Shape Parameters in Adults without Postural Deformities. *Biomed Res Int.* 2020;2020:1796247.