

**T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI**

**OMURGANIN SAGİTTAL PLANDAKİ DİZİLİMİNİN OTURUR
POZİSYONDA PEDIATRİK YAŞ GRUPLARINDA
İNCELENMESİ**

Dr. Saygın KAMACI

**UZMANLIK TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır**

**ANKARA
2015**

**T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI**

**OMURGANIN SAGİTTAL PLANDAKİ DİZİLİMİNİN OTURUR
POZİSYONDA PEDIATRİK YAŞ GRUPLARINDA
İNCELENMESİ**

Dr. Saygın KAMACI

**UZMANLIK TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Muharrem YAZICI**

**ANKARA
2015**

TEŞEKKÜR

Mesleğimi ayrıntılarıyla öğrenmemi sağlayan Hacettepe Üniversitesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı'na; asistanlığım süresince anlık geri bildirimleri ile yanırlarımı göstererek beni doğruya yönelten; pozitivizmi ve cesaretlendiriciliği ile akademik olarak motive eden; nezaket ve tevazu adına çok şey öğrendiğim; biz asistanlarının gelişimi için her türlü desteği veren anabilim dalı başkanımız Prof. Dr. Mahmut Nedim Doral'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Uzmanlık tezim olarak bana bu benzersiz ve önemli konuyu seçen; akademik olarak gelişmemde büyük emeği olan tez hocam Prof. Dr. Muharrem Yazıcı'ya ve tezimin yapım aşamasında büyük emeği olan Doç. Dr. Gökhan Demirkıran ağabeyime sonsuz teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimi hayatımda kendilerinden çok şey öğrendiğim ve üzerimde yadsınamaz emekleri bulunan hocalarım Prof. Dr. A. Mazhar Tökgözoğlu, Prof. Dr. Prof. Dr. Bülent Atilla, Prof. Dr. Gürsel Leblebicioğlu, Prof. Dr. Cemalettin Aksoy, Prof. Dr. Ahmet Atay, Doç. Dr. Akın Üzümcügil, Doç. Dr. Ömür Çağlar, Doç. Dr. Egemen Turhan, Doç. Dr. Mehmet Ayvaz, Yrd. Doç. Dr. Gazi Huri ve Doç. Dr. Salih Marangoz'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Mesleki vizyonumun gelişmesinde büyük katkısı ve desteği olan Doç. Dr. Akın Çil ağabeyime ayrıca teşekkür ediyorum.

Tezimde emeği bulunan başta Dr. Altuğ Yücekul olmak üzere mesai arkadaşlarım Dr. Erkan Sabri Ertaş, Dr. Cenk İlgar, Dr. İsmail Aykut Koçyiğit, Dr. Rüstem Celilov'a; zorlu çalışma saatlerine beraber direndiğimiz çalışma arkadaşlarım Dr. Can Emre Baş, Dr. İsmail Oytun, Dr. Hikmet Resul Cevher, Dr. Özgür Dede, Dr. Deniz Olgun, Dr. Uğur Mermerkaya, Dr. Erkan Alkan, Dr. Murat Danışman, Dr. Kadir Büyükdoğan, Dr. Bora Yakut, Dr. Vugar Nabiyev, Dr. Samet Işık, Dr. Samet Emet, Dr. Erdi Özdemir, Dr. Buğrahan Şahin'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan canım annem Filizay Kamacı ve babam Hüseyin Kamacı'ya; ablam Yrd. Doç. Dr. Senem Kamacı Şanlı ve eşi Doç. Dr. Nurullah Şanlı'ya her zaman yanımda oldukları ve bana güvendikleri için şükranlarımı sunuyorum.

ÖZET

SAYGIN KAMACI, Omurganın sagittal segmental dizilimin oturur pozisyonda pediatrik yaş gruplarında incelenmesi, Hacettepe Üniversitesi Ortopedi ve Travmatoloji AD, Ankara,2015. Bu çalışma kesitsel tanımlayıcı bir çalışmadır. Deformite düzeltici cerrahi prosedürlerin amacı koronal ve transvers planlarda maksimal düzelme elde etmek ve sagittal plandaki fizyolojik konturları yeniden yapılandırmaktır. Sagittal plan rekonstruksiyonun önkoşulu ise fizyolojik değerleri bilmektir. Bu çalışmanın amacı omurganın sagittal diziliminin çocuklardaki normal değerlerini ortaya koymak ve oturur pozisyondaki çocukta sagittal dizilimin yaş ile gelişimini incelemektir. Pediatri ünitesinde iskelet hastalığı olmayan, pelvis ve tüm omurgayı içerecek oturu pozisyonda lateral filmi bulunan, 3-17 yaşındaki çocuklar çalışmaya dahil edildi. Omurgayı etkileyebilecek hastalığı veya cerrahi öyküsü bulunan çocuklar çalışmadan çıkarıldı. Çocuklar yaş gruplarına göre 4 gruba ayrıldı. (3-6, 7-9, 10-12 ve 13-17 yaş). Tarananlar arasında 124 çocuk (49 kız,75 erkek) çalışmaya dahil edildi. Tüm segmental açıların tanımlayıcı analizleri yapıldı. Oturur pozisyonda global lordoz ve global kifoz açıları ayaktakine oranla daha az bulundu. Torasik segmental açılar T1-T2 seviyesinden orta torakal bölgeye kadar düzenli bir artış gösterirken kaudale inerken azalma gösterdi. Global lordoz, sakral eğim ve L5-S1 segmental açıları yaşla birlikte artış gösterirken torakal kifozda düşme gözlemlendi. Dahası, lomber segmental açılışmalar kranio-kaudal yönde düzenli olarak arttı. Sakral eğim, T1-T12 ve T1-S1 mesafesi yaşla birlikte artış eğilimi gösterdi. Oturur pozisyondaki sagittal dizilim ayaktakine göre farklıdır ve yaşla birlikte değişim gösterir. Yaş grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır, özellikle servikotorakal, torakolomber ve lumbosakral seviyelerde belirgindir. Bu bulgular yürüyemeyen ve spinal enstrümantasyon ve/veya füzyon gereksinimi olan genç hastaların pre op planlanmasında dikkate alınmalıdır.

Anahtar kelimeler: Spinal sagittal dizilim , segmental açılışmalar, oturur pozisyon, çocuklar

ABSTRACT

SAYGIN KAMACI, The evolution of spinal sagittal alignment in sitting position during childhood, Hacettepe University Faculty of Medicine Orthopaedics and Traumatology Department, Ankara, 2014. This is a cross-sectional descriptive study. Surgical procedures addressing the deformity aim to make the maximal correction on the coronal and transverse planes and to restore the physiologic curves on the sagittal plane. Prerequisite for sagittal plane reconstruction is to know the physiologic values. The purposes of this study are to describe normative data of the sagittal plane in the sitting position within the pediatric population and document the evolution of sagittal alignment during the growth. Children between 3-17 years followed by pediatrics unit for non-skeleton disease with lateral x-rays of the entire spine and pelvis on sitting positions were included to the study. Children with history of surgery or disease those may affect spine development were excluded. Children were evaluated in 4 age groups (3-6, 7-9, 10-12 and 13-17 years) in terms of spinal sagittal alignment on sitting position. Of the screened, 124 children (49 girls, 75 boys) were included. Descriptive statistics of all possible segmental angles were summarized. Thoracic kyphosis and lumbar lordosis values were lower on sitting position than the standing. Thoracic segmental angulations steadily increased from T1-T2 to mid-thoracic segments and then decreased in caudal direction. Moreover, lumbar segmental angulations steadily increased in cephalo-caudal direction. Sacral slope, L4-S1 angulation, T1-T12 and T1-S1 distance tends to increase as the age increases. Sagittal spinal alignment in the sitting position is different than that in the standing position and it changes as the child grows. There is a statistically significant difference between different age groups, especially at the cervicothoracic, thoracolumbar, and lumbosacral junctions. These findings should be taken into consideration for young non-ambulatory patients who require spinal instrumentation and/or fusion.

Keywords Spinal sagittal alignment, sitting position, segmental analysis, children

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|--------------|
| TEŞEKKÜR | iii |
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | v |
| İÇİNDEKİLER | vi |
| SİMGELER KISALTMALAR | vii |
| ŞEKİLLER | viii |
| TABLolar | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER | 3 |
| 2.1. Omurganın Anatomisi | 3 |
| 2.1.1 Torakal Sagittal Dizilim | 6 |
| 2.2. Normal Sagittal Dizilim ve Önemi | 8 |
| 2.3. Biyomekanik | 14 |
| 2.4. Bipedal Evrilmenin İskelet Üzerine Etkileri ve Omurgada Sagittal Dengenin Gelişimi | 21 |
| 2.4.1. Ayak | 21 |
| 2.4.2. Kalça | 21 |
| 2.4.3. Diz | 22 |
| 2.4.4. Uzuvlar | 22 |
| 2.4.5. Kafatası | 23 |
| 2.4.6 Vertebral Kolon | 23 |
| 3. GEREÇ VE YÖNTEM | 25 |
| 4. BULGULAR | 29 |
| 4.1. Açıklayıcı veriler | 29 |
| 5. TARTIŞMA | 31 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER | 33 |
| KAYNAKLAR | 34 |

SİMGELER KISALTMALAR

| | |
|----|-----------------|
| e | Erkek |
| İV | İntervertebral |
| k | Kız |
| LL | Lomber Lordoz |
| mm | Milimetre |
| PI | Pelvik insidans |
| PT | Pelvik Tilt |
| SE | Sakral Eğim |
| TK | Torakal Kifoz |
| y | Yaş |

ŞEKİLLER

| Şekil | | Sayfa |
|-------------|---|-------|
| Şekil 2.1. | Vertebral kolonun bölgeleri ve aksiyel iskeletin lateral görünümü. | 4 |
| Şekil 2.2. | Erişkinde ve fetusta omurganın fizyolojik eğriliklerin karşılaştırmalı görünümü | 5 |
| Şekil 2.3. | Fetüste, doğumda ve erişkinde fizyolojik eğriliklerin gelişimi | 5 |
| Şekil 2.4. | Sagittal spinal dizilimin evriminin şematik olarak incelenmesi | 6 |
| Şekil 2.5. | Torasik ve orta/alt torasik kifozun, Proksimal torasik kifozun Cobb metoduyla ölçümü | 7 |
| Şekil 2.6. | Alt lomber, lomber sagittal dizilimin Cobb metoduna göre ölçümü | 8 |
| Şekil 2.7 | Ekonomi konisi | 9 |
| Şekil 2.8 | Pelvik insidans, Sakral eğim ,Pelvik tilt | 10 |
| Şekil 2.9 | Yapısal deformiteye göre pelvik retroversiyonun spinal deformiteyi kompanse etmesi | 11 |
| Şekil 2.10 | Pozitif sagittal balansın kompensasyonunda iki farklı kompensatuar mekanizma | 12 |
| Şekil 2.11 | Göğüs kafesi tarafından sağlanan ekstrensek stabilite | 13 |
| Şekil 2.12 | Lomber bölgeden, fonksiyonel hareket segmenti | 14 |
| Şekil 2.13 | Kartezyen koordinat sistemi üzerinde rotasyonun anlık ekseni ve hareketleri | 15 |
| Şekil 2.14 | Omurga hareketleri | 16 |
| Şekil 2.15 | Coupling fenomeni | 17 |
| Şekil 2.16 | Nucleus pulposus ve annulus pulposus'un basınç etkisi ile hareketleri | 18 |
| Şekil 2.17 | Faset eklem oriyantasyonları, A- Servikal, B- Torakal, C- Lomber | 19 |
| Şekil 2.18 | Rotasyonun anlık eksenine göre, ligamentlerin moment kolu uzunlukları | 20 |
| Şekil 3.20. | Oturur pozisyonda lateral omurga grafisi | 26 |
| Şekil 3.21. | Radyografilerde ölçülen parametreler | 28 |

TABLÖLAR

| Tablo | Sayfa |
|---|--------------|
| Tablo 3.1. Çalışmaya dahil edilen çocukların sayıları ve demografik bilgileri | 25 |
| Tablo 4.2. Torakal ve lomber ölçümler, segmental değerler, sakral eğim, sagittal vertikal aks ölçümleri. | 29 |
| Tablo 4.3. Global lordoz, global kifoz, ayaktaki değerler ile karşılaştırmaları | 30 |
| Tablo 4.4. Yaş grupları arasında istatistiksel anlamlı ölçümler | 30 |

1. GİRİŞ

Modern spinal cerrahi yöntemleriyle omurga eğriliklerini her üç planda düzeltmek mümkün olabilmektedir. Koronal ve transvers planlarda maksimum düzeyde düzeltme hedeflenirken, sagittal planda fizyolojik eğimlerin restore edilmesi gerekir. Sagittal plan restorasyonu için önkoşul normal değerlerin bilinmesidir.

Erişkin omurgasının ayakta durur pozisyonundaki fizyolojik eğilimleriyle ilgili bugüne kadar pek çok çalışma yapılmış ve yayınlanmıştır [1] [2] [3]. Çocukluk çağındaki eğimin erişkinlerle aynı olup olmadığı, eğer farklılık varsa bunun yaşla değişim gösterip göstermediği ise daha önce tarafımızdan araştırılmıştır[4]. Ayakta durur pozisyondayken çocukların omurga dizilimleri erişkinden anlamlı derecede farklıdır ve bu farklılık yaşla değişim göstermektedir. Bu bilgi çocukluk çağında yapılan spinal rekonstrüksiyonlar için referans olarak kullanılmaktadır. Ancak, küçük yaşlarda spinal enstrumentasyon ve füzyon gerektiren çocukların bir kısmı, altta yatan nöromusküler hastalıkları nedeniyle yürüyememekte, hatta ayağa kalkamamaktadır. Ameliyat anında yürüyebilen çocukların bir kısmında ise yürüme yeteneği zaman içinde kaybedilmektedir.

Kaslarda tonus artışına neden olan serebral palsi gibi hastalıklarda ve kas tonusunun azaldığı ilerleyici kas hastalıkları veya spinal kord hasarı gibi durumlarda, omurga eğriliği görülme riski anlamlı derecede artmaktadır [5] [6] [7]. Genel olarak nöromusküler skolyoz başlığı altında gruplandırılan bu tip omurga deformitelerinde sadece koronal plan değil, sagittal ve transvers planlar da etkilenir. Modern spinal cerrahide uygulanan genel deformite tedavi ilkeleri bu hastalar için de geçerlidir. Buna göre koronal ve transvers plan deformiteleri için maksimum düzeltme amaçlanırken, sagittal planda fizyolojik eğimlerin restorasyonu temel hedeftir.

Bu hedefe ulaşabilmek için, fizyolojik eğimlerin normal değerlerinin bilinmesi şarttır. Oturan ve yaşam boyu oturacak bir çocuğun omurgasını kalıcı olarak tesbit ederken bu değerler dikkate alınmazsa, enstrumentasyon dışında kalan omurga segmentlerine binen yükler anormal düzeyde artacağı için erken dejenerasyonlar gelişebilir ve kısa zamanda ek operasyonlar gerekli olabilir. Bu çocukların ameliyat öncesi planlamasında, ayakta durur pozisyonundaki eğimlerin referans olarak kullanılması ciddi hatalara neden olabilir. Omurganın sagittal dizilimi, pelvis ve omurga arasındaki kuvvetli ilişki nedeniyle, pelvisin ve kalçanın pozisyonundan etkilenmektedir. Yine

yerçekimi kuvvetleri ile sagitttal denge arasında doğrudan bir ilişki vardır. Bu nedenle, oturur pozisyondaki sagittal dizilimin normal değerlerinin bilinmesi ve bu değerlerin ayakta durur pozisyondakilerle karşılaştırılması, yürüyemeyen hastaların cerrahi planlaması açısından büyük öneme sahiptir. Yaşın oturur pozisyondaki sagittal plan üzerindeki etkisinin bilinmesi hastaya özel bir planlamayı daha sağlıklı yapma imkanı verecektir.

Bu çalışmanın amaçları, pediatrik popülasyonda oturur pozisyonda omurganın sagittal diziliminin normal değerlerini ortaya koymak ve büyümenin sagittal dizilim üzerine etkisini incelemektir. Bu konu şimdiye kadar literatürde araştırılmamıştır.

2. GENEL BİLGİLER

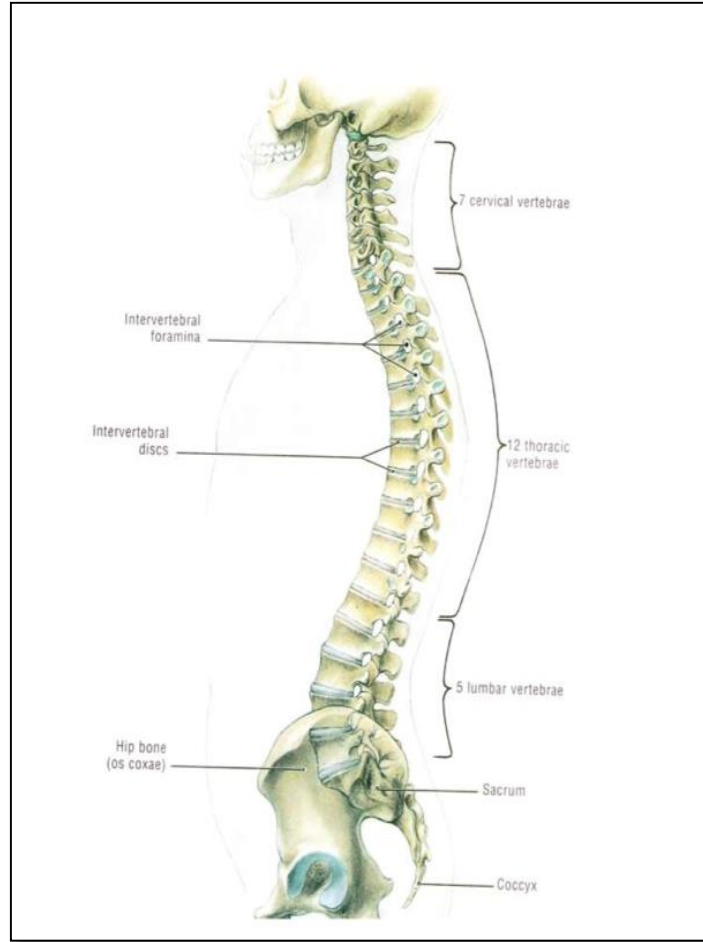
2.1. Omurganın Anatomisi

Vertebral kolon (columna vertebralis, omurga) -kraniumdan koksiksin apeksine (tipine) kadar uzanan- boyun, sırt ve aksiyel iskeletin (kafa kemikleri, vertebral kolon, kaburgalar ve sternum) ana kısmını oluşturur. Vertebra (omur) adı verilen kemiklerin, gövdenin arkasında ve orta çizgi üzerinde üst üste dizilmesi ve ligamentlerle birbirlerine bağlanması ile meydana gelir [8] [9].

Omurga:

- Spinal kord ve spinal sinirleri korur
- Vücut ağırlığını taşır
- Kafa ve vücut için kısmi rijid ve esnek bir aks sağlar
- Postür ve harekette önemli bir rol oynar

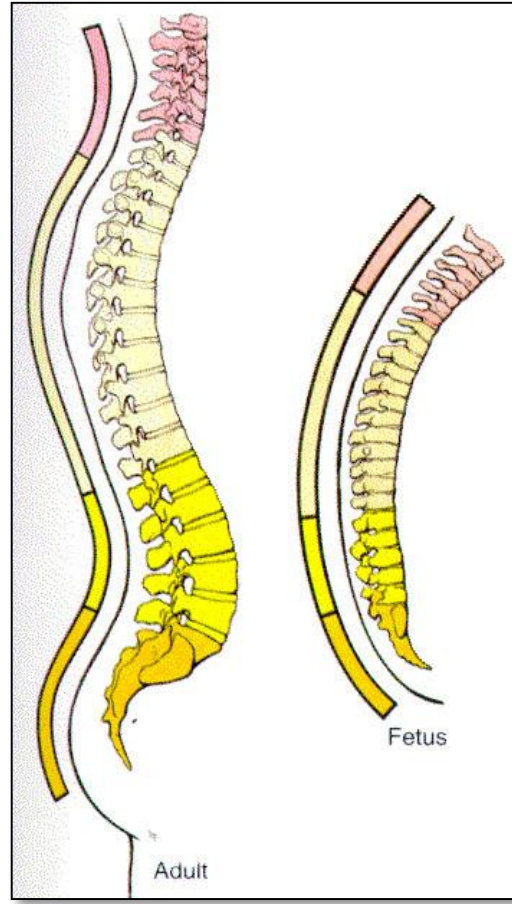
Erişkin omurgası tipik olarak 33 vertebra ve 5 bölgeden meydana gelir: 7 servikal, 12 torakal, 5 lomber, 5 sakral ve 4 koksigeal. Lumbosakral açı omurganın lomber ve sakral bölgelerinin kesişiminde oluşur. Hareket sadece 24 vertebra arasında görülür: 7 servikal, 12 torasik ve 5 lomber. Sakral vertebralar sakrumu, 4 koksigeal vertebra ise koksiksi oluşturmak için kaynaşmıştır. Omurga aşağıda doğru indikçe giderek genişler ve koksiksin ucunda sivrileşir (Şekil 2.1). Bu yapısal değişiklikler vertebranın aşağıya doğru giderek artan vücut ağırlığına karşı bir adaptasyon olarak değerlendirilir. Vertebral kolon vertebralar birbirleri ile intervertebral disk (IV) ile eklemleştikleri için esnektir. Servikal, torakal ve lomber vertebralar hareketin kontrolüne izin vere sinovyal eklemler ile birbirine bağlanmıştır. Vertebra cisimleri yüksekliğin yaklaşık 3/4'ünü ve fibrokartilaj yapıdaki diskler 1/4'ünü oluşturur [9] [8]. Vertebraların şekli, cisimlerinin ve IV disklerin kuvveti, ligamentler ve kaslar vertebral kolonun stabilitesini sağlar.



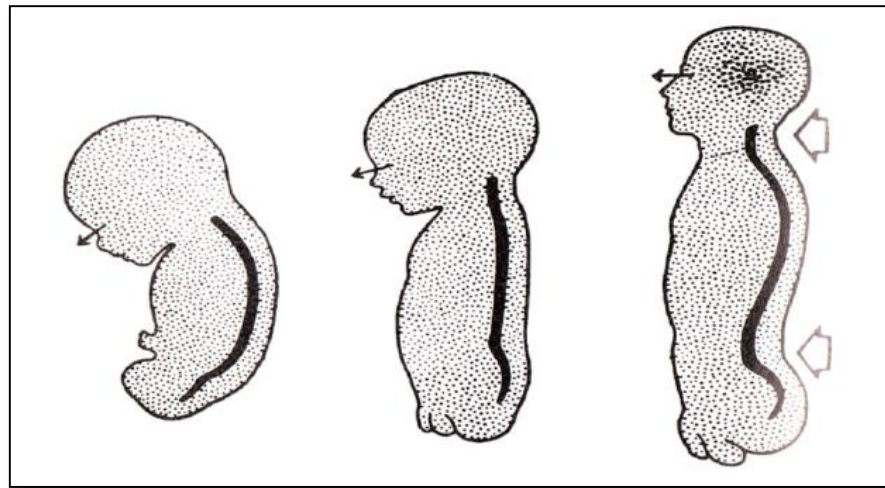
Şekil 2.1. Vertebral kolonun bölgeleri ve aksiyel iskeletin lateral görünümü. (R., 1994)

Erişkin omurgasında dört adet eğrilik bulunur: Servikal, torakal, lomber ve sakral. Bu eğrilikler omurgaya şok absorbe edici bir esneklik kazandırır. Torakal ve sakral eğrilikler anterior konkav iken, servikal ve lomber eğrilikler posterior konkavdır. (Şekil 2.2)

Doğumda vertebral kolon düz bir sütun halindedir. Bebek başını tutmaya başlayınca servikal lordoz oluşur. Oturmaya ve daha sonra ayağa kalkmaya başlayınca da LL gelişir. Torakal ve sakral kifoz embriyonik dönemde geliştiğinden dolayı primer eğrilikler adını alır. Başlangıçta çocuklarda bu eğrilik değerleri erişkinlerden azdır. Kas gücü gelişip denge sağlanınca normal açılarına ulaşır [10] [11] [12]. Normal bir yetişkinde fizyolojik eğrilikler; servikal bölgede 30°-50° lordoz, torakal bölgede 20°-50° kifoz, lomber bölgede 40°-80° lordoz ve sakral bölgede 40°-60° kifoz şeklindedir [8] [9]. (Şekil 2.3)



Şekil 2.2. Erişkinde ve fetusta omurganın fizyolojik eğriliklerin karşılaştırmalı görünümü [8]



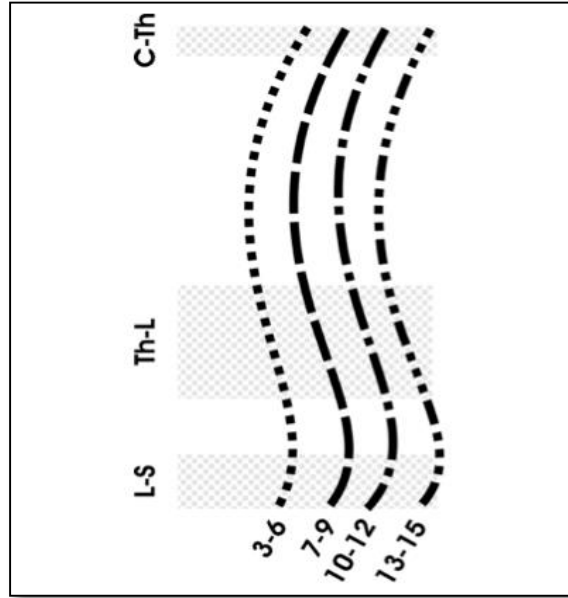
Fetüs

Doğumda

Yetişkin

Şekil 2.3. Fetüste, doğumda ve erişkinde fizyolojik eğriliklerin gelişimi [9]

Doğumdan erişkinliğe kadar çocuklarda spinal sagittal denge yaşla birlikte dinamik bir değişim gösterir[4]. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4. Sagittal spinal dizilimin evriminin şematik olarak incelenmesi. Yaş gruplarındaki belirgin değişim görülmekte. C-Th : Servikotorasik bölge, Th-L: Torakolomber bölge, L-S: Lumbosakral bölge [4]

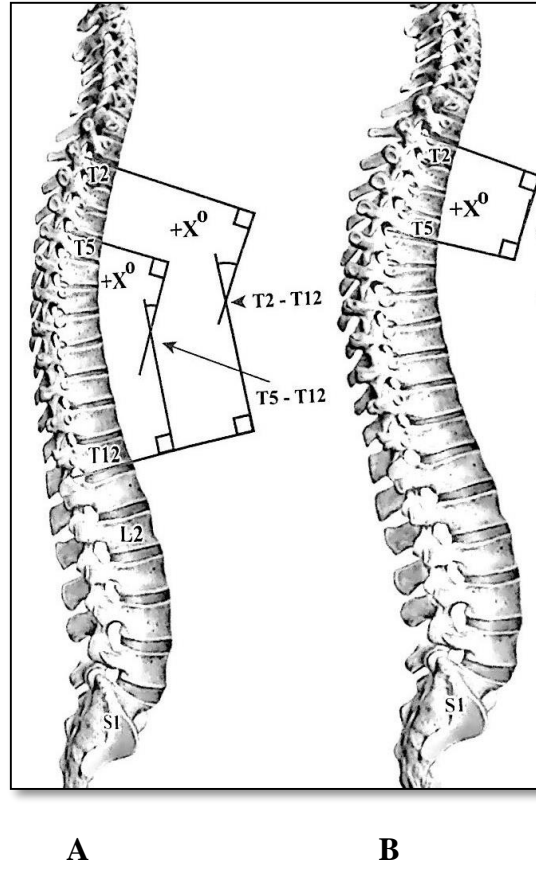
2.1.1 Torakal Sagittal Dizilim

Torasik kifoz : T2 vertebranın üst büyüme plağı ile T12 vertebranın alt büyüme plağı arasında Cobb metodu kullanılarak ölçülür. (Şekil 2.5)

Orta/alt torasik kifoz : T5 vertebranın üst büyüme plağı ile T12 vertebranın alt büyüme plağı arasında Cobb metodu ile ölçülür. Ortalama değeri 10-40 derece kifozdur.

Proksimal torasik kifoz : T2 vertebranın üst büyüme plağı ile T5 vertebranın alt büyüme plağı arasında Cobb metodu ile ölçülür.

Hasta gözlemcinin sağına bakacak şekilde, kifoz değerleri pozitif (+), lordoz değerleri negatif (-) değerlerle ifade edilir.

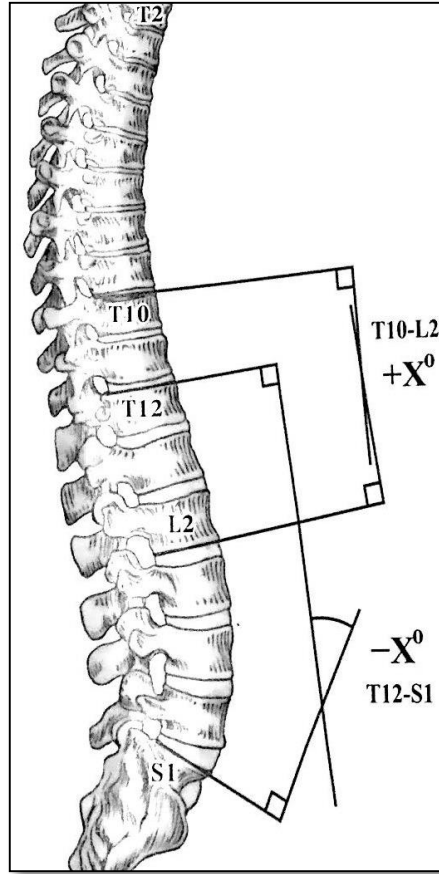


Şekil 2.5. A) Torasik ve orta/alt torasik kifozun, B) Proksimal torasik kifozun Cobb metoduyla ölçümü [13]

2.1.2 Torakolomber ve Lomber Sagittal Dizilim

Torakolomber sagittal dizilim T10 vertebranın üst büyüme plağı ile L2 vertebranın alt büyüme plağı arasında Cobb metodu ile ölçülür.

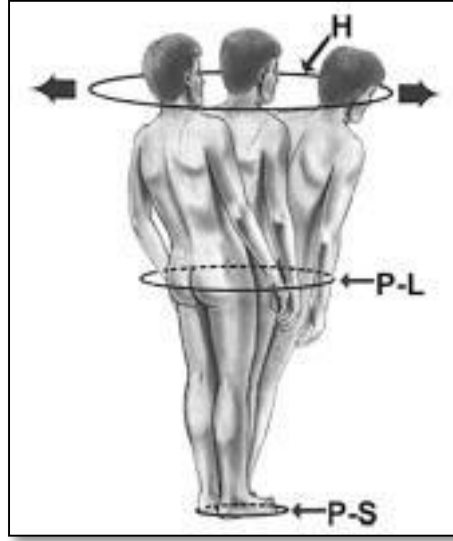
Lomber sagittal dizilim T12 vertebranın üst büyüme plağı ile S1 vertebranın büyüme plağı arasında ölçülür. S1 büyüme plağını tanımlamak zor olduğu için alternatif bir yöntem olarak sakrumun posterior cisminden geçen çizgiye dik bir çizgi çekilebilir. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6. Alt lomber, lomber sagittal dizilimin Cobb metoduna göre ölçümü [13]

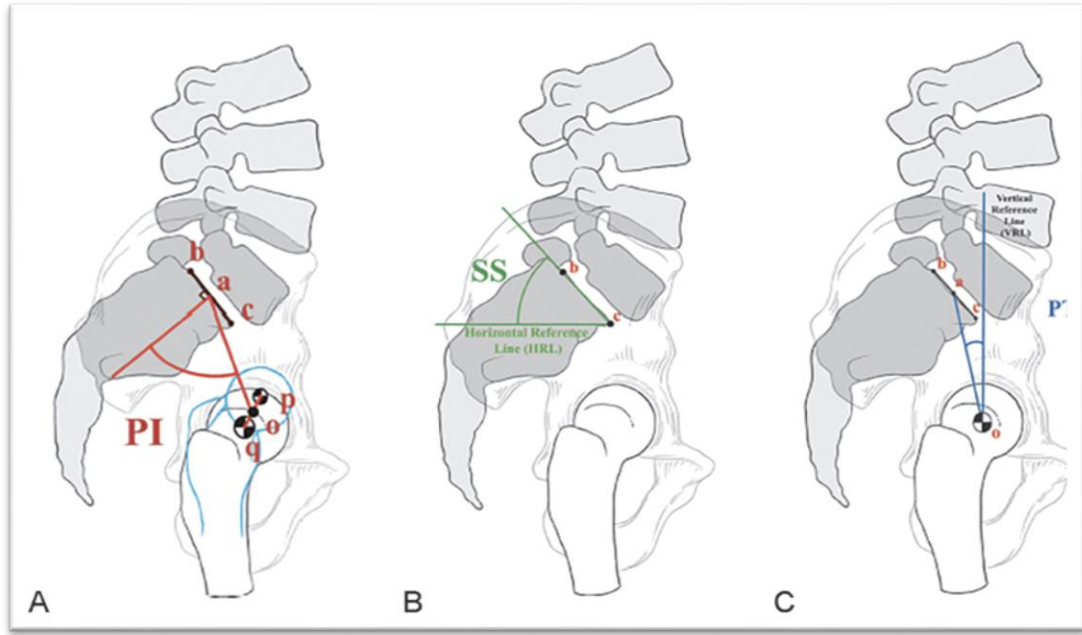
2. 2. Normal Sagittal Dizilim ve Önemi

İdeal spinal dizilim, kişi ayakta dururken minimum kas enerji harcamasına olanak sağlar[14]. Normalde bu durum vertebranın fizyolojik eğimleri, pelvis morfolojisi, aksiyel ve apendiküler iskelet kasları arasındaki kompleks ilişki ile sağlanır. Debousset'in ekonomi konisi kavramı, spino pelvik dengenin dik bir postür sağlama, yürüme ve dik durma sırasında enerji harcamasını minimize etmesinin önemini ortaya koyar [14] (Şekil 2.7). Pozitif sagittal balans artışı vücudun koninin periferine doğru pozisyon almasına neden olur. Bu pozisyonda kas enerji harcaması artarak ağrı, yorgunluk ve devamında sakatlanmalara sebep olabilir. Eğer vücut koninin periferi dışına kayarsa dengeyi sağlamak için koltuk değneği, baston veya yürüteç gibi araçlar kullanılması gerekebilir.



Şekil 2.7. Ekonomi konisi: Şekil kişiyi ayaktan başa kadar çevreleyen konik şeklindeki "stabil" alanı tanımlıyor. Merkezden periferie doğru kayma dik durmak için harcanan enerjiyi artırır. Koninin dışına kayma ise düşme veya destek gereksinimine sebep olur. Kısaltmalar: H, baş; P-L, pelvik seviye; P-S, Destekleme poligonu. [15]

Günümüzde insanda pelvisin ayakta dururken sagittal spinal dizilimdeki rolü tanımlanmıştır [16]. Literatürde tanımlanmış üç pelvik parametre vardır (Şekil 2.8) (A-C). Pelvik insidans, lomber dizilimi ve özellikle lomber lordoz derecesini belirleyen sabit morfolojik parametredir. Genelde lomber lordoz yaklaşık olarak pelvik insidans kadardır. ($PI = LL \pm 9$ derece). Pelvik tilt (PT) ve sakral eğim (SE) herhangi bir dilizim kusurunda sagittal dizilimin ayarlanmasında kompensatuar olarak görev alan pelvik versiyonu ölçen dinamik parametrelerdir.

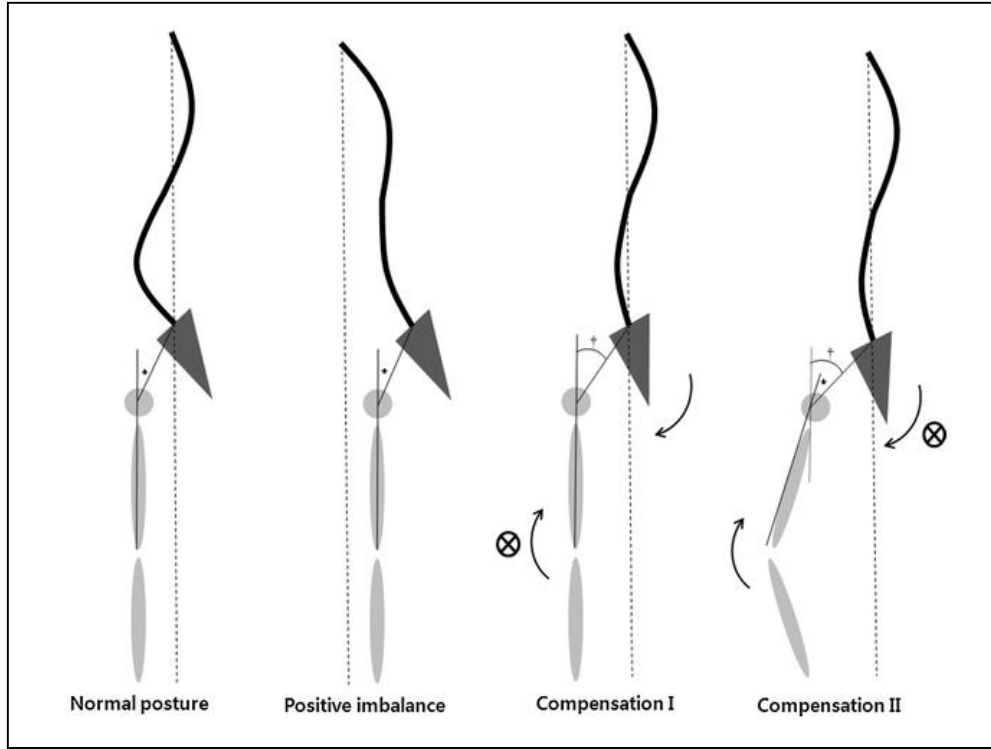


Şekil 2.8. (A) Pelvik insidans (B) Sakral eğim (C) Pelvik tilt[15]

Kalça ekstansiyonu ve diz fleksiyonu diğer kompensatuar mekanizmalardır ve bu hastalarda sıklıkla klasik "bükük diz yürüyüşü" görülür. Lafage ve arkadaşları pozitif sagittal balans ve artmış PT'nin düşük sağlıklı yaşam kalite skoru ile ilgili olduğunu göstermiştir. Sagittal vertikal aksın $<50\text{mm}$, PT'nin <20 derece olacak şekilde restore edilemediği durumlar kötü cerrahi sonuçlar ile ilişkilidir [17].

Pelvik morfoloji ve oryantasyon ayakta dizilimin önemli bileşenleridir. PI pelvisin uzaysal oryantasyonundan bağımsız, kişiye özel ve sabit bir anatomik parametredir[18]. PI sakral üst büyüme plağının orta noktasına çizilen dik bir çizgi ile femur başı aksına çizilen çizgi arasındaki açıdır. PT sagittal plan deformitesi olan bir hastada omurgayı dik tutmak için bir kompensasyon mekanizmasıdır. Vertikal aks ile sakral büyüme plağının orta noktasından femur başı aksına çizilen çizgi arasındaki açı olarak tanımlanmıştır. Son olarak, SE horizontal plan ile sakrumun üst büyüme plağı arasındaki açıdır. $PI = PT + SE$ ve ortalama değerler sırasıyla $52 \pm 10^\circ$, $15 \pm 7^\circ$, $30 \pm 9^\circ$ dur[16].

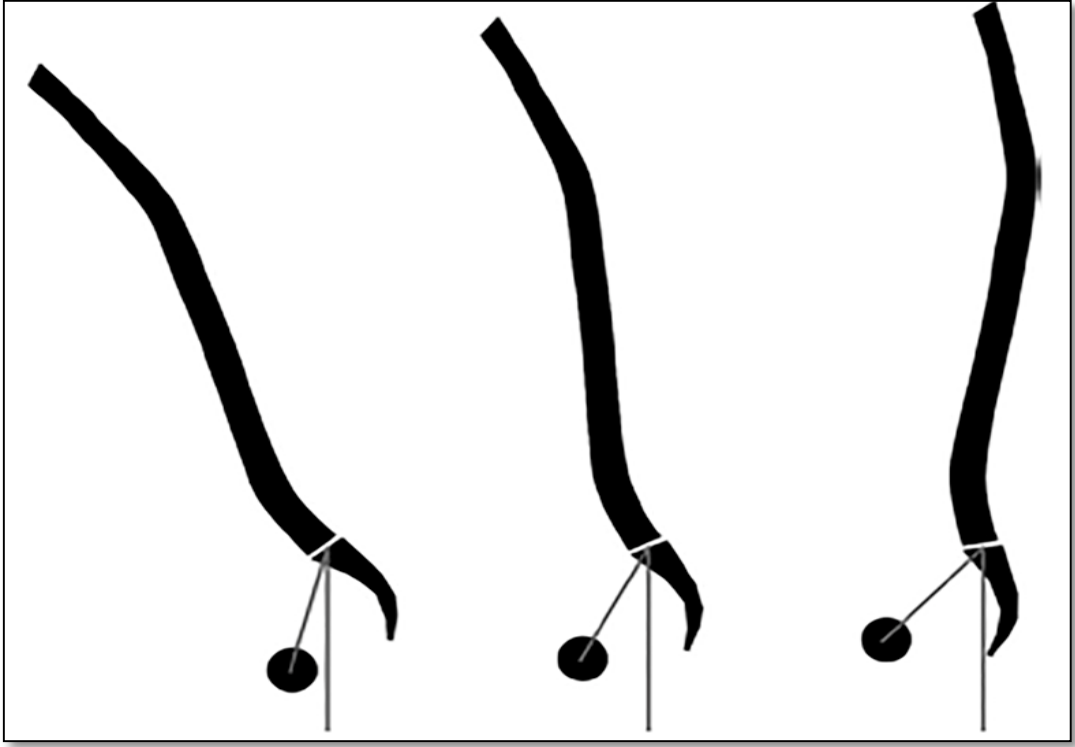
PT arttığında (pelvik retroversiyon), SE azalır ve PI sabit kalır. Pelvik retroversiyonun belirlenmesi, bir kompensatuar mekanizma, sagittal plan imbalansının derecesinin anlaşılması ve ameliyat esnasında yapılacak düzeltmenin anlaşılması açısından önemlidir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Yapısal deformiteye göre pelvik retroversiyonun spinal deformiteyi kompanse etmesi. Sol: Pelvik retroversiyon yok ve yüksek sagittal vertikal aks (SVA). Orta: Orta pelvik retroversiyon ve SVA. Sağ : Yüksek pelvik retroversiyon ve SVA yok [14]

Ayakta sagittal dizilim sadece spinal dizilimle alakalı değildir. Pelvis, kalça ve omurga arasındaki resiprokal ilişkinin yanında, omurganın diz eklemi dolayısıyla adaptif değişikliklere gittiği gösterilmiştir. Dik pozisyonu korumak için pelvis geriye doğru, kalça fleksiyona giderken dizlerde de fleksiyona gitmektedir. Aynı şekilde dizde ortaya çıkan fleksiyon kontraktürleri lomber lordozda azalmaya yol açar (Şekil 2.10). Lomber omurgadaki dejeneratif değişikliklerin diz fleksiyon kontraktürüne bağlı lomber lordozda azalmaya sekonder olarak gelişebileceği gösterilmiştir ve bu fenomen "diz-omurga sendromu" olarak adlandırılmıştır[19].

Omurganın rijid olduğu fikse sagittal imbalans durumunda dengesizliği kompanse etmek için ilk yanıt pelvik retroversiyon ve kalça fleksiyonudur. Eğer kalça ekstansiyonu sınıra dayanırsa, diz fleksiyonu gelişebilir. Diz fleksiyonu, pelvik retroversiyonuna arttırdığı için PT'i daha da fazla arttırır. Lomber omurganın sertliğinden dolayı, lomber lordozun kaybı PT'nin artışı ile koreledir



Şekil 2.10. Pozitif sagittal balansın kompansementasyonunda iki farklı kompansementuar mekanizma. Kompansementasyon I sadece pelvik retroversiyon ya da diz fleksiyonu olmadan kalça ekstansiyonu ile; Kompansementasyon II pelvik retroversiyon ya da diz fleksiyonu olmaksızın diz fleksiyonu ile gerçekleşmekte. [20]

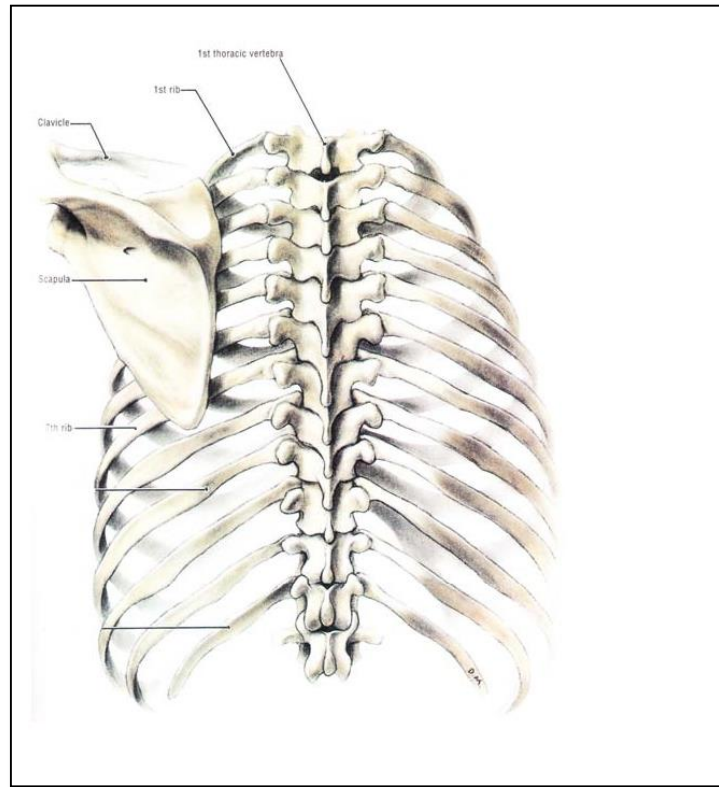
Sagittal planın uygun olmayan rekonstrüksiyonu komşu segment problemlerine neden olabilir. Bu problemler en sık disk herniasyonu, hipertrofik faset artrit, spondilolistezis, instabilite ve daha nadir olarak skolyoz ve kompresyon kırıklarıdır [21] [22] [23]. Kumar ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmaya göre retrolistezis en sık karşılaşılan komşu segment problemidir. Yine bu çalışmaya göre post operatif SVA ve sakral eğimi anatomiye uygun rekonstrükte edilen hastaların komşu segment problemlerini anlamlı derecede az yaşadığı gösterilmiştir[23].

Vertebral kolonun stabilitesi, insanları erekte pozisyonda tutan ve gövdeyi pelvis üzerinde dengeleyen intrinsek ve ekstrinsek yapılar tarafından sağlanır [8].

İntrensek stabiliteyi sağlayan yapılar:

1. Vertebralar ve intervertebral diskler.
2. Faset eklemler ve bunların kapsülleri,
3. İntraspinöz ve supraspinöz ligamentler, ligamentum flavum, anterior ve posterior longitudinal ligamentler,
4. İntervertebral kaslar ve m. erector spinae'dır

Ekstresek stabilite ise göğüs kafesi tarafından sağlanır. Her kosta, interkostal kaslar ve ligamentler tarafından desteklenir. Bu ligamentler kostaları birbirlerine, vertebralain cisim ve transvers çıkıntılarına bağlar, önden göğüs kafesi sternum ve kostal kıkırdaklar tarafından güçlendirilir. Anterior ve lateral abdominal kaslar da ekstresek destek sağlarlar [9] [24]. (Şekil 2.11)



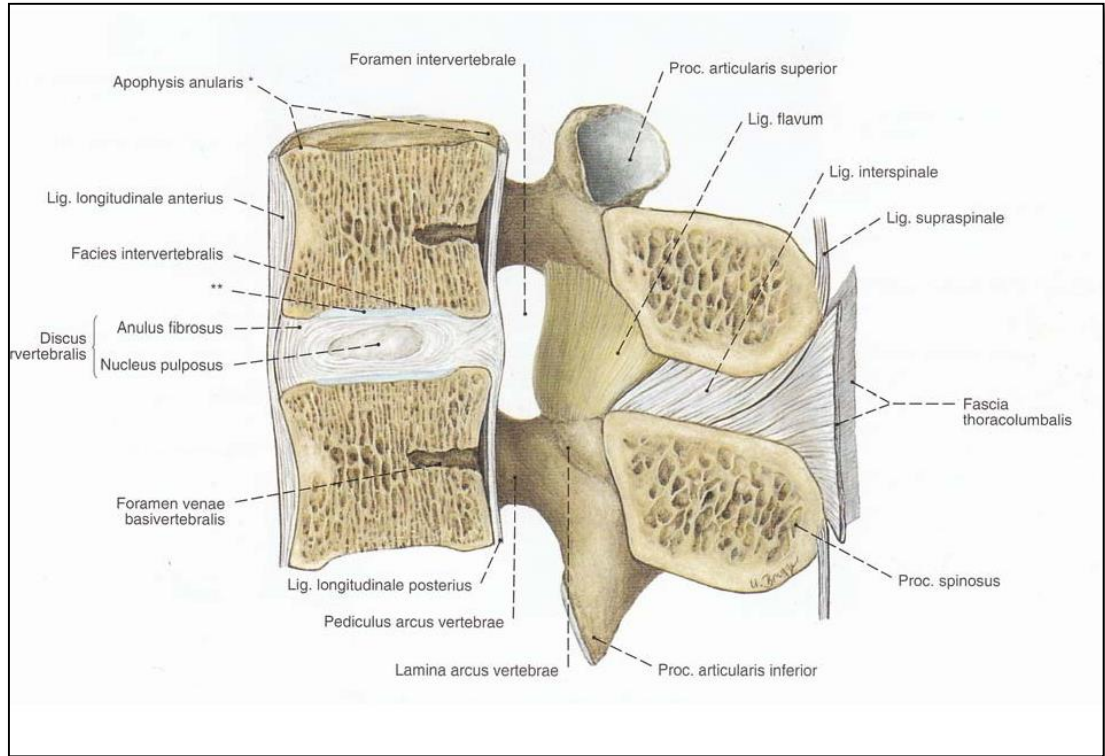
Şekil 2.11. Göğüs kafesi tarafından sağlanan ekstresek stabilite [8].

2.3. Biyomekanik

Vertebral kolon, vücut hareketleri esnasında kompresyon, gerilme, eğilme, makaslama ve torsiyon gibi çeşitli kuvvetlere maruz kalır. İntervertebral disk, omurga çevresindeki ligamentler ve kaslar bu kuvvetlere karşı koyarak stabil yapının devamlılığını sağlarlar [25] [26].

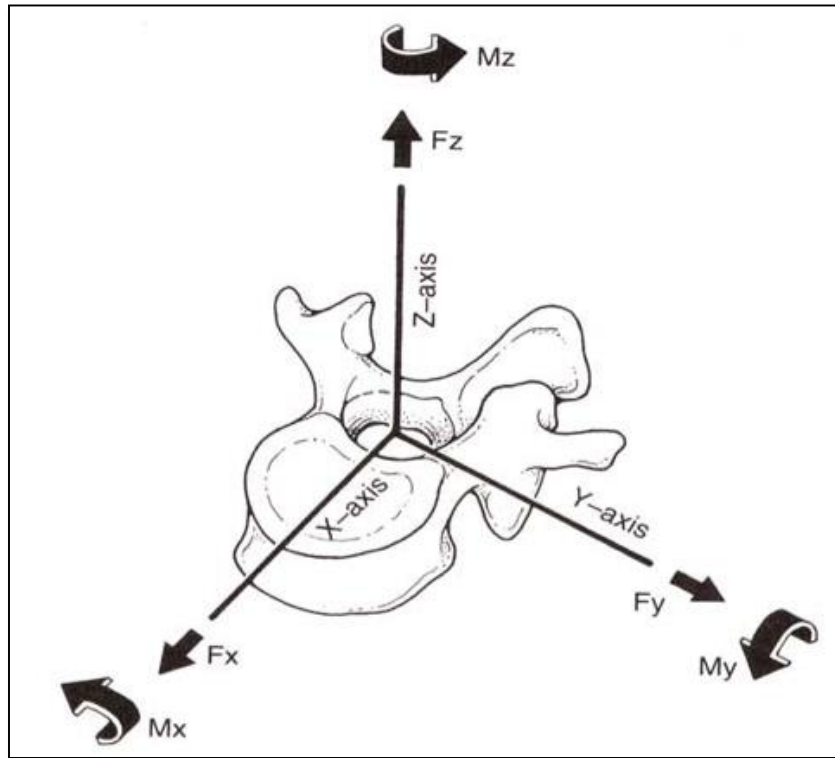
Erişkin bir insan omurgası sagittal planda incelendiğinde, servikal ve lomber bölgede lordoz, torakal ve sakral bölgede kifoz görülmektedir. Bu fizyolojik eğriliklerin amacı, omurganın aksiyel kompresyon güçlerine karşı direncini arttırmaktır [25] [26].

Vertebral kolonunun fonksiyonel birimi hareket segmentidir. Hareket segmentinin anterior kısmını iki omur cismi, intervertebral disk ve anterior ligamentler oluşturur. Posterior kısım ise intervertebral eklemler, posterior ligamentler, transvers ve spinöz çıkıntılar tarafından oluşturulur [25]. (Şekil 2.12)



Şekil 2.12. Lomber bölgeden, fonksiyonel hareket segmenti [24].

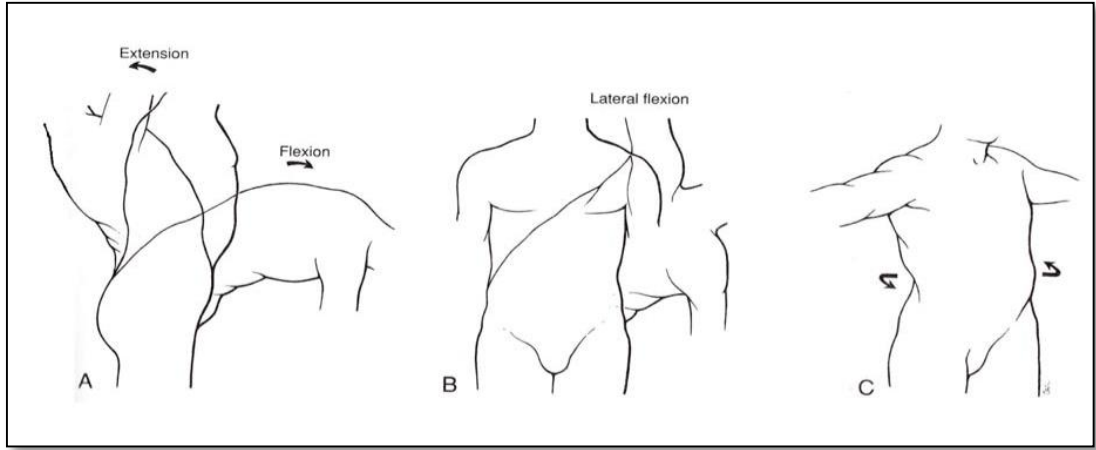
Her bir vertebranın hareketini tanımlayabilmek amacı ile kartezyen koordinat sistemi kullanılır. Bu sistemde X,Y ve Z olmak üzere üç eksen vardır. Bu eksenlerin her birinin çevresinde ikişer rotasyon ve ikişer kayma hareketleri yapılabileceğinden. rotasyonun anlık ekseni çevresinde 12 potansiyel hareket meydana gelir. Rotasyonun anlık ekseni, her hareket segmentinin bağlı olduğu koordinat sisteminin merkezidir. Vertebra cismi bu eksen etrafında hareket eder [25] .(Şekil 2.13)



Şekil 2.13. Kartezyen koordinat sistemi üzerinde rotasyonun anlık ekseni ve hareketleri [25].

Omurganın fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri sagittal düzlemde meydana gelir. Servikal bölgede 40° fleksiyon, 75° ekstansiyon; lomber bölgede 60° fleksiyon, 35° ekstansiyon; torakolomber bölge bütün olarak değerlendirildiğinde ise 105° fleksiyon, 60° ekstansiyon hareketi mevcuttur [26] [25]. (Şekil 14 A)

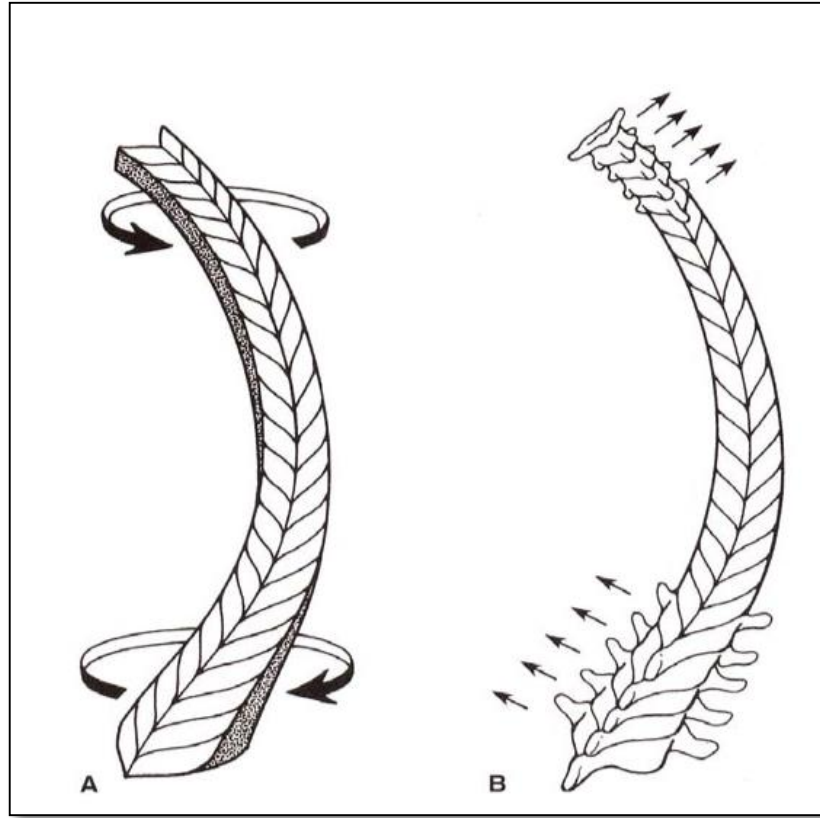
Lateral fleksiyon hareketli frontal düzlemde meydana gelmektedir. Servikal bölgede 35-45°, torakal bölgede 20° ve lomber bölgede 20° olmak üzere kranyumdan sakruma kadar toplam 75-95 derecedir [26] [25]. (Şekil 2.14 B)



Şekil 2.14. Omurga hareketleri; **A-**Ekstansiyon ve fleksiyon, **B-** Lateral fleksiyon,**C-** Rotasyon [27]

Omurganın rotasyonel hareketleri alt segmentlere inildikçe azalmaktadır. Servikal bölgede 45-50°, torakal bölgede 35°, lomber bölgede ise 5° rotasyon mevcuttur. (Şekil 19 C) Torakal omurlarda faset eklemler yatay yerleşimli olduğu için rotasyonel hareket daha fazladır. Lomber omurlarda ise faset eklemler dikey yerleşimli olduklarından dolayı rotasyonel hareketlere direnç gösterirler. Yürüyüş esnasında üst 7 torakal segment omuzla birlikte dönerken, T7 altındaki segmentler pelvis ile birlikte karşı yöne doğru dönmektedir. Buna "coupling fenomeni" denilir [25] [28] . (Şekil 2.15)

Vertebraların büyüklük ve kütleleri alt segmentlere inildikçe artmaktadır. Bu durum vertebraların giderek artan yüklere karşı adaptasyonunu göstermektedir. Özellikle vertebra cismi aksiyel yüklenmelere karşı koymaktadır. Cisim üzerine binen yük kortikal ve spongioz kemik üzerinden alt segmentlere iletilir. Korteks oldukça ince yapıdadır. Trabeküler yapıdaki spongioz kemik gelen yükün bir miktarını, perifere doğru elastik deformasyon göstererek absorbe eder [25] [28].



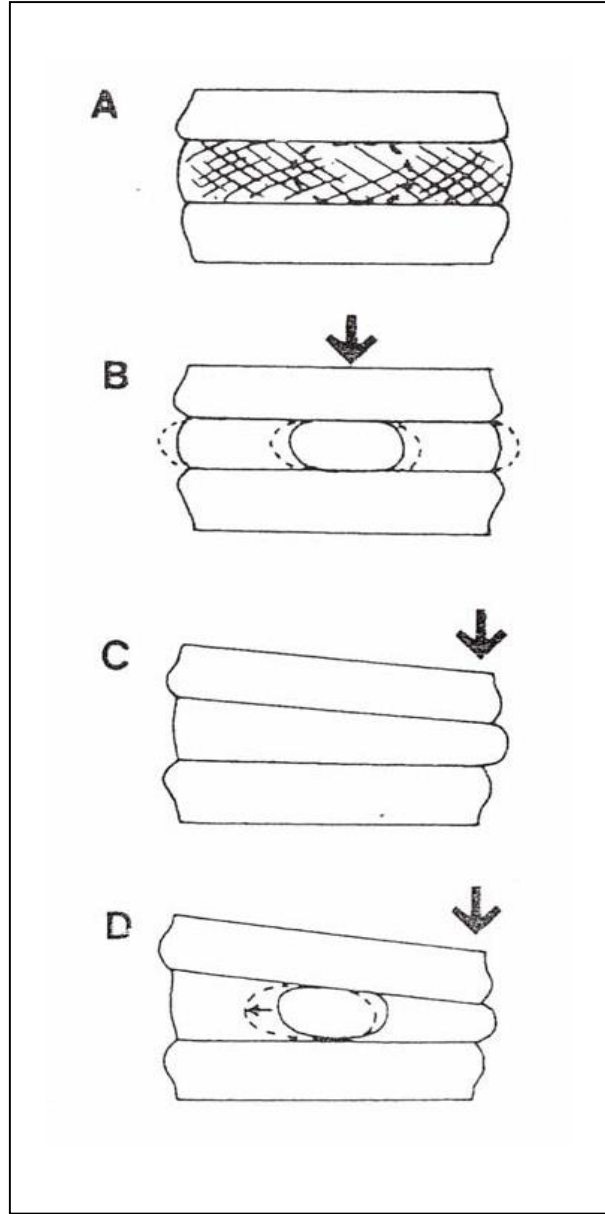
Şekil 2.15. "Coupling fenomeni" [25]

Uç plak, trabeküllerden gelen yükün diske, diskten gelen yükün trabeküllere iletilmesini sağlar. Elastisite ve şok absorpsiyonu özellikleri yoktur. Omurga üzerine binen aşırı yüklenme sonucu kırılmaya en uygun bölgedir [26] [25].

Pediküller yoğun kortikal kemik içeriğinden dolayı oldukça sağlam yapılardır. Pedikül büyüklüğü ve yapısı, pedikül vidasının yerleştirilmesine ve güçlü tutunmasına olanak sağlamaktadır [25] [28].

Hareket segmentinde her iki vertebra cismi arasında bulunan intervertebral disk, ortada viskoelastik yapıdaki nükleus pulposus ve bu yapıyı çevreleyen anullus fibrosustan oluşmaktadır. Hareket segmentinin yüklenmeye karşı dayanıklılığı en fazla olan bölümdür. Elastik deformasyon yeteneği sayesinde yükün bir kısmını absorbe eder. Viskoelastisite, hücreler arası matriksin sıvı alış verişi ve yapısını oluşturan makromoleküllerin varlığından kaynaklanmaktadır [25] [28].

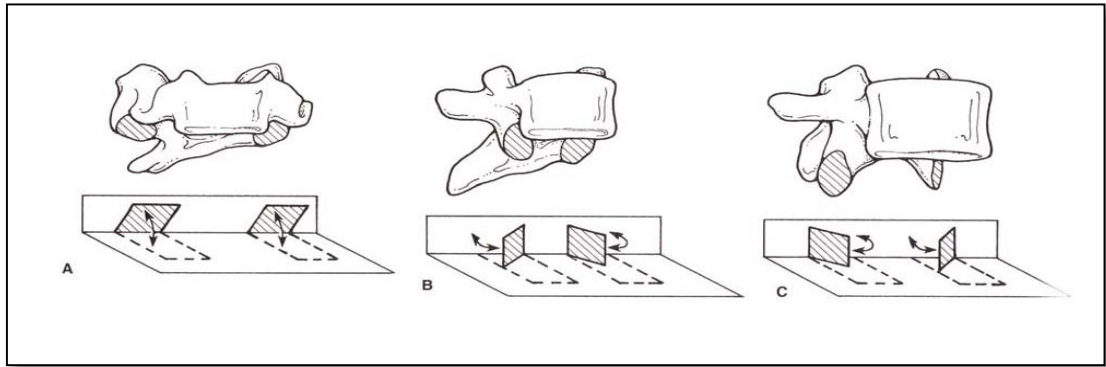
Annullus fibrosus tabakalarını oluşturan kollajen lifler birbirlerini çaprazlayacak şekilde yerleşmişlerdir. Bu yapısı sayesinde torsiyonel kuvvetlere karşı oldukça dayanıklıdır. İntervertebral diske uygulanan yüklenme sonucu disk deforme edildiğinde, nükleus pulposus basınç etkisi ile yüklenmenin tersi tarafa hareket eder[25]. (Şekil 2.16)



Şekil 2.16. Nucleus pulposus ve annulus pulposus'un basınç etkisi ile hareketleri [25].

Faset eklemler stabilite açısından çok önemli yapılardır. Rotasyonun anlık eksenine komşuluğu nedeniyle ön ve arka kolonlar arasında menteşe görevi yaparlar. Ayrıca yük taşıma fonksiyonu da vardır. Omurga hiper ekstansiyondayken faset eklemlere binen yük en üst düzeydedir. Maksalama kuvvetlerine karşı koymada da önemli rol oynarlar[25] [28].

Faset eklem oryantasyonları servikal bölgede koronal planda olduğundan dolayı, tüm hareketlere karşı daha az kısıtlayıcıdır. Lomber bölgede ise fasetler sagittal düzlemde oryante olmuşlardır. Bu nedenle fleksiyona karşı az direnç gösterirken, rotasyona karşı dirençleri fazladır[25]. (Şekil 2.17)



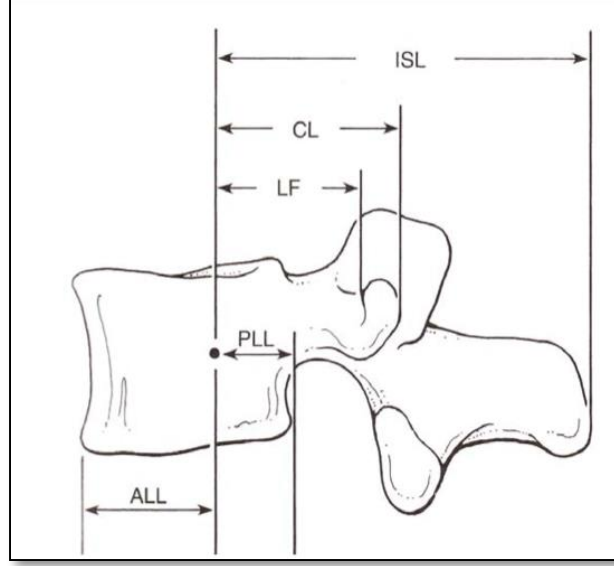
Şekil 2.17. Faset eklem oryantasyonları, **A-** Servikal, **B-** Torakal, **C-** Lomber [25]

Ligamentler, gerilmeye karşı direnç göstererek omurganın stabilizasyonunda önemli görevler almaktadır. Posteriodaki ligamentler fleksiyona karşı koyarken, anteriordaki ligamentler ekstansiyona karşı koyarlar. Bir ligamentin etkinliğindeki en önemli iki faktör, o ligamentin iç kuvveti ve etkisini gösterdiği moment kolunun uzunluğudur. Anterior longitudinal ligament, posterior longitudinal ligamente göre iki kat daha güçlüdür. Posterior ligamentler arasında en uzun moment kolu olan interspinöz ligamentler, fleksiyona karşı en fazla gerilim gösteren ligamentlerdir. Ekstansiyon boyunca en fazla direnç anterior longitudinal ligamentler tarafından uygulanır[25] [28]. (Şekil 2.18)

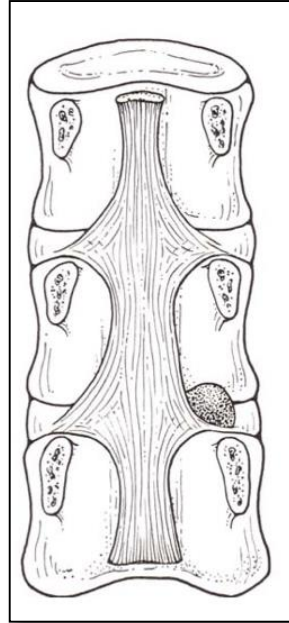
Posterior Longitudinal Ligament, anterior ligamentin aksine daha zayıftır ve vertebra korpusuna değil de intervertebral diske tutunmaktadır[25]. (Şekil 2.19)

Kaslar omurganın aktif stabilize edici elemanlarıdır. Lomber dorsal kaslar ekstansiyonu sağlamaktadır. Sakrumdan dayanak alarak, lomber ve torakal bölgede

görevlerini yaparlar. Kas tonusları ile lordoza katkıda bulunurlar. Karın duvarının önündeki rektus abdominis ve psoas kasları, arkadaki erektör spinaların antagonisti olarak çalışırlar. Yan karın kasları omurgaya rotasyon yaptırırlar[26] [25] [28].



Şekil 2.18. Rotasyonun anlık eksenine göre, ligamentlerin moment kolu uzunlukları ISL: İnterspinöz Ligament, CL: Kapsüler Ligament, LF: Ligamentum Flavum, ALL: Anterior Longitudinal Ligament PLL: Posterior Longitudinal Ligament [25].



Şekil 2.19. Posterior Longitudinal Ligament, posteriordan görünümü [25].

2.4. Bipedal Evrilmenin İskelet Üzerine Etkileri ve Omurgada Sagittal Dengenin Gelişimi

İnsan vücudunun gereksinimleri doğrultusunda mükemmel dengeyi araması ve uygun sistemi inşa etmesi tarihsel bir serüvendir. Günümüz insan vücudunda ideal denge sistemi ihtiyaçları doğrultusunda kurulmuş ve sorunsuz işlemektedir. Bu sistemi bozan her etken ideal dengeden uzaklaşmaya neden olarak sorunlar ortaya çıkaracaktır.

İnsanın bipedale evrimi yaklaşık 4 milyon yıl önce başladı ve insan iskeletinde morfolojik değişikliklere yol açtı [29]. Bu adaptasyonlar ayak kemiklerinde şekil ve boyut, kalça şekil ve boyutu, diz boyutu, bacak uzunluğu ve omurganın şekil ve oryantasyonu gibi değişiklikleri içeriyordu. Bu değişikliklere neden olan evrimsel faktörleri açıklamaya çalışan birçok teori ortaya atıldı. İnsan yürüyüşü dört ayaklıların ve bipedal şempanzelerin yürüyüşünden %75 daha az enerji gerektirir. Bazı hipotezler bipedal hareketin enerji verimliliğini destekleyerek bipedalizmin ana felsefesi olduğunu savunmuştur. İnsanlar quadripedlere göre yürürken daha az enerji harcarlar fakat koşarken bu durum farklıdır. İnsanın koşması yürümesine göre %75 daha az verimlidir. Yapılan bir çalışmaya göre hominid bipedal yürüme, hominid quadripedal yürümeye göre daha verimli olsa da, seyahatin enerji tüketimi aynıdır [30].

2.4.1. Ayak

İnsan ayağı artan vücut ağırlığını karşılayabilmek için geniş topuklar geliştirmiştir [31]. Erken hominidlerde bir kavrama organı olan ayak, insanda vücudun tüm ağırlığını taşıyabilmek için bir kavrama organından çok platform şeklinde evrilmiştir. Öte yandan insanların bipedal atalarına göre daha küçük baş parmakları vardır. Ek olarak insanda düz bir ayaktan ziyade bir ayak arkı bulunur [32]. İnsan olmayan hominidler dik yürüdüğü zaman ağırlık topuktan ayak dışına oradan da orta parmaklara iletilirken, insanda ağırlık iletimi topuktan ayak dışına, metatars başlarından son olarak baş parmağa doğru olur. Ağırlığın bu şekilde transferi enerjinin korunmasına katkıda bulunur [29] [33].

2.4.2. Kalça

İnsan kalça eklemi, quadripedal atalarına göre ağırlık iletimini daha iyi sağlaması için daha büyük, aynı zamanda daha geniş ve kısa şekillidir [32]. Kalça

eklemindeki bu değişiklik omurgayı kalçaya yaklaştıran dik yürüme esnasında gövdeye daha stabil bir taban desteği sağlar. Ek olarak, bipedal yürüme göreceli instabil bir küre-yuva eklem üzerinde hareket etmeyi gerektirdiğinden, kalçanın omurgaya yaklaşması sayesinde yürürken dengeyi sağlamak için daha az kas gücü kullanılır [32]. Kalça şeklindeki bu değişiklikler enerji koruyucu adaptasyon olarak ekstansiyon açıklığında azalmaya sebep olmuş olabilir [29] [34]. İlium uzun ve dar bir şekilden kısa ve geniş bir şekile, pelvis duvarları laterale bakacak şekilde evrimleşmiştir. Bu iki değişiklik, gluteal kaslara geniş bir yapışma alanı sağlayarak tek ayak üzerindeyken karşı tarafın stabilizasyonuna yardım eder. Sakrum da genişleyerek doğum kanalının çapını arttırmış ve kadınlarda doğumu kolaylaştırmıştır. Ayakta dururken abdominal viserayı desteklemek için ligamanlara daha fazla yapışma alanı sağlamak adına, iskiyal çıkıntılar daha belirginleşmiş ve mediale doğru yönelmiştir [35].

2.4.3. Diz

İnsan diz eklemleri, kalça eklemleri ile aynı sebepten, artan vücut ağırlığına destek olmak amacıyla genişlemiştir [32]. Diz ekstansiyonu azalmıştır. Bir yürüme siklusu boyunca diz eklemi iki fleksiyon iki ekstansiyon hareketi yapar. Bu paternde ağırlık merkezinin vertikal hareketi sayesinde enerji kaybı azalır [29]. İnsanlar dizleri ekstansiyonda, kalça öne eğilmiş şekilde yürürler ve ata hominidlerde olduğu gibi bu sayede dizler dışarı yerine her zaman vücudun altında kalır. Bu tür yürüyüş de dengeye yardım eder [32].

2.4.4. Uzunlar

Bipedalizm ile birlikte bacak boyundaki artış, bacak kaslarının dik yürüme esnasındaki fonksiyonlarını değişmiştir. İnsanlardaki ateşleme fazı ayak bileği üzerine etki eden gastrocnemius kası ile olur. Daha uzun bir bacak, ekstremitenin salınım fazını kullanmasına olanak tanır, bu sayede, yürürken insanlar diğer bacağın öne salınımı ve sıradaki adım için kas gücü kullanmazlar [32]. Sonuç olarak, insan üst ekstremitesi hareket için değil daha çok cisimlerin taşıma, tutma ve hassas manipülasyonu için optimize oluşlardır [36]. Bu durum, maymunlara kıyasla insan önuzuvların vücuda oranla daha kuvvetsiz olmasıyla sonuçlanır [37]. Uzun arkauzuv ve kısa önuzuvlara sahip olmak insanlarda dik yürümeyi sağlarken, orangutanlar ve gibonlarda adaptasyon,

dallar arasında salınabilmek için daha uzun kollar yönünde olmuştur [38]. Maymunlar arka arkauzuvları üzerinde durabilirler fakat, bunu yorulmadan uzun süre yapmaları mümkün değildir. Bunun nedeni femurlarının bipedalizm için adaptasyonunun olmamasıdır. Maymunların vertikal bir femuru varken, insanların femurları kalçadan dize hafifçe mediale açılmıştır. Bu adaptasyon dizlerin birbirine yakın ve vücut ağırlık merkezinin altında durmasını sağlar. Böylece insanlar dizlerini kilitleyerek uzun süre yorulmadan ayakta kalabilirler [39]. Gluteus maksimus yürümede büyük rol oynar ve insandaki en büyük kaslardan biri iken şempanzelerde çok daha küçüktür. İnsan koşarken yere vuran her ayak, öne doğru bir momentum yarattığından dik olan postür öne doğru eğilmeye meyillendir. Gluteus maksimus kası, gövdenin öne doğru düşmesini engellemeye yardımcıdır [34].

2.4.5. Kafatası

İnsan kafatası omurga üzerinde dengededir: Foramen magnum, ağırlığın büyük kısmını omurganın posterioruna iletir. İnsan yüzünün düz olması oksipital kondiller üzerinde denge sağlanmasına yardımcı olur. Bu yüzden, kafanın erekt pozisyonu maymunlarda olduğu gibi çıkıntılı supraorbital çıkıntılar ve güçlü muskuler yapışmalar olmadan da sağlanabilir. Bunların sonucunda oksipitofrontal kaslar sadece yüz mimikleri için kullanılır [36]. Beyin boyutunun artışı insan evriminde belirgindir. Büyümeye 2.4 milyon yıl önce başlamıştır fakat modern boyutlara erişimi 500,000 yıl öncesine kadar tamamlanmamıştır. Zoolojik analizler göstermiştir ki; insan beyni kendi cesametinden beklenmeyecek kadar büyüktür. İnsan beyni en yakın akrabası olan şempanzeden 3-4 kat daha büyüktür [40].

2.4.6 Vertebral Kolon

İnsanda vertebral kolon lomber bölgede öne doğru (lordoz), torakal bölgede arkaya doğru (kifoz) eğilir. Lomber lordoz olmadan vertebral kolon her zaman öne doğru eğilme meyilindedir ve bu pozisyon bipedal hayvanlar için çok daha fazla kas gücü gerektirir. Torakal kifoz sayesinde insanlar yürümek için çok daha az enerji kullanır [41]. Lomber lordoz ve torakal kifoz birlikte vücut ağırlık merkezini direkt ayaklar üzerine getirir [32]. Ek olarak, vücudun diklik derecesi (bir yürüme döngüsünde vücudun vertikal hatla olan açısı) anlamlı biçimde küçüktür ve bu sayede enerji

korunur.

Bir çok modifikasyona rağmen insan iskeletinin bazı özellikleri bipedalizme zayıf adaptasyon göstermiştir. Diz ve bel bölgeleri taşıdıkları aşırı yük nedeniyle osteoartrit tehditi altındadır. Artrit, bipedal olmanın bir bedelidir ve tarih öncesi çağlardan kalan fosillerde vertebra osteoartritine rastlanmıştır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma için Hacettepe Üniversitesi Girişimsel Olmayan Etik Kurul onayı alınmıştır (07/2012, HEK 12/110-14). Çalışmaya hastanemizin pediatri ünitesinde lateral göğüs, torasik, lomber ya da torakolomber grafi istenilen (çeşitli nedenlerden iskelet surveyi için vertebra grafisi çekilmesi planlanan, non-spinal travma geçirmiş veya alt solunum yolu enfeksiyonu ayırıcı tanısı yapılan hastalar) dahil edildi. Hastalara oturur pozisyonda 36" uzunluğunda omurga ve pelvisi içeren lateral grafi çekildi. 12 yaş altındaki çocuklara 14" tek grafi çekildi. Çocukların ebeveynlerinden yazılı olarak aydınlatılmış onam formları alındı.

Çalışmaya 3-17 yaşları arasında omurgasında iskelet anomalisi bulunmayan çocuklar dahil edildi. Tüm çocuklara tam bir kas-iskelet sistem fizik muayenesi yapıldı, nörolojik bir hastalığı olan veya omurga ve pelviste kemik ve/veya eklem anomalisi saptanan hastalar çalışma dışı bırakıldı. Omurga deformitesi tespit edilen (ör: kifoz , skolyoz , spondilolizis , spondilolistezis ve schuermann hastalığı vb.); herhangi bir nedenden dolayı geçirilmiş spinal cerrahi öyküsü bulunan; gelişimsel kalça displazisi, perthes hastalığı , femur başı epfiz kayması, nörolojik hastalıklara bağlı kas kontraktürleri gibi kalça eklemi hareket açıklığını ve alt ekstremitte uzunluğunu etkilebilecek hastalığı olan çocuklar çalışma dışı bırakıldı. Tarananlar arasından 124 (49 kız, 75 erkek) çocuk tüm kriterleri doldurdu (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Çalışmaya dahil edilen çocukların sayıları ve demografik bilgileri

| | Grup1 | Grup2 | Grup3 | Grup4 |
|-----------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Sayı | 33 (19k- 14e) | 29 (15k -14e) | 29 (9k - 20e) | 33 (12k-21e) |
| Yaş (yıl) | 3-6 | 7-9 | 10-12 | 13-17 |

Grafler, standardizasyonu sağlayabilmek için üniversitemiz radyoloji ünitesi röntgen salonlarında mesai saatlerinde aynı teknisyen tarafından çekildi. Kooperasyonu arttırmak amacıyla 8 yaş altındaki çocuklara araştırmacılar gözetiminde pozisyon verildi. Her çocuk 75 cm yüksekliğindeki bir tabure üzerinde dengeli konumda otururken baş tam karşıya bakacak şekilde , eller yumruk yapılmış supraklaviküler

çukurda durur vaziyette, kollar vertikal aks ile 45° açı yapacak konumda, ger iki femur 90° fleksiyonda ve yere paralel, servikal omurlardan pelvise kadar tüm omurgayı içeren yan grafiler ile değerlendirildi. (Şekil 3.20)



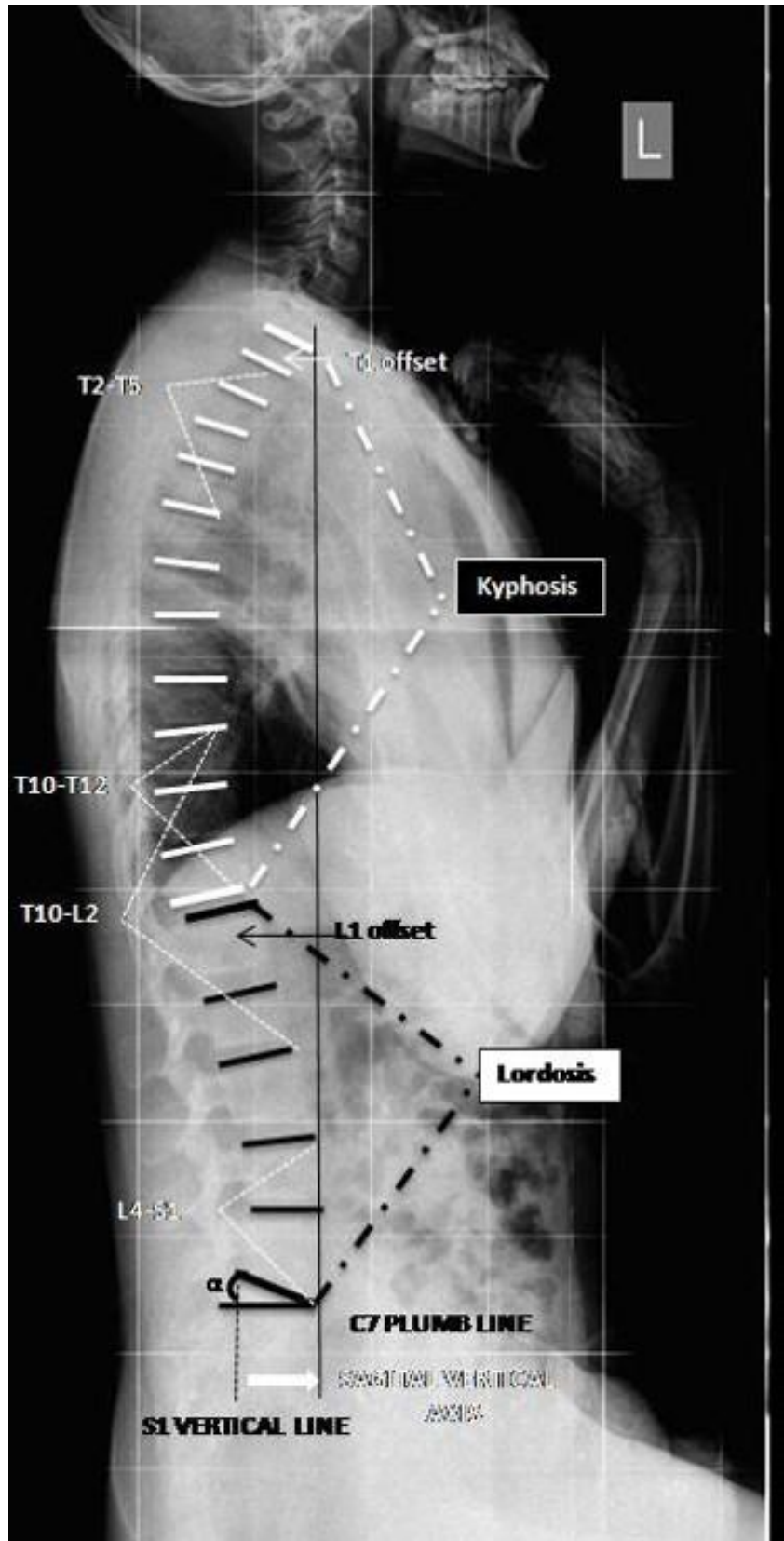
Şekil 3.20. Oturur pozisyonda lateral omurga grafisi

Grafler üzerindeki tüm ölçümler Picture Archiving and Communication System distributed by Siemens Corp. (PACS, Siemens Co, Munich, Germany) sistemi kullanılarak yapıldı.

Grafler üzerinde ölçülerek değerlendirilen değişkenler; T1-T2'den L5-S1'e kadar iki komşu üst büyüme plağı arasındaki segmental açılar; üst torasik (T2-T5), alt torasik (T10-T12), torakolomber (T10-L2), alt lomber (L4-S1) segmentlerde yukarıdaki vertebranın üst büyüme plağı ile aşağıdaki vertebranın alt büyüme plağı arasındaki açı; global torakal kifoz (T1-T12), global lomber lordoz (L1-S1), T1-T12 vertbralar arasındaki vertikal mesafe; sagittal plumb line; T1 ve S1 offsetleri [28]; sakral eğim (S1'in üst büyüme plağı ile horizontal düzlem arasındaki açı (Şekil 3.21).

Ölçümlerin istatistiksel gücünü arttırmak için çocuklar yaş aralıklarına göre 4 grupta toplandı. Her yaştan en az 7 tane çocuk vardı ve çocukların en az 3 tanesi aynı cinsiyetten seçildi.

İstatiksel analiz SPSS 21.0 (IBM Co, NY, USA) programı ile yapıldı. İki grup ortalaması karşılaştırılması eşlenmemiş Student's t testi ile değerlendirildi. Ortalama, standart sapma ve aralık değerleri yaş gruplarına göre prezente edildi. Yaş grupları arasında karşılaştırılma varyans analizi ile, çoklu karşılaştırmalar Tukey HSD testi ile yapıldı. Değişkenler arasındaki korelasyon Pearson korelasyon katsayısı kullanılarak hesaplandı. Anlamlılık değeri P 0.05 olarak alındı.



Şekil 3.21. Radyografilerde ölçülen parametreler

4. BULGULAR

Toplamda 124 grafi analiz edildi. 2 grafide T2 ve T3 vertebraların üst büyüme plakları ve T2-T5 segment açılanması ölçülemedi. TK bir grafide ölçülemedi. Veriler cinsiyete göre analiz edilerek karşılaştırıldı ve anlamlı bir fark bulunamadı. Bu istatistiksel çalışmanın sonucu olarak ileri istatistiksel analizler cinsiyeti gözetmeden yapıldı.

4.1. Açıklayıcı veriler

Tablo 4.2. Torakal ve lomber ölçümler, segmental değerler, sakral eğim, sagittal vertikal aks ölçümleri.

Toraksik ve lomber spinal sagittal ölçümler Tablo 4.2'de görülmektedir.

| | Grup 1 | Grup 2 | Grup 3 | Grup 4 |
|------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| T1-T2 (°) | 3.6 ± 2.7 (0 - 10) | 3.2 ± 2.2 (0 - 9) | 2.6 ± 1.8 (0 - 8) | 2.8 ± 1.9 (0 - 7) |
| T2-T3 (°) | 3.5 ± 1.9 (0 - 8) | 2.7 ± 2.7 (0 - 10) | 2.6 ± 2 (0 - 7) | 3.1 ± 2.2 (0 - 8) |
| T3-T4 (°) | 3.3 ± 2.6 (0 - 9) | 4.4 ± 2.2 (1 - 8) | 3.5 ± 2.6 (0 - 11) | 3.5 ± 2.6 (0 - 10) |
| T4-T5 (°) | 4.1 ± 3 (0 - 11) | 4.6 ± 2.4 (0 - 10) | 4.3 ± 2.5 (0 - 8) | 4.1 ± 2.8 (0 - 10) |
| T5-T6 (°) | 6.3 ± 2.8 (2 - 13) | 5.9 ± 3.4 (0 - 11) | 4.6 ± 2.3 (1 - 11) | 3.9 ± 2.3 (0 - 10) |
| T6-T7 (°) | 6 ± 3.6 (1 - 17) | 4.6 ± 3.1 (0 - 13) | 5.2 ± 3.1 (0 - 12) | 4.2 ± 2.5 (0 - 10) |
| T7-T8 (°) | 4.3 ± 3.4 (-6 - 10) | 4.9 ± 3 (0 - 10) | 3.6 ± 2.2 (1 - 9) | 4.8 ± 2.8 (0 - 11) |
| T8-T9 (°) | 3.6 ± 2.2 (-1 - 9) | 3.3 ± 2.4 (0 - 11) | 4.2 ± 2.6 (1 - 11) | 3 ± 2.3 (-3 - 8) |
| T9-T10 (°) | 3.3 ± 2.7 (-3 - 9) | 2.3 ± 2 (-3 - 6) | 2.3 ± 2.6 (-6 - 9) | 2 ± 1.6 (-2 - 5) |
| T10-T11 (°) | 2.8 ± 2 (-3 - 6) | 1.1 ± 2.8 (-7 - 8) | 1.9 ± 2.2 (-4 - 10) | 1.9 ± 3.1 (-4 - 10) |
| T11-T12 (°) | 2.5 ± 3.5 (-4 - 11) | 1.4 ± 2.8 (-6 - 8) | 0.9 ± 3.3 (-5 - 11) | 0.2 ± 3 (-5 - 6) |
| T12-L1 (°) | 2 ± 3.7 (-4 - 11) | 0.7 ± 3.2 (-9 - 6) | 0.6 ± 3.5 (-4 - 9) | -0.1 ± 3.2 (-8 - 8) |
| T1 offset (mm) | 7.7 ± 3.2 (-4.7 - 12) | 7.3 ± 3 (1 - 16.6) | 11.1 ± 10.1 (1 - 53) | 7.8 ± 4.6 (-12 - 14) |
| L1 - L2 (°) | 1.8 ± 4.2 (-8 to 10) | 0.3 ± 3.6 (-5 - 11) | -1.2 ± 4.6 (-12 - 8) | -1.2 ± 3.1 (-8 - 6) |
| L2 - L3 (°) | -0.7 ± 4.1 (-9 to 9) | -2 ± 4.2 (-13 - 8) | -0.9 ± 4.8 (-10 - 10) | -3.1 ± 4.6 (-14 - 7) |
| L3 - L4 (°) | -1.6 ± 4.7 (-15 - 7) | -3.5 ± 4.8 (-13 - 5) | -3.5 ± 6 (-18 - 8) | -5.1 ± 3.4 (-14 - 1) |
| L4 - L5 (°) | -3.4 ± 6.1 (-18 - 8) | -5.2 ± 6.9 (-16 - 17) | -6.4 ± 6.7 (-24 - 6) | -5.5 ± 5.2 (-17 - 7) |
| L5 - S1 (°) | -7.9 ± 9.5 (-29 - 11) | -5.9 ± 7.3 (-22 - 7) | -12.2 ± 9.9 (-27 - 28) | -14.9 ± 8.2 (-35 - -3) |
| L1 offset (mm) | 40.3 ± 27.9 (-26.3 - 94) | 29 ± 23.3 (-3.3 - 93) | 28.7 ± 23.7 (-3 - 84) | 33 ± 30.3 (-39.9 - 96.6) |
| SVA (°) | 44.8 ± 35.1 (-33 - 100) | 41.9 ± 22.3 (-7.2 - 90) | 40.6 ± 24.5 (3 - 88) | 44.1 ± 29.9 (-30.6 - 104.1) |
| T2 - T5 (°) | 11.4 ± 5.8 (1 - 24) | 15.1 ± 5.7 (1 - 28) | 13 ± 5.7 (5 - 26) | 11 ± 5.3 (3 - 20) |
| T10 - T12 (°) | 5 ± 7.2 (-6 - 26) | 3.1 ± 5.3 (-12 - 15) | 4.5 ± 6.7 (-8 - 24) | 4.3 ± 3.8 (-7 - 12) |
| T10 - L2 (°) | 7.4 ± 11 (-13 - 30) | 4.9 ± 6.8 (-19 - 20) | 6.4 ± 11.7 (-16 - 41) | 3.5 ± 5.7 (-12 - 12) |
| L4 - S1 (°) | -4.6 ± 12 (-28 - 26) | -10.5 ± 11.4 (-38 - 15) | -15.9 ± 16.2 (-35 - 37) | -20.1 ± 8.7 (-38 - -1) |
| Sacral Slope (°) | -4.6 ± 11.9 (-23 - 30) | -10.9 ± 11.2 (-40 - 22) | -20 ± 9.7 (-36 - 10) | -22.2 ± 10.3 (-44 - -2) |
| T1 - T12 mm | 17.6 ± 2.3 (13.1 - 22) | 19.7 ± 1.9 (17 - 23.6) | 23.4 ± 2.6 (18.7 - 29) | 27.9 ± 2.7 (23.3 - 34.1) |
| T1 - S1 mm | 29.7 ± 3.4 (22.2 - 37) | 33.3 ± 3.1 (29 - 39) | 38.2 ± 3.8 (27 - 45) | 45.3 ± 4.1 (37.8 - 54.7) |

TK ve LL değerleri Tablo 4.3'de aynı metodoloji ile yapılmış başka bir çalışma ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir [4]. Tablo 1 aynı zamanda sakral eğim, sagittal vertikal aks, T1-T12 mesafesi, T1-S1 mesafesi ve T2-T5, T10-T12, T10-L2, L4-S1 segmental açılarınin yaş gruplarına göre kıyaslanmasını içermektedir. Sakral eğim, L4-S1 açılanması, T1-T12 ve T1-S1 mesafesi yaş ile birlikte artış göstermektedir. Yaş grupları arasındaki istatistiksel analiz Tablo 4.4'de görülmektedir.

Tablo 4.3. Global lordoz, global kifoz, ayaktaki değerler ile karşılaştırmaları

| | Grup 1 | | Grup 2 | | Grup 3 | | Grup 4 | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Oturarak | Ayakta | Oturarak | Ayakta | Oturarak | Ayakta | Oturarak | Ayakta |
| Global Lordoz° (L1 - S1) | -9.9 ± 14.6 (-40 dan 32) | -44.3 ± 11 (-77 den -10) | -15.1 ± 17.7 (-47 den 21) | -44.3 ± 11 (-77 den -10) | -26.1 ± 15.5 (-51 den 21) | -44.3 ± 11 (-77 den -10) | -27.8 ± 13.8 (-57 den -2) | -44.3 ± 11 (-77 den -10) |
| Global Kifoz° (T1 -T12) | 34.4 ± 11.4 (11 den 60) | 44.9 ± 11.4 (23 den 70) | 33.9 ± 9.9 (9 dan 51) | 44.9 ± 11.4 (23 den 70) | 32.9 ± 9.7 (10 dan 49) | 44.9 ± 11.4 (23 den 70) | 28.5 ± 10.6 (6 dan 50) | 44.9 ± 11.4 (23 den 70) |

Torasik segmental açılışmalar T1-T2 seviyesinde mid-torakal seviyelere kadar artış gösterse de kaudale doğru azalarak devam etmiştir. En yüksek segmental değerler Grup I ve II'de T5-T6, Grup III'de T6-T7, Grup IV'de T7-T8 olarak saptandı. En yüksek T1 offseti Grup III'de saptandı. T12-L1 seviyesindeki angulasyon Grup IV'de lordotikti. Lomber segmental açılışmalar sefalo-kaual yönde düzenli artıştaydı. En alt iki lomber segment total lomber lordozun %60'ından fazlasını meydana getiriyordu. En yüksek L1 offseti Grup I'de ölçüldü.

Tablo 4.4. Yaş grupları arasında istatistiksel anlamlı ölçümler

| Column1 | T5-T6 (°) | L1-L2 (°) | L3-L4 (°) | L4-S1 (°) | L5-S1 (°) | Sacral Slope (°) | Kyphosis (°) | Lordosis (°) |
|-----------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Group I | 6.3 ± 2.8 (2 to 13) | 1.8 ± 4.2 (-8 to 10) | -1.6 ± 4.7 (-15 to 7) | -4.6 ± 12 (-28 to 26) | -7.9 ± 9.5 (-29 to 11) | 4.6 ± 11.9 (-23 to 30) | 34.4 ± 11.4 (11 to 60) | -9.9 ± 14.6 (-40 to 32) |
| Group II | 5.9 ± 3.4 (0 to 11) | 0.3 ± 3.6 (-5 to 11) | -3.5 ± 4.8 (-13 to 5) | 10.5 ± 11.4 (-38 to 15) | -5.9 ± 7.3 (-22 to 7) | -10.9 ± 11.2 (-40 to 22) | 33.9 ± 9.9 (9 to 51) | -15.1 ± 17.7 (-47 to 21) |
| Group III | 4.6 ± 2.3 (1 to 11) | 1.2 ± 4.6 (-12 to 8) | -3.5 ± 6 (-18 to 8) | -15.9 ± 16.2 (-35 to 37) | -12.2 ± 9.9 (-27 to 28) | -20 ± 9.7 (-36 to 10) | 32.9 ± 9.7 (10 to 49) | -26.1 ± 15.5 (-51 to 21) |
| Group IV | 3.9 ± 2.3 (0 to 10) | 1.2 ± 3.1 (-8 to 6) | -5.1 ± 3.4 (-14 to 1) | -20.1 ± 8.7 (-38 to -1) | -14.9 ± 8.2 (-35 to -3) | -22.2 ± 10.3 (-44 to -2) | 28.5 ± 10.6 (6 to 50) | -27.8 ± 13.8 (-57 to -2) |
| p | 0.005 | 0.003 | 0.019 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | | <0.001 |

5. TARTIŞMA

Fizyolojik rekonstruksiyon yapabilmek için normatif verilerin bilinmesi çok önemlidir. Sagittal dizilimin uygun olmayan rekonstruksiyonu komşu spinal segmentlerde stresi artırır. Sagittal planın göz ardı edilmesi ise komşu segment problemleri, implant yetmezliği, psödoartroz, ilerleyici deformite ve "flat-back" ile sonlanabilir. [42] [23] [43]. Daha önce kanıtlandığı üzere iyi bir sagittal denge uzun seviye füzyonun geç dönemdeki negatif etkilerini azaltır [23].

Pediyatrik sagittal dizilim erişkindekinden farklıdır. Omurganın ayakta sagittal segmental dizilimi daha önce çalışılmıştır [4] [44]. Elimizdeki verilere göre bu çalışma çocuklarda oturma pozisyonunun omurganın sagittal segmental dizilimine olan etkisini erken çocukluktan adolesan dönemin sonuna kadar inceleyen ilk çalışmadır. Global ve segmental dizilim ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

Bu çalışmada TK ve LL değerlerinin oturur pozisyonda farklı olduğunu bulduk. Mac-Thiong ve ark. ve Çil ve ark. pediyatrik asemptomatik objelerde ayaktaki TK ve LL değerlerini çalışmışlardır [44] [4]. Bu çalışmalarda çocukluktan erişkin çağa kadar ortalama TK açısı sırasıyla 48° ve 45°; ortalama LL açısı 48° ve 44° bulunmuştur. Bizim sonuçlarımıza göre oturur pozisyondaki TK (32°) ve LL (20°) değerleri daha düşüktür.

Vedantam ve ark. [2] ve Voutsinas ve Mc Even [45] raporlarına göre TK ve LL yaşla birlikte hafif artma eğilimindedir. Biz LL'un yaş ile anlamlı derecede arttığını tespit ettik. Fakat, aynı değişimi TK ile ilgili bulamadık. TK göreceli olarak stabil kalmakla birlikte 13-17 yaş grubunda hafif bir düşme eğilimi göstermektedir.

Torakolomber bölgenin (T10-L2) pediyatrik popülasyonda erişkinlerdekinden daha kifotik olduğu gösterilmiştir [4] [46]. Torakolomber bölge, pediyatrik popülasyonda ayaktaki ölçümler kadar kifotik olmasa da, erişkin omurgasından daha kifotik bulunmuştur.

Omurga ve sakropelvisin anatomik ilişkileri birbirlerine bağlıdır. Lomber lordoz, sakral eğim ve pelvik insidans arasındaki korrelasyon dengeli bir pozisyonu gösterir [47]. Pelvik insidans pozisyonundan etkilenmediği için dominant bir rol üstlenir. Daha fazlası, sakral eğim lomber lordoz üzerinde etkilidir. Mac-Thiong ve ark. [47] 341 normal çocuk üzerinde çalışmış ve ortalama sakral eğim açısını 44° bulmuşlardır. Sakral eğim kalça ekstansiyonu ile sıkı ilişki içerisinde ve LL ile birlikte çocuk büyüdükçe artar [3] [4]. Bizim verilerimize göre sakral eğim yaş ile birlikte artar ve

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın sunduğu radyolojik verilere göre, yürüyemeyen hastaların omurgaları normalden daha dik şekilde rekonstrükte edilmelidir. Fakat, üst ekstremitelerde etkilenimi olan hastaların klinik ihtiyaçları nedeniyle günlük yaşam aktivitelerini gerçekleştirmek için artmış kifoz gereklidir. Hiperkifoz, inkontinansı bulunan ve kendi üriner kateterizasyonunu ve perineal hijyenini sağlayan (ör: spinal kord yaralanması veya myelomeningosel) hastaları için kritik bir ihtiyaçtır. Optimum ağırlık dağılımı için gerekli dizilim ile klinik ihtiyaçları karşılamak için gerekli dizilim arasında bir uyumsuzluk vardır.

Sonuç olarak, oturur pozisyondaki sagittal dizilim ayaktakinden farklıdır. Bu bilgi yürümeyen hastaların omurga rekonstrüksiyonları esnasında dikkate alınmalıdır. Fakat, omurgayı normatif değerlere göre rekonstrükte etmek nöromusküler hastalıkları olan hastalarda tek cerrahi amaç olmamalıdır. Sagittal dizilim rekonstrüksiyonu esnasında hastanın üst ekstremitelerde motor kuvveti, günlük yaşam aktivitesi ve hijyen ile ilgili ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır.

Klinik Önem:

Üst ekstremitelerde tutulumu olan hastalarda preoperatif kolun maksimum işlevsel pozisyonu için ne kadar kifoz gerektiği hesaplanarak eğer yapılabilir ise restorasyon buna göre yapılabilir. Üst ekstremitelerde tutulumlu hastalarda koronal deformiteye göre endikasyonlar biraz daha esnetilebilir ve daha geç cerrahi yapılabilir. Bu data sağlıklı bireylerin normal oturma pozisyonu, buna uygun koltuk ya da oturma destek dizini için referans olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Korovessis, P.G., M.V. Stamatakis, and A.G. Baikousis, *Reciprocal angulation of vertebral bodies in the sagittal plane in an asymptomatic Greek population*. Spine (Phila Pa 1976), 1998. **23**(6): p. 700-4; discussion 704-5.
2. Vendatam, R., et al., *Comparison of standing sagittal spinal alignment in asymptomatic adolescents and adults*. Spine 1998. **23**(2): p. 211-5.
3. Jackson, R.P. and A.C. McManus, *Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size. A prospective controlled clinical study*. Spine (Phila Pa 1976), 1994. **19**(14): p. 1611-8.
4. Cil, A., et al., *The evolution of sagittal segmental alignment of the spine during childhood*. Spine (Phila Pa 1976), 2005. **30**(1): p. 93-100.
5. Mulcahey, M.J., et al., *Neuromuscular scoliosis in children with spinal cord injury*. Top Spinal Cord Inj Rehabil, 2013. **19**(2): p. 96-103.
6. Phillips, D.P., et al., *Surgical treatment of scoliosis in a spinal muscular atrophy population*. Spine (Phila Pa 1976), 1990. **15**(9): p. 942-5.
7. Persson-Bunke, M., et al., *Scoliosis in a total population of children with cerebral palsy*. Spine (Phila Pa 1976), 2012. **37**(12): p. E708-13.
8. Moore, K.L., *Essential Clinical Anatomy*. 2nd Edition ed. 2002, Baltimore: Williams & Wilkins.
9. Dere, F., *Klinik Anatomi*. 1992, Adana.
10. Haheer TR, Bergman M, and O.B. M, *The effect of the three columns of the spine on the instantaneous axis of rotation in flexion and extension*. Spine, 1991. **16**: p. 312-18.
11. Goldstein, L. and T. Waugh, *Classification and terminology of scoliosis*. Clin Orthop Relat Res, 1973. **93**(13).
12. Winter, R., et al., *MOE'S Textbook of Scoliosis and Other Spinal Deformities*. 3rd Edition ed. 1995, Philadelphia: W.B Saunders Company.
13. Group, S.D.S., *Radiographic Measurement Manual*, ed. M.F. O'Brien. 2004, Florida: Medtronic Sofamor Danek USA.
14. Schwab F, P.A., Ungar B et al. , *Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in*

- assessing alignment and planning corrective surgery.* . Spine (Phila Pa 1976), 2010. **35**(25): p. 2224-2231.
15. Labelle H, R.P., Berthonnaud E et al. , *The importance of spino-pelvic balance in L5-S1 developmental spondylolisthesis: a review of pertinent radiologic measurements.* . Spine (Phila Pa 1976), 2005. **30**(6): p. 27-34.
 16. Schwab F, L.V., Patel A et al., *Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient.* . Spine (Phila Pa 1976), 2009. **34**(17): p. 1828 - 33.
 17. Lafage V, S.F., Patel A et al. , *Pelvic tilt and truncal inclination: two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity.* . Spine (Phila Pa 1976) 2009. **34**(17): p. E599-E606.
 18. Joseph Jr SA, M.A., Brandoff J et al., *Sagittal plane deformity in the adult patient.* J Am Acad Orthop Surg, 2009. **17**(6): p. 378-88.
 19. Murata Y, T.K., Yamagata M et al, *The knee–spine syndrome. Association between lumbar lordosis and extension of the knee.* J Bone Joint Surg Br 2003. **85**: p. 95-99.
 20. Lee CS, P.S., Chung SS et al. , *The effect of simulated knee flexion on sagittal spinal alignment: novel interpretation of spinopelvic alignment.* Eur Spine J., 2013. **22**: p. 1059-65.
 21. CK, L., *Accelerated degeneration of the segment adjacent to a lumbar fusion.* . Spine 1988. **13**: p. 375 -7
 22. Park P, G.H., Gala VC, et al. , *Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature.* Spine, 2004. **29**: p. 1938-44.
 23. Kumar, M.N., A. Baklanov, and D. Chopin, *Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion.* Eur Spine J., 2001. **10**: p. 314-9.
 24. Putz, R. and R. Pabst, *Sobotta, Atlas of Human Anatomy.* Vol. Voulme 2. 1994, Munich: Urban & Schwarzenberg.
 25. Benzel, E., *Omurga Stabilizasyonunun Biyomekaniği, Prensipler ve Klinik Uygulama*, ed. ç.e.N. S. 1998, İstanbul: Marmara Üniversitesi Nörolojik Bilimler Vakfı Yayınları.
 26. Alıcı, E., *Omurga Hastalıkları ve Deformiteleri.* 1991, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.

27. Moore, K.L., *Clinically Oriented Anatomy*. 3rd Edition ed. 1992, Baltimore: Williams & Wilkins.
28. White, A. and M. Panjabi, *Clinical biomechanics of the spine*. 2nd ed ed. 1990, Philadelphia: Lippincott.
29. Kondō, S., *Primate morphophysiology, locomotor analyses, and human bipedalism*. 1985: University of Tokyo Press.
30. Rodman, P.S.M., Henry M. , "*Bioenergetics and the origin of hominid bipedalism*". *American Journal of Physical Anthropology*, 1980. **52**: p. 103-106.
31. Harcourt-Smith, W.E.H.A., L.C. , *Fossils, feet and the evolution of human bipedal locomotion*. *Journal of Anatomy*, 2004. **204**(5): p. 403-416.
32. Aiello, L. and D. Christopher, *An Introduction to Human Evolutionary Anatomy*. Oxford: Elsevier Academic Press., 1990. **ISBN 0-12-045591-9**.
33. Latimer B, L.C., *The calcaneus of Australopithecus afarensis and its implications for the evolution of bipedality*. *American Journal of Physical Anthropology*, 1989. **78**(3): p. 369-86.
34. Lovejoy, C., *Evolution of human walking*. *Scientific American*, 1988. **259**(5): p. 118-25.
35. Wittman, A.B.W., L. Lewis *The evolutionary origins of obstructed labor: bipedalism, encephalization, and the human obstetric dilemma*. *Obstetrical & Gynecological Survey*, 2007. **62**: p. 739-48.
36. Saladin, K.S., *Anatomy & Physiology: The Unity of Form and Function*. 3rd ed, ed. McGraw-Hill. 2003.
37. Christopher, R., *Ontogenetic adaptation to bipedalism: age changes in femoral to humeral length and strength proportions in humans, with a comparison to baboons*. *Human Evolution*, 2003. **45**(4): p. 317-49.
38. Thorpe, S., R. Holder, and R. Crompton, *Origin of human bipedalism as an adaptation for locomotion on flexible branches*. *Science*, 2007. **316**(5829): p. 1328-31.
39. Saladin, K.S., *Anatomy & Physiology: the Unity of Form and Function*. 5th ed, ed. Dubuque. 2010: McGraw-Hill.

40. Wittman, A.B.W., L. Lewis *The evolutionary origins of obstructed labor: bipedalism, encephalization, and the human obstetric dilemma*". *Obstetrical & Gynecological Survey*, 2007. **62**: p. 739-48.
41. Wang, W., R. Crompton, and T. Carey, *Comparison of inverse-dynamics musculo-skeletal models of AL 288-1 Australopithecus afarensis and KNM-WT 15000 Homo ergaster to modern humans, with implications for the evolution of bipedalism*. *Journal of Human Evolution*, 2004. **47**(6): p. 453-78.
42. Cochran, T., L. Irstam, and A. Nachemson, *Long-term anatomic and functional changes in patients with adolescent idiopathic scoliosis treated by Harrington rod fusion*. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1983. **8**(6): p. 576-84.
43. Vialle, R., et al., *Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects*. *J Bone Joint Surg Am*, 2005. **87**(2): p. 260-7.
44. Mac-Thiong, J.M., et al., *Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth*. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004. **29**(15): p. 1642-7.
45. Voutsinas, S.A. and G.D. MacEwen, *Sagittal profiles of the spine*. *Clin Orthop Relat Res*, 1986(210): p. 235-42.
46. Bernhardt, M. and K.H. Bridwell, *Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction*. *Spine*, 1989;. **14**: p. 717-21.
47. Mac-Thiong, J.M., et al., *Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents*. *Eur Spine J*, 2007. **16**(2): p. 227-34.
48. Fayssoux, R., A. Samdani, and J. Asghar, *Sagittal Profile Of Pediatric Patients With Spinal Cord Injury (SCI): A Radiographic Analysis.*, in *14. International Meeting on Advanced Spine Techniques IMAST*. 2007: Paradise Islands - Bahama.
49. Vaughn, J.J. and R.M. Schwend, *Sitting Sagittal Balance is Different From Standing Balance in Children With Scoliosis*. *J Pediatr Orthop.*, 2013.