Femur başı biyomekaniği

Doç. Dr. Melih Güven

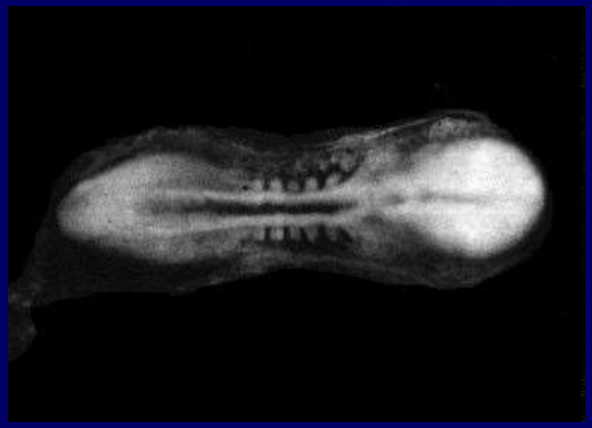
Yeditepe Üniversitesi Hastanesi
Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı
İstanbul

Sunum akışı

- ✓ Kalça eklem embriyolojisi ve anatomisi
- ✓ Biyomekanikte temel kavramlar
- ✓ Kinematik analiz
- ✓ Kinetik analiz
  - ✓ Statik
  - ✓ Dinamik
  - ✓ Kalça eklemi tepkime kuvvetlerine etki eden faktörler

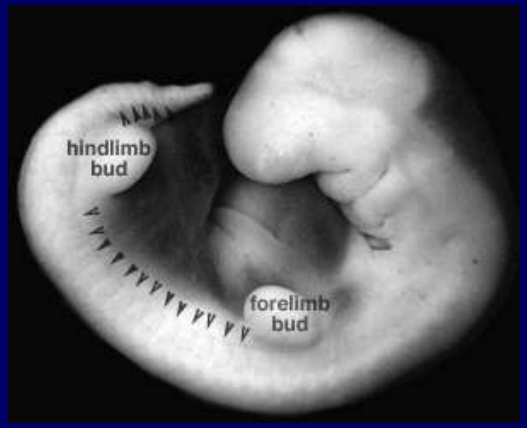
Kalça eklem embriyolojisi

- ✓ Embriyonik evre (2 – 8 hafta)
  - ✓ Doku ve organların major oluşum ve değişim evresi
  - ✓ 6. hafta - Femur başı, ilium, pubis, iskium primordiumları
  - ✓ 7. hafta - Embriyo 22-23 mm, femur başı ile asetabulum ilişkisi, sinoviyal membran, ligamentum teres, eklem kapsülü



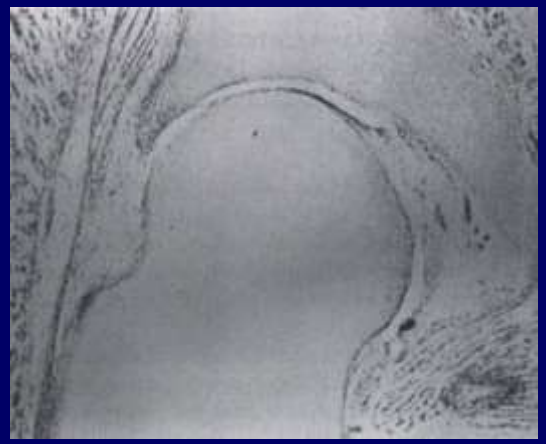
Kalça eklem embriyolojisi

- ✓ Fötal evre (8 hafta – doğum)
  - ✓ Organların büyümesi ve fonksiyonlarının gelişmesi
  - ✓ 9. hafta – Eklem boşluğunun oluşması, kalça eklemi ve iskelet komponenetlerinin vaskülaritesi
  - ✓ 11. hafta – Femur başı sferitesi, kalçalar fleksiyon, adduksiyon ve dış rotasyonda; femoral anteversiyon 5°-10°, asetabuler inklinasyon sagital planda 40°, vertikal planda 70°



Kalça eklem embriyolojisi

- ✓ 20. haftadan sonra kalça ekleminin gelişimi femur başı ile asetabulum arasındaki konsantrik ilişkiye bağlı
  - ✓ Asetabulumun genişliği, derinliği ve yönelimi
  - ✓ Femur boynunun dizilimi
  - ✓ Femur başının konfigürasyonu ve örtümü
  - ✓ Eklem içi ve çevre yumuşak dokuların morfolojisi



Ponseti IV, JBJS, 1978; 60(5): 575 - 585

Kalça eklem embriyolojisi

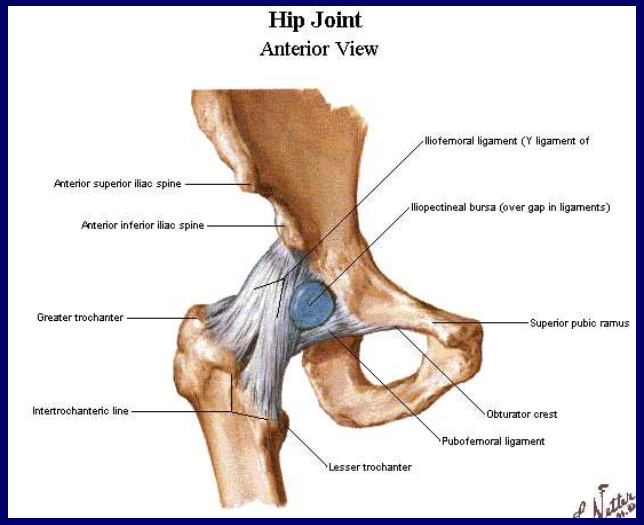
- ✓ Innominate kemik
  - ✓ Primer ossifikasyon merkezleri
    - ✓ İlium, İskium, Pubis
    - ✓ Y kıkırdağı
  - ✓ Sekonder ossifikasyon merkezleri
    - ✓ İliak krest, Anterior inferior iliak ve iskial çıkıntı; Simfisis pubis ve Y kıkırdağı

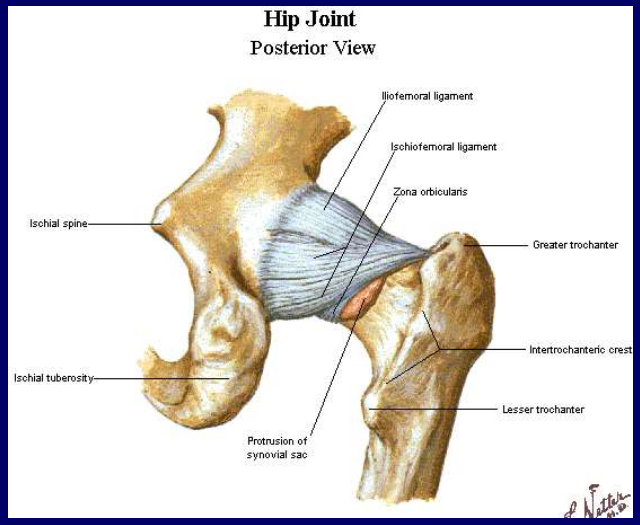
Kalça eklem anatomisi

- ✓ Diartrodial
- ✓ Vücuttaki en stabil eklem
- ✓ Rijit top – yuva (ball – socket) konfigürasyonu
  - ✓ İntrensek primer stabilite
- ✓ Her yöne hareketlilik

Kalça eklem anatomisi

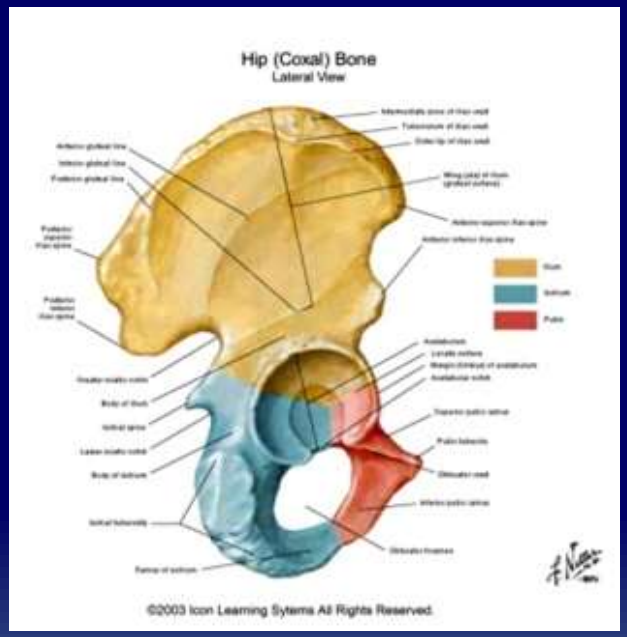
- ✓ Kalça eklem kapsülü etrafındaki güçlü ligamanlar ve büyük kas grupları





Kalça eklem anatomisi

- ✓ Pelvis
  - ✓ İlium, pubis, iskium, sakrum
- ✓ Öne, arkaya ve laterale rotasyon ile kalça ekleminin pozisyonunun optimizasyonu



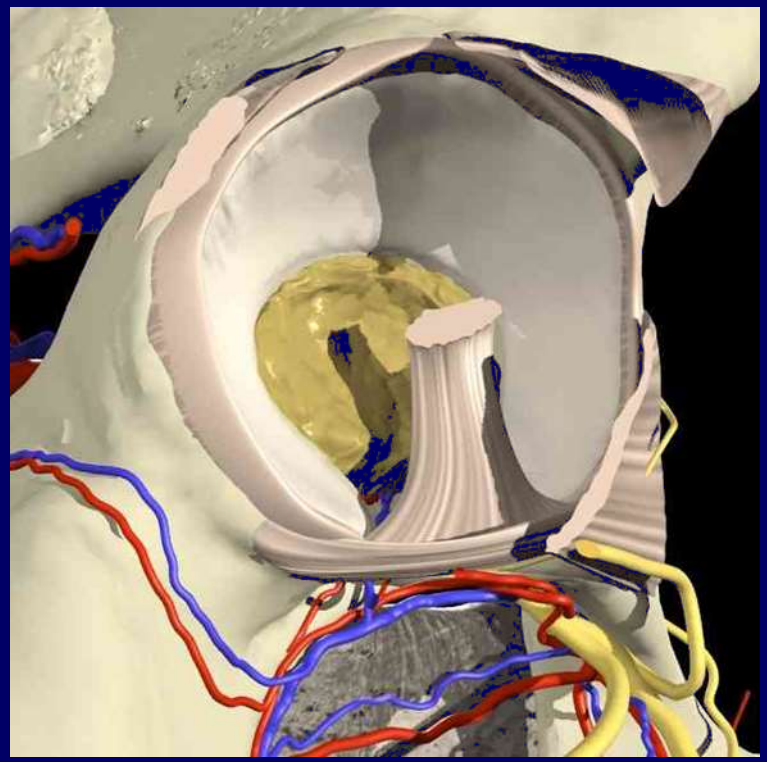
Kalça eklem anatomisi

- ✓ Ağırlık merkezi aşağı-yukarı 5 cm
- ✓ Pelvik lateralizasyon 5 cm
- ✓ Pelvik rotasyon 4°
- ✓ Pelvik tilt 5°

Pelvik tilt yönelimi	Koksofemoral eklem hareketi
Posterior	Fleksiyon
Anterior	Ekstansiyon
Lateral tilt (karşı tarafa)	Abduksiyon

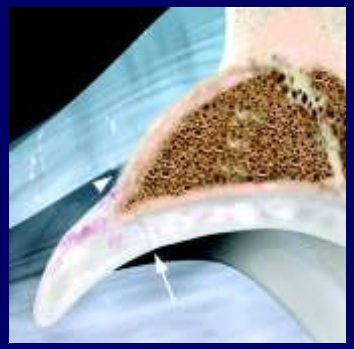
Kalça eklem anatomisi

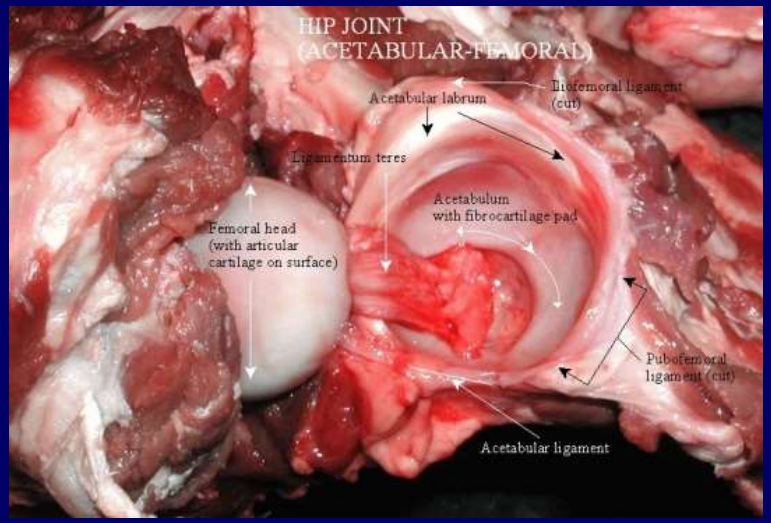
- ✓ Asetabulum
  - ✓ Eklemin konkav bileşeni
  - ✓ Eklem kıkırdağı ve labrum
    - ✓ Primer statik stabilite
  - ✓ Labrumla beraber femur başının %50'sini örter



Kalça eklem anatomisi

- ✓ Asetabulum
  - ✓ Fibrokartilaj labrum
    - ✓ Asetabuler yüzeyin %22'sini oluşturur
    - ✓ Asetabuler hacmi %33 arttırır
  - ✓ Transvers asetabular ligaman

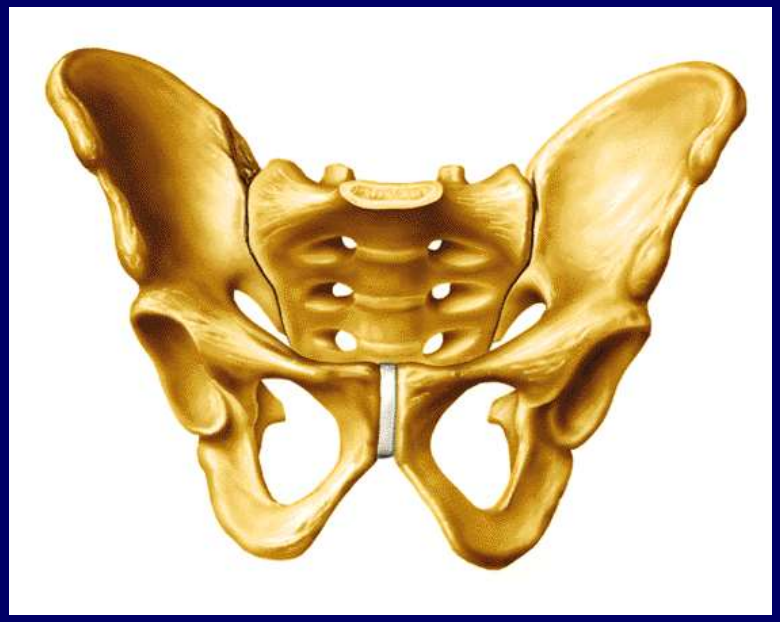




Konrath GA, et al. JBJS Am 1998; 80(12): 1781 – 1788.

Kalça eklem anatomisi

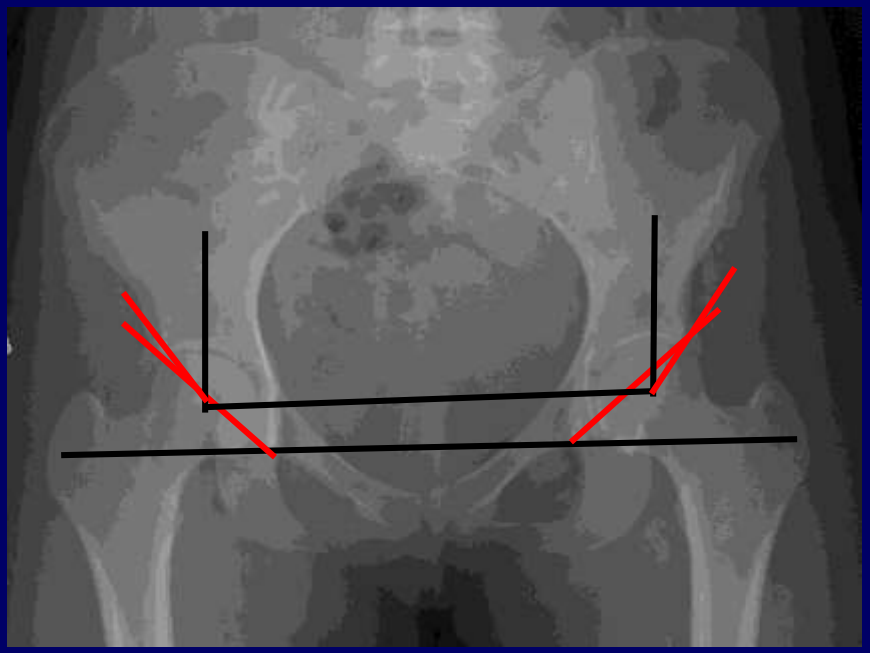
- ✓ Asetabulum
  - ✓ Anterior, lateral ve inferiora yönelim
  - ✓ 45° kaudal, 15°-20° anteriora açılanma



Murray DW. JBJS Br 1993; 75(2): 228 – 232.

Kalça eklem anatomisi

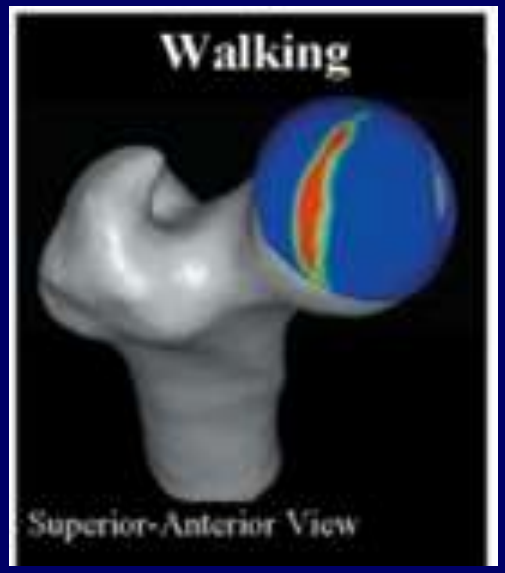
- ✓ Asetabulum
  - ✓ Anteversiyon – ort. 17°± 6°
  - ✓ İnklinasyon – ort. 45°
  - ✓ Örtüm – Merkez-kenar açısı (CE) – ort. 26°± 6°



Ekşioğlu MF ve ark., TOTBİD Dergisi 2011; 10(1): 32 – 37.
Byrne DP et al. Open Sports Med J 2010; 4: 51 – 57.

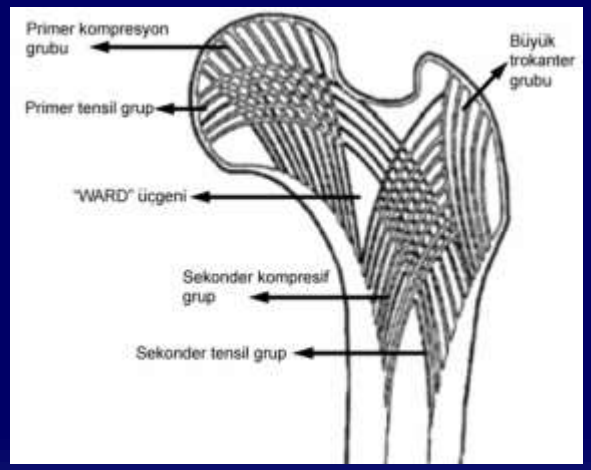
Kalça eklem anatomisi

- ✓ Femur başı
  - ✓ Eklemin konveks bileşeni
  - ✓ Küre şeklinde
  - ✓ Eklem yüzü kürenin 2/3'ünü içerir
  - ✓ Yüklenme en fazla superior – superolateral



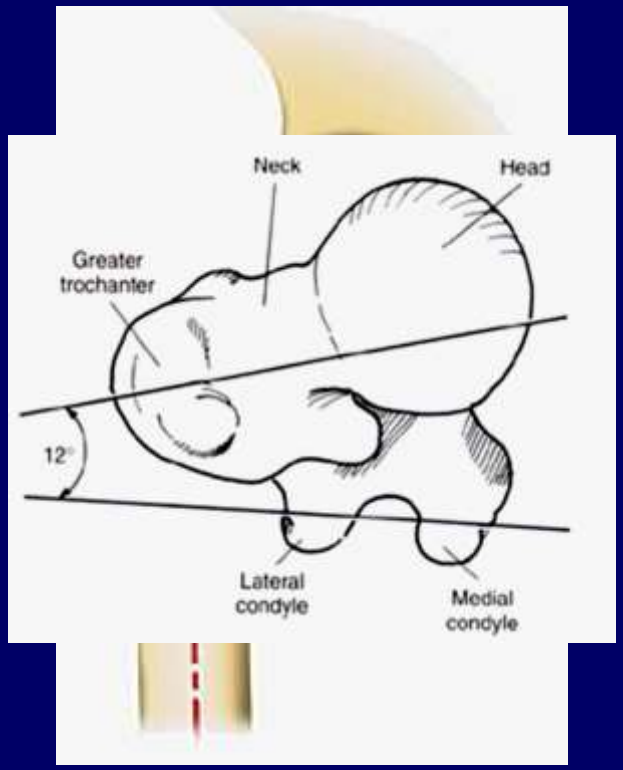
Kalça eklem anatomisi

- ✓ Femur boynu
  - ✓ Kansellöz kemik
  - ✓ Medial ve lateral trabeküler sistem
  - ✓ Eklem reaksiyon (tepkime) kuvvetleri medial trabeküler sisteme paralel



Kalça eklem anatomisi

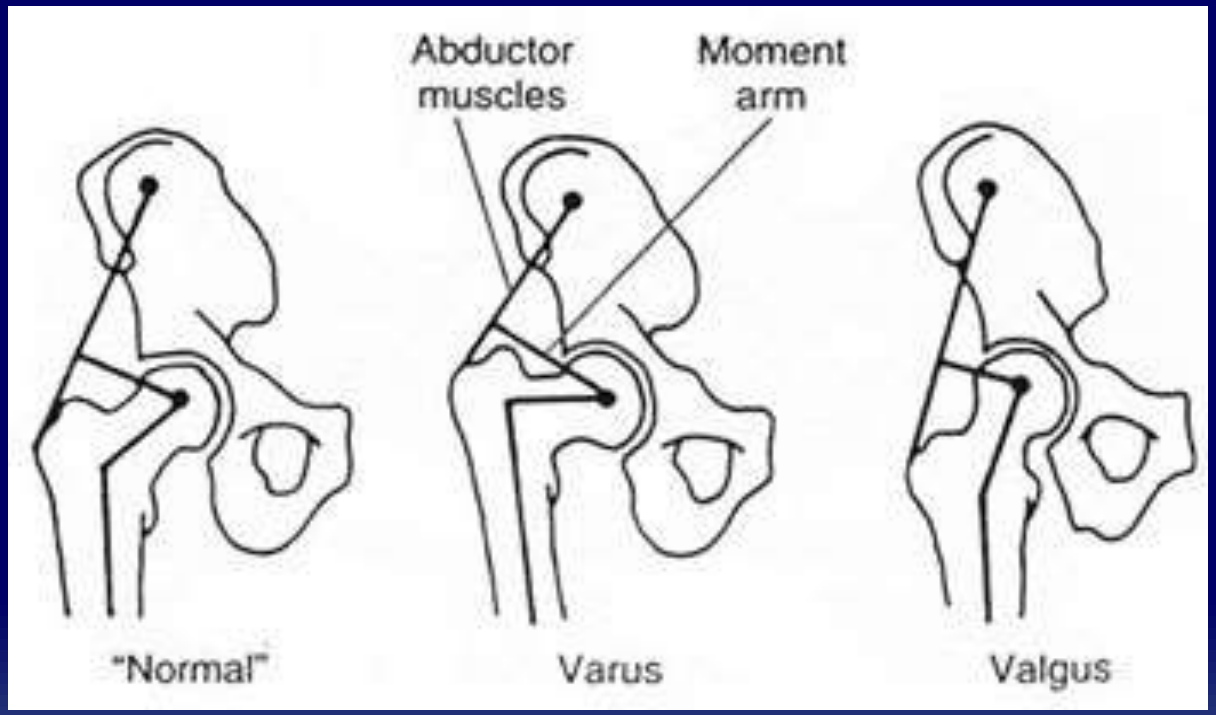
- ✓ Femur boynu
  - ✓ Frontal plan
    - ✓ Boyun-şaft açısı (ort. 125° ± 5°)
  - ✓ Transvers plan
    - ✓ Anteversiyon açısı (ort. 12° - 15°)



Ekşioğlu MF ve ark., TOTBİD Dergisi 2011; 10(1): 32 – 37.
Byrne DP et al. Open Sports Med J 2010; 4: 51 – 57.

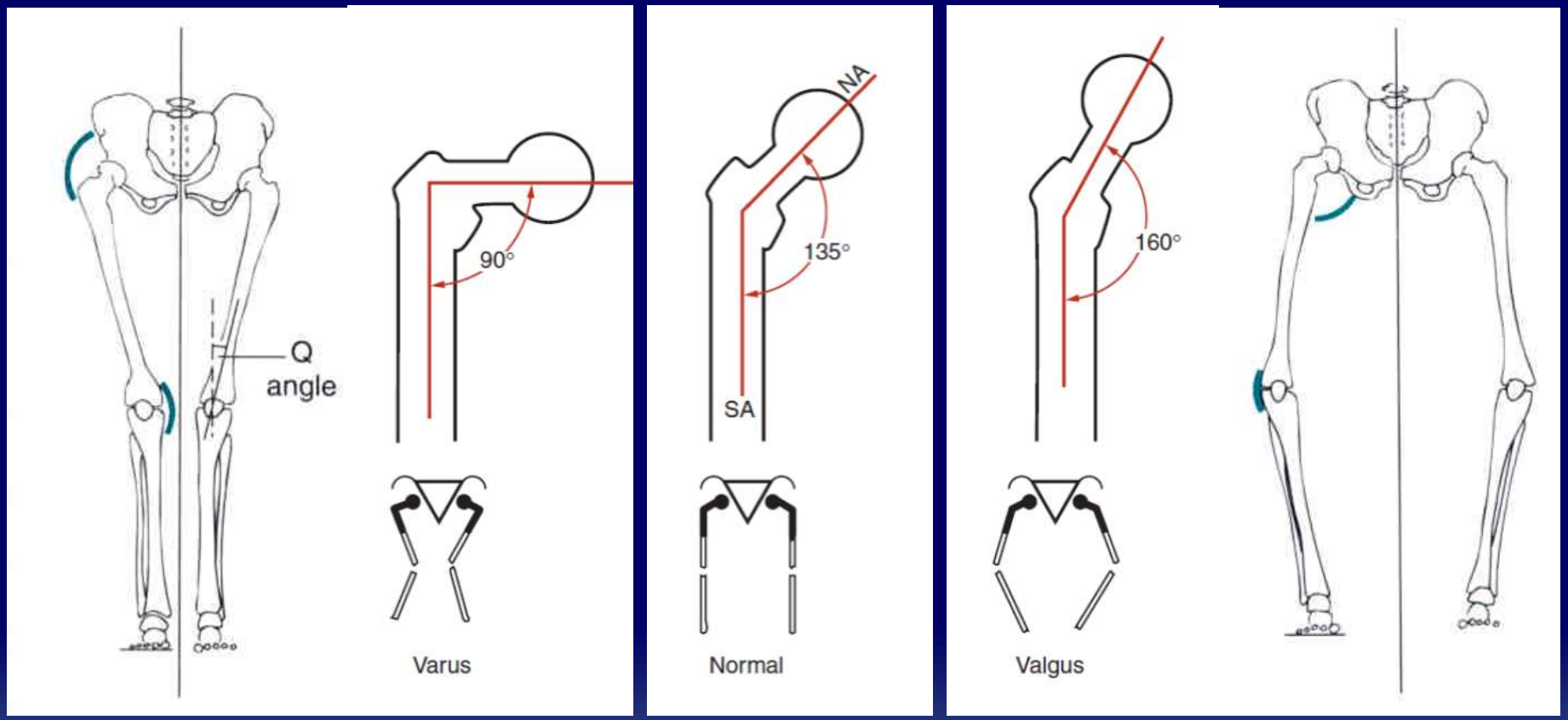
Kalça eklem anatomisi

- ✓ Femur boynu
  - ✓ Frontal plan – Boyun-şaft açısı (ort. 125° ± 5°)



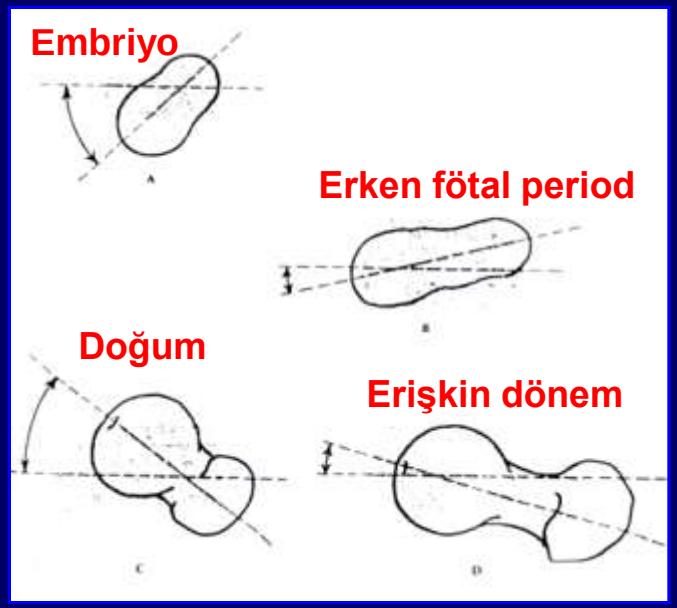
Kalça eklem anatomisi

- ✓ Boyun-şaft açısının alt ekstremite dizilimi üzerine etkisi



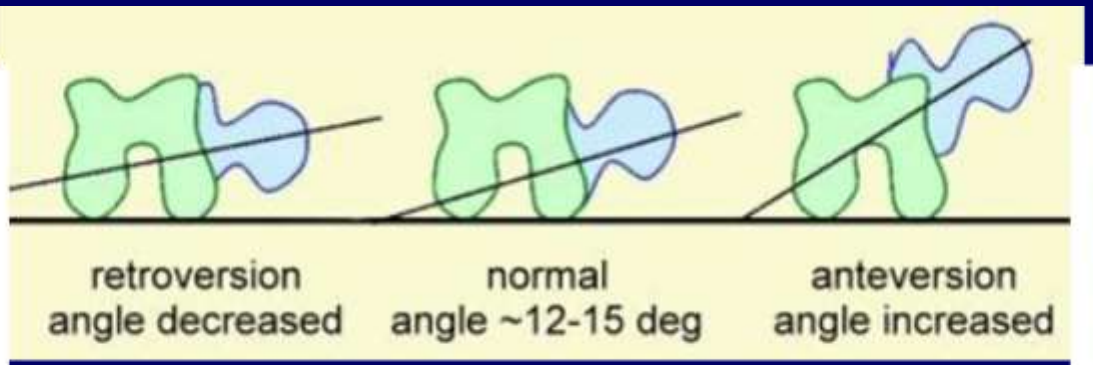
Kalça eklem anatomisi

- ✓ Femur boynu
  - ✓ Transvers plan – Anteversiyon açısı
    - ✓ Yenidoğan – ort. 30°-45°
    - ✓ 5 yaş – ort. 26°
    - ✓ 9 yaş – ort. 21°
    - ✓ 16 yaş – ort. 15°
    - ✓ Erişkin – ort. 12°-15°



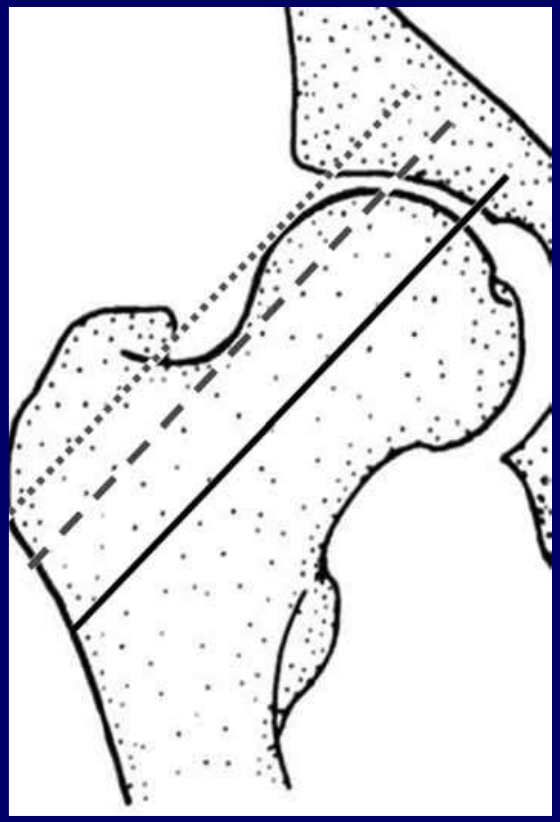
Kalça eklem anatomisi

- ✓ Femur boynu
  - ✓ Transvers plan – Anteversiyon açısı
    - ✓ Anterversiyonun artması – İç rotasyon
    - ✓ Anteversiyonun azalması – Dış rotasyon



Kalça eklem anatomisi

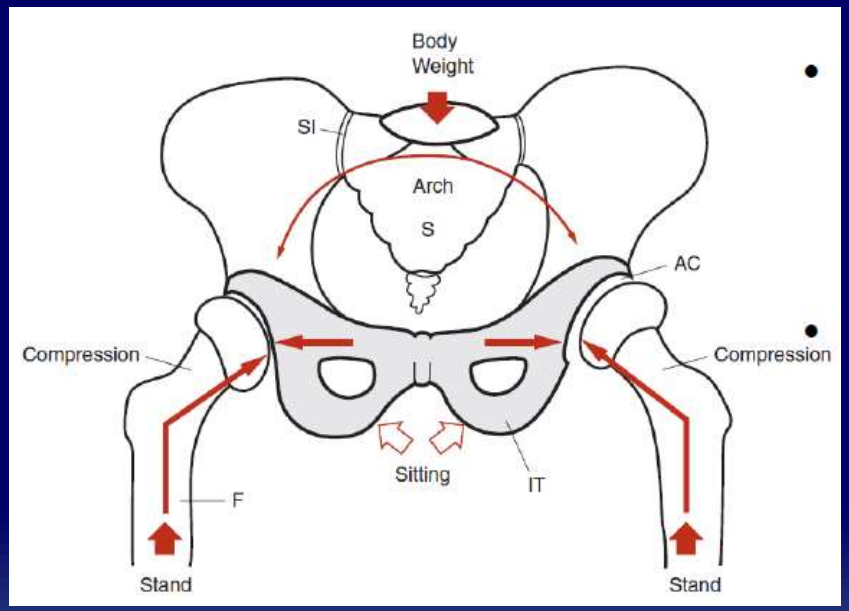
- ✓ Femoral baş-boyun ofseti



Ekşioğlu MF ve ark., TOTBİD Dergisi 2011; 10(1): 32 – 37.

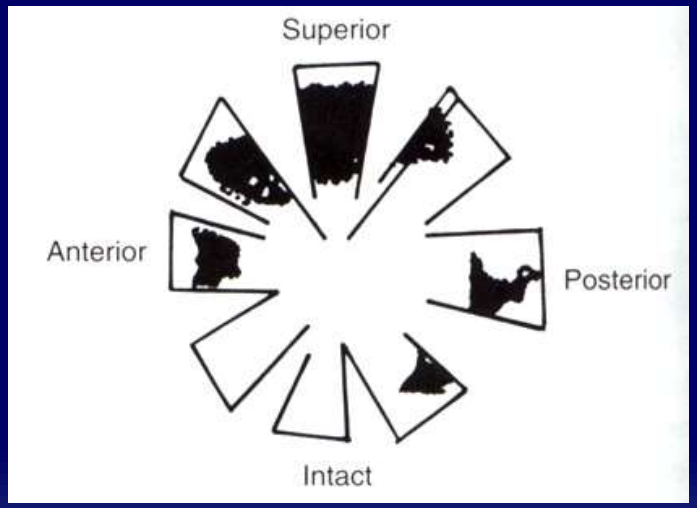
Kalça eklemine binen yükler

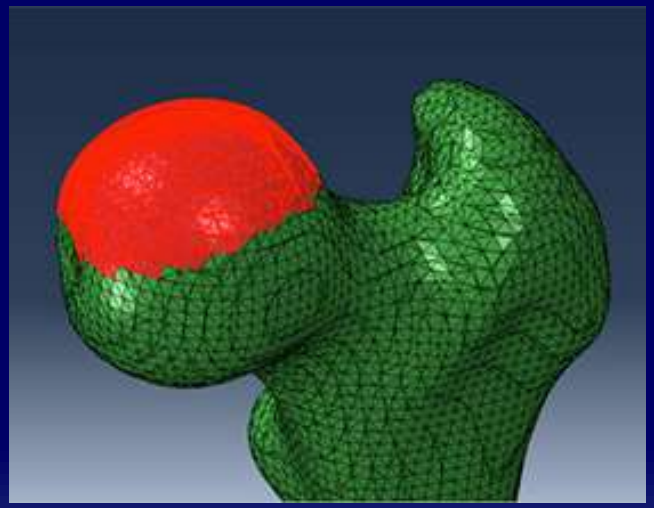
- ✓ Kalça eklemi günlük aktiviteler sırasında asla tam olarak yükten arınmaz
- ✓ Vücut ağırlığına eşit bir rezidüel yük ile her an basınç altındadır



Kalça eklemine binen yükler

- ✓ Femur başı – Asetabulum ilişkisi
  - ✓ Yük altında değilken – periferik temas
  - ✓ Yük altında – tam temas
    - ✓ Asetabulum eklem yüzeyinin %100'e yakını
    - ✓ Femur başı eklem yüzeyinin %70-80'i yük taşır

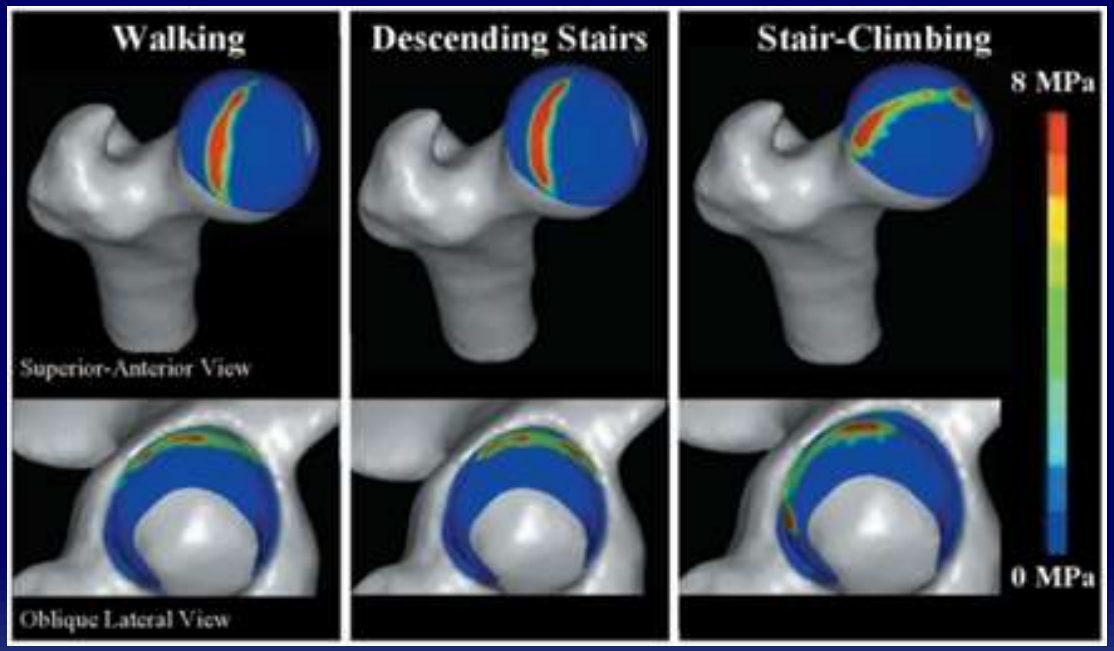




Konrath GA et al. JBJS Am 1998;80(12): 1781 – 1788.

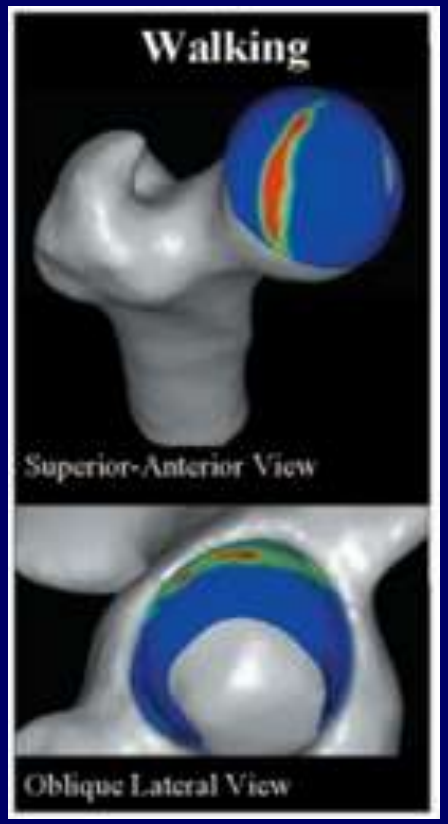
Kalça eklemine binen yükler

- ✓ Femur başı – Asetabulum ilişkisi
  - ✓ Asetabulumun anterior – posterioru yüklenir
  - ✓ Sandalyeden kalkarken asetabulumun posterioru yüklenir



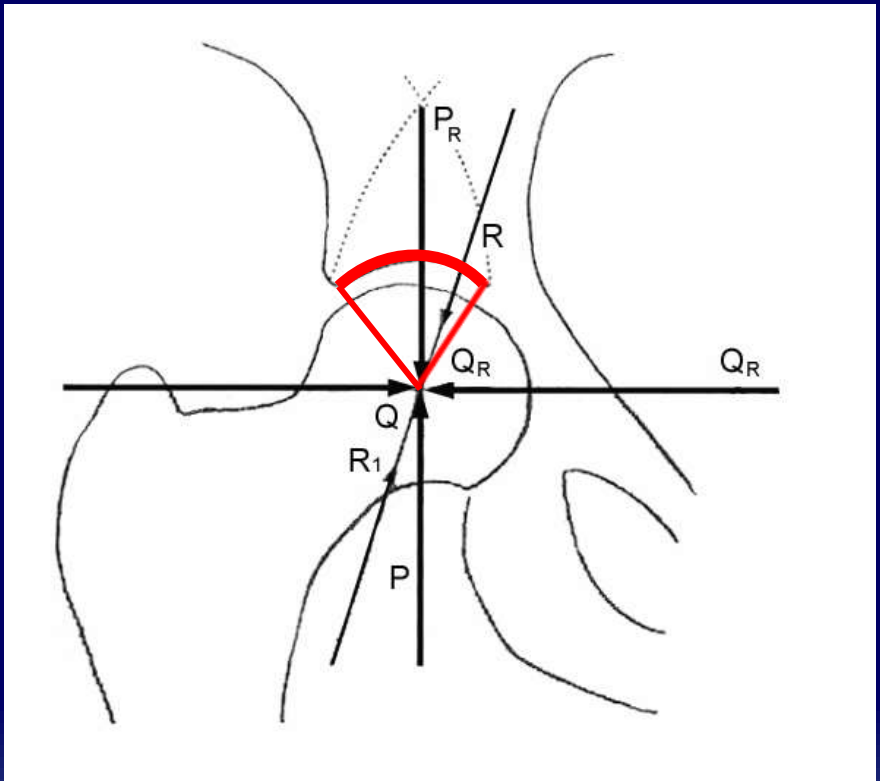
Kalça eklemine binen yükler

- ✓ Femur başı – Asetabulum ilişkisi
  - ✓ Yürürken femur başındaki yüklenme
    - ✓ İlk topuk teması (initial contact) ***Anterosuperomedial***
    - ✓ Parmakların yerden kalkması (preswing) ***Posterosuperolateral***



Kalça eklemine binen yükler

- ✓ Asetabulumun superolaterali – "*Sourcil*"
- ✓ Yük / Yük alanı



R. Ege – Kalça cerrahisi ve sorunları, 1994

Kalça eklemine binen yükler

- ✓ Yük dağılımını belirleyen asetabuluma ait faktörler
  - ✓ Asetabuler örtüm (inklinasyon, CE açısı)
  - ✓ Asetabuler anteversiyon

Kalça eklemine binen yükler

- ✓ Yük dağılımını belirleyen femura ait faktörler
  - ✓ Boyun – şaft açısı
  - ✓ Femur boyun uzunluğu
  - ✓ Femoral baş-boyun ofseti
  - ✓ Femoral anteversiyon açısı

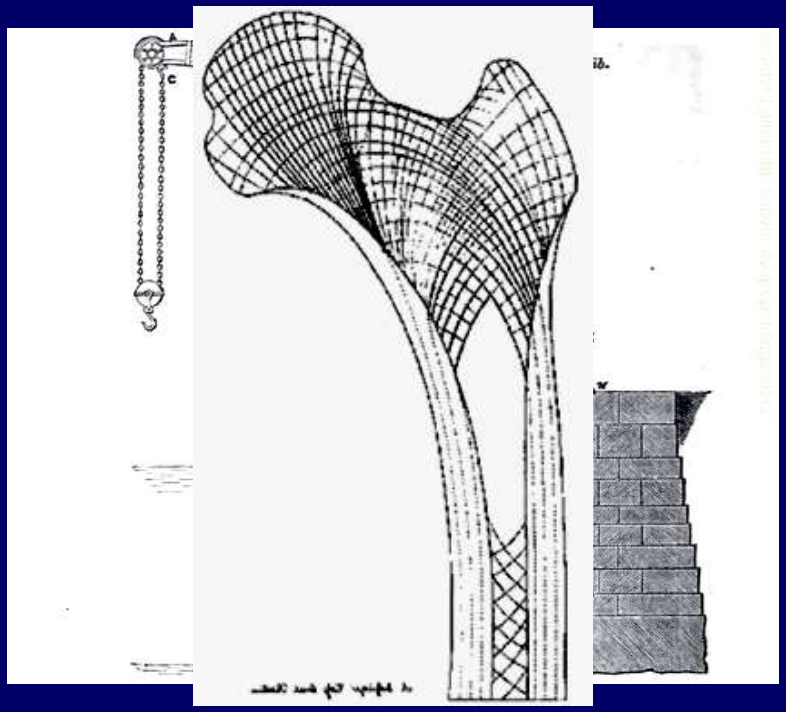
Kalça eklemine binen yükler

- ✓ Baston ile yürürken – va x 1,5-2,5
- ✓ Sandalyeden kalkarken – va x 3-4
- ✓ Yürürken – va x 3-6
- ✓ Merdiven çıkarken – va x 6-8

Johnston JD et al. The Adult Hip 1998

Kalça biyomekaniğinde tarihçe

- ✓ 1887 – Cullman
- ✓ 1917 – Koch
- ✓ 1972 – Rybicki
- ✓ 1976 – Pauwels



Rybicki EF, et al. J Biomech 1972; 5(2): 228 – 232.
Pauwels F. Biomechanics of the normal and diseased hip, Berlin, Springer-Verlag, 1976
Krebs DE, et al. J Orthop Sports Phys Ther 1998; 28(1): 51 – 59.

Biyomekanikte temel kavramlar

- ✓ **Kuvvet** – iki cisim arasındaki etkileşim
  - ✓ F= Kütle x hız (F=m x a) (Newton)
  - ✓ Bileşke kuvvet
- ✓ **Vektör** – sayısal değeri ve yönü olan hız, hızlanma, güç ve moment

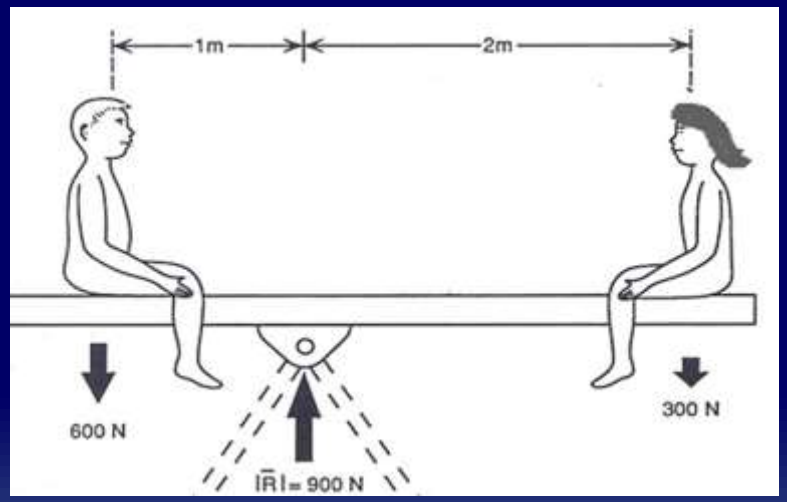
Biyomekanikte temel kavramlar

- ✓ **Eklem reaksiyon (tepkime) kuvveti** – eklemde iç ve dış kuvvetlere karşı oluşturulan kuvvet
- ✓ **Anlık rotasyon merkezi** – eklemin etrafında döndüğü nokta
  - ✓ Femur başı merkezi

Biyomekanikte temel kavramlar

- ✓ **Moment** – Döndürücü etki
  - ✓ Kuvvet x hareket çizgisinin rotasyon ekseni arasındaki dikey mesafe (Nm)
- ✓ **Denge**

Kuvvet x Kuvvet kolu = Yük x Yük kolu



Biyomekanikte temel kavramlar

- ✓ Newton kanunları
  - ✓ Eğer bir cisme etki eden bileşke kuvvet 0 ise, cisim istirahatta veya sabit hız ve yöndedir
  - ✓ Bileşke kuvvet 0 değilse cisim etki eden kuvvetin miktarı ile orantılı olarak kuvvet yönünde ivme kazanır:

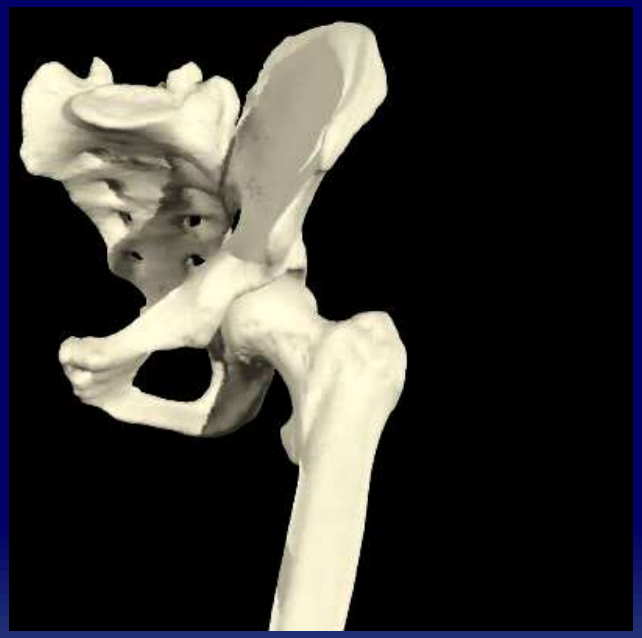
    $F=ma$
  - ✓ Birbirine temas eden cisimler arasındaki aksiyon ve reaksiyon kuvveti eşit miktar ve aynı hatta ama zıt yöndedir

Biyomekanik analiz

- ✓ Kinematik analiz
  - ✓ Hareketi inceler (açısal – translasyonel)
- ✓ Kinetik analiz
  - ✓ Hareketi oluşturan ve eklem üzerinde etkili kuvvet ve momentleri inceler

Kinematik analiz

- ✓ Her 3 planda hareketlilik
  - ✓ Frontal plan (Abduksiyon – Adduksiyon)
  - ✓ Sagital plan (Fleksiyon – Ekstansiyon)
  - ✓ Transvers plan (İç rotasyon – Dış rotasyon)



Kinematik analiz

✓ Kalça ekleminde hareket açıklığı

	Ortalama	Fonksiyonel
Fleksiyon	135°	90°
Ekstansiyon	10°-30°	-
Abduksiyon	40°-45°	20°
Adduksiyon	20°-30°	-
İç rotasyon	35°-40°	-
Dış rotasyon	45°	20°
İç rotasyon (90° fleksiyonda)	45°	
Dış rotasyon (90° fleksiyonda)	40°	
Abduksiyon (90° fleksiyonda)	65°-90°	
Adduksiyon (90° fleksiyonda)	40°	

Ekşioğlu MF ve ark., TOTBİD Dergisi 2011; 10(1): 32 – 37.

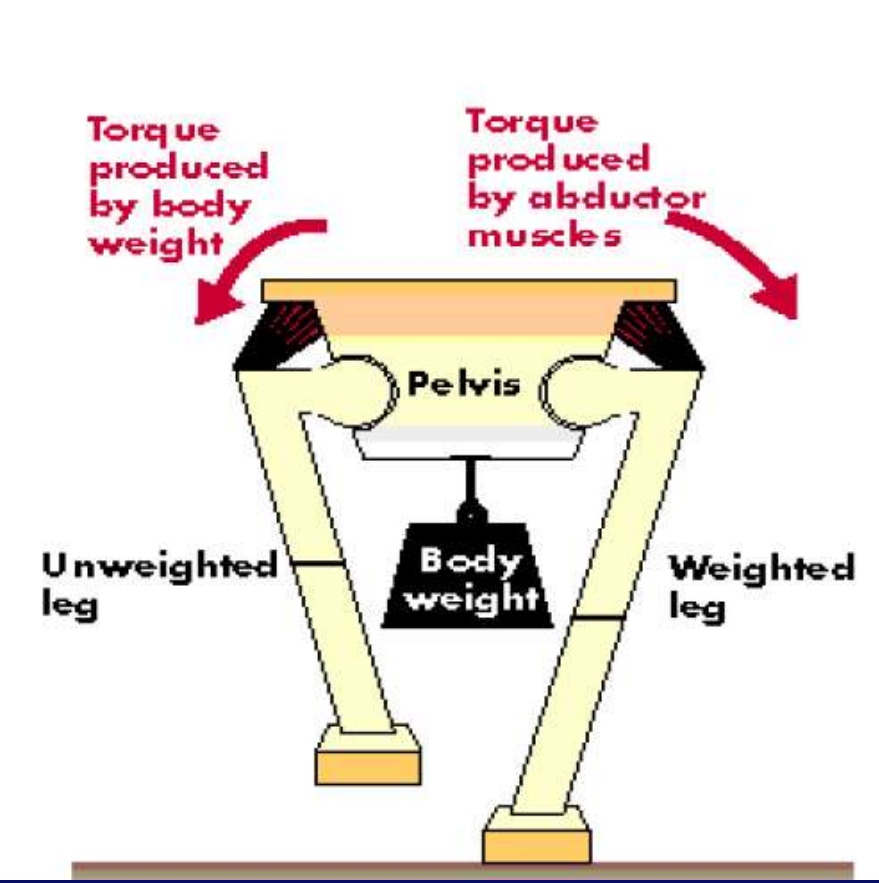
TABLE 8-1

Mean Values for Maximum Hip Motion in Three Planes During Common Activities

Activity	Plane of Motion	Recorded Value (Degrees)
Tying shoe with foot on floor	Sagittal	124
	Frontal	19
	Transverse	15
Tying shoe with foot across opposite thigh	Sagittal	110
	Frontal	23
	Transverse	33
Sitting down on chair and rising from sitting	Sagittal	104
	Frontal	20
	Transverse	17
Stooping to obtain object from floor	Sagittal	117
	Frontal	21
	Transverse	18
Squatting	Sagittal	122
	Frontal	28
	Transverse	26
Ascending stairs	Sagittal	67
	Frontal	16
	Transverse	18
Descending stairs	Sagittal	36

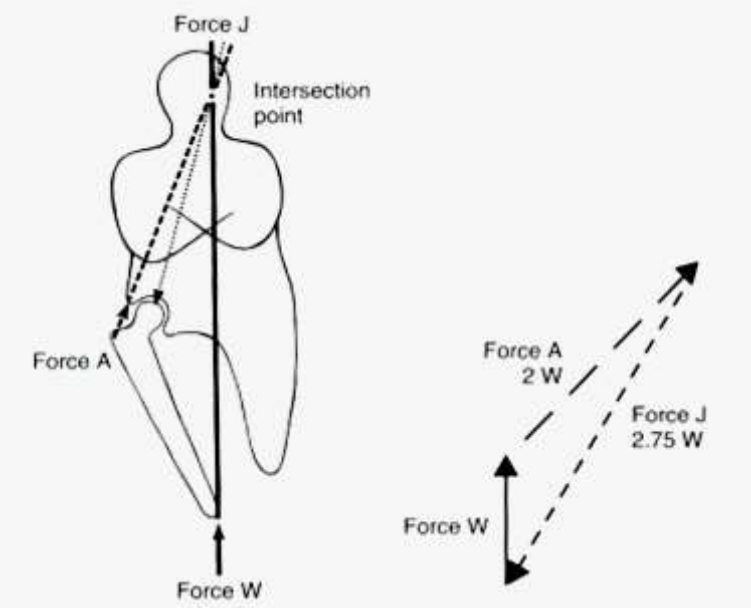
Mean for 33 normal men. Data from Johnston, R.C. & Smidt, G.L. (1970). Hip motion measurements for selected activities of daily living. *Clin Orthop, 72,* 205.

Kinetik analiz



Kinetik analiz

- ✓ Denge problemi çözümü için gerekli basamaklar:
  - ✓ Sorun çözümü için gerekli serbest gövde çizimi seçilir
  - ✓ Kuvvetler ve yönleri belirlenir
  - ✓ Grafik açılımı çizilir
  - ✓ Matematiksel - trigonometrik hesapla bilinmeyen bulunur



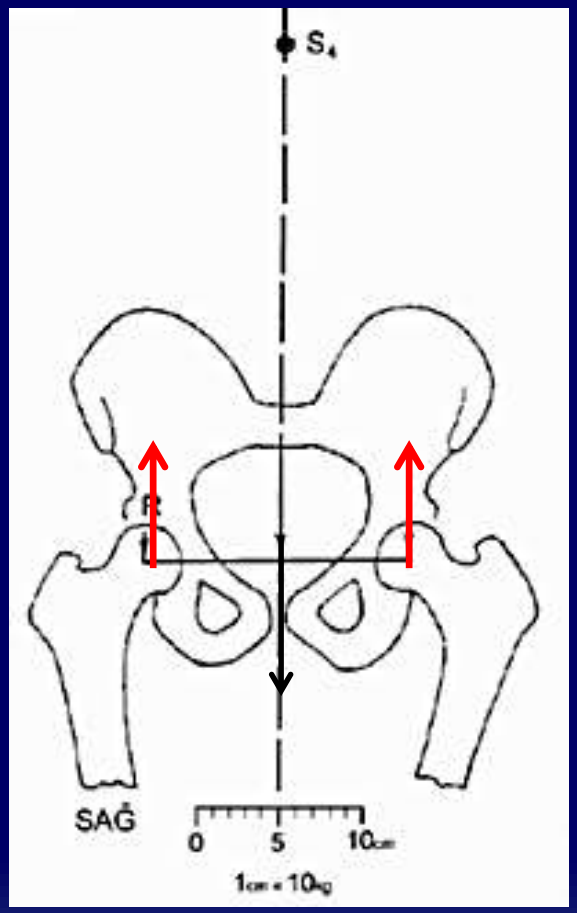
Kinetik analiz

- ✓ Statik denge
  - ✓ Her iki ayak yere basarken, ayakta durma pozisyonunda

- ✓ Dinamik denge
  - ✓ Tek ayak üzerinde duruş pozisyonunda, yürüyüşün basma fazında, yere temas pozisyonunda

Kinetik analiz

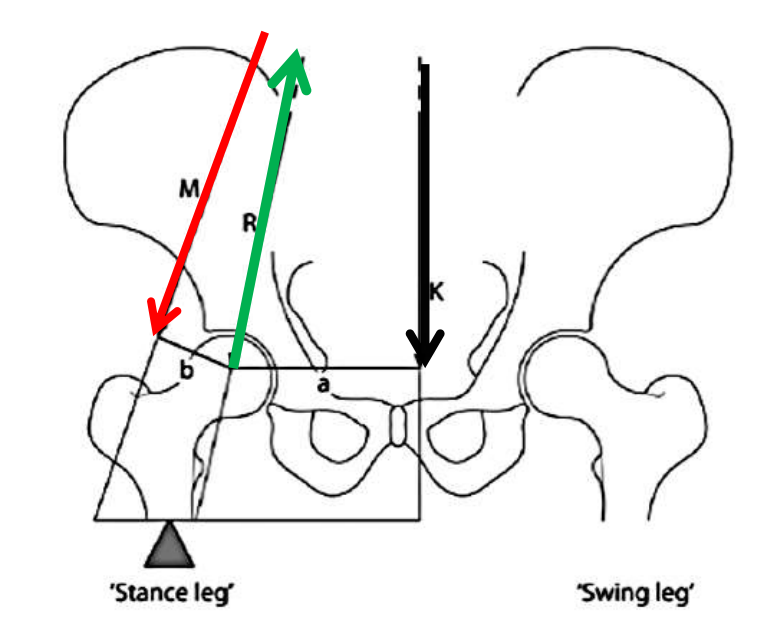
- ✓ Statik denge
  - ✓ Her iki kalçada eşit yüklenme
  - ✓ Vücut ağırlık merkezi iki kalçanın tam ortasında
  - ✓ Tek kalçaya binen yük vücut ağırlığının yaklaşık 1/3'ü
    - ✓ Vücut ağırlığı – her iki alt ekstremite total ağırlığı/2



Johnston JD et al. The Adult Hip 1998

Kinetik analiz

- ✓ Dinamik denge
  - ✓ Vücut ağırlık merkezi izdüşümünde distale ve yere basan kalçadan uzağa yer değiştirme
  - ✓ Pelvisin dengesinin sağlanması için abduktor kas gücüne ihtiyaç



Abduktor kas kuvvet vektörü

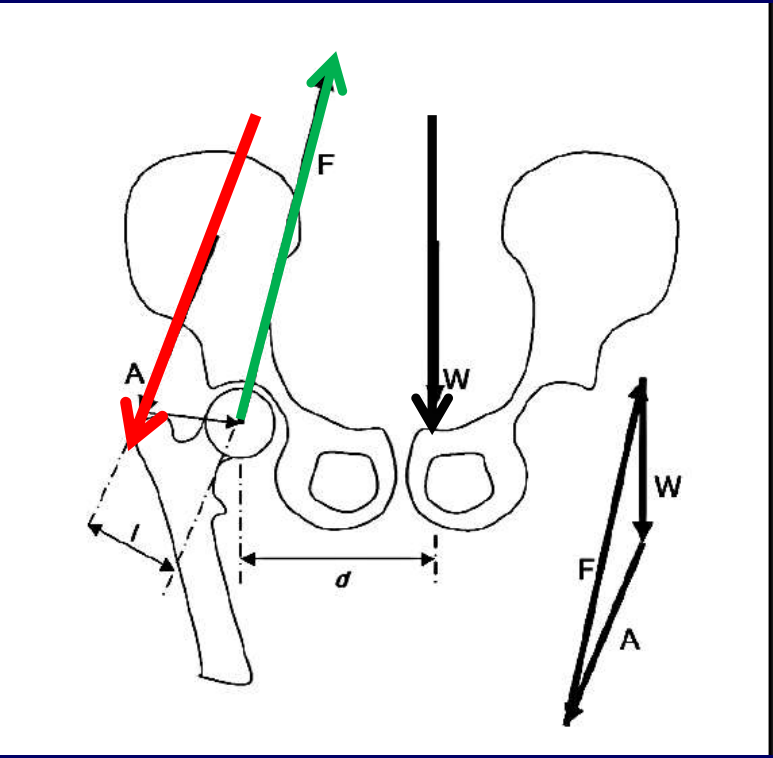
Vücut ağırlığı kuvvet vektörü

Eklem reaksiyon (tepkime) kuvvet vektörü

Johnston JD et al. The Adult Hip 1998

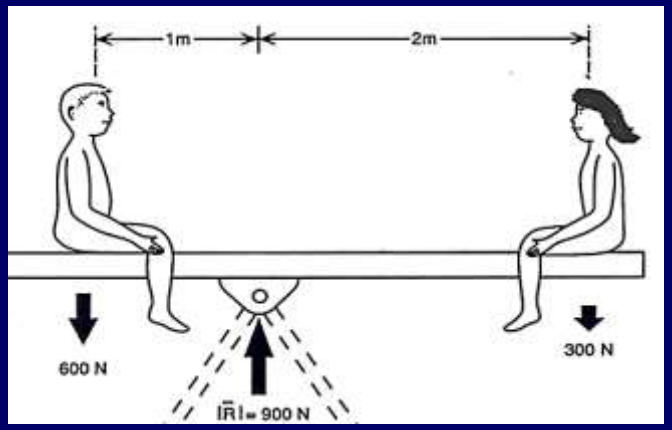
Kinetik analiz

- ✓ F: Eklem tepkime kuvveti
- ✓ A: Abduktor kas kuvveti
- ✓ W: Vücut ağırlığı
- ✓ ı: Abduktor kuvvet kolu
- ✓ d: Vücut ağırlığı kuvvet kolu

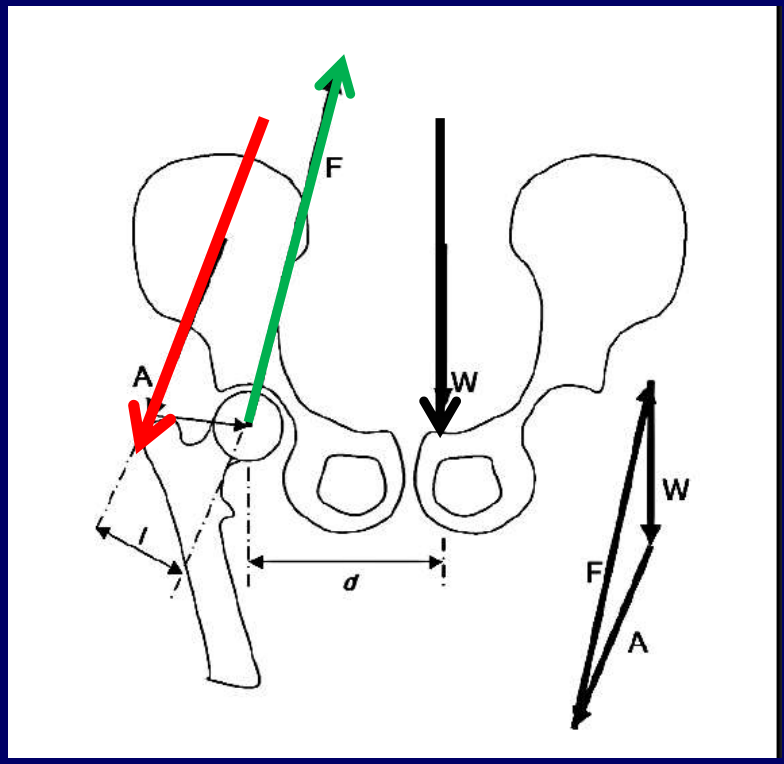


Kinetik analiz

F= A + W



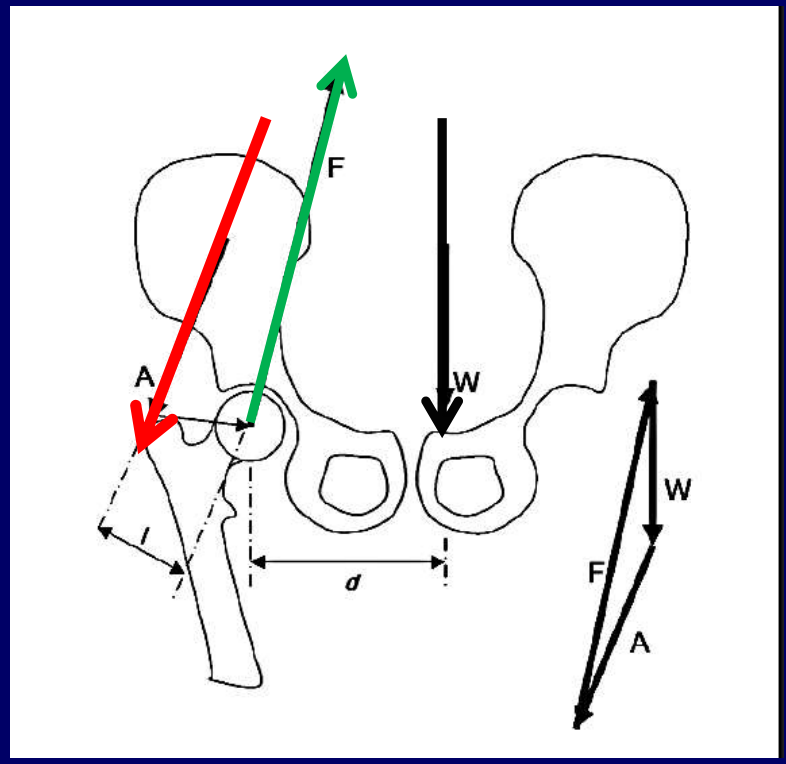
A x ı = W x d

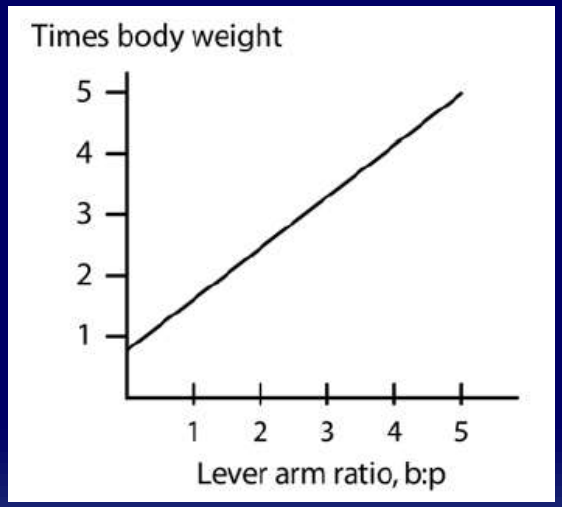


Kinetik analiz

✓ Kaldıraç kolları oranı

$$\frac{\text{Vücut ağırlığı kuvvet kolu (d)}}{\text{Abduktor kuvvet kolu (ı)}}$$



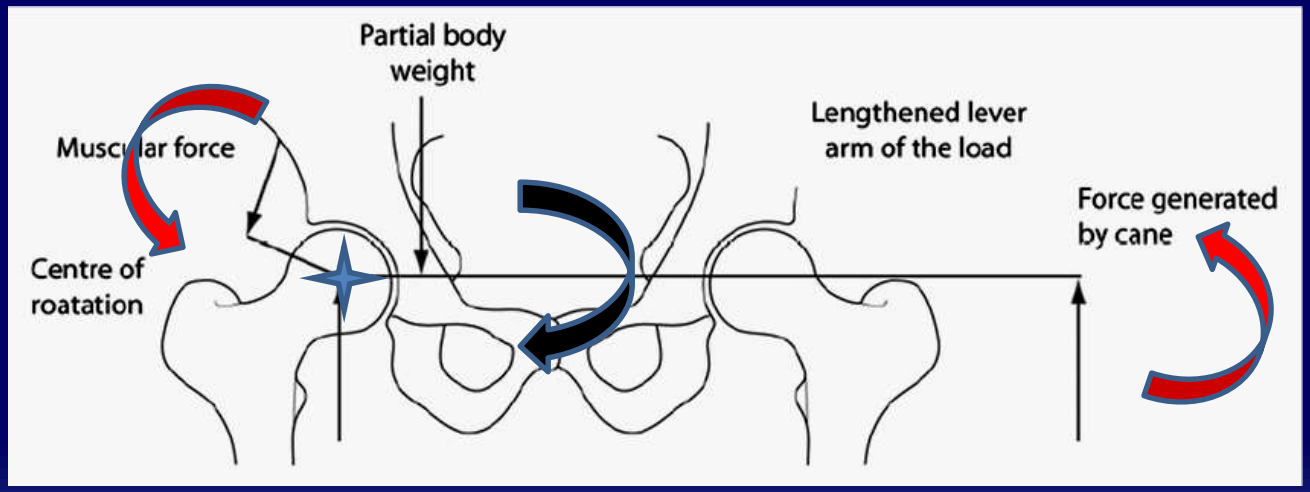


Kinetik analiz

- ✓ Kalça eklemine etki eden eklem tepkime kuvvetini azaltmak için;
  - ✓ Vücut ağırlığının azaltılması
    - ✓ Abduktor kas kuvvetinin iyileştirilmesi
  - ✓ Abduktor kuvvet kolunun uzatılması
  - ✓ Eklem rotasyon merkezinin medialize edilmesi
  - ✓ Vücut ağırlığı moment kolunun kısaltılması
    - ✓ Kalça ekleminde Trendelenburg yürüyüşü
  - ✓ Karşı ekstremitede baston desteği

Kinetik analiz

- ✓ Karşı ekstremitede baston desteği
  - ✓ Baston desteği ve abduktor kaslar tarafından oluşturulan moment = Vücut ağırlığı momenti (ters yönde)
  - ✓ Vücut ağırlığının %15'nin baston tarafından taşınması eklem tepkime kuvvetinde %50'lik bir azalma yaratır



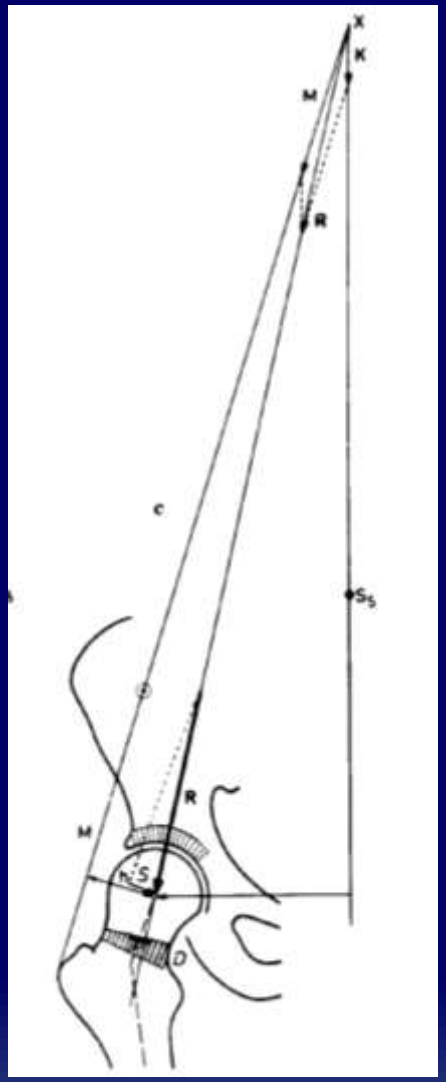
Johnston JD et al. The Adult Hip 1998

Kalça eklem biyomekaniğinin önemi

- ✓ Statik ve dinamik
  - ✓ Pediatrik kalça hastalıkları
    - ✓ GKD
    - ✓ Legg-Calve-Perthes
    - ✓ Femur başı epifiz kayması
    - ✓ Konjenital – Gelişimsel koksa vara
  - ✓ Kırık sonrası tespit yöntemleri
  - ✓ Osteotomi girişimleri
  - ✓ Artroplasti uygulamaları
  - ✓ Rehabilitasyon

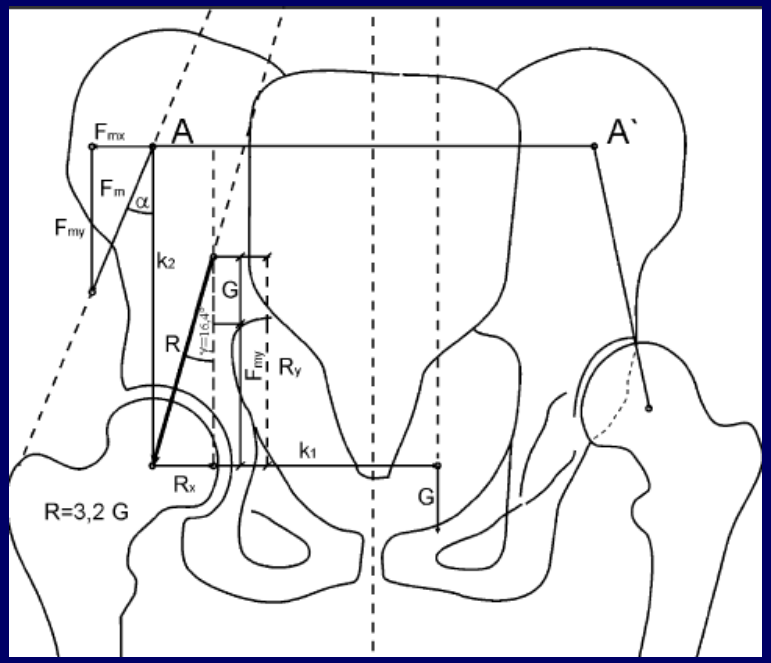
Kalça eklemine binen yükler

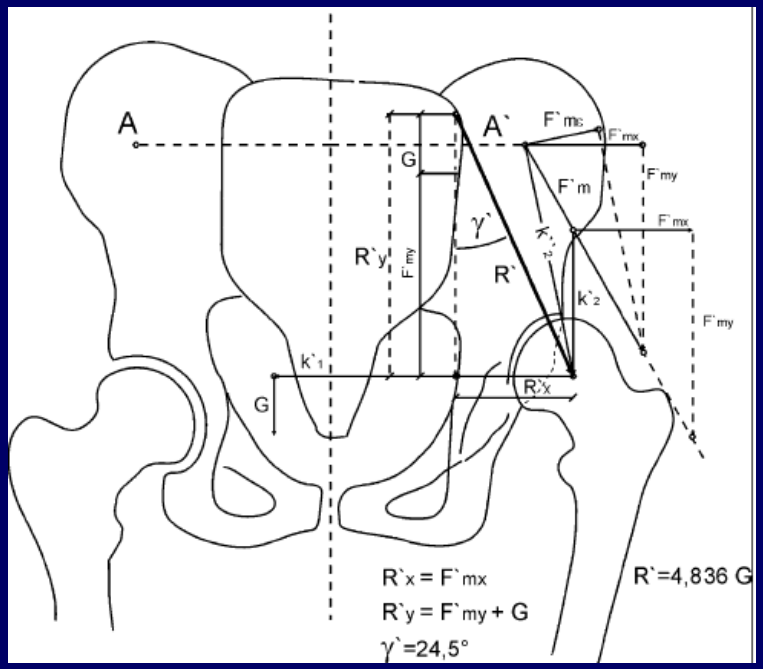
- ✓ Yük dağılımını belirleyen femura ait
  - ✓ Boyun – şaft açısı
  - ✓ Femur boyun uzunluğu
  - ✓ Femoral baş-boyun ofseti
  - ✓ Femoral anteversiyon açısı



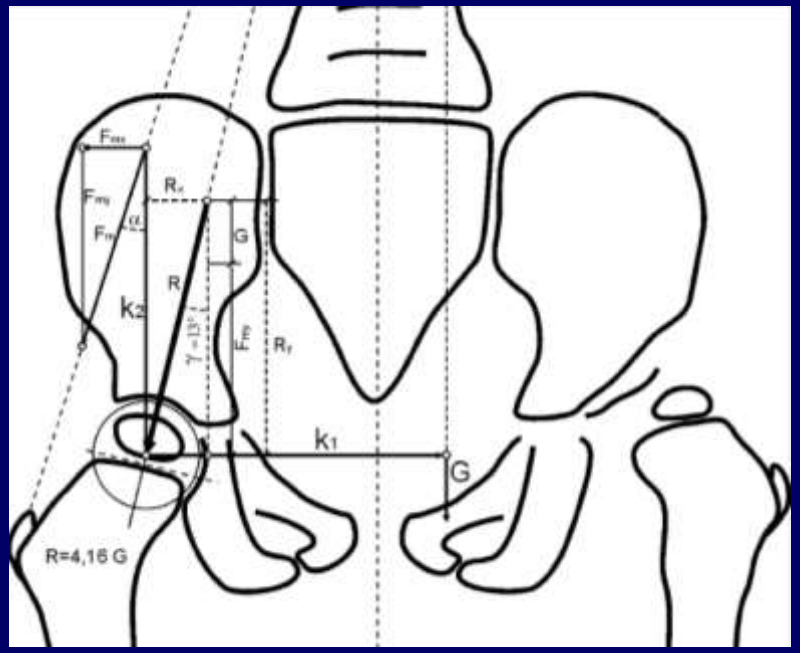
Maquet P. Acta Orthop Belg 1999; 65(3): 302 – 314.

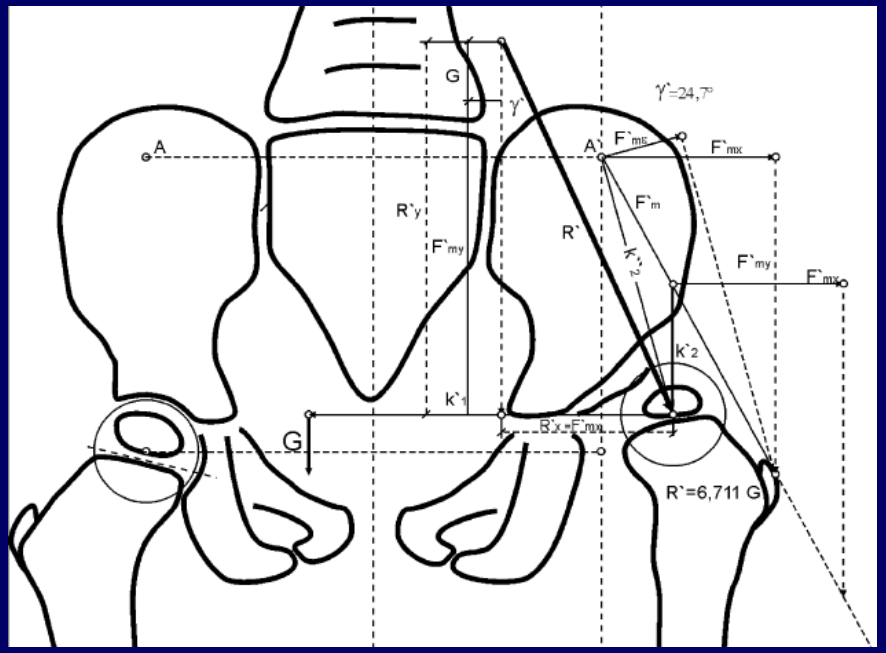
Teşekkür ederim…

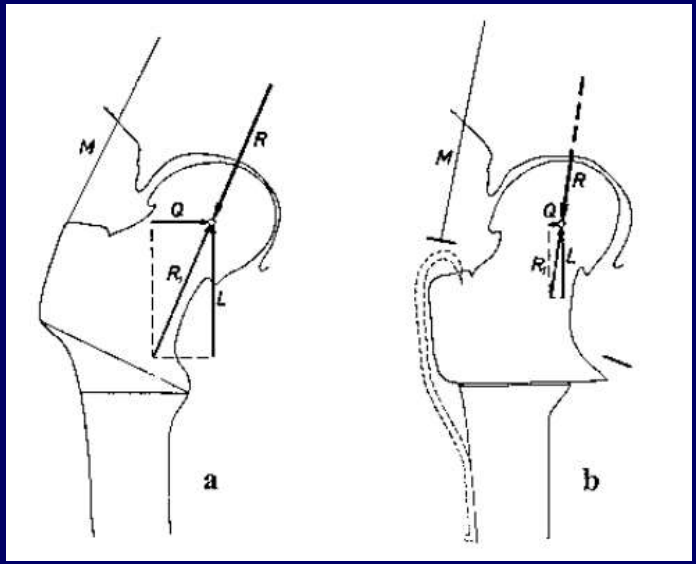


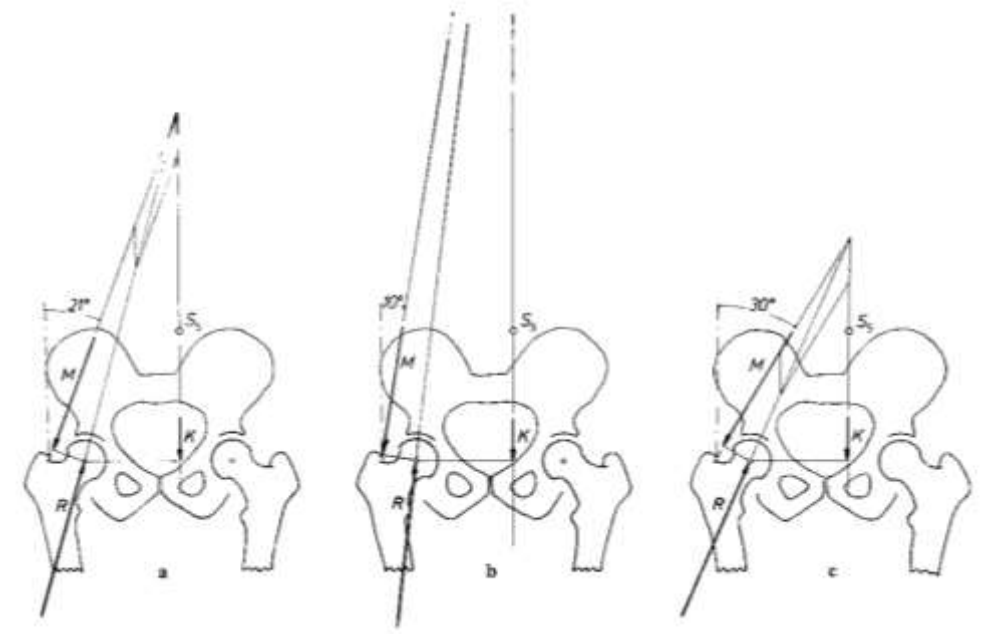


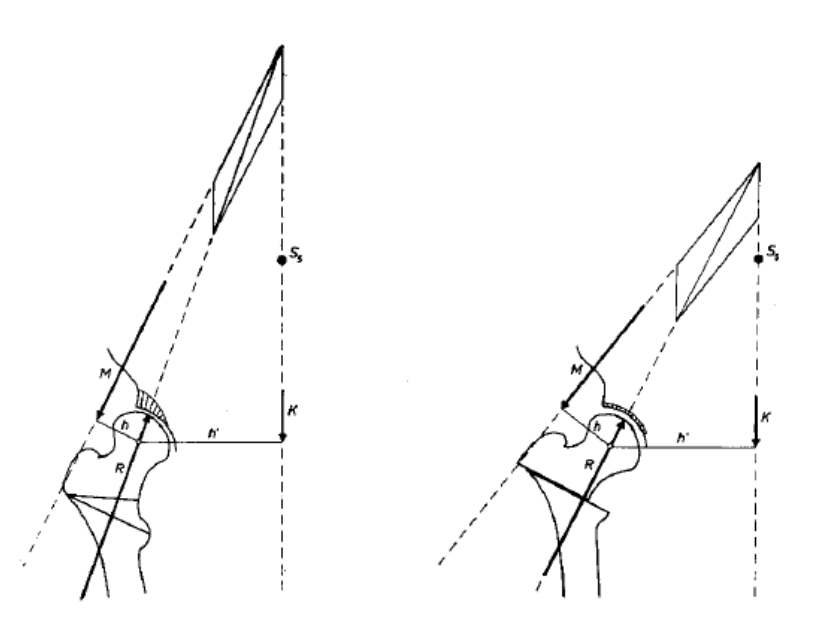
Erceg M. Int Orthop 2009; 33: 95 – 100.


G
R
k2
k1
G
R=4,16 G


G
γ'=24,7°
A
A'
F'mx
F'm
R'y
F'my
R'
F'my
F'mx
k'2
k'1
G
R'x=F'mx
R'=6,711 G


M
R
Q
R1
L
a
M
R
Q
R1
L
b


21°
S1
M
K
R
a
10°
S1
M
K
R
b
30°
S1
M
K
R
c


S1
M
K
h
h'
R
S1
M
K
h
h'
R

- ✓ Eklem rotasyon merkezinin medialize edilmesi (Abduktor kuvvet kolu uzunluğunun arttırılması)
  - ✓ Artroplasti uygulamalarında asetabuler komponentin medialize yerleştirilmesi
  - ✓ Vücut ağırlığının basan tarafa doğru taşınması (Trendelenburg yürüyüşüne neden olur)
  - ✓ Femoral komponent ofsetinin arttırılması
  - ✓ Uzun stemli femoral komponent kullanımı
  - ✓ Büyük trokanterin lateralizasyonu
  - ✓ Varus boyun şaft açılanması
  - ✓ Karşı ekstremitede baston kullanımı