

変形性膝関節症の歩行評価と リハビリテーション治療① ～変形性膝関節症の病態や障害について～

大分大学

大分大学福祉健康科学部理学療法コース

阿南雅也



1 変形性膝関節症とは

変形性膝関節症（膝OA）

膝関節における関節軟骨の退行性疾患であり，その病態は外力による直接的な軟骨損傷に加え，微小外傷の蓄積による生物学的反応である軟骨細胞の代謝亢進により，ついには関節破壊に至る関節障害

近年では，

半月板や関節包，靭帯，筋を含む関節構成体すべての退行性変化をきたす炎症性疾患と捉えられる



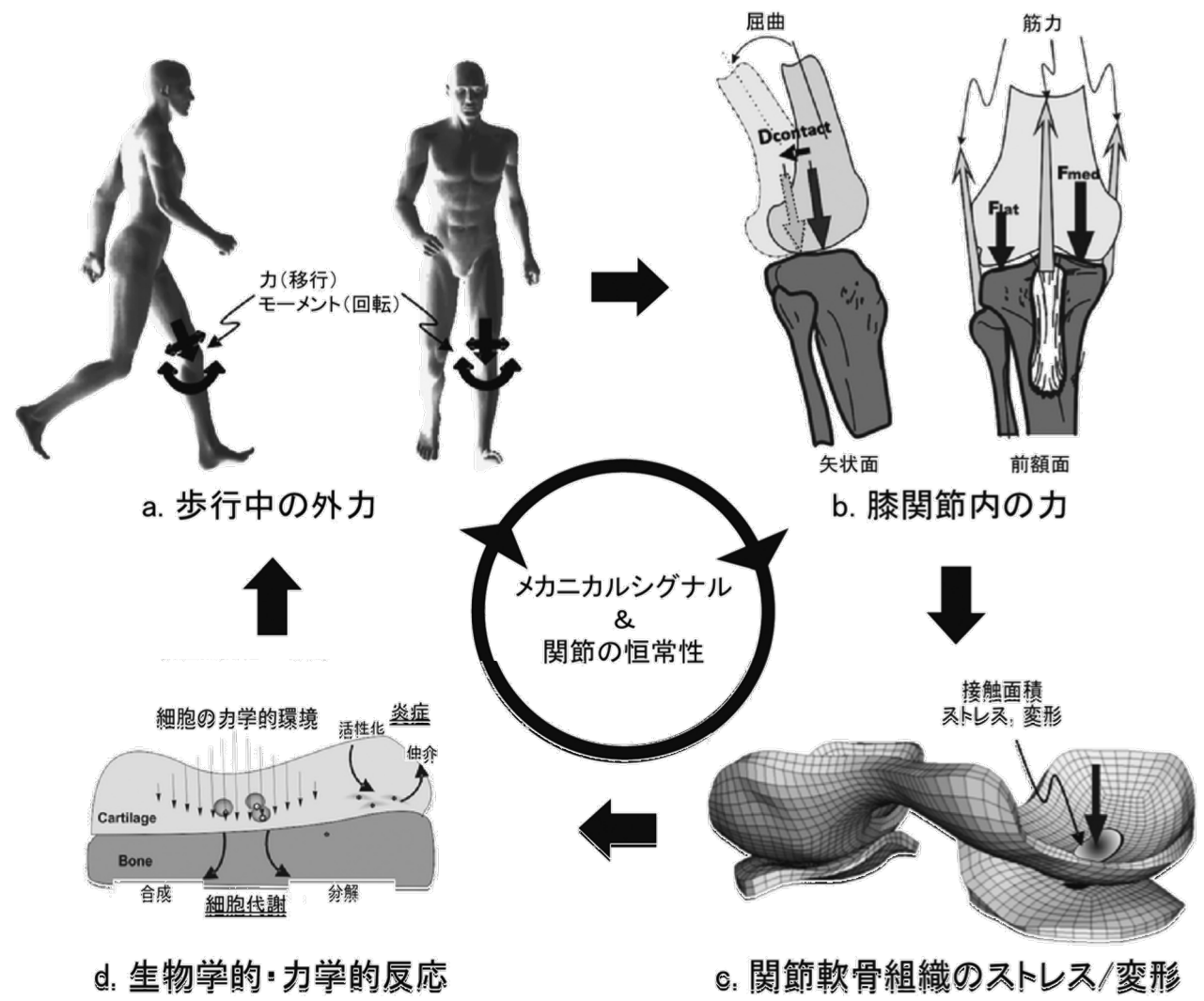
1 変形性膝関節症とは

発症要因

- ✓加齢に伴う軟骨，軟骨下骨，滑膜といった関節構成体の**生物学的変化**
- ✓加齢に伴って生じる関節構成体の力学特性や**構造的変化**
- ✓異常な負荷，外傷など外力の程度といった**生体力学的変化**

1 変形性膝関節症とは

Biomechanical signals



1 変形性膝関節症とは

関節軟骨の構造

✓ 輝板

軟骨のコラーゲン組織を被覆しており、**潤滑機構**や**関節液の透過性**に関与

✓ 表層

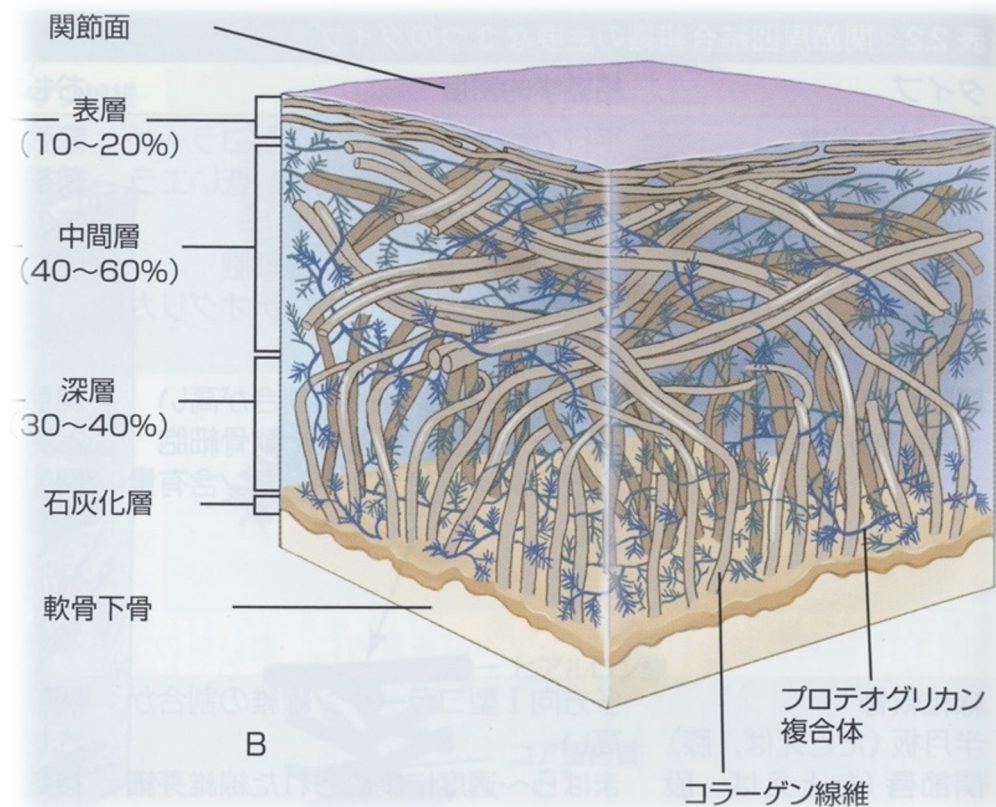
コラーゲン組織が関節面と**平行に走行**し、**関節軟骨の力学的特性**に重要な役割

✓ 中間層

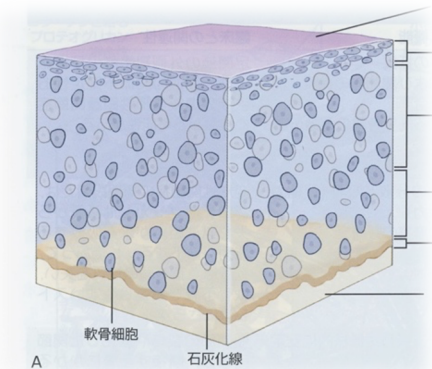
コラーゲン組織が**網目状**になって、豊富な**プロテオグリカン**が水分を吸収し関節軟骨は**粘弾性**を有している

✓ 深層

細胞が柱状に配列し石灰化軟骨層にコラーゲン線維が垂直に連続し柔らかい軟骨組織が硬い石灰化組織へ固着する**緩衝作用**を有する



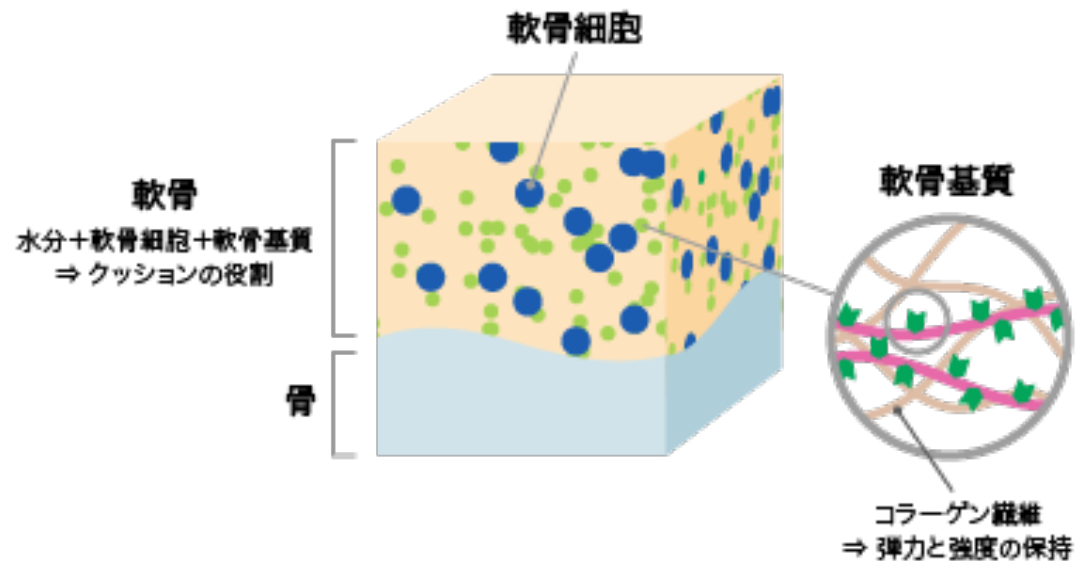
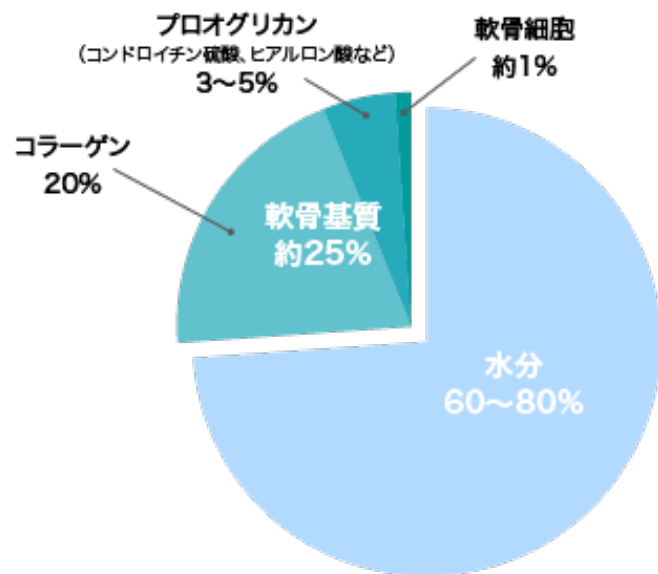
(Neumann DA, 2018)



1 変形性膝関節症とは

軟骨組織の成分

■ 軟骨の組織成分



https://liveclean-life.com/health/hw_parts15/

軟骨細胞は、

軟骨基質（細胞外マトリックス）を活発に合成するとともに分解し、その恒常性を維持

1 変形性膝関節症とは

軟骨組織の成分

関節内の軟骨組織の構造を建物でいえば、

- ✓ **コラーゲン繊維**(Ⅱ型)：構造を支える鉄筋の柱
- ✓ **軟骨基質**：その間に詰め込まれたコンクリート
→ その中に**軟骨細胞**が点在

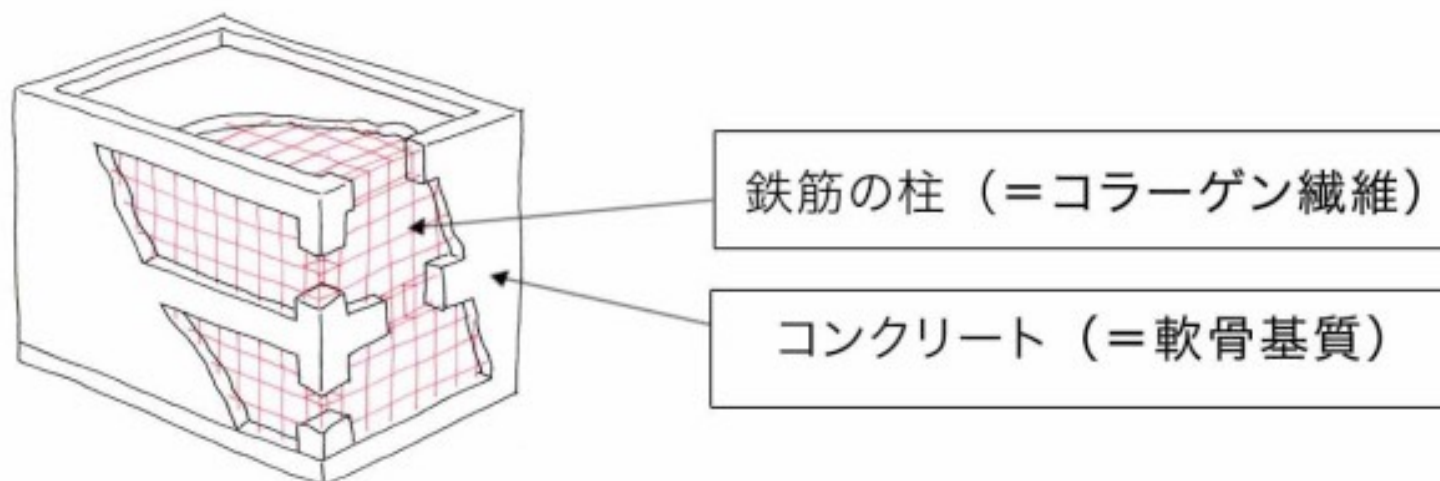


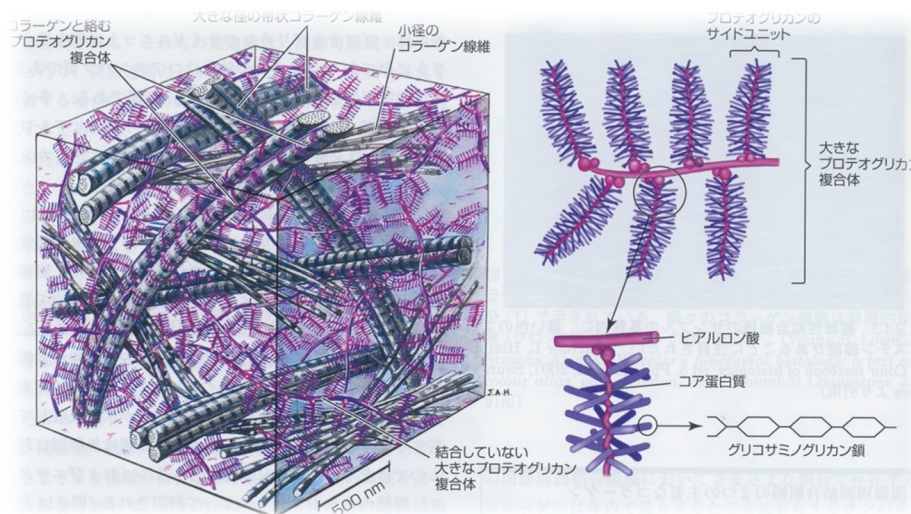
図 1 軟骨組織の構造

1 変形性膝関節症とは

関節軟骨の機能

潤滑と荷重緩衝という2つの重要な役割

- ✓ 軟骨基質（マトリックス）は軟骨組織の主要な部分を構成
→ プロテオグリカン複合体という高分子の化合物からできている
- ✓ プロテオグリカンの複合体は、分子内で多量の水分子と結合
→ 軟骨表面が圧迫されると、スポンジのような柔軟な構造と、そこから浸み出た水分が氷の表面のような軟骨表面の潤滑の役目



1 変形性膝関節症とは

病理学的変化

正常軟骨では軟骨基質の破壊（変性）と修復が均衡を保っている

軟骨内要素

軟骨細胞の代謝障害による骨軟骨再造形の異常

軟骨外要素

滑膜反応， 血行性変化や軟骨下骨の微小骨折

初期に軟骨表面が変化し，これに力学的負荷が加わり軟骨マトリックスの破壊をきたし軟骨細胞の代謝に影響を与える

1 変形性膝関節症とは

病理学的変化（軟骨内要素）

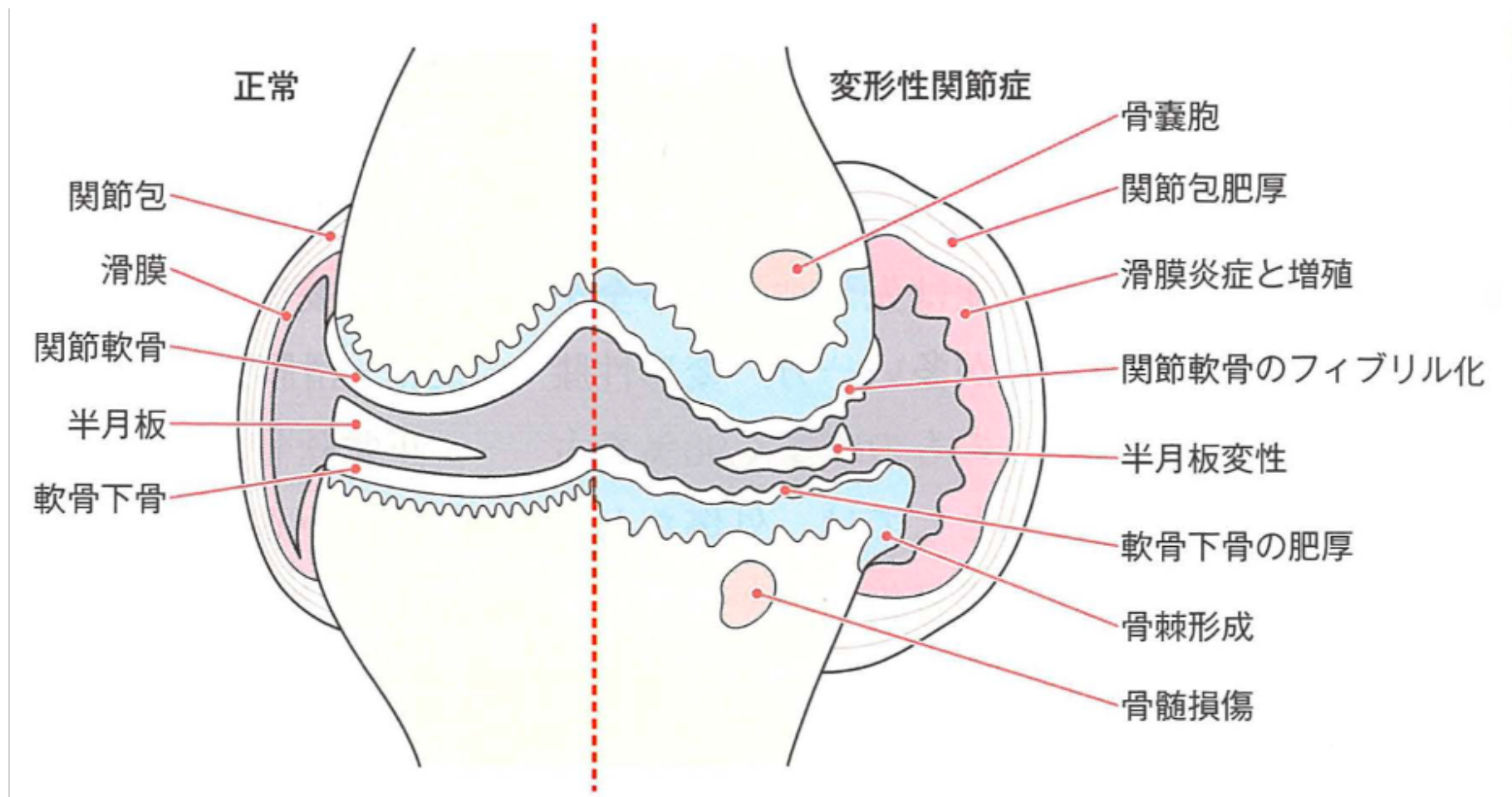
初期に表層の加齢変化や微小損傷による軟骨の代謝異常および力学的環境の変化

- ✓ 軟骨に過剰な負荷がかかると、コラーゲン線維が壊れ、コラーゲン線維にひっかかっていたプロテオグリカン集合体が遊出（軟骨内プロテオグリカンの減少）
- ✓ 軟骨細胞の一部は細胞死を生じ、生き残った細胞の一部は炎症性サイトカインを産生・放出
- ✓ 軟骨細胞は炎症性サイトカインに刺激されることで軟骨基質を分解する酵素を算出する
- ✓ プロテオグリカンを失った軟骨の粘弾性は低下

通常の荷重負荷によって軟骨基質の破壊が進行

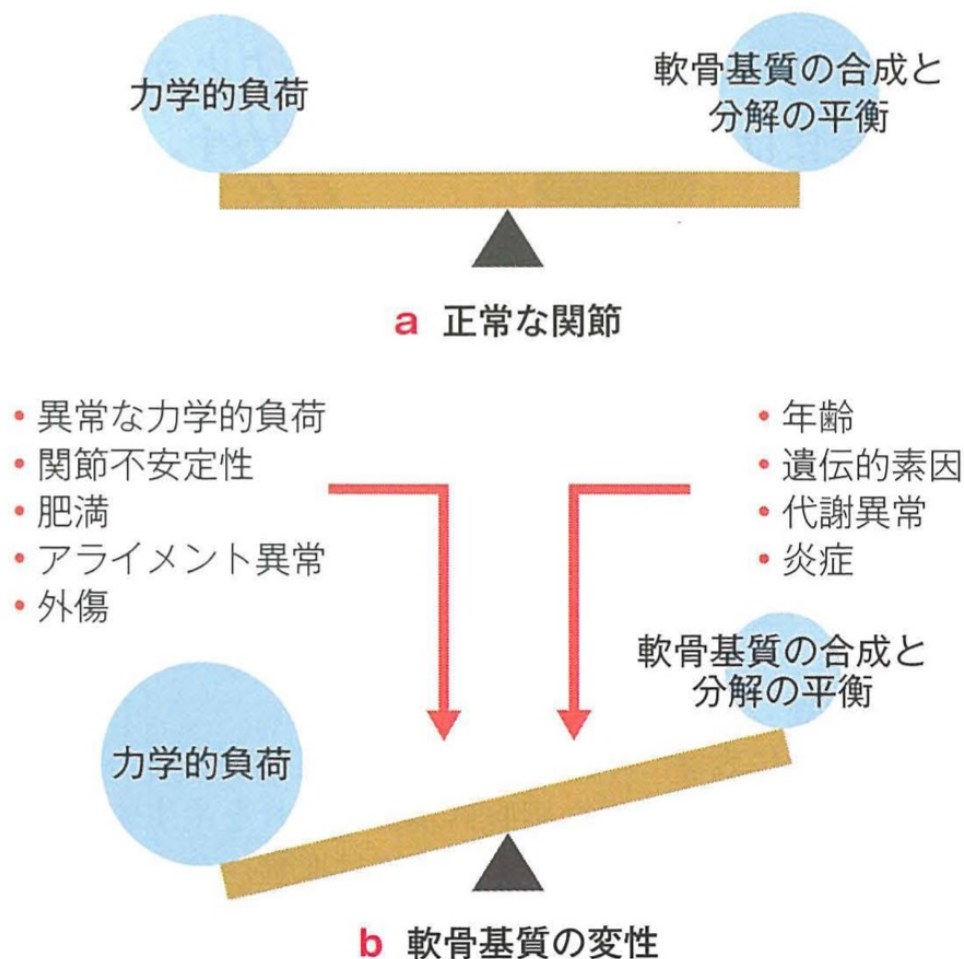
1 変形性膝関節症とは

病理学的変化（軟骨外要素）



1 変形性膝関節症とは

膝OAの発症に至る一連の過程



1 変形性膝関節症とは

疼痛などの主観的な症状と、画像で捉えられた関節構成体の損傷や退行性変化とが一致しない (Finan, 2013)



個人差が大きい



2 関節の機能



関節安定性



関節可動域



筋機能（筋力，筋緊張）

3つの機能は互いに密接に関係し，影響を及ぼし合う

2 関節の機能

関節可動域制限の原因

- ✓骨，関節軟骨などの関節構造変化
- ✓関節内遊離体や骨折・脱臼に伴う骨の偏位など
- ✓関節包や靭帯などの伸張性，柔軟性低下による**関節包内の変化**
- ✓皮膚や筋・筋膜，腱などの短縮，**筋緊張**による**関節包外の変化**
→理学療法の対象，一般に**拘縮**と呼ばれる病態

2 関節の機能

拘縮

関節によって隣り合う2つのセグメントが筋収縮の結果、互いに相近づいた状態が継続していること

現在の定義は、

「皮膚や骨格筋、靭帯、関節包などといった関節周囲軟部組織の器質的な変化に由来したROM制限」

→筋収縮由来のROM制限はこの範疇に含まれない

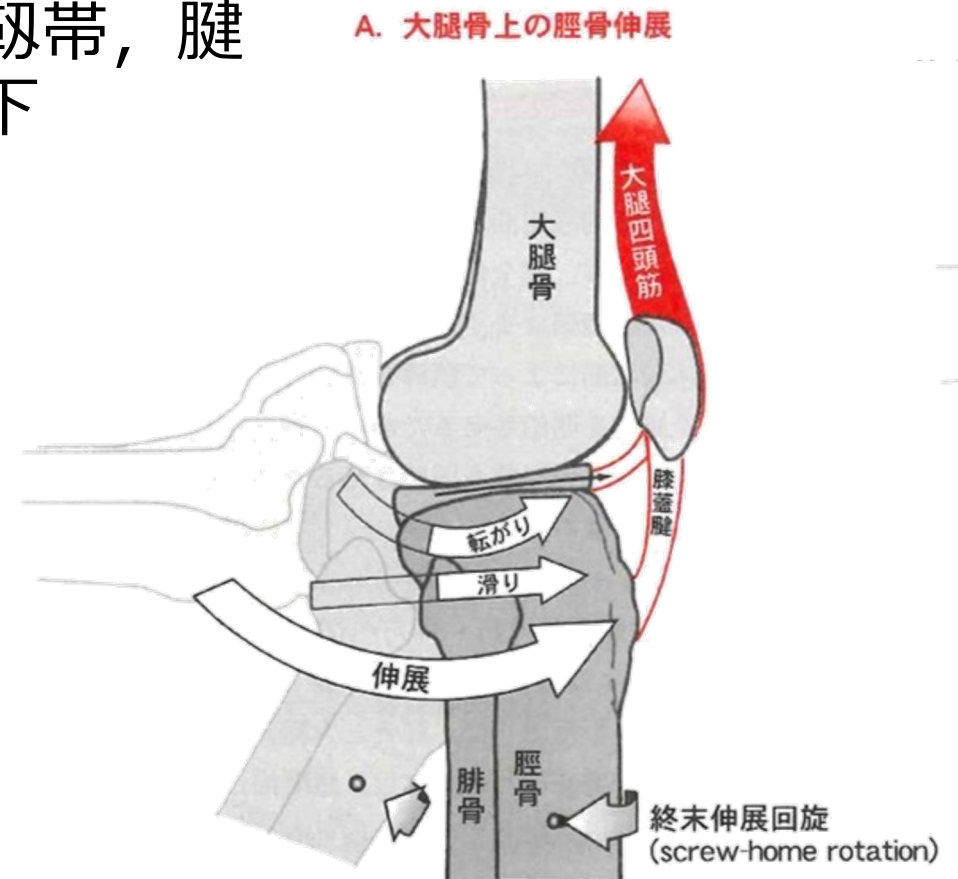


筋収縮が発生していない状況下で関節周囲軟部組織の特性である伸張性が低下し、これが原因となってROM制限

2 関節の機能

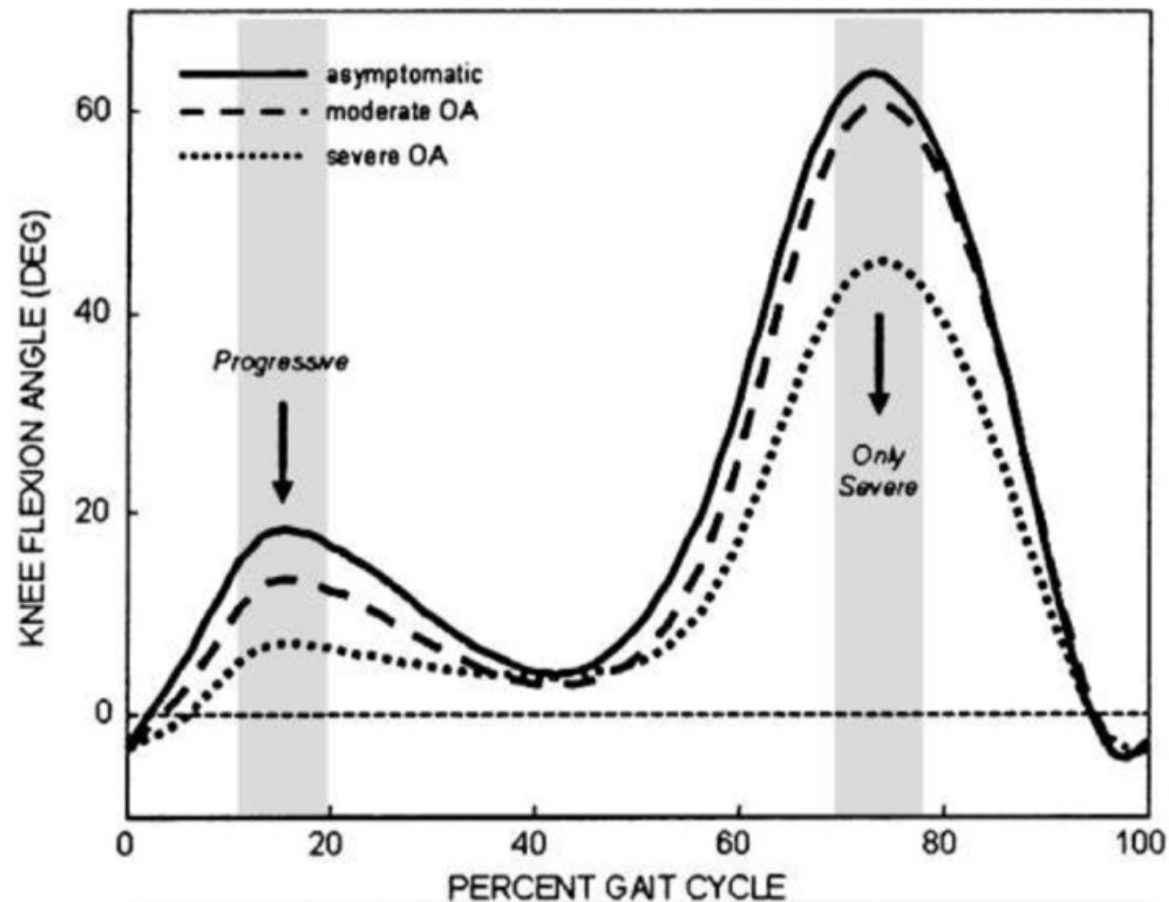
膝関節伸展および屈曲の**可動域制限**が生じやすい

変形性膝関節症では疼痛や腫脹のために運動性が低下し，関節包や靭帯，腱などの軟部組織の伸張性が低下



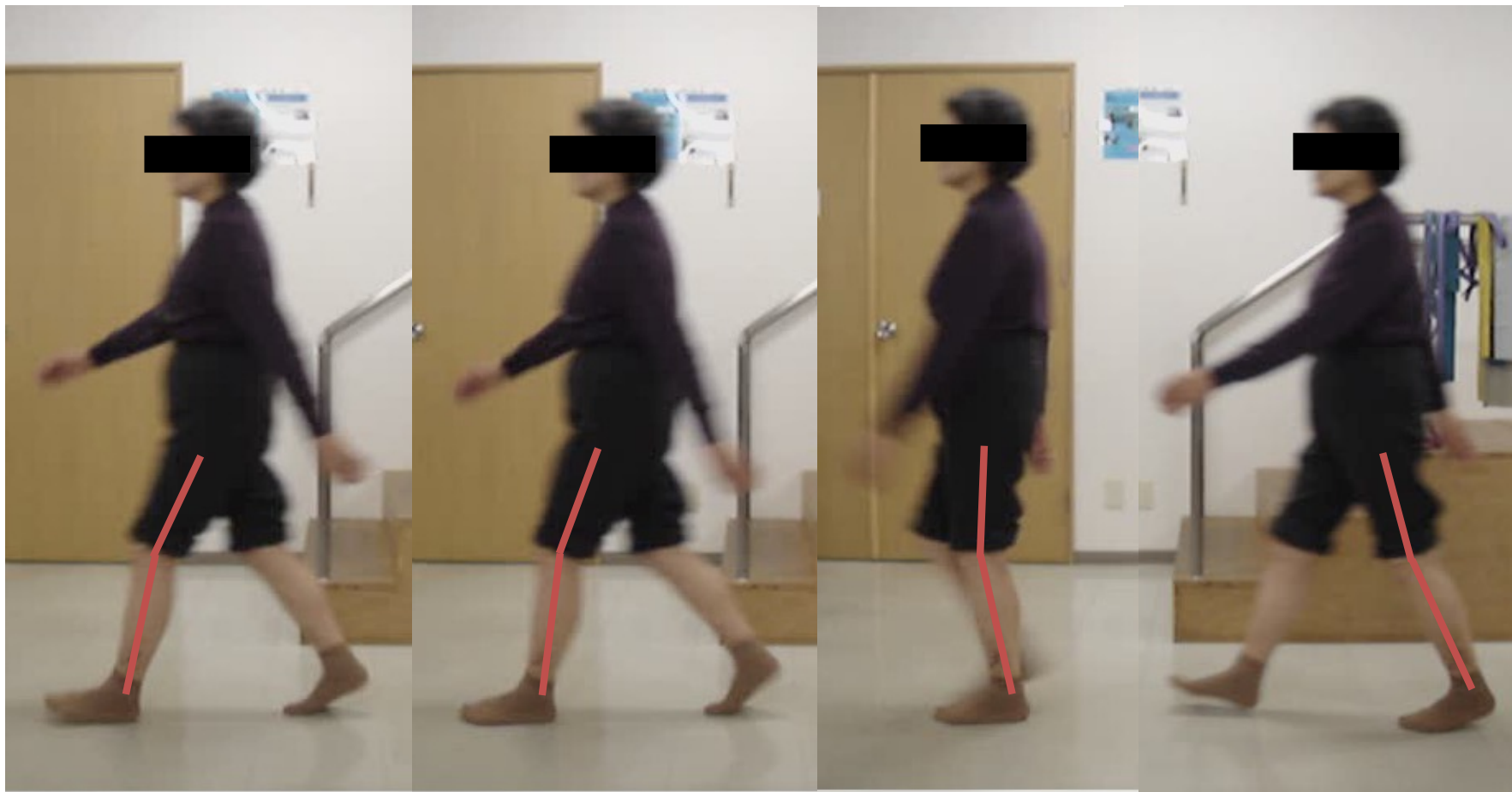
2 関節の機能

Double Knee Actionの消失 (膝関節運動の減少)



2 関節の機能

下肢関節の運動学的変化



2 関節の機能

歩行時の膝関節の機能と役割

立脚期では

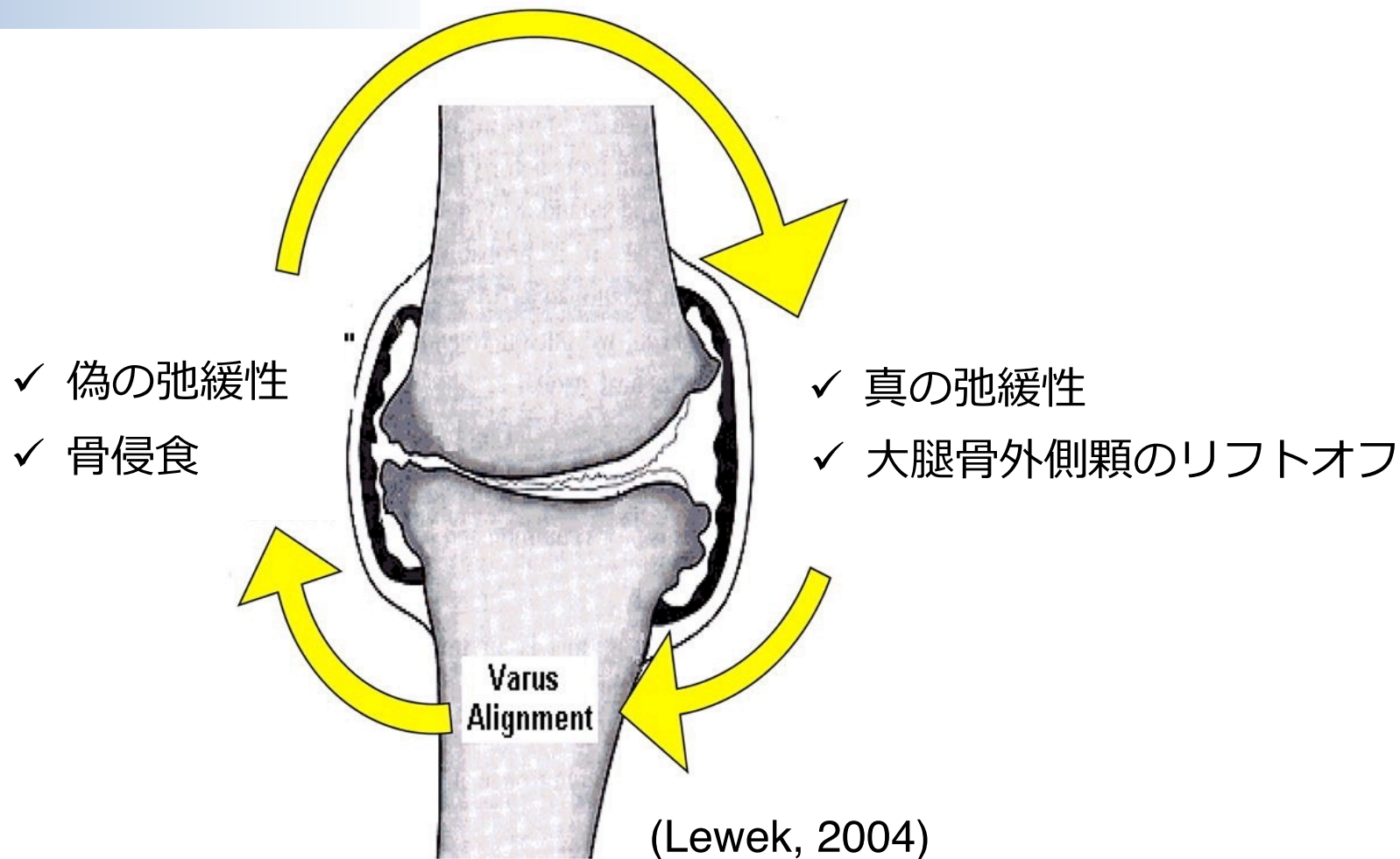
- ✓ 下肢へ荷重する際の衝撃吸収
- ✓ 立脚中期での身体重心の高さの維持

遊脚期では

- ✓ 下肢の前進のために股関節屈曲とともに急速に屈曲することで身体の前進に寄与

Double Knee Actionの消失は、上記の機能を適切に行えていない可能性

2 関節の機能



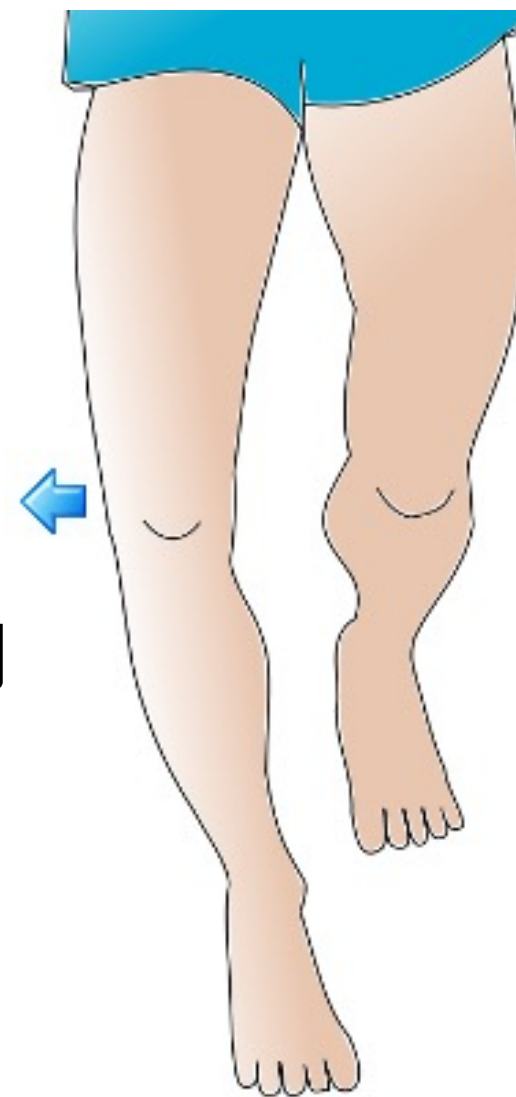
前額面での弛緩性が**関節不安定性**をもたらし、関節を安定化させるために筋による制御が必要

(Fitzgerald, 2004; Sharma, 1999)

2 関節の機能

外側スラスト

立脚初期に膝が急激に外側方向に動揺する現象



2 関節の機能

主観的な膝関節の不安定性

- ✓不安定性を報告しなかった膝OA患者において膝関節運動の変動性が減少，不安定性を報告した膝OA患者では変動性は増大 (Gustafson, 2015)
- ✓主観的な膝関節不安定性があることは動的な膝関節安定性が不十分であり，膝関節調節能力が低くなっている (Farrokhi, 2014)

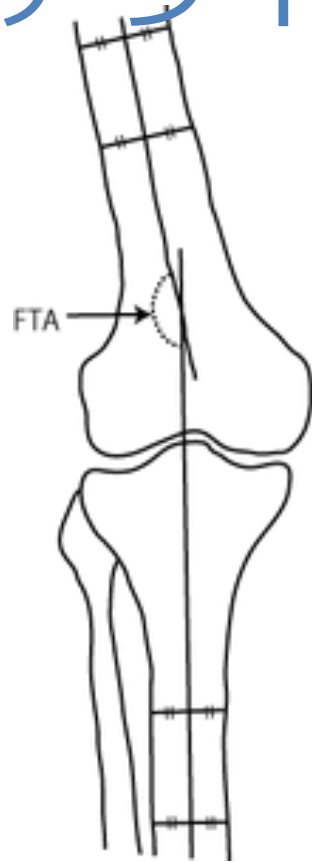
2 関節の機能

下肢アライメント

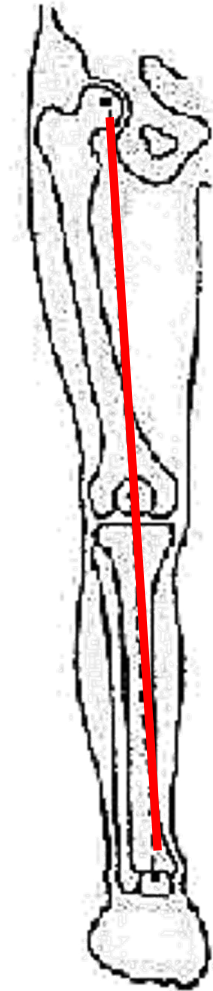


2 関節の機能

下肢アライメント

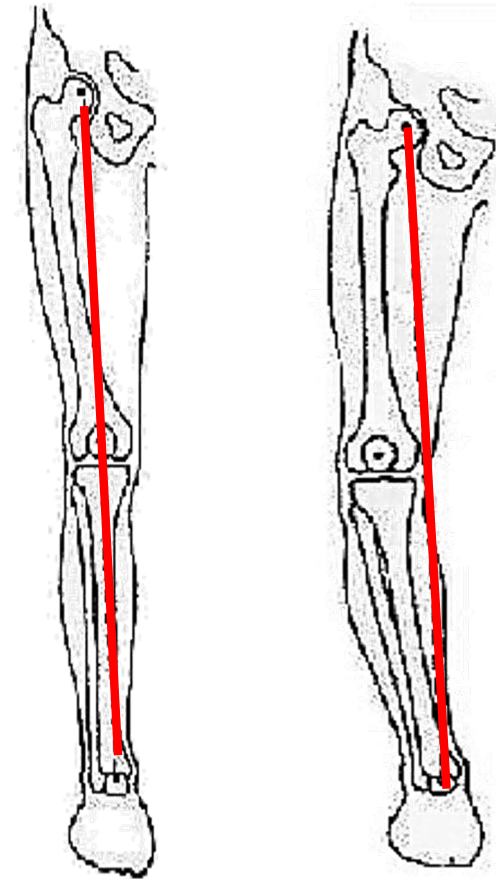
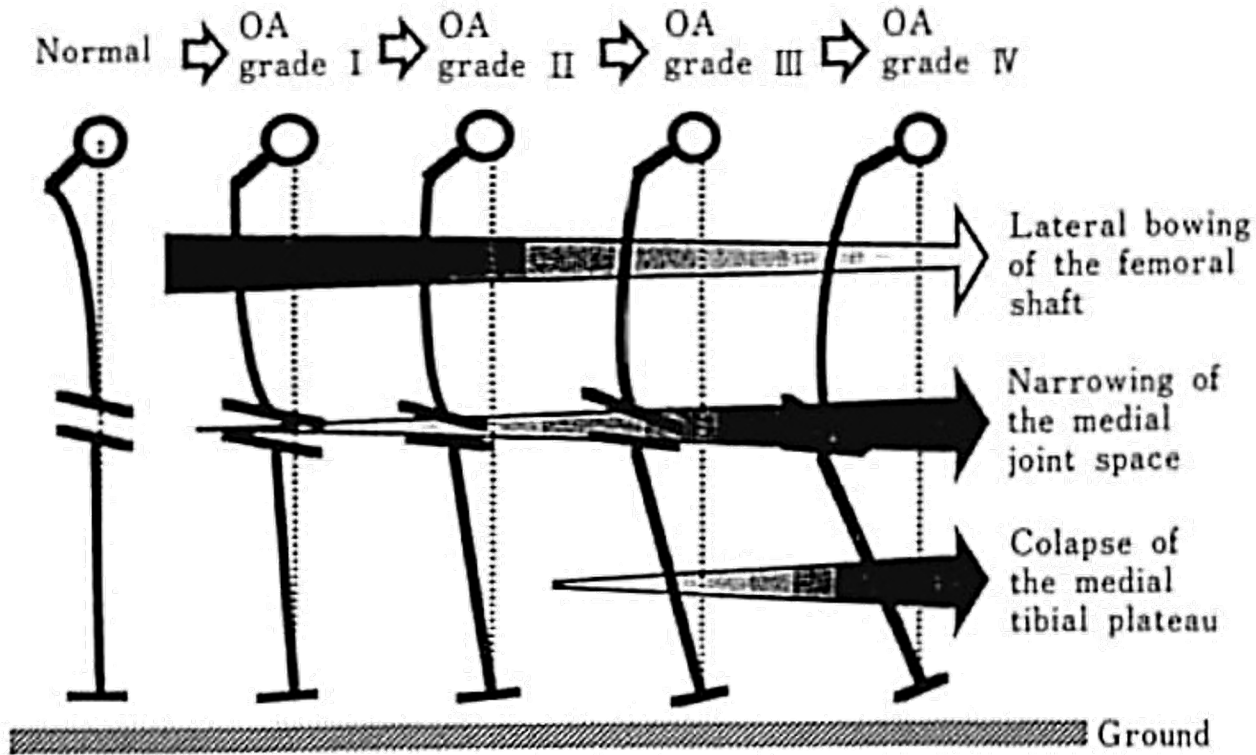


大腿脛骨角 (FTA)



Mikulicz線 (下肢機能軸)

2 関節の機能



- ✓ FTAの増大 (膝関節内反増大)
- ✓ Mikulicz線の内側移動

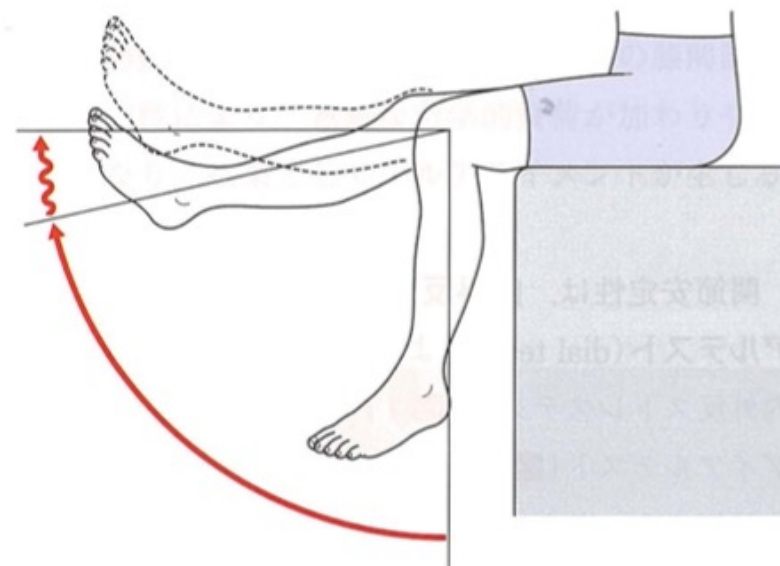
2 関節の機能

大腿四頭筋

- ✓ 健常者と比較して20～40%低下 (Bennell, 2013)
- ✓ 大腿四頭筋の筋力低下は膝OAの進行と関連 (Øiestad, 2015)
- ✓ 健側や健常者よりも筋断面積が小さく, type I 線維よりも type II 線維が萎縮しやすい (木藤, 2013)

原因は？

- 疼痛による発揮困難
- 筋萎縮
- ハムストリングの筋過緊張



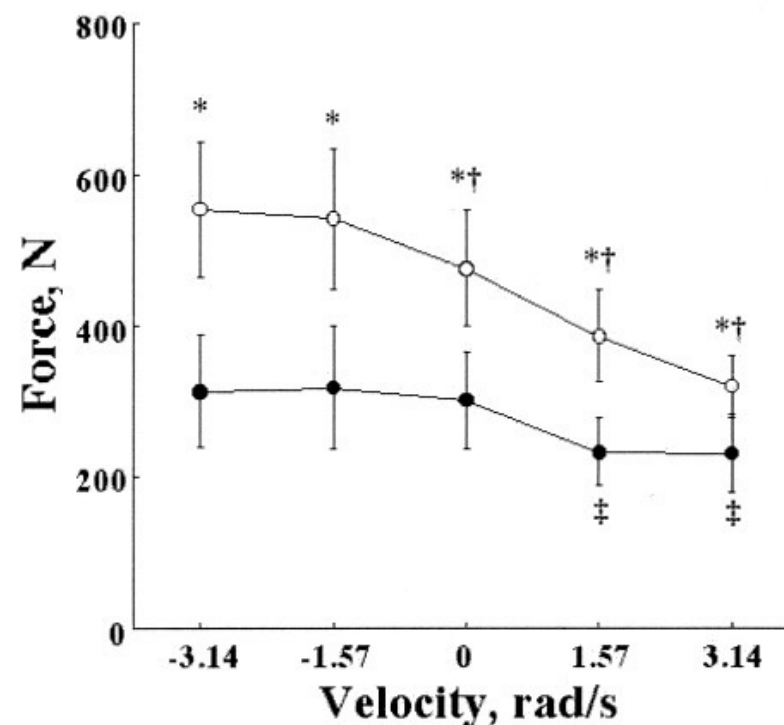
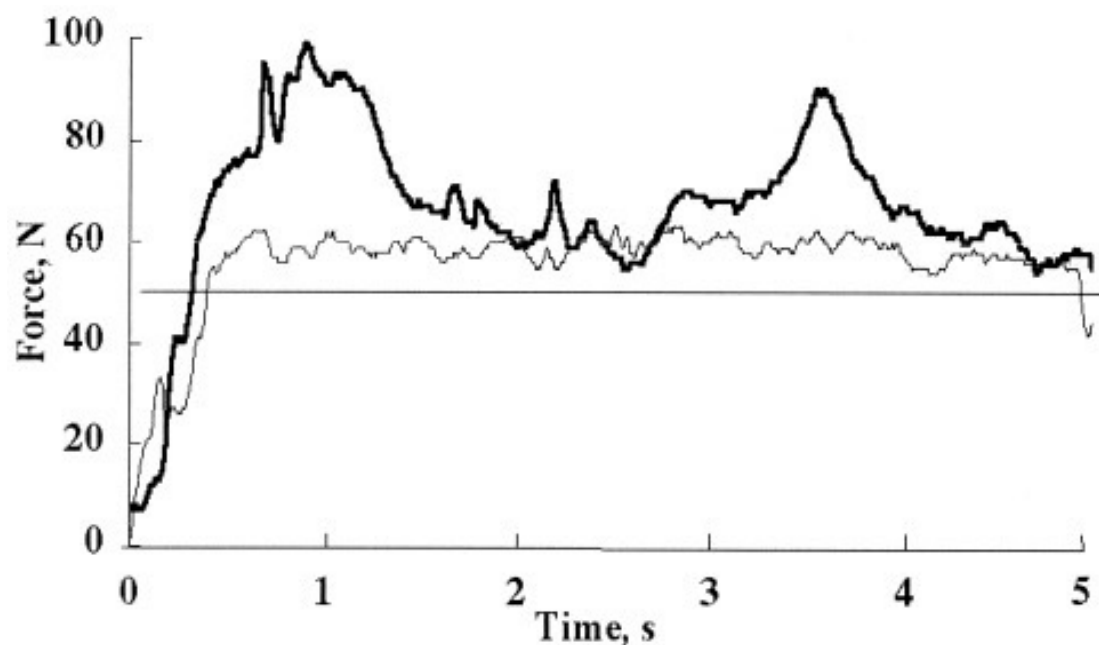
2 関節の機能

関節原性筋抑制 (AMI)

- ✓炎症などによる滑膜肥厚や関節水腫，疼痛のために，関節内圧が上昇し関節周囲の感覚神経終末を介して，筋に対して反射性抑制が生じている状態
- ✓関節原性筋抑制に関係していると考えられる神経路の1つとして γ ループが挙げられる

2 関節の機能

筋力の量的側面よりも質的側面



- ✓力の調整，持続的な発揮が困難
- ✓遠心性運動で力の発揮がより困難

2 関節の機能

膝関節をまたぐ筋群の同時収縮

日常生活活動の大部分で大腿四頭筋と共同してハムストリングも**同時収縮**を行っている

→同時収縮によって、ACLを大腿四頭筋による過剰な張力から保護している

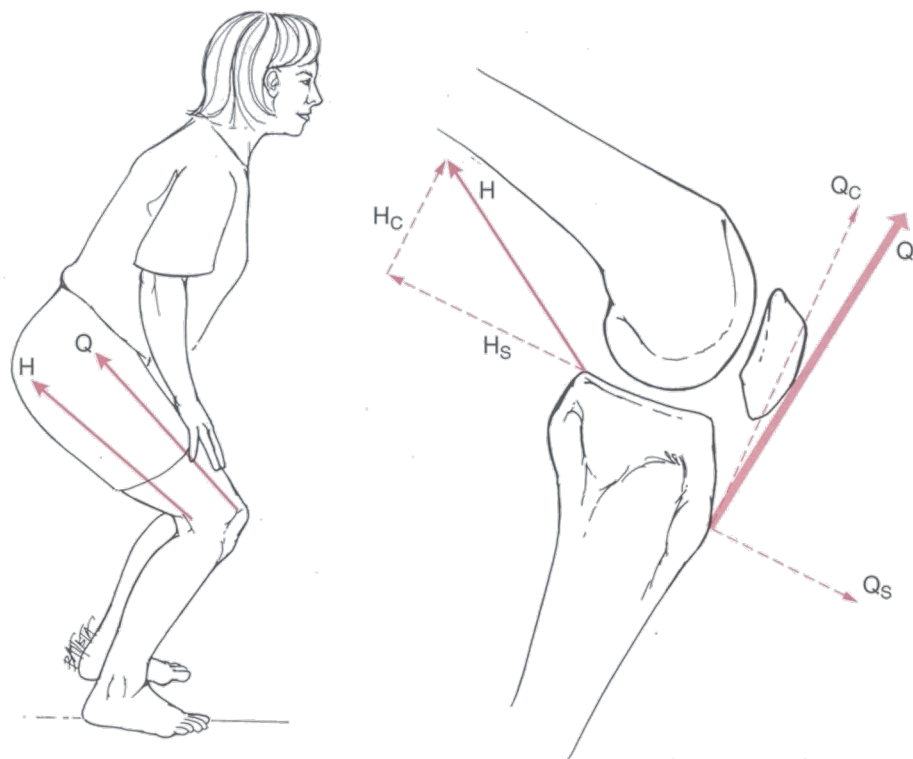
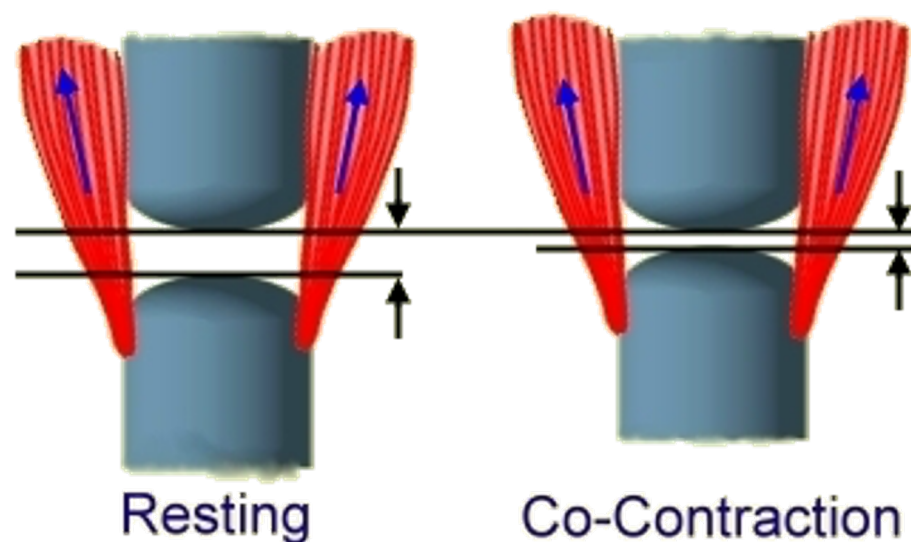


図43.11：大腿四頭筋とハムストリングスの同時収縮では、ハムストリングスによる牽引力(H)は、後方せん断力(H_s)を産生することにより大腿四頭筋の収縮による前方せん断力(Q_s)からACLを保護している。Qは大腿四頭筋力、H_cとQ_cはそれぞれハムストリングスと大腿四頭筋の圧縮力を表す。

2 関節の機能

同時収縮 Co-contraction

動的な膝関節安定性を高め、関節弛緩性に抗する適応的な戦略として膝関節を固めて型にはまった歩行パターンを用いる (Zeni, 2009)



関節を固定するためであり、身体に外部から作用する外力に対抗し、運動のバラツキを小さくする

2 関節の機能

股関節外転筋群

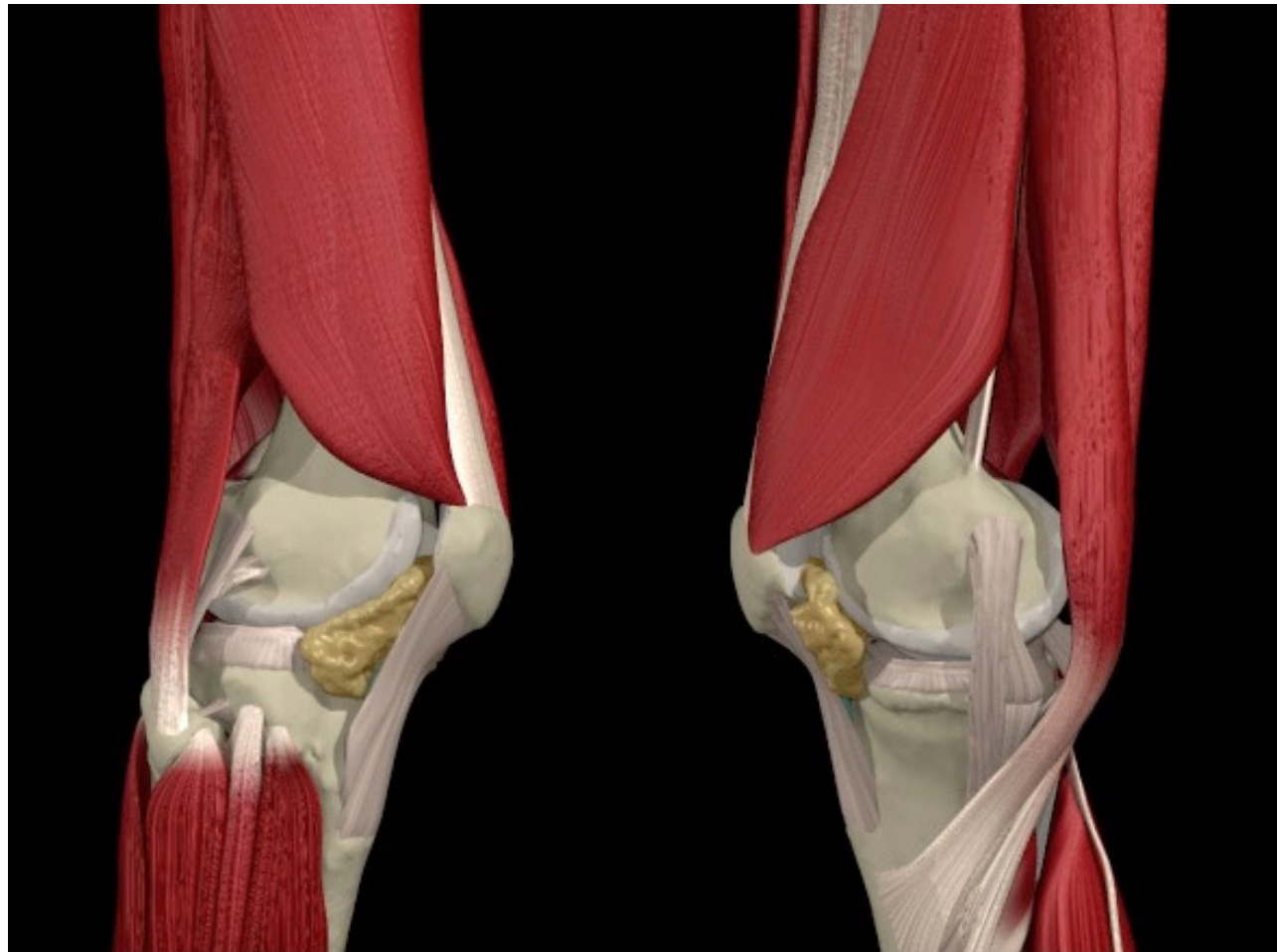
- ✓ 股関節外転筋力の低下 (Hinman, 2010; Deasy, 2016)
- ✓ 外部股関節内転モーメントの減少 (Astephen, 2008)
- ✓ 股関節外転筋力と外部膝関節内転モーメントに関連はなし (Rutherford, 2014)



股関節外転筋群の筋力低下は膝OAの素因よりも膝OAの結果の可能性

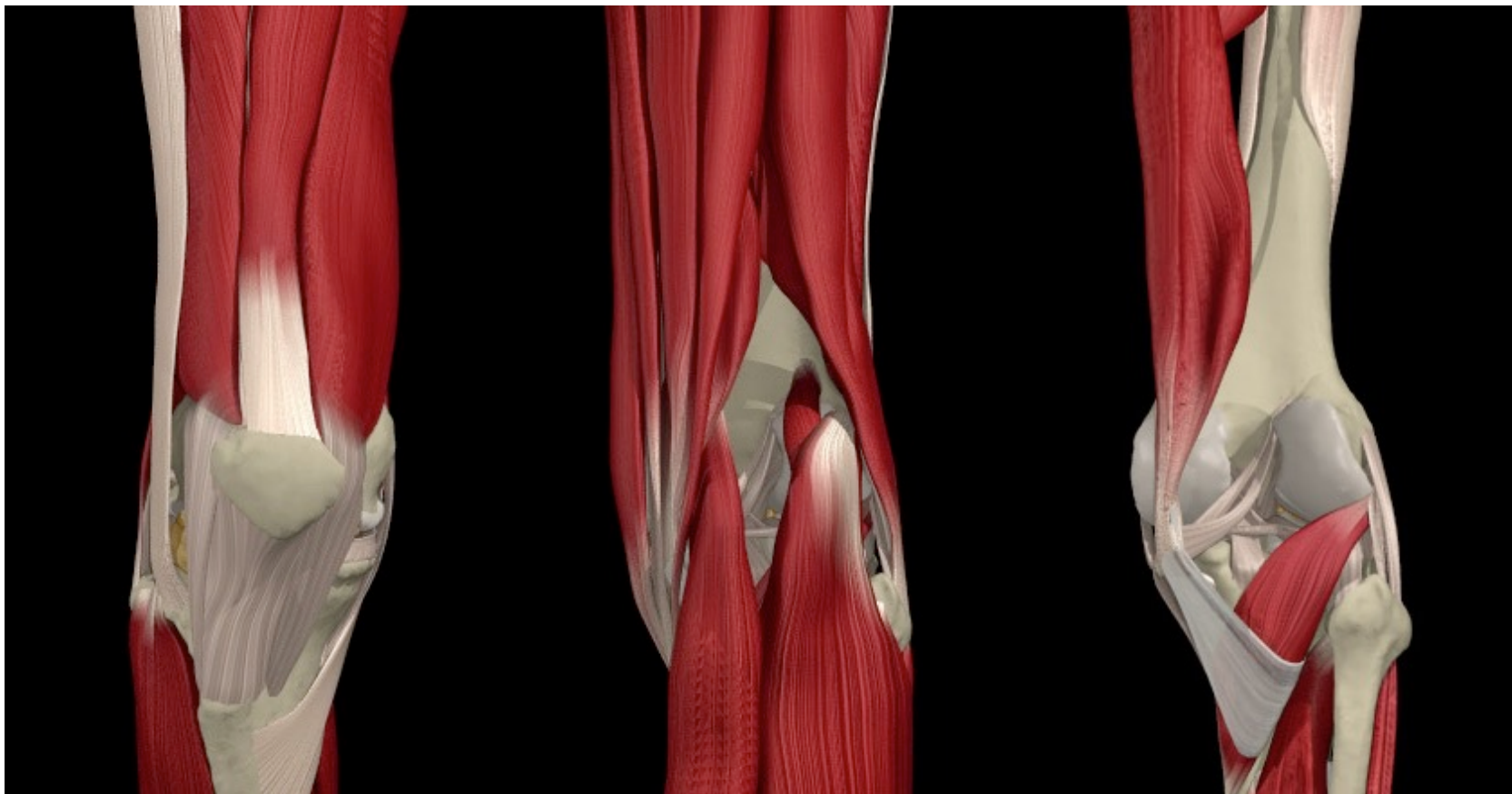
3 外部膝関節内転モーメント

矢状面上で働く（屈曲・伸展運動）筋は多い



3 外部膝関節内転モーメント

前額面上に働く（内転・外転）筋はない



これらの安定化は靭帯などの静的安定に依存している

3 外部膝関節内転モーメント

それぞれのコンパートメントが荷重分配

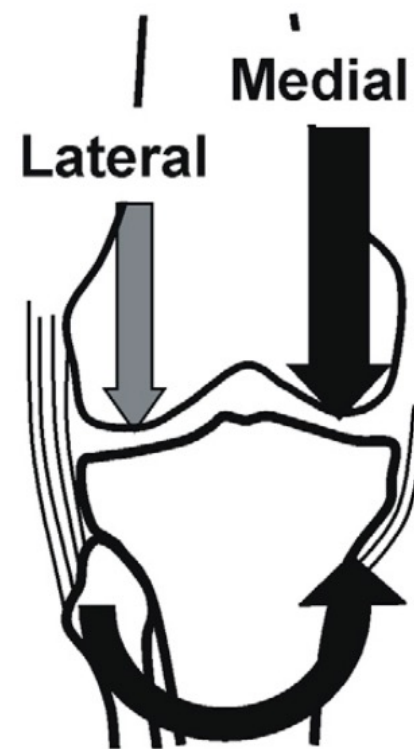
内外側の荷重配分の変化と過度な内側コンパートメントへの荷重にて内側膝OAの進行リスクが増加

膝関節内側荷重の有効な指標



外部膝関節内転モーメント

External knee adduction moment
(KAM)

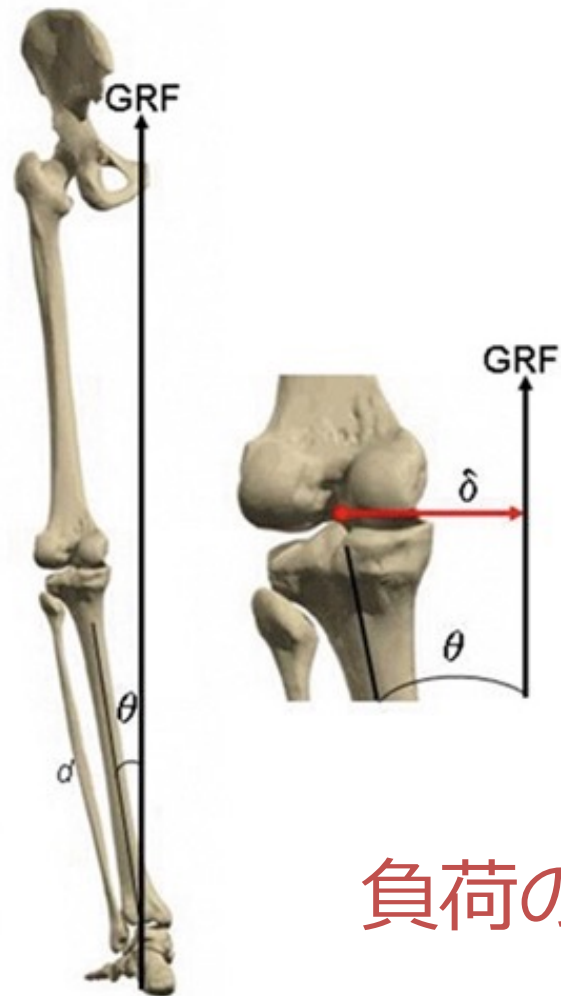


Adduction
Moment

(Andriacchi, 2009)

3 外部膝関節内転モーメント

膝関節の前額面には、矢状面で重要な役割をなす大腿四頭筋のような大きな筋は存在しない



外部膝関節内転モーメント

||

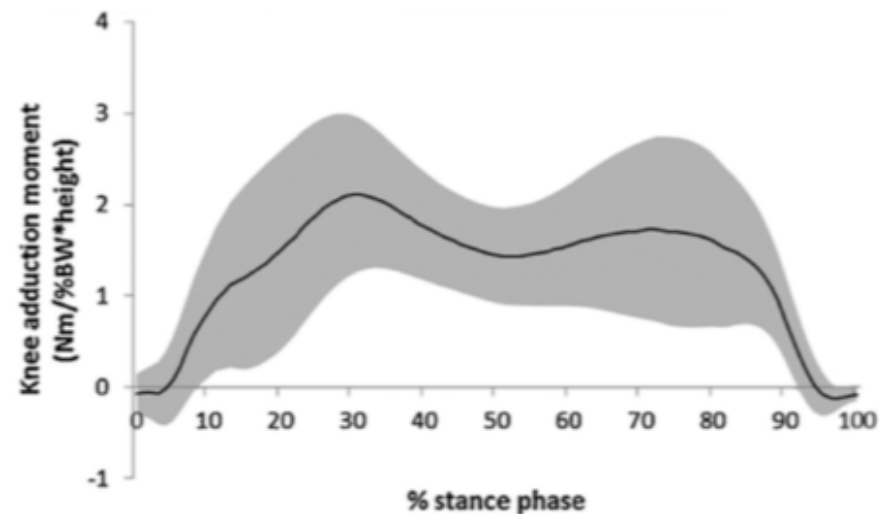
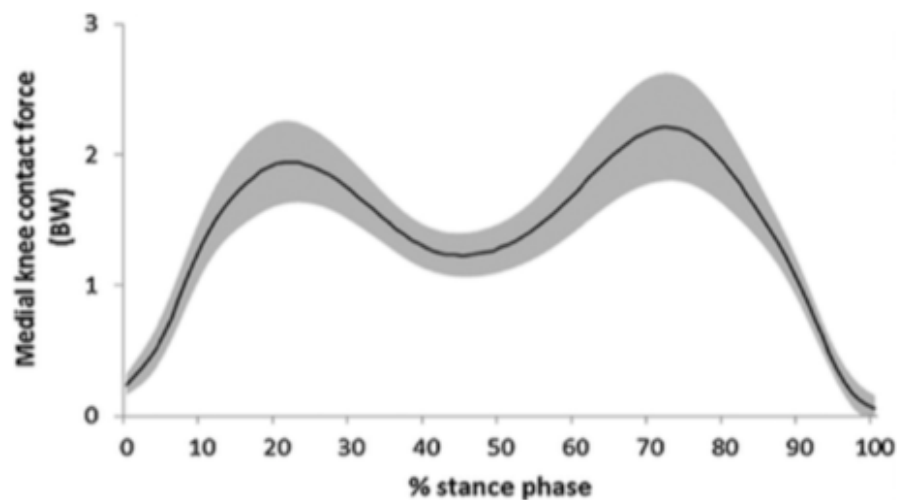
床反力の大きさ

×

膝関節中心から床反力ベクトルまでの垂線

負荷の分布に対して信頼性のある代替指標

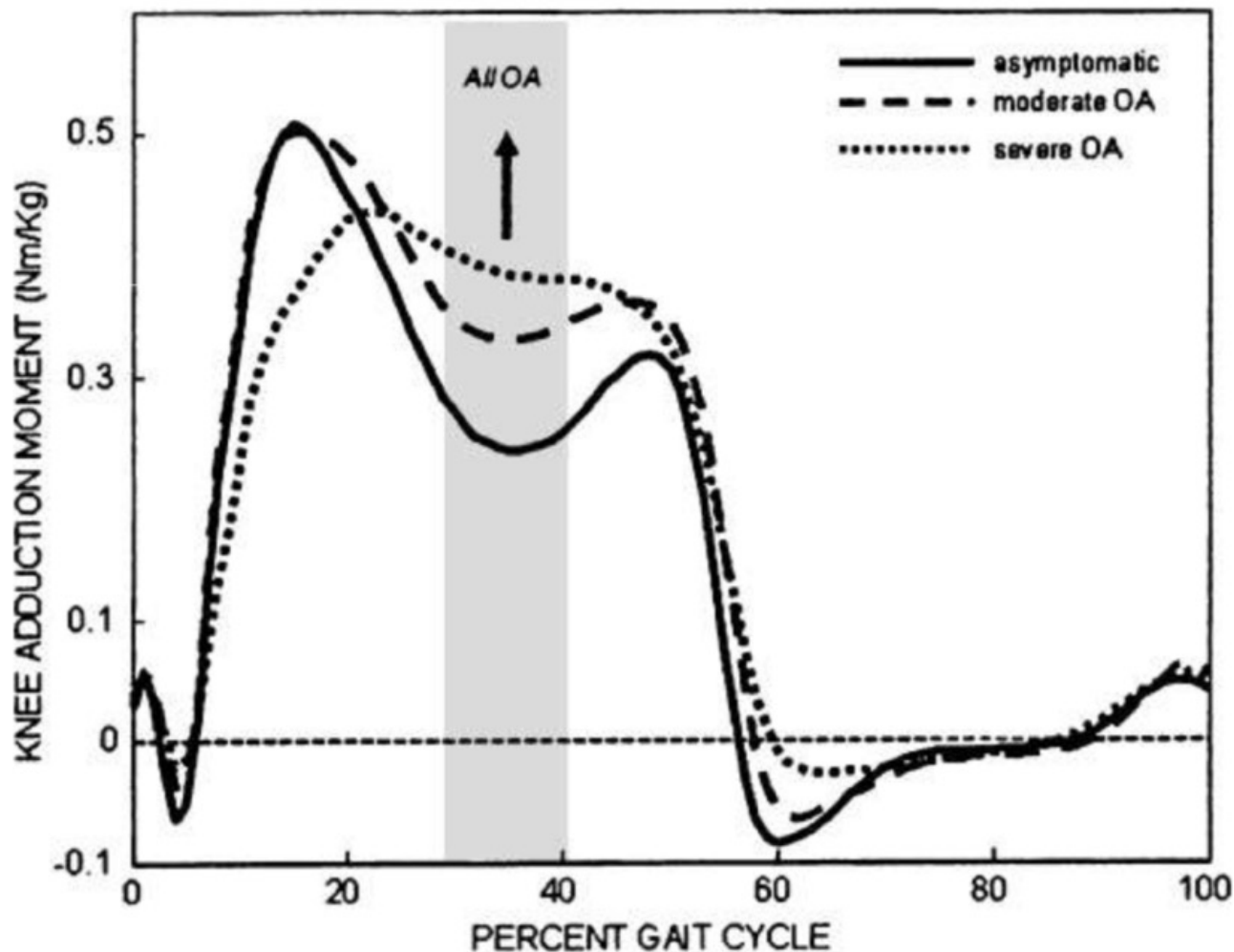
3 外部膝関節内転モーメント



KAMが膝内側部の荷重と高い相関 ($r=0.59$)

3 外部膝関節内転モーメント

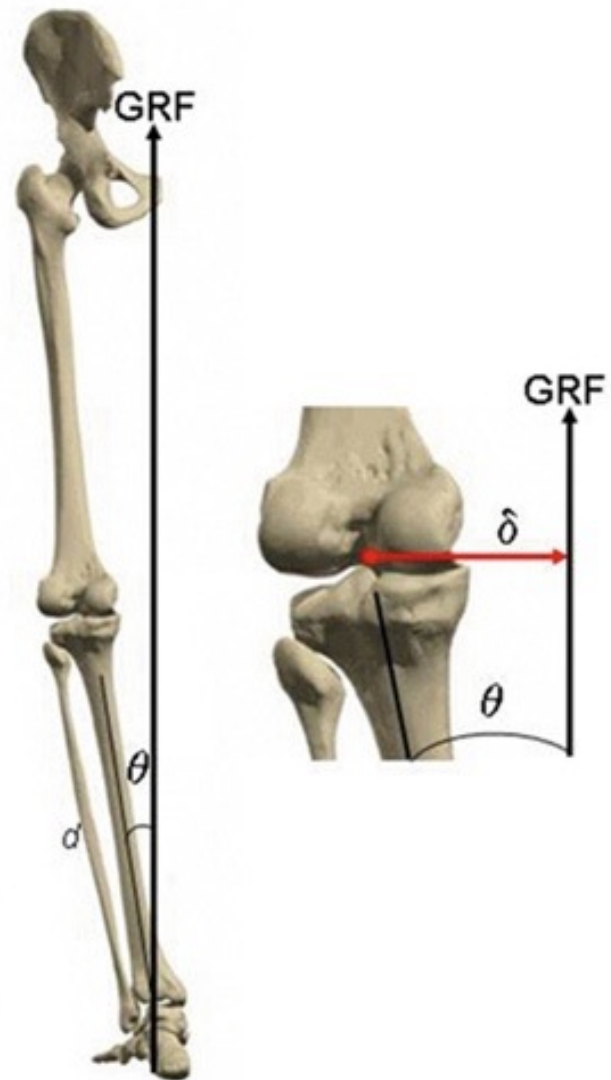
KAMの立脚中期の値が増大



3 外部膝関節内転モーメント

外部膝関節内転モーメント力積

- ✓床反力の増大
- ✓レバーアームの増大
- ✓立脚時間の増大



お問い合わせ

大分大学
福祉健康科学部 理学療法コース

阿南雅也

anan-masaya@oita-u.ac.jp

