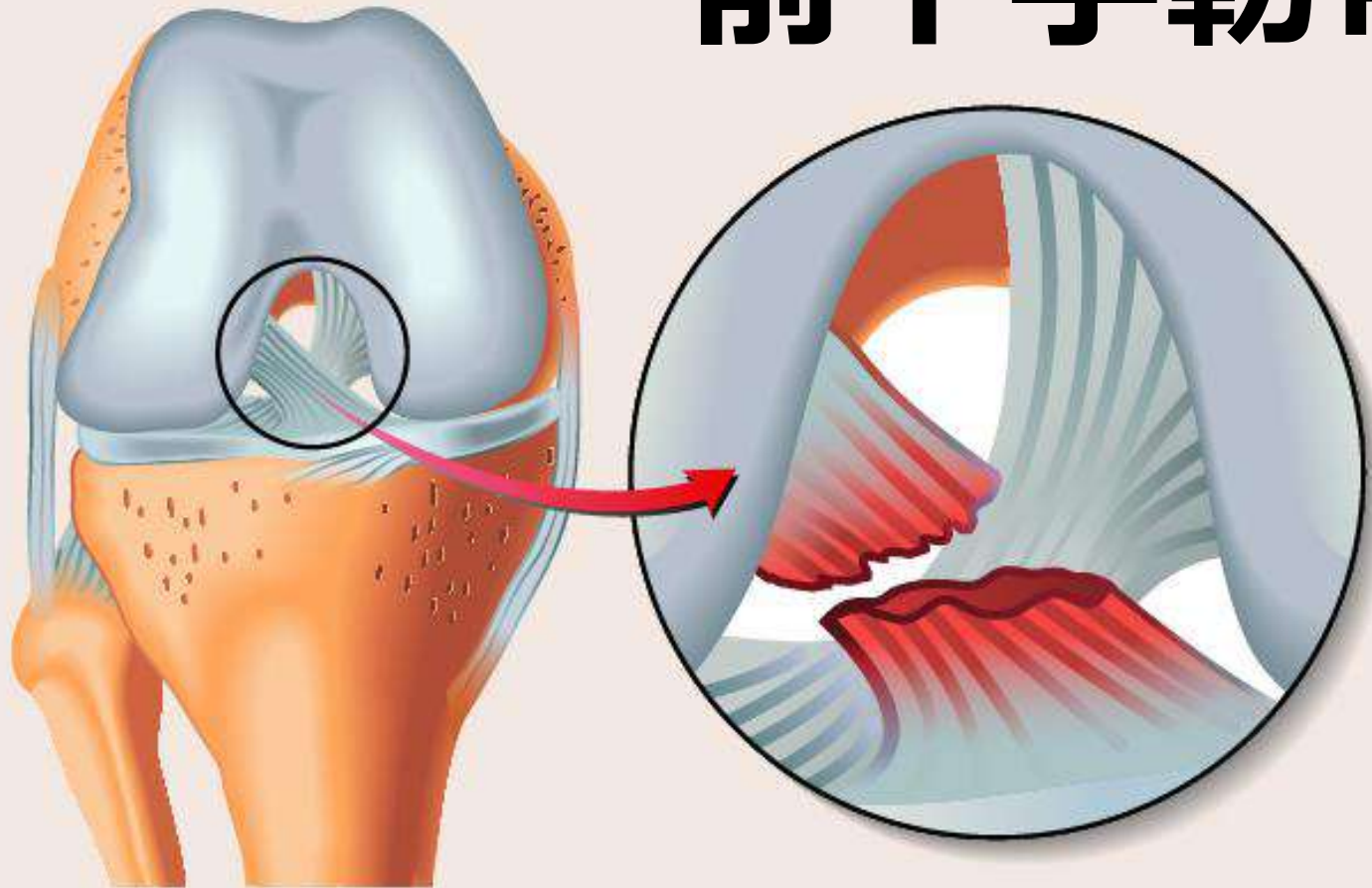


前十字靱帶損傷



ACL Tears

Understanding Diagnosis
& Surgical Interventions

西伊豆健育会病院

理学療法士

加藤 耕一

前十字靱帯の解剖・機能

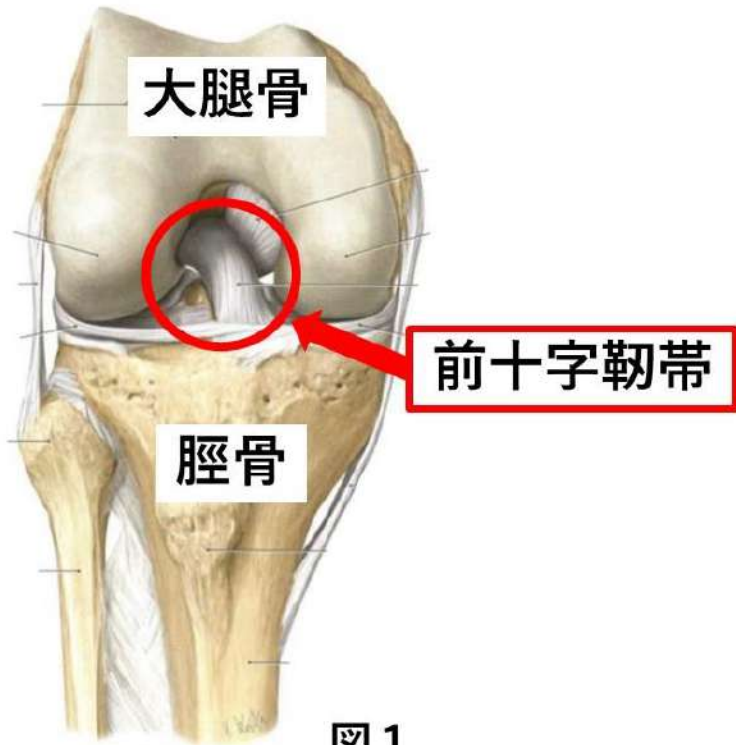


図1

膝関節で最も重要な靱帯

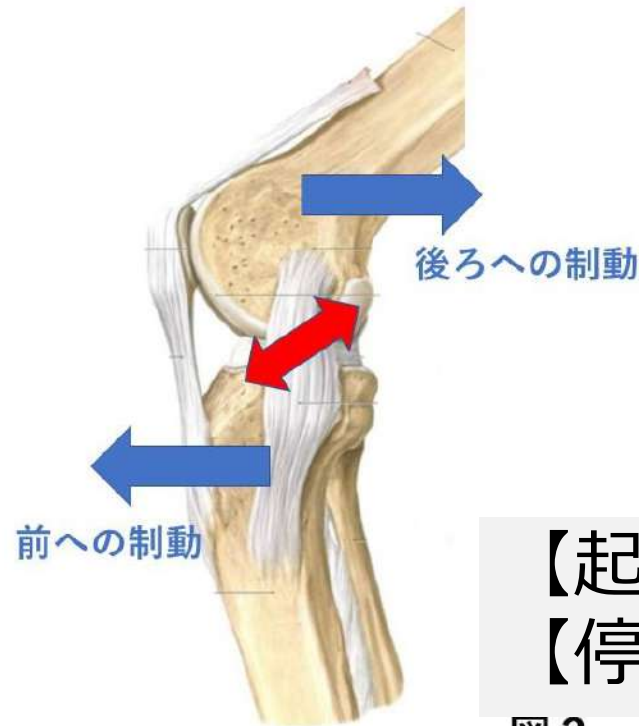


図2

前十字靱帯

Anterior Cruciate Ligament
Anterior = 前方の
Cruciate = 十時の
Ligament = 靱帯

⇒ACL

【起始】 大腿骨外側顆の内側面

【停止】 脛骨顆間隆起からその前方

【制動方向】 前方移動(80%以上)
下腿内旋
過伸展

前十字靭帯の解剖・機能



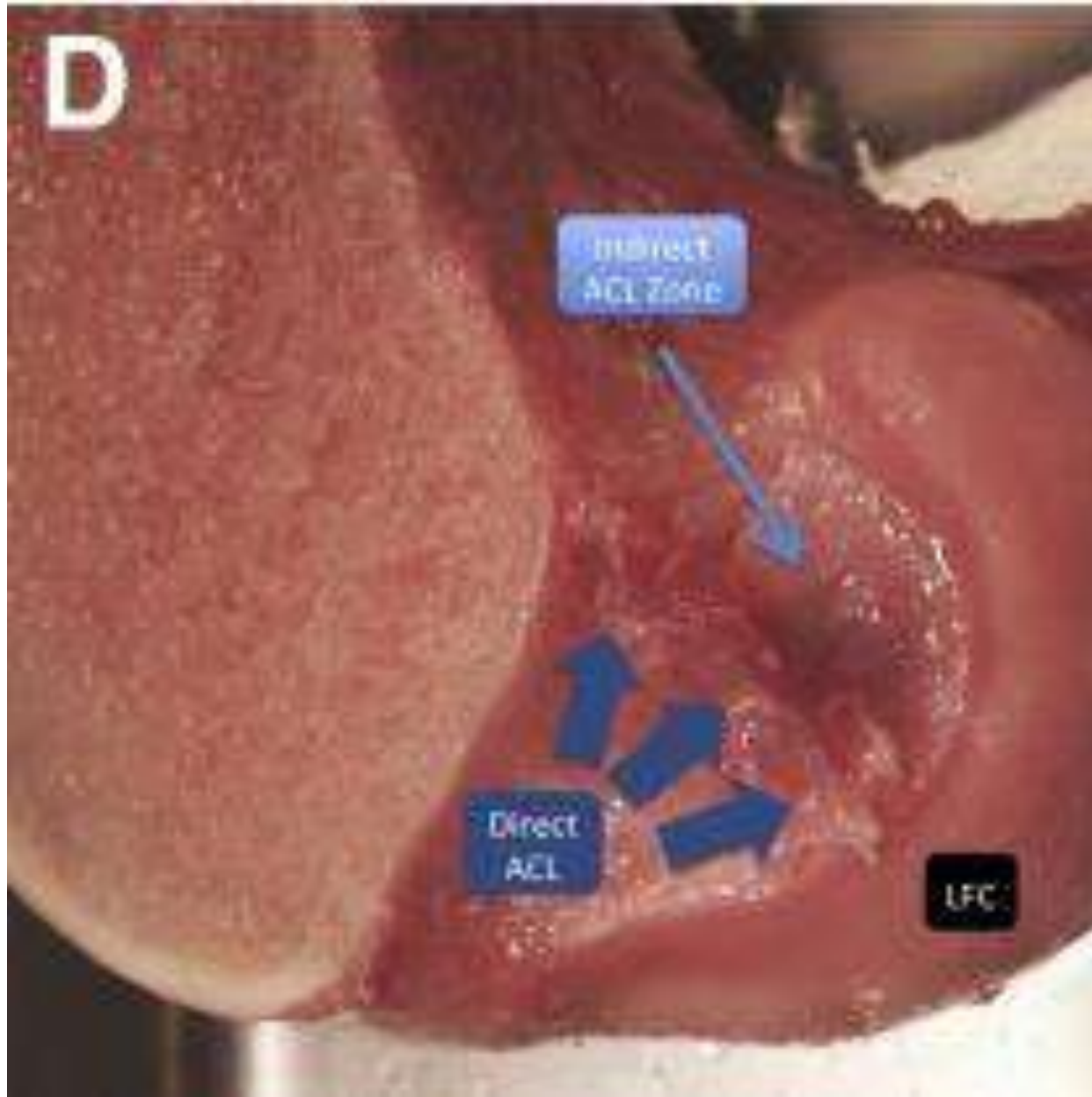
Ribbon like 带状の形

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24841941/>

PMID: 24841941



前十字靱帯の解剖・機能



Indirect ACL zone

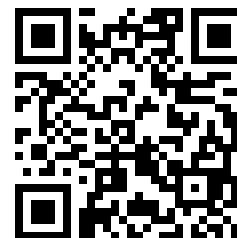
膜状に付着

Direct ACL zone

繊維がしっかりして
いる繊維が付着

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30377585/>

PMID: 30377585



前十字靱帯の解剖・機能



横靱帯

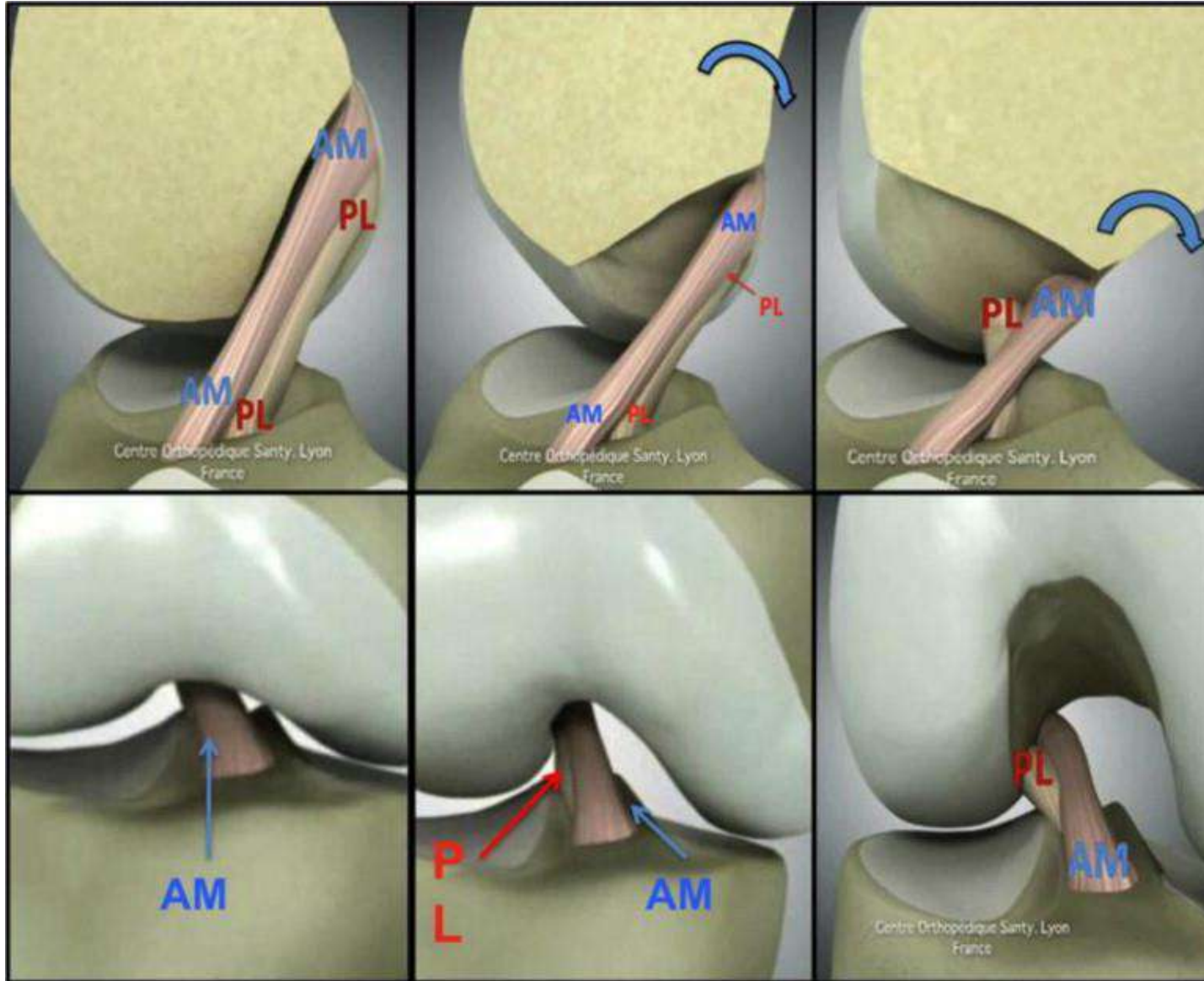
下に広がるように付着

PMID: 24841941

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24841941/>



前十字靱帯の解剖・機能



前内側線維束

Anteromedial Bundle
= **AM** or AMB

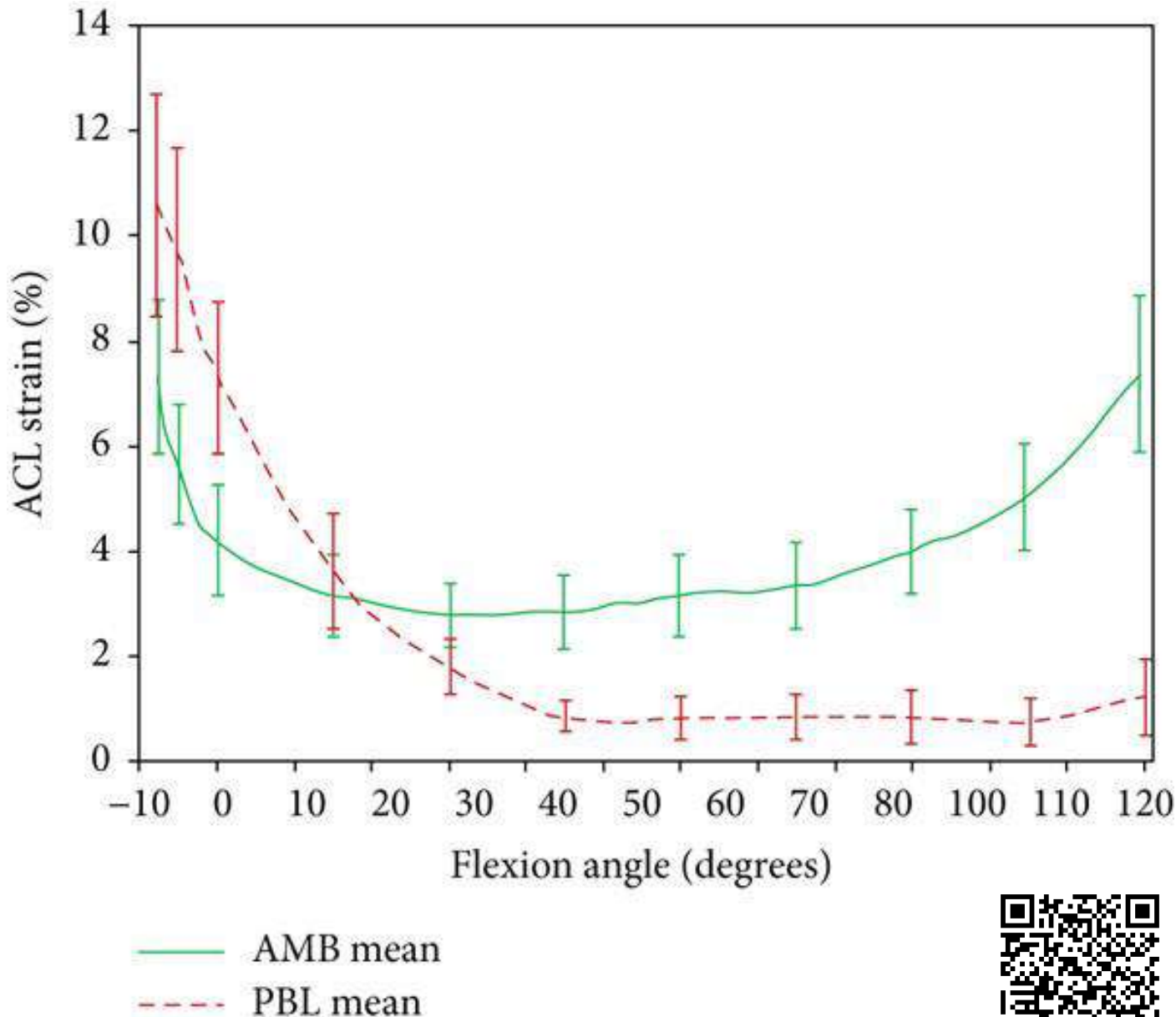
後内側線維束

Posterolateral Bundle
= **PL** or PLB

AMは屈曲で伸長

PLは屈曲で弛緩

前十字靱帯の解剖・機能



前内側線維束

屈曲しても張力は一定
深屈曲でやや増加

後内側線維束

伸展位では張力高い
屈曲にて張力は低下

AMの方が常に一定

→断裂しやすい可能性



受傷機転

接触型

もらい事故

再受傷の可能性は低い

非接触型

自損事故

同じ動作・癖を繰り返すと
再受傷の可能性が高くなる

アプローチが重要

受傷機転

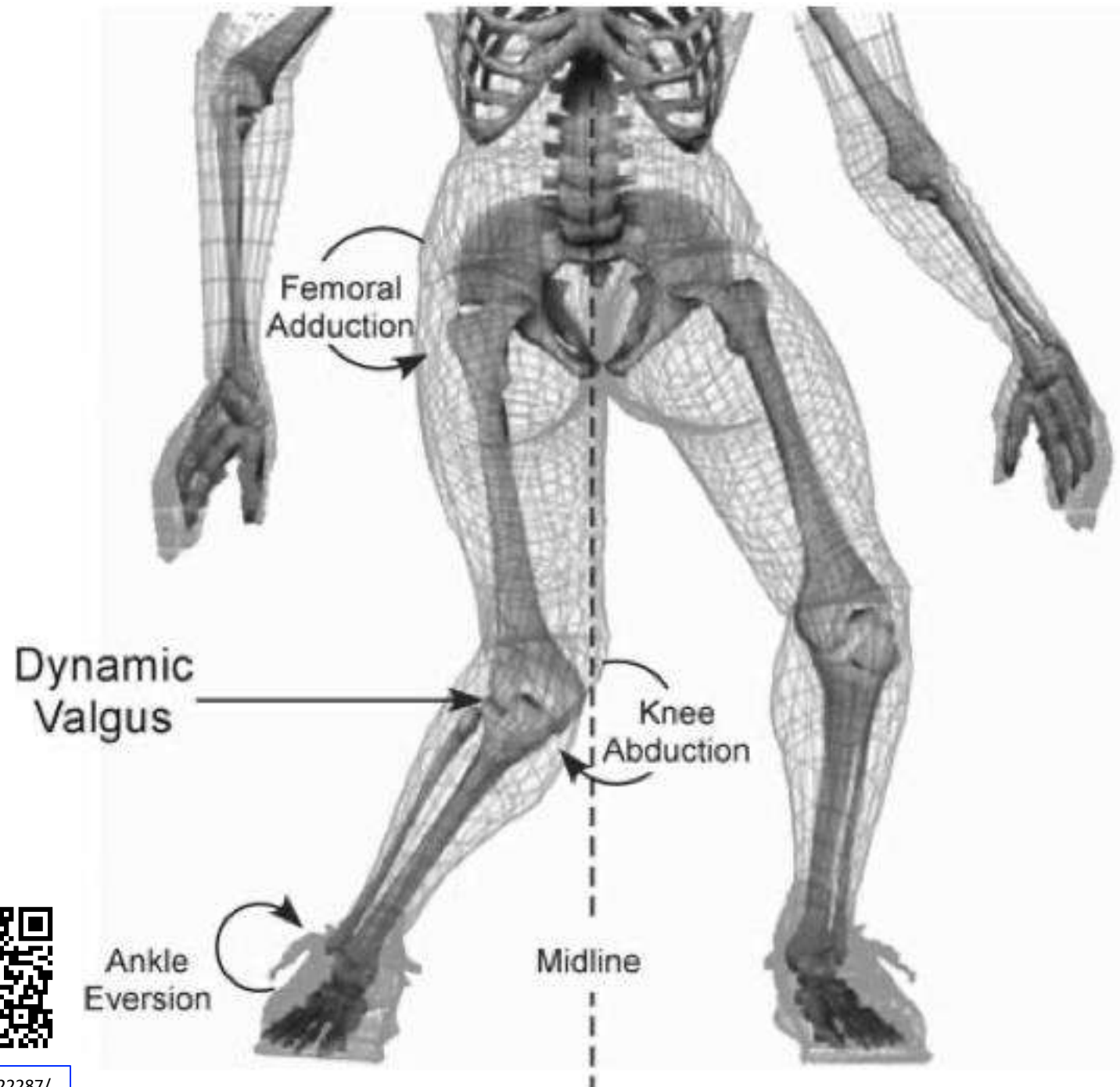
教科書的には
Knee-in Toe-out

膝関節軽度
屈曲位＋外反＋下腿外旋

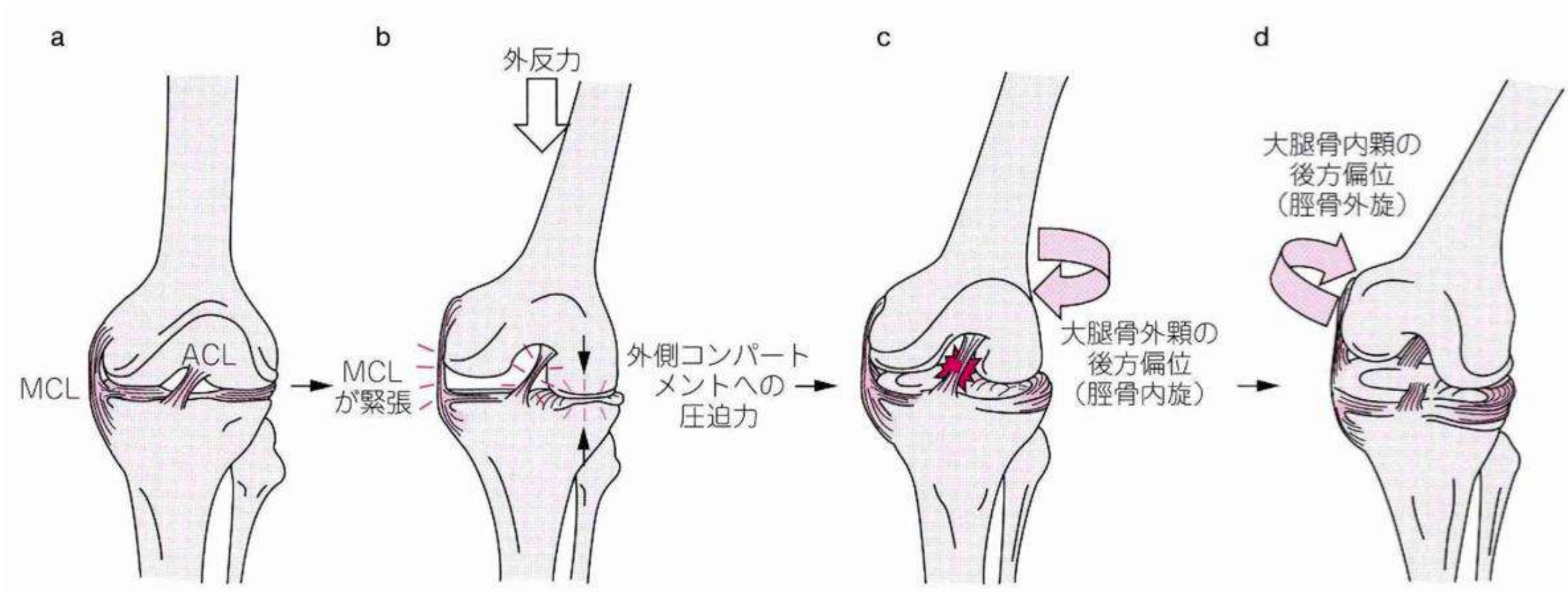
しかし…
ACLの緊張肢位ではない



<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15722287/>

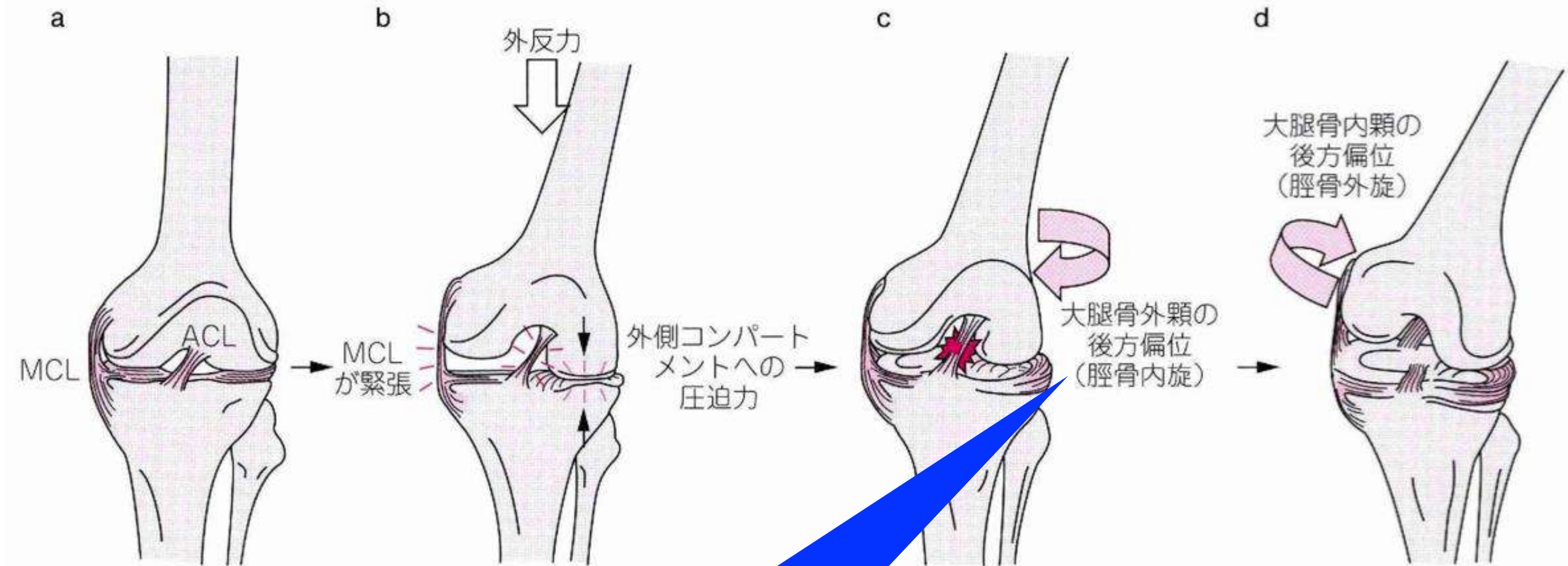


受傷機転



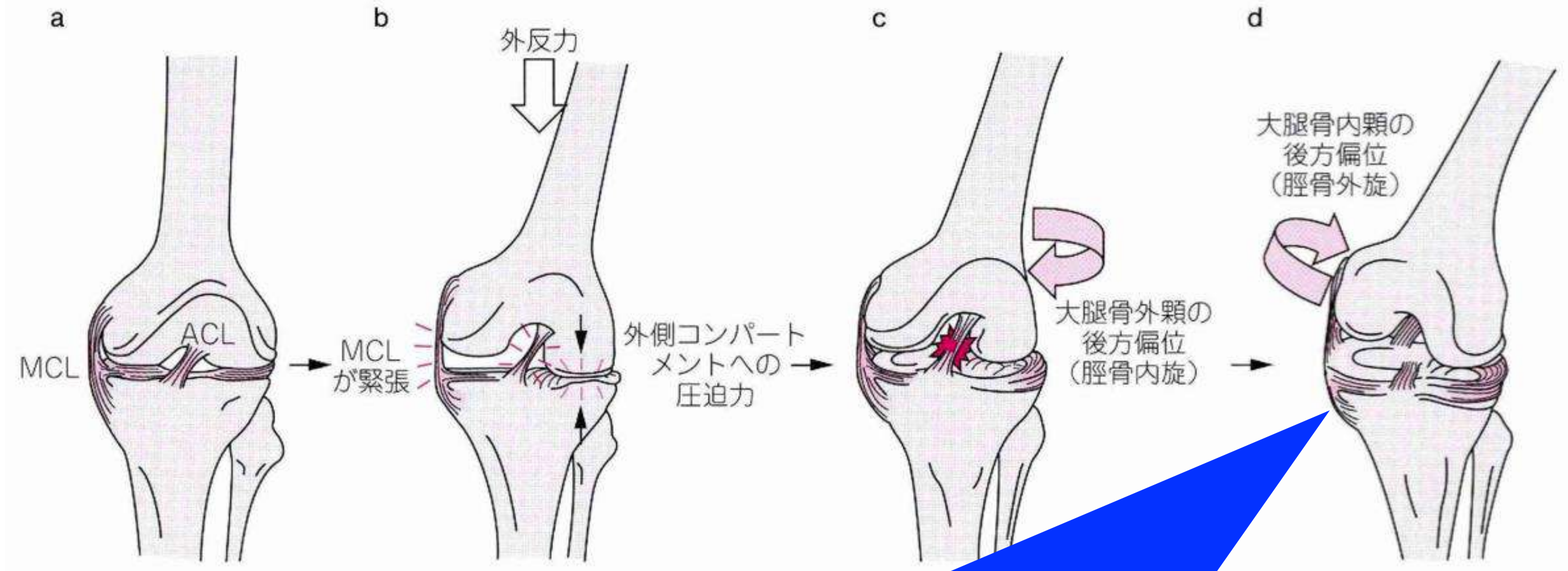
4段階で受傷が起きる

受傷機転



脛骨面は若干後方に傾斜しているため

受傷機転



脛骨が外旋に戻っていく形で転倒していく
そのため、Knee-inで断裂すると考えられていた

受傷機転

ACLの破断強度：約2160N

PMID: 1867330



脛骨前方移動の作用

- 外側荷重による大腿骨と脛骨の剪断力
- 大腿四頭筋の収縮



脛骨後方移動の作用

- ハムストリングスの収縮



> 2160N = ACL断裂

一歩にかかる荷重で100N程度

非接触型の受傷機転を振り返ると

- ACL損傷は接地後40ms程度で生じている
- feed-back strategy (接地後のキネマティクスを矯正すること)に重点を置く予防プログラムでは、ACL損傷を予防できない
 - 接地前の膝関節や股関節の動きをコントロールするためのfeed-forward strategy (接地前の筋のpre-activation)や神経コントロールなどのトレーニングの焦点が当てられるべき

ACL損傷をするとどうなるのか？

受傷直後

ACL損傷により**出血**を伴った**関節水腫**

- **疼痛**と共に膝**屈伸制限**が発生

受傷後2週間程度

歩行は**可能**になるが、**膝折れ**や膝が抜けるような感覚が残存

- 膝関節の亜脱臼が繰り返し発生

ACL損傷をするとどうなるのか？

受傷後2週間程度

歩行は**可能**になるが、**膝折れ**や膝が抜けるような感覚が残存

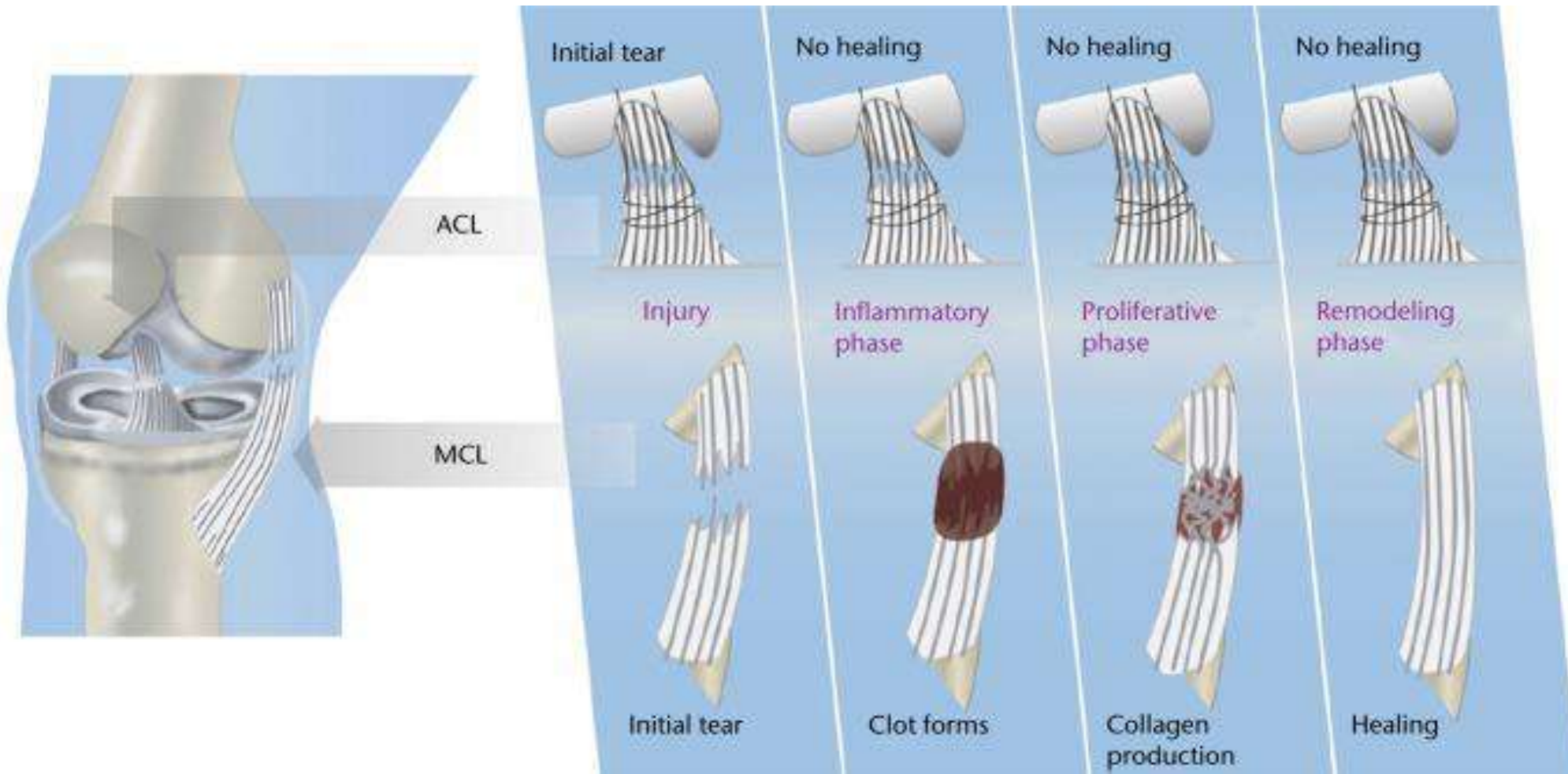
➤ 膝関節の亜脱臼が繰り返し発生



関節の不安定性が続くことで
半月板や**軟骨**を傷つけていく

なぜACLの自然修復は難しいのか？

関節液によりBlood clot(血餅)の形成が難しいため



ACL再建術について

ACL再建術の術式

BTB

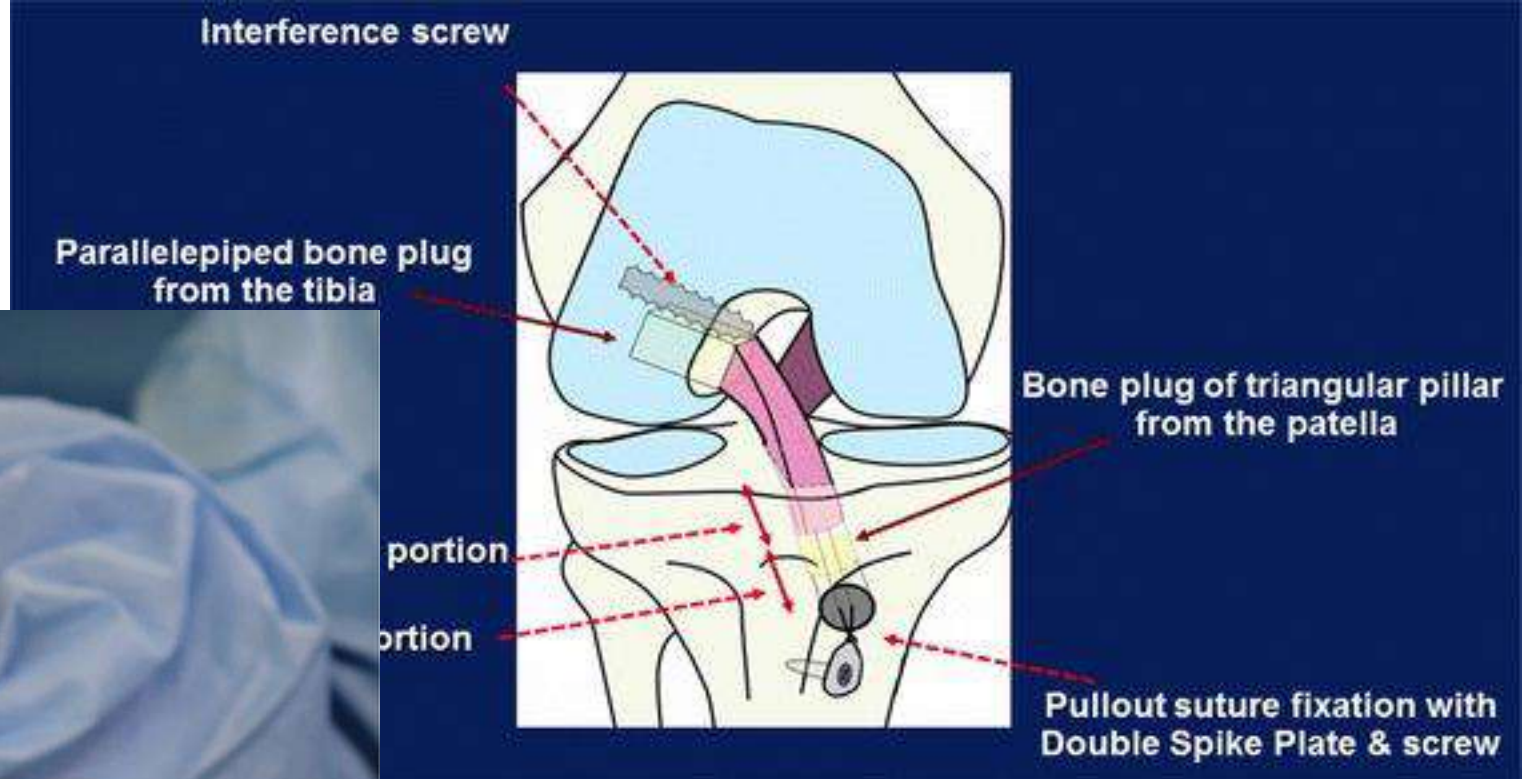
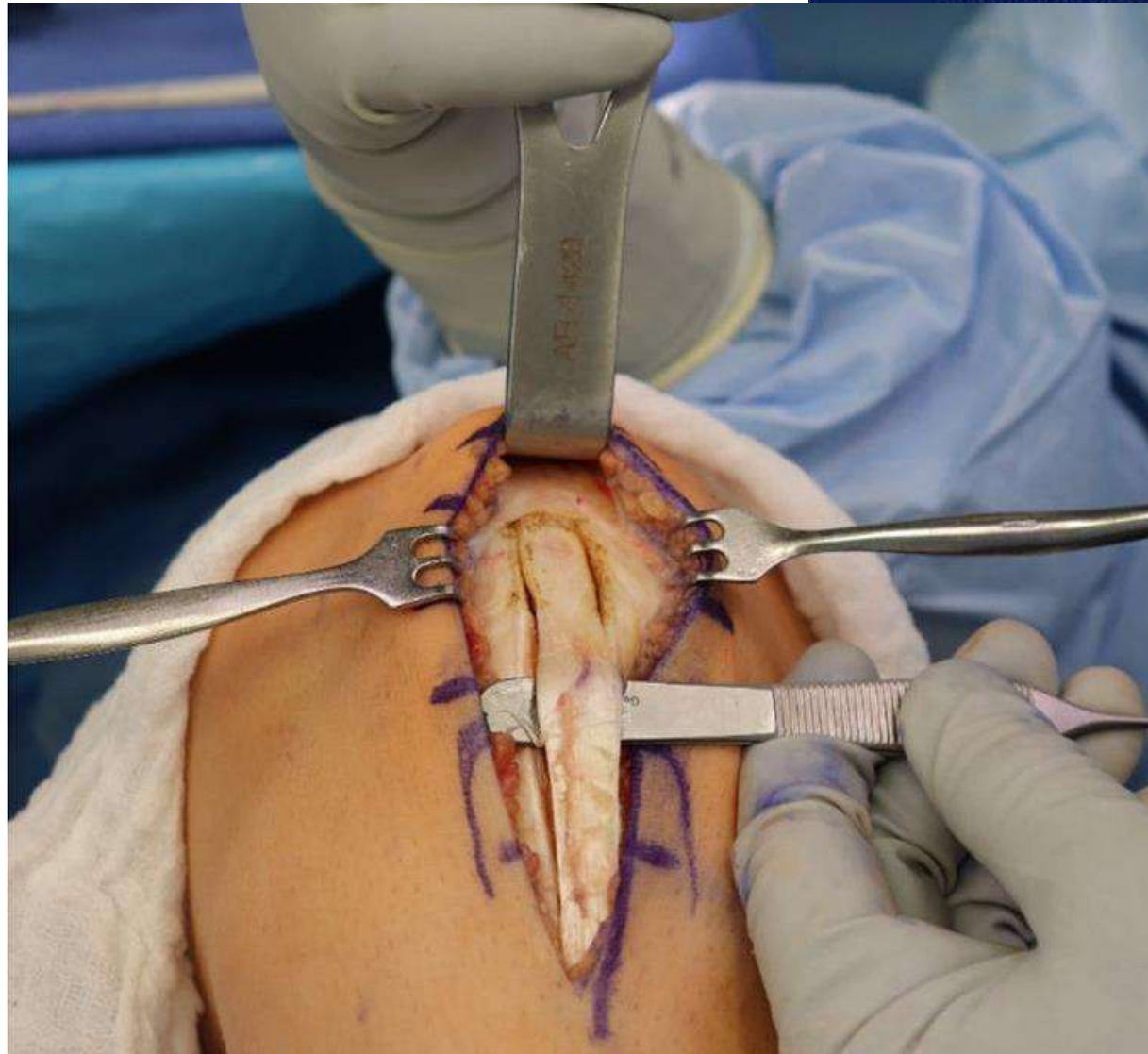
Bone-Tendon-Bone法
骨付き膝蓋腱移植法

STG

SemiTendiosus-Gracilis法
半腱様筋、薄筋法

ACL再建術について

BTB法



<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4518079/>



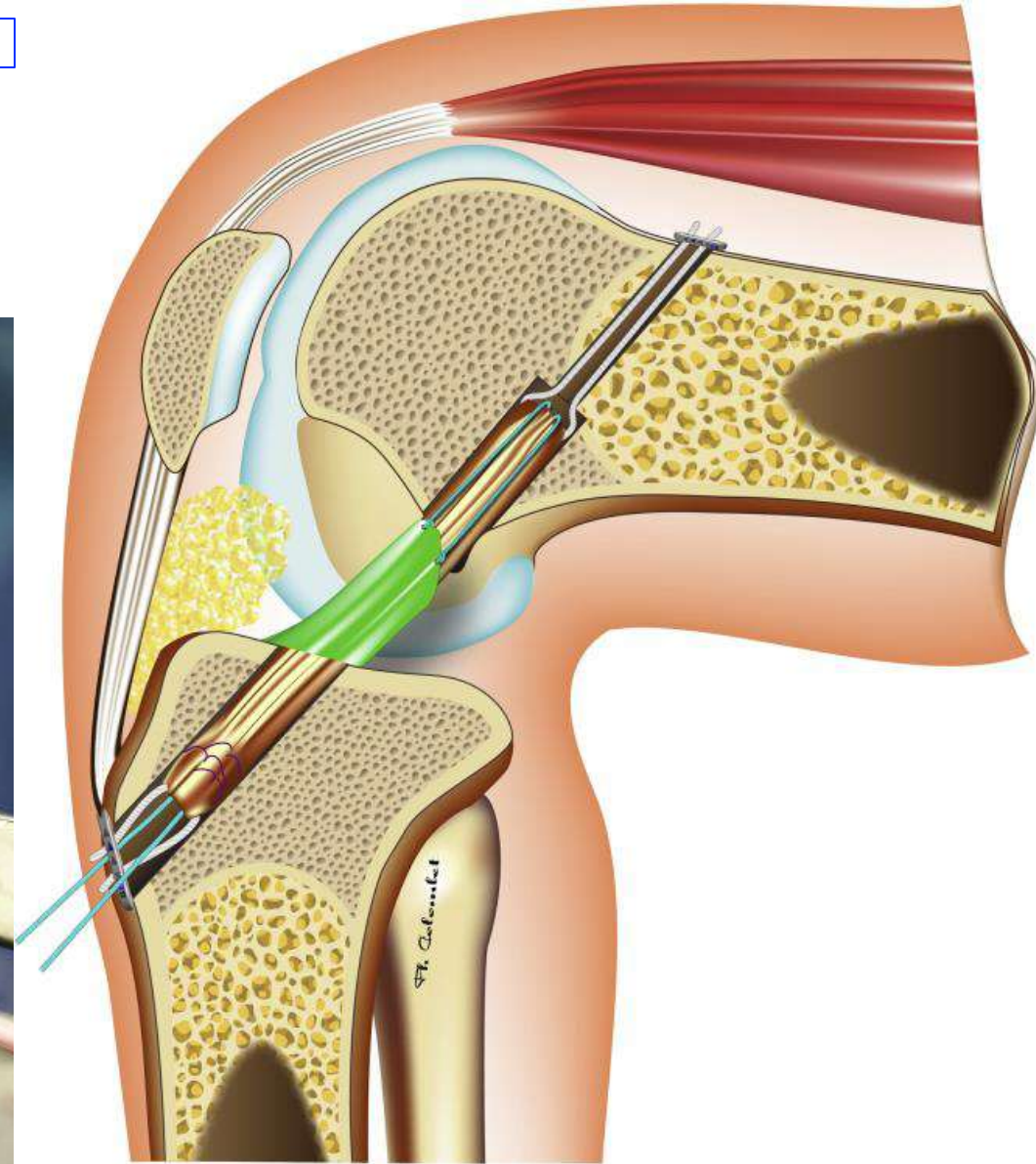
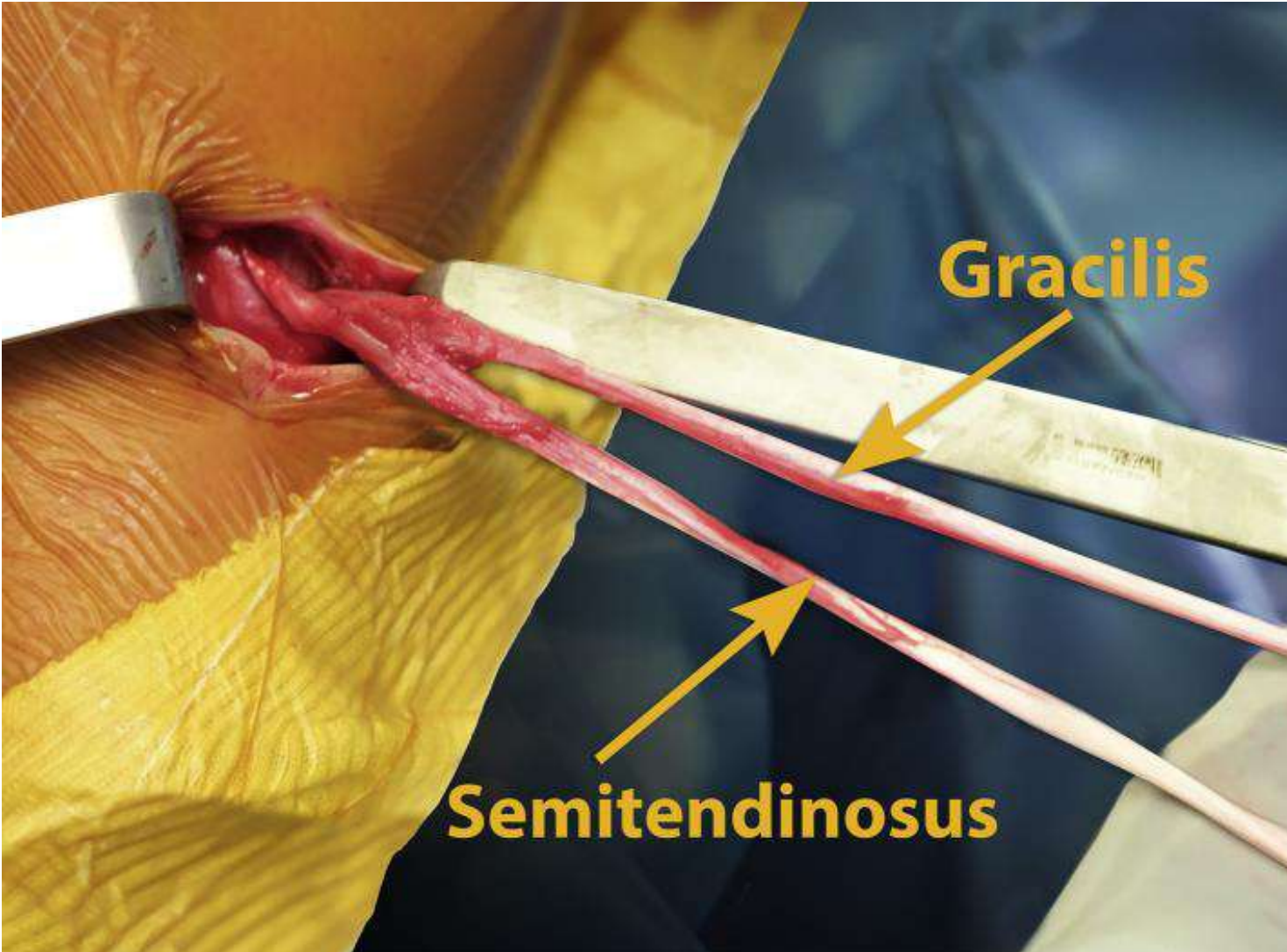
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33330739/>



ACL再建術について

STG法

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7093699/>



<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33680756/>



ACL再建術について

術式による特徴

BTB法

2900N

1束

骨同士の癒合

Extension lag
生じやすい

Graftの強度

Graftの本数

骨孔の安定

自動運動への
影響

STG法

二重折:2300N
四重折:4108N

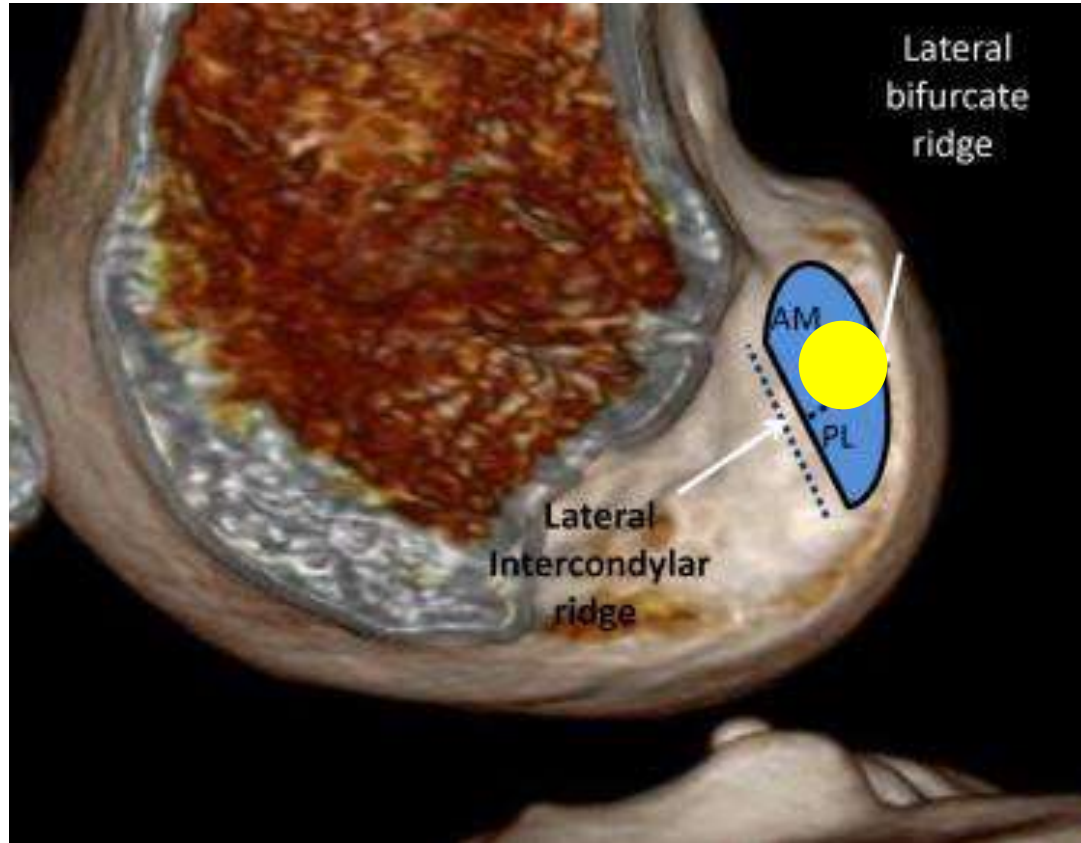
2束(AMB,PLB)

骨孔とGraft,人
工靱帯

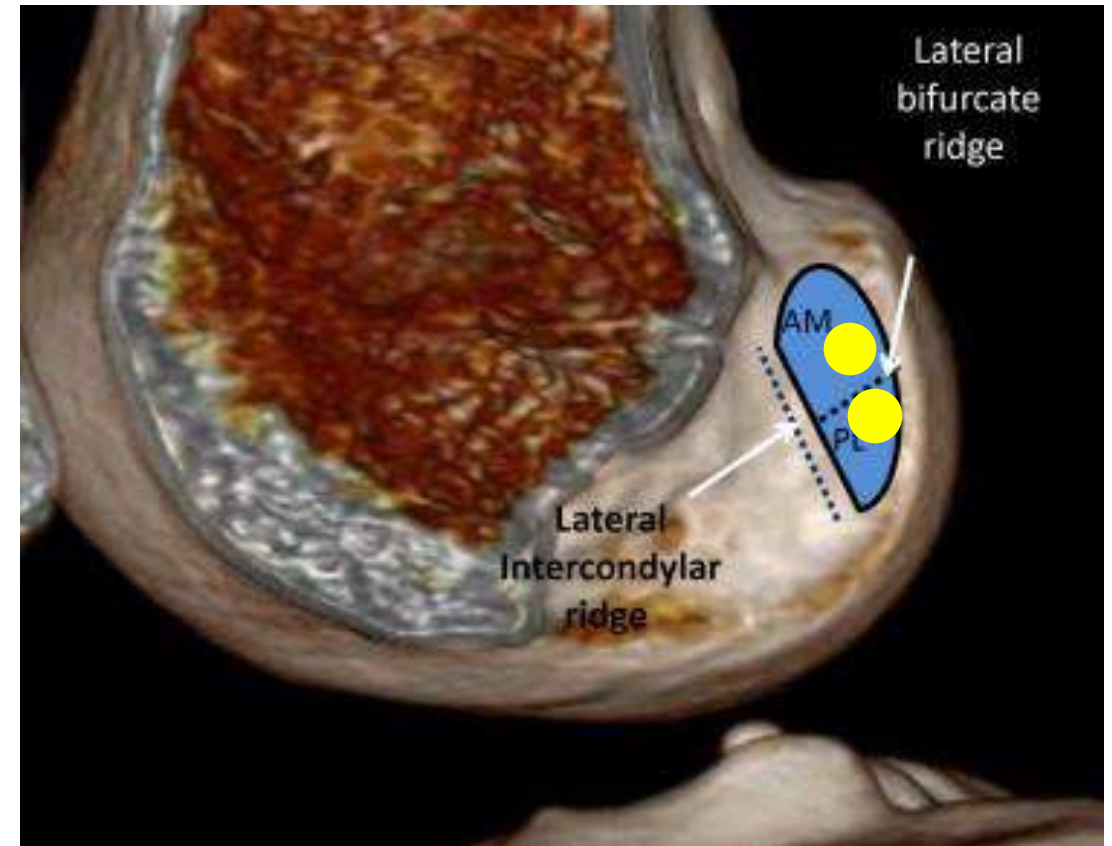
Flexion lag
生じやすい

ACL再建術について

術式による特徴



Single



Double

再建する靱帯は元通りではない



ACL再建術について

再建する靱帯は元通りではない

Graft作成に必要な組織を採取している

- BTBの場合は膝蓋腱
 - STGの場合は半膜様筋と薄筋
- 採取部の機能が低下する

骨孔を開けてGraftを通してしている

- 解剖学的に完全に元のACLに戻っている訳ではない

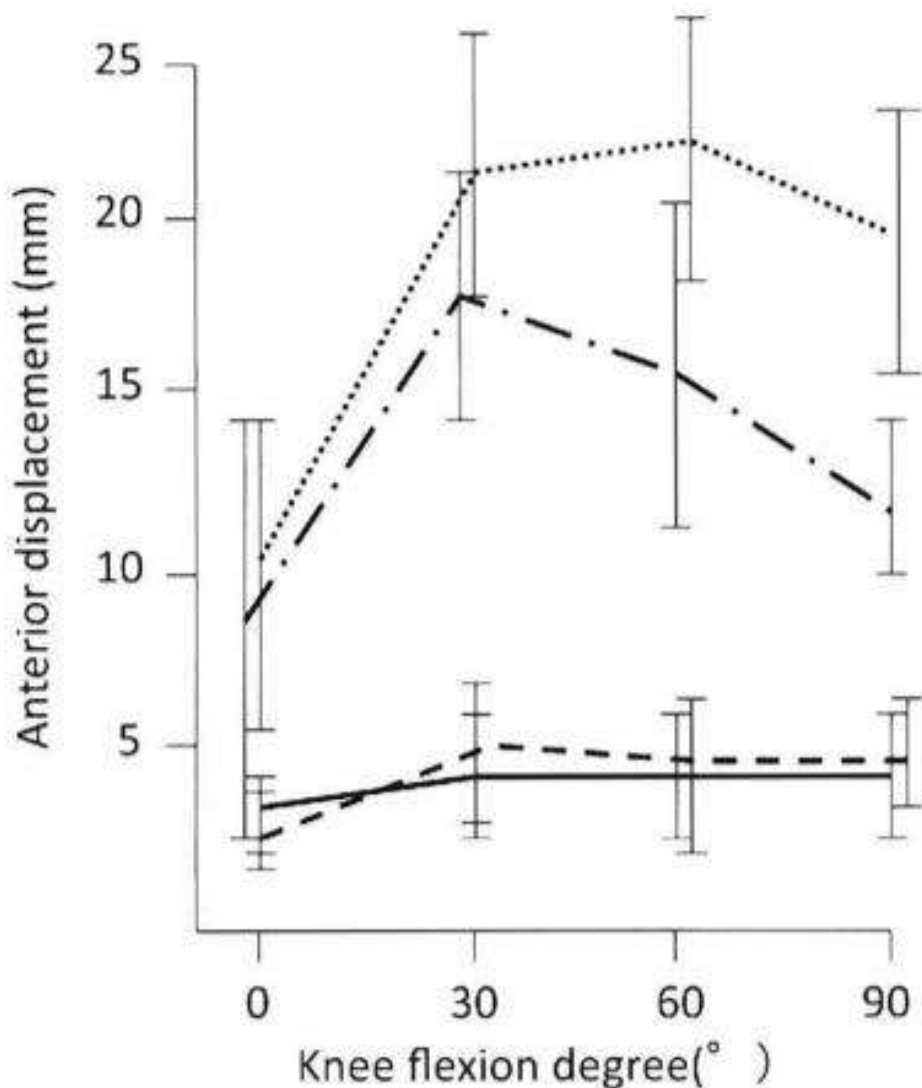
ACL再建後の目標と注意点

競技復帰

もう少し先を見る必要がある

変形成膝関節症への進行予防

二次的な半月板損傷

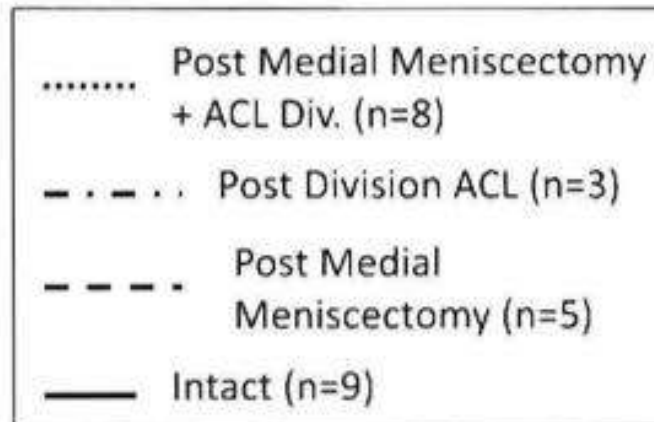


ACLと内側半月板による前方制動

ACLを切除すると正常より既に5mm程度前方移動している

さらに半月板も切除すると脛骨が前方へ移動してしまう

ACL切除した状態で、**前方ストレス**を与えてしまうとその分**半月板**にダメージを与えてしまう



二次的な半月板損傷

ACL損傷後に

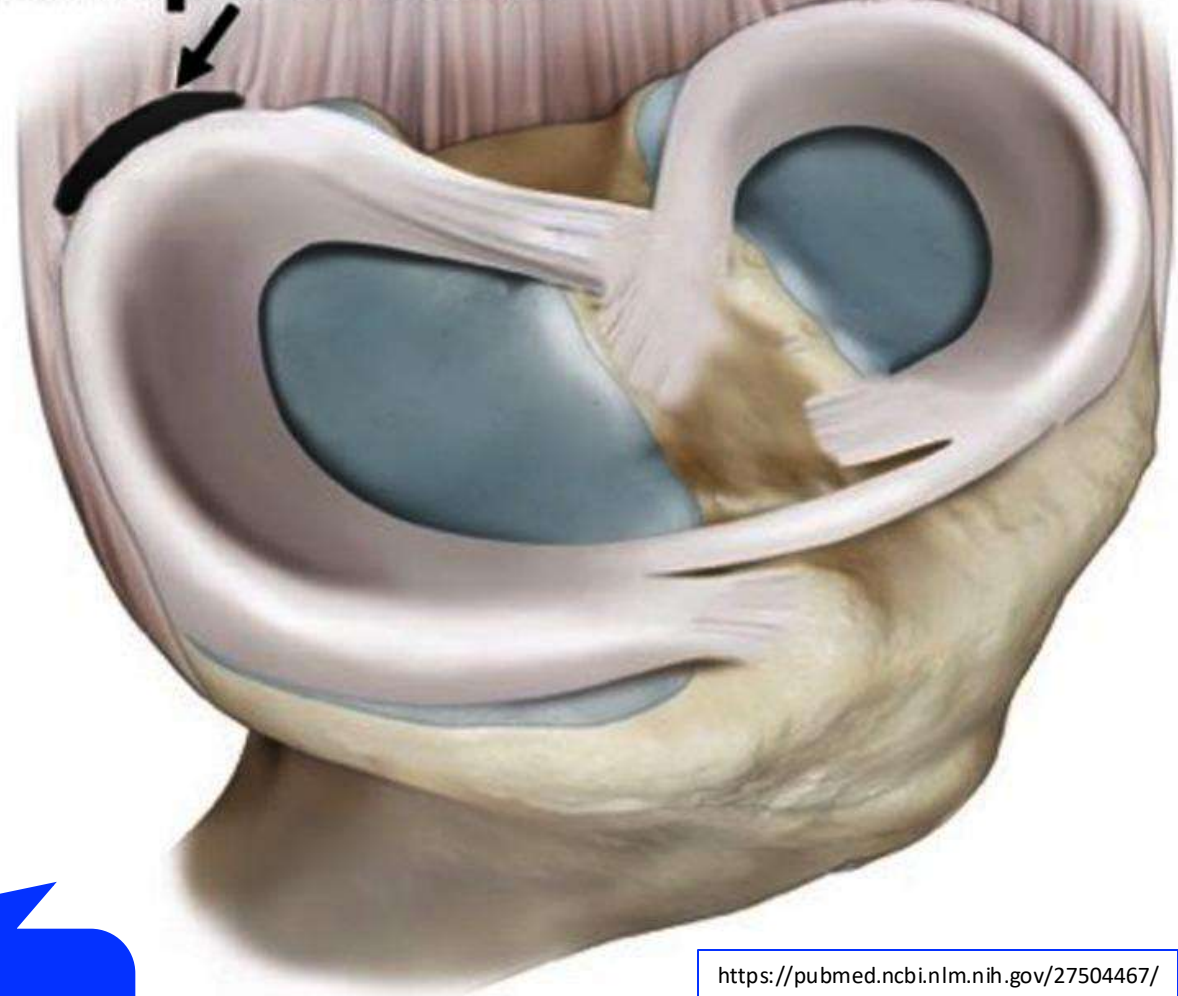
- 保存的な治療を選択した場合
- 手術までの期間を要する場合



二次的な半月板損傷へのリスク

関節包と一部くっついている

Ramp Lesion



<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27504467/>



リハビリテーション



術前評価

理学初見

- 可動域
- 周経(大腿・下腿)
- 疼痛
- 筋力
- 腫脹

整形外科的テスト

- 前方引き出しテスト
- Pivot shift
- Lachman test
- N test

※Drと協議のもと実施

- 半月板損傷や内側側副靱帯損傷などの有無
- 既往歴(初回受傷・再受傷・他関節の受傷歴)

聴取すべき情報

□ 受傷機転

□ スポーツ情報

➤ 競技種目・利き足・ポジション・競技レベル・復帰目標

□ 家屋や学校・職場情報

➤ 階段・通学・通勤方法

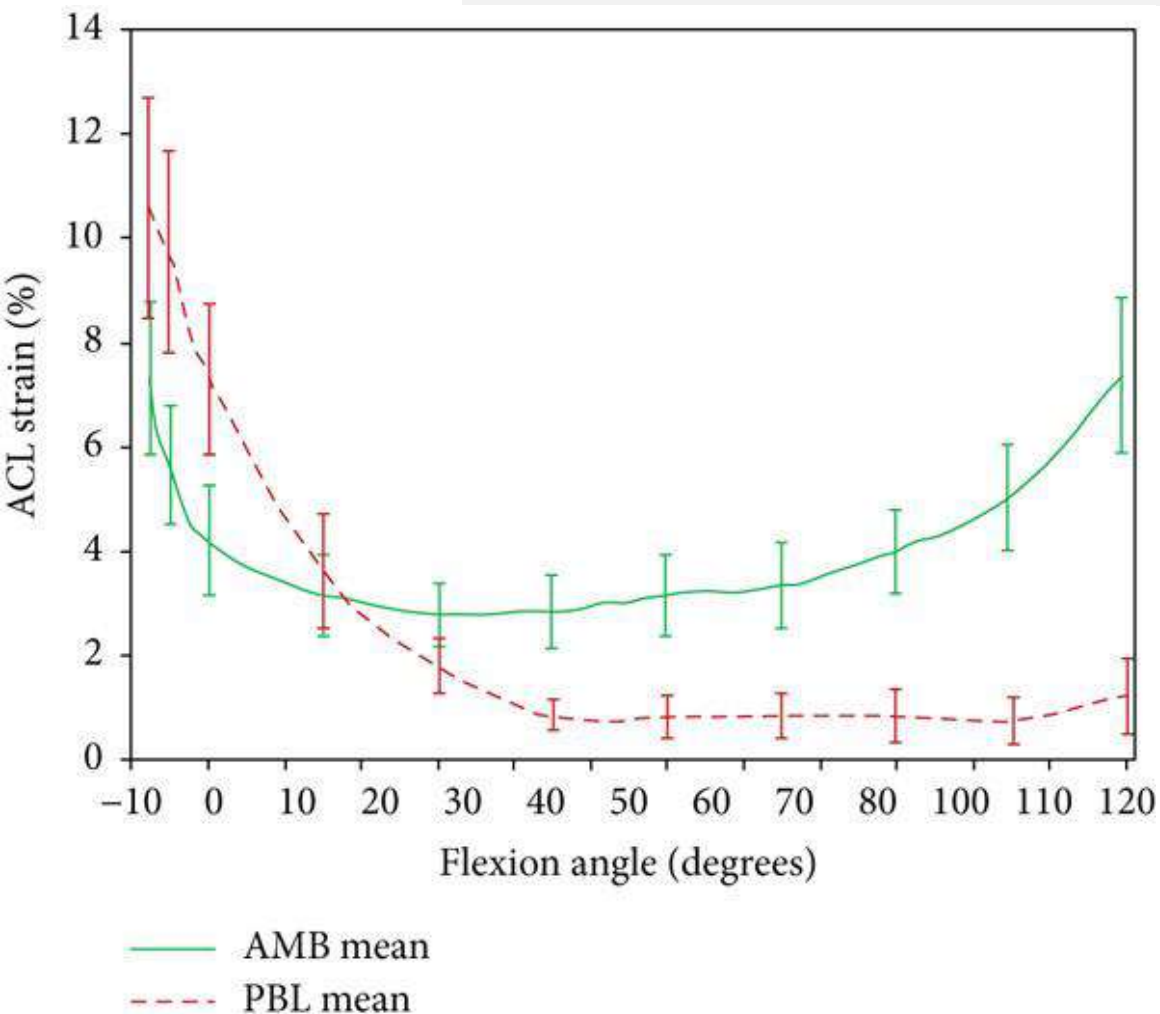
術後評価

術式・術中操作の確認

- 再建素材：STG or BTB
- **再建靱帯設置角度**：**伸展0度** or 軽度屈曲位
 - 伸展可動域拡大の進め方に注意
- **半月板損傷**の有無：intact or 縫合・切除
 - 主に**屈曲可動域**や**荷重**の進め方に注意

リハビリテーション

- **再建靱帯設置角度：伸展0度 or 軽度屈曲位**
 - 伸展可動域拡大の進め方に注意

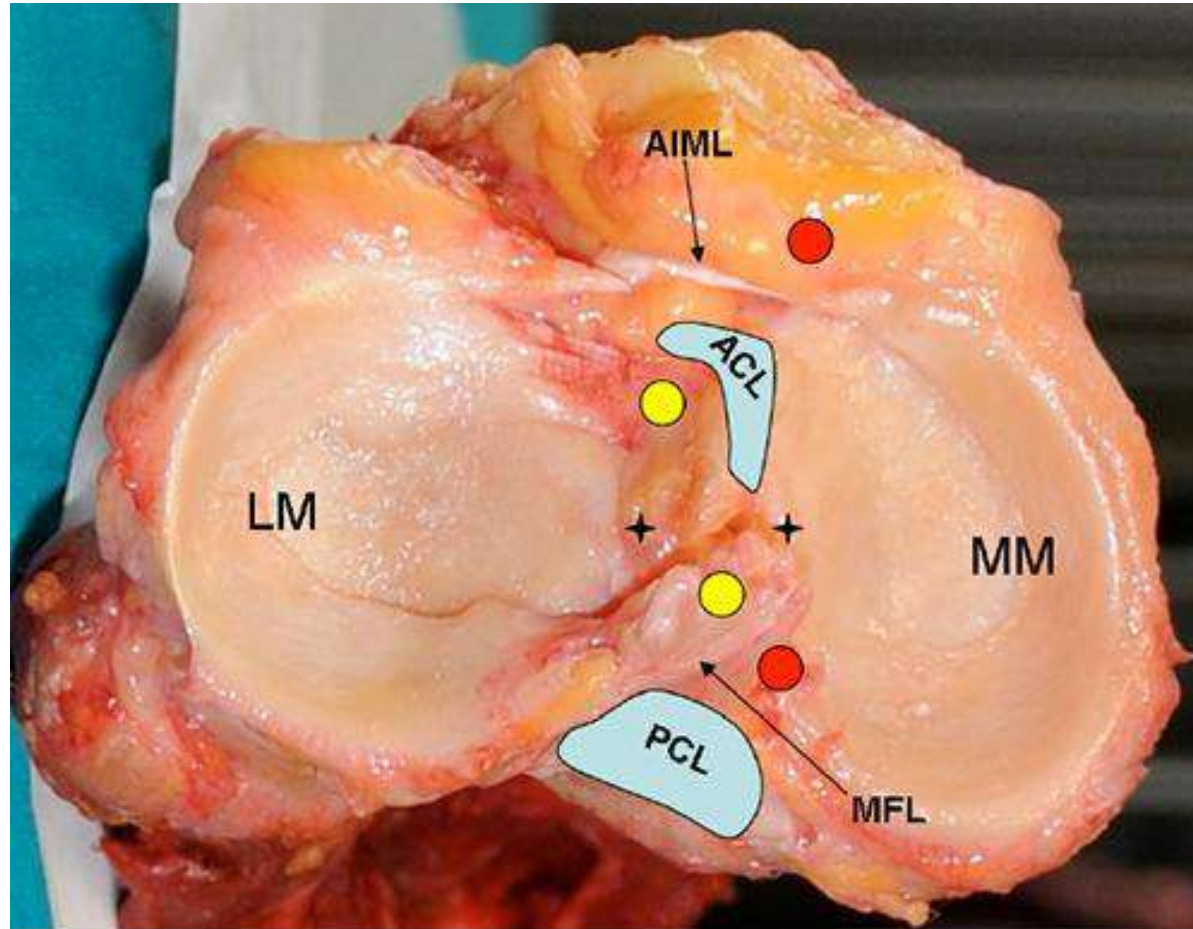


0度で張力を設定している場合

過伸展していくとGraftにかかる張力が上昇してしまう

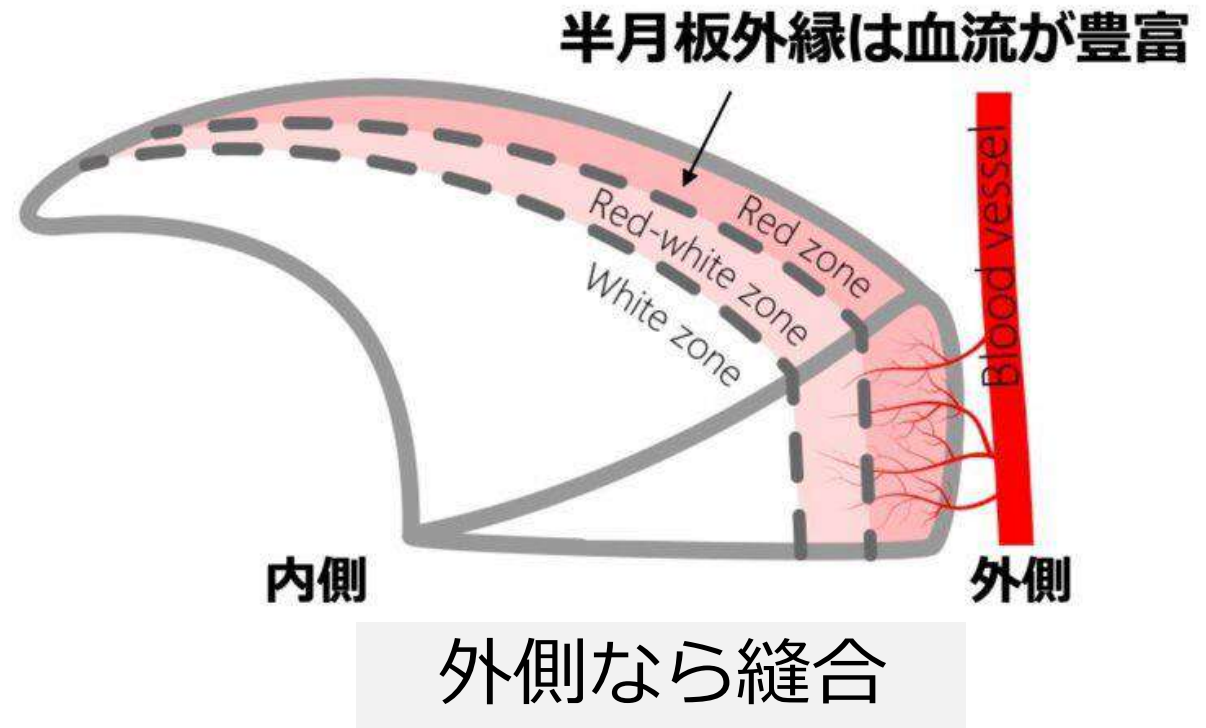
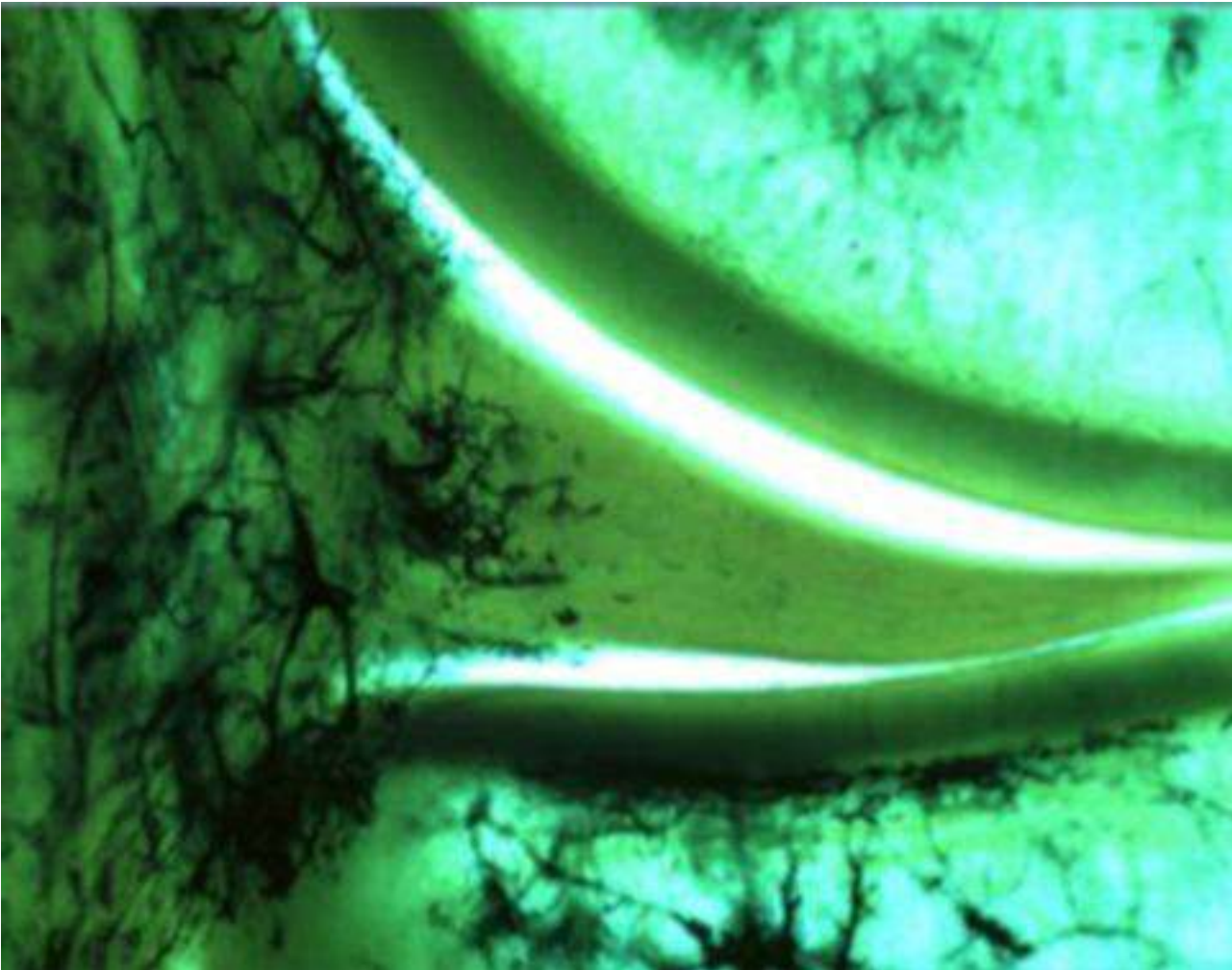
リハビリテーション

- **半月板損傷の有無**：intact or 縫合・切除
 - 主に**屈曲可動域**や**荷重**の進め方に注意



リハビリテーション

- **半月板損傷**の有無：intact or 縫合・切除
 - 主に**屈曲可動域**や**荷重**の進め方に注意



屈伸に伴う半月板の動き

https://www.researchgate.net/publication/246022324_Meniscal_movement

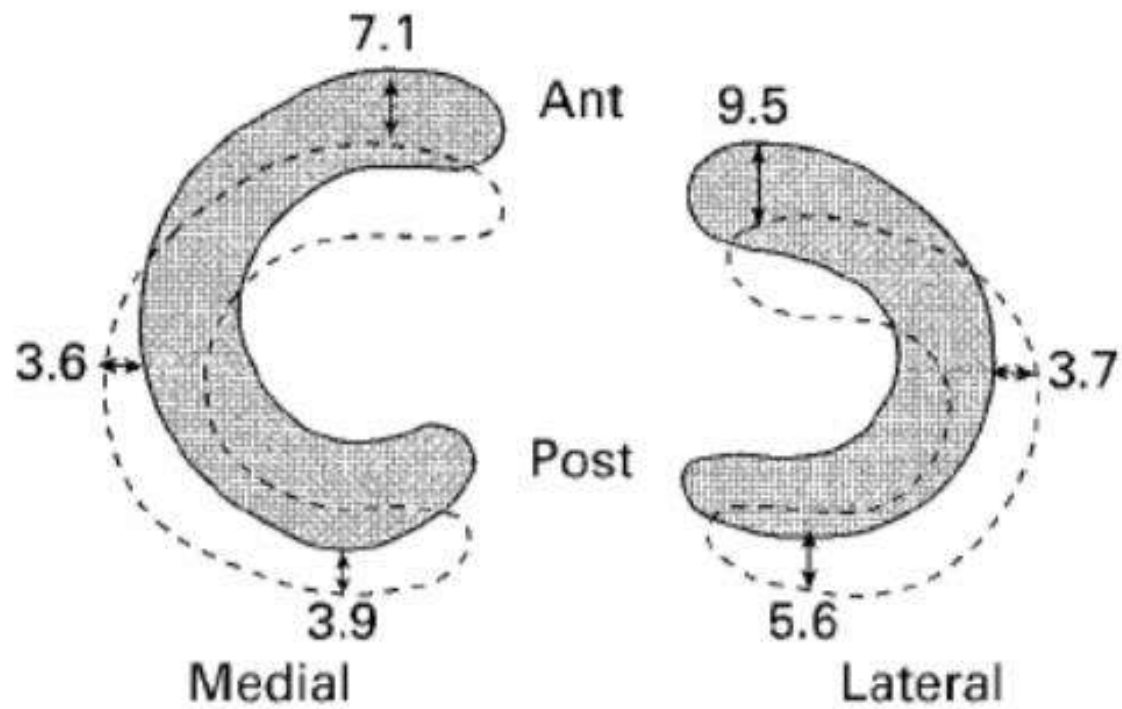


Fig. 3a

荷重位

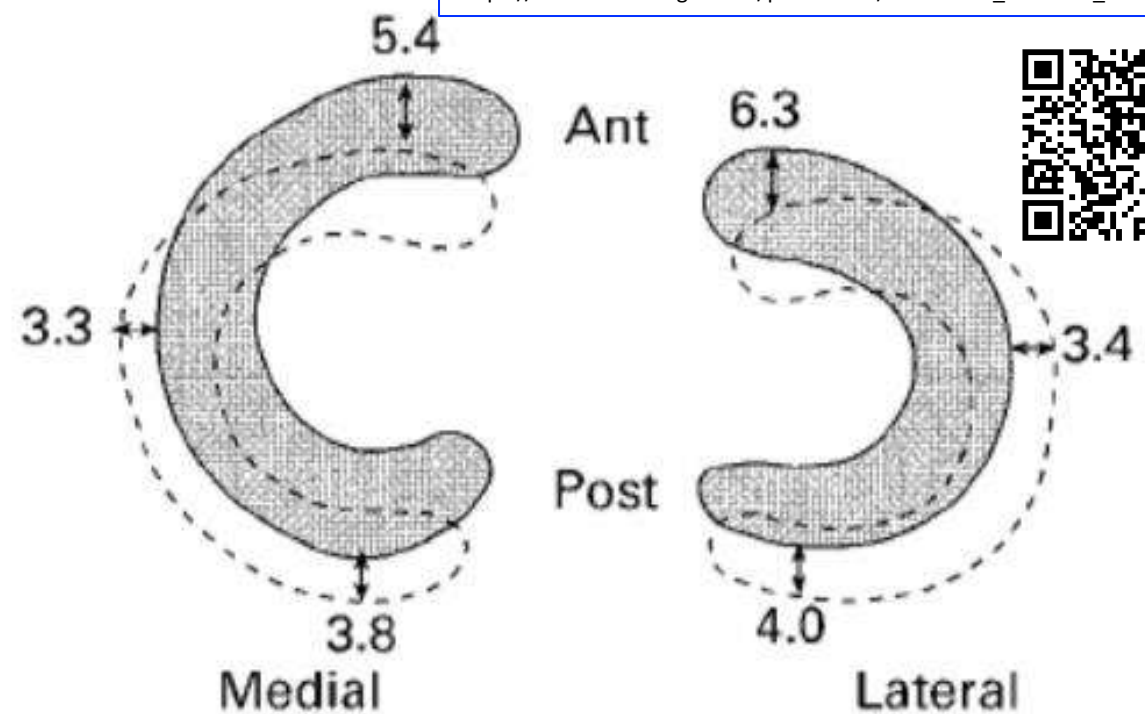


Fig. 3b

非荷重位



リハビリテーション

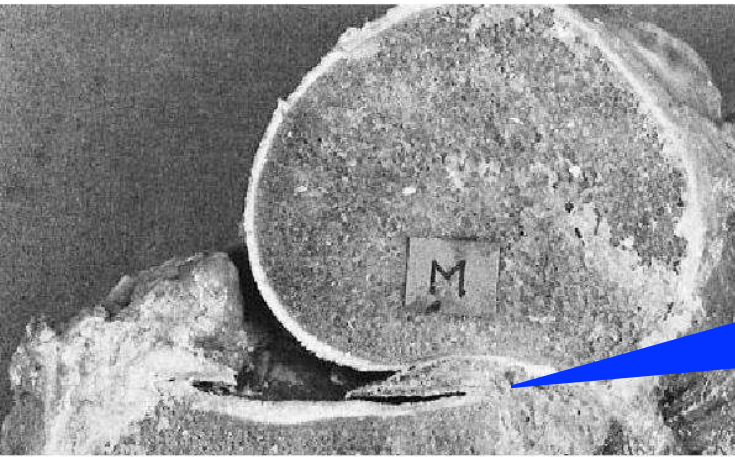


Fig. 3a

内側は
Lift off

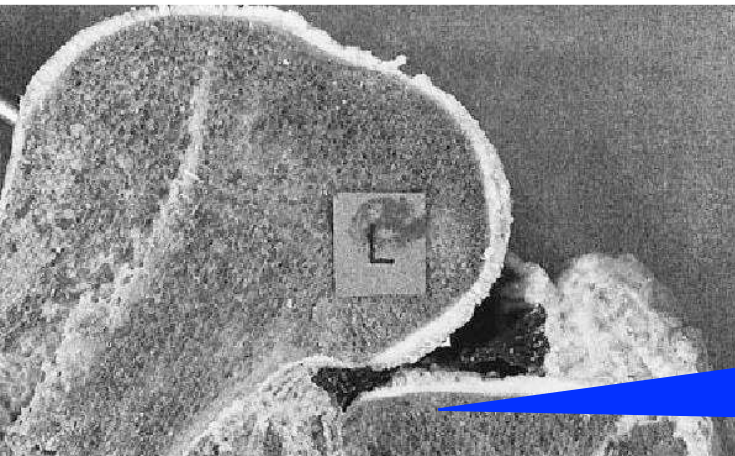


Fig. 3b

外側は
亜脱臼



Fig. 2a



Fig. 2b



Fig. 2c



Fig. 2d



リハビリテーション

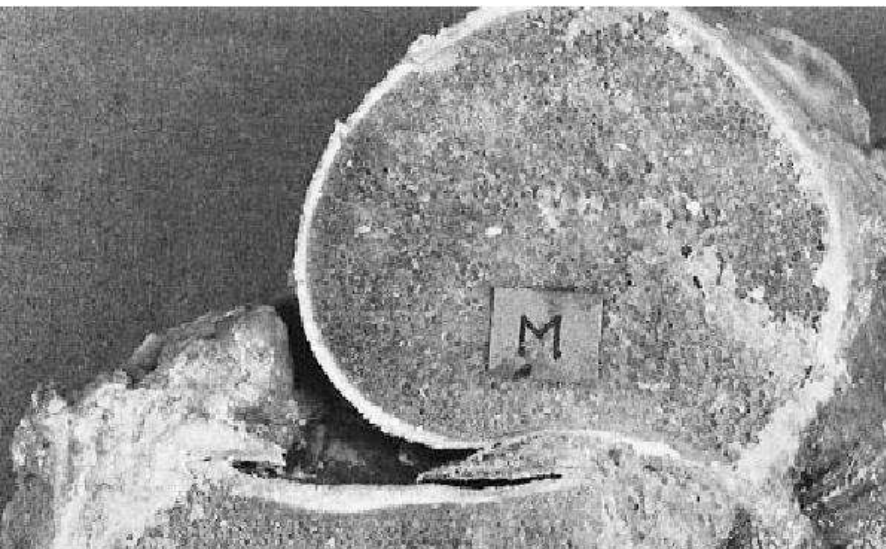


Fig. 3a

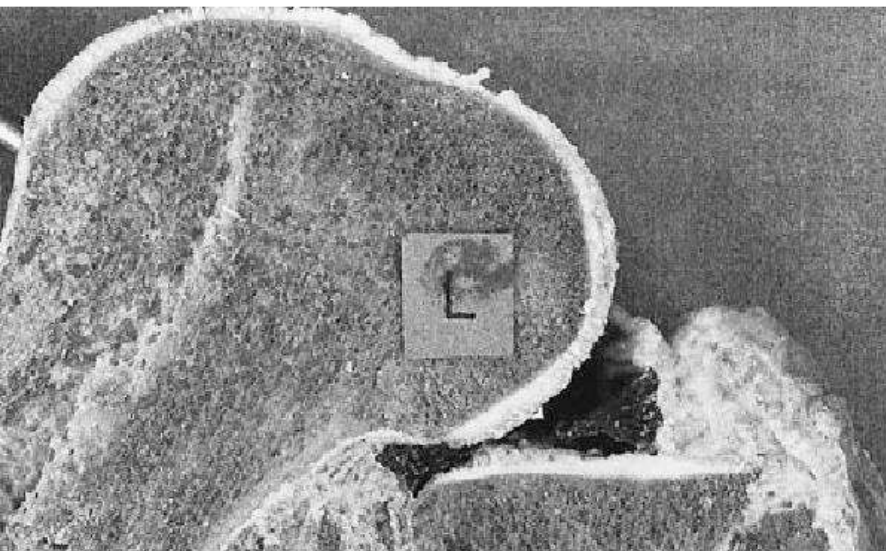


Fig. 3b

半月板は変形・移動している

術後早期の無理な可動域訓練は**損傷**の**リスク**

- 損傷に対しての手術・処置の有無
- 荷重(過重量・開始時期)
 - 縫合しても不安定な場合もある
- 膝関節可動域
 - 後節側の損傷が多いため屈曲に注意

リハビリテーション

術後急性期の運動療法の考え方

- 術後の侵襲・主張による疼痛のコントロール
- 筋含めた軟部組織はまだ拘縮していない
 - relaxationやmildな滑走により維持を図る

リハビリテーション

術後約3日まで

- 患者状態：腫脹(+)
- 移動手段：車椅子
- 装具：Knee-brace

運動療法

- ① 足関節・股関節運動
 - ② 装具を外して大腿筋relaxation
 - ③ patella可動域確認
 - ④ tone-downの分だけ少し屈伸可動域
 - ⑤ setting指導・患部外トレーニング
- 創部mobilization：×

リハビリテーション

Patella setting

- 骨盤**前傾位** → 大腿直筋の抑制
- 股関節**外転位** → 外側支持機構の抑制(大腿筋膜張筋・外側広筋)
内側広筋起始部の大内転筋の緊張



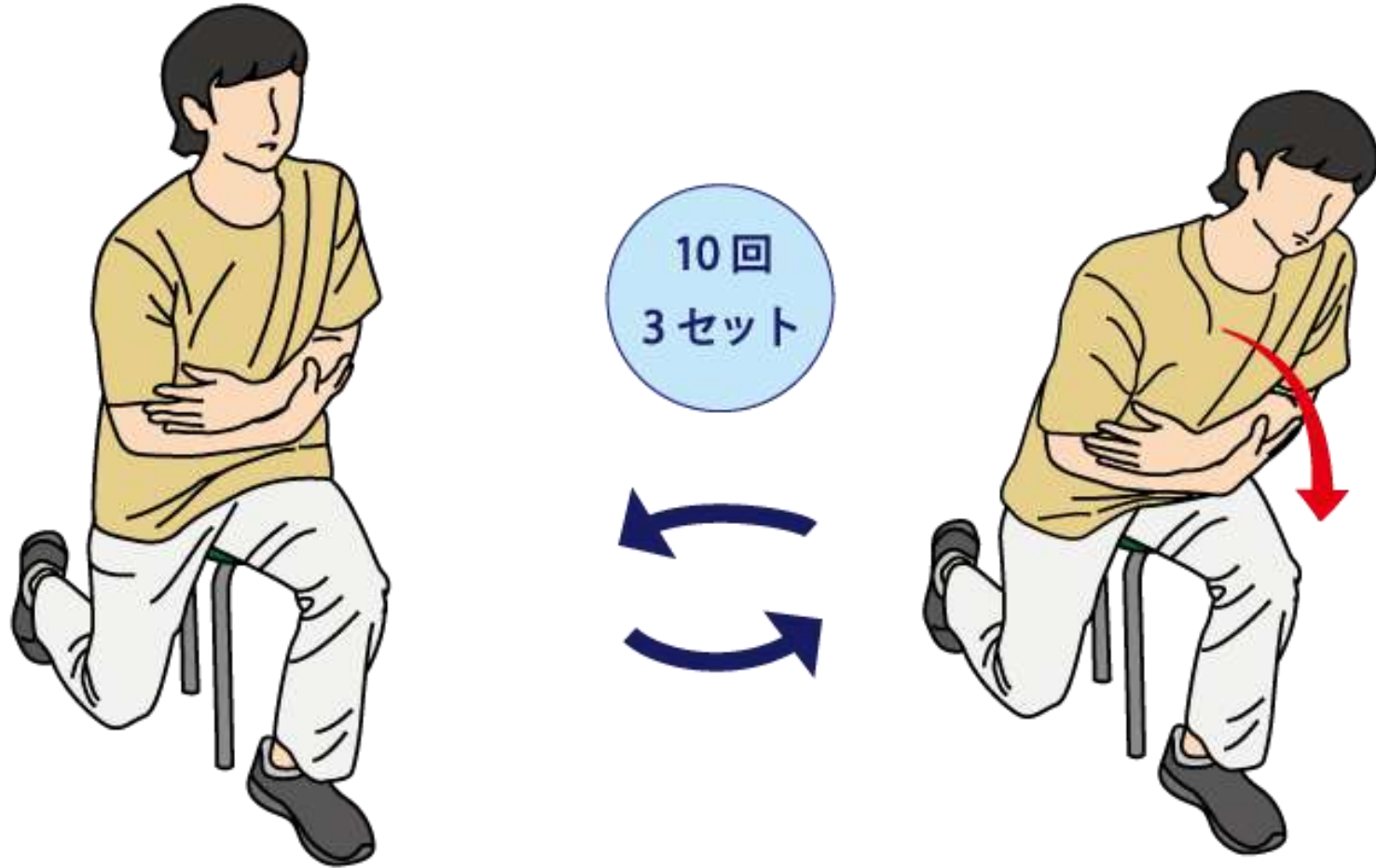
内側広筋(MV)優位

タオルは膝関節より
近位に入れる



リハビリテーション

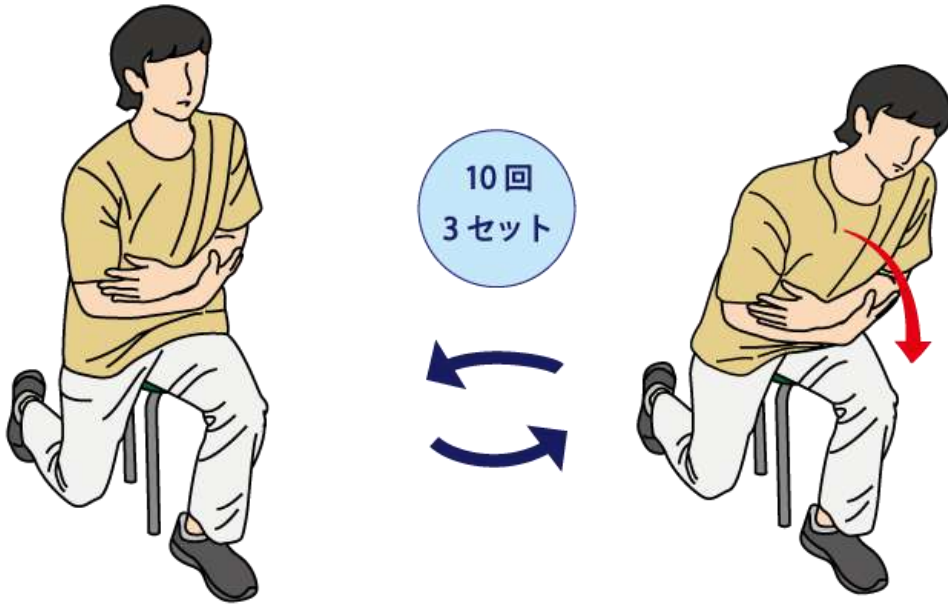
ハーフシティングスクワット



- お尻の半分だけ椅子に座り、片方の足は後ろに引きます
- 体幹を前傾させて、前の足に体重を掛けていきます

リハビリテーション

ハーフシティングスクワット



- お尻の半分だけ椅子に座り、片方の足は後ろに引きます
- 体幹を前傾させて、前の足に体重を掛けていきます

ポイント

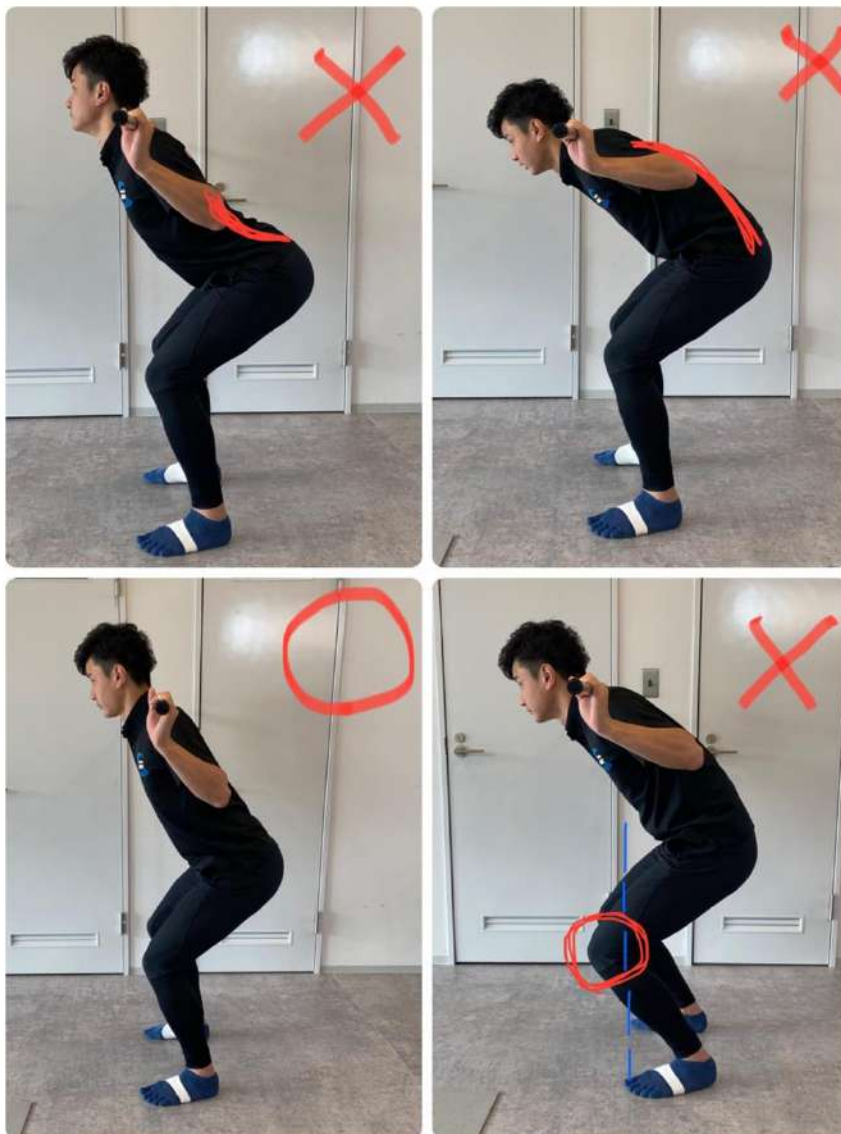
- VMの収縮
- 荷重制限があってもコントロールできる

注意点

- 体幹の側屈
- Knee-in Toe-out
- 骨盤後傾/脊柱の後弯

リハビリテーション

パワーポジション



骨盤前傾

母趾荷重

リハビリテーション

術後約3日～約2週まで

- 患者状態：腫脹軽減
- 移動手段：車椅子→松葉杖
- 装具：腫脹が軽減して装着可能ならばDonjoyなどの硬性装具へ変更



リハビリテーション

術後約3日～約2週まで

運動療法

- ① 大腿筋relaxation
- ② patella mobilization(創部への刺激に注意)
- ③ 膝蓋下脂肪体柔軟性維持
- ④ 創部拘縮予防
- ⑤ 背屈可動域拡大(ヒラメ筋・腓腹筋・後脛骨筋)

Point

基本的に筋緊張さえ取れて、拘縮がなければ屈伸ROM制限になることはない

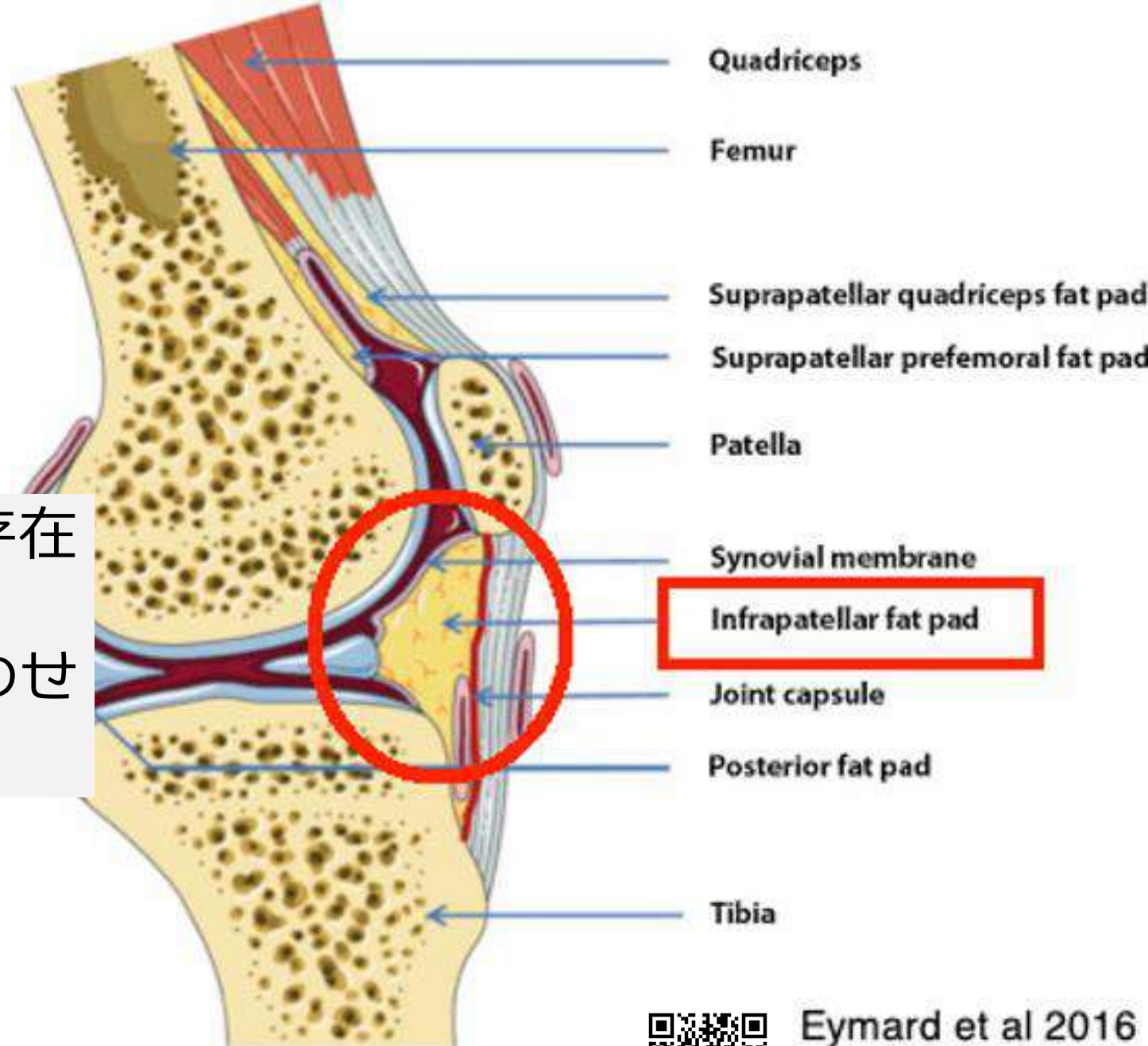
➤ ROM改善を焦らない

リハビリテーション

IFP

infrapatellar fat pad

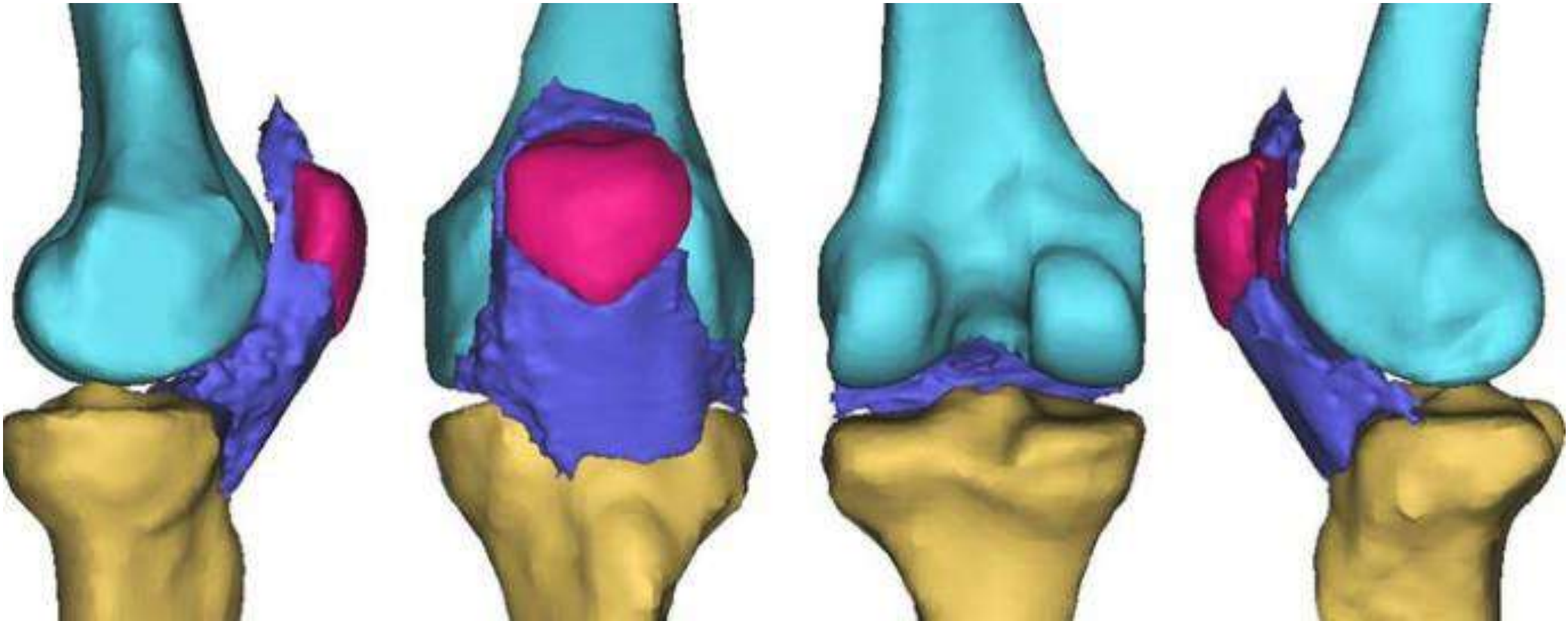
膝前面の滑膜外、関節包内に存在
柔軟性に富み、膝の動きに合わせて
形状を変化している



Eymard et al 2016

IFP

infrapatellar fat pad



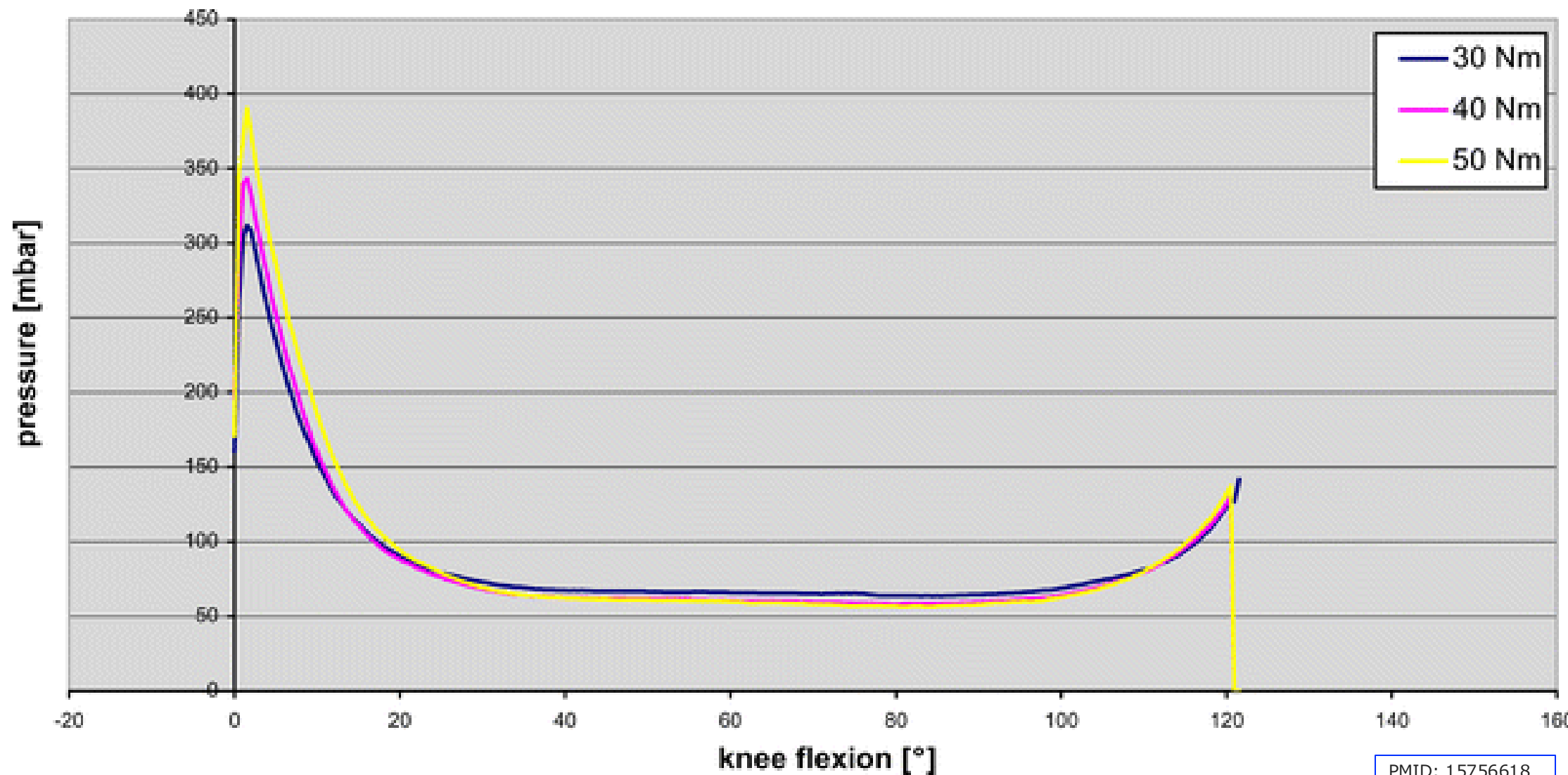
PMID : 15756618

IFPが存在する場所は
膝蓋下だけではない

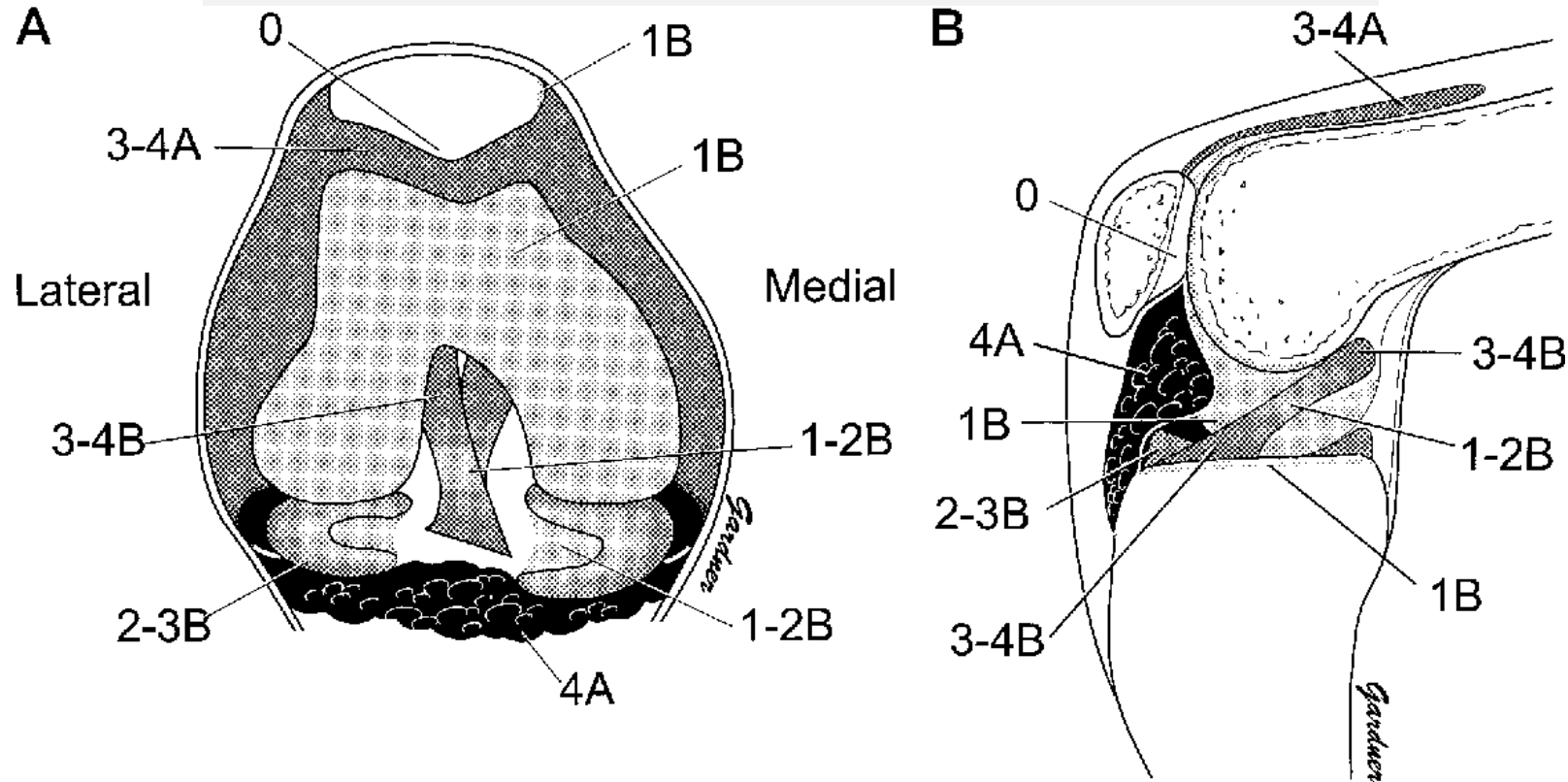


リハビリテーション

膝関節角度によりIFPにかかる応力



IFPはなぜ痛むのか？

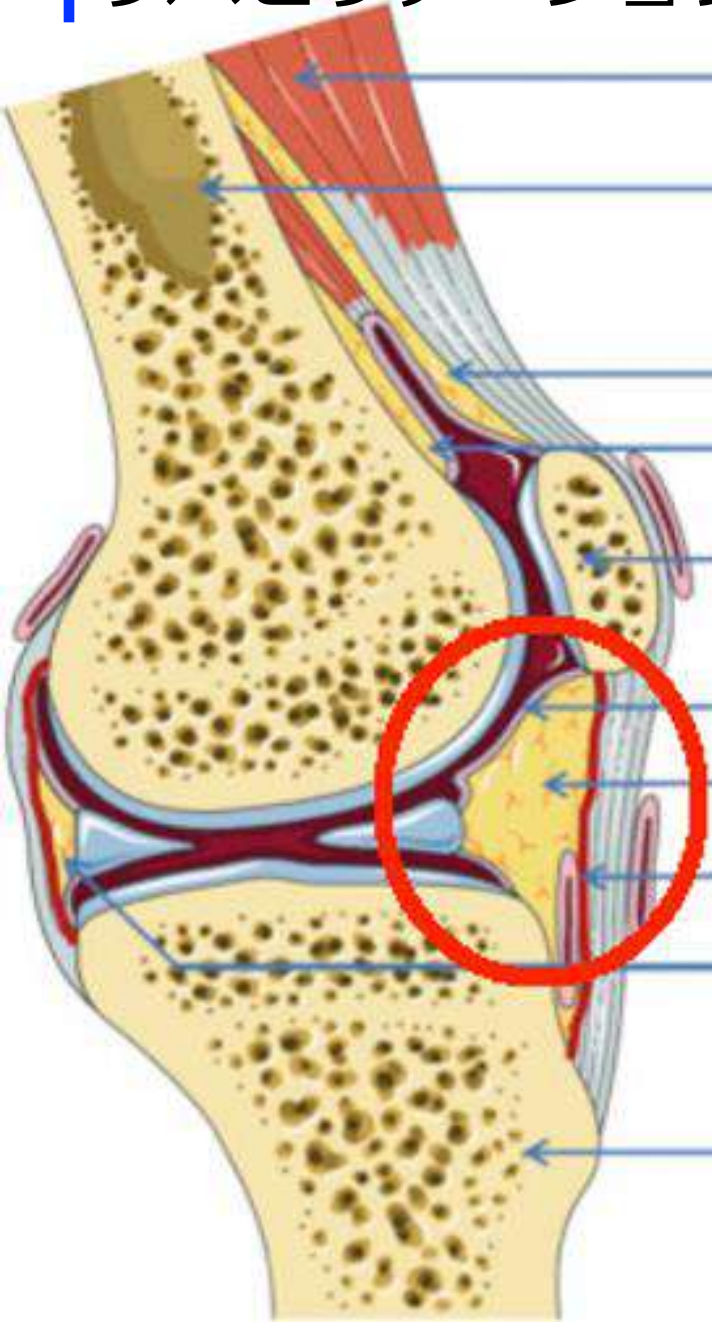


- 0 (No sensation)
- 1 (Non-painful awareness)
- 2 (Slight discomfort)
- 3 (Moderate discomfort)
- 4 (Severe pain)

- 0 (No sensation)
- 1 (Non-painful awareness)
- 2 (Slight discomfort)
- 3 (Moderate discomfort)
- 4 (Severe pain)



リハビリテーション



IFPの柔軟性低下による前方Impingement

IFPが引き出てこないと

- 半月板の前方引き出しを阻害
 - 半月板のimpingement
- patellaの近位方向への滑走を阻害
 - 膝関節自動伸展の際にextension lagが生じる

リハビリテーション

術後約2週以降

- 患者状態：腫脹わずか
- 移動手段：松葉杖 → 独歩
- 装具：硬性装具



リハビリテーション

術後約2週以降

運動療法

- ① 選択的に広筋群のrelaxation
- ② patella mobilization
- ③ 膝蓋下脂肪体柔軟性維持
- ④ 創部mobilization
- ⑤ 背屈可動域拡大(ヒラメ筋・腓腹筋・後脛骨筋)
- ⑥ 歩容の改善

Point

ROMも拡大し、トレーニングも徐々にできている時期
歩容の確認を

リハビリテーション

術後早期の歩容

Double knee actionの消失

足底接地・歩幅減少・外転位歩行

荷重不足

分離運動の
消失

疼痛

筋力不足

リハビリテーション

術後早期の歩容

股関節と膝関節の分離練習

腿上げ練習

腿上げ時に骨盤後傾していないか注意必要



リハビリテーション

退院後の運動療法時への注意

- 過負荷による関節水腫に注意
- 制限範囲外のROMの分だけ軟部組織の柔軟性低下が始まる
 - 医師の制限範囲の指示に合わせて徐々にstretching
 - 無理な他動運動は行わないように注意

トレーニングプロトコル

再建靱帯の治癒過程

手術

4
週

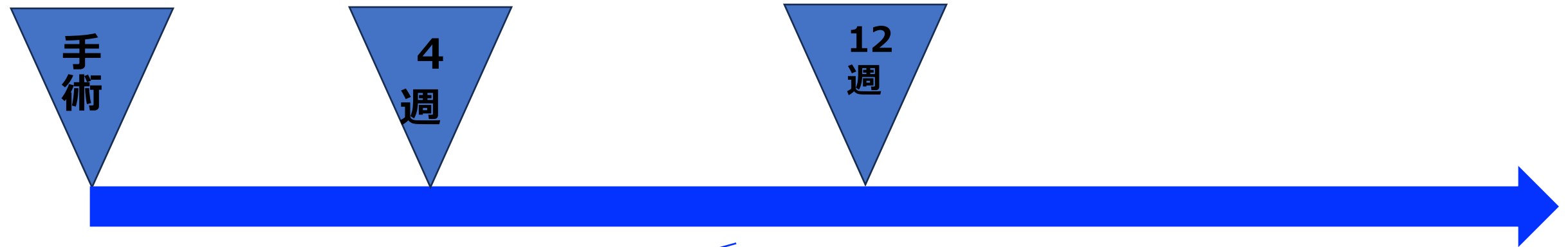
12
週

靱帯の壊死とコラーゲン細胞の崩壊・減少
血管の流入は認めない



トレーニングプロトコル

再建靱帯の治癒過程

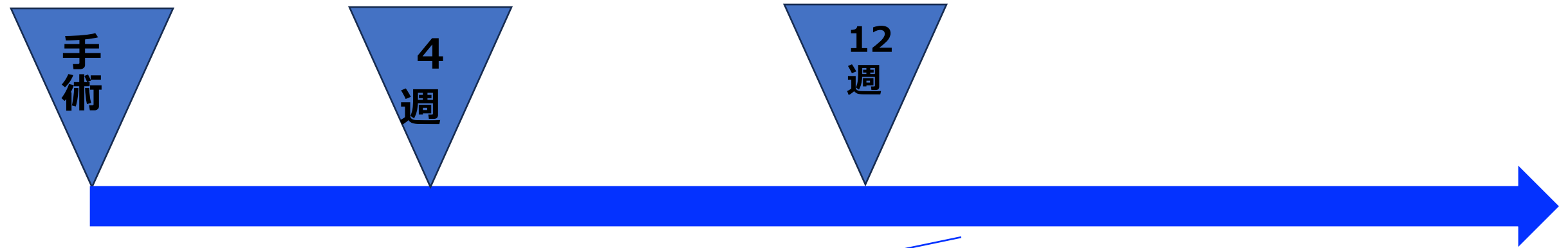


細胞数の増加と血管流入 リモデリングが最も盛んな時期
※6-8wの時期は最も再建靱帯が機械的に脆弱



トレーニングプロトコル

再建靱帯の治癒過程



血管増勢が落ち着いて、コラーゲン組織の結合も強まる
1年以上経過しても修復は続く



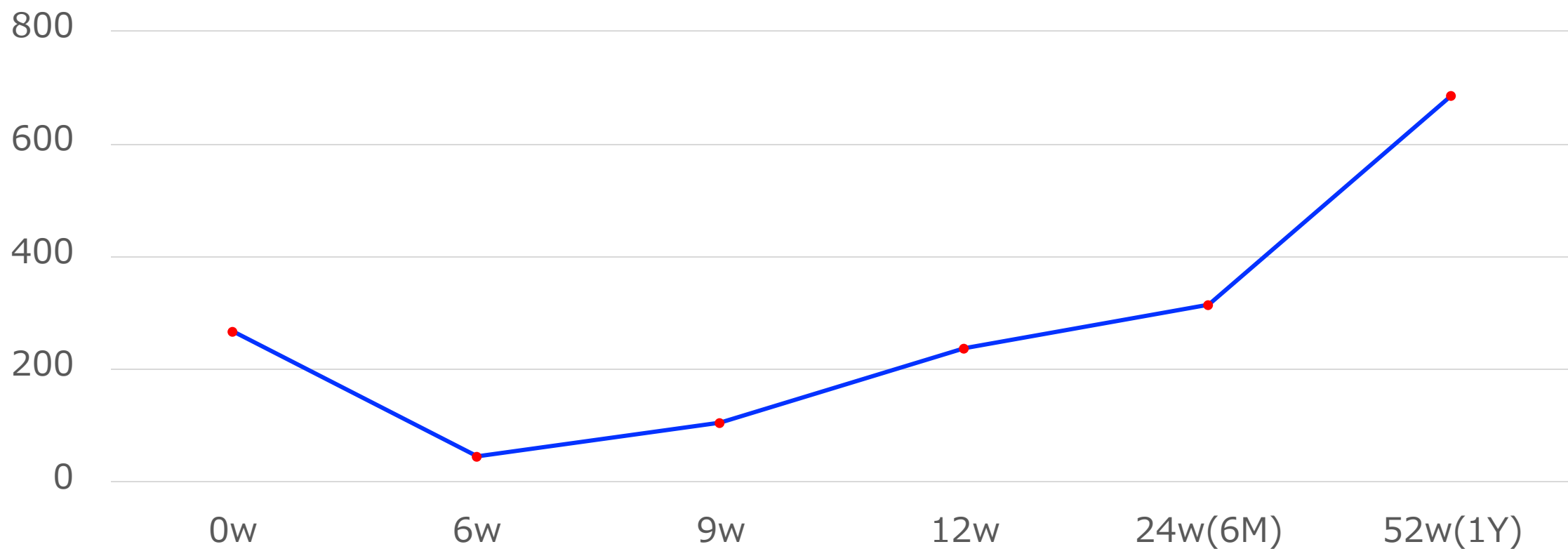
再建靱帯の治癒過程

Time After Operation	Maximum Load to Failure (N)	Cross-Sectional Area (mm ²)	Stiffness at Anterior Drawer (N/mm)	Stiffness at Failure (N/mm)	Absorbed Energy During Anterior Drawer (N/mm ²)	Energy to Failure (N/mm ²)
0 weeks (n = 10)	267 ± 82*†	24.4 ± 3.6	39.4 ± 7.4	41.2 ± 13*	15.3 ± 8.5*	1235.5 ± 257.8*
6 weeks (n = 6)	44.8 ± 4*†‡	18.9 ± 8.6*†	18.3 ± 4.4*‡	14.4 ± 5.5*‡	69.4 ± 26.9*‡	118.7 ± 37.8*‡
9 weeks (n = 6)	105.6 ± 43*†‡	26.5 ± 9.6‡	24.7 ± 7*‡	33.3 ± 14.4*	40.6 ± 19.2*‡	440.3 ± 53*‡
12 weeks (n = 6)	237.8 ± 59.8*†	37.5 ± 7.5†	33.5 ± 7.2	51.2 ± 11.2*	11.4 ± 4.2*	919.2 ± 276.4*‡
24 weeks (n = 6)	313.8 ± 164.4*†	29.5 ± 9.8	35.9 ± 6.4	58.6 ± 25.9*	9.1 ± 3.9*	1133.3 ± 506.9*
52 weeks (n = 5)	684.9 ± 252.8*†‡	27.8 ± 7	45.6 ± 8.4	90.5 ± 30.3*‡	4.1 ± 1.2‡	2509.1 ± 819*‡
ACL (n = 12)	1531.3 ± 180.3†‡	35 ± 1.8	44.5 ± 12.5	143.9 ± 16.1‡	2.6 ± 2.7‡	8592.7 ± 1564.6‡
Achilles tendon graft (n = 12)	1120.1 ± 223.4*‡	27.9 ± 4.9				

*Significantly different from the intact anterior cruciate ligament ($P \leq .05$, Mann-Whitney U Wilcoxon rank-sum test).
†Significantly different from the intact Achilles tendon split graft at time zero ($P \leq .05$, Mann-Whitney U Wilcoxon rank-sum test).
‡Significantly different from the reconstruction at time zero ($P \leq .05$, Mann-Whitney U Wilcoxon rank-sum test).

再建靱帯の治癒過程

破断強度

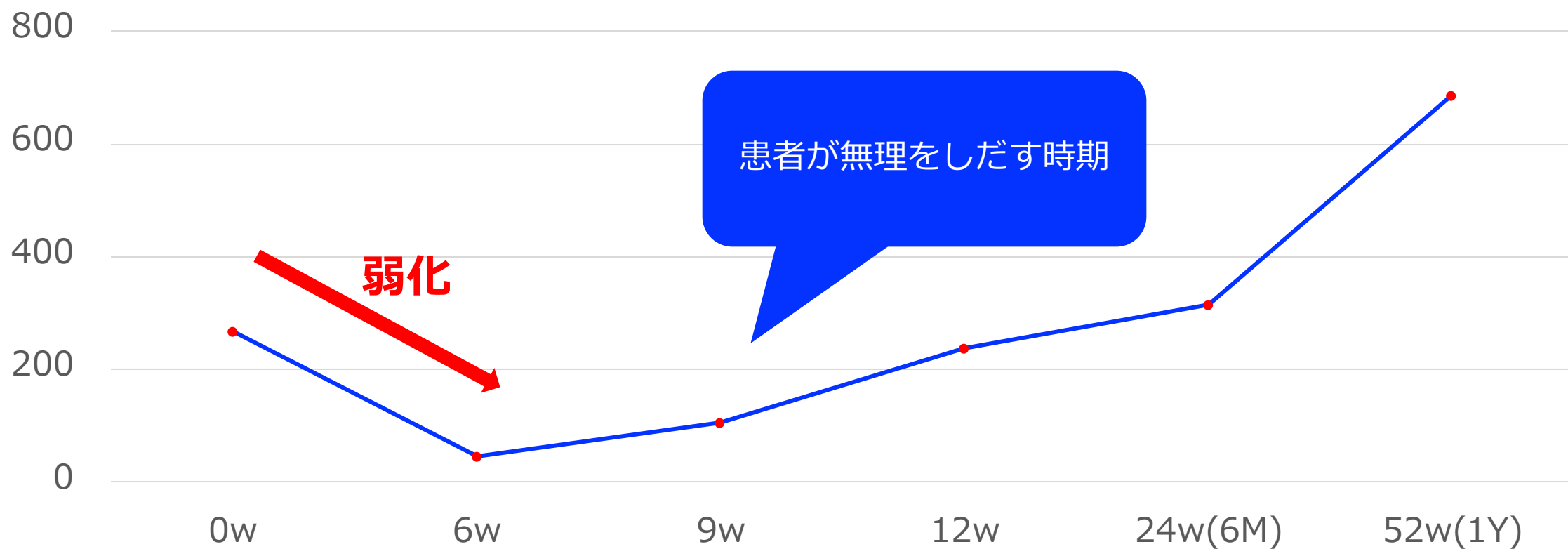


※文献を元に作図



再建靱帯の治癒過程

破断強度



※文献を元に作図



まとめ

- ❑ 非接触型受傷のACL再建術後の目標は競技復帰であることが多いが、長期では変形性膝関節症への進行を遅らせることが需要
- ❑ 際断裂予防のためには受傷機転を知りGraftにストレスをかける姿勢や動作に気をつけることが必要
- ❑ 術前の状態や手術記事・内容を確認して運動療法を進める
- ❑ プロトコルは競技復帰から逆算して「何を」「どの時期に」「どのように」実施するかが大事