

二次元 & 三次元 下肢アライメントの理解と術前計画 【講演資料】

2024年10月19日開催
2024年12月17日・19日再配信

共催：  東陽テクニカ

 **LEXI**
TOYO Corp. Group

事前の承諾なく、本書のいかなる部分も、転写、複製、複写
することを固くお断りいたします。

2024/10/19

東陽テクニカ・LEXI Zoom Webinar

二次元&三次元 下肢アライメントの理解と術前計画

おゆみの中央病院

膝関節・スポーツ医学センター センター長
整形外科部長

赤木 龍一郎



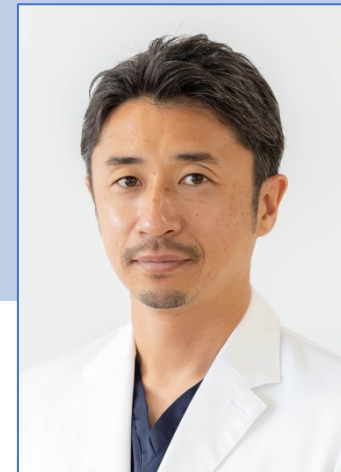
医療法人社団淳英会

おゆみの中央病院

OYUMINO CENTRAL HOSPITAL



自己紹介 あかぎ りゅういちろう 赤木 龍一郎



- 2004年 千葉大学医学部卒業
- 2010年～ 膝関節外科・スポーツ医学
- 2022年～ おゆみの中央病院 膝関節・スポーツ医学センター長

□スポーツ・関節鏡手術：軟骨、半月板、靭帯など

□変形性膝関節症：骨切り、人工関節

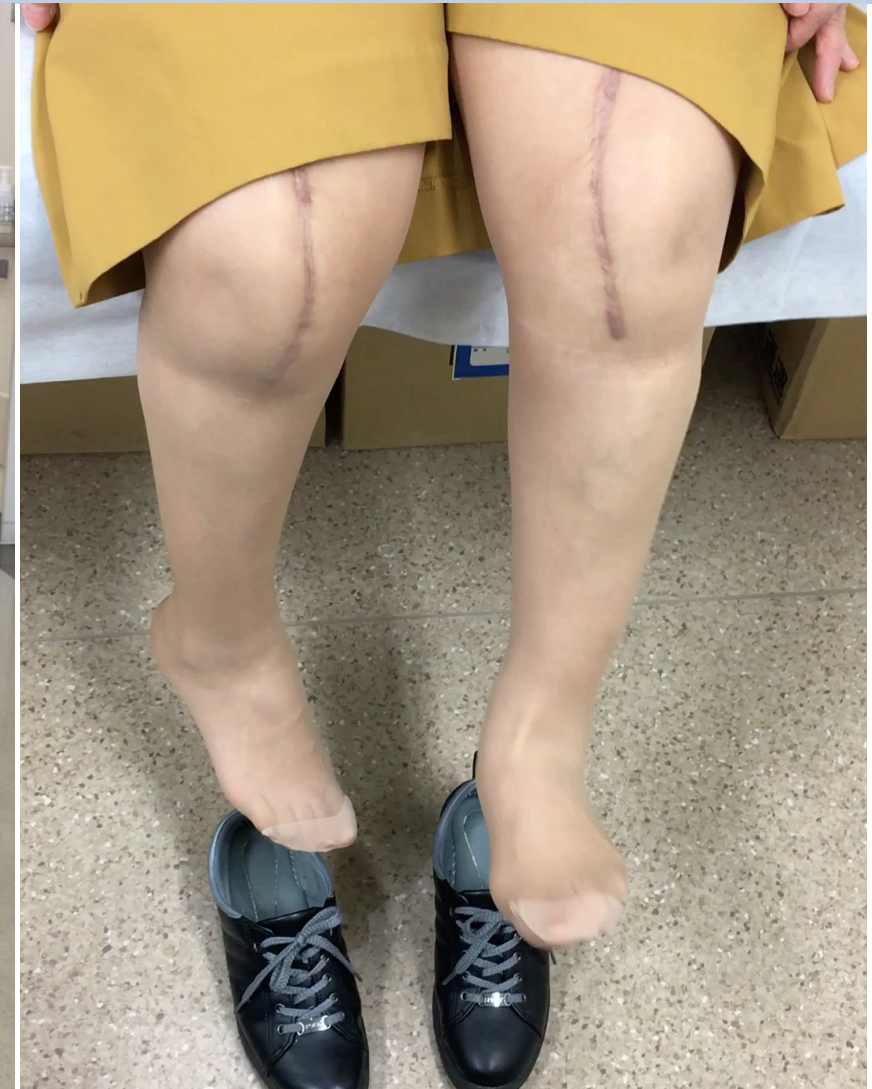
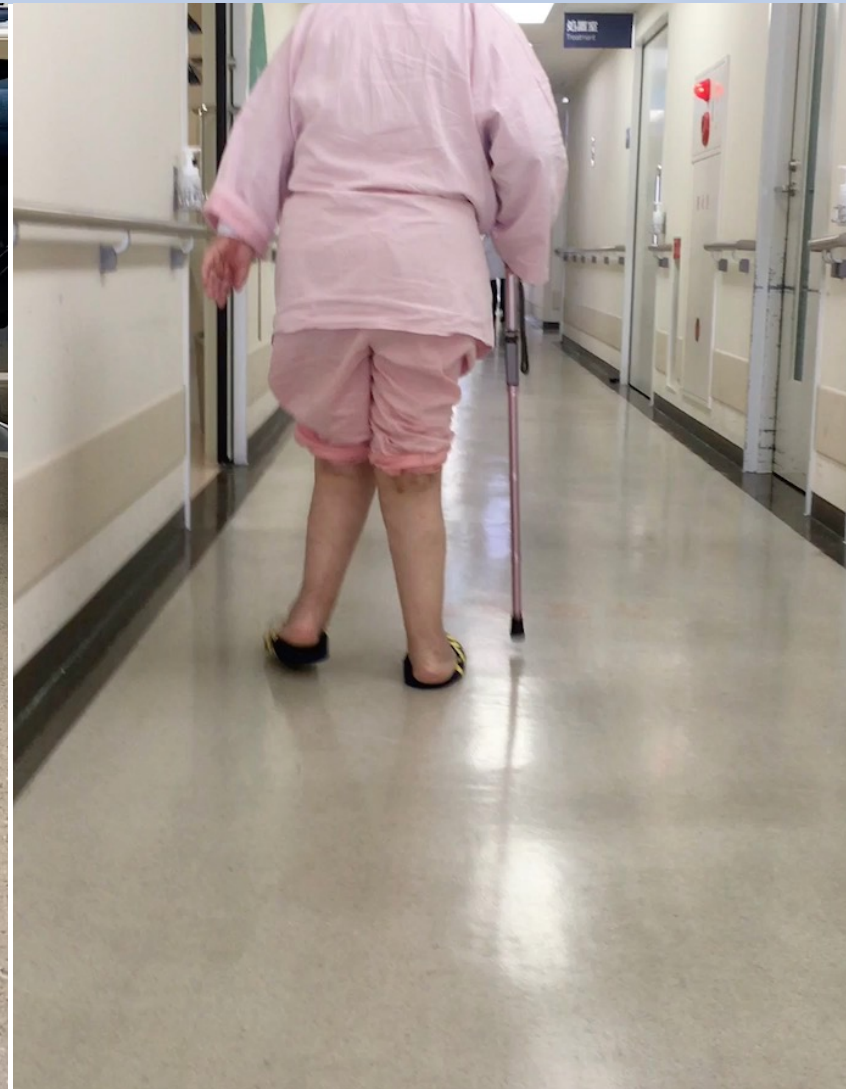
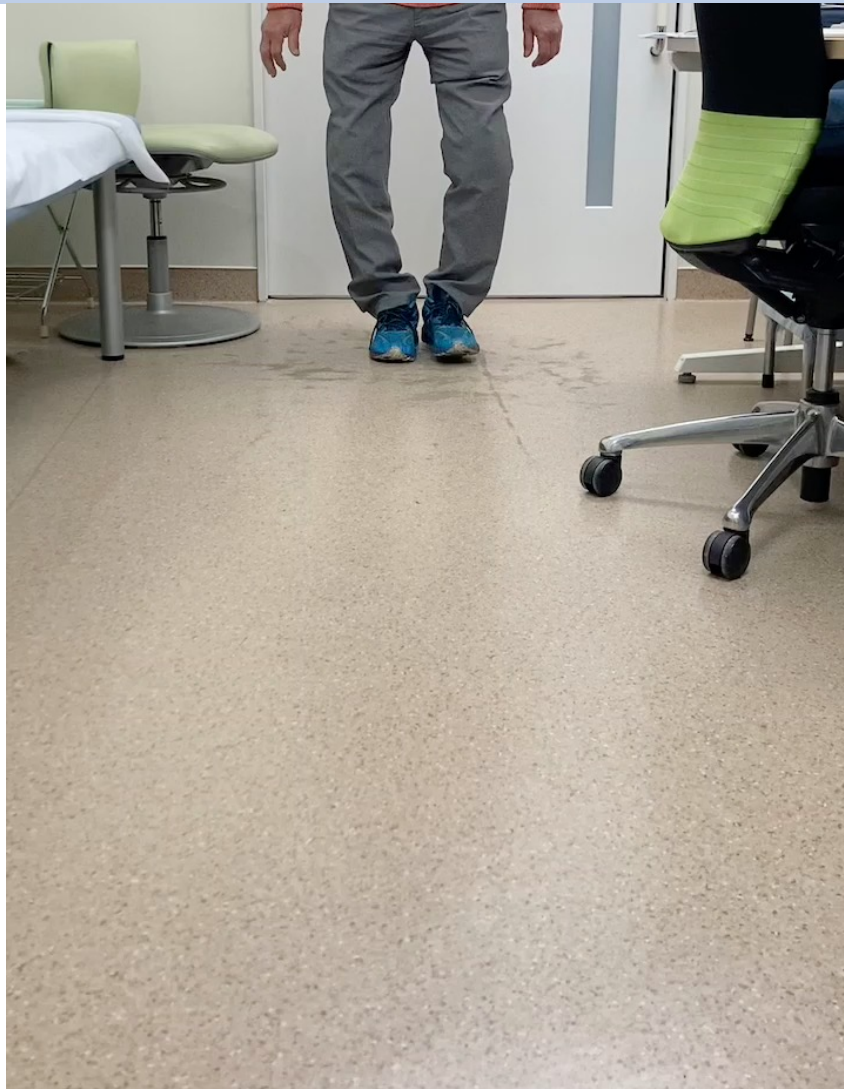
mediCAD[®]
The Orthopedic Solution

 東陽テクニカ

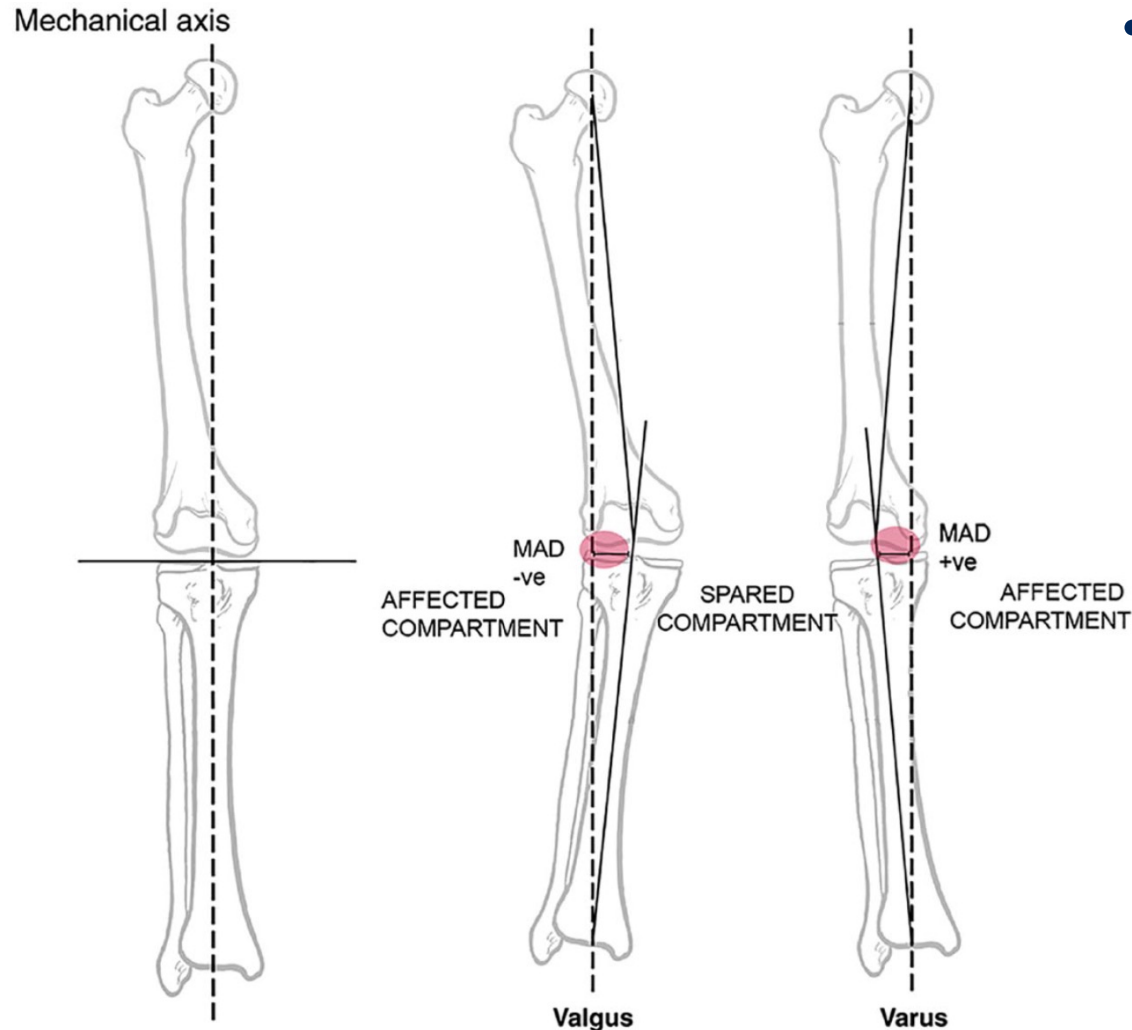


 **LEXI**
TOYO Corp. Group

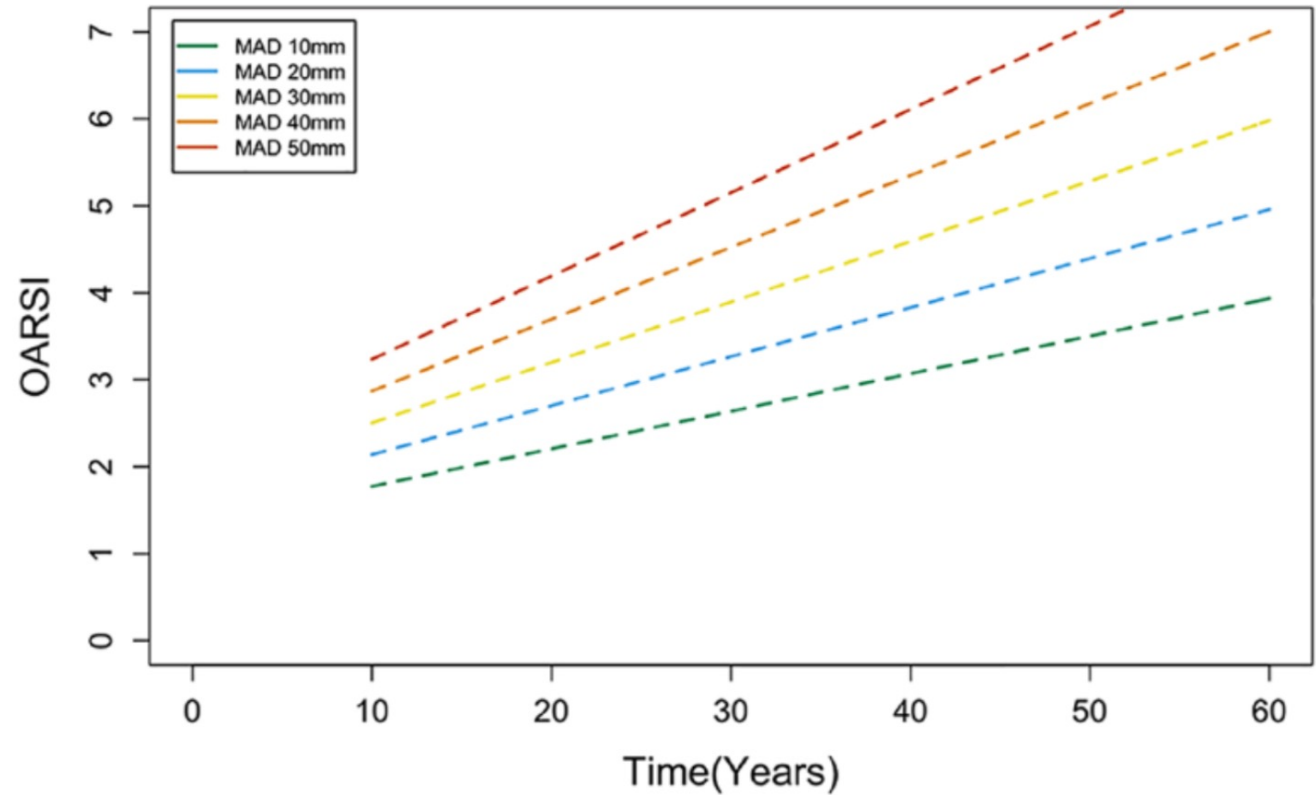
下肢アライメント不良と機能障害



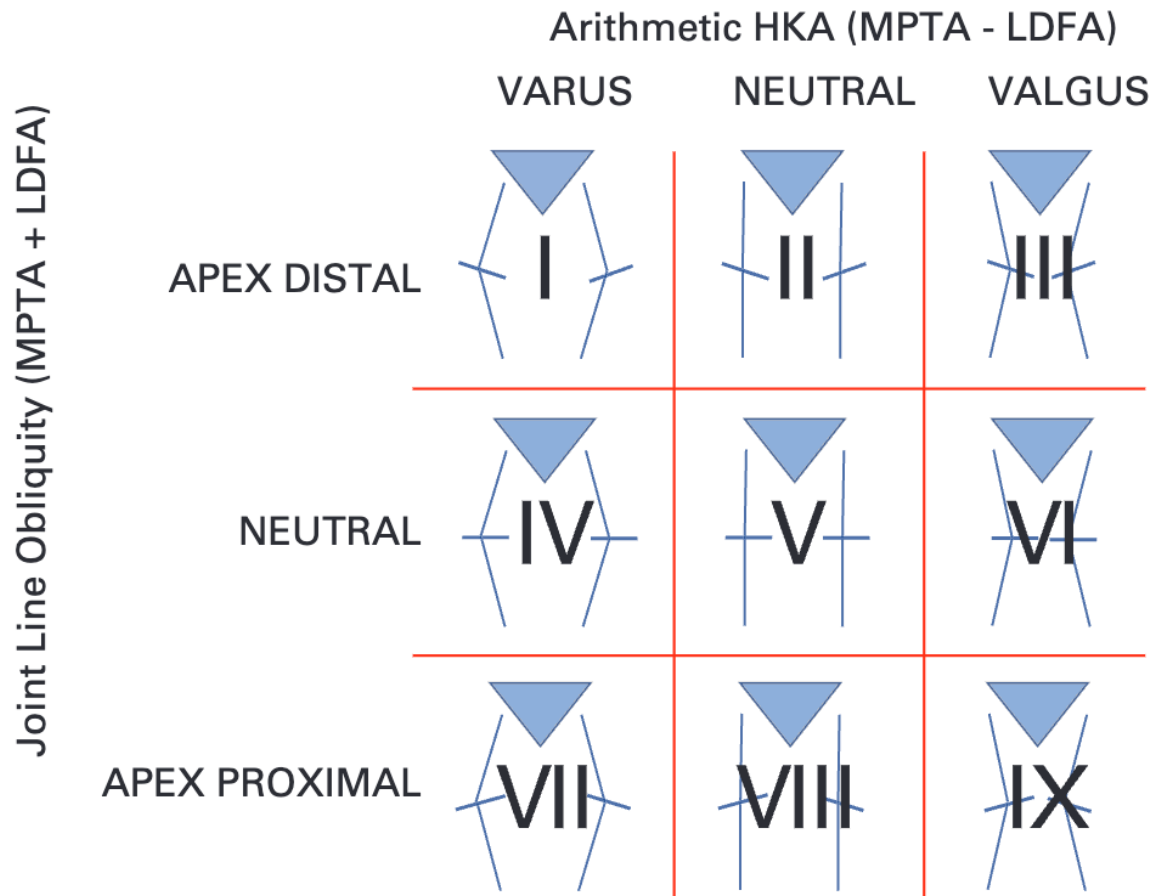
下肢アライメント不良とOAの進行



- 外傷後にアライメント不良となり荷重負荷が増大すると経時的にOAが進行する



正常下肢アライメント？



... there has been debate as to exactly what constitutes proper axial alignment of the lower extremity...

... However, **normal alignment is difficult to define**, since there is much variation in the alignment of the lower extremity among asymptomatic individuals.

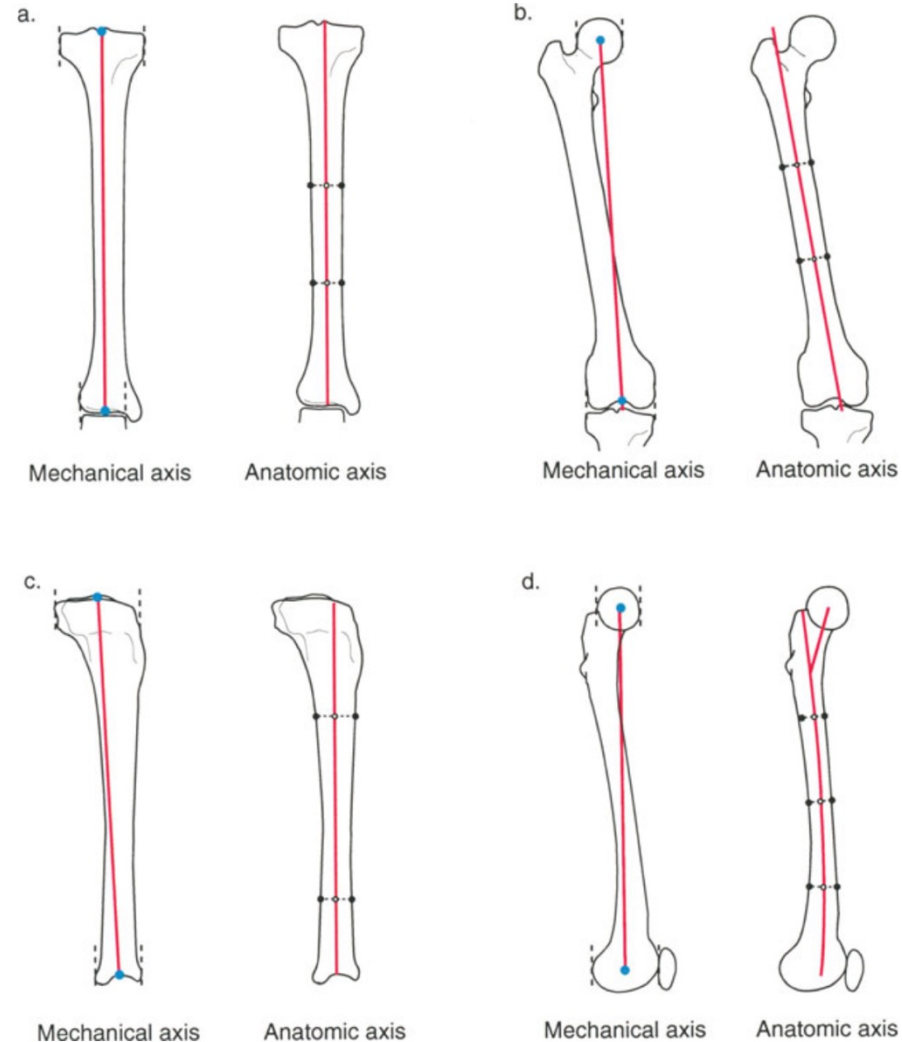
Moreland J Bone Joint Surg, 1987

もくじ

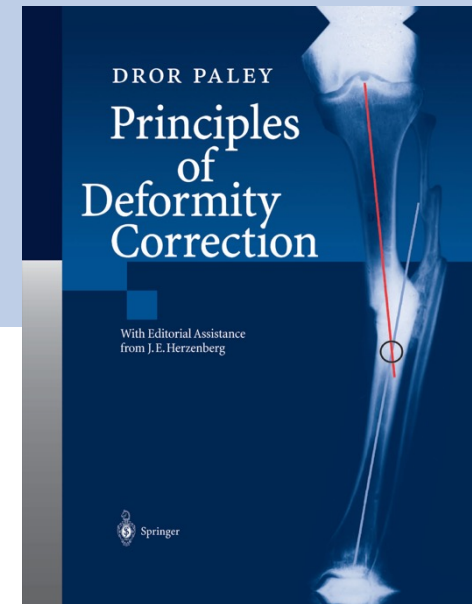
- 下肢アライメントの基本
- 2D術前計画と手術中の留意点
- 3D術前計画と手術中の留意点

下肢長管骨の軸

- **解剖軸 Anatomic axis**
 - 長管骨の骨軸中央
- **機能軸 Mechanical axis**
 - 近位と遠位の関節中心を結ぶ線



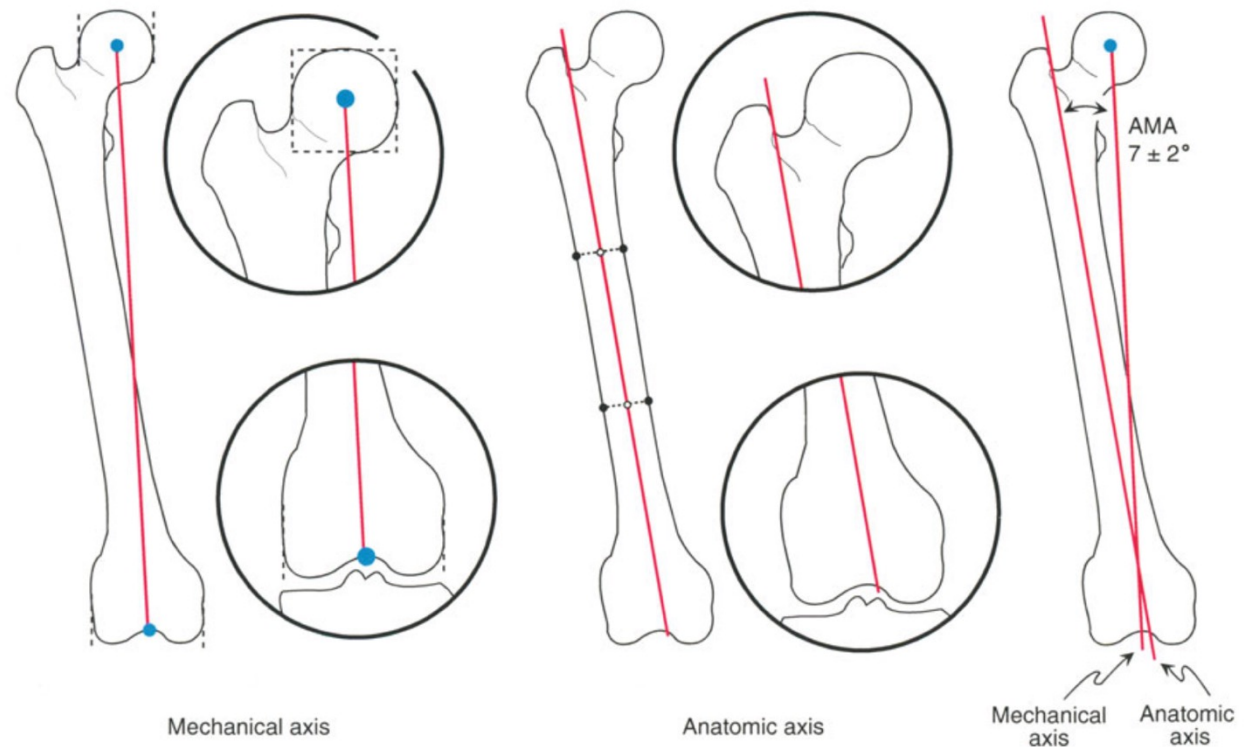
※教科書では機能軸は**冠状面**しか
明確に定義されていない



下肢長管骨の軸（大腿骨、冠状面）

- **解剖軸 Anatomic axis**
 - 長管骨の骨軸中央
- **機能軸 Mechanical axis**
 - 近位と遠位の関節中心を結ぶ線

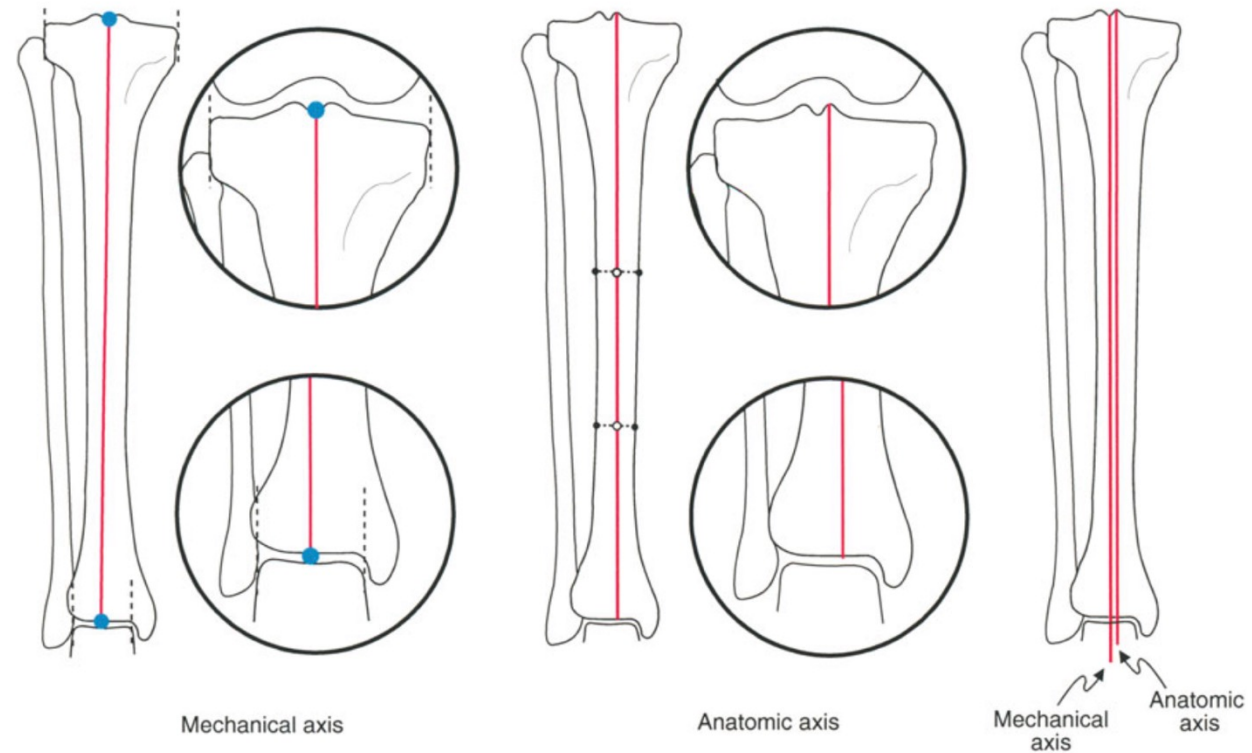
機能軸と解剖軸は平行ではない
(解剖軸は機能軸より約7°外反)



下肢長管骨の軸（脛骨、冠状面）

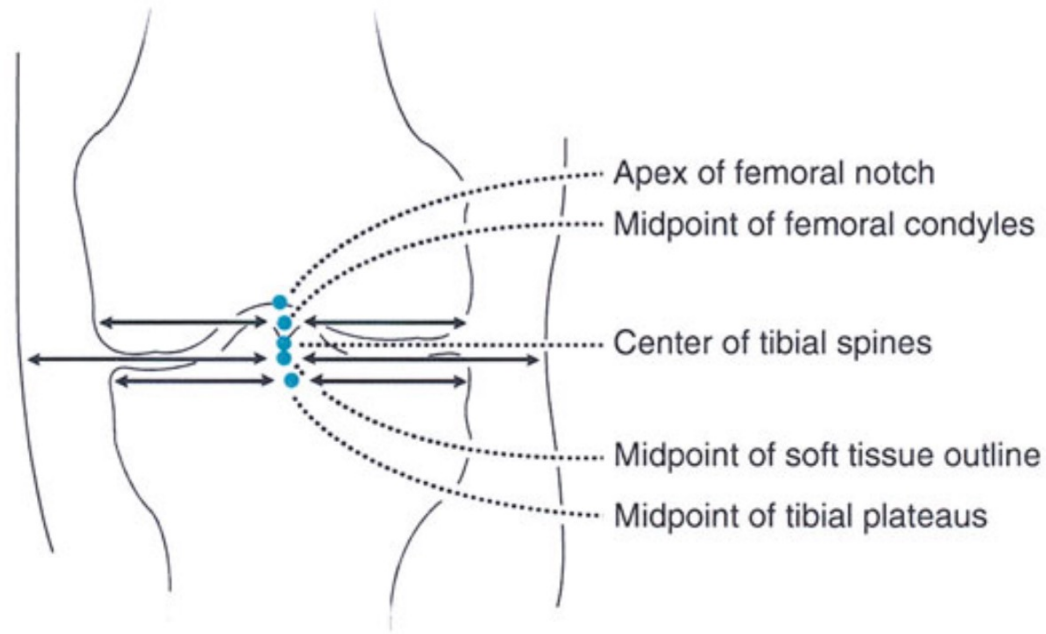
- **解剖軸 Anatomic axis**
 - 長管骨の骨軸中央
- **機能軸 Mechanical axis**
 - 近位と遠位の関節中心を結ぶ線

機能軸と解剖軸は平行だが同一ではない
(解剖軸は機能軸より数mm内側)

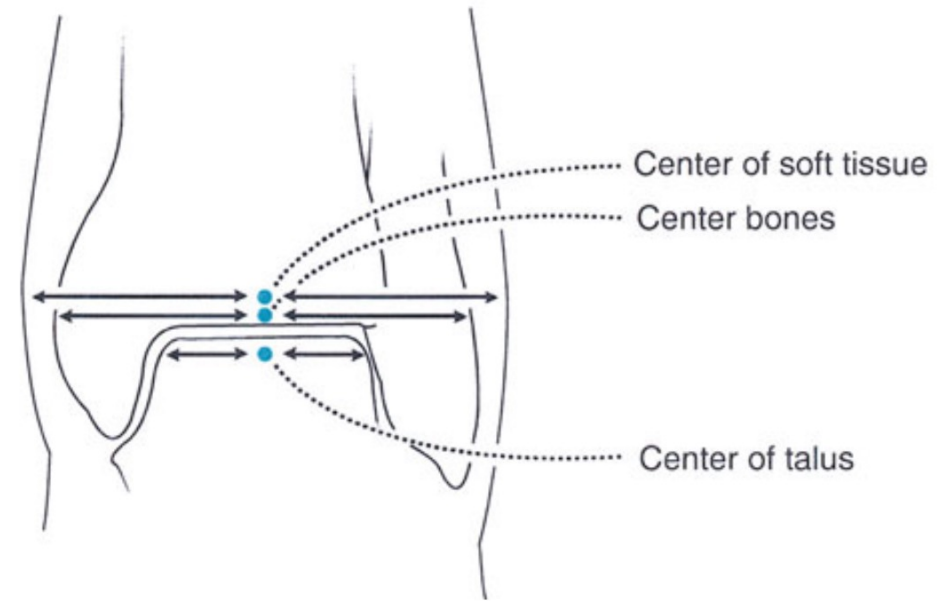


関節中心の定義

- 股関節：大腿骨頭中心
- 膝関節

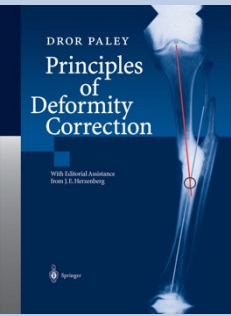


- 足関節

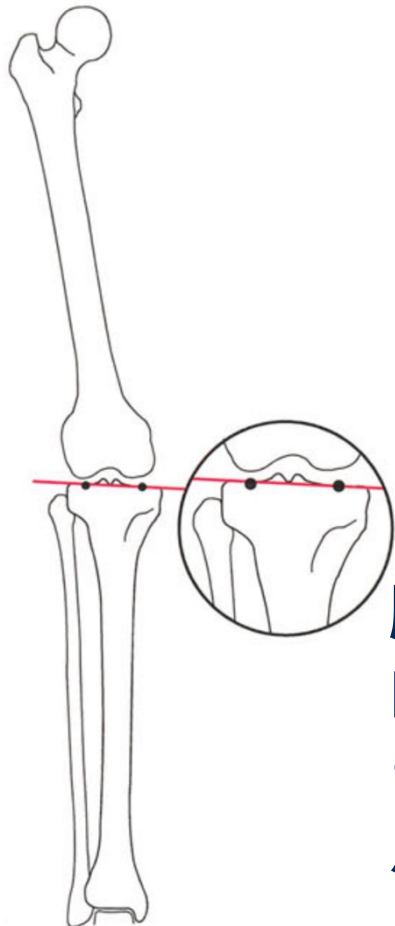


※教科書では**冠状面**しか明確に定義されていない

Joint orientation line 関節面の定義（冠状面）

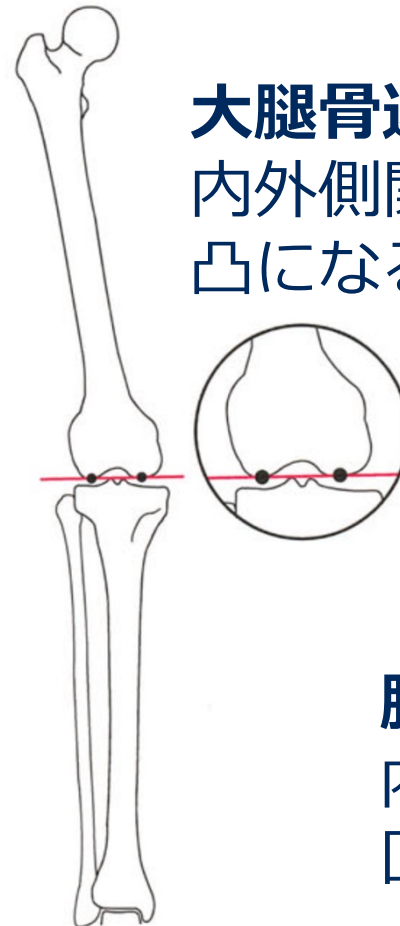


・ 膝関節



脛骨近位

内外側関節面の平ら
もしくは最も凹んだ
点を結ぶ線

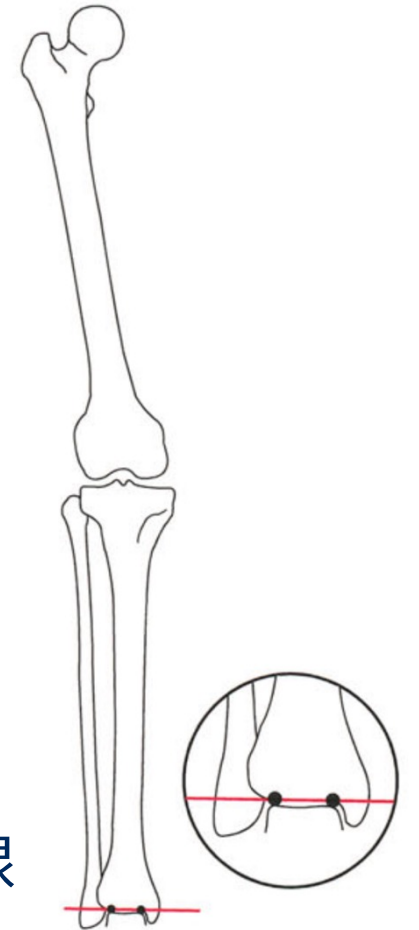


大腿骨遠位

内外側関節面の最も
凸になる点の接線

脛骨遠位／距骨

内外側関節面の最も
凹／凸になる点の接線

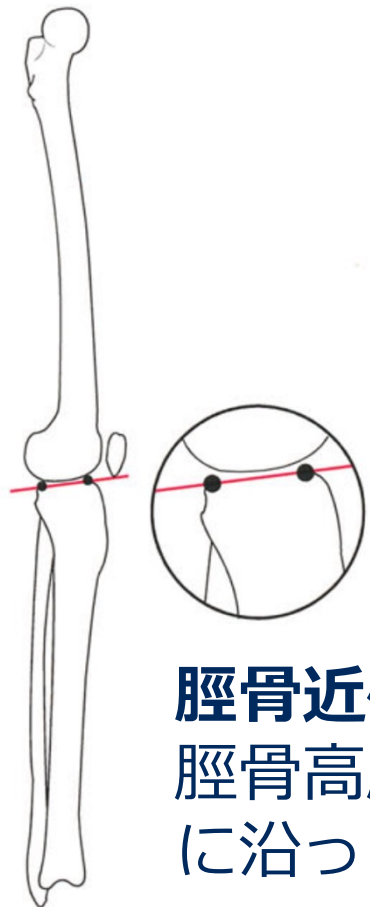


・ 足関節

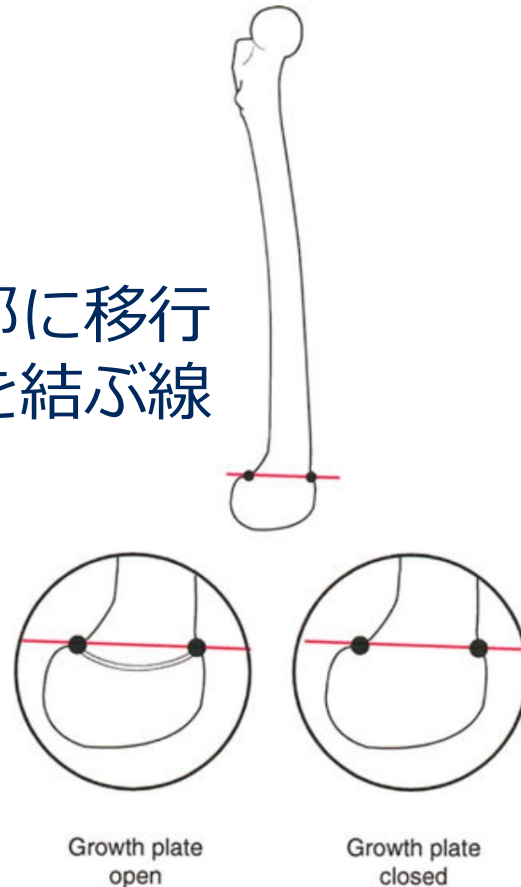
Joint orientation line

関節面（位置）の定義（矢状面）

・ 膝関節

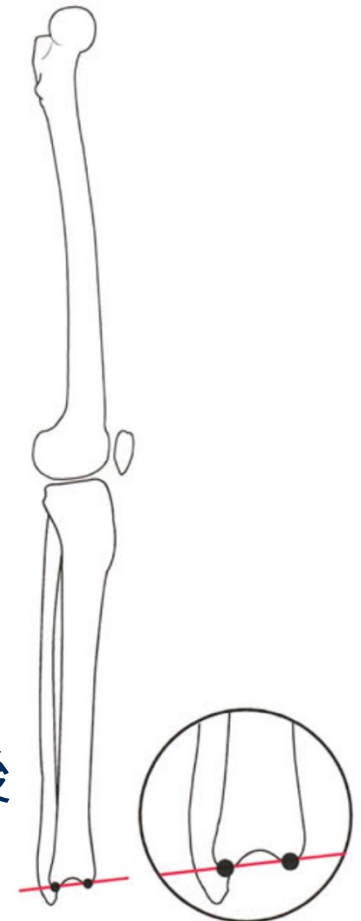


大腿骨遠位
顆部が骨幹端部に移行
する前後の点を結ぶ線



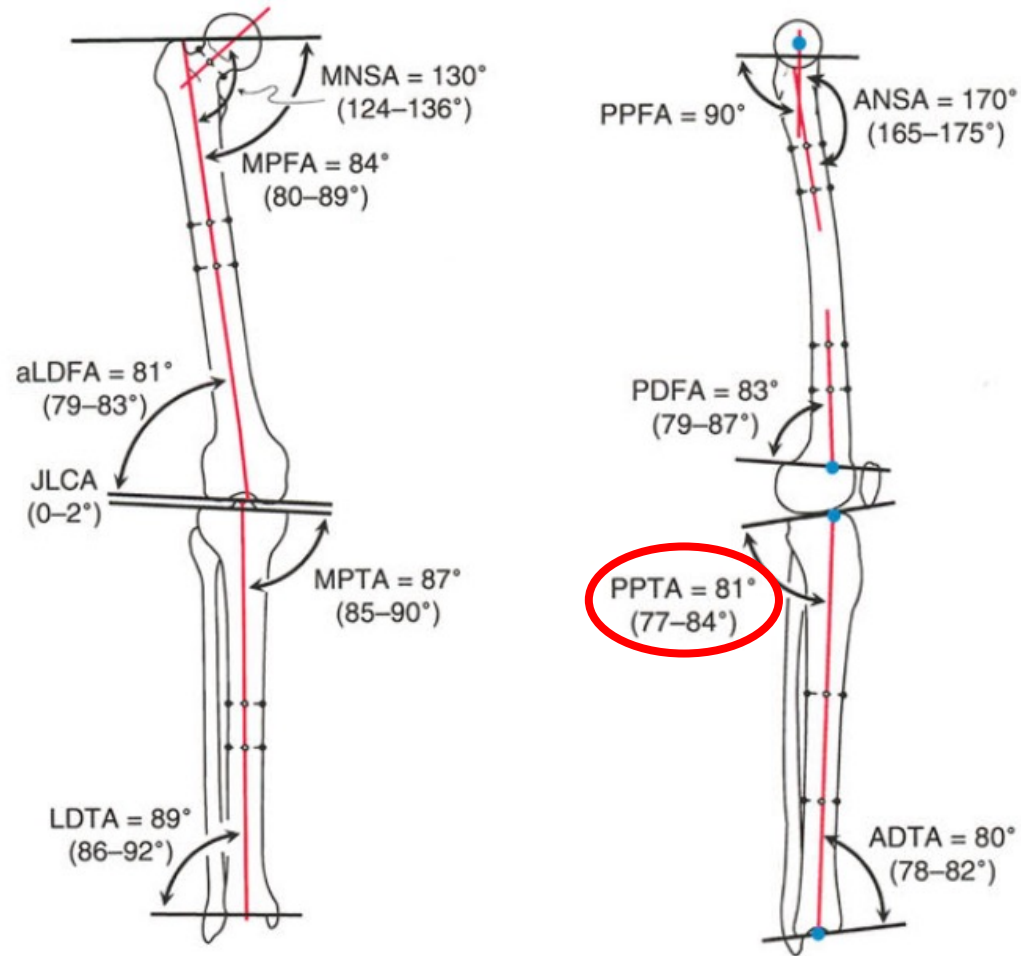
・ 足関節

脛骨遠位
最も凸になる前後
の点を結ぶ線



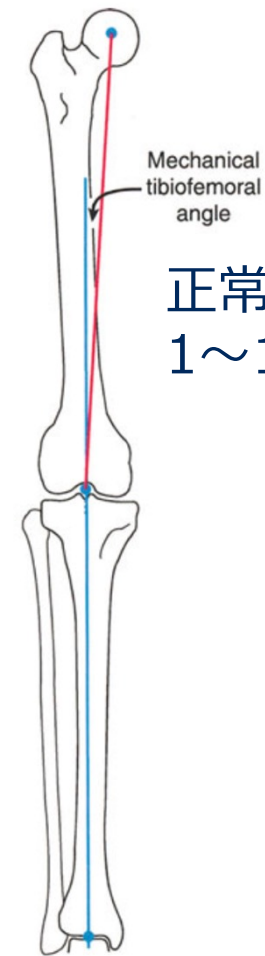
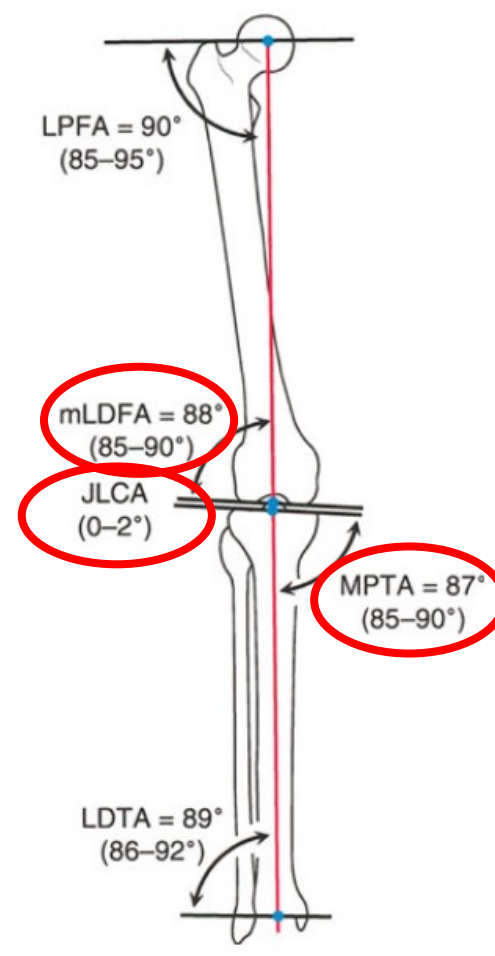
正常下肢アライメントの指標

• 解剖軸を基準



• 機能軸を基準

※膝関節手術でよく参照する指標

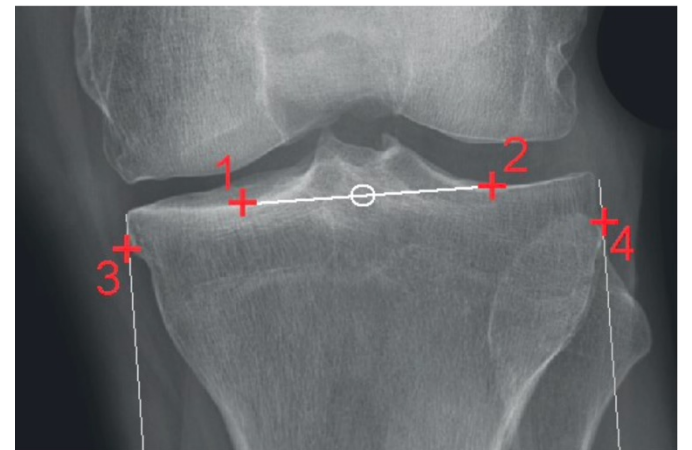
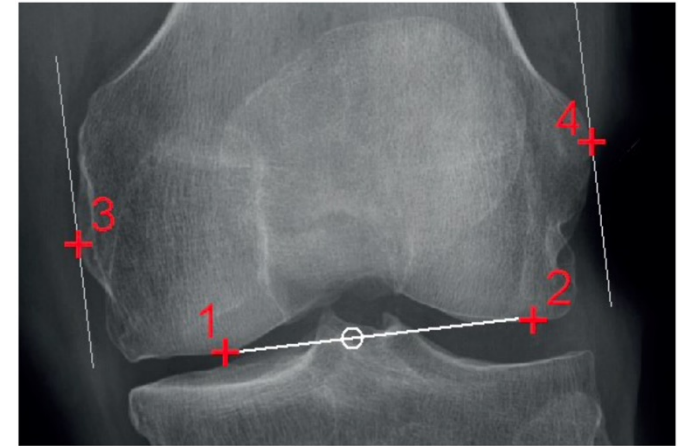


正常で
1~1.3°内反

2D術前計画と手術中の留意点

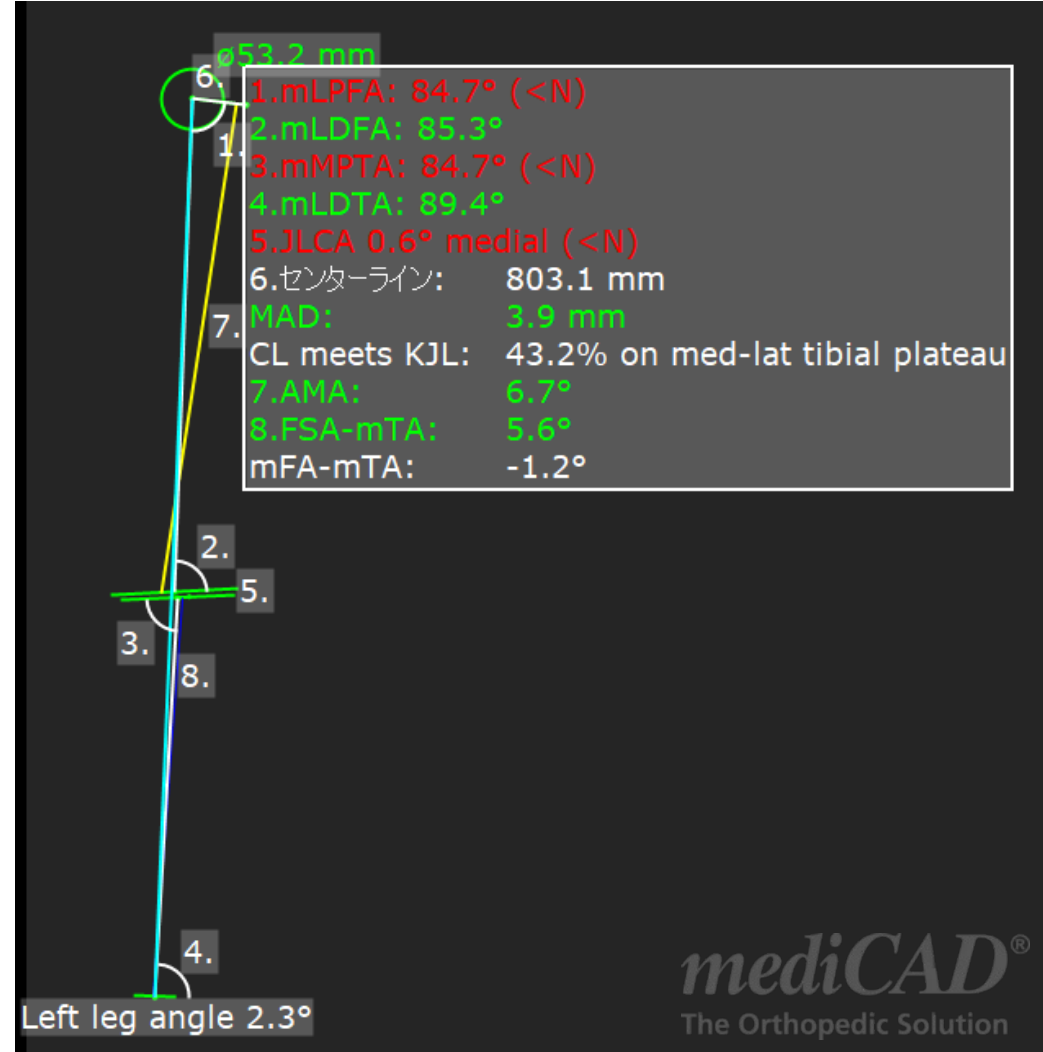
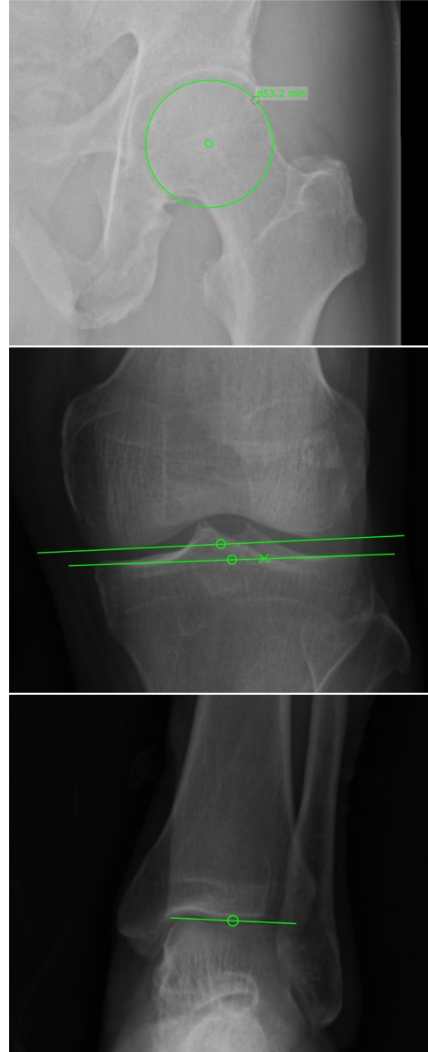
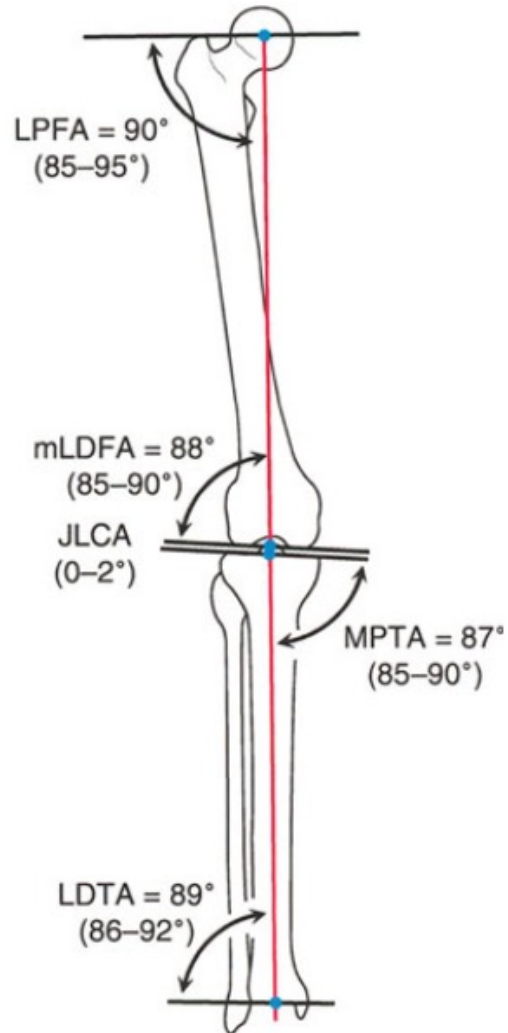
二次元での術前計画（膝周囲骨切り術）

- mediCADを用いた術前計画
 1. 股関節中心（大腿骨頭中心）
 2. 大腿骨遠位関節面と大腿骨膝関節中心
 3. 脛骨近位関節面と脛骨膝関節中心
 4. 足関節中心
 5. 下肢アライメント指標の確認
 6. 骨切り位置、矯正角度の決定
 7. 矯正後下肢アライメント指標の確認



- 1、2を結ぶ直線上（関節面）における
- 3、4の幅の中央を膝関節中心と定義

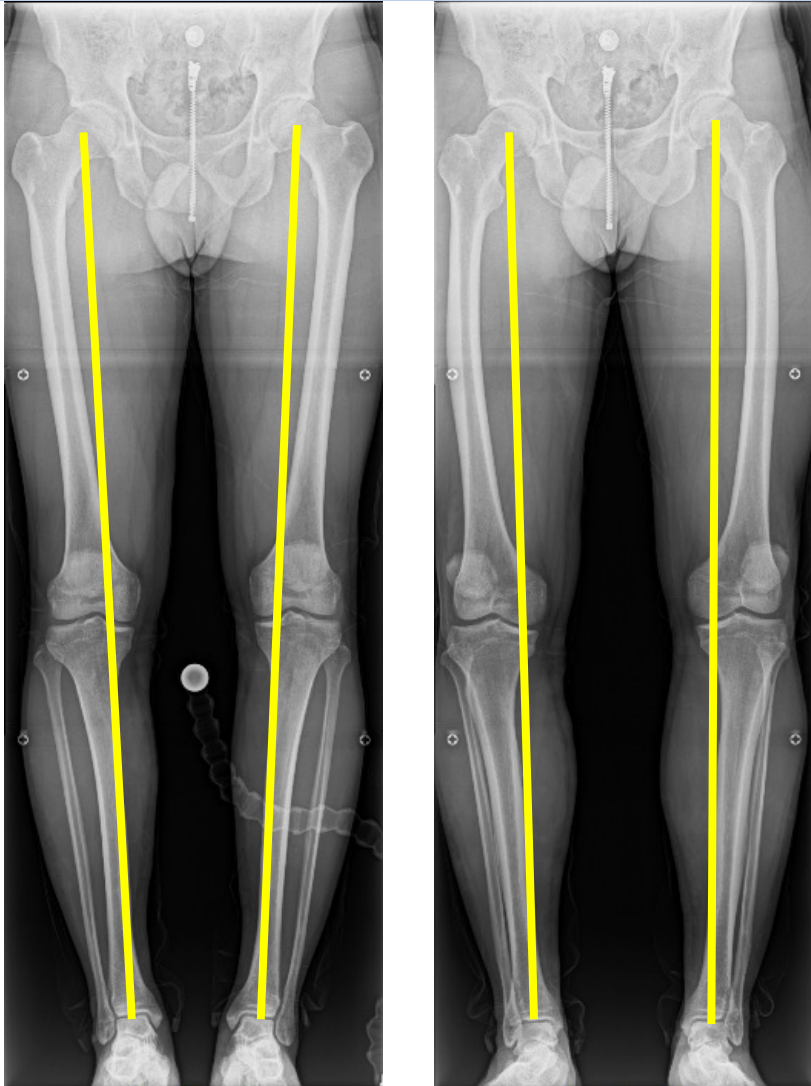
関節中心、関節面の設定と計測値



二次元の術前計画と手術中の留意点

- 解剖学的メルクマールの設定誤差
- レントゲンの撮影肢位による誤差
- 手術中の透視画像に生じる誤差
- 手術手技による誤差

レントゲンの撮影肢位による誤差



【ポイント】

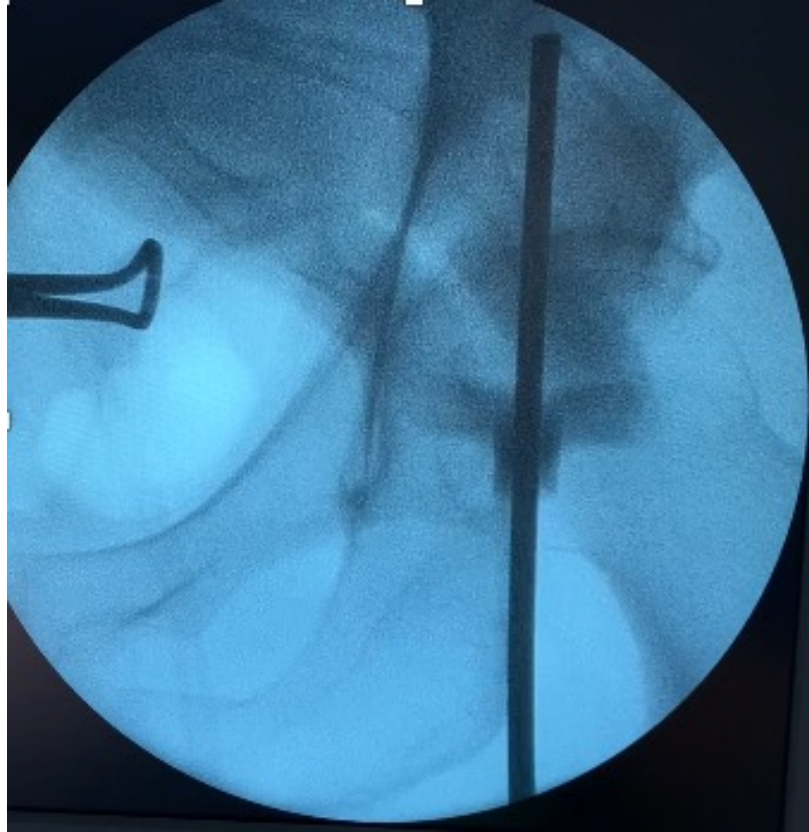
- 膝蓋骨を正面に向けた正しい「膝関節正面像」で下肢全長を評価する

※膝蓋骨外方偏位などある場合には大腿骨後顆が均等に写る正面像

透視手技による誤差



X線に対して垂直でない
と角度が正確に測れない

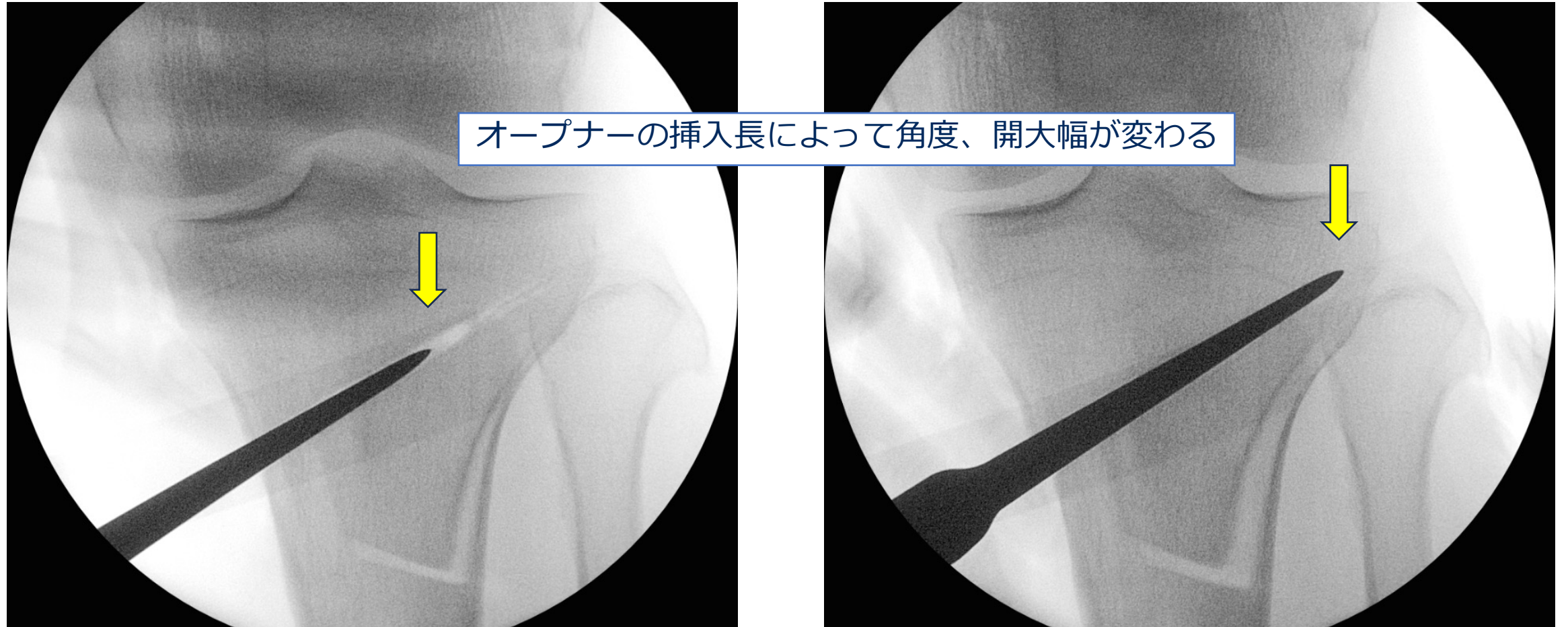


管球の中心にないと
位置がずれて見える



膝関節が正面像でない
と位置がずれて見える

手術手技による誤差



予定ヒンジ位置とオープナー先端のズレによって計画上の矯正角度と開大幅との間に誤差が生じる

3D術前計画と手術中の留意点

三次元での術前計画 (TKA、UKA)

- ZedKneeを用いた術前計画 (冠状面、矢状面、水平面での計画)
 1. 股関節中心 (大腿骨頭中心)
 2. 大腿骨における膝関節中心、大腿骨遠位関節面
 3. 脛骨軸、脛骨近位関節面の決定
 4. 下肢アライメント指標の確認
 5. インプラントサイズ、設置位置の決定
 6. 術後下肢アライメント指標の確認
- 二次元との違い
 - 水平面のインプラント設置位置
 - 骨切り面に対するインプラントサイズが術前にイメージできる



三次元での術前計画における留意点

- 解剖学的メルクマールの設定誤差
- 「関節中心」「軸」の定義（矢状面での定義）
- 画像上の計画と実際の手術の誤差
- ナビやロボティックの機種による違い



「関節中心」「軸」の定義

• Z軸の決定

- 大腿骨
股関節中心（大腿骨頭中心）と膝関節中心（TEAの中点）を通る直線
→機能軸に近似
- 脛骨（骨軸座標系）
骨幹部の近位、遠位で髓腔内に接する円の中心を通る直線
→機能軸？

• Y軸の決定

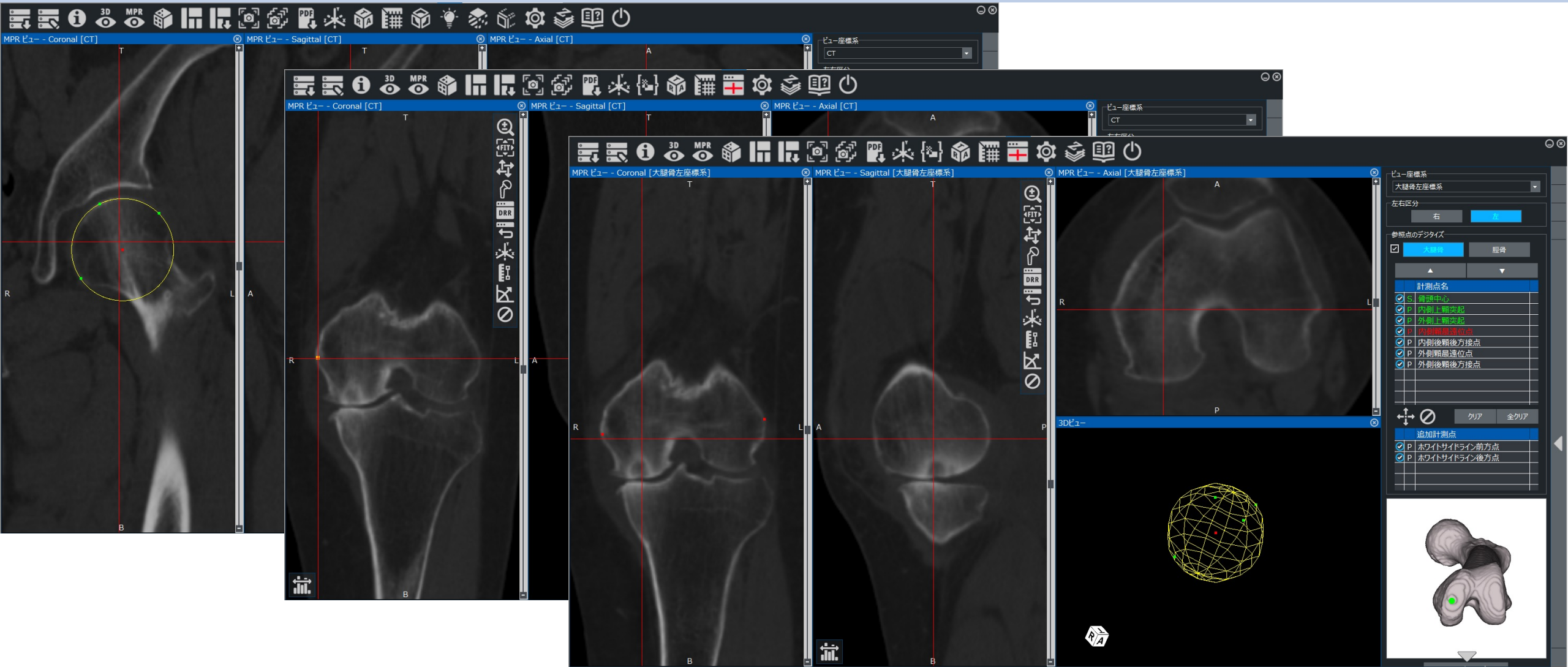
- 大腿骨 大腿骨頭中心とTEAを含む面に垂直（自動的に決定）
- 脛骨 PCL付着部中央と脛骨粗面内側縁を通る直線（Akagi line）

三次元術前計画ソフトの軸決定法

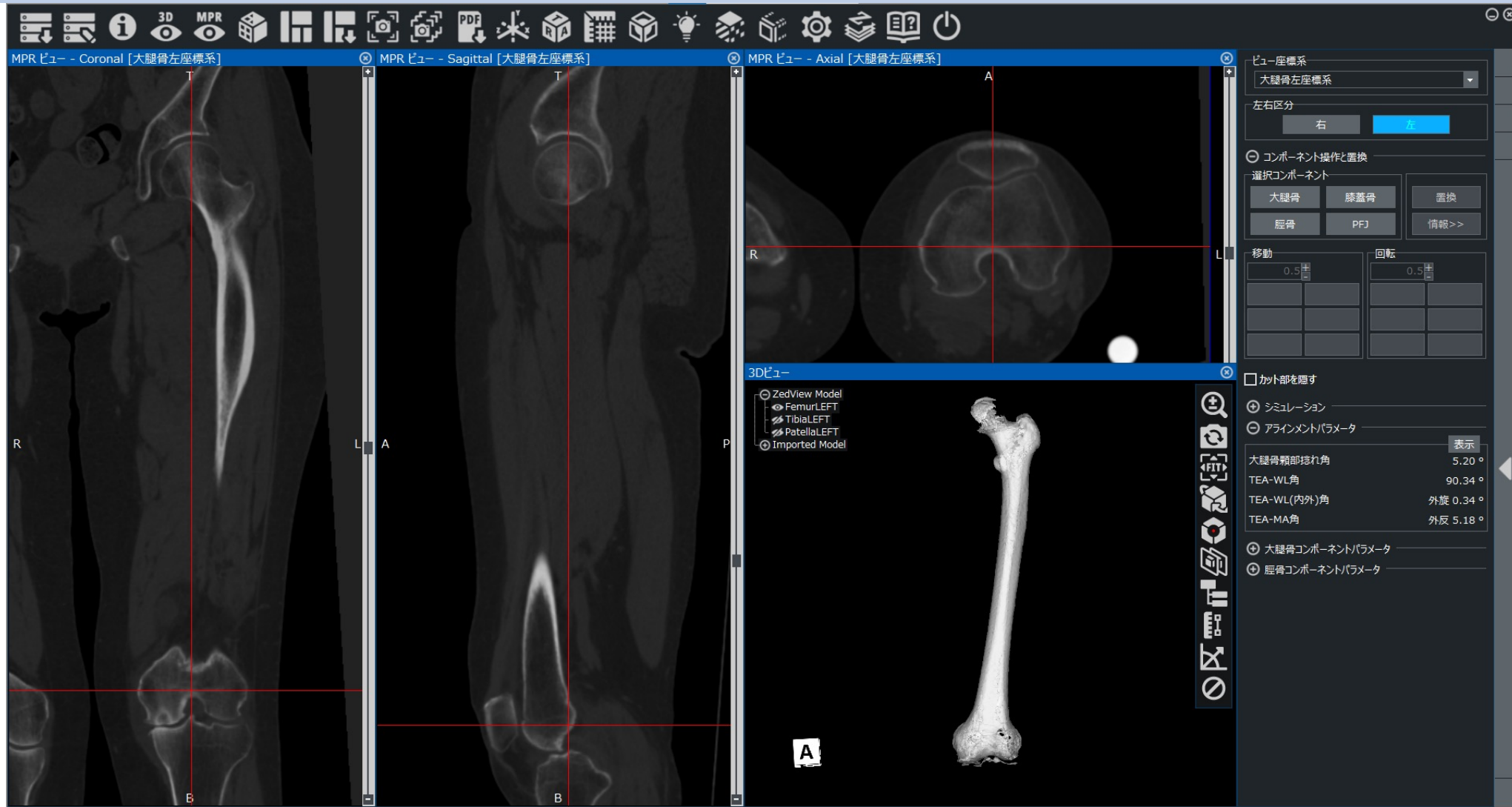
- 大腿骨
 - ISB座標系
 - 後顆球近似座標系
- 脛骨
 - 遠近軸座標系
 - 骨軸座標系



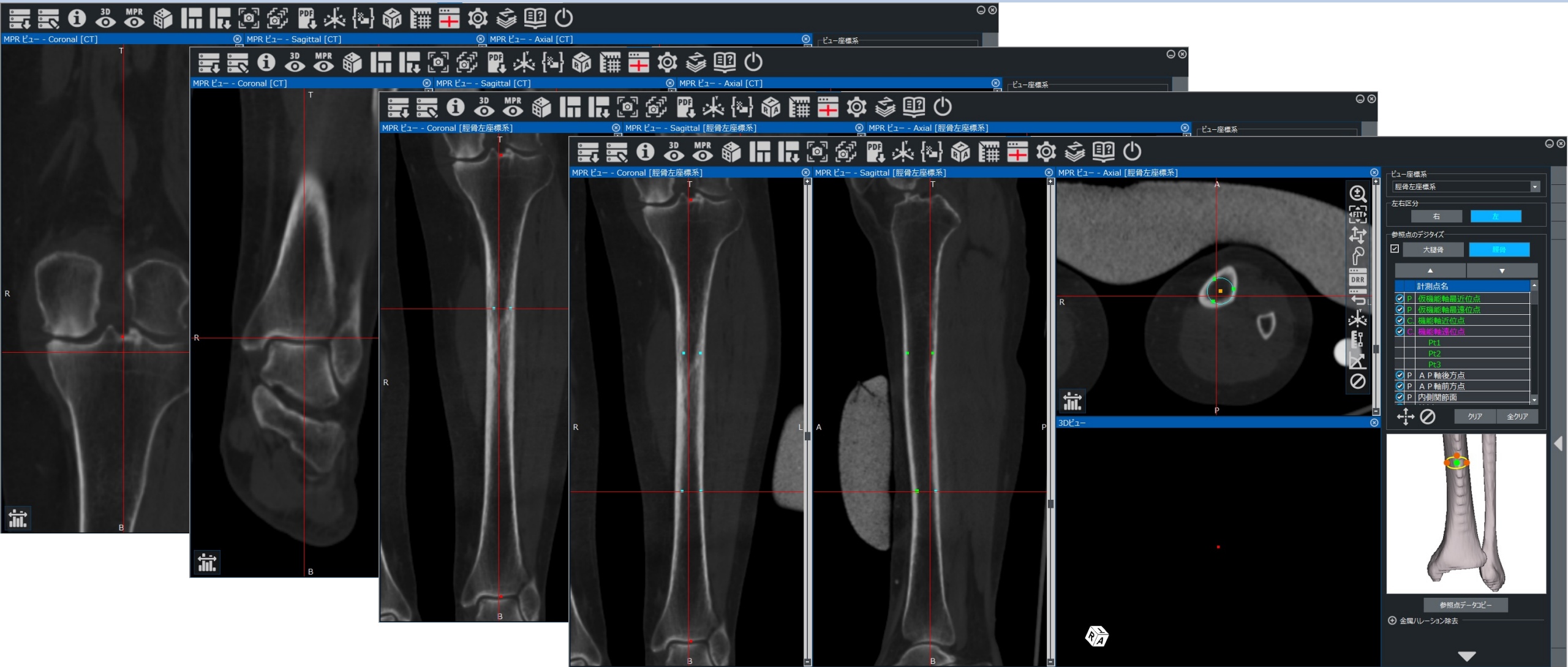
大腿骨 ISB座標系



大腿骨 ISB座標系



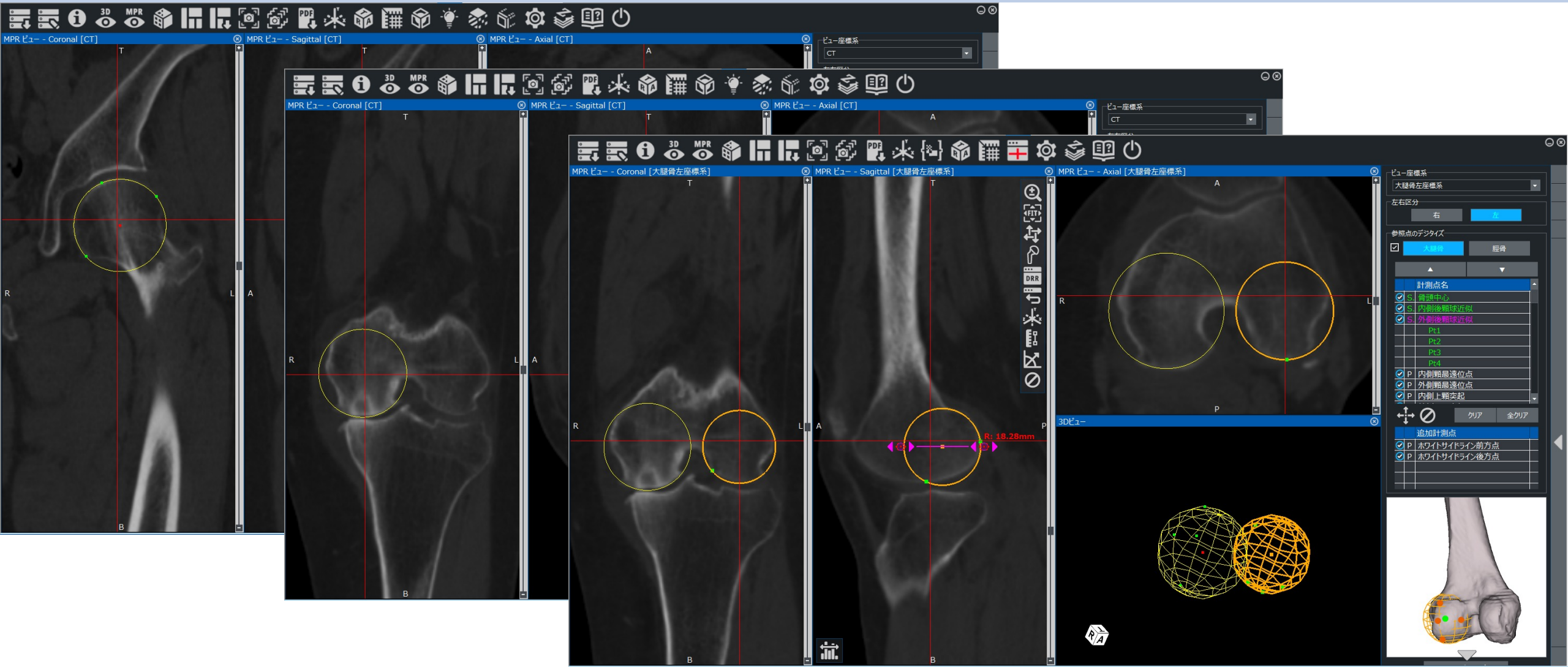
脛骨 骨軸座標系



脛骨 骨軸座標系



大腿骨 後顆球近似座標系



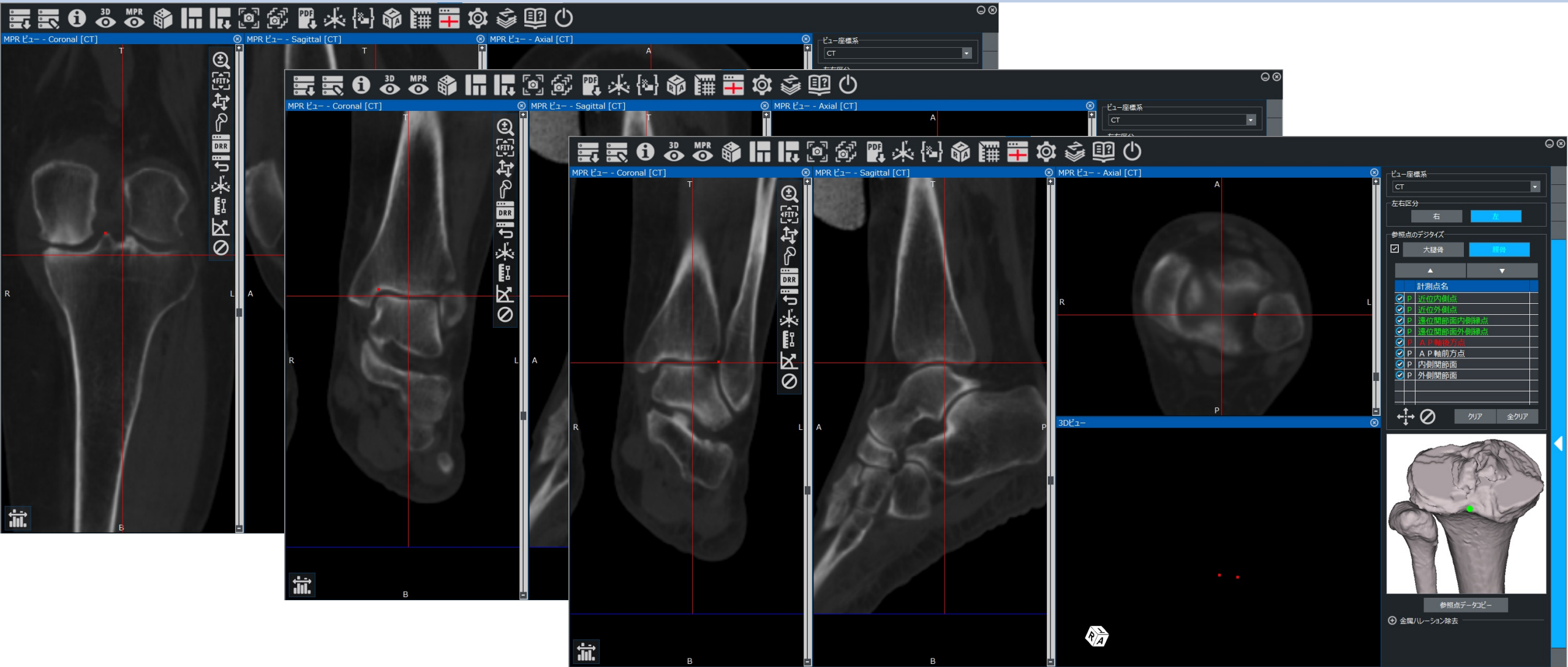
大腿骨 後顆球近似座標系

The screenshot displays a medical software interface for femur analysis. It features three MPR views: Coronal, Sagittal, and Axial, each showing a grayscale image of the femur with red crosshairs. A 3D view shows a white 3D model of the femur. The control panel on the right includes a dropdown menu for the coordinate system (set to '大腿骨左座標系'), a '左右区分' (Right/Left) section with '左' selected, and a 'コンポーネント操作と置換' (Component Operation and Replacement) section with buttons for '大腿骨', '膝蓋骨', '胫骨', and 'PFJ'. Below these are '移動' (Move) and '回転' (Rotate) sliders. The 'アラインメントパラメータ' (Alignment Parameters) section shows a table of angles:

パラメータ	値
大腿骨顆部捻れ角	4.06°
TEA-WL角	91.61°
TEA-WL(内外)角	外旋 1.61°
TEA-MA角	外反 0.63°

The '大股骨コンポーネントパラメータ' (Femur Component Parameters) and '胫骨コンポーネントパラメータ' (Tibia Component Parameters) sections are also visible but currently empty.

脛骨 遠近軸座標系



脛骨 遠近軸座標系

The screenshot displays a medical software interface for tibia analysis. It features three MPR views: Coronal, Sagittal, and Axial, all using the '脛骨左座標系' (Tibia Left Coordinate System). A 3D view shows the tibia model with a coordinate system. The control panel on the right includes a dropdown for the coordinate system, a '左右区分' (Right/Left) section with '左' (Left) selected, and a 'コンポーネント操作と置換' (Component Operation and Replacement) section with buttons for '大腿骨' (Femur), '膝蓋骨' (Patella), '脛骨' (Tibia), and 'PFJ' (Patellofemoral Joint). Below these are '移動' (Move) and '回転' (Rotate) controls. The 'アライメントパラメータ' (Alignment Parameters) section shows the following values:

パラメータ	値
大腿骨顆部捻れ角	4.06 °
TEA-WL角	91.61 °
TEA-WL(内外)角	外旋 1.61 °
TEA-MA角	外反 0.63 °

The 3D view also shows a list of models: ZedView Model, FemurLEFT, TibiaLEFT, PatellaLEFT, and Imported Model.

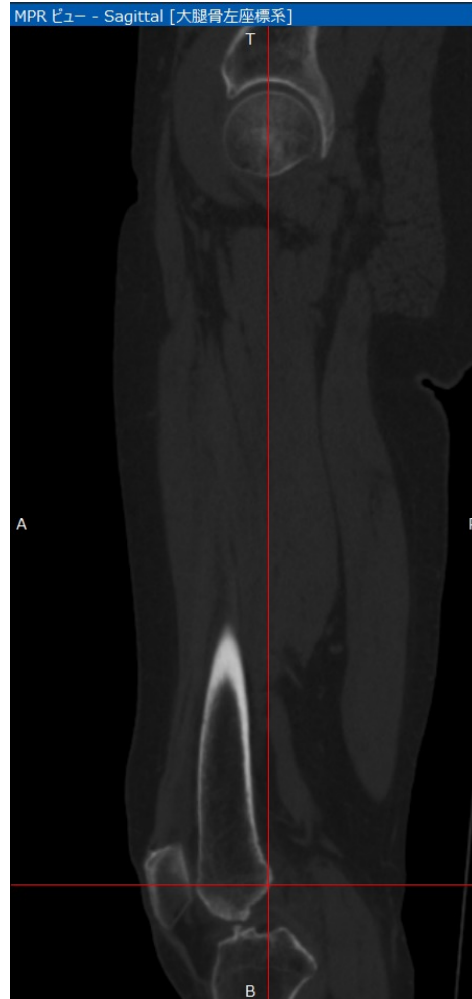
座標系による軸の違い

大腿骨

ISB座標系

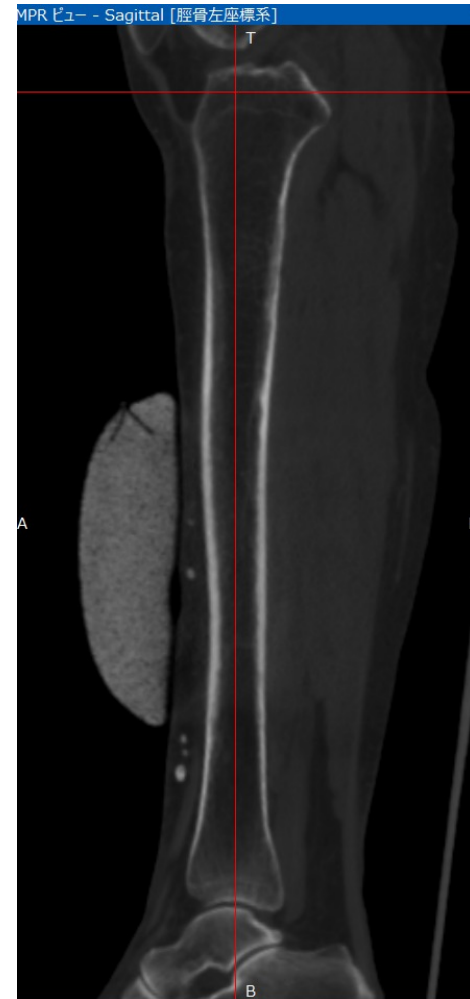


後顆球近似座標系

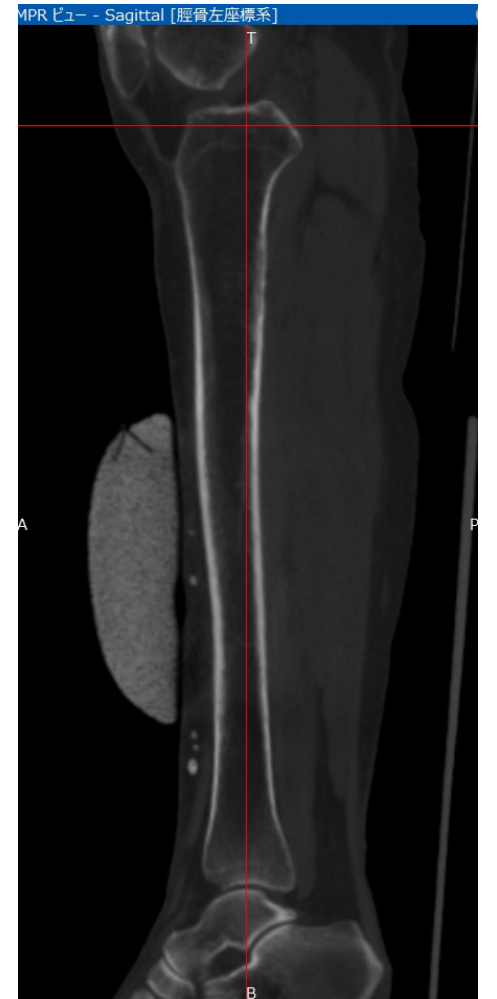


脛骨

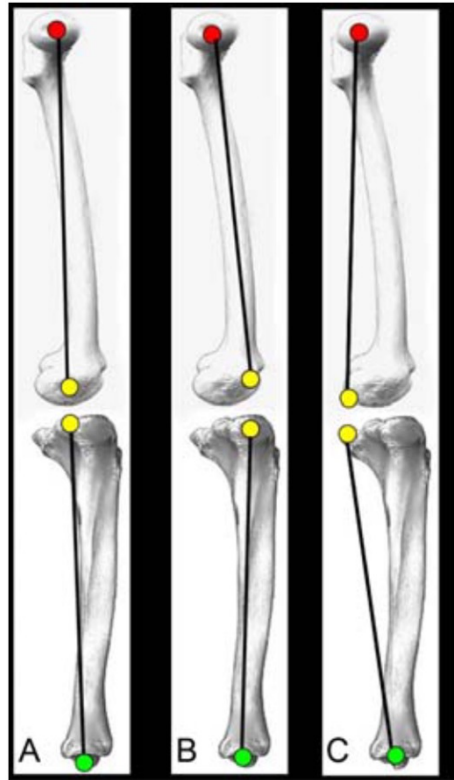
骨軸座標系



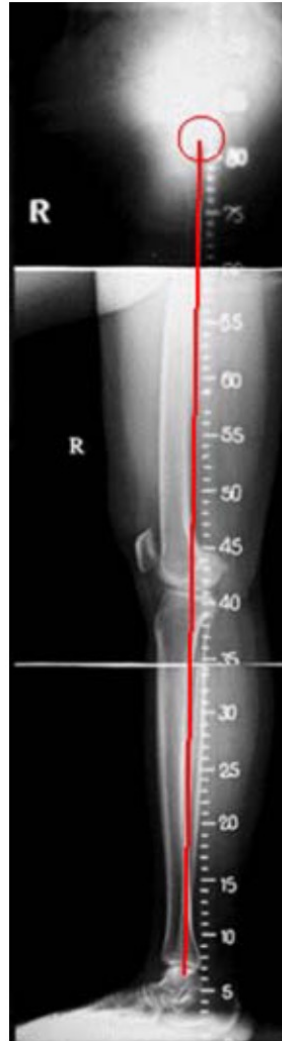
遠近軸座標系



矢状面における膝関節中心



膝関節中心の設定によって
膝関節の伸展・屈曲角度が
過小/過大評価される



- 大腿骨頭中心と距骨ドームの再近位点を結ぶ「矢状面での下肢機能軸」が膝関節を通過する点に基づいて「膝関節中心」を検討



大腿骨側

a/A は平均13% (0-22%)

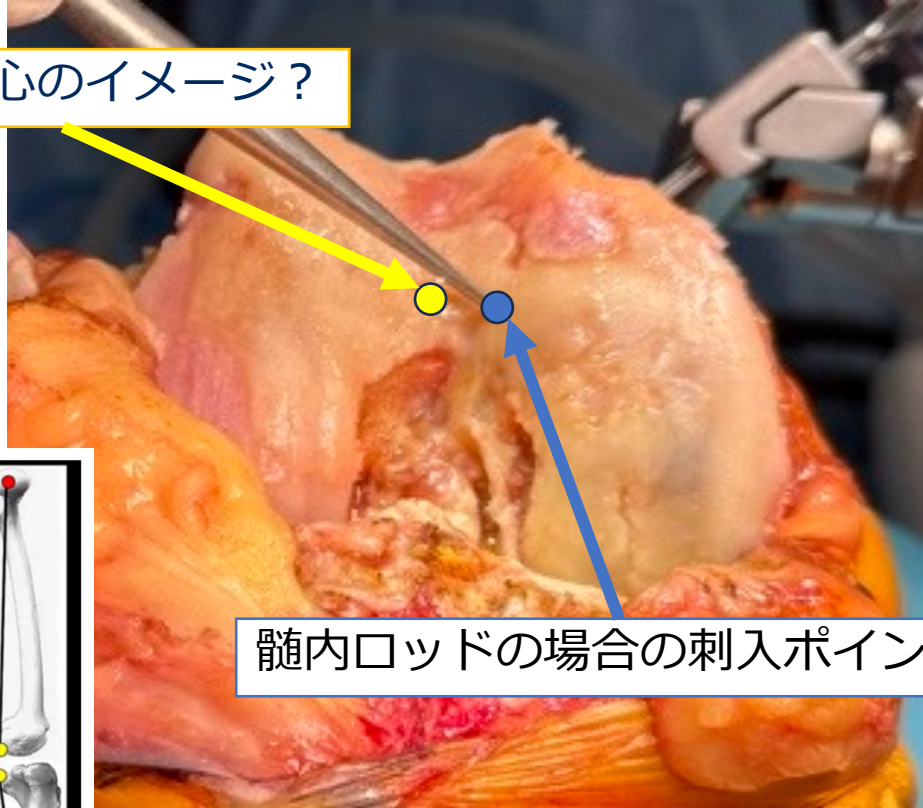
78%はBlumensaat線前縁より後方

脛骨側

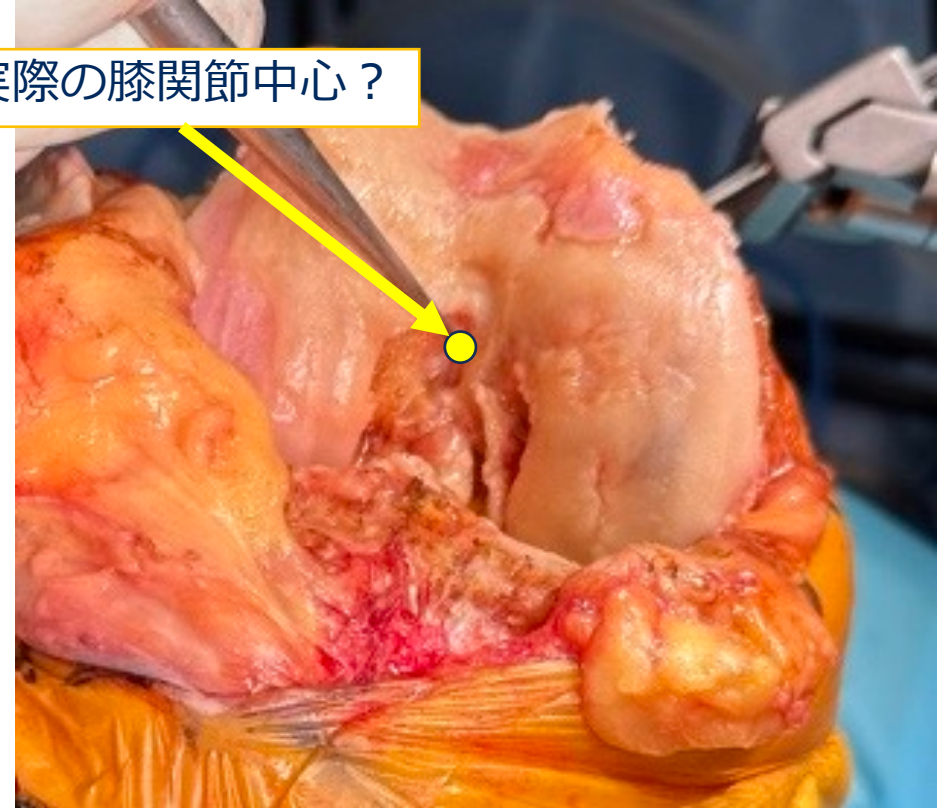
b/B は平均45% (42-47%)

術前計画と実際の手術の誤差

膝関節中心のイメージ？

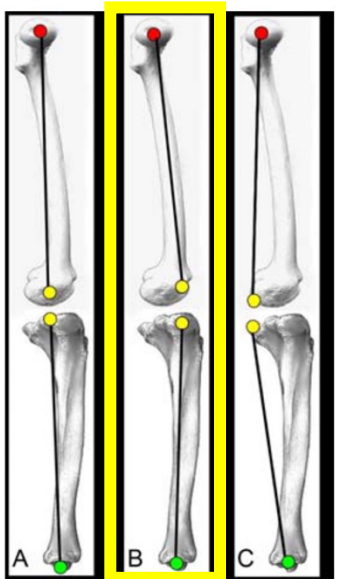


実際の膝関節中心？

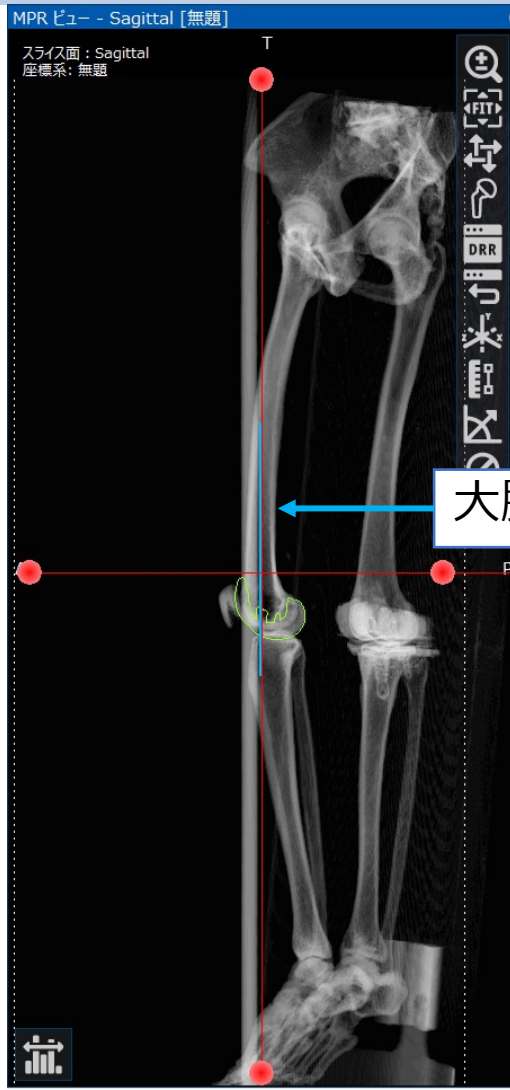


髓内ロッドの場合の刺入ポイント

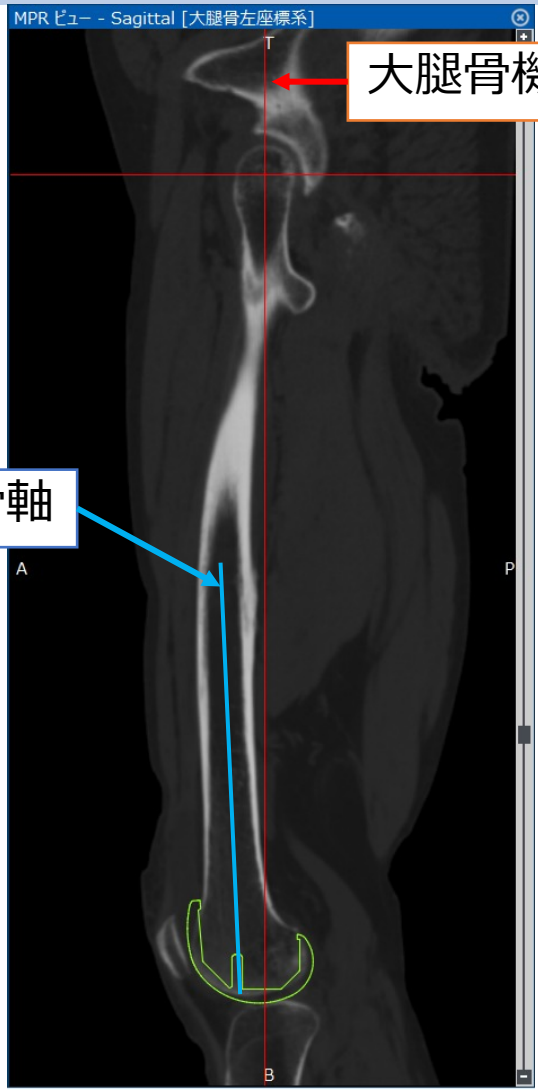
膝関節中心を実際よりも前方にレジストレーションすることで術中にロボットで計測する膝伸展角度が実測よりも少なくなる



大腿骨軸と機能軸の違い



大腿骨遠位骨軸



大腿骨機能軸 (Z軸)

アラインメントパラメータ

	表示
大腿骨顆部捻れ角	10.18 °
TEA-WL角	90.79 °
TEA-WL(内外)角	外旋 0.79 °
TEA-MA角	内反 1.40 °

大腿骨コンポーネントパラメータ

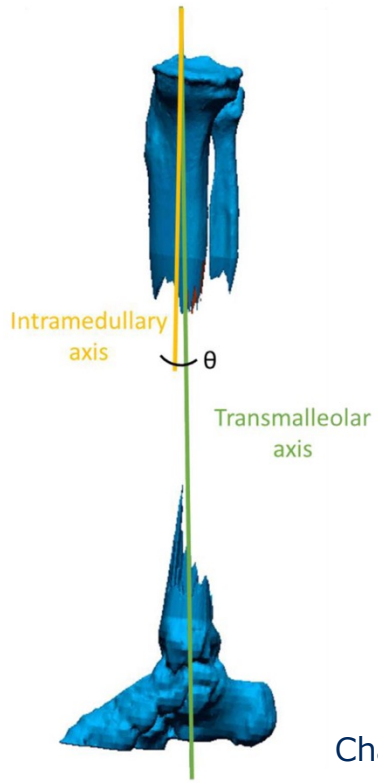
	表示
内外反(3D機能軸)	外反 0.50 °
屈曲伸展(3D機能軸)	0.00 °
内外反(遠位骨軸)	外反 5.06 °
屈曲伸展(遠位骨軸)	伸展 3.94 °
回旋(TEA)	内旋 7.00 °
内外反(TEA/FC回転軸)	*****
回旋(PCA)	外旋 3.18 °
遠位内側骨切り量	7.82 mm
遠位外側骨切り量	4.98 mm
内側後顆骨切り量	9.48 mm
外側後顆骨切り量	7.13 mm
3次元距離(TEA/FC回転軸)	*****

Navigation、Roboticsにおける誤差

Proceedings of The Knee Society 2021

Posterior Tibial Slope in Computer-Navigated Total Knee Arthroplasty: The Transmalleolar Sagittal Axis Underestimates Slope Compared to Traditional Intramedullary Axis

Brian P. Chalmers, MD ^{a,*}, Fernando Quevedo-Gonzalez, PhD ^b, Elizabeth B. Gausden, MD ^a, Seth A. Jerabek, MD ^a, Steven B. Haas, MD ^a, Michael P. Ast, MD ^a



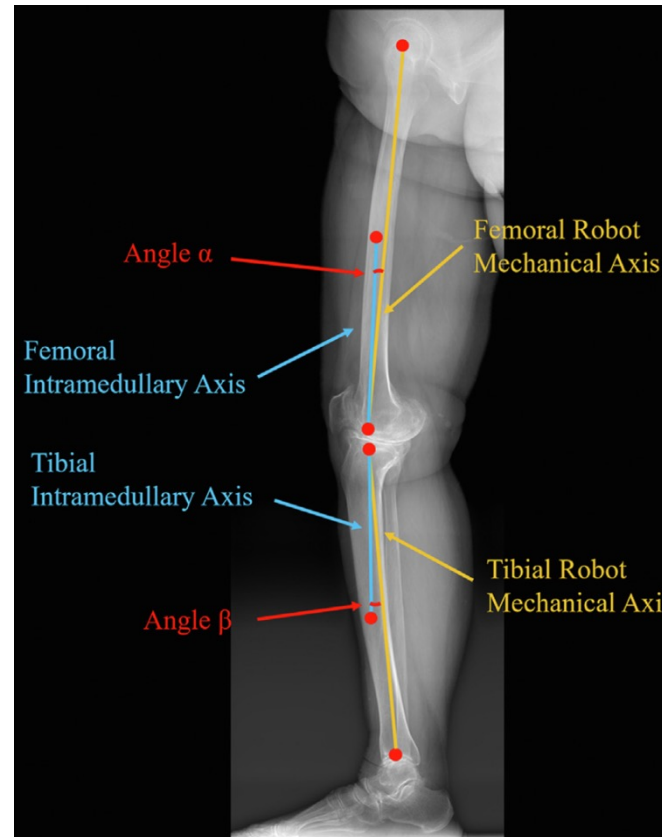
ナビゲーションTKAにおいては髄内ロッド法と比較して脛骨後傾が少なくなりやすい

Chalmers et al. *J Arthroplasty*, 2021

Primary Knee

Discrepancies in Sagittal Alignment of the Lower Extremity Among Different Brands of Robotic Total Knee Arthroplasty Systems

Hao-Ming An, BS ^{a,b,c,1}, Jia-Xin Wen, BS ^{a,b,c,1}, Wang Gu, MM ^a, Ji-Ying Chen, MD ^a, Wei Chai, MD ^{a,*}, Rui Li, MD ^{a,d,*}



ロボット支援TKAのシステムによって脛骨側の矢状面における軸の定義異なる

髄内ロッド法と比較すると約2°
 大腿骨側：伸展設置になりがち
 脛骨側：後傾が少なくなりがち

An et al. *J Arthroplasty*, 2024



Take-home message

術前計画どおりに手術を行うために

- ✓ 術前計画における目標値が算出されている定義・参照点を認識
- ✓ 術前計画を再現するように術中参照点を設定、術中に正確に評価する

計画と実際の手術の間に**誤差**を生むピットフォールに注意
自分の感覚を含む様々な指標を用いて確認する

ご清聴ありがとうございました



<お問い合わせ先>

◆ 株式会社東陽テクニカ メディカル・ソリューション部

[TEL] 03-3279-0771

[Email] medical@toyo.co.jp

[URL] <https://www.toyo.co.jp/medical/>