

動画で学ぶ

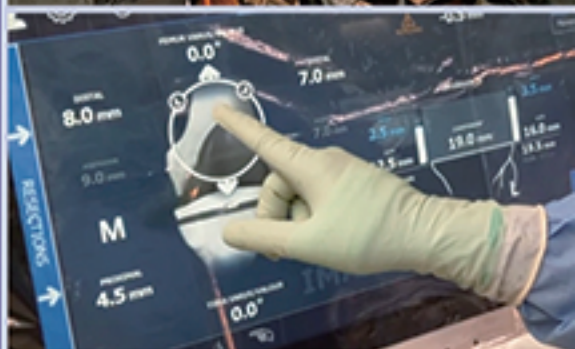
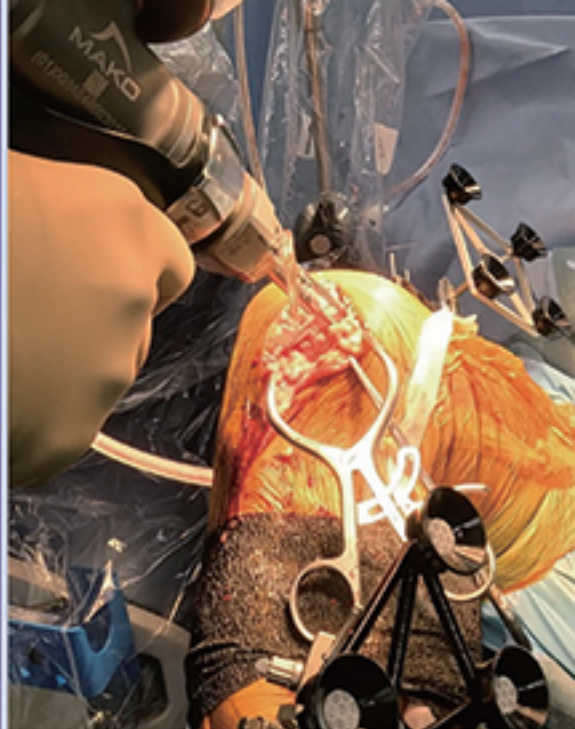
患者さん満足度向上のための

TKA

Total Knee Arthroplasty

UKA

Unicompartmental Knee Arthroplasty



インプラント&ロボット機種別 最新手技

編著

西池 修

釧路三慈会病院 副院長, 内視鏡・人工関節センター センター長

桑沢綾乃

埼玉協同病院 整形外科 部長, 関節治療センター 副センター長



3 冠状面アライメントと靱帯バランス

生来constitutional varusを持つ患者が内反OAに至った場合にMA指標でTKAを行うことは、相対的に外反位となるため術後に不自然さを感じるのではないか、ということがconstitutional varus再現の根拠である。また、脛骨インプラントを内側に傾け、内側骨切り量が増加するKAのほうが、外側より内側支持機構がタイトな内反OA膝にとって術中内外側靱帯バランスをとりやすいのでは、という考えもある。

しかしOkazakiら⁸⁾は、日本人正常膝において内側支持機構と比べ外側支持機構は約2.5mmゆるいと報告している。Okamotoら⁹⁾も、高度内反膝において内側支持機構は内側の骨棘を切除することで正常に近い緊張となるが、外側支持機構は内反の程度に応じて弛緩していると報告している。よって、内外側靱帯バランスがイコールになることは古くよりTKAの目標ではあるが、イコールにした場合は内側靱帯剥離か、予定より多くの内側骨切除が行われ、内側支持機構が少しゆるんでいることを意味する(図3)。

靱帯インバランスへの対処

高度内反OA膝では、立位や運動時に内反方向に動的なモーメントが加わり、外側支持機構は伸長して緊張させることで関節を安定化している(図1)。この靱帯インバランスに対し術中どのように対処するか、MAとKAではアプローチが異なる。MAでは外側弛緩性残存を許容する方法をとり、KAは内外側支持機構の緊張を均等にする方法をとる(図1)。

ここで術中静的な状態で内外側靱帯バランスがとれていても、術後ダイナミックな条件では2,000N以上の大きな荷重が加わるため静的な状態とは異なることに留意する¹⁰⁾。

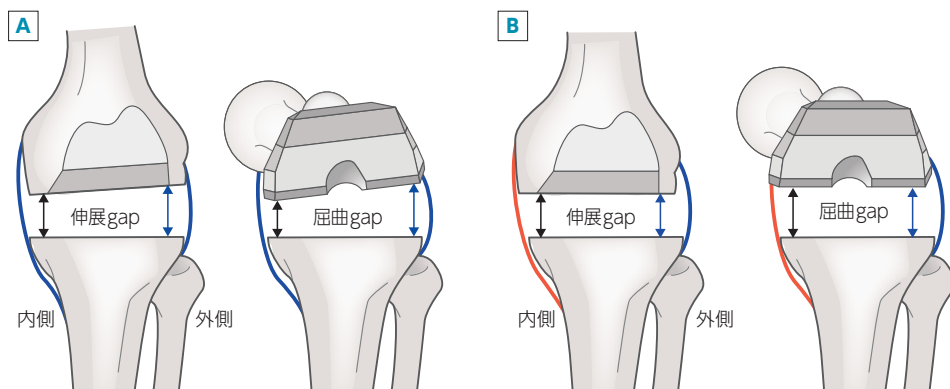


図3 生理的な内外側靱帯バランスと従来TKAの目標とされてきた内外側イコールバランス

A:生理的なバランス(外側>内側)

B:内側を外側にそろえたバランス(内側剥離 or 内側過剰骨切除→内側のゆるみを示唆)

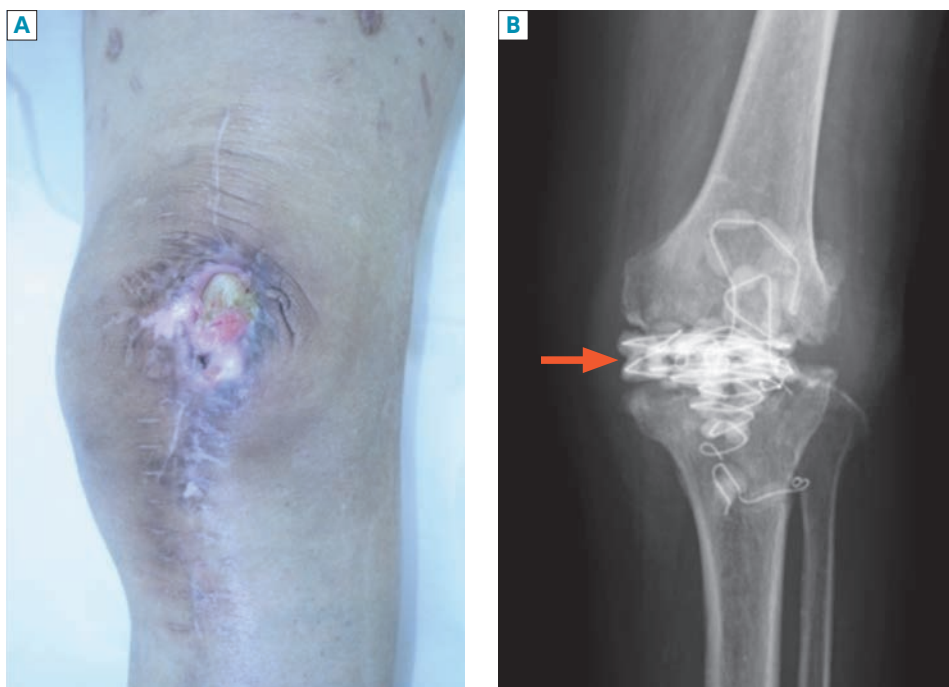


図2 関節内に交通する瘻孔 (A) とセメントビーズの留置 (B, 矢印)

治療	人工関節および人工靱帯を抜去後、洗浄・デブリドマンを行い、抗菌薬含有セメントビーズ (VCM 3g/セメント40g) を留置 (図2B)。術後ニーブレース固定を併用した。感染症専門医と連携し、血中濃度を測定し全身状態を注意深く観察しながら、リネゾリド (linezolid; LZD) 1,200mg/日静脈内投与およびRFP 450mg/日内服を術後9週間 (CRP陰転化後6週間) 継続した。4週間の休薬後、局所の感染徴候再燃がないこと、複数回の関節液培養が陰性であることを確認し、revision TKA (VCM 2g/セメント40g) および対側半腱様筋腱による膝蓋腱補強術を行った。
経過	術後3年現在、ROM 10°~115°、感染徴候の再燃は認めなかったが、その後膀胱癌のため直接検診不能となった。

5 まとめ

TKAにおいてPJIは重篤で難治性の合併症ではあるが、適切な時期に適切な治療を行うことで膝関節機能の回復が可能である。そのために、まずは早期発見が大切であり、患者教育を徹底するとともに長期にわたる定期的な経過観察が不可欠である。

4 わが国における人工関節手術支援ロボット

承認・上市時期

手術支援ロボットは“医薬品，医療機器等の品質，有効性及び安全性の確保等に関する法律”（通称；薬機法）の承認を経て臨床利用される。人工関節手術の手術支援ロボットとして最初にわが国で薬機法承認されたのは，2017年10月にTHAでの使用が許可されたMako[®] Total Hip (Stryker社)であり，2019年6月に保険収載され使用が本格化した。TKAで最初に承認されたのは2018年12月のNAVIO[™] (Smith&Nephew社)であり，2019年からTKA/UKAで使用が本格化した（表1，2）。手技別に見ると2025年現在，THAでは2機種，TKAでは6機種，UKAでは4機種が使用可能である。

本体価格・必要経費の比較

本体価格は行う手術手技（TKA/UKA/THAなど）に応じ，追加のソフトウェア・専用部品の買い足しにより異なる。各機種とも，基本セットには本体と滅菌で使用するパーツ（赤外線アレイ・プローブ・ハンドピースなど）は2セット付属している。

高額な本体価格に加え，毎年かかるメンテナンス料，さらに手術ごとに必要な消耗品の

表1 わが国における人工関節手術支援ロボット6機種（2025年3月現在）

	Mako [®]	CORI [◇]	ROSA [®]	VELYST [™]	SkyWalker [®]	CUVIS-joint [®]
						
販売会社	Stryker	Smith&Nephew	Zimmer-Biomet	DePuy	MicroPort	京セラ
種類	semi-active	semi-active	passive	semi-active	passive	active
本邦承認	2017年 THA 2019年 TKA 2021年 UKA	2021年 TKA 2021年 UKA	2020年 TKA 2021年 UKA (PKA) 2022年 THA	2022年 TKA	2024年 TKA	2025年 TKA 2025年 UKA
重量	532kg (本体 394kg)	約72kg	約500kg (本体 約320kg)	192kg	約440kg (本体 約240kg)	310kg (本体 232kg)
ロボットアーム	あり	なし	あり	あり	あり	あり
骨切除方法	TKA:ボーンソー/パー UKA:パー	TKA/UKA:パー or カッティングガイド設置	TKA/UKA: カッティングガイド設置	ボーンソー	カッティングガイド設置	TKA/UKA:パー

前方処置

大腿骨前方のノッチ(切り込み)を避け、大腿骨前後サイズ計測の精度を向上させるため、大腿骨近位前面の滑膜組織および脂肪組織を骨膜下で切除し、さらに同部位の骨棘も切除する。

膝蓋骨周囲および大腿四頭筋腱後面の余剰軟部組織は、patellar clunk syndromeの予防のために切除する。また、深屈曲時に脛骨インサートとインピンジしないよう、膝蓋下脂肪体は関節面側を中心に垂全摘する。

顆間部郭清

顆間部の骨棘を切除し、ACLおよびPCLを大腿骨・脛骨の付着部から切除して、顆間部を郭清する。

大腿骨遠位骨切り

術前計画で計測した大腿骨外反角に基づき骨切りを行う。髓内ガイドを基準に骨切りし、骨切り量は原則としてインプラントの厚みと同じとする。

髓内ロッドの挿入部位が大腿骨骨軸の延長線上に正確に位置するよう、内外側および前後の位置に注意を払う。切除した大腿骨内外側顆の厚みをノギスで計測し、術前計画通りの骨切り量であることを確認する。

屈曲拘縮が強い症例(約15°以上)では、大腿骨遠位をあらかじめ2mm多く切除し、伸展gapを確保してもよい。筆者らはサルカスカットを基準とし、骨切り面の内外側がちょうど重なる「bird kissing sign」を最適な骨切り面形状と考えている(図7)。

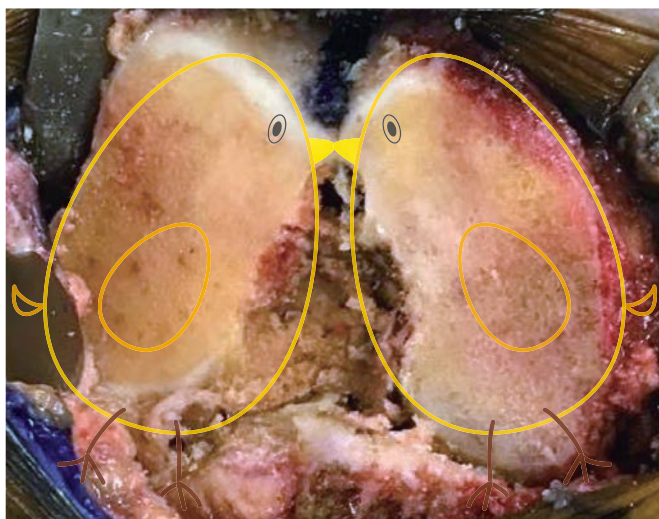


図7 bird kissing sign

サルカスカットを基準とし、骨切り面の内外側が重なるbird kissing signを最適な骨切り面形状としている。

脛骨側の設置コンセプト

MP型TKAでは内側のball-in-socket機能を最大限発揮させるために、大腿骨側のjoint lineと膝関節屈伸軸を手術によって再現することが望ましい。そこで脛骨インプラント設置に際しては、伸展位において大腿骨内側遠位の生理的joint lineが温存され、かつ正しい冠状面アライメントと骨棘切除による適切な内側軟部組織テンションが獲得された状態において、脛骨側インプラントが挿入可能なレベルでの骨切りを行う(図2)。つまり、伸展位において大腿骨側で決定したjoint lineに依存して脛骨側のjoint lineを決定することになる。この方法ではPCLを切除した場合、屈曲gapが伸展gapより大きくなりやすく、その場合屈曲位での弛緩性が生じるが、極端でなければ本機種の場合は深屈曲獲得の見地からむしろ望ましいgapパターンと言える。

膝蓋骨置換

MP型TKAを用いた臨床研究では膝蓋骨を置換している報告が多い^{1~3, 7, 26)}。また、ナショナルレジストリーデータ⁶⁾ではMP型TKAにおいて膝蓋骨置換例に比して非置換例でインプラント累積再置換率が有意に高く、また一般的な低拘束性インプラントと比較すると膝蓋骨置換例では再置換率に有意差を認めないが、非置換例ではMP型TKAの再置換率が有意に高いと報告されている。ナショナルレジストリーデータの場合、膝蓋骨置

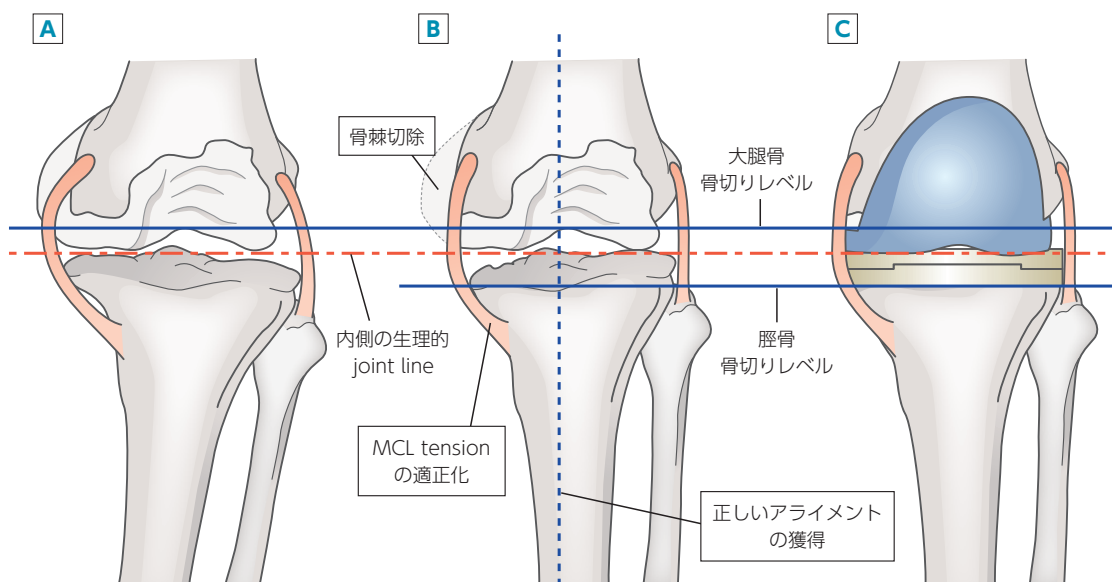


図2 伸展gap作成法

- A: 大腿骨内側側の生理的 joint line (赤破線) を温存する骨切りレベルの決定
 B: 骨棘切除とアライメント矯正によって適切な内側軟部組織テンションを獲得した状態での脛骨骨切りレベル決定
 C: Bの状態を維持したインプラント設置

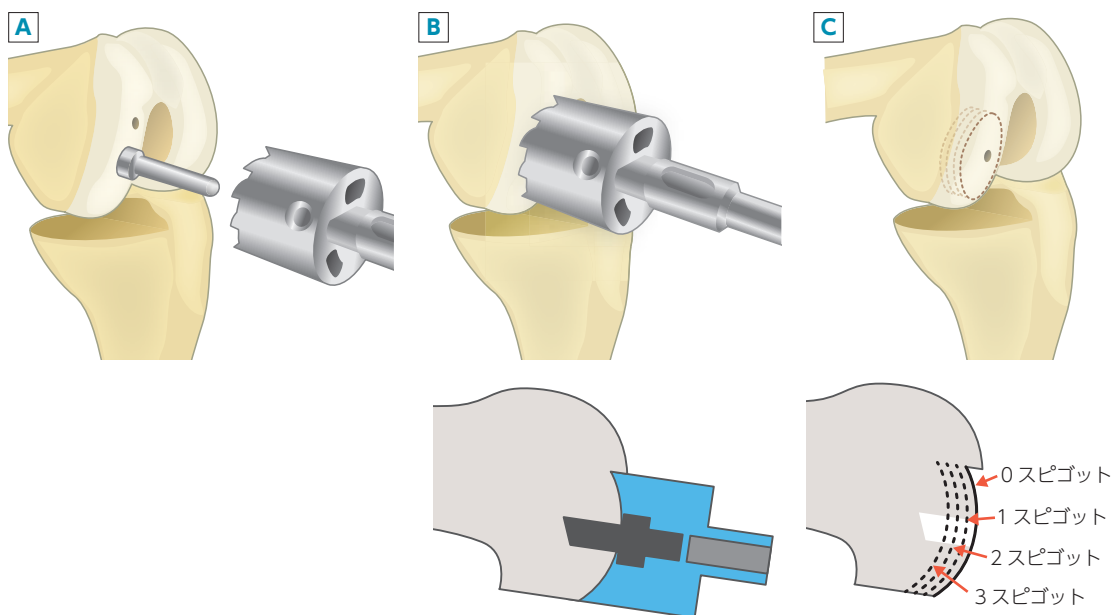


図 12 伸展gapの調整

A: カッターをスピゴットへ誘導する。

B: 0スピゴットでのミリング (基準面の作成)

C: スピゴットの数mm分だけ0スピゴットでの基準面から掘削される (= 伸展gapが広くなる)。

(文献 3, 4 をもとに作成)

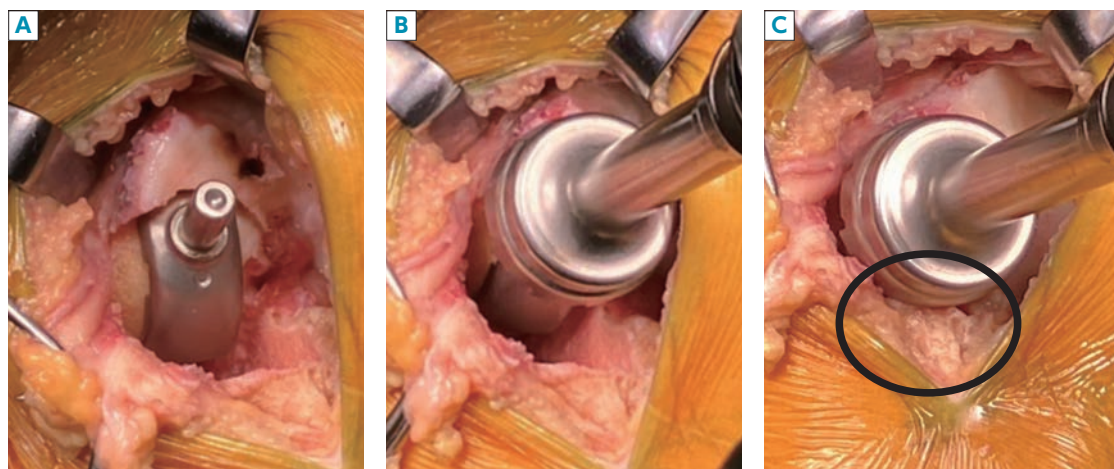


図 13 アンチインピンジメントガイド使用のポイント

A: ガイド設置

B: 適切な前方ミリング。周囲組織を損傷しないよう軟部組織の保護、膝屈曲角度調整を行う。

C: 不適切な前方ミリング。脛骨に干渉している (黒丸囲み)。

脛骨の仕上げ

脛骨トライアル(キールなし)にて前後方・内側に過度なオーバーハング、アンダーハングがないことを確認し、固定ピンで固定する。この際、Tハンドルは後方の骨皮質にかけて脛骨トライアルをしっかり前方に引っ張りつつ、外側を顆間隆起に押しつけておかないと、固定ピン刺入時に脛骨トライアルがずれてしまうので注意が必要である。

固定ピンを助手にしっかり把持してもらい、キール作成用骨鋸を用いてキールを作成する。骨折予防や正確なキール作成のため、骨鋸を下方に押しつけて前方を削ったあと、いったん引き上げて少し後方を同様に削っていく、いわゆるドルフィンテクニックを用いるとよい(図14)⁵⁾。

なお、脛骨サイズAAでは骨鋸と固定ピンが干渉してしまうため、助手は特にしっかりと固定ピンを把持しておく必要がある。骨鋸使用后、ティビアルガウジを用いて溝の中の余剰骨を除去するが、後方の余剰骨は後方皮質を穿破しないよう慎重に手前にかき出すようにする。

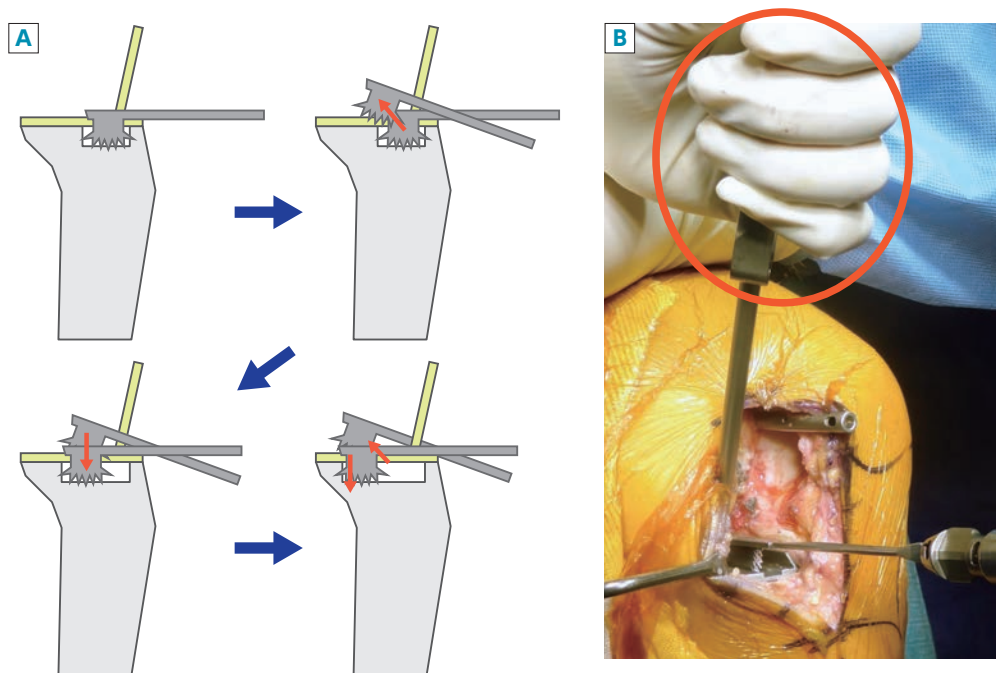


図14 ドルフィンテクニック

A: 骨鋸を下方に押しつけて前方を削ったあと、いったん引き上げてから少し後方を同様に削っていく。

B: 固定ピンは助手が不慣れな場合は術者が把持したほうがよい(赤丸囲み)。

(文献5をもとに作成)

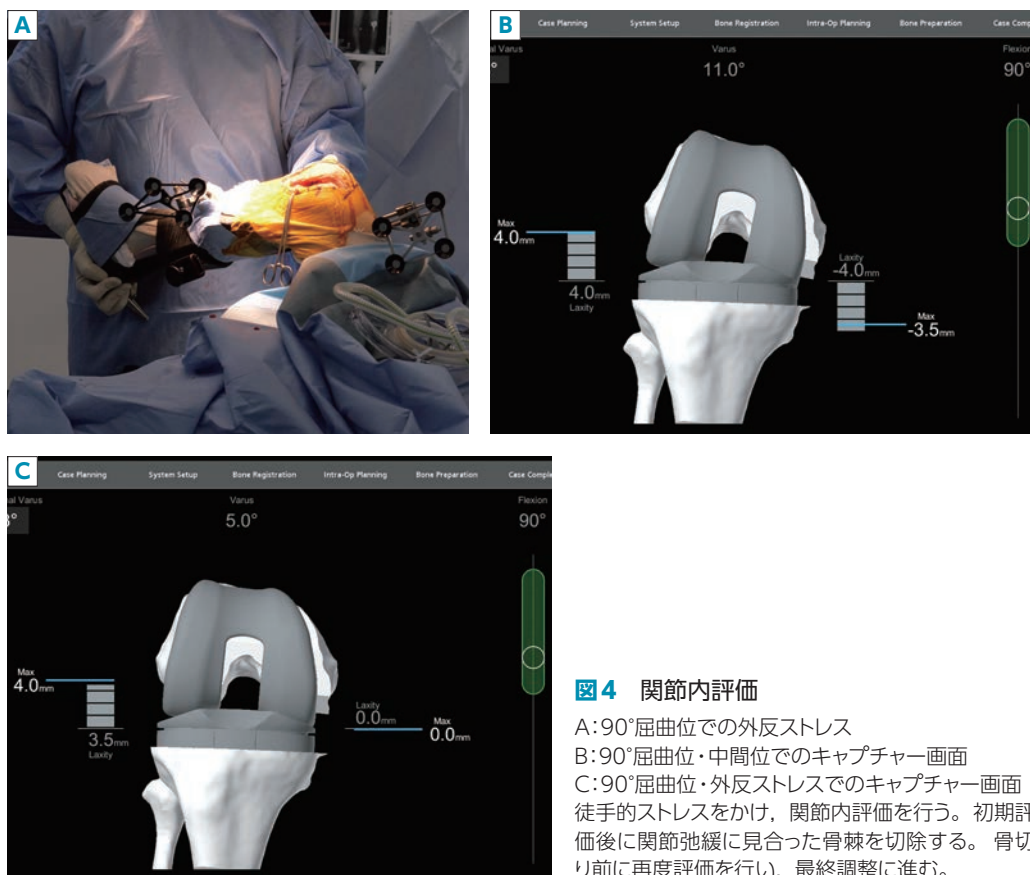


図4 関節内評価

A: 90°屈曲位での外反ストレス
 B: 90°屈曲位・中間位でのキャプチャー画面
 C: 90°屈曲位・外反ストレスでのキャプチャー画面
 徒手のストレスをかけ、関節内評価を行う。初期評価後に関節弛緩に見合った骨棘を切除する。骨切り前に再度評価を行い、最終調整に進む。

術前計画の調整 (図5)

インプラントプランニング画面で骨切り量、アライメント、インプラントサイズを最適化。アライメントや大腿脛骨関節内外側gap量を確認しながら、骨切り量、角度、インプラントサイズや設置位置など、多様な修正を加えることができる。計画修正中に、大腿骨側ノッチ形成やPCOの維持、骨欠損などの問題も視認でき、術者が指定した限度を超えて計画が変化した場合にはアラート表示が確認できる。

ロボティックアーム支援骨切りワークフロー

ロボティックアームを手術台に近づけ、ソーブレードで計画通りに骨切りを実施。動画4-1-1では脛骨近位→大腿骨後顆→大腿骨前方→大腿骨前方シャンファー→大腿骨後方シャンファー→大腿骨遠位と骨切りが進む。骨切りを行う順序は、執刀医ごとにカスタマイズできる。

追加骨切りが必要であれば、再度インプラントプランニング画面で計画修正を行い、ロボティックアームを操作する。ソーブレードは2mmの厚さがあり、たわんだり、硬化し

コンポーネント設置位置の決定 (プランニング)

UKAでは4つの靱帯が温存されているため、基本的には本来の関節面形状に合わせた表面置換をめざす。そこでプランニング画面では、まず描出された関節面形状に合わせるようにコンポーネントの設置位置を調整する。しかし描出された関節面形状は、欠損した軟骨の形状をとらえていることを考慮する必要がある。真に本来の関節面形状の再現をめざす場合は、軟骨欠損部の状態をよく観察し、欠損している部位では軟骨の厚み分オーバーハングするように設置位置を微調整する(図7)。

設置位置を仮確定したら、gapシミュレーション画面を確認し、全可動域でのgapと設置位置の微調整を行い、最終的なコンポーネント設置位置を決定する。

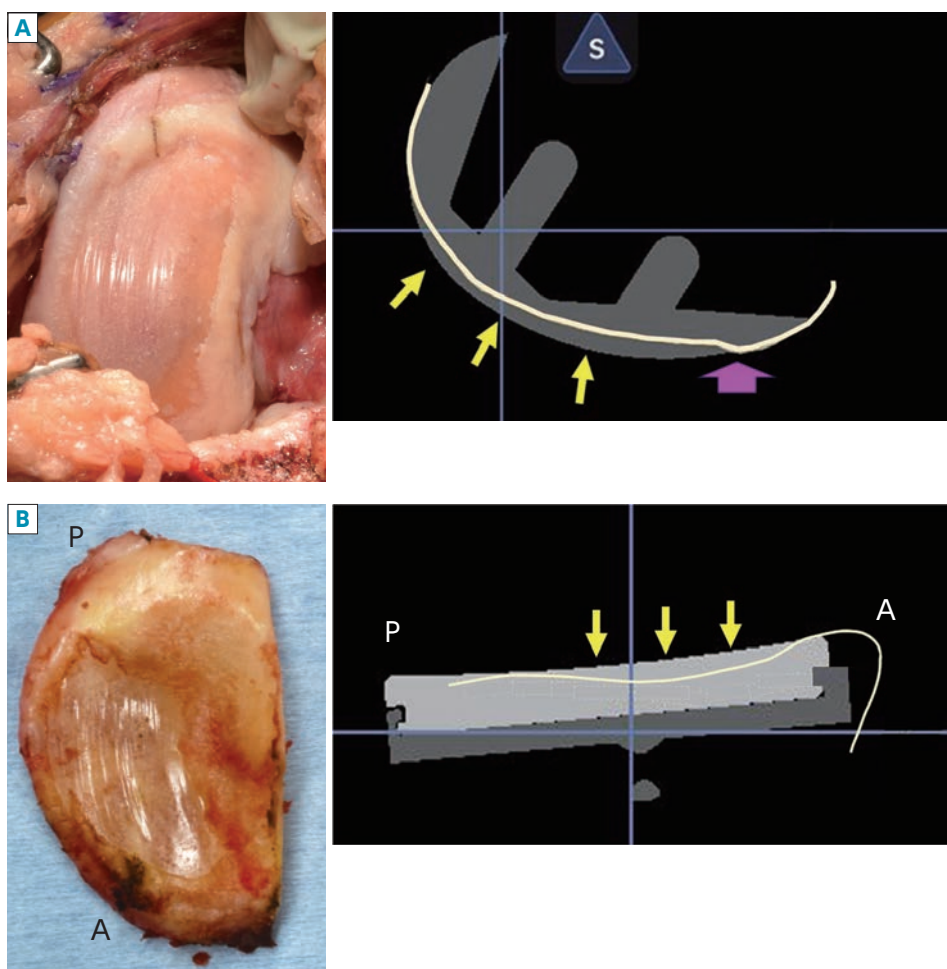


図7 軟骨欠損部を加味したコンポーネント設置

A: 大腿骨側 (左/実際の関節面, 右/作図画像)

B: 脛骨側 (左/実際の関節面, 右/作図画像)

黄矢印: 欠損部よりオーバーハングに設置, ピンク矢印: 正常軟骨面の高さとも一致させた部位