

ロボティックアームを使用した人工膝関節置換術

2023年1月26日

※本コンテンツは、医師の方を対象とし、当医療機関についての理解を深めていただけるよう作成しているものであり、一般の方を対象とする宣伝・広告等を目的としたものではありません。

お読みいただきありがとうございます。

NTT 東日本関東病院 整形外科の高木 健太郎（たかぎ けんたろう）と申します。

今回は、ロボティックアームを使用した人工膝関節置換術についてご紹介いたします。

人工膝関節全置換術（TKA）は 2000 年代の整形外科領域における最も成功した手術のひとつと言われており、現在の国内での手術件数は年間約 10 万件にのぼります。

超高齢化社会に伴い、今後ますます手術件数が増加すると予想されています。



高木 健太郎
整形外科

TKA は一般的に広く普及した手術であり多くの施設で行われていますが、その一方で不適切な手術手技に起因する様々な術後早期・晚期合併症も報告されています。

それらの合併症を回避しつつ、より良好な術後成績の獲得が期待できるのが今回ご紹介する **Robotic-Arm Assisted TKA** です。



より良好な人工膝関節置換術の術後成績を獲得するために

人工膝関節置換術において特に重要なのが、正確な骨切りと適切な軟部組織バランスの獲得です。

従来では骨切りガイドを用いながら術者が目で見えて判断をして骨切り角度や骨切り量を決定し、その上で術者の手に持ったボーンソーによる骨切りが行われてきました。

これまでの人工膝関節置換術における「一般的な」課題

	重要ポイント① 正確な骨切り	重要ポイント② 適切な軟部組織バランスの獲得
従来方法	<ul style="list-style-type: none"> 骨切りガイドを用いて目視判断で骨切り角度や骨切り量を決定 徒手のなボーンソーによる骨切り 	<ul style="list-style-type: none"> 術者の徒手的な感覚で判断
一般的な課題	<ul style="list-style-type: none"> 骨切りガイドの設置精度 ボーンソーの刃がしなることなどによる cutting errorが生じる 	<ul style="list-style-type: none"> 正確性や再現性

正確な骨切りや適切な軟部組織バランスの獲得ができないと、インプラント耐久性の低下や術後早期からの膝関節不安定性の出現により早期の再置換術を要する症例も存在する。

当院はこれまで豊富な医師体制と症例経験により、正確性・再現性を高めてきた

豊富な医師体制

						
院長	部長 脊椎・脊髄病 センター長	部長 スポーツ整形外科	医療DX推進室長 整形外科医師	医長 人工関節 センター長	医長 脊椎・脊髄 センター	医長
大江 隆史	山田 高嗣	武田 秀樹	森崎 裕	大嶋 浩文	大科 将人	高本 康史
■得意分野 整形外科全般 手外科	■得意分野 整形外科全般 脊椎外科	■得意分野 膝・足	■得意分野 整形外科全般 手外科	■得意分野 整形外科全般 股関節外科 人工関節	■得意分野 整形外科全般 脊椎内視鏡手術 頸椎疾患 腰椎疾患	■得意分野 整形外科全般 手外科
						
スポーツ整形外科 人工関節センター	スポーツ整形外科 人工関節センター	人工関節センター		脊椎・脊髄病 センター		
柴山 一洋	高木 健太郎	新井 規暁	石川 由規	宮本 庸平	坂田 聡大	
■得意分野 肩・肘関節 スポーツ	■得意分野 整形外科全般 膝関節 スポーツ	■得意分野 整形外科一般	■得意分野 整形外科一般	■得意分野 整形外科一般	■得意分野 整形外科一般	

近年、それらの問題を解決すべく Computer Assisted Surgery の技術が開発されてきましたが、その最先端の技術が Robotic-Arm Assisted Surgery です。

当院では Robotic-Arm Assisted TKA の代表格である Stryker 社製の Mako[®]システム (Mako) を導入し、ほぼ全例で Mako を用いて TKA を行っています。

Mako を使用することにより、CT 画像による綿密な術前計画を行い、それを基に患者個々の膝の状態に合わせて術中に軟部組織バランスを調整しつつ、きわめて正確かつ安全な骨切りを達成することが可能になりました。

術前に CT を撮像し、手術計画を行う

術前に Mako 専用の方法で CT を撮像します。

撮像範囲は股関節から足関節までですが、骨幹部レベルは省略するなどにより必要最小限の被爆になるよう配慮されています。

撮像された CT 上で、大腿骨・脛骨の骨性ランドマークを同定し、coronal 面・axial 面・sagittal 面それぞれで骨切り量・骨切り角度をあらかじめ設定しておきます。

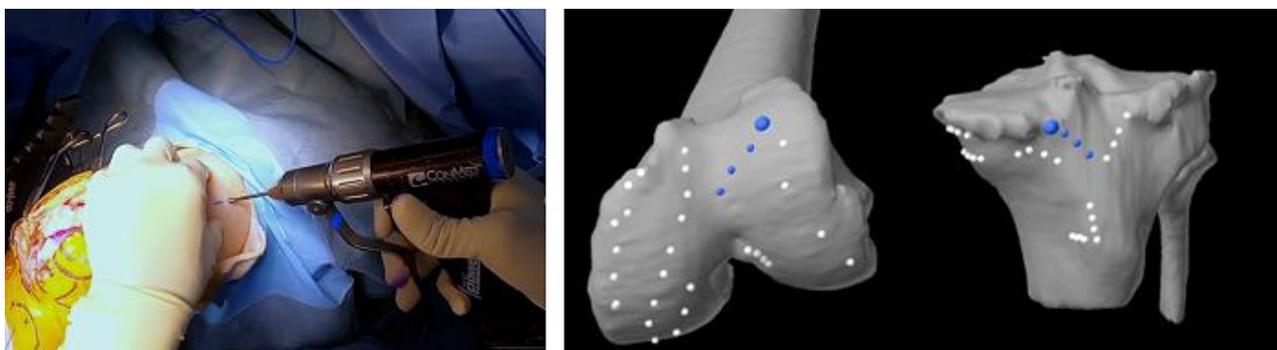
同時にインプラントサイズの予想も可能です。



術中の Mako セッティング

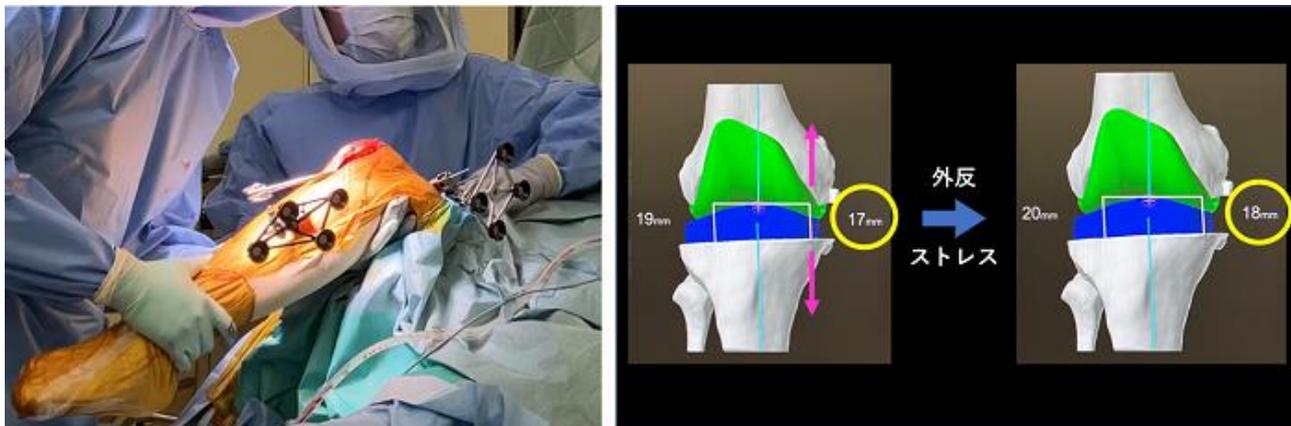
麻酔方法・手術体位・術野の展開は通常の手術と同様です。

大腿骨・脛骨に径 3.2mm のピンを 2 本ずつ打ち、膝関節表面を大腿骨・脛骨それぞれ 40 ポイントずつレジストレーションすることにより Mako が膝関節の骨形態を認識します。



術中軟部組織評価

膝関節に内反・外反ストレスをかけて、伸展位・屈曲位での膝内側・外側それぞれの軟部組織のテンションを数値化して評価します。

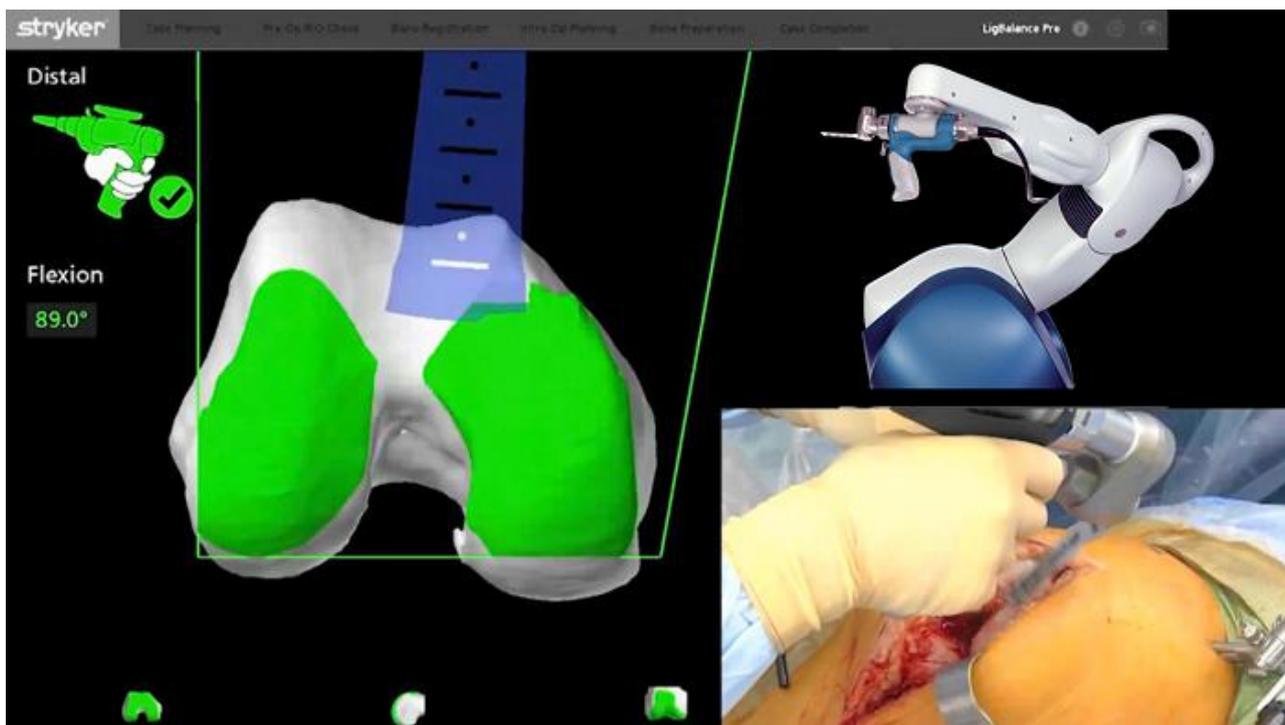


その数値を基に、適切な軟部組織バランスになるよう術前計画で設定した骨切り量・骨切り角度を調整していきます。骨切り量は 0.5mm 単位、骨切り角度は 0.1°単位で微調整が可能です。

また、近年では TKA での下肢アライメントには様々な考え方が登場していますが、患者個々の膝の状態に合わせて骨切り角度や軟部組織バランスを調整し、術者の philosophy に沿った下肢アライメントを決定することも可能です。

Robotic-arm により正確な骨切り・周囲軟部組織の保護が可能に

調整した計画通りに、Mako 用のポーンソーを用いて骨切りを行っていきます。



ボーンソーは Robotic-arm に制御されているので、ボーンソーの振動による手ブレやボーンソーの刃のしなりによる cutting error がほぼ生じないため、**きわめて正確に骨切りを行うことが可能です。**

また、通常では骨切りガイドを設置して骨切りを行います。Mako では骨切りガイドの設置は不要であり骨の direct cut が可能です。骨切りガイドを設置するための余分な術野の展開が不要なため、**周囲軟部組織への侵襲は最低限で済みます。**

さらに、boundary area と呼ばれる緑線の枠を超えてボーンソーを進めることはできないので、**予期せぬ周囲軟部組織の損傷を生じる危険性はありません。**特に、TKA の術中合併症のうち最も重篤な合併症である膝窩動静脈損傷や腓骨神経損傷の危険性を回避でき、**きわめて安全に骨切りを行うことができるのも大きなメリットです。**

	重要ポイント① 正確な骨切り	重要ポイント② 適切な軟部組織バランスの獲得
従来方法	<ul style="list-style-type: none"> 骨切りガイドを用いて目視判断で骨切り角度や骨切り量を決定 徒手的なボーンソーによる骨切り 	<ul style="list-style-type: none"> 術者の徒手的な感覚で判断
一般的な課題	<ul style="list-style-type: none"> 骨切りガイドの設置精度 ボーンソーの刃がしなることなどによる cutting error が生じうる 	<ul style="list-style-type: none"> 正確性や再現性
Makoの場合	<ul style="list-style-type: none"> Robotic-arm によるボーンソーの制御によって cutting error がほぼ生じないため、きわめて正確に骨切りを行うことが可能 骨切りガイドが設置不要で direct cut が可能なため余分な術野展開が不要 <ul style="list-style-type: none"> 周囲軟部組織への侵襲が最低限に 膝窩動静脈損傷や腓骨神経損傷などの予期せぬ周囲軟部組織の損傷の危険性を回避できる 	<ul style="list-style-type: none"> 軟部組織のテンションを数値化して評価できる <ul style="list-style-type: none"> 正確性・再現性が高い軟部組織バランスを獲得可能

①きわめて安全に骨切りを行うことができ、かつ

②正確性・再現性高く患者さんそれぞれに最適な軟部組織バランスの獲得ができることがMakoの強みです。

エビデンスに基づく Mako のメリット

Mako を使用した人工膝関節置換術は保険適応の手術です。

薬事承認による国内での Mako の使用は 2019 年 8 月からですが、米国では 2016 年から使用が開始されており、すでに多くの研究で正確な骨切りや正確なインプラント設置が報告されています。

例えば、術前計画と実際の骨切り量との誤差は 94.3% で 1mm 以内であったとの報告や、TKA 術後の下肢アライメントは一般的に 3°以内が safety zone とされていますが、Mako では術前計画との誤差が 1°以内であったのが 78.1% で、3°以内の safety zone は 100% で達成していたとの報告があります (Sires et al. Journal of Knee Surgery; 2019)。

従来の方法に比して余分な展開や周囲軟部組織への侵襲が少ないため、術後疼痛や術後貧血の低減なども報告されています。

まだ使用が開始されてから間もないため長期成績の報告はありませんが、骨切りやインプラント設置が正確なので長期インプラント耐久性の獲得や再置換率の低下が期待されています。

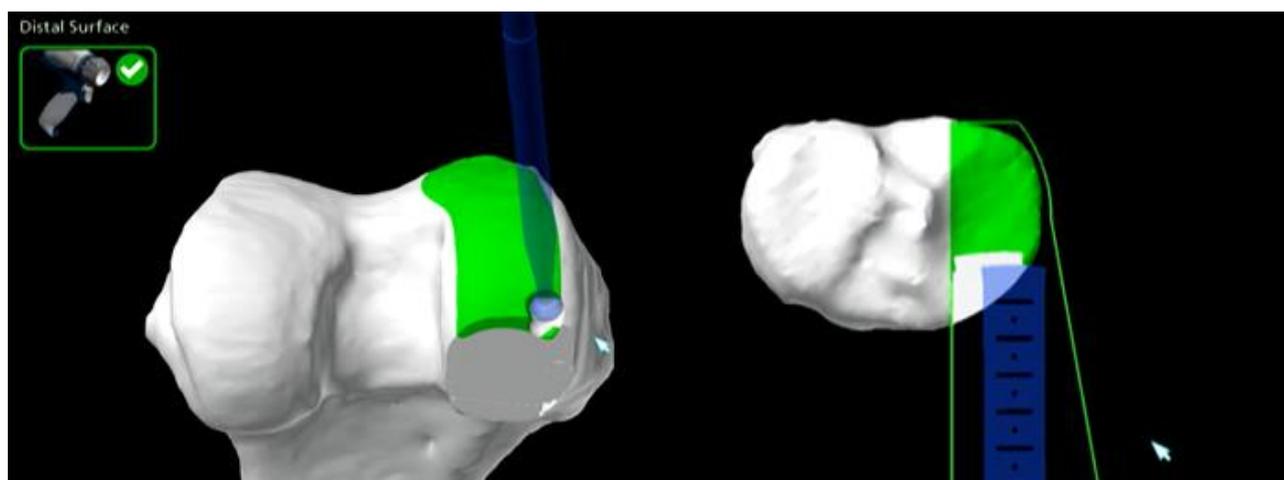
Mako のデメリット

Mako を使用するためには大腿骨・脛骨へのピンの刺入や、関節表面のレジストレーションが必要です。そのため従来の方法よりも手術時間が延長してしまうことがデメリットとして挙げられます。

ただし Mako の手術時間にはある一定のラーニングカーブが存在すると言われており、当院ではすでに多くの Mako TKA 症例を経験しているため現在では導入初期に比して手術時間の短縮が可能になりました。

また、Mako は前述のメリットはあるもののレジストレーションエラーによる骨切り量・骨切り角度の誤認識の可能性を常に考慮しておくことも重要で、Mako の数値を鵜呑みにしないよう、従来法による手術経験もある程度必要であると考えております。

人工膝関節単顆置換術での Mako 使用



TKA に続いて国内では 2020 年 8 月から、使用できる施設を限定しつつ人工膝関節単顆置換術 (UKA) でも Mako の使用が可能になり、当院でも Mako UKA の導入を開始しております。

UKA は変性した内側あるいは外側コンパートメントのみを部分的に置換する術式で、健全な関節のコンパートメントを温存するため、より低侵襲で早期の膝関節機能の改善が可能な手術です。

ただし、TKA に比して術野が狭く、術中の骨性ランドマークもわかりにくいいため、正確な骨切りやインプラント設置は TKA よりも特に難易度が高いことが知られています。

Mako を用いた UKA では、TKA と同様に CT 上での術前計画を基に Robotic-arm で制御されたボーンソーによる正確な骨切りが可能であり、軟部組織バランスに合わせた術中の微調整もできるため、より一層のメリットがあると言えます。

また、UKA では片側コンパートメントのみの置換であるがゆえにインプラントにかかる応力が大きく、TKA よりもインプラント周囲骨折の危険性が高いことが報告されていますが、Mako UKA では従来の方法で使用する骨切りガイド設置

のための固定ピンが不要であり Mako TKA と同様に direct cut が可能なため、UKA の重篤な術中合併症のひとつである術中骨折に対するリスクを低減できるのも大きなメリットです。

Mako TKA・UKA をスタンダードに

これまでの TKA や UKA では、長期インプラント耐久性の向上のための正確な骨切りや正確なインプラント設置、膝関節機能の改善のための適切な軟部組織バランスの獲得、などが長年の大きな課題でした。

Robotic-Arm Assisted Surgery によりそれらの課題を解決することで、飛躍的な術後成績の向上が期待されています。

導入コストの問題があり、まだ現時点では限られた施設でしか使用されていませんが、**今後は Mako を代表とする Robotic-Arm Assisted Surgery による TKA・UKA がスタンダードになる時代が来ると予想されます。**

当院ではその時代に先駆けて積極的に Robotic-Arm Assisted Surgery による TKA・UKA を行い、患者の術後満足度の向上に努めていきたいと考えております。

人工膝関節の手術をお悩みの症例がございましたら、是非当院にご紹介ください。



高木 健太郎 (たかぎ けんたろう)

整形外科

■卒業大学 (卒業年)

東京医科大学医学部 (2009 年)

■卒業後の研修機関等

東京逋信病院

浅間総合病院

茨城県立中央病院

国立病院機構相模原病院

三宿病院

東芝病院

東京大学医学部附属病院

■得意な分野

整形外科全般

膝関節

スポーツ

■取得専門医・認定医

日本整形外科学会 整形外科専門医

日本スポーツ協会 公認スポーツドクター

お問い合わせ先



NTT 東日本関東病院 医療連携室

TEL:03-3448-6192 平日 8:30~17:00 まで

FAX:03-3448-6071

メールアドレス nmct_renkei-ml@east.ntt.co.jp

ホームページ <https://www.nmct.ntt-east.co.jp/>