

股関節手術へのコンピュータ支援技術の応用と 新しいコンピュータナビゲーションシステムの開発

稲 葉 裕

横浜市立大学大学院医学研究科 運動器病態学 (整形外科)

要 旨: 近年, 手術治療では高度な日常生活動作の改善が望まれ, より安全で正確な低侵襲手技が必要となっている. 正確な手術を行うためには, コンピュータ支援技術を駆使した術前計画・術中支援が行われるようになり, その正確性, 有用性については異論のないところである. われわれは, combined anteversion 理論に基づき, カップ設置角とステム設置角および骨盤傾斜を考慮に入れて, インプラントインピンジメントを回避し, 適切な可動域を確保できるように術前計画を行い, その術前計画を正確に再現するためにナビゲーションを用いた人工股関節手術を行っている. また, 股関節骨切り術にもナビゲーションを応用する手法を開発し, 安全性の高い手術を行っている.

本稿では, 股関節手術に対するコンピュータ支援技術の応用と新しいコンピュータナビゲーションシステムの開発について, われわれの取り組みを紹介する.

Key words: 股関節手術 (hip surgery), コンピュータ支援技術 (computer assisted technology), コンピュータナビゲーションシステム (computer navigation system)

はじめに

近年の医学の進歩と医療技術の向上により骨・関節変性疾患に対する薬物治療, 手術治療の成績は向上し, 患者の日常生活動作 (ADL) は著明に改善した. 整形外科学の治療法は保存療法と手術療法に大別されるが, 特に手術治療においては高度な ADL の改善が要求され, より安全で正確な低侵襲手技が必要とされる. われわれは, 安全で正確な股関節手術治療の確立を目指した研究を一貫して行ってきた¹⁾.

安全で正確な手術治療を実施するために, われわれはコンピュータ支援技術を応用している. コンピュータ支援技術による術前計画・術中支援は, 整形外科領域では人工股関節全置換術 (total hip arthroplasty: THA), 人工膝関節全置換術, 脊椎手術などで行われている. 現時点では, コンピュータ機器を使用できる限られた施設で行われているのが現状であるが, その正確性, 有用性については異論のないところである. われわれは, コンピュー

タ支援技術を THA だけでなく, 骨切り術にも応用する手法を開発して使用している. コンピュータナビゲーションシステム (以下, ナビゲーション) を使用することで, 小さな術野においても正確な手術を行うことが可能となり, 低侵襲手術を行う上での有用性が高い.

本稿では, 股関節手術に対するコンピュータ支援技術の応用と新しいコンピュータナビゲーションシステムの開発について, われわれの取り組みを紹介する.

ナビゲーション

ナビゲーションは患者の解剖学的形態や, 手術機器およびインプラントの相対的位置を術者に伝える手術の補助的ツールである. ナビゲーションは患者情報の取得法により CT-based ナビゲーション, フルオロベースナビゲーション, イメージレスナビゲーション, の3つに大別される. CT-based ナビゲーションは (1) 症例個々の解剖学的形態を考慮した三次元的な術前計画が可能であ

ること、(2)フルオロベース、イメージレスナビゲーションと比較して精度が優れていること、が利点である。一方、欠点として、(1)センサー設置のためにピンの刺入が必要なこと、(2)登録作業(レジストレーション)などの操作による手術時間の延長とそれに伴う出血量の増加、(3)術前のCT撮影に伴う被曝、が挙げられる²⁾。

THAにおいて、インプラント設置角は関節面の摩耗や脱臼などの合併症と関連し、良好な術後可動域を獲得するためにも重要な因子である。ナビゲーションを使用しないマニュアル操作と比較して、ナビゲーションを用いたTHAではインプラント設置精度が向上し、外れ値が減少する。また、適切なインプラント設置は良好な臨床成績と再置換率の低下につながると考えられている。CT-basedナビゲーションの精度は、THAにおけるカップ設置の外転角、前方開角の誤差がそれぞれ $1.8 \pm 1.6^\circ$ 、 $1.2 \pm 1.1^\circ$ と報告されている³⁾。

Widmerら⁴⁾は、厳しい股関節可動域条件においてインプラントインピンジメントを生じないインプラント設置角についてコンピュータモデルを用いて計算し、カップ外方開角が $40 \sim 45^\circ$ で、カップ前方開角とステム前捻角の0.7倍を足した和が 37.3° となるインプラント設置が理想的であると報告した。この研究では、カップ前方開角とステム前捻角を合わせて考えるcombined anteversion(CA)という理論が導入された。われわれは、この理論に基づき、カップ設置角とステム設置角および骨盤傾斜を考慮に入れて、インプラントインピンジメントを回避し、適切な可動域を確保できるように術前計画を行い、その術前計画を正確に再現するためにナビゲーションを用いた手術を施行している⁵⁾。

股関節骨切り術は、関節温存を目的とする優れた術式であるが、三次元的な骨・関節構造をイメージして術前計画を行い、それに基づいて正確な手術を行うことは必ずしも容易でない。術前計画では単純X線像を用いた二次元的な計画が行われることが多く、手術の実施に当たっては経験に基づく高度な技術が要求される。近年では、CTデータから三次元情報を取得し、コンピュータソフトウェアや実物大立体模型⁶⁾を用いた三次元計画も行われるようになってきているが、次の段階ではこの三次元計画を術中にどこまで正確に再現できるかということが問題となる。詳細な三次元計画を再現するための手術支援の方法として、patient-specific template⁷⁾、ナビゲーションなどの使用が報告されている。われわれは三次元的な術前計画を行い、その術前計画の実施においてCT-basedナビゲーションを使用しており、2011年8月より若年者の前股関節症、初期および一部の進行期変形性股関節症に対する寛骨臼回転骨切り術において、使用を開始している⁸⁾。

ナビゲーションを使用したTHA

術前計画には単純X線像を用いた二次元術前計画と、CTデータを用いた三次元術前計画があり、三次元術前計画の方が正確である。THAの術前計画では、股関節中心、脚長、オフセットを考慮に入れて、ステムとカップのサイズ、設置位置およびアライメントを決定する。現在ではカップ外方開角を $40 \sim 45^\circ$ とし、ステム前捻角に応じてカップ前方開角を調節することが一般的である。また、カップ設置の基準座標として、以前は両上前腸骨棘と恥骨結節を含む平面(anterior pelvic plane: APP)が用いられてきたが、現在では臥位や立位の骨盤傾斜補正を行った機能的骨盤平面(functional pelvic plane: FPP)を採用することが多い²⁾。カップ設置角の表示法としてanatomical定義、radiographic定義、operative定義の3種類があり、どの定義で表示されているのかを確認する必要がある⁹⁾。2014年に日本CAOS(Computer Assisted Orthopaedic Surgery: コンピュータ支援整形外科)研究会で作成した「人工股関節三次元評価方法の指針」では、radiographic定義で記載することを推奨した¹⁰⁾。

現在、われわれはTHAの三次元術前計画をナビゲーションソフトウェアである、CT-based Navigation System(Stryker Orthopaedics, Mahwah, NJ, USA)で行っている。術前に骨盤および大腿骨のCTを1.0mmスライスで撮影し、そのCTデータをDICOM形式でCT-based Navigation Systemに転送する。この術前計画では、症例ごとに骨盤と大腿骨の形態を考慮したインプラントの種類とサイズを選択を行う(図1)。最初に大腿骨の解剖学的形態を考慮してステム前捻角を設定し、そのステム前捻角にあわせてカップ設置角を計画している。カップ設置角は、Widmerらの報告⁴⁾に基づき、カップ前方開角+ステム前捻角 $\times 0.7$ が 37.3° となるように前方開角を計画し、カップ外方開角は 40° (radiographic定義)を目標とする。

手術は側臥位で行い、ナビゲーション機器を手術台の頭側に設置する。皮膚切開は $7 \sim 8$ cmで、低侵襲手技を用いたTHA(MIS-THA)を行っている¹¹⁾。股関節の展開後、腸骨稜と大腿骨遠位にそれぞれ2本のピンを刺しセンサーを設置する。センサーが強固に固定されたのを確認後、大腿骨形状、骨盤形状のレジストレーション(登録)を行う。大腿骨、骨盤のレジストレーション後は、コンピュータ画面で大腿骨頸部の骨切りラインの確認が可能である。また、コンピュータ画面上でリーマーの位置を確認しながら、術前計画に沿って寛骨臼のリーミングを行う。次いでカップ設置を行うが、この際もカップの位置、設置角度がリアルタイムに確認可能である(図2)。その後大腿骨側においてもインプラント挿入角度を確認しながら、ラスピング、ステム設置を行う(図3)。

術前計画では、カップの基準座標の設定が問題となる

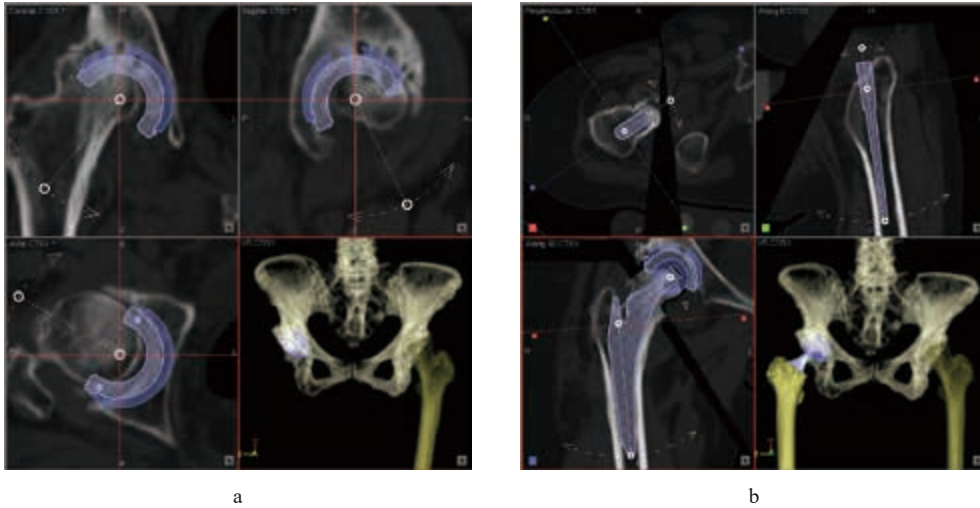


図1 THAにおける3次元術前計画

- a. 寛骨臼カップの計画では、寛骨臼の前後径を参照して適切なカップサイズを選択し、骨盤形状にあわせて設置位置を調整する。
- b. 大腿骨ステムは、症例ごと的大腿骨形状にあわせて適切な設置角度、位置を調整する。

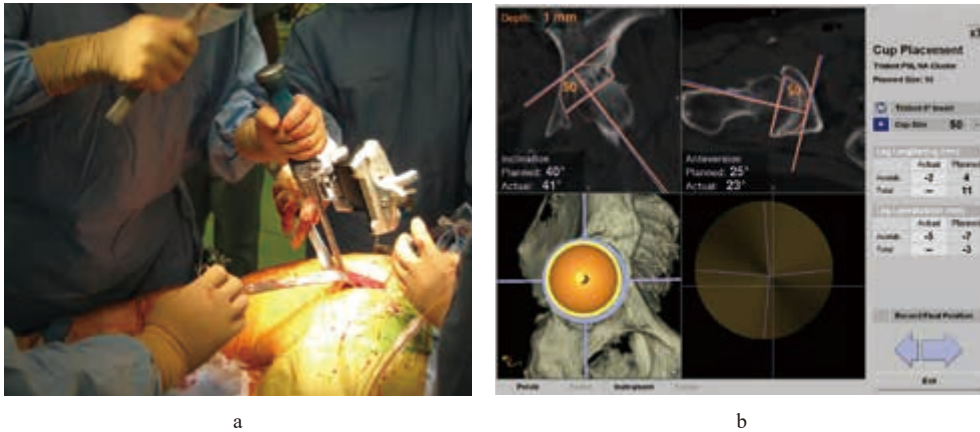


図2 ナビゲーションを用いた寛骨臼カップの設置

- a. 寛骨臼カップホルダーにはセンサーを装着する。
- b. コンピュータ画面上で寛骨臼カップの位置、角度を確認しながら、術前計画に沿って寛骨臼カップを設置する。

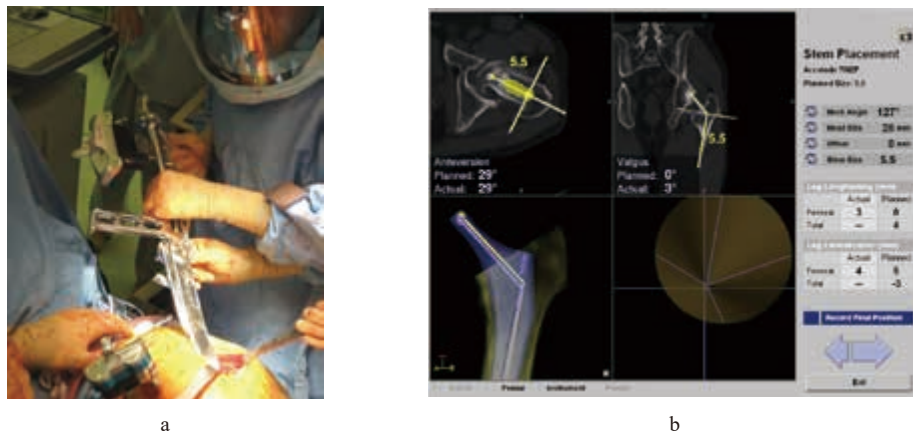


図3 ナビゲーションを用いた大腿骨ステムの設置

- a. ステムホルダーにはセンサーを装着する。
- b. コンピュータ画面上で大腿骨ステムの内外反角、前捻角を確認しながら、術前計画に沿って大腿骨ステムを設置する。

が、われわれは基本的に術前の臥位でのFPPを基準座標として計画し、術前に骨盤傾斜が大きい症例では術後変化を考慮した計画を行っている。この術前計画に基づいて施行したTHAの術後検証では、術後1年での臥位および立位のインプラント設置角度は、術前の骨盤傾斜によらず同等のインプラント設置が得られていた。また、著者らが目標としたCA (37.3°) は、術後1年での臥位と立位のほぼ中間にあり、臥位から立位へ、もしくは立位から臥位へ骨盤傾斜が変化しても理想的な37.3°を中心に変化するため、これらの姿勢変化によっても37.3°から大きく逸脱することが少なく、安全で良好なインプラント設置が行われていたと考える⁵⁾。

ナビゲーションを使用した寛骨臼回転骨切り術

CTデータをDICOM形式で三次元テンプレートソフトウェアZedHip (LEXI Co., Tokyo, Japan) に転送し、同ソフトを用いて骨三次元形状データをSTL形式に変換する。そのSTLデータをモデリングソフトウェアFreeForm (Sensable, Wilmington, MA, USA) に転送して、FreeForm上で術前計画を行う。手術支援のために、FreeFormで作成した術前計画をOrthoMap 3D Navigation System (Stryker Orthopaedics, Mahwah, NJ, USA) にSTL形式で転送する^{8,12)}。

寛骨臼回転骨切り術の術前計画では、寛骨臼を球状もしくは半球と半楕円体を組合わせた形状で骨切りするよう計画している。骨切り線は寛骨臼縁から上方約25mm近位を通過し、後方は坐骨無名溝から大坐骨切痕と寛骨臼縁の中点を通るように計画する。前方は下前腸骨棘の遠位から恥骨中央を通り、内側は関節内への切り込みを避けるために腸骨内板をわずかに貫通するように計画している。骨切りした寛骨臼骨片の回転量は、臼蓋傾斜角が水平となるまで外方に回転させ、骨頭の前方被覆が不十分な症例ではそれを補正するように計画している (図4)。

手術は側臥位で行い、ナビゲーション機器を手術台の頭側に設置する。寛骨臼回転骨切り術では、大転子直上に約10cmの縦皮切を用いて、経大転子アプローチにより進入する。以前は股関節周囲の展開が良好なOllier変法皮切を用いていたが、整容的な配慮および低侵襲化を目指して、現在では小さい縦皮切を採用している。

股関節周囲の展開後、腸骨稜に2本のピンを刺入しセンサーを設置し、THAと同様に骨盤のレジストレーションを行う。次にサージエアトムにセンサーを装着し、サージエアトム先端のレジストレーションを行う。コンピュータ画面で先端の位置を確認しながら、サージエアトムを用いて術前計画に沿った骨切りラインのマーキングを行う。次いで弯曲ノミのレジストレーションを

行い、コンピュータ画面上で弯曲ノミの先端の位置を確認しながら、術前計画に沿って海綿骨および腸骨内板の骨切りを行う (図5)。恥骨部分の骨切りは視野が悪い中での操作となり難易度が高い手技であるが、ナビゲーション画面でノミの先端位置を確認することで安全に行うことが可能である。術前に計画した骨切りラインよりノミの先端が内部に入ってしまうと、コンピュータ画面が赤になるとともに警告アラームが鳴るように設定している。このようにCT-basedナビゲーションでは、術前計画とのずれを術中にリアルタイムに確認することができ、補正を加えながら骨切りを行うことが可能である。

骨切り終了後の切離した回転骨片の位置はリアルタイムには確認することができないため、われわれは回転骨片を仮固定した後に、回転した骨片の表面をポインターで触れることにより、骨切り後の骨片の移動位置が術前計画と同じであることを確認している。回転骨片の固定は4.5mm径のポリ乳酸製吸収性スクリューを3本使用して行い、スクリューによる固定後もポインターで骨片の位置を確認している。原則として術中透視は使用していない。

ナビゲーションを使用して寛骨臼回転骨切り術を施行した22例 (女性20例男性2例) 23股 (以下、ナビゲーション使用群) と、それ以前にナビゲーションを使用せずに寛骨臼回転骨切り術を施行した20例 (女性19例男性1例) (以下、ナビゲーション非使用群) 23股を比較したわれわれの調査結果を紹介する。X線学的指標であるcenter-edge angle, acetabular head index, acetabular roof angle, acetabular angleはナビゲーション使用群、非使用群において術後に有意な改善を認めた ($p < 0.05$)。術後におけるナビゲーション使用群とナビゲーション非使用群との比較ではこの4項目において有意差を認めなかった。手術時間はナビゲーション使用群が平均 182 ± 34 分、ナビゲーション非使用群が平均 167 ± 43 分であり ($p = 0.25$)。術中出血量はナビゲーション使用群が平均 709 ± 377 ml、ナビゲーション非使用群が平均 528 ± 281 mlであった ($p = 0.11$)。周術期合併症については、ナビゲーション使用群では合併症を認めなかったが、ナビゲーション非使用群において、一過性的大腿神経麻痺を1例に認めた。この大腿神経麻痺は経過観察のみで術後1年半で回復したが、ナビゲーション使用により安全な手術が行えると考えられた⁸⁾。

ナビゲーションの有用性、課題と展望 ～新しいコンピュータナビゲーションシステムの開発～

コンピュータ技術の進歩に伴い、手術支援ツールとしてナビゲーションが発展し、その有用性が報告されている。THAではナビゲーションを使用することによってイ

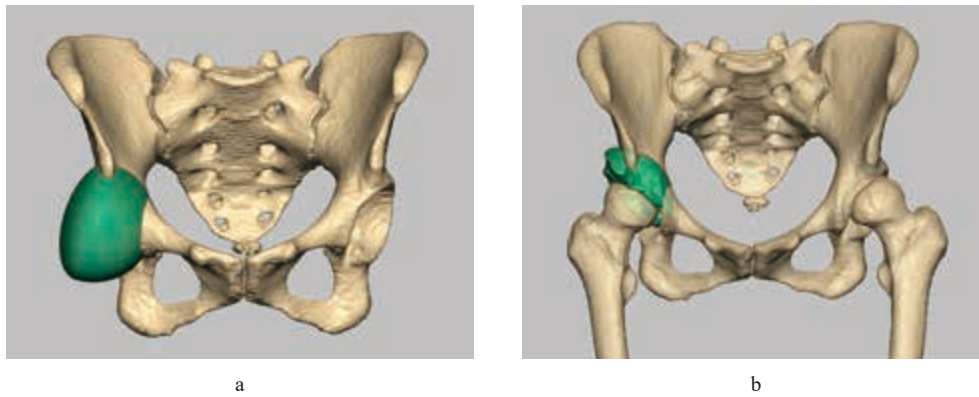


図4 寛骨臼回転骨切り術の術前計画

- a. 本症例では骨切り線の曲率を変えるために、半球と半楕円体を組合わせた形状で骨切りの計画を行う。
- b. 骨切りした骨片は、臼蓋傾斜角が水平となるまで外方に回転させ、前方の被覆も補正する。

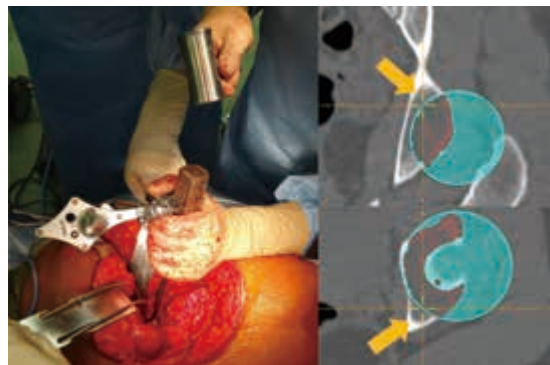


図5 弯曲ノミを用いた骨切り

術中に弯曲ノミの先端の位置がモニター画面上で確認できる(矢印)。術前計画に沿って、ノミの先端の位置を確認しながら骨切りを行う。

ンプラント設置精度が向上するが、術前計画におけるカップ設置角、およびその基準面の設定が問題となる。カップ設置角としてはLewinnekら¹³⁾の安全域(カップ外方開角 $30\sim 50^\circ$ 、前方開角 $5\sim 25^\circ$)が有名であるが、安全域範囲内にカップを設置しても脱臼する症例があり、本当の安全域ではない可能性が指摘されている¹⁴⁾。われわれの術前計画と術後設置角との絶対値誤差はカップ外方開角、前方開角、ステム前捻角、CAでそれぞれ $3.2\pm 2.3^\circ$ (平均 \pm S.D.)、 $3.6\pm 3.1^\circ$ 、 $6.0\pm 8.7^\circ$ 、 $6.3\pm 7.1^\circ$ であり、ナビゲーションを使用しないマニュアル操作ではさらに大きな誤差が生じている可能性が高いことを認識する必要がある⁵⁾。また、立位と臥位で骨盤傾斜が大きく変化する症例が存在することを認識することが重要であり、姿勢変化に伴う骨盤傾斜の挙動や術後の骨盤傾斜変化を考慮に入れた術前計画が必要であると考えられる。

ナビゲーションはインプラント設置精度を向上させ、手術の安全性を向上させるが、導入コストなどの問題によりナビゲーションの普及率は未だ低く、日本人工関節学会のTHAレジストリー統計(2018年)では、初回THA

におけるナビゲーションの使用率は8.8%であったと報告されている¹⁵⁾。本邦ではTHA用の簡易型ナビゲーション「HipAlign[®]」(OrthoAlign, Aliso Viejo, CA, USA)が2017年3月より販売開始されている。実際の臨床使用における精度については今後の更なる検証が必要であるが、簡易型ナビゲーションには(1)導入コストの低減、(2)術前CTや術前計画が不要で簡便、などの利点があり、ナビゲーション普及促進の一助となることが期待される¹⁶⁾。

もう一つのナビゲーション支援THAにおける課題として、費用対効果評価の観点から、コストに見合う有効性が得られるかという点が挙げられる。CT-basedナビゲーション使用群と非使用群を後方視的に比較した研究において、ナビゲーション非使用群で脱臼率が有意に高く、インピンジメントに関連する機械的合併症が有意に多いとの報告がある¹⁷⁾。一方で、イメージレスナビゲーション使用群と非使用群による無作為化比較試験において、術後10年時における臨床成績評価、ライナー摩耗、無菌性ゆるみ、脱臼率、再置換率のいずれにおいても二群間に有意差が無いとの報告¹⁸⁾があり、ナビゲーションの中

期および長期成績における有効性については一定の見解が得られていない。現時点ではナビゲーション支援THAの中期、長期における臨床成績の報告が少なく、更なるエビデンスの蓄積が望まれる。

近年、股関節骨切り術に対するナビゲーションの使用に関する報告が散見されるようになった。Curved periacetabular osteotomy に対してCT-based ナビゲーションを使用し、手術手技の正確性、安全性を高め、術中合併症が減少できたという報告¹⁹⁾や、CT-based ナビゲーションを用いたBernese periacetabular osteotomy について、従来法と比較して手術時間の延長、術中出血量の増加を認めたと、術中・術後の合併症を認めず、正確で安全な骨盤骨切り術が行えたという報告がある²⁰⁾。また、股関節骨切り術におけるCT-basedナビゲーション使用の有無による比較試験では、術中出血量、輸血の必要性、術後機能、X線学的指標について両群間で有意差を認めず、熟練した整形外科医においてはナビゲーションの有用性は小さいと報告されている²¹⁾。しかしながら、術中透視による被曝量が減少すること、リアルタイムに骨切り部の位置を確認することにより手術が容易になるとも考察されており、ナビゲーション使用によって骨切り術の安全性は向上すると考えられる。

われわれの寛骨臼回転骨切り術における結果では、X線学的評価においてはナビゲーション使用群と非使用群との間で有意差を認めなかったが、ナビゲーション使用群では周術期合併症を認めず、ナビゲーションを使用することで、安全性が高まると考えられる。また、手術時間と術中出血量は二群間で有意差を認めなかったが、ナビゲーション使用群で手術時間が長く、術中出血量が多い傾向にあった。コンピュータナビゲーションの使用に伴って骨切り操作が容易となる一方で、センサーの装着やレジストレーションに時間がかかるため手術時間が延長する傾向にあり、それに伴って術中出血量も増加傾向にあったと考える⁸⁾。

骨切り術におけるコンピュータナビゲーションの有用性として、(1)三次元的な術前計画が可能であること、(2)視野の悪い部位の骨切りも安全に行えること、(3)術中透視による被曝量を減少できる(もしくは術中透視をなくす)こと、(4)術中にノミの先端位置をリアルタイムに表示することが可能であり、術者以外のスタッフにも手術の進行状況が認識できるため教育面においても有用であることなどが挙げられる。今後の課題として、骨切り術におけるナビゲーションの精度検証が必要であるが、人工股関節全置換術と異なり術後の精度検証の方法が確立されていないため、精度検証の手法の開発が必要である。また三次元的な術前計画において、至適な骨切り位置や骨片の移動方向・移動量に関して統一された見解はなく、理想的な術前計画に関しては更なる検討が

必要である。

現代の外科治療において、手術の低侵襲化が求められており、手術支援ロボット da Vinci Surgical System (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA, USA) に代表されるロボット支援手術の臨床導入が、様々な領域においてすすんでいる。ナビゲーションは患者の解剖学的形態やインプラントの相対的位置を術者に伝える補助的ツールであるのに対して、ロボット支援手術は入力された解剖学的情報を基にして、コンピュータ制御機器によって手術の一部、又は全てを遂行するという点で異なる²¹⁾。整形外科分野におけるロボット支援手術は、近年、新しいシステムが開発され、アメリカ、ヨーロッパなどで使用されている。日本でもセミアクティブ型ロボットである「Mako Robotic-Arm Assisted Surgery[®]」(以下、Mako) (Stryker Orthopaedics, Mahwah, NJ, USA) が既に医療機器として認可を受けており、臨床応用が開始されている。

ロボット支援手術のメリットとして、(1)インプラント設置精度の向上、(2)良好な関節可動域と安定性、(3) fail safe 機能による安全性の向上、が挙げられる。また、デメリットとして、(1)高い初期導入コストに加えて、メンテナンスやディスプレイ機器の費用が必要であること、(2)手術時間の延長、(3)術前CTによる被曝とその費用、(4)術前計画に要する時間、(5)習熟曲線の存在、が挙げられる²²⁾。現在、本邦で導入されているMakoはセミアクティブ型ロボットであり、術者は術前計画および術中の情報を受け取り、ロボットを操作することにより手術を行う。ロボット支援手術は fail safe 機能を有することから、ナビゲーション支援手術と比較して、さらにインプラント設置精度が向上する可能性がある²³⁾。新しいシステムによるロボット支援手術の臨床成績に関しては、今後の検証が必要であるが、ナビゲーション支援手術とともに普及が期待される。

骨切り術における手術支援に関して、現在のナビゲーションでは、ノミの刃先の位置、即ち骨切りを行っている部位の確認は可能であるが、骨切りを行った部位と行っていない部位の判別ができないこと、骨切り後の骨片の位置が追跡できないという課題がある。現在、われわれは、上記の課題を解決するために、横浜ライフイノベーションプラットフォーム(以下、LIP 横浜)のプロジェクトとして、スリーディー社、Soul Impact社と共同で新しいコンピューターナビゲーションソフトウェアの開発を行っている。LIP 横浜は、横浜から健康・医療分野のイノベーションを持続的に創出していくことを目的とし、横浜市が産学官金と連携して取り組むためのプラットフォームである。このプラットフォームでは、企業・大学・研究機関ネットワークから革新的なプロジェクトを生み出すとともに、中小・ベンチャー企業等に対する製品化に向けた支援を行い、新技術・新製品の開発を行っ

ている。われわれは、本ナビゲーションソフトウェアの開発を通じて、高度な手術手技が要求される骨切り術を正確で安全に行える手術として更に普及させ、より質の高い医療を提供していくことを目指している。

結 語

われわれは、安全で正確な股関節手術治療の確立を目指し、コンピュータ支援技術を応用した手法を開発してきた。THAでは、症例の骨形態に応じて、姿勢変化に伴う骨盤傾斜の挙動や術後の骨盤傾斜変化を考慮した術前計画を行っており、その計画を術中に正確に再現するためにナビゲーションを使用している。股関節骨切り術においても、ナビゲーションを応用することで安全性が向上し、詳細な三次元計画に則った手術が行えるようになってきている。現在では、より低侵襲で安全な手術を目指して、高精度で使いやすいナビゲーションソフトウェアの開発に取り組んでいる。

文 献

- 1) 稲葉 裕：股関節変性疾患に対する安全で正確な手術治療の確立：コンピュータ技術を用いた術前計画・術中支援・術後評価と周術期合併症対策。横浜医学, **68**: 539 - 538, 2017.
- 2) 稲葉 裕, 池 裕之, 齋藤知行：ナビゲーション支援人工股関節全置換術。運動器リハビリテーション, **28**: 367 - 373, 2017.
- 3) Iwana D, Nakamura N, Miki H, Kitada M, Hananouchi T, Sugano N: Accuracy of angle and position of the cup using computed tomography-based navigation systems in total hip arthroplasty. *Comput Aided Surg*, **18**: 187 - 194, 2013.
- 4) Widmer KH, Zurfluh B: Compliant positioning of total hip components for optimal range of motion. *J Orthop Res*, **22**: 815 - 821, 2004.
- 5) 稲葉 裕, 小林直実, 鈴木 宙, 他：人工股関節全置換術における骨盤傾斜を考慮したインプラント設置の術前計画と術後検証。日本関節病学会誌, **32**: 433 - 440, 2013.
- 6) 加藤 努, 大谷卓也, 藤井英紀, 他：股関節手術における3次元CT画像解析と実物大立体模型作製の小経験。Hip Joint, **33**: 322 - 325, 2007.
- 7) 岩城啓好, 池淵充彦, 吉田 拓, 他：三次元術前計画とPST (patient-specific template) による術中支援を用いた大腿骨頭回転骨切り術。Hip Joint, **38**: 175 - 177, 2012.
- 8) Inaba Y, Kobayashi N, Ike H, Kubota S, Saito T: Computer-Assisted Rotational Acetabular Osteotomy for Patients with Acetabular Dysplasia. *Clin Orthop Surg*, **8**: 99 - 105, 2016.
- 9) Murray DW: The definition and measurement of acetabular orientation. *J Bone Joint Surg Br*, **75**: 228 - 232, 1993.
- 10) Takao M, Sakai T, Hamada H, Sugano N: Pelvic and Femoral Coordinates and Implant Alignment Representations in THA. *Computer Assisted Orthopaedic Surgery for Hip and Knee*, Sugano N (Ed), Springer, Singapore, 2018.
- 11) Inaba Y, Kobayashi N, Yukizawa Y, Ishida T, Iwamoto N, Saito T: Little clinical advantage of modified Watson-Jones approach over modified mini-incision direct lateral approach in primary total hip arthroplasty. *J Arthroplasty*, **26**: 1117 - 1122, 2011.
- 12) 稲葉 裕, 池 裕之, 小林直実, 齋藤知行：股関節骨切り術におけるコンピュータナビゲーションの有用性。Bone Joint Nerve, **3**: 483 - 489, 2013.
- 13) Lewinnek GE, Lewis JL, Tarr R, Compere CL, Zimmerman JR: Dislocations after total hip-replacement arthroplasties. *J Bone Joint Surg Am*, **60**: 217 - 220, 1978.
- 14) Biedermann R, Tonin A, Krismer M, Rachbauer F, Eibl G, Stöckl B: Reducing the risk of dislocation after total hip arthroplasty: the effect of orientation of the acetabular component. *J Bone Joint Surg Br*, **87**: 762 - 769, 2005.
- 15) 日本人工関節学会 日本人工関節登録制度事務局。THA レジストリー統計。2018.
- 16) 稲葉 裕, 池 裕之, 齋藤知行：最新のナビゲーションシステムとロボット手術。関節外科, **36**: 1190 - 1197, 2017.
- 17) Sugano N, Takao M, Sakai T, Nishii T, Miki H: Does CT-based navigation improve the long-term survival in ceramic-on-ceramic THA? *Clin Orthop Relat Res*, **470**: 3054 - 3059, 2012.
- 18) Parratte S, Ollivier M, Lunebourg A, Flecher X, Argenson JN: No Benefit After THA Performed With Computer-assisted Cup Placement: 10-year Results of a Randomized Controlled Study. *Clin Orthop Relat Res*, **474**: 2085 - 2093, 2016.
- 19) Akiyama H, Goto K, So K, Nakamura T: Computed tomography-based navigation for curved periacetabular osteotomy. *J Orthop Sci*, **15**: 829 - 833, 2010.
- 20) Langlotz F, Bächler R, Berlemann U, Nolte LP, Ganz R: Computer assistance for pelvic osteotomies. *Clin Orthop Relat Res*, **354**: 92 - 102, 1998.
- 21) Hsieh PH, Chang YH, Shih CH: Image-guided periacetabular osteotomy: computer-assisted navigation compared with the conventional technique: a randomized study of 36 patients followed for 2 years. *Acta Orthop*,

- 77: 591 – 597, 2006.
- 22) Paprosky WG, Muir JM: Intellijoint HIP[®]: a 3 D mini-optical navigation tool for improving intraoperative accuracy during total hip arthroplasty. *Med Devices*, **9**: 401 – 408, 2016.
- 23) Kanawade V, Dorr LD, Banks SA, Zhang Z, Wan Z: Precision of robotic guided instrumentation for acetabular component positioning. *J Arthroplasty*, **30**: 392 – 397, 2015.

Abstract

APPLICATION OF COMPUTER-ASSISTED TECHNOLOGY FOR
HIP JOINT SURGERIES AND DEVELOPMENT OF
A NEW COMPUTER NAVIGATION SYSTEM

Yutaka INABA

Department of Orthopaedic Surgery, Yokohama City University Graduate School of Medicine

Safe and precise surgical procedures that significantly improve activities of daily living are increasingly necessary. Advances in computer technology have enabled precise three-dimensional preoperative planning and intraoperative assistance. In preoperative planning for total hip arthroplasty (THA), adequate cup and stem angles can be planned to allow a wide range of motion and prevent postoperative dislocation based on combined anteversion theory, and no objections have been raised with regard to the accuracy and efficacy of computer-assisted THA. Computer technology has also been applied to hip osteotomy and arthroscopic surgery for safety and precision. Although computer-navigated THA is well-established, further study using 3D analysis is needed to evaluate the accuracy of this system for hip osteotomy and arthroscopy, even though computer tomography (CT)-based navigation is a good tool as an intraoperative assistive device. Together with several companies in Yokohama, we are currently developing a new CT-based navigation system for hip osteotomy and arthroscopy. In this paper, we introduce our approach to computer-assisted procedures in hip surgeries and the development of a new computer navigation system.