

## 「コンピュータガイド下肢関節手術」

大阪大学医学部整形外科

菅野 伸彦 西井 孝

本研究をご支援いただきました伊丹先生、日本股関節研究振興財団の方々には改めて感謝いたします。本日菅野に代わりまして同じ教室の西井が報告させていただきます。

スライドをお願いします。今回コンピュータガイド下の股関節手術を開発しましたので報告いたします。

次をお願いします。コンポーネントの malposition に関連する諸問題としては、摺動面摩耗や rim impingement による rim wear の増大や、脱臼発生のリスクが上昇するという懸念があります。したがって、理想的な位置に正確にコンポーネントを設置することが重要となってきます。

次をお願いします。コンポーネントの設置状況において影響する要因としましては、もちろん術者の手術手技というのが大きく影響すると考えられますが、また同時に手術台での骨盤の動きが術中に発生する可能性があり、それによってコンポーネントの設置が影響を受けます。

次をお願いします。そのようなことを考えまして、実際使いましたナビゲーションシステムを用いまして、手術中での骨盤肢位の変化を計測しました。まず仰臥位から側臥位へ変化することによって内外転方向に骨盤の位置がどのように変わるかというのを調べますと、平均 $0.4^{\circ}$ の変化がみられます。特に $10^{\circ}$ 前後動くものもみられます。

次をお願いします。前傾・後傾方向にも平均 $3.1^{\circ}$ の前傾方向の変化がみられる。やはり大きい症例も認められます。

次をお願いします。次に手術開始してからカップ挿入時での骨盤肢位がどのように変化するかを調べました。脱臼肢位や白蓋展開の際に変化する可能性があります。内外転方向でみてみますと、平均 $2.4^{\circ}$ で、やはり $10^{\circ}$ 前後の大きな変化がみられるものもあります。

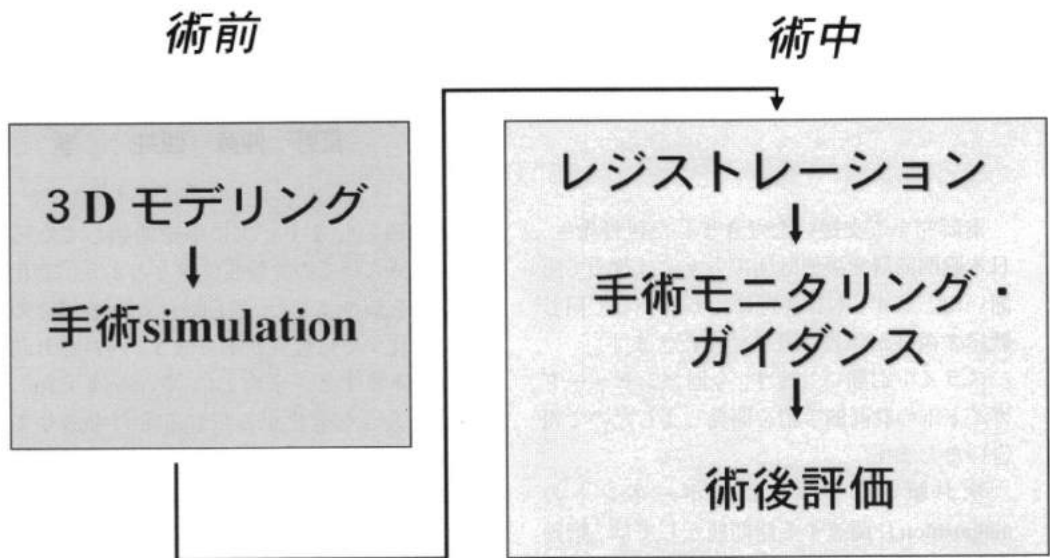
次をお願いします。前傾・後傾方向でも、全体的には後傾傾向がみられましたが、特に大きな症例も認められます。

次をお願いします。このように症例によって大きな骨盤肢位の変化が起こりますと、従来用いられておりますアライメントロッドを用いまして手術台や、体幹軸を目安にして設置することによってもコンポーネントの設置不良が起こる可能性があります。各術者の手術手技や、手術台での骨盤肢位の変化に対応する目的としてコンピュータナビゲーションシステムを開発しました。

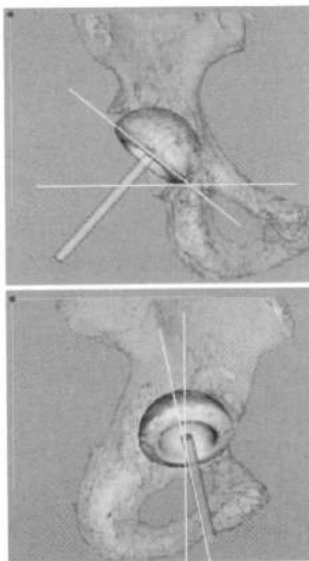
次をお願いします。ナビゲーションシステムは主に術前と術中の行程から分かれまして、術前は各患者さんの三次元骨盤、または大腿骨モデルを作成します。それでコンピュータ上で各コンポーネントの設置状況やサイズなどのシミュレーションを行います。

次に手術場におきまして実際の患者さんの骨盤と大腿骨の位置とコンピュータ上のモデルとの相関関係を確立するためにレジストレーションを行います。このレジストレーションを行うことによって、手術操作がすべてコンピュータ上の三次元モデルに反映されます。それで手術中に、これはナビゲーション

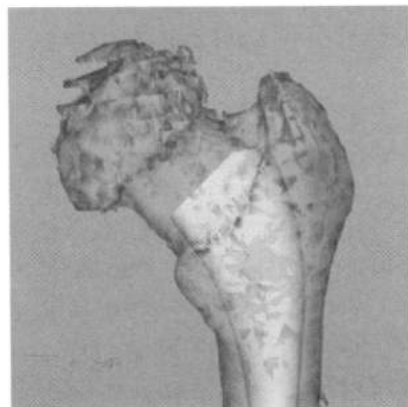
# Navigation System



## 手術計画



Cup Position



Stem Position

ンの中枢部ですが、モニタリングガイダンスを行います。そして手術が終わったあとに術後評価、可能域評価などに使います。

次お願いします。では実際に各行程をご説明いたします。まず手術前の三次元骨盤および大腿骨のモデリングですが、CT scanningを行います。スライス幅3 mmの厚みを用いますが、この値は厚みをいろいろ変えたり、CT値のthresholdを変えたりしたときの精度と侵襲性の面から決定しております。それで患者さんの各骨盤大腿骨モデルを表面モデルで作成します。

次お願いします。ナビゲーションシステムで使う人工関節は、コンピュータ上のモデルがあれば使えますが、例えばこの症例においては実際のCTから髓腔形状を判定して、カスタムステムを作成し手術を施行しております。

次お願いします。手術前の術前計画ですが、各患者の臼蓋三次元モデルに合いますようなコンポーネントのサイズの決定や設置方位、および設置角度を計画いたします。原則的には外転角 $40^{\circ}$ 、前捻角 $20^{\circ}$ を想定しておりますが、骨盤の形態や大腿骨側の形態に応じて変化させております。また大腿骨側もステムの設置高位、骨切り位置やステムの軸をこれで想定します。

次お願いします。実際のナビゲーションシステムの手術場での体制ですが、骨盤位置の

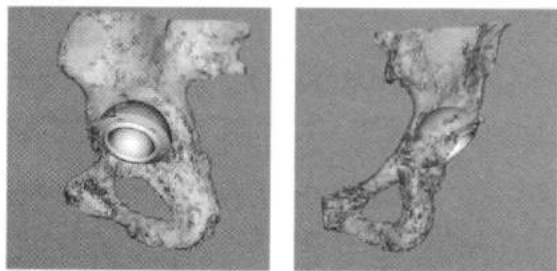
モニタリングのために赤外線発光ダイオードのマーカータのついたパネルを骨盤および大腿骨にそれぞれ装着しておきます。それで骨盤や大腿骨の位置の手術場における三次元的な計測は赤外線発光ダイオード(LED) マーカーがついた専用のペンを使って適宜とります。そのマーカータの位置を患者さんの尾側に位置しますOptotrak、光学位置センサーを用いて計測します。骨盤や大腿骨の情報や手術操作の情報はこのコンピュータシステムを用いて適宜術者が参照することができます。

次お願いします。LEDマーカーを用いたいろいろな器具をご説明します。これがLEDマーカーがついたペンプロブで、大腿骨や骨盤の表面形状を取得します。それで先ほどもご説明しましたように、骨盤の位置の変化、大腿骨の位置の変化を適宜補正できますようにLEDマーカーがついたパネルをそれぞれ骨盤、大腿骨に固定しておきます。各コンポーネントの位置はLEDマーカーを装着できるようなデバイスを作成しその位置を計測できるようにしております。

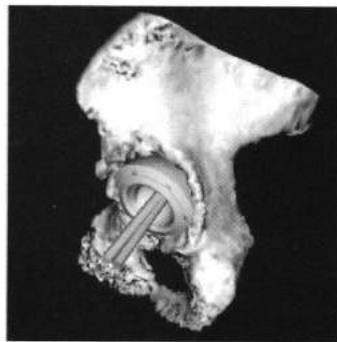
次お願いします。レジストレーションはまず患者さんの骨盤側ですが、4点をとってまず大体の位置あわせを行い、さらに表面を30点とりまして、コンピュータモデルと実空間の骨盤とのレジストレーションをします。マーチンキューブ法を使います。

次お願いします。レジストレーション精度

## モニタリング&ガイダンス



カップ位置確認



術前計画との比較

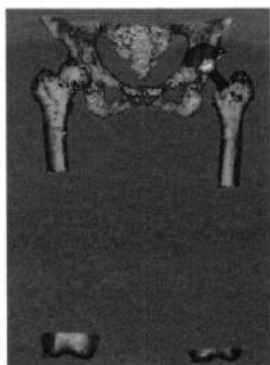


骨切りレベル



ステム軸

## モニタリング & ガイダンス



脚長差

## Reconstructed Computer Model

は定量的に計測でき、また白蓋縁などの特徴点をマーキングしてモデル上でどのような点になっているかというのを確認しております。

次お願いします。大腿骨側も同様にして4点でまず仮あわせをしたあと、表面の点を取りましてレジストレーションを行います。

次お願いします。この精度に関して cadaver を使って先に実験しましたところ、先ほどのCTの条件などでは白蓋側、大腿骨側とも1 mm、1° 以内の精度におさまっております。

次お願いします。実際手術中で、各手術操作は定量的、また視覚的に確認することができます。例えばカップの位置の深さや角度などはこのようにモデル上に反映されます。また術前計画と相互比較して定量的にどのように違うかなど手術中に刻々と補正することができます。

次お願いします。大腿骨側も骨切りレベル、ステム軸およびトライアルで整復した時



の脚長差を計測することができますので、ヘッドのサイズやネックの長さのほうを変えて調整することができます。

次お願いします。手術後評価としてROM評価を行っております。

次お願いします。これは手術直後の出来上がった三次元モデルとレントゲン像です。ほ

ば一致した像が得られます。

次お願いします。ではクリニカルスタディとして16例に行った症例のまとめを報告します。

次お願いします。16例でのカップ外転角は平均 $40.5^{\circ} \pm 4.2^{\circ}$ 。前捻角は $22.5^{\circ} \pm 6.9^{\circ}$ で、ナビゲーションを使わない20例と比較すると、特に前捻角で想定している $20^{\circ}$ に近い値をとり、それとともにばらつきが低くなっていることがわかりました。

次お願いします。脚長差も術前13mmから1mm以下と補正されました。

次お願いします。それで術後のROM評価ですが屈曲では、大腿骨で平均 $90.8^{\circ}$ と判定されたとしても、白蓋側では実はそれに相補的に平均 $12.9^{\circ}$ 動いていますので、実際のところ股関節については $77^{\circ}$ しか動いていないということがわかります。この情報は術後の患者指導のほうにも利用できるかと考えております。

次お願いします。得られたモデルをいろいろな方向に動かしてインピンジメントの確認、白蓋縁や骨性のインピンジメントの確認ができます。特に後方からのアプローチでは前方が視認しにくいので、コンピュータ上で判定し、可及的に骨棘切除ができます。

次お願いします。このようなコンピュータ支援手術はTHRだけではなくて、いろいろな分野にも広がっております。カップだけのナビゲーションやロボドックを用いた手術、および白蓋骨切り術や脊椎関連のナビゲーション手術にも使われております。

次お願いします。私どもがこれで開発しましたのは、白蓋のみならず、大腿骨側も含めた統合的なナビゲーションシステムであります。

次お願いします。カップの設置位置、および大腿骨側の骨切りやステムアライメント、さらにそれを統合することによって脚長差の補正や可動域の正確な評価ができます。

次お願いします。いま説明しましたのはTHAにおけるベーシックな技術でありまして、これは骨切り手術にも適応可能です。この例では実骨白回転骨切り術において術前シミュレーションでノミの進入位置とか進入角度を決定することができます。

次お願いします。従来ではレントゲンで確認していましたが切り上げ角のほうもコンピュータモニター上で確認できまして、進入角度というのもこれで検討することができます。

次お願いします。キアリ骨盤骨切り術でも手術のナビゲーションが有効でありました。

以上です。

【伊丹】 ご苦労さまでした。

【別府】 この間日整基基礎も、サージカル整形科領域へのロボットテクニックの導入というのでちょっと座長させられたんですが、それから今回の股関節学会でヒップスパインの問題とか、要するにただ白蓋と骨頭だけの関係を問題にしても基本的にはどうかという点が1点と、それから軟部組織の問題を全然考慮されていないようなんですが、ただ白蓋とそれとの適応性がどうかということをいっているのですが、総合的に考えると筋肉のタイトネスとか、そういうものも当然考慮しないといけないと思うのですが、今後の先生のプランニングの中にはそういう、ただ合わせをするだけでは実際は筋肉的な要素、力学的な問題とか、そういうものも入れなければいけないのではないかと思います。どうでしょう。

【西井】 おっしゃることは確かにその通りだと思います。まずはこのように骨性のナビゲーションを始めまして、確かに軟部組織の情報、筋肉なり、関節包などの情報の取得は難しいのですが、例えば動作解析とか、筋電

図とかの情報もここに上乗せして将来展開を考えております。ただそのためにはいろいろな情報をどのように合わせて使うかなどの試行錯誤は今後も必要だと思います。

**[別府]** CTでのいわゆるウインドレベルの問題というのはもう解決しているわけですか。必ず実測値とのCTで出てくる値との誤差がありますよね。それはもう解決しているのですか。

**[西井]** CTでの誤差というのがどの程度かというのは、これはナビゲーション全体の精度が出ますので、はっきりとは申し上げられません。ただ実際精度検定しましたところ、大体1mm以下というふうなことで、それは例えばCT画像での誤差とか、レジストレーションの誤差とか含まれていると思います。その点一応CTの条件とかいろいろ変えまして取りましたところ、大体これぐらいになっていますので、それで実用的に使えると考えております。

**[別府]** ということはサイズ図以内の大きさ、太さ、そういうものが、一番の問題になるのが口径だと思うのです。それで出てきた値が実際やってみてもあまり正しくないんですよね。トータルでの誤差というのは数値上の問題ですけれども、現実的に測定すると、どこまでが削れる骨なのか、削れない骨なのかと、そのへんのことの誤差がすごく大きいような気がするんですね。

**[西井]** そうですね。確かにおっしゃるとおりで、CT値の一定の閾値で形状認識するのではなく各レベル大腿骨高位や症例によって閾値を変えるなどにより実際になるべく近づけるようにはしています。

**[伊丹]** どうもご苦労さまでした。では次、「一次性股関節症の病態の解明(バイオメカニクスの観点から、特にレントゲンおよび有限要素法を用いて)」、帖佐先生お願いします。