

股関節手術に対する コンピュータシミュレーション

近畿大学医学部整形外科

福田 寛二

浜西 千秋

田中 清介

はじめに

我々は CT が臨床的に応用されるようになってから、三次元立体視図化にはじまるコンピュータ技術を積極的に導入してきた。具体的には大腿骨頭壊死に対する回転骨切り術の適応と骨切り角度の決定(1)や、人工股関節置換術における臼コンポーネントの設置位置と大きさの決定などがあげられる(2)。また、臼蓋形成不全に対する寛骨臼の被覆を鳥瞰図としてとらえ、被覆率と被覆不足部位の特定をこれまでに明らかにしてきた(3)。しかしこれらは何れもベーシック言語を利用したパーソナルコンピュータのプログラムを使用した結果であった(4)。最近のハードおよびソフトウェアの進歩により、より詳細な立体画像の構築が期待される。我々は、臼蓋形成術や寛骨臼回転骨切り術においてどの方向にどれだけ骨を形成すればよいかを検索するとともに、その際の新臼蓋の応力分布を検討することを最終的な目標とした。そのために、ヘリカル CT を用いた詳細な股関節立体視図を作成するとともに、大腿骨頭壊死症に対する大腿骨頭回転骨切り術と変形性股関節症に対する人工股関節置換術を対象として、コンピュ

ータシミュレーションによる術前計画への応用を試みた。

股関節の立体視

我々は以前に透過型のデジタイザーを使用して CT 像をトレースし、これを重ね合わせることで立体視図の作成するプログラムを作成した(図 1)。今回は最近、近畿大学医学部附属病院に導入されたヘリカル CT 像を利用して、股関節の立体視を試みた。方法としては、撮影された CT 画像を東芝社製ワークステーションである Xtension ソフトを用いて三次元像を構築した。さらにこの像をパーソナルコンピュータに取り込んで、Adobe Photoshop などの汎用ソフトを利用して画像の解析を行った。

通常の CT では大腿骨頭と寛骨臼の相対的位置関係や、寛骨臼における前後の骨頭被覆の程度はある程度検討可能であるが、全体的な被覆を捉えることは困難であった。そこで我々は寛骨の透過度を上げることにより、コンピュータ画面上で寛骨臼と骨頭を同時に観察できるようにした。これにより骨頭の被覆率を定量化することが可能となった(図 2)。

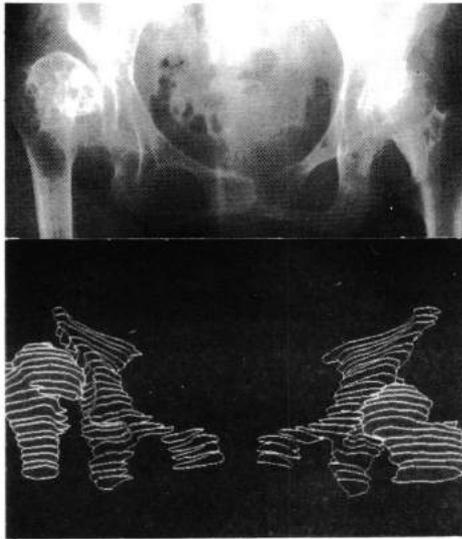


図1 両側性変形性股関節症。単純X線およびCT像を重ね合わせることで作成した立体視図を示す。ベーシック言語を利用したパーソナルコンピュータのプログラムを使用して作成した。

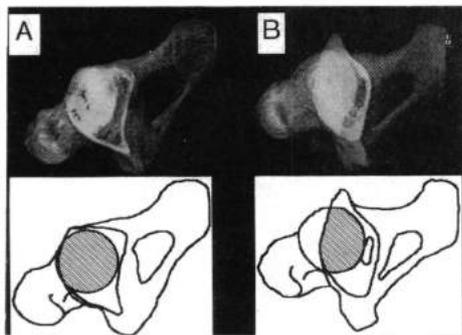


図2. 寛骨臼による大腿骨頭の被覆。正常 (A) および白蓋形成不全を有する症例 (B) での寛骨臼による大腿骨頭の被覆を示す (斜線)。寛骨臼および大腿骨のヘリカルCTをそれぞれ取り込んだ後、寛骨臼を透過させてから、その両者を合成している。

すなわち大腿骨頭が寛骨臼に被覆される面積を大腿骨頭全体の投影面積で除した値である。正常股関節においては、この骨頭被覆率 (acetabular head area index, AHAI) は

約 86 % である。現在、このような立体視図をもとにして、白蓋形成不全を有する症例に対する白蓋形成術のシミュレーションを試みている。

大腿骨頭壊死症

杉岡の考案した回転骨切り術は、骨のストックが可能であるという点より、とりわけ若年者の大腿骨頭壊死症に対しては優れた術式である (図 3)。

我々は良好な長期成績を得るためには綿密な術前計画が必要であると考え、その検討を行ってきた(1)。以前は CT 像をもとに壊死部と健常部を区別し、3 次元立体視図を作成していた (図 4)

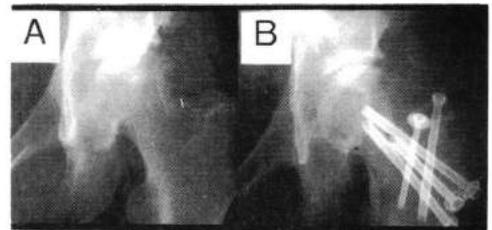


図3. 42歳男性、大腿骨頭壊死症、術前 (A) および術後1ヵ月 (B) のX線を示す。術前シミュレーションに従って、30度の前方回転骨切り術を行った。

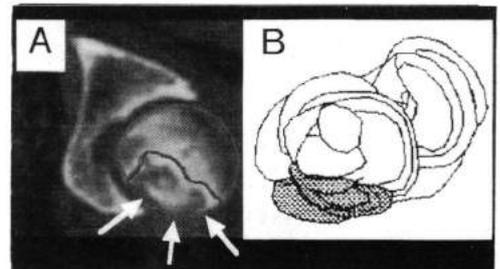


図4. 壊死部の評価。以前はCT像をもとに、壊死部(矢印)と健常部を区別していた (A)。これを立体視図として構築した。壊死部を斜線で示す (B)。

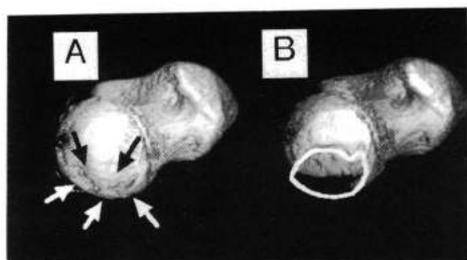


図5.壊死部の評価。ヘリカルCTで骨頭陥没を来している部位を壊死部と定義した(矢印)(A)。これを画面上消去した(実線)ヘリカルCTを示す(B)。

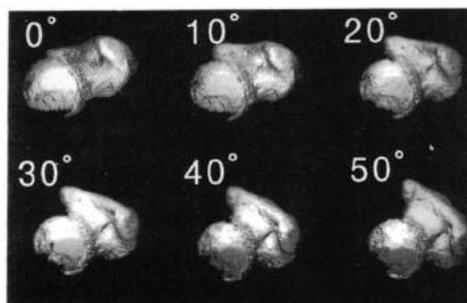


図6.前方回転のシミュレーション。骨頭陥没を来している部位を消去し、大腿骨頭を前方に任意の角度で回転している。

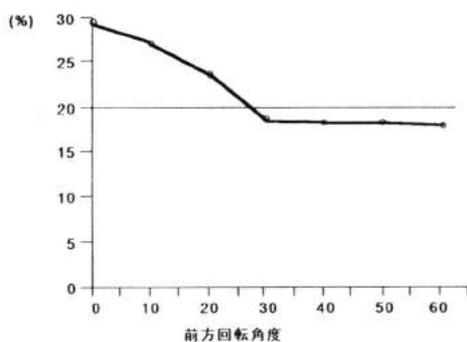


図7.前方回転に伴う壊死部の占める面積の変化。壊死部を含めた大腿骨頭を平面に投影し、壊死部の骨頭全体に占める面積を計測した。最終的には壊死部が骨頭全体の投影面積の20%以下となる回転角度を目標として骨切りを行っている。

しかし人手にたよるこの方法は煩雑であり、必ずしも正確な立体視図が構築できているわけではない。そこで大腿骨頭壊死症に対しても、ヘリカルCTを用いた術前計画への応用を試みた。大腿骨頭をヘリカルCTで荷重方向より観察し、骨頭陥没を来している部位を壊死部と定義した(図5)。

これを頸部軸を中心に前方に回転させることにより、実際の手術のシミュレーションを行うことが可能である(図6)。

壊死部を含めた大腿骨頭を平面に投影し、壊死部の骨頭全体に占める面積を計測することにより、回転に伴う壊死部面積の減少が明らかである(図7)。

最終的には壊死部が骨頭全体の投影面積の20%以下となる回転角度を目標として骨切りを行っている。

変形性股関節症

変形性股関節症においては、脚長差や股関節の拘縮による骨盤傾斜や腰椎側弯を呈することがしばしばみられる。人工股関節置換術の術後成績は極めて良好であるため、これらの問題はこれまでにあまり論じてこれなかった。しかし我々は術前に脚長差のある症例に対して、これを可能な限り是正する必要性を強調してきた(5)。そのためには正確な術前計画が必要であり、この目的のために我々は最初に述べたCT像より作成した立体視図を使用してきた。実際の手術に際しては、術前計画に従って大腿骨の骨切りを行うとともに、ソケットを立体視図に従った位置に設置してきた。このような術前計画に加えて、脚長が正確に是正されていることを、術中にキルシュナー鋼線を用いて確認している(6)。

これまでに当科で手術を行った人工股関節置換術65関節を対象として、このような術前計画がどの程度実際の手術に反映されてい

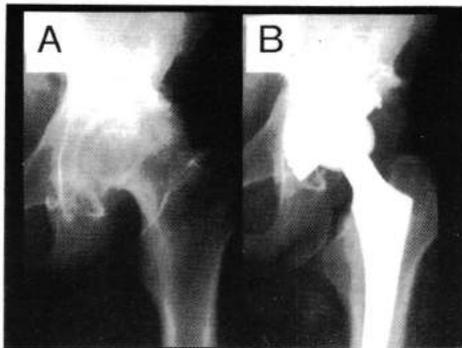


図8. 変形性股関節症に対して人工関節置換術を行った。術前 (A)、術後 (B)。

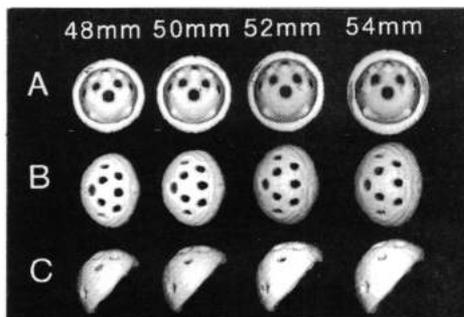


図9. ソケットの3次元像。各サイズ (48~54mm) のソケットをCTで取り込み、3次元像とした。A: ソケットを真下より観察。B: 45度の角度で臼に設置されたソケットを真上から観察。C: 45度の角度で臼に設置されたソケットを正面から観察している。

るかを検討した。使用機種は全例オムニフレックスで、術前計画と実際に使用されたソケットのサイズを比較した。58%の症例で術前計画で決定されたソケットが使用されていた。術前に意図した脚長の是正は86%の症例で達成されていたが、一部の症例ではモジュラスステムの頸部長を変更することにより脚長是正がなされていた。これらの症例の問題点は、ソケットが術前計画よりも外上方に設置されていた点である(2)。

術前計画の理想は、行ったシミュレーションが確実に手術に反映されることである。とりわけソケットの設置は重要で、術後の可動

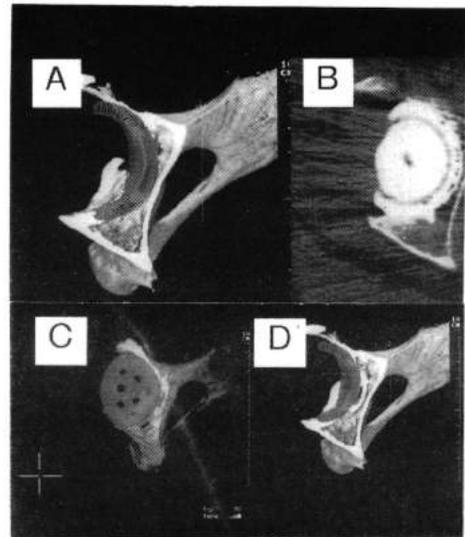


図10. ソケット設置のシミュレーション。寛骨臼の3DCT像とソケット (48mm) を合成した。A: 45度下方より観察。B: 臼の中央部で横断し、前方より観察。C: 臼の上縁で横断し、上方より観察。D: ソケットの最大横径部での横断図。

域や長期成績にまで影響を及ぼすことが知られている (7,8)。これまでに行ってきた立体視図であるが、臼の構造の詳細を必ずしも再現しているとはいえない。術中の正確なリーミングの手技が要求されるが、さらにきめ細かい術前計画がこの手技上の問題点を解決することが期待される。これらの反省のもとで、我々はヘリカルCTを用いたソケットサイズおよび設置位置の検討を試みた (図8)。

各種サイズのソケットをあらかじめヘリカルCTで撮影し、各方向からの3次元画像を作成しておく (図9)。

これを患者のヘリカルCT像に合成し、どのサイズのソケットがその患者に最も適合し、どのレベルまでリーミングするかを正確に把握しておく (図10)。

このような術前シミュレーションにより、さらに正確な手術を行うことが期待される

(図 11)。

このようにヘリカル CT は、股関節手術に対するコンピュータシミュレーションにおいて強力なツールとなることが明らかである(9)。

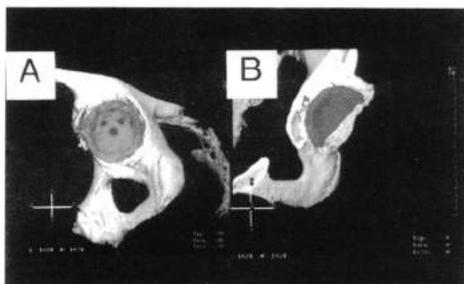


図11. 実際の手術との比較。術前のシミュレーション(A)で決定されたサイズのソケットを、リーミングの深さを丹念にチェックしながら設定した。術後のCT(B)では、ほぼ同じ位置に設置されたことがわかる。

まとめ

1. ヘリカル CT を用いて股関節の立体視図を作成した。
2. 大腿骨頭壊死症に対する大腿骨頭回転骨切り術と変形性股関節症に対する人工股関節置換術を対象として、コンピュータシミュレーションによる術前計画への応用を試みた。
3. ヘリカル CT は股関節手術のシミュレーションにおいて有用な情報を提供することが明らかにされた。

参考文献

- 1) Tanaka S., et al. : Simulation by stereographic processing of computed tomography for transtrochanteric rotation osteotomy in necrosis of the femoral head. *Int. Orthop.*, 22 : 116-121, 1998.
 - 2) 福田寛二ほか：当科における人工股関節置換術の術前計画とその実際。中部整災誌, 41:411-412,1998.
 - 3) 富原光雄ほか：股関節手術における CT 立体視図の応用。関節外科, 8:1257 - 62, 1989.
 - 4) 福田寛二ほか：大腿骨頭切り症における骨切り術の工夫。Hip Joint, 19: 45-47, 1993.
 - 5) 富原光雄ほか：変形性股関節症術後の脚長差と臨床成績、中部整災誌、29: 1467-1469, 1986.
 - 6) 田中清介ほか：股関節疾患における脚長差とその是正法。関節外科、6 : 295-301. 1987.
 - 7) Kennedy J. G., et al. : Effect of acetabular component orientation on recurrent dislocation, pelvic osteolysis, polyethylene wear, and component migration. *J. Arthroplasty*, 13:530-534, 1998.
 - 8) Robinson R.P.et al.:Joint motion and surface contact area related to component position in total hip arthroplasty. *J. Bone Joint Surg. (Br)*, 79:140-146,1997.
 - 9) Fukuda K, et al. : Helical CT image of the hip Joints. *Jpn. J. Rheumatol.*, 8:13-25, 1998.
- 1) Tanaka S., et al. : Simulation by stereographic processing of computed tomography for transtrochanteric rotation osteotomy in necrosis of the