

5 関節鏡視下手術におけるナビゲーション

大森 豪

新潟大学超域研究機構

Computer Navigation in Arthroscopic Surgery

Go OMORI

Center for Transdisciplinary Research, Niigata University

要 旨

1980年代から導入されたコンピュータナビゲーション手術は、整形外科において人工関節置換術や脊椎手術、骨折手術で普及が進んでいる。関節鏡は整形外科領域の内視鏡であり低侵襲性と言う優位性から現在膝関節を中心に関節手術のスタンダードな方法の1つとなっているが、コンピュータナビゲーションに関しては導入が進んでいるとは言えない。その理由としては、関節鏡画面を通して視野を得ることや、関節表面の軟骨や靭帯などの軟部組織の形状がモデル化困難であることなどが、重ね合わせ精度（registration）に影響することが考えられている。我々は、術前の精密な3次元モデルを構築し、そこで術前計画を立てた上で、手術中に関節鏡視画面に術前のモデル画面をリアルタイムに重ね合わせることで、手術中に関節鏡視画面に術前のモデル画面をリアルタイムに重ね合わせるにより、関節鏡視下手術中に術前計画を正確かつ迅速に再現できるナビゲーションシステムを開発している。基礎実験におけるシステム精度は誤差3.5mm未満であり、今後、システムおよび手術器具の改良により臨床応用が大きく期待される。

キーワード：関節鏡視下手術、コンピュータナビゲーション、膝前十字靭帯再建術、リアルタイムオーバーレイシステム

はじめに

関節鏡は、四肢、脊椎の骨・関節・靭帯や筋肉・神経を扱う整形外科領域における内視鏡であり、身体に対する低侵襲性から膝関節を中心に足関節、肩関節、手・肘関節、股関節、指関節などで広く行われている。特に、膝関節では手術全体の約80%が関節鏡により行われるまでになっている。

一方、1980年代になり工業分野の技術であった

CAD/CAMシステムを医療分野の外科手術に応用して手術の安全性や正確性を向上させようとする試みが始まり、「コンピュータ外科（computer aided surgery）」と呼ばれるようになった。この動きは整形外科医にも大きな影響を与え、人工関節置換術や骨折手術から導入が始まり、近年、脊椎外科手術や関節鏡手術での臨床応用も行われるようになってきている。本稿では、整形外科における関節鏡視下手術ナビゲーションについて概説する。

Reprint requests to: Go OMORI
Center for Transdisciplinary Research
Niigata University
2-8050-7 Igarashi Nishi - ku,
Niigata 950-2181 Japan

別刷請求先：
〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050番地7
新潟大学超域研究機構 大森 豪

関節鏡視下手術におけるナビゲーション 手術の現状と問題点

一般的にコンピュータ外科手術は、ロボット手術とナビゲーション手術に大別されるが、ロボット手術はコスト、機械の大きさ、安全性などの面から一部の限られた施設での臨床応用にとどまっている。一方、ナビゲーション手術は現在のところ整形外科領域の主流であり、registrationの方法により、Image free navigation, CT base navigation, Fluoro navigation の3つに分類されている¹⁾。

関節鏡視下手術におけるコンピュータナビゲーションは、1999年代後半から特に膝前十字靭帯再建術における骨孔の設置位置の正確性を向上させることを目標に研究と開発が行われ、一部で臨床への導入が開始された²⁾³⁾。これまでのところ、Image free navigation と Fluoro navigation の2つのシステムが行われており、近年、我が国においても Fluoro navigation システムを用いて脛骨骨孔位置が安定したと言う報告⁴⁾や、Image free

navigation を用いて前十字靭帯再建術を行い、再建後の膝関節の前後および回旋安定性を再び navigation を用いて評価した研究⁵⁾などが報告されている。すなわち、現状では関節鏡視下手術におけるナビゲーションシステムは、臨床応用を目指す側面とともに research tool としても利用されることが多い。

現行の関節鏡視下手術ナビゲーションは、他のナビゲーション手術と同様に、設定した目標点を高精度に手術時に再現することは可能であるが、目標点の位置決定を行う空間は Fluoro navigation では手術時に撮った2方向のX線画面上であり、Image free navigation では registration により位置関係だけが既知の universal model の中で規定される。つまり、患者個別の解剖学的な3次元モデルを術前に構築し、この3次元モデルを用いて立てた詳細な術前計画を鏡視下手術時に再現させることは現時点では不可能である。

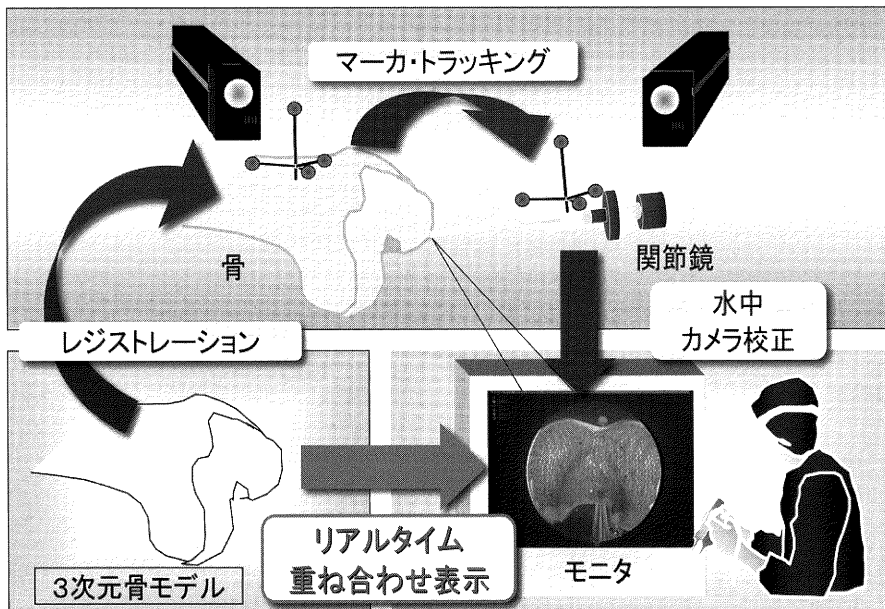


図1 リアルタイムオーバーレイシステムの模式図

我々の開発した関節鏡視下手術ナビゲーションシステム：リアルタイムオーバーレイシステム

我々は、新潟大学工学部との共同研究により手術前の3次元骨モデルで行った術前計画を正確かつ迅速に関節鏡視下手術中に再現できるナビゲーションシステムを独自に開発している。本システムは、関節鏡、マーカートラッキング用高精度カメラ、オーバーレイ表示機能付ダウンコンバータ、パーソナルコンピュータからなる⁶⁾。まず、CTから構築した術前3次元骨モデルにおいて骨孔位置などを解剖学的に決定しておく。次に、大腿骨、脛骨および関節鏡カメラに付設したマーカーをトラッキングすることにより各々の位置関係を把握しておく。2方向透視X線にて再現した仮想空間に2D/3Dレジストレーションを用いて骨モデルの投影像を重ね合わせ、さらに関節鏡に仮想投影

することにより、術前骨モデルの仮想鏡視像を実際の関節鏡視画像にリアルタイムに重ね合わせて表示する(図1)。鏡視画像に重ねあわされた術前モデル像には、予め決めておいた骨孔位置が表示されているため、実際の手術中に術前計画をもとに骨孔位置を正確に決定することが可能となる(図2)。新鮮凍結ヒト切断膝を用いた精度実験では本システムの総合精度は現時点では3.5mm未満であり、現時点で臨床应用到に必要な1度1mm以内の精度は得られていない⁷⁾。しかし、今後、関節軟骨を加味したMRIモデルの導入およびマーカートラッキングシステムの改良と手術器具の開発により精度の大幅な向上が見込まれ、術前の骨モデルを関節鏡視画像にリアルタイムに重ね合わせ表示する本システムは、将来臨床応用の可能性が高いと考えられる。

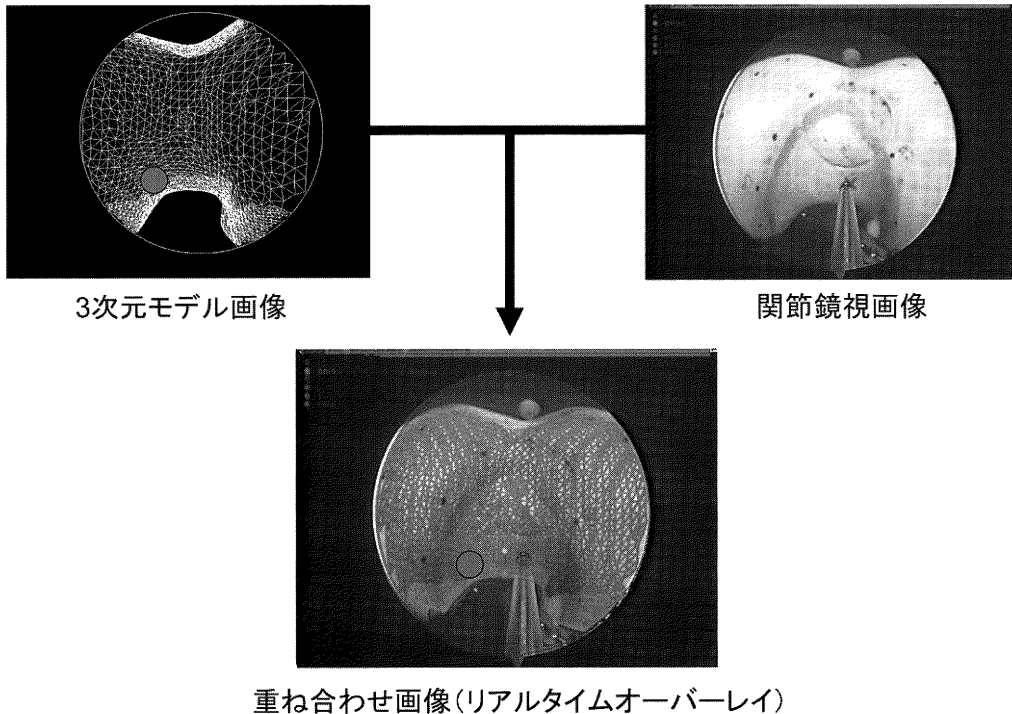


図2 術前3次元モデル画像と関節鏡視画像の重ね合わせによるオーバーレイ画像
術前モデル内で行った術前計画による骨孔位置(赤丸印)が、術中の関節鏡視画像に重ね合わせたオーバーレイ画像中に示されている。

ま と め

関節鏡視下手術は関節外科手術におけるスタンダードな手術法の1つであるが、現時点ではナビゲーション技術の導入に関して進んでいるとは言えず、今後更なる研究による発展が必要と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 松本知之, 津村暢宏, 村津裕輔, 黒坂昌弘: コンピュータ支援による人工膝関節置換術, 松野誠夫編 人工膝関節置換術-基礎と臨床-, 第1版, 文光堂, 東京, 390-396, 2005.
- 2) Burkart A, Debski RE, McMahon PJ, Rudy T, Fu FH, Musahi V, Scyoc A and Woo SL: Precision of ACL tunnel placement using traditional and robotic technique. *Comput Aided Surg* 6: 270-278, 2001.
- 3) Picard F, DiGioia AM, Moody J, Martinek V, Fu FH, Rytel M, Nikou C, LaBarca RS and Jaramaz B: Accuracy in tunnel placement for ACL reconstruction. Comparison of traditional arthroscopic and computer-assisted navigation techniques. *Comput Aided Surg* 6: 279-289, 2001.
- 4) Hiraoka H, Kuribayashi S, Fukuda A, Fukui N and Nakamura K: Endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction using a computer-assisted fluoroscopic navigation system. *J Orthop Sci* 11: 159-166, 2006.
- 5) Ishibashi Y, Tsuda E, Yamamoto Y, Tsukada H and Toh S: Navigation evaluation of the pivot-shift phenomenon during double-bundle anterior cruciate reconstruction: Is the posterolateral bundle more important? *Arthroscopy* 25: 488-495, 2009.
- 6) 佐々木俊行, 林 豊彦, 中村康雄, 大森 豪, 渡辺 聡, 佐藤 卓, 古賀良生: 関節鏡ナビゲーション手術システムにおける骨モデルへの鏡視画像の重ね合わせ精度評価. *日本臨床バイオメカニクス学会誌* 29: 241-246, 2008.
- 7) 石谷周一, 佐々木俊行, 織田広司, 林 豊彦, 中村康雄, 渡辺 聡, 佐藤 卓, 古賀良生, 大森 豪: 大腿骨MRIモデルにおける再現性の高い解剖学的座標系の構築. *日本臨床バイオメカニクス学会誌* 29: 409-414, 2008.