

Acquisition and Utilization of Multi-Dimensional Images during Surgery 術中における多次元画像情報の獲得と利用

プロジェクトリーダー 田 村 進 一

大阪大学 大学院医学系研究科 教授

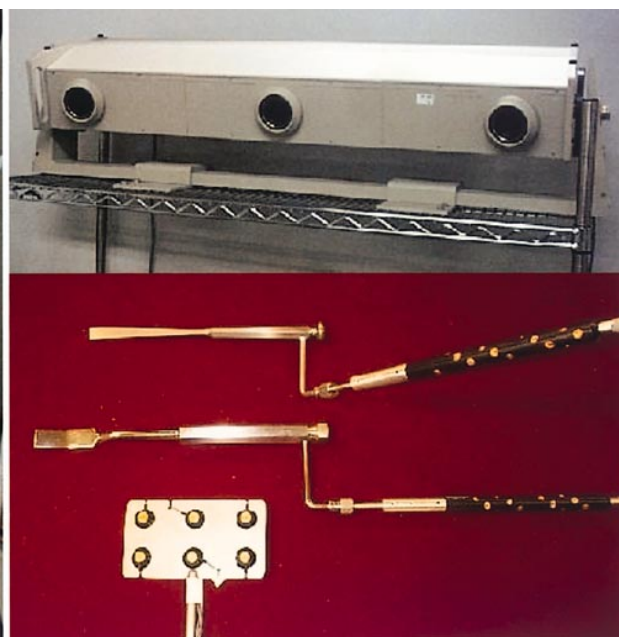


図1 三次元運動計測装置とグラフィックスコンピュータによるシステム開発。右上：三次元運動計測装置。右下：運動計測用発光ダイオードマーカ付き手術器具。

1. 研究の目的

本研究では、外科手術において、コンピュータによる画像解析および画像合成技術を駆使することにより、術者に「スーパービジョン（超視野）」を提供するシステムの開発を目指しています。手術においては、手術精度と安全性の向上、および、患者に対する侵襲性（例えば、手術による切開やX線被曝など）の低減が求められています。術者は、小さな切開範囲の限られた視野（術野）から、患者体内の病態、血管など重要な構造物、およびメスなどの手術器具との空間関係を正確に把握する必要があります。この把握を正確に行うことが、手術精度と安全性向上の一つの大きな鍵であり、現在は、術者の経験と勘に頼るところが大きいと言われています。本研究の目指すスーパービジョンは、術野から直接見ることができない体内の手術空間を、術者に、直接的かつ定量的に提示するものです。これにより、経験豊富な医師の洞察と勘に頼る手術を、コンピュータ解析による客観的かつ定量的な手術へと変えることを目指します。

スーパービジョン実現のためには、手術空間において刻一刻と変化する術中の患者体内の状態、および手術器具との三次元的関係を実時間で再構築する必要があります。この時間軸を含めた手術空間の四次元再構築の方法を確立することが、本研究の目的です。具体的には、手術前に撮影されたX線CT（コンピュータ断層）やMR（核磁気共鳴）画像などの術前画像に加えて、術中の超音波画像および患部や手術器具の三次元運動情報をコンピュータにより統合することで、四次元再構築を行ないます。このスーパービジョンの実現により、高精度かつ低侵襲な新しい手術手技の開発が期待されます。

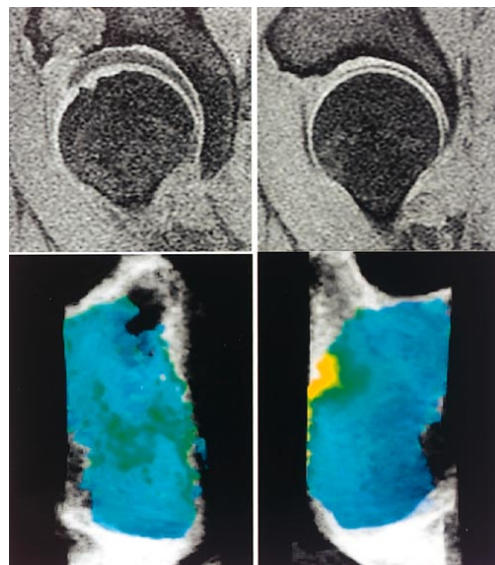


図2 術前画像解析：MR画像からの股関節軟骨厚み分布の精密定量化。同一患者の左右の関節軟骨（左：病変、右：正常）。上：MR画像。下：厚み分布（黄：厚、青：薄）。正常像（右）では、荷重のかかる部分で厚く（黄色に）なっているが、病変像（左）ではその部分が損傷していることがわかる。

2. 研究の内容

(1) 術前画像からの全自動三次元モデル再構築と定量化

術前に撮影されるX線CTやMR画像は、手術計画において、患部の病態や周囲の組織との関係を把握するための重要な情報源となります。近年、X線CTやMR撮影装置の進歩により、人体の内部構造を高解像度三次元画像として獲得できるようになっています。このことは、一回の撮影で大量の二次元断層画像が得られることを意味します。手術計画を立てる際、大量の断層画像の一枚一枚を見ていくことは、骨が折れるだけでなく重要な情報の見逃しにもつながりかねません。そこで、コンピュータによる三次元画像解析技術を用いて、X線CT・MR画像から、対象臓器・組織の領域を切り出すことにより、患者体内の三次元モデル再構築を行ない、患部の病態や周囲の組織との関係を立体的に把握することが試みられてきました。しかし、従来の方法では、解剖学の知識を持った医師の手作業が必要となるので、三次元モデル再構築の際に多大な労力がかかり、三次元モデルの精度や客観性にも問題がありました。

本研究では、三次元モデル再構築の全自動化、および手作業では行なうには困難な三次元精密定量化を行なう方法の開発を目指します。具体的には、肝臓のCT画像からの肝臓領域・肝血管・腫瘍の全自動三次元再構築、および、関節のMR画像から軟骨の三次元的厚み分布の精密定量化を進めています。肝癌切除手術では、血管と腫瘍の関係の把握が安全な手術を行なうのに特に重要です。また、関節手術においては、関節軟骨の定量化によって、軟骨の損傷の度合いに応じた最適な手術計画の立案が可能になります。

(2) 術中四次元モデル再構築と可視化

手術中には、手術計画どおり正確に手術が行なわれているか、血管など周囲の重要な組織を損傷する可能性がないかを実時間で確認する必要があります。骨盤を骨ノミで切断し再配置を行なう骨盤骨切り術と呼ばれる整形外科手術では、骨ノミの位置・方向を確認するために、術中にX線撮影を行いながら手術を行います。X線撮影では、被曝を伴うにもかかわらず二次元投影像が得られるのみです。術前に再構築した三次元骨盤モデルと術中に計測した骨ノミと骨盤の三次元運動情報を統合することにより、X線被曝のない三次元像によるモニタリングを行なうことが可能になります。患者の骨盤と骨ノミの三次元運動は、三次元運動計測装置を用いることにより、実時間で計測することができます。本研究で提案するスーパービジョンを用いて、骨ノミの位置確認のみならず、切断した骨片の三次元的配置を実時間で再構築できます。この手法を様々な手術手技に拡張することにより、従来のX線被曝を伴う二次元モニタリングから、被曝のない三次元モニタリングへの道を拓くことが期待できます。

肝癌の切除手術においては、肝臓内に複雑に入り組んだ血管を損傷しないように、術中に常に超音波断層像で血管を確認しながら手術を進めていかなければならず、非常に難しい手術とされています。本研究では、術中超音波画像から肝血管と腫瘍の三次元再構築を行ない、これを術野の実写画像と実時間で正確に重ね合わせ、立体画像として表示するシステムの開発を目指します。超音波プローブと実写画像撮影を行なうビデオカメラの位置と方向は、三次元運動計測装置により計測され、幾何学的に正確な重ね合わせが可能になります。さらに、手術器具（電気メスなど）の先端位置との関係の統合表示を行います。本研究で提案するスーパービジョンを用いて、肝臓表面から、肝臓内の血管構造・腫瘍が透けて見えるかのような画像をコンピュータで合成して術者に提示することにより、肝臓手術の安全性を大幅に向上させることが期待できます。

3. 研究の体制

期 間：1999年8月～2004年3月

構 成：プロジェクトリーダー：田村進一（大阪大学・大学院医学系研究科・教授）、コアメンバー2名、研究分担者10名（内ポスドク2名）。

実施場所：大阪大学 大学院医学系研究科 大阪府吹田市山田丘2-2

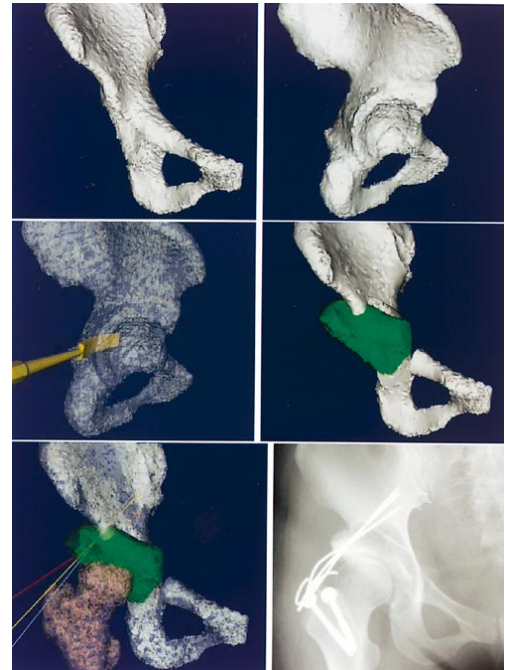


図3 術中画像解析：骨盤骨切り術における手術空間の四次元再構築。上：術前モデル（2方向からの表示）。中：骨ノミの位置表示（左）と三次元運動計測データに基づき形状・移動推定された骨片モデル（右。緑色で表示）。下：被曝なし三次元モニタリング像（左）と被曝ありX線二次元投影像（右）の比較。

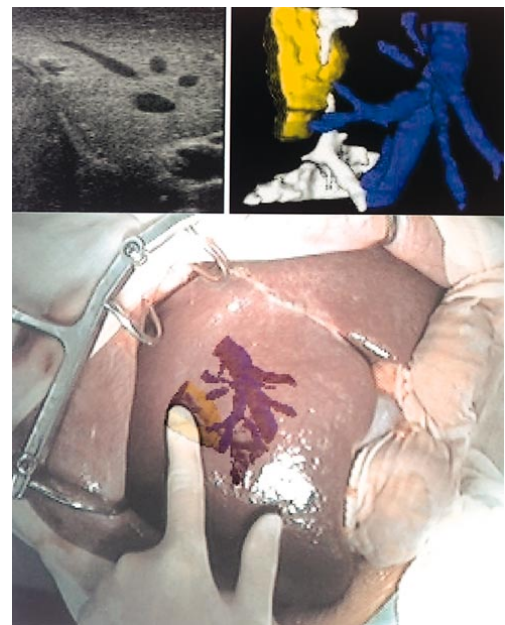


図4 術中画像解析：三次元超音波画像を用いた画像合成による手術空間の可視化。上：術中超音波画像（左）と血管と腫瘍の三次元超音波モデル（右）。下：三次元超音波モデルと実写画像の重ね合わせ像。