

Title	術中シミュレーション機能を持つ股関節手術ナビゲーションシステムの構築と精度検証に関する研究
Author(s)	笹間, 俊彦
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42435
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	菅 間 俊 彦
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 6 3 3 5 号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科情報数理系専攻
学位論文名	術中シミュレーション機能を持つ股関節手術ナビゲーションシステムの構築と精度検証に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 田村 進一 (副査) 教授 北橋 忠宏 教授 萩原 兼一

論 文 内 容 の 要 旨

近年の外科手術分野では、複合現実感 (Mixed Reality) システムの一例として、手術ナビゲーションシステムの導入が活発である。手術ナビゲーションシステムは、現実空間のリアルタイムな情報を計算機内空間へと取り込みモデル上で再現することで、従来は得られなかった視界や情報を提供し、手術者の経験に依存しない高精度の手術を実現する。本論文では、股関節の人工関節手術を対象としたナビゲーションシステムを構築し、精度検証を行った。

手術ナビゲーションシステムは人体を対象とするため、精度保証が重要な課題となる。これらのシステムではレジストレーションが全体の精度の中に大きな位置をしめるが、それには様々な条件が影響する。本報告では、統合的な股関節手術ナビゲーションシステムの構築の準備として、術前 CT 画像撮影厚、表面モデル作成閾値、術中取得領域、術中取得点数の各条件におけるレジストレーションの精度評価を行った。実験には乾燥遺体骨を使用し、ヘリカル CT 撮影画像より作成した表面モデルと光学式 3 次元位置センサにより計測した骨表面点によるレジストレーションを行った。実験条件は被曝量や切開範囲などに着目して段階的に用意し、骨に取り付けた高精度球体を精度評価の指標とした。通常の手術条件下において骨盤で位置誤差 1.2mm、角度誤差 0.9 度、大腿骨で 1.4mm、0.6 度という精度を得ることができ、適切な条件設定をすることにより、患者への被曝量や切開範囲をそれ程増すことなく臨床的に有用な精度を達成できることを確認した。

次に、術中シミュレーション機能を持つ人工股関節全置換術の手術支援システムを構築し、精度検証を行った。人工股関節全置換術とは、損傷した股関節において、構成部品の全てを人工の関節部品へと置き換える手術で、両脚の脚長差の調整、日常生活に支障のない関節可動域の確保などを目的とする。従来は手術支援システムは、術前に手術計画の作成を支援し、術中は手術計画通りの正確な人工関節部品の設置を支援する。しかし、術前には手術部位の骨強度などの判断が難しいため、術中に手術計画の変更が必要となる場合があり、従来は手術支援システムではこのような状況には対応できない。本システムでは手術計画の変更に対応するため、術中に関節部品の計測値に基づいて関節の動作をシミュレーションし、手術目的に関わる、脚長と関節可動域という股関節機能を推定する。術者はこれらの推定を参考にして適切な手術計画の変更を行う。これらの股関節機能の定義は、股関節を構成する骨の形状的特徴に基づいて定義し、計測基準として客観性と普遍性を持つものとした。シミュレーション精度は、脚長は、術後 CT 画像から作成した情報との比較により評価し、約 3 mm の精度を確認し、可動域は、術中に計測した情報との比較により評価し、矛盾しない推定を行っていることを確認した。

論文審査の結果の要旨

複合現実技術は大きな発展を遂げてきているが、その重要な応用の一つに、正確で侵襲性の少ない手術を支援する手術ナビゲーションシステムがある。手術ナビゲーションシステムでは、要求精度が保証されることが絶対的な必要条件である。また実際の手術では、手術の進行にともなって、事前の手術計画からずれてくることが頻繁に生じる。このような逸脱状態への対応性がシステムの成否を左右する。

本論文は、術中シミュレーション機能をもつ股関節手術ナビゲーションシステムを提案し、実際にシステムを構築している。術中シミュレーション機能を実現するため、構築したシステムは、股関節を構成する骨盤と大腿骨の両方を取り扱い対象としている。この術中シミュレーション機能は、他の股関節手術ナビゲーションシステムにない大きな特徴である。この機能を利用して、術中に関節可動域の推定を行い、その障害となる骨を準リアルタイムに提示し、即座に切除できる機能を提供している。

さらに本論文では、手術ナビゲーションシステムの精度に大きな影響を与えるレジストレーションについて詳細な実験的検討を行っている。とくに、患者のX線被爆量、切開領域の大きさや精度の相関関係を明らかにしている。構築したシステムのレジストレーション精度は、通常の条件下で、骨盤で1.2mm、0.9度、大腿骨で1.4mm、0.6度であり、臨床的に有用な精度を達成できていることを確認している。

このように、本論文は、術中シミュレーション機能をもつ人工股関節全置換術のための手術ナビゲーションシステムを提案し、構築したシステムの有用性を工学的な観点から検証している。提案システムは、すでに日常的に臨床現場で使用されており、新規性のみならず、実用性も高い。よって、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。