

Title	Surface-based registration accuracy of CT-based image-guided spine surgery
Author(s)	田村, 裕一
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45443
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	田村 裕一
博士の専攻分野の名称	博士(医学)
学位記番号	第 19362 号
学位授与年月日	平成 17 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 医学系研究科先端応用医学専攻
学位論文名	Surface-based registration accuracy of CT-based image-guided spine surgery (CT 画像誘導下脊椎手術における表面形状レジストレーションの精度検証)
論文審査委員	(主査) 教授 吉川 秀樹 (副査) 教授 中村 仁信 教授 吉峰 俊樹

論文内容の要旨

〔 目 的 〕

椎弓根スクリューの誤刺入を防止する目的で、1990年代半ばより欧米を中心に CT-based navigation system が開発、臨床応用が進められている。これら CT-based navigation system の使用には、術前に撮像した CT 画像と実空間データとをマッチングさせる registration (位置あわせ) と呼ばれる操作が必要である。この registration の精度は、術中に取得される表面点データに大きく影響され、CT-based navigation system 全体の精度にも影響を及ぼす。本研究の目的は、ヒト腰椎乾燥骨ファントムを用いた基礎実験により、脊椎手術用 CT-based navigation system における surface-based registration 法 (表面形状マッチング法) の精度検証を行い、臨床使用における最適な表面点データの取得条件を求めることである。

〔 方 法 〕 実験には、ヒト腰椎乾燥骨ファントム (第 4 腰椎) と、このファントムのヘリカル 3 次元 CT 画像 (1 mm スライス厚) からセグメンテーションした computer surface model を使用した。精度評価の指標として、ファントムの椎体前面に 3 個の 22 mm 径アルミナセラミック球を骨セメントにて接着した。使用したナビゲーションシステムは、光学式 3 次元位置計測装置 (OPTOTRAK®3020 system) を用いた CT-based navigation system であり、registration 方法には表面形状マッチング法を用いた。椎弓根スクリューを用いた脊椎後方 instrumentation 手術を想定し、椎骨背側を解剖学分類に基づき、5 つの表面点データ取得領域 (椎弓・棘突起先端・棘突起側面・横突起・関節突起) に分け、各領域から無作為に 20 点の表面点データを光学式 3 次元位置計測装置のデジタイザーを用いて取得し使用した。臨床上で骨表面の露出が容易な椎弓を基準領域とし、無作為に取得した表面点のデータ量、椎弓以外の併用領域上のデータによる精度への影響を評価した。実験試行回数は 20 回とした。

3 次元空間におけるファントムの絶対位置は、アルミナセラミック球の表面から 500 点の表面点を取得し、算出した球体の中心を用いて定義した。レジストレーション精度は、位置誤差 (3 つのセラミック球の中心のズレ) と、角度誤差 (3 つのセラミック球の中心を通過するベクトルのズレ) にて評価した。

〔 結 果 〕

椎弓上のみの表面点で registration を施行した場合、表面点数 20 点にて精度は収束し、位置誤差 0.96 ± 0.24 mm、角度誤差 $0.91 \pm 0.38^\circ$ であった。さらに椎弓上の表面点 20 点を基準とし、他の領域上の表面点を併用した場合を検討した。棘突起先端上の表面点 20 点の併用は、位置誤差 1.29 ± 0.28 mm、角度誤差 $0.91 \pm 0.29^\circ$ と精度の悪化を招いた。棘突起側面の表面点 20 点を併用した場合、位置誤差 0.74 ± 0.19 mm、角度誤差 $0.74 \pm 0.25^\circ$ と位置誤差の有意な向上が見られた。横突起上の表面点 20 点を併用した場合、位置誤差 0.75 ± 0.22 mm、角度誤差 $0.64 \pm 0.16^\circ$ と角度誤差の有意な向上が見られた。上下椎間関節突起上の表面点 20 点を併用した場合、位置誤差 0.57 ± 0.13 mm、角度誤差 $0.54 \pm 0.21^\circ$ と位置誤差・角度誤差ともに向上が見られた。レジストレーション残差は、いずれのデータ取得条件においても 0.2 mm 以下と小さな値であったが、レジストレーション精度との関連性はなかった。

[総 括]

本研究の結果より、脊椎手術において表面形状マッチング法を用いた CT-based navigation system では、椎弓上の 20 点のみを使用するだけで高精度の registration が実現できると判明した。これにより、従来のように横突起の基部を展開し、解剖学的なランドマークとなる横突起、副横突起や椎間関節を指標にする必要はなく、可及的に傍脊柱筋を温存した低侵襲な術野展開でかつ正確なナビゲーション手術操作が可能となる。また、変性変化の著明な症例や再手術症例などにおいて、椎弓上から得られるデータが不十分な場合、棘突起側面上の点を使用することで高精度のレジストレーションを行うことが可能であると考えられる。

論文審査の結果の要旨

コンピュータ支援脊椎手術に用いられる CT-based navigation system において、実空間（術野である骨表面）からの情報と術前に撮像した CT 画像データとをマッチングさせるレジストレーションと呼ばれる操作は、手術成績を左右する重要な因子と考えられるが、その精度は明らかにされていない。これに対し、腰椎乾燥骨ファントムを用いた基礎実験にて、光学式 CT-based navigation system におけるレジストレーション精度を検証し、最適なレジストレーション結果を得るために必要な表面代表点データの取得条件（取得データ数、データ取得領域）を解析している。

臨床上、広く骨表面が露出可能である椎弓上から得られる表面代表点を基準として使用した場合、20 点の使用により、レジストレーション精度は収束がみられ、平均 1 mm、1 度以下の高精度レジストレーション結果が獲得されることが判明した。さらなる精度向上を獲得するためには、棘突起側面、横突起部上のデータの併用が有用であると判明した。これらの領域を併用することにより、椎骨の変性変化が著明な症例においても安定したレジストレーションを行うことが可能となる。

本論文は、CT-based navigation system を用いたコンピュータ支援脊椎手術において、安全なシステムの使用と手術の安全性を向上する上で重要な指針を与える研究であり、学位論文に値する。