

審査の結果の要旨

氏名 三木 康平

本論文は「軟性手術デバイスおよび手術ナビゲーションによる低侵襲骨髄採取システムの開発」という題目で提出したものである。

現在の骨髄採取は、全身麻酔下で腸骨に骨髄穿刺針を繰り返し穿刺・吸引を行い、必要量の造血幹細胞を確保するため、採取対象であるドナーへの侵襲が大きい。そこで、本論文では、効率的かつ安全な骨髄採取を目標とした軟性手術デバイスおよび手術ナビゲーションによる低侵襲骨髄採取システムの提案・開発について論じている。具体的には、軟性ドリルを用いて穿孔しながら吸引することで、高濃度かつ広範囲からの骨髄採取が可能な骨髄採取デバイスの提案および開発を行った。また医用画像から抽出した腸骨モデルおよび磁気センサで計測したデバイス座標情報を提示することで術野の精確かつ直感的な把握が可能な骨髄採取用ナビゲーションシステムを開発した。これにより、健常者であるドナーの骨髄採取における負担を軽減させることが可能となる。本論文は以下の通り全6章からなる。ここに各章について述べる。

第1章では、本論文の背景として、造血幹細胞移植の現状および骨髄採取における低侵襲手術の必要性について述べ、従来の骨髄採取法の問題点を説明した。また、高効率かつ安全な低侵襲骨髄採取を実現するシステムについて議論している。そして、本論文の目的として、ドナーの負担軽減の実現のための要素技術を明確化した。

第2章では、本論文の位置づけおよびシステムの構成を詳述した。まず提案する骨髄採取デバイスを用いた骨髄採取法および採取経路について検討した。本研究では皮質骨に開けられた一つの孔から角度を変え複数回トロカーおよびデバイスを挿入し穿孔・吸引を行うこととした。ナビゲーションについては、システムの構成を詳述した。複数の座標系のレジストレーションについて検討を行い、皮膚に貼り付けたマーカを基準点としてマーカベース方式のレジストレーションを行うこととした。

第3章では、骨髄採取デバイスを詳述した。ヘラ形状のドリルビットとケーブルチューブを用いた軟性ドリルを設計・試作した。また、先端方向に吸引口を持つ骨髄液吸引ポートと抗凝固剤注入ポートの2層からなる吸引システムを設計・試作した。軟性ドリルと吸引システムを搭載し、穿孔と同時に吸引可能な骨髄採取デバイスの開発を行った。開発したデバイスに対して各種性能評価実験および、*in vivo*の骨髄採取性能評価実験を詳述した。具体的な実験項目としては、穿孔性能、屈曲性能、採取性能の評価をそれぞれ行った。骨髄線針と比較し4.8倍の造血幹細胞が含まれる骨髄液の採取が可能であり、高濃度の骨髄採取が可能であることを示した。

第4章では、骨髄採取用ナビゲーションを詳述した。タブレットPC、磁気式三次元位置計測システム、マルチモダリティマーカからなる骨髄採取ナビゲーションの開発を行った。また、医用画像から生成した腸骨モデルを用いた経路シミュレーションについて述べた。開発したデバイスに対してトラッキング性能評価実験および、*in vivo*評価実験を詳述した。*in vivo*下でタブレットPCのカメラで計測したカメラ画像上に、術前に撮像したMR画像から生成した腸骨の三次元モデルおよびリアルタイムで計測した穿孔経路内に挿入したセンサ座標が重畳表示可能であることを確認した。本ナビゲーションにより皮膚上から腸骨およびデバイスの位置を直感的に把握および精確なトロカー穿刺、デバイス挿入の支援の実現可能性を示した。

第5章では、各評価実験の結果を基にしたシステムの全体的な考察について述べた。また、開発したシステムの臨床使用に向けた課題と解決法の提案および、将来的な展望について述べている。

第6章では、本研究により得られた成果をまとめ、低侵襲骨髄採取システムの基盤技術の確立および、今後の骨髄採取の低侵襲化によるドナーへの負担の軽減が十分期待されることを結論として述べまとめた。

本審査においては、一般的なARナビゲーションとの違い、貫通防止のためのセンシング、機構の拡張性についての議論のほか、開発物の医師による客観的な評価の記述不足が指摘され、適切に修正が行われた。

以上、上述した一連の成果によって、本論文は技術的なこれまでにない低侵襲な骨髄採取手法の提案を行い臨床使用の可能性を示したといえ、また、健常者であるドナーの負担軽減という医療への貢献も大いに期待できる結果が得られたといえる。よって、本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。

以上