



Title	アパタイト配向性に基づく人工股関節ステムの設計と開発
Author(s)	野山, 義裕
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59182
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	野 山 義 裕
博士の専攻分野の名称	博 士（工学）
学 位 記 番 号	第 2 5 5 0 6 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 24 年 3 月 22 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学 位 論 文 名	アパタイト配向性に基づく人工股関節ステムの設計と開発
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授 中野 貴由 （副査） 教 授 荒木 秀樹 教 授 宇都宮 裕

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、運動器疾患の機能回復に適用される人工股関節（THR: Total Hip Replacement）インプラントに対して、材料工学的立場からインプラント周囲の骨微細構造に注目し、骨-インプラント間の界面に及ぼす骨の力学的特性について、量的・質的観点から統計学的に評価した。その結果、骨-インプラント間に生じる応力遮蔽効果の発生メカニズム解明とその解決策を導くことができた。それには、骨-インプラント間に生じる局所的な *in vivo* 応力状態の把握と、それに起因した骨リモデリング時の骨微細構造の異方性を考慮する必要があり、このことを十分理解することで、従来の手法では諦めていた骨-インプラント界面に生じる力学機能を制御する新しい技術を構築することができた。本論文は、以下に示す全7章より構成されている。

第1章では、本論文で扱うTHRインプラントの社会的意義と臨床上の問題点、およびインプラント周囲の骨組織の力学機能に関して、特に骨微細構造の異方性に注目して記述した。THRインプラントの再置換手術に至る主要因が、応力遮蔽効果に起因するルースニングであり、その改善には骨-インプラント間に生じる骨微細構造変化に基づいたインプラント設計が効果的であることを指摘した。骨微細構造の骨質指標である生体アパタイト（BAp: Biological Apatite）の *c* 軸配向性は、骨に負荷する *in vivo* 応力と深い相関関係があるため、骨-インプラント界面の力学的環境の制御が、インプラントの長期固定に有用であることを提案した。

第2章では、セメントレス型THRステムが埋入したヒト献体を用いて、インプラント埋入により生じる応力遮蔽効果のメカニズム解明に迫るため、インプラント周囲骨の骨量・骨質に着目し、BAp配向性と相関関係にある *in vivo* 応力について調査した。

第3章では、第1章と第2章で提案した、インプラント周囲骨の力学機能とBAp/Collagen配向性を制御するTHRインプラント設計のため、イヌ用THRステムの近位内側部に配向溝を導入し、溝内部の骨に生じる *in vivo* の主応力分布が最適となる溝角度を応力シミュレーションより検討した。

第4章では、第3章にてシミュレートしたTHRステム表面に導入した配向溝の効能評価として、beagleを用いた動物埋入実験により、溝内部に形成する骨を量的・質的に解析した。

第5章では、第3章と第4章で確立した配向溝構造をヒト用THRインプラントへ適用するための準備として、配向溝付THRステムを設計し、JIS TS T0013に準じた応力シミュレーションによりインプラント単体の力学的疲労強度を評価した。

第6章では、第5章で設計したヒト用配向溝付THRステムを作製し、本THRステムの力学的安全性を評価するため、ISO7206-4に準じて力学的疲労強度試験を実施した。

第7章では、本研究により得られた成果を総括した。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は人工股関節（THR: Total Hip Replacement）インプラントに対して、材料工学的立場から、インプラント周囲の骨微細構造に注目し、骨-インプラント界面における新生骨の形成、微細構造の正常化を検討した結果として、新規インプラントにおける最適表面の設計指針を示している。特に、骨微細構造としては、骨質の一つの指標としての生体アパタイト結晶の *c* 軸配向性に注目し、微小領域 X 線回折法による解析を行い、インプラント設計の重要な指標であることを明らかにしている。

従来型の人工股関節を埋入した周囲骨を用いた解析では、インプラント埋入により生じた応力遮蔽効果の発生部位の特定と同時に発生した骨密度・*c* 軸配向性の劣化現象を見出している。この解決策を導くために、骨-インプラント間に生じる局所的な *in vivo* 応力状態を有限要素解析法による応力シミュレーションから算出し、主応力ベクトル方向に骨新生が旺盛であり、生体アパタイト結晶の *c* 軸配向性の形成が促進されることを利用して、THR システムに対して、主応力ベクトルを考慮した配向溝/配向性孔メッシュを導入することを提案し、骨-インプラント界面での長期固定を可能とするインプラントの設計を行っている。

設計されたインプラントは、ビーグル犬に埋入し、配向溝内部に形成する新生骨を量的・質的に解析している。イ

ンプラント周囲骨の主応力を制御する配向溝構造は、溝内への高骨量・高骨質（高配向性）な新生骨形成を促すことを明らかにし、bone-in-growth によるアンカー効果だけでなく、自発的骨伝導能制御の観点から骨-インプラントの結合性向上・維持が可能となる表面形態制御技術として有効であることを証明している。さらに、ヒトの場合において配向溝の最適導入角度は、大腿骨近位内側部での第2圧縮骨梁群の走行方向に平行な方向であることを示している。

こうした配向溝／孔を付与したインプラントは、インプラント周囲の新生骨を能動的に誘導し、長期間にわたってあたかも生体骨と一体化して振る舞うようなインプラントとなる可能性を持つ。配向溝／配向孔メッシュの角度は、あらかじめ応力シミュレーションにより導出可能であることから、個々の被験者の骨組織に対応可能となるように、パーソナライズド化することも可能である。さらには、配向性孔メッシュは既製品のポーラス部に直ちに取って代わることができる表面制御技術であり、整形外科インプラントや歯科インプラントへの高い汎用性が期待される。

以上、本論文は、骨微細構造の視点から、インプラントの長期固定に向けた表面設計を与える新規手法・概念を与えるものであり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。