九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

Development and characterization of orthopedic polymer implants using three dimensional printing technology

ムハマド, ヒルミ ビン ジャリル

https://doi.org/10.15017/1807088

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

KYUSHU UNIVERSITY

氏　　名 Muhammad Hilmi Bin Jalil（ムハマド　ヒルミ　ビン　ジャリル）

論 文 名 : Development and characterization of orthopedic polymer implants using three dimensional printing technology
（3 次元プリンティング技術を用いた整形外科用ポリマーインプラントの開発と評価）

区　　分 : 甲

論　文　内　容　の　要　旨

整形外科の治療において，損傷した骨の固定や軟部組織の置換，摘出した組織の再生等のために人工材料を用いて作製したインプラントは重要な役割を果たしている．しかし，既存のインプラントは構造や形状に制限があり，必ずしもすべての患者の治療に最適なインプラントが存在するとは限らないのが現状である．そこで，3 次元プリンティング技術を用いて，患者毎に必要なインプラントを作製する方法が検討され，CT 画像を利用したインプラントのカスタムメードデザインの検討も進んでいるが，解決すべき課題も多く，未だほとんどが研究段階で臨床応用には至っていない．

本論文は，3 次元プリンティング技術を用いた骨再生用多孔質ポリマー製足場材料の作製法，ならびに CT 画像データを用いた有限要素解析と 3 次元プリンティング技術を組み合わせた脊椎治療用のポリマーケージの作製法について検討している．

第 1 章では研究の背景と目的について述べている．まず，骨再生治療の現状を紹介し，続けて骨再生で必要となる多孔質足場材料の重要性について紹介している．次いで，源材料として使用する生体吸収性を有し整形外科や口腔外科用インプラント材料として広く用いられているポリ乳酸（PLA）について紹介し，3 次元プリンティング技術のひとつとして本研究で用いたラピッドプロトタイピングについて，その概要を説明している．次いで，2 番目の研究対象である脊椎の椎体形成術の基礎とその手術で用いるケージ，およびケージ用材料について紹介している．最後に研究の目的について説明している．

第 2 章では研究方法の詳細について述べている．まず試験片作製に使用した 3D プリンターの基本性能と操作法，試験片の設計から実構造体作製までの手順について説明している．次いで，空隙率や圧縮力学特性の評価方法，FE-SEM を用いた微視構造の観察

法について説明している．最後に，CT 画像を用いた骨モデルの構築法と有限要素法による数値解析法について，その概要を説明している．

第 3 章では 3D プリンターを用いて試験片を作製する際の作製条件の最適化について述べている．最適化は試行錯誤法によって実施され，考慮したパラメータは，プリントの方向，射出温度，積層厚さ等であり，表面の状態や形状の精度に基づいてパラメータの決定が行われている．

第 4 章では 3D プリンターを用いて PLA 製の円筒形 1 方向多孔質構造体を作製し，2 種類の空孔の充填方法，正方充填（SQ）と六方充填（HEX），ならびに異なる空孔径が圧縮力学特性に及ぼす影響について検討している．その結果，空孔径が 1mm の場合に，微視構造が最も良好に構築され，力学特性が最大になることを明らかにしている．一方，空孔径が 0.7mm の場合には，積層された各 PLA 層の層間にマイクロボイドが形成され，そのために力学特性は最低となることを見出している．また，FE-SEM による微視構造観察の結果に基づき，圧縮負荷により壁構造は曲げ変形状態となることでマイクロクラックが層間および層内にも発生し，最終的にはマイクロクラックが成長することで圧縮破壊が生じるというメカニズムを提案している．さらに，CAD データを用いた数値解析による圧縮弾性率の予測結果が実構造体の測定結果とよく一致することを確認している．また，空孔形状を円錐形，球形，八面体形としたより複雑な多孔質構造を試作し，八面体形の多孔体が最も圧縮力学特性が高くなることを明らかにしている．

第 5 章では CT 画像を用いた有限要素法により，生体力学的観点から PLA ケージと PEEK ケージの比較を行い，ケージ用材料としての PLA の有効性について検証している．ケージ近傍の骨の応力を比較した結果，PLA ケージと PEEK ケージの差は小さいが，伸展や曲げの境界条件では PLA の方が低くなることを明らかにしている．また，ケージ内の応力については，すべての境界条件において PLA の方が低くなることを見い出している．これらの数値解析の結果から，PLA 製ケージの生体力学的な妥当性が示されている．

第 6 章では異なる構造の PLA ケージを 3D プリンターで作製し，比較検討を行っている．基本構造は中実と中空構造であり，それぞれに径が異なる空孔（1mm と 2mm）を導入している．このようにケージの構造を制御することで，圧縮力学特性の制御が可能であることが示されている．さらに，骨モデルと組み合わせた数値解析の結果，ケージ近傍の骨内の応力状態もケージ構造の影響を受けて変化し，中空で 2mm の気孔径をもつケージの場合に骨内の応力集中が低減されることが明らかになっている．

第 7 章は総括であり，各実験研究から得られた重要事項について説明している．