

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K20007

研究課題名(和文) シンクロトロンCTおよび有限要素解析を用いた骨梁微細骨折の発生メカニズムの研究

研究課題名(英文) Study on trabecular microfracture by synchrotron CT and finite element analysis

研究代表者

千葉 恒 (CHIBA, Ko)

長崎大学・医歯薬学総合研究科(医学系)・助教

研究者番号：00457574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：骨粗鬆症患者から得られた骨サンプルをシンクロトロンCTで撮影し、骨梁に生じた微細骨折の検出、微細骨折を生じた骨微細構造の解析、および微細骨折発生の力学シミュレーションを行った。全ての症例で複数の微細仮骨が確認され、骨梁レベルの骨折が不顕性に生じていたことが推察された。骨微細構造は、微細骨折を多く生じている骨サンプルほど、骨梁の太さの平均値が小さく骨梁構造の脆弱化が生じていた。有限要素解析では、微細骨折の発生部位に一定の傾向はなく、また、実際に微細骨折を生じていた部位との相関もなく、微細骨折は1軸の静圧縮ではなく、高い歪み速度や、曲げ、捻りなどの複雑な因子が関与していることが推察された。

研究成果の概要(英文)：Trabecular microfractures were detected by synchrotron CT in patients with osteoporosis. Bone microstructure was severely deteriorated in cases with many trabecular microfractures. Finite element analysis of compression force didn't show a particular tendency in terms of fracture site, indicating that incidence of trabecular microfracture is affected by multiple factors such as bend, torsion, and high strain rate.

研究分野：整形外科学

キーワード：骨梁微細骨折 シンクロトロンCT 有限要素解析 骨粗鬆症

1. 研究開始当初の背景

微細骨折とは、臨床用の画像機器では検出できない、ミクロレベルで生じる骨梁の骨折のことである。

高齢者の骨梁には多数の微細骨折が不顕性に発生しており、蓄積することで徐々に、脊椎の後弯変形や下肢の内反変形が進行すると考えられている。その結果、腰部脊柱間狭窄症や変形性膝関節症といった変性疾患を発症する。

微細骨折が、どのような骨梁にどのような機序で発生するかはよくわかっていない。

シンクロトロン CT (synchrotron micro CT: SRCT) は、放射光を用いたマイクロ CT のことであり、高い解像度と正確な定量性を有している。この CT を骨の解析に用いる事で、骨梁の三次元構造やミネラル化分布といった、骨の構造および材質特性の詳細な解析が可能である。

骨は I 型コラーゲンにミネラル (ハイドロキシアパタイト) が沈着して骨梁を形成しており、それらが網目状にネットワーク構造をなしている。荷重方向に形成された縦の骨梁や、それらの間を橋渡しする横の骨梁、棒状になった骨梁もあれば板状になった骨梁もあり、その強度に果たす役割は一つ一つ異なる。またミネラルの沈着の程度で、硬い骨梁もあれば、柔らかくしなやかな骨梁も存在する。シンクロトロン CT では、これら骨梁の三次元的な構造からミネラル沈着の分布まで正確に描出することが可能である。

本手法を用いることで、骨の構造、材質、その力学的機能に至る網羅的な解析が可能であるが、シンクロトロン CT を行える放射光施設は世界に数カ所しか存在しないことから、本手法を用いた微細骨折の研究は世界的にもほとんど行われていなかった。

2. 研究の目的

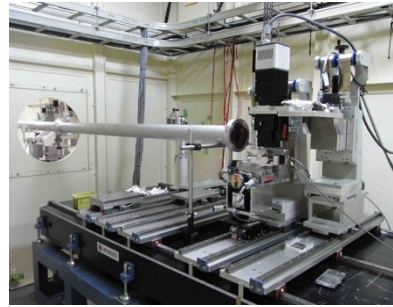
本研究の目的は、シンクロトロン CT を用いて、高齢者の骨梁に生じた微細骨折を検出し、発生部位の構造的特徴を解析すること、および、力学シミュレーションを行い、微細骨折の発生メカニズムの解明することである。

3. 研究の方法

(1) 材料とシンクロトロン CT 撮影

骨粗鬆症により大腿骨頸部骨折を生じた高齢女性から手術の際に摘出された大腿骨頭より、径 1cm 高さ 1cm 円柱形の骨サンプルを作成した。

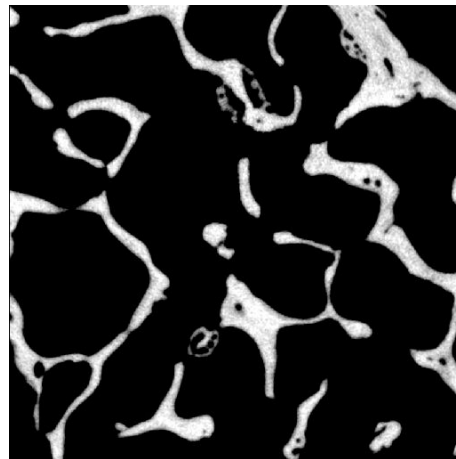
大型放射光施設 SPring-8 (兵庫県佐用郡) でシンクロトロン CT の撮影を行った (図) (放射光エネルギー: 30keV、ピクセルサイズ: 5.9 μ m)。



大腿骨頭の荷重部直下の 5mm³ の領域で以降の解析を行った (TRI/3D-BON, Ratoc System Engineering Co., Ltd.)。

(2) 微細骨折が発生する骨梁構造の解析

微細骨折に対する治療過程で生じた、微細仮骨 (図) の検出は、微細骨折発生部を特定する有用な指標である。微細骨折の発生数と、発生した領域の骨梁構造の関係を解析し、微細骨折がどのような骨梁に発生しているのかを調査した。



(3) 微細骨折発生の力学シミュレーション

有限要素法により、骨梁に圧縮試験のシミュレーションを行い、微細骨折を発生させた。予測される微細骨折の発生部位と、その骨梁構造の特徴を解析し、さらに実際の微細骨折の発生部位と比較することで、微細骨折がどのようなメカニズムで発生しているのかを調査した。

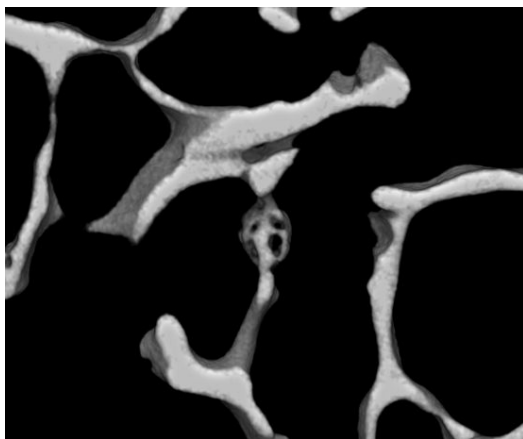
4. 研究成果

(1) 微細骨折が発生する骨梁構造の解析

全症例で複数の微細仮骨が形成されており、大腿骨頭部骨折を発生する以前から、骨梁レベルの骨折が生じていたことが推察された。

骨梁構造は、骨梁の太さの平均値や、骨梁の単位距離を通過する数、骨梁の形態的特徴（板状の骨梁など）といった、複数の骨微細構造パラメーターによって定量化できる。

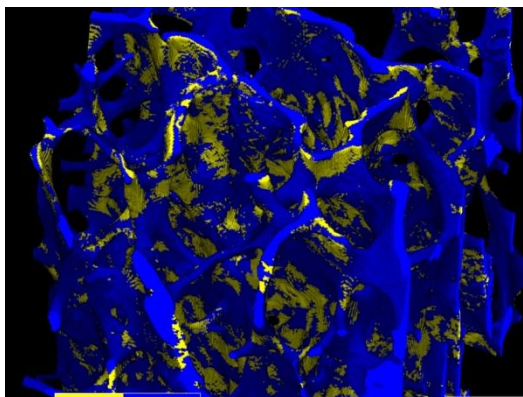
本研究では、骨梁の微細骨折を多く生じている骨サンプルほど、骨梁の太さの平均値が小さく、骨微細構造の脆弱化が生じていた。一方、骨梁の数とは相関はなく、数が少なくても太さが保たれていることが重要である可能性が示された。



(2) 微細骨折発生の力学シミュレーション

骨梁にミネラル化度に基づいたヤング率を与え、大腿骨頭内の荷重方向に沿って静圧縮力を加え、さらに、骨折発生の条件を定義し、微細骨折発生のシミュレーションを行った。

発生部位には一定の特徴はなく、また、実際に微細骨折が発生した部位との相関も高くなかった（図）。骨折は1軸の静圧縮ではなく、高い歪み速度や、曲げ、捻りなどの複雑な因子が関与していることが推察された。



5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

(1) 千葉恒、HR-pQCTによる骨粗鬆症の画像評価、第28回長崎脊椎研究会、3/24、長崎県長崎市 長崎県医師会館、2017

(2) 千葉恒、骨粗鬆症の診断と治療：基礎から最前線まで、Nagasaki Bone Health Seminar、10/12、長崎県長崎市 第一三株式会社、2016

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.nagasaki-seikei.com/index.php?m=r&p=7>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千葉 恒 (CHIBA, Ko)
長崎大学・医歯薬学総合研究科(医学系)・助教
研究者番号：00457574

(2) 研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

南郷 脩史 (NANGO, Nobuhito)

久保田省吾 (KUBOTA, Shogo)

岡崎 成弘 (OKAZAKI, Narihiro)

田口 憲士 (TAGUCHI, Kenji)