

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：32650

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23659925

研究課題名(和文)結晶学的アプローチによる顎骨の力学的特性評価への挑戦

研究課題名(英文)Evaluation of mechanical property by preferential alignment of biological apatite in human mandible

研究代表者

吉成 正雄 (Yoshinari, Masao)

東京歯科大学・歯学部・教授

研究者番号：10085839

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：骨における生体アパタイト(BAp)結晶の配列は骨の力学機能と密接な関連性があることが知られている。本研究は、ヒト下顎骨大白歯部皮質骨の歯槽部と下顎底部におけるBAp配向性とヤング率の関連性を明らかにすることを目的とした。

有歯顎下顎骨を用いて近遠心方向におけるBAp配向性の測定、およびナノインデンテーション法によるヤング率の測定を行い、両者の関連性を評価した。本研究の結果から、BAp配向性とヤング率とは密接な関連があり、骨強度評価におけるBAp配向性測定の重要性が示唆された。また、ヒト下顎骨のBAp配向性を明らかにすることで、咀嚼の影響について考察することが可能であると考えられた。

研究成果の概要(英文)：Biological apatite (BAp) crystallite c-axis alignment is known to be a factor in the mechanical function of bone. This study aimed to elucidate the relationship between BAp crystallite alignment and Young's modulus in the alveolar area and base of the mandible area in human mandible cortical bone. A microbeam X-ray diffraction system was used to determine BAp crystallite alignment along the mesiodistal direction (longitudinal axis). Young's modulus along the mesiodistal direction in the same sites was also measured with nanoindentation, and the relationship between BAp crystallite alignment and Young's modulus was examined.

The present study suggests a close relationship between BAp crystallite alignment and Young's modulus, suggesting the importance of determining BAp crystallite alignment when evaluating bone strength. Determination of BAp crystallite alignment at first molar in the human mandible may also be useful in examining the effects of occlusal force.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯科医用工学・再生歯学

キーワード：生体アパタイト ヒト顎骨 結晶配向性 メカニカルストレス 咬合 ヤング率

1. 研究開始当初の背景

従来、骨の力学的特性は骨密度 (BMD) に依存するとされてきた。しかし、骨粗鬆症等の骨疾患の研究が進むにつれ、骨の力学的特性を知るためには BMD だけでは不十分であるという報告が増加し、骨質の指標である生体アパタイト (BAP) 結晶配向性に大きく依存することが認知されようになった。しかし、ヒト顎骨の BAP 結晶配向性と力学的特性の直接的な関係を示している報告はない。

申請者らは、ヒト下顎骨 (有歯顎) における皮質骨および海綿骨の BMD 値と BAP 結晶配向性の計測を行い、歯槽部と下顎底部では BMD 値に差がないが、BAP 結晶配向性に大きな違いがあり、下顎底部では近遠心的に配向しているのに対し、歯槽部では歯の植立方向に強い配向性が認められることを報告した。これは、ヒト下顎骨が、咬合圧に应答する歯槽部と長管骨構造を有する下顎底部といった有歯顎に特徴的な二重構造を反映している結果と考えられ、咬合圧が顎骨の力学的特性に影響していることを示唆した。

2. 研究の目的

顎骨の力学的特性はインプラント治療の正否を決める重要な因子である。骨の力学的特性は、骨密度 (BMD) のみではなく、生体アパタイト (BAP) 結晶配向性に大きく依存することが報告されているが、顎骨の BAP 結晶配向性と力学的特性の具体的な関係に言及した研究は少なく、ましてやヒト顎骨を使用した研究は皆無である。そこで本研究では、ヒト顎骨の BAP 結晶配向性が力学的特性の具体的な指標になるのかを検証することを目的とした。さらに、動物を使用した片咀嚼モデル、およびインプラント埋入モデルにおいて確認実験を行うこととした。

3. 研究の方法

(1) 試料の調製

東京歯科大学解剖学講座所蔵の歴年齢の明らかな日本人成人遺体より採取した有歯顎、無歯顎、およびインプラント埋入歴のある下顎骨を用いた。

(2) 関心領域および計測部位の決定

マイクロ CT (HMX225-Actis4, TESCO) による撮像を行い、3 次元骨梁構造計測ソフト解析により、関心領域および計測部位を決定した。

(3) 骨密度 (BMD 値) 測定

マイクロ CT を用いて骨密度の測定を行った。測定にあたり、密度の異なるファントムを用いて CT 値 骨塩量検量線を作成した。

(4) BAP 結晶配向性の測定

下顎下縁平面と垂直に前額断した後、レジン包埋を行い計測面の研磨を行った。

孔径 30~100 μm のコリメータを装着した微小領域 X 線回折装置 (Rint2500, Rigaku) を用いて XRD 測定を行った。BAP 配向性は、(002)面の積分強度と(310)面積分強度の比 $\{I(002)/I(310)\}$ にて評価した。反射法により近遠心 (長軸) 方向の、透過法により歯の植立方向と頬舌方向の測定を行った。コントロールとして配向性のない粉末 HAP を用いた。

(5) 力学的特性評価

BAP 結晶配向性で測定した試料と同部位を、Nano indentation tester (ENT-1100a, ELIONIX) を用いて、骨の微細構造を確認しながら、荷重-変位曲線を求めヤング率を算出した。

(6) BAP 結晶配向性と力学的特性との関係の検討

以上の測定結果から、ヒト顎骨の力学的特性に与える BAP 結晶配向性の影響を、コラーゲン線維走行方向と併せて詳細に検討し、BAP 結晶配向性評価の有効性を検証した。

(7) 統計解析

BAP 配向性、ヤング率それぞれにおいて、2 元配置分散分析を行った後各水準間で Scheffe 多重比較を行った。BAP 配向性とヤング率の相関関係を相関係数を求めることにより検討した。

4. 研究成果

(1) BMD 値

BMD 値は下顎底部で高い傾向を認めたが、寄与率は 28.8% と低い値であった。

(2) BAP 結晶配向性

BAP 結晶配向性は全ての計測部位で (002)/(310) 強度比が粉末アパタイトより大きく、下顎骨近遠心方向に BAP 配向性が優先していることが示された。回折強度比は歯槽部計測部位で低く、下顎底部計測部位で高く、下顎底部においてより優先的な下顎骨近遠心方向への BAP 配向性が観察された。全ての計測部位で下顎骨長軸方向 (近遠心方向) への配向が示された。この長軸方向への BAP 配向性は、歯槽部で低く下顎底部で高いことが明らかとなり ($p < 0.01$)、寄与率は 74.0% と高値を示した。

(3) ヤング率

ヤング率は、歯槽部では低く下顎底部で高く、両者には有意差が認められた ($p < 0.01$)。

(4) BAP 結晶配向性とヤング率との関係

図 1 に BAP 配向性とヤング率の相関関係のグラフを示す。下顎骨近遠心方向の BAP 配向性とヤング率において、正の相関関係が認められた。

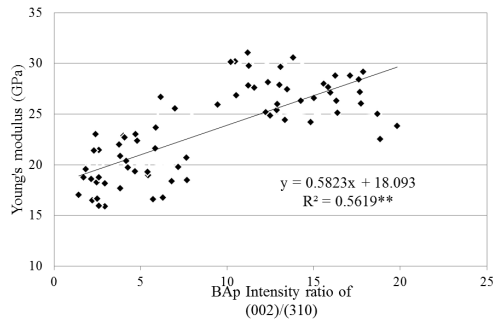


図1 BAp配向性とヤング率の相関図

(5) 本研究において、BAp 結晶配向性とヤング率は、歯槽部よりも下顎底部において有意に高い値を認めていることから、下顎骨はメカニカルストレスの影響を受け、下顎底部において高い力学的性質を有しているものと考えられた。また、歯槽部におけるヤング率は、咀嚼力の方向に増加すると考えられた。

本研究の結果、BAp 配向性とヤング率は相関関係が認められたことから、今後 BAp 配向性を考慮した骨評価を行う重要性が示唆された。

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4件)

Morioka T, Matsunaga S, Yoshinari M, Ide Y, Nakano T, Sekine H and Yajima Y. Alignment of biological apatite crystallites at first molar in human mandible cortical bone. *Cranio* 査読有、30, 2012, 32-40
 Furuya H, Matsunaga S, Tamatsu Y, Nakano T, Yoshinari M, Abe S, Ide Y. Analysis of biological apatite crystal orientation in the anterior cortical bone of the human mandible using microbeam X-ray diffractometry. *Materials Transactions* 53, 2012, 980-984

Ogai T, Morioka T, Matsunaga S, Nojima K, Nishii Y, Sueishi K, Yoshinari M. Relationship between Biological Apatite Alignment and Hemi-occlusion in Rabbit Mandibular Cortical bone. *J.Hard Tissue Biology* 21, 2012, 165-172

Matsumoto T, Matsunaga S, Morioka T, Nakano T, Yoshinari M, Yajima Y. Relationship between preferential alignment of biological apatite and Young's modulus at first molar in human mandible cortical bone. *J Hard Tissue Biology* 22, 2013, 163-170

[学会発表](計5件)

松本達事, 森岡俊行, 古屋英敬, 松永智, 吉成正雄, 中野貴由, 井出吉信, 矢島安朝: ヒト下顎皮質骨における生体アパタイト結晶の配向性と力学的性質 日本

骨形態計測学会雑誌 21 巻 2 号 PageS68(2011.05)

古屋英敬, 松本達事, 松永智, 吉成正雄, 中野貴由, 井出吉信: 日本人下顎骨前歯部の骨密度と生体アパタイトの結晶配向性 日本骨形態計測学会雑誌 21 巻 2 号 PageS67(2011.05)

松本達事, 森岡俊行, 古屋英敬, 松永智, 吉成正雄, 井出吉信, 矢島安朝: ヒト下顎骨における生体アパタイト結晶の配向性と力学的性質との関係: 歯科学報 111 巻 4 号 Page427(2011.08)

松本達事, 森岡俊行, 阿部伸一, 吉成正雄, 矢島安朝: ヒト下顎骨における生体アパタイト結晶の配向性と力学的性質との関係, 第 42 回日本口腔インプラント学会・学術大会: 9 月 21 日~23 日, 大阪府 大阪市

松本達事, 森岡俊行, 阿部伸一, 吉成正雄, 矢島安朝: ヒト下顎骨における骨密度および生体アパタイトの結晶配向性とヤング率との関係, 日本口腔インプラント学会 第 32 回 関東・甲信越支部学術大会, 2013 年 2 月 10 日(日)~ 11 日, 東京

[図書](計 件)

[産業財産権]

○出願状況(計 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 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

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉成 正雄 (YOSHINARI, Masao)
 東京歯科大学・歯学部・教授
 研究者番号: 10085839

(2)研究分担者

松永 智 (MATSUNAGA, Satoru)

東京歯科大学・歯学部・講師
研究者番号：70453751

(3)連携研究者
()

研究者番号：