

平成 30 年 5 月 28 日現在

機関番号：33902

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K11231

研究課題名(和文) 骨梁参照体の歯科インプラント画像診断への応用

研究課題名(英文) Application of trabecular bone references in diagnostic imaging of dental implant treatment

研究代表者

内藤 宗孝 (NAITOH, Munetaka)

愛知学院大学・歯学部・准教授

研究者番号：20167539

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)： 歯科用コーンビームCTにおいて顎骨骨密度を評価するための骨梁参照体として3種類の方法、つまりマイクロ光造形を用いたファントム、多孔性ハイドロキシアパタイトブロック、X線造影性即時重合型アクリルレジンを用いる方法を検討した。
X線造影性即時重合型アクリルレジンを用いる方法においては、海綿骨部の骨密度はマルチスライスCTを用いた歯科インプラント術前画像診断において広く応用されているMischの骨密度分類でのD3を基準として判定し得た。

研究成果の概要(英文)： In this investigation it was evaluated three kinds of trabecular bone references to assess a cancellous bone density of the jaws for cone-beam computed tomography (CT) for dental use.

Black and white binary images were produced in trabecular bone references fabricated using micro-stereolithography and used hydroxyapatite (HA) block with 4 levels of porosity. The mean rate of white pixels to ROI pixels was differed with a substance rate of their references. So, their references were difficult to apply assessment of a cancellous bone density in the jaws. The acrylic resin with radiopaque fillers developed on a basis of CT values (350 H.U.) might be assessed a cancellous bone density of the jaws in preoperative diagnostic imaging using cone-beam CT of dental implant treatment.

研究分野： 歯科放射線

キーワード： 歯科インプラント治療 歯科用コーンビームCT 骨密度 顎骨

1. 研究開始当初の背景

歯科用コーンビームCTは、種々な顎口腔領域の疾患の診断に用いられており、その中でも歯科インプラント治療において広く応用されている。その寸法精度は高いことや被曝線量がマルチスライスCTと比較して少ないことが知られている。歯科インプラント治療の術前画像診断では、埋入計画部位での距離計測とともに、顎骨骨密度を計測することも重要である。マルチスライスCTではCT値(絶対値)が得られる。しかしながら、歯科用コーンビームCTから得られるボクセル値は相対値であり、その値そのものでは比較できない。歯科用コーンビームCTを用いた場合の顎骨骨密度の評価方法の確立が早急に求められている。そこで比較的大きな照射野の撮影では、歯科用コーンビームCTでのボクセル値とマルチスライスCTでのCT値との間に回帰直線を求める方法や参照体を用いた撮影から顎骨骨密度を検討する方法を我々は、考案、提案してきた。^{1,2}それにより、比較的広い照射野の撮影での歯科用コーンビームCTにおけるボクセル値の評価方法は確立することができた。しかしながら、小照射野の撮影では、ボクセル値の評価方法の確立には至っていない。小照射野の撮影では、散乱線などの影響の他に、「トリミング効果」と呼ばれる、顎椎や下顎枝、や反対側の顎骨など、照射野外に存在する解剖学構造によるX線吸収を補正できない事により、ボクセル値の不安定性は広い照射野での撮影と比較して大きくなり、顎骨骨密度評価のためにボクセル値を直接用いることは出来ない。そこで、我々は、微細なボクセルサイズという小照射野の歯科用コーンビームCTでの特長に着目して、水に浸漬した下顎骨を用いたインビトロの研究において、小照射野の歯科用コーンビームCTでの

BV/TV 値はマルチスライスCTでのCT値と高い相関が得られることを明らかにした。³この骨梁割合(BV/TV 値)は小照射野の歯科用コーンビームCTにおいて顎骨骨密度を評価するときの指標になり得る。しかしながら、骨梁割合(BV/TV 値)そのものでは、臨床的にはその実体が不明確である。そこで、歯科インプラント治療の画像診断に応用し、歯科インプラント計画部位の骨密度の評価を行うための骨梁参照体の開発が必要となる。

2. 研究の目的

歯科インプラント治療では顎骨骨密度を評価する事は重要である。歯科用コーンビームCTでは、その装置の特殊性から顎骨骨密度の評価は困難とされている。インビトロの研究において、歯科用コーンビームCTから得られる全組織中の骨梁割合(BV/TV 値)がCT値と高い相関が得られることを報告した。³また、マイクロ光造形法を用いて、3次元微細格子モデルの作製にも成功した。⁴

そこで、本研究ではそれらの研究を発展させた方法や多孔性ハイドロキシアパタイトブロックやX線造影性即時重合型アクリルレジンを応用した方法により、骨梁参照体の開発を行い、小照射野の歯科用コーンビームCTを用いた歯科インプラント画像診断での顎骨骨密度の評価法の確立を行う。

3. 研究の方法

顎骨骨密度の評価するための骨梁参照体として3種類の方法、つまりマイクロ光造形を用いたファントム、多孔性ハイドロキシアパタイトブロック、X線造影性即時重合型アクリルレジンを用いる方法を検討した。

(1) マイクロ光造形を用いたファントムの応用

顎骨骨梁形態計測値の検索

現在までに組織切片やマイクロCTを用いて顎骨骨梁の骨形態計測が数多く報告されている。そこで、インターネットを介して、医中誌およびPubMedのデータベースを利用して、顎骨骨梁構造の骨梁幅、骨梁間隙幅、や骨梁割合(BV/TV値)の測定値を検索し、それらの変動幅について記録した。

歯科用コーンビームCT撮影とその画像解析

3次元疑似骨梁構造は骨梁割合(BV/TV値)を考慮して、コンピュータデザイン(CAD)にて骨梁幅を0.1mm~0.4mm、骨梁間隙を0.4mm~0.7mmに変化させた4種類の設計を行い、マイクロ光造形にてモデルを作製した。そして、本学歯学部附属病院に設置されている歯科用コーンビームCT装置(Alphard VEGA、朝日レントゲン工業、京都)にて撮影を行った。その撮影領域は直径5cmに設定し、管電圧60kV、管電流2mAとした。画像構築解析ソフトウェアを用いて、プロットプロファイル機能により格子のボクセル値を記録した。次に、しきい値を設定して骨梁形態計測法の骨梁割合(BV/TV値)を算出した。

(2)多孔性ハイドロキシアパタイトブロックの応用

前述の研究(1)で用いた3次元疑似骨梁モデルの材質はアクリルであり、骨の構成成分とは大きく異なっていた。そこで、第二の研究として、多孔性ハイドロキシアパタイトブロックを検討した。多孔性ハイドロキシアパタイトブロックは骨の構成成分であるハイドロキシアパタイトで作製されており、より良好な結果が期待されるために本研究に応用した。

気孔率が0%,30%,55%,85%の4種類の多孔

性ハイドロキシアパタイトブロックの歯科用コーンビームCT画像を取得し、その画像を解析した。歯科用コーンビームCT装置は前述と同様にAlphard VEGAを用い、撮影領域の直径51mm、管電圧80kV、管電流5mAに設定した。画像解析は前述と同様に画像構築解析ソフトウェアを用いて、最初にハイドロキシアパタイトブロックの気孔を視覚的に観察し、続いてしきい値を設定して骨梁形態計測法の骨梁割合(BV/TV値)を算出した。

(3) X線造影性即時重合型アクリルレジン の応用

開発と基礎的検討

X線造影性即時重合型アクリルレジンとは歯科インプラント術前画像診断に用いる診断用ステントのベースレジンとなる。従来のレジンは造影性を有していない。そこで、付与させる造影性が重要となる。従来のスキャニングレジンCT3000(山八歯材工業、日本)では歯冠に用いることを想定しているためにそのX線造影性はエナメル質と同等としている。そこで、今回開発するX線造影性即時重合型アクリルレジンではMischの骨密度(CT値)分類におけるD3とD4のしきい値に近似した値に設定することとし、開発した。マルチスライスCT装置(Asteion、キャノンメディカル、日本)を用いて、そのX線造影性即時重合型アクリルレジンのCT値を検討した。

歯科インプラント術前画像診断への応用

診断用ステントの作製は従来と同様に、スキャニングティース、スキャニングレジンCT3000とチタンパイプ(山八歯材工業)を用いた。従来と異なる点としては、ベースレジンとして今回開発したX線造影性即時重合型アクリルレジンを用いた。その使用に当たっては、液-粉比の厳守と攪拌における空気

の混入の防止に配慮した。そのように作製した診断用ステントを歯科インプラント画像診断に応用した。

4. 研究成果

(1) マイクロ光造形を用いたファントムの応用

顎骨骨梁形態計測値の検索

顎骨骨梁構造に関してデータベースを用いて調査したところ、骨梁幅(Tb.Th)の平均は、Monovらは0.191mm、Ariskaらは0.189mm、Ulmらは女性0.1659mm、男性0.1749mmと報告していた。また、骨梁間隙幅(Tb.Spac)の平均は、Ariskaらは0.787mm、Ulmらは女性0.7200、男性0.5827mmと報告していた。これらの結果を踏まえて、3次元擬似骨梁構造は、骨梁幅0.2mm、骨梁間隙幅0.6mmを基準値としてコンピュータデザインすることとした。

歯科用コーンビームCT画像解析

プロットプロファイル解析の結果、骨梁幅が0.2mm以上の時にそのボクセル値のプロファイルを検出し得た。

また、骨梁割合(BV/TV値)を算出するためのしきい値を-900に設定した時、骨梁割合(BV/TV値)は骨梁幅0.1mmで7%、0.2mmで100%、0.3mmで100%、0.4mmで100%となり、しきい値を-800の時には、それぞれ0%、56%、100%、100%となった。それらの設計値は、それぞれ23.4%、43.8%、60.4%、75.0%であり、画像解析値とは異なっていた。現在のマイクロ造形で用いられている材料はアクリルであり、骨とはX線吸収値が大きく異なっており、しきい値の設定に苦慮する結果となった。また、この研究の期間中に新たな骨等価材料の開発には至らなかった。今回の研究でファントム作製や骨梁割合の検討などの基本的な技術や実験方法が確立されたので、今後、X線吸収が骨と等価なマイクロ造形材料が開発された時

には、再度挑戦する必要がある。

(2) 多孔性ハイドロキシアパタイトブロックの応用

多孔性ハイドロキシアパタイトブロックの気孔率が30%、55%、85%の時、歯科用コーンビームCT画像で気孔を視覚的に確認し得た。ブロックは10mmx10mmx10mmの大きさに調整した。

また、水領域とハイドロキシアパタイトブロックの気孔率0%部におけるボクセル値の中央値をしきい値に設定し、骨梁割合(BV/TV値)を算出したところ、気孔率が0%の時に骨梁割合は100%であり、30%の時100%、55%の時63.7%、85%の時0%であった。気孔率から算出した実質割合(実質・全量比)はそれぞれ100%、70%、45%、15%である。それぞれの割合と今回の画像解析から得られた骨梁割合(BV/TV値)を比較すると大きく異なっていた。

今回用いた多孔性ハイドロキシアパタイトブロックは既製品を用いた。業者カタログによれば、その気孔は連通孔で、その大きさは大小2種類から構成されている。小さなものはおよそ数ミクロンであり、大きなもの数百ミクロンとされている。今回の歯科用コーンビームCTの撮影条件での解像度つまりボクセルサイズは100 μ mであり、小さな気孔に対しては粗すぎており、これが結果に影響していたと考えられた。

多孔性ハイドロキシアパタイトブロックを歯科インプラント画像診断での顎骨骨密度の評価に応用するのは困難であると考えられた。

(3) X線造影性即時重合型アクリルレジンの応用

開発と基礎的検討

開発したX線造影性即時重合型アクリルレジンのCT値は約360HUであり、Mischの骨

密度分類⁵でのD3とD4のしきい値に近似していることが解った。

歯科インプラント画像診断への応用

歯科インプラント画像診断への応用例として、上顎切歯部の例を解説する。取得した歯科用コーンビームCT画像においてインプラント計画部位の顎骨横断画像を構築後、インプラント埋入が可能な上下の骨幅や頬舌的骨幅の計測を行い、それに加えて、海綿骨部およびX線造影性即時重合型アクリルレジン部のボクセル値を計測した(図1、2)。臨床応用例1(図1)の上顎切歯部では、海綿骨部のボクセル値は平均約820、X線造影性即時重合型アクリルレジンの唇側部では平均約600、口蓋側部では約440であり、海綿骨部の骨密度をMischの骨密度分類⁵でのD3以上と判定することができた。また、臨床応用例2(図2)の上顎小臼歯部では、X線造影性即時重合型アクリルレジンの頬側部では平均約620、口蓋側部では約630であり、抜歯窩は約180であり、Mischの骨密度分類⁵でのD4以下と判定することができた。

X線造影性即時重合型アクリルレジンベースレジンとして用いるため、インプラント埋入部位に近接でき、小照射野での撮影にも応用できる。また、歯冠部の修復物や補綴装置からの金属アーチファクトの影響も受けにくい特徴がある。

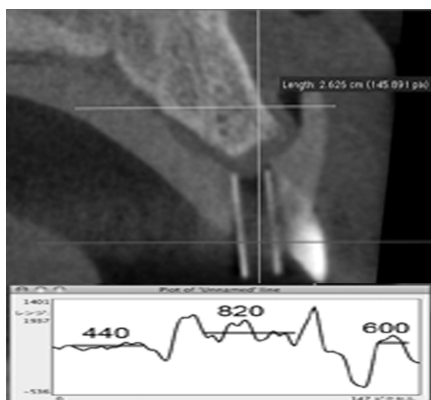


図1 臨床例1:海綿骨部およびX線造影性即時重合型アクリルレジン部のボクセル値の計測

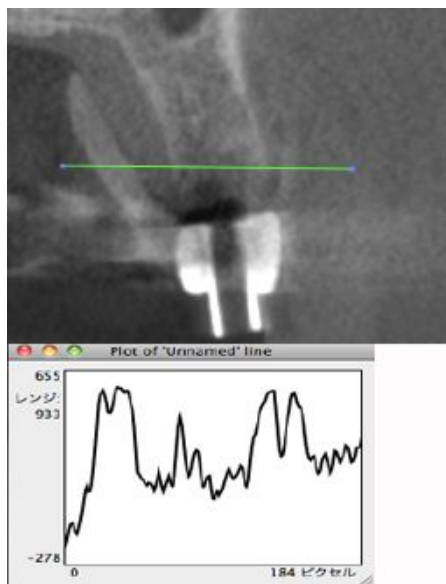


図2 臨床例2:海綿骨部およびX線造影性即時重合型アクリルレジン部のボクセル値の計測

引用論文

Naitoh M, Hirukawa A, Katsumata A, Ariji E, Prospective study to estimate mandibular cancellous bone density using large-volume cone-beam computed tomography, *Clinical Oral Implants Research*, 21 巻, 2010, 1309-1313

Naitoh M, Hirukawa A, Katsumata A, Ariji E, Evaluation of voxel values in mandibular cancellous bone relationship between cone-beam computed tomography and multi-slice helical computed tomography, *Clinical Oral Implant Research*, 20 巻, 2009, 503-506

Naitoh M, Aimiya H, Hirukawa A, Ariji E, Morphometric analysis of mandibular trabecular bone using cone beam computed

tomography: an in vitro study,
International Journal of Oral and
Maxillofacial Implants, 25 卷 , 2010,
1093-1098

Naitoh M, Kinoshita H, Gotoh K, Ariji E,
Cone-beam computed tomography images of
phantoms with simulating trabecular bone
structures fabricated using
micro-stereolithography, Okajimas Folia
Anatomica Japonica, 89 卷, 2012, 27-33

Misch CE, Contemporary Implant
Dentistry, 3rd edition, Mosby, 2008, 38-67

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 1 件)

内藤宗孝、川澄勝久、宮前真、有地榮一郎、他 4 名、X線造影性レジン「ボーンシェードレジン CT350」、DENTAL DIAMOND、査読無、40 巻、2015、152-155

[学会発表](計 1 件)

内藤宗孝、画像診断における顎骨の評価、第 46 回日本口腔インプラント学会学術大会、2016 (招聘講演)

6. 研究組織

(1)研究代表者

内藤 宗孝 (NAITOH, Munetaka)
愛知学院大学・歯学部・准教授
研究者番号：20167539

(2)研究分担者

有地 榮一郎 (ARIJI, Eiichiro)
愛知学院大学・歯学部・教授
研究者番号：00150459