

フオトンカウンティング型パノラマ X 線撮影
による歯周病患者の顎骨の分析

まつむら ゆう
松村 侑

本論文の要旨は，第185回朝日大学大学院歯学研究科発表会（2016年9月20日，岐阜）において発表した．
本論文の一部は，第59回秋期日本歯周病学会学術大会（2016年10月7日，新潟），第11回日本歯周病学会中部地区大学・日本臨床歯周病学会中部支部合同研究会（2016年11月3日，岐阜）において発表した．

緒 言

近年超高齢社会に伴い骨粗鬆症の患者数は増加している。骨粗鬆症は顎骨にも影響があるとされており、特に閉経後の女性で骨量や骨密度の低下が報告されている¹⁻³⁾。

歯周病と骨粗鬆症には密接な関係性があると過去の論文からも報告されている⁴⁻⁶⁾。しかし、歯科の分野で骨密度の測定をすることは極めて少ない。また測定する部位は腕や足の骨であり、歯科の領域ではない^{7,8)}。

パノラマ X 線撮影装置の普及率は多く、年間 1200 万枚の撮影が行われている⁹⁾。これまで、パノラマ X 線画像から骨密度を測定する研究が進められている。先行研究では、パノラマ X 線から骨粗鬆症のスクリーニングはできるが、確定は難しいと報告している¹⁰⁾。骨密度の測定には下顎骨皮質骨を用いた分析が適している。また海綿骨は適していないと報告されており、特に歯槽骨は炎症により骨量の変化が大きいため適さないとされていた¹⁰⁾。

歯周病と骨密度の関係性があるとする報告がある¹¹⁾。それとは反対に関係性がないとする報告がある¹²⁾。このように明確な結論は統一されていない。近年開発が進んでいるフォトンカウンティング型個体半導体検出器を搭載したパノラマ撮影システム（フォ

トンカウンティング型パノラマ)には, 従来型のパノラマ撮影と比較して以下の利点がある. 検出器の感度が非常に高いため, X線量を減らして患者の被曝を低減できる¹³⁾. パノラマ撮影のフォーカスが良好な断層域を撮影後に変更するトモシンセシス法が使用できる¹⁴⁾, 被写体を透過して検出器に到達するX線をエネルギーウィンドウ(帯域)に分けて収集できるので, 被写体の成分や密度を推定するエネルギー分析が可能である¹³⁾.

上記のうち, トモシンセシス法をベースとして Katsumata ら¹⁵⁾が開発したパノラマ画像3次元空間マッピング法では, パノラマ画像上での正確な距離計測が可能であり, 歯槽骨の吸収量を定量的に評価することが期待される¹⁶⁾. また, エネルギー分析からは, 顎骨や歯槽骨の骨密度を推定したり, 顎骨から骨粗鬆症などの全身の骨に関連する疾患をスクリーニングしたりする用途への応用が期待される¹⁷⁾.

本研究の目的は, 歯周病患者のパノラマX線画像のエネルギー分析により得られる下顎骨の相対減数指数(RAI)および線質変化指数(SDI)について, 全身骨密度および歯周病の進行を表す指標との相関を検討することにある.

材料および方法

対象者は2012年から2016年の間に朝日大学附属病院歯周病科に受診した患者167人（男性67人，女性100人）とした．年齢は21歳から84歳で平均年齢は56.5歳で，最も多い年代は60代であった．朝日大学歯学部倫理委員会の承認（承認番号：24136）を得て，研究への協力に同意を得られた患者に実施した．被験者の年齢，性別を図1に示す．

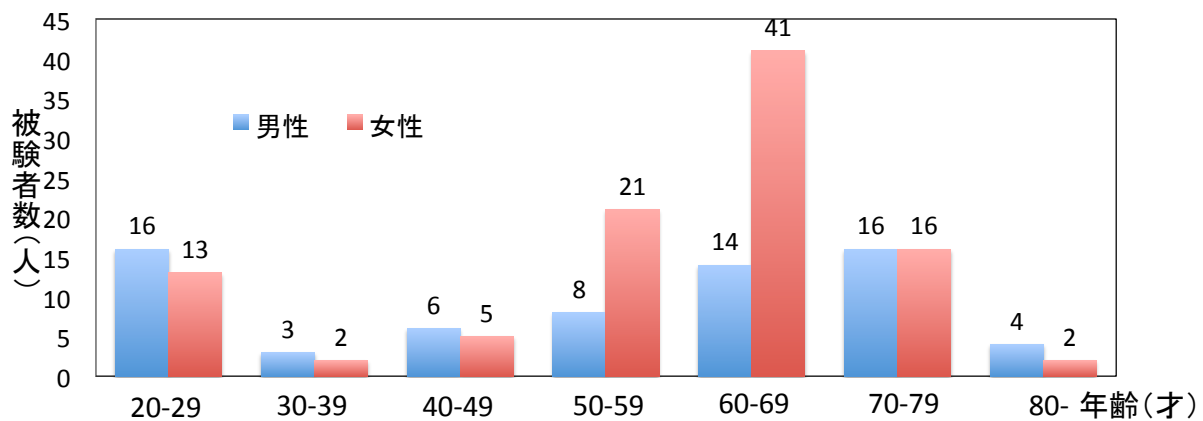


図1 被験者数と年齢，性別

60代女性が最も多く，30・40代が少なかった

1. SDI, RAI と橈骨骨密度の相関分析

1) パノラマ X線撮影

X線画像エネルギー分析として，SDIとRAIを測定した．パノラマ撮影にはフォトンカウンティング型パノラマ撮影システム（QR-masterP，テレシステムズ，

大阪) を用いた。常法どおり，正中線，犬歯位置およびフランクフルト平面を示すレーザービームを参考として前歯部バイトブロックと頭部固定装置を用いて患者頭部を位置付け，パノラマ撮影を行った。管電圧 80 kV 管電流 4 mA とし，撮影時間は約 10 秒，撮影されるパノラマ画像の画素サイズは 0.1 mm で行なった。

撮影された画像データは，約 4000 枚の短冊状のフレーム画像データからなるデータとしてコンピュータに保存した。

パノラマ画像データを用い，トモシンセシス法により空間マッピング画像を作成した。パノラマ画像上の距離計測には，撮影装置附属の画像表示ソフトウェア (QR-ware, テレシシステムズ, 大阪) を用いた。

SDI, RAI のパノラマ画像のエネルギー分析は，生データを専用ワークステーションに移動し，特殊ソフトウェア (QR-MC, テレシシステムズ, 大阪) を用いた。

フォトンカウンティング検出器からは，3つのエネルギーウィンドウ ($W1: 25-38 \text{ keV}$, $W2: 39-54 \text{ keV}$, $W3: 55-80 \text{ keV}$) のパノラマ画像が出力される。パノラマ画像のエネルギー分析を行う QR-MC ソフトウェアでは，パノラマ画像上に設定した関心領域について RAI および SDI の 2 種類の値を求めた。

RAI は，各エネルギーウィンドウの画像の画素値 ($0w$) の和を，生体頭部と等価の標準硬組織試料 (タフボーン, 京都科学, 京都) の X 線収集を基準として指数化

したエネルギー画像の濃度 (T_w) で除して求めた。

$$RAI = (O_{w1} + O_{w2} + O_{w3}) / (T_{w1} + T_{w2} + T_{w3})$$

SDI は、上記の標準試料により指数化した W3 エネルギー画像の濃度 (T_{w3}) を W1 エネルギー画像の濃度 (T_{w1}) で除して求めた。これは被写体を透過した X 線のエネルギースペクトルの形状の変化量に相当する。

$$SDI = T_{w3} / T_w$$

本研究では、下顎角部領域として①下顎角部（海綿骨のみ）、②下顎角部（海綿骨および皮質骨を含む）を測定した。下顎頭・頸部領域として③下顎頭部④下顎頸部（海綿骨のみ、横向き）⑤下顎頸部（海綿骨のみ、縦向き）、⑥下顎頸部（海綿骨と皮質骨を跨ぐ、横向き）を測定。歯槽骨領域として⑦下顎第二大臼歯の根尖下方、⑧下顎第二小臼歯の歯槽骨（オトガイ孔付近）を測定した。測定部位を図 2 に示す。これら 8 ヲ所を左右で計 16 ヲ所を測定した。測定部位に $10 \times 5 \text{ mm}$ 大の関心領域 (ROI) を設定した。ROI を構成する各画素の RAI および SDI の分布領域を散布図上にプロットし、領域の重心の X 座標および Y 座標を当該 ROI の RAI, SDI とした。なお、頭部全体の X 線吸収と透過の標準硬組織試料を基準 (0) としたため、計算上、生体硬

組織の RAI, SDI は負の値となる事がある。そのため、RAI では散布図から求めた結果の絶対値を RAI 値とし、SDI では散布図からの値に定数として 1 を加えたものを SDI 値として以後の検討に用いた。

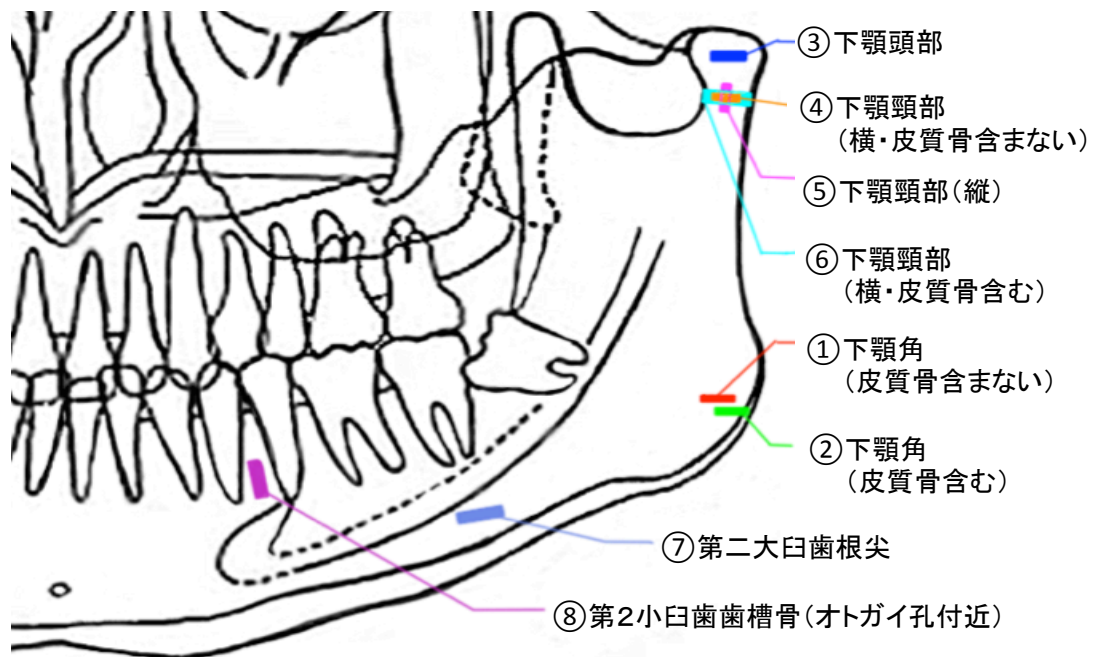


図 2 下顎骨関心領域 8 カ所

測定部位に 10×5 mm の関心領域を設定

2) 橈骨骨密度測定

全身骨密度として、橈骨骨密度を測定した。計測には骨密度計測装置 (DCS-600EXV, 日立アロカメディカル, 東京) を用いた。利き腕の反対側の前腕を計測に用い、橈骨遠位端 1/3 部位の計測値を、患者の橈骨骨密度とした。

2. 年齢，現在歯数，性別，Community Periodontal Index (CPI)，Alveolar bone loss (ABL率) の相関分析

1. で行なった「SDI, RAI と橈骨密度の相関分析」の結果にて相関係数が高かった部位と年齢，現在歯数，性別，CPI，ABL率の相関分析をおこなった。

1) 患者の分類

患者の年齢を30歳未満，30～49歳，50～69歳，70歳以上の4群に分類して分析した。患者の現在歯数を10本以下，11～20本，21本以上の3群に分類した。性別は男女で2群に分類した。

2) 歯周病関係の指標

(1) CPIは臨床的な歯周病の程度として，診療録に記載されたプロービング値の結果を点数化し，CPIを用いて点数化した。CPIでは正常な場合に0，出血がみられた場合を1，歯石があれば2，4～5mmの歯周ポケットが存在する場合を3，6mm以上のポケットが存在する場合4とした。

(2) ABL率の計測対象は，1症例について，下顎左右の第1，第2小臼歯および第1，第2大臼歯の8部位とした。図3に示すように，コンピューター上で根尖からセメント-エナメル境 (CEJ) までの距離と根尖から歯槽頂までの距離を計測してABLを求めた。また，ABLを根尖-CEJ間距離で除し，根の長さに対する歯槽骨吸収度をあらわすABL率を求めた。

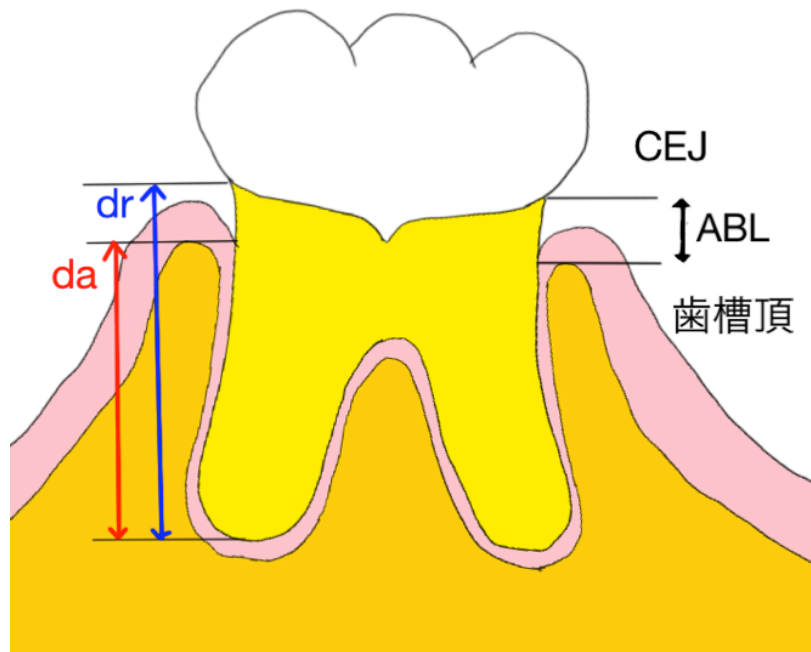


図 3 ABL 率の計測

CEJ : セメント-エナメル境

ABL : Alveolar bone loss

dr : CEJ から根尖までの距離

da : 歯槽骨から根尖までの距離

$$\text{ABL 率} = (dr - da) / dr \times 100$$

3. 統計解析

2 項目の組み合わせについて，Spearman の順位相関係数で求めた．水準 1 % を有意とした．

群間の差異の検定には Kruskal Wallis 検定，Tukey 法多重比較を用いた．水準 5 % を有意とした．

ノンパラメトリック検定には Mann-Whitney U テストを用いた．水準 5 % を有意とした．

結 果

1. SDI, RAI と 橈骨骨密度の相関分析

顎骨エネルギー分析と橈骨密度の相関係数の結果を表1に示す。橈骨骨密度と下顎頸部領域のSDI, RAI共に相関係数が高くなった。特に⑤下顎頸部の横での相関係数が高くなった。そのため以降の研究を下顎頸部の横の部位にて検討した。

表 1 顎骨エネルギー分析と橈骨骨密度の相関係数の結果

顎骨内の部位	SDI	RAI
①下顎角	0.494*	0.509*
②下顎角 (皮質含)	0.514*	0.513*
③下顎頭	0.420*	0.439*
④下顎頸 (縦)	0.642*	0.536*
⑤下顎頸 (横)	0.657*	0.530*
⑥下顎頸 (横・皮質含)	0.615*	0.517*
⑦第二大臼歯根尖部	0.394*	0.403*
⑧オトガイ孔部	0.361*	0.322*

* 相関は、水準 1 %で有意とした (両側)

SDI, RAIともに下顎頸部領域で相関係数が高かった。

N = 167

2. 年齢，現在歯数，性別，CPI，ABL率の相関分析

SDI，RAIと橈骨骨密度の相関分析で相関係数の高かった下顎頸部の横のSDI・RAIと年齢・現在歯数・性別・CPI・ABLの相関分析を行なった．

1) 年齢による顎骨SDI・RAIの変化（図4-1，2）

RAI値は年齢群による差違を認めなかったが，SDI値は30歳未満の群の値が50～69歳および70歳以上の群に対して有意に高かった．

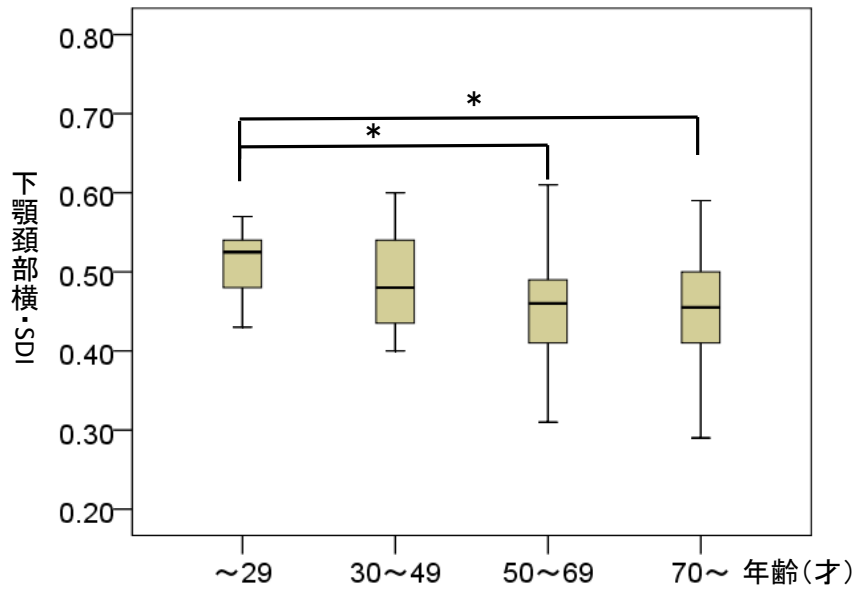


図 4 - 1 年齢による顎骨 SDI の変化

若い年齢と高齢者との間の SDI 値に有意差が認められた。

* : $p < 0.05$

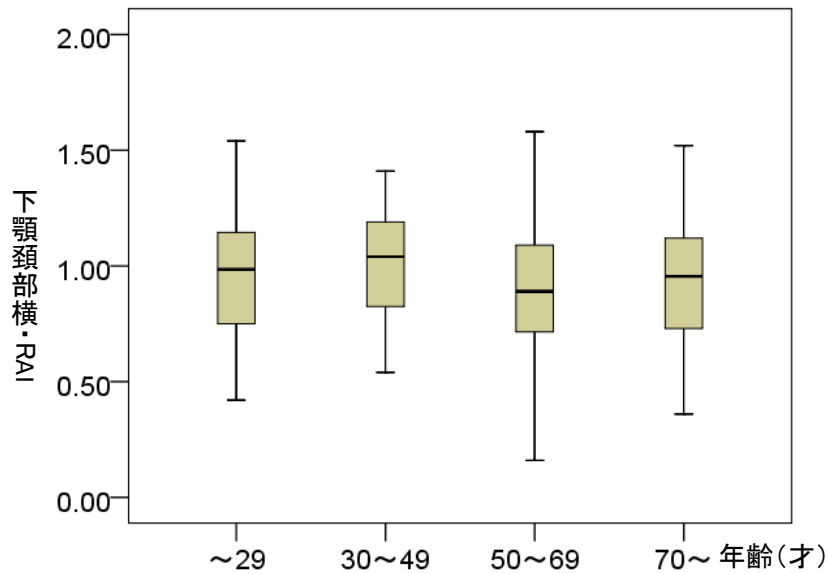


図 4 - 2 年齢による顎骨 RAI の変化

若い年齢と高齢者との間の RAI 値に有意差は認められなかった。

* : $p < 0.05$

2) 性別による SDI・RAI の違い (図 5-1, 2)

SDI・RAI 値ともに男性が有意に高くなった。

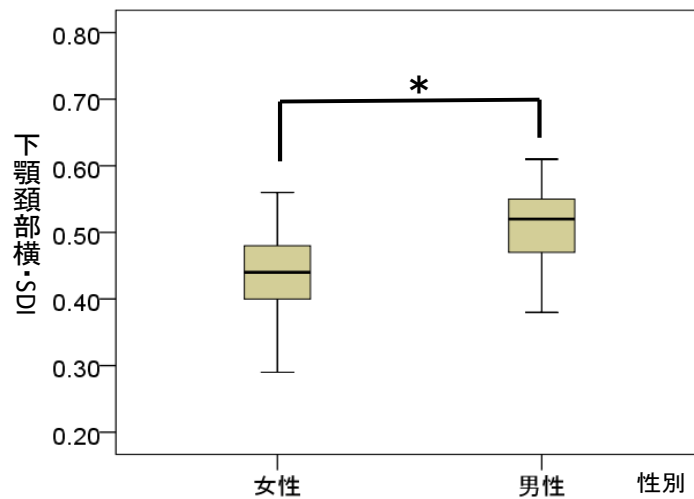


図 5-1 性別による SDI の違い

SDI と男性に有意差が認められた。* : $p < 0.05$

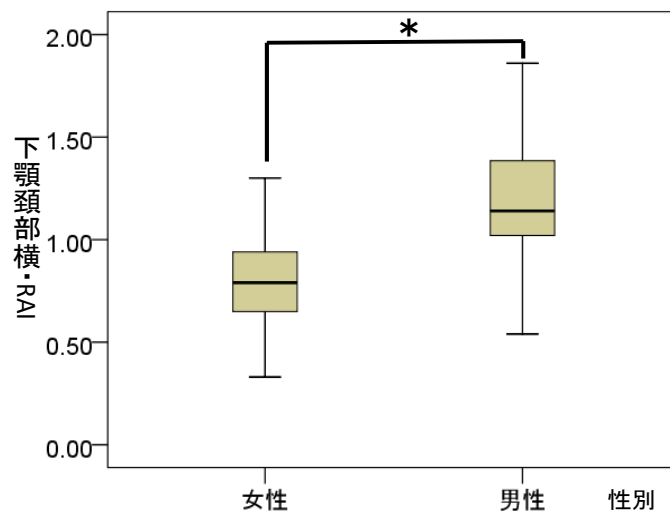


図 5-2 性別による RAI の違い

RAI と男性に有意差が認められた。

* : $p < 0.05$

3) 残存歯数 (図6-1, 2)

SDI・RAI値ともに、残存歯数群による有意な差を認めなかった。

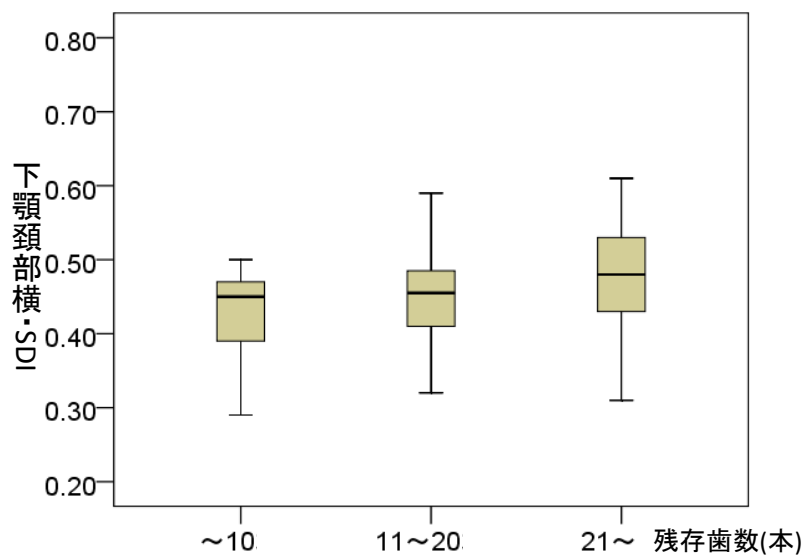


図6-1 残存歯数と顎骨SDIの変化

残存歯数とSDIの間に有意差は認めなかった。

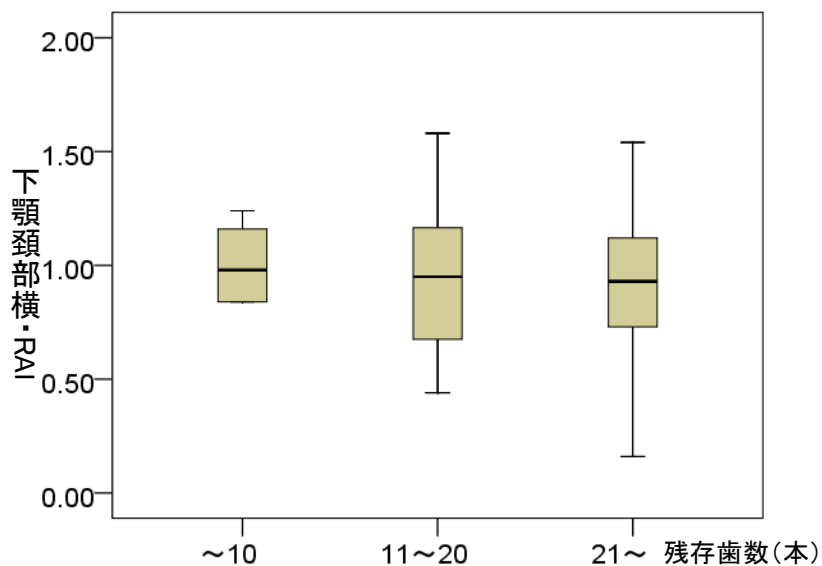


図6-2 残存歯数と顎骨RAIの変化

残存歯数とRAIの間に有意差は認めなかった。

4) CPI (図 7-1, 2)

RAI 値は CPI による差違を認めなかったが, SDI 値は CPI が 1 の群の値が, CPI 2・3 および 4 の群に対して有意に高かった.

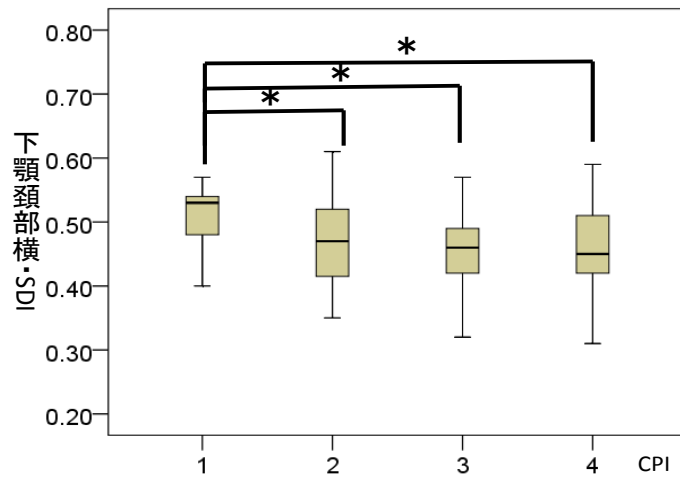


図 7-1 CPI と顎骨 SDI の変化

CPI 値 1 の群と CPI 2・3 および 4 の群の間で SDI 値に相関が認められた. * : $p < 0.05$

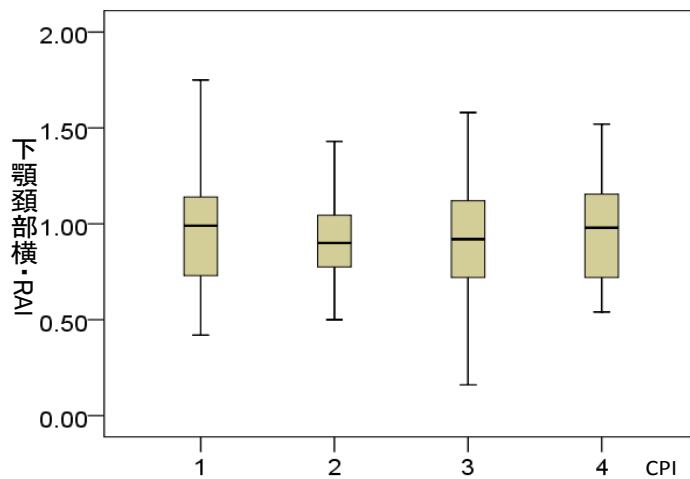


図 7-2 CPI と顎骨 RAI の変化

CPI 値と RAI の間で相関が認められなかった.

* : $p < 0.05$

5) ABL 率 (図 8 - 1 , 2)

下顎頸部の横の SDI・RAI 値は , ABL 率と有意な相関を示さなかった .

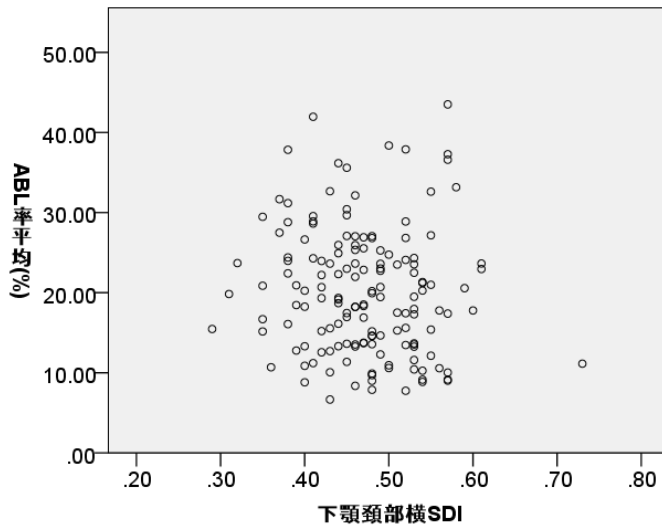


図 8 - 1 ABL 率と顎骨 SDI の変化

ABL 率と SDI の間に有意な相関が認められなかった .

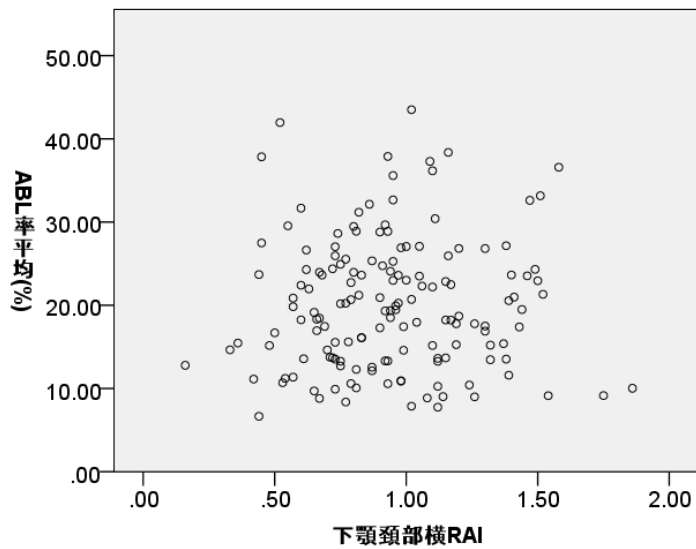


図 8 - 2 ABL 率と顎骨 RAI の変化

ABL 率と RAI の間に有意な相関が認められなかった .

考 察

骨粗鬆症は低骨量でかつ骨組織の微細構造が変化し、そのため骨が脆くなり、骨折しやすくなった病態と定義される^{18, 19)}。原発性骨粗鬆症と続発性骨粗鬆症とに分類されている。一般的に骨密度は30～40歳をピークとし、加齢的に減少していくことが知られている^{18, 19)}。

現在日本には約1000万人の骨粗鬆症患者がいると推定されている²⁰⁾。骨粗鬆症の早期発見は重要である。骨粗鬆症の治療にはビスフォスフォネートなどの薬剤療法があるが、このような患者に抜歯などの歯科治療を行うとビスフォスフォネート関連顎骨壊死をおこす可能性がある²¹⁾。そのため骨粗鬆症の歯科医療の現場での早期発見は、歯科医療の向上に大きく寄与することになる²²⁻²⁵⁾。

一方、歯周病はプラークを中心とした炎症因子、咬合性外傷による非炎症性因子、さらに宿主の抵抗力低下などにより歯槽骨吸収を伴って歯周組織破壊が進行する。それに伴い、局所の歯槽骨吸収と全身の骨量減少との関係に関心が持たれ、数々の研究報告がなされてきている²⁶⁻³²⁾。

田口ら^{33, 34)}の研究では、歯科で一般的に使用されるパノラマX線写真の下顎骨皮質骨指標を用いて骨粗鬆症患者をスクリーニングすることが可能であると述

べている。スクリーニングした患者を医科へ紹介したところ、約95%は骨量減少あるいは骨粗鬆症と診断されている^{33, 34)}。Jonassonら³⁵⁾は下顎骨歯槽部海綿骨形態分類を用いてスクリーニングが可能なことを報告した。田口ら¹⁰⁾の研究では、海綿骨は骨粗鬆症のスクリーニングは不向きであると報告しているが、読影技術の精度の向上によりスクリーニング精度が向上するかもしれないとも述べている。

本研究では、フォトンカウンティング型パノラマ撮影を行い、下顎骨の8部位のSDIとRAIの値を測定した。それらと橈骨骨密度との相関分析をしたところ、下顎頸部との高い相関を示した。下顎頸部のエネルギー分析値と橈骨骨密度の相関係数が高くなった理由として、下顎頸部の骨形態が橈骨の骨形態と類似していることが考えられる。

歯周病と骨粗鬆症の関係性について、稲垣ら¹¹⁾は骨密度は骨塩量測定装置で橈骨を測定。歯周病の状態はCPI、プロービングデプスにて評価した。その結果、歯周病と高度な骨粗鬆症は関係性があると述べている。一方、大野ら¹²⁾は、骨密度を超音波にて測定し、歯周病の状態はCPIにて評価した。その結果、歯周病と骨密度は有意差があるとはいえないと述べている。

CPIと骨密度との関係性について、本研究ではCPI 1の値のみが、下顎頸部のSDI値と有意な相関を示した。この原因として、歯槽骨と離れた下顎頸部との相

関を調べたために，歯周病との影響が反映され難かったと考えられる．

本研究の結果から，下顎頰部の SDI・RAI を基準に歯槽骨骨密度の測定方法を検討することで，骨粗鬆症のスクリーニングに応用できる可能性が示された．これは歯科診療で一般的に行われるパノラマ X 線撮影により歯科疾患を診査すると同時に骨密度のスクリーニングすることができる．

結 論

SDI, RAI と 橈骨密度の相関分析をした結果，フォトンカウンティング型パノラマ X 線撮影から求めた下顎頸部のエネルギー分析値（線質変化指数，SDI）は，橈骨骨密度測定に代わりえる，骨密度計測に利用可能なことが示唆された．

引用文献

- 1) Kribbs J. Comparison of mandibular bone in normal and osteoporotic women. *J Prosthet Dent*. 1990;63:218-222.
- 2) Klemetti E, Vainio P, Lassila V and Alhava E. Cortical bone mineral density in the mandible and osteoporosis status in postmenopausal women. *Scand J Dent Res*. 1993;101:219-223.
- 3) Hildebolt F. Osteoporosis and oral bone loss. *Dentomaxillofac Radiol*. 1997;26:3-15.
- 4) Renouared F ; Renouared F and Rangert B. Risk Factors in Implant Dentistry. 2nd ed. USA: *Quintessence Publishing Co Inc*;2008;1-193.
- 5) 音琴淳一，渡邊英俊，大野美知昭，日垣孝一，佐藤哲夫，椎名直樹，伊豫田比南，温慶雄，上條博之，坂本浩，河谷和彦，伊藤茂樹，太田紀雄．パノラマ X 線写真パラメーターを用いた歯周病と骨粗鬆症の関係の検討および骨粗鬆症診断の試み．日歯周誌．2001;43:13-24.
- 6) 藤城治義，大島康成，浅井勇吾，川瀬仁史，柳楽たまき，Marie G，吉成伸夫，稲垣幸司，野口俊英．歯周病を主訴とした閉経後成人女性の骨粗鬆症所見と歯周病態との関係．日歯周誌．

1997;39:226-233.

- 7) 折茂 肇 . 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン
(2011年版). 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン
作成委員会 . 2011.
- 8) Yoneda T, Hagino S, Sugimoto T, Ohta H, Takahashi
S, Soen S, Taguchi A, Toyosawa S, Nagata T and
Urade M. Bisphosphonate-related osteonecrosis
of the Jaw. *J Bone Miner Metab.*
2010;28:365-383.
- 9) 勝又明敏 . 歯科画像診断の最新事情 . 医用画像情
報会誌 . 2014 ; 31 : 65-69.
- 10) 田口 明 , 杉野紀幸 , 内田啓一 . 歯科用エックス
線写真における下顎骨海綿骨および皮質骨の統
合視覚評価における骨粗鬆症患者および骨折リ
スク患者スクリーニング法の開発 . *Osteoporosis
Jpn.* 2014;24:45-48.
- 11) 稲垣幸司 , 大島康成 , 鈴木秀人 , 藤城治義 , 柳楽
たまき , 吉成伸夫 , 橋本雅範 , 瀧川 融 , 小澤 晃 ,
野口俊英 . 骨粗鬆症患者の歯周病罹患状況 . 日歯
周誌 . 1996;38:220-225.
- 12) Ohno K, Kondo T, Yamada K, Miyao M, Ishihara
S, Fujiwara N and Toyoshima H. The relationship
between periodontal Disease and Bone Mineral
Density. *J Dent Hlth.* 2001;51:88-95.
- 13) 勝又明敏 . パノラマ X 線撮影のルネサンスをめざ

して . 岐 歯 学 会 雑 誌 . 2012;38:117-128.

- 14) Ogawa K, Langlais P, McDavid D, Noujeim M, Seki K, Okano T, Yamakawa T and Sue T. Development of a new dental panoramic radiographic system based on a tomosynthesis method.

Dentomaxillofac Radiol. 2010;39:47-53.

- 15) Katsumata A, Ogawa K, Inukai K, Matsuoka M, Nagano T, Nagaoka H and Yamakawa T. Initial evaluation of linear and spatially oriented planar images from a new dental panoramic system based on tomosynthesis.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2011;112:375-382.

- 16) Kitai N, Mukai Y, Murabayashi M, Kawabata A, Washino K, Matsuoka M, Shimizu I and Katsumata A. Measurement accuracy with a new dental panoramic radiographic technique based on tomosynthesis.

Angle Orthod. 2013;83:117-126.

- 17) Ogawa K, Kobayashi T, Kaibuki F, Yamakawa T, Nagano T, Hashimoto D and Nagaoka H.

Development of an energy-binned photon-counting detector for x-ray and gamma-ray imaging. *Nucl Instrum Methods Phys Res A.*

2012;664:29-37.

- 18) 折 茂 肇 , 杉 岡 洋 一 , 五 来 逸 雄 , 中 村 哲 郎 , 福 永

仁夫，佛淵孝夫，武藤芳照．原発性骨粗鬆症の診断基準．日骨代謝会誌．1995；13：113-118．

- 19) 折茂 肇，杉岡洋一，福永仁夫，佛淵孝夫，武藤芳照，五来逸雄，中村哲郎，串田一博，田中弘之，猪飼哲夫．原発性骨粗鬆症の診断基準（1996年度改訂版）．*Osteoporosis Jpn.* 1996；4：643-652．
- 20) 勝又明敏，藤田廣志，田口 明，有地淑子，有地榮一郎．骨粗鬆症スクリーニングのためのコンピュータによる下顎骨下縁皮質骨 X線画像解析法．*口科誌* 2016；65：256-263．
- 21) 杉石 泰，稲垣幸司，黒須康成，夫馬大介，坂野雅洋，吉成伸夫，野口俊英，森田一三，中垣晴男．閉経後女性の歯周病所見と骨粗鬆症の関係．*日歯周誌*．2006；48：10-16．
- 22) 田口 明．歯科のパノラマ X線写真を用いて早期に骨粗鬆症患者をスクリーニングする（1）．*顎咬合誌*．2010；30：248-249．
- 23) 田口 明．歯科のパノラマ X線写真を用いて早期に骨粗鬆症患者をスクリーニングする（2）．*顎咬合誌*．2011；31：122-125．
- 24) 田口 明．歯科のパノラマ X線写真を用いて早期に骨粗鬆症患者をスクリーニングする（3）．*顎咬合誌*．2012；31：272-275．
- 25) 田口 明．歯科のパノラマ X線写真を用いて早期に骨粗鬆症患者をスクリーニングする（4）．*顎*

咬合誌 . 2012;32:199-201.

- 26) Groen J, Menczel J and Shapiro S. Chronic destructive periodontal disease in patients with presenile osteoporosis. *J Periodont.* 1968;39:19-23.
- 27) Solt B. The pathogenesis, oral manifestations, and implications for dentistry of metabolic bone disease. *Curr Opin Dent.* 1991;1:783-791.
- 28) von Wowern N, Klausen B and Kollerup G. Osteoporosis: A risk factor in periodontal disease. *J Periodont.* 1994;65:1134-1138.
- 29) Klemetti E, Collin L, Forss H, Markkanen H and Lassila V. Mineral status of skeleton and advanced periodontal disease. *J Clin Periodontol.* 1994;21:184-188.
- 30) Ward J and Manson D. Alveolar bone loss in periodontal disease and the metacarpal index. *J Periodontal.* 1973;44:763-769.
- 31) Genco J and Loe H. The role of systemic conditions and disorders in periodontal disease. *Periodontal 2000.* 1993;2:98-116.
- 32) Mohammad R, Jones D and Brunsvold A. Osteoporosis and periodontal disease: A review. *CDA J.* 1994;22:69-75.
- 33) 田口 明 , 谷本啓二 , 末井良和 , 山田信一 , 大塚

昌彦，隅田博臣，山根由美子，砂屋敷忠，和田卓郎．回転パノラマ X線写真による閉経後骨粗鬆症診断の試み．日骨形態誌．1994;4:113-118．

- 34) Taguchi A. Validation of dental panoramic radiographic measures in identifying postmenopausal women with spinal osteoporosis. *Am J Roentgenol*. 2004;183:1755-1760.
- 35) Jonasson G, Valter S, Margrea A, Magnus H, Cecilia B and Lauren L. A prospective study of mandibular trabecular bone to predict fracture incidence in women: a low-cost screening tool in the dental clinic. *Bone*. 2011;49:873-879.