

デジタル画像を用いた歯顎顔面領域疾患のリスク評価

Risk assessment of the dento-maxillofacial lesions

using digital images

日本大学大学院松戸歯学研究科

放射線学

小倉 千春

(指導：金田 隆 教授)

本論文は、

- 1) デジタルパノラマエックス線画像における下顎骨下縁皮質骨形態分類を用いた歯周疾患のリスク評価

日本デジタル歯科学会誌（第 13 巻 2 号 令和 5 年 9 月発行）

- 2) 拡散強調画像を使用した顎関節症患者における joint effusion の定量分析

日本デジタル歯科学会誌（第 12 巻 3 号 令和 5 年 2 月発行）

をまとめたものである。

## 1. 要旨

## 2. 緒言

## 3. 対象および方法

3-1. デジタルパノラマエックス線画像における下顎骨下縁皮質骨形態分類を用いた歯周疾患のリスク評価

3-2. 拡散強調画像を使用した顎関節症患者における joint effusion の定量分析

## 4. 結果

4-1. デジタルパノラマエックス線画像における下顎骨下縁皮質骨形態分類を用いた歯周疾患のリスク評価

4-2. 拡散強調画像を使用した顎関節症患者における joint effusion の定量分析

## 5. 考察

5-1. デジタルパノラマエックス線画像における下顎骨下縁皮質骨形態分類を用いた歯周疾患のリスク評価

5-2. 拡散強調画像を使用した顎関節症患者における joint effusion の定量分析

## 6. 結語

## 7. 参考文献

## 8. Figures and legends

## 9. Tables

## 1. 要 旨

### 目的：

現在、デジタルパノラマエックス線画像における下顎骨下縁皮質骨形態分類 (Mandibular cortical index, 以下 MCI) および全身の骨質との関連を調査した研究が報告されている。また、顎口腔領域において拡散強調 MRI (Diffusion-weighted MRI, 以下 DW-MRI) を用いた組織の定量化に関する報告がみられる。しかしながら、MCI を用いた歯周疾患のリスク評価や DW-MRI を用いて顎関節症患者における joint effusion の定量評価に関する報告は乏しい。

本研究の目的は、1) MCI による歯周疾患のリスク評価、2) 顎関節症患者における joint effusion を定量評価である。

### 対象および方法：

1) 2007 年 4 月から 2021 年 3 月までの間に日本大学松戸歯学部附属病院にて歯周基本検査およびパノラマエックス線検査を行った 112 症例とした。画像上でオトガイ孔下の MCI の評価および分類 (Group I : I 型, Group II : II 型および III 型) を行った。Probing pocket depth (以下 PPD) は検査対象歯中の最深 PPD を評価した。全 112 症例における MCI の分類 (Group I 群および Group II 群) と PPD ( $\geq 4$  mm 群と  $< 4$  mm 群) の関連性を Fisher's exact test によって検討した。

2) 2017 年 11 月から 2020 年 9 月までの間に日本大学松戸歯学部附属病院にて

顎関節の症状を訴え MRI 検査を受けた Joint effusion を伴う患者 51 名であった。

Joint effusion の Apparent diffusion coefficient (以下 ADC) 値の測定は ADC-map 上  
の下顎頭前方で行われた。Joint effusion の量による 4 つの群における平均 ADC  
値を Kruskal-Wallis test および事後の Mann-Whitney U test with Bonferroni  
adjustments によって比較した。

#### 結果：

1) Group I では最深 PPD が  $<4$  mm の割合が高く， Group II では  $\geq 4$  mm を有  
する割合が高かった ( $P<0.05$ )。

2) 顎関節症患者における joint effusion の ADC 値は 4 つの群で，有意に異な  
り，すべての Category 間で有意差がみられた ( $P<0.01$ )。

#### 結論：

下顎骨下縁皮質骨で吸収が顕著にみられた群において PPD が深くなる傾向が  
みられることや，顎関節症患者においては joint effusion の量が増加するほど  
ADC 値は高値を呈することが明らかとなり，デジタル画像を用いた MCI，ADC  
値の歯・顎顔面領域疾患のリスク評価の可能性が示唆された。

キーワード：歯周疾患，デジタルパノラマエックス線画像，下顎骨下縁皮質骨

形態分類，顎関節症，拡散強調 MRI

## 1. Abstract

### **Purposes:**

Currently, a study has been reported investigating the relationship between mandibular cortical index (MCI) in digital panoramic radiographic images and bone quality in whole body. Additionally, there have been reports on the quantification of tissues using diffusion-weighted MRI (DW-MRI) in the maxillofacial region. However, there are few reports on applying MCI for risk assessment of periodontal diseases and quantifying joint effusion in temporomandibular joint (TMJ) disorder patients using DW-MRI.

The purposes of this study were to 1) assess the risk of periodontal diseases using MCI, 2) quantitative assessment of the joint effusion in patients with TMJ disorders.

### **Materials and Methods:**

1) The study included 112 cases who underwent basic periodontal examinations and panoramic radiography at our hospital between April 2007 and March 2021. MCI evaluation and classification below the mental foramen on the images were performed (Group I: Type I, Group II: Types II and III). Probing pocket depth (PPD) was assessed as the deepest PPD among the examined teeth. The relationship between MCI classification (Group I and Group II) and PPD ( $\geq 4$ mm and  $< 4$ mm groups) in all 112 cases was examined using Fisher's exact test.

2) The study group comprised 51 patients who underwent MRI examination at our hospital from November 2017 to September 2022. Measurement of the Apparent Diffusion Coefficient (ADC) values of joint effusion was performed in the anterior part of the mandibular condyle on the ADC map. The mean ADC values in four groups based on the amount of joint effusion were compared using Kruskal-Wallis test and post hoc Mann-Whitney U test with Bonferroni adjustments.

### **Results:**

1) Group I had a higher proportion of cases with the PPD <4mm, while Group II had a higher proportion with PPD  $\geq$ 4mm ( $P<0.05$ ).

2) ADC values of joint effusion in patients with TMJ disorders differed significantly among the four groups, with significant differences observed between all categories ( $P<0.01$ ).

### **Conclusion:**

This study found that in groups with resorption in the mandibular cortical bone, there is a tendency for PPD to be deeper. Furthermore, in TMJ disorder patients, as the amount of joint effusion increases, ADC values tended to be higher. These indicate that MCI and ADC values had potential for risk assessment of dento-maxillofacial region.

**Keywords:**

Periodontal disease, Digital panoramic radiograph, Mandibular cortical index,  
Temporomandibular disorders, Diffusion-weighted magnetic resonance imaging



## 2. 緒 言

歯周疾患は本邦成人の多くが罹患し、日常歯科臨床で遭遇頻度の高い 2 大疾患の 1 つである。近年の研究で同疾患による心疾患や内臓系疾患等との関連性が多数報告され、同疾患のコントロールは超高齢化時代の QOL 維持、および本邦の医療費削減にも繋がる重要事項とされている<sup>1,2</sup>。日常臨床において、歯周疾患の検査には口内法やパノラマエックス線検査が頻用されているが、口内法と比較して同検査は初診時に一様に実施されることが多く、且つ口腔領域全体を総覧出来るという利点がある。また、術者の技量による影響が比較的少ないことから、下顎骨下縁皮質骨形態分類 (Mandibular cortical index, 以下 MCI) を用いたスクリーニング法がこれまでに多く報告され、MCI と全身の骨質との関連が示唆されている<sup>3,4</sup>。また、歯周疾患と全身の骨質との関連を調査した報告も多くみられる<sup>5,6</sup>。

一方、顎関節症は関節痛、雑音、開口障害、等の機能異常を主徴候とする障害の包括的診断名である<sup>7,8</sup>。顎関節症には I 型の咀嚼筋障害、II 型の関節包・靭帯障害、画像検査の対象となる III 型の関節円板障害、IV 型の変形性関節症などの複数の病態が存在する。同疾患の画像検査にはパノラマエックス線検査、顎関節造影、コンピューター断層撮影 (Computed tomography, 以下 CT) や磁気共鳴画像法 (Magnetic resonance imaging, 以下 MRI) が用いられ、エックス線検査は主に IV 型の変形性顎関節症の診断に有効であり、特に CT は微細な骨吸収や骨硬化の

検査に優れている。MRI は放射線被曝を伴わない非侵襲的な検査法であり組織分解に優れていることから、関節円板の三次元的位置、骨髄信号および joint effusion 等の評価で高い診断精度を有することから臨床で広く用いられている<sup>9</sup>。過去の研究においてもこれら所見を MRI で調査したものは多い<sup>10-15</sup>。

中でも拡散強調 MRI (Diffusion-weighted MRI, 以下 DW-MRI) は水分子の拡散運動を強調する MRI の撮影法の一つであり、拡散性が高いほど低信号、拡散性が低いほど高信号として描出される。また、拡散係数 (Apparent diffusion coefficient, 以下 ADC) - map を作成することにより対象領域の定量化が可能であり、近年、顎口腔領域においても ADC 値を用いた研究が多数報告されている<sup>16-19</sup>。MCI や DW-MRI を用いた多くの研究報告がなされているが、デジタルパノラマエックス線画像における MCI を用いた歯周疾患のリスク評価および DW-MRI を用いた顎関節症患者における joint effusion を定量評価した報告はみられない。特に joint effusion は過去に疼痛との関連も報告されており<sup>10</sup>、本研究は顎関節痛のリスク評価にも寄与すると考えられ、その臨床的意義は大きい。

本研究の目的は、1) デジタルパノラマエックス画像における MCI を用いた歯周疾患のリスク評価、2) DW-MRI を使用した顎関節症患者における joint effusion の定量分析である。

### 3. 対象および方法

本研究は、日本大学松戸歯学部倫理委員会の承認を得た後ろ向き研究である（承認番号 EC21-006, EC15-12-009-1）。

#### 3-1. デジタルパノラマエックス線画像における下顎骨下縁皮質骨形態分類を用いた歯周疾患のリスク評価

対象は 2007 年 4 月から 2021 年 3 月までの間に日本大学松戸歯学部附属病院 脳・心臓ドッグ外来にて歯周基本検査およびパノラマエックス線検査を行った 112 症例（男性 56 症例，女性 56 症例，年齢分布 30～98 歳，平均年齢 55.9 歳）とした。尚，無歯顎の患者は対象から除外した。

使用したデジタルパノラマエックス線装置は（Veraviewepocs; J. Morita Ltd., Kyoto, Japan）であり，管電流 10 mA，管電圧 60 kV，撮影時間 16.2 sec であった。イメージングプレートは PlateST-VI（富士フイルムメディカル，東京）を用いた。撮影条件はオート（自動）とし，患者位置付けはメーカーの推奨する方法に準じ，通法通り行った。イメージングプレートの読取装置は FCR Speedia CS（富士フイルムメディカル，東京）を用いた。MCI の評価は，2 名の歯科放射線専門医が個別にデジタルパノラマエックス線画像上で，オトガイ孔下の皮質骨下縁の形態を Klemetti ら<sup>20</sup> の分類方法を用いて実施した。MCI の分類は I 型：両側皮質骨の内側表面が滑らか（Fig. 1A），II 型：皮質骨の内側表面は不規則となり，

内側近傍の皮質骨内部に線状の吸収 (Fig. 1B), III型: 皮質骨全体にわたり, 高度な線状の吸収と皮質骨の断裂がみられる (Fig. 1C), であった。左右側で MCI が異なる場合には, より骨吸収が高度であるものが評価された。さらにこれら 3 つのタイプを 2 つの Group (Group I: 正常な骨密度 (I型), Group II: 低骨密度 (II型およびIII型)) に大別した。Probing pocket depth (以下 PPD) の測定は 6 点法にて計測され, 現在歯中の最深 PPD を評価し, エックス線画像上で歯槽骨吸収を伴い, 且つ  $\geq 4$  mm の PPD を有する群と歯槽骨吸収を伴わず, 且つ  $< 4$  mm の PPD を有する群の 2 群に分類した。MCI の評価者間の一致率の評価には重み付け  $\kappa$  係数を用いて算出した。基準は,  $\sim 0.20$  (わずかに一致),  $0.21 \sim 0.40$  (概ね一致),  $0.41 \sim 0.60$  (適度に一致),  $0.61 \sim 0.80$  (かなり一致),  $0.81 \sim 1.0$  (ほとんど一致) とした<sup>21</sup>。尚, MCI の評価の際に評価者間で意見の相違がみられた場合には合議のもと決定した。

統計分析は, 全 112 症例における MCI の分類 (Group I 群および Group II 群) を説明変数とし, さらに PPD ( $\geq 4$  mm 群と  $< 4$  mm 群) を目的変数として Fisher's exact test により行った。また, PPD および MCI の各群における年齢差の検討には Mann-Whitney U-test を用いた。尚, Mann-Whitney U-test における目的変数の正規性の確認には Shapiro-Wilk test を用いた。さらに, 性別と PPD および MCI との関連は Fisher's exact test を用いて検討した。統計処理は, 統計処理ソフト

SPSS (SPSS version 28.0<sup>®</sup>, IBM Japan Inc., Tokyo, Japan) を用いて、 $P < 0.05$  にて有意性を示すものと考えた。

### 3-2. 拡散強調画像を使用した顎関節症患者における joint effusion の定量分析

対象は 2017 年 11 月から 2020 年 9 月までの顎関節部の疼痛、雑音等を訴えた 51 症例（男性 15 症例，女性 36 症例，年齢 20～82 歳，平均 51.1 歳）とした。両側ともに joint effusion がみられなかった患者や片側または両側に joint effusion を認めた患者を対象とし，断層位置により関節腔の評価が困難であったもの，重度の下顎頭変形より評価が困難なもの，モーションアーチファクト，磁化率アーチファクトにて画像評価が困難なものは対象から除外した。

MRI の撮像は 1.5 T 超伝導型 (Intera Achieva 1.5T Nova; Philips Medical Systems, Best, Netherlands) および 5-channel phased array coil を用いて行った。Joint effusion の量の分類には，Larheim ら<sup>10</sup>の grading system を用い (Fig. 2)，スピンエコー法矢状断 T2 強調像 (TR 3500 ms, TE 120 ms, スライス厚： 3.0 mm, マトリックス： 192 × 256, FOV： 120 × 120) にて，Category 1= No fluid および Minimal fluid, Category 2= Moderate fluid, Category 3= Marked fluid, Category 4= Extensive fluid とした。Joint effusion の ADC 値の計測には DWI (TR 5000 ms, TE 65 m, スライス厚： 6.0 mm, マトリックス： 320 × 256, FOV： 350 × 230, b= 0, 1000 mm<sup>2</sup>/s) を用いた。また，joint effusion の分類や ADC 値の計測には医用画像表示

モニター (RadiForce G31 ; Eizo Nanao, Ishikawa, Japan) を使用した。Joint effusion の ADC 値の計測は歯科放射線専門医が下顎頭前方の上下関節腔相当部に 5 × 5 mm の矩形 ROI を設定し実施した (Fig. 3)。

統計分析には SPSS (SPSS version 28.0<sup>®</sup>, IBM Japan Inc., Tokyo, Japan) を用いた。Joint effusion の Category 1~4 を説明変数とし, ADC 値を目的変数として Kruskal-Wallis test, post-hoc Mann-Whitney test with Bonferroni adjustments によって比較検討した。尚, 目的変数は Shapiro-wilk test にて非正規性が確認された。また, ADC 値と年齢との相関関係評価は Spearman's correlation coefficient を用い, 男女間の ADC 値の比較は Mann-Whitney test を用いた。P<0.05 で有意性を示すものと考えた。

## 4. 結 果

### 4-1. デジタルパノラマエックス線画像における下顎骨下縁皮質骨形態分類を用いた歯周疾患のリスク評価

MCI の一致率は  $\kappa = 0.71$  (かなり一致) であった。平均年齢は  $PPD \geq 4\text{mm}$  を有する場合で 57.74 歳,  $PPD < 4\text{mm}$  で 47.65 歳であった ( $P < 0.05$ )。また, Group I で 48.42 歳, Group II で 59.5 歳であった ( $P < 0.05$ )。性別と PPD との間には明らかな関連はみられなかったが ( $P > 0.05$ ) , MCI では男性で Group II である割合が多い結果となった ( $P < 0.05$ )。Table 1 に MCI の各群におけるグループにおける PPD を示す。全 112 症例中, 20 例 (17.9 %) は  $PPD < 4\text{mm}$ , 92 例 (82.1 %) は  $PPD \geq 4\text{mm}$  であり, Group I が 44 例 (39.3 %) , Group II が 68 例 (60.7 %) であった。  $PPD < 4\text{mm}$  である割合は Group I で 60 %, Group II で 40 %であり, Group I では Group II と比較して  $PPD < 4\text{mm}$  である割合が高かった。また, 対照的に  $\geq 4\text{mm}$  の PPD を有する割合は Group I で 34.8 %, Group II で 65.2 %であり, Group II では Group I と比較して  $PPD \geq 4\text{mm}$  を有する割合が高く, 有意な関連が認められた ( $P < 0.05$ )。

### 4-2. 拡散強調画像を使用した顎関節症患者における joint effusion の定量分析

Joint effusion の Category 別の平均 ADC 値は Category 1 で  $1.05 \pm 0.21 (\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s} \pm \text{標準偏差})$ , Category 2 で  $1.34 \pm 0.23$ , Category 3 で  $1.72 \pm 0.28$ , Category

4で  $2.21 \pm 0.28$  であり, joint effusion の Category すなわち量が増加に伴い, 平均 ADC 値も増加した (Table 2)。Kruskal-Wallis test により各 Category 間で有意差がみられた ( $P < 0.01$ )。また, Kruskal-Wallis test 後に行われた post-hoc Mann-Whitney test with Bonferroni adjustments により Category 1 と 2~4 ( $P < 0.01$ ), Category 2 と 3 および 4 ( $P < 0.01$ ) および Category 3 と 4 ( $P < 0.01$ ) の間で有意差がみられた (Fig. 4)。ADC 値と年齢との相関はみられなかったが ( $r = 0.002$ ,  $P = 0.983$ ), 男女間での平均 ADC 値は男性  $1.23 \pm 0.45$ , 女性  $1.44 \pm 0.45$  であり, 男性と比較して女性で平均 ADC 値は高値を呈した ( $P = 0.007$ )。尚, 事後の検定力 ( $1 - \beta$ ) の結果は 0.99-1.0 であった。



## 5. 考 察

本研究から、Group I（MCI分類でI型）およびGroup II（MCI分類でII型およびIII型）とPPDの最深値に有意な関連がみられ、Group IIではGroup Iと比較してPPD $\geq$ 4 mmを有する割合が高いことが明らかとなった。また、顎関節症患者のjoint effusionのADC値はいずれのCategory間でも有意に異なり、joint effusionの量の増加に伴い、平均ADC値の増加がみられた。

### 5-1. デジタルパノラマエックス線画像における下顎骨下縁皮質骨形態分類を用いた歯周疾患のリスク評価

一般的に全身の骨は加齢により皮質骨、海綿骨ともに骨密度が低下し骨折のリスクが高まることが知られており、現在、骨質評価のため、パノラマエックス線画像によるMCI、下顎皮質骨幅（MCW）、パノラマ下顎指数（PMI）などの多くの指標が用いられており、過去の報告では下顎皮質骨幅や形態と股関節、脊椎、大腿骨、踵骨等、全身の骨質との関連が多く報告されている<sup>22-25</sup>。下顎骨両側オトガイ孔下における皮質骨幅を計測して骨密度との関連を調査し、骨粗鬆症のスクリーニング法における同検査の有用性を報告している<sup>26,27</sup>。また、MCIの評価により骨折のリスク評価をした報告もみられる<sup>28</sup>。さらに、Brasら<sup>29</sup>は下顎角部の皮質骨幅を評価し、腎性異栄養症の診断における有用性を報告している。Friedlanderら<sup>30</sup>は頸動脈の石灰化を評価し、脳血管障害のリスク評価にお

ける有用性を報告している。これら多くの報告はパノラマエックス線画像がこれら病態のリスク評価ならびに全身の骨質の評価におけるスクリーニング法として有用であることを示唆している。しかしながら、MCI と PPD の関係性をデジタルパノラマエックス線画像で調査した研究は過去になく、本研究で PPD と MCI の関連を仮定し調査を行った。その結果、下顎骨下縁皮質骨で吸収が顕著にみられた群、すなわち Group II では Group I と比較して PPD が深くなる傾向がみられた。また、PPD  $\geq$  4mm および MCI の Group II は高齢群ほど多く、MCI の Group II は男性で多くみられた。これは、一般的に骨質は女性でより低下傾向となるが、男性群の方が女性群よりも平均年齢が高かったことが影響したと考えられる。歯周炎と骨密度との関連を調査した過去の研究では腰椎および大腿骨の骨密度の低い患者で歯槽骨吸収を伴う患者の割合が高いことを報告している<sup>5</sup>。また、低骨質患者を追跡調査した報告では正常患者と比較して、より歯槽骨吸収の進行が顕著であるとする報告もみられる<sup>6</sup>。これらの報告は、全身の骨質と歯槽骨の骨質との関連を示唆している。本研究の結果は、全身の骨質状態を反映するとされる MCI と歯周疾患との関連を示唆しているものと考えられ、患者の歯槽骨の骨質によって、歯周病原菌や咬合因子等の影響が相違する可能性が推察された。尚、本研究では患者毎の薬剤の投与歴や既往歴は不明であり、これらと歯周疾患との関連評価は困難であった。

## 5-2. 拡散強調画像を使用した顎関節症患者における joint effusion の定量分析

顎関節における MRI の役割は非常に大きくエックス線検査では評価困難な関節円板の位置，形態，joint effusion，周囲骨の変形，吸収から骨髄の性状まで画像評価可能である。Joint effusion は関節腔内に貯留する滑液，血液等の総称であり，疼痛や障害のない関節でもみられるという報告がある一方で<sup>31</sup>，進行した関節円板転位や顎関節部の疼痛等，関節円板の機能障害による炎症反応の結果生じるとい報告もある<sup>11</sup>。また，関節円板の位置異常や joint effusion の存在が下顎頭吸収の危険因子となるという過去の報告もみられる<sup>32</sup>。これらの報告は関節円板の状態，joint effusion の有無，下顎頭の状態，等が互いに密接に関係していることを示唆している。

DW-MRI は水分子の拡散現象を画像化する MRI の撮像法であり，1986 年に Le Bihan ら<sup>33</sup>により頭蓋内の拡散現象の画像化が行われた。1990 年には Moseley ら<sup>34</sup>により，超急性期の脳梗塞への有用性が報告され，現在では虚血性脳疾患等，臨床で広く応用され，近年では悪性腫瘍の診断にも用いられている。一般的に拡散強調画像から作成された ADC-map 上で計測される ADC 値は良性病変または炎症性疾患で高く，悪性病変では低いことが知られている。近年，頭頸部領域においても DW-MRI を用いた報告が多くみられるようになっている。しかしながら，顎関節症患者における joint effusion を DW-MRI により Category ごとに

定量化した報告はみられない。本研究は joint effusion の定量化における DW-MRI の有用性を仮定した。その結果, joint effusion の Category すなわち量により ADC 値は有意に異なり, 特に Category 4 では非常に高い値となった。また, Category 2 および 3 においても Category 1 と比較して有意に高い平均 ADC 値を呈した。さらに各 Category 間の平均 ADC 値においてそれぞれ有意差がみられた。過去には MR 画像上の joint effusion 量と穿刺吸引された joint effusion 中の炎症性サイトカイン量 (IL-8, sIL-6R, sTNF-R1/II など) との間に高い正の相関関係がみられたことが報告されており<sup>35</sup>, これは joint effusion の増加による炎症性の増加を示唆している。本研究で調査された ADC 値は Category すなわち joint effusion の量がより増加するほど ADC 値は高値を呈したことから, joint effusion 量の増加が joint effusion 中の水分子拡散性の増加をもたらしたものと推察された。また, 女性の方が男性と比較して ADC 値はやや高値を呈しており, joint effusion の量が多い症例が多くみられたことが一因であることが考えられた。本研究にはいくつかの研究限界があり, 第一に後ろ向き研究であることから, スライス厚 6 mm の拡散強調画像を解析対象とした。そのため, 断層画像上に関節腔が観察されない場合は評価不可能であった。第二にエコープランナー法を用いた DW-MRI は磁化率の影響を大きく受けるため, 広範囲に及ぶ磁化率アーチファクトのみられた複数の症例で評価困難であった。

## 6. 結 語

本研究から、1) Group II, すなわち下顎骨下縁皮質骨で吸収が顕著にみられた群において PPD が深くなる傾向がみられること、2) 顎関節症患者における joint effusion の量が増加するほど ADC 値は高値を呈することが明らかとなった。以上より、デジタル画像を用いた MCI, ADC 値による歯顎顔面領域疾患のリスク評価の可能性が示唆された。

## 7. 参考文献

1. Tabeta K, Yoshie H, Yamazaki K. Current evidence and biological plausibility linking periodontitis to atherosclerotic cardiovascular disease. *Jpn Dent Sci Rev* 2014; 50: 55-62.
2. Janket SJ, Baird AE, Chuang SK, et al. Meta-analysis of periodontal disease and risk of coronary heart disease and stroke. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 95: 559-569.
3. Karayianni K, Homer K, Mitsea A, et al. Accuracy in osteoporosis diagnosis of a combination of mandibular cortical width measurement on dental panoramic radiographs and a clinical risk index (OSIRIS): the OSTEODENT project. *Bone* 2007; 40: 223-229.
4. Alman AC, Johnson LR, Calverley DC, et al. Diagnostic capabilities of fractal dimension and mandibular cortical width to identify men and women with decreased bone mineral density. *Osteoporos Int* 2012; 23: 1631-1636.
5. Gil-Montoya JA, Garrido-Martínez M, Barrios-Rodríguez R, et al. Association between low bone mineral density and periodontitis in generally healthy perimenopausal women. *J Periodontol* 2021; 92: 95-103.
6. Yoshihara A, Seida Y, Hanada N, et al. A longitudinal study of the relationship

- between periodontal disease and bone mineral density in community-dwelling older adults. *J Clin Periodontol* 2004; 31: 680-684.
7. Westesson PL, Yamatomo M, Sano T, et al. Temporomandibular joint. In: Som PM, Curtin HD, editors. *Head and neck imaging*. 5th ed. St. Louis: Mosby; 2011: 1547–1610.
  8. 日本顎関節学会・編: 顎関節症治療の指針 2020. 日本顎関節学会, 2020.
  9. Tasaki MM, Westesson PL. Temporomandibular joint: diagnostic accuracy with sagittal and coronal MR imaging. *Radiology* 1993; 186: 723-729.
  10. Larheim TA, Westesson PL, Sano T. MR grading of temporomandibular joint fluid: association with disk displacement categories, condyle marrow abnormalities and pain. *J Oral Maxillofac Surg* 2001; 30: 104-112.
  11. Westesson PL, Brooks SL. Temporomandibular joint: relationship between MR evidence of effusion and the presence of pain and disk displacement. *AJR Am J Roentgenol* 1992; 59: 559-563.
  12. Muraoka H, Kaneda T, Kawashima Y, et al. Parotid lymphadenopathy is associated with joint effusion in non-neoplastic temporomandibular disorders. *J Oral Maxillofac Surg* 2017; 75: 491-497.
  13. Muraoka H, Ito K, Hirahara N, et al. Quantitative assessment of the apparent

diffusion coefficient values of the inflammatory connective tissue around the mandibular condyle in rheumatoid arthritis. *J Oral Maxillofac Surg* 2021; 79: 1230-1235.

14. Lee C, Choi YJ, Jeon KJ, et al. Synthetic magnetic resonance imaging for quantitative parameter evaluation of temporomandibular joint disorders. *Dentomaxillofac Radiol*. 2021; 50: 20200584. doi:10.1259/dmfr.20200584
15. Milano V, Desiate A, Bellino R, et al. Magnetic resonance imaging of temporomandibular disorders: classification, prevalence and interpretation of disc displacement and deformation. *Dentomaxillofac Radiol* 2000; 29: 352-361.
16. Muraoka H, Hirahara N, Ito K, et al. Efficacy of diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the diagnosis of osteomyelitis of the mandible. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2022; 133: 80-87.
17. Okada S, Ito K, Muraoka H, et al. Quantitative assessment of the mandibular bone marrow of diabetes mellitus patients using diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Oral Radiol* 2022; 38: 349-355.
18. Muraoka H, Ito K, Hirahara N, et al. The value of diffusion-weighted imaging in the diagnosis of medication-related osteonecrosis of the jaws. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2021; 132: 339-345.



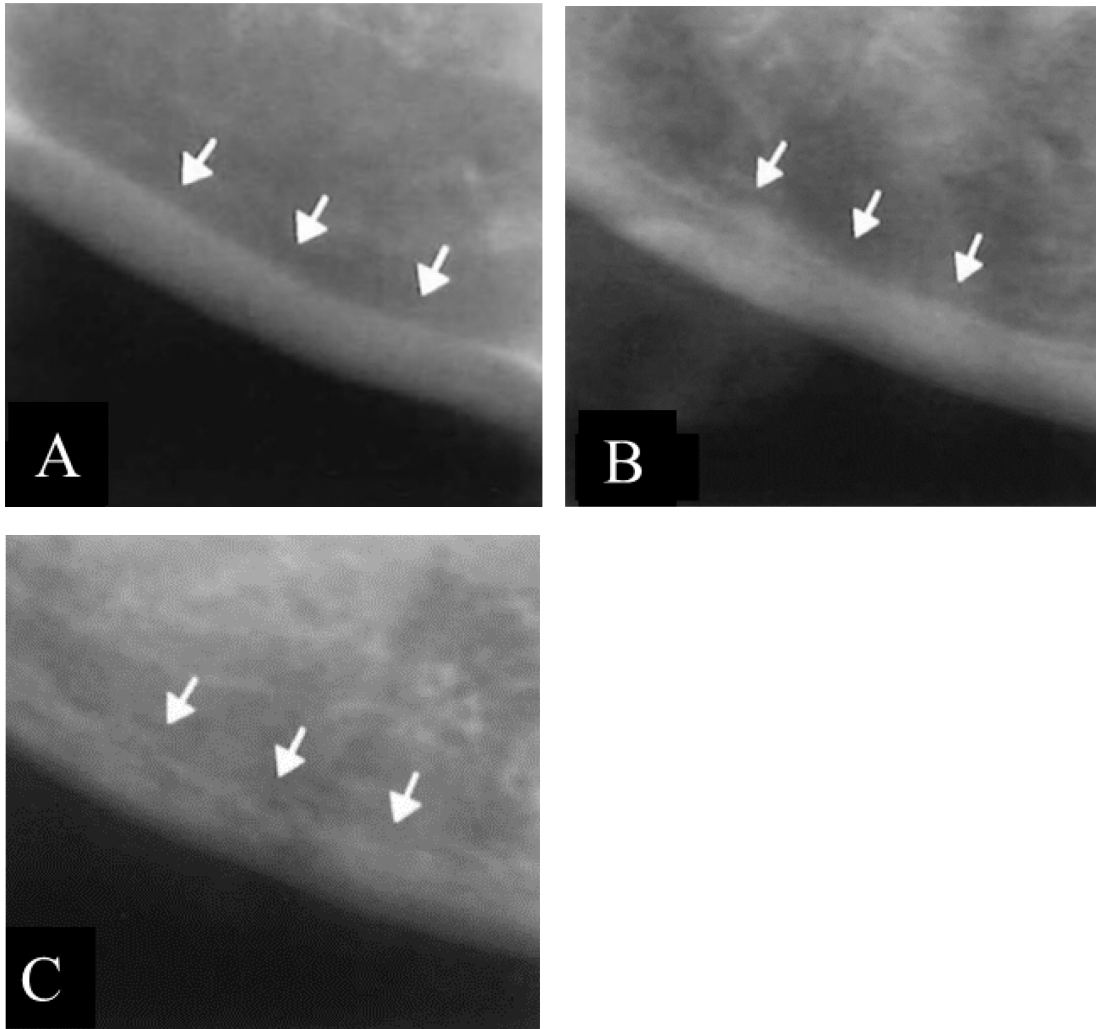
19. Muraoka H, Ito K, Hirahara N, et al. Efficacy of diffusion-weighted imaging in the diagnosis of osteoporosis suggested by the correlation between mandibular cortex width and apparent diffusion coefficient of the mandibular bone marrow. *Oral Sci. Int* 2022; <https://doi.org/10.1002/osi2.1123>.
20. Klemetti E, Kolmakov S, Kroger H. Pantomography in assessment of the osteoporosis risk group. *Scand J Dent Res* 1994; 102: 68-72.
21. Cohen J. Weighted kappa: nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin* 1968; 70: 213-220.
22. Drozdowska B, Pluskiewicz W, Tarnawska B. Panoramic-based mandibular indices in relation to mandibular bone mineral density and skeletal status assessed by dual energy X-ray absorptiometry and quantitative ultrasound. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31: 361-367.
23. Devlin H, Horner K. Mandibular radiomorphometric indices in the diagnosis of reduced skeletal bone mineral density. *Osteoporos Int* 2002; 13: 373-378.
24. White SC, Taguchi A, Kao D, et al. Clinical and panoramic predictors of femur bone mineral density. *Osteoporos Int* 2005; 16: 339-346.
25. Jagelavičienė E, Krasauskienė A, Žalinkevičius R, et al. Relationship between the mandibular cortical index and calcaneal bone mineral density in postmenopausal

- women. *Medicina* 2016; 52: 125-131.
26. Taguchi A, Tsuda M, Ohtsuka M, et al. Use of dental panoramic radiographs in identifying younger postmenopausal women with osteoporosis. *Osteoporos Int* 2006; 17: 387-394.
  27. Mudda JA, Bajaj M, Patil VA. A Radiographic comparison of mandibular bone quality in pre- and post-menopausal women in Indian population. *J Indian Soc Periodontol* 2010; 14: 121-125.
  28. Noda M, Kawashima Y, Tokunaga S, et al. Risk assessment for condylar fracture using classification of the mandibular inferior cortical shape by pantomography. *Int J Oral-Med Sci* 2018; 16: 49-53.
  29. Bras J, van Ooij CP, Abraham-Inpijn L, et al. Radiographic interpretation of the mandibular angular cortex: a diagnostic tool in metabolic bone loss. Part I. normal state. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982; 53: 541-545.
  30. Friedlander AH, Lande A. Panoramic radiographic identification of carotid arterial plaques. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1981; 52: 102-104.
  31. Schellhas KP, Wilkes CH. Temporomandibular joint inflammation: comparison of MR fast scanning with T1-and T2-weighted imaging techniques. *AJR Am J Roentgenol* 1989; 153: 93-98.

32. Roh HS, Kim W, Kim YK, et al. Relationships between disk displacement, joint effusion, and degenerative changes of the TMJ in TMD patients based on MRI findings. *J Craniomaxillofac Surg* 2012; 40: 283-286.
33. Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders. *Radiology* 1986; 161: 401-407.
34. Moseley ME, Cohen Y, Kucharczyk J, et al. Diffusion-weighted MR imaging of anisotropic water diffusion in cat central nervous system. *Radiology* 1990; 176: 439-445.
35. Yang MC, Wang DH, Wu HT, et al. Correlation of magnetic resonance imaging grades with cytokine levels of synovial fluid of patients with temporomandibular joint disorders: a cross-sectional study. *Clin Oral Investig* 2019; 23: 3871-3878.

## 8. Figures and legends

Fig. 1



A: Normal cortex

The endosteal margin of the cortex was even and sharp on both sides (arrows).

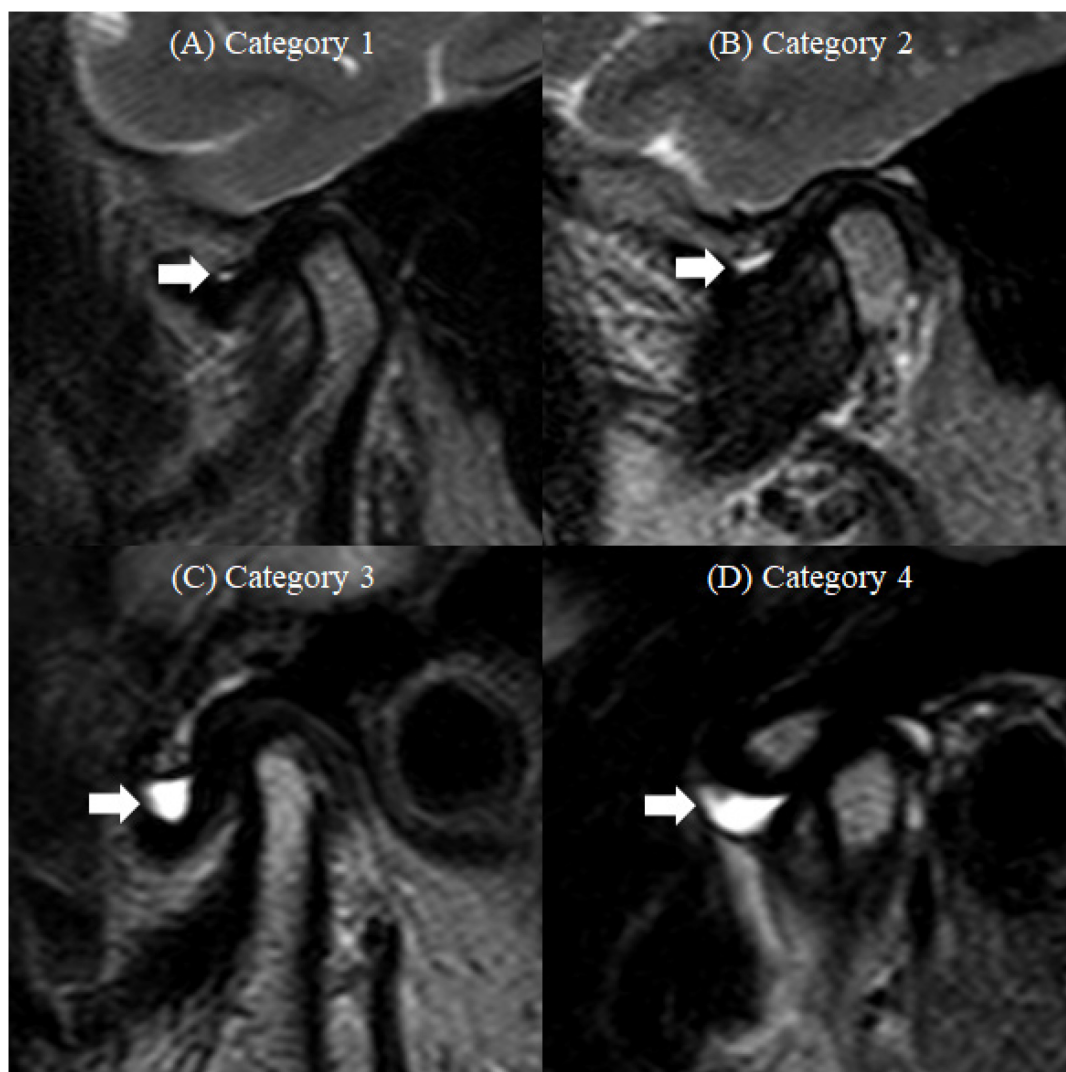
B: Mildly to moderately eroded cortex

The endosteal margin showed semilunar defects (lacunar resorption) or seemed to form endosteal cortical residues on one or both sides (arrows).

C: Severely eroded cortex

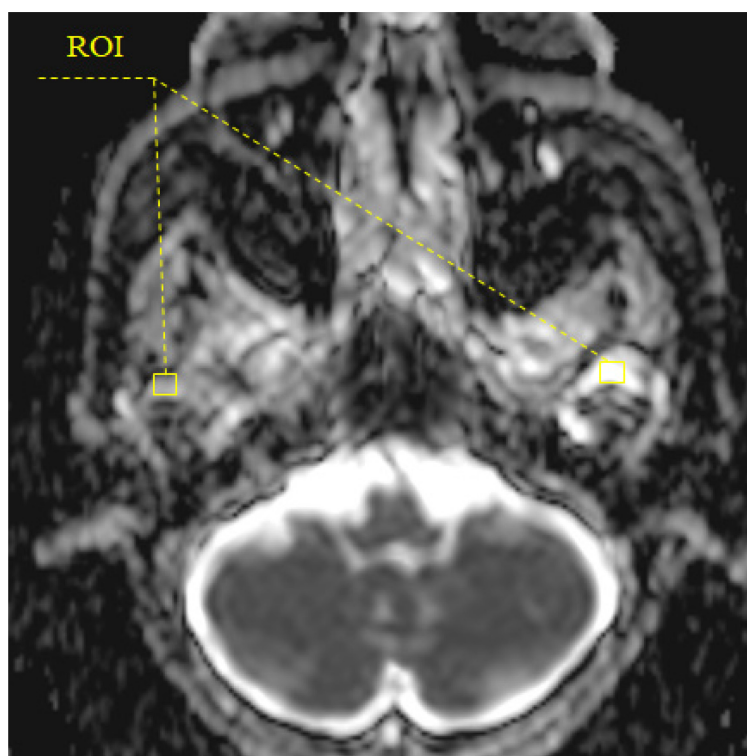
The cortical layer forms heavy endosteal cortical residues and is clearly porous  
The cortical layer formed heavy endosteal cortical residues and was clearly porous (arrows).

Fig. 2



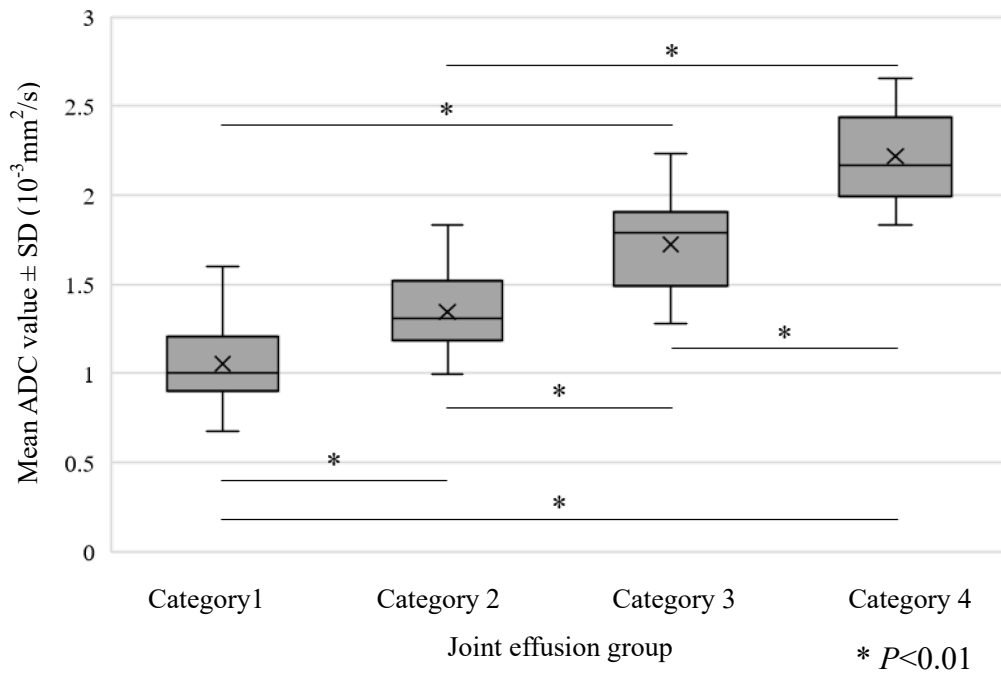
The baseline images used to determine amount of joint effusion: (A) no or minimal, (B) moderate, (C) marked, and (D) extensive (arrows).

Fig. 3



The apparent diffusion coefficient (ADC) value was recorded by manual outline of a region of interest of  $5 \times 5$  mm within the joint cavity forwards the mandibular condyle.

Fig. 4



Box plot of the apparent diffusion coefficient (ADC) value of the joint effusion in each group. The horizontal line is the median (50th percentile) of the measured values; the top and bottom of the box represent the 25th and 75th percentiles, respectively. Whiskers indicate the range from the largest to the smallest observed data points.

9. Tables

Table 1 Differences in probing pocket depth (PPD) in each mandibular cortical index MCI group

		MCI		
		Group I (MCI I)	Group II (MCI II and III)	Total
PPD	< 4 mm	12 (60 %)	8 (40 %)	20 (17.9 %)
	≥ 4 mm	32 (34.8 %)	60 (65.2 %)	92 (82.1 %)
	Total	44 (39.3 %)	68 (60.7 %)	112 (100 %)
<i>P</i> -value		<i>P</i> <0.05		

Abbreviations: MCI; Mandibular cortical index, PPD; Probing pocket depth



Table 2 Mean ADC value in each joint effusion category

	Category			
	1 (n=48)	2 (n=25)	3 (n=16)	4 (n=13)
Mean ADC value $\pm$ SD ( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s)	1.05 $\pm$ 0.21	1.34 $\pm$ 0.23	1.72 $\pm$ 0.28	2.21 $\pm$ 0.28

Note: ADC, Aparent diffusion coefficient; SD, Standard deviation