

原 著

顎関節円板の位置に関する三次元画像解析法の検討

小日向 清美 野 尻 みのり 西 山 航
飯 田 幸 弘 勝 又 明 敏

Three-dimensional coordinate evaluation of
the temporomandibular joint disc position

KOHINATA KIYOMI, NOJIRI MINORI, NISHIYAMA WATARU,
IIDA YUKIHIRO, KATSUMATA AKITOSHI

【目的】

三次元 CT 画像と MR 画像から抽出された顎関節円板の位置を投影し、三次元位置座標から顎関節円板位置を評価する方法を検討した。

【方法】

CT 画像と MR 画像の合成（フュージョン）画像を作成し、顎関節円板、下顎頭、下顎枝の後縁、Anterior Nasal Spine (ANS), Posterior Nasal Spine (PNS) などの座標値 (x, y, z) を取得し、顎関節円板と下顎頭の中心位置座標を決定した。

【結果】

閉口位の下顎頭の中心位置に対する顎関節円板の中心位置の「ずれ」を評価した結果、正常な顎関節円板の中心は下顎頭の中心より平均 $2.7 \pm 0.7\text{mm}$ 前方にあった。顎関節円板前方位の症例では、顎関節円板の中心位置が平均 $8.1 \pm 1.5\text{mm}$ 前方に、後方位では下顎頭の中心より平均 $-1.3 \pm 1.2\text{mm}$ 後方に位置していた。

【結論】

顎関節円板の位置の三次元画像解析では、両側の顎関節の位置を考慮しながら、顎関節円板の変位を評価することができる。

キーワード：顎関節円板転位, CT, MRI, 合成（フュージョン）画像

【Purpose】

A method to acquire the three-dimensional coordinate of the temporomandibular joint from Computed Tomography (CT) and Magnetic Resonance (MR) image data and to evaluate the positional relationship between the articular disk and condylar head was studied.

【Method】

A fusion image of CT and Magnetic Resonance Imaging (MRI) was created, acquired the coordinate values of the articular disk, mandibular condyle, posterior margin of the mandibular branch, Anterior Nasal Spine (ANS), Posterior Nasal Spine (PNS), etc. and determined a center point of the disk and mandibular condyle.

【Results】

The anterior-posterior and medial-lateral deviation of the disk from the center point of the mandibular condyle was evaluated. The center of the disk diagnosed as normal by MR image was approximately $2.7 \pm 0.7\text{mm}$ anterior to the center of the mandibular condyle. In the case of anterior displacement, the center of

the disk was displaced forward by about 8.1 ± 1.5 mm. On the other hand, the center of the posterior displacement was located about -1.3 ± 1.2 mm posterior to the center of the mandibular condyle.

【Conclusion】

Three-dimensional image analysis of the temporomandibular joint disk position is useful in evaluating the displacement of the disk while considering the symmetry of the bilateral temporomandibular joint.

Key words : temporomandibular joint disk, CT, MRI, fusion image

緒 言

顎関節症Ⅲ型の診断は、顎関節円板の位置異常（転位）を調べることで確実になる¹⁻¹¹⁾。1990年代にMRI検査による顎関節円板転位の観察法が示されてから、MRIによる顎関節検査の臨床応用が普及して現在に至っている^{1, 2)}。顎関節円板転位は、矢状断MR画像および冠状断画像に描出される顎関節局所の解剖構造を基準として、肉眼的に判定される事が多い。しかし、MRIが撮像可能な領域は狭く、顎関節円板の観察においては左右側の関節が別個に撮像されることが多い。このため、特に閉口位において、正常よりも僅かに転位した顎関節円板と下顎頭の位置関係を三次元的に把握したり、顎顔面全体の三次元空間における左右側の顎関節円板の空間位置座標を定量的に計測する事が難しくなっている。そこで、解剖構造的三次元位置座標を取得することが比較的容易である三次元CT画像にMR画像で描出された顎関節円板の位置を投影し、三次元位置座標から顎関節円板位置を評価する方法を検討した。

研究方法

本研究は朝日大学歯学部倫理委員会の承認後、患者の同意を得て実施された（承認番号 第19054号）。

対象は顎関節のMRI検査、および顎関節を含む範囲のCT検査を両方施行された顎関節症、顎変形症などの症例の画像データを用いた。MRI検査には超電伝導1.5テスラ装置（Achieva, Philips, Nederland）を用い、顎関節撮像用コイルを使用して閉口位の顎関節プロトン密度強調画像（TR/TE 1500/30）を撮像した。断面は下顎頭長軸に平行な冠状断面および下顎頭長軸に垂直な矢状断面（スライス厚さ3mm、画素サイズ約0.3mm）である。CT検査は全身用装置（SOMATOME Emotion 6, SIEMENS, Bundesrepublik Deutschland）を用い、撮影条件125kV 40mA、閉口位で顎関節から咬合平面と下顎歯列を含む領域の軸位断面画像（スライス厚さ1mm、画素サイズ0.4mm）を撮影した。

症例（22例、44関節）は女性18名、男性4名、年齢13歳～71歳、平均年齢31.8歳である。11名は顎関

節症の診断のため、他の11名は顎変形症の下顎骨切り手術前の検査として顎関節MR検査が施行された。

歯科放射線専門医2名の合意によるMR画像読像結果をもとに、顎関節円板後方肥厚部が咬合位の下顎頭の上方の位置にあると判定された位置正常群（15/44関節）、正常に対して前方に位置すると判定された前方位群（15/44関節）、および正常に対して後方に位置すると判定された後方位群（14/44関節）に分類した。

3D画像の作成と顎関節解剖構造の位置座標取得には医用画像ソフトウェア（OSIRIX, The OsiriX Foundation, Geneva, Switzerland）を用い、位置座標の三次元表示には三次元グラフ作成ソフトウェア（Grapher, Apple computer inc., CA, USA）を用いた。

画像処理ではまず、矢状および冠状断のMR画像から、顎関節円板の中央が描出されている画像を選択した（図1）。次に、CT画像データより多断面再構成（MPR, multi planner reconstruCTion）画像を作成し、選択したMR画像と同じ位置および角度を表す断面を再構築した（図2）。医用画像ソフトウェアの機能を用いて両者の合成（フュージョン）画像を作成し、三次元CT画像データの基準として顎関節円板（前、後、内側、外側の端）、下顎頭（前、後、内側、外側の端）、下顎枝後縁、および正中矢状面と冠状平面を決定する解剖指標（前鼻棘、後鼻棘、外耳孔）の座標値（x, y, z）を取得した（図3）。取得した座標値は、症例ごとに前鼻棘（ANS）を原点（0, 0, 0）とした解剖構造基準の座標系に変換して以下の解析に供した。同座標系では、被写体頭部の内外側方向をX軸、前後方向をY軸、軸位方向をZ軸と規定した。

XYZ軸上で顎関節円板の前後端の座標中点と内外側端の座標中点から顎関節円板の中心位置座標を、下顎頭の前後端の座標中点と内外側端の座標中点から下顎頭の中心位置座標を求めた。

求めた顎関節円板および下顎頭の中心位置座標を三次元グラフ描画ソフトに入力し、軸位（XY）平面に投影した形で下顎頭の中心に対する顎関節円板の中心転位量を求めた（図4）。

また、座標値を基にZ軸（垂直軸）に対する下顎枝後縁の傾きを求めた。下顎枝後縁は下顎角から下顎

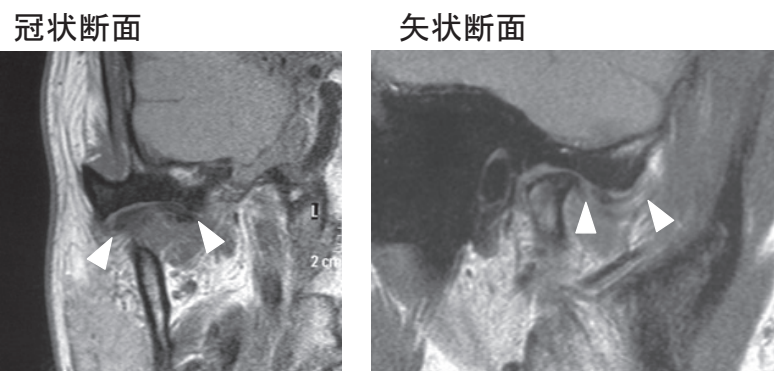


図1：顎関節 MR 画像：
顎関節円板（白矢頭）が最も大きく見える冠状および矢状断面画像を選択した。

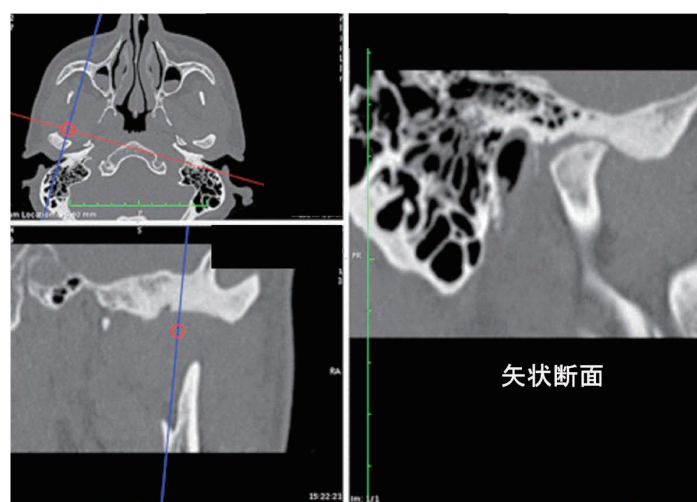


図2：CT 顎関節矢状断面画像：
MR 断面に合わせた CT 断面画像を作成した。

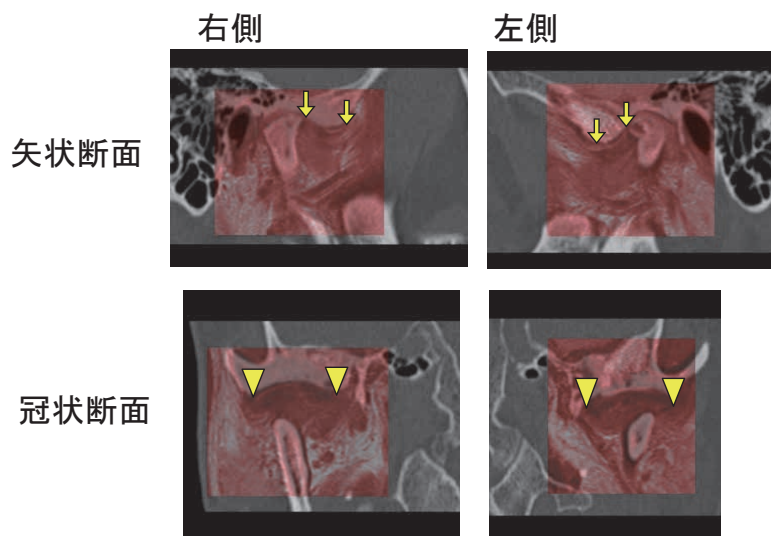


図3：MRI と CT のフュージョン画像作成と座標計測：
矢状断面 MRI で顎関節円板の前後端（矢印）を決定，冠状断面で顎関節円板の内外側（矢頭）を決定し，MR 画像と CT 画像を重ね合わせ（赤領域），座標値（x, y, z）を取得した。

頭後端と結んだ線とした。

顎関節円板と下顎頭の中心位置を比較するため、前方位群、正常群、および後方位群の群ごとに分散分析を行った後に Tukey の多重比較検定を行ない、有意水準は 0.05 とした。これ以外の 2 群の平均値の比較には t 検定を用い、有意水準は 0.05 とした。

結 果

図 5 には、MR 画像で顎関節円板前方位と判定された症例および正常と判定された顎関節の三次元グラフを示す。図 6 は、各顎関節における下顎頭の中心位置からの顎関節円板の中心位置の「ずれ」を、下顎頭の

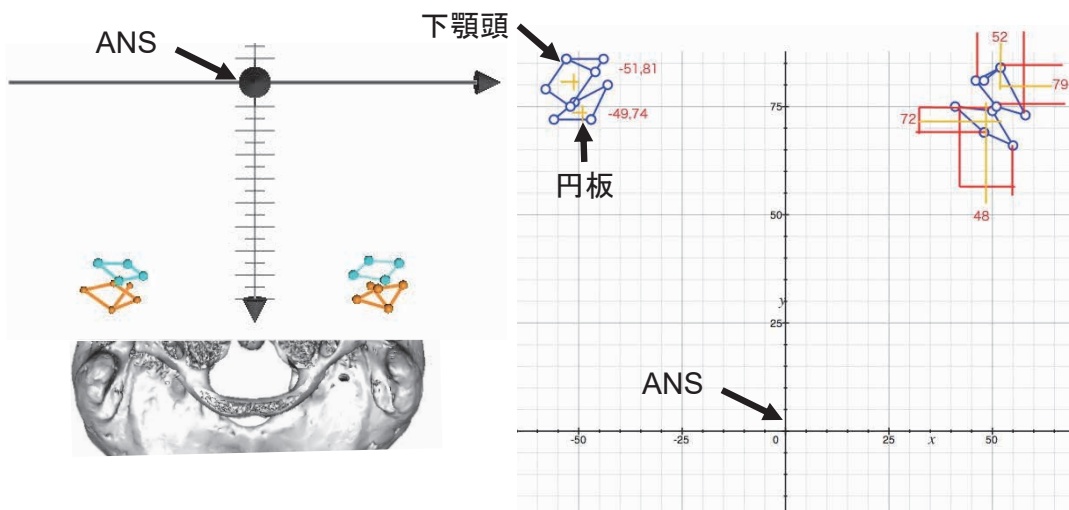


図 4：座標値の変換と 3D グラフ表示：

ANS を原点とした座標系の XY 平面に投影した顎関節円板（青）および下顎頭（オレンジ）の中心位置座標を計測した。

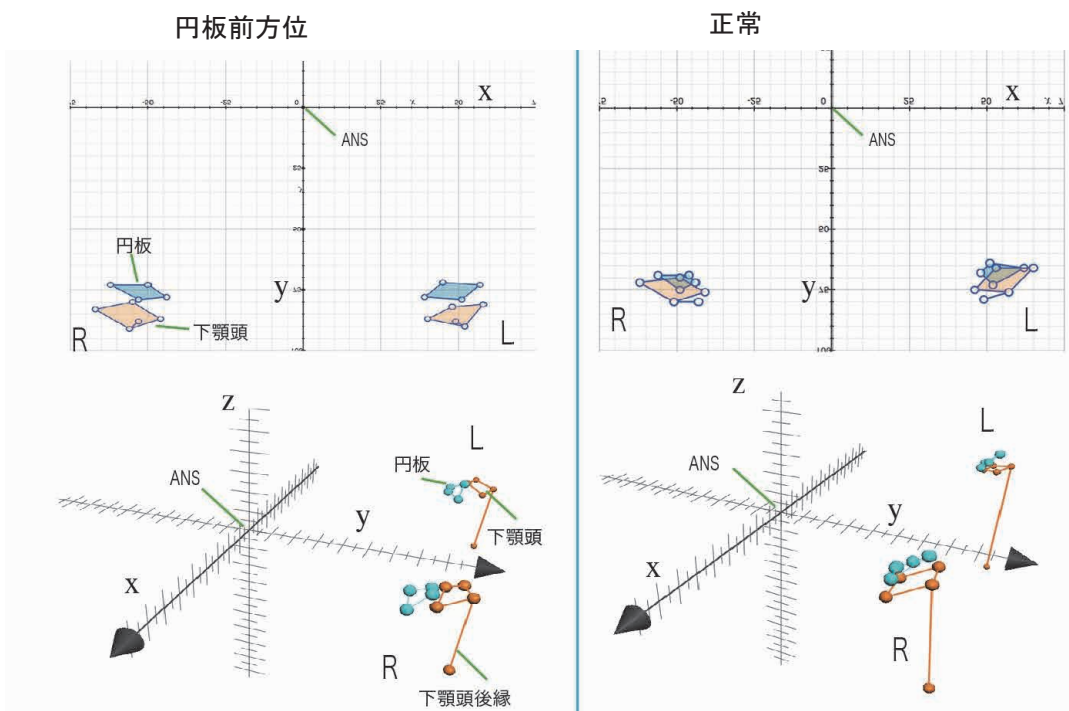


図 5：顎関節円板の前方位および正常な関節の三次元グラフ：

XY 平面への投影図（上段）では正常と前方位の顎関節円板の位置関係が、三次元的表示（下段）では下顎枝後縁傾斜と顎関節円板位置の関係が概観できる。

中心を原点とした散布図で表したものである。MR 画像診断と前後方向の顎関節円板の中心位置のずれはよく一致してみられた。すなわち、正常群の顎関節円板の中心は全症例で下顎頭中心より 0～4mm (平均 $2.7 \pm 0.7\text{mm}$) 前方にあった。前方位群の症例では、顎関節円板の中心位置が 5～12mm (平均 $8.1 \pm 1.5\text{mm}$) 前方にずれていた。後方位群の顎関節円板の中心は下顎頭中心より 0～4mm 後方 (平均 $-1.3 \pm 1.2\text{mm}$) に位置していた。前方、正常、後方位にある顎関節円板の

中心位置の前後方向のずれの量には有意差 ($p < 0.01$) が認められた (表 1)。

一方、MR 画像により顎関節円板が下顎頭中心より内外側 (X 軸) のいずれかにずれているかを判定した結果で分類した群 (内方位群 8/44, 正常群 31/44, 外方位群 5/44 関節) の間には、顎関節円板の中心位置のずれに有意差 ($p > 0.05$) はみられなかった。

図 7 は、前方位群、正常群、および後方位群の下顎枝後縁の傾斜を YZ 平面に投影したものである。Z 軸

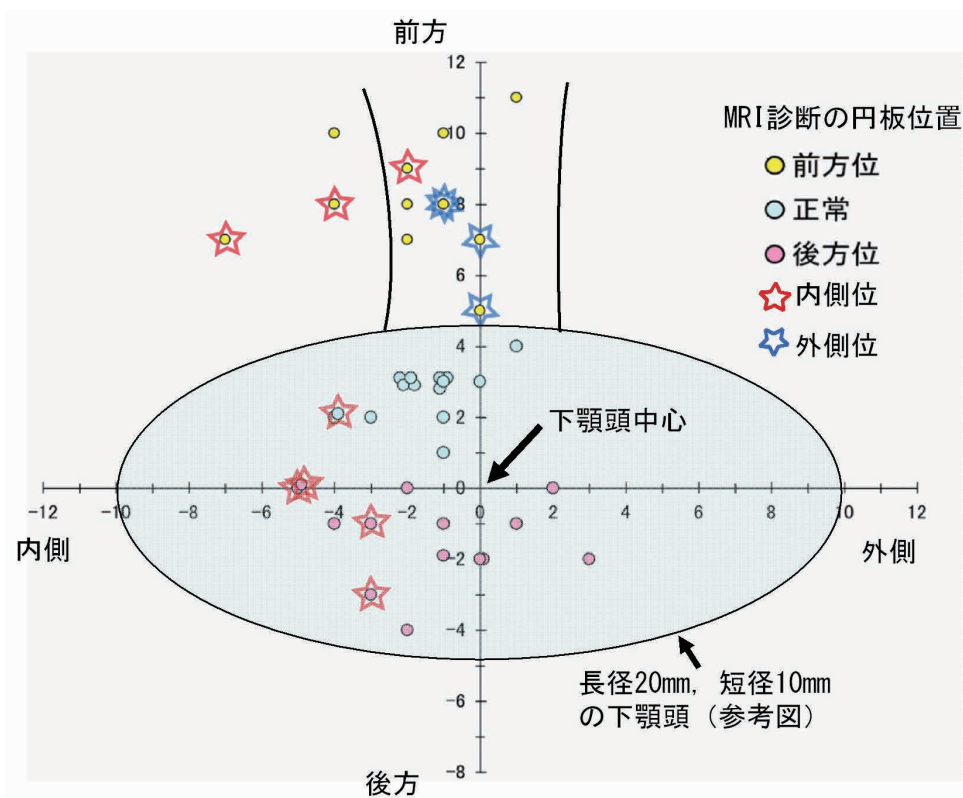


図 6：下顎頭中心を原点とした顎関節円板の中心位置の分布：

「参考」として記入した長径 20mm, 短径 10mm の下顎頭と対比すると、MRI の肉眼所見で顎関節円板位置が正常と判定された顎関節に対して、前後のおよび内外側に顎関節円板位置がずれていると判定された顎関節円板中心位置座標の分布傾向が概観できる。

表 1：下顎頭中心に対する顎関節円板中心のずれ量 (mm)

円板の状態	関節数	最小	最大	平均
前方転位	15	5.0	11.0	8.1
正常	15	1.0	4.0	2.7
後方転位	14	-4.0	0.1	-1.3

* $p < 0.01$ Tukey HSD

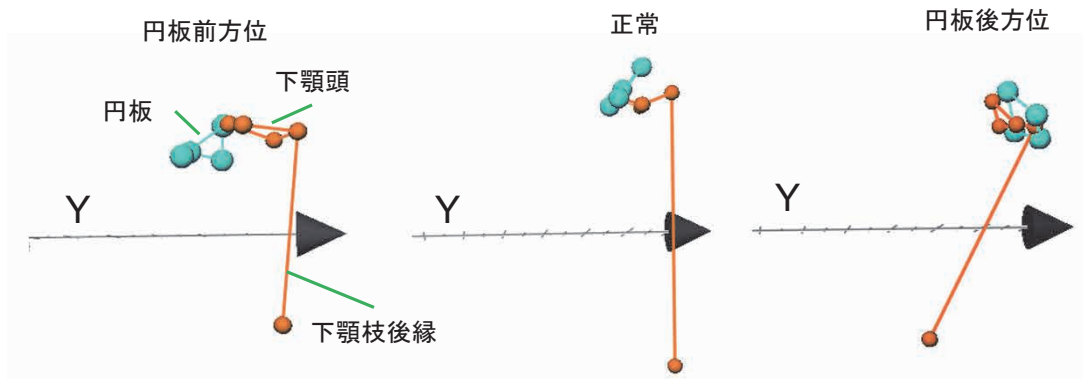


図7：下顎枝後縁の傾斜を示す3Dグラフ：

顎関節円板後方位の症例では垂直（Z）軸に対する下顎枝後縁の傾斜が大きくなっている。

に対する下顎枝後縁の傾斜の平均は、前方位群 9.0 ± 5.7 度、正常群 8.9 ± 7.3 度、および後方位群 15.9 ± 6.9 度であった。前方位群および正常群と後方位群の下顎枝後縁の傾きに有意差 ($p < 0.05$) を認め、顎関節円板位置が後方位の多くは Class III の顎変形症にみられた。

考 察

顎関節円板の位置および形態異常の病態と診断方法について、多くの報告がある²⁻⁷⁾。顎関節円板転位が顎関節疾患の臨床症状の要因の1つであり、顎関節円板転位に対するMR画像診断は臨床において重要な役割を果たしている。顎関節円板転位のMR画像診断法として最も一般的なのは、顎関節円板の前後方向への転位を矢状断MR像より観察するものである⁸⁻¹¹⁾。Tasakiら¹¹⁾が1993年に示した顎関節円板後方肥厚部が下顎頭上方に位置し中央狭窄部が下顎頭に接している状態を顎関節円板転位なし、顎関節円板後方肥厚部が関節頭機能面の前方に位置している状態を顎関節円板前方転位とする方法は、顎関節円板転位の標準的な診断基準として普及している。

一方、顎顔面硬組織の形態計測に関する研究では三次元CT画像を用いる事が多い。我々はCTのMPR画像でセファロ分析に準じた基準点をプロットして3次元位置座標を求め、求めた座標値を解剖学的基準平面に基づいた解剖学的座標系の位置座標に変換して評価する方法を確立し、顔面非対称度の評価への応用などを報告した^{12, 13)}。その過程において、顎顔面組織のランドマークを組み合わせて設定した基準平面を基に各計測点の位置を決定することで、十分に高い計測精度と再現性を得られることが確かめられている。

また、顎関節円板や咀嚼筋の描出に優れたMRIで同様な3次元形態計測が可能かについても検討し、MRIボリュームデータから顎顔面領域の三次元計測

を行い側面セファログラムで定義されていた基準点を再現する技術について報告した¹⁴⁾。しかし、特にMRIはプロトン密度を画像化しているため、骨硬組織に関するMRIボリュームデータの解像度あるいは描出能はCTボリュームデータに及ばない。また、CTでは骨硬組織が空気や軟組織よりも高いCT値(ハンスフィールド値)を示すため骨硬組織を三次元画像として表示するのが容易であるが、MRIでは硬組織および空気は黒い無信号領域として描出されるため三次元画像として表示・観察するのが難しい。さらに、顎顔面全体のMRIボリュームデータを撮像するためにはCTと比較して長い時間を要することを考えると、MR画像単独での顎顔面三次元計測よりも本研究のようなCT画像との併用が実用적であると考える。

提案手法において、観察者の診断能力が精度に影響すると思われたのがMR画像上での顎関節円板の読像である。これに関して近年進歩が著しい人工知能の深層学習の応用も検討されており、熟練した観察者でなくとも正確に顎関節円板の抽出が可能になることが期待される¹⁵⁾。

本研究では顎関節のMRIと顎顔面のCT検査を施行された症例の画像データを対象としたため、顎関節円板の位置異常が多いとされる外科手術前の顎変形症の症例が含まれている¹⁶⁾。本研究で顎関節円板位置が後方位と判定された症例の多くはClass IIIの顎変形症であった。顎関節円板後方位と判定された顎関節で下顎枝後縁の傾斜が大きかったのは、Class IIIに見られる大きな下顎角の影響があるものと考えられる。外科手術の施行によって顎位が変化し顎関節症状を訴える患者も多い。そのため、外科手術前の顎変形症の症例には手術後に顎関節の臨床症状が出ないように、顎関節円板の位置に注意しながら治療に当たると考え、本研究方法によって可能と考える。

本研究のように顎関節のCTとMR画像を重ね合わせて解析する手法に関しては幾つかの先行研究があるが、臨床的な有用性を確立するためには更なる研究が必要とされている¹⁷⁾。本研究の提案手法は、顎関節円板の三次元位置座標そのものを定量的な診断評価に用いるもので、顎関節疾患の病態を顎顔面全体の形態との関連において解釈して治療方針を考えるうえで有益な情報を提供するものと期待される。

結 語

CTとMR画像

三次元位置座標から顎関節円板位置を評価する方法を検討した。顎関節円板位置の三次元画像解析は、顎関節の対称性を考慮しつつ顎関節円板の位置異常を評価するのに有効であると考えられる。

利益相反 (COI)

本論文に関して、開示すべき利益相反状態はない。

参考文献

- Westesson PL. Reliability and validity of imaging diagnosis of temporomandibular joint disorder. *Adv Dent Res* 1993; 7: 137-151
- 川田雅章. 顎関節円板の前方転位と形態の変化 “MRIによる解析”. *口科誌*. 1994; 43: 343-354.
- 和嶋浩一, 三田雅彦, 矢崎篤, 井川雅子, 住井裕, 小飼英紀, 鈴木彰, 中川仁志, 野本種邦. 顎関節内障における関節円板の形態変化に関する研究. *日顎誌*. 1989; 1: 139-150.
- 末永重明, 濱本定俊, 河野一典, 野井倉武憲. MR画像による顎関節症の診断. *歯放*. 1993; 33: 267-279.
- 瀬上夏樹, 藤村和磨, 村上賢一郎, 松本優典, 宮本克明, 横江義彦, 飯塚忠彦. 顎関節内障クローズドロック症例の円板形態に関する研究 第1報, 顎関節腔造影X線所見による分類. *日顎誌*. 1989; 1: 172-182.
- 荊木理恵子, 西山秀昌, 中南匡史, 高橋章, 桑原俊也, 高島史男, 丸山剛郎. 顎関節円板前方転位のMR画像所見と臨床症状との関連性に関する研究. *日補綴歯会誌*. 1994; 38: 1066-1071.
- 千葉雅俊, 永井広和, 熊谷正浩, 高橋哲, 幸地省子, 越後成志. 関節円板側方転位の臨床所見MRI所見の検討. *日顎誌*. 1996; 8: 25-35.
- Arayasantiparb A, Tsuchimochi M. Quantification of disc displacement in internal derangement of the temporomandibular joint using magnetic resonance imaging. *Odontology*. 2010; 98: 73-81.
- Kurita H, Ohtsuka A, Kobayashi H, Kurashina K. A study of the relationship between the position of the condylar head and displacement of the temporomandibular joint disk. *Dentomaxillofac Radiol*. 2001; 30: 162-165.
- Toyama M, Kurita K, Westesson PL, Sakuma S, Arijii E, Rivera R. Decreased disk-eminence ratio is associated with advanced stages of temporomandibular joint internal derangement. *Dentomaxillofac Radiol*. 1999; 28: 301-304.
- Tasaki MM, Westesson PL. Temporomandibular joint: Diagnostic accuracy with sagittal and coronal MR imaging. *Radiology*. 1993; 186: 723-729.
- Katsumata A, Fujishita M, Maeda M, Arijii Y, Arijii E, Langlais RP. 3D-CT evaluation of facial asymmetry. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2005; 99: 212-220.
- Maeda M, Katsumata A, Arijii Y, Muramatsu A, Yoshida K, Goto S, Kurita K, Arijii E. 3D-CT evaluation of facial asymmetry in patients with maxillofacial deformities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2006; 102: 382-390
- 野尻みのり, 脇坂孝, 松岡正登, 飯田幸弘, 清水一郎, 藤下昌己, 勝又明敏. 3次元MR画像を用いた顎関節形態計測法における解剖学的ランドマークの再現性. *岐阜歯科学会雑誌* 2013; 40 (1): 13-27
- Nozawa M, Ito H, Arijii Y, Fukuda M, Igarashi C, Nishiyama M, Ogi N, Katsumata A, Kobayashi K, Arijii E. Automatic segmentation of the temporomandibular joint disc on magnetic resonance images using a deep learning technique. *Dentomaxillofac Radiol*. 2021; 51 (1): Online First 20210185.
- Jung WS, Kim H, Jeon DM, Mah SJ, Ahn SJ. Magnetic resonance imaging-verified temporomandibular joint disk displacement in relation to sagittal and vertical jaw deformities. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2013; 42 (9): 1108-15.
- Al-Saleh MA, Alsufyani NA, Saltaji H, Jaremko JL, Major PW. MRI and CBCT image registration of temporomandibular joint: a systematic review. *J Otolaryngol Head Neck Surg*. 2016; 45 (1): 30.