

## 画像処理による顎関節の解析 —下顎頭位の判別—

東 義晴<sup>1)</sup>・後藤 佐知子<sup>1)</sup>・中桐 義忠<sup>1)</sup>・中村 伸枝<sup>2)</sup>・  
渋谷 光一<sup>1)</sup>・山田 俊治<sup>1)</sup>・杉田 勝彦<sup>1)</sup>・  
三上 泰隆<sup>3)</sup>・平木 祥夫<sup>3)</sup>

### Analysis of Temporomandibular Joint by Image Processing —Discrimination of Condylar Position—

Yoshiharu AZUMA<sup>1)</sup>, Sachiko GOTOU<sup>1)</sup>, Yoshitada NAKAGIRI<sup>1)</sup>, Nobue NAKAMURA<sup>2)</sup>,  
Kouichi SHIBUYA<sup>1)</sup>, Toshiharu YAMADA<sup>1)</sup>, Katsuhiko SUGITA<sup>1)</sup>,  
Yasutaka MIKAMI<sup>3)</sup>, Yoshio HIRAKI<sup>3)</sup>

Tomography is clinically useful in the diagnosis of the temporomandibular joint (TMJ) syndrome. The TMJ is formed by the condyle and the glenoid fossa, and there exists TMJ space between them. Image processing was employed in the present study, and the reference points of the condyle and the glenoid fossa were determined from the tomogram. Subsequently, the TMJ space was measured automatically in the image analysis. The TMJs of 98 patients were examined practically and the characteristics of each result were studied. There is a possibility of discriminating an abnormal condylar position from a normal one by making use of the TMJ space and the distance between two reference points.

---

**Key Words :** Condylar Position, Temporomandibular Joint Space, Image Processing, Tomogram, Discrimination

---

### 緒 言

現在歯科医学領域において病因・病態が複雑で、未知の部分が多い疾患の一つに顎関節症がある<sup>1)</sup>。患者は主に顎関節部の疼痛や機能障害などを訴える。この場合、患者に対して行われるX線画像検査の一つに断層撮影法がある。この撮影法は、不要な骨構造の重複が避けられるため診断に重要な顎関節を構成する下顎頭と下顎窩の形態や位置関係を観察する場合に多く用いられている<sup>2)</sup>。また、口を閉じた状態の下顎窩内における下顎頭の位置は咀嚼運動および開閉運動の起始点でありかつ終末点でもある。そのため、補綴学的な立場にあっては、下顎頭の位置は重要な研究対象となっている。そこで、本研究では断層X線写真の画像処理を行い、閉口状態における下顎頭位を定量的に評

価するため下顎頭、下顎窩における基準点の検索方法や関節空隙の測定方法を検討した。さらに、本法を臨床写真に適用し、このような画像処理による解析から下顎頭位の判別が可能かどうか考察した。

### 対 象

静的な状態すなわち自然な閉口状態で撮影された断層X線写真の中から、無作為に98名分を選び画像処理の対象とした。その内訳は左右の顎関節を撮影した者が81名、右側のみが12名、左側のみが5名であり、合計として179の写真を選んだ。また、医師による顎関節の画像診断において左右合わせて92例は下顎頭位が正常、87例が異常と診断されている。なお、今回は骨形態の異常例は除外

- 
- 1) 岡山大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科
  - 2) 岡山大学歯学部附属病院歯科放射線科
  - 3) 岡山大学医学部附属病院中央放射線部

した。抽出した対象者の年齢構成を性別で表1に示す。次に、図1に下顎頭位の分類と撮影像の部位の名称を簡単に示す。顎関節は顔面側を関節結節 (Articular tubercle), 後頭部側を関節後突起 (Post glenoid process) で境され、その間に下顎頭 (Condyle) を入れるくぼみである下顎窩 (Glenoid fossa) が存在する<sup>3)</sup>。下顎窩は側頭骨の一部で動かないが、下顎頭は下顎の運動に伴い移動する。顎関節や歯の噛み合わせなどが正常な場合は下顎頭が下顎窩のほぼ中央に位置することが多いが、異常な場合は下顎頭の位置が変化し前後や上下に偏りを生じやすい。このような異常例では前後の偏りとともに上下の偏りも同時に認められ、それに対応して関節空隙が複雑に変化する。また、下顎頭に比較して下顎窩の形態が多様であること、現代人ほど左右の顎関節が非対称なことなども画像診断の妨げとなる<sup>3)</sup>。撮影においては、断層X線撮影装置 OPTIPLANIMAT (シーメンスメディカルシステム) を用い、振れ角は45°, 軌道は5回転の渦巻で撮影した。フィルム上での拡大率は1.28程度である。X線曝射条件は70kVp, 160mAs, フィルムはFUJI HR-A, 増感紙はFUJI G-4 type, そして現像は、自動現像機FUJI RU-II (90秒処理) を使用した。撮影の際には Camper 平面を床面と平行にし、両側イヤロッドで頭部を固定した。また頭部側方振角は15° を原則として撮影を行った。

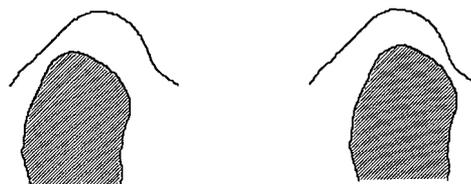
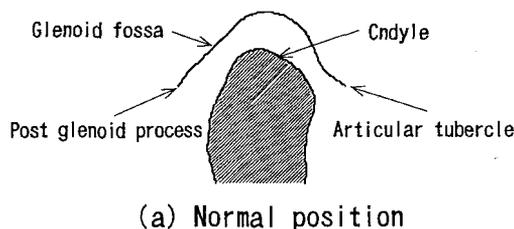
### 画像処理

#### 1. デジタル化

パーソナルコンピュータで画像処理を行うため

Table 1. Age distribution of samples

Age	Number of samples	
	Male	Female
14 ~ 20	16	16
21 ~ 40	13	26
41 ~ 60	9	12
61 ~ 84	0	6
Total	38	60



(b) Abnormal position

Fig. 1. Condylar position

X線フィルムのデジタル化を行った。そのシステムを図2に示す。まず、断層X線写真をX線フィルム観察器上に置き、CCD-TVカメラにより顎関節像を撮影した。さらに、カメラからのビデオ信号をビデオ入出力ボードとパーソナルコンピュータにより1画素8ビット (256階調) にA/D変換した。撮影に使用したレンズの焦点距離は75mmであり、カメラとフィルムの距離を約1mとした。また、スケールチャート (Kyoritu, S-15) についても同様の撮影を行い、デジタル画像の画素の大きさを決めるための基準とした。そして、スケール画像の目盛り間の画素数から1画素の大きさを計算し、断層X線撮影の拡大率を用いて補正することにより実際の画素の大きさを求めた。断層X線撮影による拡大率は顎関節の撮影断層面からX線フィルムまでの距離により決定される。したがって、拡大率は患者の顎の大きさに依存するため画像ごとに画素の大きさは異なる。なお今回の測定の場合、画素の大きさは0.121~0.131 mm/dot となった。

#### 2. 線図化

計測に必要な下顎頭と下顎窩の外形線を描出するため以下の様な処理を行った。まず、顎関節画像の必要な部分のみを150×220画素 (縦×横) の大きさに切り出し、その領域における濃度の最大、最小値を256階調に引き延ばす線形な濃度階調変

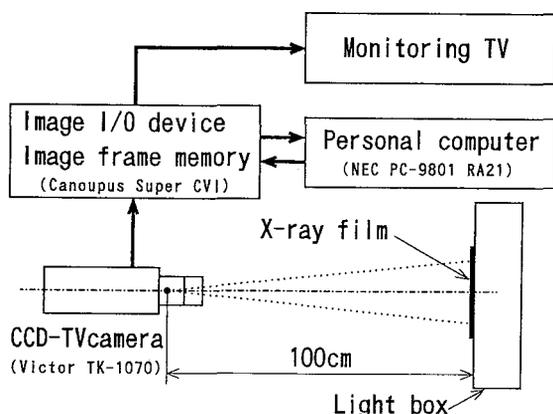


Fig. 2. Image processing system

換<sup>4)</sup>を行った。画像はこの変換により強調されるが雑音も同時に強調されるため、画像に悪影響を与えることなく、比較的簡単に雑音を除去できるメディアンフィルタ<sup>5)</sup>を用いて画像を平滑化した。次に下顎頭、下顎窩の輪郭描出(エッジ検出)のため二次微分に基づく方法<sup>5,6)</sup>により各画素の微分値を計算した。すなわち、デジタル画像の座標(i, j)での濃淡レベルをf(i, j)とすると、二次微分は差分の差分で求めることができる。また雑音の影響を少なくするための工夫として、ある画素数だけ離れた画素間の差分を用いる方法が知られている<sup>7)</sup>。本画像の場合、19画素離すことにより比較的よい結果が得られるため、式(1)のように微分値(エッジの強度)eを計算した。

$$e = \sqrt{(\Delta x f(i, j))^2 + (\Delta y f(i, j))^2} \dots \dots (1)$$

ただし、

$$\Delta x f(i, j) = f(i+19, j) - 2 \cdot f(i, j) + f(i-19, j)$$

$$\Delta y f(i, j) = f(i, j+19) - 2 \cdot f(i, j) + f(i, j-19)$$

さらに、判別分析法<sup>8)</sup>により微分値のしきい値を求め画像を二値化すると、下顎頭、下顎窩に対して図3(a)のような2階調の像が得られる。この場合、像には小さな穴や点状図形などが含まれるため、図形融合<sup>9)</sup>により雑音を消去した。次に、互いに連結している画素の集合を一つにまとめ連結成分とし、各々の連結成分に異なったラベルを割り当てるラベリング操作<sup>5,6)</sup>を行った。この操作において、下顎頭と下顎窩をラベルの違いにより分離するとともに連結成分の微小なものを除去した。

さらに、分離した各画像に対して図形境界が作る閉曲線を描出する輪郭線追跡処理<sup>6)</sup>を行い線図化した。最後に、下顎頭においては閉曲線の最下部を左右で検出し、両者のうちで頭頂に近いほうより下方の範囲を削除するとともに、上方の部分に対しては下顎窩側の骨格外形線のみを残した。一方、下顎窩については関節結節および関節後突起部分の最下部を検出し、下顎頭側の線のみを残した。

### 3. 線図形の回転

本研究では、撮影時の表面的な情報を基準にする頭部位置決めのみをばらつきを考慮し、下顎窩の形状の対称性をもとにした測定方向の統一を試みた。まず、下顎窩線図の両端を結んでできる下顎窩領域の重心を検出し、重心を通る鉛直線から下顎窩線図の構成点までの水平距離を測定した。すなわち、鉛直線より左側と右側の水平距離の差の絶対値を加算し、測定回数で除した値を求めた。ここでは、下顎窩領域の重心を中心に下顎窩線図をアフィン変換<sup>9)</sup>により回転して順次この値を計算し、それが最も小さくなる回転角を補正角度とした。そこで、下顎頭も含めて全図形をこの角度だけ回転することになるが、この補正により微小な変形を生じたり計測の障害になる連続性が失われる場合がある。そのため、本処理ではこの点を考慮して3次の自然スプライン<sup>9)</sup>による平滑化を回転後に行った。図3(b)は最終的な線図を示したもので、回転後は下顎窩の最深部がほぼ真上になる。

## 計測方法

### 1. 基準点の検索

機能に関与する下顎頭関節部は、下顎窩と対を成す円どうしのリンクとして説明されることが多い。したがって、下顎頭機能部や下顎窩の近似円を用い下顎頭位の評価をする必要があると考えられる。このことから最初に下顎頭の基準点を以下のように検索した。まず、下顎頭を構成する各画素の値を下顎頭より外の領域までの最短距離に置き換える距離変換<sup>9)</sup>を行った。距離変換された画像中で値が極大となる(近傍のいずれの点もこれより大きい距離変換値をもたない)点の集合を求

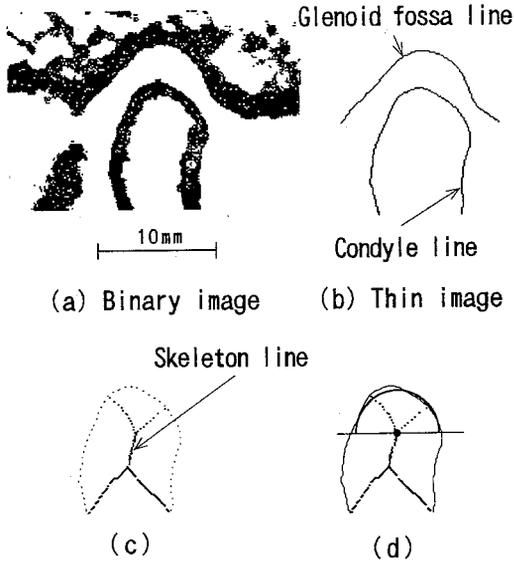


Fig. 3. Image processing

める骨格化<sup>5)</sup>を行うと、図3(c)のような文字通り骨格に相当する図形が得られる。ここで、すべての骨格点に対する距離変換値の平均値を計算し、平均値以上の値をもつ骨格点を基準点の候補とした。そして、図3(d)のように候補点を中心とし距離変換値を半径とする上半円を $-30\sim 30^\circ$ の範囲で回転させて下顎頭との重複度を調べ、重複度の最もよい骨格点を下顎頭基準点  $C_p$ 、その距離変換値を下顎頭半径  $C_r$  とし、そのときに対象とした領域を下顎頭領域と定義した。下顎頭が偏った位置やある程度の回転を伴った場合でも、この検索方法により同一の基準点が検出できる。次に、下顎窩の基準点を検索する。まず、下顎頭基準点と下顎頭線図の構成点を結び、その延長線と下顎窩線図の交点を求めた。さらに、延長線上で下顎頭から下顎窩までの距離を関節空隙  $S_p$  と定義し、関節結節から関節後突起までその値を測定した。下顎窩半径  $F_r$  をこのような関節空隙の最小値と下顎頭半径を加えた値とし、半径が  $F_r$  の上半円を考える。そこで、下顎窩領域の重心を通る鉛直線上でこの円の中心を頭頂方向に移動させ、最初に上半円が下顎窩線図と重なったときの中心位置を下顎窩基準点  $F_p$  とした。

2. 関節空隙と形状特徴値

関節空隙  $S_p$  や下顎頭半径  $C_r$  などの測定箇所

を図4にまとめて記号で示す。関節空隙は前述のように関節結節から関節後突起の間で測定し、下顎頭基準点を通る水平方向からの角度  $\theta$  により測定位置を表した。なお、角度は図4に示すように関節結節の方向を基準とした。また、基準点間の関係は下顎頭基準点と下顎窩基準点の水平方向の距離  $G_x$ 、鉛直方向の距離  $G_y$  および両者を結ぶ直線距離  $G_{xy}$  を測定した。なお、 $G_x$ 、 $G_y$  は下顎窩基準点に対して下顎頭基準点が顔面側、頭頂方向にある場合をそれぞれ正とした。

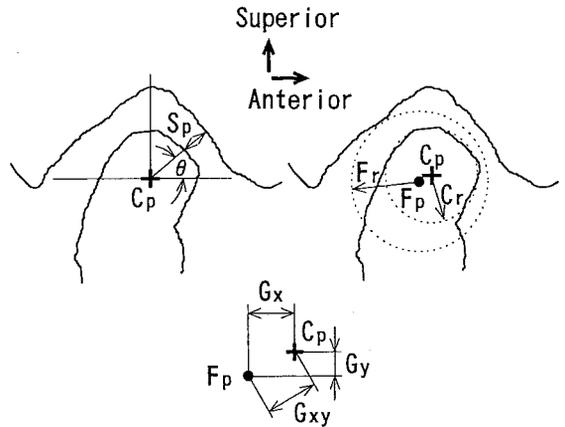


Fig. 4. Measurements by Image processing

画像解析

1. 線図形

図5は、今回の対象の中から3例について画像処理により顎関節の線図化を行った結果を示す。図5(a)サンプルNは下顎頭が下顎窩のほぼ中央にある正常な位置の場合、図5(b)サンプルAは下顎頭が顔面側に偏位が見られる場合そして図5(c)サンプルPは後頭部側に偏位が見られる場合である。なお、図には下顎頭と下顎窩の基準点を中心とし、下顎頭半径、下顎窩半径を半径とした円を破線で示した。

2. 関節空隙

図6(a)は前述の3例について関節空隙  $S_p$  の測定結果を示す。図6(a)の横軸は図4の角度  $\theta$  であり、測定値を最小二乗法により多項式近似した結果である。正常な位置にあるサンプルNでは

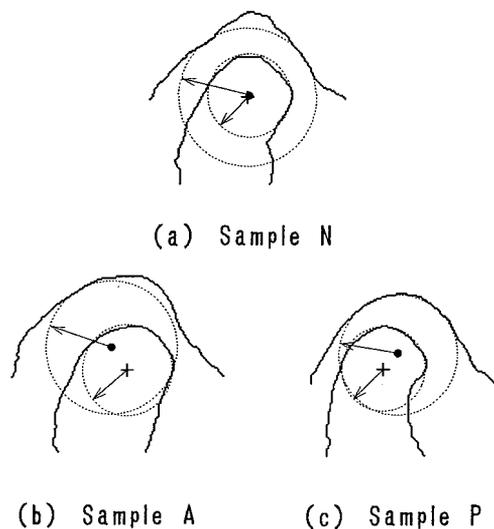


Fig. 5. Thin image of TMJ

関節空隙は  $\theta=90^\circ$  に対して関節結節側と関節後突起側はほぼ対称になる。一方、顔面側、後頭部側への偏位のサンプル A, P では、偏位方向に対応して  $\theta=90^\circ$  以上の後頭部側、あるいは  $90^\circ$  以下の顔面側において関節空隙が大きくなる。次に、図 6 (b) は顔面側、後頭部側の関節空隙の対称性を比較した結果である。すなわち、図 4 の角度  $\theta$  における値の角度  $(180^\circ - \theta)$  に対する比を関節空隙比 Spr とし  $\theta = 0 \sim 90^\circ$  の範囲で計算した。偏位の例はいずれも 1 以上あるいは 1 以下の値を示し、 $\theta=90^\circ$  に対し対称の位置では顔面側あるいは後頭部側のいずれかの関節空隙が常に大きくなる。一方、正常な位置のサンプル N は偏位の例と比較して Spr の値が 1 に近い角度が多く、偏位の例と区別できる。次に、すべての対象の Spr を求め、最大、最小値、平均値そして標準偏差などの統計値を各対象ごとに計算した。そして、医師による画像診断で正常な位置とされたグループと異常な位置とされたグループの分布の比較を行った。その結果、両者を区別できる値とし Spr の平均が最もよく Sprm とした。図 6 (c) に図中の  $\Delta$  で示した間隔で Sprm の度数  $f$  の分布を示す。異常な位置とされたグループは偏位方向に対応して双峰性の分布になり、正常な位置にあるグループの分布の

両端と同程度の重複がある。この分布から、判別分析法を使い母集団の下顎頭位の正常、異常の境界値およびその境界値による誤判別の確率を推定した<sup>10)</sup>。その結果、正常範囲は  $0.83 \leq \text{Sprm} \leq 1.29$

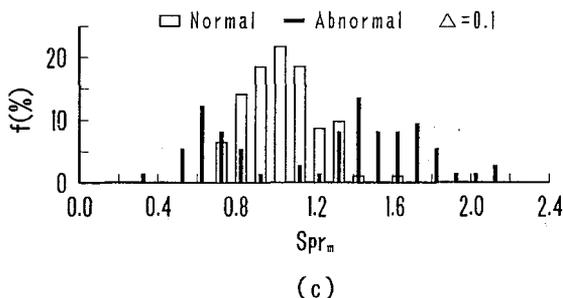
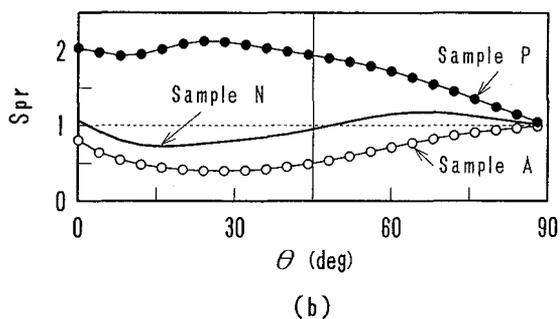
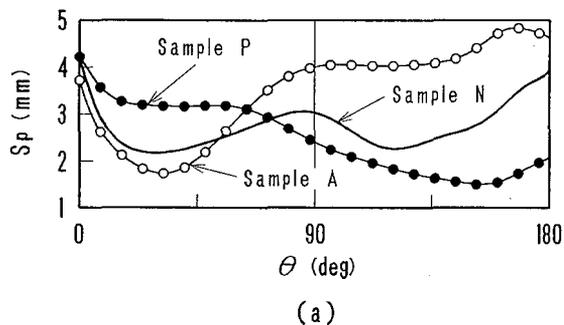


Fig. 6. Joint space

Table 2. Distance between two referens points  
mm

Sample	Gx	Gy	Gxy
N	-0.1	-0.1	0.1
A	1.3	-1.8	2.2
P	-1.2	-1.3	1.8

となり誤判別の確率は19.5%となった。すなわち、医師による画像診断結果に対し80.5%の確率で下顎頭位の同様な判別が可能となった。

### 3. 基準点間距離

表2は図5の3例の下顎頭基準点と下顎窩基準点の水平距離  $G_x$ 、鉛直距離  $G_y$ 、直線距離  $G_{xy}$  を示したもので、サンプルNの場合は図5からもわかるように下顎頭と下顎窩の基準点はほぼ一致する。一方、下顎頭の偏位したサンプルA、Pにおいては基準点間距離  $G_x$ 、 $G_y$ 、 $G_{xy}$  (絶対値) がいずれも大きく、基準点の位置は明らかに異なる。また水平距離  $G_x$ 、鉛直距離  $G_y$ 、直線距離  $G_{xy}$  を下顎窩半径  $Fr$  で標準化した値を度数分布で図7(a)~(c)に示した。図7(a)の水平距離では、異常な位置のグループは下顎頭が顔面側または後頭部側に偏位しているため正常な位置のグループの両端に分布し重複は少ない。図7(b)の鉛直距離の場合は、分布は多少ずれているものの両グループの重複は水平距離に比較し大きく出た。図7(c)の直線距離の場合は、絶対値の比較のため異常な位置のグループは正常な位置のグループの右側に分布し、その重複はさらに少なくなった。同様に分布の判別分析を行うと  $G_x/Fr$  の場合、正常範囲を  $-0.09 \leq G_x/Fr \leq 0.08$  とすると誤判別の確率は11.6%となった。すなわち、医師による画像診断結果に対し下顎頭位の同様な判別ができる確率は関節空隙比の平均値より高く88.4%になる。また、 $G_{xy}/Fr$  の分布の判別分析を行うと、正常範囲を  $G_{xy}/Fr \leq 0.14$  とすると  $G_y/Fr$  の判別要素が加わるため誤判別の確率はさらに下がり6.7%となった。同様に93.3%とさらに高い確率で下顎頭位の判別が可能になる。表3に関節空隙比の平均値  $Spr_m$ 、基準点間の水平距離  $G_x/Fr$  そして直線距離  $G_{xy}/Fr$  の正常範囲および誤判別の確率をまとめて示す。図8に各サンプルの下顎窩基準点を(0, 0)におき基準点間の関係より下顎頭基準点の分布を示した。この場合、下顎頭基準点の座標は水平距離  $G_x/Fr$  および鉛直距離  $G_y/Fr$  となる。図中の破線の円は  $G_{xy}/Fr$  による判別境界を示している。正常な位置の場合、下顎窩基準点より上下方向に分布があり、下方に分布している例

が上方に分布している例に比較してやや多くなっている。一方、異常な位置の場合はほとんど下方に分布があり、下顎頭の水平方向の偏りが大きいほど鉛直方向の下顎頭基準点は下顎窩基準点より下方になる傾向が見られる。

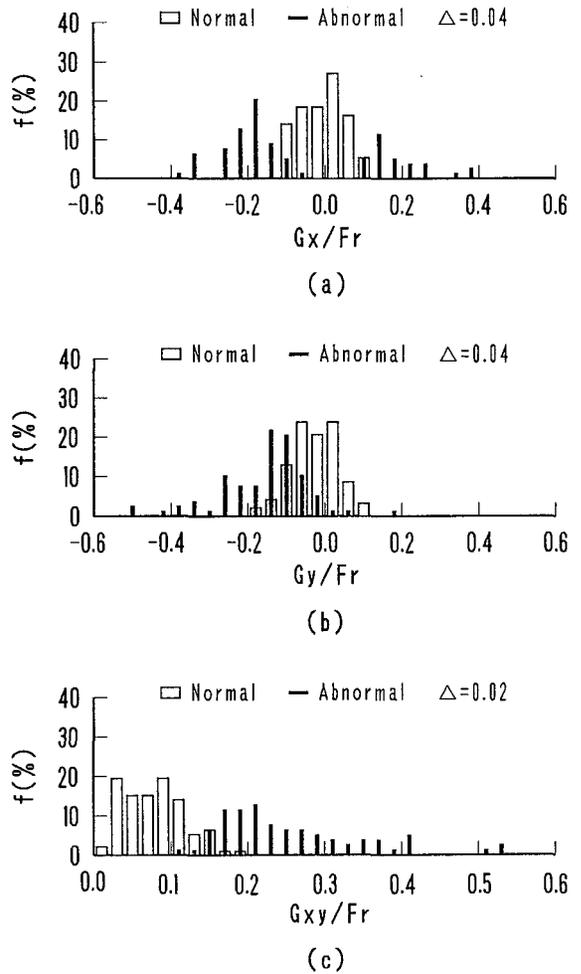


Fig. 7. Reference point

Table 3. Error of discrimination analysis

Parameter	Reagion	Error
$Spr_m$	0.83~1.29	19.5%
$G_x/Fr$	-0.09~0.08	11.6%
$G_{xy}/Fr$	$\leq 0.14$	6.7%

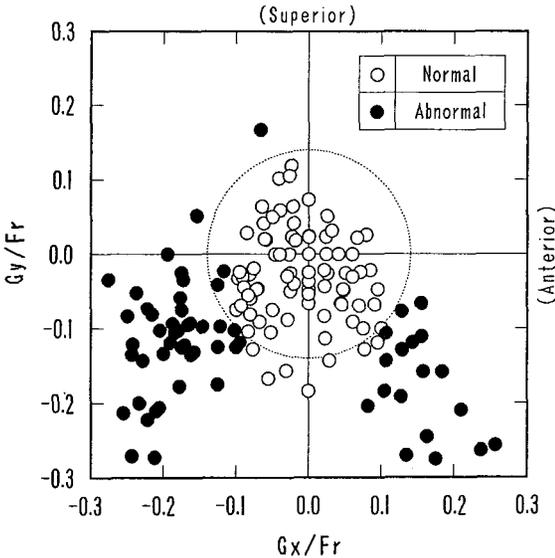


Fig. 8. Distribution map of condylar reference points

考 察

基準点間の直線距離  $G_{xy}/Fr$  による誤判別の確率が関節空隙比の平均値  $S_{prm}$  より低くなった主な原因として次のようなことが考えられる。関節空隙比の平均値を用いる場合、下顎頭の形状に比較し下顎窩の形状が多様なため、関節空隙の局所的な変化の影響を受け易いことが考えられる。一方、基準点間の直線距離を算出するために使う水平距離での判別を考えた場合、下顎窩領域全体を考慮した重心点や下顎頭領域の近似円を用いていることが、その影響を少なくできた要因として考えられる。さらに、もう一つの計算要素である鉛直方向の距離も下顎頭領域の近似円、関節空隙の最小値、下顎窩線図の形状などの判別要素が加わっている。そのため、図7(b)のように水平方向の距離に比較すれば下顎頭の位置の正常、異常グループの分布の重複はあるが、ある程度判別向上に寄与している。なお、結果は示していないが下顎頭や下顎窩半径、関節空隙値の最大、最小値などの統計値や、それらの相関では今回のような高い確率での正常、異常の判別結果は得られなかった。今後、測定値と顎関節症の症状やその重篤度などの相関が得られれば、コンピュータによる診断用エキスパートシステムの構築に必要となる判

定基準の確信度の決定の際に有用なデータとなることが期待される。また、TVカメラやパーソナルコンピュータを使った小規模なシステムであるため臨床現場で容易に導入でき、線図、および基準点などの比較から客観的に撮影の再現性をチェックできる。さらに、関節空隙の測定は治療前後や顎関節に負荷をかけた場合の変化の解析に、下顎頭の基準点は開口運動により移動する下顎頭の軌跡から下顎の運動の解析にも応用できると考えられる。

結 言

自然な閉口状態の顎関節断層X線写真の画像処理を行い、下顎頭、下顎窩における基準点の検索や顎関節空隙の計測を行った。さらに、測定値より下顎頭位の判別を行うため医師による画像診断の結果と比較し、画像解析による下顎頭位の判別の可能性について考察した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 関節空隙を直接測定して判別する場合、下顎頭基準点の鉛直方向を中心に顔面側と後頭部側との同じ角度における関節空隙の、顔面側の後頭部側に対する比の平均値を用いた。その結果、医師による画像診断の結果に対し80.5%の確率で下顎頭位を判別することが可能であった。
- (2) 下顎頭、下顎窩の基準点間距離では、下顎窩半径で標準化した水平距離による判別では88.4%、直線距離ではもっとも高い93.3%の確率で下顎頭位を判別することが可能であった。

文 献

- 1) 藍稔：顎機能異常の診断と治療。医歯薬出版、東京。2~7, 1988.
- 2) Bean L. R., Thomas C. A.: Significance of condyle positions in patients with Temporomandibular disorders. JADA 114 : 76-77, 1987.
- 3) 上村修三郎, 杉崎正史, 柴田考典：顎関節小辞典。日本歯科評論社、東京。12-14, 1990.
- 4) 尾上守夫, 画像処理ハンドブック編集委員会(編)：画像処理ハンドブック。昭晃堂、東京。261-280, 1987.
- 5) 長谷川純一, 興水大和, 中山晶, 横井茂樹：画像処理の基本技法。技術評論社、東京。29-44, 1986.
- 6) 高木幹雄, 下田陽久：画像解析ハンドブック。東京大学出版会、東京。550-578, 1991.

- 7) 末永康二, 鳥脇純一郎, 福村晃夫: 濃淡図形処理のための差分形線形フィルタについて. 電子通信学会論文誌 57-D 3 : 119-126, 1974.
- 8) 大津展之: 判別および最小2乗基準に基づく自動しきい値選定法. 電子通信学会論文誌 J63-D 4 : 349-356, 1980.
- 9) 吉村和美, 高山文雄, 桜井明(監修): パソコンによるスプライン関数. 東京電機大学出版局, 東京. 174-182, 1988.
- 10) 田中豊, 脇本和昌: 多変量統計解析. 現代数学社, 東京. 102~120, 1985.