コンピューター画像処理によるモアレ写真を利用した 歯牙咬合面の立体計測法

九州歯科大学口腔解剖第一講座 (主任: 山田 博教授)

*九州歯科大学学部4年生

**九州歯科大学歯科矯正学講座 (主任: 佐藤通泰教授)

小 林 繁・*塘 総 一 郎・**野 代 悦 生・山 田 博

昭和60年6月25日受付

Computer-aided Three-dimensional Measurements of the Tooth with Moiré Photographs

Shigeru Kobayashi, *Soichiro Tomo, **Etsuo Nodai and Hiroshi Yamada

Department of Oral Anatomy (Chief: Prof. Hiroshi Yamada)

*Senior Student

**Department of Orthodontics (Chief: Prof. Michiyasu Sato)

Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan 803.

To date, the measurements of the occlusal surface of the tooth have been described in one or two dimensions or in combinations of them. In this study, the distance between the cusps in three-dimensional space was measured on a Moiré photograph with use of a micro-computer.

Key words : *Three-dimensional measurement / Moiré photograph / Micro-computer / Occlusal surface*

結 言

はじめは主として言葉で記述する科学であった形態学の分野において、近年形態を量的に表現する試みが積極的になされてきた。

もともと形態計測は、金属学、鉱物学、岩石学、粉体工学などの分野で育ち進歩してきた。特に近年のエレクトロニクスのめまぐるしい進歩に依って汎用コンピューターを用いた形態計測が各分野で広く行われるようになり最近では、生物学、医学の分野でもその応用が盛んに取り入れられてきている。

さて一般にコンピューターによる画像処理として現在行われているものは以下の3種類に分けられる。

(1) 写真にとらえられた物体の長さ、幅、面積、個数などを測定する計測処理。

(2) ノイズ除去、輪郭、エッジ、微細構造などの像の強調、濃度変換による低コントラストの改善、像のフー

リエ変換 (回折パターン) や相関関数を求める処理 (試料の形態、構造を解釈するのに必要な情報を得る)。像の形態理論に基づく像の再生あるいは復元。(3) 連続した像より得られた情報から三次元再構築を行う処理¹⁾。

今回、我々はモアレ写真を用い (1) の手法によって形態計測を行ったのち、(2)、(3) の処理によって三次元再構築を行った。

試料および方法

1. 試料および前処理: 比較的咬耗、磨耗が軽度で、う蝕、くさび状欠損のない下顎第二小臼歯を小林ら (1985)²⁾ の方法で表面をコーティングした。

2. モアレ写真撮影装置および撮影方法

モアレ装置: フジノン FM 0611

測定方法 格子照射型モアレトポグラフィ法

形 式 準暗室操作

測定感度 0.2mm (黒-黒) 格子ピッチ 200 μ m

格子有効面積 60×90mm

撮影カメラ：フジ ST801

レンズ f 1.8 55mm

オートリアコンバーター 3 X

格子面とレンズ焦点までの距離および点光源とレンズとの間の距離はいずれも260mmである。

3. 画像解析装置の概要

Hardware

1) Personal Computer NEC 社製 PC-9801

F2

CPU 8086-2 8MHz

Graphic RAM 192KB

Character RAM 12KB

漢字ROM および5インチ両面倍密度倍トラックフロッピーディスクドライブが2台実装されている。さらに我々は今回 256KB の RAM の増設をおこなった。

2) Floppy disk unit NEC 社製 PC-9881

3) Display NEC 社製 PC-8853 N

14インチカラー専用高解度像ディスプレイで80×25文字の表示が可能である。またグラフィックにおいて640×40ドット表示そして漢字のテキスト画面表示も可能である。

4) Printer NEC 社製 PC-PR 201

24ピンヘッドでJIS第一水準明朝体漢字標準実装の日本語シリアルプリンター。

5) Digitizer Graphtec 社製 Mitablot II

絶対座標電磁誘導方式の読みとり方式で有効読みとり範囲は380mm×260mm有効読みとり 高さは5mm以下である。また分解能は0.1mmで、ポイント読み取り誤差はカーソル高さ1mm以内、周囲温度が20—25°Cのとき±0.5mmである。読み取り速度はASCII フォーマット時最大52点/秒、BINARY フォーマット時最大110点/秒である。

6) Plotter Graphtec 社製 Miplot-II

有効作図範囲はX軸360mm、Y軸270mm、最大作図速度は150mm/secである。ステップサイズは0.1mmで、距離精度は移動距離の1%以下である。反復制度は0.3mm以下である。

Soft wear

ニコン社製 Cosmozone 98

system 1, system 2

方 法

1. 撮影：あらかじめ石膏で作った固定台の中に

Utility wax を入れ、その上に測定する歯牙を固定した。この固定台をモアレ装置の可動式の試料台の上に置いた。それから歯軸が撮影方向と一致するように試料台を設定した。

撮影は、ASA 100のネオバン SS を用い、絞り11、シャッタースピード2 sec で撮影した。通法に従い現像したネガフィルムより、実物の8倍の陽画像を作製した (Fig. 1)。

Fig. 1 Moiré photograph of the occlusal surface of the lower second premolar used for measurement in this study.

2. データーの入力：作製した陽画像をデジタイザーを用いて入力した。

3. 距離：デジタイザーによってX座標Y座標を計測し、舌側副咬頭を0としてモアレ縞等高線の数を数えることによってZ座標値を計測した。その後以下の計算によって2点間の距離を算出した。

$$a = (x_1, y_1, z_1) \quad b = (x_2, y_2, z_2)$$

とすると、

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \dots \dots (1)$$

4. 角度：3)と同様にしてX, Y, Z座標を計測し、2つのベクトルのなす角度を以下の計算によって算出した (Fig. 2)。

Fig. 2 The angle in the three-dimensional space.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{a} &= (x_1, y_1, z_1) & \mathbf{b} &= (x_2, y_2, z_2) \\
 \mathbf{c} &= (x_3, y_3, z_3) \quad \text{とすると,} \\
 \vec{\mathbf{a}} \cdot \vec{\mathbf{b}} &= |\vec{\mathbf{a}}| \cdot |\vec{\mathbf{b}}| \cos\theta \\
 (x_3 - x_1)(x_3 - x_2) &+ (y_3 - y_1)(y_3 - y_2) \\
 &+ (z_3 - z_1)(z_3 - z_2) \\
 &= \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2} \\
 &\quad \times \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 + (z_3 - z_2)^2} \times \cos\theta \\
 \therefore \cos\theta &= \{ (x_3 - x_1)(x_3 - x_2) + (y_3 - y_1)(y_3 - y_2) \\
 &\quad + (z_3 - z_1)(z_3 - z_2) \} / \{ \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2} \times \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 + (z_3 - z_2)^2} \} \dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

5. 三次元再構築: Cosmozone 98 System-1 より System-2 にデーターをコンバートし, カラーディスプレイ上に表示した.

図形はX, Y, Z軸各方向に移動および回転させ目的の観察方向に位置させた後, 陰線処理を施しX-Yプロッターによる作図を行った.

結果および考察

歯牙の形態の計測は, 歯科臨床のみならず人類学, 比較解剖学などの分野でも重要なテーマである.

日本人の歯牙形態について古くは, 山田ら (1964)³⁾, 藤田 (1976)⁴⁾, 上条 (1980)⁵⁾ など多くの研究者によって報告されているが, これらはもっぱら藤田 (1949)⁶⁾ の計測基準に従って, 計測基準点間距離を計測したものである. また尾崎ら (1976)⁷⁾ は, 歯を一定の基準で写真撮影をしてその歯冠および咬合面形態の輪郭を投影し計測した.

その後, 神山 (1976)⁸⁾ は, 歯冠中央から6°の中心角で輪郭に基準点を設け曲線計測を行っている. また中崎 (1977)⁹⁾ は, 歯冠を歯軸と垂直に12等分し各部の輪郭を計測した. しかしこれらも, 一つの平面上の計測に過ぎなかった.

このように歯冠形態の計測は, 二次元的な計測を中心としてなされてきた.

歯冠咬合面の立体計測は, 若松 (1962)¹⁰⁾ が等高線を歯牙に直接記入した報告や, Taverne ら (1979)¹¹⁾ の光学的三次元座標読み取り装置による報告がある. だが

これらの方法は, 複雑な咬合面の形態を忠実に追跡することは難しく, さらに莫大な労力を必要とするものであった.

モアレ法の歯牙への応用は, はじめ上原 (1970)¹²⁾ が歯牙表面にモアレ縞を発生させて三次元的観察に用いることが出来ると示唆した. 以来, 桑名 (1983)¹³⁾, 関川ら (1983)¹⁴⁾ によってモアレ法による歯冠形態の計測の報告がなされた. しかし前者は, 歯牙表面の傾きを考慮せずにモアレ縞によってあらわされた写真上の面積のみで表面積を算出し, 後者は距離の測定を垂直方向の距離および平面的距離の二つにわけて計測した. いずれも, デイメンジョンを下げた求めかたをとっており, 実際の表面積や, また基準点間の距離の記述はなされていない.

我々は今回咬合面の形態をモアレ写真と汎用コンピューターを用いて計測し, 三次元的に咬合面をとらえ空間上の直線距離および角度を求めた. 三次元座標軸は, 舌側咬頭頂を原点とし, X軸は舌側咬頭頂と舌側副咬頭頂を結ぶ直線に, Y軸は原点を通りX軸に垂直に, Z軸は原点を通り平面に垂直にとった.

各咬頭頂の座標値は, 舌側咬頭頂 $\mathbf{a}(0, 0, 0)$, 舌側副咬頭頂 $\mathbf{b}(4, 0, -1.2)$, 頬側咬頭頂 $\mathbf{c}(1.1, 3.5, 1)$ となった. 各咬頭頂間の距離を式1で計算すると, $\mathbf{a}-\mathbf{c}$ (舌側咬頭頂—頬側咬頭頂間距離) は3.80 mm, $\mathbf{b}-\mathbf{c}$ (舌側副咬頭頂—頬側咬頭頂間距離) は5.05 mm, $\mathbf{a}-\mathbf{b}$ (舌側咬頭頂—舌側副咬頭頂間距離) は4.18mmとなった. また角度は式2で計算すると, $\angle \mathbf{a c b} = 59^\circ$, $\angle \mathbf{c a b} = 78^\circ$, $\angle \mathbf{a b c} = 43^\circ$ となった.

咬合面の形態を三次元的に数値で把握することは歯牙の鑑別上非常に有効であると考えられる. そしてそのデーターを法医学にいかせば, 性別の鑑定や, 年齢の鑑定に今まで以上の精度をもたらしすことも期待される. また現在咬頭の数と形によって分類されている退化傾向の指数もより客観的に数値によって表現することが可能であると考えられる.

稿を終えるにあたり, 本学専門課程学生, 荒牧利裕, 伊藤啓次両君に謝意を表す.

引用文献

- 1) 馬場則男・大隈正子・金谷光一: 電子顕微鏡像のデジタル画像処理. 細胞 15: 548—552, 1983.
- 2) 小林 繁・塘 総一郎・大津隆一・伊東 励・山田 博: 歯牙非脱灰連続切片像の三次元画像解析システム

- による立体再構築. 九州歯会誌 39:410—414, 1985.
- 3) 山田 博・鰐石洋巳・中川三省: 人類小白歯歯冠の形態学的研究. 九州歯会誌 17:117—129, 1964.
 - 4) 藤田恒太郎・桐野忠大: 歯の解剖学. 21 th. ed., 金原出版, 東京, 1976.
 - 5) 上条雍彦: 日本人永久歯解剖学. アナトーム社, 東京, 1962.
 - 6) 藤田恒太郎: 歯の計測規準について. 人類学雑誌 61:27—32, 1949.
 - 7) 尾崎 公・神山親彦・上明戸芳光・荒井由宇・沢 栄一・江橋 泰・植木基善・川添親幸・高木 一: 小白歯の咬合面示数に関する予備的研究. 第一報 上顎小白歯について. 日大口腔科学 2:282—286, 1976.
 - 8) 神山親彦: 日本人の歯冠形態に関する解析的研究. 第2報 上顎第1小白歯について. 日大口腔科学 2:287—296, 1976.
 - 9) 中崎 光: 上顎小白歯の彎曲徴について. 九州歯会誌 30:1056—1063, 1977.
 - 10) 若松 晋: 等高図法による日本人永久歯歯冠の形態学的研究. 第3篇 大臼歯 その1, 咬合面. 歯科学報 63:196—219, 1962.
 - 11) Taverne, P.P., Amesz-Voorhoeve, W.H.M. and Leertouwer, H.L.: A photogrammetric method which provides geometric data in dental morphology. *Z. Morph. Anthropol.* 70:163—173, 1979. cite. by 14).
 - 12) 上原 進・森本 基: モアレ・ジマによる等高線の図化 歯科領域への応用. 日大歯学 44:972—974, 1970.
 - 13) 桑名富雄: モアレ縞による上顎犬歯の性差について. 日大歯学 57:88—97, 1983.
 - 14) 関川三男・赤井淳二・南部暁博・金沢英作・尾崎 公: 日本人下顎第1大臼歯咬合面の立体計測. 歯基礎誌 25:737—744, 1983.