

咬合面圧分布の動的解析法

上原美智也 名方俊介* 中島昭彦*

九州大学歯学部附属病院矯正科

*九州大学大学院歯学研究院口腔保健推進学講座

UEHARA Michiya, NAKATA Shunsuke* and NAKASIMA Akihiko*

Department of Orthodontics, Dental Hospital attached to the Faculty of Dentistry, Kyushu University

*Division of oral Health, Growth & Development, Faculty of Dental Science, Kyushu University

キーワード：歯列咬合面圧分布，タッピング，咬合面圧分布重心の経時的変化

抄録：咬合状態の客観的評価法として、数多くの咬合面圧分布測定法の報告がなされてきた。しかし、そのほとんどが最大咬みしめを行わせてのデータ採得であり、咬合の動的解析を行うことは難しかった。今回、新しく開発された計測システム（T-スキャンII）が咬合面圧分布の経時的変化の測定を行う上で有用であるかどうかその精度を検討するとともに、臨床応用例として咬合状態の異なる3名の成人被験者の協力を得てデータ採得を行った。

その結果、本計測システムはセンサの特性、検出時間、出力値などにおいて十分な精度をもっていることがわかった。また臨床応用では、叢生や顎偏位が認められた被験者でタッピング時の咬合面圧分布重心移動距離は大きな値を示し、1回のタッピングに要する時間や咬合接触開始から出力値総和が最大になるまでの時間は長い傾向を示した。これは不正咬合者では咬合終末期において早期接触などを原因とする歯列咬合面圧分布のアンバランスが生じていることが推察され、本システムを用いた咬合の動的評価法は、臨床上有効な機能検査法となる可能性が示唆された。

(Orthod Waves 62(1) : 12~19, 2003)

Method of dynamic analysis of occlusal force distribution

Abstract : Many analyses have been reported on methods to assess occlusal force. However, most of these assessments were done only in maximum bite, therefore, it was difficult to implement these methods for functional analysis of occlusion.

Recently new device (T-Scan II) has been developed for measuring occlusal force distribution.

We examined the accuracy of sensitivity of this measuring system and capability of analyzing of dynamic occlusion and measuring the stability of the center of occlusal force during tooth tapping using three adult females with different occlusion.

The results were as follows :

This measuring system was reliable and sufficient for clinical applications.

In the clinical application, subjects who had a malocclusion such as crowding or reverse occlusion, the position of center of occlusal force during tooth tapping was unstable, and longer time was needed to get maximum intercuspal position. There was a strong possibility that this unstable occlusion was caused by the interference due to immature contact of cusps. This new device proved to be useful for functional analysis of occlusion.

(Orthod Waves 62(1) : 12~19, 2003)

緒 言

咬みしめるときに、上下顎歯列の咬合接触点に作用する咬合力とその歯列における分布を測定することは、咀嚼筋群によりもたらされる筋力の歯、歯周組織、顎骨、顎関節などにおける負担様式を力学的に解明し、顎口腔系の正常機能を理解するとともに、機能異常の発症機序を明らかにするうえでおいに意義深いと考えられる。

そのような観点から咬合力を多点で同時に、あるいは経時的に測定し、その咬合力の分布像を採得することを目的に Dental Prescale^{1,2)}、T-scan system³⁻⁵⁾、感圧素子に感圧導電ゴムを用いたイナストマーシステム⁶⁾などの新しい咬合面圧測定法が考案された。いずれも全歯列における咬合力の分布とその重心の位置に関する分析が可能であり、これらの測定器を用いて咬合終末期における解析やこれらの測定値と顎顔面形態との関係などについての報告がなされてきた。しかし、そのほとんどが最大咬みしめを行わせた際のある一時点でのデータ採得であり、咬合の動的かつ詳細な解析を行うことは難しかった。今回、タッピングなど機能時の圧分布の経時変化の測定が可能な咬合面圧分布計測システムについて、その精度および臨床応用の可能性を検討したので報告する。

資料および方法

2枚のポリエステルフィルムの間に、感圧性インクを封入したシートをセンサとする歯列咬合面圧分布計測システム T-スキャンII (Ver 2.0, ニッタ(株), 大阪) が近年開発された。そこでこのシステムが咬合の動的解析のために臨床上有用であるかどうかを確認するため、センサ特性、時間精度などに関する3つの基

礎的実験を行い、その臨床応用の可能性について検討した。

I. 計測システムの概要

本計測システムはセンサシート、センサコネクタ、パラレルインターフェイスモジュール、および Windows 95/98 がインストールされた IBM PC/AT 互換機により構成される(図 1-a)。計測は被験者を椅子にフランクフルト平面が水平になるように頭位を定めて座らせて測定する。頭部形態と圧分布との関係を解析したい場合には、さらに、センサシートを対象者口腔内の一定の位置に固定することを目的として、著者らが開発した顎頭杆のついた顔弓と切歯ガイドを付与したセンサホルダ⁷⁾(図 1-b)を使用する。これを用いて対象者の外耳道に顔弓の両側顎頭杆の先端を接触させた状態で顎頭杆上に刻まれた両側の目盛りを等しくして顔面正中に合わせ、さらに切歯ガイドを上顎中切歯唇面に接触させることにより頭蓋に対するセンサシートの前後位置を規定する。

センサシートは厚さ 100 μm の馬蹄形で、上下のポリエステル間には圧力に対し電気抵抗性を示す圧感受性インクをはさむサンドイッチ構造を持ち、表層のポリエステルフィルムには上下間で 1.27 mm 間隔の X-Y グリッドを構成する誘導性の銀電極線が縦 52 本、横 44 本、計 99 本プリントされている。各センサセルの電気抵抗値はセンサコネクタにより 256 段階のデジタル値に変換され、コンピュータに取り込まれ、センサシート上の圧力変化をリアルタイムに確認することができる。

データ採得時のセンサ感度は、対象者の咬合圧に応じて自動的に 11 段階(低 1~高 4)の中から適切な感度に設定される(図 2-a)。また、データは複数の連続するフレームで構成されており、そのフレーム数や間隔は設定ダイアログボックス上で容易に設定ができる。

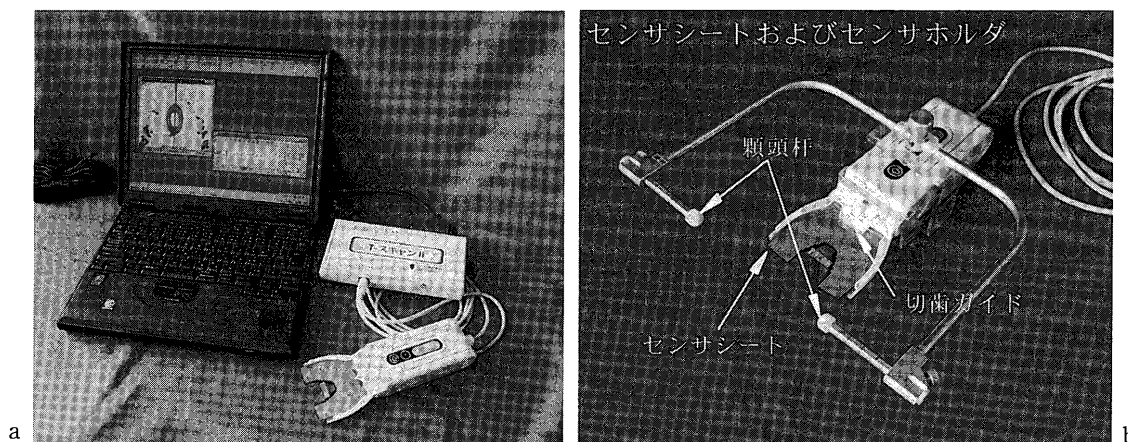


図 1 咬合面圧分布測定システム

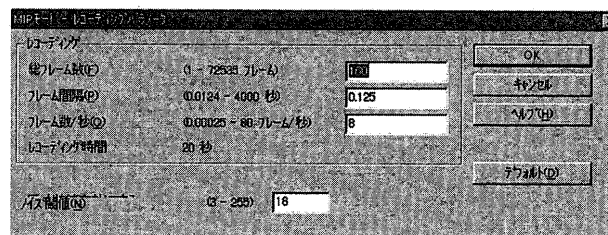
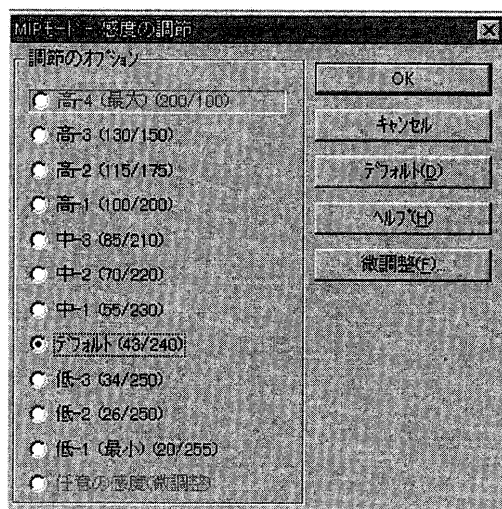


図 2 感度およびレコーディングフレームの設定

(図 2-b).

さらに専用ソフトウェアを用いることにより、特定フレームの各セルにおける荷重値や重心の軌跡の座標値が時系列のテキストデータとして保存され、他の分析ソフトウェアでの演算処理が可能である。

II. センサ特性について

センサ部の精度を調べるために、先端に直径 1 mm の金属製円柱を取り付けたデジタルフォースゲージ (DFG-50 R, シンボ社, 東京) を加圧装置にセットし、センサシートの上下電極交点に異なる一定の負荷を与え、各負荷値に対する出力値を記録した。測定は 11 段階の感度の中央付近の中 3、デフォルト、低 1 に設定し、負荷はそれぞれの感度の反応圧範囲内で行った。それぞれの感度設定で同様のテストを 20 回くり返し行い、平均値の回帰分析を用い、その直線性について調べた。

III. 時間精度について

歯列咬合面圧分布の変化を経時的に測定するにあたり、その時間精度を調べることを目的として 5 V の電源に接続された 2 個の押しボタンスイッチを用いてセンサシートに任意の時間差をつけ加圧し、その二点における加圧の時間差を Universal Counter (SC-7201, 岩崎通信機社, 東京) で測定した。

IV. くり返し加圧の際の出力値変化

センサシート上の任意の電極交点において一定の負荷をくり返し行った際の出力値の変化について調べるため、測定感度を低 1 および高 1 に設定し、任意の 5 か所の電極交点に対しコンピュータ制御の加圧装置で 2.5 秒の間隔において 1.5 秒間の同じ大きさの負荷を

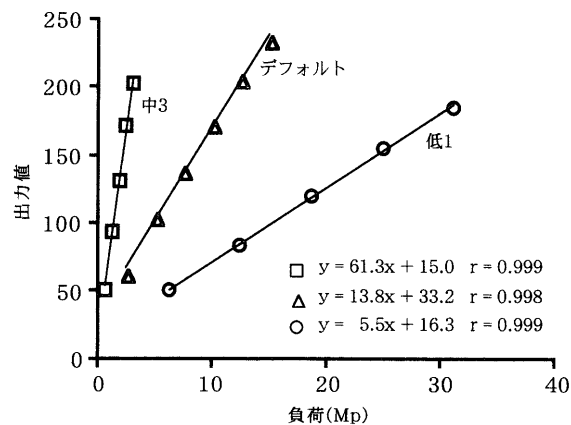


図 3 センサキャリブレーション結果

20 回くり返し加え、負荷の回数と出力値の関係について調べた。負荷の大きさは出力値がそれぞれの測定可能範囲の中央付近の値になるように設定した。

結 果

I. センサ特性

低 1、デフォルト、中 3、それぞれの感度について負荷に対する出力値はいずれも回帰係数が 0.998 以上の良好な直線性を示した (図 3)。

II. 時間精度

2 点における加圧の時間差を横軸、縦軸に本計測システムによる表示時間を表したグラフを図 4 に示す。両者の回帰分析の結果、回帰係数が 0.994、直線の傾きが 1.016、Y 切片が -5.853 (m sec) とほぼ原点を通る直線を示し、本計測システムによる時間表示は実時

間の約 1.01 倍, すなわち 1/100 秒遅れることがわかった。

III. くり返し加圧の際の出力値変化

20 回くり返し行った際の各回における出力値に対し初回の値を 100 とする基準化を行い, その平均を求め, 横軸を負荷の回数, 縦軸を出力値の変化率とするグラフに表した(図 5-a, b). いずれの感度でも初回から 4 あるいは 5 回目まで出力値の増加が認められ, それ以後変化はなく, ほぼ一定の出力値を示した. 増加率は低 1 の感度設定で約 10~20%, 高 1 では 10~40% であった。

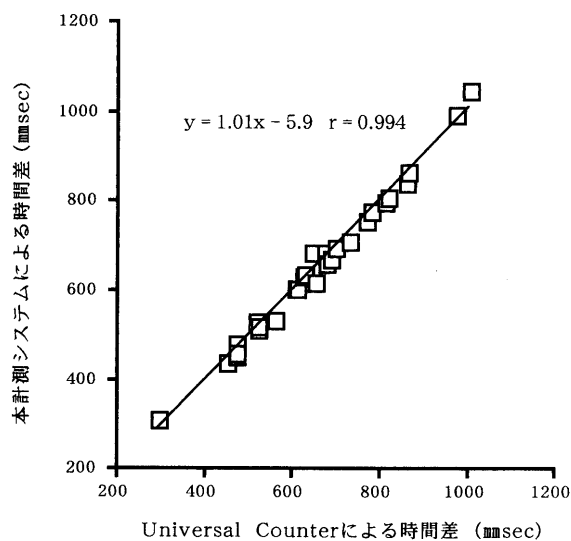


図 4 時間精度の測定結果

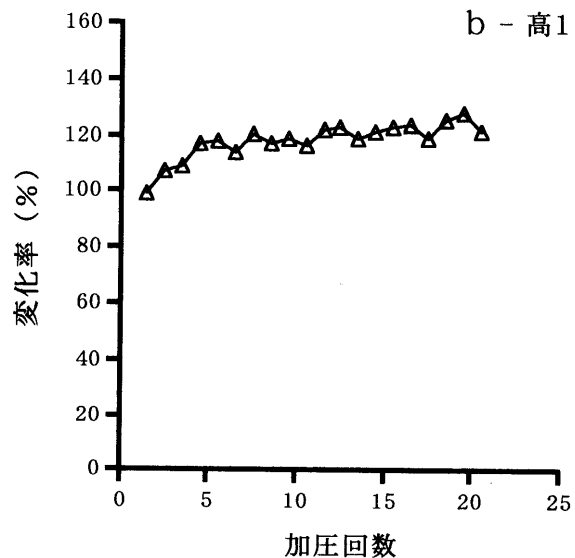
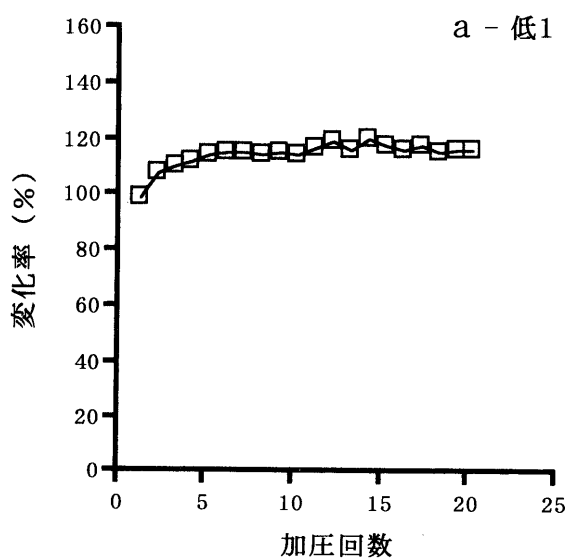


図 5 くり返し加圧による出力値変化

考 察

I. センサ特性と時間精度について

本計測システムの負荷に対する出力値を調べた結果, 相関係数 0.998 以上の良好な直線性を示し, 従来型の本計測システム(旧 T-Scan)では一定の荷重に対する圧力表示にばらつきがあり, 正確な相関関係は認められなかったとする徳村ら^{8,9)}の報告とは異なる結果となった。

これは徳村ら^{8,9)}の実験では不感部を含む任意の点が加圧の対象となったのに対し, 今回の実験では上下電極の交点のみを加圧の対象とした違いやセンサシートの感圧インクが改良されたことによるものと思われる. 本センサシートは咬合圧の経時的な計測を目的とする圧感受性インクの電気抵抗を利用した構造を有するため, Patyk ら¹⁰⁾が指摘しているように電極間に 0.51 mm 幅の不感部が存在する. 電極を配置する構造をもつ限りその不感部を完全になくすことは不可能であるが, 間隔を小さくすることにより咬合接触点とその不感部に位置する確率を低くすることができる. 今後, センサシートの不感部の大きさや任意の加圧と出力値の関係などについても検討し, さらに本システムの精度を高めることは可能だと考えられる。

本計測システムの時間表示は実時間の約 1.01 倍で両者はほぼ一致し, 臨床に用いるには無視できるものと考えられた。

II. くり返し加圧の際の出力値変化について

同一センサシートに対するくり返し加圧のテストは, チェアサイドで咬合面圧分布の計測を行う際に

被験者 A

被験者 B

被験者 C

図 6 被験者口腔内写真

同じセンサシートでくり返しデータを採得したり、タッピング時のデータを採得する場合にセンサシートの同一部位にくり返し加圧が行われた際の計測データへの影響を調べる目的で行った。その結果、いずれの感度においても6回目以降は大きな増加を認めず、ほぼ一定の値を示した。本計測システムのようにセンサシートにポリエステルフィルムを使用すると加圧による圧縮変形を受け、圧が解放された後も変形が残存した状態となって、さらに同じ圧を受けた場合に出力値が小さくなる、と徳村ら⁹⁾は報告している。今回の実験では最初わずかな増加が認められたが、6回目以降はほぼ一定の出力値が得られた。したがってくり返し加圧の測定では最初の5ストロークを除去することにより信頼性の高いデータを得ることができると考えられる。

これまでも咬合面圧分布の経時的な計測に関して感圧素子に感圧導電ゴムを用いた中島ら¹¹⁾、篠崎ら⁶⁾による咬合終末期における計測についての報告がある。しかし、感圧導電ゴムを用いた方法については主な素材としてシリコンゴムを用いていることに起因するヒステリシス現象が存在し、またデータサンプリングスピードが約2~4 Hz程度であるため、早期咬合接触部位の検出のように速いサンプリングスピードを必要とするデータ採得には適しなかった。今回用いた計測システムは最高80 Hzのサンプリングの設定が可能である。長澤ら¹²⁾、Widmalmら¹³⁾による若年者の最大頻度のタッピングは4~5 Hzとする報告を考慮すると、本計測システムはタッピングなどの機能運動時の咬合面圧分布の重心移動の計測に用いるための妥当なデータ採得能力を有すると思われる。また、解析ソフトを用いることによって重心の移動距離およびそれに要する時間の計測を行うことができ、咬合の動的解析を行う上で有用なシステムであると考えられる。

III. 臨床応用

以上のことから本計測システムが咬合の動的解析を行う上でほぼ満足できるものと思われたので、本研究

内容について説明を行ったうえで同意が得られた3名の被験者について臨床応用を試みた。

被験者 A は、第一大臼歯の咬合関係がアンクル I 級で前歯部に叢生を伴いオーバージェット+5.3 mm、オーバーバイト+3.5 mm で下顎正中が右側へ1.5 mmの偏位を示す矯正治療予定の女性である(図6-a)。被験者 B は、第一大臼歯の咬合関係が右側アンクル III 級、左側アンクル I 級で前歯部に叢生を伴うオーバージェット-2.1 mm、オーバーバイト+1.4 mmの反対咬合で上顎正中が右側へ3.0 mm、下顎正中が左側へ5.0 mmの偏位を示す外科的矯正治療予定の成人女性である(図6-b)。被験者 C は、矯正治療の既往がなく、顎関節異常および顎周囲筋に異常が認められず、第一大臼歯の咬合関係がアンクル I 級で智歯を除く全歯が存在し、形態を大きく変える歯冠修復物が無い個性正常咬合を有する成人女性である(図6-c)。

計測は顔弓、切歯ガイドを連結したセンサホルダを用い通法どおり行った。各被験者にはあらかじめ練習させた1秒に約1回、20秒(1,200フレームに相当)以上のタッピングを指示した。

被験者3名の上下顎の歯による最初の接触から咬合接触面積が増加し、そして上下顎歯の接触が認められなくなる過程を図7に示した。正常咬合の被験者 C の重心の軌跡は、歯列弓のほぼ中央でわずかな移動量であったのに対し(c-1~3)、前歯部に叢生が認められる被験者 A は、最初に咬合接触が認められた時点において、重心は歯列のほぼ中央に位置していたが(a-1)、接触面積が増すにつれ重心は歯列後方へ移動し(a-2)、開口相への移行に伴い重心は左側臼歯部へ移動した(a-3)。顎変形症の被験者 B では、まず中切歯部において咬合接触が認められ(b-1)、それから臼歯部が接触して咬合接触面積が増すにつれて重心が歯列弓遠心部に移動した(b-2)。その後右側臼歯部咬合が離開して開口に向かう際に左側における咬合接触が認められ、歯列弓中心から左側へ重心が移動した(b-3)。

a-4, b-4, c-4 は各被験者に行わせたタッピングの6回目から10回目までの歯列咬合面圧分布重心の移動

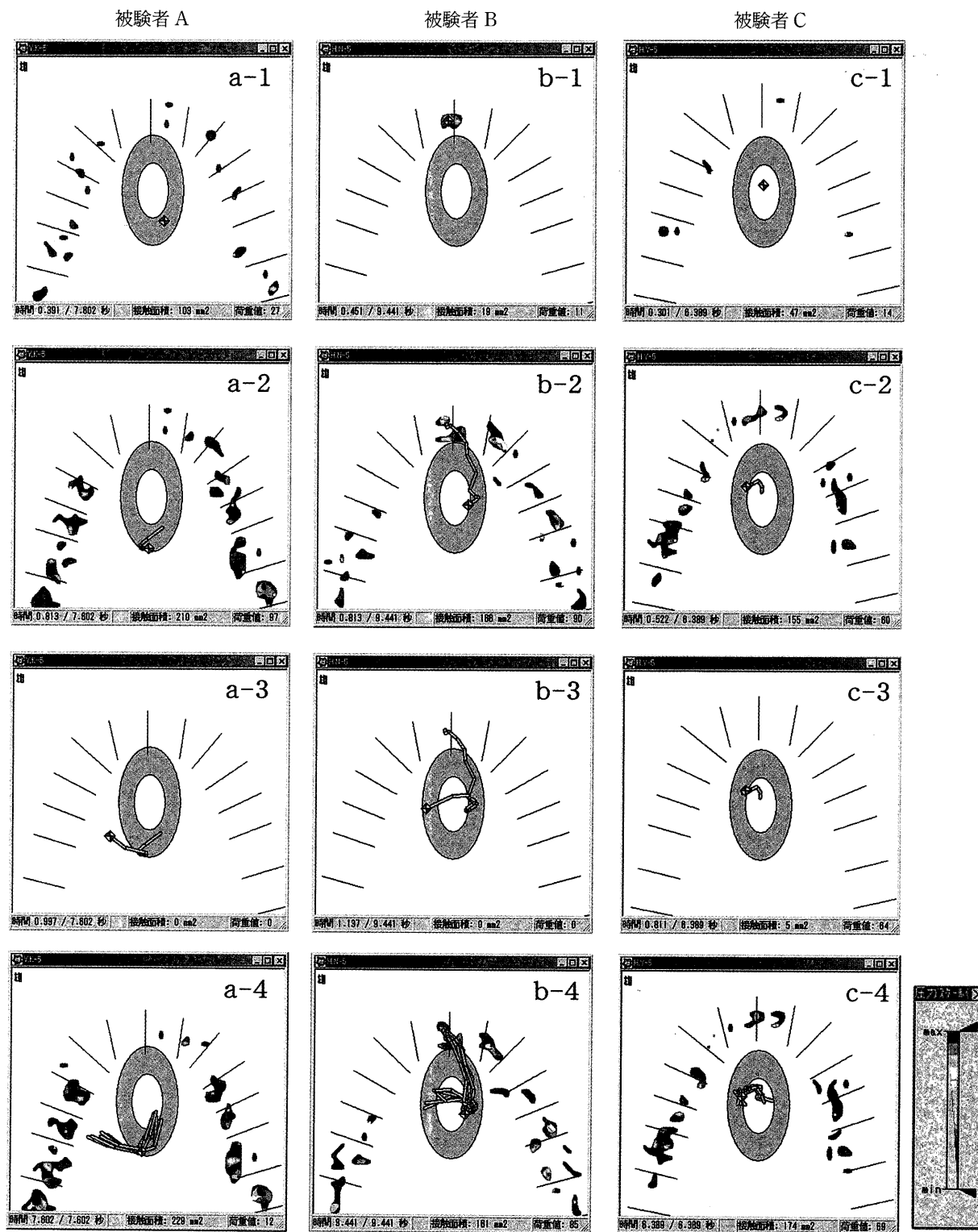


図 7 タッピング時歯列咬合面圧分布と重心移動

圧の大小はカラーで表示される。歯列中央の赤い線は重心移動軌跡を示す。

a, b, c-1: 咬合接触開始時 a, b, c-2: 咬合接触面積最大時

a, b, c-3: 咬合接触消失時 a, b, c-4: 5ストロークの重ね合わせ

表 1 タッピング時重心移動距離および時間
(5 ストローク平均)

被験者	D (mm)		Tt (sec)		Tp (sec)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
A	53.1	8.6	0.68	0.05	0.44	0.09
B	55.9	11.7	0.84	0.04	0.49	0.06
C	31.9	4.2	0.48	0.02	0.23	0.03

の軌跡を重ねて表示したもので、重心移動で各被験者固有の軌跡を示すことが分かった。

続いて、タッピング時の重心の移動距離およびそれに要した時間の比較を行うために、得られたデータを解析ソフト I-Scan (Ver 4.2, ニッタ (株), 大阪) を用い各フレームにおける重心の座標をアスキー形式で保存し、パーソナルコンピュータ (Power Mac G 4, アップルコンピュータ (株), 東京) の表計算ソフト (Excel 98, マイクロソフト (株), 東京) に取り込み、20 秒間に行われたタッピングの 6 回目から 10 回目までの重心の平均移動距離 D を求めた。タッピングに要した時間は、閉口時に最初の歯の接触が認められ出力値総和が最大になるまでの時間 Tp と最初の歯の接触から開口して接触がなくなる瞬間までの時間 Tt を求めた。それらの結果を表 1 に示す。

矯正治療が必要と思われる被験者 A および B が、それぞれの重心の平均移動距離 D が 53.1 mm, 55.9 mm であるのに対し、正常咬合を有する被験者 C では 31.9 mm と前 2 者に比べ小さな値を示した。またそれに要した平均時間については Tp, Tt いずれにおいても被験者 A および B では被験者 C の約 2 倍の時間を要していた。

3 人の被験者それぞれについて、閉口時の早期接触や咬頭嵌合位から、開口の際の上下顎の歯の接触状態のみでなく、咬合接触の順番も確認することができた。特に正常咬合者 (被験者 C) のタッピング時の咬合接触が全歯列にわたってほぼ同時に起こり、重心の移動量が小さく、それに要する時間が短いのに対し、矯正治療予定の患者 (被験者 A, B) の場合、上下歯列の咬合接触の部位による時間差が生じ、重心の移動距離は大きく、1 ストロークの所要時間が長いことがわかった。

また、重心の移動する範囲を比較すると、被験者 C ではタッピング時の重心が歯列のほぼ中央の狭い範囲に位置したのに対し、矯正治療予定の被験者 A および B の重心は咬合力の出力値が最大になる時点ではほぼ歯列中央部に位置していたが、タッピング中の咬合接触の開始時と終了時の重心の位置は歯列の中央から大きく離れた所に位置していた。このことは中心咬合位における咬合接触面積や咬合圧を測定するだけでは咬合機能を十分に把握できないことを示している。

システムの精度および臨床応用の結果から本計測システムは、咬合接触や咬合面圧分布重心の移動を視覚化できるとともに、移動の距離やそれに要する時間を数値で客観的に評価できるなど、咬合の動的分析機器として臨床に活用できる可能性が大きいと考えられた。

稿を終えるに臨み、T-scan II に関する資料の提供を戴いたニッタ (株) の東 輝明様、および本研究に被験者としてご協力いただいた被験者各位に深謝いたします。

文 献

- 1) 木下四郎, 福田光男, 田中章太, 他: プレスケールを用いた咬合接触面積および咬合圧の新しい測定法について, 日歯周誌 21: 475-484, 1979.
- 2) 福田光男: 新しい咬合力測定システムについて—ニュープレスケールとその測定装置について—, 日歯周誌 23: 397-414, 1981.
- 3) Maness, W. L.: Comparison of the duration of occlusal contacts during habitual closure using the digital occlusal sensor, J Dent Res 65: 185, 1986.
- 4) Maness, W. L., Benjamin, M., Podoloff, R., *et al.*: Computerized occlusal analysis: a new technology, Quintessence Int 18: 287-292, 1987.
- 5) 金田 隆, 富山文信, 鈴木宏巳, 他: 新しく開発されたコンピュータ咬合診査装置「T-Scan システム」について, 日本歯科評論 556: 66-77, 1989.
- 6) 篠崎直樹, 長谷 誠, 石田哲也, 他: 感圧導電ゴムを用いた圧力センサの改良, 顎機能誌 2: 57-63, 1995.
- 7) 上原美智也, 福田志穂, 名方俊介, 他: 成人正常咬合者における歯列咬合面圧分布と顎顔面形態との関係について, 日矯歯誌 59: 98-110, 2000.
- 8) 徳村和明, 山下 敦: 咬合分析装置 T-Scan system に関する研究 その 1. 精度について, 補綴誌 33: 1038-1043, 1989.
- 9) 徳村和明, 山下 敦: 咬合分析装置 T-Scan system に関する研究 その 2. ホットセンサーの圧感受特性について, 補綴誌 33: 1038-1043, 1989.
- 10) Patyk, A., Lotzmann, U., Paula, J. M., *et al.*: Ist das T-Scan-System eine diagnostisch relevante methode zur okklusionskontrolle?, ZWR 98: 686-694, 1989.
- 11) 中島昭彦, 一ノ瀬元史, 高濱靖英, 他: 咬合接触面積と咬合面圧分布の電氣的計測システムの開発に関する研究, 日矯歯誌 49: 37-46, 1990.
- 12) 長澤 亨, 津賀一弘, 桜井裕也, 他: 若年者と高齢者のタッピングの頻度, 補綴誌 34: 197-201,

- 主 任：中島昭彦教授 2002年 8月10日受付
 2002年11月15日受理
- 連絡先：上原美智也
九州大学歯学部附属病院矯正科
〒812-8582 福岡市東区馬出3-1-1