原 著 論 文

Dental Prescale を用いた歯列における咬合力測定

服部 佳功 奥川 博司 渡辺 誠

Occlusal Force Measurement Using Dental Prescale

Yoshinori Hattori, Hiroshi Okugawa and Makoto Watanabe

Abstract : The pressure sensitive foil “Prescale” (Fuji Photo Film Co., Ltd.) shows coloration depending on pressure when loaded. Occlusal force measurement using conventional “Dental Prescale 30 H” had failed due to its limited range of pressure measurement. Recently a new type of foil, “Dental Prescale 50 H”, was designed for measuring the wide range of occlusal pressure (5~120 MPa). The purpose of this study was to evaluate its reliability for occlusal force measurement. Experiments were carried out both on a normal dentate female (19 yrs.) and on her casts. The casts were mounted on a calibrating device at the centric occlusion. The load was applied to each of the lower teeth via the opposing upper teeth. The applied load was 10 to 100 N at premolars and 50 to 400 N at molars. The linear relationship was observed between the applied and the measured load irrespective of the teeth ($r=0.989$). The calculated occlusal force during maximum voluntary clenching of the subject was 8 to 60 N at premolars and 63 to 330 N at molars. These results indicate that the “Dental Prescale 50 H” had a sufficient range for measuring the occlusal force at the tooth arch during clenching.

Key words : Dental Prescale, pressure sensitive foil, occlusal force measurement, maximum voluntary clenching

I. 緒 言

歯列に発現する咬合力を多点で同時記録し、その歯列における分布様式を明らかにすることは、顎口腔の力学的平衡を考えるうえできわめて興味深い。

咬合力の多点同時記録には、Prescale¹⁻³⁾、Photoc-

clusion⁴⁻⁶⁾、T-scan system⁷⁻⁹⁾ など、薄膜状の材料が応用されてきた。著者らはさらに Dental Prescale 30 H (富士写真フィルム社製) を応用した咬合力測定の可能性について検討し、本フィルムの感圧測定範囲 (3~13 MPa) が狭く、かつ低域に偏ることを指摘した¹⁰⁾。そこで著者らは、あらたに感圧測定範囲を拡大した材料の開発を要望し、ここに Dental Prescale 50 H (富士写真フィルム社製) が発表された。本研究では、本フィルムによる咬合力測定の可能性を検討する目的で、定量的測定が可能な咬合力の大きさの範囲を各臼歯について明らかにし、また測定可能な咬合

東北大学歯学部高齢者歯科学講座
Department of Geriatric Dentistry, Tohoku University
School of Dentistry
平成6年2月17日受付

図 1 校正装置
The calibrating device

力と咬みしめつよさとの関係を検討した。

II. 材料および方法

1. 研究材料

1) 感圧フィルム

本研究では、Dental Prescale 50 H, type R (感圧測定範囲: 5~120 MPa) を使用した。その構造は、Dental Prescale 30 H と同じく、馬蹄型に型抜きした単一膜型 Prescale に両面被覆を施したものであるが、30 H とはマイクロ・カプセルの直径、膜厚の配合が異なる。

本フィルムに用いられた単一膜型 Prescale は、厚さ 25 μm の PET 樹脂薄膜の支持体上に、顔色剤とマイクロ・カプセル化した発色剤を層状に塗布したものである。発色剤と顔色剤の層の厚さは、それぞれ約 15 μm である。冠水防止用の被覆には、厚さ 16 μm の PET 樹脂薄膜が用いられている。被覆用薄膜と支持体は厚さ 13 μm の糊剤で貼合され、さらに被覆用薄膜同士が Prescale 周囲で接合されている。フィルム全体の厚さは、約 100 μm である。

2) 発色濃度測定装置

発色濃度の測定には、パーソナル・コンピュータ (日本電気社製、PC 9801 RX 21) に接続したカラー・イメージ・スキャナ (セイコーエプソン社製、GT 1000) を用い、解像度 100 dpi, 単色 (ドロップアウト・カラー: 緑), 階調 8 bit の条件にて、荷重負荷の 3 時間後に、感圧フィルム、乳剤 (発色剤) 塗布側面の色調を測定した。

3) 校正装置

校正装置は、咬頭嵌合した歯牙模型間にフィルムを挟み、任意の荷重を負荷する目的で、自作した。装置

図 2 校正装置に装着した歯列模型と被験者の中心咬合位におけるチェックバイト
The occlusal contact pattern of the subject and of her cast mounted on the calibrating device

は厚さ 15 mm の真鍮板に固定したステンレス鋼製のレール、レール上をほぼ摩擦なく平行移動する 2 基の台車 (THK 社製、リニアガイド、RSR 20), および台車間の荷重を測定するロード・セル (共和電業社製、LM-50 KA) からなる (図 1)。

2 基の台車を近づけたときに中心咬合位にて咬合接触するように、台車のそれぞれに上下顎歯列模型を装着した。下顎模型の装着には分割模型用型枠 (東京歯材社製、チャンネル・トレー、M型) を用いた。下顎模型は臼歯部を 1 歯毎に分割した。シリコン・ラバー印象材 (ジーシー社製、Flexicon injection type) を用いて、校正装置上でチェックバイトを採得し、これを口腔内にて中心咬合位で採得したチェックバイトと照合して、両者がほぼ一致することを確認した (図 2)。

2. 研究方法

1) 被験者

被験者は、永久歯の齲蝕や顎口腔系の機能異常とその既往を認めず、個性正常咬合を有する、19 歳の有歯顎女性 1 名 (身長: 152 cm, 体重: 45 kg) を用いた。シリコン・ラバー印象材 (ジーシー社製、Flexicon injection type および同 regular type) にて上下顎歯列の精密印象を採得し、これに超硬石膏 (ジーシー社製、Fuji Rock) を注いで、上下顎模型を作製した。模型に表面硬化剤 (東亜化学社製、アルファ・コート) を塗布し、破壊強度の増大をはかった。

2) 発色濃度測定装置の校正

Dental Prescale 50 H に直径 50 mm の加圧子にて、5~140 MPa の既知の圧力を負荷した。加圧 3 時間後

に、専用濃度計（富士写真フィルム社製、FPD 301）にて発色濃度を測定し、圧力と発色濃度の関係を記録した。次に Dental Prescale 30 H の使用説明書に添付された標準カラー・チャートを読み、スキャナにて測定し、スキャナ測定値と発色濃度値の関係を記録した。これらより、スキャナ測定値と圧力値の関係を求めた。

3) 校正装置による荷重負荷

校正装置に上顎歯列模型と、下顎の臼歯 1 歯を装着し、1 枚のフィルムの異なる部位に、同一量の荷重を 3 回ずつ負荷した。荷重は最小 10 N で、小臼歯では最大 100 N、大臼歯では 400 N とした。

3 時間後、フィルムの発色濃度分布を読み、スキャナにて測定した。大臼歯では、50 N 未満の荷重の負荷では、発色部位の同定が困難であったため、濃度測定を行わなかった。測定点毎の荷重値を 3 回の荷重負荷により生じたすべての発色領域について加算し、平均測定荷重値を算出した。

4) 被験者による最大咬みしめ

被験者に、上下顎歯列間にフィルムを介して中心咬合位近傍における最大咬みしめを行わせた。発色部位の形状、部位を中心咬合位におけるチェックバイトとを照合し、発色部位を下顎の歯牙毎に同定した。スキャナにて各下顎歯牙の発色濃度分布を測定し、1 歯毎の咬合力を求めた。

III. 結 果

1. 感圧フィルムの感圧測定特性

Dental Prescale 50 H の感圧測定範囲は、5～120 MPa と発表されている。測定の結果、5～100 MPa

の範囲で、圧力と発色濃度の関係は、ほぼ直線的であった（図 3）。

2. 校正装置により負荷した荷重の測定

校正装置上での荷重の負荷により、本フィルムには種々の濃度の発色部分が観察されたが、肉眼的にカラーチャートの最高濃度と同程度の発色を示す部分は僅少であった。また、荷重の負荷により発色を生じた部分は、いずれもチェックバイトに現れた咬合接触と同様の形態を有することから、咬合接触による発色と認められた。チェックバイトに存在しない位置、形態を有する発色で、フィルムの折曲などによると判断されるものは存在しなかった。

校正装置で負荷した実荷重値と測定荷重値には、歯牙によらず、ほぼ同一の比例関係が認められた。左右

図 3 Dental Prescale 50 H の感圧特性曲線
横軸は負荷した圧力、縦軸は発色濃度
The relationship between the applied pressure and the coloration density of the Dental Prescale 50 H

表 1 下顎各歯と対合歯列間に負荷した実荷重値とスキャナ測定値から求めた測定値 [N]
The applied load between each lower teeth and the opposing upper tooth, and the read-out load measured with the color image scanner

実荷重値	左側				右側			
	P 1	P 2	M 1	M 2	P 1	P 2	M 1	M 2
10	3.6	4.9			3.6	1.3		
20	8.0	8.9			9.0	5.8		
30	14.6	15.8			14.3	9.1		
50	23.7	30.3	11.5	14.4	23.8	19.0	18.8	33.1
70	36.1	37.5			39.1	25.3		
100	40.5	36.2	47.8	45.8	55.7	31.1	51.7	32.8
150			79.9	71.0			80.9	87.6
200			102.6	102.3			104.8	109.2
300			146.1	158.1			148.1	127.5
400			179.7	196.8			192.1	167.7

側第 2 小臼歯では、100 N にて、比例関係からの逸脱が認められた。測定荷重値 (Y) は実荷重値 (x) のほぼ 1/2 で、両者の関係は、
 $y=0.48x-0.06[N]$

の回帰直線と与えられた (表 1)。そこで、この関係を利用して測定値を一律に変換した。その結果、変換後の測定荷重値 (y') と実荷重値の関係は、

図 4 下顎各歯と対合歯列間に負荷した実荷重値と補正後の測定荷重値 [N]
The relationship between the applied and the measured load on each teeth

$y'=1.00x+0.12[N]$
の回帰直線によって与えられ、両者の相関係数は 0.989 であった (図 4)。

3. 最大咬みしめ時の咬合力測定

6 回の最大咬みしめにてフィルムに生じた発色部位は、その位置、形態より、いずれもチェックバイトに現れた咬合接触部位との照合が可能であり、下顎歯列上の咬合接触点に同定された。肉眼的観察では、発色は概して前歯部で弱く、後方歯にかけて強くなる傾向が認められた。左側臼歯および右側大臼歯では、6 枚のフィルムのすべてに咬合接触による発色が認められた。一方、左右側中切歯、左側側切歯の咬合接触は全く認められず、また右側側切歯、左側犬歯および第 1 小臼歯の咬合接触は、それぞれ 1 枚のフィルムのみに認められた。

同定された発色部位から下顎各歯牙の咬合力を測定した。記録された咬合力は、前歯では 7~18 N、小臼歯では 8~60 N、大臼歯では 63~330 N であった (表 2)。

さらに、6 回の最大咬みしめにおいて、咬合力の歯

表 2 6 回の最大咬みしめ時に下顎各歯に作用した咬合力 [N]
The occlusal force occurred on each lower teeth during maximum voluntary clenching

回	左側								右側								計
	I1	I2	C	P1	P2	M1	M2	計	I1	I2	C	P1	P2	M1	M2	計	
1	0	0	0	0	13	173	330	516	0	0	0	34	20	128	254	436	952
2	0	0	0	0	0	177	284	461	0	13	18	60	42	72	277	482	943
3	0	0	0	0	14	96	177	287	0	0	0	22	21	76	189	308	595
4	0	0	0	0	8	106	264	378	0	0	0	34	27	72	214	347	725
5	0	0	0	9	12	121	197	339	0	0	0	54	23	63	211	351	690
6	0	0	7	0	10	127	263	407	0	0	9	46	29	68	218	370	777

表 3 最大咬みしめ時の歯列における咬合力分布 [%]
各歯牙に作用した咬合力の総咬合力に対する割合を百分率で示す
The occlusal force distribution on each lower teeth during maximun voluntary clenching

回	左側								右側								計
	I1	I2	C	P1	P2	M1	M2	計	I1	I2	C	P1	P2	M1	M2	計	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	18.2	34.7	54.2	0.0	0.0	0.0	3.6	2.1	13.4	26.7	45.8	
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.8	30.1	48.9	0.0	1.4	1.9	6.4	4.5	7.6	29.4	51.1	
3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	16.1	29.7	48.2	0.0	0.0	0.0	3.7	3.5	12.8	31.8	51.8	
4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	14.6	36.4	52.1	0.0	0.0	0.0	4.7	3.7	9.9	29.5	47.9	
5	0.0	0.0	0.0	1.3	1.7	17.5	28.6	49.1	0.0	0.0	0.0	7.8	3.3	9.1	30.6	50.9	
6	0.0	0.0	0.9	0.0	1.3	16.3	33.8	52.4	0.0	0.0	1.1	5.9	3.7	8.8	28.1	47.6	
平均	0.0	0.0	0.2	0.2	1.3	16.9	32.2	50.8	0.0	0.2	0.5	5.4	3.5	10.3	29.4	49.2	
S.D.	0.0	0.0	0.4	0.5	0.8	1.5	3.2	2.4	0.0	0.6	0.8	1.7	0.8	2.3	1.8	2.4	

列における分布様式を検討した。その結果、各歯牙の咬合力が全咬合力に占める割合はほぼ一定であり、その標準偏差は最大 3.2% であった。咬合力は前方歯に小さく後方歯に大きく分布し、大臼歯部の咬合力が全咬合力に占める割合は 85.9~93.0% に及んだ。また左側歯列の咬合力が全咬合力に占める割合は平均 50.8% で、左右歯列に作用する咬合力がほぼ均等であることが示された。最大咬合力は、すべての咬みしめにおいて、両側ともに最後方歯である第 2 大臼歯に観察された (表 3)。

IV. 考 察

咬みしめ時の咬合力とその歯列における分布を測定する際、下顎位を可及的に中心咬合位の近傍とし、咬合挙上量を最小とするには、薄膜状の測定材料を用いることが適当と考えられる。この測定材料は、適切な物性、咬合力の測定範囲および平面的分解能を備えることが必要と考えられる。そこで、上記の 3 要件に関して、個別に考察を行い、最後に本フィルムを用いた咬合力測定法の臨床的有用性に関して、考察を加えた。

1. 測定材料の物理的性質

咬合力の測定材料は、強靱さとしなやかさを具備する必要がある。強靱さは咬みしめ時に穿孔など素材の破壊を生じないために必要な条件であり、しなやかさは自然な咬合感と、咬合時の下顎位の安定のために重要である。

Dental Prescale 30 H/50 H は、Prescale 支持体に 25 μm 厚の PET 樹脂薄膜を、冠水や湿度変化の影響を避けるために必要¹¹⁾な両面皮膜には 16 μm 厚の PET 樹脂薄膜を、それぞれ用い、丈夫さを損なうことなく、厚さを減じてしなやかさを増す工夫がなされている。Patyk ら¹²⁾は、T-scan system のセンサは厚く柔軟性に欠け、咬みしめ時に下顎の偏位を招きかねないと述べている。本フィルムは、T-scan system のセンサとほぼ同厚ではあるが、咬みしめ時の発色部位と中心咬合位におけるチェックバイトの咬合接触部位を容易に同定可能であることから、咬みしめ時の顎位はほぼ中心咬合位と一致することが推察された。

2. 咬合力の測定範囲

咬合力測定用材料には、咬みしめ時に咬合力のみな

らず、歯列や咬合面の彎曲による皺曲、延展により、種々の応力が作用する。したがって、その測定範囲の下限は、これら咬合力以外の応力と咬合力とを弁別する程度の大きさに設定されることが望ましい。Dental Prescale 30 H は、一部の症例で、咬みしめ時に咬合接触部位以外に皺曲などによる僅かな発色を認めた。そこで、Dental Prescale 50 H は、その測定範囲の下限を、30 H と比較してやや大きく設定した。

一方、上限は最大咬みしめにおいても超過しないよう設定することが必要であるが、不必要に範囲を拡大すると測定精度を損なうおそれがある。しかしながら、歯に作用する咬合力が同一であれば、咬合圧あるいは微小面積毎の咬合力は、咬合接触面積により変化する。このため、上限を設定する基準を現在までの知見に求めることは、困難であった。そこで、上限は、現在の技術を用いて、可能な限り大きく設定した。

本研究では、Dental Prescale 50 H の感圧測定範囲の妥当性を検証するため、比較的咬耗が少なく、咬合接触面積の小さい被験者を選択した。咬合接触面積の大きな被験者では、同一フィルムによる咬合力の測定範囲は、さらに大きいと考えられるためである。

本研究の結果は、比較的咬合接触面積の小さい被験者にあっても、多くの小臼歯にて 10~100 N、また大臼歯にて 50~400 N の咬合力の測定が可能であることを示すものであった。きわめて咬合接触面積の小さな左右側第 2 小臼歯においても、10~50 N の咬合力が測定可能であった。

同一被験者に中心咬合位付近における最大咬みしめを行わせたところ、記録された各歯牙の咬合力は、いずれも上述の測定範囲に収まった。すなわち、本フィルムによる咬合力測定範囲は、最大咬みしめ時の咬合力を記録するに足りるものであることが判明した。

しかしながら、咬合干渉部位など咬合力の過剰に集中する部位では、作用する咬合力が測定範囲を越えることも予想されることから、感圧測定範囲の上限は、将来的にはさらに拡大することが望ましいと考えられる。一方、両顎の全部床義歯装着者など、咬合力が小さく、咬合接触面積の大きい症例では、測定精度の向上のために、より測定範囲の狭いフィルムの利用が望ましく、50 H と 30 H の中間的な特性を備えたフィルムが必要であるように思われる。

なお T-scan system の測定範囲は、もっとも感度の高い部位において 0.1~2.1 kg¹³⁾ と報告されている。同 system による正常者の総咬合力測定値は 50

N 弱⁷⁻⁹⁾と著しく低く、咬合力が測定範囲を大きく上回った結果、測定値の低下が生じたものと考えられる。

3. 平面的分解能

微小な咬合接触面内でも、作用する咬合力は、部位により大きく異なることが予想される。したがって、正確な測定のためには、測定の平面的分解能を十分に高め、咬合力の部位による相違を捉える必要がある。

平面的分解能は、咬合力を測定する最小面積により規定される。Prescale は、特定の圧力値にて破壊されるマイクロ・カプセルが、一定の混合比で配合されている。この混合比で最小個数のカプセルが塗布された領域が、咬合力測定の単位面積である。この領域の面積は、直径数十 μm であり、しかも連続的に分布している。このような特性から、本フィルムは咬合力の部位による相違を記録するに十分な平面的分解能を備えるものと考えられる。

先述の通り、本フィルムは 5~100 MPa の範囲において、圧力と発色濃度が直線的な関係を有する。このため、測定に際してはさきの単位面積以上の任意の面積について、平均発色濃度を測定することにより、その面積に作用した圧力を測定しうるものと考えられる。

4. 本咬合力測定法の臨床的有用性

以上の 3 要件に関する考察より、本フィルムは咬みしめ時の咬合力とその歯列における分布の測定に応用するに十分な特性を有することが明らかとなった。本咬合力測定法は、その術式が簡便で、測定に要する時間も比較的短く、消費するフィルムの費用も従来品と比較して低廉であることから、その臨床的有用性はきわめて高いものと思われた。

最後に、スキャナ測定値から直接変換した荷重値と実荷重値の乖離に関して考察を加える。スキャナの測定値は、ノイズ対策のために、隣接するセンサの測定値を用いた一種の平均化処理を経て、出力される。この内部補正とライン・センサの測定精度が、測定値に影響を及ぼしたものと思われる。従来報告では、顕微鏡で発色部を拡大し、濃度の測定を行う方法^{2,14,15)}などが用いられているが、これらは臨床用途には煩雑に過ぎ、また即時性を損ないかねないため、採用を見合わせた。

V. 結 論

Dental Prescale 50 H (富士写真フィルム社製、感圧測定範囲：5~120 MPa) を用いた咬合力測定法に関して、定量的測定が可能な咬合力の大きさの範囲を明らかにするとともに、これと咬みしめ強さとの関係を検討し、以下の結論を得た。

1. 本フィルムは、小臼歯では 10~100 N、大臼歯では 50~400 N の咬合力を、ほぼ定量的に測定しうることが明らかにされた。

2. 同一被験者の最大咬みしめにおける下顎各歯の咬合力は、すべて 1. に示した測定範囲に包含された。

3. 以上の知見より、本咬合力測定法は最大咬みしめ近傍の咬みしめつよさにおける咬合力と、その歯列における分布を、定量的に測定しうることが明らかとなった。術式の簡便さ、測定に必要な費用の低廉さと併せて、本法の臨床的有用性が示唆された。

本研究の遂行に際し、富士写真フィルム(株)情報記録紙部の来生 博氏、富士宮工場第二製造部の星 義之氏、松本孝之氏、シモレックス(株)の辻 昌夫氏、および(株)東京歯材社の大友勝廣氏の各氏には、種々のご助力を戴いた。記して、篤く感謝します。

本研究の一部は、平成 3 年 6 月 23 日に第 1 回日本顎口腔機能学会にて、また平成 3 年 12 月 2 日に JADR 第 41 回総会にて、それぞれ報告した。

文 献

- 1) 羽賀通夫, 腰原 好, 蓮見 聡ほか: 上下顎歯面間空隙および接触圧の分布状態に関する研究, 補綴誌, 23: 480~489, 1979.
- 2) 二川芳人, 牧田 亨, 宮地清文ほか: プレスケール®の歯科領域への応用について, 歯科評論, 448: 92~100, 1980.
- 3) 平野 進, 平澤 忠: 圧力測定シートの歯科応用について, 歯界展望, 56: 373~380, 1980.
- 4) Dawson, P.E. and Arcan, M.: Attaining harmonic occlusion through visualized strain analysis, J Prosthet Dent, 46: 615~622, 1981.
- 5) Neff, P., Binderman, I. and Arcan, M.: The diagram of contact intensities: A basic characteristic of occlusion, J Prosthet Dent, 53: 697~702, 1985.
- 6) Amsterdam, M., Purdum, L.C. and Purdum, K.L.: The occlusalgraph: A graphic representation of photoc-

- culusion data, J Prosthet Dent, 57: 94~98, 1987.
- 7) 村田洋一, 土佐淳一, 鍋島史一ほか: T-scan システムからみたクレンジング時の前後動的, 左右的バランスについて, 顎機能, 7: 183~188, 1989.
 - 8) 村田洋一, 田中昌博, 河野 亘ほか: T-scan システムからみた中心咬合位での咬合接触バランスについて, 補綴誌, 34: 340~349, 1990.
 - 9) 水井雅則, 鍋島史一, 平井雅一ほか: T-scan システムからみた正常有歯顎者の側方滑走運動時における咬合接触, 補綴誌, 35: 715~722, 1991.
 - 10) 服部佳功, 奥川博司, 菊池雅彦ほか: 咬合力測定用プレスケールを用いた咬合分析, 補綴誌, 36・88 回特別号: 109, 1992.
 - 11) 野口俊英, 福田光男, 田口章太ほか: 咬合診査用オックル-ザルプレスケールのラッピングについて, 日歯周誌, 25: 575~581, 1983.
 - 12) Patyk, A., Lotzmann, U., Scherer, C. et al: Vergleichende Okklusions—Analytische Studie zur klinischen Anwendbarkeit des T-scan Systems, ZWR, 98: 752~755, 1989.
 - 13) 山村雅章, 高橋晃彦, 青木英夫ほか: T-スキャン・システムにおける咬合接触位の表示と精度に関する研究, 神奈川歯学, 25: 236~241, 1990.
 - 14) 木下四郎, 福田光男, 田口章太ほか: プレスケール®を用いた咬合接触面積および咬合力の新しい測定法について, 日歯周誌, 21: 475~484, 1979.
 - 15) 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.