抵抗線歪計式咬合力測定装置の考案

小山正宏* 五十嵐孝義 高見沢 忠
榎沢健司 笠井仁治 森谷良彦

A Design of New Apparatus for Measuring Bite Force using Foil Strain Gauges

Masahiro Koyama, Takayoshi Igarashi, Tadashi Takamizawa,
Kenji Enosawa, Yasuharu Kasai, Yoshihiko Moriya*

精度が高く、疲労が少く、しかも防湿、温度補償の点で、満足のゆく咬合力測定装置を考案し、完製した。これはフォイルストレインゲージを応用した電氣的測定法の1法である。

歯牙は元来咀嚼器官である以上、咬合力測定は生理学上および歯科臨床に、非常に有意義なものである。その意味で歴史的にみると、70年前よりこの目的逐行のために幾多の方法、装置が考案、発表、追試されている。これらは原理的には次の5つに分類される。

- 1) 発条式によるもの。
- 2) 槓杆作用によるもの。
- 3) 油圧によるもの。
- 4) ブリネル硬度によるもの。
- 5) 電氣的变化によるもの。

以下この順序に従い、年代順に先人の業績を通覧してみる。

- 1) 発条式によるもの。

1893年すでに Dennis³¹⁾, Patrick¹³⁾によつて、咬合力測定の本格的研究が始められた。それ以前に Borelli⁴⁾ (1681年), Burras⁴⁾ (1861年), Sigmund¹⁹⁾ (1871年), Sauer¹⁸⁾ (1891年), Fenchel⁴⁾ (1901年), Arnone²²⁾ (1906年), Reschofsky⁴⁾ (1906年), Müller・Max²⁷⁾ (1912年), Müller・Adolf⁴⁾ (1914年), 等が人間の咀嚼圧(masticating pressure・bite pressure)の数値を呈示しているが、いずれもその値はまちまちで本格的な測定装置は見当らない。そして1893年 Dennisは咀嚼圧測定

について講演を行い、注意を喚起した。翌1894年に Black^{10), 24)}は Dennisの装置を改良して、発条の歪により力の大きさを測る器械を作つて測定を行い、咀嚼力(masticating force・bite force)は個人の習慣、歯髄および歯根膜の状態によつて異なる事を述べた。なお特有の装置(Phagodynamometer)を作り、食物の咀嚼にいかほどの圧力を要するかを測定した。1913年に Morelli¹⁶⁾はV字に屈曲した弾力線の両端を咬合させ、両線の中央部の圧縮度を度盛板上の指針で咬合圧(kg)として読み取つた。1916年に Hentze¹³⁾は Morelliは弾力板の一端に咬合部を設けたのに反し氏は楕円形弾力板の中央に咬合部を設けた。その後1926年に Haber^{10), 11), 22), 23)}が Haber氏 Gnathodynamometerを考案、発表している。この装置の構成は、ゴム膜でおおわれた2枚の咬合板(15×19mm)と他端の度盛板から成つている。以来本装置は幾多の学者により追試され、実際の咀嚼圧測定に寄与した。しかし、Greve^{27), 28), 29)}および Münzschemer⁴⁾氏らの実験により、その欠点が指摘された。つまり咬合圧が咬合板上に加わる力の位置により大いに異なる点である。

日本においては、岡田・富取⁴⁾ (1929年)(Haberの Gnathodynamometer使用)、内山有三^{21), 22)} (1932年)(Haberの Gnathodynamometer使用)、佐藤昌朝¹¹⁾ (1935年)(Haber氏測定器を改良したSY式咬合器を紹介した)、佐藤峰雄¹¹⁾ (1941年)、黒沢佐太郎⁹⁾ (1956年)(佐藤氏のSY式咬合力測定器を採用して測定している)、村松篤良・塩川延洋・三宅聡・高木米一^{10), 17), 18)} (1952, 1957年)、吉村信善・吉田達也・野瀬清¹⁰⁾ (1959年)(力量調節式の発条式咬合力測定器を使用して下顎大臼歯の咬合力を測定した)、細川貞雄¹⁴⁾ (1959年)、長野三代太(1959年)(細川同様の発条式を利用して乳歯の咬合力平

* Graduate School (Major in Prosthetics) Nihon University School of Dentistry (Director: Prof. Setsuzō Okino)

日本大学大学院歯学研究科(補綴学専攻)
(指導 沖野節三教授)

約 4 kg を測定した)等が発条式によるものを使用した。

2) 槓杆作用によるもの。

Rosenthal¹⁰⁾ (1896 年) (関節にて結合せる槓杆に分銅を吊して測定した), Eckermann¹⁶⁾ (1911 年), 木本信義¹⁷⁾ (1957 年) (金属の咬合部を合成樹脂で被覆), 林木栄・伊藤秀三郎¹⁸⁾ (1958 年), 小西繁一¹⁹⁾ (1959 年) (鋼製の受圧部をゴムで被覆) 等があるが, 三浦¹⁵⁾ は槓杆作用によるものは受圧部を瞬間的に咬合させると, 多分に開口による下顎自体の加速度が加わり以外に大きな値を示すということを指摘している。

3) 油圧によるもの。

Schwander-Lickleig⁴⁾, Dieck¹⁹⁾ (1909 年) の測定器は気圧計を応用した弓状管よりなり, その中に液体を入れた。管は度盛板に突出し, 先端に咬合部を有す。これに圧力を加えると管上端にある球頭桿を圧下する。この時管内の液体は圧下され指針を移動させる。Howard K. Worner¹⁴⁾ (1954 年) (1 歯対 2 歯の咬合関係のもとで測定した咬合力と上下同名歯間で 1 対 1 歯の咬合関係で測定した値との比較) 等によつて使用されている。

4) Brinell 硬度によるもの。

Schönwald⁶⁾ (1921 年), Günther⁴⁾ (1920 年), Köhler-Etling⁴⁾ (1922 年), Oande R. Baker¹⁹⁾ (1940 年), P. J. Brekhas¹⁹⁾, R. L. Dowell¹⁹⁾ 等によつて使用されている。

5) 電気的变化によるもの。

Manly¹⁹⁾ (1948 年) (Inductance method によるもので, ゾンデおよび増巾器が不安定のため 0 点が狂う), Howell¹⁹⁾ (1950 年), 石河圭介¹⁹⁾ (1950 年) (水晶 X-cut Piezo 電気応用), 三浦不二夫・角田正明^{10) 11) 15)} (1951 年) (高周波利用による Condenser-method), Anderson²¹⁾ (1953 年) (ゾンデを用うることなく, 直接被検者の金冠内に抵抗線歪計を封入する方法を用いたが, 安定性が不充分であつた) 等によつて測定が試みられたが, いずれも満足なものではなかつた。

自家考案の測定装置の構造

著者らの考案した測定装置はフォイルストレインゲージを応用し, 安定化をはかつた電気的測定法である。

本装置はモニターブラウン管オシロスコープ, 前置増巾器, 主増巾器および記録器より構成される (図 1 a)。

前置増巾器はプラグイン方式により 4 種類に使い分けことができ, 著者らは歪・圧力計用増巾器を使用した。その原理は次の通りである。まずトランスジューサーとなるバイトエレメントに力を加えると, その力に比例して内部のブリッジ回路に電圧のアンバランスを生ずる。そこで出されたわずかな電圧が前置増巾器に入る。増巾された出力は一方ではブラウン管オシロスコープ上

図 1 a 測定装置 (多用途監視記録装置) の正面観

図 1 b 測定装置 (多用途監視記録装置) の系統図

にて波形として観察され, 他方同じ出力が主増巾器に入り, 更に増巾されてインク書きオシログラフにて記録される (図 1 b)。

バイトエレメントはゲージベースがステンレススチールで, 大きさは直径 20 mm, 厚さ 12 mm である。測定範囲は最大 150 kg まで測定出来る。精度の測定はアムスラー型荷重試験機にて行つた。製作にあたっては次のことに考慮を払つた。まず一般的な条件として次の 4 項目すなわち

- ① 温度補償が完全に行われること。
- ② 測定範囲が十分であること。
- ③ クリープを最小にすること。

図 2 a バイトエレメントの外観

図 2 b バイトエレメントの内部構造

図 2 c バイトエレメントの分解図

④ 絶縁性の高いこと。

に考慮を払い、さらに口腔内操作という特殊条件に適合するために次の4項目すなわち、

① 形、大きさが咬合部に適合し安定すること。

② 防湿が完全であること。

③ 咬合力によって疲労したり、破壊されないこと。

④ 軽いこと(16.0 g)。

等に考慮を払った(図 2 a, 図 2 b)。

バイトエレメントの内部を更に分解すると、中央のステンレススチールのパイプの周囲に4枚のフォイルストレインゲージをアララダイトを使用して貼つてある。この4枚のフォイルストレインゲージによつてホイートストンブリッジ回路を構成し、パイプの縦横両方の歪を感じ大きな感度を得ると同時に温度補償を完全に行っている(図 2 c)。

フォイルストレインゲージ(図3)は比較的歴史の新しいもので、アドバンスという銅ニッケル合金で作られている。著者らは長さ1.0 mm, 巾1.6 mm という日本最小のものを採用した。ゲージを貼布してあるパイプが歪むと、ゲージ自身も歪むので、電気抵抗に変化を生ずるわけである。このゲージ全体の抵抗は60オームである。従来のワイヤーストレインゲージにくらべた時の利点としては、小型に作れることと、この折返しの部分が多いので、横感度による誤差が少いということ等である。更に上下顎の間隔を任意に調節する目的で、バイトエレ

図 3 フォイルストレインゲージ

メントにとりつけるアダプターを製作した。固定性アダプターは厚さ5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm の4種であり、非固定性アダプターはネジにより自由に高さを変えられるもので5種製作し3 mm より30 mm まで調節出来る(図 4 a, 図 4 b)。

なお著者らは咬合力という言葉を使用しているが、この点について少し説明する。一般に日常咬合圧という言葉をよく用いるが、圧というと単位面積をもつて表わさなくてはならないことと、物理学的に水圧とか気圧とかいったハイドロスタティックな力を連想しやすいという2つの理由から咬合圧でなく、咬合力という言葉を選んだ。実際には単位面積を測定して、咬合圧も求めたいと

図 4 a 固定性アダプター

図 5 a 前歯の咬合力測定

図 4 b 非固定性アダプター

図 5 b 臼歯の咬合力測定

ころであるが、バイトエレメントの方は面積の単位が求まるとしても、それに接する歯牙の表面積を正確に求めることは現在のところ困難であるし、その上実際に力を受ける場合には咬合面よりも、歯根膜の表面積が関連してくるわけで、一層複雑な条件となつて来るので、現在のところ咬合力の測定にとどまつて、単位は重量 (kg) をもつて表わした。

正常咬合で健康歯牙を有する成年男子 20 名につき、本装置を用いて、上下の 1 対 1 歯の咬合による最大咬合圧を測定した (図 5 a, 図 5 b)。

グラフの 1 mm の高さが 2 kg に相当するように較正し、記録紙の送り速度は 1 mm/sec とした。測定は右側第二大臼歯より始まり、左側第二大臼歯に終らせた (図 6 a, 図 6 b)。

測定に際しては咬合部に疼痛を感じずる程度まで、出来る限り閉口させ、その時の値を 5 回記録し、その平均値をもつて咬合力とした。図 7 はその結果を示す。

今後本装置を、1) 20 代の正常歯列者の各歯牙別の咬合力、2) 無髄歯に咬合力、治療効果をあらわした自然歯の咬合力、3) 乳歯の咬合力、4) Bridge, Crown, 局部義歯、総義歯の咬合力の測定に応用する計画である。

被検者 A ♂ 24 j

図 6 a ペン書きオシログラフ

被検者 B ♂ 23 j

図 6 b ペン書きオシログラフ

7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	……歯式
32.4	33.3	22.8	21.3	16.2	10.6	11.2	10.8	11.2	14.1	14.9	22.0	30.9	36.7	……kg

図 7 成人男子 20 例の咬合力の平均値

稿を終るにあたり、本論文作成にさいし御懇篤なる御指導および御校閲を辱うした日本大学大学院歯学研究科補綴学沖野節三教授に深甚なる敬意を表し、あわせて本装置作製に協力して下さった日本光電工業戸崎氏、昭和測器石山一郎氏、日本大学理工学部田中武久氏に対して深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 石河圭介：日本人咬合圧の研究，歯科学雑誌，7 巻，7 号，頁 316，1950 年。
- 2) 内山有三：邦人歯牙の咀嚼圧，日本歯科口腔科学会雑誌，50 号，頁 18，1933 年。
- 3) 内山有三：邦人歯牙の咀嚼圧，口腔科学会雑誌，5 巻，7 号，頁 173，1933 年。
- 4) 川上政雄：咀嚼圧，附ハーベル氏測定器に就て，口腔病学会雑誌，第 2 巻，第 1 号，頁 15，1928 年。
- 5) 木本信義：電気衝撃療法の際の歯牙障害に関する臨床歯科学的生理学的研究(2)，歯科学報，57 巻，4 号，頁 146，1959 年。
- 6) 黒沢佐太郎：日本人女子生徒の握力及び咬合力，歯科月報，29 巻，4 号，頁 252，1956 年。
- 7) 小西繁一：人歯牙の健全歯及び諸種疾患並に補綴に於ける咬合圧に関する研究，日本口腔科学会雑誌，8 巻，4 号，頁 427，1959 年。
- 8) 佐藤昌朝：咬圧力(咀嚼力)測定の意義，日本の歯界，178 号，頁 27-31，1934 年。
- 9) 佐藤昌朝：咬合圧力に関する私見，学校歯科，1 巻，1 号，頁 28，1935 年。
- 10) 角田正明・三浦不二夫：咀嚼力の測定，日本歯科医師会学会誌，頁 22-23，1950 年。
- 11) 角田正明・三浦不二夫：咀嚼力の測定，日本生理学雑誌，13 巻，1-2 号，頁 116，1951 年。
- 12) 長野三代太：乳歯の咬合力に関する実験的研究，

- 九州歯科学会雑誌，13 巻，3 号，頁 403，1959 年。
- 13) 林木栄・伊藤秀三郎：幼児の咬合力，歯科学報，58 巻，5 号，頁 1，1958 年。
- 14) 細川貞雄：歯牙の咬合力に関する研究，医学研究，29 巻，8 号，頁 2915，1959 年。
- 15) 三浦不二夫・角田正明：咬合圧(咀嚼圧)に関する研究，日本歯科医師会雑誌，7 巻，7 号，頁 293，1954 年。
- 16) 村松篤良・塩川延洋・三宅聰・高木米一：発条式咬合力測定器で測定した下顎第 1 大臼歯の最大咬合力について，口腔病学会雑誌，20 巻，4 号，頁 157-162，1953 年。
- 17) 村松篤良・塩川延洋・三宅聰・高木米一：新しい咬合力測定器，口腔病学会雑誌，22 巻，4 号，頁 278，1955 年。
- 18) 村松篤良・塩川延洋・三宅聰・高木米一：新しい咬合力測定器，歯科材料研究所報告，8 号，101 頁，1957 年。
- 19) 矢崎正方：下顎運動の解剖学的研究，歯科学報，第 34 巻，第 7 号，頁 1-31，1927 年。
- 20) 吉村信喜・吉田達也・野瀬清：成長期に於ける咬合力の変化，臨床歯科，223 号，頁 20，1959 年。
- 21) Anderson, D. J.: A method of recording masticatory loads, J. D. Res., 32 : 785-789, 1953.
- 22) Arnone: Dinamometro oris, Dent. Cosmos, H., 4, 428, 1908.
- 23) Black: An investigation of the physical characters of human teeth in relation to their diseases and to practical dental operations, together with the physical characters of filling-materials, Dent. Cosmos, 5-9, 1895.
- 24) Black: The force exerted if the closure of jaws, Dent. Cosmos, 37 : 469-484, 1895.
- 25) Dennis: Bericht über den zahnärztlichen Weltkongress in Chicago, D. M. f. Z., H. 3, 1893.
- 26) Eckermann: Physiologische Bedeutung der kieferbelastung und ihre Ermessung, D. M. f. Z., H. 9, 1911.
- 27) Greve: Haberscher Kaudruckmesser, D. M. f. Z., H. 17, 1926.
- 28) Greve: Des Ergebnisse meiner Prüfung des Haberschen Kaudruckmesser, Zahnärz. R. H. 48, 1926.
- 29) Greve: Schlutzbemerkungen auf Habers Entgegung zur Prüfung seines Kaudruckmessers, D. M. f. Z., H. 23, 1926.
- 30) Haber: Kaudruckmessapparate, Zahnärz. R. H. 7-9, 1927.

- 31) Haber : Die Aufgaben der Kaudruckmessung und der Zahndruckprüfung, 1926. Berlin.
 - 32) Haber : Über Ergebnisse mit dem Haberschen Kaudruckmesser, Zahnärztl. R. H. 28-49, 1927.
 - 33) Haber : Habersche Kaudruckmesser, D. M. f. Z., H. 23, 1926.
 - 34) Howard K. Worner : Gnathodynamics, Austr. J. D., 381, 1959.
 - 35) Howell, A. H. and Manly, R. S. : An electric strain gauge for measuring oral forces, J. D. Res. 27 : 6, 705-712, 1948.
 - 36) Morelli : Über Kaudruck. W. Vierteljahrsschrift. f. Z., H. 4, 1920.
 - 37) Müller Max : Über die Hebelverhältnisse unsers unterkiefers, seine Vorschiebebewegung und den Schneidezahnführungsstift, am Artikulator, D. M. f. Z., H. 10, 1912.
 - 38) Sauer : Mit wieviel gewicht beizt d. Menschen, D. M. f. Z., H. 2, 1891.
 - 39) Sigmund : Die Kraftleistungen der Zähne, Deutsch, Vierteljahrsschr. f. Z., H. 2, 1871.
-