

ブラケットとワイヤー間の摩擦力に関する研究

——抵抗荷重の校正について——

山口 和憲, 河田 俊嗣, 吉田 恵
小田 義仁, 森本 徳明, 山内 和夫

Study on Frictional Force between Brackets and Wires

—— Calibration of Resistance Force ——

Kazunori Yamaguchi, Toshitugu Kawata, Satoshi Yoshida, Yoshihito Oda,
Noriaki Morimoto and Kazuo Yamauchi

(平成5年1月18日受付)

序 文

歯科矯正治療において multi-bracket 法を応用するとき、歯に接着された bracket を wire に沿って slide させて歯を移動することがある。著者ら¹⁻⁶⁾は、このときの bracket と wire との間に生ずる摩擦力 (frictional resistance) について順次報告した。前回^{2-4,6)}の報告では、重さの規定された荷重を抵抗中心に吊るすことで歯の移動に対する抵抗とし、抵抗荷重を主体にした calibration (力の校正) を行なった。その結果、bracket の幅と同様に矯正力の作用 point と抵抗荷重の大きさが摩擦力の大きさに少なからぬ影響を与えていることがわかった。

本報告では、同じ simulation model を用い牽引力を主体に calibration を行ない、calibration の方法の違いによる摩擦力を検討した。また、歯根膜あるいは歯槽骨に伝達される矯正力は、時間の経過に伴う歯の変位及び移動によって変化するものと考え、歯の移動によって抵抗の強さが変化するように抵抗荷重を設定し、抵抗荷重の負荷の方法によってどのように摩擦力が変化するかを検討した。

方 法

I. bracket と wire の固定方法

使用した wire は $0.016" \times 0.016"$ の stainless steel wire (3M-Unitek) であり、図1に示すような wire

広島大学歯学部歯科矯正学講座 (主任: 山内和夫教授)

固定台に 2.0 kg の張力で固定した²⁾。また、使用した stainless steel bracket (Tomy International Co.) は $0.018" \times 0.025"$ の slot をもち、幅は wide twin bracket (以下 wide bracket) で 4.1 mm と narrow twin bracket (以下 narrow bracket) で 2.1 mm であった²⁾。bracket の固定法と bracket と wire との結紮の方法及び牽引 point と抵抗中心の位置はすでに報告した方法²⁻³⁾に従った。wire と bracket を固定した固定台は精密万能材料試験機インストロン6022 (Instron Co.) のテーブルに固定し、精密万能材料試験機の cross-head と牽引用フックを長さ 25 cm, 直径 1.2 mm の二本のワイヤーで連結した。この連結は三つの牽引 point でそれぞれの牽引実験ごとに行なった。

II. 抵抗荷重の負荷の方法

前回⁴⁾の報告では、crosshead と牽引用フックをワイヤーで連結した後、crosshead の移動に先立ち抵抗中心の位置に抵抗荷重を吊るした (calibration-A)。このときの抵抗荷重 (F1) の大きさは図2に示すように牽引 point を中心として、bracket に wire を結紮したために生ずる抵抗力 (F2) と平衡なモーメントの関係になるようにした。すなわち、この平衡関係によって想定した歯の長軸は wire に対して上向きあるいは下向きに傾斜する。その後、零設定を行ない牽引を開始した。

本研究では

1. calibration-B

calibration-A において、抵抗荷重を抵抗中心に吊る

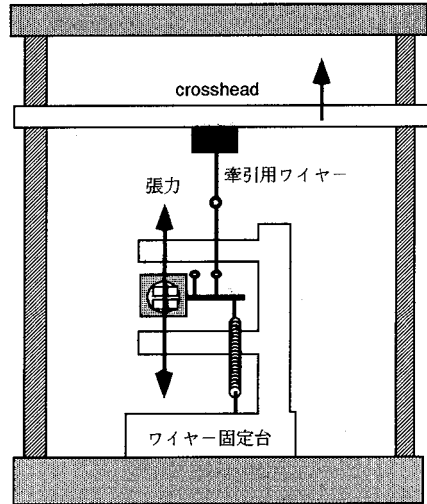
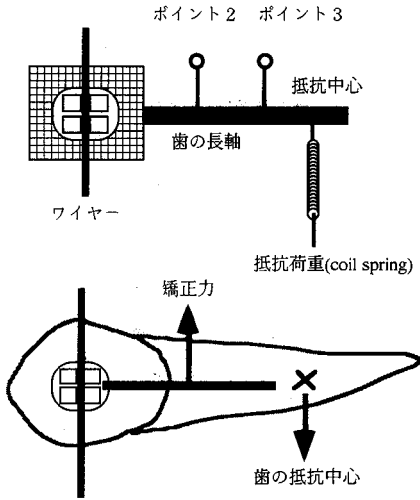


図1 ブラケットに設定した矯正力の作用ポイントと抵抗中心及びブラケットの牽引方法

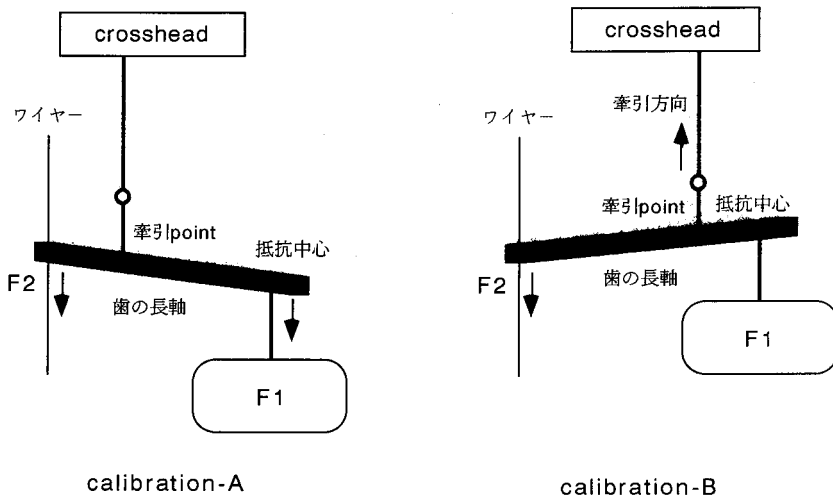


図2 抵抗荷重 (F1) と wire と bracket の結紮による抵抗力 (F2) のモーメントの平衡

した後、試験機の crosshead を移動して wire に対する歯の長軸の変化を確認し牽引方向に対するモーメントの平衡を取った (図2)。その後、零調整を行ない計測を開始した。

2. calibration-C

まず、wire に対しての歯の長軸が垂直になるよう crosshead からの牽引用ワイヤーを牽引 point に固定した。次いで、coil spring を歯の長軸に垂直になるように抵抗中心とワイヤー固定台の間に passive に固定し (図1)、零調整を行ない計測を開始した。三種類の coil spring を使用し、2.0 mm 牽引したときの牽引力 (抵抗荷重値) を精密万能材料試験機で bracket の

牽引前後に計測し、その平均値を coil spring の最大抵抗荷重値とした。narrow bracket で 99.3 g, 195.0 g, 390.2 g, wide bracket で 101.5 g, 197.1 g, 391.4 g であった。

crosshead の移動速度は毎分 2.0 mm とし 1 分間移動し移動期間中の最大牽引力を最大摩擦力として 4 回計測した。なお、calibration-C による牽引力の計測では、bracket を牽引したときの最大牽引力から coil spring の最大抵抗値を差し引いたものを最大摩擦力とした。

計測した最大摩擦力は、矯正力の作用 point と抵抗荷重の違い及び calibration の違いによる影響を分散分

表1 calibration-A および B による摩擦力

		narrow bracket			wide bracket		
		100 g	200 g	400 g	100 g	200 g	400 g
calibration-A	point 2	30.5	41.0	52.6	62.8	75.2	271.0
	point 3	23.4	34.1	61.2	129.5	99.5	82.2
calibration-B	point 2	36.9	52.7	107.8	46.3	72.2	111.3
	point 3	105.2	33.4	56.7	70.8	39.4	38.2

析により検討した。

結 果

I. calibration-B による摩擦力

表1と図3に calibration-B によって計測した各 bracket の摩擦力を示した。いずれの bracket においても、point 2 の牽引では抵抗荷重の大きさの増加とともに摩擦力は増加した。しかし、point 3 の牽引では抵抗荷重が 100 g の時のよりも 400 g の時の方が摩擦力が小さかった。これは、前回⁴⁾の報告 (calibration-A) と同様の結果であった。

また、いずれの bracket においても抵抗荷重が 100 g の場合、point 3 を牽引した方が point 2 を牽引するより摩擦力が大きく、抵抗荷重が 200 g と 400 g の場合、逆に point 3 を牽引した方が小さかった。この結果も前回⁴⁾の報告 (calibration-A) と一致していた。

II. 抵抗荷重に coil spring を用いた場合 (calibration-C)

表2と図4に calibration-C による各 bracket の摩擦

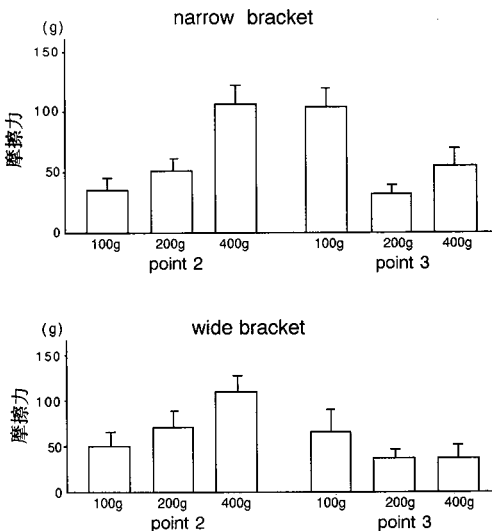


図3 calibration-B による bracket の摩擦力に対する抵抗荷重の大きさと牽引ポイントの影響

力を示している。計測された bracket の最大牽引力を見ると、いずれの bracket 及び牽引 point においても、抵抗荷重の大きさの増加に伴って各 bracket の最大牽引力が増加していた。しかし、抵抗荷重に用いた各 coil spring の最大抵抗荷重値を差し引いた最大摩擦力値を見ると、narrow bracket においては point 2 を牽引した場合、抵抗荷重の増加に伴って摩擦力は増加し、point 3 を牽引した場合、抵抗荷重の増加に伴って摩擦力は減少していた。一方、wide bracket ではいずれの牽引 point においても抵抗荷重の増加と共に摩擦力は増加していた。

III. 抵抗荷重の負荷方法による違い

図5は wide bracket, 図6は narrow bracket の摩擦力を calibration の違いによる比較を示す。上段は前回⁴⁾報告した calibration-A による摩擦力であり、中段は calibration-B, 下段は calibration-C による摩擦力を示す。calibration-A と B を比較すると、wide bracket ではいずれの牽引 point 及び抵抗荷重においても calibration-A の方が摩擦力が大きかった。narrow bracket では、抵抗荷重 100 g で point 3 を牽引した場合には calibration-A の方が摩擦力が大きかった、抵抗荷重 400 g で point 2 を牽引した場合には calibration-B の方が摩擦力が大きかった。calibration-C と calibration-B を比較すると、抵抗荷重の大きさあるいは牽引 point の違いで小差はあるものの全体的に見て、いずれの bracket においても大差は見られなかった。

考 察

前回までの報告^{2-4,6)}で示したように、wire と各 bracket との間に生じる摩擦力は抵抗中心に吊るした抵抗荷重の大きさと牽引 point によって左右された。calibration の方法を変更した今回の報告でも、いずれの bracket においても point 2 を牽引した場合には抵抗荷重の増加と共に摩擦力は増加し、point 3 を牽引した場合には抵抗荷重の増加と共に摩擦力は減少していた。さらに、いずれの bracket においても 100 g の抵抗荷重では point 3 を牽引した方が摩擦力が大きく、

表 2 calibration-C による摩擦力

	narrow bracket			wide bracket		
	99.3 g	195 g	390.2 g	101 g	197.1 g	391.4 g
point 2	21.8	32.0	47.5	29.2	64.1	96.8
point 3	69.0	46.5	34.5	10.5	55.6	43.2

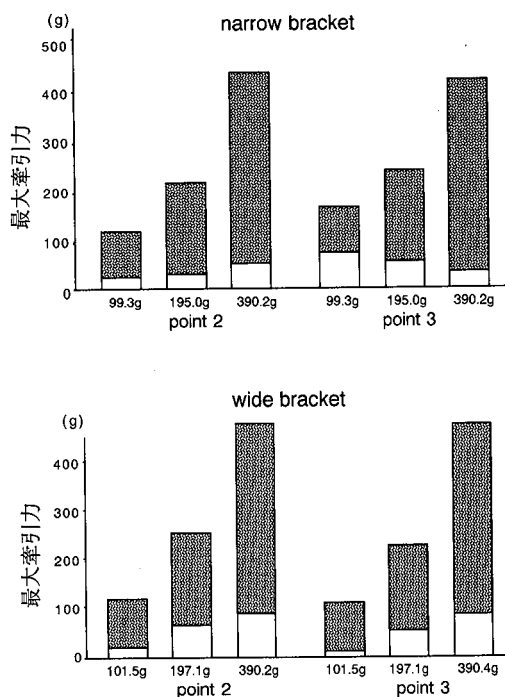


図 4 各 bracket の摩擦力に対する抵抗荷重 (calibration-C) と牽引 point の影響
 ■: coil spring の最大抵抗荷重値

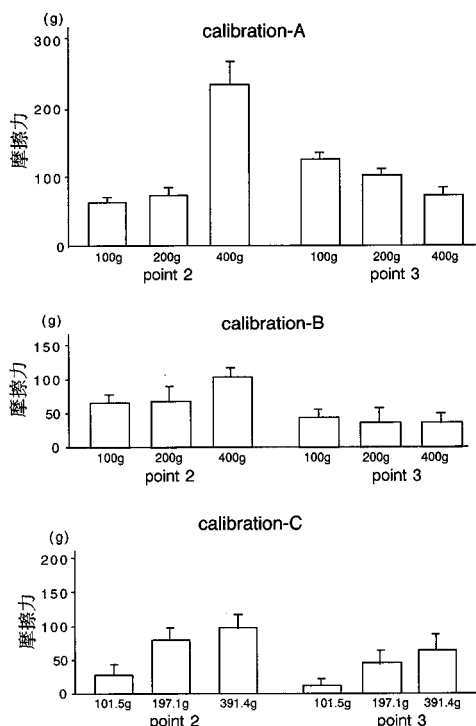


図 5 calibration による摩擦力 (wide bracket) の比較

400 g の抵抗荷重では小さくなっていった。これらの結果は、前回報告した抵抗荷重の設定 (calibration-A) の場合と一致していた。calibration による摩擦力の違いを見ると、いずれの bracket においても calibration-A による point 1 の牽引において大きかった。calibration-A では牽引終了前に F1 と F2 の平衡関係をとったため、牽引開始後歯の長軸が傾き新たな平衡関係が達成されるまでの牽引力が最大牽引力の中に含まれたためと考えられる。

本研究の calibration-B では、bracket 牽引によって wire と bracket の間の結紮による牽引方向への抵抗 (F2) と抵抗荷重 (F1) の平衡関係ができた後に零調節を行なった。そのため、ワイヤーの変形あるいはたわみなどの要因もあるが、牽引開始後の牽引力はおおよそワイヤーと bracket の摩擦力と考えられる。

次に、抵抗荷重の負荷の方法の違いから摩擦力を考

えると、歯根膜あるいは歯槽骨に生ずる歯の移動に対する抵抗は作用した矯正力の反作用であり、歯の変位によって増加すると想像される。今回の方法では、bracket の移動に伴って抵抗荷重が増加するように抵抗に coil spring を抵抗荷重として用いた。

その結果、牽引終了時の最大牽引力はいずれの牽引 point においても抵抗荷重の大きさの増加とともに大きくなった。bracket の牽引量 (2.0 mm) と coil spring の伸長量は全く同じではないが、この bracket の牽引によって計測された最大牽引力の中には抵抗として用いた coil spring の最大抵抗荷重値が含まれているため、それを差し引いたものを最大摩擦力と考えた。その結果、摩擦力に対する矯正力の作用 point と抵抗荷重の大きさの影響は、抵抗荷重値が移動期間中変化しない場合 (calibration-B) と同様であった。また、それぞれの抵抗荷重の大きさ及び牽引 point によ

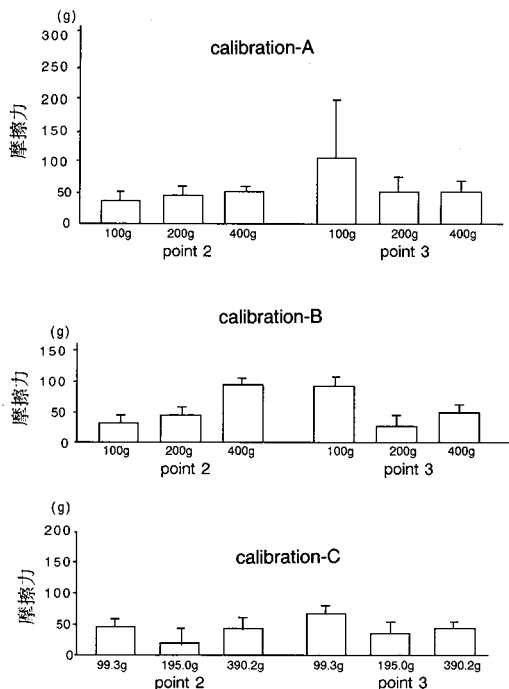


図6 calibrationによる摩擦力(narrow bracket)の比較

る摩擦力にも大きな差は見られなかった。このように抵抗荷重の負荷の方法を変えても、bracketとwireとの間に生ずる摩擦力は抵抗荷重の大きさや矯正力の作用pointの影響を殆んど受けないものと考えられる。

モデルを用いた歯の移動に関する研究では、そのモデルを生体に近似させるという問題がある。歯の移動は歯根膜あるいは歯槽骨の変形による歯の変位に始まり、歯槽骨の骨改造による歯の移動に転じていくため、抵抗の強さ及び抵抗中心の位置は歯槽骨の改造変化⁷⁻⁹⁾によって変化すると考えられる。

また、矯正力の作用方法によっては歯根膜の粘弾性体¹⁰⁾としての特徴も考慮する必要がある。本研究のsimulation modelでは骨の改造変化による抵抗中心の変化は考慮していない。このような点について今後の課題として検討してゆきたい。

ま と め

bracketとwireの間に生ずる摩擦力に対する矯正力の作用pointと抵抗荷重の影響をsimulation modelを用いて検討してきた。

本研究では、抵抗荷重の負荷の方法による摩擦力を検討し以下の結果を得た。

1. bracket牽引後にcalibrationを行なった計測に

おいても、矯正力の作用pointと抵抗荷重の大きさの摩擦力に与える影響は前回の報告と同様であった。

2. おもりの代わりに、歯の移動に伴って荷重値の変化するcoil springを用いても、最大牽引力からcoil springの抵抗荷重値を差し引いた摩擦力に対して矯正力の作用pointと抵抗荷重の大きさは前回の報告とほぼ同様の影響を示した。

以上のことよりsimulation model上での計測で、摩擦力に対する矯正力の作用pointと抵抗荷重の大きさの影響がさらに明らかとなった。

文 献

- 1) 曾 鴻哲, 天真 覚, 他: ブラケットとワイヤーのスライディングを利用した歯牙移動について. 中四国矯歯誌 1, 83-97, 1989.
- 2) 山口和憲, 小田義仁, 森本明徳, 山内和夫: ブラケットとワイヤーの間の摩擦力に関する研究—simulation modelにおける抵抗荷重と矯正力作用ポイントの影響—. 広大歯誌 24, 263-272, 1992.
- 3) 山口和憲, 小田義仁, 森本徳明, 山内和夫: ブラケットとワイヤーの間の摩擦力に関する研究—セラミックブラケットとステンレスブラケットの比較—. 広大歯誌 24, 273-280, 1992.
- 4) 小田義仁, 森本徳明, 山口和憲, 山内和夫: ブラケットとワイヤーの間の摩擦力に関する研究—幅径の異なる三種類のステンレスブラケットの摩擦力の比較—. 中四国矯歯誌 4, 印刷中, 1992.
- 5) 矢部祐子, 曾 鴻哲, 天真 覚, 瑞木裕史, 山下芳樹, 河田照茂, 山口和憲, 山内和夫: 下顎大白歯のmaximum mesial movementによる大白歯のアンクルⅡ級関係の改善について. 中四国矯歯誌 4, 印刷中, 1992.
- 6) Yamaguchi, K., Nanda, R.S., Morimoto, N., Oda, Y. and Yamauchi, K.: Considerations in sliding tooth movement along sliding movement. Submitted to Angle Orthod, 1992.
- 7) Burstone, C.J. and Pryputniewics, R.J.: Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. Am. J. Orthod., 77, 396-409, 1980.
- 8) Burstone, C.J. et al.: Center of resistance of the human mandibular molars. J. Dent. Res., 60, 515, 1982.
- 9) Pedersen, E., Andersen, K. and Gjessing, P.E.: Electronic determination of center of rotation produced by orthodontic force system. Euro. Orthod. Soc., 12, 272-280, 1990.
- 10) 倉島晃一: 歯周組織の力学的性状に関する研究(とくに歯根膜および歯槽骨について). 口病誌 36, 20-42, 1969.