

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——

山口 和憲, 小田 義仁, 森本 徳明
 山内 和夫

Study on Frictional Force between Brackets and Wires
 —— Effect of the Resistance Force and Point of Force Application on the
 Frictional Force ——

Kazunori Yamaguchi, Yoshihito Oda, Noriaki Morimoto
 and Kazuo Yamauchi

(平成4年9月4日受付)

序 文

マルチブラケット法で行なう歯の移動の方法には、活性化 (activate) されたループワイヤーの弾力を直接歯に加える方法と¹⁻³⁾、ブラケットに矯正力を加えワイヤーにそってブラケットを滑べらせる (スライディング) 方法²⁻⁵⁾がある。後者は単純で簡便なため臨床上頻繁に応用されているが、ブラケットとワイヤーの接触点に生ずる摩擦力 (frictional resistance) はブラケットに加えられた力の一部を吸収し、ときには歯の移動に適切な矯正力の大きさが不足することになる。このため、しばしば必要以上に大きな力を加えがちとなり固定源の崩壊を招き、目的とする歯の十分な移動が得られないことがある。そこで、目的とする歯の移動を着実に進めるためにはこの摩擦力を最小にする必要がある。

ブラケットとワイヤー間の摩擦に関与する因子としては、今日まで使用するブラケットとワイヤーの性状に関するものが主に考えられてきた⁶⁻¹⁷⁾。しかし、摩擦力はブラケットとワイヤー性状に関する摩擦係数と同時に、ワイヤーに対するブラケットの傾斜 (歯の移動様式) による接触力に比例することも報告されている^{7,9,16,18-20)}。著者らは²¹⁾、このような歯の移動様式に関与する、(1)歯の移動に対する抵抗 (生力学的)

の大きさ、(2)矯正力の作用位置 (作用ポイント) の違いなどの要因がブラケットとワイヤー間の最大摩擦力に大きな影響を与えていることを simulation model を用いて指摘した。

本研究では、歯の抵抗の大きさ、矯正力の作用ポイントの二つの要因が、臨床的に利用されている様々な種類のブラケットとワイヤー間の摩擦力にどのような影響を与えているのかについて simulation model を利用して検討を加え、より効果的な歯の移動法を知ろうとした。

研究材料と計測方法

I. 研究材料

研究材料として用いたブラケットとワイヤーの種類は以下の通りであり、ブラケットは 0.018×0.025 インチの slot (溝) をもち幅径はほぼ等しい (medium size: 3.0 mm-3.2 mm) ものをを用いた。また、ワイヤーはいずれも 0.016×0.016 インチの角型を用いた。

使用ブラケット

- a. Stainless steel bracket (Tomy international 社製, 以下 SS ブラケット)
- b. Ceramic bracket (Toray 社製, 以下 CM ブラケット)
- c. Friction free bracket (American Orthodontics 社製, 以下 FF ブラケット)
- d. Activa (A-Company 社製)

使用ワイヤー

- a. Elgiloy wire (Rocky mountain 社製, 以下 EL ワイヤー)
- b. Stainless steel wire (3M Unitek 社製, 以下 SS ワイヤー)
- c. Super-Elas wire (Forestadent 社製, 以下 SE ワイヤー)

以上の各種のブラケットとワイヤーとの結紮はエラスチックモジュール (Lancer 社製) を用いた。図1に用いた4種類のブラケットを示している。SS ブラケット, CM ブラケット, FF ブラケットでは結紮用の wing を持ち, Activa は結紮専用のロックを備えている。

II. 摩擦力の計測方法

メッシュ付き金属板の中央に直径 2.0 mm のワイヤー (歯の長軸を想定) を鑲着し, 金属板の中央にブラケットの slot がこのワイヤー (歯の長軸) に垂直になるように各ブラケットを矯正用接着材で固定した (図2)。

また, このワイヤー (歯の長軸) にはブラケットの slot からの距離が 3.0 mm, 5.6 mm の点 (ポイント 1, ポイント 2) に牽引用フックを設け (矯正力の作用ポイント), それぞれのポイントでブラケットの牽引を行なった (図2)。さらに, ブラケットの slot か

ら 9.6 mm の点 (抵抗中心) にフックを設け, 歯の移動に対する生力学的抵抗を想定した抵抗荷重¹⁹⁾ (100 g, 200 g, 400 g) を吊した (図2)。図2右は実験に用いたワイヤー固定台を示している。研究材料として用いたワイヤーはワイヤー固定台に 2.0 kg の張力を与えて固定した。次に, ブラケットを結紮したワイヤーを固定したワイヤー固定台は精密万能材料試験機インストロン 6022 (インストロン社製) のテーブルに固定した (図3)。試験機の crosshead と牽引用フック間は長さ 25 cm, 直径 1.2 mm の二本の牽引用ワイヤーで連結した。試験機の crosshead の移動速度は毎分 2.0 mm とし 1 分間移動した¹⁹⁾。このときの最大摩擦力を計測し, X-Y plotter には 1 分間の変化を記録した。以上からブラケットとワイヤーの種類, 荷重の大きさ, 牽引の位置などの要因が計測された最大摩擦力に与える影響を分散分析によって検討した。

結 果

I. 牽引する位置と抵抗荷重の大きさの影響

図4に Activa を SS ワイヤーに結紮し 200 g の抵抗荷重を吊るして, ポイント 1, ポイント 2 および抵抗中心を牽引したときの摩擦力の変化を示した。ポイント 2 を牽引したときにはほとんど摩擦が観察されなかったのに対し, 抵抗中心を牽引したときには 60 g

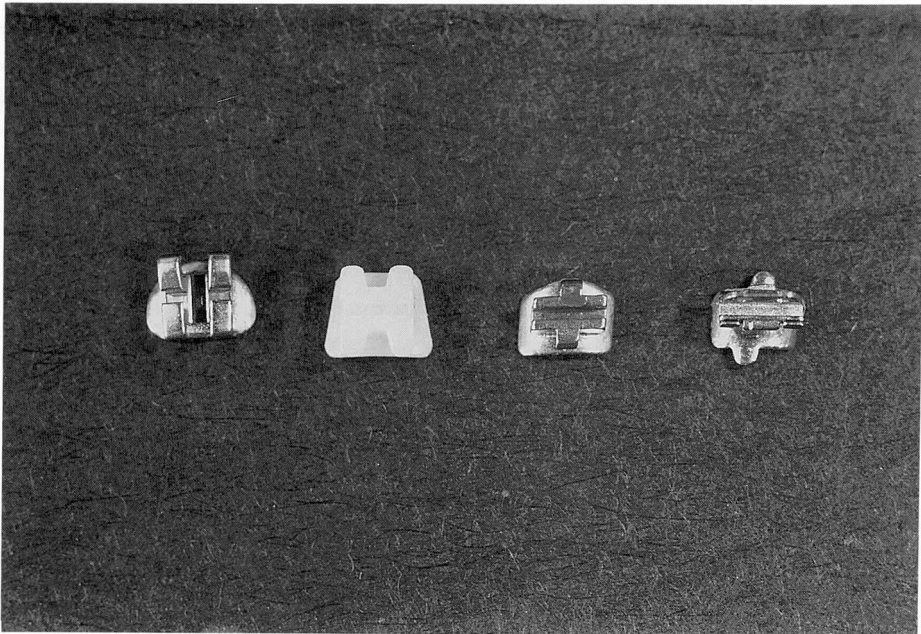


図1 使用した四つの種類のブラケット。
左から SS ブラケット, CM ブラケット, FF ブラケット, Activa を示し, 各ブラケットは 0.018×0.025 インチの slot (溝) を備えている。

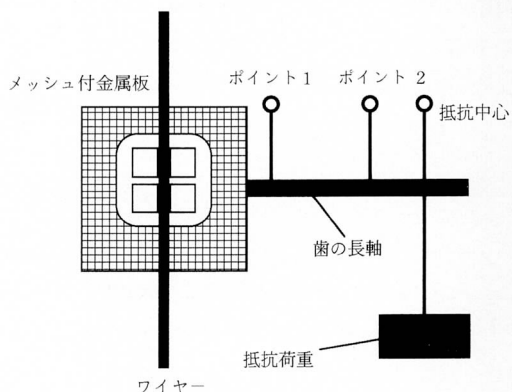


図2 ブラケットの牽引方法。

左：ブラケットに設定した矯正力の作用ポイント（ポイント1，2）と抵抗中心。抵抗中心には100 g，200 g，400 gの抵抗荷重を吊した。右：ワイヤー固定台。ブラケットを結紮したワイヤーを2.0 kgの張力をもって固定台に固定した。

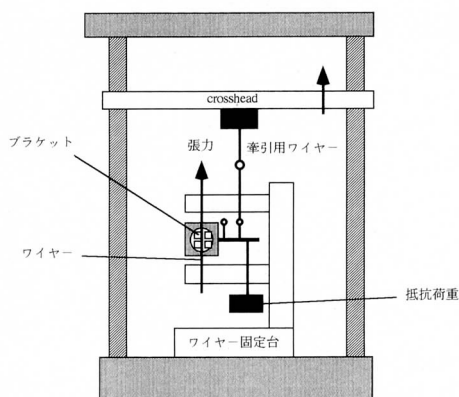
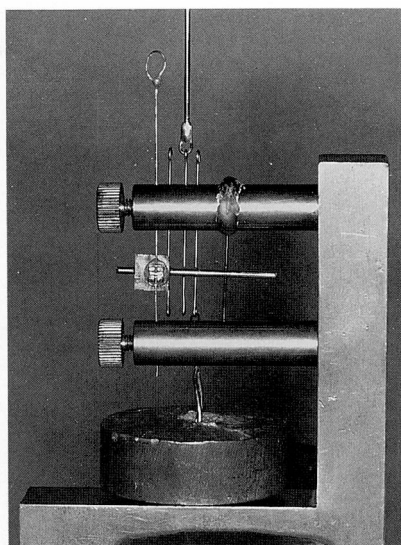


図3 ワイヤー固定台と精密万能材料試験機。ブラケットの牽引用フックと試験機の cross-head は長さ 25 cm，直径 1.2 mm の二本のワイヤーで連結した。

程度の最大摩擦力を示した。図5はSSワイヤーにSSブラケットを結紮し，200 gの抵抗荷重を抵抗中心に吊るして抵抗中心を牽引したときの摩擦の変化を示した。ブラケットの牽引にともない摩擦力は急速に増加していた。また，図6に同様のブラケットをワイヤーに結紮し，抵抗荷重100 g，400 gを抵抗中心に吊るしてポイント1およびポイント2を牽引したときの摩擦力を示した。100 gの抵抗荷重を吊るしてポイント1を牽引したときの摩擦力はポイント2を牽引したと

きよりも大きく，逆に400 gを吊したときの摩擦力はポイント2を牽引したときの方が小さかった。このようにブラケットとワイヤーの間に生ずる摩擦力は歯の移動に対する抵抗の大きさと矯正力の牽引位置の二つの要因に関連していることが考えられたので，各ブラケットとワイヤーの間の摩擦力をこの二つの要因から検討した。

1. SSブラケットとCMブラケットを使用した場合（図7，表1）

図7に示すように，SSブラケットとCMブラケットのELワイヤーおよびSSワイヤーに対する摩擦力は先に図6に示した結果と同様に，抵抗荷重の増加に伴いポイント1の牽引では増加し，ポイント2の牽引では減少していた。ニッケルチタニウム系のSEワイヤーに対しては二つの要因（抵抗荷重の大きさ，および矯正力の作用ポイントの違い）の影響は明確ではなかったが，いずれの抵抗荷重においてもポイント2よりもポイント1を牽引したときの摩擦力が小さかった。

2. FFブラケット，Activaを使用した場合（図8，表1）

FFブラケットのELワイヤーに対する摩擦力はいずれの牽引においても抵抗荷重の増加にともない減少した（図8）。SEワイヤーでは抵抗荷重の増加に伴って摩擦力も増加していた。SSワイヤーに対してはポイント1の牽引で抵抗荷重の増加による摩擦力の増加が認められた。さらに，FFブラケットではいず

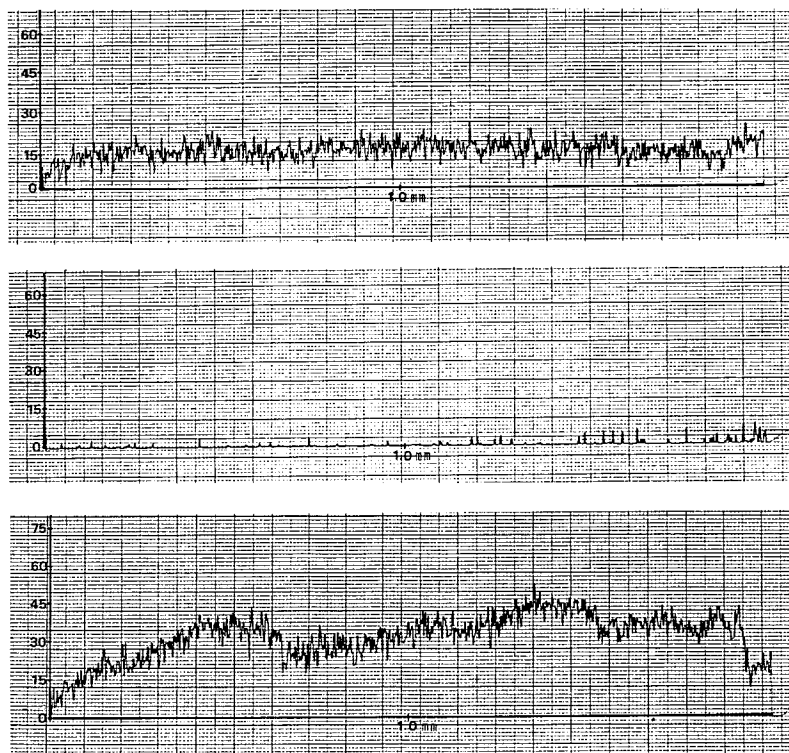


図4 ワイヤーに結紮した Activa に 200 g の抵抗荷重を吊るし、ポイント1、ポイント2および抵抗中心に牽引したときの摩擦力の変化。上段：ポイント1の牽引、中段：ポイント2の牽引、下段：抵抗中心の牽引。横軸：移動距離 (mm)、縦軸：摩擦力 (g)。ブラケットは 2.0 mm/分の速度で牽引した。ポイント1の牽引では摩擦力は非常に小さいが、抵抗中心の牽引では 40 g 前後の最大摩擦力を示している。

れのワイヤーに対してもポイント2を牽引したときの摩擦力はポイント1を牽引したときのそれよりも小さい摩擦力を示した (図8)。Activa では EL ワイヤー、SS ワイヤーに対してポイント1の牽引で抵抗荷重の増加に伴う摩擦力の上昇が見られたが、その他のワイヤー、矯正力の作用ポイントの違いでは特定の関係は認められなかった (図8)。

II. ブラケット間の比較

ブラケットとワイヤー間に生ずる摩擦力は抵抗荷重の大きさと矯正力の作用ポイントの違いの二つの要因に大きく作用されるため、ブラケット間の比較はこの要因毎に行なった。

1. 抵抗荷重 100 g の場合 (図9, 表1)

ポイント1を牽引したとき、EL ワイヤー、SS ワイヤー、SE ワイヤーのいずれのワイヤーに対しても、SS ブラケットは CM ブラケットよりも大きな摩擦力を示した。また、Activa は FF ブラケットよりも小さい摩擦力を示していた。

一方、ポイント2の牽引では、EL ワイヤーに対して SS ブラケットが大きな摩擦力を示したが、SS ワイヤー、SE ワイヤーに対しては CM ブラケットが大きな摩擦力を示した。

2. 抵抗荷重 200 g の場合 (図10, 表1)

ポイント1を牽引したとき、EL ワイヤー、SS ワイヤー、SE ワイヤーのいずれのワイヤーに対しても、SS ブラケットは CM ブラケットよりも大きな摩擦力を示し、Activa は FF ブラケットよりも小さい摩擦力を示した。

一方、ポイント2の牽引では、EL ワイヤーと SS ワイヤーに対して CM ブラケットの摩擦力は SS ブラケットより大きく、SE ワイヤーに対しては SS ブラケットの摩擦力の方が大きかった。

3. 抵抗荷重 400 g の場合 (図11, 表1)

ポイント1の牽引では、EL ワイヤーに対して CM ブラケットの摩擦力は SS ブラケットより大きかった。SS ワイヤーおよび SE ワイヤーに対して CM ブラケットの摩擦力は SS ブラケットよりも小さかつ

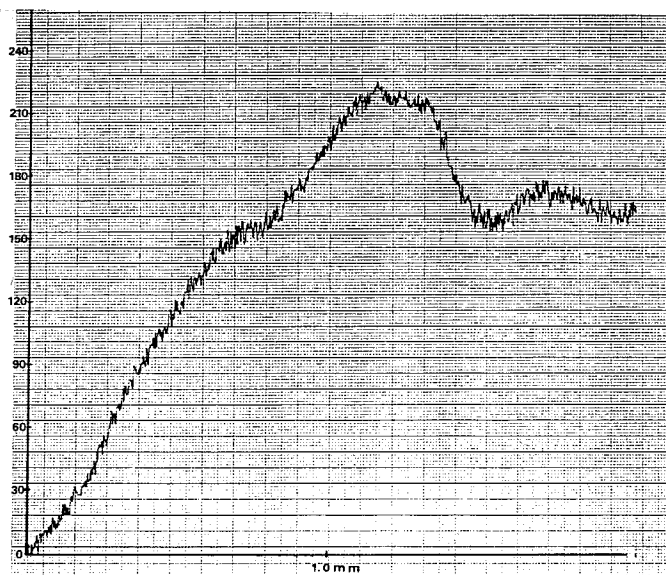


図5 SSワイヤーに結紮したSSブラケットに200gの抵抗荷重を吊るし、抵抗中心を牽引したときの摩擦力の変化。横軸：移動距離(mm)，縦軸：摩擦力(g)。摩擦力はブラケットの牽引に伴って大きく増加している。

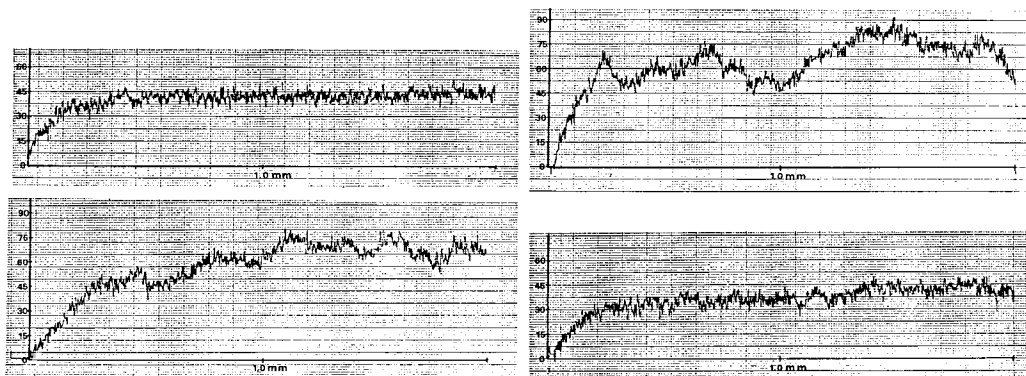


図6 SSワイヤーに結紮したSSブラケットの100g, 400gの抵抗荷重を吊るし、ポイント1および2を牽引したときの摩擦力の変化。横軸：移動距離(mm)，縦軸：摩擦力(g)，上：ポイント1の牽引，下：ポイント2の牽引，左：100gの抵抗荷重，右：400gの抵抗荷重。ポイント1の牽引では400gの抵抗荷重を吊したときの摩擦力は100gの抵抗荷重を吊したときより大きく、ポイント2の牽引では逆に100gの抵抗荷重を吊したときの摩擦力が大きい。

た。また、SSワイヤーとSEワイヤーに対してFFブラケットの摩擦力はCMブラケットおよびActivaより大きかった。さらに、SEワイヤーに対してSSブラケット、CMブラケットおよびActivaの摩擦力は他のワイヤーに対するそれより小さかった。ポイント2の牽引では、各ワイヤーに対してSSブラケットの摩擦力が最も大きく、SSワイヤーに対してSSブラケット、ELワイヤーに対してCMブラケットの摩

擦力が最も小さかった。

Ⅲ. 各ブラケットに対するワイヤーの摩擦力の比較 (図12, 表1)

1. 抵抗荷重100gの場合

ポイント1の牽引では、各ブラケットに対してELワイヤーの摩擦力が最も大きかった。CM, FFブラケットおよびActivaに対してはSEワイヤーの摩擦

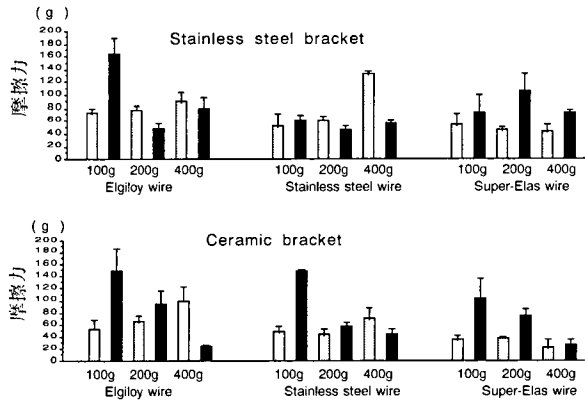


図7 抵抗荷重 (100 g, 200 g, 400 g) と矯正力の作用ポイントが摩擦力に与える影響。
 □：ポイント1の牽引，■：ポイント2の牽引。ポイント1の牽引ではELワイヤーとSSワイヤーに対してSSブラケット，CMブラケットの摩擦力は抵抗荷重の増加に伴って増加し，ポイント2の牽引では減少している。

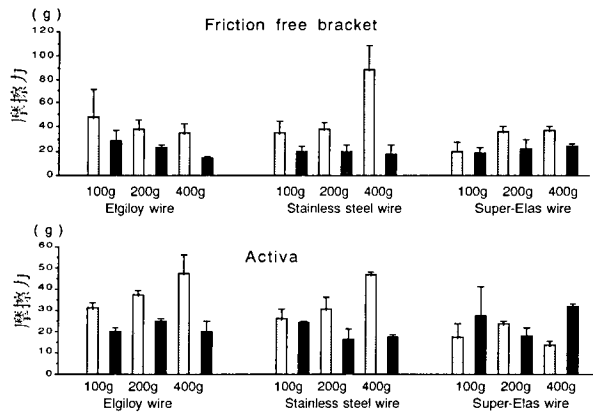


図8 抵抗荷重 (100 g, 200 g, 400 g) と矯正力の作用ポイントが摩擦力に与える影響。
 □：ポイント1の牽引，■：ポイント2の牽引。ポイント1の牽引ではSSワイヤーとSEワイヤーに対してFFブラケット，また，ELワイヤーとSSワイヤーに対してActivaの摩擦力は抵抗荷重の増加に伴ってそれぞれ増加している。ポイント2の牽引では抵抗荷重の増加に伴う摩擦力の変化は明かではない。

表1 ブラケットとワイヤーの間の摩擦力に与える矯正力の作用ポイントと抵抗荷重の影響

		抵抗荷重			100 g			200 g			400 g		
		アーチ	ワイヤー		EL	SS	SE	EL	SS	SE	EL	SS	SE
ブラケット	牽引												
Stainless steel bracket	ポイント1		75.3	54.0	55.7	80.2	63.1	48.6	91.3	134.1	47.0		
	ポイント2		165.8	62.0	76.5	51.1	48.1	107.1	82.6	58.8	76.0		
Ceramic bracket	ポイント1		55.9	54.1	37.1	68.1	58.7	40.0	101.3	71.6	23.5		
	ポイント2		150.3	150.0	104.2	95.0	45.6	77.0	25.5	46.7	77.1		
Friction free bracket	ポイント1		49.2	35.3	21.2	39.5	39.2	37.7	35.5	89.8	38.0		
	ポイント2		29.1	20.0	19.1	24.0	19.8	22.0	17.1	17.9	25.8		
Activa	ポイント1		32.1	26.7	18.2	37.8	31.0	25.2	47.8	46.9	14.2		
	ポイント2		20.8	24.7	28.4	25.9	16.5	18.8	19.9	18.1	32.4		

EL: Elgiloy wire, SS: Stainless steel wire, SE: Super-Elas wire

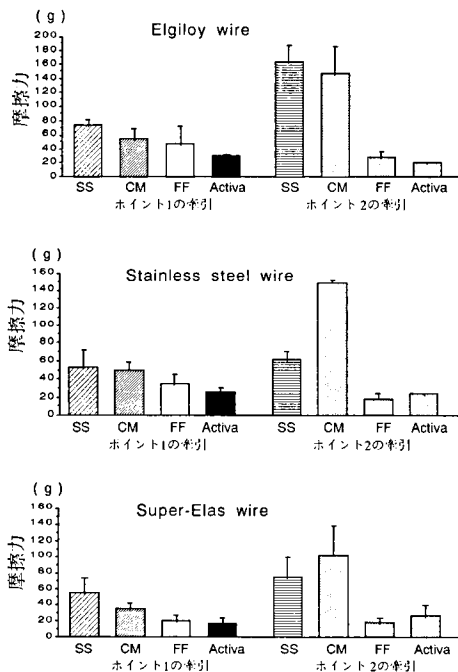


図9 抵抗荷重 100 g における各ブラケットのワイヤーに対する摩擦力の比較。

ポイント1の牽引では、いずれのワイヤーに対しても SS ブラケットの摩擦力は CM ブラケットより大きく、FF ブラケットと Activa の摩擦力は SS ブラケットあるいは CM ブラケットより小さい。ポイント2の牽引では、SS ワイヤーと SE ワイヤーに対する CM ブラケットの摩擦力が際だって大きな値を示している。また、いずれのワイヤーに対しても FF ブラケットと Activa の摩擦力は SS ブラケットあるいは CM ブラケットより小さい。

力が最も小さかった。

ポイント2の牽引では SS ブラケットに対しては SS ワイヤー、CM ブラケットに対しては SE ワイヤーの摩擦力が最も小さかった。

2. 抵抗荷重 200 g の場合

ポイント1の牽引では、抵抗荷重 100 g と同様に各ブラケットに対して EL ワイヤーの摩擦力が最も大きく、SE ワイヤーが最も小さな摩擦力を示した。

ポイント2の牽引では、SS ブラケットに対して EL および SS ワイヤーの摩擦力が小さく、SE ワイヤーの摩擦力が最も大きかった。FF ブラケットと Activa ではいずれのワイヤーの摩擦力も小さく、有意な差が認められなかった。

3. 抵抗荷重 400 g の場合

ポイント1の牽引では SS ブラケットに対して SS ワイヤーの摩擦力が最も大きく、SE ワイヤーのそれ

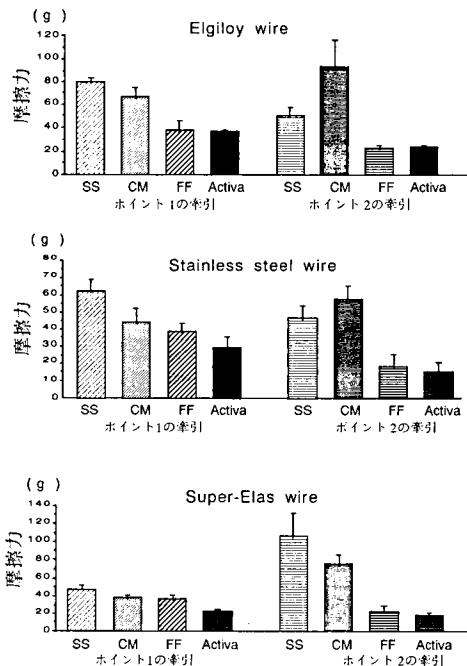


図10 抵抗荷重 200 g における各ブラケットのワイヤーに対する摩擦力の比較。

ポイント1の牽引では、いずれのワイヤーに対しても SS ブラケットは CM ブラケットより摩擦力が大きく、ポイント2の牽引では EL ワイヤーと SS ワイヤーに対して CM ブラケットの摩擦力が大きく、SE ワイヤーに対しては SS ブラケットの摩擦力が大きい。また、いずれの牽引ポイント、ワイヤーに対しても、FF ブラケットと Activa は SS ブラケットおよび CM ブラケットより小さい摩擦力を示している。

が最も小さかった。CM ブラケットに対しては、EL ワイヤーの摩擦力が最大で SE ワイヤーのそれが最小であった。FF ブラケットに対しては SS ワイヤーが最大の摩擦力を示し、Activa に対しては SE ワイヤーが最小の摩擦力を示した。

ポイント2の牽引では、SS ブラケットに対しては SS ワイヤーが最小の摩擦力を、CM ブラケットに対しては EL ワイヤーが最小の摩擦力をそれぞれ示した。FF ブラケットと Activa に対しては SE ワイヤーの摩擦力が最大であった。

考 察

歯に取り付けたブラケットに矯正力を加え、ワイヤーとブラケットの滑りを利用してワイヤーにそって歯を移動する方法(スライディング法)はかなり古くから今日まで矯正臨床に应用されている⁴⁾。しか

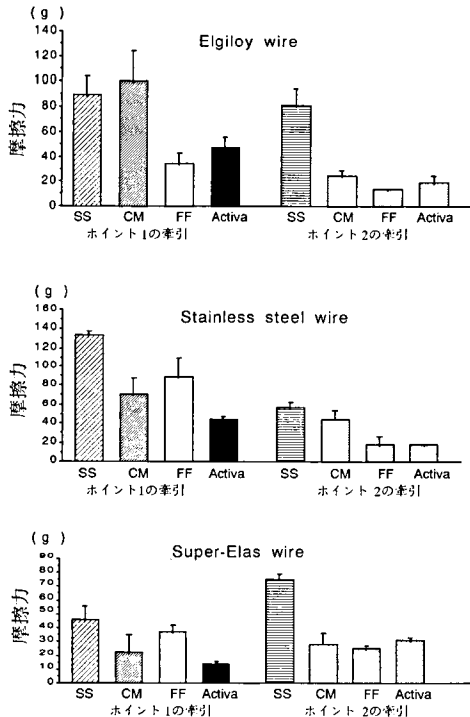


図11 抵抗荷重 400 g における各ブラケットのワイヤーに対する摩擦力の比較。
 ポイント1の牽引では、EL ワイヤーに対しては CM ブラケット、および SS ワイヤーと SE ワイヤーに対しては SS ブラケットの摩擦力が大きい。また、SS ワイヤーと SE ワイヤーに対しては、FF ブラケットは Activa より摩擦力が大きい。ポイント2の牽引では、各ワイヤーに対しては SS ブラケットは CM ブラケットより摩擦力が大きい。さらに、各ワイヤーに対しては FF ブラケットと Activa は SS ブラケットより摩擦力が小さい。

し、この方法はワイヤーとブラケット間に生ずる摩擦力を最小にして歯の移動を行う必要がある。摩擦力に及ぼす要因としてはブラケットの性状、すなわち幅径^{6-10,18)}、slotの大きさ^{9,17,20)}、表面の円滑さ^{13,14)}とアーチワイヤーの性状、すなわちワイヤーの大きさ¹⁸⁾、物理的性質あるいは表面の円滑さ^{8,10-15,18)}などが取り上げられてきた。臨床的にスライディング法による歯の移動様式を見ると、矯正力が歯冠に加えらるため、第一段階ではワイヤーの弾性に依存した歯冠の傾斜移動が見られ、第二段階で変形したワイヤーの復元力によって歯根の傾斜移動が見られ、最終的に歯の歯体移動が行なわれている。第一段階の歯の傾斜によるブラケットとワイヤーの接触部での圧迫力は摩擦力発現の重要な要因となる。

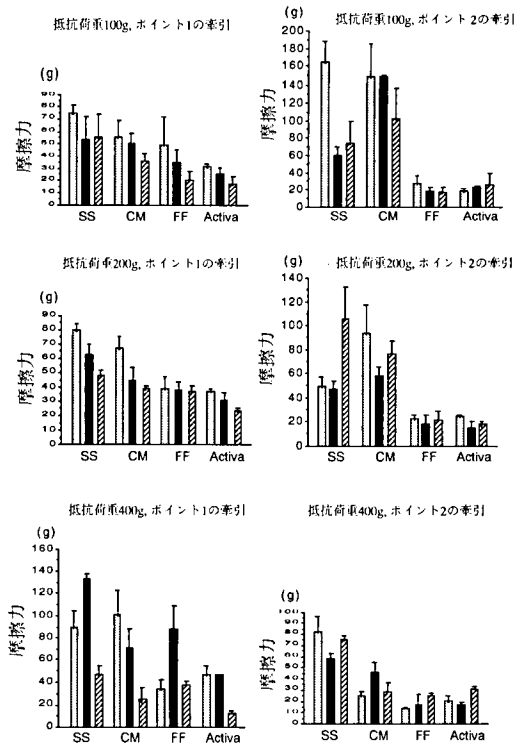


図12 ブラケットの各ワイヤーに対する摩擦力の比較。
 □ : EL ワイヤー, ■ : SS ワイヤー,
 ▨ : SE ワイヤー

著者らは²¹⁾すでに、歯の移動様式に影響をもつと考えられる歯根の長さ、大きさ、周囲の支持組織の性状などに依存する歯の移動に対する抵抗力(生力学抵抗)²²⁻²⁶⁾と矯正力の作用ポイントの二つの要が摩擦力に及ぼす影響を報告している。すなわち、Elgiloy wire または Stainless steel wire に結紮した Stainless steel bracket について、歯の移動に対する抵抗荷重と矯正力の作用ポイントを設定した結果、そのときの最大摩擦力は三つの幅 (wide twin, medium twin, narrow single) のブラケットと両ワイヤーとの全組み合わせにおいて歯の抵抗荷重と力の作用ポイントが摩擦力に大きな影響を与えていることがわかった。

今回行った測定で Stainless steel bracket, Ceramic bracket の Elgiloy wire と Stainless steel wire に対する最大摩擦力は、ブラケットの slot に近いポイント1を牽引したとき、抵抗荷重の増加と共に摩擦力は増加した。これは、Tidy⁹⁾、Drescher ら¹⁸⁾の報告した歯冠部に矯正力を適用したときの抵抗荷重の大きさと摩擦力の関係に一致している。しかし、抵抗中心に近いポイント2を牽引したとき、摩擦力は抵抗荷重の増加と共に減少した。一方、Ni-Ti 系ワイヤーにおいて

は抵抗荷重の大きさ、矯正力の作用ポイントの違いの影響は明かでなく、摩擦力を抑える目的でデザインされた Friction free bracket と専用の結紮用ロックをもつ Activa についても二つの要因の影響は明かではなかった。これは図13に示すように抵抗中心（抵抗荷重を吊した点）、矯正力の作用ポイントならびにワイヤー結紮部の三点の間には槌子の原理が働くからと考えられる。すなわち、ブラケットとワイヤー間には結紮による抵抗（F1）が存在するものと考えられる。歯が平行移動するための矯正力の作用ポイントはこの抵抗と抵抗荷重（F2）の大きさのバランスから決定され、ブラケットとワイヤー間の抵抗（F1）の大きさが抵抗荷重より大きい場合には矯正力の作用ポイントはブラケットに接近し、逆に抵抗荷重の方が大きい場合には矯正力の作用ポイントは抵抗中心に接近すると考えられる。また、ブラケットとワイヤー間に抵抗がない場合には抵抗中心が矯正力の作用ポイントになると考えられる。

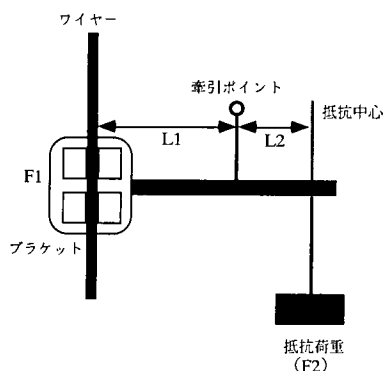


図13 ブラケットとワイヤーの抵抗（F1）と矯正力作用ポイントおよび抵抗中心の槌子の関係。

L1：ブラケットの slot（溝）から矯正力の作用ポイントまでの距離、L2：矯正力の作用ポイントから抵抗中心までの距離、F1：ブラケットとワイヤーの抵抗力、F2：抵抗荷重の大きさ。槌子の原理による $F1 \times L1 = F2 \times L2$ の式より $L1/L2 = F2/F1$ となる。

一方、摩擦現象の一つの要因と考えられる金属線による結紮はエラスチックモジュールによる結紮よりもはるかに大きな摩擦を生み出すと報告されている²⁰⁾。本研究ではブラケットとワイヤーの間の結紮はブラケットのそれぞれの wing を利用してエラスチックモジュールにより行ない、また、Activa では専用のロックを利用した。Friction free bracket および Activa ではブラケットとワイヤーの結紮による抵抗が非常に少ないため二つの要因の影響が現れにくかったものと

推察される。

摩擦力は結紮による抵抗（F1）、抵抗荷重および矯正力の作用ポイントの三者に加え、ブラケットがワイヤー上を滑るとき、ブラケットとワイヤーの性状が摩擦に影響を及ぼすと考えられる。すでに、ブラケットの幅径に関してはブラケットの幅が広くなると摩擦が増加することが報告されており^{7,8,13)}、著者らもステンレスブラケットで同様の結果を報告した²¹⁾。本研究ではブラケットの幅を Stainless steel bracket では 3.2 mm, Ceramic bracket と Friction free bracket では 3.0 mm, Activa では 3.3 mm と大差のないものを使用した。それゆえに、Stainless steel bracket と Ceramic bracket の各ワイヤーに対する摩擦力の相違は、各ブラケットとワイヤーの表面の円滑さを示す指標とも考えられる。

100 g, 200 g および 400 g の各抵抗荷重でポイント 1 を牽引したとき、いずれの荷重でも Stainless steel bracket がすべてのワイヤーに対しても大きな摩擦を示していた。しかし、ポイント 2 の牽引では同様の結果は得られなかった。従来の報告^{13,14)} や臨床経験などでセラミックブラケットは摩擦が大きいといわれているが、本研究では必ずしもそうでなく、これは先述の二つの要因のあり方によって複雑な関係を示すものと思われる。また、ワイヤーの各ブラケットに対する摩擦力を比較すると、Elgloy wire の各ブラケットに対する摩擦力が大きい傾向が見られた。さらに Ni-Ti 系のワイヤーは滑べりが悪いといわれてきたが¹⁰⁻¹⁵⁾、今回の結果では各ブラケットに対する Super-Elast wire の摩擦力は抵抗荷重の大きさ、矯正力の作用ポイントによっては小さくなることがわかった。これにはワイヤーの弾力性の違いが一部関与しているのではないかと考えられるが、本研究では、ワイヤーに 2.0 kg の張力を加えワイヤーのたわみを極力抑えたため、Ni-Ti 系ワイヤーの摩擦力が少なかったものと推察される。

摩擦力を抑えるためにデザインされた Friction free bracket と結紮のための別の装置をもつ Activa は Stainless steel bracket と Ceramic bracket より小さな摩擦を示したが、抵抗荷重の大きさ、矯正力の作用ポイントによっては Stainless steel bracket と Ceramic bracket に匹敵する摩擦を示しており、スライディングによる移動を効果的に行なうためには歯の抵抗の強さ、矯正力の作用ポイントを考慮する必要性を示唆している。

ま と め

ブラケットとワイヤーのスライディングを利用した

歯の移動では、ブラケットとワイヤーの間に生ずる摩擦力を軽減して歯の移動を効果的に行なう必要がある。この摩擦力に及ぼす要因としてブラケット、ワイヤーの性状が重要視されてきたが、歯の移動に対する歯の抵抗力の大きさ、矯正力の作用部位、ブラケットとワイヤーの結紮法などの要因を考慮して行なう必要があることがわかった。歯の移動に対する抵抗力は犬歯より大臼歯の方が大きく、使用されているブラケット、チューブも異なっている。今後、犬歯の遠心移動、大臼歯の近心移動などの具体的歯の移動についてこのような要因を検討していきたい。

文 献

- 1) 井上直彦：Jarabak 法について，歯科矯正学の最近の進歩（三浦不二夫 編），医歯薬出版，東京，264-284，1972.
- 2) Thurow, R.C.: Edgewise orthodontics. ed. 3, C.V. Mosby Co., Saint Louis, 244-250, 1972.
- 3) Chaconas, S.J., Caputo, A.A. and Hayashi, R.K.: Effects of wire size, loop configuration and gabbling on canine-retraction spring. *Am. J. Orthod.* **65**, 58-66, 1974.
- 4) Thurow, R.C.: Edgewise orthodontics. ed. 3, C.V. Mosby Co., Saint Louis, 255-257, 1972.
- 5) 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.
- 6) 神山光男，佐々木俊則：ブラケットの幅と摩擦について，日矯歯誌 **32**, 286-289, 1973.
- 7) Nicolls, J.: Frictional forces in fixed orthodontic appliances. *Dent. Pract (Trans BSSO)*. **18**, 362-366, 1968.
- 8) Frank, C.A. and Nikolai, R.J.: A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. *Am. J. Orthod.* **78**, 593-609, 1980.
- 9) Tidy, D.C.: Frictional force in fixed appliances. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **96**, 249-254, 1989.
- 10) Kapila, S., Angolkar, P.V., Duncanson, Jr. M.D. and Nanda, R.S.: Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **98**, 117-126, 1990.
- 11) Garner, L.D., Allai, W.W. and Moore, B.K.: A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise arch wire. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **90**, 199-203, 1986.
- 12) Kusy, R.P., Whitley, J.Q., Mayhew, M.J. and Bukthal, J.E.: Surface roughness of orthodontic arch wire via laser spectroscopy. *Angle Orthod.* **58**, 33-45, 1988.
- 13) Angolkar, P.V., Kapila, S., Duncanson, Jr. M.G. and Nanda, R.S.: Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **98**, 499-506, 1990.
- 14) Pratten, D.H., Popil, K., Germane, N. and Gunsolley, J.C.: Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **98**, 398-403, 1990.
- 15) Kusy, R.P. and Whitley, J.Q.: Coefficients of friction for arch wires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slots. I. The dry state. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **98**, 300-312, 1990.
- 16) Andreasen, G.F. and Quevedo, F.R.: Evaluation of friction forces in the 0.022" × 0.028" edgewise bracket in vitro. *J. Biomech.* **3**, 151-160, 1970.
- 17) Huffman, D.J. and Way, D.C.: A clinical evaluation of tooth movement along arch wires of two different sizes. *Am. J. Orthod.* **83**, 453-459, 1983.
- 18) Drescher, D., Bourauel, D.P. and Schumacher, H.: Frictional force between bracket and arch wire. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **96**, 397-404, 1989.
- 19) Drescher, D., Bourauel, C. and Schumacher, H. A.: Optimization of arch guided tooth movement by the use of uprighting springs. *Euro. J. Orthod.* **12**, 346-353, 1990.
- 20) Riley, J.L., Garrett, S.G. and Moon, P.C.: Frictional forces of ligated plastic and metal edgewise brackets. *J. Dent. Res.* **A21**, 58-98, 1992.
- 21) 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.
- 22) Fortin, J.M.: Translation of premolars in the dogs by controlling the moment-to-force ratio on the crown. *Am. J. Orthod.* **59**, 541-551, 1971.
- 23) Yettram, A.L., Wright, K.W.J. and Houston, W. J.B.: Center of rotation of a maxillary central incisor under orthodontic loading. *Br. J. Orthod.* **4**, 23-27, 1977.
- 24) Burstone, C.J. and Pryputniewics, R.J.: Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. *Am. J. Orthod.* **77**, 396-409, 1980.
- 25) Burstone, C.J. et al.: Center of resistance of the human mandibular molars. *J. Dent. Res.* **60**, 515, 1981.
- 26) 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.