

## 歯の滑走移動における摩擦力とワイヤーの張力との関係について

山口 和憲, 平田あつ子\*, 石田真奈美  
井藤 一江, 丹根 一夫

### Association between frictional resistance and tension of wire

Kazunori Yamaguchi, Atsuko Hirata\*, Manami Ishida,  
Kazue Ito and Kazuo Tanne

(平成6年3月25日受付)

#### 緒 言

ワイヤーとブラケット間の摩擦力は両者間の接触部位における垂直力と摩擦係数との積で表される<sup>1,2)</sup>。そのうち、ブラケットとワイヤー間に働く垂直力に及ぼす要因として、ブラケットの溝の大きさに対するワイヤーの太さ、ブラケットの幅径などの材料の形状<sup>2-5)</sup>、結紮の方法<sup>6,7)</sup>、歯の移動に対する歯周組織の抵抗の大きさ<sup>6,8-11)</sup>、あるいは矯正力の作用点<sup>5,11)</sup>などが検討されてきた。著者ら<sup>5,11)</sup>は摩擦力の大きさに影響を及ぼすブラケットの傾斜が歯の抵抗の大きさと矯正力の作用点によって決定されることを報告した。

歯の滑走移動において見られる歯の傾斜は、歯の抵抗の大きさに対する矯正力の負荷様式の違いに加えて、ブラケットが滑走するアーチワイヤーの硬さあるいは張力が関与し、ブラケットとワイヤー間の摩擦力の大きさにも影響を及ぼすものと考えられる<sup>12)</sup>。ブラケットに矯正力が加わるとブラケットの滑走により歯が傾斜し、摩擦力の増加によって滑走は停止する。さらに大きな矯正力が加わるとワイヤーの変形によって歯が傾斜する。歯科矯正臨床では、このような傾斜を防ぎ効果的な歯の滑走移動を行なうために、表面が円滑で歯の傾斜に耐え得る硬さを有する材質のワイヤーが選択されている。例えば、犬歯の遠心移動を行なう場合、丸型より角型のワイヤーで、ニッケルチタ

ニウム系よりも表面が円滑<sup>3,4)</sup>とされるステンレス鋼ワイヤーが用いられる。さらに、アーチワイヤーを犬歯の近心側の切歯群および遠心側の固定歯(小白歯と大白歯)にしっかりと結紮すると同時に、ワイヤーを固定歯(大白歯)にタイバックしワイヤーに十分な張力を与えることでたわみを抑制していると考えられる。しかし、このような歯の移動にはワイヤーとブラケット間の摩擦力、歯の抵抗の大きさ、およびワイヤーのたわみ力<sup>12)</sup>に打ち勝つ牽引力(矯正力)が必要となる。したがって、アーチワイヤーの硬さや張力によって歯の傾斜を抑制することと牽引力の大きさとは相反する可能性がある。

シミュレーションモデルを用いた摩擦に関する研究では、ワイヤーの材質あるいは太さについての検討は多く見られるが、用いられるワイヤーの張りについての言及がほとんどない。

本研究では抵抗荷重におもり、およびコイルスプリングを用いて、歯の滑走移動(sliding movement)におけるアーチワイヤーの張りや摩擦力あるいは牽引力との関係を検討した。また、牽引中の牽引力の変化を波形としてとらえ、その比較検討を行った。

#### 方 法

I. ブラケットとワイヤーの固定法および牽引方法  
ブラケットとワイヤーの固定法は両端を2.0 Kgの張力で固定する従来の方法<sup>5,13)</sup>と、上端をfreeにする二つの固定方法を採用した。また、牽引点の設定および牽引方法はすでに報告した方法<sup>14)</sup>に従った(図1)。使用したワイヤーは0.016インチ×0.016インチのステンレス鋼ワイヤー(Hi-T, 3M-ユニテック社)でブラケットはwide twin(トミーインターナシヨナ

広島大学歯学部歯科矯正学講座(主任:丹根一夫教授)

\* 広島市

本研究の一部は文部省科学研究費(平成5年度, No. 05771859)によった。

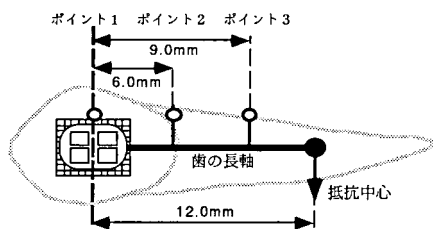
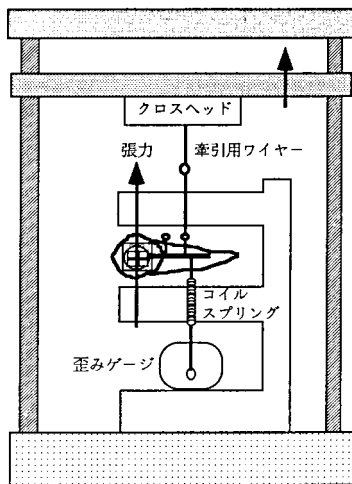


図1 牽引点の設定と、牽引力及び抵抗の大きさの計測法。



ル社)である。

II. 抵抗荷重の設定および牽引力とコイルスプリングの抵抗の大きさの計測方法

ブラケットの牽引に対する抵抗荷重には 100 g と 200 g および 400 g のおもりとコイルスプリング<sup>5,11,13)</sup>を用いた。ワイヤーに対して歯の長軸が垂直になるよう万能試験機(インストロン6022, インストロン社)のクロスヘッドからの牽引用ワイヤーを牽引点に固定し、次いで各おもりを吊した。この時、ポイント1からの牽引では長軸は明らかに下方に傾斜していた。牽引に先立ち牽引力の零調整を行ない、牽引力からおもりによる抵抗荷重の大きさを排除した。

抵抗荷重にコイルスプリングを用いた場合には、ワイヤー固定台に歪みゲージ(LVS, 共和電業, 東京)を固定し、歯の長軸がワイヤーに対して垂直になるように、コイルスプリングを抵抗中心と歪みゲージとの間に固定した<sup>14)</sup>(図1)。歪みゲージの零調整後、牽引力をゼロに調節して毎秒 0.1 mm の速度で 2.0 mm の牽引を行なった。

万能試験機および歪みゲージから得られた牽引力、およびコイルスプリングの抵抗の大きさの電気信号は A/D コンバータ(MacLab/2e, AD インスツウルメンツ社, オーストラリア)を介してマイクロコンピュータに記録した。計測は 6 回行ない、コイルスプリングを抵抗に用いた場合には、牽引点の移動量が 0.2 mm と 0.5 mm と 1.0 mm、および 2.0 mm における抵抗の大きさと牽引力の最大値を計測した。また、その時の歯の長軸の傾斜を図2に示すように、牽引点の移動(距離 A)によってコイルスプリングが示した抵抗力の

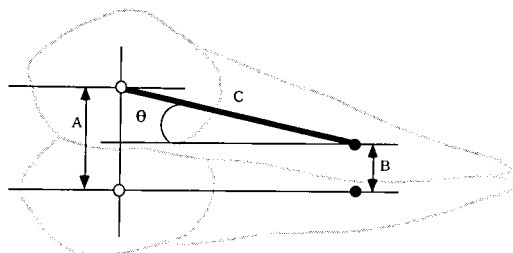


図2 コイルスプリングを抵抗荷重とした時の歯の長軸の傾斜度(φ)の評価方法。

A: 牽引点の移動距離, B: 抵抗中心の移動距離, C: 牽引点から抵抗中心までの距離  
○: 牽引点, ●: 抵抗中心

大きさ<sup>14)</sup>から抵抗中心の移動量(距離 B)を求め、各牽引点から抵抗中心までの距離を C として  $\sin \phi = (A - B)/C$  の式に従って歯の長軸の傾斜度(φ)を算出した。次に、牽引力から抵抗の大きさを差し引いた力を摩擦力として算出し、計測された牽引力あるいは摩擦力に及ぼす牽引部位およびワイヤーの固定法の影響を分散分析によって検討した。さらに、牽引力と抵抗の大きさを計測した後 2.0 mm の牽引を行ない、万能試験機からの電気信号を 40 Hz/秒で 20 秒間サンプリングし、波形の周波数分析<sup>15,16)</sup>を行なった。

結 果

表1にはブラケットがワイヤー上を滑らないように固定し、0.2 mm, 0.5 mm, 1.0 mm および 2.0 mm 牽引した時のワイヤーのたわみ力を示す。ワイヤーの両端を固定した場合のたわみ力は、いずれの牽引点に

表1 ポイント2および3を牽引した時のワイヤーのたわみ力

	ポイント2の牽引		ポイント3の牽引	
	両側固定	片側固定	両側固定	片側固定
0.2 mm	101.4 ± 8.3	85.6 ± 15.6	61.8 ± 10.1	40.3 ± 14.7
0.5 mm	275.3 ± 12.9	233.6 ± 29.6	171.8 ± 12.9	111.7 ± 14.2
1.0 mm	610.0 ± 13.0	528.2 ± 40.0	380.5 ± 7.0	253.5 ± 28.9
2.0 mm	1240.4 ± 20.7	1050.2 ± 66.6	781.5 ± 15.4	646.8 ± 20.3

\* : p &lt; 0.05

おいてもワイヤーの上端を free にした場合よりも有意に (p < 0.05) 大きかった。

## I. 抵抗におもりを用いた場合

### 1. 最大牽引力の比較

図3は抵抗荷重におもりを用い、ワイヤーを二つの方法によって固定した場合の牽引力の比較を示す。抵抗荷重に200gのおもりを用いポイント2を牽引した時、および400gを用いポイント3を牽引した時には

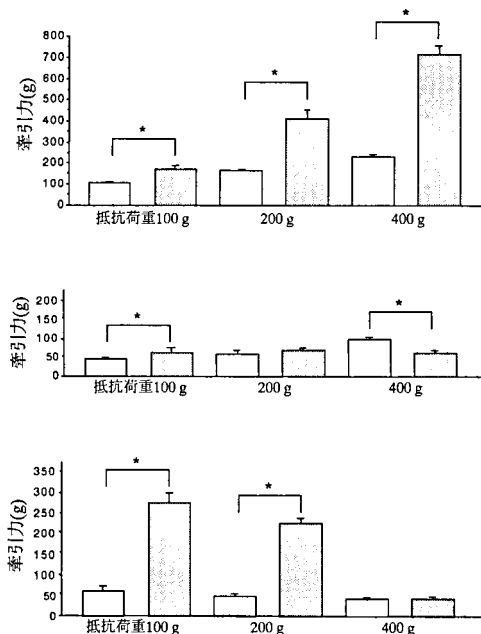


図3 抵抗荷重におもりを用いた時の牽引力の比較。  
□ : ワイヤーの両端を固定した場合, ◐ : 上端を free にした場合, 上 : ポイント1の牽引, 中央 : ポイント2の牽引, 下 : ポイント3の牽引 (\* : p < 0.05)

ワイヤーの固定方法による有意差が認められなかった。しかし、荷重400gを用いポイント2を牽引した場合を除いて、その他の牽引ポイントあるいは抵抗荷重では、ワイヤーの両端を2.0Kgの張力で固定した場合の牽引力はワイヤーの上端を free にした場合よりも有意 (p < 0.05) に小さな値を示した。

### 2. 牽引力の波形分析

#### (1) 牽引中の波形の変化

ワイヤーの両端を固定した場合の牽引力は、いずれの抵抗荷重あるいは牽引点を用いた時にも初期には直線的に増加しその後ほぼ平坦化した (図4, 5, 6)。また、ワイヤーの上端を free にした場合には、100g および200gのおもりでポイント2を牽引した時 (図4, 5)、あるいは400gのおもりでポイント2, 3を牽引した時 (図6) に同様の変化が観察された。しかし、その他の牽引では牽引力はブラケットの牽引とともに増加した。

#### (2) 波形の周波数分布

牽引開始前に記録した波形とブラケットがワイヤー上を滑らないように固定した場合に牽引力が示した波形の周波数分布を図7に示す。牽引前には、ワイヤーの上端を free にした場合には低い周波数にピークがみられたが、ワイヤーの両端を固定した場合には明かなピークはみられなかった。また、ブラケットがワイヤー上を滑らないように固定した場合には、牽引点およびワイヤーの固定法にかかわらず、きわめて低い周波数のみにピークが見られた。

図8, 9, 10には抵抗荷重に100gと200gおよび400gのおもりを用いた時の牽引力の波形の周波数分布を示す。ワイヤーの両端を固定した場合には、いずれの抵抗荷重あるいは牽引点を用いた時にも平均0.084 ± 0.059 Hz (ピーク1) と6.385 ± 0.12 Hz (ピーク2) に見られた。また、ワイヤーの上端を

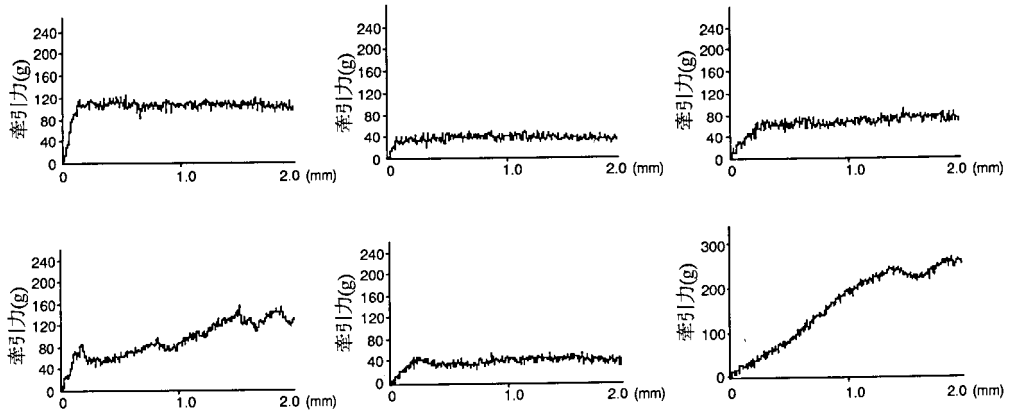


図4 抵抗荷重に100gのおもりを用いた時の牽引力(g)の変化。  
 上：ワイヤーの両端を固定した場合，下：ワイヤーの上端をfreeにした場合，  
 左：ポイント1の牽引，中央：ポイント2の牽引，下：ポイント3の牽引

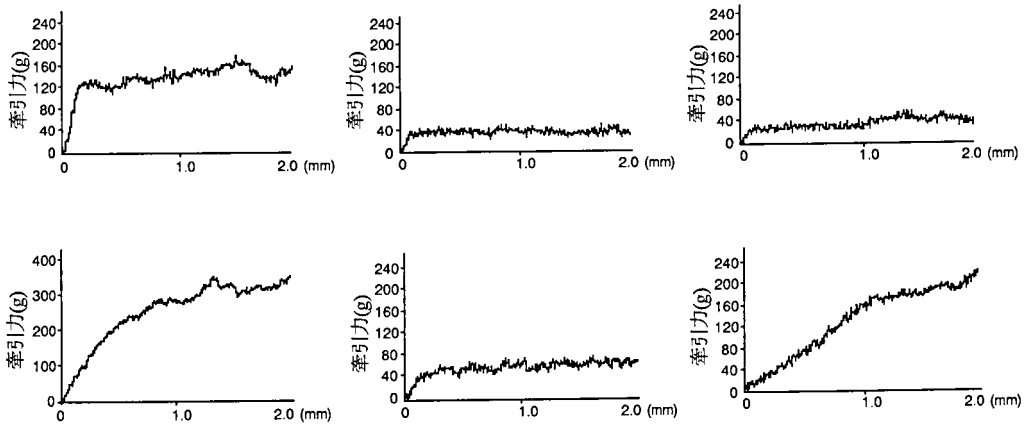


図5 抵抗荷重に200gのおもりを用いた時の牽引力(g)の変化。  
 上：ワイヤーの両端を固定した場合，下：ワイヤーの上端をfreeにした場合，  
 左：ポイント1の牽引，中央：ポイント2の牽引，下：ポイント3の牽引

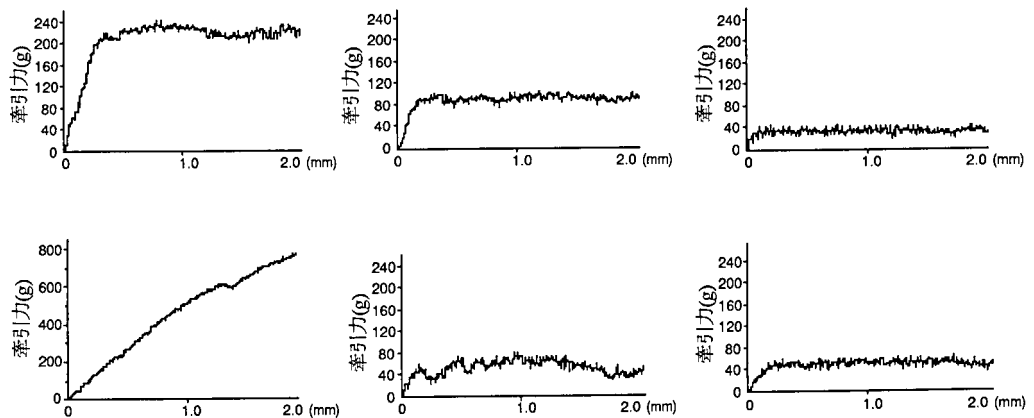


図6 抵抗荷重に400gのおもりを用いた時の牽引力(g)の変化。  
 上：ワイヤーの両端を固定した場合，下：ワイヤーの上端をfreeにした場合，  
 左：ポイント1の牽引，中央：ポイント2の牽引，下：ポイント3の牽引

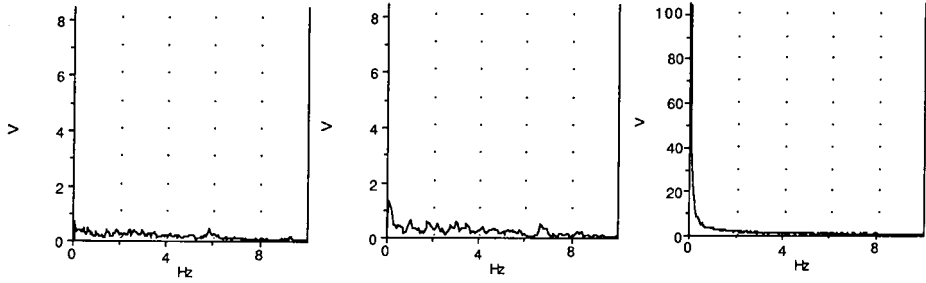


図7 牽引力が示した波形の周波数分布。  
 左：牽引前（ワイヤーの両端を固定した場合）、中央：牽引前（ワイヤーの上端を free にした場合）  
 右：ブラケットがワイヤー上を滑らないように固定した時の牽引力

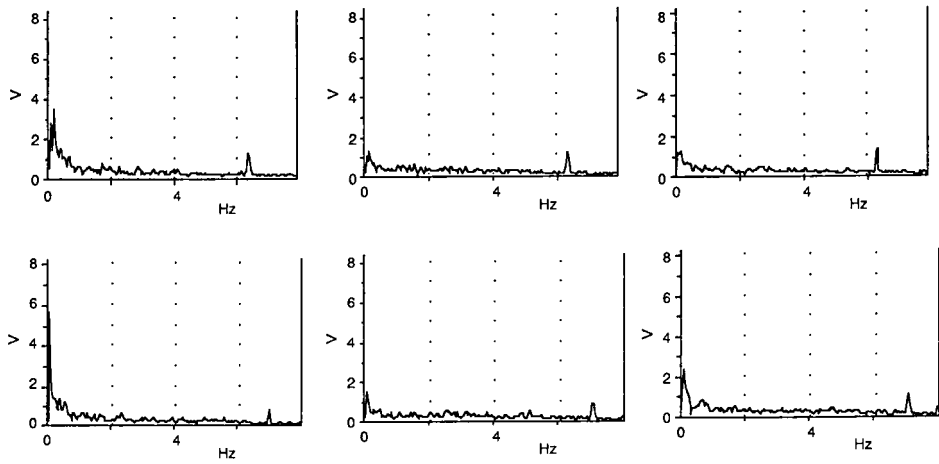


図8 抵抗荷重に 100 g のおもりを用いた時、牽引力が示した周波数分布。  
 上：ワイヤーの両端を固定した場合、下：ワイヤーの上端を free にした場合、  
 左：ポイント1の牽引、中央：ポイント2の牽引、下：ポイント3の牽引

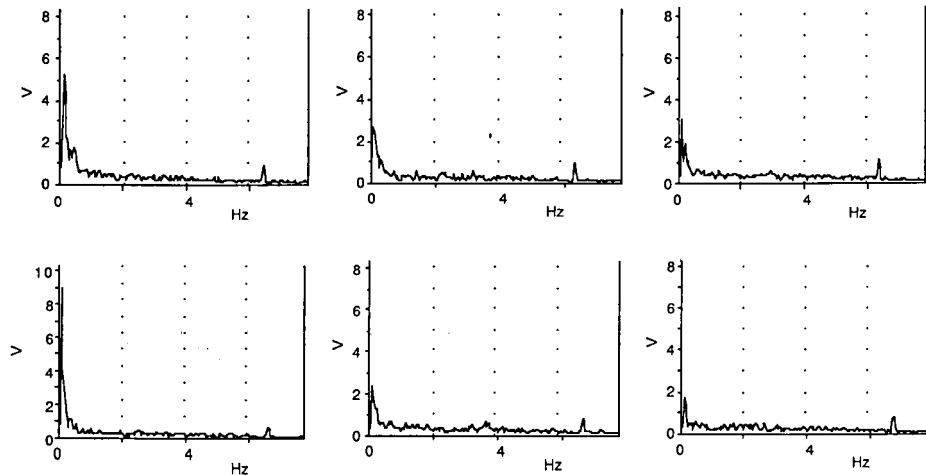


図9 抵抗荷重に 200 g のおもりを用いた時、牽引力が示した周波数分布。  
 上：ワイヤーの両端を固定した場合、下：ワイヤーの上端を free にした場合、  
 左：ポイント1の牽引、中央：ポイント2の牽引、下：ポイント3の牽引

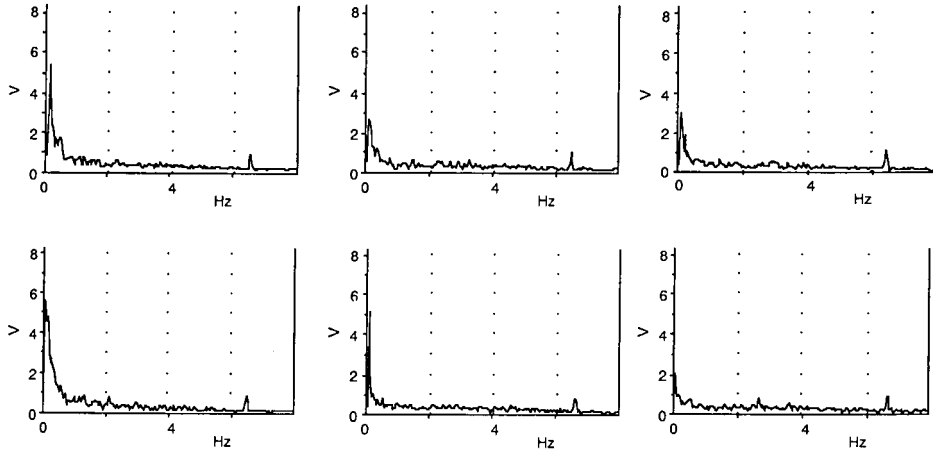


図10 抵抗荷重に 400 gのおもりを用いた時、牽引力が示した周波数分布。  
 上：ワイヤーの両端を固定した場合，下：ワイヤーの上端を free にした場合，  
 左：ポイント1の牽引，中央：ポイント2の牽引，下：ポイント3の牽引

free にした場合には、平均  $0.091 \pm 0.113 \text{ Hz/秒}$  (ピーク1) と  $6.853 \pm 0.197 \text{ Hz/秒}$  (ピーク2) に認められ、ピーク2の周波数は両端を固定した場合よりも有意に ( $p < 0.05$ ) 高かった。さらに、ポイント1の牽引ではいずれの抵抗荷重においてもピーク1が顕著であった。

II. コイルスプリングを抵抗荷重にした場合

1. 最大牽引力および歯の長軸の傾斜度の比較 (表2)

ワイヤーの両端を固定した場合の最大牽引力と抵抗の大きさは、いずれの牽引点においても、上端を free にした場合よりも有意に ( $p < 0.05$ ) 大きな値を示していた。また、0.2 mm の牽引ではポイント3を牽引した時の抵抗の大きさはポイント1を牽引した時より

表2 ワイヤーの固定法による牽引力、コイルスプリングの抵抗の大きさ、および長軸の傾斜度の比較

牽引点	牽引力 (g)		抵抗の大きさ (g)		摩擦力 (g)		長軸の傾斜度	
	両側固定	片側固定	両側固定	片側固定	両側固定	片側固定	両側固定	片側固定
0.2 mm								
ポイント1	150.4±14.4	57.0±20.3*	14.7± 2.2	11.6± 6.1	135.7	45.4	0.013±0.003	0.013±0.001
ポイント2	139.2±18.6	78.1±19.9*	40.7± 9.7	30.8± 5.1	98.5	47.3	0.023±0.001	0.021±0.003
ポイント3	110.0± 9.9	73.5± 6.6*	53.6± 3.3	48.5± 0.8	56.4	25.0	0.019±0.003	0.024±0.002*
0.5 mm								
ポイント1	240.5±10.4	114.4±25.4*	54.9± 2.2	45.1± 8.5*	185.6	69.3	0.030±0.003	0.032±0.003*
ポイント2	246.9± 7.6	110.0±27.2*	115.4± 5.9	55.8± 8.2*	131.5	54.2	0.048±0.003	0.060±0.003*
ポイント3	264.1±15.2	175.1± 7.7*	143.4± 5.9	116.9± 4.4*	121.0	58.2	0.079±0.003	0.084±0.003*
1.0 mm								
ポイント1	364.4± 7.9	209.8±21.3*	127.8± 2.7	105.5± 9.4*	236.6	104.3	0.061±0.001	0.064±0.002*
ポイント2	394.7± 6.5	214.9±42.4*	225.1± 5.4	135.6±20.6*	169.6	79.3	0.094±0.003	0.113±0.009*
ポイント3	415.0±12.0	279.1±16.4*	268.3±13.7	212.9± 8.3*	146.7	66.2	0.151±0.006	0.171±0.008*
2.0 mm								
ポイント1	581.7± 8.1	368.2±22.0*	232.8± 3.2	213.9± 6.1*	348.9	154.3	0.119±0.001	0.126±0.001*
ポイント2	655.5± 8.8	482.6±32.5*	394.8± 9.4	323.5±20.8*	260.7	159.1	0.192±0.005	0.213±0.006*
ポイント3	720.3±11.5	551.0±21.8*	511.5± 7.5	448.9±13.3*	209.3	102.1	0.309±0.002	0.337±0.010*

\* :  $p < 0.05$

大きいものの牽引力は小さかった。0.5 mm, 1.0 mm および 2.0 mm の牽引では、抵抗の大きさと牽引力はポイント 3 を牽引した方が大きかった。

一方、牽引距離に応じた歯の長軸 (long axis) の傾斜度は、ポイント 1 およびポイント 2 を 0.2 mm 牽引した時には有意差が認められないが、0.5 mm と 1.0 mm および 2.0 mm の牽引では上端を free にした場合の傾斜度はワイヤーの両端を固定した場合より有意に ( $p < 0.05$ ) 大きかった。

抵抗にコイルスプリングを用いた場合、いずれの牽引においても、牽引力の周波数分布はブラケットが滑らないようにワイヤー固定してワイヤーをたわませた時 (図 7) と同様にきわめて低い周波数のみにピークが見られた。

## 2. 牽引力からコイルスプリングの抵抗の大きさを差し引いた摩擦力の比較

図 11 はコイルスプリングの抵抗の大きさに対する牽引力から抵抗の大きさを差し引いた摩擦力の関係を示す。ワイヤーの両端を固定した場合の摩擦力はワイヤーの上端を free にした場合よりも大きかった。また、いずれのワイヤー固定法においても、ポイント 1 を牽引した時の摩擦力はポイント 2 および 3 を牽引した時よりも大きかった。

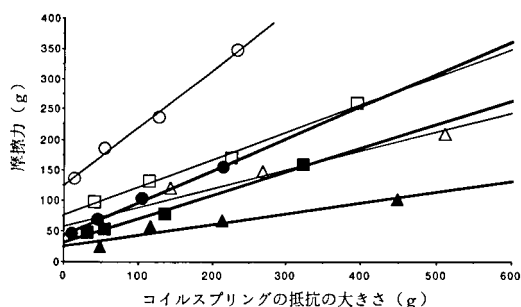


図 11 コイルスプリングの抵抗の大きさと摩擦力との関係。

- : ワイヤーの両端を固定した場合,
- - : ワイヤーの上端を free にした場合,
- , ● : ポイント 1 の牽引; □, ■ : ポイント 2 の牽引; △, ▲ : ポイント 1 の牽引

## 考 察

歯列弓のレベリングの後、滑走移動 (スライディング) によって犬歯あるいは大白歯を移動する時、歯の傾斜を抑えるために、丸型よりも硬さ (stiffness) の強い角型のワイヤーが用いられる<sup>1)</sup>。また、ワイヤーをブラケットあるいはチューブにしっかりと結紮し、ワイヤーに十分な張力を与えている。しかし、このよ

うな方法で歯の傾斜を抑制しても、歯の牽引力を増加させる可能性がある。そこで、本研究ではワイヤーの張力の違いが摩擦力あるいは牽引力に及ぼす影響を検討した。

おもりを抵抗荷重として用いた場合、抵抗荷重の大きさは一定であり、牽引開始前に牽引力の零調整を行なったので、牽引力にはおもりの荷重は含まれない。ワイヤーの両端を固定した場合の歯の長軸の傾斜は、ワイヤーの上端を free にした場合とより小さいために摩擦力が小さく牽引力が小さかったものと考えられる。しかし、歯の長軸の傾斜の小さい牽引様式 (三つの力のバランスによるモーメントが小さい) では、ワイヤーのたわみが小さいためワイヤーの持つ張力による牽引力の大きさに差が認められなかったものと考えられる。

ブラケットに加わった牽引力がワイヤーとの間に生じる静止摩擦力を越えるとブラケットの滑走 (運動摩擦力) が始まる。物体と物体が滑るとき両者間の静止摩擦係数と運動摩擦係数の相違により付着—滑り (ステイク・スリップ) 現象が生じ摩擦力が波形として観察されることがある<sup>17)</sup>。また、表面粗さ試験では、計測表面の凸凹によって観察された波形の分析が行われている<sup>18)</sup>。本研究では、牽引力は牽引とともに増加しその後平坦化したが、2.0 mm の牽引終了時においても増加を続けるものがあつた。牽引力の直線的増加はブラケットの滑走によるものではなくワイヤーのたわみによるものと考え、さらに 2.0 mm の牽引を行ない波形<sup>4,5)</sup> として分析を行なった。

牽引力の電気信号を 100 Hz/秒でサンプリングしたところ、周波数分布のピークが 20 Hz/秒より低い周波数に認められたので、本研究では 40 Hz/秒でサンプリングした。また、抵抗荷重を吊して牽引力の零調節を行ない、牽引開始前に 20 秒間サンプリングした電気信号には特徴あるピークは認められなかった。

周波数分布のピークの強さには差が見られるものの、ワイヤーの固定法にかかわらずいずれの牽引方法においても二つピークがみられ、ワイヤーの一端を free にした場合のピーク 2 の周波数が両端を固定した場合よりも高かった。また、ポイント 1 の牽引ではきわめて低い周波数のピークが顕著であった。これは、ブラケットの移動様式がワイヤーの固定法あるいは牽引点の選定によって変りうることを示唆している。

一方、抵抗にコイルスプリングを用いた時には、歯の長軸の傾斜はブラケットとワイヤーとの結紮による抵抗力、抵抗の大きさと牽引点の位置のバランス、およびワイヤーの張力によって決まる。また、コイルスプリングの抵抗の大きさは歯の移動量と歯の長軸の傾

斜度によって変化し、これらの力は牽引力に含まれることになる。

ワイヤーの両端を固定した場合には、ワイヤーの上端を free にした場合と比べると、ワイヤーのたわみ力が大きいために歯の長軸の傾斜が小さい。しかし、抵抗の大きさおよび摩擦力が大きくなり、結果的に牽引力が大きくなったと考えられる。また、ポイント3を牽引した時の摩擦力は小さいものの、抵抗の大きさが大きいためにポイント1を牽引した時よりも牽引力が大きかったものと考えられる。

歯根を含めた歯の移動はマルチブラケット法では必要条件であり、そのために必要な力は歯冠の移動に要する力より大きくなる<sup>19)</sup>。矯正力の作用点としてポイント2, 3を選択すると歯冠の傾斜(モーメント)が小さく、移動に対する歯の抵抗力が大きくなるのは当然であるが、摩擦力およびワイヤーのたわみ力は小さくなる。一方、ポイント1の牽引では歯冠の傾斜が大きくワイヤーの張力で歯の傾斜を抑えても、摩擦力およびワイヤーのたわみ力が大きくなる。従って、歯の傾斜を抑え、かつ牽引力を小さくするためには歯の傾斜をワイヤーの硬さや張力で抑制するのではなく、適正な矯正力の作用点を選択することが重要であると考えられる。

## ま と め

歯の滑走移動において、ワイヤーとブラケット間に生じる摩擦力、あるいは牽引力とワイヤーの張力との関係を検討し以下の結果を得た。

1. おもりに抵抗荷重とした場合、ワイヤーの張力が小さい時には歯の長軸の傾斜が大きく牽引力も大きかった。しかし、モーメントが少ない力の作用様式ではワイヤーの張力による差は認められなかった。

2. いずれの牽引方法においても、周波数の分布には二つのピークが見られ、ワイヤーの上端を free にした場合にはそのピークが右偏した。また、牽引力が経時的に増加した牽引方法ではきわめて低い周波数におけるピークが顕著であった。

3. 抵抗荷重にコイルスプリングを用いた時、ワイヤーの両端を固定した場合には歯の長軸の傾斜は小さいが、抵抗の大きさおよび摩擦力が大きいため牽引力も大きかった。また、ポイント3の牽引ではポイント1と比べて摩擦力およびワイヤーのたわみ力は小さいが、コイルスプリングの抵抗の大きさが大きいため牽引力は大きかった。

以上のことから、牽引力を小さくし歯の傾斜を防ぐためには、ワイヤーに張力を与えるのではなく、矯正力の作用点を適正に選択し、歯の長軸の傾斜を抑え

ワイヤーのたわみと摩擦力を可及的に小さくすることが重要であることがわかった。

## 文 献

- 1) Thurow, R. C.: Edgewise orthodontics. ed. 3, Saint Louis, 1972, C.V. Mosby Co., 161-164.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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, 45-50, 1992.
- 6) 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, 1979.
- 7) 野田隆夫, 相馬邦道: 矯正用ワイヤーの摩擦特性—結紮線, ブラケットとの摩擦—. 日矯歯誌 52, 502-508, 1993.
- 8) Tidy, D. C.: Frictional force in fixed appliances. *Am. J. Orthod. Dentofac, Orthop.* 96, 249-254, 1989.
- 9) Drescher, D., Bourauel, D. P. and Schumacher, H.: Frictional force between bracket and arch wire. *Am. J. Orthod. Dentofac, Orthop.* 96, 397-404, 1989.
- 10) Drescher, D., Bourauel, C. and Schmacher, H. A.: Optimization of arch guided tooth movement by the use of uprighting springs. *Euro. J. Orthod.* 12, 346-353, 1990.
- 11) 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—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.
- 12) Moore, J. C., Waters, N. E.: Factors affecting tooth movement in sliding mechanics. *Euro. J. Orthod.* 15, 235-241, 1993.
- 13) 山口和憲, 河田俊嗣, 吉田 恵, 小田義仁, 森本徳明, 山内和夫: 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—. 広大歯誌 25, 148-152, 1993.
- 14) 山口和憲, 小田義仁, 森本徳明, 丹根一夫: ブラケットとワイヤー間の摩擦力に関する研究—変化する抵抗の大きさを考慮した摩擦力—. 広大歯誌 25, 480-484, 1993.



- 15) 山口公典, 小野隆彦: FFT アナライザの使い方, オーム社, 東京, 1993.
- 16) 小木和孝, 袴田忠: 筋疲労時の表面筋電図の周波数分析. 労働科学 38, 519-528, 1962.
- 17) 田中久一郎: 摩擦のおはなし, 日本規格協会, 東京, 83-94, 1992.
- 18) 日本工業標準調査会 審議: 表面粗さの定義と表示 JIS B 0601-1982, 日本規格協会, 東京, 1982.
- 19) Storey, E. and Smith, R.: Force in orthodontia and its relation to tooth movement. *Australian J, Dent.* 56, 13, 1952.