

結紮がワイヤーとブラケット間の摩擦力に 及ぼす影響について

山口 和憲, 小田 義仁, 杉山 拓紀
森本 徳明, 丹根 一夫

The influences of ligation on frictional force between bracket and wire.

Kazunori Yamaguchi, Yoshihito Oda, Hiroki Sugiyama, Noriaki Morimoto and Kazuo Tanne

(平成6年9月30日受付)

結 言

ブラケットとワイヤーの滑走によって犬歯の遠心移動, あるいは前歯の舌側移動を行なう際に, 両者間に生ずる摩擦抵抗は円滑な歯の移動を妨げる要因となる。

摩擦力はブラケットとワイヤーの接触部位における垂直力と摩擦係数の積で表される¹⁻⁴⁾。そこで, 垂直力に関連する要因として, 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²⁻⁸⁾, 結紮の方法^{9-13,17)}, 歯の移動に対する歯周組織の抵抗の大きさ^{6,14-18)}, あるいは矯正力の作用点^{6,17-19)}などが検討されてきた。一方, 結紮線による結紮力も垂直力に大きな影響を与えられられるが, 結紮力を一定にするのが困難なため²⁾, ワイヤーとブラケットの結紮の方法が摩擦力の大きさにどの程度の影響を及ぼすのか明らかではない。

前歯群を一塊として滑走移動する力系は臨床的に多用されるが, 側方歯群の複数のブラケットとワイヤーとの結紮により摩擦力が増加すると考えられる。犬歯遠心移動において, 結紮線あるいはエラスティックによる結紮を必要としないブラケット^{12,13,17)}がすでに応用されている。しかし, 複数のブラケットとワイヤー間の摩擦力についての報告は見られない。

これらの力系による歯の移動を適切に行なうためには, 歯の移動方向と牽引方向の相違を考慮する必要がある。すなわち, 歯の傾斜移動を抑制し摩擦力を軽減

するためにブラケットから延長されたアームに矯正力を加えると, 歯の移動方向と矯正力の作用線の方向が一致しないことがあり, 牽引方向の相違が摩擦力に影響を与える可能性がある。

本研究では, エラスティックによる結紮が摩擦力にどのような影響を与えているのか, 歯の移動方向と牽引方向の相違が摩擦力にどのような影響を与えているのかを, 第一大臼歯を固定源とした犬歯の遠心移動と前歯の舌側移動について検討を加えた。

研究 方法

実験1 エラスティックによる結紮が摩擦力に及ぼす影響について

通常, 切歯, 犬歯あるいは小臼歯に用いられるブラケットは, 図1Aに示すように結紮線あるいはエラスティックによってワイヤーに結紮される。第一大臼歯には, 第二大臼歯の萌出咬合と共にキャップを取り外してブラケットに変換 (convert) 出来るコンバーティブルチューブが用いられる (図1B)。実験1では, 大白歯用コンバーティブルチューブを用い, エラスティックによる結紮が摩擦力に与える影響を検討した。

1. ブラケットとワイヤーの固定法および牽引方法
直径が1.2mmのニッケルクロムワイヤー (歯の長軸) に固定したメタルメッシュ板の中央に, 内径が0.018インチ×0.025インチのチューブを持つ大白歯用コンバーティブルチューブ (トミーインターナショナル社, 東京) を固定した。牽引部位は歯の長軸上で, チューブの中央 (ポイント1), チューブの中央から6.0mm (ポイント2) および9.0mm (ポイント3)

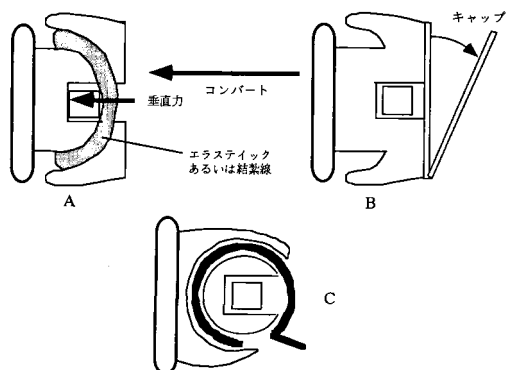


図1 各種ブラケットの側面観

- A ; standard edgewise bracket : エラスティックによる結紮で垂直力が生ずる。
 B ; コンバーティブルチューブ : ブラケットの溝がキャップにより覆われている。キャップを取り外すことによってチューブはブラケットに変換 (convert) される。
 C ; Activa,

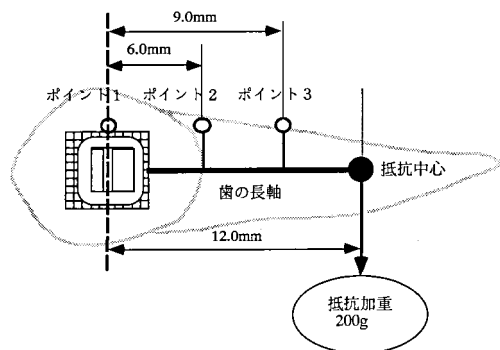


図2 コンバーティブルチューブおよび Activa の牽引部位

の三点に設定した (図2)。また、チューブの中央から 12.0 mm の点^{8,16,19)} に 200 g の抵抗荷重を負荷した (図2)。

牽引はすでに報告した方法^{18,19)} に従って行ない、コンバーティブルチューブの計測が終了後、チューブのカバーを取り外し wide twin bracket としてエラスティック (Lig. Stick, ランサー, 東京) を用いて結紮し (図1A) 摩擦力を計測した。試験ワイヤーとして 0.016 インチ×0.016 インチのステンレス鋼ワイヤー (Hi-T, 3M-Unitek, Monrovia, Calif) をワイヤー固定台に 2.0 kg の張力で固定し、牽引は試験ワイヤーに平行に行なった。

実験2 Activa の摩擦力について

結紮のための付加装置を持つ Activa (A-company, San Diego, Calif) はワイヤーあるいはエラスティックによる結紮を必要としない。実験2では Activa (図1C) の摩擦力を牽引方向の違いによって比較検討した。

Activa をメタルメッシュ板の中央に固定し、牽引部位および抵抗中心の設定は実験1と同様に行なった (図2)。抵抗荷重は 200 g とし、試験ワイヤーと平行に牽引する方法とポイント1から 20.0 mm の試験ワイヤー上に設けた長さ 3.0 mm のフック (第一大臼歯のフックの高さを想定) の方向へ牽引する二つの方法を用いた (図3)。0.016 インチ×0.016 インチのステンレス鋼ワイヤーを試験ワイヤーとして 2.0 kg の張力で固定した。

実験3 前歯の舌側移動における摩擦力について

図4左に示すように、4前歯を一塊として牽引する場合、ワイヤーは側方歯群のブラケットと結紮される。また、側切歯と犬歯間の主線上のフック (牽引点) と第一大臼歯のフックの間に働く矯正力の作用線の方法と前歯の移動方向が異なると、摩擦力の大きさに影響が現れると考えられる。実験3では複数のブラケットとワイヤーをエラスティックによって結紮した場合と、結紮を行なわないでロングチューブを用いた場合 (図4右) の摩擦力を検討した。また、それぞれにおいて移動方法と牽引方向の相違が摩擦力に及ぼす影響を比較検討した。

1. 二個のブラケットとチューブ (short) の固定

図4左に示すように、長さ 25.0 mm の 0.018 × 0.025 インチのワイヤーを用いて、メッシュ板上に二個の medium twin bracket と大臼歯用チューブを直線に配列固定し、メッシュ板をワイヤー固定台に垂直に固定した。牽引に用いた試験ワイヤーは 0.016 インチ × 0.022 インチのエルジロイワイヤー (ロッキーマウンテン, 東京) で、遠心端から 30.0 mm の位置に直径が 0.7 mm コバルトクロムワイヤー (ロングアーム) を鑲着し、この点をポイント1とし、鑲着部から 5.0 mm, 7.0 mm の点をそれぞれポイント2, ポイント3とし、12.0 mm の点に 200 g の抵抗荷重を負荷した。

二個の medium twin bracket をエラスティックによって結紮し、Activa の牽引と同様に牽引方向は試験ワイヤーに平行に牽引する方法と、第一大臼歯のチューブのフックの方向に牽引する方法を用いた。

2. ロングチューブの固定

遠心端から 3.5 mm の部位に長さ 3.0 mm のフック

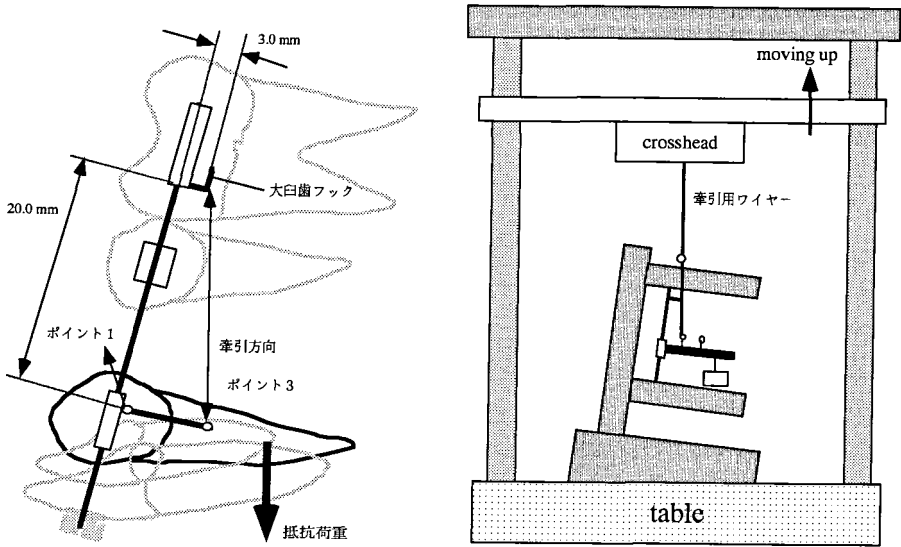


図3 Activaの牽引方向と試験機へのワイヤー固定台の固定

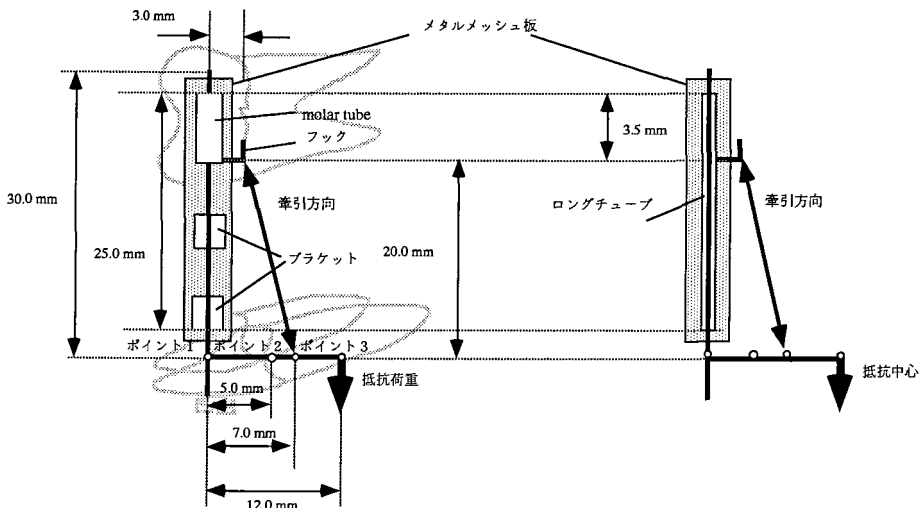


図4 2個のブラケットとチューブ(左)とロングチューブ(右)の固定法

を鑲着した、長さ 25.0 mm (上顎第一大臼歯から犬歯までの長さ) のロングチューブ (外径: 0.041 インチ, 内径: 0.025 インチ) をメッシュ板に固定し、ワイヤー固定台に固定した。固定したロングチューブの内に実験 3 の 1 と同じサイズで同様のフックを鑲着した試験ワイヤーを通し、同様の条件で牽引を行なった (図 4 右)。

実験 1, 2, 3 において、牽引部位と万能試験機 (インストロン 6023, インストロン社, 東京) のクロスヘッドとの固定は牽引用ワイヤーで行なった。また、牽引に先立ち摩擦力の零調整を行ない、摩擦力からおもりの抵抗荷重を排除し、毎秒 0.1 mm の速度で

2.0 mm の牽引を行なった。万能試験機からの摩擦力の電気信号は 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 40 Hz で 20 秒間サンプリングし、マイクロコンピュータに記録した¹⁹⁾。計測は 6 回行ない、牽引期間中の摩擦力の最大値について結紮の方法、牽引部位および牽引方法による差異を比較検討した。

結 果

I. エラスティック結紮による摩擦力について
ポイント 1 と 2 および 3 からコンバーティブルチューブを牽引した時の摩擦力の平均はそれぞれ

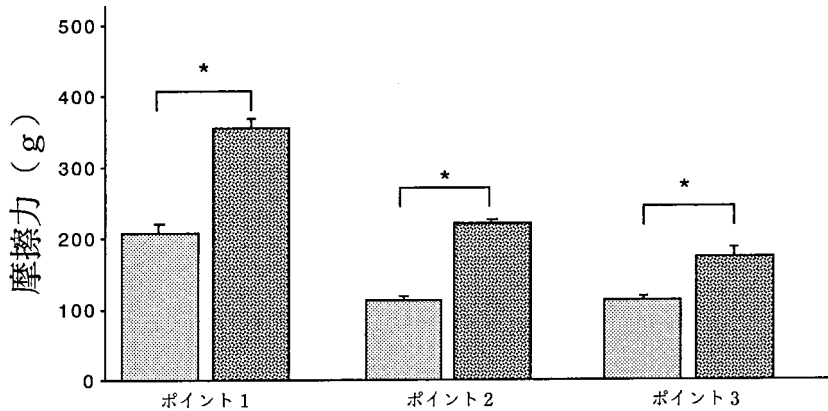


図5 コンバーティブルチューブと wide twin bracket の摩擦力
 □: コンバーティブルチューブ, ■: wide twin bracket
 *: $p < 0.05$

220.5±12.2g, 120.8±8.7g, 124.8±4.3gであり, wide twin bracket をエラスティックで結紮した時の 367.1±14.1g, 231.2±10.6g, 184.5±10.0g より有意に ($p < 0.05$) 小さく, 特にポイント1から牽引した場合の差が最も著明であった(図5)。

II. Activa を用いた場合の摩擦力の大きさ(図6)

いずれの牽引方向においても, ポイント1からの牽

引した場合の摩擦力はポイント2あるいは3から牽引した場合よりも有意に ($p < 0.05$) 大きな値を示した。

ブラケットの移動方向に平行にポイント1と2および3から牽引した場合の摩擦力の平均は 551.2±37.8g, 81.5±3.8g, 25.5±2.9gであり, ポイント1と2および3からフックの方向に牽引した場合の平均は 679.9±71.2g, 77.7±3.5g, 41.1±3.2gであった。ポイント1から平行に牽引した時の摩擦力はフックの方向に牽引した値よりも有意に ($P < 0.05$) 小さかつ

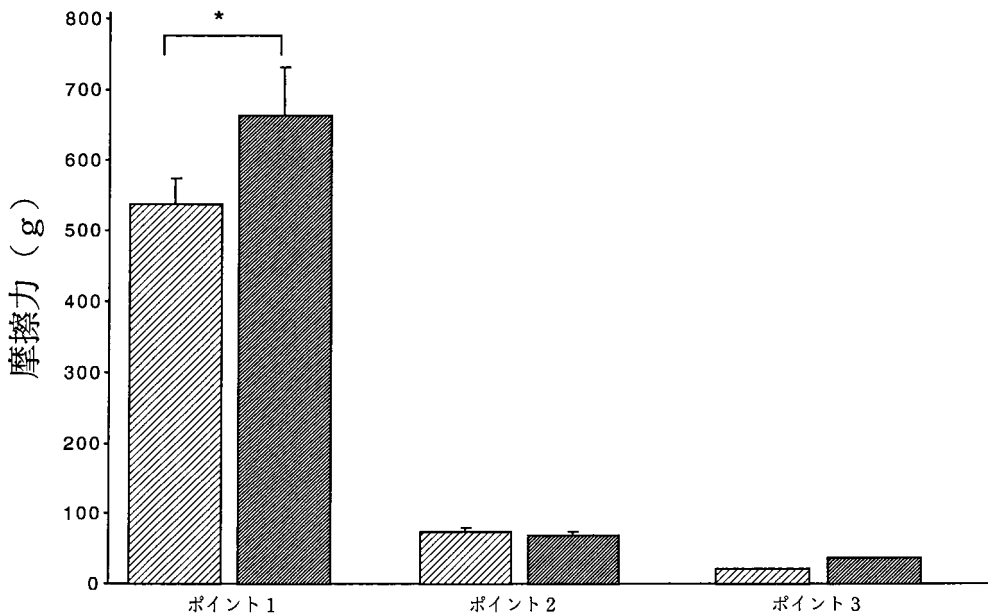


図6 Activa の摩擦力
 □: Activa の移動方向に平行に牽引した場合, ■: 大臼歯のフックの方向に牽引した場合。
 *: $p < 0.05$

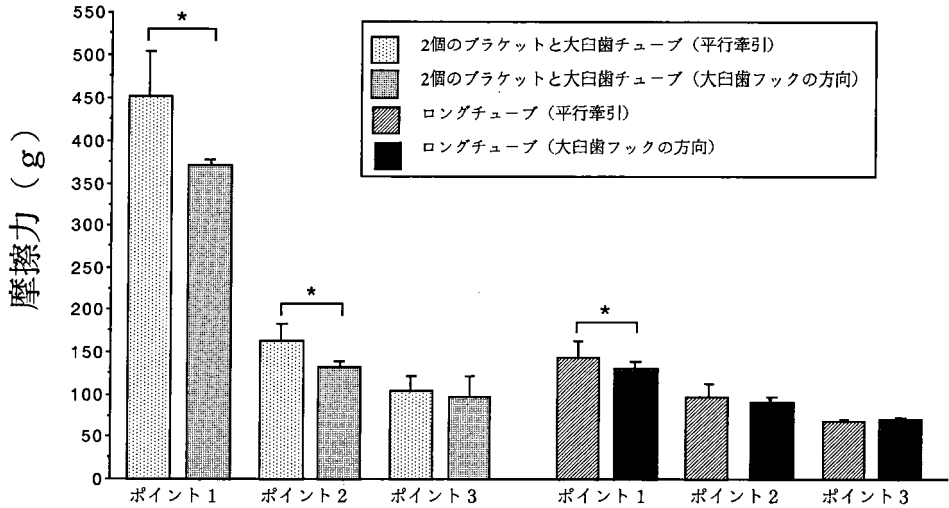


図7 二個のブラケットと大白歯用ブラケットを用いた場合とロングチューブを用いた場合の摩擦力の比較
* : $p < 0.05$

た。しかし、ポイント2および3からの牽引では牽引方向と移動方向の相違による有意な差は認められなかった。

Ⅲ. 切歯を移動した場合の摩擦力の大きさ

1. 二個のブラケットとチューブを用いた場合 (図7左)

いずれの牽引方向においても、ポイント1から牽引した場合の摩擦力はポイント2あるいは3から牽引した場合よりも有意に ($p < 0.05$) 大きな値を示した。また、ポイント1および2から試験ワイヤーに平行に牽引した場合の摩擦力の平均は 454.3 ± 50.8 g, 172.3 ± 18.9 g であり、大白歯のフックの方向に牽引した場合の 373.2 ± 5.8 g, 130.2 ± 7.8 g よりも有意に ($p < 0.05$) 大きかった。しかし、ポイント3からの牽引では両者間に有意な差は認められなかった。

2. ロングチューブを用いた場合 (図7右)

いずれの牽引方向においてもポイント1から牽引した場合の摩擦力はポイント2あるいは3から牽引した場合よりも有意に ($p < 0.05$) 大きな値を示した。しかし、その差は二個のブラケットとチューブを滑走した場合よりもはるかに小さかった。

ポイント1から試験ワイヤーに平行に牽引した場合の摩擦力の平均は 123.8 ± 16.5 g で大白歯のフックの方向に牽引した場合の 112.4 ± 7.5 g よりも有意に ($p < 0.05$) 大きかった。しかし、ポイント2および3からの牽引では、牽引方向による差は見られなかった。

いずれの牽引点、牽引方向においても、二個のブラケットとチューブを用いた場合の摩擦力はロング

チューブを用いた場合のそれよりも有意に ($P < 0.05$) 大きな値を示した (図7)。

考 察

Ⅰ. 結紮と摩擦力

摩擦力はブラケットとワイヤー間の摩擦係数と垂直力の積で表される。垂直力はブラケットに矯正力が加わり、ワイヤーに対してブラケットが傾斜するとき発生するが^{6,8,17}、ブラケットをワイヤーに結紮する力も垂直力の発生 of 大きな要因となる。しかし、結紮はブラケットがワイヤーに沿って確実に移動するためには欠かすことのできない方法である。そこで、歯の滑走移動における摩擦力を軽減することを目的として、結紮を必要としないブラケットが開発、市販されている^{12,13,17}。その原理は、結紮による垂直力を抑えるようにブラケットがチューブの形をとっていることである。結紮線あるいはエラスティックによる結紮が摩擦力に及ぼす影響を実験モデルを用いて検討した研究では、結紮力、特に、結紮線による結紮力を一定にすることが困難とされている²⁾。

そこで、実験1ではチューブからブラケットへ変換が可能なコンバーティブルチューブを用いることで、ブラケットの溝あるいは幅径の摩擦力と関連した二つの因子を除外し、結紮方法の違いによる影響のみを検討できるように工夫した。その結果、結紮を必要としないチューブを用いた場合の摩擦力は、エラスティックで結紮した場合よりもはるかに小さく、特に、ポイント1から牽引した場合には大きな差が認められた。サイズの大きな結紮線でブラケットとワイヤーを強固

に結紮すると、摩擦力がさらに大きくなるのが容易に想像される。

しかし、実験1で用いたコンバーティブルチューブはカバーのキャップを取り外すとブラケットに変換できるが、その逆は不可能である。そのため、治療の進行に伴って来院毎にワイヤーをブラケットから容易に着脱する必要がある切歯、犬歯および小白歯には不適當である。そこで、結紮を必要としないActivaについてさらに検討した。

II. Activaを用いた場合の摩擦力について

Activaで特徴的なのはブラケット上のポイント1から牽引した場合の摩擦力が非常に大きく、牽引方向が移動方向に対して傾斜すると摩擦力も大きくなることである。しかし、抵抗中心に近いポイント3から牽引すると摩擦力がきわめて小さく、実験1のコンバーティブルチューブの摩擦力よりも小さかった。また、牽引方向の相違が摩擦力に与える影響は小さかったことから、ポイント3からの牽引では移動方向と牽引方向の相違が摩擦力に与える影響が小さく臨床応用の可能性が示唆される。

III. 前歯を一塊として移動した時の摩擦力

犬歯の遠心移動後、切歯群の舌側移動をワイヤーの滑走によって行なう場合、ワイヤーに結紮されるブラケットの数が増加するため、結紮による摩擦力に及ぶ影響はますます大きくなる。すなわち、非抜歯症例であれば片側で3本の側方歯、抜歯症例であれば2本の側方歯のブラケットにワイヤーは結紮される。本実験では抜歯症例を想定し、二個のブラケットを用いた。その結果、ポイント1から牽引した場合の摩擦力はポイント2および3から牽引した場合よりはるかに大きな値で、牽引点を切歯群の抵抗中心よりにすると摩擦力は大きく減少することが分かる^{6,17-19}。

用いた二個のブラケットは、0.018インチ×0.025インチのワイヤーに沿って固定したのでチューブおよび二個のブラケットの溝には捻れがなく、これは臨床的にストレート用ブラケット (preadjusted bracket) を用いた時の配列となる。スタンダードブラケットでは大白歯、小白歯および犬歯のチューブあるいはブラケットの溝の間にずれが生じ、摩擦力をさらに増加させることになる。

ロングチューブを用いた場合にも、牽引部位および牽引方向が摩擦力に及ぼす影響は同様であった。しかし、ロングチューブを用いた場合の摩擦力は、二個のブラケットをワイヤーをエラスティックで結紮した場合の摩擦力よりはるかに小さく、エラスティックによ

る結紮が垂直力を増加したことを示している。

歯の移動方向と矯正力の作用方向の相違が摩擦力に及ぼす影響は、ブラケットをエラスティックで結紮した場合に大きく、特にポイント1から牽引した時に大きかった。しかし、ポイント2および3からの牽引では牽引方向の違いによっても大きな差は認められなかった。つまり、牽引点をワイヤー上においた場合はブラケットの結紮あるいは牽引方向の影響が大きく現れるものと考えられる。犬歯の遠心移動を単独に行なわないで、犬歯を含めた6前歯を一塊として遠心移動することがある。この時、6前歯の至適矯正力は片側で200g~250gと大きく²⁰、さらに大きな摩擦力が加わると、矯正力は相当に大きな力となる。このため、固定歯となる大白歯の近心移動を招来する。摩擦力を抑えるために側方歯群にロングチューブを用いた意味はここにあった。

固定歯となる大白歯の近心移動を抑えるためには、固定源の強化はもちろん摩擦力を可及的に軽減する必要がある。犬歯遠心移動および前歯の舌側移動において、摩擦力の発生の大きな要因であるブラケットのワイヤーに対する傾斜を抑え、さらにエラスティックによる結紮を避けることでこの目的が達成できると考えられる。その際、歯の移動方向とブラケットの牽引方向の相違が摩擦力の大きさに及ぼす影響は臨床的には有意ではなく既存の大白歯フックからの牽引で十分であり、摩擦力を抑え円滑な遠心移動が可能であると言える。

文 献

- 1) Thurow, R.C.: Edgewise orthodontics. ed. 3, St. Louis, 1972, C.V. Mosby Co., 161-164.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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

- の摩擦力の比較一。中四国矯歯誌 4, 45-50, 1992.
- 7) Ogata, R.H.: Kinetic frictional forces generated between stainless steel brackets and orthodontic wires as a friction of second order deflection. Thesis, Submitted to the Graduate College, Health Science Center, University of Oklahoma, 1994.
 - 8) Yamaguchi, K., Nanda, R.S., Morimoto, N. and Oda, Y.: A study of force application, amount of retarding force and bracket width in sliding mechanics. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 1994; in press.
 - 9) 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.
 - 10) 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.
 - 11) Thurow, R.: Elastic ligature, binding forces, and anchorage fixation. *Am. J. Orthod.* 67, 694, 1975.
 - 12) Berger, J.L.: The influence of the SPEED bracket's self-ligating design on force levels in tooth movement: A comparative in vitro study. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 97, 219-228, 1990.
 - 13) Kemp, D.W.: A comparative analysis of frictional forces between self-ligating and conventional edgewise orthodontic brackets. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 103: 198, 1992.
 - 14) Tidy, D.C.: Frictional force in fixed appliances. *Am. J. Orthod. Dentofac, Orthop.* 96, 249-254, 1989.
 - 15) Drescher, D., Bourauel, D.P. and Schumacher, H.: Frictional force between bracket and arch wire. *Am. J. Orthod. Dentofac, Orthop.* 96, 397-404, 1989.
 - 16) Drescher, D., Bourauel, C. and Schmacher, H.A.: Optimization of arch guided tooth movement by the use of uprighting springs. *Eur. J. Orthod.* 12, 346-353, 1990.
 - 17) 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.
 - 18) 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.
 - 19) 山口和憲, 平田あつ子, 石田真奈美, 井藤一江, 丹根一夫: 歯の滑走移動における摩擦とワイヤーの張力との関係について. 広大歯誌 26: 179-187, 1994.
 - 20) Storey, E. and Smith, R.: Force in orthodontia and its relation to tooth movement. *Australian J. Dent.* 56, 11-18, 1952.