

審美矯正ワイヤに適したブラケットの試作

(Bracket suitable for esthetic orthodontic wires)

学位論文内容の要旨

【緒言】

近年、歯科矯正治療において審美的要求が強くなり求められ、ブラケット、結紮線に関しては透明で耐久性のあるものが開発され臨床に広く使われている。しかし、矯正治療に必要な不可欠のワイヤに関しては金属製のものがほとんどであり、審美的に優れたワイヤの臨床応用が望まれている。

著者らが研究開発を進めている繊維強化プラスチック型審美矯正ワイヤ(以下、FRP ワイヤ)は、透明性が高く審美的に優れ、これまでの基礎的研究から臨床応用に十分な曲げ強さを有する結果が得られている。マルチブラケット装置を使用した矯正治療では、矯正用ワイヤの弾性回復力を利用し歯の移動を行うため、ワイヤをブラケットに装着する際には歯列の乱れに対応したたわみ変形を与える必要があり、乱れの程度が大きい場合にはワイヤに永久変形を生じることがある。この対応策として臨床では、弾性ひずみの大きい超弾性Ni-Ti系矯正用ワイヤや、弾性ひずみの小さい矯正用金属線を用いる場合には、ワイヤにループなどを屈曲してブラケット間の長さを調節しているが、FRP ワイヤは、超弾性や塑性変形による十分な加工性を有していないため、金属性のワイヤと同様なたわみ変形を与えることが難しい。

本研究ではFRP ワイヤの臨床への適用範囲を拡大することを目的として、破壊の原因となるブラケットスロット辺縁の応力集中を低減し、かつ審美的に優れたブラケットを試作し、その効果を検討した。

【審美矯正ワイヤの作製】

生体親和性に富む(25.0) CaO-(18.13) P₂O₅-(31.49) SiO₂-(25.38) Al₂O₃ (wt%) (以下、CPSA) ガラス繊維とUDMAマトリックスからなるFRP ワイヤ(直径0.5mm、ガラス繊維径20 μm、繊維体積分率50%、ガラス繊維一方向配向、円形断面)を光重合により作製した。なお、乾燥状態と100℃の蒸留水に三時間浸漬した状態のものを使用した。

【ブラケットの試作と評価方法】

ブラケットは、近遠心幅4mm、スロット幅0.022インチ(0.56mm)のポリカーボネイト製(クリアブラケット:三金工業社製)(以下、従来型ブラケット)およびそれを改造した4種類の試作ブラケットを使用した。以下では、従来型ブラ

ケットに結紮線によるせん断力を支える台（以下、支台）を設けたものを R0 型とし、さらにワイヤの曲率を大きくするために曲率半径 0.5, 1.0, 2.0 mm の台（以下、曲率台）をそれぞれ追加した R05, R1, R2 型とした。

FRP ワイヤの破壊におよぼすブラケット形状の影響について調べるために、片持ちばりによる破壊試験を行った。得られた荷重-たわみ曲線よりワイヤの破壊が開始する点を限界たわみおよび限界荷重と定義し評価に用いた。さらに、歯に作用する矯正力は荷重-たわみ曲線の除荷時荷重値に相当するため、ヒステリシス試験を行い矯正力に与えるスロット辺縁形状の影響を調べた。負荷時および除荷時におけるたわみ 2.0 mm (乾燥条件) および 1.0 mm (浸漬条件) での荷重値をそれぞれ P_L および P_D とし、 $(P_D/P_L) \times 100$ (%) を荷重維持率と定義して用いた。次に、実用的な大きさを維持したまま、支台および曲率台の効果を発揮することを可能にするため、ブラケットウィングに V 字型の切れ込みを付与し、さらにスロット辺縁を曲面化した新しいブラケット（以下、改良型ブラケット）を設計および試作した。片持ちばりによる破壊およびヒステリシス試験と歯列弓形状を再現した治具にブラケットを 5 個使用した実際の臨床に近い 5 箇所結紮歯列弓状曲げ（以下、結紮曲げ）によるヒステリシス試験を行い、従来型ブラケットと比較した。さらに、ワイヤの口腔内長期装着を想定し、応力緩和試験を行った。得られた緩和曲線からたわみを与えた直後の最大荷重と 10 分後の荷重値を P_M および P_R とし、 $(P_R/P_M) \times 100$ (%) を緩和保持率と定義し従来型と比較した。

顎模型の人工歯上に従来型と改良型ブラケットを接着して、実際の矯正治療を実験的に再現し、FRP ワイヤを結紮した際の変化を観察した。

【結果】

R0~R2 型を用いた場合、片持ちばりによる破壊試験で、限界たわみは曲率半径が大きくなるほど増加し、R2 型で従来型の約 1.4 倍の 3.5mm を示した。荷重も同様の傾向を示した。ヒステリシス試験では、すべての試験片とも良好な弾性回復を示し、荷重維持率は、従来型を用いた場合の 34% にたいして、71~87% と曲率半径が大きくなるほど増加した。また、水中浸漬したワイヤを用いた場合には、従来型の 27% にたいして、70~88% とより顕著な増加を認めた。改良型を用いた場合、片持ちばりによる破壊試験で、限界たわみは従来型の約 1.38 倍の 3.3mm を示し、ヒステリシス試験では、乾燥条件で 85%、浸漬条件で 82% の荷重維持率を示し、R05 型とほぼ同等の結果であった。条件が実際の臨床に近い結紮曲げによるヒステリシス試験では、良好な弾性回復が認められ、従来型にたいして 7 倍の荷重維持率を示した。さらに、応力緩和試験では急激な荷重降下は生じず、2.5 倍の緩和保持率を示し、長時間にわたり一定荷重を保持できることが確認できた。顎模型を使用した実験で改良型ブラケットを使用した場合、FRP ワイヤに破壊を生じさせずに結紮することができた。

【考察と結言】

FRP ワイヤの破壊の主要な原因であるブラケット辺縁部における応力集中を低減することを目的として、実用的な大きさを維持したまま、結紮線のせん断力を回避し、ワイヤの曲率を大きくした試作改良型ブラケットの形状は、ワイヤの最

大変形範囲を拡大し、さらに、破壊感受性が高い湿潤環境下の口腔内でより叢生量の大きな歯群のブラケットに術者が安全に結紮できることが示された。以上から、試作改良型ブラケットの導入は、より多くの臨床例へ応用するうえで有効な手段であることが示唆された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 飯 田 順一郎
副 査 教 授 亘 野 文 夫
副 査 教 授 大 畑 昇

学 位 論 文 題 名

審美矯正ワイヤに適したブラケットの試作

(Bracket suitable for esthetic orthodontic wires)

審査は主査・副査が一同に会して口頭でなされ、はじめに本論文の要旨の説明を求めた。申請者からは以下のような内容についての論述がなされた。

マルチブラケット装置を使用した矯正治療では、矯正用ワイヤに曲げ変形を与え、その弾性回復力で歯の移動を行うため、叢生の程度が大きい場合ではワイヤに永久変形を生じることがある。こうした条件下では、現在開発中の繊維強化プラスチック型審美矯正ワイヤは、金属ワイヤと同様に大きなたわみを与えることは難しいのが現状である。そこで、同ワイヤの臨床への適用範囲の拡大を目的として、破壊の原因となるブラケットスロット辺縁の応力集中を低減し、かつ審美的に優れたブラケットを試作し、その効果を検討した。

【ワイヤ、ブラケットの試作と評価方法】

CPSA ガラス繊維と UDMA レジンからなる FRP ワイヤを光重合法により作製し、乾燥状態と 100°C の蒸留水に 3 時間浸漬した状態のものを以下使用した。

ポリカーボネイト製の従来型ブラケット(CB)およびそれを改造した 4 種類の試作ブラケットを作製した。すなわち、従来型ブラケットに結紮線によるせん断力を支える台 (以下、支台) を設けたものを R0 型とし、さらにブラケットに接する辺縁に曲率半径 0.5, 1.0, 2.0 mm の台 (以下、曲率台) をそれぞれ追加した R05, R1, R2 型とした。

FRP ワイヤの破壊におよぼすブラケット形状の影響を調べるため、片持ちばり曲げ破壊試験を行った。得られた荷重-たわみ曲線よりワイヤの破壊が開始する点を限界たわみおよび限界荷重と定義し評価した。さらに、ヒステリシス試験を行い矯正力に与えるスロット辺縁形状の影響を調べた。たわみ 2.0 mm (乾燥条件) および 1.0 mm (浸漬条件) での負荷時にたいする除荷時荷重値の比率を荷重維持率と定義し評価した。次に、上記の支台および曲率台の効果を発揮し、実用性を考慮した新しいブラケット (以下、改良型ブラケット: IB) を試作した。この IB を用いて、片持ちばり曲げ破壊およびヒステリシス試験と歯列弓形状を再現した結紮曲げヒステリシス試験を行い、またワイヤの口腔内長期装着を想定し応力緩和試験を行い、得られた緩和曲線から最大荷重値に対する 10 分後の荷重値の比率を緩和保持率と定義し評価した。

最後に、顎模型に従来型と改良型ブラケットを接着して、実際の結紮操作を実験的に再現し、FRP ワイヤの変化を観察した。

【結果】

試作ブラケットR0～R2型を用いた場合、片持ちばり曲げ破壊試験の限界たわみ、荷重は、曲率半径が大きいほど増加し、R2型のたわみはCBの約1.4倍の3.5mmを示した。ヒステリシス試験では、CBの荷重維持率34%に対して、試作ブラケット71～87%と曲率半径が大きくなるほど増加した。また、浸漬条件では、CBの27%に対して、70～88%とより顕著な増加を認めた。IBを用いた場合、片持ちばり曲げ破壊試験の限界たわみはCBの約1.38倍、ヒステリシス試験では、荷重維持率が乾燥条件で85%、浸漬条件で82%とCBの約190%増を示し、結紮曲げヒステリシス試験でも、CBの7倍と大きく増加した。さらに、応力緩和試験では急激な荷重降下は生じず、2.5倍の緩和保持率を示し、長時間にわたり一定荷重を保持できることが確認できた。顎模型を使用した実験でも結紮操作によるワイヤの破壊が少ないことが確認された。

以上の結果から学位申請者は、ブラケット形状の改良によりFRPワイヤの破壊の主な原因であるブラケット辺縁部における応力集中を低減し、叢生量のより大きな歯列まで適用を拡大できることを明らかにし、そして試作改良型ブラケットのFRPワイヤを臨床応用するうえでの有効性を結論した。

以上の論述に引き続き各審査委員より口頭で試問が行われた。試問内容は実験方法、結果の信頼性、考察、今後の展望および関連分野の内容など多岐にわたるものであったが、申請者はいずれにも明快な回答、説明を行った。

本研究において申請者は、開発を進めてきた審美矯正用FRPワイヤの機械的特性をブラケット形状の改良により補完した。加えて本論文はその理工学的な背景を明快に説明したものである。

現在、矯正臨床において、患者の心理的背景から、審美的な矯正用ワイヤが求められており、複合材料を応用した開発が進められている。本研究で開発された試作改良型ブラケットはFRPワイヤの早期臨床応用の実現に寄与するだけでなく、本研究で明解に説明されたFRPワイヤの破壊に関する理工学的、材料学的な説明は、今後の研究、開発に対して大きく寄与するものと考えられる。加えて、試問の内容から、申請者は臨床的ならびに基礎的な広い学識を有しているものと認められた。従って、申請者は博士(歯学)の学位を授与される資格を有するものと認められた。