

## 論文審査の結果の要旨

氏名：井 波 俊 博

博士の専攻分野の名称：博士（歯学）

論文題名：Development of glass fiber-reinforced plastic for orthodontic wires

（グラスファイバー強化プラスチック製歯科矯正ワイヤーの開発）

審査委員：（主査）教授 西山 典宏

（副査）教授 葛西 一貴

（副査）教授 清水 武彦

近年、歯科矯正治療を受診する成人患者の増加により、患者の審美的関心も高まり、歯科矯正治療に使用される矯正装置に対しても審美性が求められている。そのため最近の矯正臨床では、歯冠舌側にブラケットを装着する舌側矯正治療やジルコニアやポリカーボネートなどの歯冠色に近い素材を用いた審美性の高いブラケットが使用されている。一方、矯正用ワイヤーについては依然として金属製のものがほとんどであり、歯と金属製ワイヤーとの著しい色調の違いにより審美性が大きく損なわれているのが現状である。これまでに金属製ワイヤーの表面をエポキシレジンやポリエチレンでコーティングした審美矯正ワイヤーの開発も試みられ臨床応用されている。しかし使用中におけるコーティング材の剥離、変色および着色などの問題があり、矯正ワイヤーの審美性の改善については未だ十分ではない。また金属製ワイヤーを使用した場合、口腔内へのニッケルなどの金属イオンの溶出により金属アレルギーを引き起こす可能性が懸念される。

そこで本論文の著者は、歯科矯正装置のメタルフリー化を目指し、現在工業分野などにおいて幅広く使用されている比強度・比剛性に優れるグラスファイバー強化プラスチック（Glass fiber-reinforced plastic, 以後 GFRP）を歯科矯正ワイヤーに応用することを発案した。具体的には、引き抜き成形法によりグラスファイバーとポリカーボネートを複合化した GFRP ワイヤーを作製した。また、作製した GFRP ワイヤーについて、表面特性の評価、摩擦試験、曲げ試験、耐久性試験、着色試験および細胞傷害性試験の各種実験を行い、その有用性について評価した。

本研究では、強化材として繊維径が 13 $\mu$ m と 7 $\mu$ m のグラスファイバーとマトリックス樹脂であるポリカーボネートをそれぞれ複合化した 2 種類の GFRP ワイヤーを引き抜き成形法により作製した。作製した GFRP ワイヤーは直径 0.45mm (0.018inch) でラウンド型とした。試作 GFRP ワイヤーの表面特性の評価として、表面性状の観察を電界放射型走査電子顕微鏡（以後 FE-SEM）および走査型プローブ顕微鏡（以後 SPM）を用いて行った。さらに、ダイナミック超微小硬度計を用い、GFRP ワイヤー表面のダイナミック硬さおよび弾性係数を算出した。GFRP ワイヤーとブラケット間に生じる摩擦特性の評価としては、プラスチック製およびジルコニア製の 2 種類のブラケットをそれぞれ貼り付けた専用治具を作製し、ブラケットにワイヤーを通して、これをインストロン万能試験機により引き抜く際の最大摩擦力を測定した。また、GFRP ワイヤーの曲げ特性を評価するためにインストロン万能試験機を用いて三点曲げ試験を行ない、曲げ強度および曲げ弾性係数を算出した。加えて、GFRP ワイヤーの口腔内環境下での耐久性を評価するために、サーマルサイクル処理後に前述の三点曲げ試験を行い、サーマルサイクル処理前後の GFRP ワイヤーの曲げ特性を比較した。さらに、グラスファイバーの口腔内使用での色調安定性について検討するため、GFRP ワイヤーをコーヒー液に浸漬し、浸漬前と浸漬 1, 7, 14 および 28 日後に取り出した試料を色彩色差計により測色し色差を算出した。GFRP ワイヤーの生体安全性の検討には、口腔内組織細胞であるヒト歯肉線維芽細胞に対して MTT assay を用いた細胞傷害性試験を行った。細胞培養系に GFRP ワイヤーの構成素材であるグラスファイバー、ポリカーボネートおよび市販金属製ワイヤーの断片をそれぞれ 72 時間放置し、細胞が傷害される際に放出する乳酸脱水素酵素量を測定することで、ヒト歯肉線維芽細胞への細胞傷害性について調べた。

本研究により、次のような結果を得ている。

- 1) 試作 GFRP ワイヤーは透明性を有し、市販金属製ワイヤーに比べて優れた審美性を示した。
- 2) FE-SEM および SPM を用いた表面性状の観察では、比較対象として用いた  $\beta$  型チタン合金製ワイヤーが最も粗い表面性状を示し、GFRP ワイヤーは比較的滑らかな像が観察された。
- 3) ダイナミック超微小硬度計を用いて計測した GFRP ワイヤー表面の機械的特性はマトリックス樹脂

であるポリカーボネートに依存する結果を示した。

- 4) 摩擦試験において、GFRP ワイヤーは、比較対象として用いたステンレススチール製、コバルトクロム合金製、 $\beta$ 型チタン合金製ワイヤーと比べ低い摩擦力を示した。
- 5) 三点曲げ試験において、GFRP ワイヤーの曲げ特性は超弾性ワイヤーとして歯科矯正に使用されているニッケルチタン合金（以後 Ni-Ti）製ワイヤーに近似した高いスプリングバックと低い剛性を示した。さらに、GFRP ワイヤーと Ni-Ti ワイヤーでは、たわみ 1.95mm まで荷重を加え除去した後、たわみがゼロ回復し、永久変形は認められなかった。それらに加えて、サーマルサイクル前後の曲げ特性に有意な差は認められなかったことから、安定した機械的性質を有していることが確認された。
- 6) コーヒー溶液を用いた着色試験において、GFRP ワイヤーは 28 日間の浸漬期間を通して肉眼的に明らかな色調変化は観察されず、また色彩色差計での計測においても有意な変化は認められなかった。
- 7) 細胞傷害性試験において、GFRP の構成素材であるグラスファイバーとポリカーボネートはコントロールであるジルコニアと比較して有意な差が認められず、GFRP ワイヤーのヒト歯肉線維芽細胞に対する細胞傷害性は確認されなかった。

以上の結果から本論文の著者は、グラスファイバー強化プラスチックワイヤーは透明性を有するとともに、すべりの良い摩擦特性と超弾性である Ni-Ti ワイヤーと近似した曲げ特性を有することなどから、矯正歯科治療において優れた審美性と機械的性質を併せ持つ新しいタイプのメタルフリー審美矯正ワイヤーとして有用であると結論付けている。

本研究は、審美性とメタルフリー化を目指す歯科矯正用ワイヤーとして、比強度・比剛性に優れるグラスファイバー強化プラスチックの臨床応用に向け新たな知見を得たものであり、歯科医学ならびに歯科矯正臨床に大きく寄与し、今後一層の発展が望めるものである。

よって本論文は、博士（歯学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成 27 年 2 月 26 日