The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	トチュウエラストマーを用いた新規熱可塑性樹脂製矯正装置の開発
Author(s)	井上, 小百合
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69505
rights	This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　井上　小百合　）	
論文題名	トチュウエラストマーを用いた新規熱可塑性樹脂製矯正装置の開発

論文内容の要旨

【研究目的】

患者の矯正治療に対する審美的要求の高まりにともなって、近年、アライナー型矯正装置とも呼ばれる透明で目立たない熱可塑性樹脂製矯正装置を用いた矯正治療が注目されるようになり、現在では、部分的な矯正治療から全顎的な治療にまで、その適応範囲が広がっている。しかしながら、ひとつの熱可塑性樹脂製矯正装置で達成できる歯の移動量は、樹脂の素材や厚みによって異なるものの、0.25 mm から 1.0 mm の範囲に限られている。また、装着直後に歯に大きな矯正力がかかり、その後、時間の経過とともに矯正力が極端に低下する。そのため、現在の治療システムでは、10～14 日毎に新しい装置に交換しなければならず、全顎的な矯正治療を行う場合には約 50 個もの装置が必要となることもある。したがって、アライナー型装置による矯正治療をより効率的なものとするために、歯の移動に適した一定の力を持続的に発揮できる新規樹脂の開発が望まれている。

ところで、落葉樹の杜仲（*Eucommia ulmoides*）から抽出・精製したトランス型ポリイソプレンであるトチュウエラストマーは、高い引張特性と大きな破断ひずみを示す生体安全性の高いポリマーである。このトチュウエラストマーを用いれば、歯の移動に適した、弱く持続的な矯正力を発現するアライナー型矯正装置が実現できるのではないかと期待できる。そこで本研究では、まず、市販の熱可塑性樹脂の物性値の分析結果から矯正力の評価に適した物性を特定した後、その変化に影響を及ぼす要因を踏まえて、市販樹脂で作製したアライナー型矯正装置による矯正力の発現を評価した。続いて、トチュウエラストマーを組成とする熱可塑性樹脂を作製し、矯正力と関係する材料特性の評価を行うとともに、同樹脂をアライナー型矯正装置に用いた場合の矯正力の発現を検討することで、その矯正治療用材料としての有用性を評価した。

【材料および方法】

Ⅰ．市販熱可塑性樹脂の物性測定と三次元有限要素法による矯正力の解析

1. 市販熱可塑性樹脂の物性評価
   ポリエステル製樹脂である Essix A+ Plastic (EA)、DURAN (DU)、Erkodur (ER) を用いて、厚さ 1.0 mm のダンベル型試験片を作製し、密度の測定と引張試験による弾性率の測定を行った。また、ひずみゲージ法により各樹脂のポアソン比を測定した。
2. 三次元有限要素法による矯正力の解析
   CAD ソフトウェアを用いて、上顎両側中切歯と上顎右側側切歯にアライナー型矯正装置を装着した *in silico* モデルを設計し、実験 1 で得られた物性値をもとに三次元有限要素解析を行った。そして、得られた矯正力と各物性値との相関について検討した。

Ⅱ．弾性率の変化に影響を及ぼす要因の検索

1. 吸水量の測定
   EA、DU、ER、およびポリプロピレン製樹脂である Essix C+ Plastic (EC) を用いて厚さ 1 mm の試料を作製し、37℃の蒸留水に 24 時間または 2 週間浸漬後、吸水量を測定した。
2. 結晶性と分子構造の分析
   XRD と FTIR により、各樹脂の結晶性と分子構造を分析した。

3.　定ひずみ負荷による弾性率の変化の検討

37℃の蒸留水に無負荷で 24 時間浸漬または 2 週間浸漬後、あるいは 1%の定ひずみを負荷した状態で 2 週間浸漬後に引張試験を行い、各樹脂の弾性率の変化を調べた。

Ⅲ．市販の熱可塑性樹脂の矯正力の評価

ER または EC を用いてアライナー型矯正装置を作製し、ステンレス製歯列模型に装着したときに発現される矯正力を 37℃の水中浸漬下で 24 時間毎に 2 週間まで計測した。比較対照には、2 種の異なるサイズの矯正用ニッケルチタンワイヤーを使用した。

Ⅳ．トチュウエラストマーを用いた新規熱可塑性樹脂製矯正装置の作製と評価

1.　トチュウエラストマーの作製と材料特性評価

杜仲から抽出・精製したトランス型ポリイソプレン粉末を溶融混練した後、射出成形により厚さ 1.0 mm のトチュウエラストマー（Eucommia elastomer：EE）を作製し、上記Ⅱと同様にして、吸水量、結晶性、分子構造、定ひずみ負荷時の弾性率の変化を評価した。

2.　矯正力の評価

EE を用いてアライナー型矯正装置を作製し、上記Ⅲと同様にして矯正力を計測した。

【結果および考察】

Ⅰ．EA、DU、ER の弾性率と三次元有限要素解析によって得られた矯正力との間には、有意な相関が認められた。すなわち、弾性率を測定することで、異なる樹脂で作製されたアライナー型矯正装置により発現される矯正力を比較できることが分かった。

Ⅱ．EC は、EA、DU、ER よりも有意に小さな吸水量を示し、XRD の結果、EA、DU、ER は非晶性の樹脂であり、EC は結晶性を有する樹脂であることが確認され、また、FTIR 分析により、EA、DU、ER は類似の分子構造を持つことが示された。非晶性樹脂である EA、DU、ER では、無負荷で 2 週間水中浸漬を行うと、弾性率の上昇が認められたことから、吸水のみでは弾性率を低下させる要因とはならないことが分かった。一方で、これらの樹脂については、定ひずみを負荷しながら 2 週間水中浸漬を行うことで、弾性率が低下した。これに対して、EC は、定ひずみを加えながら 2 週間水中浸漬した後も、無負荷で 2 週間浸漬した場合と同様の弾性率を示した。これらの結果から、結晶性樹脂である EC は、吸水しにくく、定ひずみが負荷されても弾性率の変化しない樹脂であることが分かった。

Ⅲ．ER、EC とも、装着直後の矯正力はニッケルチタンワイヤーよりも大きかったが、ER では最初の 24 時間で矯正力が大きく低下し、その後も低下し続けた。これに対して EC では、ER と同様に 24 時間で矯正力が低下するものの、それ以降は、ニッケルチタンワイヤーと同様に変化を認めなかった。このことから、EC に類似した結晶性とさらに低い弾性率を有する樹脂を用いれば、弱く持続的な矯正力の発現が可能であることが示唆された。

Ⅳ．EE は、EC と同様に小さな吸水量を示し、また結晶性を有することが確認された。EE は、定ひずみを負荷しながら 2 週間水中浸漬しても弾性率が低下せず、しかも EC よりも有意に小さい弾性率を示す樹脂であることが分かった。これらの特性を有する EE は、ニッケルチタンワイヤーと同様の矯正力発現挙動を示すことが明らかとなった。

【結論】

市販の熱可塑性樹脂の物性を反映した *in silico* 矯正装置モデルを用いて三次元有限要素解析を行った結果、矯正力の評価に適した物性が弾性率であることが分かった。また、トチュウエラストマーは、矯正治療に最適な材料特性を有し、従来から用いられているニッケルチタンワイヤーに相当する矯正力の発現が可能であることが明らかとなった。以上のことから、トチュウエラストマーを組成とする新規熱可塑性樹脂は、アライナー型装置として矯正治療に用いるうえで有用な材料であることが示された。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　井上　小百合　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	今里　聡
	副 査	教授	阪井　丘芳
	副 査	准教授	野﨑　剛徳
	副 査	講師	和田　誠大

論文審査の結果の要旨

本研究は、熱可塑性樹脂製矯正装置による矯正力の発現を評価するのに適した物性を特定し、それに基づいて、トチュウエラストマーを用いて作製した新規のアライナー型矯正装置の有用性を評価したものである。

その結果、熱可塑性樹脂製矯正装置の矯正力の評価に適した物性が弾性率であることが分かった。また、トチュウエラストマーは、矯正治療に適した材料特性を有し、一定の矯正力を持続的に発現できることが明らかとなり、トチュウエラストマーを組成とする熱可塑性樹脂は、アライナー型装置として矯正治療に用いるうえで有用な材料であることが示された。

以上の研究成果は、より効率的な矯正治療を実現できる熱可塑性樹脂製矯正装置の開発に寄与するものであり、本研究は博士（歯学）の学位授与に値するものと認める。