

学位論文内容の要約

愛知学院大学

甲 第 658 号	論文提出者 秦 佑樹
論文題目 埋伏歯牽引に用いるネオジム磁石の応用	

図、表、写真を使用した学術論文の投稿を予定しており、不利益が生じるため全文の公表を不可とし、「内容を要約したもの」を公表する。

I. 緒言

歯科矯正臨床において埋伏歯の発生頻度は3～9%と報告されており、矯正治療を必要とする機会は少なくない。これらの矯正治療に関する報告の多くは埋伏歯牽引に結紮線および牽引用のエラスティックが用いられている。しかしこれらの治療法における問題点として、粘膜を結紮線が貫通することにより生じる擦過痛ならびに感染による発赤や疼痛、固定式装置による口腔清掃不良、エラスティックによる牽引力の持続性の低下などがあげられる。またエラスティックは一般的に口腔内に装着直後に矯正力が最大となり、歯の移動に伴って減衰することが知られている。さらに、エラスティックを口腔内で使用した際、経時的な劣化による弾性の低下が生じ、それに伴い矯正力は低下することとなる。これらの問題点を改善するために簡便かつ為害性が少ない埋伏歯牽引方法の開発が望まれている。

埋伏歯の牽引方法として、マグネットを矯正装置に応用した例がいくつか報告されている。マグネットは磁石-キーパー間の距離（以下、air gap）の大きい矯正治療初期において弱い吸引力を示すが、歯の移動に伴い作用距離が減少すると吸引力が増加する特徴をもつ。これは、歯の移動により矯正力が低下するエラスティックに対し、初期に弱い矯正力が負荷され、歯の移動とともに矯正力を増大させ至適矯正力に達するため、で理想的な

矯正力に近いと報告されている。さらにこうした矯正力の経時的変化は、歯の移動開始時に起こりうる初期の疼痛を緩和するとも言われている。しかしこれらの報告ではマグネットの吸引力の air gap による減衰、角度による減衰については明らかにされておらず、またマグネットからの漏洩磁場についても幾つかの報告はあるが、その実態に関しては不明瞭な部分も少なくない。

矯正治療へのマグネットの応用にあたっては、口腔内での長期間使用における安全性、すなわち口腔内環境下においてマグネットの腐食ならびに磁界による生体への影響について考慮が必要である。これまでに報告されているマグネットを用いた埋伏歯の牽引装置では、埋伏歯にマグネットを接着したものであったため、口腔内環境下で腐食を生じる危険性が考えられた。

そこで、本研究では、こうした腐食への改善策として、埋伏歯にマグネットではなく耐食性の高いステンレスキーパーを接着し、可撤式装置にマグネットを組み込んだ新たな埋伏歯牽引装置を考案した。この装置による安全かつ最適な磁力を用いた埋伏歯牽引法を臨床に導入することを目的とし、マグネットの牽引力および埋伏歯牽引装置の有用性について検討を行った。

II. 材料および方法

1. 吸引力測定試験

1) 閉磁路構造における吸引力測定試験

直径と厚さの異なる2種類の閉磁路構造の磁性アタッチメントを試料として用いた。試料 c1、c2 については磁石構造体と同径のキーパーを使用した。各試料数は $n=5$ とし、それぞれ air gap を 0、0.3、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mm と設定して吸引力の測定を行った。吸引力の測定は、ISO13017 に準じて行い、測定器としては小型卓上試験機

(EZTEST, SHIMAZU, KYOTO, JAPAN) を用いて行った。クロスヘッドスピードは 5 mm/min、測定回数は各試料につきそれぞれ 10 回とした。

2) 開磁路構造における吸引力測定試験

直径と厚さの異なる4種類の開磁路構造のネオジム磁石を試料として用いた。試料 o1、o4 についてはマグネットと同直径のステンレスキーパー (PHYSIOMAGNET, MORITA, TOKYO, JAPAN) を使用し、試料 o2、o3 については直径 5.5mm のステンレスキーパー (PHYSIOMAGNET, MORITA, TOKYO, JAPAN) を使用した。吸引力測定方法は各試料数 $n=5$ とし、閉磁路構造の測定試験と同様の方法でそれぞれ 10 回測定を行った。

3) マグネット-キーパー間の角度の変化に伴う吸引力測定試験

試料として o4 を使用し、形状については前述の吸引力測定試験と同様とした。またマグネット-キーパー間の角度付与には、常温重合レジン (UNIFAST III, GC, TOKYO, JAPAN) を用い、マグネット-キーパー間の角度を θ とし $\theta=0、10、20、30^\circ$ と設定した斜面ブロックを作製した。ネオジム磁石の底面に作製した斜面ブロックを接着することで、マグネット-キーパー

間に任意の角度を設定できるようにし、吸引力測定試験を行った。この時、キーパーとマグネットは一点で接触するように設定した。吸引力測定方法は上記の測定試験と同様の方法で行った。

4) 計測値の検定

統計の解析は多重比較検定 (Tukey' s multiple comparison test) を用いて $p < 0.05$ を統計的有意差ありと判定した。

2. タイポドントを用いた埋伏歯の牽引実験

タイポドント模型 (D1D-RM. 38, NISSIN, KYOTO, JAPAN) 上に下顎右側第二小臼歯の埋伏歯モデルを作製し、埋伏歯の咬合面に直径 5.5 mm のステンレスキーパーを接着した。埋伏歯牽引装置として、常温重合レジンで被覆した開磁路型ネオジウム磁石 $\phi 4$ を埋入した可撤式スプリントを作製した。マグネット-キーパー間の長軸を一致させるために、スペーサーを用い air gap を 2.5 mm に設定した。その後、タイポドント模型を 42 °C 110 min の条件で恒温槽内に設置し、歯の移動の様相を歯科用 CT (3DX, MORITA, TOKYO, JAPAN) にて観察した。

3. 漏洩磁場計測

タイポドント模型上の漏洩磁場計測

前述のタイポドント模型上に任意の 5 点を設定し、ネオジウム磁石 $\phi 4$ の各部位での漏洩磁場をガウスメーター (Lakeshore, OHIO, USA) を用いて計測を行った。計測は各点で 10 回の計測を行い、平均値を算出した。

Ⅲ. 結果

1. 吸引力測定試験

1) 閉磁路構造における吸引力測定試験

air gap 0 mm において、c1 が 880.0 (±4.80) gf、c2 が 1026.4 (±1.50) gf でともに極めて大きな吸引力を示したが、air gap が増加すると著しい吸引力の低下を示し、1.0 mm 以上で吸引力が計測不可能となった。

2) 開磁路構造における吸引力測定試験

air gap が 0.3 mm においてすべての群で吸引力は 0 mm 時のおよそ半分に低下した。しかし、その減衰率は閉磁路構造である c1、c2 の吸引力測定結果と比較すると緩やかであり、o4 においては air gap 4.0mm の状態でも 41.7 (±0.46) gf の吸引力がみられた。

3) 磁石の構造の違いによる吸引力の比較

閉磁路構造で air gap に対し最も高い吸引力を発揮した c2 と開磁路構造で air gap に対し最も高い吸引力を発揮した o4 を比較すると、c2 は 1.0 mm 以上の air gap で吸引力が計測不可能となったが、o4 は 1.0mm でも 89.7 (±0.22) gf の吸引力を発揮した。

4) マグネット-キーパー間の角度変化による吸引力について

吸引力は $\theta = 0^\circ$ で 420.1 (±0.36) gf から $\theta = 10^\circ$ で 159.5 (±0.69) gf となり、半分以下に低下した。その後、角度の増加とともに吸引力の低下がみられたが、減衰率は減少し、 $\theta = 30^\circ$ において 81.7 (±2.79) gf の吸

引力を示した。

2. タイポドントを用いた埋伏歯の牽引実験

磁力により埋伏歯は歯軸方向に挺出し、マグネットとキーパーが接触している様子がCT画像より確認されたことから牽引に必要な矯正力の付与が可能であった。

また、恒温槽に設置中における装置およびマグネットの調整は必要なかった。

3. 漏洩磁場計測

マグネットより最も距離の近い下顎右側第二小臼歯頬側歯肉部(d)で計測した磁場は $309.0 (\pm 1.7)$ G、隣在歯である下顎右側第一大臼歯近心面(a)においては $220.1 (\pm 7.0)$ G となり、対合歯である上顎右側第二小臼歯頬側歯肉部(e)においては $40.2 (\pm 0.99)$ G とマグネットからの距離の減少に伴い、漏洩磁場の減衰が認められた。また下顎左側第二小臼歯咬頭部(c)においては $0.3 (\pm 0.09)$ G と低い値であった。

IV. 結論

本実験で選択したマグネット-キーパーの組み合わせにおいて、マグネットの直径がステンレスキーパーの直径を上回ると適切に面と面が吸着できず十分な磁力を発揮できない特性があることを考慮し、試料の大きさを設定した。また、マグネット対マグネットに対し、マグネット対ステンレスでは吸引力が低下する可能性が考えられたため、吸引力の低下を改善する

ために希土類磁石の中でも大きい吸引力を発揮するネオジム磁石を選択することとした。埋伏歯の牽引に必要な最適矯正力は約 30~50gf と報告されており、今回の吸引力測定試験の結果より o4 においては air gap が 2.0~4.0mm の間で 52.4 gf~41.7 gf であったことから、牽引に十分な力が発揮されることが示された。また、マグネット-キーパー間の角度が 10° においては、吸引力は密着時の 420.1 gf から 159.5 gf に低下し、これに air gap が加わるとさらに吸引力は低下することが予想されるため、十分な吸引力を発揮するには、マグネットとキーパーの長軸が一致し平行状態にあることが条件であると考えられた。本研究では、臨床応用を視野に入れ、タイポドント模型を用いた埋伏歯の牽引実験を行った。装置の設計の際には、マグネットとキーパーを平行にするため、スペーサーを用いる方法を検討したところ、埋伏歯模型が牽引され、良好な結果が得られた。吸引力測定試験の結果から予測すると、air gap 2.5 mmの初期に約 50 gf の牽引力が負荷され、その後増加したと考えられる。しかし、実際の臨床においては口腔内での操作性を考慮するとスペーサーを用いることは煩雑である。このため臨床応用においてはマグネットとキーパーを平行に設置し、かつマグネット-キーパー間の角度を調節できるような手法についてさらに改良が必要であると考えられる。

本研究では、埋伏歯の牽引において耐食性の高いステンレスキーパーを用いることで、マグネットの牽引力および埋伏歯牽引装置の有用性につい

て検討を行ったところ、以下の結果と結論が得られた。

1 直径 5.5 mm × 厚さ 2.5 mm の開磁路構造ネオジム磁石において、air gap 4.0mm で吸引力が約 40 gf であったことから、矯正歯科治療において十分な牽引力を発揮することが示された。

2 マグネットからの漏洩磁場の計測値は WHO や ICNIRP の規定値を大きく下回っており、磁場による生体への為害性のないことが示された。

以上より、ネオジム磁石の埋伏歯牽引への応用が有用であると結論づけられた。