

K6-18

歯科矯正用アンカースクリューの安定性に関する実験および解析

EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL STUDIES ON THE STABILITY OF ORTHODONIC ANCHOR-SCREW

○小野勝也¹, 岡田直人¹, 青木義男², 谷本安浩³* Katsuya Ono¹, Naoto Okada¹, Yoshio Aoki², Yasuhiro Tanimoto³

Abstract: Recently, orthodontic anchor-screws have been widely used as anchorage units in orthodontic treatment. The present study investigated the stability of orthodontic anchor-screw to the surrounding bone from both an experiment and a numerical analysis by using finite element method (FEM). Furthermore, the effects of anchor-screw insertion angle and cortical bone thickness on stress distribution within surrounding bone were investigated. From an experimental result obtained by pull-out test for anchor-screw which was implanted in an artificial bone model, it was indicated that the maximum pull-out load of anchor-screw implanted by vertical insertion (lean of 0°) was higher than that of anchor-screw implanted by slant insertion (lean of 45°). Stress analysis by using FEM showed that the maximum von Mises equivalent stress existed in cortical bone near the inserted anchor-screw when an orthodontic force of 2N was applied to a horizontal direction. Moreover, such maximum stress in cortical bone increased with increasing the insertion angle of anchor-screw. Meanwhile, it decreased with increasing the thickness of cortical bone in any insertion angle of anchor-screw.

1. 緒言

従来の歯科矯正では、歯を移動させる為の力である矯正力の固定源を大臼歯とし、骨の代謝機能を利用して歯の移動を行っている。その結果、矯正力の反作用によって大臼歯自体も移動する場合があった。この問題を解決したのが歯科矯正用アンカースクリュー(以後アンカースクリューを AS とする)である。AS は歯科矯正の際に、顎骨に埋入することで矯正力の適切な固定源となるインプラントである(Figure. 1)。さらに症例によっては治療期間を短縮することができる。しかし、保持を機械的嵌合力に頼っている為、治療期間中に脱離することがあり、再度 AS を埋入する処置により治療期間の長期化に繋がる。

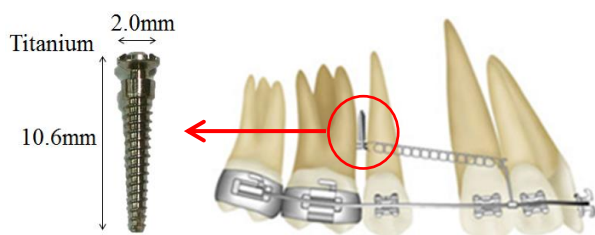


Figure. 1 Orthodontic anchor-screw

臨床の間では症例や歯根の状態によって傾斜埋入が行われる。しかし、埋入角度が顎骨に及ぼす影響や AS の保持力に関する考察が未だ明確ではない。

そこで本研究では、AS の埋入角度が AS の固定性に及ぼす影響を、骨の機械的特性を模した模擬骨を用いた引張試験と、有限要素解析から検討した。

2. 引抜試験

まず模擬骨に AS を埋入した試験モデルを製作した。

実験試料の模擬骨は皮質骨(Solid Rigid Polyurethane Foam Sheet, Saw-born)及び海綿骨(Cellular Rigid Polyurethane Foam 20 pc, Saw-born)の大きさをそれぞれ 20mm×20mm×1mm, 20mm×20mm×40mm に加工し、それらを接着剤(アロンアルファ, 東亜合成)で貼り合せ(埋入部周辺は除く)顎骨モデルを製作した(Figure. 2(a))。これに AS (ISA アンカーPro, バイオデント)を治療に使用される器具(トルクドライバー, バイオデント)を用いて 50~100Nmm で埋入した。このとき AS を埋入する角度は埋入する模擬骨の面に対して垂直に埋入した 0°モデルと、その角度から 45°傾斜させた 45°モデル製作した。次に AS の頭部に、埋入する模擬骨の面に対して垂直方向に矯正力 200g の錘(2N)を用いて一週間負荷した。その後、引張圧縮試験機(SV-55C, 今田製作所)を使用し AS を軸方向に引張り、抜けた際の最大引抜荷重を測定した。また矯正力を付加せずと同様の試験を行い、矯正力が AS の固定性に及ぼす影響の検討も行った。

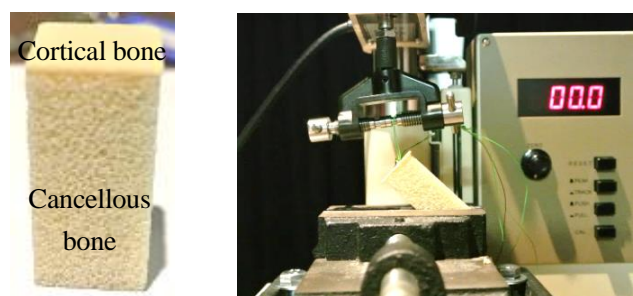


Figure. 2 (a) Model bone (b) Pullout testing

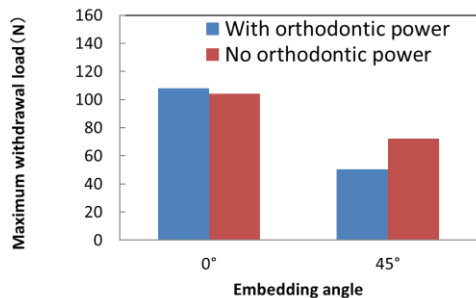


Figure. 3 Pullout test results after loading the orthodontic force

引抜試験の結果(n=3)を Figure. 3 に示す。AS の最大引き抜き荷重は 45°に比べて 90°の方が高かった。一方、矯正力の有無は埋入角度 90°及び 45°ともに有意な差は確認できなかった。

3. FEM による数値解析

数値解析より矯正力の負荷下に発生する応力分布状態について検討した。まず数値解析を行う為に AS が顎骨に埋入された 3D モデルを製作した。AS モデルは引抜試験で使用した物を参考とした。顎骨モデルは皮質骨(10×12×1mm)と海綿骨(10×12×9mm)から構成されるモデルを製作した。埋入角度は引抜試験と同様に AS を埋入する面に対して、垂直埋入(0°)を基準とし、15°、30°及び 45°で傾斜埋入した。

Table 1. 3D numerical analysis model of anchor screw and alveolar bone

Embedding angle	0°	15°	30°	45°
3D numerical model				
Contact area of anchor screw and alveolar bone(mm ²)	44.3	39.4	37.6	33.9
Number of effective threads	15	14	13	11

Table 2. Material properties used in numerical analysis

Component	Anchor screw	Alveolar bone	
	Titanium	Cortical bone	Cancellous bone
Density(kg/m ³)	4,500	1,800	800
Elastic modulus(GPa)	110	14.0	0.3
Poisson's ratio(-)	0.3	0.3	0.3

これらのモデルを使用し、汎用有限要素ソフト(Abaqus, ダツソー・システムズ)を用いて数値解析を行った。拘束条件は、顎骨モデルの側面及び底面を完全固定した。荷重は AS の上部に矯正力として、引抜試験と同様に 2N(200gf)の側方荷重を負荷した。そして、矯正力を負荷

した際に発生した顎骨内の von-Mises 相当応力の分布及び最大応力値を算出した。さらに皮質骨の厚さが骨内に発生する最大応力に及ぼす影響を検討するため、皮質骨の厚さが引き抜き試験と同じ 1mm の場合(基準)に加え、2mm と 3mm の場合についても同様の数値解析を行い、最大応力値を算出した。

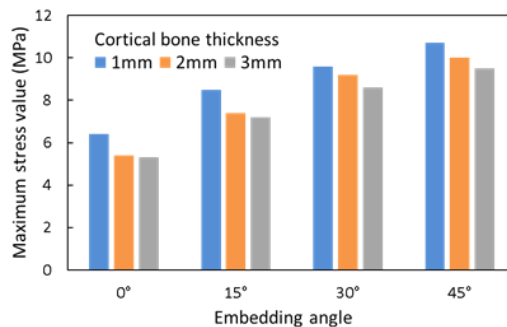


Figure. 4 Results of numerical analysis using FEM

Figure. 4 に AS の埋入角度及び皮質骨の厚さを変化させた場合の最大応力値を示す。すべての結果において最大応力は AS 近傍の皮質骨に発生した。埋入角度が減少するにつれて皮質骨に発生する最大応力は増加した。また、すべての埋入角度において、皮質骨の厚さが増加すると最大応力はそれぞれ減少した。

4. 結言

- (1) 引き抜き試験により、AS を垂直埋入(0°)した場合の方が、傾斜埋入(45°)した場合に比べて、AS の最大引き抜き荷重が増加する。
- (2) FEM による数値解析より、AS の近傍の皮質骨に最大応力が発生することがわかった。また、垂直埋入(0°)を基準として AS の埋入角度が大きくなるにつれて最大応力は増加した。
- (3) 同じく数値解析より、皮質骨の厚さが大きくなるに従い、皮質骨内に発生する最大応力は減少する傾向を示した。

5. 参考文献

- [1] 黒田晋吾:「基本からわかる!歯科矯正用アンカースクリュー」2014
- [2] 一般社団法人,日本矯正歯科学会:「歯科矯正用アンカースクリューガイドライン」2012
- [3] Hyo-Sang Pak:「矯正用アンカースクリューを用いた矯正歯科治療」2013