

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：12602
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2018～2022
課題番号：18K09853
研究課題名(和文) 歯科矯正治療における力とモーメントの検証：画期的3次元デジタルシステムの開発

研究課題名(英文) Verification of Forces and Moments in Orthodontic Treatment: Development of an Innovative 3D Digital System

研究代表者

簡野 瑞誠 (Kanno, Zusei)

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・非常勤講師

研究者番号：40345301

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：模擬歯2歯に0.018×0.025-inch slot ブラケットを同じ高さに接着し、Orthodontic simulatorを用いて実験を行った。ブラケット間距離は10mmとし、設置するワイヤーにVバンドを付与した。改良型超弾性Ni-Ti合金ワイヤーに加え、ステンレススチールワイヤーおよびチタンワイヤーの3種類の計測を行った。また、抜歯空隙閉鎖時に用いるエラストメトリックチェーンを両模擬歯に装着して計測することによって、抜歯空隙に2歯が倒れ込まないためのVバンドの大きさ、ワイヤーの種類、エラストメトリックチェーンによる牽引力の大きさの適切な関係を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的・社会的意義は、1) 剛性の低さからレベリング以外には不向きと考えられていた改良型超弾性Ni-Ti合金ワイヤー(ISW)に様々な屈曲を付与することで、全てのステージでISWが使用可能であることを定量的に示した点、また、改良型OSIMを用いれば、頻繁な取り外しを要するメカニクスでも簡便に測定可能となるため、2) 力とモーメントに関するエビデンスを矯正歯科臨床にトランスレーションできたという点、である。さらに、3) 高精度6軸センサーを用いたことで、その力とモーメントの弱さ故にこれまで検証されてこなかった、超弾性と形状記憶の特性を有するISWを用いた力系の評価も行うことができた点である。

研究成果の概要(英文)：The experiment was performed using an innovative orthodontic simulator, 0.018 x 0.025-inch slot bracket was bonded to two simulated teeth at the same height. The distance between the brackets was 10 mm, and a V-bend was given to the wire to be placed. Three types of wires were measured: an improved super elastic Ni-Ti alloy wire, as well as a stainless-steel wire and a beta-titanium wire. In addition, an elastomeric chain used in space closure was placed on both simulated teeth and measured to clarify the appropriate relationship between the amount of the V-bend angle, the type of wire, and the magnitude of traction force by the elastomeric chain to prevent the two teeth from collapsing into the extraction space,

研究分野：歯科矯正学

キーワード：矯正力計測システム 高精度6軸センサー 矯正力 モーメント

1. 研究開始当初の背景

矯正歯科治療においては、マルチブラケット装置と呼ばれる、歯に直接接着するブラケットに金属製ワイヤーを通した装置が用いられ、ワイヤーの張力や捻り、補助的に用いるエラストマー等の張力により歯を移動して適正な位置に導く。その際に必要な力は、1歯あたり数十グラムが適切とされている。過度の矯正力は痛みを生じるだけでなく、歯根や歯周組織に損傷をもたらす。力とモーメントの大きさおよび方向が歯の移動様式に大きく影響を与えるため、すべての方向の力とモーメントを把握し、最適な矯正力を加えることが非常に重要となる。その矯正力を定量的に計測できれば過度な矯正力を加えずに治療を行うことが出来る。

Ni-Ti合金の矯正用ワイヤーへの応用については、1970年代に米国の研究グループからその試みが報告された後、我々のグループと本学生体材料工学研究所の共同研究にて、画期的な臨床応用が世界に先駆けて発表された。改良型超弾性Ni-Ti合金ワイヤー(ISW)は現在、臨床で使用されているNi-Tiワイヤーの一つであり、他のNi-Tiワイヤーと比較してヒステリシスが小さいこと、即ち負荷時と除荷時の力の差が小さいことが大きな特徴である。しかし、これまで臨床報告は数々されてきたものの、その定量的なデータは存在しなかった。ISWは外力によって変態を生じ、外力を取り除くと逆変態が起こる超弾性特性を有しており、従来のNi-Tiワイヤーに比べて広い変形領域で一定の荷重を得ることができる¹。その剛性の低さから、歯のレベリングのみに利用可能であり、抜歯空隙の閉鎖や、大臼歯の整直には不向きであると考えられてきた。その欠点を補うために我々は、様々な屈曲や付加装置を適用してきたが、矯正力の調整は術者の感覚と経験に頼るところが大きいのが現状であった。その結果、望まない歯の傾斜を引き起こすだけでなく、治療の長期化や不十分な治療結果を招く事例が認められた。Orthodontic simulator(OSIM)を用いた研究は、当初センサーを歯列の外側に配置しているため操作性が悪かった。そこで、センサーと模擬歯を連結する部分(Action stick)を独自に工夫することにより、センサーサイズの問題を克服し、模擬歯列を最外周に配置することで、測定操作性を高めた改良型OSIMを開発することに成功した。この2歯モデルを用いて剛性の高いワイヤーを対象に、いくつかの検証が行われてきた。その過程で、低剛性を示すISWは、剛性の高いステンレススチールワイヤー(SS)やチタンモリブデン合金ワイヤー(TMA)に比べていかなる力やモーメントを發揮するのか、という疑問が生じた。その結果、この改良型OSIMを用いて、ISWを用いた力系における力とモーメントを計測し、SSやTMAのデータと比較し検証することを思い立った。そこで本研究では、上記モデルを用いて、これまで計測が行われてこなかったISWが發揮する定量的な力とモーメントを検証する。

2. 研究の目的

Orthodontic simulatorを用いて、ISWが發揮する矯正力を定量的に評価することで、ISWにおける客観的なエビデンスを構築し、それに基づいてすべての治療段階における臨床応用、治療メカニクスを確立することである。ISWが全ての治療段階に应用可能であることが証明されれば、レベリング、抜歯空隙閉鎖、大臼歯の整直等の全てをISWのみで同時に行え、患者の治療期間の大幅な減少、モーメントを考慮することに伴う矯正力の減弱化による生体為害性のない力系が開発されることとなり、マルチブラケット装置を用いた力系への波及効果は大きいものと考えられる。本研究により、力とモーメントの関係を定量的に明らかにすることができた暁には、歯科矯正学における教育効果の増進、ならびに矯正歯科治療の質向上を介した患者への還元に大きく寄与するものと期待される。

3. 研究の方法

1. 模擬歯 2歯に 0.018×0.025 inch-slot セルフライゲーションブラケットを同じ高さに接着し、OSIMを用いて実験を行った。ブラケット間距離は10mmとし、設置するワイヤーのVバンド角は10、20、30および40度とし、頂点位置はブラケット間中央とした。0.016×0.022 inchesのISWに加えてSS、チタンワイヤーにおいても力とモーメントを計測し、比較した。2.1と同じ模擬歯上のブラケットに長さ6.0 mmおよび9.0 mmのエラストメリックチェーンを装着し、

力とモーメントを計測した。ブラケット間距離は 6.0 mm から 15.0 mm の 1.0 mm 刻みとした。

4 . 研究成果

模擬歯 2 歯に 0.018×0.025-inch slot ブラケットを同じ高さに接着し、Orthodontic simulator を用いて実験を行った。ブラケット間距離は 10mm とし、設置するワイヤーに V ベンドを付与した。改良型超弾性 Ni-Ti 合金ワイヤーに加え、ステンレススチールワイヤーおよび チタンワイヤーの 3 種類の計測を行った。また、抜歯空隙閉鎖時に用いるエラストメトリックチェーンを両模擬歯に装着して計測することによって、抜歯空隙に 2 歯が倒れ込まないための V ベンドの大きさ、ワイヤーの種類、エラストメトリックチェーンによる牽引力の大きさの適切な関係を明らかにし、海外誌に投稿した。

これまで行ってきた 2 歯モデルについて論文に纏めた後、3 歯モデルまで拡張することに成功した。また、分担研究者や研究協力者の所属する東京理科大学、工学院大学とも 1 か月から 2 か月に一回程度、定期的にミーティングを行っており、実験結果の進捗報告ならびにそれを踏まえた実験系へのフィードバックを適宜行うことが出来ている。

今後は、実際の口腔内を想定し、前歯まで拡張したモデルを作成し、新たなメカニクスの検証を行なっていくことを目標とする。このシステムの開発は、矯正臨床における既存の力系の評価のみでなく、新しい治療法の提案をも期待できる。東京理科大学理工学部と連携し、3 次元画像データとの統合的評価により、マルチブラケット治療の定量的評価など、実際の矯正歯科臨床に役立てることを想定している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Koyama Akihiro, Ono Takashi, Uo Motohiro, Kiyokawa Hajime, Ohira Nobutaka, Shima Yoshio, Kanno Zuisei | 4. 巻 79 |
| 2. 論文標題 Improvement of binding friction between stainless steel orthodontic wire and bracket by performing Rh-PTFE composite plating on the wire | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Orthodontic Waves | 6. 最初と最後の頁 39 ~ 47 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13440241.2020.1733180 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Shimoda K, Takemura H, Obara Y, Shigeta M, Soga K, Suga K, Lai WJ, Kim S, Kanno Z, Uo M. | 4. 巻 2018 Jul |
| 2. 論文標題 Development of 6-Axis Orthodontic Force and Moment Sensing Device for Decreasing Accident of Orthodontic Treatment. | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. | 6. 最初と最後の頁 1797-1800 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/EMBC.2018.8512648. | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Cho Edward, Kanno Zuisei, Yonemitsu Ikuo, Kiyokawa Hajime, Ohira Nobutaka, Ono Takashi, Uo Motohiro | 4. 巻 22 |
| 2. 論文標題 Effect of rhodium plating on the ion dissolution from nickel-titanium and pure nickel wires | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Asian Pacific Journal of Dentistry | 6. 最初と最後の頁 21 ~ 28 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.47416/apjod.22-0290 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Kim Sunmin, Yonemitsu Ikuo, Takemura Hiroshi, Shimoda Kunio, Suga Kazuhiro, Soga Kohei, Ono Takashi, Uo Motohiro | 4. 巻 33 |
| 2. 論文標題 Influence of different ligation methods on force and moment generation in a simulated condition of the maxillary crowded anterior dentition with linguo-version and rotation | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Bio-Medical Materials and Engineering | 6. 最初と最後の頁 453 ~ 463 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/bme-211288 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 小野 卓史, 米満 郁男 | 4. 巻 41 |
| 2. 論文標題 改良型超弾性Ni-Ti合金ワイヤーおよび チタン合金ワイヤーの特徴 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 日本歯科理工学会誌 | 6. 最初と最後の頁 7~10 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 三上直晃, 米満郁男, 竹村裕, 近藤真阿久, 曾我公平, 須賀一博, 簡野瑞誠, 宇尾基弘, 小野卓史 |
| 2. 発表標題 高精度6軸センサーを組み込んだOrthodontic simulatorを用いた改良型Ti-Ni合金ワイヤーの力学的解析 |
| 3. 学会等名 第80回日本矯正歯科学会学術大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 金善敏, 頼 威任, 大森 浩子, 簡野 瑞誠, 小野 卓史, 宇尾 基弘 |
| 2. 発表標題 矯正治療時フォースとモーメント発生における結紮方法の影響 |
| 3. 学会等名 第9回国際矯正歯科会議世界大会 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 竹村 裕 (Takemura Hiroshi) (60408713) | 東京理科大学・理工学部 機械工学科・教授 | |

6. 研究組織（つづき）

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 須賀 一博 (Suga Kazuhiro) (30408992) | 工学院大学・工学部 機械工学科・准教授 | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 | | | |
|----------|---------|--|--|--|
| その他の国・地域 | 国立台湾大学 | | | |