

令和 2 年 4 月 28 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K17335

研究課題名(和文) 歯槽骨リモデリング速度の定量化による長期的な歯の移動予測・可視化システムの開発

研究課題名(英文) Development of long term and visualization simulation system of orthodontic tooth movement by quantified of alveolar bone remodeling rate.

研究代表者

富永 淳也 (TOMINAGA, Junya)

長崎大学・医歯薬学総合研究科(歯学系)・助教

研究者番号：30565362

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：まず、ラットを用いて骨リモデリング速度の定量化を図ってきた。さらに、これを有限要素解析に組み込むことで、本研究の目的を達成する予定としていたが、ラットの歯は非常に小さく、モデルの構築に非常に時間を要し、かつ歯根膜上の任意の点における応力値と、その点の移動量から歯槽骨リモデリング速度を定量化する過程では、その点が無数に存在することや、多くの歯において検証を行う必要があったため、この定量化は行えていない。しかし以前は、歯に力が加えられた瞬間における解析や、長期的だが抜歯空隙を閉鎖するような単純な解析しか行えなかったものが、現在では、実際の臨床に即した複雑な解析を行えるまでとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

以前は、歯に力が加えられた瞬間における解析や、長期的だが抜歯空隙を閉鎖するような単純な解析しか行えなかったものが、現在では、複雑な解析を行うことができるようになった。つまり、矯正治療前にどのような治療結果となるかを目に見える形で予測することができるようになった。いずれ、骨リモデリングの過程もこのシステムに組み込むことができれば、より実際の臨床に即したシミュレーションが可能となり、2～3年以上にも及ぶ治療期間を大幅に短縮することが期待される。これにより、治療中のエナメル質脱灰や、う蝕・歯周病への罹患のリスクや、患者の精神的・経済的負担も著しく低減され、口腔保健に大きく寄与すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：At first, I tried to quantify bone remodeling rate from the relationship the magnitude of orthodontic force and the rate of tooth movement with micro-CT images of rat. Besides, I was planning to simulate long term orthodontic tooth movement including bone remodeling process by incorporating the value of bone remodeling rate to the finite element method. However, tooth of rat was too small and it took a lot of time to make the finite element model. And because, there are so many points and to verify among the number of teeth were needed in the process of quantify the rate of bone remodeling, the rate has not been clarified. Only an initial tooth displacement or long term but simple simulation such as closing of extraction space had been done before, nevertheless, a long term simulation in the case of an actual clinical situation have been able to analyze.

研究分野：歯科矯正学

キーワード：骨リモデリング速度の定量化 高精度3次元変位測定システム 有限要素法 マイクロCT 光学式3次元形状計測装置

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、矯正治療への関心は以前よりも高まってきている。しかし、日本での認知度および普及率は先進国の中でも非常に低い。この背景には、歯を喪失する最大の原因であるう蝕や歯周病と矯正治療との関係についての認識が低いことや、経済的な問題が考えられる。また他の歯科治療に比べ、治療期間が最低でも2～3年を必要とするといった長期にわたることも最大の要因のうちの1つである。これらの要因のうち、最も早急に改善できるものは、治療期間の短縮であると考え、本研究を行うに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、歯槽骨リモデリング速度を定量化し、さらにそれを応用することによって、長期的な歯の移動予測を行うことのできる可視化システムを開発することである。歯槽骨リモデリング速度は、歯の移動に最も影響を及ぼす因子であるにも関わらず、現時点でこれを定量化した報告はない。また、この値を組み込むことで、長期的な歯の移動予測システムを構築することができれば、矯正治療前にどのような治療結果となるかを目に見える形で予測することができ、その目標に向かって最短で治療を終了することができる。

3. 研究の方法

まず、マイクロCTを用いたラットの実験から得られる、加えた力の大きさと歯の移動速度との相関関係から歯槽骨リモデリング速度を定量化する。この歯槽骨リモデリング速度を定量化するためには、力の大きさを変え、その度にレントゲン撮影を行い、力の大きさと歯の移動速度との相関を調べる必要がある。しかしながら、ヒトでそれを行うことは倫理的に問題がある。そこで、歯の移動中における骨改造現象を明らかにするために、ラットにマイクロCTを用いることで、同一個体で経時的なデータを収集する。これまでは力の大きさと歯の移動速度との相関を調べてきたが、これをさらに発展させることによって、骨リモデリング速度を定量化することが可能である。

次に、高精度3次元変位測定システム(分解能1 μm)を用いて、実際の矯正治療中の患者を対象に、様々な大きさの力を加えた際の、前歯の初期変位動態を口腔内で実測する。ここで、有限要素法は、常に同じ条件下での対象物の変位や応力分布などを解析することのできる有用な方法であるが、単なる数値解析であるため実際の臨床とかけ離れている可能性もある。そのため、有限要素解析のうち初期変位解析をこの実測値と比較し、有限要素解析の妥当性を検討する。

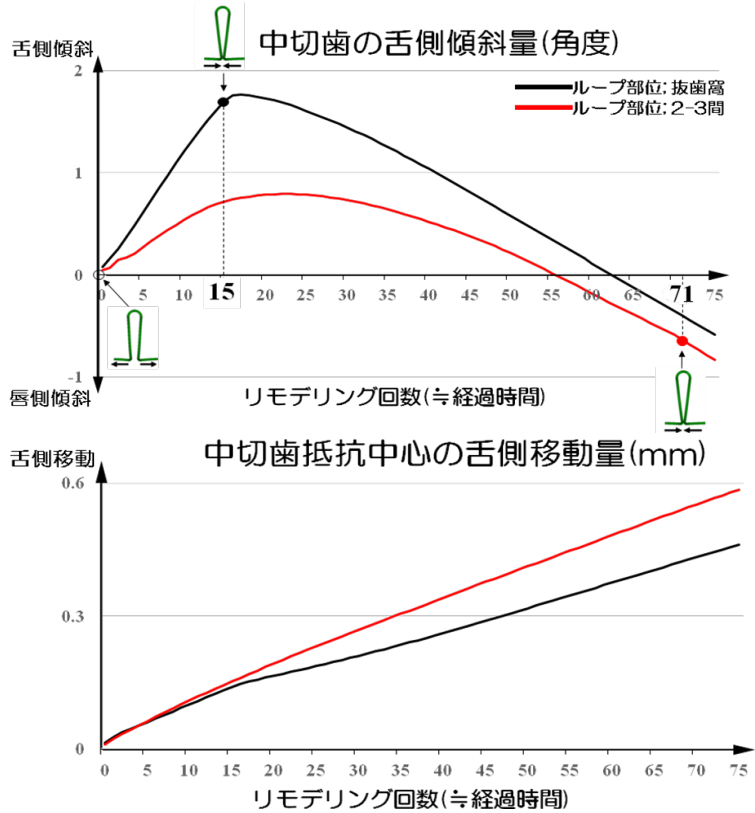
さらに、実際の患者における矯正治療前後に作製した歯列模型を、非接触・高速3次元形状計測装置を用いて取り込み、そのデータを3次元データ解析ソフトウェアにより重ね合わせることで、治療前後の歯の移動動態を3次元的に解明する。

また、有限要素解析ソフトウェアを用い、長期的な歯の移動動態の解析を行うために、初期変位後の歯の位置からさらに繰り返し解析を行っていく。この方法は、実際の口腔内や歯列模型では評価することのできない、ブラケットとワイヤーとの間の接触や滑りの問題も反映した解析を行うことができる。ここで、前述で定量化した歯槽骨リモデリング速度をこの有限要素解析に組み込むことで、骨リモデリングを考慮した長期的な歯の移動動態を解析していく。その後、実際の治療前後とこの解析結果との比較検討を行い、整合性を検証することで、実際の臨床に即した歯槽骨リモデリングを含めた長期的な歯の移動予測・可視化システムを開発する。

4. 研究成果

まず、マイクロCTを用いたラットの実験により得られる力の大きさと歯の移動速度との相関

関係から、骨リモデリング速度の定量化を図ってきた。さらに、これを有限要素解析に組み込むことで、骨リモデリングを考慮した長期的な歯の移動シミュレーションを行う予定としていたが、ラットの歯は非常に小さく、有限要素モデルを構築する過程で非常に時間を必要とし、また、歯根膜上の任意の点における応力値と、その点の移動量から歯槽骨リモデリング速度を定量化するという作業においては、その任意の点が無数に存在することや、複数の歯において検証を重ねる必要があったため、骨リモ



デリング速度の定量化は達成できていない。しかし以前は有限要素解析において、歯に力が加えられた瞬間（初期変位）における解析や、抜歯空隙を閉鎖するような長期的だが単純な解析しか行えなかったものが、現在では、矯正治療に用いるワイヤーを臨床に即したような屈曲を行った場合や、歯の舌側にもブラケットを装着したメカニクスを用いた際の、長期的な歯の移動予測を行えるまでとなった。

以下に、本研究に関して発表を行ってきたもののうち、代表的なものを記す。

(1) 舌側移動時の最適な力系を生じるループメカニクスの考察

矯正臨床において、抜歯空隙閉鎖の方法としてループメカニクスが広く使用されているが、前歯の過度な舌側傾斜を防ぐために抜歯窩にゲブルバンドを組み込んだループを設置することが多い。しかし我々は、抜歯窩のワイヤーの剛性を下げないために、抜歯窩よりひとつ近心の側切歯・犬歯間にループを屈曲し、そこにゲブルバンドもしくはコンベンションカーブを組み込んだ方法を用いている。この効果を明らかにするために、有限要素法を用い、それぞれの位置にループを屈曲した場合の前歯の移動動態を明らかにし、比較検討を行った。

コーンビーム CT より得られたデータを用いて、第一小臼歯を抜歯し、クローズングループを、犬歯の近心と遠心とに屈曲した2つの上顎歯列弓のモデルを作成し、有限要素法による解析を行った。解析は、ループの牽引力が3.5Nになるようループを活性化後、ループの脚部が閉鎖し歯が整直するまで繰り返した。解析結果から中切歯の傾斜角と抵抗中心の移動量を算出した。以下に、結果を右上図に示す。

以上の結果より、抜歯窩にループを設置した場合、ループ閉鎖中に中切歯の舌側傾斜が顕著に起こり、それが改善するまでに非常に多くの時間が必要であることが示唆された。側切歯・犬歯間にループを設置し、抜歯窩にゲブルバンドを付与した場合は、抜歯窩にループを設置する場合に比べて、切歯の舌側傾斜を抑制しながら舌側移動でき、効率的に切歯のトルクコントロールが行えることが示唆された。

(2) 舌側のブラケットを用いたスライディングメカニクスにおける前歯舌側移動時の長期的

な歯の移動シミュレーション -edgewise wire と flatwise wire の比較-

歯の舌側にブラケットを装着する矯正治療法においては、horizontal slot のブラケットと edgewise wire (EW) の組み合わせが広く用いられているが、操作性を改善するために vertical slot

のブラケットと flatwise wire (FW) の組み合わせも用いられている。しかしながら、これらの歯の移動に及ぼす影響の違いは解明されていない。そこで、舌側ブラケット矯正法のスライディングメカニクスを用いた前歯の舌側移動時において、EW と FW を使用した際の長期的な歯の移動の有限要素解析を行い、それぞれの治療法における上顎中切歯の移動動態の違いを明らかにした。

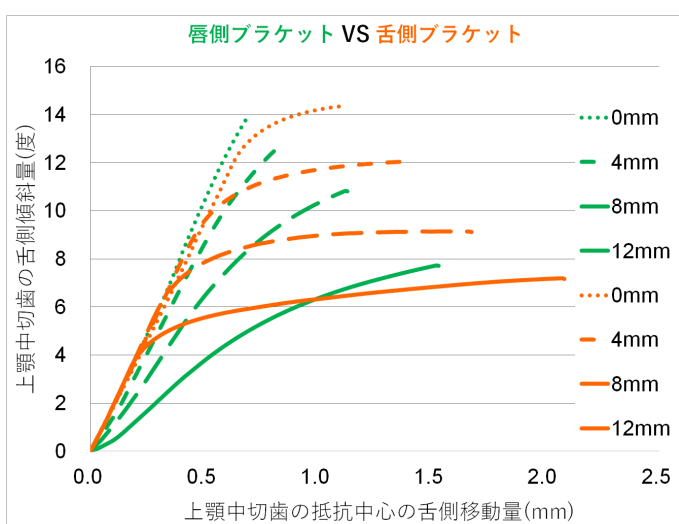
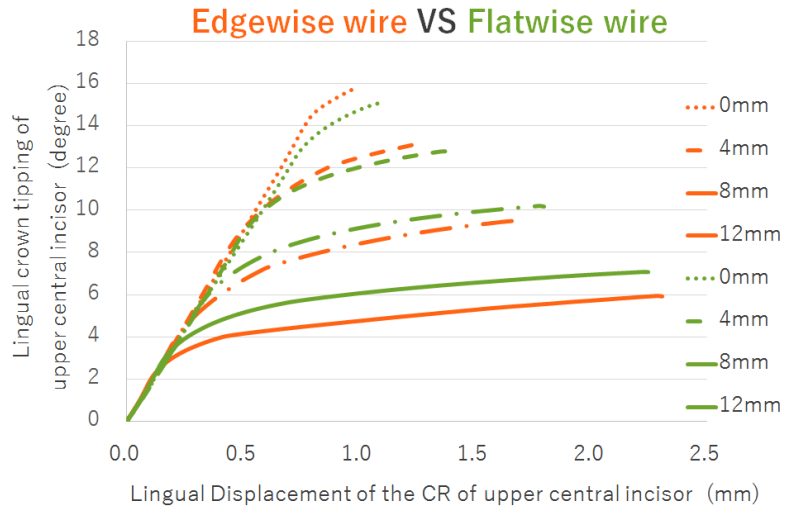
乾燥頭蓋のコーンビーム CT から得られた画像を基に、第一小臼歯を抜去した左側上顎歯列の三次元有限要素モデルを作成した。EW モデルは 0.018×0.025 inch のブラケットに 0.016×0.022 inch ワイヤーを、FW モデルは 0.025×0.018 inch のブラケットに 0.022×0.016 inch のワイヤーを組み込んだモデルとして作成した。さらに、側切歯と犬歯の間に前歯牽引用のパワーアームを付与し、第二大臼歯ブラケットチューブのフックとの間 2N の牽引力をかけ、スライディングメカニクスで前歯の舌側移動を行った。パワーアームの長さを変数として、EW と FW の経時的な上顎中切歯の移動動態について比較検討を行った。結果を右上図に示す。

以上の結果より、パワーアームが短い場合、FW の方が上顎中切歯の歯冠舌側傾斜傾向が小さいが、パワーアームが長い場合、EW の方が上顎中切歯の歯冠舌側傾斜傾向が小さくなる。これはワイヤーの垂直方向の曲げ剛性の違いが影響していると考えられる。

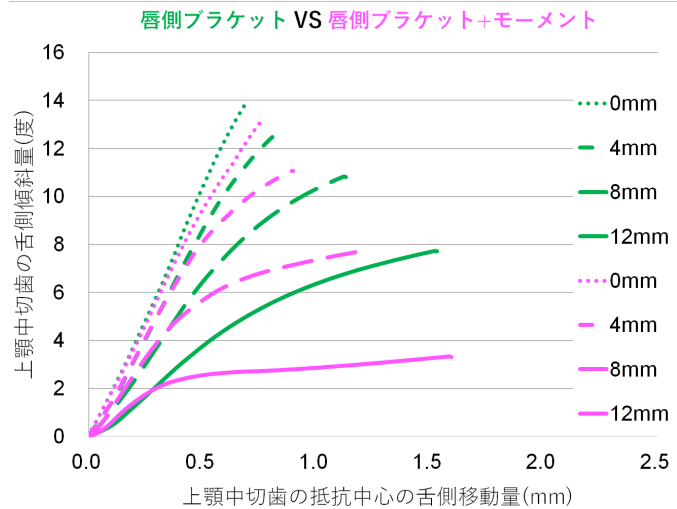
(3)スライディングメカニクス時の長期的な歯の移動シミュレーション -唇側ブラケットと舌側ブラケットの比較-

抜歯空隙閉鎖時の切歯のトルクコントロールは臨床的に重要であるが、唇側ブラケットと舌側ブラケットにおける切歯の移動動態の違いは解明されていない。そこで、スライディングメカニクスを用いた前歯の舌側移動時時において、唇側ブラケットと舌側ブラケットを使用した際の長期的な歯の移動の有限要素解析を行い、それぞれのブラケットにおける上顎中切歯の移動動態の違いを明らかにした。

舌側ブラケットモデルと唇側ブラケットモデルを作成した。摩擦係数を 0 とし、パワーアームの長さの変化に伴う、唇側ブラケットと舌側ブラケットの経時的な上顎中切歯の移動動態について、上顎中切歯の抵抗中心の舌側移動量と舌側傾斜量で評価した。唇側ブラケットモデル



と舌側ブラケットモデルは第二大臼歯の近遠心的なローテーションの方向が異なる。唇側ブラケットモデルの第二大臼歯に、舌側ブラケットモデルと同じ大きさとなるように遠心ローテーション方向のモーメントを加え、第二大臼歯のローテーションが中切歯の移動動態に与える影響を調べた。結果を前頁右下と右上図に示す。



以上の結果より、スライディング

メカニクスにおける前歯舌側移動時の上顎中切歯舌側傾斜量は、唇側ブラケットより舌側ブラケットの方が小さいことが示された。唇側ブラケットと舌側ブラケットの上顎中切歯の移動動態の違いは、第二大臼歯の近遠心的なローテーションの違いが関係していることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kondo T, Hotokezaka H, Hamanaka R, Hashimoto M, Nakano-Tajima T, Arita K, Kurohama T, Ino A, Tominaga J, Yoshida N	4. 巻 87
2. 論文標題 Types of tooth movement, bodily or tipping, do not affect the displacement of the tooth's center of resistance but do affect the alveolar bone resorption.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angle Orthod	6. 最初と最後の頁 563-569
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2319/110416-794.1	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 該当する

1. 著者名 Hamanaka R, Yamaoka S, Nguyen Anh T, Tominaga J, Koga Y, Yoshida N	4. 巻 152
2. 論文標題 Numeric simulation model for long-term orthodontic tooth movement with contact boundary conditions using the finite element method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Am J Orthod Dentofacial Orthop	6. 最初と最後の頁 601-612
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.03.021	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 該当する

1. 著者名 富永淳也, 小原 悠, 尾崎博弥, 山岡 智, 橋本文生, 古賀義之, 吉田教明	4. 巻 13
2. 論文標題 ウィリアムズ症候群とそれに伴う大動脈弁狭窄症および僧帽弁閉鎖不全症を有する先天性多数歯欠如症例	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 九矯歯誌	6. 最初と最後の頁 1-6
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 濱中 僚, 山岡 智, Nguyen Anh Tuan, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
2. 発表標題 歯の長期移動シミュレーションと設計最適化を用いた、埋伏歯の最適な牽引方向の決定
3. 学会等名 第13回九州矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tuan NA, Hamanaka R, Yamaoka S, Jinnai S, Tominaga J, Koga Y, Yoshida N.
2. 発表標題 Comparison of the anterior torque control between 2 types of teardrop loop
3. 学会等名 第77回日本矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 陣内祥男, 濱中 僚, 山岡 智, Nguyen Anh Tuan, 小牧博也, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
2. 発表標題 ダブルループメカニクスが前歯舌側移動に及ぼす影響 長期的な歯の移動シミュレーション
3. 学会等名 第77回日本矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 日高 聖, 森田幸子, 富永淳也, 今村禎伸, 田中克己, 藤原 卓
2. 発表標題 著しく中間顎が突出した両側唇顎口蓋裂児に対する術前鼻歯槽形態誘導の2例
3. 学会等名 第43回日本口蓋裂学会総会・学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小牧博也, 濱中 僚, 山岡 智, Nguyen Anh Tuan, 陣内祥男, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
2. 発表標題 舌側ブラケットを用いたスライディングメカニクスにおけるen masse retraction時の長期的な歯の移動シミュレーション - edgewise wire と flatwise wire の比較 -
3. 学会等名 第14回九州矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱中 僚, 小牧博也, 陣内祥男, Nguyen Anh Tuan, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
2. 発表標題 スライディングメカニクスにおける摩擦の大きさが前歯のトルクコントロールに及ぼす影響 - 有限要素法を用いた長期移動動態の解析 -
3. 学会等名 第14回九州矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岡 智, 濱中 僚, Nguyen Anh Tuan, 橋本 恵, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
2. 発表標題 矯正力による歯の移動ラットモデルを用いた歯根膜応力値と骨リモデリング量の相関
3. 学会等名 第12回九州矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 濱中 僚, Nguyen Anh Tuan, 山岡 智, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
2. 発表標題 抜歯空隙閉鎖時におけるワイヤー結紮方法がトルクロスに与える影響 有限要素法による経時的な移動動態解析
3. 学会等名 第12回九州矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 住 真由美, 濱中 僚, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
2. 発表標題 0.022-inブラケットスロットシステムにおいて最適な力系を生じる画期的なクロージンググループの有用性
3. 学会等名 第12回九州矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田幸子, 藤村裕治, 富永淳也, 有園ケイラ, 吉田教明
2. 発表標題 超低出生体重児に対しHotz床を装着した片側性唇顎口蓋裂の1例
3. 学会等名 第12回九州矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hamanaka R, Yamaoka S, Tominaga J, Koga Y, Yoshida N.
2. 発表標題 Effect of a compensating curve on controlled movement of the anterior teeth in sliding mechanics -Simulation for long-term tooth movement using finite element method-
3. 学会等名 2017 AAO Annual Session (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山岡 智, 濱中 僚, Nguyen Anh Tuan, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
2. 発表標題 矯正力による上顎犬歯の経時的な三次元的移動動態の解析
3. 学会等名 第76回日本矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 濱中 僚, 山岡 智, Nguyen Anh Tuan, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
2. 発表標題 歯の長期移動シミュレーションと設計最適化を用いた、埋伏歯の最適な牽引方向の決定
3. 学会等名 第13回九州矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hamanaka R, Tuan NA, Yamaoka S, Tominaga J, Koga Y, Yoshida N.
2. 発表標題 Effect of ligation force on anterior torque control during space closure -Simulation of long-term tooth movement using finite element method-
3. 学会等名 2017 EOS Congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tuan NA, Hamanaka R, Tominaga J, Koga Y, Yoshida N.
2. 発表標題 Comparison of the mechanics of space closure between the reversed L-loop and the teardrop loop
3. 学会等名 第78回日本矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陣内祥男, 濱中 僚, 山岡 智, Nguyen Anh Tuan, 小牧博也, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
2. 発表標題 前歯舌側移動時の最適な力系を生じるループメカニクスの提案 長期的な歯の移動シミュレーション
3. 学会等名 第78回日本矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小牧博也, 濱中 僚, 山岡 智, Nguyen Anh Tuan, 陣内祥男, 富永淳也, 古賀義之, 吉田教明
2. 発表標題 スライディングメカニクス時の長期的な歯の移動シミュレーション - 唇側ブラケットと 舌側ブラケットの比較 -
3. 学会等名 第78回日本矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

長崎大学 研究者総覧データベース 研究者詳細情報
<http://research.jimu.nagasaki-u.ac.jp/IST?ISTActId=FINDJPDetaiI&ISTKidoKbn=&ISTErrorChkKbn=&ISTFormSetKbn=&ISTTokenChkKbn=&userId=10000440>
researchmap
<https://researchmap.jp/ottffsse>

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
--	---------------------------	-----------------------	----