

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：30110

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009 ～ 2012

課題番号：21792094

研究課題名（和文） 新しい四次元顎口腔機能解析システムの開発と臨床応用

研究課題名（英文） A novel method for four dimensional analysis of mandibular kinematics

研究代表者 林 一夫（HAYASHI KAZUO）

北海道医療大学・歯学部・准教授

研究者番号：20316269

研究成果の概要（和文）：

本研究課題では研究期間中に以下項目において新しい知見を得ることができた。1) CT 画像からの顎顔面骨格形態の三次元仮想モデルの構築。2) 口腔内を直接計測することが可能な最新の計測器を用いて歯列弓形態の三次元モデルの構築と精度検証。3) Finite Helical Axis 系を応用した顎運動四次元解析システムの構築と精度検証。4) 顎変形症患者における顎機能審査へのシステムの応用。

研究成果の概要（英文）：

During the period of this project, following new information were obtained. 1) Establish of three-dimensional virtual model of maxillofacial area. 2) Creating and assessing the three-dimensional virtual model using newly developed intra-oral scanner. 3) A novel statistical model for mandibular helical axis analysis. 4) Development of a novel statistical model for mandibular kinematics.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|------|-----------|---------|-----------|
| 21年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 22年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 23年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 24年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,300,000 | 990,000 | 4,290,000 |

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・矯正・小児系歯学

キーワード：歯科矯正学

1. 研究開始当初の背景

歯科矯正学では、審美的な改善及び咬合の安定や咀嚼運動などの機能的な改善を治療目標としている。特に顎変形症患者における外科的矯正治療では、発音、発語、咀嚼および嚥下など顎口腔系の正常な機能の確立が重要となる。顎口腔機能の確立において正常

な顎運動の獲得は非常に重要であり、そのためには顎運動を正確そして詳細に解析可能なシステムが必要とされる。顎関節は、上下の構造体（下顎窩と下顎頭）とその中間に関節円板を有する特殊な関節であり、非常に複雑な力学系を持つ。そして顎運動は、下顎頭の蝶番運動と円板 - 下顎頭複合体の滑走運

動の組合せで行われている。正常な顎関節では、開口運動において、この2つの運動様式は線形的な関係を持つと報告されている。つまり、開口初期から回転運動と滑走運動の双方が起これ、この両者の関係は開閉口運動の間、維持される。このように複雑な特徴を持つ顎運動を剛体の運動として三次元的に解析可能なシステムは幾つか報告されている。しかしながら、これらの顎運動解析システムでは顎運動を下顎切歯や顎頭点といった特徴点の動きとして評価するものであり、顎運動全体を詳細に評価することは難しい。また近年、連続的ならせん状のスライスや短時間で撮像できる高速らせんCTの開発、磁気共鳴撮像法(MRI)の進歩によって顎口腔系の解剖学的な構造を三次元的に可視化することが可能となっている。しかし、これらのデータは制的な三次元解析にとどまってお、動的な解析は一般的ではない。さらなる取り組みとして、顎運動データとCTなどから再構築された三次元仮想モデルを統合し四次元解析モデルが報告されているが、現在までのモデルでは顎運動に関して特徴点の解析にとどまっている。これらの既存の問題点を克服する方法として Finite Helical Axis (FHA)系を用いた解析方法がある。FHAは剛体の三次元的な運動を包括かつ定量的に表現することが可能な多次元表現法である。従来、三次元解析はデカルト座標系を用いて解析されてきた。しかしながら、デカルト座標系の座標変換では回転軸の回転の順番でその回転角度が変化する。つまりシステムごともしくはソフトウェアごとに三次元座標変換マトリックスが違えば、異なったシステム間での解析結果の比較は不可能である。FHA系は1回のFHA回りの回転とFHAに沿った平行移動で三次元的な変化を表現することが可能であり、より明確に統一されたけいせき結果を得ることができると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、CT撮像から得られた顎顔面骨格形態の三次元再構築画像と非接触三次元形態計測から得られた三次元歯列弓画像および六自由度顎運動解析装置により得られた三次元顎運動データとを統合し、顎運動解析方法として Finite Helical Axis (FHA)系を応用した四次元顎顔面歯列骨格モデルによる新しい顎口腔機能解析システムの開発を行い、その臨床応用として骨格性下顎前突者の時空的な顎運動・咬合接触状態を解析することにより既存の手法では得られないより正確で詳細な解析データを提示し、新しい解析システムの有効性を明ら

かにすることを目的とする。

3. 研究の方法

平成21年度～平成22年度

三次元コンピュータグラフィックス(3DCG)を用い、FHA顎運動四次元モデルによる解析データの最適な表現方法の確立を行う。3DCGアニメーションは本研究における顎運動四次元歯列骨格モデルの表現方法として最適であると考えられる。顎運動時における下顎骨の動きと咬合接触状態の動的な変化を詳細で正確な動画として表現し、その有効性の検証を行う。また顎運動時における下顎頭の挙動、個々の歯における接触状態個別に抽出、表示可能なシステムを構築する。次に、下顎運動時の咬合接触状態の動的変化の様相を定量的に評価するための解析手法の確立を行う。動的な咬合接触状態を再現するには咬合接触部位の干渉計算が必要になる。既存の干渉計算ライブラリを用いて高精度のリアルタイム干渉計算ソフトウェアを開発し、顎運動時における上下歯列弓の衝突判定を行う。

平成23年度～平成24年度

引き続き、下顎運動時の咬合接触状態の動的変化の様相を定量的に評価するための解析手法の確立を行う。動的な咬合接触状態を再現するには咬合接触部位の干渉計算が必要になる。既存の干渉計算ライブラリを用いて高精度のリアルタイム干渉計算ソフトウェアを開発し、顎運動時における上下歯列弓の衝突判定を行う。

次に、顎運動時の咬合接触状態の動的変化の様相を定量的に評価するための解析手法の確立を行う。①個々の歯が正確に分割可能な三次元歯列モデルの開発を行う。②構築された歯の分割が可能な三次元モデルを用い、動的な咬合接触状態を精度よく再現できる手法を確立し、新しい顎運動四次元モデルへの統合を行う。

4. 研究成果

平成21年度～平成22年度

三次元コンピュータグラフィックス(3DCG)を用い、FHA顎運動四次元モデルによる解析データの最適な表現方法の確立を行った。3DCGアニメーションは本研究における顎運動四次元歯列骨格モデルの表現方法として最適であると考えられ、顎運動時における下顎骨の動きと咬合接触状態の動的な変化を詳細で正確な動画として表現し、その有効性の検証を行った。また顎運動時における下顎頭の挙動、個々の歯における接触状態個別に抽出、表示可能なシステムを構築するにあたり、新しいソフトウェア(SmartCollision および IDOL3D)

を導入し、解析手法の確立を行った。

また、機能的な顎運動解析の新しいモデルとして β スプライン基底関数とSelf-modeling regressionとの統合モデルを開発し、顎運動における任意点の三次元的な軌跡の平均形態を算出することが可能になった。また薄膜スプライン解析の手法も取り入れ、より客観的なデータ検証を行った。

さらに、プロクラステス法を用いた重ね合わせと主成分分析とを用い最新の形態解析を歯列弓の形態解析に応用し、日本人における三次元的な歯列弓形態の特徴の把握および平均的な歯列弓形態の解析が可能となった。これらの結果は、顎運動の四次元モデルの精度向上に非常に重要な成果をもたらす結果であり、今後、さらなる検証および改善を加えることで、顎運動四次元モデルの有効性を高めていくことが可能であると考えられる。

引き続き、下顎運動時の咬合接触状態の動的变化の様相を定量的に評価するための解析手法の確立を行った。動的な咬合接触状態を再現するには咬合接触部位の干渉計算が必要であり、既存の干渉計算ライブラリを用いて高精度のリアルタイム干渉計算ソフトウェアを開発し、顎運動時における上下歯列弓の衝突判定を行った。

また、顎運動の四次元モデルを表現する手法としての3DCGの精度を向上させ、より臨場感のある動画の作成を試みた。視点を変化させることが可能なアルゴリズムを追加し、顎運動をオペレータの任意の角度から確認することが可能となればより機能解析の理解が深まると考えられる。

平成 23 年度～平成 24 年度

さらに、コーンビームCT (CBCT) のデータの解析を可能とするシステムの構築を開始した。CBCTを用いることによってこれまで別々に計測されていた歯列弓情報と骨情報とを同時に計測することができ、また3Dモデルの構築もより高精度に行える可能性が高まった。しかしながら、かなり高精度(高分解能)のCBCTが必要であることも分かってきた。歯および骨の表面形態を精度良く再構築するには0.2 mm以下の解像度が必要であり、この基準を満たす装置は最新の上位機種に限られる。また、補綴物などがある場合、歯の形態異常など、CBCTデータでは正確に再構築できない場合は、口腔内を直接計測が可能なオーラスキャナの使用を試みた。より精度良い計測結果を得る目的で重ね合わせアルゴリズムを再評価し、良好な計測結果を得ることができた。

引き続き、コーンビームCT (CBCT) データとの統合および口腔内を直接計測可

能な光学スキャナーの本研究への導入を試みた。CBCTには最新機種のコダック 9400 シリーズを用いたことにより、少ない被ばく線量でより高精度の三次元仮想モデルの構築が可能となった。また、印象採得から得られた石膏模型スキャンのステップを削除し、よりシンプルに高精度の歯列と顎骨との統合が可能となった。

顎運動の四次元解析では、衝突モデルの採用により、さらに詳細な解析が可能となり、顎変形症患者の機能審査への応用を開始した。既存の筋電図や単一歯の運動の軌跡の解析と比較して、外科的矯正治療前後の機能的な改善の評価がより詳細に行えるようになり、今後のデータ蓄積により、システムの有効性を検証し、より信頼性の高いシステムを構築できると考えられる。

患者とのコミュニケーションをはかり、機能的な要素に関する術前の説明をより良いものにするべくアニメーションによる視覚的な説明の有効性に関しての評価を開始した。症例数が未だ十分ではないものの、その有効性が明らかとなり、今後の展開を期待できる結果が得られてきている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

① Hayashi K, Saitoh S, Mizoguchi I. Morphological analysis of the skeletal remains of Japanese females from the Ikenohata-Shichikencho site. *Eur J Orthod* 34(5): 575-581,2012.

② Lee SP, Nam SE, Lee YM, Park YS, Hayashi K, Lee JB. The development of quantitative methods using virtual models for the measurement of tooth wear. *Clinical Anatomy* 25(3): 347-358,2012.

③ Nam SE, Kim YH, Park YS, Baek SH, Hayashi K, Kim KN, Lee SP. Three-dimensional dental model constructed from average dental form. *Am J Orthod and Dentofacial Orthop* 141(2): 213-218,2012.

④ Lee SP, Lee SJ, Hayashi K, Park YS. A three-dimensional analysis of the perceived proportions of maxillary anterior teeth. *Acta Odontologica Scandinavica* 70: 432-440,2012.

⑤ Hayashi K, Hayashi M, Reich B, Lee SP, Sachdeva A, Mizoguchi I. Functional data

analysis of mandibular movement using third-degree b-spline basis functions and self-modeling regression. Orthodontic Waves 71(1):17-25,2012.

⑥ Hayashi K, Sachdeva R, Sachdeva A, Kubota T, Uechi i, Mizoguchi I. Current approaches in understanding and controlling orthodontic tooth movement In 3-D Space. 日本成人矯正歯科学会雑誌 19(1)35-43,2012.

⑦村井 茂, 松沢史宏, 飯嶋雅弘, 石野善男, 村井かおる, 甲田尚央, 伊藤麻衣, 上地 潤, 六車武史, 林 一夫, 中垣 晋, 溝口 到骨移植後の顎裂部に歯の移植を行った長期観察 2 症例. 北海道医療大学歯学会雑誌 30 (1)51 -55, 2011.

⑧齋藤貞政, 林 一夫, 上地 潤, 溝口 到顎関節部 X線 CT 画像の三次元構築に最適な CT 値閾値の確立 北海道医療大学歯学会雑誌 29(2): 191-196.2010.

⑨上地 潤, 辻 祥之, 水上和博, 林 一夫, 柴田孝典, 中山英二, 溝口 到 コンピュータ支援診断・手術 (CAD/CAS) のための仮想患者モデルの生成 北海道医療大学歯学会雑誌 29(1):73-81.2010.

⑩林 一夫, 齋藤貞政, 上地 潤, 溝口 到顎運動四次元解析システム-咀嚼運動における下顎頭挙動の解析-北海道医療大学歯学会雑誌 29(1):83-89.2010.

⑪Hayashi K, Mizoguchi I, Lee SP, Reich B. Development of a novel statistical model for mandibular kinematics. Medical Engineering & Physics, 32(5):423-428.2010

⑫Hayashi K, Reich B, DeLong R, Lee SP, Mizoguchi I. A novel statistical model for mandibular helical axis analysis. Journal of Oral Rehabilitation, 36(2):102-109, 2009.

[学会発表] (計 9 件)

①林 一夫, 溝口 到 衝突判定モデルと finite helical axis 系を応用した顎運動四次元モデル 第 24 回日本顎関節学会学術大会 2012

②林 一夫, 岡 由紀恵, 上地 潤, 溝口 到最新の矯正治療シミュレーションシステムの外科的矯正治療への応用 第 22 回日本顎変形症学会総会 (福岡) 2012

③ 齋藤貞政、林 一夫、溝口 到

Procrustes 法、主成分分析および薄板スプライン解析による三次元歯列弓形態分析 第 70 回日本矯正歯科学会大会 (名古屋) 2011

④林 一夫, 内澤朋哉, 齋藤貞政, 溝口 到幾何学的形態解析を用いた江戸時代人女性と現代人女性との顎顔面形態解析 第 70 回日本矯正歯科学会大会 (名古屋) 2011

⑤今野正裕, 上地 潤, 辻 祥之, 林 一夫, 柴田孝典, 溝口 到 顔面非対称症例における歯列と頭蓋顔面骨格の空間的位置関係第 70 回日本矯正歯科学会大会 (名古屋) 2011

⑥上地 潤, 辻 祥之, 水上和博, 林 一夫, 柴田孝典, 溝口 到顎矯正手術シミュレーションにおける Computer-Assisted Repositioning (CAR)法とその精度第 19 回日本シミュレーション外科学会, 2009

⑦林 一夫, 齋藤貞政, 上地 潤, 溝口 到池之端七軒町遺跡 (旧慶安寺跡) から出土した江戸時代人女性の顎顔面形態第 68 回日本矯正歯科学会 (福岡) 2009

⑧Lee SP, Park YS, Nam SE, Chang MS, Lee JB, Hayashi K A quantitative comparison of tooth wear of the first molar in Korean children and adults using virtual 3D dental model. 23th International congress on computer assisted radiology and surgery (Berlin). 2009

⑨齋藤貞政, 林 一夫, 溝口 到仮想歯列弓モデルを用いた韓国人女性と日本人女性の歯と歯列弓形態の比較 第 27 回北海道医療大学歯学会 2009

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 一夫 (HAYASHI KAZUO)

北海道医療大学・歯学部・准教授

研究者番号 : 20316269

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :