

平成 21 年 5 月 10 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19390531

研究課題名（和文） 三次元頭部CT画像を用いた顎口腔機能4次元表示システムの構築

研究課題名（英文） Construction of four-dimensional visualization system of Stomatognathic function using the 3-D CT

研究代表者

寺嶋 雅彦 (TERAJIMA MASAHIKO)

九州大学・大学院歯学研究院・助教

研究者番号：20398085

研究成果の概要：情報工学分野の画像処理のノウハウを用いることで、高い精度の顎顔面形態の3次元画像すなわち頭部3D-CTを、顎口腔機能データに基づいて駆動し、咬合接触状態および関節空隙と顎顔面骨格形態の関係を解析することができた。そのため、今までにない診断、分析法になるものと考えられ、口腔領域の他の分野における機能解析に発展することができ、日常臨床に応用することが可能であると思われた。また、口腔の機能を形態と同時にパーソナルコンピュータ上に運動の様相を動画として表示できるため、研究面だけではなく、歯科医にとっても患者にとっても分かり易いコミュニケーションツールを作成することができたと思われた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	11,200,000	3,360,000	14,560,000
2008年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

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、医療工学、放射線学

1. 研究開始当初の背景

近年、コンピュータグラフィックスなど画像処理技術が飛躍的に発達し、膨大なデータを高速に処理することで硬軟組織の形態を比較的容易に三次元構築して表示することができるようになった。歯科領域でも顎顔面部の詳細かつ立体的形態情報を得ることを目的として歯科用CT撮影装置も市販されている。また、顎口腔機能の測定法も著しく発展している。しかし、これらはいずれも3次元の下顎運動データを備えているにも拘ら

ず前頭断や矢状面など2次元に落として解析がなされているといった問題点がある。情報工学分野の画像処理のノウハウを用いれば下顎骨の動きを三次元的に再現するコンピュータプログラムを作成することは難しいことではない。そして、高い精度の顎顔面形態の3次元画像すなわち頭部3D-CTを、顎口腔機能データに基づいて駆動させることは歯科医にとっても患者にとっても分かり易い診断ツールとなることが考えられた。

2. 研究の目的

そこで本研究は、顎顔面領域の検査法のひとつとして、頭部 3D-CT 画像に顎口腔機能測定データを統合し 4 次元表示するシステム、すなわち **Functional Computed Tomography (fCT)** の構築を計画した。これまでに X 線映画法 **Cineragiography** によって顎運動などの顎口腔機能を動的に解析する方法はあったが、これは二次元画像の不鮮明さに加えて一定時間の撮影は大きな X 線被曝を必要とし、検査方法として致命的な問題を抱えていた。被曝線量が低減してきたとはいえ CT で顎運動を連続撮影することは X 線映画法と同じく倫理的問題もあり、撮影体位が仰臥位であることから難しい。したがって我々は、別個に計測された機能測定データに基づいて 3D-CT 画像をコンピュータグラフィックスの技術を用いて動かし、様々な解析を行うことが可能なシステムの開発を目指した。

3. 研究の方法

(1) 歯列・骨格 3D-CT 画像の構築

① 3D-CT 骨格画像

CT 撮影は本学設置の Aquilion で、スライス厚 1 mm、スライス間隔 1 mm、管電圧 120kV、管電流 200mA、Field of view 200 mm とした。撮影の際には機能測定値と CT 画像との三次元的位置合わせの基準とするために、被験者の上下顎歯列上の計 6 ヶ所に、即時重合レジンのジグが付いた直径 6.74 mm のセラミック真球を装着した。得られた CT データはオンラインでワークステーションに転送し、DICOM 形式で光ディスクに出力後、パーソナルコンピュータに取り込んだ。そして取り込んだデータを三次元画像処理ソフトを用いて頭蓋骨、下顎骨およびセラミック真球の領域を抽出し顎顔面骨格の 3D-CT 像を構築した。セラミック真球の三次元中心座標は 3D-CT 像上の真球表面の任意の 20 点を入力し、それぞれの点が存在するポリゴン（三角形）の法線ベクトルの交点を演算し、さらに 19 個の交点の三次元中心点を求める方法を採用した。

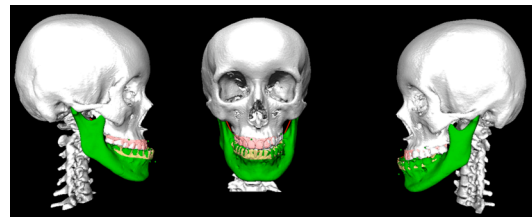
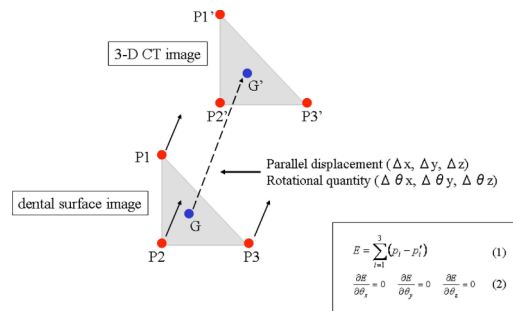
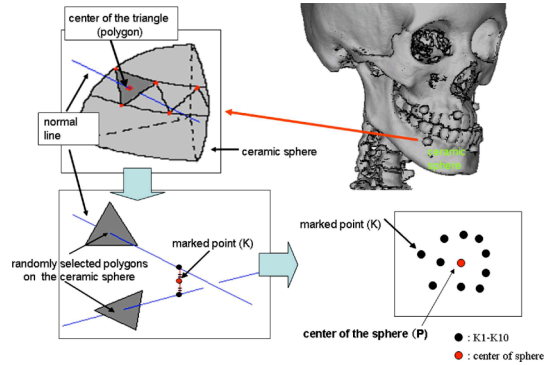
② 歯列・咬合三次元画像

CT 撮影時に歯列に接着したセラミック真球を付けたまま歯列印象を採得し、上下歯列石膏模型を作製した。次に非接触型三次元計測装置 (VIVID900) を用いて上下顎歯列模型を別個に撮影 (スキャンニング) した。一方、接触型三次元計測装置を用いて CT の場合と同じく模型上のセラミック真球表面 20 点を入力して中心座標を演算した。

③ 歯列・骨格統合 3D-CT 画像

CT における中心座標の位置関係を基準と

して画像上で歯列画像を咬合させた。そしてこれらの三次元模型画像を 3D-CT 画像上のセラミック真球に合わせて統合し、歯列・骨格統合 3D-CT 画像を構築した。なお、3D-CT と模型の 6 個のセラミックの位置合わせには三次元最小自乗法を用いた。

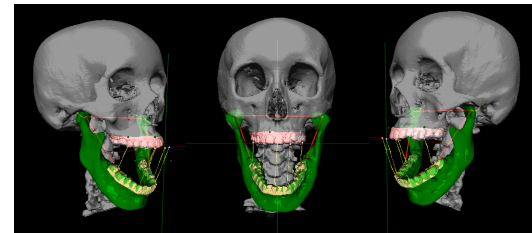


(2) 下顎運動の測定

本研究では発光ダイオードを用いた既存の 6 自由度顎運動測定装置 (Trimet) を用い、6 自由度で下顎運動を測定した。

(3) 顎関節空隙の算出プログラムの作成

頭部骨格形態と顎関節の動態の関連を知るための 4 次元シミュレーションに用いるため、3D-CT の下顎を頭蓋部分と分離して下顎



頭表面上のポリゴンに立てた法線のうち最も下顎窩壁に近い最短距離すなわち関節腔隙を算出するプログラムを作成した。さらに下顎窩壁への距離の大小によって下顎頭上に顎関節腔隙を色分け表示するプログラムを作成した。これによって下顎運動に伴って下顎頭と関節窩の関係がどのように変化するかを観察することが可能にした。

(4)咬合接触（上下咬合面間距離）の測定プログラムの作成

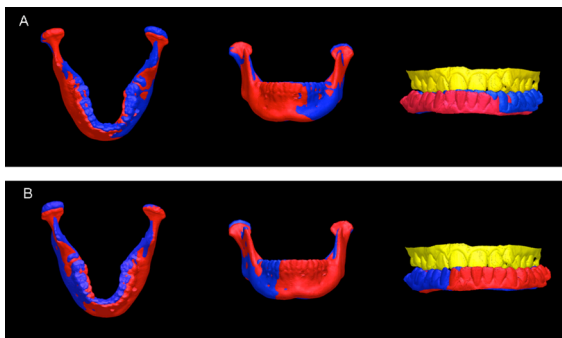
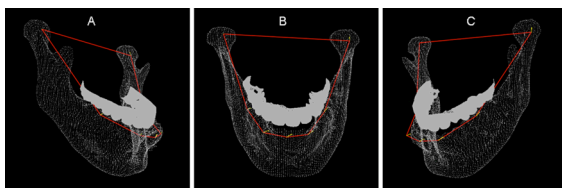
上記3)と同様な方法で、非接触型三次元計測装置から組み入れた3D-CT画像の上下歯列咬合面のポリゴン間の最短距離を用いて、咬合面間距離を定量評価できるプログラムを作成する。距離の大小は下顎歯列咬合面上に色分け表示できるようにする。これは下顎の側方運動における下顎頭と関節窩の関係を可視化すると同時に、それらと咬合接触との関係を評価するための計測である。

(5)3D-CT への顎口腔機能のシミュレーション

①3D-CT と下顎運動の統合

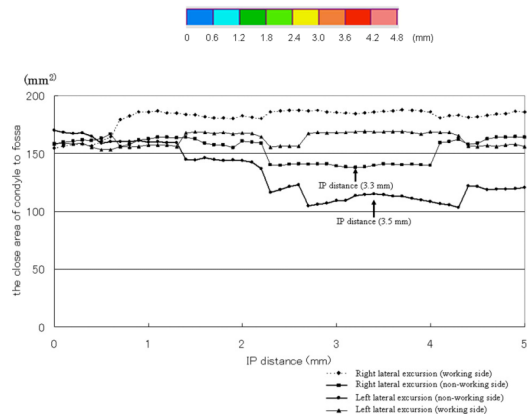
本研究では三次元頭部CT画像に顎口腔機能を表示するシステム Functional CT(fCT)を構築することを目的としている。そのためまず、上記の方法で構築した顎顔面形態と歯列の統合三次元画像を、採得した下顎運動データで駆動する4次元シミュレーションを完成させた。形態と機能の合体にはセラミック真球の重心座標を三次元最小二乗法を用いて数学的に重ね合わせをした。

指定する任意の計測点（左右の下顎頭、第一大臼歯、犬歯および切歯）の運動軌跡も同時表示できるようにした。



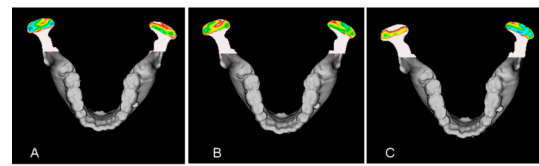
②下顎運動に伴う顎関節腔変化の表示

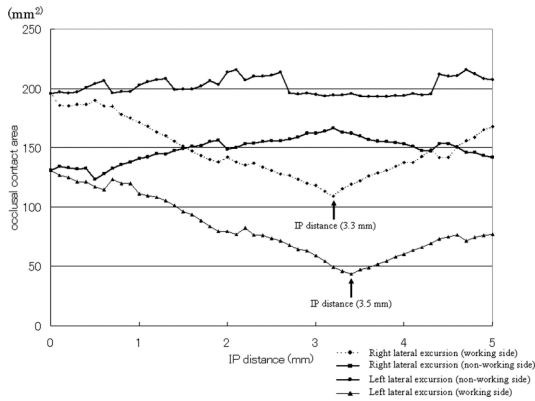
上記の方法を用いて、顎開閉運動や側方運動に伴う顎関節腔隙の変化を3D-CTの左右顎頭上に擬似カラー表示するシステムを構築した。これは下顎頭と関節窩の関係を視覚的に把握できるため、顎関節機能障害における原因の解析や診断の一助になるものと考えられる。下図はある被験者を対象に中心咬合位から下顎を左右に側方運動させたときの顎関節腔の変化を試作プログラムを用いて示したものである。下顎の動きとともに左右顎頭に顎関節腔隙が変化することを観察できる。暖色系が大きな距離（空隙）、寒色系が小さな距離を示している。



③咬合接触の経時変化の歯列3D-CT画像上への表示

上述の方法で測定した上下歯列咬合面間距離を非接触型三次元計測装置で計測した3D-CT下顎歯列画像上に色表示する。下図はある不正咬合者に中心咬合位から左右側方運動をさせた時の咬合接触を示している。中心咬合位においても咬合接触に左右差が認められる。上下の咬合面が接近した部位を寒色系で、離れた部位を暖色系で示している。





4. 研究成果

本研究成果の具体的な内容については、非接触型三次元計測装置を用いて計測した歯列模型データを骨格・軟組織 3D-CT 像に統合する方法を確立したことである。さらに、これに 6 自由度下顎運動計測装置を用いて得られたデータを組み込むことで、下顎運動の 4 次元シミュレーションや下顎運動に伴う顎関節隙の変化を表示することを可能にした。

本研究の意義について、まず、CT の短所のひとつである歯科金属充填物や矯正用ブラケットによる歯列領域のアーチファクトに対して、CT 撮影時にセラミック真球を歯列上に貼付し、これを基準点として頭部骨格 3D-CT 画像上に非接触型三次元形状計測装置で撮影した歯列画像を組み入れたことで、下顎運動と顎顔面形態の相互関係を解析することが可能になった。さらに、情報工学分野の画像処理のノウハウを用いることで、高い精度の顎顔面形態の 3 次元画像すなわち頭部 3D-CT を、顎口腔機能データに基づいて駆動し、咬合接触状態および関節空隙と顎顔面骨格形態の関係を解析することができた。そのため、今までにない診断、分析法になるものと考えられ、口腔領域の他の分野における機能解析に発展することができ、日常臨床に応用することが可能であると思われる。

したがって、本研究の特色は第 1 に顎顔面領域の 3 次元形態画像に顎口腔機能を再現しようとする、これまでになかった新しい解析システムである。機能を形態と同時にシミュレーションする研究は国際的にも類を見ない斬新な試みと考える。

第 2 の特色は歯学と工学の学際的研究であることである。工学領域の技術を医療の分野に導入する試みは近年盛んであるが本研究もそのひとつである。歯工連携によって 3D-CT を用いた今までになかった診断、分析法になるものと考えられ、口腔領域の他の分野における機能分析にも発展させることができる。

第 3 の特色は本研究の成果は口腔の機能を

形態と同時にパーソナルコンピュータ上に表示できるため、研究面だけでなく患者との分かりやすいコミュニケーションツールとして臨床応用ができることである。

今後の展望としては、様々な症例に臨床応用することで基礎データの充実、さらには軟組織 3D-CT に表情や筋機能データを統合するシステムへと発展させる計画である。

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 4 件)

- ① Masahiko Terajima, Yukihide Furuichi, Yoshimitsu Aoki, Tazuko K. Goto, Kenji Tokumori, and Akihiko Nakasima: A three-dimensional Method for Analyzing Facial Soft Tissue Morphology of patients with jaw deformities: American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, in press, 2008, 査読有り.
- ② Masahiko Terajima, Akihiko Nakasima, Yoshimitsu Aoki, Tazuko K. Goto, Kenji Tokumori, Noriko Mori, and Yoshihiro Hoshino: A Three-dimensional Method for Analyzing the Morphology of Patients with Maxillofacial Deformities, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, in press, 2008, 査読有り.
- ③ Masahiko Terajima, Natsumi Yanagita, Kanako Ozeki, Yoshihiro Hoshino, Noriko Mori, Tazuko K. Goto, Kenji Tokumori, Yoshimitsu Aoki and Akihiko Nakasima: "A Three -Dimensional Analysis System for Orthognathic surgery Patients with Jaw Deformitie" American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 134, 100-111, 2008, 査読有り.
- ④ Masahiko Terajima, Mizuki Endo, Yoshimitsu Aoki, Kyouko Yuuda, Haruaki Hayasaki, Tazuko K. Goto, Kenji Tokumori, and Akihiko Nakasima: A Four-dimensional Analysis of Stomatognathic function. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 134, 276-278, 2008, 査読有り.

[学会発表] (計 14 件)

- ① 寺嶋雅彦, 中島昭彦, 谷尻豊寿, 柳田奈津美, 因絵美子, 吉原真理子, 遠藤みずき, 大関加奈子, 後藤多津子, 徳森謙二: Three-dimensional Computed Tomography (3-D CT) を用いた頭部 X 線規格写真の作成, 第 3 回九州矯正歯科学会学術大会, 2008, 3 月, 長崎市.
- ② 因絵美子, 寺嶋雅彦, 柳田奈津美, 吉原真理子, 遠藤みずき, 大関加奈子, 後藤多津子, 徳森謙二, 中島昭彦: 顎変形症患者に対する Spiral/herical CT を用いた気道と顎顔面骨格形態の関連性について, 第 3 回九州矯正歯科学会学術大会, 2008, 3 月, 長崎市.
- ③ 吉原真理子, 寺嶋雅彦, 柳田奈津美, 嘉ノ海龍三, 因絵美子, 遠藤みずき, 大関加奈子, 中島昭彦: Cone-beam CT を用いた CLP 患者の気道および顎顔面骨格形態の三次元的分析について, 第 3 回九州矯正歯科学会学術大会, 2008, 3 月, 長崎市.
- ④ Masahiko Terajima, Shima Muraoka, Natsumi Yanagita, Mariko Yoshihara, Emiko In, Akihiko Nakasima: Three-dimensional motion analyzing system of the facial soft tissue, American Association of Orthodontists (AAO) 108th Annual Session, 2008, May, Denver.
- ⑤ 鎌田正浩, 青木義満, 寺嶋雅彦, 中島昭彦: 解剖学的計測点識別によるセファロ画像からの 3 次元頭蓋骨モデル構築—セファロ画像を用いた診断支援システム—, 映像情報メディア学会 メディア工学研究会 2 月研究会, 横浜市, 2008, 2 月.
- ⑥ 寺嶋雅彦, 中島昭彦, 青木義満, 後藤多津子, 徳森謙二: 顎変形症患者における顎顔面形態の三次元的分析法, 第 18 回日本顎変形症学会総会, 名古屋市, 2008, 6 月.
- ⑦ 遠藤みずき, 寺嶋雅彦, 大関加奈子, 柳田奈津美, 後藤多津子, 徳森謙二, 中島昭彦, 名方俊介: 顎変形症患者における顎関節部形態の三次元的分析, 第 67 回日本矯正歯科学会大会, 千葉市, 2008, 9 月.
- ⑧ 柳田奈津美, 寺嶋雅彦, 遠藤みずき, 嘉ノ海龍三, 後藤多津子, 徳森謙二, 中島昭彦, 名方俊介: 3-D CBCT を用いた顎顔面骨格および上気道形態の三次元的分析, 第 67 回日本矯正歯科学会大会, 千葉市, 2008, 9 月.
- ⑨ Tokumasa Akashi, Yoshihiro Takao, Masahiko Terajima, Wen-Xue Wang, Akihiko Nakasima: A numerical simulation method for dental occlusion with forces applied to mandibule with teeth, The 2008 symposium on Biomaterials and Nano-Biotechnology, Busan, Korea, 2008, October.
- ⑩ Toshiaki Saito, Masahiko Terajima, Eri Shitara, Sachiko Nakano, Yayoi Nakamura, Hidehiko Sato: The changes of TMD Prevalence in Orthodontic Patients during the Treatment, 2nd WSLO Congress, Seoul, Korea, 2007, July.
- ⑪ Masahiko Terajima, Akihiko Nakasima, Kanako Ozeki, Mizuki Endo, Natsumi Yanagita, Tazuko K Goto, Kenji Tokumori: A Three-dimensional Method for Analyzing Facial Tissue Morphology of Patients with Jaw Deformities, 2nd WSLO Congress, Seoul, Korea, 2007, July.
- ⑫ 遠藤みずき, 寺嶋雅彦, 大関加奈子, 柳田奈津美, 後藤多津子, 徳森謙二, 中島昭彦: 外科的矯正治療に伴う下顎頭位置変化の三次元的な分析方法について, 第 66 回日本矯正歯科学会大会, 大阪, 2007, 9 月.
- ⑬ 柳田奈津美, 寺嶋雅彦, 大関加奈子, 遠藤みずき, 嘉ノ海龍三, 後藤多津子, 徳森謙二, 中島昭彦: Cone-beam CT を用いた顎顔面骨格および気道形態の三次元的分析について, 第 66 回日本矯正歯科学会大会, 大阪, 2007, 9 月.
- ⑭ 寺嶋雅彦, 高橋純平, 大関加奈子, 中島昭彦, 高雄善裕, 後藤多津子, 徳森謙二: テンプレートモデルを用いた三次元有要素法による応力解析, 第 66 回日本矯正歯科学会大会, 大阪, 2007, 9 月.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺嶋 雅彦 (TERAJIMA MASAHIKO)
九州大学・大学院歯学研究院・助教
研究者番号：20398085

(2) 研究分担者

中島 昭彦 (NAKASIMA AKIHIKO)
九州大学・大学院歯学研究院・名誉教授
研究者番号：00037542

青木 義満 (AOKI YOSHIMITSU)
慶應大学・理工学部・准教授
研究者番号：00318792

(3) 連携研究者