

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26463091

研究課題名(和文) 機械学習理論を実装した顎変形症診断支援データベースシステムの開発とその臨床応用

研究課題名(英文) Development and clinical application of a supportive database system for the diagnoses of jaw deformities applied machine learning theory

研究代表者

越知 佳奈子 (Ochi-Yamazoe, Kanako)

新潟大学・医歯学総合研究科・研究員

研究者番号：60397122

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：顎変形症の診断時に対象症例と類似した症例を自動認識して検索・提示する診断支援システムの開発を目的とし、歯列模型の形態的特徴のみから類似症例を提示するデータベースシステムを開発した。デジタル化した歯列模型から算出した様々な特徴パラメータをデータベースに蓄積し、対象症例とデータベース内の各症例の特徴パラメータの類似度を算出することで類似症例を決定した。今後、経験豊かな臨床医が選出した類似症例が検索されるように試行錯誤を重ねながらシステムを調整することにより、臨床での有用性が高まると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop a new diagnostic database system of jaw deformities. Large number of feature parameters extracted from digital dental models, such as Fourier descriptors and relative position of upper and lower models, were registered with this system. Algorithms applied machine learning theory were implemented to search several similar model data. This new system developed in this study attained retrieval of similar cases only using model data. Further tuning the algorithms of calculating the characteristic similarities and improving the discriminant functions will enable the database system to provide clinical efficiency for accurate diagnoses and for solutions of clinical problems.

研究分野：医歯薬学

キーワード：顎変形症 機械学習 歯列模型分析 データベースシステム 診断

1. 研究開始当初の背景

顎変形症の治療方針には形態的・審美的な問題が大きく関与する。このため、過去の治療結果には患者の主訴に対する要望や術者の主観が含まれる場合もあるが、治療の終了した症例を直面する症例の診断に再利用することは、臨床的有用性が高い。近年、電子化された検査診断機器の普及に伴い、医療機関ではデジタル化された大量の資料がデータベースにより管理されているが、診断時の有用なフィードバックとして帰結するには至っていない。

われわれは、診断支援システムを「過去に行われた大量の治療データの中から直面した症例と関連性の高い症例を精選して提示するデータベースシステム」として位置付け、その研究開発を継続してきた。従来のデータベースシステムには以下のような問題点があると考えた。

(1) データの変換に関する問題

単なるデジタルデータを蓄積したシステムは、有用な情報源とは言えない。データの検索時、もしくは保存時に何らかの処理を行い、データ自身の特徴量を抽出することで、初めてデータは意味ある情報へと変換されるが、既存のデータベースシステムの範疇に無い上、各資料の特徴量を抽出する手法の多くは標準化されていない。

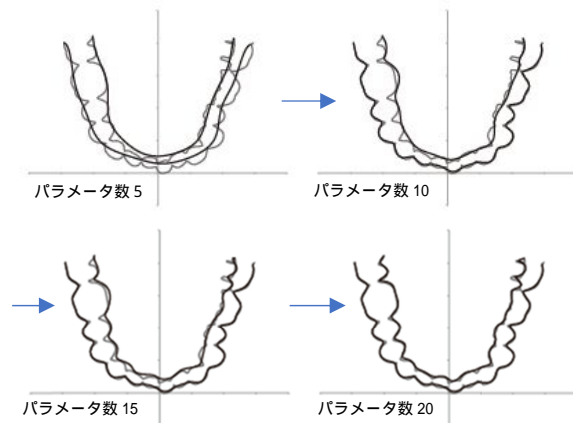
(2) データベースの検索インデックスに関する問題

従来のデータベースは、資料自体の情報ではなく、氏名、症例番号、性別などの付加的情報（メタデータ）を検索用のインデックスに用いている。蓄積したデータを共有化し、診断支援用として再利用するためには、症例から多数の特徴点を抽出し、適切に分類して照合する機能をシステム自体が持ち合わせている必要がある。

前者のデータ変換については、代表的手法にセファログラムの計測値があるが、三次元情報が二次元情報に減損していることに加え、使用する特徴点が非常に少ないことから、適切なパラメータとは考えにくい。このような観点から、われわれは新たなパラメータを模索するため、歯列模型の三次

元データから歯列 歯槽部形態をパラメータ化する手法を開発し(図1) 報告してきた。歯列 歯槽部形態は、歯科矯正治療で直接アプローチできる部位にもかかわらず、これまで同部位の形態的特徴量をパラメータ化した報告は認められない。したがって、この形態的特徴パラメータが症例の新たな特徴量として期待できるのではないかと考えた。

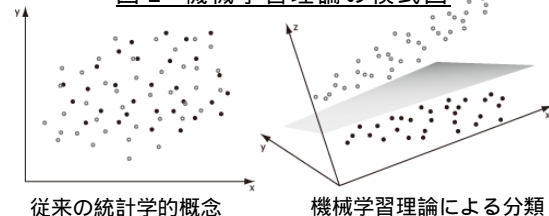
図1 歯列 歯槽部形態のパラメータ化



顎変形症症例の下顎歯列の水平断を示す。パラメータ数が増す(矢印)につれ、輪郭線(淡線)と再生曲線(濃線)が近似する。

後者については、人工知能エンジンとして近年注目されている機械学習理論をデータベースシステムに実装することで解決できると考えた。機械学習により、従来の統計学的手法では不可能であったカテゴリー分類が可能となるため(図2) 前述の歯列 歯槽部の形態的特徴パラメータを検索用インデックスとして使用することにより、従来のデータベースシステムの欠点が克服され、臨床的有用性の高い診断支援データベースシステムが構築できるのではないかと考えから本研究の着想に至った。

図2 機械学習理論の模式図



従来の統計学的な概念(左図)では と を二分することは不可能であるが、機械学習(右図)では特徴量をより高次の空間(模式図では3次元空間であるが実際には任意のN次元空間となる)に投影することによりカテゴリー分類が可能となる。

2. 研究の目的

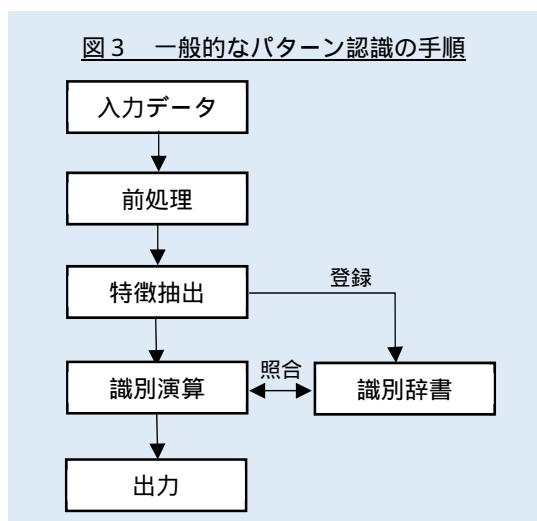
本研究の目的は、顎変形症の診断時に過去の類似症例を自動認識して検索・提示する診断支援システムを開発することである。

本研究は、症例の資料から形態的特徴量を算出し、これらをデータベース検索用のパラメータとして使用することに加え、システムに機械学習アルゴリズムを実装することにより、類似症例の自動検索が可能な診断支援システムを具現化しようとするものである。

- (1) 顎変形症の診断および治療方針の立案に必要な資料をデジタル化し、これらを集積したデータベースを構築すること
- (2) 歯列 歯槽部形態分析システムが算出するパラメータが、類似症例検索用の有効なインデックスとなるようにデータベースシステムに機械学習アルゴリズムを実装すること
- (3) 未知の症例の模型データの入力に対し、臨床経験を積んだ矯正歯科医、口腔外科医と同様の感性で類似した症例を検索、提示する診断支援データベースシステムを開発し、臨床応用すること

3. 研究の方法

一般的に、機械学習によるパターン認識においては、図3のような手順が必要となる。これらのうち、各症例の歯列模型から本質的に必要な特徴のみを抽出する特徴抽出処理が本研究に限らずパターン認識システムの主要部分となる。



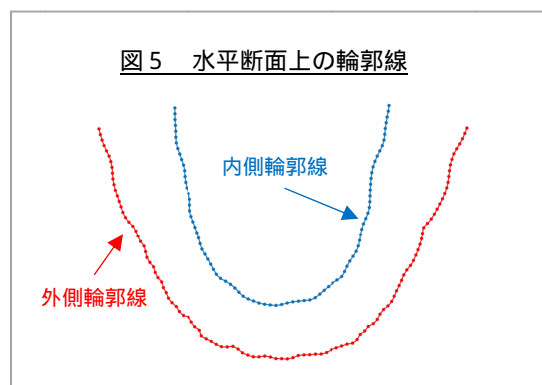
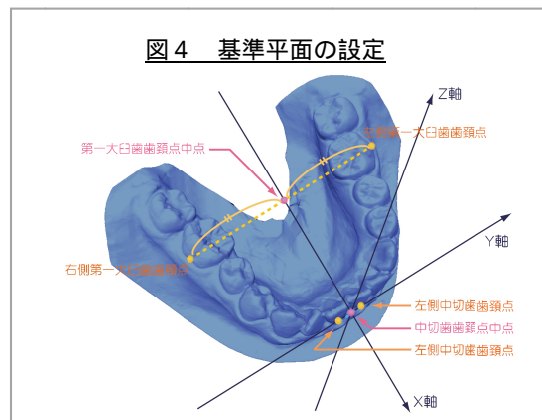
本研究においても様々な特徴パラメータの算出や類似度算出の組み合わせ等の試行錯誤を繰り返しているが、現時点では後述するアルゴリズムにより特徴パラメータを算出している。

(1) 資料

新潟大学医歯学総合病院において顎変形症と診断され、外科的矯正治療を行った症例の動的治療開始前の模型を用いた。

(2) 歯列模型の特徴パラメータの算出

両側第1大臼歯歯頸点の2点と両側中切歯歯頸点中点の計3点で決定される平面を基準平面に設定し(図4)、上下顎ともに基準平面に平行に1mm間隔の水平断を算出した。この輪郭線の内側・外側を開曲線図形とみなし(図5)、各断面におけるフーリエ記述子(P型)を算出した。



データベースに登録するデータ量と検索時の計算コストを減少させるため、算出したパラメータのうち以下のものを各症例の代表値として選択し、データベースに登録した。

上顎歯列に関する特徴量

上顎基準平面より4mm 歯冠側の外側輪郭線のフーリエ記述子

上顎基準平面上の外側輪郭線のフーリエ記述子

上顎基準平面より 4mm 歯根側の内側輪郭線のフーリエ記述子

輪郭線、 α 、 β のフーリエ記述子の類似度

基準平面決定時の歯頸点座標の位置関係

下顎歯列に関する特徴量

下顎基準平面より 4mm 歯冠側の外側輪郭線のフーリエ記述子

下顎基準平面上の外側輪郭線のフーリエ記述子

下顎基準平面より 4mm 歯根側の内側輪郭線のフーリエ記述子

輪郭線、 α 、 β の類似度

基準平面決定時の歯頸点座標の位置関係

上下顎関係に関する特徴量

咬頭嵌合位における上下基準平面の空間的關係（位置・角度）

咬頭嵌合位における α 、 β のフーリエ記述子の類似度

(3) 認識（検索）アルゴリズムについて

予備研究を行い、各症例のフーリエ記述子の次数は 15 次に設定した。

類似症例の検索においては、前述のデータを各要素とした特徴ベクトルを症例ごとに作成し、ピアソンの相関係数（図 6）を算出して症例相互の類似度として算出した。すべての特徴パラメータの類似度と、上顎歯列、下顎歯列、上下顎関係のカテゴリー別の平均類似度を算出し、最も類似した症例を出力するようにした。

図 6 相関係数

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b})^2}}$$

a_i : 検索症例の特徴ベクトル
 \bar{a} : 検索症例の特徴ベクトルの平均
 b_i : 登録済症例の特徴ベクトル
 \bar{b} : 登録済症例の特徴ベクトルの平均

(4) システムの評価

データベースに登録された症例と全く同じ症例について日を変えて入力し、検索精度について検討した。また、データベースに格納された症例については、ランダムに選択して類似症例の検索を行い、提示された症例について矯正医の感覚的な類似度を評価した。

4. 研究成果

(1) 検索精度について

同一症例の検索においては、理論的には相関係数が 1.00 になるはずであるが、検討した 5 症例の平均類似度は、0.982 (S.D. 0.015) であった。この誤差は主に指標点設定時の誤差と考えられ、入力誤差の影響を最も受けやすい歯冠部データの近似度が一番低かったが、おおむね良好な類似度が算出された。

(2) 類似症例の検索結果について

データベース内の症例の検索結果を図 7 ~ 10 に示す。図 7 を検索元症例として使用した場合、図 8 の症例が結果として提示された（平均類似度 0.850）。また、図 9 を検索元症例として使用した場合図 10 の症例が結果として提示された（平均類似度 0.845）。

図 7 検索元症例 1

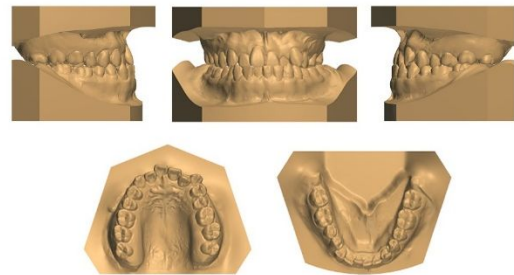


図 8 検索結果 1

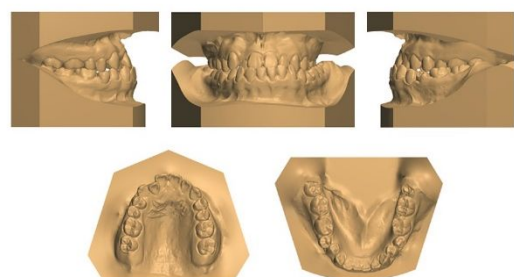


図 9 検索元症例 2

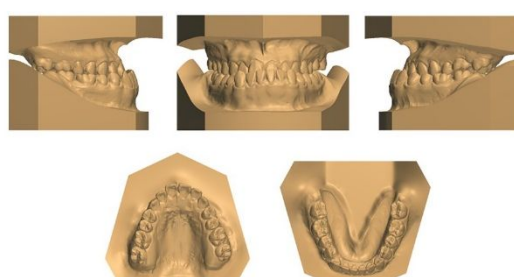
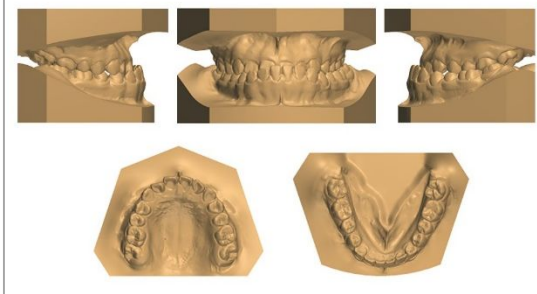


図 10 検索結果 2



機械学習を応用した場合、どの特徴パラメータが類似度に寄与しているか調査することが比較的容易である反面、近年注目されている深層学習とは異なり、より人間的で臨床的な判別を行うためには、特徴パラメータの抽出から検索アルゴリズムに至るまで、さらなる細部のチューニングが必要と考えられる。

しかしながら、本研究で開発したシステムのように、歯列模型のみから類似症例が検索可能なデータベースシステムの報告は認められないことから、本研究で開発したシステムが将来的に診断支援用データベースとして活用可能となりうることを示された。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計4件)

Ochi-Yamazoe K., Yamazoe, K., Nishino K., Morita S. and Saito, I.: A new system for analyzing the Coordination of Dentoalveolar Morphologies. The 92nd Congress of European Orthodontic Society, Sweden, 11th-16th June 2016.

越知 佳奈子, 山添 清文, 小原 彰浩, 焼田 裕里, 森田 修一, 齋藤 功: 上下顎歯列 - 歯槽部のコーディネーション評価システムの開発, 第74回日本矯正歯科学会大会, 2015年11月19日, 福岡国際会議場, 福岡市.

小原 彰浩, 西野 和臣, 坂上 馨, 越知 佳奈子, 寺田 員人, 齋藤 功: モーションキャプチャーを用いた表情筋動態解析 第1報正確なマーカー貼付が可能な検査システムの開発 -, 第74回日本矯正歯科学会大会, 2015年11月19日, 福岡国際会議場, 福岡市.

Nishino K., Kohara A., Yakita Y., Ochi K., Hayashi T., Takagi R., Kobayashi T., Terada K. and Saito I.: An analysis of facial changes following mandibular setback surgery by three-dimensional integration model of CBCT and dental cast data, 8th International Orthodontic Congress, 27 Sep, 2015, London, UK.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

越知 佳奈子 (OCHI-YAMAZOE, Kanako)
新潟大学・医歯学系・研究員
研究者番号: 60397122

(2) 研究分担者

齋藤 功 (SAITO, Isao)
新潟大学・医歯学系・教授
研究者番号: 90205633

齋藤 力 (SAITO, Chikara)
東京歯科大学・歯学部・客員教授
研究者番号: 80103357

(3) 研究協力者

山添 清文 (YAMAZOE, Kiyofumi)
山添歯科医院 山添矯正歯科・歯科医師