

2004-01075A

厚生労働科学研究 研究費補助金

医療技術評価総合研究事業

シミュレーションシステムを用いた
歯科技工士資格試験の客観的評価方法に関する研究

平成16年度 総括研究報告書

主任研究者 末瀬一彦

大阪歯科大学歯科技工士専門学校

平成17(2005)年3月

目次

I. 総括研究報告

シミュレーションシステムを用いた歯科技工士資格試験の
客観的評価方法に関する研究

末瀬一彦

1 - 61

研究報告書

シミュレーションシステムを用いた歯科技工士資格試験の客観的評価方法に関する研究

主任研究者 末瀬一彦 大阪歯科大学歯科技工士専門学校校長

【研究概要】

I. 研究目的

歯科技工士の資質を向上させる上で、全国統一された資格試験を実施し、技能を図るべく実地試験においては適正な技術評価が行われる試験内容と評価基準が必要不可欠である。実地試験の評価方法のより効率的、公平的、客観的手法を目指して、シミュレーションシステムを応用した三次元形状計測データと平成15年度の厚生労働科学研究において検討した評価者による採点評価方法との一致度について検討した。

II. 研究方法

前年度に行った「歯科技工士資格試験における技術評価等に関する研究」の120名の実地試験作品から全部鋳造冠蟻形成と人工歯排列の2課題について、各々の評価ポイントを定めた上で、非接触三次元形状計測(ユニスン社製:VMS-250R-H, VMS-100F)を行い、新たに製作したコントロールモデルとのデータ比較を行った。前年度の評価者による評価結果から概略的評価と細分化評価の相関が高かった評価者群を選抜し、先の評価ポイントを考慮して評価点数の平均値を求めた。この評価結果と先の三次元計測された座標データから計算される評価結果の相関について、線形モデル及びニューラルネットワークモデルによる多変量解析を行い、評価者による採点評価結果と三次元形状計測によるデータとの一致度について検討した。

III. 結果と考察

三次元計測結果において学生モデルとコントロールモデルのデータを比較すると、全部鋳造冠蟻形成では中央窩と近遠心コンタクトの位置はほぼそろっていたが、遠心小窩の位置はばらつきが大きく、学生モデルでは最大豊隆の位置が下方にあった。人工歯排列において歯列弓形態の曲率は上下顎ともに近似していたが、中切歯の位置のばらつきが大きかった。多変量解析の結果、全部鋳造冠蟻形成において概略的評価結果に対して線形モデルの予測値は平均誤差9.5、ニューラルネットワークを用いた非線形モデルの予測値は平均誤差0.8、また細分化評価においては同様に線形モデルでは平均誤差7.8に対してニューラルネットワークでは0.1であった。人工歯排列においては概略的評価結果に対して線形モデルの予測値は平均誤差11.4、ニューラルネットワークでは1.9、細分化評価では線形モデルの平均誤差7.8に対してニューラルネットワークでは0.5であった。評価項目の相関係数も小さいことから、実地試験における課題の解析評価は、線形モデルよりも非線形モデルのニューラルネットワークで評価することの有用性が示唆された。

IV. 結論

歯科技工士実地試験の評価を行うにあたって、評価者によって点数評価された尺度と三次元計測によって得られた計測データの尺度を用いて解析を行ったところ、線形モデルの解析では誤差が大きく、尺度の関係を線形で表現するのは困難であり、ニューラルネットワークのような学習型の非線形モデルによる多変量解析が極めて一致度が高く、適していることが判明した。

分担研究者

田上順次 東京医科歯科大学大学院
杉上圭三 大阪歯科大学歯科技工士専門学校
尾崎順男 日本歯科大学附属歯科専門学校
福間正泰 大阪歯科学院専門学校

A. 研究目的

近年、高度化及び多様化する歯科医療技術にあつて、社会や時代のニーズに応じた質の高い歯科技工士を確保し、適切な歯科技工物を安定的に供給することを目的に歯科技工士教育を行わなければならない。2年ないしは3年の歯科技工士教育を修了したものは歯科技工士法第11条に基づいて歯科技工士として必要な知識及び技能を判定する資格試験を受験し、合格しなければ業として歯科技工に携わることはできない。日本国内のいかなる場所、いかなる時においても良質な歯科医療サービスを国民に安定的、効率的に提供するためには精度の高い資格試験を実施しなければならない。現在、歯科技工士資格試験は厚生労働省の委託のもとに各都道府県が独自に実施しているために試験の実施時期や出題内容、出題形式などが大きく異なっている。医療関係職種において資格試験が全国統一されていない数少ない職種であるが、材料技術の急速な革新や高齢化社会を迎えてより一層充実した質が求められ、チーム医療、専門性が問われる歯科医療にあつて、歯科技工士の役割は極めて重要である。歯科技工士の資質を向上させるうえで、全国統一された試験を実施し、実地試験においては適正な技術評価が行われる試験内容と評価基準が必要不可欠である。

平成13年度及び平成14年度の厚生労働科学研究「今後の歯科技工士に対する養成方策等に関する総合的研究」（渡辺嘉一研究主任）のなかで、現在実施されている歯科技工士資格試験に関する検討を行い、学説試験及び実地試験の方法や内容についてその方向性を見出し、さらに平成15年度の厚生労働科学研究「歯科技工士資格試験における技術評価等に関する研究」（末瀬一彦研究主任）では模擬的実地試験の結果から、その評価基準や評価方法のあり方について検討を行ってきた。

技術評価を行うための実地試験においては、個人の技能を客観的に評価することの困難性が指摘されているが、近年の情報処理管理システムを駆使することによって、信頼性、公平性、効率性の高い定量的な評価システムの構築が可能であると考えられる。さらに、非破壊的な三次元形状計測データから得られたシミュレーションシステムを用いることによって、歯科技工技術教育においても学生自身が製作した歯科技工物と適正な形態とのギャップをビジュアルに、定量的に認識することが可能で、技術習得の上でも極めて意義深いと考えられる。

そこで本研究においては、平成15年度に行つた「歯科技工士資格試験における技術評価等に関する研究」で用いた受験者120名の模擬試験用作品から全部鑄造冠蟬形成及び前歯部人工歯排列の2課題を抽出し、それぞれの評価ポイントを定めた上で、非接触三次元形状測定を行い、新たに製作したコントロールサンプルとのデータ比較を行つた。次に平成15年度厚生労働科学研究における評価結果から概略的評価と細

分化評価の相関が高かった評価者群を選抜し、先の評価ポイントを考慮して受験生の評価点数の平均値を求めた。この評価結果と先の三次元計測された評価ポイントの座標データから計算される評価結果の相関について、線形モデルによる多変量解析及びニューラルネットワークモデルによる多変量解析を行い、評価者による採点結果と形状計測によるデータとの一致度について検討した。

B. 研究方法

1. コントロールモデルの製作

平成15年度厚生労働科学研究「歯科技工士資格試験における技術評価等に関する研究」（以下、平成15年度研究と略す）で実施した120名の受験生モデルと比較検討するために、今回新たに全国歯科技工士教育協議会の協力を得て、4校の教務主任クラスの教員によって前回の研究における試験課題1の全部鑄造冠蟬形成及び試験課題2の人工歯（前歯部）排列についてコントロールモデルを製作した。

2. 試験課題の三次元データ化

1) 三次元形状計測装置

平成15年度研究で実施した模擬的資格試験の模型を用いて、試験課題1の全部鑄造冠蟬形成及び試験課題2の人工歯（前歯部）排列について非接触三次元形状計測装置（ユニスン社製：VMS-250R-H, VMS-100F）を用いて三次元形状計測を行った。

全部鑄造冠蟬形成においては、精度35 μ mの非接触三次元形状計測装置「VMS-250R-H」

を用い、人工歯排列模型は、精度50 μ mの非接触三次元形状計測装置「VMS-100F」を用いた。

計測装置の概略構造を図1～4に示す。（計測装置は「VMS-250R-H」及び「VMS-100F」2機種共に基本的に同一構造であるため、図にはVMS-100Fの構造を示す）

非接触三次元形状計測装置は、半導体レーザー（波長：670nm, 出力：3mW）のポイント光をポリゴンミラーで直線化して計測対象物に投射し、左右に視差を付けて取り付けられたCCDカメラで受光する光切断法による三角測量の計測原理を利用している。レーザスリット光を計測するため、一度に256点の取り込みが可能であり、高速性を有している。また、左右2台のCCDカメラにより片側のカメラでは死角となるエリアを補助し、回転テーブルによって計測対象物の全周計測が可能となっている。

2) 三次元計測のための前処理

今回、計測した全部鑄造冠蟬形成用ワックス、人工歯（硬質レジン歯）及び歯肉形成用パラフィンワックスの材質はレーザー光を用いる非接触三次元形状計測ではレーザー光が透過するため前処理を必要とした。

レーザー光を用いる計測装置では、計測対象物表面でのレーザスリット光をCCDカメラで受光し、座標を得るため、レーザー光が計測対象の表面で透過や鏡面反射する試料では、CCDカメラで正確なレーザスリット光として捉えることができず、正確な座標が得られないため、計測対象の表面に形状に影響が及ぼさない程度に、薄くワセリンを塗布し、その上に白色パウダーを塗布した。

3) 計測方法及び計測データの表示

①全部鑄造冠蟻形成の計測方法

- ・印象材を用いた支台部取り付け固定部に各歯を挿入し、近遠心方向で、周方向3分割で計測を行う。(図5)
- ・取り付け固定部を90度回転して頬舌方向で、周方向3分割で計測を行う。(図6)
- ・各周方向3分割計測データの合成を行う。
- ・近遠心と頬舌方向の合成データから全体形状の合成を行う。(図7)
- ・各試料取り付け固定時の誤差を避けるため、歯根部にあたる石膏部のデータを用いて、学生モデルデータをコントロールモデルデータの位置にフィッティングさせ、座標変換を行い解析用形状データとした。

②人工歯排列模型の計測方法

コントロールモデルの計測方法 (図8)

- ・下顎模型を背面のビスで固定し、周方向3分割計測を行う。
- ・上下顎咬合関係再現治具を用いて上顎模型の咬合位置を確認して固定する。
- ・下顎模型の治具を下方にスライドさせ、手前に取り外す。
- ・上顎模型は咬合位置の状態にあり、この状態で、周方向3分割にて計測を行う。
- ・各周方向3分割計測データの合成を行う。
- ・上下顎の計測データを表示させると咬合状態が再現できる。(図9)

学生モデルの計測方法

- ・学生モデルは上下顎共に背面のビスで固定し、周方向3分割計測を行う。
- ・各周方向3分割計測データの合成を行う。

- ・模型枠と石膏モデルの誤差を避けるため、石膏部の同一形状データを用いて、学生データをコントロールモデルデータ位置にフィッティングさせ、座標変換を行い解析用形状データとした。

3. 平成15年度研究データからの学生点数の作成

計測装置で得られる三次元形状測定データを基に評価点数を定めるため、平成15年度の研究における評価データから基準となる120名の学生点数の再計算を行った。

1) 評価者の選抜

評価者は、平成15年度研究の評価者群において試験課題1と試験課題2の概略的評価値と細分化評価値の相関が最も高かった試験評価者区分第2群：歯科技工士専門学校教員(教職歴15年以上)を選抜した。

概略的評価での評価者第2群の人数は9名、細分化評価での評価者第2群の人数は7名である。また、評価者群間における相関を求めた。

2) 学生点数の作成

学生点数は、評価者第2群の概略的評価データの平均値を用いた。

計測データによる解析では、細分化評価の解析項目で対応しない項目があるため、採点表の項目を対応させた学生点数を作成した。

細分化評価の中から選択した評価項目は以下のとおりである。

①全部鑄造冠蟻形成

- ・概形態
- ・咬合状態

・接触点

評価合計点数が満点で60点となるので、満点を100点に換算を行った。

②人工歯排列

- ・歯列弓形態
- ・歯軸傾斜
- ・垂直，水平被蓋関係

評価合計点数が満点で60点となるので、満点を100点に換算を行った。

4. 評価採点基準用コントロールモデルの製作

1) 全部鑄造冠蟻形成コントロールモデルの製作

全部鑄造冠蟻形成のコントロールモデルは、全国歯科技工士教育協議会加盟の4施設（東京医科歯科大学歯学部附属歯科技工士学校，日本歯科大学附属歯科専門学校歯科技工士学科，大阪歯科大学歯科技工士専門学校，大阪歯科学院専門学校）で製作され，これらを基に得られた三次元形状から平均的モデルを製作した。

4校で製作されたコントロールモデルの三次元形状を図10に示す。

2) 全部鑄造冠蟻形成コントロールモデルの比較

4校で製作されたコントロールモデルの重ね合わせを行い（図11），断面形状の比較（図12）と各校で製作されたコントロールモデルの形状比較（図13）を行った。

3) 全部鑄造冠蟻形成コントロール平均モデルの製作

4施設で製作されたコントロールモデルの三次元形状データから，全部鑄造冠蟻形成コント

ロール平均モデルを製作した。（図14）

4) 人工歯排列コントロールモデルの製作

人工歯排列を採点評価するためのコントロールモデルは，模擬的資格試験に使用したオリジナル模型において前歯部が排列された原型石膏模型（ニッシン社製）をコントロールモデルとして三次元計測を行い，排列形状（図15）と断面形状（図16）を確認し，コントロール形状データとした。

5. 解析項目の設定

1) 全部鑄造冠蟻形成の解析評価位置と評価項目

三次元計測された全部鑄造冠蟻形成の形状は，約20,000点の三次元点列座標データを得ることができ，各点に対する部位をコンピュータが自動認識することはできない。

形状全体の比較であれば，計測された点とコントロールデータとの絶対値の差で比較する方法も可能であるが，平成15年度に実施された概略的評価結果とマッチングさせるために，下顎第一大臼歯を特徴づける任意の部位を設定して，コントロールとの差で比較を行った。

解析評価は，全部鑄造冠蟻形成された歯の特徴的に評価される代表的な部位を抽出し，三次元計測されたコントロールモデルと学生が製作したモデルの三次元座標（X,Y,Z）または計算される距離を用いて比較を行った。

①解析評価位置（図17）

各解析評価位置は，計測データから特徴点の部位を指示し，その三次元座標を解析基本データとした。

()内は評価位置の部位ラベルを示す。

【咬頭の位置】

頬側近心咬頭 (1) 頬側遠心咬頭 (2)

舌側近心咬頭 (3) 舌側遠心咬頭 (4)

【窩の位置】

近心小窩 (5) 中央窩 (6)

遠心窩 (7) 遠心小窩 (8)

【辺縁隆線の位置】

近心辺縁隆線 (9) 遠心辺縁隆線 (10)

【裂溝の位置】

頬側溝 (11) 舌側溝 (12)

【最大豊隆の位置】

頬側最大豊隆 (13) 舌側最大豊隆 (14)

【コンタクトの位置】

近心コンタクト (15) 遠心コンタクト (16)

【咬合の位置】

左側第一大臼歯上顎頬側近心咬頭 (17)

下顎頬側溝 (18:一定)

※ 計測データは、上下顎の咬合を確認するため、人工歯排列模型で計測した上記の位置座標を用いた。

②評価項目

蝓形成された歯の評価項目は、以下のとおり設定を行った。

【位置評価】

コントロールモデルにおける評価位置との三次元距離の絶対値で比較

- ・ 頬側近心咬頭 (X,Y,Z)
- ・ 頬側遠心咬頭 (X,Y,Z)
- ・ 舌側近心咬頭 (X,Y,Z)
- ・ 舌側遠心咬頭 (X,Y,Z)
- ・ 近心小窩 (X,Y,Z)

・ 中央窩 (X,Y,Z)

・ 遠心窩 (X,Y,Z)

・ 遠心小窩 (X,Y,Z)

・ 近心辺縁隆線 (X,Y,Z)

・ 遠心辺縁隆線 (X,Y,Z)

・ 頬側溝 (X,Y,Z)

・ 舌側溝 (X,Y,Z)

【距離評価】

・ 頬舌側最大豊隆位置の距離 (Y)

・ 近遠心コンタクト点の距離 (X)

・ 上顎頬側近心咬頭と下顎頬側溝の距離 (X,Y,Z)

2) 人工歯排列の解析評価位置と評価項目

人工歯排列の評価は、全部鑄造冠蝓形成の場合のように自由に形状を形成するのとは異なり、与えられた規格の人工歯を石膏模型の咬合堤に排列することであり、排列形状全体の三次元点列データで比較するよりも、各歯の特定点の位置を評価することで、十分に評価することが可能である。

平成15年度研究において実施された概略的評価結果とマッチングさせるために、特定される部位を設定してコントロールモデルとの差で比較を行った。

解析評価は、排列された上下顎6前歯の特徴的に評価される代表的な部位を抽出し、三次元計測されたコントロールモデルと学生が製作した課題の三次元座標 (X,Y,Z) または計算される二次式との相関、曲率、角度、距離を用いて比較を行った。

①解析評価位置 (図18)

各解析評価位置は、計測データから特定点

の部位を指示し、その三次元座標を解析基本データとした。

() 内は評価位置の部位ラベルを示す

【切端の位置】

上顎左側中切歯切端 (4)

側切歯切端 (3)

犬歯切端 (2)

右側中切歯切端 (7)

側切歯切端 (8)

犬歯切端 (9)

下顎左側中切歯切端 (4)

側切歯切端 (3)

犬歯切端 (2)

右側中切歯切端 (7)

側切歯切端 (8)

犬歯切端 (9)

【遠心のコンタクト位置】

上顎左側犬歯遠心コンタクト (1)

右側犬歯遠心コンタクト (10)

下顎左側犬歯遠心コンタクト (1)

右側犬歯遠心コンタクト (10)

【歯頸部下点の位置】

上顎左側中切歯唇側歯頸部下点 (5)

舌側歯頸部下点 (6)

下顎左側中切歯唇側歯頸部下点 (5)

舌側歯頸部下点 (6)

②評価項目

排列された評価項目は、以下のとおり設定を行った。

【アーチフォーム評価】

上顎、下顎と個別に評価

・6前歯の切端部 (2, 3, 4, 7, 8, 9)

の6点を通る二次曲線の曲率

・二次曲線に対する相関

【アーチの位置】

上顎、下顎と個別に評価

・上記アーチフォームの二次曲線で得られた先端位置座標を用いて先端位置を比較した。

・左側中切歯切端 (4) のZ座標

【左側中切歯の傾き】

上顎、下顎と個別に評価

・左側中切歯の切端位置 (4) と点唇側歯頸部下点 (5) を結ぶ直線のXZ投影面の角度

【オーバーバイト】

・上下顎左側中切歯切端位置 (4) のY座標距離

【オーバージェット】

・上下顎左側中切歯切端位置 (4) のZ座標距離

【歯軸 (内角)】

・上下顎左側中切歯の切端位置 (4) と唇側歯頸部下点 (5) を結ぶ直線のYZ投影面の交差角度

※舌側にワックスの盛り過ぎが多いため、正確な歯軸を求めることが困難であったので、上下顎の唇側切端位置と歯頸部下点の2直線の内角を簡易的に歯軸とし、コントロールモデルと比較した。

6. 解析手法の選択

本研究の目的は、平成15年度研究で得られた評価結果と三次元計測された指定位置の座標データから計算される評価結果の相関に対する検討である。

120名の学生が製作したモデルの中で明らかに未完成の作品については、今回の解析対象から除外した。各評価項目のコントロールモデルと学生モデルのデータを入力変数（説明変数）、評価者第2群による評価平均点数を出力変数（目的変数）として解析を行った。

1) 線形モデルによる多変量解析

説明変数から目的変数を予測するモデルを構築するため、統計的データ解析手法で、最も基本的で広く用いられている最小二乗法を用いて線形モデルによる多変量解析を行った。

2) ニューラルネットワークモデル（非線形モデル）による多変量解析

さまざまな情報とそれに対応する回答とを繰り返し与えることによって、入力と出力との間にネットワークを構築し、結果の予測に用いられているニューラルネットワークを解析手法として用いる。すなわち、パターン認識を幾何学的観点から解釈することで、学生モデルの採点評価において、評価項目を入力層として与え、繰り返し行うことによって学習させ（重み付を求め）、評価者の平均点を出力層として求めるもので、学習型の非線形解析である。

今回、評価採点基準コントロールモデルと学生モデルの計測から評価項目基準における差分データと、平成15年度に行った研究から分析した評価者による採点評価値を応用して、指定された評価者採点値に一致するか、ニューラルネットワークによる多変量解析を試みた。

全部鋳造冠蝨形成評価において製作したニューラルネットワーク構成

・入力層 入力（ユニット）数：15

（説明変数の数：評価項目数）

・中間層 層数：1

ユニット数：15

・出力層 出力（ユニット）数：1

（指定された評価者の平均点）

・シグモイド関数として、ロジスティック関数を使用

・逐次学習法を使用

人工歯排列評価において製作したニューラルネットワーク構成

・入力層 入力（ユニット）数：13

（説明変数の数：評価項目数）

・中間層 層数：1

ユニット数：13

・出力層 出力（ユニット）数：1

（指定された評価者の平均点）

・シグモイド関数として、ロジスティック関数を使用

・逐次学習法を使用

C. 研究結果

1. 平成15年度研究データから学生点数の平均点作成について

平成15年度研究において、概略的評価値と細分化評価値の相関がもっとも高かった評価者第2群における各評価者間の相関について試験課題別にまとめたのが表1-4であるが、いずれも相関の認められる評価者が多いが、特に試験課題1においては細分化評価において、また試験課題2においては概略的評価においてかなり相関が高く、同じような評価値を示した評価者が多かった。

評価者第2群の概略的評価データから求めた試験課題1における学生平均点数は表5に、試験課題2における学生平均点数は表6に、細分化評価データから求めた試験課題1における学生平均点数は表7に、そして試験課題2における学生平均点数は表8に示した。評価合計点数を100点満点に換算してあるが、それぞれの評価法及び試験課題において、評価者が採点した平均点数は表5から72.9点 (SD: 12.8)、表6から68.5点 (SD: 13.8)、表7から77.2点 (SD: 16.9) そして表8から75.4点 (SD: 17.4) であった。

2. 評価採点基準用コントロールモデルについて

全部鋳造冠蝓形成においてA, B, C, Dの4施設で製作されたコントロールモデルを比較したところ (図10, 11, 12, 13)、大きな差異はなく、4施設での三次元形状データから平均モデル形状を製作して評価採点基準用コントロールモデルとした。全部鋳造冠蝓形成コントロール平均モデルを図14に示す。

人工歯排列コントロールモデルとしては原型石膏モデルを対象に、三次元形状計測を行い、評価採点基準用コントロールモデルとした。なお、原型モデルでは下顎前歯の咬合接触がないため、原型モデルの下顎を前方に0.5mm移動させて接触状態を確保し、オーバーバイト、オーバージェットを計測可能にした (図16)。

3. 全部鋳造冠蝓形成の解析結果

1) 計測データの比較

図17に示す解析評価位置における学生モデ

ルの計測データを表9に示す。また、各評価項目間の相関を表10に示す。

コントロールモデルデータと学生データの細分化評価線形モデルにおける点数別重ね合わせ表示を図19に示す。図19は、代表的にコントロールモデル (100点) と学生モデルの評価値79.8点、59.5点及び51.2点の学生モデルの重ね合わせを行っている。下段のカラーマップ表示においてはグリーンから黄色、赤に進むにしたがってコントロールとの差 (絶対値表示) が大きくなることを示す。79.8点の学生モデルは比較的グリーンレベルが多く、コントロールとの差が少ないことを示すが、59.5点の学生モデルでは、中段のカラーマップから白シェーディングがコントロールの青シェーディングを被っているためコントロールモデルより大きく、51.2点の学生モデルでは逆にコントロールモデルよりも全体的に小さいことがわかる。

2) 多変量解析結果

①概略的評価の解析結果

概略的評価に対する解析結果を表11に示す。平成15年度研究の概略的評価に対する線形モデルの予測値は、平均誤差: 9.5, 相関係数: 0.423であった。これに対してニューラルネットワークを用いた非線形モデルの予測値は、平均誤差: 0.8で、かなり一致度が高かった。

②細分化評価の解析結果

細分化評価に対する解析結果を表12に示す。平成15年度の細分化評価に対する線形モデルの予測値は、平均誤差: 7.8, 相関係数: 0.481であった。これに対してニューラルネットワークを用いた非線形モデルの予測値は、

平均誤差：0.1で極めて一致度が高かった。

4. 人工歯排列の解析結果

1) 計測データの比較

図18に示す人工歯排列の解析評価位置における学生モデルの上下顎計測データを表13, 14に示す。

表15に示す人工歯排列の解析評価項目の算出方法による人工歯排列の解析用中間データを表16に示す。

コントロールモデルとの差を計算した解析用データを表17に示す。また、各評価項目間の相関を表18に示す。

コントロールモデルデータと学生データの細分化評価線形モデルにおける点数別オーバーラップ表示を図20に示す。また、点数別上下顎咬合状態の表示を図21に示す。代表的にコントロールモデル（100点）と学生モデルの評価値79.8点、60.7点及び54.8点の学生モデルの重ね合わせを行っている。人工歯排列において3つの学生モデル間に大きな差は認められない。

2) 多変量解析結果

①概略的評価の解析結果

概略的評価に対する解析結果を表19に示す。平成15年度の概略的評価に対する線形モデルの予測値は、平均誤差：11.4、相関係数：0.162であった。これに対してニューラルネットワークを用いた非線形モデルの予測値は、平均誤差：1.9で、線形モデルに比べかなり一致度が高かった。

②細分化評価の解析結果

細分化評価に対する解析結果を表20に示す。

平成15年度の細分化評価に対する線形モデルの予測値は、平均誤差：7.8、相関係数：0.285であった。これに対してニューラルネットワークを用いた非線形モデルの予測値は、平均誤差：0.5で線形モデルに比べ極めて一致度が高かった。

D. 考 察

1. 本研究実施の背景

資格試験における実地試験は重要な技能評価法として、国家資格の試験としてふさわしい客観的基準が担保されなければならない。平成15年度（昨年度）の厚生労働科学研究「歯科技工士資格試験における技術評価等に関する研究」においては、120名の学生が製作した4課題のモデルに対して、所属の異なる4群の評価者群からなる28名の評価者によって概略的評価及び細分化評価を行い、実地試験においては評価精度ならびに時間的要素から複数の評価者による概略的段階的評価法が望ましく、評価者は十分なトレーニングと評価項目に対する理解と評価レベルの確認が必要で、特に不合格者に対しては、複数の評価者による再評価の必要性を示唆した。総体的に概略的評価値と細分化評価値は相関していたが、評価者群によっては評価精度にばらつきがみられ、また各評価者群の概略的評価においても特定の評価項目に依存性が認められた。

一方、歯学教育においても実習作品の客観的評価法については一定の根拠がなく、複数の教員による目視的、主観的評価が行われているのが現状である。最近では画像解析装置を用いた基礎実習課題の客観的評価法も散見されるよう

になり、歯型彫刻の作品評価や窩洞形成の技能評価にも応用されている。このような評価システムの特徴としては、①三次元情報が得られること、②視覚的に認識でき、教育的効果が高いこと、③評価基準のカスタマイズが可能であること、④自習システムとして最適であること、⑤データの保存が可能であることなどが挙げられる。画像解析法は客観的な手法ではあるが、学生が製作した作品（モデル）を画像処理し、コントロールモデルとの形状的な差だけでは評価にならない。

西山らは歯型彫刻実習において、画像解析による客観的5段階評価と指導員の目視による主観的5段階評価との相関性について、スピアマンの順位相関係数を用いて検定し、統計学的に有意な関係にあることを認めている。画像解析データと評価者による評価値との相関性を検討することは実地試験における学生モデルの試験課題に対する客観的評価をさらに高めることになる。このような画像解析による計測値を評価基準として用いるためには評価項目の設定が重要であり、これらは評価者による多くのサンプリング評価によって決定されていく。

そこで、平成16年度（今年度）の研究においては、さらに効率性、公平性を満たすべく客観性を担保するために、実地試験において学生が製作したモデルとコントロールモデルについて、シミュレーションシステムによる三次元計測の評価データと評価者による採点評価値との相関性について検討した。三次元計測にあたっては、昨年度実施した評価者による評価値データから概略的評価と細分化評価において相関性

の高い評価項目を捉えるとともに、新たに評価項目を設定し、評価者データとの相関性を検討する対象とした。

2. 三次元計測装置及び計測法について

モデルの計測にあたっては、従来の接触式三次元計測装置を用いず、非接触式三次元形状計測装置を使用した。一般的に接触式では精度の高いデータが得られるが、1点1点を手動または半自動で計測を行うために計測時間が非常に長くなり、また人工歯排列模型のような歯列の凹凸部分は計測が行い難い。

これに対して非接触式は、レーザ光とCCDカメラを用いた光切断法を利用した計測装置や光パターンを投影するパターン投影型の計測装置がある。パターン投影法では、計測対象が小さな場合、投射パターンの精度を上げることが難しい問題がある。また、全体の形状取得のために複数方向からの計測を行うため、データの合成を簡便に行うには計測装置にX軸、Y軸、R軸を装備していることも重要となる。光切断法では、受光するCCDカメラの選定で視野範囲と精度を簡単に向上させることが可能である。

今回使用した計測装置はレーザスポット光をポリゴンミラーにより直線化して投射しており、受光部のCCDカメラでは一度に256点の計測データを得ることで高速化されている。また、計測装置にはR軸及び咬合状態を維持できる取り付け治具が用意されているので、人工歯排列のように咬合状態を再現させる目的に適している。

通常、片顎毎に模型を計測すると上下顎咬合状態の位置が分からないため、マーカを模型に

付与して計測を行い、咬合状態で再度マーカ付き模型を計測するなどの工夫が必要となり、簡便に咬合状態が得られない。

現在、数校の歯科大学の実習における評価システムとして、本計測装置が使用されているが、実習評価で使用されている計測装置は、窩洞形成評価システムでは学生の切削形態をコントロールモデルと重ね合わせて輪郭と深さに分けて過不足表示を行い、点数化することができる。支台歯形成評価システムでは、同様にコントロールモデルとの重ね合わせ表示まで可能であるが、点数化は評価項目の関係で行われていない。今回、全部鑄造冠蟻形成の咬合面だけの評価であれば、窩洞形成評価システムが利用できるが、豊隆や接触点などが計測できないために使用しなかった。また、支台歯形成評価システムでは、断面の過不足評価となり、咬頭の位置という観点から使用しなかった。両システムは実習現場において、学生の形成とコントロールが重ね合わせ表示できるため、学生が視覚的に理解しやすいことでの効果が大きく、評価項目がうまく設定できれば、評価システムとして歯科技工の形成評価にも応用が可能である。

本研究においては、昨年度の評価者による採点評価値とシミュレーションシステムを用いた三次元計測データによる評価値の相関性について検討することを目的としたので、学生の全部鑄造冠蟻形成及び人工歯排列の特徴点を利用するため、別機種の非接触三次元形状計測装置を使用した。

3. 三次元計測データについて

学生モデルとの比較を行うために製作した評価採点基準コントロールモデルは、全国歯科技工士教育協議会の協力を得て、4校の歯科技工士専門学校のいずれも教育歴20年以上のベテラン教員によって製作されたため、形状的に4校間でほとんど差は認められなかった。

1) 全部鑄造冠蟻形成

全部鑄造冠蟻形成の各解析位置における学生モデルと評価採点用基準コントロールモデルとの比較において、全体的に中央窩と近遠心コンタクトは隣在歯があるため、ばらつきは少なかった。多くの学生モデルでは遠心窩は形成されていたが、遠心小窩が形成できていないのが顕著であった。したがって咬頭からの隆線を形成するスペースがなく、舌側遠心咬頭から遠心小窩に向けて平面的な形成になっていた。近心側は近心小窩だけなので、形成はほほうまき行われていた。また、両隣在歯があるため、コンタクトの位置は決定されていたが、頬舌側に出っ張る四辺形的な形状が多くみられた。これは、ワックスアップ後に模型に入れる際にコンタクトポイントが接触するため、コンタクト部分だけを削除したように思われる。最大豊隆の位置が全体的に低い位置にあり、また舌側溝の部分が特徴的になるためか溝の長さや切り込み深さがばらついていた。

今回の評価項目には設定していないが、総体的に学生モデルにおいて頬舌面の表面仕上げが滑らかでない作品が多く、計測データからシェーディング（面の表示）を行うと滑らかな作品と表面の粗い作品はかなりの差で視認できた。

2) 人工歯排列

人工歯排列における歯列弓形態（アーチフォーム）の曲率は、上下顎共に非常に近似していたが、中切歯の位置に対しては、ばらつきが大きかった。全体的に下顎犬歯人工歯と下顎第一小臼歯石膏模型との間に隙間ができる傾向がみられたが、石膏模型の形状と指定された人工歯の大きさの不調和によるものと考えられる。

人工歯排列の場合、蠟堤が事前に準備、提供されるため、排列手順において下顎中切歯の位置を間違えなければ、左右側両第一小臼歯間に排列でき、ほぼ同一なアーチフォームになると考える。また、今回の評価項目には含まなかった「歯肉形成」は唇側では審美的な要素が大きいためか、人工歯解剖学的歯頸線までクリアに形成できていたが、舌側では人工歯の舌面中央部あたりまでワックスが付着している作品や歯頸線との間にギャップがついてワックスが残っている作品があった。このような人工歯排列はうまくできていても歯肉形成が不完全な作品については、今回の評価項目では、歯肉形成の評価が不可能で、昨年度に行った評価者による概略的評価では未完成との判断から採点評価が低かったものの、計測データによる評価結果では高い点数に評価される場合があった。

オーバーバイトとオーバージェットは模型がプラスチック製の簡易的な蝶番を有しているため学生の操作時に多少のギャップがあるように思えた。特に、模型枠と石膏模型のズレが発生していたので、上下顎石膏模型の位置関係が咬頭嵌合位を正確に確保できる状態であればよいが、誤差が大きいと模型自体にも精度を求める

ことが必要となる。

解析の結果からも、人工歯排列ではほとんどの学生モデルにおいてうまく排列できているようで、結果的に評価の差が現れるのは歯肉形成まで完全にできているかどうかを対象になると思われる。しかし、舌側の歯肉形成は形態的にも大きくばらつき、形状的に定量化は困難であると考えられる。

4. 評価項目の設定

平成15年度に実施された評価結果では概略的評価と細分化評価の相関が高く、概略的評価で評価は可能であることを示唆した。昨年度の概略的評価で得られた学生モデル評価について評価者第2群の平均点を用いることにしたが、評価者は概略的評価であっても細分化評価の評価項目及びその着眼点で評価を行っていると考えられるため、実際の計測データから得られる評価可能な部位について検討した。そのため、概略的評価だけでなく、全ての着眼点を含む評価点と計測データから得られる評価項目を合わせた細分化評価についても解析を行った。

1) 全部鑄造冠蠟形成

・概略的評価と細分化評価項目Aとの相関係数は0.90で極めて高く、計測可能な項目を使用して、評価が可能である。

・細分化評価項目Aと細分化評価項目Bとの相関係数は0.76で高く、評価項目Aができている人は、概ね評価項目Bもできている。

2) 人工歯排列

・概略的評価と細分化評価項目Aとの相関係数は0.80で高く、計測可能な評価項目を使用して、

評価が可能である。

さらに精度を上げるためには、歯頸部の評価なども加える必要がある。

- ・ 細分化評価項目Aと細分化評価項目Bとの相関係数は0.67で高く、評価項目Aができている人は、概ね評価項目Bもできている。

上記の相関関係をふまえて、計測可能な評価項目で概略的評価のモデル化が可能であるということが明らかになった。

設定を行った評価項目の選定詳細は以下のよう考えた。

平成15年度の試験課題1全部鑄造冠蟻形成での細分化評価の各項目における評価点は以下のとおりである。

【概形態】

- ① 咬合面形態（咬頭の位置・大きさ）
- ② 頬・舌面形態（咬頭の位置・豊隆）
- ③ 近・遠心形態（辺縁隆線の高さ）
- ④ 完成度

【咬合状態】

- ① オーバーバイト・オーバージェット
- ② 咬合接触（有無・位置）

【接触点】

- ① 無・位置・大きさ

【マージン辺縁部】

- ① 適合性（オーバー・アンダーマージン）
- ② 豊隆・移行状態
- ③ 完成度

【表面仕上げ】

- ① 仕上げ研磨（滑沢度）
- ② 完成度

計測データは三次元座標をもっているので、

評価点となる特定部位における学生モデルとコントロールモデルとの差を定量的に算出できる項目を選定した。また、コントロールモデルとの差を用いたのは、各評価項目について定量的な許容値範囲が明確に示せないことも考慮した。

全部鑄造冠蟻形成では、指定された部位の歯の形態と対合する歯との咬合関係の機能を主体に項目を選定した。特に、完成度、適合性（オーバー・アンダーマージン）、豊隆・移行状態、仕上げ研磨（滑沢度）等の項目は、その形態を特徴づける部位を特定することが困難であることと、完成度のように総合的に判断される曖昧な項目は今回の解析項目から除外した。また、マージン辺縁部の適合性（オーバー・アンダーマージン）は、製作時に重要な項目とされたが、ワックスのマージン部の境界を計測データから算出することは困難であったため、今回は除外した。

平成15年度の試験課題2人工歯排列での細分化評価の各項目における評価点は以下のとおりである。

【歯列弓形態】

- ① 人工歯の部位・位置方向
- ② 歯列弓の概形態
- ③ 完成度

【歯軸傾斜】

- ① 歯種による近遠心・頬舌傾斜方向

【垂直・水平被蓋関係】

- ① 被蓋関係の大きさ

【歯頸線の位置】

- ① 高さ
- ② 連続性

【歯肉形成】

- ① 豊隆度
- ② 辺縁形態・位置
- ③ 仕上げ状態（研磨）
- ④ 完成度

人工歯排列においても全部鑄造冠蟬形成と同様に評価点となる特定部位における学生モデルとコントロールモデルとの差を定量的に算出できる項目を選定した。人工歯排列では、歯列弓の形態、歯軸傾斜及び垂直・水平被蓋関係（オーバーバイト・オーバージェット）の3項目を人工歯排列した結果の位置として、定量的に評価を行った。歯軸傾斜では、排列操作において下顎中切歯人工歯を最初に排列するため、その位置が隣在歯に影響すると考え、中切歯の近遠心的傾斜と垂直・水平被蓋に影響する頬舌的傾斜を評価項目として選定した。

評価者による採点評価においては、歯頸線及び歯肉形成のワックス表面仕上げの程度が評価対象に影響するが、今回の計測データにおいては人工歯との境界を算出することが困難であったため、今回は除外した。

平成15年度の研究データから概略的評価値と細分化評価値の相関が最も高かった評価者第2群、すなわち歯科技工士学校教員の採点評価における学生モデルの平均点数を再計算したところ、全部鑄造冠蟬形成および人工歯排列の概略的評価および細分化評価において、いずれも100点満点の68.5点から77.2点の間にあり、資格試験の評価としては妥当な成績評価であると考えられる。

5. 解析手法・ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークは人間の脳の構造をまねて作った情報処理の手法で、脳にある約140億個のニューロン（神経細胞）は、シナプスによって他のニューロンと結合してニューラルネットワーク（神経経路網）を構成している。

各ニューロンは他の多数のニューロンから信号を受け取り、それを結合して次のニューロンに信号を伝える。ニューロンは、入力信号の合計がある値（しきい値）を超えると出力信号を出す。このようなニューロンをモデル化したのが図22（ニューロンモデル）である。このモデルでは、入力値に重み（シナプス結合係数）をかけて総和をとり、S字状の非線形関数（シグモイド関数）を通して出力される。ニューロンモデルのしきい値関数は非線形処理を行っており、ニューラルネットワークではこの非線形性が重要な役割を果たす。一般の多変量解析と比べてニューラルネットワークの分類能力が高いこと、目的変数と説明変数の関数関係をあらかじめ仮定する必要がある重回帰分析に比べてニューラルネットワークでは任意の関数関係のモデル化が可能なことなどがニューラルネットワークの長所として挙げられる。これは、シグモイド関数の非線形性によるものである。

ニューラルネットワークには、階層型と相互結合型があるが、階層型ニューラルネットワークではニューロンモデルが層状に配置され、各層間は重みをもつネットワークを介して結合する（図22）。また、誤差逆伝搬法という強力な学習法があり、豊富な事例を学習させることができるので、問題解析に広く使用されている。

ニューラルネットワークによる情報処理は、繰り返し問題を与えていくうちに正しい答えができるように学習を行うため、従来のコンピュータ計算とは異なり柔軟性がある。基本的には、パターン変換・パターン認識、最適化問題への応用が可能であり、主観的評価結果とニューラルネットワークによる解析結果が得られれば、各評価項目の重みが適正に求められることが期待され、ニューラルネットワークによる解析処理が有用となる。

また、ニューラルネットワークの性能は入力変数の取り方によって大きく影響されるので、出力変数に影響を及ぼすような入力変数を選択する必要がある。最適な入力変数を決定するには、学習終了後に入力変数を再度変化させて出力値の変化、すなわち感度を調べ、不要な入力変数を調整することも必要である。さらに学習データに偏りがあると予測の機能が限られたものになるし、入力層のユニット数はパターン識別に必要な入力変数（説明変数）の数であるが、この数は識別能力と学習速度に影響する^{7, 8)}。

今回の研究においては、可及的に形状を再現するために三次元データにおける評価項目を多数集め、学生データに対する評価項目（説明変数）を試行錯誤的にトライアルしながら決定したが、今後さらに学生モデルの評価データを多量に学習させることによって評価精度は一層向上すると考えられる。

6. 解析結果

今回の解析結果では、全部鑄造冠蟻形成は概略的評価において線形モデルの予測値は平均誤

差：9.5に対してニューラルネットワークを用いた非線形モデルの予測値は、平均誤差：0.8で、細分化評価において線形モデルの予測値は平均誤差：7.8に対して、ニューラルネットワークを用いた非線形モデルの予測値は、平均誤差：0.1と極めて一致度の高い結果が得られた。また、解析項目間の相関において概略的評価と細分化評価の相関は0.91で極めて高い相関性がみられた。

人工歯排列では、概略的評価において線形モデルの予測値は平均誤差：11.4に対して、ニューラルネットワークを用いた非線形モデルの予測値は、平均誤差：1.9で、細分化評価において線形モデルの予測値は平均誤差：7.8に対して、ニューラルネットワークを用いた非線形モデルの予測値は、平均誤差：0.5と極めて一致度の高い解析結果が得られた。また、解析項目間の相関において概略的評価と細分化評価の相関は0.80で高い相関性がみられた。しかしながら、今回計測を行った細分化評価項目には、歯肉形成など目視で評価がしやすい項目が入っておらず、この項目を入れるとさらによい非線形モデルが得られると推測される。

線形モデルよりニューラルネットワークを使用した非線形モデルの平均誤差が極めて小さいのは、離散的な得点分布にフィットした階段状のモデルが、学習により作り出されていると推測される。

今回の解析にあたって、線形モデルの解析項目の相関が低いことから、解析評価結果は線形モデルよりも非線形モデルのニューラルネットワークで評価することが有効であることが示唆

された。また、各試験課題における計測項目間の相関が低いので、モデルを構成するための要素として独立しており、重複がないと推測される。

今回行ったシミュレーションによる三次元計測量に対する尺度と評価者が行う人間が判断した評価（点数）の尺度を用いて、線形モデルでの解析を試みたが、平均誤差が大きく、尺度の関係を線形的に表現するのは困難であることがわかった。特に、人工歯排列におけるアーチフォームのように予め非線形近似式（放物線）が判っている場合は良いが、評価（点数）の定性的な量が具体的な非線形近似式として明確に表せないモデルにおいては、ニューラルネットワークのような学習型の非線形モデルによる多変量解析が有用と考えられる。

また、ニューラルネットワークの学習効果により、出力層に合った重み付けが得られることが分かった。しかし、今回用いた出力層は平成15年度の評価者群におけるバラツキの少ない評価者第2群を採用していることを考慮すると評価者間で最小限の統一的な評価項目を設定する事が必要と思われる。

ニューラルネットワークでの精度を向上させるためには、次の項目を考慮する必要があると思われる。

- ① 学生のデータ数を増やして学習効果を高める。
- ② 今回使用しなかった評価項目を追加する。
- ③ 評価者の目視評価の採点結果を増やして、評価者間のバラツキを抑える。
- ④ 概略的評価や細分化評価の評価段階を増やして、採点が集中しないようにする。
- ⑤ 不合格とする評価項目を明確にする。

今後の展望として、ニューラルネットワークを用いることで、これまで主観的に評価していた項目について、得られた各項目の重みを検討することにより、より簡便な評価項目の設定が可能と思われる。また、今後の評価システム構築の展望として、ニューラルネットワークを用いた評価方法が有用であることにより、学生データを短時間に取り込み、各評価位置をコンピュータで自動認識させる非接触三次元形状計測技術の検討が必要となってきた。現状の計測装置及びソフトウェアでは、コントロールの位置に対して絶対値比較することは可能であるが、表面の形成状態のように部位を限定し難い項目に対する自動認識への対応が課題である。

また、評価システムとしての利便性及び価格、ソフトウェアのカスタマイズ性も使用にあたっては重要な検討課題である。

今回使用した、平成15年度に製作された全部铸造冠形成及び人工歯排列模型は、三次元計測データから解析評価を行うことを前提としていなかったため、模型の製作精度や使用材料に若干の問題があった。計測における課題としては、①人工歯排列模型が咬合状態で模型固定枠の背面（後面）と底面が直角にならず、また、模型底部にあたる上下面が平行ではないので、計測装置への固定がしづらい。②各モデル間で模型枠と石膏モデルとの間に最大2mm程度の位置ズレがあり、各モデルの位置を補正しなければならない。③使用されたワックスはレーザ計測時に透過するため、正確な計測のために白色パウダーの塗布が必要であった。④全部铸造冠形成の支台歯部分に捻転方向の誤差があった。

現在、レーザー光を用いる計測に適した全部鑄造冠蟻形成用ワックスや人工歯が既に開発されている。

以上のことから、客観的評価システムの構築のためには、歯科技工関係者、試験対象模型や材料提供者、計測装置メーカー及びソフトウェア技術者等のコラボレーションが必須事項となってきた。今後のシステム研究では、このような多方面の関係組織の構築を行うことで客観的評価システムが構築できることが示唆された。

E. 結論

歯科技工士資格試験における実地試験技術評価について、平成15年度（昨年度）に実施した評価者による採点評価を基盤にして評価項目を選定し、三次元計測装置を用いて学生が製作した試験課題モデル及びコントロールモデルの計測を行った。

今回行ったシミュレーションシステムによる三次元計測データと昨年度の評価者データから計算された評価結果の相関性について、線形モデル及びニューラルネットワークによる多変量解析を行い、評価者による採点評価結果と三次元計測によるデータとの一致度について検討した。

その結果、以下のような知見を得た。

1. シミュレーションシステムによる三次元計測結果において、学生モデルとコントロールモデルとの重ね合わせを行うことが可能で、定性的な評価が可能であった。
2. 試験課題1の全部鑄造冠蟻形成において、中央窩と近心及び遠心コンタクトの位置はほぼそろっていたが、遠心小窩の位置のばらつ

きが大きく、学生モデルではコントロールモデルに比べ最大豊隆の位置が下方にあった。

3. 試験課題2の人工歯排列において、歯列弓形態の曲率は上下顎ともに近似していたが、中切歯の位置のばらつきが大きかった。
4. 多変量解析の結果から、全部鑄造冠蟻形成の細分化評価結果において、線形モデル解析の平均誤差7.8に対してニューラルネットワークによる非線形解析では平均誤差0.1であった。また、人工歯排列においては、同様に線形モデル解析の7.8に対して、ニューラルネットワークによる非線形解析では平均誤差0.5であった。

以上の結果から、実地試験における試験課題の評価において、三次元計測データと評価者による採点評価との一致度について解析したところ、線形モデル解析では誤差が大きく、非線形解析であるニューラルネットワークでの解析結果の一致度が極めて高いことから、非線形解析のニューラルネットワークで評価することの有用性が示唆された。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の出願・登録状況

なし