

—原著—

非接触型顔面三次元表面形状計測装置の計測特性に関する検討

中川公貴, 寺田員人*, 稲見佳大, Gramaticescu Carmen-Elena, 森田修一, 花田晃治

新潟大学大学院医歯学総合研究科咬合制御学分野 (主任: 花田晃治教授)

新潟大学歯学部附属病院特殊歯科総合治療部* (部長: 野田 忠教授)

A study on the characteristics in the three-dimensional facial
measurement using with the optical surface scanner

Kouki Nakagawa, Kazuto Terada*, Yoshihiro Inami,
Gramaticescu Carmen-Elena, Shuichi Morita, Kooji Hanada

*Division of Orthodontics, Niigata University Graduate School of Medical
and Dental Sciences (Chief: Prof. Kooji Hanada)*

*Division of Polyclinic Intensive Oral Care Unit, Niigata University
Dental Hospital * (Chief: Prof. Tadashi Noda)*

平成13年12月1日受付 12月1日受理

Key words : optical surface scanner (非接触型三次元表面形状計測), three-dimensional measurement (三次元計測),
顔面計測 (facial measurement)

Abstract : Non-contacting three-dimensional optical surface scanner has not only high measurement accuracy, but also a short measurement time and no radiation exposure. It offers an appropriate method for recording materials in case of jaw deformity, in cleft palate subjects, and most regularly pre-and post-orthodontic soft tissue changes, in addition to facial growth. Therefore knowing the exact characteristics of this recording method is of utmost importance.

This study was designed to assess the method error or accuracy that occurred during registration with laser scanning, in addition to clarify registration characteristic for optimizing image quality, and minimizing distortion. Surface images for a mannequin, and five volunteers were taken twice on the same day. Registration method was standardized for all. The resulting three-dimensional images and data were used to superimpose the double taken images using special analyzing software (3D RUGLE, Medic Engineering).

The double taken curved surface data were almost identical. Images obtained from the mannequin, showed 97% of retaken areas to be fit within +/- 0.5 mm of the initial images. Subjects the images showed 86-93% fit to the retaken images. Areas showing less fit were those lateral and inferior to the nose ridge, alar grooves and areas on the boundary/edge of the face. For obtaining a more reliable data, taking images from different angles, and unifying the new data with the one obtained from the frontal view would eliminate these distortions and increase validity of areas registered.

抄録: 非接触型三次元表面形状計測器は, 精度が高く, 被験者に与える侵襲がほとんどなく, 短時間で計測できるため, 顎変形症や口蓋裂を有する患者などの顔面計測を行う際に有効な装置であると言われている。これらの装置を用いて, 矯正治療前後あるいは成長に伴う顔面の表面形状変化についてより正確な分析を行うためには, 装置の客観的な特性を知る必要がある。そこで本研究は, 非接触型顔面三次元表面形状計測装置によりマネキン1体と被験者5名の顔面計測における誤差を解析し, 本装置の計測時の特性と本装置の有用性について検討を行った。

各被験者ならびにマネキンについて正面から2回の計測を行い, それらの三次元データを重ね合わせて, 計測器方向の誤差を算出した。その結果, 2回の計測値間の誤差が±0.5 mm以内にある領域は, マネキンで97%, 被験者で86

～93%であった。この領域は、額部、口唇、左右側外眼角より内方の頬部、鼻部の大部分であり、矯正治療等による三次元表面形状の変化を正面から計測することで評価できることが示唆された。さらに、顔面計測において、非触型三次元表面形状計測器のレーザー光の照射方向に対して、皮膚面が平行に近い面やアンダーカットになる部分すなわち鼻や顔の輪郭付近においては、計測方向を変えて計測したデータと統合することにより精度を高められると考える。

緒 言

従来、顔面表面形状に関する分析は、正面、ならびに側面写真を用いて行う顔面規格写真または、頭部X線規格写真が主であり、これらは顔面に設定した指標点、profile line や輪郭線などの二次元データを用いた評価に限定される¹⁻³⁾。顔面形状の三次元データを入手するためには、顔面石膏模型⁴⁾、あるいはモアレ縞測定⁵⁾やCTなどが使われていた。ここ数年、非触型三次元表面形状計測器が工学系のみならず、医学系に導入されるようになり、より精度が高く、被験者に与える侵襲がほとんどなく、短時間で計測が可能になってきた。

非触型三次元表面形状計測器により顔面形状を三次元データとして入手できることは、顔面形態を客観的に把握、評価することが可能となり、輪郭線に限らず顔面上に任意の点、ならびに任意の表面を設定でき、その三次元座標値、あるいは表面積、体積を扱うことができる。このように、顔面形状を三次元で処理することで、成長や治療による変化をより客観的に評価できるものである⁶⁻¹²⁾。

非触型三次元表面形状計測器と被験者を固定し、計測条件を一定に設定する頭部固定装置、非触型三次元顔面計測器を制御、ならびに三次元解析を行うコンピューター式から構成した非触型顔面三次元表面形状計測装置を作成した。非触型三次元表面形状計測器は、ミ

表1 非触型三次元形状計測装置 VIVID 700 (ミノルタ社製) の仕様

型式	光切断方式 3次元入力レンジファインダー
撮影レンズ・焦点距離	9mm～46mm 8段可変・5倍ズーム
測定物設置距離	0.6m～2.5m
計測視野域 (視野域xyの一辺)	70mm～1,100mm*
測定奥行範囲 (Δz)	測定視野域の一辺に相当 [測定距離1.5mの時] *
分解能	測定視野域の1/256 [測定距離1.5mの時] *
測定時間	0.6秒
ホストへの信号転送時間	2.0秒以下
記録容量	3次元データとカラー画像合わせて1.1MB/枚
出力インターフェイス	SCSI-II, カラーモニター用ビデオ端子 (NTSC)
レーザー出力 (開口から10cmの距離)	Class-2 相当 (定格25mW/685nm半導体レーザーですが、内部制御回路、工学系により装置からの光出力はClass-2 相当です)
レーザースキャン方式	ガルバノミラー方式
測定可能環境光	500 lux以下
電源	AC商用電源 (100～240V)
重量	9 kg
外形寸法	210 (幅) × 326 (奥行) × 367 (高さ) mm

*: 撮影距離、焦点距離により変化する

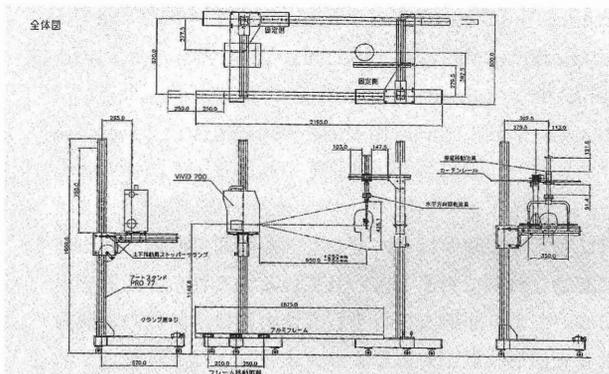


図1 頭部固定装置の設計図

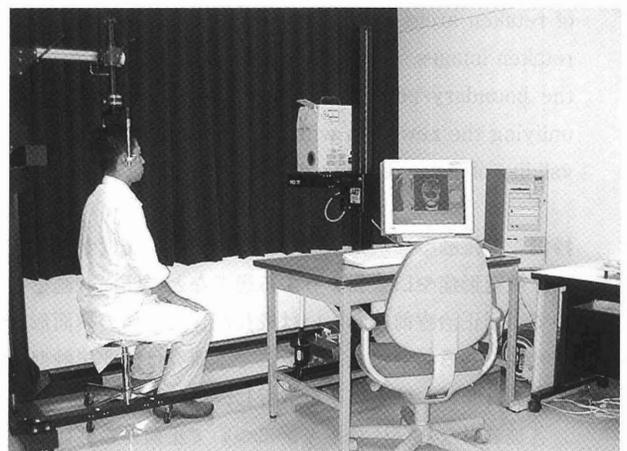


図2 頭部固定装置の全体像

ノルタ社製, VIVID 700®であり, その仕様を表1に記した。図1に頭部固定装置を, その全体像を図2に示した。

三次元データを客観的に評価するためには, 三次元計測に伴う機種に依存する誤差, 操作に伴う誤差などによる計測特性を知ることが重要である。そこで, 本研究の目的は, 今回作成した非接触型顔面三次元表面形状計測装置を用いて顔面を三次元計測し, その三次元座標値の誤差を解析することにより本装置の計測特性, さらには本装置の有用性について検討することとした。

資料と方法

計測対象としてマネキン1体と成人被験者5名(男性3名, 女性2名)を用いた。非接触型三次元表面形状計測器から頭部固定装置のイヤードまでの垂直距離を1200mmに設定した。被験者を椅子に座らせ, 左右の耳孔に頭部固定装置のイヤードを軽く挿入した状態で前方を向き, FH平面が床面と平行になるように頭位を設定した。そして, モニター上に映し出された顔が, 画面中央に位置するように微調整を行った。

マネキンについては, 頭部固定装置のイヤードが, マネキンの耳孔部分にくるように設置し, 計測した。

マネキン, 成人被験者ともに, 初回の計測後に頭部の固定を解除して, 被験者では起立させた後に, マネキンでは別の台の上に置いた後に, 再度, 上述の設定で計測を行った。このように, 2回の計測で得られた三次元データと顔画像データを本研究の資料とした。

本研究で用いた顔面三次元表面形状計測の際に用いる座標系は, 被験者を頭部固定装置に固定した状態で, 被験者の左側方向をX方向, 上方をY方向, 後方をZ方向とした(図3)。

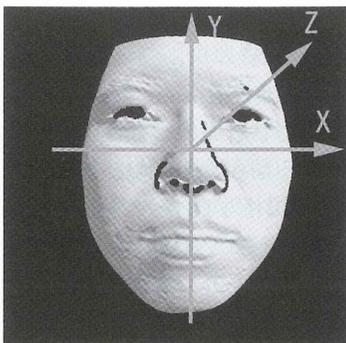


図3 顔面三次元形状計測における座標系

上記の計測により得られた三次元データならびに顔画像データを三次元解析ソフト(3D-Rugle®, メディックエンジニアリング社製)を用いて解析を行った。2回の計測により得られたデータを, 三次元解析ソフト上にてマッピングした。マッピングにおける指標は, 外科的矯

正治療を含めた矯正治療による変化が少ないと思われるグラベラ付近を中心とした25mm×25mmの領域を指標面として, 2つの指標面がXY平面で重ね合わせるときZ座標方向の最大のずれが±0.5mmの範囲内の誤差に納まったところでマッピング完了と判定した。

マッピング完了の結果を顔全体の2時点間のZ座標値を算出し, カラー表示した。被験者では, 3つの水平断面, ①Labrale superius (ls)を通りFH平面に平行な面(第1平面), ②右側Alare (al)を通りFH平面に平行な面(第2平面), ③右側外眼角とAlareの中間点を通りFH平面に平行な面(第3平面)を設定した(図4)。これらの断面上にあるマッピングしたデータのZ座標値の差を求め, 部位とその量について検討した。

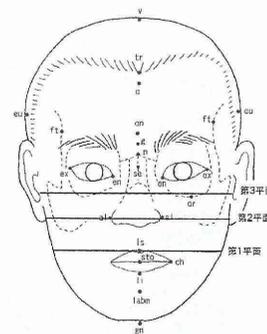


図4 設定した評価水平面

結果

1. マネキンを用いた計測

マネキンを2回計測した時の三次元データについてみると, マッピング後のZ座標値の差が±0.5mm以内にある領域は, 全計測域の97%を占めていた(図5)。

鼻や顔の輪郭付近, すなわち非接触型三次元表面形状計測装置のレーザー光の照射方向に対して, 顔面表面が平行に近い面やアンダーカットになった部分では, 誤差が約2.0mm前後認められ, それは全計測領域の3%を占

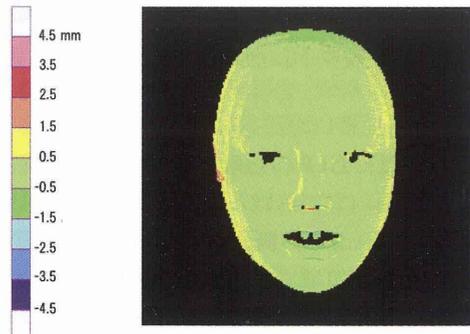


図5 マネキンを2回三次元計測してマッピングした時のZ座標値の差

めた。

2. 成人被験者を用いた計測

成人男性被験者1名を計測し、三次元データをマッチングした結果例を図6に示した。この被験者では、Z座標値の差が±0.5mm以内にある領域は、全計測領域の93%を占めていた。この領域には、額部、口唇、左右側の外眼角より内方の頬部、鼻部の大部分を含んでいた。マネキンと同様に、非接触型三次元表面形状計測器のレーザー光の照射方向に対して、顔面表面が平行に近い面やアンダーカットになった部分である鼻の周囲や顔の輪郭付近、さらには変化の大きい眼瞼において、2.0mm前後の誤差を認め、それらは全計測領域の7%であった。5名全員の被験者において、Z座標値の差が±0.5mm以内にある領域は、全計測領域の86%~93%であった。

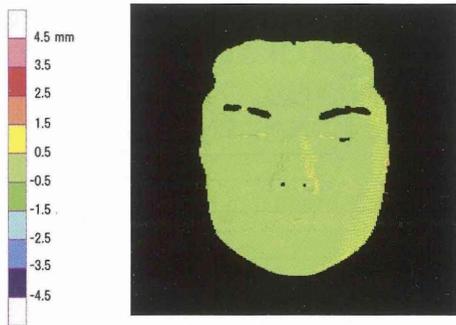


図6 被験者を2回三次元計測してマッチングした時のZ座標値の差

3. 成人被験者における水平断面による評価

1被験者を計測し、三次元データをマッチングした後の第1平面における重ね合わせ結果例を図7に示した。

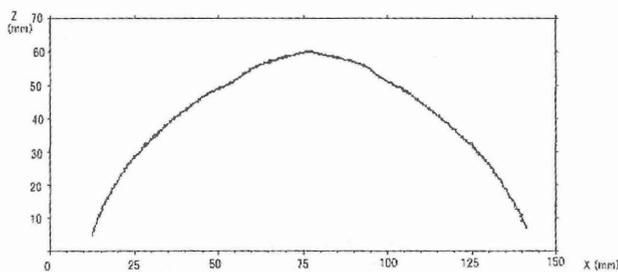


図7 1成人被験者の第1水平断面における重ね合わせ

5名被験者全員において、顔の中央から顔の左右側輪郭辺縁より5.0mm内方におけるZ座標値の差は±0.5mm以内であった。それより外側に当たる顔の輪郭辺縁から左右側とも5.0mmの領域では、Z座標値の差は±0.8mm以内であった。

1被験者の第2平面における重ね合わせ結果例を図8に示した。被験者5名全員で、顔や鼻部の輪郭付近を除

いた大部分の頬部領域と鼻背領域におけるZ座標値の差は、±0.5mm以内であった。顔の輪郭辺縁から5.0mm内方の領域におけるZ座標値の差は±1.0mm以内、鼻の輪郭を中心にした左右1.5mmの領域におけるZ座標値の差は±1.2mm以内であった。

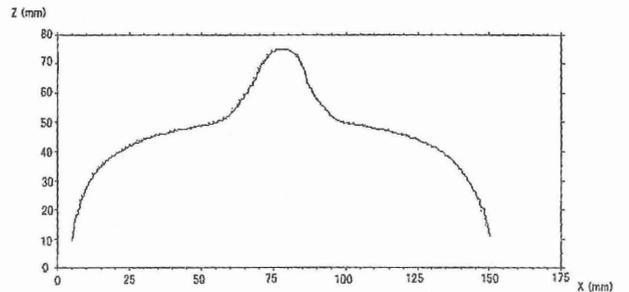


図8 1成人被験者の第2水平断面における重ね合わせ

1被験者の第3平面における重ね合わせの結果例を図9に示した。5名被験者全員で、第1平面と同じく、顔の中央から顔の輪郭辺縁内方5.0mmの領域におけるZ座標値の差は±0.5mm以内であった。顔の輪郭辺縁から内方5.0mmの領域におけるZ座標値の差は±1.0mmであった。

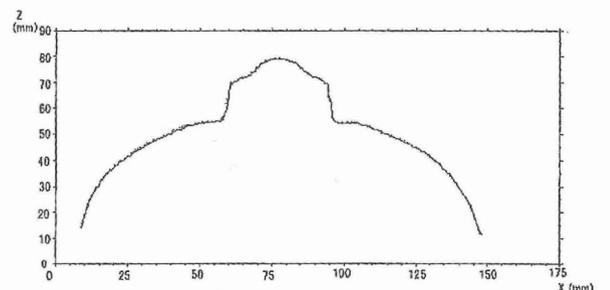


図9 1成人被験者の第3水平断面における重ね合わせ

考 察

1. 非接触型顔面三次元表面形状計測の必要性について
従来、矯正治療患者における顔面軟組織の評価としては、顔面規格写真や頭部X線規格写真¹⁻³⁾、顔面石膏模型⁴⁾、モアレ縞⁵⁾による評価がある。顔面規格写真や頭部X線規格写真は二次元データであり、顔面軟組織表面のような凹凸のある三次元曲面を評価するには限界がある。顔面石膏模型は、被験者への負担が大きいことや、印象材による変形などがあり、汎用できない。また、モアレ縞による評価は、写真を撮影して解析までに時間を要することや、モアレ縞の生成から細かい凹凸を調べるには向いていない。最近用いられているヘリカルCTでは、硬組織と軟組織の関係を把握するのに有効であるが、

放射線被曝という問題点がある。これらに比して、非接触型三次元表面形状計測器は、精度が高いこと、被験者に与える侵襲がほとんどないこと、短時間で計測が可能であることなどの特徴を有している。さらに本計測システムでは、頭部固定装置を併用することで計測条件を一定に設定でき、より精細な分析を行うことができる。また、基準平面を設定することにより、セファログラムとの統合も可能であると考えられる。

2. 非接触型顔面三次元表面形状計測装置による計測特性について

顔面は、額、頬部、口唇のような滑らかな曲面と鼻部のような突出部した曲面を有し、成長や各種の治療により表面の形状が変化する。そのため、成長や治療による顔面の変化を評価するための指標点を定義し、変化のほとんどない場合の計測装置の測定に関する特性を知ること、変化量をより精度良く客観的に評価できる。

本研究で用いた非接触型三次元表面形状計測器(VIVID 700, ミノルタ社製)の計測特性として、原理的には計測装置の機構上、測定領域は200×200の点データであり、測定領域を狭くすれば精度が上がり、歯列模型の咬合面形態の三次元計測まで行える。顔面の場合、ほぼ200mm×200mmを計測領域面で設定すると、同一条件で成人の顔全体を出来るだけ大きく納めて計測することができる。この場合、計測領域はほぼ1.0mm間隔のメッシュとなる。時間を変えて計測した場合、最大のずれはメッシュ幅の半分である0.5mmとなる。計測ズームを上げて計測すれば計測範囲は狭くなるが、メッシュの幅が小さくなると同時に、最大のずれも小さくなり、よって誤差も小さくなる。

非接触型三次元表面形状計測器を用いて顔面全体を計測した時の誤差については0.8~1.0mmといわれている^{8,13,14)}。今回、マネキンを用いて非接触型顔面三次元表面形状計測装置により、正面から2回計測したデータをマッチングした結果から、Z座標値の差が±0.5mm以内にある領域が全計測領域の97%を占めていた。この領域は、額部、口唇、左右側外眼角より内方の頬部、鼻部の大部分が含まれていた。それ以外の領域である鼻や顔の輪郭付近、すなわち非接触型三次元表面形状計測器のレーザー光の照射方向に対して顔面表面が平行に近い面やアンダーカットになった部分では、2.0mm前後の差が認められ、全計測領域の3%を占めた。この結果は、被験者における計測でもほぼ同様であった。これらの部分を除けば、Z座標値の差が±0.5mm以内の精度で計測できることが示唆された。また、三島ら⁹⁾も測定基準面に対し垂直に近い部分やオーバーハングのある部分では誤差が生じやすいが、その他の大部分において、おおむね十分な精度が得られると示唆している。

誤差が大きくなる部分においては、被験者あるいは計

測装置の位置を回転させて計測することにより計測誤差を小さくでき、精度の高いデータ間を統合することで計測の利便性が向上するものである。

また、計測装置の機構とは別に、軟組織が変化することも考慮しておく必要がある。軟組織は硬組織と違い、形態が一定でなく、計測時の状態を規定するのが難しい一面を有する。同じ安静時でも頭位がイヤードを中心前後回転することで、軟組織の重心が変化し、たるみが増えることも考えられる。軟組織が厚く、硬組織の支持が少ない部分では、生体側の変化に注意し、計測条件を一定にすることが必要であると思われる。

ま と め

非接触型顔面三次元表面形状計測装置を用いて、2回顔面部の三次元表面計測を行い、レーザー光の照射方向の誤差を解析し、本装置の計測時の特性と本装置の有用性について検討した。

被験者ならびにマネキンについて時間をおいて、2回正面から計測を行い、2つの三次元データを重ね合わせて、計測器方向の誤差を算出した。その結果、2つのデータ間の誤差が±0.5mm以内にある領域は、マネキンで97%、被験者で86~93%であった。この領域は、額部、口唇、左右側外眼角より内方の頬部、鼻部の大部分であり、矯正治療等による三次元表面形状の変化を正面からの計測で評価できることが示唆された。さらに、顔面計測において、非接触型三次元表面形状計測器のレーザー光の照射方向に対して、顔面表面が平行に近い面やアンダーカットになる部分すなわち鼻や顔の輪郭付近においては、計測方向を変えて計測したデータと統合することにより精度を高めることができると考える。

今後、矯正治療のために用いる他のセファログラム、顔面写真等の資料と統合しても、データ精度の劣化をきたすことがなく、有用な資料となることが示唆された。

引用文献

- 1) 岡村正彦, 他: 骨格格性下顎前突症に対する両側性下顎枝矢状分割術後の正貌形態変化の検討. 日顎変形誌, 8: 151-156, 1998.
- 2) 布田花子, 他: 片側性唇顎口蓋裂患者の上下顎移動術に伴う軟組織側貌の変化 - Cheek line の検討 -. 日口蓋誌, 25: 224-232, 2000.
- 3) 喜地直美, 他: 下顎骨の形態左右差が軟組織輪郭に及ぼす影響. 日顎変形誌, 7: 95-101, 1997.
- 4) 寺野敏之, 他: 顎顔面・歯列模型による顎変形症の術後予測と評価. 日口外誌, 33: 2530-2536, 1987.

- 5) 高橋善男, 他: 骨格性下顎前突症の術後顔貌変化-モアレトポグラフィ-による検討-. 東北大歯誌, 16: 43-53, 1997.
- 6) 稲見佳大, 他: 上下顎移動術による中顔面軟組織の三次元表面形状変化の検討. 日顎変形誌 (投稿中).
- 7) 稲見佳大, 他: 外科的矯正治療の顔貌の変化. 甲北信越矯歯誌 (投稿中).
- 8) 三島克章, 他: 顔面形態 (特に外鼻形態) の三次元計測法の方法と精度の検討. 日口外誌, 38: 1645-1651, 1996.
- 9) 野口信宏, 他: レーザーによる唇顎口蓋裂患者の顔面形態の3次元計測. 日口蓋誌, 20: 97-107, 1995.
- 10) 野村泰慎, 他: レーザー3次元形状計測装置を使った顎矯正手術による顔面形態変化の分析. 口科誌, 47: 408-416, 1998.
- 11) 比地岡浩志: 下顎前突症患者の下顎後方移動術前後における顔面形態の三次元的分析. 日顎変形誌, 8: 157-169, 1998.
- 12) 小林正典: 三次元レーザースキャナーを用いた片側性口唇裂患者の術前術後の顔面形態に関する定量形態学的研究. 愛院大歯誌37: 125-148, 1999.
- 13) 野口信宏, 他: 顔面非対称の3次元分析 (第1報) -顔面正中面の自動設定法の開発-. 日口外誌, 42: 599-601, 1996.
- 14) 小林正典, 他: コンピューター制御による非接触型レーザー口腔顎顔面計測システム-No.2 画像処理形式とセラブロックによるシステム誤差の検定-. 愛院大歯誌36: 387-395, 1998.