

生体軟組織の三次元形状評価法の開発

生体三次元形状評価チーム（課題番号：147009）

研究期間：平成 26 年 7 月 29 日～平成 29 年 3 月 31 日

研究代表者：岩崎昭憲 研究員：遠藤正浩、森山茂章、吉田康浩

1. はじめに

近年三次元CTが広く普及し、外科領域においても診断や手術計画、術後評価に大きな成果をあげている。しかし、生体の三次元的な形状を定量的に評価する手法は完全に確立されているとはいえない。骨に代表される生体硬組織に関しては、対象の骨を剛体として取り扱えるのに対し、生体軟組織の形状表現には術前後の画像の重ね合わせや三次元の状態を表すために座標の設定が困難なことなど様々な問題がある。また、軟組織は大きな変形を考慮に入れた取り扱いが必要となる。そこで、生体の硬組織および軟組織の形状変化を三次元的に評価する手法を検討した。以下に本推奨研究プロジェクトで得られた研究成果の論文の概要を示す。

2. 顎変形症治療における骨および軟組織の三次元形状の評価

（発表論文：3次元CTデータ6自由度探索法を応用した下顎枝矢状分割術前後における硬組織・軟組織の変化に対する新たな定量的評価法：初期臨床経験，高岡昌男，森山茂章，立石国治，喜多涼介，松田道隆，大谷泰志，喜久田利弘，福岡大学医学紀要，42/1, 131-143, 2015年）

2.1 背景と目的

顎変形症や顎顔面骨折における顎顔面形態を治療するためには、最適な咬合のみならず、発音、咀嚼の機能改善を得ることが必要である。その適切な診断、治療を患者に提供するためには、術前の骨格形態を正確に評価し、術後における骨格および咬合の安定性を予測することが必要不可欠となる。顎矯正手術における骨格形態の術前・術後の評価として通常X線撮影による画像評価が多くの場合用いられている。従来ではX線画像での手術

前後の評価は、上下顎の形態評価や頭蓋骨と顎骨の位置関係、長さ、角度を定量的に求めることが出来る単純X線写真、断層X線写真および頭部X線規格写真など多数の二次元画像が主流であった。しかし、X線画像上の各計測点における拡大率は最大10%程度の差があり、画像の歪みと解剖学的構造物の重複が発生し、計測点の特定の困難さや顔面非対称症例において左右差がもたらす計測点の測定精度に著しい低下が生じる。そこで、この欠点を改善するために、近年CTなどの三次元画像を用いて骨格形態の評価する試みがなされている。CTの三次元画像から作成した二次元画像によるセファロ分析や顎骨骨切り前後の三次元セファロ分析など評価法では様々な報告が散見される。しかしながら、二次元セファロ分析のように一般的な評価方法には至っていないのが現状である。

三次元画像において、術前後の評価を行う際に問題となるのは、術前後の画像の重ね合わせである。三次元画像を用いた骨格形態の評価として森山らが考案した6自由度探索によるものがある。これは、三次元空間における剛体の自由度である位置および回転の6自由度に対して、術前後の骨の画像の重なりを全探索で求め、最も重なる状態を決定するものであり、正確な三次元画像の重ね合わせが可能である。しかしながら、対象を剛体としているため、軟組織や骨のリモデリングに対応することは原理的に出来ない。そこで本研究においては、CTを用いた硬組織および軟組織の三次元的評価法の確立を目指した。顎矯正手術に最も多く用いられている下顎枝矢状分割術後の下顎骨の形態変化を3D-CTより得られたDICOMデータにより三次元画像を再構築して評価した。術前後での評価を行うために得られた三次元画像は術前後で重ね合わせを行い、三次元的変化を定量的に算出し、骨および軟組織の形態変化・位置的变化を評価する手法を開発した。また、下顎骨の硬組織評価に続いて

周囲の軟組織における評価も検討した。

2.2 方法

対象は下顎前突症例で下顎非対称および開咬を伴う顎変形症患者において、下顎枝矢状分割法を施行した下顎前突症患者10例を対象とした。撮影条件を合わせるために患者は仰臥位で閉口させ、撮影体位はFH平面が撮影台に対して垂直になるように設定し、ガントリチルト角 0° とし、撮影条件を一定として、術前、術後1ヶ月、術後12ヶ月に同一条件で3D-CT撮影を行った。これらの画像から対象とする領域を抽出したあと、硬組織および軟組織それぞれのCT値で分離した。座標系の設定は、術前の画像において座標系を設定した。左右の骨外耳道上縁の中点を原点とし、この2点を結ぶ線をx軸、原点と左右の眼窩骨縁最下点の中点を結んだ線をy軸、さらにxy平面に垂直で原点を通る線をz軸と設定し、xy平面を横断面、yz平面を矢状面、zx平面を環状面とした。また、回転を表現するための角度表記をロール、ピッチ、ヨー角を用いてx軸、y軸、z軸回りの回転を表し、座標系は右手系とした。以上の点の取得は三方向からスライス面を表示することで位置を確認しながら設定した。

術前後の三次元的な状態を表現するためには、3方向の位置および3つの回転角の合計6変数が必要となる。本報告における三次元画像の重ね合わせの手法は、術後の三次元画像に対して全6変数をそれぞれに変化させ、術前画像に重ね合わせを行う6自由度探索法を用いた。重ね合わせの状態が不良の場合は、重ねられた画像の骨部のボクセル数は本来のボクセル数よりも大きくなるが、最適位置に重なる場合ボクセル数は最少となる。そこで体積が最小となる位置および姿勢において2つの画像が最も重なった状態となる。術前後の頭蓋の重なりは、三次元可視化ソフトウェアを用いて確認した。ここで得られた移動および回転を用いて、下顎および軟組織の座標変換を行った。

頭蓋の基準点に沿って重ね合わせを行った後、横断面、冠状面、矢状面において術前画像と術後画像を得た。術前画像と術後画像が重なっていない部分を求めた。術前画像の重なっていない部分の重心点および術後画像の重なっていない部分の重心点をそれぞれ求めた。術前から術後における骨および軟組織の断面における移動ベクトルを以下のように定義した。ベクトルの方向は術前重心点から術後重心点の向きとし、ベクトルの大きさは術前および術後の重なっていない部分の面積の平均値とした。本手法においては、術前画像と術後画像の両方が存在する面においてはいかなる部位においても移動ベクトルを定義することが可能であるが、下顎枝矢状分割法を対象としているので、下顎歯槽基底の前方限界を示すB点について調べた。以上を下顎のみおよび鼻骨より下部で舌骨より前部における軟組織に適用した。ま

た、全例下顎を後退させる症例を対象としているため、術前および術後の画像が存在する必要があることから、術後1月におけるB点における計測とした。ベクトルの方向については、右向きを 0° とし、反時計方向に角度を表現するものとした。

2.3 結果および考察

硬組織では、横断面、冠状面および矢状断上での術後の下顎骨の形態変化において、下顎骨横断面のB点が左側方および後方へ移動していることを確認した。冠状面では、B点が左側方および上方の1時方向へ移動していることを確認した。矢状面では下顎骨が上方および後方の方向へ変位していることを確認した。代表症例は下顎非対称（右方偏位）を伴う骨格性下顎前突を対象としたため、B点において下顎骨の後上方および左側方への変位を認め、術前後のセファロ分析と比較しても一致した移動であった。また、全10症例の術後1ヶ月および術後12ヶ月における平均面積と平均角度を定量的に評価することが可能であった。

軟組織において下顎骨に相対する術前と術後1ヶ月、術前と術後12ヶ月の頬部からオトガイ部にかけての軟組織の形態変化を横断面、冠状面および矢状面で求めた。代表症例では、横下顎骨のB点の形態変化と軟組織のB点の形態変化は同一方向への移動が確認できた。また、変形量は、下顎骨より軟組織の方が、小さかった。また、全10症例の術後1ヶ月および術後12ヶ月における平均面積と平均角度を定量的に評価することが可能であった。相関係数を調べると、術後1ヶ月後において、下顎骨硬組織面積と同部軟組織面積において冠状面と矢状面に強い相関があった。術後1ヶ月後において、下顎骨硬組織と同軟組織の角度において、冠状面に強い相関があった。

本評価法においては、顔面の硬組織・軟組織のいかなる点でも評価は可能であった。しかし、口腔内に金属製の補綴物、矯正装置がある状態では、金属アーチファクトにより放射状のノイズが発生するため正確な咬合平面付近の画像の抽出だけは不可能であった。本研究では、金属アーチファクトの影響が少なく、最も咬合平面に近い点として、下顎骨のB点の変化を評価点として分析した。B点における代表症例の変化の結果を検証すると下顎骨は左上方および後方へ変位していることが視覚的に確認でき、実際の症例と相違なかった。面積および方向も定量化することができた。

全10症例において、面積および角度評価を行った。面積は術前と術後1ヶ月、術前と術後12ヶ月の硬組織の重ね合わせでは、やや術後12ヶ月における面積が小さい値を示していたが、ほぼ同じ値を示していた。これは、術後の下顎骨自体の若干のリモデリングは起こっているものの、大きな形態変化ではなく、術後変化はほとんどないことが考えられる。

軟組織においては硬組織同様、術後1ヶ月と術後12ヶ

月でほぼ同じ値を示してはいたが、術後12ヶ月時のほうが若干値は大きかった。硬組織に追従して術後12ヶ月のほうが、面積が小さいと予測されたが軟組織変化に対しては、頸部の伸展、重力など様々な事象を考慮する必要があると考えられた。硬組織における移動角度に関しては、術後1ヶ月および術後12ヶ月においてほぼ同ベクトル方向に移動しているのを確認できた。軟組織移動角度に関しては、横断面、冠状面は、ほぼ同ベクトルを指していると判断したが、矢状面角度で、方向のバラツキが認められた。これは、横断面、冠状面は、下顎骨、同部軟組織以外の影響を受けないが、矢状面では、一部頸部の影響を受けやすいため数値にバラツキを認めたのではないかと推察された。

全症例の面積の平均値は、実際の手術における移動距離、方向が様々であるため、直接の比較は困難であるが、横断面および冠状面における軟組織の変化の大きさは硬組織の変化の大きさよりも小さかったが、矢状面においては、軟組織の変形が大きくなっていった。これは、矢状面における軟組織の評価において、一部に頸部が含まれるために、頭蓋部における重ね合わせを行っても頭位の影響が存在するためと考えられた。一方、方向に関しては、硬組織の値の変化と軟組織の値の変化の方向は近い値となっており、また、硬組織と軟組織の変形量および方向の相関を見ると、硬組織冠状面、硬組織矢状面、軟組織冠状面で0.7以上の強い相関を認め、また他3項目も相関関係は有しており、適正な評価となっていることが確認された。

次に術後1ヶ月と術後12ヶ月の全体の平均面積、平均角度を比較すると、硬組織においては大きな変化が観察されない。一方で、軟組織に関しては、変化が大きい部位もあるが、体重の変化などの影響が生じている可能性も含まれると考えられた。

6自由度探索法により下顎骨の硬組織評価および軟組織の三次元画像をそれぞれ重ね合わせることで評価を定量的、視覚的に行うことが可能であった。また、軟組織評価において、撮影時の体位が仰臥位であることから顔面形状の重力による影響、表情、呼吸による体動などを考慮すると、実際の軟組織とは若干の誤差が生じていると考えられるため、その評価法についても再検討の余地がある。今回開発した評価方法は下顎骨表面形態の変化のみでなく、上顎骨を含む顔面骨各部位、全身骨格などの表面形態の変化を含めた計測へと進展可能と考えられる。以上より、顎矯正手術だけではなく、顎顔面、多部位の硬組織および軟組織評価にあたって治療計画、手術法の選択、術後の評価において、患者にインフォームドコンセントを実施するうえでも、より明確な術後の顔貌を予知、予見することに非常に有用であると考えられる。

3. 三次元非接触計測による抜歯後の顔面腫脹評価

(発表論文: Three-Dimensional Quantitative Evaluation of the Effect of Local Administration of Dexamethasone on Facial Swelling after Impacted Mandibular Third Molar Extraction, Matsuda M, Kondo S, Seto M, Kita R, Mori H, Moriyama S, Kikuta T, Journal of Dentistry & Oral Disorders, 2/7, 1036, 2016年)

3.1 背景と目的

外科的侵襲に対する炎症反応の一つとして腫脹があげられる。特に智歯抜歯に伴う炎症は、頬部腫脹や疼痛、開口障害などの症状を引き起こし、これらの症状を軽減する目的でステロイド系や非ステロイド系抗炎症薬が使用されている。その際に薬剤効果判定のために腫脹の評価が必要とされており、顔面皮膚の2点間距離計測やエコー計測、写真撮影法による検討など様々な方法が提案されている。しかし顔面は複雑な形状を有しているために、顔面腫脹部の経時的変化を三次元的に評価した報告は少ない。そこで本研究では下顎埋伏第3大臼歯抜歯後の顔面腫脹軽減を目的に抜歯直後に頬筋内デキサメタゾン投与を行い、その後の腫脹変化を定量的に比較した。下顎埋伏第3大臼歯抜歯後の顔面腫脹部の経時的変化を評価するために、顔面形状を3Dビデオスキャナーにより非接触で計測し、抜歯後の形状を抜歯前に重ね合わせ、体積を求めることにより、顔面腫脹部の定量評価および薬物投与による腫脹抑制効果の有無を検討した。

3.2 方法

下顎水平埋伏智歯で粘膜切開と骨削除を必要とし、他の全身疾患や常用内服薬の無い患者を対象とした。生理食塩水を術直後に粘膜切開基底部の頬筋内へ注射を行う14例の群と、デキサメタゾンを術直後に患側の粘膜切開基底部の頬筋内へ注射を行う13例の群にくじ引きを用いて無作為に割り付けし、二重盲検法を用いて施行した。

顔面形状の三次元計測には、非接触型三次元スキャナーを用い、抜歯前、抜歯後1日、抜歯後3日および抜歯後7日について同一検者が計測した。非接触型三次元スキャナーのデジタルデータから顔面表層の3Dモデルを作成し、顔面形状は点群データとして座標を求めた。抜歯前および抜歯後の顔面形状は、位置および姿勢が異なるので、重ね合わせを行う必要がある。そこで姿勢を表す回転行列を求めるために、腫脹による形態変化が生じていない領域を対象に、全点の距離の総和が最小となる特異値分解によるICP法を用いて重ね合わせを行った。実際には、手動である程度重ね合わせた後に、抜歯前形状に抜歯後形状を重ね合わせた。腫脹の体積は、腫脹部の領域を抽出し、2mm間隔で面積を求め、それを積分することで求めた。腫脹体積を算出後に顔面腫脹部の定量評価および生理食塩水群とデキサメタゾン投与群の体積変化を比較し、薬物投与による腫脹抑制効果の有無につ

いて検討した。

3.3 結果および考察

平均値において、生理食塩水群14症例の腫脹体積は抜歯後3日に最大となり、抜歯後7日には減少していることが確認された。デキサメタゾン投与群13症例についても腫脹体積の増減は生理食塩水群と類似した傾向を示した。下顎知歯抜歯の腫脹は抜歯後数日で最大となり抜歯後7日には減少することが報告されており、今回得られた腫脹体積の変化は両群ともに妥当であると考えられ、顔面腫脹部の経時的変化を示すことができた。それぞれの腫脹体積の平均値を比較すると抜歯後3日まではデキサメタゾン投与群の腫脹体積は生理食塩水群のものより小さく腫脹の抑制傾向が確認された。そこで生理食塩水群とデキサメタゾン投与群における腫脹体積の有意差検定を行った。検定については有意水準を5%としウェルチのt検定を行った。抜歯後1日および抜歯後3日において、デキサメタゾン投与群では有意に腫脹が抑制されていることが確認された。また抜歯後7日には両群に有意差は認められなかった。本手法においてコントロール群と比較して薬剤投与群の方が有意に腫脹が抑制されることを示すことができた。以上のことをふまえて、本手法による顔面腫脹計測は非侵襲的かつ三次元的に腫脹の定量評価ができるため、薬剤投与効果の検討などの臨床研究を行う上でも有用であると考えられる。

非接触で顔面形状を計測し抜歯前の顔面形状に抜歯後のものを重ね合わせることで顔面腫脹部の体積を求め、智歯抜歯後の顔面腫脹の経時的変化を定量評価しデキサメタゾン投与による腫脹抑制効果を検討した。本手法により顔面腫脹の経時的変化を体積変化で評価でき抜歯後1日および3日において薬剤投与による腫脹抑制効果を示すことができた。また抜歯後1日および3日において有意差を示すことができた。今後は頭位を一定にする工夫等を検討する必要性が示唆されたが、本手法は非接触かつ三次元的に抜歯後の顔面腫脹の経時的変化を評価することができるため臨床研究を行う上でも有用であると考えられる。

研究業績

有限要素解析および赤外線サーモグラフィによる脊椎ケージの応力評価, 大澤恭子, 森山茂章, 湯谷知世, 杉本智広, 臨床バイオメカニクス, 35/, 77-82, 2014年
Finite element analysis of hip joint cartilage reproduced from real bone surface geometry based on 3D-CT image, 大澤恭子, 森山茂章, 田中正夫, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 9/2, 13-00164, 2014年
Biomechanical comparison of the fixation after curved periacetabular osteotomy using titanium

and bioabsorbable screws, Nobuhiro Kashima, Kei Shiramizu, Yoshinari Nakamura, Shigeaki Moriyama, Masatoshi Naito, Hip International, 25/2, 164-167, 2015年

3次元CTデータ6自由度探索法を応用した下顎枝矢状分割術前後における硬組織・軟組織の変化に対する新たな定量的評価法: 初期臨床経験, 高岡昌男, 森山茂章, 立石国之, 喜多涼介, 松田道隆, 大谷泰志, 喜久田利弘, 福岡大学医学紀要, 42/1, 131-143, 2015年

Friction and Wear Properties of Heat-Treated Cr-Mo Steel during Reciprocating Sliding Contact with Small Relative Motion, M. Endo, T. Saito, S. Moriyama, S. Okazaki, H. Matsunaga, International Journal of Fracture Fatigue and Wear, 3/, 215-220, 2015年

A New Fatigue Testing Machine for Investigating the Behavior of Small Shear-Mode Fatigue Cracks, M.Endo, S.Okazaki, H.Matsunaga, S.Moriyama, K.Munaoka and K.Yanase, Experimental Techniques, 40/3, 1065-1073, 2016年

Polyethylene Wear Associated With 26- and 32-mm Heads in Total Hip Arthroplasty: A Multicenter, Prospective Study, Keisuke Hagio, Masanobu Saito, Takahiro Okawa, Shigeaki Moriyama, Yoshinari Nakamura, Masatoshi Naito, The Journal of Arthroplasty, 31/, 2805-2809, 2016年

Dry friction and wear properties in micro-scale reciprocating sliding contact of high carbon-chromium bearing steel, Y. Tanaka, M. Endo and S. Moriyama, International Journal of Fracture Fatigue and Wear, 4/, 39-44, 2016年

Three-Dimensional Quantitative Evaluation of the Effect of Local Administration of Dexamethasone on Facial Swelling after Impacted Mandibular Third Molar Extraction, Matsuda M, Kondo S, Seto M, Kita R, Mori H, Moriyama S, Kikuta T, Journal of Dentistry & Oral Disorders, 2/7, 1036, 2016年

Verification of Implant Surface Modification by a Novel Processing Method, Yoshiaki Okada, Nobuhiro Abe, Noriyuki Hisamori, Toshiaki Kaneeda, Shigeaki Moriyama, Hitoshi Ohmori, Masayoshi Mizutani, Hiroyuki Yanai, Yoshio Nakashima, Yusuke Yokoyama, and Toshifumi Ozaki, Acta Medica Okayama, 71/1, 49-57, 2017年

The Effects of Dicalcium Phosphate Dihydrate-coated Titanium Implants on Bonding to Bone in Ovariectomized Rats, Tomohiko Minamikawa, Shigeaki Moriyama, Takako Osawa, Koichi Kinoshita, Tomonobu Hagio, Yoshinari Nakamura, Akira Maeyama, Masatoshi Naito, Takuaki Yamamoto, 福岡大学医学紀要, 44/1, 23-28, 2017年