

Utility of Objective Evaluation of Breast Mound by 3D Image Analysis in Aesthetic Breast Reconstruction Second Stage Operation

Hisasuke ONOZAWA, Satoshi TAKAGI, Akiko ETO,
Ai MORITA, Hiroyuki OHJIMI

Department of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery, School of Medicine, Fukuoka University

Abstract

Purpose: We measured the reconstructed breast volume and shape using three-dimensional surface imaging system, and applied the data for aesthetic breast reconstruction. The purpose of this study was to validate the effectiveness of this system for clinical use.

Materials and Methods: Nine women who underwent 2-stage breast reconstruction using free rectus abdominis flap between 2007 and 2012 were included in this study. A 3D scanner (Danae; NEC engineering, Japan) was used for measuring breast volume and shape at the time of both second stage breast reconstruction and over 6 month after surgery. The surgeon revised the reconstructed breast mound with reference to these data to adjust the volume and shape.

Results: There was a trend of the reconstructed breast mound upward and lateral position compared to the non-surgical healthy breast. The 3D imaging system showed improvement of reconstructed breast in both volume and shape after revisional surgery.

Conclusion: Objective assessment of reconstructed breast using three-dimensional imaging system can assist the surgeon to reconstruct symmetrical and aesthetical breast.

Key words: Three-dimensional image analysis, Breast reconstruction, Breast cancer, free flap, Three-dimensional scanner

整容的乳房再建 2 期手術における三次元画像解析による 乳房マウンドの客観的評価の有用性の検討

小野澤久輔 高木 誠司 衛藤 明子
森田 愛 大慈弥裕之

福岡大学医学部形成外科学講座

要旨：目的：非接触型三次元形状計測装置を用いて、自家組織移植した乳房マウンドを撮影し、健側乳房との形態の差を客観的に評価した。その解析データを基に再建乳房のマウンドを形成することで、整容的にも高水準の乳房再建術を目指した。研究の目的は、乳房三次元画像解析の臨床応用における有用性を検討することである。

材料と方法：遊離腹直筋皮弁により片側乳房再建術を行った乳癌患者 9 症例を対象とした。三次元形状計測装置は、「Danae100SP」® (NEC エンジニアリング社, 日本) を使用した。画像データの解析は、三次元画像解析ソフトウェアの 3D-Rugle® (メディックエンジニアリング社, 日本) を用いた。撮影は、遊離皮弁

移植後の第2期手術前におこない、再建乳房マウンドの容量と表面形状を計測して、健側乳房との比較をおこなった。ここで得られたデータは、修正手術に応用した。修正術後に再度三次元画像解析をおこない、乳房再建完了後の形態改善効果を検討した。

結果：第2期手術前、再建乳房マウンドは健側に比べ大きく、頭側および外側に偏位する傾向が認められた。この変形は、手術により乳房マウンドの容量と形態を修正ことで改善し、乳房再建術完了後の三次元画像解析においても健側乳房との対称性向上が認められた。

結論：三次元画像解析を応用することで、乳房再建術における再建乳房の容量と表面形状を客観的に評価することができた。従来、術者の経験のみによっておこなわれていた再建乳房の形成手術であったが、形状の客観評価が加わることで、術者は客観点評価に基づいた手術デザインと手術が可能となり、手術成績の向上と手術時間短縮に寄与できる。三次元画像解析は、対称的で美的な乳房再建術をおこなうにあたり、有益な客観点評価ツールになると考えた。

キーワード：三次元画像解析，非接触型三次元形状装置，乳房再建術，乳癌，遊離皮弁

はじめに

乳癌患者の増加に加え、乳癌治療の進歩と患者意識の変化により、わが国でも乳癌術後の乳房再建を希望する患者が増加している¹⁾。女性にとって乳癌手術により乳房を失うことは、精神的にも影響が大きく、乳房切除術は不安やうつ、ボディイメージ、生活の質に大きく関与することが報告されている²⁾。乳房再建術はこれらの問題解決に寄与できる。しかし、乳房切除前の自然な乳房の形態を、手術により人工的に再建することは容易ではない。

乳房再建術の目標は、健側乳房と対称的で整容的にも美しい乳房を再建することである。このためには、再建した乳房が容量、形態ともに対称的になるように、形成しなければならない。乳房の形態は個人差や年齢差が大きく、個々の形態に合わせた乳房を形成するには術者の豊富な経験と技術が必要になる。加えて、乳房は立位と臥位で形状と位置が異なってくるため、手術の際、術者は立位での乳房形態をイメージしつつ手術をおこなわなければならない^{3),4)}。

従来、乳房再建術の手術計画は、術前に患者を立位で観察し、基準となる点や線を記しデザインすることでおこなわれてきた。その際、計画に必要な乳房の容量や形態の評価は、ほとんどが術者の主観によっていた。臨床写真を手術シミュレーションに用いる場合もあるが、写真画像は二次元であり、乳房形態を正確に評価するには限界があった。

近年、画像解析技術の進歩により、体表面の三次元形状評価が可能となり、顔面をはじめとする表面形状の客観評価に応用されるようになってきた^{5),6)}。表面形状をデータ化することができれば、従来の経験則に基づいた手術から、より精密で整容的に美しい形態再建術が達成

可能となる。われわれは、2007年から三次元画像解析を乳房再建術の二次修正手術に応用し、その可能性について報告してきた⁷⁾。

今回、われわれは非接触型三次元形状計測装置を用いて、自家組織移植により再建した乳房を撮影し、健側乳房との形態の差を客観的に評価した。その解析データを再建乳房の修正手術に応用することで、整容的にも高水準の乳房再建術を目指した。研究の目的は、乳房三次元画像解析の臨床応用における有用性を検証することである。

材料と方法

対象患者

2007年から2012年まで、福岡大学病院形成外科で遊離腹直筋皮弁による片側乳房再建術を行った患者31症例のうち、三次元画像解析を応用して手術をおこなった9症例を対象とした。年齢は41歳から74歳まで、平均年齢は 56 ± 11.5 歳(SD)であった。左側乳房の再建が4例、右側が5例であった。再建乳房への組織拡張器挿入症例(3例)、または健側乳房へ乳房縮小術や乳房つり上げ術など施行した症例(5例)は除外した。撮影条件の不一致や画像の破損などによるデータ不足症例(14例)も除外した。

本研究は、福岡大学臨床研究審査委員会(福岡、日本)より既存情報を用いた医学系研究(承認番号:2018M065)としての承認を得て行った。

乳房再建術

対象患者は全て二次再建症例で、自家組織(遊離腹直筋皮弁)を用い、二度に分けて乳房再建術をおこなった。初回(第1期)の乳房再建手術では、下腹部から遊離腹直筋皮弁を採取し、皮弁を前胸部へ移行して顕微鏡下に

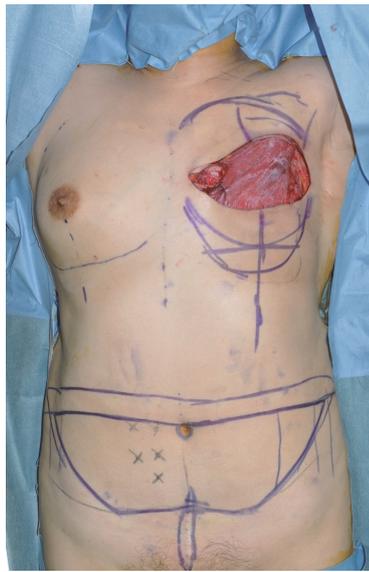
栄養血管の血管吻合を手術用顕微鏡下におこなって再建乳房マウンドを作成した^{4),8)}。(図1)

第2期手術は、手術部位の瘢痕が安定化するのを待ち、第1期手術から半年以上経過した後におこなった。術前に三次元画像解析をおこない、その解析データを基に第1期手術で作成した乳房マウンドを修正した。再建乳房マウンドが過量な場合には脂肪吸引等により減量した。乳房マウンドの位置が偏位している場合には、皮弁移動術を行った。これらの手技により再建乳房マウンドの形

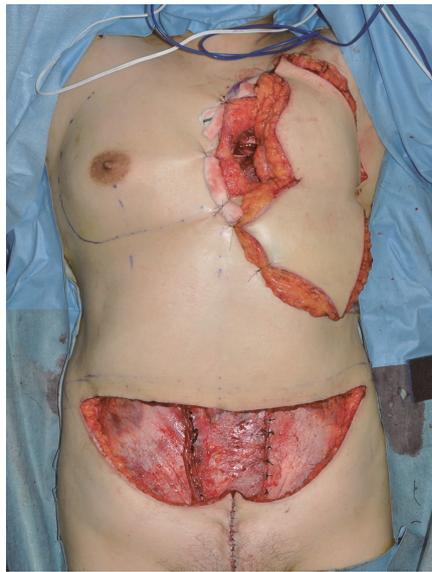
態を整え、最後に絹糸や定規を用いて、正中と鎖骨中線からの健側乳頭乳輪距離を測定し、再建乳房の乳頭乳輪位置を決定する。健側と同じ大きさの乳頭乳輪を形成して乳房再建術の全工程を完了させた^{4),9)}。(図2)

乳房三次元画像解析

非接触型三次元形状計測装置として、3Dイメージキャプチャ「Danae100SP」[®] (NECエンジニアリング社、日本)を使用した。本装置は、光源にハロゲンランプを



A



B

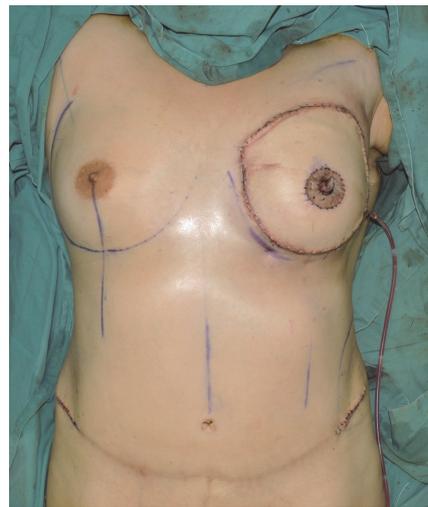
図1 乳房再建術における第1期手術

A:遊離腹直筋皮弁のマーキング

B:皮弁を切離して胸部へ移行し、手術用顕微鏡下に血管吻合した。



A



B

図2 乳房再建術における第2期手術

A:術前

B:手術終了時

使用し、測定時間は0.6秒、測定精度は0.3mmであった。撮影装置の制御には既存のソフトウェア（Argus 2[®] NEC エンジニアリング）を使用した。患者と本装置の距離は600mmとり、患者は立位とし、両手は脇を軽く開いた状態で腰部に触れる姿勢で背筋を伸ばす状態で静止した。撮影範囲は、上下：頸部～臍下5cm程度、左右：乳房外側縁より外側5cm程度が入るように位置を決定した⁷⁾。（図3）

撮影により得られた三次元乳房表面画像は、三次元画像解析ソフトウェア（3D-Rugle ver5.0[®] メディクエンジニアリング、京都）を用いて解析した。

Danae100SPで撮影した画像データを取り込み、位置合わせと補正をおこなって胸部のオリジナル撮影画像（以下、オリジナル画像）を作成した。（図4.A）本画像の乳房再建側半分を切り捨て、健側乳房側半分をミラーリングした画像（以下、ミラーリング画像）を作成した。（図4.B）次に、オリジナル画像とミラーリング画像の重ね合わせ画像を作成した。重ね合わせ画像から、再建乳房と健側乳房の垂直および水平断面における輪郭線を

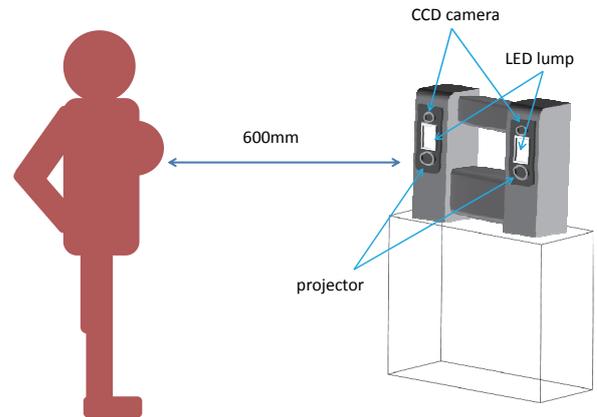


図3 非接触型三次元形状計測装置による撮影

描出した。（図4.C）ゼブラ像及び疑似カラー・等高線像を作成した。これらの画像は、カラースケールを用いてマッチング度の視覚的評価として使用した。（図5）

重ね合わせ画像より作成した垂直および水平断面における輪郭線はグラフ化し、再建乳房と健側乳房の輪郭線

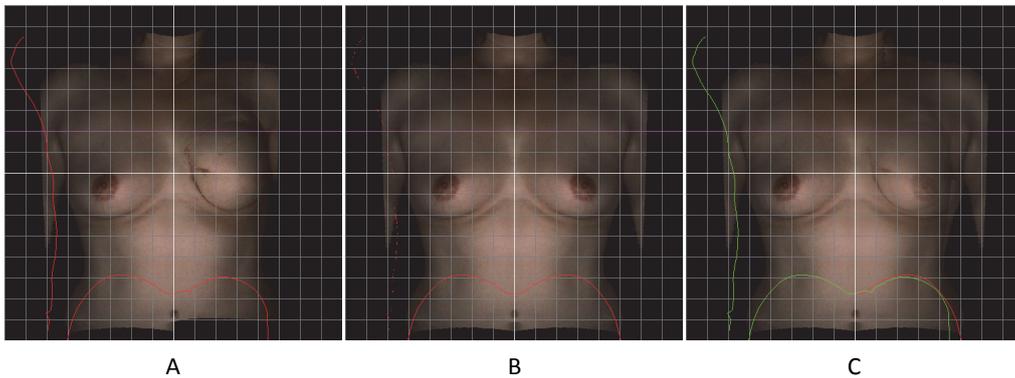


図4 三次元画像解析

A：オリジナル画像 B：ミラーリング画像 C：重ね合わせ画像 緑線はオリジナル、赤線はミラーリングの輪郭線

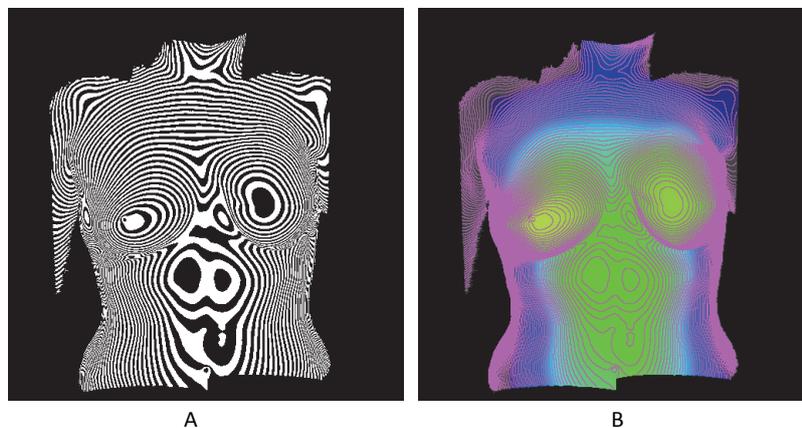


図5 視覚的評価画像

A：ゼブラ像 B：疑似カラー・等高線像

の差を計測することで、再建乳房のマウンド位置および厚みの差を解析した。垂直輪郭線グラフでは、乳房下溝線の位置、及び乳房頭側(AC領域)と乳房尾側(BD領域)における厚みの差を計測した。垂直輪郭線グラフにおいて、再建乳房が健側に対して頭側に位置する場合には(+), 尾側に位置する場合には(-)で表記した。水平輪郭線グラフでは、乳房内側位置の左右差、及び乳房マウンドの厚みを計測した。水平輪郭線グラフにおいて、再建乳房が健側に対して内側に位置する場合には(+), 外側に位置する場合には(-)と表記した。(図6)再建乳房と健側乳房の部位による容量の差は、画像としても表示した⁷⁾。(図7)

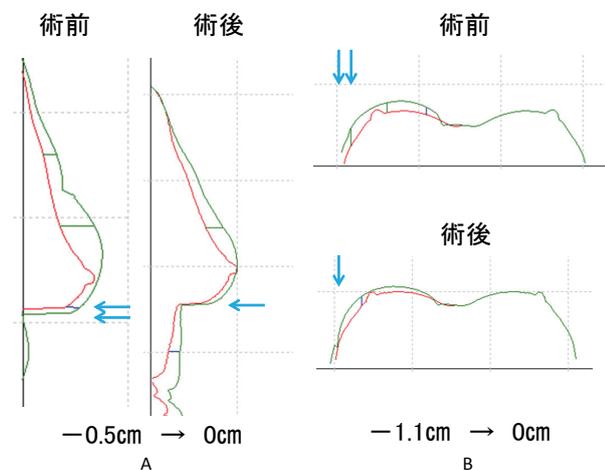


図6 輪郭線グラフ
A: 垂直輪郭線グラフ B: 水平輪郭線グラフ

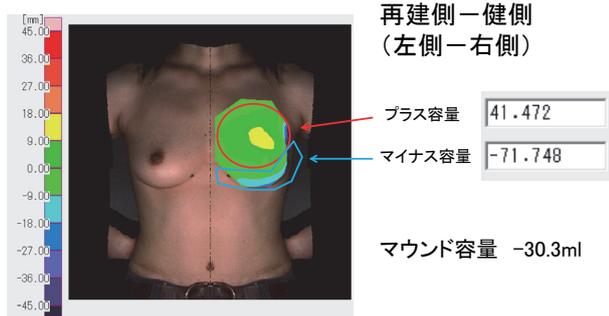


図7 マウンド容量差の視覚的評価
再建側と健側の容量差を部位別にカラースケールで表示した。

以上の方法により、健側乳房と再建乳房との差を計測し、再建乳房マウンドに対する検討をおこなった。検討は、以下の5項目とした。

- 1) 乳房マウンド容量差 (ml)
- 2) 乳房下溝線位置の差 (cm)
- 3) 水平面における乳房マウンド内側縁位置の差 (cm)

- 4) 垂直面における乳房マウンド頭側 (AC領域) 厚みの差 (cm)
- 5) 垂直面における乳房マウンド尾側 (BD領域) 厚みの差 (cm)。

三次元形状計測装置による撮影は、第2期手術の術前及びその術後の二度行った。第2期手術前のデータ解析結果は、手術に応用した。各計測値及び三次元解析画像を基に、術者は前回移植した皮弁を修正して対称的な乳房マウンドを形成した。乳房マウンド垂直方向の修正は、健側乳房下溝位置のデータを指標におこなった。乳房マウンド水平方向の修正は、乳房内側縁位置のデータを指標におこなった。乳房マウンド位置の修正は、マウンドの剥離移動または局所皮弁を用いることでおこなった。マウンド容量及び形態の修正は、脂肪吸引・脂肪組織切除、真皮脂肪移植、脂肪注入、脂肪筋膜弁等の手技を用いておこなった。全例、乳房マウンド完成後に乳輪乳頭形成術を行い、乳房再建術を完了した。

二度目の三次元形状計測装置による撮影は、第2期手術の6か月以後におこなった。解析データは、術前データと比較することで、各症例における乳房再建術の術後評価に用いた。

統計解析:

統計解析は、SPSSで行った。測定データはmean (SD)で表記した。独立した2群間の量的データは、2-tailed t-test, Mann-Whitney test を使用して分析した。質的データはFisher exact test を使用して分析した。有意水準は $P < 0.05$ に設定した。

結 果

第2期手術前における再建乳房マウンドの評価

第2期手術前の再建乳房および健側乳房における、①乳房マウンドの容量差 (ml) および容量差を生じた領域、②垂直面における乳房下溝線位置の差、③水平面における乳房内側縁位置の差、④乳房頭側 (AC領域) の厚みの差、⑤乳房尾側 (BD領域) の厚みの差、を表1に示す。(表1)

再建乳房は、9例中7例が容量過多を示した。再建乳房は健側に比べ平均で108ml多かった。容量の差違を部位別に見ると、再建乳房は外側および頭側 (AC領域) で容量過多になる傾向が強く、一方、尾側 (BD領域) は容量不足になる傾向が認められた。再建乳房マウンドの位置は、垂直方向では平均-0.28cm、水平方向平均-0.52cmとほぼ対称的であった。しかし、水平方向では乳房マウンドは全例2cm以内の範囲に収まっていたの

に対し、垂直方向では+2.1cm、-4.2cmと2cmを超えて健側と生じたものもあった。(表1)

第2期手術術後の再建乳房マウンド評価

第2期手術により、再建乳房は全例において、容量、位置、厚みともに健側乳房に近づいたことで、乳房の対称性が改善した。再建乳房は全例、垂直方向、水平方向ともに健側との差が減少した。容量は、1例を除いて差が縮小した。容量差の縮小は、統計学的有意差をもって認められた。再建乳房頭側(AC領域)の厚みの差も改善し、平均値で1.64cmから0.76cmへ有意に差が縮小した。尾側(BD領域)も全例改善の傾向を示したが、統計学的有意差は認めなかった。(表1)(図8)

考 察

乳房再建術の目的は、左右対称的で整容性の優れた乳

房を再建し、長期にわたりこれを維持することである。乳癌術後の乳房再建術は、自家組織移植とシリコンインプラントによる2種類がおこなわれているが、異物反応や長期的な安定性、自然な形態の点で前者に優位性がある。自家組織移植の場合、現在、穿通枝皮弁(DIEP, deep inferior epigastric artery perforator, flap)を含めた遊離腹直筋皮弁が主流となっている⁹⁾。

下腹部を利用する遊離腹直筋皮弁は、充分量の皮膚と皮下脂肪組織を用いることができるため、乳房マウンド再建の材料として適している。加えて、深下腹壁動脈を血管茎とする遊離皮弁は、従来の有茎TRAM flap(横軸型腹直筋皮弁)に比べ、皮弁の血流支配領域が広く、皮弁の部分壊死や脂肪融解、脂肪硬化といったトラブルが少なく済む。腹直筋採取にともなう障害が少ない点も特筆できる^{3),10)}。

遊離腹直筋皮弁による乳房再建術では、第1期手術はマイクロサージャリーの技術を駆使して大きな組織を、

表1 第2期手術前および術後の乳房三次元画像解析結果

患者	乳房	術前					術後				
		マウンド容量(ml)	位置:垂直断面(cm)	位置:水平断面(cm)	形態:AC領域(cm)	形態:BD領域(cm)	マウンド容量(ml)	位置:垂直断面(cm)	位置:水平断面(cm)	形態:AC領域(cm)	形態:BD領域(cm)
1	右	279	-0.5	-1.1	3.2	1.2	220	0	0	2	0.7
2	左	153	0	-1.4	2.2	1.5	85	0	1	1.5	0.5
3	右	-90	2.1	1.7	1	-4.1	-68	0.7	0	0	-1.4
4	右	191	0	-1.2	2.4	1.1	126	-0.5	0	1.8	0
5	左	-190	1.7	-1.7	1.2	-2.8	-237	1	-1.4	0	-2.6
6	左	131	0	0.8	0.7	0	128	0.5	0	1.1	0
7	右	105	-4.2	0.9	-0.7	1.9	-40	-2.5	0	-1.5	-1.3
8	右	334	-1.7	-1.5	3.4	3	35	0	0	1	0
9	左	57	0	-1.2	1.4	0	22	0.5	0	1	1
平均		107.7	-0.28	-0.52	1.64	0.2	30.1	-0.03	-0.04	0.76	-0.34
p値							0.039	0.481	0.317	0.008	0.402

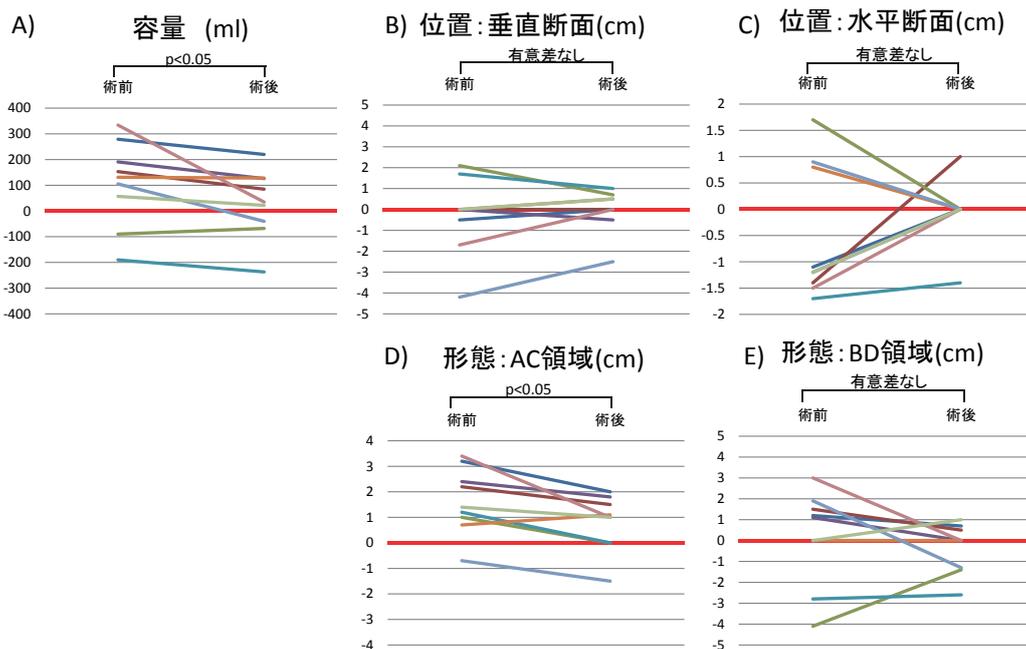


図8 乳房修正術前および術後における三次元画像解析結果の変化

血流を維持して胸部に移植し、第2期手術はその材料を用いて対称的で整容的に美的な乳房マウンドを再建することになる。第2期の形態を整える手術においては、術前立位での観察と綿密な手術計画が重要となる。従来、目標となる健側乳房容量の予測は、手掌などを用いた大まかな測定でなされることがほとんどで、術者の経験による部分が多かった。三次元画像解析による評価が確立すれば、術者は客観点評価に基づいた手術デザインと手術が可能となり、手術成績の向上と手術時間短縮に寄与できる。

1967年、Burkeらにより顔面の三次元表面画像解析が最初に報告された⁵⁾。その後、コンピュータと画像解析ソフトウェア技術の向上により、様々な非接触型三次元画像解析装置が利用できるようになった。乳房等の軟組織では、形状が体位により大きく変化するため、非接触型三次元形状計測装置が有用である。現在、乳房増大術や乳癌手術、乳房再建術における教育、患者説明、手術計画、術後評価を目的に使用されている^{11), 12), 13)}。乳房の三次元画像解析では、乳房の容量だけでなく、表明形状も評価できるため、乳房形態の対称性を客観的に計測することが可能である。乳房のボリュームと形態の対称性を客観的に評価することができれば、正確で繊細な手術計画が可能で、対称的で整容的に美しい乳房再建が達成可能となる^{14), 15), 16), 17)}。

われわれは、非接触型三次元形状計測装置を用いて、遊離腹直筋皮弁による片側乳房再建術症例を対象とした。遊離皮弁移植後の第2期手術前に計測をおこない、健側乳房との比較をおこなった。ここで得られたデータは、修正手術に応用した。修正手術後にも再度三次元画像解析をおこない、乳房再建完了後の形態改善効果を検討した。マウンド容量とマウンド形態のAC領域では、有意差を認め、再建乳房と健側乳房の左右対称性を獲得できた。Isogaiらは、三次元レーザー形状計測装置を用い、三種類の乳房再建術（腹直筋皮弁、広背筋皮弁、組織拡張器法）を比較し、乳房の水平および垂直の断面画像からゆがみ率を求め、乳房の対称性を検討している¹⁶⁾。但し、これらの報告では、それらの評価法が術後の最終的な評価に用いられており、修正手術のシミュレーションには用いられていない。Tomitaらは、三次元形状計測装置を用い、3Dプリンターで健側乳房の鏡面像に基づいた実態モデルを作製し、これを基に乳房再建術を行っている。術後評価は臨床写真で整容性を4段階に評価している。結果は11例中Excellent 7例、Good 3例、Fair 1例、Poor 0例であった¹⁷⁾。今回われわれがおこなった方法は、三次元画像解析により再建乳房の位置と容量、形状を計測し、そのデータを乳房再建手術に応用したところが、他の報告とは異なる。本法であれば、作業時間や費用の点で、実臨床への応用が

容易であると考えられる。

現在、報告されている非接触型三次元形状計測装置には、フラッシュバルブを光源としたストラクチャライト方式¹⁸⁾とレーザー光切断法による計測¹⁹⁾が報告されている。本研究で用いた装置は、前者によるもので、光源にハロゲンランプを用いるため、レーザー光を用いる装置に比べ安全で低コストといった特徴を有す。立位で撮影することから、自然な乳房形態の評価に適している。計測には、多眼正弦波格子位相シフト法を用い三次元座標を求めることで、高精度かつ高速な立体形状計測が可能となっている²⁰⁾。

カメラの視線角度と光源からの照射角度を求め、三角測量の原理により対象物までの距離を算出する。本装置は光源から照射された正弦波格子を、左右2台のカメラで撮影することにより、正確な絶対位相を求め、より精度の高い計測値を得る。計測範囲は縦430×横340×奥行き300mm、計測精度は±0.20mm、計測密度は横1280×縦1280pointである。計測時間は0.6秒と早く患者への負担も少ない。

撮影画像とミラー像の重ね合わせ画像作成は、三次元画像解析ソフトウェアの3D-Rugleを用いた。3D-Rugle ver5.0[®]は、三次元形状計測装置などによって取得されたデータを用いて、三次元形状に関して様々な計測を行うことができるアプリケーションである。基本計測、面間距離の測定、フィッティング、シミュレーションという4つのモジュールから成り立っている。われわれは、面間距離測定を用いて乳房解析を行っている。

本ソフトの面間距離計測モジュールでは、微小な三角形ポリゴンデータを用いることで、マッチング度を高精度で、視覚的かつ定量的に評価することが可能である²⁰⁾。また、本研究では、面間距離から、再建乳房と健側の表面形状の差を三次元的に計測し、カラースケールで視覚化した。

この三次元画像解析で①乳房マウンドの容量差(ml)および容量差を生じた領域、②垂直面における乳房下溝線位置の差、③水平面における乳房内側縁位置の差、④乳房頭側(AC領域)の厚みの差、⑤乳房尾側(BD領域)の厚みの差、を正確に計測し、比較することが可能となった。それにより従来の印象に基づいた手術に比べ、より精密な対称性を得ることが可能となり、極めて有用な手段となった。

研究における第2期手術前の三次元画像解析では、再建乳房は健側に比べ容量過多で、マウンドは頭側(AC領域)が厚く、尾側(BD領域)の容量が不足する傾向にあった。自家組織移植による乳房再建術では、移植組織が不足すると第2期手術の際に再移植が必要となるため、手術の難易度が増す。したがって術者は第1期手術において健側より多めに組織移植をおこなう傾向にあ

る。乳房マウンドを修正する場合、頭側から尾側へ移動させる方が容易である。マウンドの尾側への移動を行うことで、頭側（AC領域）の厚さ、尾側（BD領域）の容量不足が改善する。今回の計測結果は、その術者の意識がデータに表れたものと考えられる。マウンド形態のAC領域は有意差を認めたが、BC領域では有意差を認めなかった。この結果は、症例数の問題と考えられるため、さらなる症例の獲得が必要である。

立位での乳房形態を側面から観察すると、乳房の最突出部である乳頭部は円錐形で乳房マウンドの中央より下方にある。第1期手術でこの形態を移植組織で形成することは難しく、三次元画像解析結果が示すように上下平坦な再建乳房の形態となった。これらの変形の多くは、第2期手術において修正をすることにより、再建乳房の容量、形状ともに改善が可能であった。

今回使用したNECエンジニアリング社製の3Dイメージキャプチャ「Danae100SP」[®]は、重量17kgの据え置きタイプである。このため、乳房が大きな症例では腋窩周囲や乳房下溝の撮影が困難であった。さらに2009年9月30日に販売が終了され、2016年9月30日にはサポートも終了となった。現在、乳房形態評価に利用できる非接触型三次元画像解析装置としては、ハンディタイプのKinect[®]（Microsoft社、米国）やVECTRA[®]H1（VECTRA Handy）（Canfield Scientific社、米国）を使用する施設が多い^{11),21)}。三次元形状計測装置は3Dプリンターの登場で需要が拡大したが、海外製品はメンテナンスや修理に不安がある。国内製品の復活が期待される。本研究は後ろ向き観察研究のため、画像データの不足や除外症例などで症例数が9例と少なくなった。今後更なる症例の蓄積が必要と考える。

結 語

乳房再建術の第2期手術に際し、非接触型三次元形状計測装置を用いて撮影した三次元画像解析をおこない、健側乳房との形態の差を客観的に評価した。その解析データを基に、修正手術をおこなったところ、再建乳房の対称性が改善し、整容的にも美しい乳房再建術が可能となった。乳房の三次元画像解析は、乳房再建術において有用な評価ツールになると考える。

引 用 文 献

- 1) Nozawa K, Ichimura M, Oshima A, Tokunaga E. The present state and perception of young women with breast cancer towards breast reconstructive surgery. *Int J Clin Oncol* 20(2): 324-331, 2015.
- 2) Harcourt DM, Rumsey NJ, Ambler NR, Cawthorn SJ, Reid CD, Maddox PR, Kenealy JM, Rainsbury RM, Umpleby HC. The psychological effect of mastectomy with or without breast reconstruction: a prospective, multicenter study. *Plast Reconstr Surg* 111(3): 1060-1068, 2003.
- 3) 大慈弥裕之, 衛藤明子, 高木誠司: DIEPによる乳房再建術: 美的乳房マウンド再建のための皮弁循環の確保 (特集 乳房再建術 update). *PEPARS* 84: 62-67, 2013.
- 4) 大慈弥裕之, 高木誠司, 衛藤明子: 遊離皮弁を用いた自家組織移植 (特集 乳癌に対する oncoplastic surgery) - (乳房再建術 自家組織移植による乳房再建). *外科* 76(9): 986-992, 2014.
- 5) Burke PH, Beard LF: Stereo-photogrammetry of the face. *Rep Congr Eur Orthod Soc*: 279-293, 1967.
- 6) Al Ali A, Richmond S, Popat H, Toma AM, Playle R, Pickles T, Zhurov AI, Marshall D, Rosin PL, Henderson J: A three-dimensional analysis of the effect of atopy on face shape. *Eur J Orthod* 36(5): 506-511, 2014.
- 7) 小野澤久輔, 大慈弥裕之: 乳房再建二次修正術における三次元画像解析の応用. *形成外科* 58(4): 351-362, 2015.
- 8) 大慈弥裕之, 高木誠司: 専門医取得に必要な形成外科手技: 口頭試問への対策 (10) 自家組織移植による乳房再建. *形成外科* 55(10): 1099-1111, 2012.
- 9) 大慈弥裕之, 衛藤明子, 高木誠司: 最新の乳房再建術 (特集 エビデンスに基づく乳癌診療の最前線). *臨牀と研究* 90(10): 1359-1363, 2013.
- 10) Ohjimi H1, Era K, Fujita T, Tanaka T, Yabuuchi R: Analyzing the vascular architecture of the free TRAM flap using intraoperative ex vivo angiography. *Plast Reconstr Surg* 116(1): 106-113, 2005.
- 11) O'Connell RL, Khabra K, Bamber JC, deSouza N, Meybodi F, Barry PA, Rusby JE: Validation of the Vectra XT three-dimensional imaging system for measuring breast volume and symmetry following oncological reconstruction. *Breast Cancer Res Treat* 171: 391-398, 2018.
- 12) Steen K, Isaac KV, Murphy BD, Beber B, Brown M: Three-Dimensional Imaging and Breast Measurements: How Predictable Are We?. *Aesthet Surg J* 38(6): 616-622, 2018.
- 13) Galdino GM, Nahabedian M, Chiaramonte M, Geng JZ, Klatsky S, Manson P: Clinical applications of three-dimensional photography in breast surgery. *Plast Reconstr Surg* 110(1): 58-70, 2002.
- 14) Losken A, Fishman I, Denson DD, Moyer HR, Carlson

- GW:An objective evaluation of breast symmetry and shape differences using 3-dimensional images. *Ann Plast Surg* 55(6): 571-575, 2005.
- 15) Losken A, Seify H, Denson DD, Paredes AA, Carlson GW: Validating three-dimensional imaging of the breast. *Ann Plast Surg* 54(5): 471-476, 2005.
- 16) Isogai N, Sai K, Kamishi H, Watatani M, Inui H, Shiozaki H: Quantitative analysis of the reconstructed breast using a 3-dimensional laser light scanner. *Ann Plast Surg* 56(3): 237-242, 2006.
- 17) Tomita K, Yano K, Taminato M, Nomori M, Hosokawa K: DIEP Flap Breast Reconstruction in Patients with Breast Ptosis: 2-Stage Reconstruction Using 3-Dimensional Surface Imaging and a Printed Mold. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 5(10): e1511, 2017.
- 18) 山本哲嗣, 宮地 斉, 渡邊 哲, 藤井 仁, 下郷和雄: 非接触型三次元形状計測装置を用いた体位変化に伴う顔面軟組織の分析. *日本顎変形症学会雑誌* 26(1): 18-25, 2016.
- 19) 富永智子, 伊藤美知恵, 井上知佐子, 早川統子, 名倉知里, 岩田阿佑美, 高見 観, 牧野日和, 古川博雄, 南 克浩, 新美照幸, 豊田哲郎, 夏目長門, 岩田敏男, 後藤滋巳, 加藤正子: 構音障害を呈した片側性口唇顎口蓋裂患児の口蓋形態 非接触型三次元形状計測装置による評価. *愛知学院大学歯学会誌* 47(1): 7-16, 2009.
- 20) 佐藤 南, 栗林恭子, 渡邊哲平, 黒田晋吾, 田中栄二: 三次元形状計測装置を用いた顔面非対称の定量的評価. *中・四矯歯誌* 26: 25-32, 2014.
- 21) Utsunomiya H, Kusano T, Sato N, Yoshimoto S: Estimating Implant Volume and Mastectomy-Specimen Volume by Measuring Breast Volume With a 3-Dimensional Scanner. *Ann Plast Surg* 79(1): 79-81, 2018.

(平成 30. 9. 3 受付, 平成 30. 10. 11 受理)

「本論文内容に関する開示すべき著者の利益相反状態: なし」