

Aus der Abteilung für Hand-, Plastische und Ästhetische Chirurgie

Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Riccardo Giunta

**Bedeutung der 3-D Evaluation volumetrischer Veränderungen in der
Volumenaugmentation der fazialen Fettkompartimente am anatomischen
Frischpräparat und in der plastisch-chirurgischen Behandlung der
idiopathischen Gynäkomastie**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Konstantin Christoph Koban

aus Berlin

2021

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Riccardo Giunta

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Dr. med. Stefan Wirth
apl. Prof. Dr. Thomas Hernandez-Richter

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 06.05.2021

Eidesstattliche Versicherung

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

„Bedeutung der 3-D Evaluation volumetrischer Veränderungen in der Volumenaugmentation der fazialen Fettkompartimente am anatomischen Frischpräparat und nach Behandlung bei idiopathischer Gynäkomastie“

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 13.05.2021

Konstantin Christoph Koban

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin/Doktorand

Die vorliegende Dissertation wurde nach § 4a der Promotionsordnung in der konsolidierten Fassung mit der 11. Änderungssatzung vom 15. September 2016 für die Medizinische Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München als kumulative Dissertation gestaltet.

Der Arbeitsanteil aller Ko-Autoren wird separat bestätigt und eingereicht zusammen mit der Erklärung zu § 4a der Richtlinien für die kumulative Dissertation an der medizinischen Fakultät der LMU.

Die vorliegende kumulative Dissertation umfasst folgende bereits veröffentlichte Arbeiten in referierten (peer-reviewed) Fachzeitschrift von internationalem Niveau:

Cotofana S, **Koban KC**, Frank K, Green JB, Etzel L, Giunta RE, Schenck TL.
The Surface-Volume Coefficient of the Superficial and Deep Facial Fat Compartments: A Cadaveric Three-Dimensional Volumetric Analysis.
Journal: Plastic and Reconstructive Surgery (2019 Jun;143(6):1605-1613)

JCR 2018: Kategorie: SURGERY, Ranking: 20/203 (Q1); IF (2018) = 3,946

DOI: 10.1097/PRS.0000000000005524. PubMed PMID: 30907804.

Koban KC, Frank K, Etzel L, Schenck TL, Giunta RE.

3D Mammometric Changes in the Treatment of Idiopathic Gynecomastia.

Journal: Aesthetic Plastic Surgery (2019 Jun;43(3):616-624)

JCR 2018: Kategorie: SURGERY, Ranking: 136/203 (Q3); IF (2018) = 1,399

DOI: 10.1007/s00266-019-01341-5. Epub 2019 Feb 27. PubMed PMID: 30815735.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	II
Publikationsliste	III
Bestätigung der Ko-Autoren	IV
1. Übergeordnete Einleitung	1
1.1. Drei-dimensionale Oberflächenerfassung	1
1.2. Aktuelle Entwicklungen und Stand der Forschung	3
1.3. Eingesetzte 3-D Aufnahmesysteme und Berechnung der 3-D Volumetrie	5
1.4 Zielsetzung	11
1.5 Eigenanteil der Arbeiten	12
2. Inhalte der Promotionsarbeit	13
2.1. Publikation 1	13
2.2. Publikation 2	17
3. Zusammenfassung	20
4. Summary	24
5. Publikationen	27
5.1 Publikation 1	27
5.2 Publikation 2	36
6. Literaturverzeichnis	45
7. Abbildungsverzeichnis	59
8. Danksagung	60
9. Lebenslauf	61

Abkürzungsverzeichnis

2-D = Zwei-dimensional

3-D = Drei-dimensional

3DSI = Three-dimensional Surface Imaging

CT = Computertomographie

DMC = Deep Medial Cheeck

DLFC = Deep Lateral Forehead Compartment

DTC = Deep Temporal Compartment

LMU = Ludwig-Maximilians-Universität München

MRT = Magnetresonanztomographie

MAK = Mamillen-Areola-Komplex

SLFC = Superficial Lateral Forehead Compartment

SOOF = Suborbicularis Oculi Fat

SVC = Surface-Volume Coefficient

Publikationsliste

Veröffentlichungen in begutachteten Fachmagazinen:

- Cotofana S, **Koban KC**, Konstantin F, Green JB, Etzel L, Giunta RE, Schenck TL. The Surface-Volume Coefficient of the Superficial and Deep Facial Fat Compartments: A Cadaveric Three-Dimensional Volumetric Analysis. *Plast Reconstr Surg.* 2019 Jun;143(6):1605-1613. doi: 10.1097/PRS.0000000000005524. PubMed PMID: 30907804.
- **Koban KC**, Frank K, Etzel L, Schenck TL, Giunta RE. 3D Mammometric Changes in the Treatment of Idiopathic Gynecomastia. *Aesthetic Plast Surg.* 2019 Jun;43(3):616-624. doi: 10.1007/s00266-019-01341-5. Epub 2019 Feb 27. PubMed PMID: 30815735.

Wissenschaftlicher Vorträge mit Bezug zur Dissertation

- **Koban K** (2014). 3D-Volumetrie der Liposuction mit subkutaner Mastektomie bei Gynäkomastie: Fehleinschätzung des Lipoaspirates? 45. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft der Plastischen, Rekonstruktiven und Ästhetischen Chirurgen (DGPRÄC), München, Deutschland
- **Koban K** (2017). Das Verhältnis von Injektionsvolumen zu Volumeneffekt an oberflächlichen und tiefen Kompartimenten des Gesichtes: eine 3D volumetrische Studie an anatomischen Frischpräparaten. 48. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft der Plastischen, Rekonstruktiven und Ästhetischen Chirurgen (DGPRÄC), 55. Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie, Graz, Österreich
- **Koban K** (2018). 3-D Volumetrische Erfassung kleinster Volumendifferenzen im Gesicht – Technische Möglichkeiten und Grenzen. 49. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft der Plastischen, Rekonstruktiven und Ästhetischen Chirurgen (DGPRÄC), Bochum, Deutschland

1. Übergeordnete Einleitung

1.1 Drei-dimensionale Oberflächenerfassung

Die Plastische Chirurgie beschäftigt sich im Vergleich zu anderen chirurgischen Disziplinen zu einem großen Anteil mit der Wiederherstellung der menschlichen Körperform. Ihr Ziel ist es, gestörte Form und Funktion nach Unfällen, bei Tumoren oder bei Fehlbildungen wiederherzustellen oder zu verbessern.

Die äußere Form und damit Oberflächengeometrie werden maßgeblich durch das darunterliegende Volumen geprägt. Im klinischen Alltag handelt der Großteil plastisch-chirurgischer Eingriffe, von der Brustrekonstruktion mittels freiem autologen Eigengewebettransfer bis zur Gesichtsaugmentation bei Alterungsprozessen, von der chirurgischen Wiederherstellung bei Volumenüberschuss oder -mangel.

Zur Dokumentation des präoperativen Befundes sowie der Beurteilung des Therapieverlaufes werden zumeist digitale Fotos aus mehreren Ansichten aufgenommen. Zusätzlich werden regelhaft manuelle Messungen am Körper mittels Maßbandes erhoben, um Abstände zwischen bestimmten Körperarealen und -stellen, die für die ästhetische Bewertung der Form und Symmetrie relevant sind, zu objektivieren. Jedoch können komplexe drei-dimensionale Vorgänge, insbesondere im Gesicht und Brustbereich, nur eingeschränkt mittel Fotografie und den bereits genannten Techniken beschrieben werden¹⁻³, da es sich stets um Einzelaufnahmen aus meist nur grob definierten Positionen handelt.

Um der objektiven Beurteilung der drei-dimensionalen Körperform und deren Oberflächen- sowie Volumenveränderung gerecht zu werden, bedarf es objektiver Verfahren zur drei-dimensionalen Körpererfassung und -vermessung^{1,4-6}.

Im Gesicht- und Brustbereich werden heutzutage vornehmlich die Computertomographie (CT) und die Magnetresonanztomographie (MRT), sowie der 3-D Ultraschall eingesetzt. Die genannten Messtechniken haben jedoch individuelle Limitationen. Eine unnatürliche Positionierung der Patienten zumeist im Liegen, erhöhte Untersuchungskosten, Strahlenexposition, ein eingeschränkter Erfassungsbereich mit Bewegungsartefakten bei mehrzeitigen

Einzelaufnahmen, sowie eine variable Untersucherabhängigkeit werden in der Literatur genannt ⁷⁻²⁰.

Gegenüber den etablierten Methoden erlangte die nicht-invasive, berührungslose, und strahlungsfreie drei-dimensionale Oberflächenerfassung (3DSI, Three-dimensional Surface Imaging) einen sehr hohen Stellenwert in den letzten Jahrzehnten. Mehrere Verfahren ermöglichen die 3DSI: neben dem aus der Automobilindustrie bekanntem Laserscanning und Infrarot-Tiefenkamera, sowie der Streifenlichterfassung (Moiré Topographie) und Weiteren, sind im medizinischen Bereich insbesondere seit den 2000er Jahren die digitale Nahbereichphotogrammetrie und die Strukturlichterfassung zu nennen ^{2,3,21-24}. Die 3-D Erfassungstechnik mit Computer wird als „3-D Kamerasystem“ oder „3-D Scanner“.

Das große Potential zeigt sich bei vergleichenden Aufnahmen einer Körperregion zur objektiven Dokumentation und Messung der Veränderungen von Form und Volumen ^{4,25-28}. 3DSI Aufnahmen können in der natürlichen Körperhaltung ohne die Verformung der Körperoberfläche wie durch Druck einer Ultraschallsonde oder in liegender Position bei CT und MRT Aufnahmen erfolgen ^{12,29-31}. 3DSI ermöglicht die digitale Beobachtung und Beurteilung einer Vielzahl von Erkrankungen und deren postoperativen Verlauf im drei-dimensionalen Raum ³².

3DSI wird in der Plastischen Chirurgie insbesondere zur Planung komplexer rekonstruktiver Eingriffe und deren Verlaufsdokumentation eingesetzt. Zahlreiche Studien beschreiben für unterschiedlichen Verfahren eine zuverlässige 3-D Beurteilung von Form ^{33,34}, Kontur ^{4,35}, Symmetrie ³⁶⁻⁴⁰ und Textur des Körpers ^{41,42}.

Trotz der beschriebenen Literatur besteht häufig im klinischen Alltag eine Diskrepanz zwischen der subjektiven Beurteilung des Untersuchers gegenüber der objektiven 3-D Vermessung ⁴³.

Die vorliegende Dissertation untersuchte den Effekt unterschiedlicher volumetrischer Veränderungen an getrennten Modellen zur besseren Einordnung 3-D volumetrischer Aspekte in den klinischen Alltag.

1.2 Aktuelle Entwicklungen und Stand der Forschung

Der Einsatz verschiedener Geräte zum 3DSI des Gesichts- und Brustbereiches wurde in den letzten Jahrzehnten untersucht.

Schwerpunkt des 3DSI des Gesichtes bildete die anthropometrische Vermessung zahlreicher Distanzen zwischen anatomischen Landmarken. Maßgeblich erfolgte der Vergleich zwischen manueller Maßband- und Kalipermessung gegenüber digitalen Vermessungen am 3-D Modell^{44–47}, sowie der Vergleich der 3-D Oberflächenaufnahmen gegenüber der rekonstruierten digitalen Oberfläche aus CT- und MRT-Datensätzen^{30,48,49}. Zahlreiche Geräte konnten hierbei geringe Abweichungen gegenüber den Untersuchern oder anderen Untersuchungsmodalitäten zeigen^{45,46,50–55}.

3-D volumetrische Studien umfassen postoperative Schwellungen und Veränderungen des Gesichtsbereiches wie durch Umstellungsosteotomien^{56–58} und Rhinoplastik^{2,59}, der Einheilungsrate nach autologem Fetttransfer^{60–62} sowie der Volumenaugmentation mittels Füllsubstanzen^{56,63}.

Es finden sich jedoch nur wenige Studien, welche neben der anthropometrischen Validierung durch Distanz- und Oberflächenmessungen, auch eine Überprüfung der 3-D Volumetrie des Gesichtes durchführten^{64,65}. Eine systematische und standardisierte Validierung der 3-D Volumetrie und Beurteilung im Kontext der Gesichtsanatomie könnte diese Lücke schließen.

Im Vergleich zum Gesicht, zeigt sich der Schwerpunkt im 3DSI der Brust weniger in anthropometrischen Brustmaßen als in der Evaluierung von 3-D Brustvolumen und dessen Veränderung, sowie dem Erreichen symmetrischer Brustvolumina^{24,31,66}. Zur Validierung der 3DSI Systeme zur präoperativen Planung und Beurteilung wurden manuelle Messmethoden wie dem Gipsabdruck, Wasserverdrängung, und spezifischen Apparaturen zur Brustvolumenmessung mit variabler Korrelation verglichen^{5,24,67,68}. Insbesondere in der Untersuchung gegenüber dem Goldstandard der MRT und CT Brustvolumina konnten zahlreichen Studien eine hohe Korrelation zeigen^{5,9,10,17,69}. Jedoch zeigt die Berechnung von absoluten Brustvolumina durch 3DSI aufgrund der fehlenden Thorax Hinterwand systematische Abweichungen gegenüber den Goldstandards

^{24,31,32,70}. Dies beruht auf der software-gestützten Hochrechnung der nicht zu erfassenden natürlichen Begrenzung, gegenüber der Schnittbildgebung ⁷¹.

Stellt dies in der Literatur eine Limitation in der präoperativen Beurteilung und der Planung ^{72,73}, so ermöglicht die prä- und postoperative 3-D Aufnahme zahlreiche Eingriffe der Brustchirurgie exakt zu erfassen. Insbesondere die 3-D Erfassung von Brustaugmentation ^{27,74–76} sowie Brustreduktion ^{25,28,71} kann mit bekannten Limitationen sehr geringe Abweichungen gegenüber den erwarteten volumetrischen Veränderungen zeigen. Dies ermöglichte den postoperativen 3-D Verlauf von Schwellung und Veränderung der Brustmorphologie und -volumetrie objektiv über beliebig lange Zeitintervalle zu verfolgen. Insbesondere in der Brustrekonstruktion mit Expandern ⁷⁷ sowie autologem Eigengewebe ^{78–81} zeigte sich der Nutzen von 3DSI System zuletzt zur etappenweisen Planung der Volumenrekonstruktion ⁷⁷.

Die genannten Studien handeln vornehmlich über brustchirurgische Eingriffe mit großen definierten Voluminaveränderungen, wie durch das Implantat- und Expandervolumen, sowie Resektat- und Lappenplastikvolumina. Die 3-D gemessenen Veränderungen sind hierbei auch für den Behandler subjektiv und objektiv greifbar und verständlich. Die 3-D volumetrischen Auswirkungen am Brustkorb wie beispielsweise der Gewebereduktion durch Liposuction, welche als Teil zahlreicher Eingriffe neben der Voluminareduktion auch Umbauprozesse bewirkt, wurde noch nicht untersucht. Insbesondere in der Liposuction herrscht eine Diskrepanz zwischen dem vermeintlich intraoperativ entfernten Volumen gegenüber dem tatsächlich bestehenden Volumen nach postoperativer Heilungsperiode.

1.3 Eingesetzte 3-D Aufnahmesysteme und Berechnung der 3-D Volumetrie

Die beschriebenen 3-D Aufnahmesysteme und die Berechnung der 3-D Volumetrie werden im Folgenden auf Publikation I und II bezogen erläutert. Weitere Funktionen, Einsatzbereiche und Berechnungen der jeweiligen Geräte sind nicht Gegenstand dieser Doktorarbeit.

Vectra Volumetric 3D Surface Imaging System

Das Vectra XT 3D Surface Imaging System der Firma Canfield Sci. (Parsippany, NJ, USA) ist ein für den medizinischen Bereich konzipiertes 3-D Aufnahmegerät. Es wird für alle 3-D Aufnahmen geeigneter Patienten in der Abteilung für Hand-, Plastische und Ästhetische Chirurgie, Campus Innenstadt, Klinikum der Universität München seit 2011 eingesetzt.

Grundlage der 3-D Oberflächenerfassung des Vectra Systems bildet die passive Nahbereichsphotogrammetrie, auch passive Stereophotogrammetrie genannt. Hierbei erfolgt die Generierung eines 3-D Oberflächenmodells durch mehrere Digitalfotos aus unterschiedlichen Ausrichtungswinkeln ^{3,21,82}.

Das System besteht aus einer fest installierten Einheit, welche 6 hochauflösende Digitalkameras zu je 3 Paaren beinhaltet (siehe Abbildung 1), sowie einen dazugehörigen prozessierenden Computer.

Hiermit wird ein circa 190° Aufnahmebereich des Körpers erfasst. In der assoziierten proprietären Mirror Software (Canfield Sci., NJ, USA) erfolgt Anhand von Aufnahmemodulen die Auswahl zwischen Gesicht, Brust, sowie allgemeiner Körperabschnitte. Das Vectra System muss regelmäßig kalibriert werden, um eine adäquate 3-D Rekonstruktion zu ermöglichen.



Abbildung 1: Ansicht des Vectra XT 3D Surface Imaging System der Firma Canfield Sci. (Parsippany, NJ, USA).

Nach Einnahme einer standardisierten Haltung des Patienten vor dem Vectra System (siehe Abbildung 2) für die gewünschte Aufnahme erfolgt auf Knopfdruck ein voll automatisierter Ablauf in der Mirror Software bis zum Erhalten des finalen 3-D Modells: Innerhalb von 3,5 Millisekunden werden simultan digitale Fotos mit und ohne integriertem Blitzlicht des untersuchten Bereiches erstellt. Abhängig vom eingesetzten Computer erfolgt durch Softwarealgorithmen innerhalb von 2 – 3 Minuten eine 3-D Prozessierung und Rekonstruktion des aufgenommenen Körperabschnitts. Die erhaltenen 3-D Modelle sind voll texturiert auf Grundlage der digitalen Spiegelreflexkameras (siehe Abbildung 3).

In verschiedenen Studien zur Validierung weiterer 3-D Aufnahmesysteme wird das Vectra System häufig als Referenz bezeichnet ^{12,29,83–86}.

Grundlage dessen ist eine in der Literatur ausführlich beschriebene Validierung des Vectra XT Systems. Gegenüber anthropometrischen Messungen, sowie CT und MRT Datensätzen zeigte es in der 3-D Rekonstruktion und Volumenbestimmung präzise und reproduzierbare Werte ^{12,24,84,87–89}. Auch ergaben sich in der 3-D Volumetrie im Vergleich zu fixen Volumenveränderungen der Brust wie in der Mammaaugmentation ⁷², Mammareduktion ²⁸, sowie Brustrekonstruktion ^{12,80} eine hohe Genauigkeit und Benutzerfreundlichkeit.



Abbildung 2: Aufnahmeposition vor dem Vectra System.

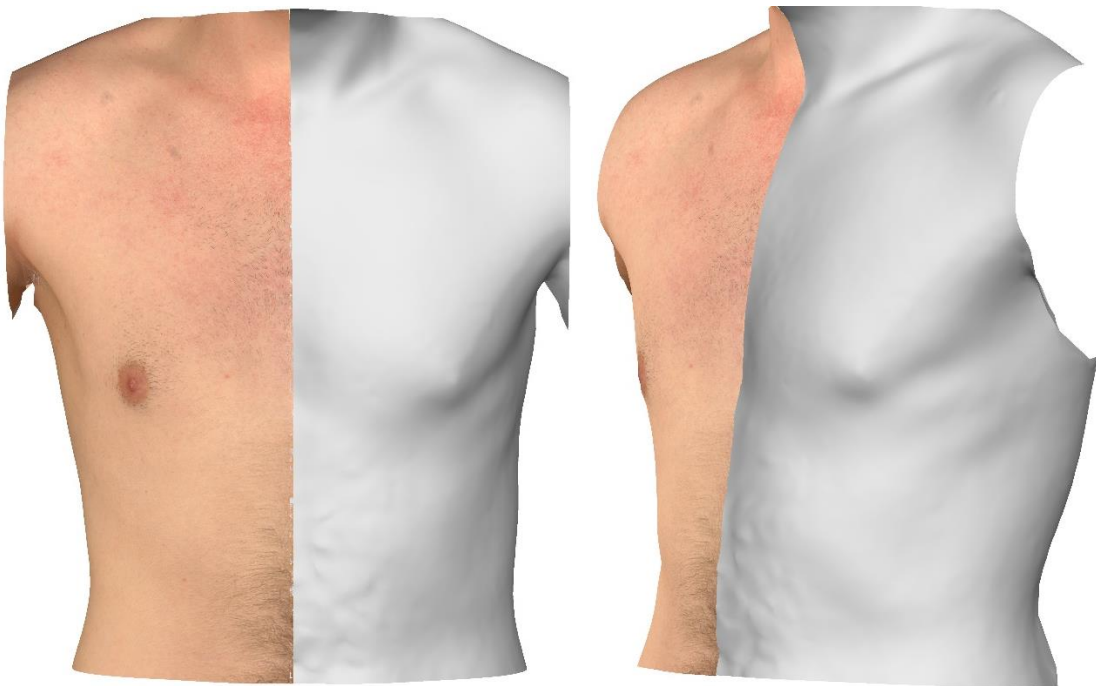


Abbildung 3: Exemplarische Ansicht eines 3-D Modells in geteilter texturierter und nicht-texturierter Darstellung.

Das Vectra System und die Mirror Software wurde im Rahmen der Publikation „3D Mammometric Changes in the Treatment of Idiopathic Gynecomastia“ eingesetzt.

Artec Eva 3D Scanner

Das zuvor genannte Vectra System ist fest installiert und nicht mobil, weshalb der Eva Scanner für 3-D Oberflächenaufnahmen außerhalb des Vectra Einsatzbereiches genutzt wird. Der 3-D Scanner Eva der Firma Artec 3D (Luxemburg) ist ein handgeführtes mobiles Gerät zur hochauflösenden 3-D Oberflächenerfassung.

Das Eva System besteht aus dem Eva 3-D Scanner in Verbindung mit einem mobilen Notebook. Die 3-D Oberflächenerfassung des Eva Gerätes beruht auf dem Strukturlicht Verfahren, welches ein Lichtgitter auf den zu erfassenden Teil des Menschen projiziert. Durch die Deformation des Musters anhand der Körperoberfläche wird diese Veränderung erfasst und ermöglicht die Rekonstruktion als 3-D Oberflächenaufnahme. Dieser Prozess wird circa 16-mal pro Sekunde durchgeführt, um kleinste Oberflächenkrümmungen darzustellen. Zusätzlich wird die Körpertextur mittels integrierter Kamera aufgenommen. In Abhängigkeit der Objektgröße steigt hierdurch die Dauer der 3-D Oberflächenerfassung sowie die Anzahl der einzelnen 3-D Erfassungen.

Die 3-D Prozessierung und Rekonstruktion aus hunderten Einzelaufnahmen werden in der proprietären Artec Studio 12 Software durchgeführt.

Als handgeführte 3-D Kamera ist hierbei der Aufnahmebereich uneingeschränkt, so dass neben der Erfassung des Gesichtes ^{57,90,91}, der Brust ⁹², auch 360° Aufnahmen nahezu des gesamten Körpers ermöglicht werden ⁹³.



Abbildung 4: Handgeführter 3-D Scanner Eva der Firma Artec 3D (Luxemburg). Hier exemplarisch im Einsatz zur 3-D Volumetrie im Rahmen der Arbeit von Publikation 1.

Der Eva 3-D Scanner wurde ebenfalls in der Literatur ausführlich gegenüber verschiedenen Referenzen validiert ^{29,33,78,91,94–96}, hierunter auch dem zuvor beschriebenen Vectra XT System. Dabei wurde die 3-D Oberflächenerfassung als gleichwertig beschrieben ⁸⁶. Auf Grundlage dessen komplementiert der Eva Scanner das Spektrum der möglichen 3-D Oberflächenerfassung.

Der Eva 3-D Scanner und die Mirror Software wurden im Rahmen der Publikation „The Surface-Volume Coefficient of the Superficial and Deep Facial Fat Compartments: A Cadaveric Three-Dimensional Volumetric Analysis“ verwendet.

3-D Volumetrie mittels Mirror Software

In beiden Publikationen wurden die 3-D Modelle in die Mirror Software zur 3-D Auswertung importiert. Zur Messung einer absoluten 3-D Volumenveränderung müssen die korrespondierenden 3-D Modelle vor und nach Intervention zueinander registriert werden. Grundvoraussetzungen ist ein standardisiertes 3-D Aufnahmeverfahren sowie eine etablierte Messmethode, welches in Publikation I und II durchgeführt wurde.

In der Literatur hat sich das Subtraktionsmodell der Mirror Software zur 3-D Volumetrie im Gesichts- und Brustbereich als verlässlich erwiesen ^{72,73}. Hierfür wird ein durch zwei Oberflächen abgeschlossenes Volumen zwischen den 3-D Modellen als Volumenveränderung in Milliliter (ml) berechnet. Durch softwarebasierte Algorithmen werden zuvor jene korrespondierende Oberflächenbereiche zwischen den 3-D Modellen vor und nach Intervention übereinandergelegt, an denen keine Veränderung stattfindet ⁷⁵. Dieser „Iterative Closest Point“ Algorithmus ^{29,30,48,97} und das Subtraktionsmodell in der Mirror Software erfolgt nach initialer manueller Ausrichtung beider 3-D Modelle und Markierung der nicht-interventionellen Areale automatisch ab.

1.4 Zielsetzung

Die vorliegende kumulative Dissertation befasst sich mit der Bedeutung der 3-D Evaluation volumetrischer Veränderungen in der Volumenaugmentation der faszialen Fettkompartimente am anatomischen Frischpräparat und nach Behandlung bei idiopathischer Gynäkomastie.

In der veröffentlichten Arbeit „The Surface-Volume Coefficient of the Superficial and Deep Facial Fat Compartments: A Cadaveric Three-Dimensional Volumetric Analysis“ im Journal „Plastic and Reconstructive Surgery“ (2019) wurde anhand eines standardisierten Modells am anatomischen Frischpräparat kleinste Volumenveränderungen in unterschiedlichen Gesichtskompartimenten untersucht. Als Referenz dienten hierfür die bekannten schrittweisen Injektionsvolumina. Ziele waren die Untersuchung der 3-D volumetrischen Messgenauigkeit gegenüber den bekannten Injektionsvolumina, sowie den Effekt von oberflächlichen und tiefen Volumenapplikationen in unterschiedliche Gesichtskompartimente 3-D volumetrisch zu beschreiben.

In der Publikation „3D Mammometric Changes in the Treatment of Idiopathic Gynecomastia“ im Journal „Aesthetic Plastic Surgery“ (2019) wurde die 3-D volumetrische Auswirkung der operativen Behandlung bei idiopathischer Gynäkomastie am Mann mittels beidseitiger Gewebereduktion durch subkutane Mastektomie und Liposuction untersucht. Als Referenz dienten hierfür das bekannte Resektionsvolumen durch Mastektomie sowie Liposuction, mit zusätzlicher Zentrifugierung des Lipoaspirates. Ziele der Arbeit war die Überprüfung der intraoperativ durch den Operateur bemessene Reduktionsvolumina vor und nach Zentrifugierung gegenüber der postoperativen 3-D Volumetrie nach 6 Monaten, sowie der Vergleich der Auswirkung einer Volumenreduktion mit und ohne Hautstraffung auf das Ausmaß des Mamillen-Areola-Komplexes (MAK).

1.5 Eigenanteil der Arbeiten

In der Studie „The Surface-Volume Coefficient of the Superficial and Deep Facial Fat Compartments: A Cadaveric Three-Dimensional Volumetric Analysis" erstellte ich nach Festlegung der Forschungsfragen als Ko-Autor das Konzept und Studiendesign der 3-D Auswertung mittels Artec Eva Scanner unter Professor Dr. Schenck und Professor Dr. Cotofana. Die 3-D Akquisition und Auswertung der 3-D Datensätze mittels der zuvor beschriebenen 3-D Volumenauswertung wurden durch mich durchgeführt. Anhand der vorhandenen Literatur und der erhobenen 3-D Daten nach Studiendurchführung fertigte ich die grundlegenden Inhalte der 3-D Volumetrie in allen Teilen des Manuskriptes an. Das finale Manuskript wurde von mir visitiert und revidiert.

In der Studie „3D Mammometric Changes in the Treatment of Idiopathic Gynecomastia" erstellte ich als Erst-Autor unter meinem Doktorvater Univ.-Prof. Dr. Riccardo Giunta die Forschungsfragen sowie das Studiendesign dieser Studie. Ich führte die Patientenakquisition, die initialen 3-D Aufnahmen mit dem Vectra Systems, die intraoperativen Bestimmungen von Resektatvolumina mittels Wasserverdrängung und Bestimmung des Lipoaspirates mit anschließender Zentrifugierung eigenständig durch. Die Patientenbetreuung und Nachuntersuchung mit 3-D Aufnahmen wurden von mir durchgeführt. Mittels der zuvor beschriebenen 3-D Volumenauswertung wurden durch mich alle relevanten Daten zusammengetragen und ich führte die statistische Auswertung dieser durch. Das Manuskript wurde vollständig von mir erstellt und nach Sichtung durch alle Ko-Autoren wurden die Kommentare der Koautoren eingearbeitet. Das finale Manuskript wurde nach der Begutachtung im Journal durch mich revidiert und die Kommentare der Gutachter beantwortet sowie inhaltlich eingearbeitet. Die Kommunikation mit dem Editorial und das Proof-Reading bis zur finalen Veröffentlichung erfolgten durch mich.

2. Inhalte der Promotionsarbeit

2.1. Publikation 1

In der Studie „The Surface-Volume Coefficient of the Superficial and Deep Facial Fat Compartments: A Cadaveric Three-Dimensional Volumetric Analysis“ wurden anhand von 4 anatomischen Frischpräparaten die 3-D volumetrische Auswirkung von standardisierten Injektion einer viskösen Füllsubstanz in oberflächliche und tiefe Fettkompartimente des Gesichtes mit dem Eva 3-D Scanner untersucht.

Ein subkutanes Fettkompartiment im Gesicht, das oberflächliche laterale Stirnkompartiment (superficial lateral forehead compartment, SLFC), sowie vier tiefe Fettkompartimente wurden zur spezifischen 3-D volumetrischen Auswirkung schrittweiser Injektionen untersucht. Es wurden das tiefe laterale Stirnkompartiment (deep lateral forehead compartment, DLFC), das tiefe temporale Fettkompartiment (deep temporal compartment, DTC), das sub-orbicularis oculi Fettkompartiment (sub-orbicularis oculi fat compartment, SOOF), sowie das tiefe mediale Wangen Kompartiment (deep medial cheek fat compartment, DMC) untersucht.



Abbildung 5: Versuchsaufbau am anatomischen Frischpräparat. Subkutane vorgelegte Injektionsapparatur zur Befüllung des sub-orbicularis oculi Fettkompartiments.

Alle Kompartimente wurden über eine subkutan vorgelegte Injektionsapparatur in 0,1 ml Schritten mit einer viskös-elastischen röntgendichten Füllsubstanz befüllt. Die korrekte anatomische Lage der Nadel in jedem Kompartiment wurde nach initialer Präparation mittels Röntgendurchleuchtung in allen drei Ebenen verifiziert. Die korrekte Dosierung konnte mit einer 1,0 ml Spritze und deren 0,1 ml Applikationsskala überprüft (siehe Abbildung 5).

Ein initialer 3-D Scan sowie ein Röntgenbild bildeten die Ausgangsbasis für alle Kompartimente der Frischpräparate (siehe Abbildung 4). Konsekutiv wurden die Kompartimente einzeln schrittweise befüllt und dessen Auswirkung 3-D volumetrisch erfasst, sowie mittels Röntgen verifiziert (siehe Abbildung 6). Insgesamt wurden 226 Injektionen und 3-D Scans durchgeführt.

Das Verhältnis aus applizierten Volumina zur gemessenen 3-D Veränderung wurde als „Surface-Volume Coefficient“ (SVC), der 3-D Expansion der Oberfläche zum Volumen, bezeichnet.

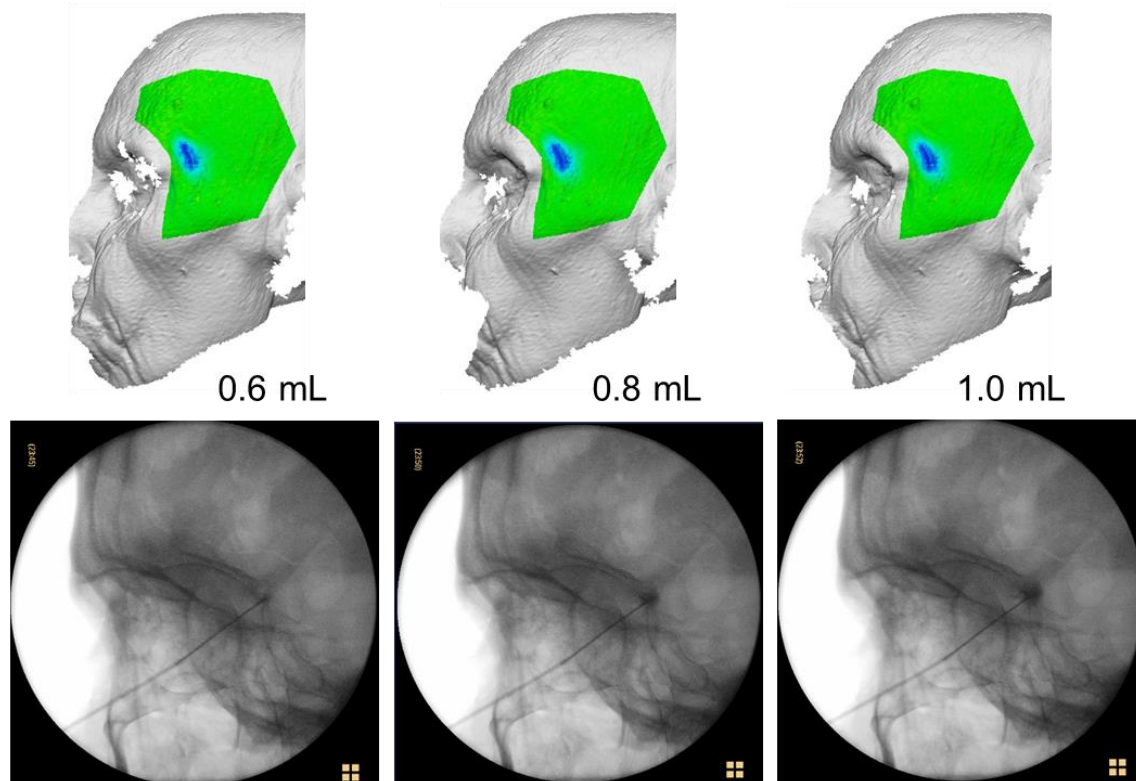


Abbildung 6: Exemplarische Darstellung der schrittweisen Befüllung und 3-D Volumetrie mit Röntgen Verifizierung des tiefen temporalen Fettkompartiments.

Statistisch wurde die Pearson Korrelation (r_p) aus applizierten Volumen zur gemessenen 3-D Volumetrie berechnet. Die Ergebnisse der individuellen Kompartimente wurden in ihrer Gesamtheit über alle Füllvolumina, sowie bei 0,5 ml und 1,0 ml wiedergegeben.

Es zeigten sich folgende Ergebnisse der 3-D Volumetrie in absteigender SVC Wert Reihenfolge als Mittelwert aller Volumenapplikationen der einzelnen Kompartimente. Das SOOF zeigte die höchste Korrelation ($r_p = 0,992$) mit dem höchsten SVC = 0,94, gefolgt vom SLFC mit $r_p = 0,824$ und SVC = 0,74, dem DLFC mit $r_p = 0,814$ und SVC = 0,68, sowie dem DTC mit $r_p = 0,947$ und SVC = 0,64. Das DMC zeigte die niedrigste Korrelation mit $r_p = 0,745$ und den niedrigsten SVC = 0,29.

Diese Ergebnisse ermöglichen eine Aussage über die Validität und Zuverlässigkeit der 3-D Volumetrie bei kleinsten Injektionsvolumina. Jedes der ausgewählten Fettkompartimente zeigte eine individuelle Expansion unter der schrittweisen Injektion, welche mittels 3-D Oberflächenscan verifiziert werden konnte.

Arbeitsanteil aller Autoren:

- Im Rahmen meiner Ko-Autorenschaft erstellte ich das Konzept und Studiendesign, führte die 3-D Akquisition und Auswertung der 3-D Datensätze durch, und fertigte die grundlegenden Inhalte der 3-D Volumetrie in allen Teilen des Manuskriptes. Das finale Manuskript wurde von mir visitiert und revidiert.
- Herr Professor Dr. Cotofana ermöglichte die Umsetzung des Projektes, unterstützte die statistische Auswertung und Interpretation der gewonnenen 3-D volumetrischen Daten im klinischen Kontext, und war als Erstautor richtungsweisend in der Ausarbeitung aller Teile des finalen Manuskriptes beteiligt.
- Herr Dr. Frank war unterstützend in der 3-D Akquisition sowie an der Ausarbeitung des finalen Manuskriptes beteiligt.

- Herr Dr. Green war an der kritischen Überprüfung der klinischen Aspekte des Manuskriptes und Interpretation der gewonnenen Daten im klinischen Kontext beteiligt.
- Herr Etzel war an der Ausarbeitung des initialen Konzeptes und Auswertungsdesigns, sowie unterstützend in der Ausarbeitung des finalen Manuskriptes beteiligt.
- Herr Professor Dr. Giunta hat das 3D Aufnahmegerät bereitgestellt und war an der Ausarbeitung und kritischen Überprüfung aller Teile des Manuskriptes beteiligt.
- Herr Professor Dr. Schenck ermöglichte die Umsetzung des Projektes, führte die subkutanen Präparationen und Lageüberprüfung der Injektionssysteme durch, unterstützte die Interpretation der gewonnenen 3-D volumetrischen Daten im klinischen Kontext, und war als Letztautor richtungsweisend an der Ausarbeitung aller Teile des Manuskriptes beteiligt.

2.2. Publikation 2

In der Studie „3D Mammometric Changes in the Treatment of Idiopathic Gynecomastia" wurden anhand der operativen Behandlung von 30 Patienten mit einer idiopathischen Gynäkomastie im Stadium II A bis B nach Simon die 3-D volumetrische Auswirkung auf das Brustvolumen und den Mamillen-Areola-Komplex (MAK) mit dem Vectra Systems untersucht.

Bei allen Studienpatienten bestand die Indikation zur operativen Behandlung der idiopathischen Gynäkomastie. Hierfür wurde eine beidseitige Gewebereduktion durch bilaterale subkutane Mastektomie (BSM) und Wasserstrahl-assistierter Liposuction (WAL) durchgeführt. 8 dieser Studienpatienten erhielten zusätzlich eine beidseitige periareoläre Straffung.

Präoperativ und 6 Monate postoperativ erfolgten standardisierte 3-D Oberflächenaufnahmen mittels Vectra System um die Veränderung des Brustvolumens sowie die Auswirkung mit und ohne Straffung auf den MAK zu untersuchen. Als Volumenreferenz gegenüber der 3-D Volumetrie wurde pro Brustseite die Summe aus intraoperativ mittels Wasserverdrängung gemessenen Brustdrüsenresektatvolumen sowie dem gewonnenen dekantierten Lipoaspirat der WAL gemessen. Zusätzlich wurde das Lipoaspirat im Anschluss bei 1200 Umdrehungen pro Minute für insgesamt 3 Minuten zentrifugiert, da aus der Literatur bekannt ein verbleibender Wasseranteil im Lipoaspirat vermutet wurde. Somit bestand der volumetrische Vergleich aus intraoperativ summierten Resektat- und Lipoaspiratvolumina, dem intraoperativ summierten Resektat- und zentrifugierten Lipoaspiratvolumen, sowie der 3-D Volumetrie. Die Auswirkung der BSM und WAL auf den MAK wurden mittels 3-D Oberflächenanalyse in der Position und den Durchmesser des MAK digital vermessen.

Zur statistischen Analyse der Daten wurden bei verbunden kontinuierlichen Stichproben der gepaarte T-Test sowie Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test Test durchgeführt.

In der Auswertung zeigte sich das intraoperativ summierte Resektat- und Lipoaspiratvolumen um $61,9 \pm 20$ ml signifikant ($p < 0,001$) größer als gegenüber der Summe aus Resektat und zentrifugiertem Lipoaspirat, welches nur $66,5 \pm 6,9$ % der zuvor geschätzten Volumina ausmachte. Die 3-D Volumetrie nach 6

Monaten zeigte $52,3 \pm 9,7$ % der intraoperativ geschätzten Gewebereduktion ohne Zentrifugierung mit einer statistisch signifikanten Abweichung von $89,1 \pm 28,2$ ml ($p < 0,001$). Im Vergleich gegenüber der Gewebereduktion mit Zentrifugierung des Lipoaspirates zeigte die 3-D Volumetrie $78,7 \pm 12,7$ % der erwarteten Volumenreduktion mit einer statistisch signifikanten Abweichung um $27,2 \pm 8,2$ ml ($p < 0,001$).

In der Gruppe der BSM und WAL ohne periareoläre Straffung zeigte die alleinige Gewebereduktion in der 3-D Oberflächenanalyse eine signifikante Verkleinerung des MAK um $15,7 \pm 14,3$ % im vertikalen Durchmesser, sowie $17,1 \pm 15,0$ % im horizontalen Durchmesser nach 6 Monaten. Im Vergleich zeigten sich keine statistisch signifikanten Veränderungen in der Gruppe der Patienten mit zusätzlicher Straffung gegenüber den intraoperativ festgelegten MAK-dimensionen in der vertikalen ($p = 0,166$) und horizontalen ($p = 0,297$).

Die Ergebnisse unserer Studie zeigten hohe signifikante Unterschiede in der Veränderung des Brustvolumens nach BAL und WAL beim Vergleich der validierten 3-D Volumetrie nach 6 Monaten gegenüber der intraoperativ angenommenen Volumenreduktion mit und ohne Zentrifugation. Der Unterschied lässt sich am ehesten auf der Zusammensetzung des Lipoaspirates sowie der postoperativen Heilung und Narbenbildung. Das Mastektomievolumen machte in der Diskussion hingegen nur einen Bruchteil des summierten Reduktionsvolumens aus. Zusätzlich zeigte sich durch die Volumenreduktion als drei-dimensionaler Effekt auf die Körperoberfläche eine signifikante Reduktion beider MAK Durchmesser ohne zusätzliche Straffung. Beides konnte erfolgreich mittels validierter 3-D Oberflächenaufnahme quantifiziert werden.

Arbeitsanteil aller Autoren:

- Im Rahmen dieser Erst-Autorenschaft erstellte ich unter meinem Doktorvater Univ.-Prof. Dr. Riccardo Giunta die Forschungsfragen sowie das Studiendesign dieser Studie. Ich führte die 3-D Aufnahmen, die Patientenbetreuung, Datenakquisition und die statistische Auswertung aller 3-D-Daten durch. Das Manuskript wurde von mir erstellt und nach Sichtung durch alle Ko-Autoren wurden die Kommentare der Koautoren eingearbeitet. Das finale Manuskript wurde nach der Begutachtung im

Journal durch mich revidiert und die Kommentare der Gutachter beantwortet sowie inhaltlich eingearbeitet.

- Herr Dr. Frank war unterstützend in der Ausarbeitung und Überprüfung aller Teile des Manuskriptes beteiligt.
- Herr Etzel war unterstützend in der 3-D Akquisition, sowie an der Ausarbeitung des finalen Manuskripts beteiligt.
- Herr Professor Dr. Schenck war an Interpretation der gewonnenen Daten im klinischen Kontext, sowie Ausarbeitung aller Teile des Manuskriptes beteiligt.
- Herr Professor Dr. Giunta ermöglichte die Umsetzung des Projektes, war beteiligt in der Interpretation der gewonnenen 3-D volumetrischen Daten sowie Einordnung im klinischen Kontext, und war als Letztautor richtungsweisend in der Ausarbeitung aller Teile des finalen Manuskriptes beteiligt.

3. Zusammenfassung

Ziel dieser kumulativen Dissertation war die Bedeutung der 3-D Evaluation volumetrischer Veränderungen in der Volumenaugmentation der fazialen Fettkompartimente am anatomischen Frischpräparat und nach Behandlung bei idiopathischer Gynäkomastie zu untersuchen.

In der Literatur wurden für zahlreiche 3DSI Systeme Validierungsstudien am Gesicht mittels Distanz- und Oberflächenvergleich gegenüber anthropometrischer oder digitaler Messung an CT oder MRT Datensätzen durchgeführt. Als Grundlage dieser wurden klinische Studie mit 3-D volumetrischen Messungen durchgeführt, deren Aussagekraft jedoch nicht Bestandteil der initialen Validierung waren. Eine standardisierte Untersuchung der 3-D Volumetrie mit kleinsten Volumenveränderungen im Gesichtsbereich kann hierbei eine Grundlage für weiterführende Studien sein.

Die erste Studie über die 3-D Volumetrie unter standardisierten Bedingungen am anatomischen Frischpräparat zeigte die Möglichkeit sowohl kleine Volumeninjektionen im Bruchteil eines Milliliters zu detektieren als auch die Auswirkung unterschiedlicher Applikationsregionen und -tiefen auf die Oberflächenexpansion und damit volumetrischer Messbarkeit darzustellen. Dies wurde im Surface-Volume Coefficient, SVC, für 5 Fettkompartimente an insgesamt 226 Injektionen und 3-D Oberflächenaufnahmen für den etablierten Eva 3-D Scanner am Gesicht beschrieben.

Vergleichend zeigt die Literatur eine Studie über die 3-D Volumetrie an der Wange mit hoch signifikanter Korrelation jedoch deutlicher Abweichung gegenüber der injizierten Kochsalz Volumina ⁶⁴. Unsere Studiendaten ermöglichten eine dedizierte Analyse der 3-D Volumetrie im klinischen Kontext der Gesichtsanatomie und deren Fettkompartimente. Mehrere Studien unterschiedlicher Forschungsgruppen nutzten unter anderem die 3-D Volumetrie zur Beurteilung des Erfolges autologen Fetttransfers im Gesichtsbereich ^{60,62} sowie der Volumenaugmentation mit Füllsubstanzen in unterschiedliche Regionen ^{56,63,65,98,99}. Diskutabel sind hierbei die Grundlage der volumetrischen Aussagen, da neben Schwellung, Hämatombildung sowie Resorption auch die Einbringtiefe und damit der individuelle SVC eine Auswirkung auf die 3-D

Messung haben können. Zwar lassen sich am anatomischen Präparat keine physiologischen Zustände wie der orthostatische Druck und Schwellung darstellen, jedoch können weiterführende Studien diesen Faktor auf Grundlage der gewonnenen Daten am anatomischen Model untersuchen. Dies konnte bereits in einer klinischen Studie für eine anatomische Region an Studienpatienten erfolgreich untersucht werden ¹⁰⁰. Die gemessenen Daten entsprachen dem in unserer Studie erhobenen SVC Werten. Zukünftig könnten mittels 3DSI Volumetrie auch unterschiedliche Therapieformen verglichen werden.

Gegenüber der 3-D Volumetrie im Gesichtsbereich finden sich zum 3DSI in der Brustchirurgie zahlreiche Validierungsstudien der Brustvolumenerfassung und -veränderung. Während absolute 3-D Volumen der Brust zum Zeitpunkt der 3-D Untersuchung aufgrund der fehlenden Thoraxhinterwand nur eingeschränkte Gültigkeit haben ^{31,32,70}, ermöglicht die 3-D Volumetrie genaue Aussagen in der klinischen Verlaufskontrolle nach Operationen wie nach Brustaufbau mit Implantaten ^{4,25,75}, der Brustreduktion ^{25,101}, sowie der Brustrekonstruktion mit Expander und autologem Eigengewebe ^{80,81,102}. Diese für den Behandler klar definierten und in der Operation selbst messbaren Volumenveränderungen unterliegen im Heilungsverlauf definierten Veränderungen, welche auch mittels 3DSI bereits beschrieben wurden. Komplexe Volumenveränderungen wie durch die Volumenreduktion mittels Liposuction werden zwar regelhaft in Operationsberichten angegeben, zeigen jedoch eine Diskrepanz zwischen den entfernten Volumina und dem postoperativen Befund.

In der zweiten Studie über die 3-D Volumetrie nach BAL und WAL zur Volumenreduktion bei idiopathischer Gynäkomastie zeigte die Diskrepanz zwischen intraoperativ erhobener Volumenreduktion aus Brustdrüsenresektat und Lipoaspirat gegenüber der 3-D volumetrisch erfassten Volumenveränderung 6 Monate nach Operation. Zusätzlich wurde die Auswirkung der Volumenreduktion 3-D morphologisch auf den MAK bei Patienten mit und ohne periareoläre Straffung untersucht.

Es zeigten sich statistisch signifikante Abweichungen der 3-D Volumetrie um durchschnittlich 48,7 % gegenüber der Volumenreduktion mit nicht zentrifugiertem Lipoaspirat, sowie um durchschnittlich 21,3 % mit zentrifugiertem

Lipoaspirat. Der postoperative Volumenzustand war nach 6 Monaten somit 3-D morphologisch signifikant größer als intraoperativ durch BAL und WAL erwartet. Hierbei entspricht das Mastektomievolumen nur einem Bruchteil am gesamten Volumen, wodurch der Hauptunterschied im Lipoaspirat vermutet wird. Durch Zentrifugierung reduzierte sich zwar der Unterschied gegenüber der 3-D Volumetrie, weitere Ursachen wie subkutane Fibrosierung und Reorganisation im Heilungsprozess nach Liposuction können eine Rolle spielen. Dies ist auch eine Erklärung für die signifikante Reduktion der MAK Diameter ohne Straffung. Eine subkutane Kontraktur könnte zur Schrumpfung der gemessenen Ausmaße beitragen. Dies wurde bereits in anderen Studien zur laser-assistierten Liposuction an klinischen Messungen ohne 3DSI beschrieben ¹⁰³.

Wenige Studien befassten sich mit der Untersuchung des Liposuctions Effektes mittels 3DSI. Eine Studie über die Liposuction am Abdomen zeigte eine schwache Korrelation des Lipoaspirates gegenüber der 3-D erfassten Volumenreduktion nach 10 Wochen ¹⁰⁴. Da Standardisierung ein bedeutender Teil einer suffizienten 3-D Evaluierung darstellt, ermöglicht unser klar umschriebenes Operationsfeld an der männlichen Brust eine valide 3-D Volumetrie gegenüber der eher diffusen und schwer abgrenzbaren abdominellen Region. Zukünftige Studien könnten mittels 360° 3DSI Systemen die Auswirkung von Gewebereduktion durch Liposuction ermöglichen ¹⁰⁵.

Zusammenfassend ermöglicht die berührungslose, nicht-invasive und strahlungsfreie 3DSI Technologie die Beschreibung einer Vielzahl plastisch-chirurgischer Eingriffe mittels objektiver 3-D Daten. Zuvor wurden postoperative Veränderungen sowie Interventionen häufig nur eingeschränkt mittels objektiver Messwerte, prä- und postoperativen Fotos, sowie dem subjektiven Empfinden der Behandler beschrieben. Hier ist es dem Behandler auch nur zum Zeitpunkt der Untersuchung möglich klinisch-relevante Vermessungen durchzuführen. 3DSI bietet hingegen auch die Möglichkeit retrospektiv sowie unter Erweiterung des digitalen Messspektrums die prä- und postoperative 3-D Oberflächenaufnahmen zu untersuchen. Insbesondere die 3-D Erfassung volumetrischer Unterschiede, welche sich unter der von außen ersichtlicher Körperform darstellen waren zuvor nur indirekt durch den Behandler untersuchbar oder benötigten bildgebende Verfahren wie mittels CT und MRT.

In den dargestellten Studien konnten bislang nicht ausreichend geklärte Fragen über die Bedeutung der 3-D Oberflächenerfassung in der objektiven Erfassung kleinster volumetrischer Veränderungen im Gesichtsbereich am anatomischen Modell, sowie die Auswirkung komplexer Gewebereduktion durch Liposuction im Brustbereich aufgearbeitet werden.

Die 3DSI könnte in der Zukunft durch die Möglichkeit zur Dokumentation und Evaluierung von Form, Kontur, Volumina, und Symmetrie einen bedeutenden Schritt in der Evidenz-basierten Medizin für plastisch-chirurgische Eingriffe leisten.

4. Summary

The aim of this cumulative dissertation was to investigate the significance of 3-D evaluation of volumetric changes in volume augmentation of facial fat compartments on fresh anatomical specimens and after treatment for idiopathic gynecomastia.

In the literature, validation studies have been performed for numerous 3DSI systems on the face by means of distance and surface comparison compared to anthropometric or digital measurement on CT or MRI data sets. As a basis for these studies, clinical studies with 3-D volumetric measurements were performed, but their validity was not part of the initial validation. A standardized investigation of 3-D volumetry with smallest volume changes in the facial area can be a basis for further studies.

The first study on 3-D volumetry under standardized conditions on freshly prepared anatomical specimens showed the possibility of detecting small volume injections in a fraction of a millilitre as well as the effect of different application regions and depths on surface expansion and thus volumetric measurability. This was described in the surface volume coefficient, SVC, for 5 fat compartments on a total of 226 injections and 3-D surface images for the established Eva 3-D scanner on the face.

In comparison, the literature shows a study of 3-D cheek volumetry with highly significant correlation but significant deviation from the injected saline volumes⁶⁴. Our study data allowed a dedicated analysis of 3-D volumetry in the clinical context of facial anatomy and its fat compartments. Several studies of different research groups used 3-D volumetry to evaluate the success of autologous fat transfer in the facial area^{60,62} as well as volume augmentation with fillers in different regions^{56,63,65,98,99}. The volumetric statements are the basis for discussion, since in addition to swelling, hematoma formation and resorption, the insertion depth and thus the individual SVC can also have an effect on the 3-D measurement. Although physiological conditions such as orthostatic pressure and swelling cannot be represented on the anatomical preparation, further studies can investigate this factor on the basis of the data obtained using the anatomical model. This has already been successfully investigated in a clinical

study for an anatomical region in study patients ¹⁰⁰. The measured data corresponded to the SVC values obtained in our study. In the future, 3DSI volumetry could also be used to compare different forms of therapy.

In contrast to 3-D volumetry in the facial region, 3DSI in breast surgery is used in numerous validation studies of breast volume measurement and alteration. While absolute 3-D volumes of the breast at the time of the 3-D examination are only valid to a limited extent due to the lack of a posterior thoracic wall ^{31,32,70}, 3-D volumetry allows precise statements to be made in clinical follow-up after operations such as breast augmentation with implants ^{4,25,75}, breast reduction ^{25,101}, as well as breast reconstruction with expander and autologous tissue ^{80,81,102}. These volume changes, which are clearly defined for the practitioner and measurable during the operation itself, are subject to defined changes during the healing process, which have also already been described using 3DSI. Complex volume changes such as those caused by volume reduction by liposuction are regularly reported in surgical reports but show a discrepancy between the volumes removed and the postoperative findings.

In the second study on 3-D volumetry after BAL and WAL for volume reduction in idiopathic gynecomastia, the discrepancy between intraoperatively recorded volume reduction from mammary gland resectate and lipoaspirate compared to the 3-D volumetrically recorded volume change 6 months after surgery. In addition, the effect of volume reduction 3-D morphologically on the NAC in patients with and without periareolar tightening was investigated.

Statistically significant differences in 3-D volumetry of 48.7% compared to volume reduction with non-centrifuged liposuction and 21.3% with centrifuged liposuction were found. The postoperative volume status after 6 months was thus 3-D morphologically significantly greater than expected intraoperatively by BAL and WAL. In this case, the mastectomy volume corresponds to only a fraction of the total volume, so the main difference is assumed to be in the lipoaspirate. Although centrifugation reduced the difference compared to 3-D volumetry, other causes such as subcutaneous fibrosis and reorganisation in the healing process after liposuction may play a role. This is also an explanation for the significant reduction of the NAC diameter without tightening. A subcutaneous contracture could contribute to the shrinkage of the measured diameters. This has already

been described in other studies on laser-assisted liposuction on clinical measurements without 3DSI ¹⁰³.

Few studies have dealt with the examination of the liposuction effect using 3DSI. One study on abdominal liposuction showed a weak correlation of liposuction compared to the 3-D recorded volume reduction after 10 weeks ¹⁰⁴. As standardization is an important part of a sufficient 3-D evaluation, our clearly defined surgical field on the male breast allows valid 3-D volumetry in comparison to the rather diffuse and difficult to define abdominal region. Future studies could enable the effect of tissue reduction by liposuction using 360° 3DSI systems ¹⁰⁵.

In summary, the non-contact, non-invasive and radiation-free 3DSI technology allows the description of a variety of plastic surgery procedures using objective 3-D data. Previously, postoperative changes and interventions were often only described to a limited extent using objective measurements, pre- and postoperative photos and the subjective perception of the practitioner. In these cases, the practitioner is only able to make clinically relevant measurements at the time of the examination. 3DSI, on the other hand, also offers the possibility to examine the pre- and post-operative 3-D surface images retrospectively and by expanding the digital measurement spectrum. In particular, the 3-D recording of volumetric differences that are displayed under the externally visible body shape could previously only be examined indirectly by the practitioner or required imaging procedures such as CT and MRI.

In the studies presented here, it has not yet been possible to answer questions about the significance of 3-D surface imaging in the objective recording of the smallest volumetric changes in the facial area on the anatomical model, as well as the effect of complex tissue reduction by liposuction in the breast area.

In the future, 3DSI could make a significant step forward in evidence-based medicine for plastic surgery by providing the possibility to document and evaluate shape, contour, volume, and symmetry.

5. Publikationen

Publikation 1:

COSMETIC

The Surface-Volume Coefficient of the Superficial and Deep Facial Fat Compartments: A Cadaveric Three-Dimensional Volumetric Analysis

Sebastian Cotofana, M.D.,
Ph.D.
Konstantin C. Koban
Frank Konstantin, M.D.
Jeremy B. Green, M.D.
Lucas Etzel
Riccardo E. Giunta, M.D.,
Ph.D.
Thilo L. Schenck, M.D.,
Ph.D.

Albany, N.Y.; Munich, Germany; and
Coral Gables, Fla.

Background: Soft-tissue filler injections for the treatment of facial aging can result in different skin surface effects depending on the targeted facial fat compartment and fascial plane. This work investigates the tissue response of defined amounts of soft-tissue filler material injected into superficial and deep facial fat compartments by means of the calculation of the surface-volume coefficient.

Methods: Four fresh frozen cephalic specimens obtained from human donors (three female and one male; mean age, 74.96 ± 22.6 years; mean body mass index, 21.82 ± 6.3 kg/m²) were studied. The superficial and deep lateral forehead compartments, deep temporal fat pad, sub-orbicularis oculi fat compartment, and deep medial cheek fat compartment were injected with aliquots of 0.1 cc of contrast-enhanced material and scanned using three-dimensional surface imaging, resulting in a total of 226 injection and scanning procedures.

Results: The sub-orbicularis oculi fat compartment revealed the highest correlation coefficient ($r_p = 0.992$; $p < 0.001$) and the highest surface-volume coefficient (0.94). The compartment with the lowest tissue response was the deep medial cheek fat compartment ($r_p = 0.745$; $p < 0.001$; surface-volume coefficient = 0.29), followed by the deep lateral forehead compartment ($r_p = 0.814$; $p < 0.001$; surface-volume coefficient = 0.68), superficial lateral forehead compartment ($r_p = 0.824$; $p < 0.001$; surface-volume coefficient = 0.74), and deep temporal fat pad ($r_p = 0.947$; $p < 0.001$; overall surface-volume coefficient = 0.64).

Conclusions: These results, confirmatory in their nature to current injection strategies, provide evidence for the validity and reliability of the surface-volume coefficient. Injection procedures should be targeted in terms of facial fat compartments and fascial planes for a desired aesthetic outcome, as each fat compartment and fascial plane has unique tissue responses to injected soft-tissue fillers. (*Plast. Reconstr. Surg.* 143: 1605, 2019.)

Facial aging is a multifactorial process resulting in a range of physiologic and morphologic changes in both the hard and soft tissues of the face, including the bones, ligaments, muscles, fasciae, subcutaneous fat, and skin. The onset and the pace of age-related changes in each structure vary between different individuals, sexes, and ethnicities.¹ The use of soft-tissue filler

injections to address the signs of facial aging has increased, according to a statistical survey by the American Society of Plastic Surgeons. Between the years 2000 and 2017, the number of soft-tissue filler procedures increased by 312 percent.² There is evidence that with increasing age, the total fat mass is redistributed as subcutaneous fat relocates to the liver, bone marrow, and various other intraabdominal and ectopic fat depots.³⁻⁵ The loss of subcutaneous fat in the face results in

From the Department of Medical Education, Albany Medical College; the Department for Hand, Plastic, and Aesthetic Surgery, Ludwig Maximilian University of Munich; and Skin Associates of South Florida.

Received for publication June 29, 2018; accepted November 27, 2018.

Copyright © 2019 by the American Society of Plastic Surgeons

DOI: 10.1097/PRS.0000000000005524

Disclosure: None of the authors has any commercial associations or financial disclosures that might pose or create a conflict of interest with the methods applied or the results presented in this article.

www.PRSJournal.com

1605

Copyright © 2019 American Society of Plastic Surgeons. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

volume loss of the superficial and the deep facial fat compartments, which has been summarized as the fatty-deflation theory.^{6–11} The application of soft-tissue fillers aims to restore this volume loss by means of injections of augmenting material into the superficial and deep facial fat compartments to restore the youthful appearance of the face.

The effect of soft-tissue filler on facial surface projection depends on the injection plane (i.e., deep or superficial fat compartment), the volume of material, and its inherent characteristics such as its water-binding capacity, resistance to deformation, tissue integration potential, and propensity to migrate.¹² It can be hypothesized that a defined volume (e.g., 0.5 cc) of injected soft-tissue filler material might result in different surface projection effects depending on the fat compartment or tissue layer of product placement. Although it is of considerable clinical importance to understand the facial projection response to soft-tissue fillers injected into specific fat compartments at specified depths, to date no study has investigated this relationship.

This investigation seeks to analyze the relationship between the change in surface projection as measured by three-dimensional surface volumetric scanning and the amount of soft-tissue filler injected for various superficial and deep facial fat compartments. The results of these analyses will help to compute the surface-volume coefficient, a novel measurement that can potentially aid aesthetic physicians in identifying facial regions and fascial planes with high versus low tissue response to soft-tissue filler injections.

MATERIALS AND METHODS

Sample

The study sample consisted of four fresh frozen (not embalmed) cephalic specimens obtained from human donors (three female and one male) with a mean age of 74.96 ± 22.6 years (range, 53 to 100 years) and a mean body mass index of 21.82 ± 6.3 kg/m² (range, 16.06 to 31.85 kg/m²). Body donors were screened and not included in this analysis if previous facial operations, trauma, or diseases disrupted the integrity of the facial anatomy. Each body donor provided informed consent while alive for the use of their body for medical, scientific, and educational purposes.

Injection Procedure

One subcutaneous facial fat compartment (i.e., superficial lateral forehead compartment) and four deep facial fat compartments (i.e., deep

lateral forehead compartment, deep temporal fat pad, sub-orbicularis oculi fat compartment, and deep medial cheek fat compartment) were investigated. Superficial and deep fat compartments were identified and injected using a 20-gauge, 1-inch sharp needle attached to a 6-cm-long polytetrafluoroethylene hose connected to a 1.0-cc syringe (Braun GmbH, Frankfurt, Germany). Each compartment was injected from deep (not transcutaneous), performing the deep approach (i.e., insertion of the needle through the supra-periosteal plane deep to the overlying soft tissues), preserving overlying tissue integrity and skin. The correct position of the needle was verified radiologically in three dimensions using fluoroscopic imaging (Fig. 1), and the precise volume of each 0.1-cc aliquot of injected material was controlled manually using the 0.1-cc scale of the syringe.

Each compartment was injected using contrast-enhanced material consisting of Visipaque 320 mg/ml (Iodixanol; GE Healthcare, Little Chalfont, United Kingdom) and Resource ThickenUp Clear (Nestlé HealthCare Nutrition GmbH, Vienna, Austria). The injectate was highly viscoelastic—comparable to hyaluronic acid-based soft-tissue filler—to avoid diffusion outside the intended facial fat compartment. The aliquots per injection for all fat compartments were 0.1 cc, except for the deep temporal fat pad, which was injected with aliquots consisting of 0.2 cc of injectate per injection/scanning procedure.

Imaging Procedure

Both superficial and deep facial fat compartments were injected with aliquots of 0.1 cc of contrast-enhanced material. The material was verified simultaneously during the injection process for correct placement using fluoroscopic imaging. After the injection of each 0.1-cc aliquot, volumetric surface scans were performed using an Eva three-dimensional surface imaging device (Artec 3D, Inc., Luxembourg).¹³ All injection procedures were performed by the same investigator (T.L.S.), and all scanning procedures were performed by the same investigator (K.C.K.) (Fig. 1).

Data Analyses

Obtained three-dimensional images were imported into the Mirror Software Suite (Canfield Scientific, Inc., Parsippany, N.J.) for further analysis. Images captured with each scanning procedure were aligned to their respective baseline three-dimensional scan to compute differences in surface projection. The minimum appreciable

1606

Copyright © 2019 American Society of Plastic Surgeons. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

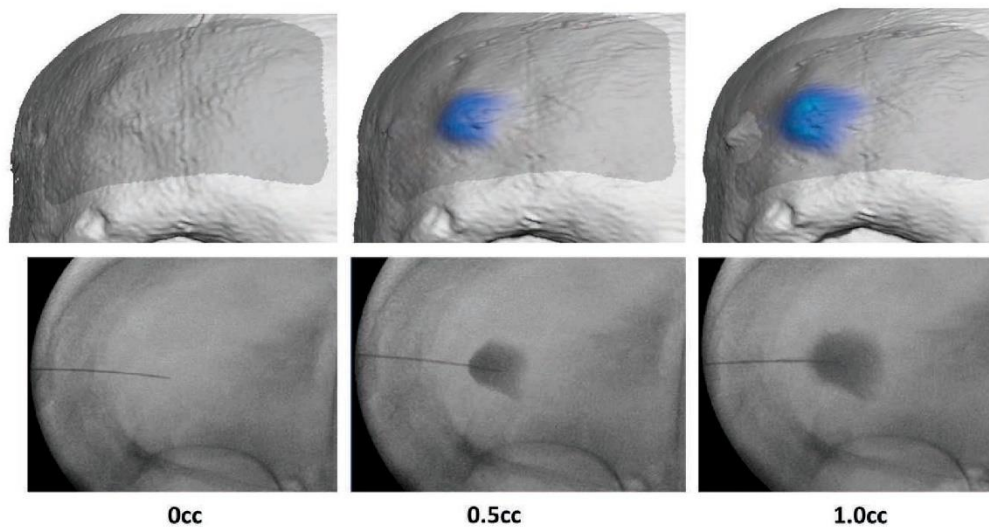


Fig. 1. Panel showing the processed three-dimensional scans using the Eva device (*above*) and radiographic images (*below*) for each injection step of the superficial lateral forehead compartment. The heat map (*above*) shows decreases in volume as dark red and increases as dark blue. Radiographic imaging was also used to assess the right position and location of the filler and performed in two layers.

calculated difference in surface projection between the baseline and postinjection images was 0.1 mm. To calculate the differences in surface projection between the baseline and each subsequent three-dimensional scan, the surface-to-surface root-mean-square analysis and the iterative closest point algorithm included in the Mirror Software Suite program were used.

Statistical Analyses

Each of the five different facial fat compartments was injected and scanned in each of the four cephalic specimens available, resulting in a total of 226 injection and scanning procedures performed in the experimental part of the study. The Pearson correlation coefficient (r_p) was calculated between the amount injected and the measured volume, with the latter representing clinically the increase in compartment-specific surface projection. The Pearson correlation coefficient values were considered as follows: 0.9 to 1.0, very high; 0.7 to 0.9, high; 0.5 to 0.7, moderate; 0.3 to 0.5, low; and 0.0 to 0.3, negligible correlation (Fig. 2).¹⁴ The surface-volume coefficient for each compartment was calculated by dividing the absolute change in scanned surface projection (in cubic centimeters) by the amount of injected volume (in cubic centimeters). This coefficient provides information on

the surface effect of a defined amount of injected volume, which could represent the effectiveness of the injected material. A coefficient of 1.0 could be interpreted as very efficient, whereas a coefficient of 0 could be regarded as nonefficient (i.e., none of the injected material had an effect on the surface) (Fig. 3). The Fisher r -to- z transformation was performed to calculate differences between the correlation coefficients obtained from each different fat compartment. Statistical analyses were performed using IBM SPSS Version 23 (IBM Corp., Armonk, N.Y.), and results were considered statistically significant for values of $p \leq 0.05$ to guide conclusions.

RESULTS

A total of 226 injection and scanning procedures were performed. The mean correlation coefficient between the injected volume and the measured volume (i.e., the change in surface projection) was $r_p = 0.673$ overall ($p < 0.001$). The mean overall surface-volume coefficient was 0.62, with a surface-volume coefficient of 0.62 at 0.5 cc of injection volume and 0.63 at 1.00 cc of injection volume independent of the investigated compartment.

1607

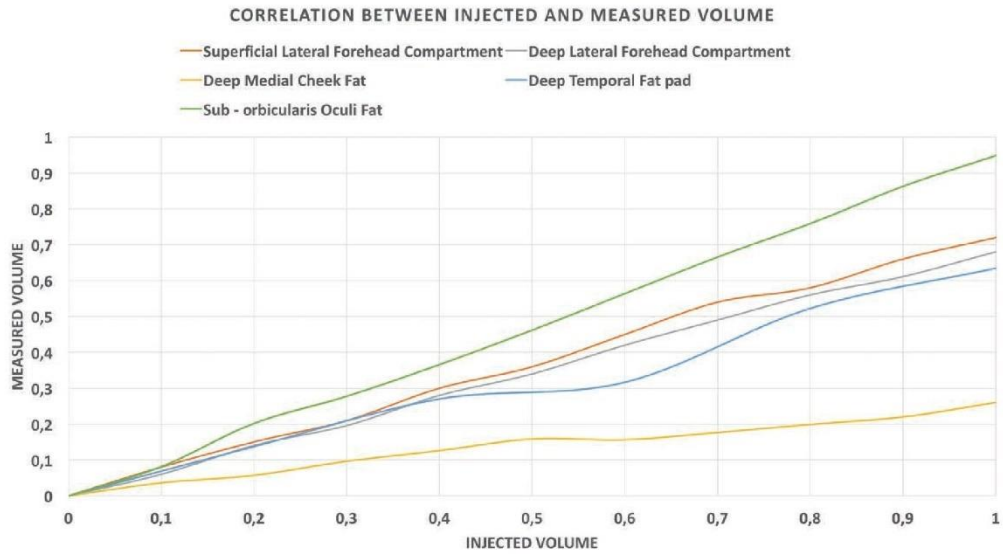


Fig. 2. Scatter plot with smooth lines showing the injected volume and measured three-dimensional volume for the superficial lateral forehead compartment, the deep lateral forehead compartment, the deep temporal fat pad, the deep medial cheek fat compartment, and the sub-orbicularis oculi fat compartment.

Superficial Lateral Forehead Compartment

The correlation coefficient between the injected volume and the measured volume (i.e.,

the change in surface projection) was $r_p = 0.824$ ($p < 0.001$) (Table 1). The overall surface-volume coefficient across all injection increments was

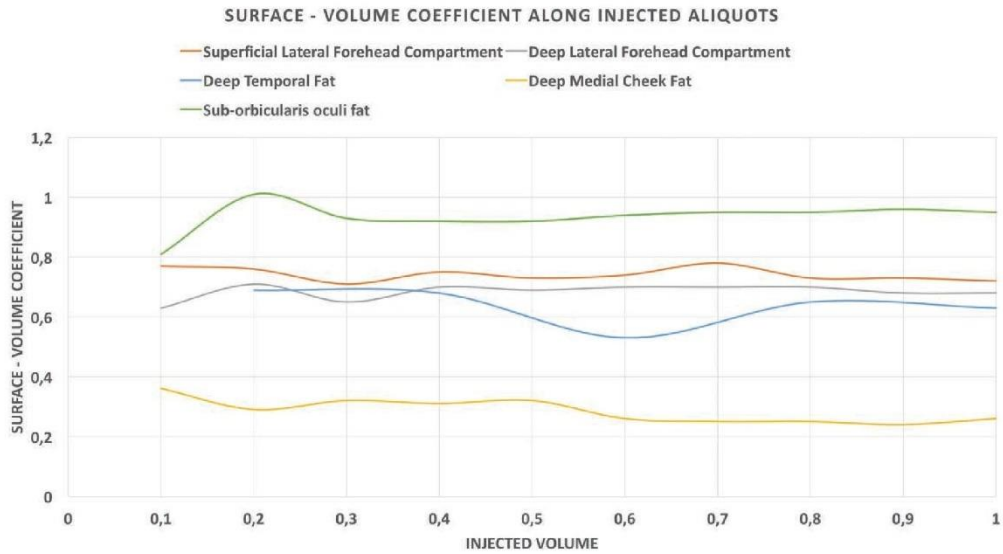


Fig. 3. Scatter plot with smooth lines showing the injected volume and surface-volume coefficient for the superficial lateral forehead compartment, the deep lateral forehead compartment, the deep temporal fat pad, the deep medial cheek fat compartment, and the sub-orbicularis oculi fat compartment.

1608

0.74. At 0.5 cc of injected volume, the surface-volume coefficient was 0.73, and at 1.00 cc of injectate, it was 0.72 (Table 2 and Figs. 2 through 4).

Deep Lateral Forehead Compartment

The correlation coefficient between the injected volume and the measured volume (i.e., the change in surface projection) was $r_p = 0.814$ ($p < 0.001$) (Table 1). The overall surface-volume coefficient across all injection steps was 0.68. At 0.5 cc of injected volume, it was 0.69, and at 1.00 cc of injectate, the surface-volume coefficient was 0.68 (Table 2 and Figs. 2 through 4).

Deep Temporal Fat Pad

The correlation coefficient between the injected volume in the deep temporal fat pad and the measured volume (i.e., the change in surface projection) was $r_p = 0.947$ ($p < 0.001$) (Table 1). The surface-volume coefficient for all injection steps averaged 0.64, and was 0.53 at 0.5 cc of injected volume and 0.63 at 1.00 cc of injectate (Table 2). Exploratory analyses revealed surface-volume coefficients of 0.72 at 2.0 cc and 0.71 at 3.0 cc (data not shown) (Figs. 2 through 4).

Table 1. Correlation Coefficients and the Respective p Values Calculated between the Injected Volume and the Measured Volume for Each Investigated Compartment

Fat Compartment	Correlation between Injected Volume and Measured Volume	p
Superficial lateral forehead compartment	0.824	<0.001
Deep lateral forehead compartment	0.814	<0.001
Deep temporal fat pad	0.947	<0.001
Sub-orbicularis oculi fat compartment	0.992	<0.001
Deep medial cheek fat compartment	0.745	<0.001

Sub-orbicularis oculi Fat Compartment

The correlation coefficient between the injected volume and the measured volume (i.e., the change in surface projection) was $r_p = 0.992$ ($p < 0.001$) (Table 1). The surface-volume coefficient for all injection steps averaged 0.94, and was 0.93 at 0.5 cc of injected volume and 0.95 at 1.00 cc of injected volume (Table 2). The sub-orbicularis oculi fat compartment displayed significantly higher correlation coefficients compared with any of the other investigated facial

fat compartments when evaluated by the Fisher's r -to- z transformation (all $p < 0.001$) (Table 3 and Figs. 2 through 4).

Deep Medial Cheek Fat Compartment

The correlation coefficient between the injected volume and the measured volume (i.e., the change in surface projection) was $r_p = 0.745$ ($p < 0.001$) (Table 1). The surface-volume coefficient for all injection steps averaged 0.29, and was 0.32 at 0.5 cc of injected volume and 0.26 at 1.00 cc of injected volume (Table 2 and Figs. 2 through 4).

DISCUSSION

The present investigation measured the tissue response of superficial and deep facial fat compartments in relation to incrementally increasing amounts of injected soft-tissue filler material. The results revealed the sub-orbicularis oculi fat compartment as the compartment with the highest correlation coefficient ($r_p = 0.992$; $p < 0.001$) and the highest surface-volume coefficient overall (0.94), at both 0.5 cc (surface-volume coefficient = 0.93) and 1.0 cc (surface-volume coefficient = 0.95). The compartment with the lowest tissue response (i.e., where injected soft-tissue filler material resulted in a limited change in skin surface projection) was the deep medial cheek fat compartment ($r_p = 0.745$; $p < 0.001$; overall surface-volume coefficient = 0.29), followed by the deep lateral forehead compartment ($r_p = 0.814$; $p < 0.001$; overall surface-volume coefficient = 0.68), superficial lateral forehead compartment ($r_p = 0.824$; $p < 0.001$; overall surface-volume coefficient = 0.74), and the deep temporal fat pad ($r_p = 0.947$; $p < 0.001$; overall surface-volume coefficient = 0.64). For the latter, higher surface-volume coefficient values were measured when 2.0 cc (surface-volume coefficient = 0.72) or 3.0 cc (surface-volume coefficient = 0.71) was injected.

The strengths of the present study are the objective analysis of individual facial fat compartments, verified by means of fluoroscopic radiographic analyses for the correct positioning of the contrast-enhanced material. These facial fat compartments of the forehead, temple, infraorbital, and central midface regions are frequently targeted to ameliorate the signs of facial aging caused by loss of underlying bone, reduction in soft-tissue thickness, and subsequent tissue sagging. Soft-tissue fillers are injected either deep or superficial into facial fat compartments to restore volume and thus the youthful appearance of the

Table 2. Maximal Injected Volume and the Surface-Volume Coefficient Overall at 0.5 cc and 1.0 cc*

	Superficial Lateral Forehead Compartment	Deep Lateral Forehead Compartment	Deep Temporal Fat Pad	Sub-orbicularis oculi Fat Compartment	Deep Medial Cheek Fat Compartment	<i>p</i>
Maximal Injected Volume, cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Surface-volume coefficient, mean ± SD						
Overall	0.74 ± 0.23	0.68 ± 0.25	0.64 ± 0.10	0.94 ± 0.07	0.29 ± 0.12	<0.001†
With 0.5 cc	0.73 ± 0.32	0.69 ± 0.27	0.53 ± 0.06 (at 0.6 cc)	0.93 ± 0.12	0.32 ± 0.06	<0.001†
With 1.0 cc	0.72 ± 0.29	0.68 ± 0.23	0.63 ± 0.07	0.95 ± 0.05	0.26 ± 0.09	<0.001†

*The deep temporal fat pad was injected with 0.2-cc aliquots.

†Multivariate analyses were performed to analyze differences across compartments.

face. This study provides a novel numeric measurement for the tissue response to injections with volumizing material. The surface-volume coefficient is computed by dividing the change in surface projection from baseline caused by the amount of injected volume and provides information on the surface effect of a certain amount of injected volume, which could thus be considered the clinical effectiveness of an injected material.

A limitation, however, is that the computed surface-volume coefficients are obtained from a cadaveric model, which lacks blood pressure, muscular contraction, altered temperature, and tissue turgor pressure. These factors are known to influence the tissue integration and distribution of any injected material, altering ultimately the absolute volume of the initially injected

volume. However, the present study provides reliable indicators for the surface-volume coefficient as the immediate and absolute effect of a specified volume of product is evaluated. In living tissue, the product can either bind more water, leading to a relative increased surface effect of the previously injected volume, or can integrate more efficiently into the surrounding tissue, leading to a relatively reduced surface projection effect of the initially injected volume. These factors depend on the type of product applied, and future studies will need to evaluate the relative surface-volume coefficient of each injected product. The cadaveric model is to date the closest model to reality and the most reliable experimental model available; a plethora of previous studies have used this model to provide

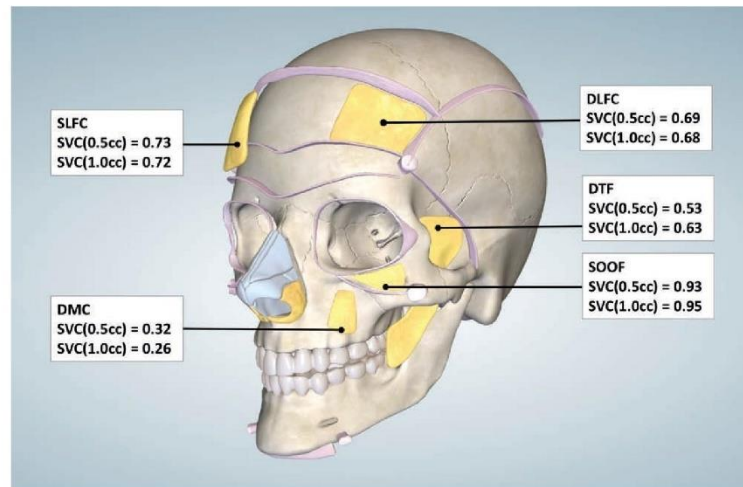


Fig. 4. Virtual model of the face showing the surface-volume coefficient (SVC) for the superficial lateral forehead compartment (SLFC), the deep lateral forehead compartment (DLFC), the deep temporal fat pad (DTF), the deep medial cheek fat compartment (DMC), and the sub-orbicularis oculi fat compartment (SOOF) for 0.5-cc and 1.0-cc injected volume.

1610

Copyright © 2019 American Society of Plastic Surgeons. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

Table 3. Comparison between the Correlation Coefficients Calculated For Injected and Measured Volume of the Five Fat Compartments Using the Fisher's *r*-to-*z* Transformation*

	Superficial Lateral Forehead Compartment		Deep Lateral Forehead Compartment		Deep Temporal Fat Pad		Sub-orbicularis oculi Fat Compartment		Deep Medial Cheek Fat Compartment	
	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>z</i>	<i>p</i>
Superficial lateral forehead compartment	—		-0.10	0.460	1.84	0.033	5.82	<0.001	-0.77	0.221
Deep lateral forehead compartment	0.10	0.460	—	—	2.26	0.012	7.82	<0.001	-0.89	0.187
Deep temporal fat pad	-1.84	0.033	-2.26	0.012	—	—	3.50	<0.001	-3.14	<0.001
Sub-orbicularis oculi fat compartment	-5.82	<0.001	-7.82	<0.001	-3.50	<0.001	—	—	-10.58	<0.001
Deep medial cheek fat compartment	0.77	0.221	0.89	0.187	3.14	<0.001	10.58	<0.001	—	—

*Negative *z* value indicates that the correlation coefficient in the row is higher; positive *z* value indicates that the correlation coefficient in the column is higher.

valid results to the scientific community.^{9,15–23} In addition, the correct positioning was verified by means of radiographic imaging analyses, which is not possible in living individuals for study purposes. Another limitation of the present study is the small sample size ($n = 4$). A larger sample can provide a more robust foundation for any results obtained; however, in the present study, a total of 226 injection and scanning procedures were performed. Different facial fat compartments on both sides of the face were investigated, resulting in this large number of observations. Future studies will need to validate the presented results in clinical trials (performed in living individuals) using a balanced gender distribution and applying sample size calculations.

In the forehead, the deep supraperiosteal filler injection is performed to treat hollowing; here, the material is applied into the deep forehead compartments.^{8,10} The correlation coefficient and the surface-volume coefficient of the deep lateral forehead compartment are both lower compared with the superficial lateral forehead compartment, indicating that superficial injections result in greater tissue projection compared with the deep injections for the same volume. However, this has to be interpreted in the context of product characteristics. A softer product might result in better tissue integration with less skin surface irregularities and a better aesthetic result, versus a more rigid product with a limited capacity to integrate into the tissue. It is thus important to select the optimal product to treat the forehead. In addition, although it is beyond the scope of this work, the clinician should consider the surface-volume coefficient to be one piece of the aesthetic puzzle. For instance, although in the forehead volume injected into the superficial fat compartment results in more tissue response than that injected

into the deep fat, the superficial fat compartment carries risks of vascular complications in contrast to the relatively avascular supraperiosteal deep fat pad injections.

The deep temporal fat pad is located deep to the deep temporal fascia and is the temporal extension of the buccal fat pad located inside the masticator space.^{9,24,25} Injections into this layer are performed to treat temporal hollowing, which is a combined result of muscle atrophy,^{8,25,26} soft-tissue thickness loss,^{3–5,25} and bony changes of the calvaria.¹ Although this study revealed a low surface-volume coefficient at 0.5 cc of injected volume (0.53), the surface-volume coefficient increased at 1.0 cc (0.63) and was even higher at 2.0 cc (0.72) and at 3.0 cc (0.71) (data not shown). This behavior is reflected best by the high correlation coefficient ($r_p = 0.947$; $p < 0.001$), which is the second highest among the investigated compartments (Table 1). This indicates that in the temporal compartment, injection procedures generally require more than 0.5 cc to provide a visible change in surface projection. The results are in line with clinical observations, where more than 0.5 cc is routinely needed to augment the temple by means of the deep injection technique. In this location, a combination of subcutaneous (superficial) and deep injections can afford appealing aesthetic results.

Injections into the deep medial cheek fat had the lowest correlation coefficient ($r_p = 0.745$) and the lowest surface-volume coefficient (0.29), thereby rendering this location as the least efficient at skin surface projection response to injected volume. One explanation for this behavior could be the anatomical location of this deep midfacial fat compartment. The following structures can be found superficial to it: skin, the superficial nasolabial fat compartment, the orbicularis oculi

muscle, the deep nasolabial fat compartment, and the levator labii superioris alaeque nasi muscle. These overlying structures can mask the augmentation effect of any injected product into the deep medial cheek fat compartment. However, if severe volume loss of the central midface is present, this compartment can be targeted to provide deep tissue support for the aforementioned structures, as the deep medial cheek fat compartment resides on the anterior surface of the maxilla and can thus support the overlying anatomy.

The most effective of the investigated facial fat compartments was the sub-orbicularis oculi fat compartment. This compartment resides deep to the orbicularis oculi muscle and is bound superiorly by the orbicularis retaining ligament and inferiorly by the zygomaticocutaneous ligament.^{7,17,27} As these boundaries are formed by osteocutaneous ligaments, the resulting coefficients are high for both the correlation ($r_b = 0.992$; $p < 0.001$) and the surface-volume coefficients overall (0.94), at 0.5 cc (0.93), and at 1.0 cc (0.95). These results indicate that a volume of 0.5 cc is sufficient to achieve an effective change of the skin surface, as only 7 percent of the injected volume does not result in surface projection. The additional injection of 0.5 cc results in high surface-volume coefficients, reflecting the stable anatomical position between the two ligaments, which resist high pressure without losing the projection toward the surface. The identification of this deep facial fat compartment as an effective and safe location for minimally invasive injections is not new but rather is consistent with currently used techniques.^{7,28–30} This provides evidence for the validity of the performed measurements and for the introduction of the surface-volume coefficient, as it conforms to current concepts in injection technique and allows for a deeper understanding of them by adding objective data on tissue response to specific injected volumes.

Knowing the surface-volume coefficient and understanding its potential clinical implications could guide health care providers toward more targeted and cost-effective treatments. Given that injection volume is most often limited by budgetary concerns of patients, injectors could tailor their treatment plan accordingly. For instance, assuming the cadaveric surface-volume coefficient findings of this study can be extrapolated to the living model, a patient with a 1-cc-syringe filler budget would experience appreciable results if it is injected into the sub-orbicularis oculi fat compartments, whereas this same volume injected into the deep medial cheek fat could yield less perceptible aesthetic effects. Thus, clinicians can

optimize rejuvenation with soft-tissue fillers by considering the fat compartment-specific surface-volume coefficients.

CONCLUSIONS

In total, 226 observations were carried out to identify the tissue response of facial fat compartments to various amounts of injected soft-tissue filler. The sub-orbicularis oculi fat compartment revealed the highest correlation and surface-volume coefficient when compared to the other investigated fat compartments, including the deep medial cheek fat compartment, the deep lateral forehead compartment, the superficial lateral forehead compartment, and the deep temporal fat pad. These results, confirmatory in their nature of current injection strategies, provide evidence for the validity and reliability of the surface-volume coefficient and that injection procedures should be targeted to specific facial fat compartments and fascial planes for optimized aesthetic outcomes.

Sebastian Cotofana, M.D., Ph.D.

Albany Medical College
47 New Scotland Avenue, MC-135
Albany, N.Y. 12208

cotofas@amc.edu

Facebook: professorsbastiancotofana

Instagram: @professorsebastiancotofana

ACKNOWLEDGMENTS

The imaging part of this study received funding from Q-Med AB, Sweden (grant no. 15092016). The authors want to thank Katharina Erbacher, Zhouxiao Li, and Stefan Targosinski for support in the imaging part of this study; the team at Nestlé Skin Health SHIELD; and the Chamberlain Group and BioDigital for the ideation and development of the facial model.

REFERENCES

1. Cotofana S, Gotkin RH, Ascher B, et al. Calvarial volume loss and facial aging: A computed tomographic (CT)-based study. *Aesthetic Surg J*. 2018;38:1043–1051.
2. American Society of Plastic Surgeons. 2017 plastic surgery statistics report. Available at: <https://www.plasticsurgery.org/documents/News/Statistics/2017/plastic-surgery-statistics-full-report-2017.pdf>. Accessed June 1, 2018.
3. Sepe A, Tchkonina T, Thomou T, Zamboni M, Kirkland JL. Aging and regional differences in fat cell progenitors: A mini-review. *Gerontology* 2011;57:66–75.
4. Palmer AK, Kirkland JL. Aging and adipose tissue: Potential interventions for diabetes and regenerative medicine. *Exp Gerontol*. 2016;86:97–105.
5. Lakowa N, Trieu N, Flehmig G, et al. Telomere length differences between subcutaneous and visceral adipose tissue in humans. *Biochem Biophys Res Commun*. 2015;457:426–432.

6. Schenck TL, Koban KC, Schlattau A, et al. The functional anatomy of the superficial fat compartments of the face: A detailed imaging study. *Plast Reconstr Surg*. 2018;141:1351–1359.
7. Cotofana S, Schenck TL, Trevidic P, et al. Midface: Clinical anatomy and regional approaches with injectable fillers. *Plast Reconstr Surg*. 2015;136(Suppl):219S–234S.
8. Sykes JM, Cotofana S, Trevidic P, et al. Upper face: Clinical anatomy and regional approaches with injectable fillers. *Plast Reconstr Surg*. 2015;136(Suppl):204S–218S.
9. Schenck TL, Koban KC, Schlattau A, et al. Updated anatomy of the buccal space and its implications for plastic, reconstructive and aesthetic procedures. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2018;71:162–170.
10. Cotofana S, Mian A, Sykes JM, et al. An update on the anatomy of the forehead compartments. *Plast Reconstr Surg*. 2017;139:864e–872e.
11. Kruglikov I, Trujillo O, Kristen Q, et al. The facial adipose tissue: A revision. *Facial Plast Surg*. 2016;32:671–682.
12. Pierre S, Liew S, Bernardin A. Basics of dermal filler rheology. *Dermatol Surg*. 2015;41(Suppl 1):S120–S126.
13. Koban K, Schenck T, Metz P, et al. En route for objective evaluation of form, volume, and symmetry in plastic surgery using 3-D intraoperative scans (in German). *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2016;48:78–84.
14. Hinkle D, Wiersma W, Jurs S. *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*. 5th ed. Boston: Houghton Mifflin; 2003.
15. Frank K, Koban K, Targosinski S, et al. The anatomy behind adverse events in hand volumizing procedures: Retrospective evaluations of 11 years of experience. *Plast Reconstr Surg*. 2018;141:650e–662e.
16. Schenck TL, Koban KC, Schlattau A, et al. The functional anatomy of the superficial fat compartments of the face: A detailed imaging study. *Plast Reconstr Surg*. 2018;141:1351–1359.
17. Furnas DW. The retaining ligaments of the cheek. *Plast Reconstr Surg*. 1989;83:11–16.
18. Wong CH, Hsieh MK, Mendelson B. The tear trough ligament: Anatomical basis for the tear trough deformity. *Plast Reconstr Surg*. 2012;129:1392–1402.
19. Mendelson BC, Muzaffar AR, Adams WP Jr. Surgical anatomy of the midcheek and malar mounds. *Plast Reconstr Surg*. 2002;110:885–896; discussion 897–911.
20. Rohrich RJ, Arbiqque GM, Wong C, Brown S, Pessa JE. The anatomy of suborbicularis fat: Implications for periorbital rejuvenation. *Plast Reconstr Surg*. 2009;124:946–951.
21. Wan D, Amirlak B, Rohrich R, Davis K. The clinical importance of the fat compartments in midfacial aging. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2013;1:e92.
22. Rohrich RJ, Pessa JE, Ristow B. The youthful cheek and the deep medial fat compartment. *Plast Reconstr Surg*. 2008;121:2107–2112.
23. Rohrich RJ, Pessa JE. The fat compartments of the face: Anatomy and clinical implications for cosmetic surgery. *Plast Reconstr Surg*. 2007;119:2219–2227.
24. Moss CJ, Mendelson BC, Taylor GI. Surgical anatomy of the ligamentous attachments in the temple and periorbital regions. *Plast Reconstr Surg*. 2000;105:1475–1490; discussion 1491–1498.
25. Philipp-Dormston WG, Bieler L, Hessenberger M, et al. Intracranial penetration during temporal soft tissue filler injection: Is it possible? *Dermatol Surg*. 2018;44:84–91.
26. Cotofana S, Fratila AA, Schenck TL, Redka-Swoboda W, Zilinsky I, Pavicic T. The anatomy of the aging face: A review. *Facial Plast Surg*. 2016;32:253–260.
27. Gierloff M, Stüring C, Buder T, Gassling V, Açil Y, Wiltfang J. Aging changes of the midfacial fat compartments: A computed tomographic study. *Plast Reconstr Surg*. 2012;129:263–273.
28. Casabona G. Personal communication, 2018.
29. Galadari H, Redka-Swoboda W. Injection of filler for volume replacement of the whole face using a single-entry method. *J Am Acad Dermatol*. 2017;77:e163–e164.
30. Sadick NS. Volumetric structural rejuvenation for the male face. *Dermatol Clin*. 2018;36:43–48.

3D Mammometric Changes in the Treatment of Idiopathic Gynecomastia

Konstantin C. Koban¹ · Konstantin Frank¹ · Lucas Etzel¹ · Thilo L. Schenck¹ · Riccardo E. Giunta¹



Received: 2 November 2018 / Accepted: 14 February 2019 / Published online: 27 February 2019
 © Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature and International Society of Aesthetic Plastic Surgery 2019

Abstract

Background Three-dimensional surface imaging (3DSI) has shown promise for plastic surgeons to objectively assess changes in body contour and breast volume.

Objectives To assess the surgical outcome after bilateral subcutaneous mastectomy (BSM) and water jet-assisted liposuction (WAL) as treatment for idiopathic gynecomastia, using 3DSI to document changes regarding nipple–areolar complex (NAC) and breast volume.

Methods Thirty male patients (Simon II A to B) receiving BSM and WAL were enrolled. Eight subjects received additional mastopexy and NAC reduction. Use of a Vectra 3D Imaging System[®] before and 6 months after surgery provided data regarding changes of NAC placement and NAC and breast dimensions. The sum volume of intraoperatively approximated lipoaspirate before and after centrifugation and mastectomy specimens quantified using water displacement were compared with 3D-assessed differences in volume.

Results When compared to the NAC dimensions defined during surgery, patients receiving NAC reductions showed nonsignificant postoperative changes in NAC dimensions. Patients without additional mastopexy showed a significant ($p < 0.001$) vertical ($15.7 \pm 14.3\%$) and horizontal ($17.1 \pm 15.0\%$) reduction in NAC diameter. 3D volume changes (92.8 ± 26.4 mL) showed significant differences ($p < 0.001$) 6 months after surgery compared to the

intraoperatively measured lipoaspirate before (182 ± 54.5 mL) and after (120 ± 34.6 mL) centrifugation.

Conclusion Although it is clear that patient satisfaction must remain the prime focus of surgical body contouring, 3DSI has proven valuable to objectively demonstrate both the anticipated outcome and further findings regarding treatment of idiopathic gynecomastia.

Level of Evidence IV This journal requires that authors assign a level of evidence to each article. For a full description of these Evidence-Based Medicine ratings, please refer to the Table of Contents or the online Instructions to Authors www.springer.com/00266.

Keywords Gynecomastia · 3D surface imaging · Liposuction · Volumetry · Nipple–areolar complex

Introduction

Nearly 30,000 men with gynecomastia underwent surgical reduction in their breasts in the USA in 2016 alone [1]. This reflects a 37% increase compared to 2000 [1]. It is apparent that idiopathic gynecomastia presents a psychological burden for affected patients. In most cases, gynecomastia in adults cannot be resolved by strict diets or certain physical exercises. After the exclusion of underlying endocrinological disorders, plastic surgery can help patients with gynecomastia to improve their quality of life.

In such cases where body contouring is indicated, patient satisfaction must therefore represent the surgeon's prime focus. Patient-reported outcome scales can record the subjective level of satisfaction, albeit only allowing for an assessment regarding the postoperative improvement in quality of life. Apart from the shape of the breast itself, the

✉ Konstantin C. Koban
konstantin.koban@med.uni-muenchen.de

¹ Division of Hand, Plastic and Aesthetic Surgery, University Hospital, LMU Munich, Pettenkoferstraße 8a, 80336 Munich, Germany

position and size of the nipple–areolar complex (NAC) need to be considered when correcting gynecomastia [2]. Surgical techniques including liposuction and open resection with or without skin reduction have been investigated [3–10]. Plastic surgeons aim to reduce breast volume while achieving a symmetrical chest contour. The amount of lipoaspirate is therefore often monitored continuously during surgery, while keeping in mind that individual patients may present themselves with preoperative asymmetries.

As of now, there is a distinctive lack of objective measurement techniques that can be integrated into the planning process and outcome evaluation of gynecomastia treatment. Three-dimensional surface imaging (3DSI) has proven to be a valuable tool for assessments regarding surgery [11–18]. Use of this technology has shown high reliability and accuracy both during pre- and intraoperative planning, but also when considering follow-up of breast augmentation and reconstruction [19–23].

This clinical study compares the intraoperatively estimated tissue reduction with the three-dimensionally (3D) gauged volume decrease in male breasts after bilateral partial subcutaneous mastectomy (BSM) with water jet-assisted liposuction (WAL). Additionally, changes regarding placement and dimensions of NAC are investigated in cases with and without periareolar mastopexy.

Patients, Materials and Methods

Study Sample

For this study, we enrolled thirty (30) patients with moderate breast enlargement without ptosis (Simon grade IIA to IIB [24], shown in Table 1; Rohrich grade I to II [25], shown in Table 2). All patients underwent BSM and WAL (Body-Jet; HumanMed AG, Schwerin, Germany) in our hospital between 2013 and 2016. The median age was 26.4 ± 8.8 years (range 18–48 years), and the mean BMI was 24.9 ± 1.8 kg/m² (range 21.4–27.0 kg/m²). Patients excluded from this study either had endocrinological causes for their gynecomastia, underwent solitary partial

mastectomy without liposuction (Simon grade I) [24], presented themselves with skin excess (Simon grade III) [24] or underwent revision surgery.

Surgical Technique

Surgery on all patients was performed under general anesthesia. From two incisions at the medial and lateral inframammary crease, WAL in the deep and superficial adipose tissue layer was performed by infiltrating the subcutaneous tissue of the breast. Following the hospital's internal standard operating procedure, tumescent solution consists of 50 milliliters (mL) lidocaine 1%, 1 mL epinephrine (1:1000), 8 mL sodium bicarbonate 8.4%, 1000 mL physiological saline and 1 mL triamcinolone acetonide to minimize the inflammatory reaction and subsequent swelling of infiltrated tissue. Following WAL, the residual gland was removed from the retroareolar area through an inferior semicircular periareolar incision. Sufficient NAC blood supply was ensured by leaving a retroareolar glandular tissue layer of 0.5 cm. Contraction was minimized by leaving a thin layer of adipose tissue adherent to the pectoral fascia. In eight cases during preoperative consultation, patients expressed their wish to benefit from a circumferential mastopexy with NAC reduction. After detailed discussion, the respective patients made a joint decision with the surgeon regarding this course of action and subsequently received the treatment in addition to WAL and BSM. A pre- and postoperative example of a patient undergoing such a procedure can be found in Fig. 1, a patient receiving only WAL and BSM is shown in Fig. 2.

3D Imaging and Data Acquisition

The Vectra Volumetric 3D Surface Imaging System® (Canfield Sci., NJ, USA) was used for 3DSI of the male chest. Imaging was performed by a skilled examiner during preoperative patient consultation after obtaining written informed consent and during a follow-up consultation 6 months after surgery.

Prior to 3DSI, patients were requested to trim chest hair to a length of only a few millimeters or to shave it off completely to prevent photogrammetric artifacts. Standardized 3D capture of the chest was performed in an upright standing position in complete exhalation, with the arms elevated at an angle of 45°. The resulting patient images were then superimposed by use of the closest iterative point algorithm within Mirror® (Canfield Sci., NJ, USA) software.

Breast dimensions, NAC position and both the vertical and horizontal extent of the NAC were gauged by

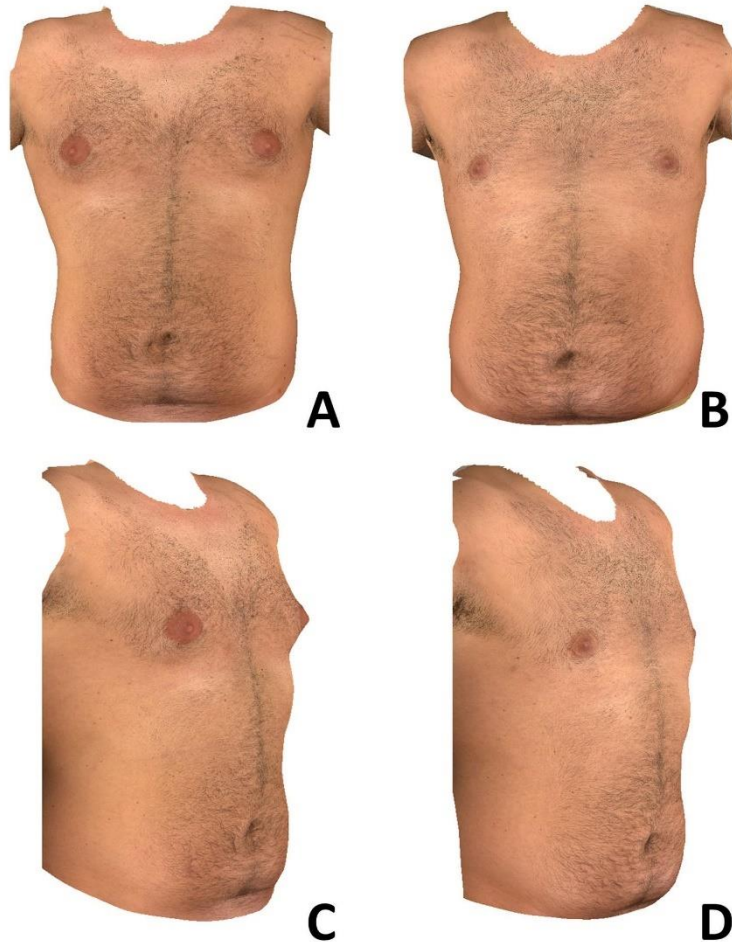
Table 1 Classification of gynecomastia, adapted from Simon et al. (Simon). Source: Adapted from Simon et al. [24]

Grade	Definition
I	Small enlargement, no skin excess
IIa	Moderate enlargement, no skin excess
IIb	Moderate enlargement, with extra skin
III	Marked enlargement with extra skin

Table 2 Volume classification of gynecomastia, adapted from Rohrich et al. (Rohrich).
Source: Adapted in a simplified form from Rohrich et al. [25]

Grade	Definition
I	Minimal hypertrophy (< 250 g of breast tissue) without ptosis (glandular or fibrous)
II	Moderate hypertrophy (250–500 g of breast tissue) without ptosis (glandular or fibrous)
III	Severe hypertrophy (> 500 g of breast tissue) with grade I ptosis (glandular or fibrous)
IV	Severe hypertrophy with grade II or III ptosis (glandular or fibrous)

Fig. 1 Thirty-two-year-old patient before (a, c) and after (b, d) BSM and WAL with additional periareolar mastopexy and NAC reduction shown from an anterior view (a, b) and 45° lateral view (c, d)

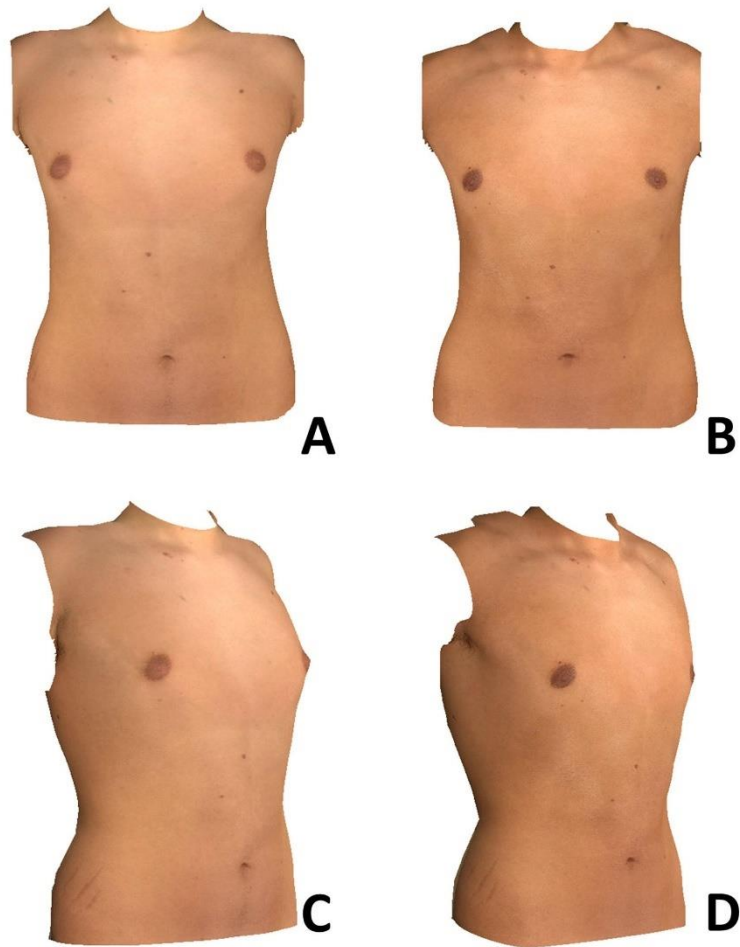


measuring the distance between landmarks. These were digitally placed by trained examiners benefiting from the image alignment to ensure precise positioning on the sternal notch and the most ventral, superior, inferior, medial and lateral point of each NAC. 3D analysis of the

relative volumetric change between pre- and postoperative images was performed by means of a subtraction method.

Intraoperatively recorded fat volume of each breast was assessed as the sum of volumes of the individual mastectomy specimen and the lipoaspirate acquired during surgery. Mastectomy specimens were volumetrically

Fig. 2 Twenty-four-year-old patient before (a, c) and after (b, d) BSM and WAL without mastopexy and NAC reduction shown from an anterior view (a, b) and 45° lateral view (c, d)



measured using water displacement before being sent in for histological examination. The lipoaspirate was quantified separately for each breast and by using two measurement methods. As the lipoaspirate of each respective breast was collected separately, its volume could be estimated by the surgeon from the scale on each storage container and recorded as the first measurement. In attempting to acquire an additional and more accurate set of data, a second measurement was conducted after centrifuging the lipoaspirate for 3 min at 1200 rpm [26].

Data Analysis and Statistics

3D-measured sternal notch to nipple and nipple-to-nipple distances were compared between pre- and postoperative images. Likewise, both the vertical and horizontal extents of each NAC were compared, as well as the position of the most anterior point of each NAC. This value was recorded as the ventrodorsal change in NAC placement.

The 3D volumetric changes of each breast were compared with the amount of aspirated and resected tissue recorded during surgery, while independently assessing the difference between the 3D value and the respective fat volume measured before and after centrifugation.

Statistical analysis was performed using SPSS Statistics 21.00 (IBM, Armonk, NY, USA), and differences were considered statistically significant with a probability level set at ≤ 0.05 to guide conclusions. Paired two-tailed t-tests and Wilcoxon rank-sum tests were used to compare paired continuous data.

Results

Changes in Breast Dimensions and NAC Placement

The sternal notch to nipple distances significantly decreased ($p < 0.001$) by 12.6 ± 6.0 mm (range 3.4–27.5 mm). The nipple-to-nipple distances decreased significantly ($p < 0.001$) by 13.5 ± 5.4 mm (range 4.8–23.9 mm). The ventrodorsal change in NAC placement measured an average of 17.3 ± 5.6 mm (range 6.7 ± 30.7 mm). The respective values can be found in Table 3.

Changes in NAC Dimensions

When compared to the NAC dimensions defined during surgery, patients receiving additional mastopexy and reduction in NAC showed postoperative nonsignificant vertical ($p = 0.166$) and horizontal ($p = 0.297$) changes in NAC dimensions. The pre- and postoperative values and those defined during surgery can be found in Table 4.

Patients without additional mastopexy showed a significant ($p < 0.001$) vertical reduction in NAC diameter of $15.7 \pm 14.3\%$ and a likewise significant ($p < 0.001$) horizontal reduction of $17.1 \pm 15.0\%$. These changes are depicted in Fig. 3, the pre- and postoperative values can be found in Table 5.

Changes in Breast Volume

The average volume of resected tissue during subcutaneous mastectomy was measured as 19.7 ± 9.3 mL (range 8–42 mL).

Table 6 gives an overview of the volumes estimated intraoperatively before and after centrifugation and the 3D-assessed change in volume.

Intraoperatively estimated and centrifuged volume differed significantly ($p < 0.001$) by 61.9 ± 20 mL (total percentage: $66.5 \pm 6.9\%$).

Intraoperatively estimated and 3D-assessed volume differed significantly ($p < 0.001$) by 89.1 ± 28.2 mL (total percentage: $52.3 \pm 9.7\%$).

Centrifuged lipoaspirate and 3D-assessed volume differed significantly ($p < 0.001$) by 27.2 ± 8.2 mL (total percentage: $78.7 \pm 12.7\%$).

Discussion

3DSI has been proven to be a valuable tool for the documentation of changes regarding shape and volume of the female breast [5, 19–23, 27]. To achieve high patient satisfaction when performing gynecomastia surgery, the main objectives include a decrease in breast volume while simultaneously achieving a symmetrical chest contour, the removal of excess skin while maintaining an aesthetically pleasing placement of the NAC in cases where mastopexy is indicated and minimal scarring [28]. 3DSI should therefore also allow for reliable assessment regarding the operative treatment of gynecomastia.

This study aimed to objectively evaluate the surgical outcome after BSM and WAL in idiopathic gynecomastia. The changes of NAC dimensions and placement as well as breast dimensions were quantified in a small cohort of male patients both with and without additional periareolar mastopexy. The assessment was performed by comparing 3D documentation from before and 6 months after surgery.

Changes in Breast Dimensions and NAC Placement

Lee et al. [29] analyzed the pre- and postoperative anatomical landmark distances in young Korean patients with gynecomastia and compared them with a control group comprised of healthy adult males. The nipple position of patients with gynecomastia was reported to be considerably lower and with a significantly greater sternal notch to nipple distance. Our study showed a significant reduction in sternal notch to nipple distance regardless of procedure performed. Furthermore, we were able to quantify the ventrodorsal change of NAC placement using

Table 3 Changes of breast dimensions and nipple position pre- to postoperatively

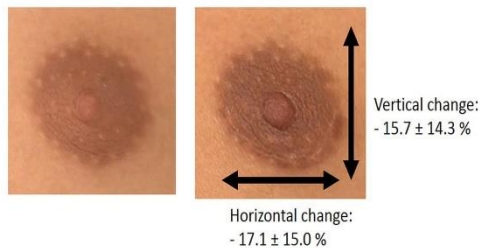
Distance	Preoperative (mm)	Postoperative (mm)
Sternal notch to nipple	205.4 (15.2)	192.8 (13.4)
Nipple to nipple	236.4 (19.0)	224.5 (18.5)
Ventrodorsal change in nipple position	17.3 (5.6)	

All measurements given with their mean and standard deviation (SD)

Table 4 Changes of NAC diameter in patients with additional mastopexy and NAC reduction

Diameter of NAC	Patients with bilateral periareolar mastopexy and NAC reduction (<i>n</i> = 8)			
	Preoperative (mm)	Postoperative (mm)	Absolute Δ (mm)	Relative Δ (%)
Vertical diameter	39.9 (4.2)	27.3 (3.3)	11.4 (4.8)	28.8 (10.1)
Horizontal diameter	40.4 (5.9)	28.7 (3.4)	10.6 (6.2)	25.8 (13.3)
	Defined during surgery (mm)	Postoperative (mm)	Absolute Δ (mm)	Relative Δ (%)
Vertical diameter	28.2 (2.4)	27.3 (3.3)	0.8 (2.0)	2.7 (7.0)
Horizontal diameter	28.2 (2.4)	28.7 (3.4)	- 0.5 (1.9)	- 1.8 (6.6)

Diameters of preoperative measurement, as defined during surgery and determined during postoperative follow-up. All measurements given with their mean and standard deviation (SD)

**Fig. 3** NAC of patient without mastopexy and NAC reduction showing the relative mean horizontal and vertical changes in NAC dimensions**Table 5** Changes of NAC diameter in patients without additional mastopexy

Diameter of NAC	Patients without bilateral mastopexy (<i>n</i> = 22)			
	Preoperative (mm)	Postoperative (mm)	Absolute Δ (mm)	Relative Δ (%)
Vertical diameter	33.2 (6.2)	28.1 (3.8)	6.2 (6.2)	15.7 (14.3)
Horizontal diameter	36.1 (5.5)	29.9 (3.1)	7.3 (7.1)	17.1 (15.0)

All measurements given with their mean and standard deviation (SD)

Table 6 Changes in volume according to different methods of measurement

Method of volume assessment	Change in volume (mL)	Maximum (mL)	Minimum (mL)
Specimen + lipoaspirate before centrifugation	182 (54.5)	275	90
Specimen + lipoaspirate after centrifugation	120 (34.6)	197	63
3D measurement	92.8 (26.4)	175.3	58.5

All measurements given with their mean and standard deviation (SD)

3DSI, enabling us to objectively record and assess pre- to postoperative development.

Changes in NAC Dimensions

Although the pre- to postoperative reduction in NAC dimensions in patients receiving additional mastopexy and reduction in NAC can be attributed to the removal of skin and subcutaneous tissue, our findings showed no significant postoperative change when comparing with the NAC dimensions defined during surgery.

However, patients without periareolar mastopexy showed a significant postoperative change in NAC dimensions with an average of 15.7% vertical reduction and 17.1% horizontal reduction. In patients treated solely with ultrasound-assisted liposuction, an 18% reduction in

NAC diameter was reported 6 months postoperatively by Keskin et al. [30].

Our study results suggest that 3DSI offers an objective assessment regarding the change in NAC dimensions, and that the extent of change varies depending on the method of

surgery used. Moreover, these findings may aid surgeons when deciding whether periareolar NAC reduction is indicated or whether sufficient reduction in NAC dimensions can be achieved by the sole use of breast liposuction with or without subcutaneous mastectomy. Further investigations paring 3D quantification with assessment of patient-reported outcome are needed when comparing different surgical techniques.

Changes in Breast Volume

Besides being useful for analyzing changes in body surface, 3DSI has especially proven itself for the analysis of volumetric changes. While the assessment of changes in volume after augmentations of the breast using 3DSI has proven highly reliable in the past when comparing to the known volume of breast implants [5, 27, 31–33], the results of our investigation showed high differences regarding changes in breast volume when comparing 3D analysis and the measurements conducted intraoperatively both before and after lipoaspirate centrifugation. It is of importance to note that the mastectomy specimens quantified by water displacement only contributed to a fraction of the overall observed changes in volume.

It has been shown that when using WAL as a less traumatic form of liposuction [34, 35] fluid contents of up to 36.7% can be found in fat purified solely by means of decantation [36]. However, our findings revealed a postoperative difference of 48% between 3D measurement and volume approximation by means of water displacement and decantation. Moreover, lipoaspirate quantified following centrifugation was shown to retain no more than 7.7% of fluid [36], while again our results yielded a significantly higher volumetric difference. Possible explanations include error during measurement both before and after centrifugation, absorption of extracellular fluid or persistence of edema, seroma or hematoma [37].

Limitations

This observational study presents several limitations. Although 3DSI offers a low-priced and radiation-free method of assessing body contour and volumetric developments when compared to MRI and CT, the technology only allows body surfaces to be registered. For this reason, it is necessary to compare at least two images to document the relative difference between surfaces. While 3DSI may therefore be of use when retrospectively analyzing data to predict future surgical outcomes [17, 18], this technology provides limited benefit to those routinely performing gynecomastia surgery.

Previous investigations regarding the functional outcome of gynecomastia surgery included rate of

complication, wound development and patient satisfaction [38–40]. Rather than assessing these key aspects, our study focused primarily on the 3D quantification of the morphological changes following surgical intervention. While 3DSI has proven valuable to objectively demonstrate both the anticipated outcome and further findings regarding such procedures, its clinical application is of little regard if a surgical outcome based solely on 3DSI does not yield subjective patient satisfaction. Further studies should therefore include both three-dimensional quantification and assessment of patient-reported outcome, thus allowing for a more in-depth comparison between surgical approaches for treatment of idiopathic gynecomastia.

Conclusion

In this observational study, 3D surface imaging was applied to evaluate the surgical outcome after BSM and WAL in idiopathic gynecomastia, in cases both with and without periareolar mastopexy. Changes regarding placement and dimensions of NAC, breast volumes and breast dimensions were quantified in a small cohort by comparing 3D documentation from before and 6 months after surgery.

Regarding NAC dimensions, patients receiving additional mastopexy and reduction in NAC showed no significant postoperative change in size when compared with the dimensions defined during surgery. However, patients without periareolar mastopexy showed a significant postoperative change in NAC dimensions with an average of 15.7% vertical reduction and 17.1% horizontal reduction.

The average change in breast volume assessed 6 months after surgery was found to be 48% smaller than the volume of lipoaspirate and resected tissue, thereby differing significantly from the amount gauged intraoperatively. A significant volumetric difference could also be found when comparing the 3D measurement with centrifuged lipoaspirate and resected tissue.

Although it is clear that patient satisfaction must remain the prime focus of surgical body contouring, 3DSI has proven valuable to objectively demonstrate both the anticipated outcome and further findings regarding such procedures. Future studies including 3D quantification and assessment of patient-reported outcome could allow for a more in-depth comparison between surgical approaches for treatment of idiopathic gynecomastia.

Compliance with Ethical Standards

Conflict of interest The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship and/or publication of this article. None of the figures or tables have been previously published, and the copyright is held by the authors.

Ethical Approval All procedures in our study involving human participants were conducted in accordance with the standards of the Ludwig-Maximilians-University Munich ethical committee (Reference Number 266-13) and with the 1964 Helsinki Declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

Informed Consent All participants signed an informed consent approved by the institutional ethics committee.

References

- American Society of Plastic Surgeons (2016) Cosmetic plastic surgery statistics
- Shulman O, Badani E, Wolf Y, Hauben DJ (2001) Appropriate location of the nipple-areola complex in males. *Plast Reconstr Surg* 108(2):348–351
- Mett TR, Krezdom N, Luketina R et al (2017) Optimal positioning of the nipple-areola complex in men using the mohrenheim-estimated-tangential-tracking-line (METT-Line): an intuitive approach. *Aesthet Plast Surg* 41(6):1295–1302
- Choi BS, Lee SR, Byun GY, Hwang SB, Koo BH (2017) The characteristics and short-term surgical outcomes of adolescent gynecomastia. *Aesthet Plast Surg* 41(5):1011–1021
- Tepper OM, Small K, Rudolph L, Choi M, Karp N (2006) Virtual 3-dimensional modeling as a valuable adjunct to aesthetic and reconstructive breast surgery. *Am J Surg* 192(4):548–551
- Schanz S, Schreiber G, Zitzmann M, Krapohl BD, Horch R, Köhn F-M (2017) S1 guidelines: gynecomastia in adults. *JDDG J der Dtsch Dermatologischen Gesellschaft* 15(4):465–472
- Zavlin D, Jubbal KT, Friedman JD, Echo A (2017) Complications and outcomes after gynecomastia surgery: analysis of 204 pediatric and 1583 adult cases from a National Multi-center Database. *Aesthet Plast Surg* 41(4):761–767
- Cardenas-Camarena L, Dorado C, Guerrero MT et al (2017) Surgical masculinization of the breast: clinical classification and surgical procedures. *Aesthet Plast Surg* 41(6):1477
- Gupta V, Yeslev M, Winocour J et al (2017) Aesthetic breast surgery and concomitant procedures: incidence and risk factors for major complications in 73,608 cases. *Aesthet Surg J* 37(5):515–527
- Fricke A, Lehner GM, Stark GB, Penna V (2017) Long-term follow-up of recurrence and patient satisfaction after surgical treatment of gynecomastia. *Aesthet Plast Surg* 41(3):491–498
- Linming F, Wei H, Anqi L et al (2017) Comparison of two skin imaging analysis instruments: The VISIA from Canfield vs the ANTERA 3D CS from Miravex. *Skin Res Technol* 24:3–8
- Lowe P, Lowe NJ (2007) 3D photography and lip filler: a novel assay. *J Cosmet Laser Ther* 9(4):237–240
- Tzou CHJ, Artner NM, Pona I et al (2014) Comparison of three-dimensional surface-imaging systems. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 67(4):489–497
- de Menezes M, Rosati R, Ferrario VF, Sforza C (2010) Accuracy and reproducibility of a 3-dimensional stereophotogrammetric imaging system. *J Oral Maxillofac Surg* 68(9):2129–2135
- Garibyan L, Sipprell WH, Jalian HR et al (2014) Three-dimensional volumetric quantification of fat loss following cryolipolysis. *Lasers Surg Med* 46(2):75–80
- Metzler P, Sun Y, Zemann W et al (2014) Validity of the 3D VECTRA photogrammetric surface imaging system for cranio-maxillofacial anthropometric measurements. *Oral Maxillofac Surg* 18(3):297–304
- Koban KC, Leitsch S, Holzbach T, Volkmer E, Metz PM, Giunta RE (2014) 3D Bilderfassung und Analyse in der Plastischen Chirurgie mit Smartphone und Tablet: eine Alternative zu professionellen Systemen? *Handchir Mikrochir Plast Chir* 46(2):97–104
- Koban KC, Schenck T, Metz PM et al (2016) Auf dem Weg zur objektiven Evaluation von Form, Volumen und Symmetrie in der Plastischen Chirurgie mittels intraoperativer 3D Scans. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 48(2):78–84
- Chae MP, Hunter-Smith DJ, Spychal RT, Rozen WM (2014) 3D volumetric analysis for planning breast reconstructive surgery. *Breast Cancer Res Treat* 146(2):457–460
- Esme DL, Bucksch A, Beckman WH (2009) Three-dimensional laser imaging as a valuable tool for specifying changes in breast shape after augmentation mammoplasty. *Aesthet Plast Surg* 33(2):191–195
- Chae MP, Rozen WM, Spychal RT, Hunter-smith DJ (2016) Breast volumetric analysis for aesthetic planning in breast reconstruction: a literature review of techniques. *Gland Surg* 5(2):212–226
- de Heras Ciecchowski P, Constantinescu M, Garcia J et al (2012) Development and implementation of a web-enabled 3D consultation tool for breast augmentation surgery based on 3D-image reconstruction of 2D pictures. *J Med Internet Res* 14(1):e21
- O'Connell RL, Stevens RJG, Harris PA, Rusby JE (2015) Review of three-dimensional (3D) surface imaging for oncologic, reconstructive and aesthetic breast surgery. *Breast* 24(4):331–342
- Simon BE, Hoffman S, Kahn S (1973) Classification and surgical correction of gynecomastia. *Plast Reconstr Surg* 51(1):48–52
- Rohrich RJ, Ha RY, Kenkel JM, Adams WP (2003) Classification and management of gynecomastia: defining the role of ultrasound-assisted liposuction. *Plast Reconstr Surg* 111(2):909–923
- Yin S, Luan J, Fu S, Zhuang Q (2016) Is centrifugation necessary for processing lipoaspirate harvested via water-jet force assisted technique before grafting? Evidence of lipoaspirate concentration with enhanced fat graft survival. *Ann Plast Surg* 77(4):477–484
- Tepper OM, Small KH, Unger JG et al (2009) 3D analysis of breast augmentation defines operative changes and their relationship to implant dimensions. *Ann Plast Surg* 62(5):570–575
- Cordova A, Moschella F (2008) Algorithm for clinical evaluation and surgical treatment of gynecomastia. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 61(1):41–49
- Lee BH, Kwon YJ, Park JW, Hwang JH, Kim KS, Lee SY (2014) Gynecomastia surgery is associated with improved nipple location in young Korean patients. *Arch Plast Surg* 41(6):748–752
- Keskin M, Sutcu M, Hanci M, Cigsar B (2017) Reduction of the areolar diameter after ultrasound-assisted liposuction for gynecomastia. *Ann Plast Surg* 79(2):135–138
- Eder M, Waldenfels FV, Sichtermann M et al (2011) Three-dimensional evaluation of breast contour and volume changes following subpectoral augmentation mammoplasty over 6 months. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 64(9):1152–1160
- Kovaes L, Eder M, Zimmermann A et al (2012) Three-dimensional evaluation of breast augmentation and the influence of anatomic and round implants on operative breast shape changes. *Aesthet Plast Surg* 36(4):879–887
- Ji K, Luan J, Liu C et al (2014) A prospective study of breast dynamic morphological changes after dual-plane augmentation mammoplasty with 3D scanning technique. *PLoS ONE* 9(3):e93010
- Venkataram J (2008) Tumescence liposuction: a review. *J Cutan Aesthet Surg* 1(2):49–57
- Hanke CW, Bernstein G, Bullock S (1995) Safety of tumescence liposuction in 15,336 patients. National survey results. *Dermatol Surg*. 21(5):459–462
- Zhu M, Cohen SR, Hicok KC et al (2013) Comparison of three different fat graft preparation methods: gravity separation, centrifugation, and simultaneous washing with filtration in a closed system. *Plast Reconstr Surg* 131(4):873–880. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e31828276e9>

37. Dixit VV, Wagh MS (2013) Unfavourable outcomes of liposuction and their management. *Indian J Plast Surg* 46(2):377
38. Kasielska A, Antoszewski B (2013) Surgical management of gynecomastia. *Ann Plast Surg* 71(5):471–475
39. Morselli PG, Morellini A (2012) Breast reshaping in gynecomastia by the “pull-through technique”: considerations after 15 years. *Eur J Plast Surg* 35(5):365–371
40. Wolter A, Scholz T, Diedrichson J, Liebau J (2013) Chirurgische Therapie der Gynäkomastie: Ein Algorithmus. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 45(2):73–79

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

6. Literaturverzeichnis

1. Weissler JM, Stern CS, Schreiber JE, Amirlak B, Tepper OM. The Evolution of Photography and Three-Dimensional Imaging in Plastic Surgery. *Plast Reconstr Surg.* 2017;139(3):761-769. doi:10.1097/PRS.00000000000003146
2. Lekakis G, Claes P, Hamilton GS, Hellings PW. Three-Dimensional Surface Imaging and the Continuous Evolution of Preoperative and Postoperative Assessment in Rhinoplasty. *Facial Plast Surg.* 2016;32(1):88-94. doi:10.1055/s-0035-1570122
3. Tzou C-HJHJ, Frey M. Evolution of 3D Surface Imaging Systems in Facial Plastic Surgery. *Facial Plast Surg Clin North Am.* 2011;19(4):591-602. doi:10.1016/j.fsc.2011.07.003
4. Eder M, Waldenfels F v., Sichtermann M, et al. Three-dimensional evaluation of breast contour and volume changes following subpectoral augmentation mammoplasty over 6 months. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2011;64(9):1152-1160. doi:10.1016/j.bjps.2011.03.037
5. Eder M, Schneider A, Feussner H, et al. [Breast volume assessment based on 3D surface geometry: verification of the method using MR imaging]. *Biomed Tech.* 2008;53(3):112-121. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18601619>.
6. Jacobs RA. Three-dimensional photography. *Plast Reconstr Surg.* 2001;107(1):276-277. doi:10.1097/00006534-200101000-00049
7. Schultz RC, Dolezal RF, Nolan J. Further applications of Archimedes' principle in the correction of asymmetrical breasts. *Ann Plast Surg.* 1986;16(2):98-101. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3273032>.
8. Campaigne BN, Katch VL, Freedson P, Sady S, Katch FI. Measurement of breast volume in females: Description of a reliable method. *Ann Hum Biol.* 1979;6(4):363-367. doi:10.1080/03014467900003741

9. Kovacs L, Eder M, Hollweck R, et al. Comparison between breast volume measurement using 3D surface imaging and classical techniques. *Breast*. 2007;16(2):137-145. doi:10.1016/j.breast.2006.08.001
10. Koch MC, Adamietz B, Jud SM, et al. Breast volumetry using a three-dimensional surface assessment technique. *Aesthetic Plast Surg*. 2011;35(5):847-855. doi:10.1007/s00266-011-9708-x
11. Kayar R, Civelek S, Cobanoglu M, et al. Five methods of breast volume measurement: A comparative study of measurements of specimen volume in 30 mastectomy cases. *Breast Cancer Basic Clin Res*. 2011;5(1):43-52. doi:10.4137/BCBCR.S6128
12. O'Connell RL, Khabra K, Bamber JC, et al. Validation of the Vectra XT three-dimensional imaging system for measuring breast volume and symmetry following oncological reconstruction. *Breast Cancer Res Treat*. 2018;171(2):391-398. doi:10.1007/s10549-018-4843-6
13. Bulstrode N, Bellamy E, Shrotria S. Breast volume assessment: comparing five different techniques. *Breast*. 2001;10(2):117-123. doi:10.1054/brst.2000.0196
14. Rha EY, Choi IK, Yoo G. Accuracy of the method for estimating breast volume on three-dimensional simulated magnetic resonance imaging scans in breast reconstruction. *Plast Reconstr Surg*. 2014;133(1):14-20. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24374666>.
15. Sigurdson LJ, Kirkland SA. Breast volume determination in breast hypertrophy: an accurate method using two anthropomorphic measurements. *Plast Reconstr Surg*. 2006;118(2):313-320. doi:10.1097/01.prs.0000227627.75771.5c
16. Parmar C, West M, Pathak S, Nelson J, Martin L. Weight versus volume in breast surgery: an observational study. *JRSM Short Rep*. 2011;2(11):87. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22140613>.

17. Howes BHL, Watson DI, Fosh B, Yip JM, Kleinig P, Dean NR. Magnetic Resonance Imaging Versus 3-Dimensional Laser Scanning for Breast Volume Assessment after Breast Reconstruction. *Ann Plast Surg.* 2017;78(4):455-459. doi:10.1097/SAP.0000000000000890
18. Herly M, Müller FC, Ørholt M, et al. The current gold standard breast volumetry technique seems to overestimate fat graft volume retention in the breast: A validation study. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg.* 2019;72(8):1278-1284. doi:10.1016/j.bjps.2019.03.029
19. Hoeffelin H, Jacquemin D, Defaweux V, Nizet JL. A methodological evaluation of volumetric measurement techniques including three-dimensional imaging in breast surgery. *Biomed Res Int.* 2014;2014:573249. doi:10.1155/2014/573249
20. Yip JM, Mouratova N, Jeffery RM, Veitch DE, Woodman RJ, Dean NR. Accurate assessment of breast volume: a study comparing the volumetric gold standard (direct water displacement measurement of mastectomy specimen) with a 3D laser scanning technique. *Ann Plast Surg.* 2012;68(2):135-141. doi:10.1097/SAP.0b013e31820ebdd0
21. Tzou C-HHJHJ, Artner NM, Pona I, et al. Comparison of three-dimensional surface-imaging systems. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2014;67(4):489-497. doi:10.1016/j.bjps.2014.01.003
22. Al-Khatib A. Facial three dimensional surface imaging: An overview. *Arch Orofac Sci.* 2010;1(1):1-8.
http://www.dental.usm.my/aos/docs/Vol_5/Issue_1/0108_alirajih.pdf.
Accessed November 6, 2017.
23. Chang JB, Small KH, Choi M, Karp NS. Three-dimensional surface imaging in plastic surgery: foundation, practical applications, and beyond. *Plast Reconstr Surg.* 2015;135(5):1295-1304.
doi:10.1097/PRS.0000000000001221

24. Chae MP, Rozen WM, Spychal RT, Hunter-Smith DJ. Breast volumetric analysis for aesthetic planning in breast reconstruction : a literature review of techniques. *Gland Surg.* 2016;5(2):212-226. doi:10.3978/j.issn.2227-684X.2015.10.03
25. Tepper OM, Karp NS, Small K, et al. Three-dimensional imaging provides valuable clinical data to aid in unilateral tissue expander-implant breast reconstruction. *Breast J.* 2008;14(6):543-550.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19054001>.
26. Jacono AA, Malone MH, Talei B. Three-dimensional analysis of long-term midface volume change after vertical vector deep-plane rhytidectomy. *Aesthetic Surg J.* 2015;35(5):491-503. doi:10.1093/asj/sju171
27. Creasman CN, Mordaunt D, Liolios T, Chiu C, Gabriel A, Maxwell GP. Four-dimensional breast imaging, part II: clinical implementation and validation of a computer imaging system for breast augmentation planning. *Aesthet Surg J.* 2011;31(8):925-938.
doi:10.1177/1090820X11424147
28. Quan M, Fadl A, Small K, et al. Defining pseudoptosis (bottoming out) 3 years after short-scar medial pedicle breast reduction. *Aesthetic Plast Surg.* 2011;35(3):357-364. doi:10.1007/s00266-010-9615-6
29. Verhulst A, Hol M, Vreeken R, Becking A, Ulrich D, Maal T. Three-Dimensional Imaging of the Face: A Comparison between Three Different Imaging Modalities. *Aesthetic Surg J.* 2018;38(6):579-585.
doi:10.1093/asj/sjx227
30. Knoops PGMM, Beaumont CAAA, Borghi A, et al. Comparison of three-dimensional scanner systems for craniomaxillofacial imaging. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2017;70(4):441-449.
doi:10.1016/j.bjps.2016.12.015
31. Yang J, Zhang R, Shen J, Hu Y, Lv Q. The Three-Dimensional Techniques in the Objective Measurement of Breast Aesthetics. *Aesthetic Plast Surg.* 2015;39(6):910-915. doi:10.1007/s00266-015-0560-2

32. Coltman CE, McGhee DE, Steele JR. Three-dimensional scanning in women with large, ptotic breasts: implications for bra cup sizing and design. *Ergonomics*. 2017;60(3):439-445. doi:10.1080/00140139.2016.1176258
33. Koban KC, Schenck T, Metz PM, et al. Auf dem Weg zur objektiven Evaluation von Form, Volumen und Symmetrie in der Plastischen Chirurgie mittels intraoperativer 3D Scans. 2016;48:78-84. doi:10.1055/s-0042-104506
34. Karatas OH, Toy E. Three-dimensional imaging techniques: A literature review. *Eur J Dent*. 2014;8(1):132-140. doi:10.4103/1305-7456.126269
35. Lin SJ, Patel N, O'shaughnessy K, Fine NA. Three-dimensional imaging in measuring facial aesthetic outcomes. *Laryngoscope*. 2008;118(10):1733-1738. doi:10.1097/MLG.0b013e31817e245c
36. Nahabedian MY, Galdino G. Symmetrical breast reconstruction: is there a role for three-dimensional digital photography? *Plast Reconstr Surg*. 2003;112(6):1582-1590. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14578788>.
37. Henseler H, Smith J, Bowman A, et al. Subjective versus objective assessment of breast reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg*. 2013;66(5):634-639. doi:10.1016/j.bjps.2013.01.006
38. Berssenbrügge P, Berlin NF, Kebeck G, et al. 2D and 3D analysis methods of facial asymmetry in comparison. *J Cranio-Maxillofacial Surg*. 2014;42(6):e327-e334. doi:10.1016/j.jcms.2014.01.028
39. Taylor HO, Morrison CS, Linden O, et al. Quantitative facial asymmetry: using three-dimensional photogrammetry to measure baseline facial surface symmetry. *J Craniofac Surg*. 2014;25(1):124-128. doi:10.1097/SCS.0b013e3182a2e99d
40. 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*. 2005;55(6):571-575. doi:10.1097/01.sap.0000185459.49434.5f

41. Li Y, Yang X, Li D. The application of three-dimensional surface imaging system in plastic and reconstructive surgery. *Ann Plast Surg.* 2016;77:S76-S83. doi:10.1097/SAP.0000000000000813
42. Linming F, Wei H, Anqi L, et al. Comparison of two skin imaging analysis instruments: The VISIA® from Canfield vs the ANTERA 3D@CS from Miravex. *Ski Res Technol.* 2018;24(1):3-8. doi:10.1111/srt.12381
43. Hall-Findlay E. Comments on three-dimensional imaging for breast augmentation: Is this technology providing accurate simulations? *Aesthetic Surg J.* 2015;35(3):NP68-NP72. doi:10.1093/asj/sju035
44. Nord F, Ferjencik R, Seifert B, et al. The 3dMD photogrammetric photo system in cranio-maxillofacial surgery: Validation of interexaminer variations and perceptions. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2015;43(9):1798-1803. doi:10.1016/j.jcms.2015.08.017
45. Wong JY, Oh AK, Ohta E, et al. Validity and reliability of craniofacial anthropometric measurement of 3D digital photogrammetric images. *Cleft Palate Craniofac J.* 2008;45(3):232-239. doi:10.1597/06-175
46. Aldridge K, Boyadjiev SA, Capone GT, DeLeon VB, Richtsmeier JT. Precision and error of three-dimensional phenotypic measures acquired from 3dMD photogrammetric images. *Am J Med Genet A.* 2005;138A(3):247-253. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16158436>.
47. Kovacs L, Zimmermann A, Brockmann G, et al. Accuracy and precision of the three-dimensional assessment of the facial surface using a 3-D laser scanner. *IEEE Trans Med Imaging.* 2006;25(6):742-754. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16768239>.
48. Beaumont CAA, Knoops PGM, Borghi A, et al. Three-dimensional surface scanners compared with standard anthropometric measurements for head shape. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2017;45(6):921-927. doi:10.1016/j.jcms.2017.03.003

49. Kook MS, Jung S, Park HJ, et al. A comparison study of different facial soft tissue analysis methods. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2014;42(5):648-656. doi:10.1016/j.jcms.2013.09.010
50. Soileau L, Bautista D, Johnson C, et al. Automated anthropometric phenotyping with novel Kinect-based three-dimensional imaging method: Comparison with a reference laser imaging system. *Eur J Clin Nutr.* 2016;70(4):475-481. doi:10.1038/ejcn.2015.132
51. Metzler P, Sun Y, Zemmann W, et al. Validity of the 3D VECTRA photogrammetric surface imaging system for cranio-maxillofacial anthropometric measurements. *Oral Maxillofac Surg.* 2013;18(3):297-304. doi:10.1007/s10006-013-0404-7
52. Weinberg SM, Naidoo S, Govier DP, Martin RA, Kane AA, Marazita ML. Anthropometric precision and accuracy of digital three-dimensional photogrammetry: comparing the Genex and 3dMD imaging systems with one another and with direct anthropometry. *J Craniofac Surg.* 2006;17(3):477-483. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16770184>.
53. Fourie Z, Damstra J, Gerrits PO, Ren Y. Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems. *Forensic Sci Int.* 2011;207(1-3):127-134. doi:10.1016/j.forsciint.2010.09.018
54. Heike CL, Cunningham ML, Hing A V, Stuhaug E, Starr JR. Picture perfect? Reliability of craniofacial anthropometry using three-dimensional digital stereophotogrammetry. *Plast Reconstr Surg.* 2009;124(4):1261-1272. doi:10.1097/PRS.0b013e3181b454bd
55. Ghoddousi H, Edler R, Haers P, Wertheim D, Greenhill D. Comparison of three methods of facial measurement. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007;36(3):250-258. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17113754>.
56. Nkenke E, Vairaktaris E, Kramer M, et al. Three-dimensional analysis of changes of the malar-midfacial region after LeFort I osteotomy and maxillary advancement. *Oral Maxillofac Surg.* 2008;12(1):5-12. doi:10.1007/s10006-008-0094-8

57. Yamamoto S, Miyachi H, Fujii H, Ochiai S, Watanabe S, Shimozato K. Intuitive Facial Imaging Method for Evaluation of Postoperative Swelling: A Combination of 3-Dimensional Computed Tomography and Laser Surface Scanning in Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2016;74(12):2506.e1-2506.e10. doi:10.1016/j.joms.2016.08.039
58. Van Der Vlis M, Dentino KM, Vervloet B, Padwa BL. Postoperative swelling after orthognathic surgery: A prospective volumetric analysis. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;72(11):2241-2247. doi:10.1016/j.joms.2014.04.026
59. Rho NK, Park JY, Youn CS, Lee SK, Kim HS. Early changes in facial profile following structured filler rhinoplasty: an anthropometric analysis using a 3-dimensional imaging system. *Dermatologic Surg.* 2017;43(2):255-263. doi:10.1097/DSS.0000000000000972
60. Gerth DJ, King B, Rabach L, Glasgold RA, Glasgold MJ. Long-term volumetric retention of autologous fat grafting processed with closed-membrane filtration. *Aesthet Surg J.* 2014;34(7):985-994. doi:10.1177/1090820X14542649
61. Sasaki GH. The Safety and Efficacy of Cell-Assisted Fat Grafting to Traditional Fat Grafting in the Anterior Mid-Face: An Indirect Assessment by 3D Imaging. *Aesthetic Plast Surg.* 2015;39(6):833-846. doi:10.1007/s00266-015-0533-5
62. Mailey B, Baker JL, Hosseini A, et al. Evaluation of Facial Volume Changes after Rejuvenation Surgery Using a 3-Dimensional Camera. *Aesthetic Surg J.* 2016;36(4):379-387. doi:10.1093/asj/sjv226
63. Schreiber JE, Terner J, Stern CS, et al. The boomerang lift: A three-step compartment-based approach to the youthful cheek. *Plast Reconstr Surg.* 2018;141(4):910-913. doi:10.1097/PRS.00000000000004251
64. Dornelles R de FV, Alonso N. New virtual tool for accurate evaluation of facial volume1. *Acta Cir Bras.* 2017;32(12):1075-1086. doi:10.1590/s0102-865020170120000009

65. Gatherwright JR, Brown MS, Katira KM, Rowe DJ. Three-Dimensional Changes in the Midface Following Malar Calcium Hydroxyapatite Injection in a Cadaver Model. *Aesthetic Surg J*. 2015;35(6):NP169-NP175. doi:10.1093/asj/sju080
66. Hammond DC, Donfrancesco A, Montemurro P, Hedén P, Heden P. Three-dimensional simulated images in breast augmentation surgery: an investigation of patients' satisfaction and the correlation between prediction and actual outcome. *Plast Reconstr Surg*. 2013;132(4):810-822. doi:10.1097/PRS.0b013e3182a014cb
67. Henseler H, Smith J, Bowman A, et al. Investigation into variation and errors of a three-dimensional breast imaging system using multiple stereo cameras. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2012;65(12):e332-7. doi:10.1016/j.bjps.2012.05.028
68. Losken A, Seify H, Denson DD, et al. Validating three-dimensional imaging of the breast. *Ann Plast Surg*. 2005;54(5):471-476. doi:10.1097/01.sap.0000155278.87790.a1
69. Lee WY, Kim MJ, Lew DH, Song SY, Lee DW. Three-Dimensional Surface Imaging is an Effective Tool for Measuring Breast Volume: A Validation Study. *Arch Plast Surg*. 2016;43(5):430-437. doi:10.5999/aps.2016.43.5.430
70. Henseler H, Ju X, Ayoub A, Ray AK. The importance of the pose in three-dimensional imaging of the ptotic breast. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2013;66(11):1551-1556. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23849983>.
71. Eder M, Grabhorn A, Waldenfels F, et al. Prediction of breast resection weight in reduction mammoplasty based on 3-dimensional surface imaging. *Surg Innov*. 2013;20(4):356-364. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22983806>.
72. Roostaeian J, Adams WP, Adams Jr. WP. Three-Dimensional Imaging for Breast Augmentation: Is This Technology Providing Accurate Simulations? *Aesthet Surg J*. 2014;34(6):857-875. doi:10.1177/1090820X14538805

73. Roostaeian J, Adams WP. Response to comments on: Threedimensional imaging for breast augmentation: Is this technology providing accurate simulations? *Aesthetic Surg J*. 2015;35(3):NP73-NP74. doi:10.1093/asj/sju152
74. Liu C, Luan J, Mu L, Ji K. The role of three-dimensional scanning technique in evaluation of breast asymmetry in breast augmentation: A 100-case study. *Plast Reconstr Surg*. 2010;126(6):2125-2132. doi:10.1097/PRS.0b013e3181f46ec6
75. Kovacs L, Eder M, Zimmermann A, et al. Three-dimensional evaluation of breast augmentation and the influence of anatomic and round implants on operative breast shape changes. *Aesthetic Plast Surg*. 2012;36(4):879-887. doi:10.1007/s00266-012-9892-3
76. Esme DL, Bucksch A, Beekman WH. Three-dimensional laser imaging as a valuable tool for specifying changes in breast shape after augmentation mammoplasty. *Aesthetic Plast Surg*. 2009;33(2):191-195. doi:10.1007/s00266-008-9259-y
77. Ma JX, Xia YC, Li B, Zhao HM, Lei YT. Unilateral Tissue Expander/Implant Two-Stage Breast Reconstruction with the Assistance of Three-Dimensional Surface Imaging. *Aesthetic Plast Surg*. 2020;44(1):60-69. doi:10.1007/s00266-019-01513-3
78. Chen K, Feng CJ, Ma H, et al. Preoperative breast volume evaluation of one-stage immediate breast reconstruction using three-dimensional surface imaging and a printed mold. *J Chinese Med Assoc*. 2019;82(9):732-739. doi:10.1097/JCMA.000000000000155
79. Stivala A, Bertrand B, Ouar N, Revol M, Atlan M, Cristofari S. Lower rates of lipofilling sessions in latissimus dorsi flap breast reconstruction with initial higher volume transfer by preservation of subfascial fat: A 3D camera-assisted volumetric case series. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg*. 2020. doi:10.1016/j.bjps.2019.11.002

80. Chae MP, Rozen WM, Patel NG, Hunter-Smith DJ, Ramakrishnan V. Enhancing breast projection in autologous reconstruction using the St Andrew's coning technique and 3D volumetric analysis. *Gland Surg.* 2017;6(6):706-714. doi:10.21037/g.s.2017.06.01
81. 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.* 2017;5(10):e1511. doi:10.1097/GOX.0000000000001511
82. Spanholtz TA, Leitsch S, Holzbach T, Volkmer E, Engelhardt T, Giunta RE. 3-dimensionale Bilderfassung: Erste Erfahrungen in der Planung und Dokumentation plastisch-chirurgischer Operationen. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plast Chir.* 2012;44(4):234-239. doi:10.1055/s-0032-1316379
83. Gibelli D, Pucciarelli V, Cappella A, Dolci C, Sforza C. Are Portable Stereophotogrammetric Devices Reliable in Facial Imaging? A Validation Study of VECTRA H1 Device. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018;76(8):1772-1784. doi:10.1016/j.joms.2018.01.021
84. Koban K, Leitsch S, Holzbach T, Volkmer E, Metz P, Giunta R. 3D Bilderfassung und Analyse in der Plastischen Chirurgie mit Smartphone und Tablet: eine Alternative zu professionellen Systemen? *Handchirurgie · Mikrochirurgie · Plast Chir.* 2014;46(02):97-104. doi:10.1055/s-0034-1371822
85. Koban KC, Härtnagl F, Titze V, Schenck TL, Giunta RE. Chances and limitations of a low-cost mobile 3D scanner for breast imaging in comparison to an established 3D photogrammetric system. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg.* 2018;71(10):1417-1423. doi:10.1016/j.bjps.2018.05.017

86. Koban KC, Perko P, Etzel L, Li Z, Schenck TL, Giunta RE. Validation of two handheld devices against a non-portable three-dimensional surface scanner and assessment of potential use for intraoperative facial imaging. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg.* 2020;73(1):141-148.
doi:10.1016/j.bjps.2019.07.008
87. De Menezes M, Rosati R, Ferrario VF, Sforza C. Accuracy and reproducibility of a 3-dimensional stereophotogrammetric imaging system. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010;68(9):2129-2135.
doi:10.1016/j.joms.2009.09.036
88. Othman SA, Ahmad R, Mericant AF, Jamaludin M. Reproducibility of facial soft tissue landmarks on facial images captured on a 3D camera. *Aust Orthod J.* 2013;29(1):58-65.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23785939>. Accessed December 16, 2017.
89. Epstein MD, Schefflan M. Three-dimensional Imaging and Simulation in Breast Augmentation: What Is the Current State of the Art? *Clin Plast Surg.* 2015;42(4):437-450. doi:10.1016/j.cps.2015.06.013
90. Schenck TL, Koban KC, Schlattau A, et al. Updated anatomy of the buccal space and its implications for plastic, reconstructive and aesthetic procedures. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg.* 2018;71(2):162-170.
doi:10.1016/j.bjps.2017.11.005
91. Koban KC, Cotofana S, Frank K, et al. Precision in 3-Dimensional Surface Imaging of the Face: A Handheld Scanner Comparison Performed in a Cadaveric Model. *Aesthetic Surg J.* 2018;39(4):NP36-NP44.
doi:10.1093/asj/sjy242
92. Koban KC, Etzel L, Li Z, et al. Three-dimensional surface imaging in breast cancer: A new tool for clinical studies? *Radiat Oncol.* 2020;15(1).
doi:10.1186/s13014-020-01499-2

93. Etzel L, Koban KC, Li Z, Frank K, Giunta RE, Schenck TL. Whole-body surface assessment - Implementation and experiences with 360° 3D whole-body scans: Opportunities to objectively monitor the extremities and the body trunk. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plast Chir.* 2019;51(4):240-248. doi:10.1055/a-0836-2683
94. Rashaan ZM, Euser AM, van Zuijlen PPM, Breederveld RS. Three-dimensional imaging is a novel and reliable technique to measure total body surface area. *Burns.* 2018;44(4):816-822. doi:10.1016/j.burns.2017.12.008
95. Modabber A, Peters F, Brokmeier A, et al. Influence of Connecting Two Standalone Mobile Three-Dimensional Scanners on Accuracy Comparing with a Standard Device in Facial Scanning. *J Oral Maxillofac Res.* 2016;7(4):e4. doi:10.5037/jomr.2016.7404
96. Dessery Y, Pallari J. Measurements agreement between low-cost and high-level handheld 3D scanners to scan the knee for designing a 3D printed knee brace. Gard SA, ed. *PLoS One.* 2018;13(1):e0190585. doi:10.1371/journal.pone.0190585
97. Maal TJJJ, Van Loon B, Plooi JM, et al. Registration of 3-dimensional facial photographs for clinical use. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010;68(10):2391-2401. doi:10.1016/j.joms.2009.10.017
98. Meier JD, Glasgold RA, Glasgold MJ. 3D Photography in the Objective Analysis of Volume Augmentation Including Fat Augmentation and Dermal Fillers. *Facial Plast Surg Clin North Am.* 2011;19(4):725-735. doi:10.1016/j.fsc.2011.07.012
99. Donath AS, Glasgold RA, Meier J, et al. Quantitative evaluation of volume augmentation in the tear trough with a hyaluronic Acid-based filler: a three-dimensional analysis. *Plast Reconstr Surg.* 2010;125(5):1523-1524. doi:10.1097/PRS.0b013e3181d70317
100. Cotofana S, Koban K, Pavicic T, et al. Clinical Validation of the Surface Volume Coefficient for Minimally Invasive Treatment of the Temple. *J Drugs Dermatol.* 2019;18(6):533.

101. Eder M, Kloppel M, Muller D, Papadopoulos NA, Machens HG, Kovacs L. 3-D analysis of breast morphology changes after inverted T-scar and vertical-scar reduction mammoplasty over 12 months. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2013;66(6):776-786.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23478011>.
102. Karp N, Choi M, Kulber DA, et al. SERI Surgical Scaffold in 2-Stage Breast Reconstruction: 2-Year Data from a Prospective, Multicenter Trial. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2017;5(5):e1327.
doi:10.1097/GOX.0000000000001327
103. Sönmez Ergün S, Kayan RB, Güleş ME, Kuzu İM. Effects of laser-assisted lipolysis on nipple-areola complex. *J Cosmet Laser Ther*. 2017;19(4):215-218. doi:10.1080/14764172.2017.1288258
104. Cohen SR, Weiss ET, Brightman LA, et al. Quantitation of the results of abdominal liposuction. *Aesthetic Surg J*. 2012;32(5):593-600.
doi:10.1177/1090820X12449457
105. Koban KC, Titze V, Etzel L, Frank K, Schenck T, Giunta R. Quantitative volumetric analysis of the lower extremity: Validation against established tape measurement and water displacement. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plast Chir*. 2018;50(6):393-399. doi:10.1055/a-0770-3445

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ansicht des Vectra XT 3D Surface Imaging System der Firma Canfield Sci. (Parsippany, NJ, USA).

Abbildung 2: Aufnahmeposition vor dem Vectra System.

Abbildung 3: Exemplarische Ansicht eines 3-D Modells in geteilter texturierter und nicht-texturierter Darstellung.

Abbildung 4: Handgeführter 3-D Scanner Eva der Firma Artec 3D (Luxemburg). Hier exemplarisch im Einsatz zur 3-D Volumetrie im Rahmen der Arbeit von Publikation 1.

Abbildung 5: Versuchsaufbau am anatomischen Frischpräparat. Subkutane vorgelegte Injektionsapparatur zur Befüllung des sub-orbicularis oculi Fettkompartiments.

Abbildung 6: Exemplarische Darstellung der schrittweisen Befüllung und 3-D Volumetrie mit Röntgen Verifizierung des tiefen temporalen Fettkompartiments.

8. Danksagung

Herrn Univ.-Prof. Dr. Giunta danke ich zutiefst als meinem Chef für die Überlassung dieses interessanten Themas und der steten Unterstützung in der Forschung und Arbeit. Ein großes gesetztes Ziel konnten wir zusammen mit dem Erwerb des ersten 3D Ganzkörperscanners in der Plastischen Chirurgie Deutschlands erreichen, welcher durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Programm „Großgeräte der Länder“ gefördert wurde.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Schenck, Herrn Professor Dr. Cotofana, sowie meinem Kollegen Dr. Frank für die fruchtbare Zusammenarbeit von Anatomie und 3DSI Technologie.

Herrn Etzel gilt ebenfalls mein besonderer Dank für die stete Zusammenarbeit und die Befolgung der „10ter Mann Regel“.

An Herrn Dr. Li, Dr. Xu, sowie Dr. Green möchte ich mich herzlichst für die Mitarbeit an unseren Studien bedanken.

Auch möchte ich allen Mitarbeitern - alphabetisch: Herr Brehl, Frau Haras, Frau Jerkku, Herr Pandza, Frau Penzkofer, Frau Schweinberger - unserer Abteilung für Hand-, Plastische und Ästhetische Chirurgie am Klinikum der LMU herzlichst seit meinen Studententagen für ihr Engagement und Hilfe danken.

Ebenfalls möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für die konstante Unterstützung bedanken.