Aus der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Helios-Klinikums Emil von Behring, Akademisches Lehrkrankenhaus

DISSERTATION

Röntgenanatomie der Arteria epigastrica inferior und Embolisationstechnik zur TRAM-Flap Konditionierung vor operativer Brustrekonstruktion

Zur Erlangung des akademischen Grades Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Jens-Peter Banzer aus Bielefeld

Gutachter: 1. Priv.-Doz. Dr. med. D. Banzer 2. Prof. Dr. med. B. Hamm 3. Prof. Dr. med. J. Hierholzer

Datum der Promotion: 29. September 2008

meinen Kindern

Johannes, Pelin und Julian

Gliederung

1.	Einleitung und Fragestellung	5	
2.	Grundlagen		
	 2.1 Anatomie des M. rectus abdominis 2.1.1 Aufbau und Funktion 2.1.2 Gefäßversorgung des Muskels und der darüberliegenden Hau 	6 6 t 7	
	 2.2 Operationsverfahren zum Brustaufbau 2.2.1 heterologer Brustaufbau 2.2.2 autologer Brustaufbau 	10 10 11	
	2.3 Konditionierung des gestielten TRAM-Lappens	13	
3.	Eigene Untersuchungen	14	
	3.1 Methodik	14	
	 3.1.1 Patientenkollektiv	14 16 16 19 22 26	
	3.2 Ergebnisse	28	
	 3.2.1 Abgang der AEI aus der A. iliaca interna	28 29 31 32 34 36	
4.	Diskussion	39	
	4.1 Röntgenanatomie der AEI4.2 Konditionierung des TRAM-Lappens	40 44	
5.	Zusammenfassung	49	
6.	Literatur		

1. Einleitung und Fragestellung

Das Mammakarzinom ist eine der häufigsten Krebsformen. Jedes Jahr erkranken weltweit etwa eine Million Frauen (13, 15, 35). Ungefähr ein Drittel der lokalisierten Stadien sind für eine brusterhaltende chirurgische Therapie nicht geeignet, können aber durch eine Mastektomie und Zusatzmaßnahmen behandelt werden (51). Anschließend ist bei den meisten Patientinnen eine rekonstruktiver Aufbau der Brust möglich (6, 64), entweder als heterologes Implantat oder als autologer Ersatz durch ein Haut-Muskel-Transplantat. Wird ein gestielter Lappen aus dem Musculus rectus abdominis (transverse rectus abdominis muscle flap, TRAM-Flap, TRAM-Lappen), verwendet, erfolgt die Blutversorgung des Transplantats nach Absetzen der Arteria epigastrica inferior (AEI) nur noch über die verbleibende schwächere Arteria epigastrica superior (AES). Damit besteht die Gefahr der ungenügenden Durchblutung und Nekrose im Transplantat. Um die Blutversorgung und damit das Überleben des Transplantats zu verbessern, sind verschiedene chirurgische Verfahren zur Konditionierung des TRAM-Lappens beschrieben worden. Ziel der Maßnahme ist es, durch eine Unterbrechung der AEI mehrere Wochen vor der Transplantatoperation den Muskel an die alleinige Versorgung durch die AES zu adaptieren. Als minimal invasives Verfahren wird in dieser Arbeit das Konzept der von der eigenen Arbeitsgruppe entwickelten präoperativen selektiven Katheterembolisation der AEI untersucht. Die genaue Kenntnis der Anatomie der AEI und ihrer Varianten bildet die Grundlage für eine optimale Embolisationstechnik. Aufgabe war es daher, die röntgenanatomische Gefäßarchitektur aus übersichtsangiographischen und selektiven Darstellungen der AEI zu analysieren und die Ergebnisse mit der bisher vorhandenen anatomischen Literatur zu vergleichen. Die anatomieangepaßte Methodik, die Ergebnisse und Komplikationen der von der Arbeitsgruppe entwickelten selektiven Embolisationstechnik werden dargestellt.

2. Grundlagen

2.1 Anatomie des M. rectus abdominis

2.1.1 Aufbau und Funktion

Der Musculus rectus abdominis (5, 32, 47) verläuft als bandförmiger Muskel seitlich der Linea alba und verbindet als ein wesentlicher Teil der vorderen Bauchwand Thorax und Becken miteinander (Abb. 1). Er entspringt an den knorpeligen Anteilen der 3. – 7. Rippe, am Processus xiphoideus und an den Ligamenta costoxiphoidea. Mit kurzer starker Endsehne inseriert er am oberen Rand des Schambeins.



Abb. 1 Musculus rectus abdominis (rechte Körperseite, modifiziert nach VON LANZ)

Innerhalb des Muskels liegen drei bis vier Intersectiones tendineae (Schaltsehnen), die ihn in vier bis fünf Segmente unterteilen. Die unterste Intersectio liegt in Höhe des Nabels. Der obere Anteil des Muskelbauches ist breit und dünn, der untere Anteil schmal und dick. Der Muskel liegt in der Rectusscheide, die von den Aponeurosen der seitlichen Bauchmuskeln und von den Faszien der Bauchwand gebildet wird. Während das anteriore Blatt der Rectusscheide den Muskel vom Ursprung bis zum Ansatz bedeckt, endet das posteriore Blatt ca. 4 – 5 cm unterhalb des Nabels unter Bildung der Linea arcuata, in halber Höhe der Verbindung Nabel – Symphyse. Mit den übrigen Muskeln der Bauchwand ist er für die vertikale Stabilisierung verantwortlich und ist an Rumpfbewegungen (hauptsächlich Beugung) beteiligt. Wird ein M. rectus abdominis entfernt, wird seine Funktion in der Regel vom M. obliquus internus und externus abdominis der gleichen Seite übernommen. Werden beide Rectusmuskeln entfernt, führt dies zu einer Schwächung der Bauchwand und kann Schwierigkeiten beim Übergang vom Liegen zum Sitzen bedingen (12). Auch Bauchwandhernien stellen eine typische Komplikation dieser Operation dar (31, 38, 39). Die heute üblichen Operationstechniken mit Erhalt der Rectusscheide vermeiden nach Möglichkeit solche Komplikationen.

2.1.2 Gefäßversorgung des Muskels und der darüberliegenden Haut

Für die rekonstruktive Chirurgie ist die Brücksichtigung der Gefäßanatomie des M. rectus abdominis von besonderer Bedeutung (Abb. 2). Der Muskel wird von caudal über die Arteria epigastrica inferior (AEI) und von cranial über die Arteria epigastrica superior (AES) versorgt (5, 47). Außerdem geben untere Intercostalarterien Zweige von lateral in den Muskel ab. Die AEI entspringt unmittelbar proximal oder hinter dem Ligamentum inguinale aus der Arteria iliaca externa (27), zieht nach medial-caudal in typischem röntgenanatomisch erkennbaren Bogen um das Ligamentum teres uteri (Ligamentum rotundum) herum, um dann nach medial-cranial aufzusteigen. Sie verläuft hierbei in der Plica umbilicalis lateralis zwischen Peritoneum und Fascia transversalis. Sie durchstößt das posteriore Blatt der Rectusscheide zur Hinterfläche des M. rectus abdominis in Höhe der Linea arcuata und verläuft dann innerhalb des Muskels weiter nach cranial. Oberhalb des Nabels verzweigt sie sich. Die Äste anastomosieren mit Endästen der AES und der A. subcostalis. Unmittelbar nach dem Ursprung gibt die AEI zwei Äste – manchmal mit gemeinsamen Ursprung – ab. Die A. ligamenti teretis uteri (beim Mann A. cremasterica) versorgt bei der Frau das gleichnamige Band. Der für die angiographische Technik bedeutendere Ast ist der Ramus pubicus. Dieser zieht auf der Hinterseite des Schambeins zur Symphyse und entsendet den Ramus obturatorius, der mit dem Ramus pubicus der A. obturatoria anastomosiert. Als Variante wird die starke Ausprägung des Ramus obturatorius als A. obturatoria accessoria ("corona mortis" der alten Anatomen (5)) beschrieben.



Abb. 2 Gefäßversorgung des M. rectus abdominis aus der A. epigastica inferior und der A. epigastrica superior, Ansicht von dorsal (modifiziert nach SOBOTTA).

Die zweite versorgende Arterie des M. rectus abdominis ist die AES. Sie entsteht als direkte mediale Fortsetzung der A. thoracica interna nach Abgabe der A. musculophrenica. Sie tritt über dem M. transversus abdominis in die Bauchwand unter die Rektusscheide. Ihre Zweige bilden ein Anastomosennetz mit den Endästen der AEI.

Zweige der Intercostalarterien versorgen den Muskel zusätzlich segmental von lateral und anastomosieren mit der AES und AEI. Die Interkostalarterien, insbesondere auch die A. musculophrenica übernehmen wichtige Versorgungsfunktionen, wenn die A. thoracica interna z.B. postoperativ geschädigt ist. Sie ermöglichen dann eine Kollateralzirkulation zur AES.

Die Haut und das Unterhautgewebe des Bauches (und damit der TRAM-Flap) werden über zahlreiche Rami perforantes aus der AEI und AES versorgt (60) (Abb.3).



Abb. 3 Hautversorgende Rami perforantes aus den Hauptästen der A. epigastrica inferior mit Aufzweigungen im subdermalen Gewebe (nach BOHMERT).

Diese durchbohren die Rektusscheide und verzweigen sich im Unterhautgewebe (Plexus subdermalis) in medialer und lateraler Richtung. Die medialen Plexusäste nehmen Verbindung zur Gegenseite auf, die lateralen Äste anastomosieren mit Ästen der Aa. intercostales. Das Gefäßnetz ist gewöhnlich am stärksten in der Nabelgegend ausgebildet. Unterhalb der Linea arcuata finden sich keine Rr. perforantes der AEI. Die Aufzweigungssysteme sind seit den grundlegenden Arbeiten von MILLOY (36) bekannt.

Operationstechnisch werden nach TAYLOR (59) vier Hautversorgungszonen bei einseitigem TRAM-Flap unterschieden (Abb. 4). Die Zone 4 auf der Gegenseite wird am schlechtesten versorgt und führt am häufigsten zu Komplikationen am Transplantat infolge von Nekrosen. Dies wird vermieden, wenn der Lappen einige Zeit vor der Operation z.B. durch Unterbindung oder Embolisation der AEI auf die Versorgung durch die AES konditioniert wird.



Abb. 4 Die vier Versorgungszonen der Haut des TRAM-Flaps (nach MOON). Mit 1 ist die Zone der besten Durchblutung gekennzeichnet, mit 4 die Zone der schlechtesten Versorgung.

2.2 Operationsverfahren zum Brustaufbau

Der rekonstruktive Brustaufbau nach Mastektomie wird mit steigender Frequenz durchgeführt und ermöglicht der Patientin eine bessere postoperative Integration in das berufliche und private Umfeld bei deutlich verbesserter Verarbeitung des psychischen Traumas der Mastektomie.

Grundsätzlich unterscheidet man die heterologe und autologe Brustrekonstruktion.

Zu den verschiedenen eingeführten Methoden des heterologen Brustaufbaus gehören Gewebeexpander und Implantate bei ausreichendem lokalen Eigengewebe..

Beim autologen Brustaufbau werden verschiedene myokutane Lappentransplantate verwendet, wenn nur unzureichendes lokales Eigengewebe vorhanden ist, eine Resektion des M. pectoralis vorliegt, eine Bestrahlung erfolgte oder ausgedehnte Narbenbildung oder Ulzerationen bestehen (6, 8, 9, 64).

2.2.1 Heterologer Brustaufbau

Zur Rekonstruktion wird meist ein dauerhaftes Implantat z.B. aus Silikon eingebracht. Dieses wird entweder sofort eingesetzt oder es wird zunächst ein Gewebeexpander verwendet. In die-

sem Fall wird der Expander in eine subkutane oder submuskulofasziale Tasche eingelegt. Anschließend erfolgt über einen Zeitraum von 4 - 6 Wochen die Vergrößerung der Tasche durch Auffüllen des Expanderlumens mit Dehnung des lokalen Gewebes. Durch dieses Verfahren wird der ausgeübte Druck begrenzt. Dadurch ist die Gefahr von Ischämien und Gewebsnekrosen geringer als bei dem sofortigen Einsetzen eines Implantates. In einem zweiten Schritt wird dann der Expander durch ein dauerhaftes Implantat ersetzt.

2.2.2 Autologer Brustaufbau

Als transponierte myokutane Lappen werden zumeist der Latissimus-dorsi-Lappen und der transversale Rectus-abdominis-Lappen (TRAM-flap) verwendet (34). Die grundlegenden Arbeiten zum TRAM-Lappen wurden von HOLMSTRÖM 1979 (24) und von HARTRAMPF 1982 (21) veröffentlicht. Dieser Lappen verfügt über viel subkutanes Fettgewebe mit darüberliegender Haut, die Farbe ähnelt der Haut der Mamma und die abdominelle Narbe ist leichter zu schließen als die Rückennarbe des Latissimus-dorsi-Lappens. Der TRAM-Lappen kann entweder als freier Lappen mit mikrochirurgischer Anastomosierung der versorgenden Gefäße transplantiert werden (19, 20), oder wird als gestielter Lappen geschwenkt. Dazu wird die versorgende AEI abgesetzt und die Versorgung erfolgt im Anschluß an die Transplantation ausschließlich über die AES.

Zur Verlagerung des gestielten Lappens erfolgt die Hebung eines Musculus rectus abdominis-Segmentes mit der dazugehörigen Haut und dem Unterhautfettgewebe. Dies kann einseitig, gegenseitig oder auch beidseitig geschehen (64). Der nach Unterbindung der AEI an der AES gestielte Lappen wird rotiert und durch einen Hauttunnel in die Brustregion gebracht (6).

Der TRAM-Lappen bietet einige Vorzüge gegenüber dem Latissimus-dorsi-Lappen (30). Wegen der Größe des Transplantats mit einem größeren Anteil subkutanen Gewebes wird er zur autologen Brustrekonstruktion auch bei großen Brüsten bevorzugt (67, 68). Er ermöglicht dabei gleichzeitig eine gute Defektfüllung der Brustwand. Außerdem ähnelt seine Hautfarbe und –oberfläche mehr der Haut im Brustbereich. Die tief liegende horizontale abdominelle Hautnarbe läßt sich durch die Kleidung leichter verdecken als die dorsale Narbe beim Latissimus dorsi-Lappen. Der alternativ zur gestielten Lappenplastik verwendete freie Lappen wird durch eine mikrochirurgische Gefäßnaht an die Blutversorgung angeschlossen, allerdings mit erheblich höherem operativtechnischen Aufwand (1, 20).

Die verschiedenen Varianten der Rekonstruktiontechnik mit Hilfe eines gestielten TRAM-Lappens können hier nicht ausführlich erläutert werden. Entsprechende Darstellungen finden sich in der plastisch-chirurgischen Literatur (4, 6, 64). Der TRAM-Lappen besteht aus einem ellipsenförmigen Haut-Subkutis-Gewebeblock, der durch zwei bogenförmige Inzisionen zwischen den beiden Spinae iliacae anteriores superiores geformt wird mit einem Stiel aus einem oder mehreren Segmenten des M. rectus abdominis (Abb. 5). Das Prinzip besteht in der Herauslösung des Haut-Muskel-Gewebeblockes unter Schonung der versorgenden Rr. perforantes und des superioren Gefäßstieles mit A. und V. epigastria superior. Dieser Gewebeblock wird nach Absetzen der unteren epigastrischen Gefäße durch einen subkutanen Tunnel in das vorher vorbereitete Mastektomiegebiet verlagert, wobei darauf zu achten ist, daß der Gefäßstiel nicht torquiert wird. Das Transplantat wird in eine vorgeformte Tasche im Bereich der resezierten Mastektomienarbe unter Modellierung der neuen Brustform eingenäht.



Abb. 5 Anlage des TRAM-Lappens schematisch (modifiziert nach EBRAHIMI).

Später kann noch eine Mamillenrekonstruktion erfolgen. Die Muskellücke, Faszie und Bauchwand am Entnahmeort wird eventuell mit zusätzlicher Einlage eines verstärkenden Polypropylennetzes verschlossen. Bei Adipositas wird die Bauchdecke mit dem Verschluß gleichzeitig gestrafft.

Modifikationen dieses Vorgehens sind z.B. der bilaterale Brustaufbau nach bilateraler Mastektomie oder die Anastomosierung des freien AEI-Stieles mit der Arteria thoracodorsalis um die Durchblutung des Lappens zu verbessern. Auch soll ein doppelt gestielter Lappen die Blutversorgung des Transplantates verbessern (64).

Eingeschränkt werden diese Verfahren durch vorhergehende Bauchoperationen, bei sehr dünnen Patientinnen durch ungenügendes Gewebe und durch allgemeinmedizinische Probleme bei diesen länger dauernden Operationen. Das jeweilige Vorgehen muß individuell geplant werden. Spezifische Komplikationen im Abdominalbereich sind selten, es kann zu Serom- und Abszeßbildung kommen, zu Bauchwandhernien und zu Verziehungen des Bauchnabels (31, 48). Gegebenenfalls ist eine Korrektur-Op notwendig.

2.3 Konditionierung des gestielten Lappens

Hauptkomplikationen des TRAM-Lappens selbst sind Fett- und Hautnekrosen. Diese treten meist in den schlechter versorgten distalen Abschnitten des Tranplantates (Zone 4 nach TAY-LOR) auf. Die Blutversorgung kann durch mikrochirurgische Anastomosierung der AEI an ein geeignetes thorakales Gefäß (z.B. Interkostalarterie) analog zum freien Transplantat verbessert werden (1, 19, 20), allerdings unter Inkaufnahme einer verlängerten Operation mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad.

Als Alternative wurde daher die Präkonditionierung des TRAM-Lappens durch eine vorgeschaltete Operation beschrieben (11, 14): In einem 2-Schritt-Verfahren wird zunächst die AEI ligiert. Dadurch kommt es zu einer Adaptation der Blutversorgung im Muskel über die AES. Nach einigen Wochen kann dann die eigentliche Transplantation vorgenommen werden. Alternativ wurde hierzu das in dieser Arbeit untersuchte minimal-invasive Verfahren der Katheter-Embolisation entwickelt (2). Dabei wird analog zur Ligatur die AEI mit Hilfe einer Minispirale angiographisch embolisiert. Erfolgsentscheidend sind hierbei die genaue Kenntnis der Gefäßanatomie und ihrer Varianten, sowie eine adäquate selektive Kathetertechnik Als additive präoperative Maßnahme sowie zur postoperativen Konditionierung der verbliebenen Bauchdecken werden auch verschiedene physiotherapeutische und rehabilitative Maßnahmen empfohlen (30).

3. Eigene Untersuchungen

3.1 Methodik

In der Arbeit werden die röntgen-anatomischen Befunde sowie die Technik und der Primärerfolg der Embolisation untersucht.

Für die statistischen Analysen wurde das Programm "Analyze-it for MS-Excel, Version 1.5" (Analyze-it Software Ltd., Leeds, England) verwendet.

3.1.1 Patientenkollektiv

Für die Untersuchungen zur Embolisationstechnik und Röntgenanatomie wurden die Arteriographien von 78 fortlaufend zugewiesenen Patientinnen aus der Abteilung für Plastische und Rekonstruktive Chirurgie der Zentralklinik Emil von Behring (jetzt Helios Klinikum Emil von Behring), Berlin, ausgewertet. Es handelte sich um Patientinnen mit Zustand nach Mastektomie wegen eines Mamma-Karzinoms, die einer TRAM-flap-Operation zugeführt werden sollten. Die Op-Planung sah ein sogenanntes Delay-Verfahren vor mit präoperativer Gefäß-Konditionierung des TRAM-Lappens. Für die Auswertung lagen die Röntgenaufnahmen der Angiographien der Patientinnen sowie die Kontrollaufnahmen des Folgetages vor. Weiterhin wurden anamnestische Daten zur Grunderkrankung, zur Primäroperation und zum Zeitintervall bis zur TRAM-flap-Konditionierung ermittelt.

Das Alter der Patientinnen bei der Embolisation lag zwischen 30 und 73 Jahren bei einem Altersmittelwert von 48,8 Jahren mit einer Standardabweichung von 8,4 Jahren (Median 48,9 Jahre, Abb. 6).

Der Zeitraum zwischen Mastektomie und Embolisation betrug 0,5 bis 22,2 Jahre, im Mittel 5,1 Jahre, Standardabweichung 5,2 Jahre (Median 3,3 Jahre, Abb. 7).



Abb. 6 Altersverteilung der Patientinnen zum Zeitpunkt der TRAM-flap Konditionierung (n=78).



Abb. 7 Zeitabstand zwischen Mastektomie und TRAM-Flap-Konditionierung (n = 38).

Die Patientinnen wurden für einen Tag stationär aufgenommen und konnten die Klinik nach einer Kontrollaufnahme des kleinen Beckens am Folgetag wieder verlassen, wenn sie nicht aus anderen Gründen noch stationär behandelt wurden. Außerhalb dieser Serie wurden später behandelte Patientinnen z.T. auch ambulant behandelt. Klinische Ergebnisse des rekonstruktiven Eingriffs nach vorausgegangener Konditionierung wurden andernorts bereits veröffentlicht (54, 55).

3.1.2 Angiographische und Katheter-Embolisationstechnik

Die Arterienembolisation ist ein seit langem eingeführtes und validiertes Verfahren in der interventionellen Radiologie. Voraussetzung ist die selektive Gefäßdarstellung, die über spezielle Katheter erreicht wird, welche über eine große Arterie (z.B. A. femoralis, A. brachialis) mittels Seldinger- oder Schleusen-Technik eingeführt werden. Nach Kontrastmittelgabe können mit adäquater Technik praktisch alle Arterien, die dem Katheterdurchmesser zugänglich sind mit ihren Versorgungsgebieten unter digitaler Durchleuchtung dargestellt werden und gegebenenfalls embolisiert werden. Verschiedene Embolisationsmethoden stehen je nach klinischer Situation und zu embolisierendem Gefäßkaliber zur Verfügung (Spiralen, Gelfoam, Mikrosphären, Ballons). Die Methode wird hauptsächlich zur Blutungsstillung und Tumorembolisation (Chemoembolisation) sowie bei Aneurysmen eingesetzt.

Die heutige Standardtechnik der digitalen Subtraktion und weitere spezielle Softwareprogramme der Bildverarbeitung erlauben überlagerungsfreie und dreidimensionale Abbildungen. Bilder werden auf Festplatte oder magneto-optischem Datenträger gespeichert und können am Bildschirm oder als Ausdruck auf konventionellem Röntgenfilm (Hardcopy) beurteilt werden. Durch die Digitaltechnik wird außerdem die erforderliche Strahlenbelastung reduziert. Auch besteht die Möglichkeit, die Bilder nachträglich weiter digital zu verarbeiten (z.B. Stenosenquantifizierung, Archivierung).

Zur angiographischen Darstellung und Embolisation der AEI wurde diese Technik für die spezielle Gefäßanatomie weiterentwickelt (2). Die Dokumentation erfolgte in digitaler Subtraktionstechnik (DSA) an einem entsprechenden Arbeitsplatz (Angioskop/Polytron, Fa. Siemens). Neben den AEI wurden in Einzelfällen weitere relevante Gefäße (AES, A. thoracica lateralis) dargestellt.

3.1.2.1 Diagnostik

Zur Darstellung der AEI beider Seiten wurde die A. femoralis in üblicher Seldinger- oder Schleusen-Technik einseitig punktiert, wobei die Seitenwahl nur vom Zustand der Femoralispulse abhängig gemacht wurde. Zunächst wurde ein F4- oder F5-Cobra- oder rechter Koronarkatheter (Judkins-Katheter) im sogenannten Cross-over-Verfahren über die Aortenbifurkation in die gegenseitige A. iliaca communis und weiter in die A. iliaca externa vorgeschoben und über einen Führungsdraht mit Gleitbeschichtung jenseits des Leistenbandes in der A. femoralis communis platziert (Abb. 8). Der rechte Judkins-Katheter hat sich hier aufgrund seiner Länge und seiner Biegung besonders bewährt, alternativ ist auch ein Sidewinder IV-Katheter geeignet. Der zu Beginn der Serie zunächst verwendete Cobra-Katheter war dagegen für die Cross-over-Technik mit loop-Bildung (s.u.) zu kurz. Nach Rückzug des Führungsdrahtes hinter die Katheterspitze wurde die vorgeformte abgewinkelte Spitze des rechten Koronarkatheters nach medial gedreht und unter leichtem Katheterrückzug in den Anfangsteil der AEI eingeführt. Nur zu Beginn der Untersuchungsserie wurde dieser Abgang zunächst im Übersichtsbild durch Injektion von Kontrastmittel in die A. iliaca communis oder die A. iliaca externa lokalisiert (Abb. 9). Mit zunehmender Erfahrung war dies nicht mehr nötig, da mit dem beschriebenen Vorgehen die Katheterspitze praktisch von selbst in das Gefäß gleitet. Wichtig war hierbei, die AEI möglichst im ersten oder zweiten Anlauf zu finden, da es sonst leicht zu Abgangsspasmen kommt, die weitere Katheterisierungsversuche des kleinen Gefäßes (ca. 3 mm Durchmesser) behindern oder im seltenen Fall bei extrem dünnlumigen Gefäß sogar unmöglich machen können. Bei Unklarheiten des Gefäßverlaufs des R. obturatorius bzw. der A. obturatoria accessoria in der nachfolgenden Kontrastdarstellung wurde in einigen wenigen Fällen eine zusätzliche selektive Katheterisierung der A. iliaca interna durchgeführt und diese mit ihren Ästen dargestellt.



Abb. 8 Katheter nach cross-over-Verfahren in der gegenseitigen A. iliaca externa. Kreisförmige Markierung des Umbilicus mit einem röntgendichten Metallring auf der Haut.



Abb. 9 Katheter in der gegenseitigen A. iliaca externa mit Kontrastdarstellung ihrer abgehenden Äste. 1 A. epigastica inferior, 2 A. obturatoria accessoria, 3. A. circumflexa femoris medialis, 4 A. circumflexa ilium profunda, 5 A. circumflexa femoris lateralis, E: A. iliaca externa, PF: A. profunda femoris, F: A. femoralis superficialis.

Die selektive Darstellung der AEI erfolgte mit jeweils 5 - 10 ml nichtionischem Kontrastmittel (300 mg Jod/ml) als Handinjektion bzw. maschinengesteuert mit einem flow von 3 - 4 ml/sec (delay 1 sec) und einer Bildaufnahmefrequenz von 2 B/sec als DSA-Serie. Nach Darstellung des Hauptstammes und peripheren Versorgungsgebietes der AEI und Embolisation (s. unten) erfolgte der Katheterrückzug in folgender Weise: Ein Führungsdraht mit beweglicher Seele wurde eingeführt und im Katheter so bis vor die Aortengabel vorgeschoben, daß der ipsilaterale Katheterabschnitt versteift wurde. Bei Vorschieben des Katheters in Richtung auf die proximale Aorta löst sich die Katheterspitze aus der AEI und folgt mit dem noch auf der kontralateralen Seite gelegene Katheterabschnitt, so daß sich in der Aorta eine Schlaufe (sog. Boston-Loop, ähnlich einem Sidewinder-Katheter, Abb. 10) bildet. Durch Drehung dieser Schlinge zur ipsilateralen Seite kann die Katheterspitze über den Führungsdraht leicht in die gleichseitige A. iliaca externa vorgeführt werden und hakt sich nach erneuter Drehung in den Abgang der gleichseitigen AEI

ein. Hier erfolgten Darstellung und Embolisation analog zur Gegenseite. Zur Darstellung der AES bzw. A. thoracica lateralis in Einzelfällen wurde die A. thoracica interna bzw. bei Verschluß des Gefäßes die A. thoracica lateralis selektiv katheterisiert. Hierzu wurde ein rechter Koronarkatheter in die A. subclavia und danach selektiv in den Anfangsteil der entsprechenden Arterien vorgeschoben.



Abb. 10 Katheter nach Boston-loop-Bildung in der ipsilateralen A. iliaca externa. Kreisförmige Markierung des Umbilicus mit einem röntgendichten Metallring auf der Haut.

Alle Arteriographien wurden digital mithilfe der Standardsoftware im Rechner bearbeitet und auf Röntgenfilm dokumentiert.

3.1.2.2 Embolisation

Im Anschluß an die diagnostische Angiographie erfolgte die Embolisation in gleicher Sitzung. Bei sicher mündungsnah in der AEI liegender Katheterspitze wurde der Führungsdraht gegen einen F3-Tracker-Katheter ausgetauscht, der durch den Angiographiekatheter in das Gefäß vorgeschoben wurde. Hierbei stellt die Anatomie des Abgangs ein mögliches Hindernis für eine sichere Katheterplatzierung dar. Die AEI nimmt im Anfangsteil regelmäßig einen bogenförmigen Verlauf um das Ligamentum teres uteri (Lig. rotundum) herum, ehe sie sich nach kranial wendet (Abb. 12, Abb. 17). Am tiefsten Punkt dieses kreisförmigen Bogens gibt sie den R. obturatorius ab. Der Tracker-Katheter hat die Tendenz in diesen Gefäßast zu laufen. Ein innerer Führungsdraht muß daher entsprechend der jeweiligen anatomischen Situation vorgebogen werden, damit er den Katheter in den nach cranial ziehenden Anteil des Hauptstammes der AEI leitet. In Höhe des Abgangs des ersten Muskelastes wurde die Katheterspitze plaziert und eine Gianturco-Anderson-Wallace-Minispirale (GAW-Spirale mit 2-3 mm Spiraldurchmesser im aufgerollten Zustand) mittels Führungsdraht in das Gefäß vorgeschoben (Abb. 11). Zeigte die postinterventionelle Kontrolle noch einen wesentlichen Blutfluß, so wurde eine zweite Spirale appliziert. War der Blutfluß deutlich reduziert, wurde kein sofortiger vollständiger Stop angestrebt, da aufgrund der an der Spirale befestigten Nylonfäden eine langsam zunehmende Okklusion zuverlässig erfolgt, die keinen akuten Embolisationsschmerz hervorruft.



Abb. 11 Plazierung der GAW-Spirale. P = Pusher, GC = Spirale, TC = Tracker Katheter, PS = Punktionsstelle.

Wenn die Spirale zu klein gewählt wird, kann sie sich im Gefäß nach kranial verlagern. Dies wurde durch sorgfältige Bestimmung des Gefäßdurchmessers im digitalen Bild möglichst vermieden.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, daß eine Spirale sich nicht sofort vom Katheterende löst. Dies konnte dann in solchen Einzelfällen durch eine NaCl-Bolus-Injektion (ca. 5 ml) immer erreicht werden. Ein Nachschieben des Führungsdrahtes ist in einem solchen Fall wegen der Gefahr des Verhakens nicht zu empfehlen. Da bei nur einseitiger Embolisation die Kollateralzirkulation aus der gegenseitigen AEI über mediale Verbindungsäste angeregt wird und die Konditionierung des TRAM-Lappens auf die AES damit fraglich macht, wurde auch bei einseitig geplanter Lappenplastik möglichst doppelseitig embolisiert.

Die endgültige Spirallage wurde durch eine abschließende Kontrastmittelinjektion in den liegenden Katheter kontrolliert und analog zu den diagnostischen Bildserien dokumentiert (Abb. 12).



Abb. 12 Kontrolle der Spirallage.

Der Eingriff wurde mit Katheterrückzug und Anlage eines Druckverbandes über der Punktionsstelle beendet und die Patientinnen bis zum nächsten Morgen stationär beobachtet. Eine eingeblendete digitale Röntgenaufnahme des kleinen Beckens mit reduzierter Strahlung kontrollierte vor Entlassung den Sitz der Spirale. Außerhalb der Serie über die hier berichtet wird sind zwischenzeitlich auch über vierzig Patientinnen ambulant behandelt worden und konnten nach einer Beobachtungszeit von 6 Stunden ohne Komplikationen entlassen werden.

Eine Kontrolle der Durchblutungssituation im M. rectus abdominis nach Konditionierung erfolgte regelmäßig dopplersonographisch vor dem Haupteingriff. Hierüber wurde bereits an anderer Stelle berichtet (53, 54, 55). Sämtliche Eingriffe wurden unter strikter Beachtung der Strahlenschutzvorgaben der Röntgenverordung und der technischen Leitlinien der Bundesärztekammer durchgeführt. Die für die Untersuchung der Beckenarterien gültigen Referenzwerte (85 Gy x cm² Dosis-Flächen-Produkt) wurden unterschritten.

3.1.3 Röntgenbildanalyse Diagnostische Angiographie

Zur systematischen Abklärung der Gefäßanatomie der AEI wurden die digitalen angiographischen Bilder analysiert. Ausgewertet wurde die überlagerungsfreie Darstellung der Gefäße im Subtraktionsbild zur Erkennung kleinster Gefäßäste. Teilsubtraktionsbilder, auf denen das knöcherne Skelett im Hintergrund noch erkennbar ist wurden zur Bestimmung anatomischer Landmarken herangezogen. Im einzelnen wurden folgende Analyseschritte vorgenommen:

- A. Untersucht wurde der Verlauf des Hauptstammes im Ursprungsabschnitt. Hier wurde insbesondere geprüft, ob auf den in vivo-Bildern ein typischer bogen- bis kreisförmiger Verlauf um das Lig. rotundum vorliegt, oder ein gestreckter Abgang aus der A. iliaca externa schräg nach kranial, wie in den meisten Publikationen und anatomischen Lehrbüchern beschrieben.
- B. Bestimmt wurden die Abgangsverhältnisse der pelvinen Äste R. pubicus und R. obturatorius, wobei emittelt wurde, ob der R. obturatorius zu einer A. obturatoria accessoria ausgebildet war. In diesem Fall wird das Versorgungsgebiet der aus der A. iliaca interna entspringenden A. obturatoria von dieser Arterie mitversorgt. Erkennbar ist dies an einer entsprechenden Anfärbung kleinster Muskeläste und Parenchymanfärbung in der Spätphase sowie der retrograden Mitfüllung des Endteils der aus der A. iliaca interna entspringenden A. obturatoria.
- C. Es wurde untersucht, ob der erste Muskelast der AEI regelmäßig ausgebildet ist. Zusätzlich wurde die Distanz zwischen dem Ursprung der AEI und dem Abgang dieses Astes näherungsweise bestimmt.

Der erste Muskelast entspringt vor der Kreuzung des Hauptstammes mit der lateralen Kante des M. rectus abdominis und wurde von MILLOY (36) auch als "prämuskulärer" Ast bezeichnet . Die Abgangsstelle stellt eine anatomische Landmarke für die Embolisation dar. Die Platzierung einer Spirale in dieser Höhe bewirkt eine erfolgreiche Umleitung der Gefäßversorgung des Muskels und andererseits einen sicheren Spiralsitz außerhalb des späteren Transplantats sowie eine ausreichende Versorgung des am Platz verbleibenden Muskel/Sehnenansatzes. Bevor die AEI die Linea arcuata erreicht hat, gibt sie insgesamt zwei bis drei myokutane Äste ab. Der erste im Angiogramm nachweisbare kräftige mediale Seitenast wurde hier als erster Muskelast definiert (Abb. 13).



Abb. 13 Erster Muskelast einer linken AEI nach medial ziehend. Cranial davon Embolisationsspirale sichtbar.

Als ungefähr vergleichbares Maß für die Entfernung des ersten Muskelastes vom Ursprung der AEI wurde eine gerade Linie zwischen Gefässursprung und Abgangsstelle des Muskelastes ausgemessen. Hierbei wurde der radiographische Vergrößerungsfaktor berücksichtigt. Zur Bestimmung des Vergrößerungsfaktors im Röntgenbild wurde bei fixem Film-Fokus-Abstand von 100 cm ein röntgendichtes Maßband mit mm-Einteilung mitbelichtet. Da die Entfernung als gerade Linie gemessen wurde, das Gefäß aber wie oben geschildert in den meisten Fällen einen bogenförmigen Ursprung und Verlauf besitzt, wird die tatsächliche Entfernung mit dieser Methode in nahezu allen Fällen systematisch etwas zu niedrig eingeschätzt.

- D. Die in vivo Konfiguration der AEI nach Aufteilung des Hauptstammes in seine intramuskulären Äste wurde typischen Verzweigungsmustern in Anlehnung an die von MILLOY (36) postmortal bestimmten Schemata in folgender Weise zugeordnet (Abb. 14):
 - 1. ein durchgehender Hauptstamm mit kaliberschwachen abgehenden Ästen
 - 2. dichotome Aufzweigung in zwei gleichstarke Äste

- 3. Aufzweigung in drei gleichstarke Äste.
- 4. Aufzweigung in einen stärkeren medialen und einen bzw. zwei schwächere laterale Äste
- 5. Aufzweigung in einen stärkeren lateralen und einen bzw. zwei schwächere mediale Äste

Zur Eingruppierung in Typ 4 bzw. 5 mußte das Kaliber des schwächeren Astes weniger als die Hälfte des stärkeren Astes betragen. Die Typen 4 und 5 wurden nochmals nach der Art einer zweiten Aufteilung unterteilt in:

4a mit Aufzweigung des schwächeren Hauptastes,

4b mit Aufzweigung des stärkeren Hauptastes in zwei gleichstarke Endäste und

4c mit Abgang eines zweiten schwächeren Astes vom starken Hauptast.

Analog dazu erfolgte die Unterteilung des Typs 5.



Abb. 14 Verzweigungsmuster der AEI (schematisch), hier dargestellt für die linke Arterie.

E. Die Endanastomosen wurden untersucht. Die Endäste der AEI sind als netzartige bzw. spiralige Anastomosen zu den entsprechenden Endästen der AES ausgebildet. Weil nicht immer eine vollständige Darstellung trotz selektiver Katheterisierung der AEI und zusätzlicher Gabe eines gefäßerweiternden Pharmakons (Alprostadil) möglich war, beschränkte sich die Auswertung auf die vollständig dargestellen Anastomosennetze. Untersucht wurde auch als indirekter Hinweis auf hämodynamische Wirksamkeit der Versorgung durch die AES die Häufigkeit der retrograden Füllung des distalen Hauptstammes der AES über das Kollateralnetz. Die Darstellbarkeit hängt allerdings auch hier nicht nur von konstanten Injektions- und Aufnahmebedingungen sondern auch von verschiedenen weiteren Faktoren ab, wie Gefäßlumen, Gefäßspasmus, Atherosklerose und Zustand nach operativer Unterbindung der AES. Die anatomische Lage des Anastomosennetzes wurde grob mittels einer auf dem Nabel aufgebrachten und mitbelichteten Metallmarke geschätzt. Hierbei wurde der Beginn der netzartigen Aufzweigung bestimmt nach folgender Einteilung: unterhalb des Nabels, in Höhe des Nabels und oberhalb des Nabels. Die Darstellung von Anastomosen zu den Interkostalarterien sowie das periumbilikale Anastomosennetz zur Gegenseite wurden ebenfalls untersucht.

Bei der Auswerung der Anastomosendarstellung in vivo war es in Rückenlage nicht möglich, aufgrund der Röntgenmorphologie zwischen intramuskulären und subkutanen Anastomosen zu unterscheiden. Eine subkutane Gefäßdarstellung bei selektiver Kontrastmittelinjektion in den AEI-Hauptamm ist nur in seitlicher Position des Patienten mit stark eingeblendetem Feld möglich. Diese ist aus aufnahmetechnischen und strahlenhygienischen Gründen nur in Einzelfällen möglich und gewöhnlich klinisch entbehrlich (Einzelbeispiel Abb. 15).



Abb. 15 Subkutanes Gefäßnetz in der lateralen Darstellung (2 Patientinnen und schematisch nach MOON). AEI = A. epigastrica inferior, AES = A. epigastrica superior, C = Perforatoren zur Subkutis, U = Umbilicus, A = anteriorer Zweig, P = posteriorer Zweig.

3.1.4 Röntgenbildanalyse Katheter-Embolisation

1. Zunächst wurde untersucht, ob eine Mini-Spirale aufgrund der individuellen gefäßanatomischen Verhältnisse durch den F3-Tracker-Katheter in die AEI vorgeschoben und an entsprechender Stelle plaziert werden konnte.

2. Die Spirale wird im Katheter gestreckt eingeführt. Nach Freisetzen aus dem Tracker-Katheter im Gefäß kommt es durch den inneren Aufbau der Spirale zu einer Spiralisierung des Metalldrahtes. Bei einer Diskrepanz zwischen Spiraldurchmesser und Gefäßdurchmesser kann es zu unvollständiger Spiralverformung kommen, im Extremfall kommt es bei sehr kleinem Gefäßlumen nicht zu einer Spiralisierung, wodurch der Embolisationsvorgang im allgemeinen nicht behindert wird. Es wurde untersucht, in welchem Prozentsatz die eingebrachten Spiralen auf den postinterventionellen Angiographiebildern bzw. der Beckenübersichtsaufnahme am nächsten Tag sich nicht vollständig spiralisierten. Beurteilungskriterium hierfür war eine Verkürzung um weniger als die Hälfte einer Spirallänge.

3. Bei erfolgreicher Plazierung wurde die Lage der Spirale im Hauptstamm der AEI bestimmt (Abb. 16). Dazu dienten verschiedene anatomische Landmarken als Bezugspunkte, Ausgangspunkt war jeweils die Mitte der Spirale. Die Messungen erfolgten nach den oben bereits genannten Kriterien (s. 3.1.3, Absatz C) mittels eines mitbelichteten Maßbandes. Zunächst wurde der gerade Abstand zum Ursprung der AEI aus der A. iliaca externa gemessen. Als zweite Landmarke wurde der Abgang des ersten prämuskulären Astes gewählt. Die Lage der Spirale wurde nach folgenden Kriterien beschrieben: proximal (unterhalb) des Abgangs, in Höhe des Abgangs und distal (oberhalb) des Abgangs.



Abb. 16 Linke AEI in Übersicht (links) und Ausschnittsvergrößerung (rechts). GAW-Spirale (Pfeil) kurz unterhalb des ersten Muskelastes. AOA = A. obturatoria accessoria.

4. Wenn nach Plazierung der ersten Spirale im Gefäß noch ein signifikanter Kontrastmittelabfluß in der AEI distal der Spirale nachweisbar war, wurde eine zweite Spirale in die AEI eingebracht. Es wurde untersucht, in wie vielen Fällen eine Embolisation nach Lage einer einzigen bzw. nach zwei Spiralen erfolgreich war.

5. Eine relative Komplikation der Spiralembolisation ist die Verlagerung der Spirale mit dem Blutstrom nach kranial, insbesondere dann, wenn eine im Verhältnis zum Gefäßlumen zu kleine Spirale gewählt wurde. In einer digitalen eingeblendeten Aufnahme des kleinen Beckens am folgenden Tag wurde deshalb die Lage der Spirale anhand der oben beschriebenen knöchernen Landmarken erneut bestimmt, um solch eine Dislokation zu erfassen.

3.2. Ergebnisse

Die Indikation zur Konditionierung des späteren TRAM-Lappens und damit zur Spiralembolisation der AEI war in allen Fällen ein geplanter autologer Brustaufbau bei Mastektomie nach Mammakazinom bzw. in einem Fall nach Mamma-Sarkom.

Als erster Schritt wurde bei den Patientinnen durch die oben beschriebene Angiographie die individuelle Gefäßanatomie untersucht. Bei 96% der Patientinnen konnte der Embolisationskatheter selektiv in die AEI vorgeschoben werden, bei einer Patientin war wegen eines ausgedehnten Gefäßspasmus trotz Gabe von Alprostadil keine selektive Katheterisierung der linken Seite möglich, bei zwei Patientinnen war eine AEI bereits vor der Angiographie während einer früheren Operation ligiert worden.

Die Ergebnisse der Röntgenbildanalyse zur Gefäßanatomie und zur Embolisationstechnik werden im folgenden dargestellt.

3.2.1 Abgang der AEI aus der A. iliaca interna

Die Gefäßabgänge konnten bei 125 Einzelgefäßen beurteilt werden. 23 Gefäße wurden nicht angiographisch dargestellt, da klinisch nur die Embolisation einer Seite angefordert wurde. Bei 6 Gefäßen wurde der Katheter so tief eingeführt, daß der Abgang nicht mehr zu beurteilen war. Alle 125 beurteilbaren Gefäßabgänge zeigten in vivo einen bogenförmigen Verlauf unmittelbar nach dem Abgang, oft fast in Form eines unvollständigen Kreisbogens (Abb. 17). Ein Gefäß zeigte im Anfangsteil eine gedoppelte Bogenform.



Abb. 17 Typischer bogenförmiger Abgang der AEI aus der A. iliaca externa (durch Kathether markiert, nicht kontrastiert).

Diese Befunde stimmen nicht mit der in den anatomischen Lehrbüchern mehrheitlich beschriebenen Abgangsform mit geradem, schräg nach cranial-medial verlaufendem Gefäß überein, sind jedoch durch den Verlauf um das Lig. rotundum erklärt. Der bogige Abgang kann die selektive Katheterisierung im Einzelfall erschweren und hat somit eine gewisse praktische Bedeutung.

3.2.2 R. pubicus und A. obturatoria

Bei 76 Patientinnen konnten 140 selektive Gefässdarstellungen in Bezug auf das Vorhandensein des R. pubicus und einer A. obturatoria accessoria ausgewertet werden. In 13 Fällen erfolgte aus klinischer Indikation nur eine einseitige Darstellung.

Ein mehr oder weniger kräftig ausgebildeter R. pubicus mit distalen Verzweigungen in der Symphysenregion war in allen Fällen ausgebildet. Bei Nachweis einer A. obt. acc. bildete er mit dieser einen gemeinsam aus der AEI entspringenden Gefäßstamm (Abb. 18).



Abb. 18 Gemeinsamer Abgang des Ramus pubicus und der Arteria obturatoria accessoria aus der AEI (Beachte den Gefäßspasmus in der AEI!).

Bei den 140 Gefässdarstellungen wurde 58 mal (41%) eine A. obturatoria acc. nachgewiesen. Bei 67 rechtsseitigen Darstellungen wurde 26 mal (39%) eine akzessorische Arterie nachgewiesen, bei 73 linksseitigen Darstellungen wurde 32 mal (44%) eine akzessorische Arterie abgebildet. Von den 76 Patientinnen hatten dabei mehr als die Hälfte (42 Frauen, entsprechend 55%) mindestens eine A. obturatoria accessoria.

Die Ergebnisse der Auswertung sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Nachweishäufigkeit einer A. obturatoria accessoria.

A. obturatoria acc.	rechts	links	gesamt
vorhanden	26	32	58
nicht vorhanden	41	41	82

Zur direkten vergleichenden Beurteilung des Ramus pubicus bzw. einer Arteria obturatoria accessoria wurden nur die 128 beidseitigen Gefäßdarstellungen bei 64 Patientinnen herangezogen. 37 (58%) dieser Patientinnen zeigten eine oder zwei Aa. obt. accessoriae. Insgesamt wurde 53 mal (41%) eine A. obturatoria accessoria als kräftiges Gefäß nachgewiesen. Die Arterie waren bei 16 (30%) Patientinnen beidseitig, bei 21 (40%) Patientinnen nur einseitig angelegt. 27 Patientinnen wiesen keine A. obt. acc. auf. Von den 21 einseitig nachgewiesenen Aa. obturat. acc. waren rechtsseitig 9 (43%) und linksseitig 12 (57%) ausgebildet. Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant (X²-4-Felder-Test, p < 0,001). Eine Seitenbevorzugung kann damit nicht nachgewiesen werden.

Da die A. iliaca interna bei fehlender klinischer Indikation nicht routinemäßig dargestellt wurde, kann nicht entschieden werden, inwieweit eine nachgewiesene A. obturatoria accessoria als alleiniges Gefäß für diesen Versorgungsbereich angelegt war. In wenigen Fällen wurde wegen zunächst unklarer Gefäßverhältnisse nach Beckenoperation eine zusätzliche selektive Darstellung der A. iliaca interna durchgeführt. Hier zeigte sich in zwei Fällen mit nachgewiesener A. obt. acc. aus der AEI keine entsprechende Hauptarterie aus der A. iliaca interna. Es handelte sich demnach um eine auch in der anatomischen Literatur bekannte Versorgungsvariante. Eine Aussage zur Häufigkeit des Auftretens ist aus unseren Einzelbefunden nicht möglich.

3.2.3 Erster Muskelast

In 131 Fällen standen beurteilbare Bilder zur Bewertung des ersten Muskelastes der AEI zur Verfügung. Der Muskelast war nur in einem Fall einseitig nicht sicher identifizierbar. In allen anderen Fällen war er gut abzugrenzen und diente bei der Embolisation als anatomische Landmarke für die Spiralplatzierung. Die Entfernung vom Ursprung der AEI bis zur Abgangsstelle des ersten Muskelastes lag in gerader Linie gemessen insgesamt zwischen 0,82 und 5,61 cm (Median 2,30 cm). Bei seitengetrennter Betrachtung fanden sich rechtsseitig Abstände zwischen 1,05 und 5,61 cm (Variationsbreite 4,56 cm, Mittelwert 2,66 cm, Standardabweichung 1,07 cm, Median 2,30 cm), linksseitig zwischen 0,82 und 5,22 cm (Variationsbreite 4,40 cm, Mittelwert 2,37 cm, Standardabweichung 0,94 cm, Median 2,30 cm). Die Werte waren normalverteilt mit gleicher Varianz und es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Seiten (Student t-Test, p < 0,001).

3.2.4 Aufzweigung der AEI im Rektusmuskel

Bei 58 von 77 Patientinnen lag eine beidseitige Darstellung der AEI mit beurteilbarer Qualität des intramuskulären Verlaufs vor, bei 15 Patientinnen wurde nur eine AEI dargestellt, bei 4 Patientinnen konnte keine Auswertung erfolgen. Eine Beurteilung der Aufzweigung der AEI konnte damit an 131 dargestellten Gefäßen erfolgen (Abb. 19).

Die Beurteilung erfolgte nach den in 3.1.3 genannten Kriterien (Beispiele der Typen in Abb. 19). Die absolute und prozentuale Verteilung der einzelnen Aufzweigungstypen ist in Tabelle 2 wiedergegeben:

Тур	rechts	%	links	%	gesamt	%
1	24	37,5	31	46,3	55	42,0
2	12	18,8	9	13,4	21	16,0
3	2	3,1	2	3,0	4	3,1
4	5	7,8	6	9,0	11	8,4
4 a	1	1,6	1	1,5	2	1,5
4b	0	0,0	2	3,0	2	1,5
4 c	3	4,7	2	3,0	5	3,8
5	14	21,9	11	16,4	25	19,1
5a	1	1,6	2	3,0	3	2,3
5b	2	3,1	1	1,5	3	2,3
5c	0	0,0	0	0,0	0	0,0
	8					

Tab. 2: Intramuskuläre Aufzweigungstypen der AEI, modifiziert nach MILLOY.

Ein Haupstamm ohne Aufzweigung (Typ 1) findet sich mit 42,0% und damit in fast der Hälfte der Fälle am häufigsten. Eine Aufzweigung in zwei gleichstarke Äste (Typ 2) konnte in 16,0% der Fälle beobachtet werden, eine Aufzweigung in drei gleichstarke Äste (Typ 3) in nur 3,1% und stellt damit die seltenste Variante dar. Eine 2 oder 3fache Aufzweigung mit Dominanz des medialen Astes (Typen 4, 4a-c), bzw. des lateralen Astes (Typen 5, 5a, 5b) fand sich in 15,3% bzw. 23,7%. Eine Dreiteilung (Typen 3, 4a-c, 5a-b) erfolgt in nur 13% aller Fälle. In der Mehrzahl der Fälle erfolgt nach der ersten Aufzweigung keine weitere deutliche Aufzweigung mehr, diese Typen 2, 4 und 5 finden sich in 43,5% und damit wiederum etwa in der Hälfte der Fälle.



Abb. 19 Aufzweigungstypen beispielhaft dargestellt: (a) Typ 1, (b) Typ 2, (c) Typ 3, (d) Typ 4, (e) Typ 5.

Der Typ 1 mit einem Hauptstamm ohne Aufzweigung fand sich links häufiger als rechts, der Unterschied war nicht signifikant (X²-Test, p<0,001). Dagegen fand sich rechts häufiger der Typ 2 und der Typ 5, die Unterschiede waren ebenfalls nicht signifikant (X²-Test, p<0,001).

3.2.5 Anastomosen

101 Röntgenbilder konnten auf das Vorliegen von darstellbaren Anastomosen nach cranial zur AES untersucht werden. In diesen Fällen lagen Aufnahmen des Gebietes vor, die eine Beurteilung der Anastomosen ermöglichten. In 60 Fällen (59%) konnte die AES angiographisch über diese Gefäßverbindungen retrograd aufgefüllt direkt nachgewiesen werden, in 41 Fällen (41%) waren die Endäste bzw. der Hauptstamm der AES nicht darstellbar.



Abb. 20 Anastomosennetz der Endäste der AEI zur AES jeweils oberhalb des mit einem Metallring markierten Nabels. Beachte den teilweise geschlängelten Verlauf der Anastomosen ("choke vessels", siehe Diskussion 4.1) im rechten Bild.

Es wurde untersucht, ob der Beginn des Anastomosennetzes unterhalb, in Höhe oder oberhalb des Nabels, dessen Position mittels eines mitbelichteten röntgendichten Metallringes markiert wurde, ausgebildet war. Hierzu konnten 109 Aufnahmen mit ausreichender Bildqualität für die Feindarstellung dieses Gefäßnetzes beurteilt werden. Der Beginn des Anastomosennetzes befanden sich in keinem Fall unterhalb, in 5 Fällen (4,6%) in Höhe und in 104 Fällen (95,4%) erst oberhalb der Nabelmarkierung (Abb. 20).

Weitere Anastomosen der Endäste der AEI wurden nach lateral zu den Interkostalarterien sowie in Einzelfällen auch zur lateralen Bauchwand nachgewiesen. Es wurde in gleicher Weise wie das Anastomosennetz zur AES untersucht, in welcher Höhe diese lateralen Anastomosen ausgebildet sind. Es konnten 110 Angiographien mit erforderlicher Qualität dafür herangezogen werden. Unterhalb des Nabels begann die Ausbildung 34mal (30,9%), in Höhe des Nabels 65mal (59,1%) und erst oberhalb des Nabels 11mal (10,0%). In 90% der untersuchten lateralen Gefäßanastomosen waren diese somit schon in Nabelhöhe ausgebildet (Abb. 21).



Abb. 21 Zur lateralen Seite ziehende Anastomosen aus der rechten AEI in Nabelhöhe. Katheter mit Schlaufe unterhalb des mit einem Metallring markierten Nabels. Am oberen Bildrand stellt sich retrograd gefärbt die AES dar.

3.2.6 Gefäßembolisation

Die Lage der eingebrachten Spiralen wurde zum Abschluß des Eingriffs durch eine erneute KM-Injektion in den AEI Abgang kontrolliert und in Bezug auf die Abgangsstelle des ersten Muskelastes der AEI ausgewertet. Wurden zwei Minispiralen in das Gefäß eingebracht, wurde die Lage der caudalen Spirale bewertet, da diese den Erfolg der Embolisation sichert. Für die Beurteilung konnten Kontrollbilder mit ausreichender Bildqualität von 129 Gefäßen herangezogen werden. Die Minispiralen wurde in 22 Gefäßen (17%) unterhalb des ersten Muskelastes plaziert, in 34 Gefäßen (26%) in Höhe und in 73 Gefäßen (57%) oberhalb des ersten Muskelastes. Tabelle 3 zeigt eine Übersicht, zusätzlich aufgeschlüsselt nach rechter und linker AEI. Die Mehrzahl der Spiralen (83%) konnte also in Höhe oder oberhalb des ersten Muskelastes eingebracht werden.

Tab. 3 :	Lage der	eingebrachten	GAW-Minispiralen
-----------------	----------	---------------	------------------

Lage der Spirale	rechts	links	gesamt
Oberhalb des 1. Muskelastes	38	35	73
In Höhe des 1. Muskelastes	14	20	34
Unterhalb des 1. Muskelastes	9	13	22

Zur weiteren Objektivierung der Spirallage wurde die Entfernung der Spirale (bei zwei Spiralen der caudaler gelegenen) vom Ursprung der AEI in cm unter Berücksichtigung des radiographischen Vergrößerungsfaktors ausgemessen. Es lagen auswertbare Bilder von 126 Embolisationen (61 rechts-, 65 linksseitig) vor. Die Entfernung betrug rechts im Mittel 3,48 cm (Standardabweichung 1,30 cm, Median 3,12 cm, Variationsbreite 6,03 cm) und links im Mittel 2,93 cm (Standardabweichung 1,17 cm, Median 2,92 cm, Variationsbreite 6,24 cm). Es zeigte sich beidseits eine Normalverteilung und gleiche Varianz. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen der rechten und der linken Seite (p<0,001).

Die endgültige Erfolgskontrolle wurde nach 24 Stunden durch eine eingeblendete Beckenaufnahmen durchgeführt, um Verformungen und Dislokationen der Spiralen in der Zeit nach dem Eingriff zu erfassen. Bilder von 75 Patientinnen lagen zur Auswertung vor. Es wurden insgesamt 135 Gefäße beurteilt. Bei 113 Arterien (84%) wurde eine Spirale verwendet, bei 22 Gefäßen (16%) waren 2 Spiralen notwendig. Hierdurch konnte der Blut- bzw. Kontrastmittelfluss in allen beobachteten Fällen unterbunden werden. Von 157 Spiralen zeigten sich 138 (88%) vollständig eingerollt, 19 Spiralen (12%) lagen mehr oder weniger gestreckt im Gefäß (Abb. 22). Nur in sechs Fällen (4% der eingesetzten Spiralen) kam es zu einer Spiraldislokation mit Verlagerung der Spirale um minimal 0,78 bis maximal 9 cm nach cranial. Eine solche Verlagerung wurde bereits bei der Kontrollinjektion im Anschluss an die Untersuchung durch den Druck des Kontrastmittels ausgelöst ohne dass in den nächsten 24 Stunden eine weitere Verlagerung auftrat. Eine Gefäßperforation durch ein Spiralende wurde in keinem Fall beobachtet. Klinisch traten nach der Embolisation keine Beschwerden auf.



Abb. 22 Eingeblendete Beckenübersichtsaufnahme zur Lagekontrolle der Spiralen (Pfeile). Rechts regulär aufgerollte GAW-Minispirale, links nicht aufgerollte Spirale.

4. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit werden die anatomischen und technischen Voraussetzungen für eine minimal invasive angiographische TRAM-flap Konditionierung vor autologem Brustaufbau untersucht.

Zur Untersuchung lagen die Daten von 78 Patientinnen vor, bei denen wegen eines Mammakarzinoms eine Mastektomie durchgeführt worden war, und nun eine Brustrekonstruktion vorgesehen war. Die Altersverteilung der Patientinnen ergab ein normalverteiltes Kollektiv, der arithmetische Mittelwert und der Median des Alters bei Embolisation lagen nahezu identisch bei 49 Jahren.

Die Zeit zwischen Mastektomie und angiographischer Untersuchung bzw. Embolisation zeigte dagegen keine Normalverteilung. Die Spanne lag zwischen einem halben und 22 Jahren, der Median lag mit 3,3 Jahren deutlich unter dem arithmetischen Mittelwert von 5,1 Jahren. Bei 2/3 der Patientinnen erfolgte die Untersuchung nach 0,5 bis 5 Jahren.

Auch nach einer viele Jahre zurückliegenden Mastektomie erfolgte also bei einigen Patientinnen noch eine Brustrekonstruktion und damit eine präoperative Konditionierung. Die untersuchten Patientinnen repräsentieren damit in ihrer Heterogenität die Erfahrungen der täglichen Praxis, daß auch noch Jahrzehnte nach Mastektomie ein Brustaufbau indiziert sein kann. Sie stellen damit kein besonders ausgewähltes Kollektiv dar.

Setzt man das mittlere Alter bei Konditionierung in Bezug zur medianen Zeit zwischen Konditionierung und Mastektomie, so ergibt sich ein ungefähres mittleres Alter von 45 bis 46 Jahren bei Mastektomie. Bis auf eine Ausnahme erfolgte diese aufgrund eines bösartigen Tumors. Übereinstimmend damit findet sich in den Statistiken der Krebsregister in Deutschland und den USA ein Mortalitätsgipfel bei 45 Jahren (51). Andererseits gibt es aber eine steigende Inzidenz des Mamma-Karzinoms mit zunehmendem Alter in den USA und Schweden (13). Einen in höhere Lebensdekaden verschobenen Altersmedian findet sich dagegen im untersuchten normalverteilten Kollektiv nicht. Eine Erklärung dafür wäre die überdurchschnittliche Brustrekonstruktion bei jüngeren Patientinnen. Zum anderen könnte die Statistik nur scheinbar durch die Nicht-Normalverteilung des Zeitabstandes von Mastektomie und Angiographie differieren.

4.1 Röntgenanatomie der AEI

Die Anatomie der superioren und inferioren epigastrischen Arterien ist lange bekannt. Neben einer Vielzahl anatomischer Studien gibt es auch bereits in der Anfangszeit der Kontrastmitteldarstellungen der Gefäße radiologische Darstellungen z.B. über die Versorgung der abdominalen Haut (SALMON 1936, zit. nach (7)), die dann in anatomische Standardwerke übernommen wurden (z.B. BENNINGHOFF). Der Abgang der AEI aus der A. iliaca externa wird dabei meist als schräg nach kranial medial zum Rektusmuskel ziehend dargestellt. Auch in anatomischen Studien zum Verlauf der AEI (z.B. 37, 59, 60) wird der Abgang in der Regel derartig beschrieben. Im Gegensatz dazu zeigen alle auswertbaren in vivo-Angiographien dieser Studie einen bogenförmigen Abgang der AEI, die sich fast kreisförmig zunächst nach kaudal medial wendet, um dann erst nach kranial zum Muskel zu verlaufen. Dieser bogenförmige Beginn läßt sich gut mit dem Verlauf des Gefäßes um das Ligamentum rotundum erklären (56). In den Detailbildern der Atlanten ist diese topographische Beziehung meist nicht dargestellt. Viele anatomische Studien an Leichen benutzen Präparate der Bauchwand in denen das Ligamentum rotundum offensichtlich nicht mehr vorhanden ist. Damit sind die Ergebnisse in dieser Hinsicht nicht exakt für die Anatomie in vivo. Praktische Bedeutung hat dieses anatomische Detail durch die Technik bei der selektiven Angiographie der AEI und die Wahl des entsprechenden Katheters.

Am Ursprung besitzt das Gefäß einen äußeren Durchmesser von 2 - 5 mm (22, 46), im Durchschnitt 3,6 mm. Bei beispielhaften digitalen Messungen im eigenen Kollektiv wurden Gefäßinnendurchmesser von 2,3 mm einige Zentimeter vom Ursprung entfernt gemessen. Berücksichtigt man noch die Gefäßwand, so stimmen die Messungen überein.

Der erste größere Ast der AEI ist der Ramus obturatorius, der regelhaft eine Anastomose zur A. obturatoria und damit eine Verbindung zur A. iliaca interna bildet. Als A. corona mortis wird in den alten Anatomiewerken die Ausbildung dieses Ramus zu einem kräftigen Gefäß, der A. obturatoria accessoria bezeichnet (VESALIUS 1563, zit. nach (7)), die dann als Normvariante das Gebiet der A. obturatoria mitversorgt. Von klinischer Bedeutung ist dies z.B. bei der Herniotomie, bei der es zu unerwarteten Blutungen bei irrtümlicher Verletzung des Gefäßes kommen kann ("corona mortis") (58). Die Häufigkeit dieser Normvariante wird mit 10 bis 43% angegeben (10, 33, 50). In einer Studie an 50 Leichenhälften fand TORNETTA (62) eine arterielle Verbindung zwischen der AEI und der A. obturatoria in 34%. TEAGUE (61) fand in einer anatomischen Studie eine A. obturatoria accesoria bei 43% von 78 Leichenhälften. In weiteren anatomischen Studien fanden OKCU (44) bei 19% zusätzliche arterielle Anastomosen, HONG (25) in 34%. Eine angiographische Studie von KARAKURT (28) ergab einen Anteil von 29%. In unserer Arbeit fand

sich bei 41% aller Gefäßdarstellungen eine A. obturatoria accessoria und zwar bei 39% rechtsund bei 44% linksseitig. Eine signifikante Seitendifferenz ergab sich nicht. Der Seitenvergleich der Patientinnen mit nur einer akzessorischen Arterie ergab ebenfalls keine signifikante Bevorzgung der rechten oder linken Seite. Betrachtet man nicht die Arterien, sondern die Patientinnen, ist bemerkenswert, daß mehr als die Hälfte der untersuchten Frauen (55%) diese "Variante" aufwiesen. Der Unterschied zu der Zahl der untersuchten Gefäße wird dadurch erklärt, daß bei ca. einem Drittel der Patientinnen eine A. obturatoria beidseitig angelegt war. Ob es sich bei den den dargestellten Gefäßen um das alleinversorgende Gefäß handelte, kann anhand der vorliegenden Untersuchungen nicht bestimmt werden, da die A. iliaca interna bei fehlender klinischer Indikation nicht routinemäßig dargestellt wurde. Die weiter oben (im Abschnitt Ergebnisse 3.2.1) genannten 2 Fälle einer alleinigen Versorgung duch die A. obturatoria accessoria stellt beispielhaft eine Versorgungsvariante dar, eine statistische Aussage über die Häufigkeit ist jedoch nicht Bestandteil dieser Untersuchung. Insgesamt entsprechen die Zahlen damit denen der vorhandenen Literatur.

In seinen grundlegenden Arbeiten beschrieb MILLOY (36) die Anatomie der AEI und des M. rectus abdominis im Detail an Leichen. Vor Eintritt bzw. Kreuzung des Haupstammes der AEI mit der lateralen Kante des Muskels gibt die Arterie einen prämuskulären Ast nach medial ab. Diese Landmarke für die Embolisation konnte nur bei einer Patientin einseitig angiographisch nicht sicher dargestellt werden. Die Bestimmung des Abstandes erfolgte auf den Angiographien durch die Messung der geraden Entfernung zwischen Ursprung der AEI und Abgang des Astes. Der radiographische Vergrößerungsfaktor wurde durch Mitbelichtung eines röntgendichtem Maßbandes berücksichtigt. Da jedoch wie bereits oben ausgeführt, die AEI in ihrem Anfangsteil in einem Bogen um das Ligamentum rotundum verläuft, wird die tatsächliche Gefäßlänge systematisch unterschätzt. Es wurde nicht untersucht, wie groß die Abweichung der gemessenen Entfernung von der tatsächlichen Länge des Gefäßes in diesem Anfangsteil ist. Der Abstand folgte einer Normalverteilung mit einem Mittelwert von 2,52 cm und einer Standardabweichung von 1,01 cm. Die seitengetrennte Betrachtung ergab keine statistisch signifikante Differenz. Literaturangaben finden sich zu diesen speziellen Betrachtungen bisher nicht.

Die weitere Gefäßanatomie der AEI wurde modifiziert nach MILLOY (36) untersucht. Dieser beschrieb 1960 an postmortem-Präparaten die Aufzweigung des Gefäßes in zwei bis drei Endäste und gab auch die entsprechende prozentuale Verteilung an. Zur weiteren detaillierten Untersuchung wurde die Klassifikation erweitert. Es wurde nicht nur quantitativ die Verteilung der verschiedenen Aufzweigungsformen untersucht, sondern auch weiter differenziert, ob der stärkere Ast medial oder lateral ausgebildet war und ob bzw. wie die weitere Aufzweigung erfolgte. Bei den untersuchten Patientinnen fand sich nach dieser Typisierung am häufigsten (40%) ein Hauptstamm ohne größere Aufzweigungen. Diese Variante fand sich bei MILLOY (36) in 78 %. Eine Aufzweigung in zwei Äste beschrieb dieser Autor bei 18 %, in der vorliegenden Arbeit liegt bei 43,5% eine dichotome Aufzweigung ohne nachfolgende größere Verzweigungen vor. Eine Dreiteilung in gleichstarke Äste fand sich nur bei 3% der Gefäße, werden allerdings die Arterien mit initialer Zweiteilung und anschließender weiterer Aufzweigung berücksichtigt, ergibt sich in 14,5 % eine Teilung in drei Endgefäße unterschiedlicher Stärke. MILLOY (36) beschreibt eine Drei- oder Mehrteilung in nur 3 % ohne die Aufteilung ausführlicher zu beschreiben. Bei den folgenden Vergleichen mit der Literatur geben die in Klammern gesetzten Zahlen die eigenen Befunde wieder. In einer radiographische Darstellung der AEI bei 25 Leichenpräparaten finden MOON (37) und TAYLOR (59) einen Hauptstamm (Typ1) in 29%, eine Zweiteilung in 57% (Typen 2, 4a, 5a, Häufigkeit 43,5%) und eine Dreiteilung in 14% (Typen 3, 4b-d, 5b-d, Häufigkeit 14,5%). Eine symmetrische Anatomie der beiden Rektusmuskeln wurde in 2% beschrieben. Diese Zahlen stimmen damit mit den vorliegenden recht gut überein. Eine weitere anatomische Detailstudie über ein an der AEI gestieltes Transplantat bei 17 Leichen legte ITOH (26) vor. Die Arterie zweigte sich in 82% in zwei Hauptäste auf (Typen 2, 4a, 5a, Häufigkeit 43,5%), bei den übrigen 18% gab es 2 oder mehr mediale Äste (Typen 4c-d, 5b, 5d, Häufigkeit 8%). Er beschreibt bei 6% eine Aufteilung in einen stärkeren lateralen und zwei mediale Äste (Typen 5b, 5d, Häufigkeit 2%). Einen einzigen Hauptstamm ohne größere Verzweigungen fand sich im Gegensatz zum vorliegenden Kollektiv nicht. WINTERS (66) fand in einer makroskopischen Untersuchung an 30 Leichen in 70% eine konstante Aufzweigung der AEI in drei Äste, einen medialen, einen lateralen und einen umbilicalen. Eine Differenzierung umbilikaler Äste wurden in der vorliegenden Studie nicht gemacht, betrachtet man den umbilikalen ebenfalls als medial gelegen, so läßt sich eine Häufigkeit der Typen 3, 4b-c, 5b-c mit nur 14,5% angeben. Ebenfalls einen konstanten umbilicalen Ast, der dann zum Peritoneum zieht um sich dort weiter zu verzweigen beschreibt NIAZI (40) bei über 300 intraoperativen Muskelpräparationen (und nennt dieses Gefäß dann "Niazi vessel"). Bei den übrigen 30% beschreibt WINTERS (66) nur einen kräftigen Hauptstamm (Typ 1, 42%). In einer anatomischen Studie von EL-MRAKBY (16) wurde die AEI mit ihren Verzweigungen an 20 Leichen präpariert. In 80% erfolgte eine Zweiteilung (Typen 2, 4a, 5a, Häufigkeit 43,5%), in 20% fand er eine dritte Aufzweigung in Richtung Umbilikus. In seiner Darstellung der Hautversorgung über dem M. rectus abdominis durch BOYD (7) an 25 Leichen beschreibt er die Aufzweigung der AEI ebenfalls in zwei und manchmal drei

große Äste unterhalb des Nabels. Eine Quantifizierung seiner Ergebnisse findet sich nicht. Andere Autoren finden eine Aufteilung in zwei Stämme (29, 42, 43, 45) ohne genauer auf die Verteilung einzugehen. Zusammengefaßt kann also die grundsätzlich mögliche Aufzweigung der AEI in bis zu drei Hauptstämme bestätigt werden. Eine Vierteilung wurde auch im vorliegenden Patientenkollektiv nicht gefunden. Die prozentuale Verteilung verschiedener Aufzweigungstypen ist in der vorliegenden Literatur sehr weit gestreut, z.B. finden sich für den von uns beschriebenen Typ 1 Prozentangaben von 0 (16, 26) bis 78% (36). Von sehr weiter Bandbreite sind auch die untersuchten Fallzahlen (34 Fälle bei (26), 115 Fälle bei (36)).

Die seitengetrennte Betrachtung ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen rechter und linker AEI. Bei der genaueren Untersuchung der weiteren Aufzweigung bzw. der Stärke der Hauptäste (Typen 4, 4a, 4b, 4c bzw 5, 5a, 5b, 5c) zeigte sich, daß lateral stärkere Gefäße (Typen der Gruppe 5) häufiger zu finden waren als medial stärkere Gefäße (Typen der Gruppe 4). ITOH (26) bemerkte in seiner anatomischen Studie ebenfalls, daß in 88% der laterale Ast stärker augeprägt war als der mediale, bei den restlichen 12% waren die Äste gleich stark (Typ 2, Häufigkeit 16%). Ebenfalls eine Dominanz des lateralen Astes mit mehr kutanen Perforatorgefäßen in 80% der Leichenpräparate fand EL-MRAKBY (16). Auch insgesamt gab der laterale Ast mehr Perforatorgefäße ab als der mediale. Diese Dominanz der lateralen Seite zeigte sich in dieser Studie nicht in demselben großen Ausmaß. Obwohl der Unterschied auch hier statistisch signifikant ist, stellt sich die Frage, ob dieser Unterschied auch funktionell wirksam ist. Möglicherweise zeigt sich darin eine etwas stärkere Durchblutung des lateralen Muskelanteils. Dies müßte aber in weiteren Studien untersucht werden. Im Gegensatz dazu fand BOYD (7) in seinen Untersuchungen an 25 Leichen, daß die für die Hautdurchblutung wichtigen muskulokutanen Perforatorgefäße am häufigsten vom medialen Hauptast der AEI abgehen. Sie ziehen senkrecht durch den Muskel und verlaufen dann in Subkutis und Kutis. Pro Muskel wurden im Durchschnitt 6 bis 7 dieser große Perforatoren mit einem Durchmesser von mehr als 0,5 mm gefunden. Daneben gaben Muskelgefäße zahlreiche kleinere (indirekte) Perforatorgefäße mit einem Durchmesser unter 0,5 mm ab. Die Darstellung erfolgte einmal direkt am Präparat, zum anderen Teil wurde bariumhaltiges Kontrastmittel in die AEI der en bloc-Bauchwandpräparate injiziert und es erfolgte eine radiologische Darstellung der Gefäßverläufe. Diese subkutanen Perforatorgefäße konnten auf den vorliegenden Angiographien im anterio-posterioren-Strahlengang nicht differenziert werden. Eine regelmäßige Darstellung im stark eingeblendeten seitlichen Strahlengang parallel zur Körperoberfläche ist technisch sehr aufwendig und nicht zuletzt aus strahlenhygienischen Gründen in der Regel nicht indiziert. Einzelbeipiele wurden unter 3.1.3 dargestellt, eine statistische Auswertung war bei kleiner Fallzahl nicht sinnvoll.

Nach der Aufzweigung in ihre großen Endäste verzweigen sich diese wiederum, um im Muskel Anastomosennetze nach kranial zu den Endästen der AES, nach medial zur gegenseitigen AEI und nach lateral zu den Interkostalarterien auszubilden (7, 17, 26, 29, 37, 42, 43). In dieser Arbeit diente als anatomische Landmarke der Umbilicus, dessen Lage mittels eines mitbelichteten Metallringes auf den Angiographien gut zu ermitteln war. Das Anastomosennetz nach kranial war bei keiner Patientin unterhalb des Nabels ausgebildet, nur in knapp 5% in Nabelhöhe und in der überwiegenden Mehrheit (ca. 95%) oberhalb des Nabels. Diese Beobachtung stimmt gut mit der vorhandenen Literatur (7, 36) überein. Die Anastomosen selber werden als spiralisierte Gefäße ("choke vessels") mit einem Durchmesser unter 0,5 mm beschrieben (7, 37, 60). Diese spezielle Gefäßform konnte in den Angiographien teilweise (Abb. 20), jedoch nicht regelhaft gefunden werden, eine statistische Auswertung diesbezüglich erfolgte nicht. Möglicherweise könnte es sich zum Teil auch um postmortale Veränderungen handeln, da die zitierten Untersuchungen an Leichenpräparaten durchgeführt wurden. In einer angiographischen Arbeit, bei der während der Transplantation eines freien TRAM-Lappens eine ex-vivo Angiographie durchgeführt wurde, findet sich keine Beschreibung der speziellen Anastomosenanatomie (42, 43).

Die retrograde Darstellung der AES über das Anastomosennetz gelang in über der Hälfte der Angiographien und unterstreicht die Bedeutung dieser Anastomosen. Da die Darstellung einer retrograden Füllung nicht nur von den Aufnahme- und Kontrastmittel-Injektionsbedingungen, sondern auch von der individuellen Anatomie, Gefäßspasmen, Atherosklerose usw. abhängt, ist eine retrograde AES-Darstellung keine zwingende Voraussetzung für eine Embolisation.

Analog wurden die Kollateralen nach lateral zu den Interkostalarterien untersucht. Die meisten Kollateralen zogen in Nabelhöhe zu den seitlichen Bauchwandgefäßen, ein Drittel bereits unterhalb und nur 10% oberhalb des Nabels. In der Literatur konnten keine Studien mit quantitativen Aussagen zum Vergleich dieser speziellen Fragestellung gefunden werden (41).

4.2 Konditionierung des TRAM-Lappens

Die Anlage eines Haut-Muskel-Lappens aus dem Bereich des M. rectus abdominis ist heute neben der Verwendung des M. latissimus dorsi das Verfahren der Wahl bei derartigen Eingriffen. Auch bei großen Mammae oder größeren Brustwanddefekten z.B. nach ausgedehnter Resektion oder anschließender Radiatio mit Exulcerationen oder Narbenbildung ist in der Regel ein ausreichend großes Stück Eigengewebe vorhanden. Ein großes Problem bei der Rekonstruktion der Brust nach kompletter oder partieller Resektion stellt die Viabilität des verpflanzten Gewebes dar. Durch Minderdurchblutung kann es zu einer Ischämie im Gesamttranplantat oder besonders vulnerablen Teilen davon kommen. Mit der Einführung eines gestielten Haut-Muskel-Lappens durch HARTRAMPF (21) konnte dieses Problem zu einem Großteil überwunden werden. Die vorher notwendige mikrochirurgische Anastomosierung der den Lappen versorgenden Gefäßen mit geeigneten Gefäßen am Empfängerort war nun kein limitierender Faktor für das Überleben des Transplantats mehr. Allerdings zeigten sich weiterhin besonders randständige Bezirke eines gestielten Tranplantates vulnerabel für ischämische Nekrosen. Beim TRAM-Lappen waren dies insbesondere die Hautareale, die von der versorgenden AEI am entferntesten lagen (Prinzip der letzten Wiese). In ihrer detailierten Studie zur Gefäßanatomie des TRAM-Lappens konnten MOON und TAYLOR (37) die unterschiedliche Blutversorgung an post mortem Präparaten zeigen, die aus verschiedenen Höhen gewonnen wurden. Dazu wurden an 25 Leichen entweder die AES oder die AEI jeder Seite mit einer barium- oder bleioxidhaltiger röntgendichter Lösung injiziert, der M. rectus abdominis in einem Stück entnommen und anterior-posterior, longitudinal und transversal geröngt. TRAM-Lappen wurden aus verschiedenen Höhen (oberhalb, in Höhe und unterhalb des Nabels) untersucht. Während der obere transverse Lappen zum größten Teil von der AES durchblutet wurde, wurde die Haut des TRAM-Lappen aus Höhe des Bauchnabels vor allem durch kaliberstarke periumbilikale Perforatorgefäße, die aus der AEI hervorgehen versorgt. Diese geben ebenfalls Anastomosen über die Mittellinie hinweg zur Gegenseite ab. Der unterhalb des Nabels gewonnene Haut-Muskel-Lappen wird ebenfalls von der AEI versorgt. Der Haut-Lappen wird von Perforatoren aus der proximalen AEI versorgt, wobei dieses caudale Gebiet erheblich weniger Perforatoren enthielt als die weiter cranial gelegenen Gebiete. Über die Mittellinie hinweg konnte ein Kontrastmittelnachweis nur bis zum kontralateralen Muskulus rectus abdominis erfolgen, nicht jedoch über dessen lateralen Rand hinaus. Damit ist die Versorgung dieses Lappens nach Ligatur der AEI nur durch retrograde Füllung dieses Gefäßes über die Anastomosen aus der AES möglich. Darüberhinaus ist die Versorgung des kontralateralen Hautgebietes wiederum nur über Anastomosen möglich. Jeder Fluß durch Anastomosen wird aber durch die Verkleinerung der Gefäßdurchmesser und damit erhöhten Widerstand geringer. Damit lassen sich am Hautlappen auf anatomischer Grundlage unterschiedliche Regionen definieren, die abhängig von der Durchblutung durch Per-

foratorgefäße und deren Anastomosen sind (Abb. 4). Die am schlechtesten durchbluteten Regionen sind die lateralen Enden des transversen Lappens, insbesondere auf der kontralateralen Seite. In einer Studie von HEITMANN (22) konnte dies auch intraoperativ an 5 freien, an der AEI gestielten Haut-Subkutislappen bestätigt werden: Nach Injektion eines Farbstoffes wurde das kontralaterale distale Viertel zuletzt oder aber überhaupt nicht angefärbt.

Um die Blutversorgung des gesamten Gewebe-Lappens zu verbessern werden verschiedene Möglichkeiten diskutiert und praktiziert.

Eine Möglichkeit besteht darin, die durchtrennte AEI mit einem gleichkalibrigen Gefäß am Empfängerort, z.B. der A. thoracica interna zu anastomosieren und damit die Hauptversorgung wie ursprünglich aufrechtzuerhalten (1). Hierzu ist eine mikrochirurgische Anastomose notwendig, die nicht nur eine entsprechende technische Erfahrung des Operateurs voraussetzt, sondern auch mit spezifischen Komplikationen wie Undichtigkeiten oder narbigen Verziehungen mit der Folge von Stenosen einhergehen kann.

Die Hauptversorgung des M. rectus abdominis und der darüberliegenden Haut erfolgt durch die AES und die AEI. Dabei trägt die AEI zu einem größeren Anteil bei (36). Es war aufgefallen, daß bei Patienten, deren AEI wegen eines früheren Eingriffs in der Leistengegend, z.B. Leistenhernien-Op, ligiert war, die Versorgung über die AES deutlich stärker ausgeprägt war. In einer anatomischen Studie (37) zeigte sich, daß nach Verschluß der AEI während einer Leistenhernien-Operation die Anastomosen aus der AES deutlich stärker waren als auf der gesunden Seite. Aus dieser Beobachtung heraus modifizierte RIBUFFO (49) 1997 die Technik der TRAM-Transplantation in der Art, daß die gleichseitige AEI in einer kurzen OP einige Zeit vor der eigentlichen Tranplantation ligiert wurde, um so den Blutfluß über die verbleibende AES zu verstärken ("selective delay"). Farbdoppler-Messungen zeigten einen fast 100% größeren Gefäßdurchmesser der AES. Damit konnte er bessere Ergebnisse bezüglich der Überlebensrate des Gewebelappens erzielen. Insbesondere bei Patienten mit weiteren Risikofaktoren wie Adipositas erwies sich dieser Delay als Vorteil (63). Die Verzögerungstechnik wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen aufgenommen und weiterentwickelt (18, 52). Kürzlich wurde eine laparoskopische Technik zur Ligatur der AEI vor TRAM-Lappen-Operation vorgestellt (14). Bei diesen chirurgischen Techniken ist aber immer ein Eingriff notwendig, der in lokaler oder Vollnarkose stattfindet. Eine minimalinvasive Technik um den Gefäßverschluß zu erreichen ist die Embolisation eines Gefäßes. Dabei wird über einen Katheter ein Metalldraht in das Gefäß appliziert, der sich beim Rückzug des Katheters zu einer Spirale aufrollt und so einen thrombogenen Reiz setzt. Es kommt rasch zur Ausbildung eines Thrombus und damit zum Verschluß des Gefäßes. Die Technik wird z.B. eingesetzt, um versorgende Gefäße bei soliden Tumoren zu verschließen und so eine Tumornekrose auszulösen oder um akute Blutungen z. B. nach Trauma zu stoppen (3,

65). Diese Technik wurde nun benutzt, um die AEI gezielt zu embolisieren und damit den Blutstrom über die dann haupsächlich den späteren Haut- und Weichteillappen versorgende AES zu verstärken. Dadurch wird der Rektusmuskel mit dem darüberliegenden Gewebe konditioniert.

Wird die Minispirale in einem relativ schmalen Gefäßabschnitt plaziert, kann es vorkommen, daß sich der Metalldraht nicht oder nicht vollständig aufspiralisiert. In dieser Arbeit lag diese Rate nur bei 12%, wobei es in allen Fällen wenigstens zu einer Teilspiralisierung kam. Der Mechanismus des Gefäßverschlusses wird nicht durch eine Abdichtung des Gefäßlumens durch die Minispirale, sondern durch den thrombogenen Reiz und die Verlangsamung des Blutstromes erreicht. Auch bei nicht vollständiger Spiralisierung ist der Blutstrom so verlangsamt, daß sich ein Thrombus bilden kann und der Erfolg der Embolisation gewährleistet wird. Der verminderte Blutstrom konnte sofort nach Lage der Spirale mittels erneuter Kontrastmittelinjektion kontrolliert werden, um bei Bedarf eine zweite Spirale einzusetzen. Eine dritte Spirale war für eine Embolisation niemals notwendig.

Die Lage der eingebrachtem Minispiralen wurde auf den Angiographien in Bezug zum ersten Muskelast und zum Ursprung der AEI ausgewertet. Dabei wurde nur ein Sechstel der Minispiralen unterhalb des ersten Muskelastes eingebracht, ein Viertel in Höhe und über die Hälfte der Spiralen oberhalb des Astes. Die genauere Auswertung ergab im Durchschnitt eine Lage von 3 cm vom Ursprung der AEI, wobei bei Normalverteilung die Bandbreite zwischen 1,5 und 4,5 cm lag.

Der erste Muskelast ging im Mittel nach ca. 2 cm ab, die Minispirale wurde daher im Mittel ca. 1 cm oberhalb dieses Astes plaziert. Damit wird auch bei dieser genaueren quantitativen Betrachtung die Abschätzung der Lage der Spirale in Bezug auf den ersten Muskelast bestätigt. Klinisch konnte so erreicht werden, daß der nicht embolisierte Anfangsteil der AEI weiterhin zur Blutversorgung der Symphysenregion beitragen konnte und auch bei Vorhandensein einer A. obturatoria accessoria (wie es bei der Mehrzahl der Patientinnen der Fall war) diese ihre Funktion weiterhin wahrnehmen konnte.

Eine Komplikation stellt das Wandern der Spirale im Gefäß mit dem Blutstrom dar. Deshalb erfolgte am Tag nach der Embolisation eine Röntgenkontrolle (eingeblendete Beckenaufnahme), um den Sitz der Spirale zu überprüfen. Die 6 Fälle mit einer Dislokation betrafen ausschließlich vollständig aufgerollte Spiralen, keine unvollständig aufgerollte Spirale dislozierte. Diese Komplikation scheint damit unabhängig von der verwendeten Spirale zu sein und ist z.B. auf die individuelle Gefäßstärke und den Blutstrom über die AEI zurückzuführen. Möglicherweise verhakten sich die nicht vollständig aufgerollten Spiralen leichter an kleinsten Aufzweigungen oder Gefäßabgängen besser als die vollständig aufgerollten. Das Steckenbleiben der letzteren war primär vom Durchmesser der AEI in Bezug auf den Spiraldurchmesser abhängig. In der Literatur wird ein Außendurchmesser der AEI von 2 bis 5 mm (22, 46) angegeben, mit einem digitalen Lineal wurden in dieser Untersuchung exemplarische Innendurchmesser von ca. 2,3 mm bestimmt. Damit können die bereits bekannten Daten bestätigt werden. Dislokationen traten zum Teil sofort nach Setzen der Spirale auf und in einem Fall wurde eine Verlagerung durch die Kontrastmittelgabe im Anschluß an die Embolisation beobachtet. Die maximale Dislokation von 9 cm im Gefäß führt zu einem Sistieren des Blutstroms weiter distal und könnte das erwünschte Ergebnis einer Zunahme der Muskelversorgung über die AES beeinträchtigen. Dies entspräche dann im ungünstigsten Fall einer Lappenplastik ohne vorherige Konditionierung, wenn nämlich durch den coil nur ein kleiner Endast der AEI verschlossen werden würde. Weitere spezifische Komplikationen, wie Gefäßperforationen wurden nicht beobachet. Insgesamt erscheint damit die dargestellte Methode sicher in der Anwendung. In den meisten Fällen erfolgte zusätzlich zur morphologischen Röntgendarstellung eine funktionelle Überprüfung des Blutstromes mit farbkodierter Doppler-Sonographie in der AEI vor der Lappenplastik. Das Gefäß läßt sich transabdominell gut darstellen und es konnte in den unteruchten Fällen cranial der Spirale höchstens noch ein minimaler Fluß dargestellt werden. In der vorliegenden Arbeit erfolgte keine systematische Auswertung dieser Befunde, da diese Ergebnisse bereits andernorts dargestellt wurden (53, 54). Damit stellt die Katheterembolisation der AEI eine sichere und effektive Möglichkeit der Konditionierung vor TRAM-Lappen-Transplantation als Alternative zur operativen Ligatur der AEI dar.

5. Zusammenfassung

Zur Vorbereitung einer rekonstruktiven Plastik nach Mammaamputation mit einem Haut-Muskel-Lappen aus dem M. rectus abdominis (TRAM-Flap) wird in der vorliegenden Arbeit die Röntgenanatomie der A. epigastrica inferior (AEI) und eine Methode zur Konditionierung des Lappens durch Embolisation dieser Arterie beschrieben.

Die Klärung der Gefäßanatomie ist eine Voraussetzung der Katheterembolisation. Der selektiv angiographisch dargestellte Verlauf der A. epigastrica inferior mit ihren Kollateralen wird ausführlich beschrieben und mit den wenigen Angaben der anatomischen und klinischen Literatur verglichen. Hierbei zeigte sich, daß der Anfangsteil des Gefäßes in Form eines unvollständigen Kreisbogens um das Ligamentum teres uteri (Ligamentum rotundum) herum läuft und nicht gestreckt nach cranial zieht, wie bisher beschrieben. Ein R. pubicus als erster Hauptast wurde in allen Fällen nachgewiesen. In 41% der Fälle wurde eine A. obturatoria accessoria nachgewiesen, wobei ein Seitenunterschied nicht signifikant war. Diese Häufigkeit der Ausbildung dieser Arterie ist ebenfalls in der Literatur kaum beschrieben. Bei Nachweis der A. obturatoria accessoria bildete diese einen gemeinsamen Stamm mit dem R. pubicus. Die Beachtung des Gefäßes bei der Embolisation ist wichtig, damit es nicht zur Unterversorgung in ihrem Stromgebiet bei einer alleinigen Versorgung durch diese Variante kommt. Der erste Muskelast der AEI stellte sich im Mittel 2,3 cm nach dem Arterienabgang dar. Er dient als anatomische Landmarke für die Spiralplatzierung.

Fünf Haupttypen der Arterienaufzweigung im Muskel lassen sich unterscheiden:

- 1. ein durchgehender Hauptstamm mit kaliberschwachen abgehenden Ästen (42%),
- 2. dichotome Aufzweigung in zwei gleichstarke Äste (16%),
- 3. Aufzweigung in drei gleichstarke Äste (3%),
- 4. Aufzweigung in einen stärkeren medialen und einen bzw. zwei schwächere laterale Äste (15,3%),
- 5. Aufzweigung in einen stärkeren lateralen und einen bzw. zwei schwächere mediale Äste (23,7%).

Oberhalb des Nabels bilden die Endäste der AEI ein netzförmiges oder spiraliges Anastomosennetz zur A. epigastrica superior (AES). In keinem Fall konnte der Anfang dieses Netzes unterhalb der Nabelmarkierung nachgewiesen werden, in 4,6% der Fälle in Nabelhöhe und in 95,4% oberhalb des Nabels. Weitere Kollateralen ziehen von der AEI zu den Interkostalarterien und in Einzelfällen zur lateralen Bauchwand. Diese Kollateralen wurden in 30,9% bereits unterhalb des Nabels, in 59,1% in Nabelhöhe und in 10% oberhalb des Nabels nachgewiesen. Die Ergebnisse werden mit der Literatur verglichen. Die bisherigen Untersuchungen wurden zumeist an Leichenpräparaten durchgeführt, während es sich hier erstmals um eine röntgenologische in vivo-Untersuchung handelt. Ein Teil der unterschiedlichen Ergebnisse ist hierdurch zu erklären.

Die Spiralembolisation des Hauptstammes der AEI einige Wochen vor der TRAM-Flap Operation dient der Blutumleitung über die AES in den Muskel vor der distalen Abtrennung des Muskels. Der normalerweise zu 2/3 über die AEI versorgte Muskel wird somit an eine alleinige Versorgung aus der AES adaptiert.

Die speziell für das Gefäß optimierte Kathetertechnik und der Erfolg der angiographischen Spiralembolisation werden dargestellt. Eine beidseitige Embolisation mit GAW-Minispiralen wurde über einen einseitigen Zugang in cross-over-Technik durchgeführt. Die Lage der benutzten GAW-Minispiralen im Gefäß und ihr Abstand zu den Verzweigungen bzw. dem Ursprung der AEI wurde untersucht wobei die Rolle des so genannten "ersten Muskelastes" der AEI ausführlich diskutiert wird.

In 84% der Gefäße reichte eine Spirale zum Verschluss aus, in 16% wurden zwei Spiralen appliziert. Hierbei wurden 73 Spiralen oberhalb des ersten Muskelastes, 34 Spiralen in Höhe des ersten Astes und 22 Spiralen unterhalb des Astes platziert. Die Entfernung vom Gefäßabgang betrug im Mittel 3,48 cm. Die Röntgenkontrolle nach 24 Stunden zeigte 88% der Spiralen vollständig eingerollt, in 12% kam es bei sehr kleinem Gefäßlumen nicht zu einer vollständigen Spiralisierung, wodurch der Embolisationsvorgang jedoch nicht behindert wurde. Der Blutfluss konnte in allen Fällen gestoppt werden. In 96% war der Spiralverschluss an der gewählten Stelle dauerhaft, eine Verlagerung nach cranial zeigten nach 24 Stunden nur 4% der Spiralen um 0,78 – 9 cm ohne dass hierbei klinische Komplikationen oder ein verminderter Embolisationseffekt auftraten. Die selektive Embolisation der AEI zur Konditionierung eines TRAM-Lappens stellt ein alternatives Verfahren zur chirurgischen Unterbindungsoperation der AEI dar und konnte inzwischen an der Klinik als minimalinvasives Verfahren in der täglichen Routineversorgung etabliert werden.

6. Literatur

- 1. Allen R, Heitmann C. Perforator Flaps The History of Evolution. Handchir Mikrochir Plast Chir 2002;34: 216-8.
- Banzer D, Andresen R, Kirsch A, Vaubel E. Katheterembolisation der Arteria epigastrica inferior. Ein schonendes Verfahren zur Konditionierung des gestielten TRAM-Lappens. Zentralbl Chir 2000;125: 56-9.
- 3. Basile A, Medina JG, Mundo E, Medina VG, Leal R. Transcatheter Arterial Embolisation of Concurrent Spontaneous Hematomas of the Rectus Sheath and Psoas Muscle in Patients Undergoing Anticoagulation. Cardiovasc Intervent Radiol 2004;27:659-62.
- 4. Bechler J. Methoden der Brustrekonstruktion.(Accessed January 17, 2005, at http://www2.uni-jena.de/ufk/frk_info/inf9610.htm)
- 5. Benninghoff A. Anatomie, hrsg. von D. Drenckhahn. Urban & Fischer, München 2003.
- 6. Bohmert H. Plastische und rekonstruktive Chirurgie der Brust. Thieme, New York 1995.
- 7. Boyd JB, Taylor GI, Corlett R. The Vascular Territories of the Superior Epigastric and the Deep inferior Epigastric System. Plast Reconstr Surg 1984;73:1-14, discussion 15-6.
- 8. Brown AP, Lewis H, Sinclair S. The contralateral superficial inferior epigastric artery flap as a backup in breast reconstruction. Br J Plast Surg 2001;54:557.
- 9. Chevray PM. Breast reconstruction with superficial inferior epigastric artery flaps: a prospective comparison with TRAM and DIEP flaps. Plast Reconstr Surg 2004;114:1077-83, discussion 1084-5.
- 10. Darmanis S, Lewis A, Mansoor A, Bircher M. Corona Mortis: An Anatomical Study with Clinical Implications in Approaches to the Pelvis and Acetabulum. Clin Anat 2007;20:433-9
- 11. Dhar S, Taylor GI. The delay phenomenon: the story unfolds. Plast Reconstr Surg 1999;104: 2079-91.
- 12. Dulin WA, Avila RA, Verheyden CN, Grossmann L. Evaluation of abdominal wall strength after TRAM flap surgery. Plast Reconstr Surg 2004;113:1662-5, discussion 1666-7.
- 13. Dumitrescu R, Cotarla I. Understanding breast cancer risk where do we stand in 2005? J Cell Mol Med 2005;9:208-21.
- 14. Ebrahimi A. Cosman P, Widdowson P, Crampton N. TRAM flap delay: an extraperitoneal laparoscopic technique. ANZ J Surg 2005;75:911-3.
- 15. Edwards BK, Brown ML, Wingo PA, et al. Annual report to the nation on the status of cancer, 1975-2002, featuring population-based trends in cancer treatment. J Natl Cancer Inst 2005;97:1407-27.

- 16. El-Mrakby HH, Milner RH. The Vascular Anatomy of the Lower Anterior Abdominal Wall: A Micodissection Study on the Deep Inferior Epigastric Vessels and the Perforator Branches. Plast Reconstr Surg 2002;109:539-43, discussion 544-7.
- 17. Epstein J, Arora A, Ellis H. Surface Anatomy of the Inferior Epigastric Artery in Relation to Laparoscopic Injury. Clinical Anatomy 2004;17:400-8.
- 18. Erdmann D, Sundin BM, Moquin KJ, Young H, Georgiade GS. Delay in unipedicled TRAM flap reconstruction of the breast: a review of 76 consecutive cases. Plast Reconstr Surg 2002;110:762-7.
- Grotting JC, Urist MM, Maddox WA, Vasconez LO. Conventional TRAM flap versus free microsurgical TRAM flap for immediate breast reconstruction. Plast Reconstr Surg 1989;83:828-41, discussion 842-44.
- Harashina T, Sone K, Inoue T, Fukuzumi S, Enomoto K. Augmentation of circulation of pedicled transverse rectus abdominis musculocutaneous flaps by microvascular surgery. Br J Plast Surg 1987;40:367-70.
- 21. Hartrampf CR, Scheflan M, Black PW. Breast reconstruction with a transverse abdominal island flap. Plast Reconstr Surg 1982;69:216-25.
- 22. Heitmann C, Felmerer G, Durmus C, Matejic B, Ingianni G. Anatomical features of perforator blood vessels in the deep inferior epigastric perforator flap. Br J Plast Surg 2000;53:205-8.
- 23. Hirigoyen MB, Rhee JS, Weisz DJ, et al. Reappraisal of the Inferior Epigastric Flap: A New Neurovascular Flap Model in the Rat. Plast Reconstr Surg 1996;98:700-5.
- 24. Holmström H.: The free abdominoplasty flap and its use in breast reconstruction. An experimental study and clinical case report. Scand J Plast Reconstr Surg 1979;13:423-7.
- 25. Hong HX, Pan ZJ, Chen X, Huang ZJ. An anatomical study of corona mortis and its clinical significance. Chin J Traumatol 2004;7:165-9.
- 26. Itoh Y,Arai K. The Deep Inferior Epigastric Artery Free Skin Flap: Anatomic Study and Clinical Application. Plast Reconstr Surg 1993;91:853-63, discussion 864.
- 27. Jakubowicz M, Czarniawska-Grzesinska M.: Variability in origin and topography of the inferior epigastric and obturator arteries. Folia Morphol (Warsz) 1996;55:121-6.
- 28. Karakurt L, Karaka I, Yilmaz E, Burma O, Serin E. Corona mortis: Incidence and location. Arch Orthop Trauma Surg 2002;122:163-4.
- 29. Konerding MA, Gaumann A, Shunsky A, Schlenger K, Höckel M. The Vascular Anatomy of th Inner Anterior Abdominal Wall with Special Reference to the Transversus and Rectus Abdominis Muskuloperitoneal (TRAMP) Composite Flap for Vaginal Reconstruction. Plast Reconstr Surg 1997;99:705-10, discussion 711-2.

- 30. Kroll SS, Marchi M. Comparison of Strategies for preventing abdominal-wall weakness after TRAM flap breast reconstruction. Plast Reconstr Surg 1992;89:1045-51, discussion 1052-3.
- 31. Kroll SS, Schustermann MA, Reece GP, Miller MJ, Robb G, Evans G. Abdominal wall strength, bulging, and hernia after TRAM flap breast reconstruction. Plast Reconstr Surg 1995;96:616-9.
- 32. v. Lanz T, Wachsmuth W. Praktische Anatomie, bearb. von J. Lang, Springer, Berlin 1972.
- 33. Lippert H, Pabst R. Arterial Variations in Man, J. F. Bergmann, München, 1985.
- 34. Lozano JA, Roldan P, Escudero FJ. Breast reconstruction with the transverse rectus abdominis musculocutaneous (TRAM) flap. An Sist Sanit Navar 2005;28, Supl. 2: 63-71.
- 35. McPherson K, Steel CM, Dixon JM. ABC of Breast Diseases: Breast cancer epidemiology, risk factors, and genetics. BMJ 2000;321:624-28.
- 36. Milloy FJ, Anson BJ, McAfee DK. The rectus abdominis muscle and the epigastric arteries. Surg Gynecol Obstet 1969;110:293-302.
- Moon HK, Taylor GI. The Vascular Anatomy of Rectus Abdomini Musculocutaneous Flaps Based on the Deep Superior Epigastric System. Plast Reconstr Surg 1988;82:815-29, discussion 830-2.
- 38. Nahabedian MY, Momen B, Galdino G, Manson PN. Breast reconstruction with the free TRAM or DIEP flap: Patient selection, choice of flap, and outcome. Plast Reconstr Surg 2002;110:466-75, discussion 476-7.
- 39. Nahabedian MY, Manson PN. Contour abnormalities of the abdomen after transverse rectus abdominis muscle flap breast reconstruction: A multifactorial analysis. Plast Reconstr Surg 2002;109:81-7, discussion 88-90.
- 40. Niazi ZBM, Kutty M, Petro JA, Kogan S, Chuang L. Vaginal Reconstruction with a Rectus Abdominis Musculoperitoneal Flap. Ann Plast Surg 2001;46:563-8.
- 41. O'Dey DM, Heimburg DV, Prescher A, Pallua N. The arterial vascularisation of the abdominal wall with special regard to the umbilicus. The British Association of Plastic Surgeons 2004;57:392-7.
- 42. Ohjimi H, Era K, Tanahashi S, et al. Ex vivo Intraoperative Angiography for Rectus Abdominis Musculocutaneous Free Flaps. Plast Reconstr Surg 2002;109:2247-56.
- 43. Ohjimi H, Era K, Fujita T, Tanaka T, Yabuuchi R. Analyzing the vascular architecture of the free TRAM flap using intraoperative ex vivo angiography. Plast Reconstr Surg 2005;116:106-13.
- 44. Okcu G, Erkan S, Yercan HS, Ozic U. The incidence and location of corona mortis: A study on 75 cadavers. Acta Orthop Scand 2004;75:53-5.

- 45. Piza-Katzer H, Walzer LR, Böhler A. Erfahrungen mit dem unteren Rectus abdominis-Lappen. Handchir. Mikrochir Plast Chir 1986;18:225-30.
- 46. Pshenisnov KP. Inferior Epigastric Artery as Autogenous Arterial Graft. Plast Reconstr Surg 2004;114:1018-20.
- 47. Rauber A, Kopsch F. Anatomie des Menschen, hrsg. von H. Leonhardt, Thieme, Stuttgart 1988.
- 48. Reardon CM, O'Ceallaigh S, O'Sullivan ST. An anatomical study of the superficial inferior epigastric vessels in humans. The British Association of Plastic Surgeons 2004;57:515-9.
- 49. Ribuffo D, Muratori L, Antoniadou K, et al. A Hemodynamic Approach to Clinical Results in the TRAM Flap after Selective Delay. Plast Reconstr Surg 1997;99:1706-14.
- 50. Roberts WH, Krishingner GL. Comparative Study of Human Internal Iliac Artery Based on Adachi Classification. Anat Rec 1967;158:191-6
- 51. Sainsbury JRC, Anderson TJ, Morgan DAL. ABC of breast diseases: Breast Cancer. BMJ 2000;321:734-50.
- 52. Sano K, Hallock GG, Rice DC. Venous "Supercharging" Augments Survival of th Delayed Rat TRAM Flap. Ann Plast Surg 2003;51:398-402.
- 53. Scheufler O, Andresen R, Kirsch A, Banzer D, Vaubel E. Klinische Resultate und FKDS-Befunde vier Jahre nach konditionierter Tram-Flap-Plastik. Zentralbl Chir 2000;125:60-7.
- 54. Scheufler O, Andresen R, Kirsch A, Banzer D, Vaubel E. Clinical Results of TRAM Flap Delay by Selective Embolisation of the Deep Inferior Epigastric Arteries. Plast Reconstr Surg 2000;105:1320-29.
- 55. Scheufler O, Exner K, Andresen R. Investigation of TRAM flap oxygenation and perfusion by near-infrared reflection spectroscopy and color-coded duplex sonography. Plast Reconstr Surg 2004;113:141-52, discussion 153-5.
- 56. Shafighi M, Schwabegger AH, Michelle E, Gurunluoglu R. A Cadaver Study: The Course of the Inferior Epigastic Vessels. Plast Reconstr Surg 2003;112:341-3.
- 57. Sobotta J. Anatomie des Menschen, Band 2, Urban und Fischer, München, 2005.
- 58. Stein M, Neymark E, Owings J. Traumatic Bleeding From An Aberrant Obturator Artery: A Diagnostic challenge. (Accessed January 17 2005 at http://www.scvir.org/members/caseclub/0600/0600_08/066_08.htm)
- 59. Taylor GI, Palmer JH. The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications. Br J Plast Surg 1987;40:113-41.
- 60. Taylor GI. The angiosomes of the body and their supply to perforator flaps. Clin Plast Surg 2003;30:331-42.

- 61. Teague DC, Graney DO, Routt ML Jr. Retropubic vascular hazards of the ilioinguinal exposure: A cadaveric and clinical study. J Orthop Trauma 1996;10:156-9.
- 62. Tornetta P, Hochwald N, Levine R. Corona mortis. Incidence and location. Clin Orthop Relat Res 1996;329:97-101.
- 63. Wang HT, Hartzell T, Olbrich KC, Erdmann D, Georgiade GS. Delay of transverse rectus abdominis myocutaneous flap reconstruction improves flap reliability in the obese patient. Plast Reconstr Surg 2005;116:613-8, discussion 619-20.
- 64. Wells SA Jr, Young VL, Andriole DA. Atlas of breast surgery. Mosby, St. Luis, 1994
- 65. Wild M, Weigand H, Steingässer C, Wenda K. Notfall-Embolisation bei schwerer Blutung nach traumatischer Symphysensprengung. Zentralbl Chir 2005;130:170-3.
- 66. Winters HAH, Bouman MB, Boum F, Prose LP. The Peritoneal Free Flap: An Anatomic Study. Plast Reconstr Surg 1997;100:1168-71, discussion 1171-2.
- 67. Zenn MR. Breast Reconstruction: TRAM, Unipedicled. (accessed January 18 2005 at http://www.emedicine.com/plastic/topic141.htm)
- 68. Zenn MR. Breast Reconstruction: TRAM, Bipedicled. (accessed January 18 2005 at http://www.emedicine.com/plastic/topic133.htm)

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Erklärung an Eides Statt

"Ich, Jens-Peter Banzer, erkläre an Eides Statt, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: "Röntgenanatomie der Arteria epigastrica inferior und Embolisationstechnik zur TRAM-Flap Konditionierung vor operativer Brustrekonstruktion" selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe. Die benutzten Hilfsmittel sowie die Literatur sind vollständig angegeben"

3.6.2008