

Inhaltsverzeichnis

1	Bindegewebe	1			
1.1	Zusammensetzung der Bindegewebe	1			
1.1.1	Extrazellulärmatrix	2			
1.1.2	Bindegewebszellen	5			
1.2	Klassifikation der Bindegewebe	8			
1.2.1	Lockeres Bindegewebe	8			
1.2.2	Fettgewebe	10			
1.2.3	Dichtes Bindegewebe	15			
2	Subkutangewebe und oberflächliche Faszie	21			
2.1	Historie	21			
2.2	Aktuelle Evidenz	22			
2.3	Oberflächliches Fettgewebe	25			
2.4	Oberflächliche Faszie	26			
2.5	Tiefes Fettgewebe	29			
2.6	Transversale und longitudinale Adhäsionen	31			
2.6.1	Longitudinale Adhäsionen	32			
2.6.2	Transversale Adhäsionen	34			
2.7	Subkutane Blutgefäße	37			
2.7.1	Arterien	37			
2.7.2	Venen	38			
2.8	Subkutane Lymphgefäße	41			
2.9	Subkutane Nerven	42			
2.10	Subkutane Schleimbeutel	43			
2.11	Entwicklung der oberflächlichen Faszie	43			
2.12	Mechanische Eigenschaften	44			
2.12.1	Bildgebung	46			
3	Tiefe Faszien	51			
3.1	Einleitung	51			
3.2	Definitionen	51			
3.3	Aponeurotische Faszien	54			
3.3.1	Mikroskopische Anatomie der aponeurotischen Faszien	60			
3.3.2	Vaskularisierung der aponeurotischen Faszien	65			
3.3.3	Innervation der aponeurotischen Faszien	65			
3.3.4	Myofasziale Ausläufer	69			
3.3.5	Faszienv Verstärkungen: Retinakula	78			
3.4	Mechanisches Verhalten	85			
3.4.1	Nicht lineare mechanische Reaktionen	85			
3.4.2	Zugfestigkeit bei multiaxialer Belastung	86			
3.4.3	Anisotropie	87			
3.4.4	Viskoelastizität	87			
3.4.5	Mehrschichtige mechanische Reaktionen	88			
3.5	Epimysiale Faszie	89			
3.5.1	Perimysium	92			
3.5.2	Endomysium	92			
3.5.3	Mechanisches Verhalten	94			
			3.5.4	Innervation der epimysialen Faszien: Bedeutung der Muskelspindeln	94
			3.6	Bildgebung der tiefen Faszien	97
			4	Faszien von Kopf und Hals	103
			4.1	Einleitung	103
			4.2	Oberflächliche Faszien	103
			4.2.1	Oberflächliche Faszie des Kopfes: Galea aponeurotica	109
			4.2.2	Oberflächliche Fascia temporoparietalis	115
			4.2.3	Superfiziell muskuloaponeurotisches System	116
			4.2.4	Oberflächliche Halsfaszie: Platysma	121
			4.3	Tiefe Faszien des Kopfes	122
			4.3.1	Tiefe Faszie des Schädels: Fascia epicranialis	122
			4.3.2	Tiefe Faszie der Orbita: Vagina bulbi	126
			4.3.3	Tiefe Faszie des Schädels: Fascia temporalis	127
			4.3.4	Tiefe Faszie des Gesichts: Fascia parotideomasseterica	128
			4.3.5	Tiefe Faszie des Gesichts: Fascia pterygoidea	129
			4.3.6	Tiefe Faszie des Gesichts: Fascia buccopharyngea	130
			4.4	Tiefe Faszie des Halses (Fascia cervicalis)	131
			5	Faszien von Thorax und Abdomen	141
			5.1	Einleitung	141
			5.2	Oberflächliche Faszie von Thorax und Abdomen	142
			5.2.1	Mamma-Region	151
			5.3	Tiefe Faszie	155
			5.4	Fascia pectoralis	156
			5.5	Fascia clavipectoralis	161
			5.6	Fascia intercostalis und Fascia endothoracica	164
			5.7	Tiefe Bauchfaszien	165
			5.7.1	Faszie des M. obliquus externus	165
			5.7.2	Faszie des M. obliquus internus	165
			5.7.3	Faszie des M. transversus abdominis	171
			5.7.4	Rektusscheide	172
			5.7.5	Fascia transversalis (oder preperitonealis)	179
			6	Faszien des Rückens	183
			6.1	Einleitung	183
			6.2	Oberflächliche Faszie	183
			6.3	Tiefe Faszien	191
			6.3.1	Oberflächliche Schicht der tiefen Rückenfaszie	191
			6.3.2	Mittlere Schicht der tiefen Rückenfaszie	193
			6.3.3	Fascia mm. serrati	195
			6.4	Tiefe Schicht der tiefen Rückenfaszie	197
			6.4.1	Fascia thoracolumbalis	197
			6.4.2	Fascia iliopsoas	209

7	Faszien der oberen Extremität	213	8	Faszien der unteren Extremität	283
7.1	Oberflächliche Faszie	213	8.1	Oberflächliche Faszie der unteren Extremität	283
7.2	Tiefe Faszien	224	8.2	Tiefe Faszie der unteren Extremität	294
7.2.1	Tiefe Faszien der Schulter	224	8.3	Fascia glutea	301
7.2.2	Fascia deltoidea	230	8.4	Faszie des M. gluteus medius	306
7.2.3	Fascia axillaris	233	8.5	Fascia piriformis	307
7.2.4	Fascia subscapularis	236	8.6	Fascia obturatoria	308
7.2.5	Fascia infraspinata	238	8.7	Fascia iliopectinea	308
7.2.6	Fascia supraspinata	239	8.8	Fascia lata und Tractus iliotibialis	312
7.3	Tiefe Faszien des Arms:		8.9	Fascia cruris	336
	Fascia brachii	240	8.10	Faszien des Fußes	351
7.4	Tiefe Faszie des Unterarms:		8.10.1	Fascia dorsalis pedis	351
	Fascia antebrachii	260	8.10.2	Faszie der Mm. interossei	356
7.5	Tiefe Faszie der Hohlhand:		8.10.3	Fascia plantaris	357
	Palmarfaszienkomplex	274			
7.6	Dorsale Faszien der Hand	278		Register	363
7.7	Tiefe Faszien der Finger	280			

Online-Ressourcen

Durch Ihren Kauf haben Sie Zugang zu den folgenden Online-Ressourcen, die das Material in diesem Buch ergänzen: Eine Videobank von 14 Videos, die zeigen, wie Faszien mit Ligamenten/Muskeln verbunden sind. Die Online-Ressourcen sind auf www.atlasfascial.com verfügbar.

Hinweis: Beim Registrierungsvorgang auf der englischsprachigen Homepage erfolgen Wortabfragen, zu denen Sie die Antworten aus der Ihnen vorliegenden deutschen Auflage des Buches finden!

Bitte registrieren Sie sich und folgen Sie der Anleitung.

1.2 Klassifikation der Bindegewebe

Es gibt drei Formen von Bindegewebe: zellreiches, faseriges und embryonales. Zu den zellreichen oder spezialisierten Bindegeweben gehören Fettgewebe, Knochen und Knorpel. Von den spezialisierten Bindegeweben wird an dieser Stelle wegen seiner engen Beziehung mit den oberflächlichen Faszien nur das Fettgewebe besprochen. Für weitere Informationen über Knochen und Knorpel wird der Leser auf andere Lehrbücher verwiesen.

Das faserige Bindegewebe umfasst eine sehr große Gewebegruppe, einschließlich lockerem und dichtem Bindegewebe (> Abb. 1.5). Es umgibt alle Organe und Körperhöhlen und verbindet ein Teil mit dem anderen. Ebenso wichtig ist, dass es Zellgruppen voneinander

trennt. Alle Faszien gehören zum faserigen Bindegewebe, wobei manche Autoren das lockere und dichte Bindegewebe von dieser Definition ausschließen. Das embryonale Bindegewebe umfasst das Mesenchym (> Abb. 1.6) und das gallertige Bindegewebe (> Abb. 1.2). Nachfolgend werden die für die korrekte Klassifikation der Faszien entscheidenden Merkmale des faserigen Bindegewebes beschrieben.

1.2.1 Lockeres Bindegewebe

Lockeres (oder areoläres) Bindegewebe ist das am weitesten im Körper verbreitete Bindegewebe. Es enthält viel Grundsubstanz sowie relativ wenige, dünne Fasern und Zellen (> Abb. 1.7). Die Hauptzellkomponenten sind Fibroblasten sowie in geringem Um-

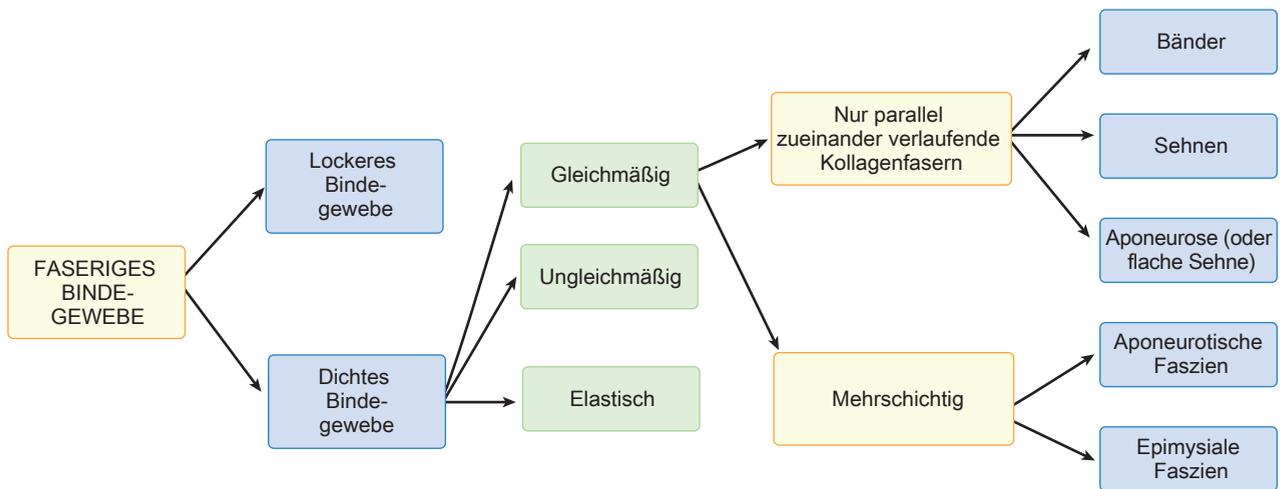


Abb. 1.5 Klassifikationen des Bindegewebes.

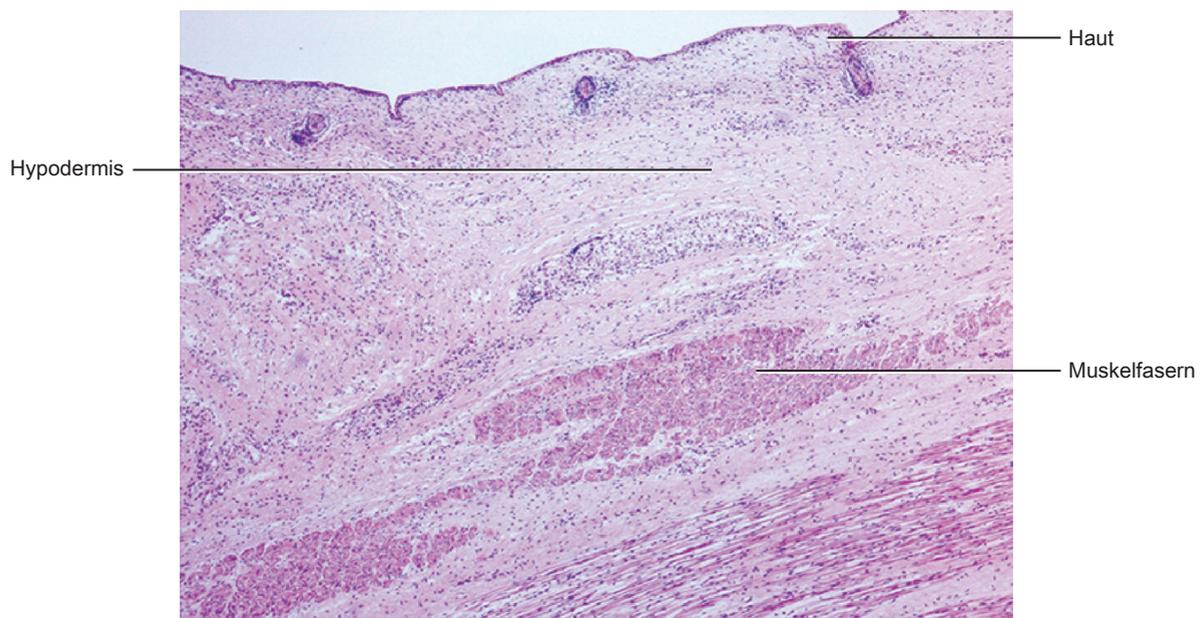


Abb. 1.6 Histologischer Schnitt der Bauchwand eines Embryos in der 19. Entwicklungswoche. Hämatoxylin-Eosin-Färbung, 50-fache Vergrößerung. Das Gewebe ist sehr zellreich und es fehlen gut abgegrenzte Faszienebenen.

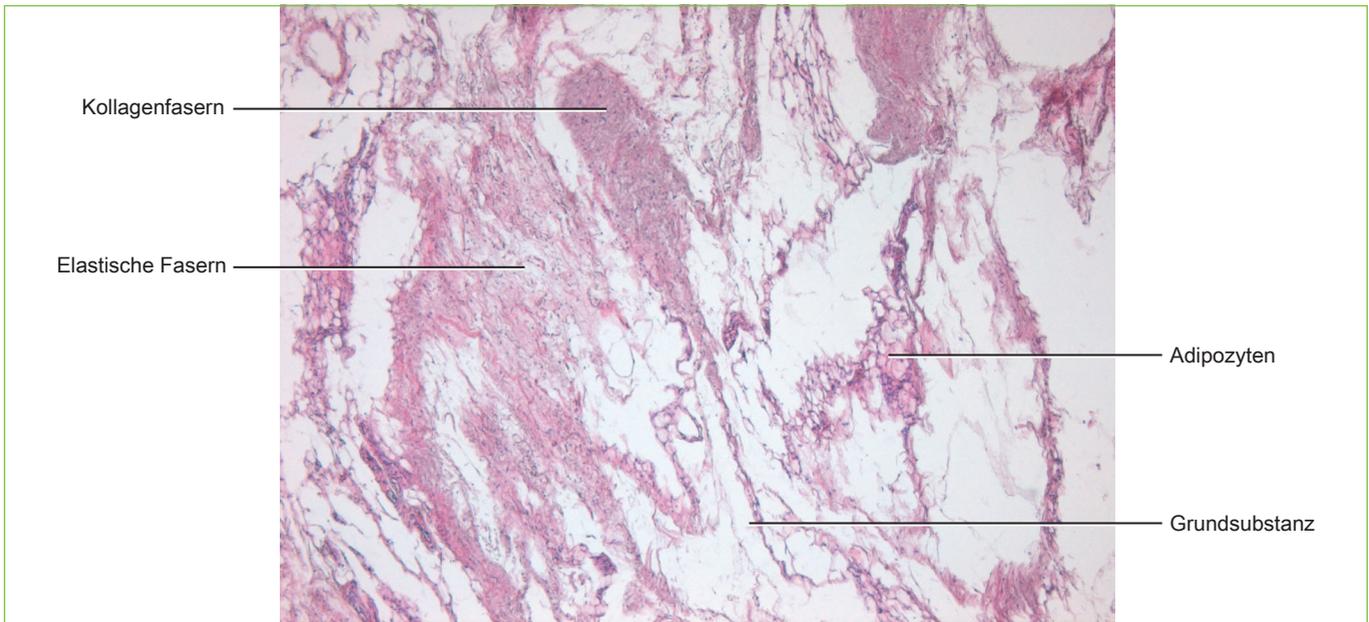


Abb. 1.7 Histologischer Schnitt des lockeren Bindegewebes. Hämatoxylin-Eosin-Färbung, 50-fache Vergrößerung. Das Gewebe ist vollkommen unorganisiert. Die Kollagenfasern und elastischen Fasern verlaufen in allen Richtungen, außerdem finden sich mehrere Adipozyten.

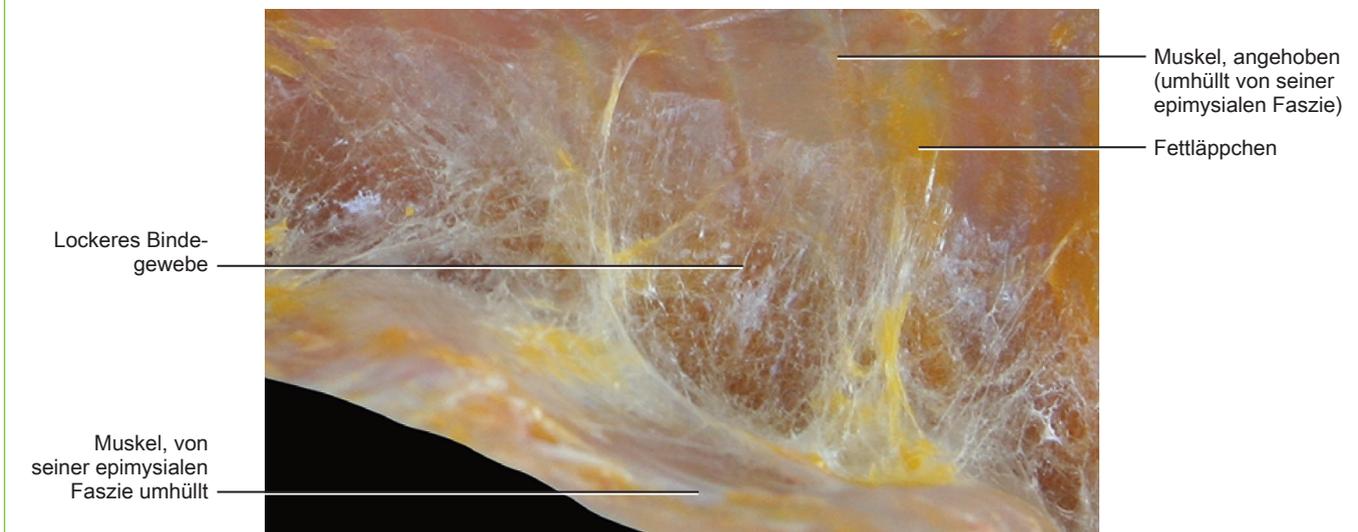


Abb. 1.8 Makroskopische Ansicht des lockeren Bindegewebes zwischen den Mm. pectoralis major und minor. Das lockere Bindegewebe bildet eine Gleitfläche zwischen diesen beiden Muskeln und erlaubt, dass sie sich unabhängig voneinander kontrahieren. Die weißen Linien sind Kollagenfasern. Der Leerraum zwischen ihnen ist beim Lebenden von Wasser, das mit den Glykosaminoglykanen verbunden ist, aufgefüllt.

fang Adipozyten. Fettzellen sind ein normaler Bestandteil des lockeren Bindegewebes. Wenn sie jedoch in großer Zahl vorhanden und zur besseren Speicherung in großen Läppchen organisiert sind, wird das Gewebe als Fettgewebe klassifiziert. Die Adipozyten des lockeren Bindegewebes liegen meist als isolierte Zellen oder als kleine Zellansammlungen vor und dienen nicht der Speicherung, sondern erleichtern das Gleiten und sind interstitielle Füller. Die Adipozyten des lockeren Bindegewebes vergrößern sich in der Regel bei Gewichtszunahme nicht. Die wichtigste Faser des lockeren Bindegewebes ist Kollagen, das in allen Richtungen angeordnet ist und

im interzellulären Material ein lockeres Netz bildet. Außerdem finden sich viele elastische Fasern.

Das lockere Bindegewebe ist viskös und gelartig. Seine Konsistenz unterscheidet sich durch Variationen des pH-Werts und der Temperatur in den verschiedenen Körperbereichen. Dieses Bindegewebe erlaubt das Gleiten von verschiedenen Muskeln und Organen aufeinander (> Abb. 1.8, > Abb. 1.9) sowie die Diffusion von Sauerstoff/Nährstoffen aus kleinen Gefäßen in die Zellen und von Metaboliten zurück in die Gefäße. Dies ist der erste Punkt, an dem Antigene, Bakterien und andere Substanzen, welche die Epitheloberfläche überwunden haben, zerstört werden. Außerdem bildet

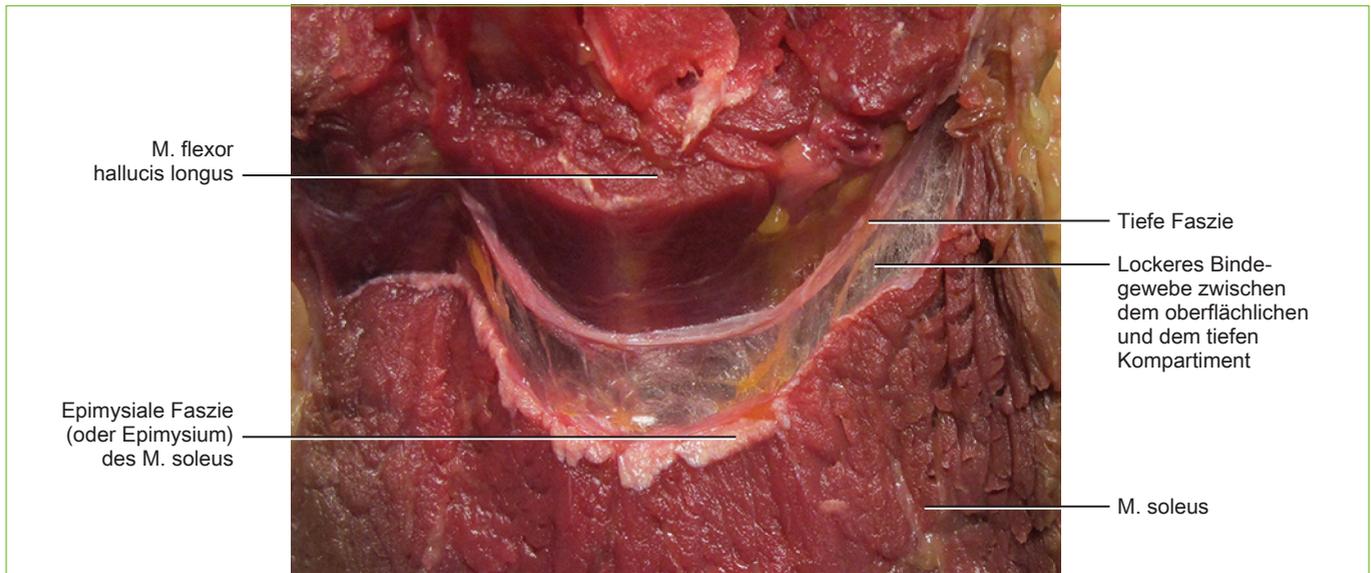


Abb. 1.9 Transversalschnitt des mittleren Beindrittels. Die Faszie des M. flexor hallucis longus wurde vom darunterliegenden Muskel abgelöst, während der M. soleus fest mit seiner Faszie verbunden ist. Durch die Traktion des M. soleus nach distal wird eine Kontraktion, bei der die Faszie dem Muskel folgt, ausgelöst. Zwischen den Faszien der Mm. soleus und flexor hallucis longus liegt lockeres Bindegewebe. Dadurch entsteht eine Gleitfläche zwischen den beiden Faszien, die eine unabhängige Kontraktion und/oder passive Dehnung der beiden Muskeln ermöglicht.

es ein netzartiges Gewebe mit einer flüssigen Matrix, das Epithelien, wie die Haut und andere Membranen, abstützt. Das Bindegewebe füllt die Räume zwischen den Organen und fixiert sie, indem es sie abpolstert und schützt. Außerdem umgibt und schützt es die Blutgefäße.

Eine besondere Form des lockeren Bindegewebes ist das retikuläre Bindegewebe, das nur retikuläre Fasern aus Typ-III-Kollagen enthält. Die sternförmigen Retikulumzellen besitzen lange Fortsätze, über die sie Kontakt mit benachbarten Zellen haben. Das Gewebe stützt zahlreiche Körperstrukturen, wie Leber, Milz, Knochenmark und lymphatische Organe.

1.2.2 Fettgewebe

Das Fettgewebe ist nicht nur darauf spezialisiert, überschüssige Kohlenhydrate in Form von Triacylglycerolen zu speichern. Reife Adipozyten produzieren und sezernieren auch zahlreiche Enzyme, Wachstumsfaktoren, Zytokine und Hormone, die am Energiehaushalt beteiligt sind. Es gibt verschiedene Arten von Fettgeweben: Allgemein werden das weiße und das braune unterschieden (Smorlesi et al. 2012). Das weiße Fettgewebe wird nach der Lokalisation unterteilt in das subkutane weiße Fettgewebe und das viszerale weiße Fettgewebe. Sbarbati et al. (2010) klassifizieren das weiße Fettgewebe anhand von strukturellen und ultrastrukturellen Merkmalen der Fettzellen in drei verschiedene Typen: Speicherfettgewebe, strukturelles Fettgewebe und fibröses Fettgewebe.

Weißes Fettgewebe

Weißes Fettgewebe macht den Großteil des Fettgewebes von Säugetieren aus (oft als „Fett“ bezeichnet). Es besteht aus Adipozyten, die von einem stark vaskularisierten und innervierten lockeren Bindegewebe zusammengehalten werden. Die weißen Adipozyten sind rund und enthalten einen einzelnen Fetttropfen, der > 90% des Zellvolumens einnimmt. Dadurch werden die Mitochondrien und der Zellkern in die Zellperipherie gedrängt. Das subkutane Fettgewebe weist in den verschiedenen Körperregionen unterschiedliche mikroskopische Merkmale auf. In der Subkutis des Abdomens sind die Fettzellen eng gepackt und durch ein schwaches Netz aus isolierten Kollagenfasern verbunden. Diese Kollagenfasern enthalten vereinzelt große Zellen und ein paar Blutgefäße (> Abb. 1.10). An den Extremitäten ist das subkutane Fettgewebe reichlich vorhanden und gut vaskularisiert. Seine Zellen sind von einem Korb aus Kollagenfasern umgeben (> Abb. 1.11, > Abb. 1.12). Im Fuß und anderen Bereichen, die unter starker mechanischer Belastung stehen, weist das subkutane Fettgewebe eine deutliche fibröse Komponente auf und enthält Adipozyten mit einer dicken, abgegrenzten fibrösen Hülle (> Abb. 1.13). Die Zusammensetzung des subkutanen Fettgewebes unterscheidet sich abhängig von seiner Beziehung zur oberflächlichen Faszie. Das weiße Fettgewebe zwischen der Haut und der oberflächlichen Faszie ist echtes Fettgewebe und vermehrt sich in der Regel bei Gewichtszunahme, während das weiße Fettgewebe zwischen der oberflächlichen und der tiefen Faszie meist locker ist und bei Gewichtszunahme in der Regel nicht zunimmt (> Kap. 2) (> Abb. 1.14).

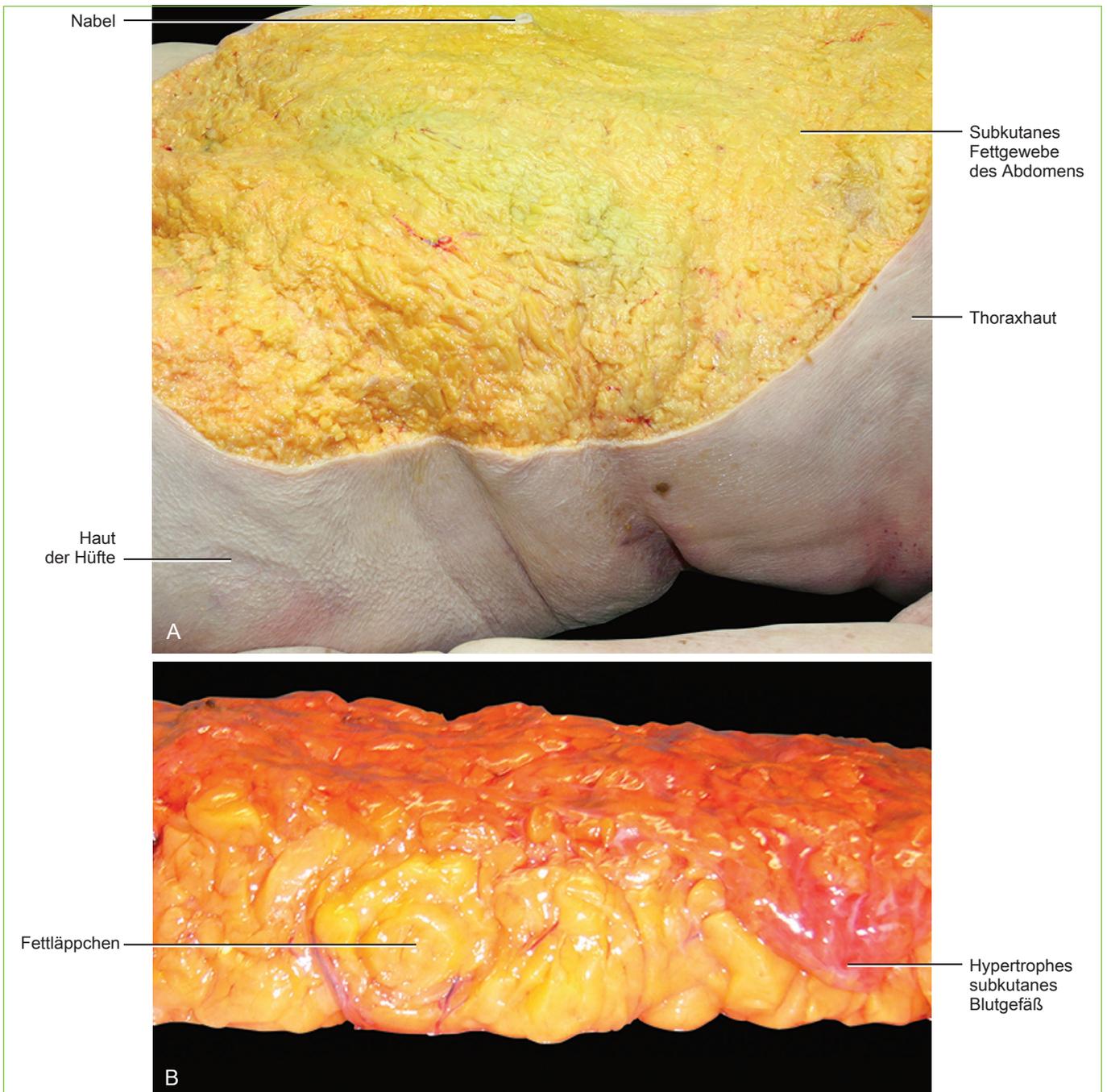


Abb. 1.10 (A) Makroskopische Ansicht des Fettgewebes aus dem Abdomen eines adipösen Leichnams. (B) Aus dem Abdomen eines adipösen Leichnams entnommenes Fettgewebe. Deutlich zu erkennen sind die großen Fettläppchen und die kaum vorhandene fibröse Gewebeabstützung. Die Gefäße durchqueren das Gewebe im rechten Winkel und sind hypertroph.

2

Subkutangewebe und oberflächliche Faszie

2.1 Historie

Die oberflächliche Faszie ist auch weiterhin Gegenstand von Diskussionen. Während sich manche Autoren für die Existenz einer membranösen Schicht, die das Subkutangewebe in zwei Schichten teilt, aussprechen, schließen andere dies aus und beschreiben viele derartige Schichten (Wendell-Smith 1997). Die ersten Anatomen (Fabrici, Casseri, Spiegel, Bartholin und Veslin usw.) folgten der Lehre von Vesalius (1543) und beschrieben für die Subkutis eine Fettschicht und eine Muskelschicht. Sie wussten, dass Tiere im gesamten Körper einen kutanen Muskel besitzen, während dies beim

Menschen nur an Hals, Stirn, Hinterhaupt und in ein paar anderen Bereichen der Fall ist. Unter diesen Schichten beschrieben sie eine Membrana muscolorum communis: eine mit dem Muskel zusammenhängende Membran. Der Begriff **oberflächliche Faszie** tauchte erst am Ende des 19. Jahrhunderts auf, als Camper (1801), Colles (1811) und Scarpa (1808 und 1819) die Entstehung von Leistenhernien untersuchten und dabei eine faserige Schicht in der Subkutis von Bauch und Becken beschrieben. Diese Schicht wurde als oberflächliche Faszie von der tiefen Faszie abgegrenzt. Im Jahr 1825 bestätigte Velpau, dass „die oberflächliche Faszie eine im gesamten Körper und nicht nur an Bauch und Becken vorkommende faserige Schicht ist“. Leider wurde die Forschung zur oberflächlichen Faszie

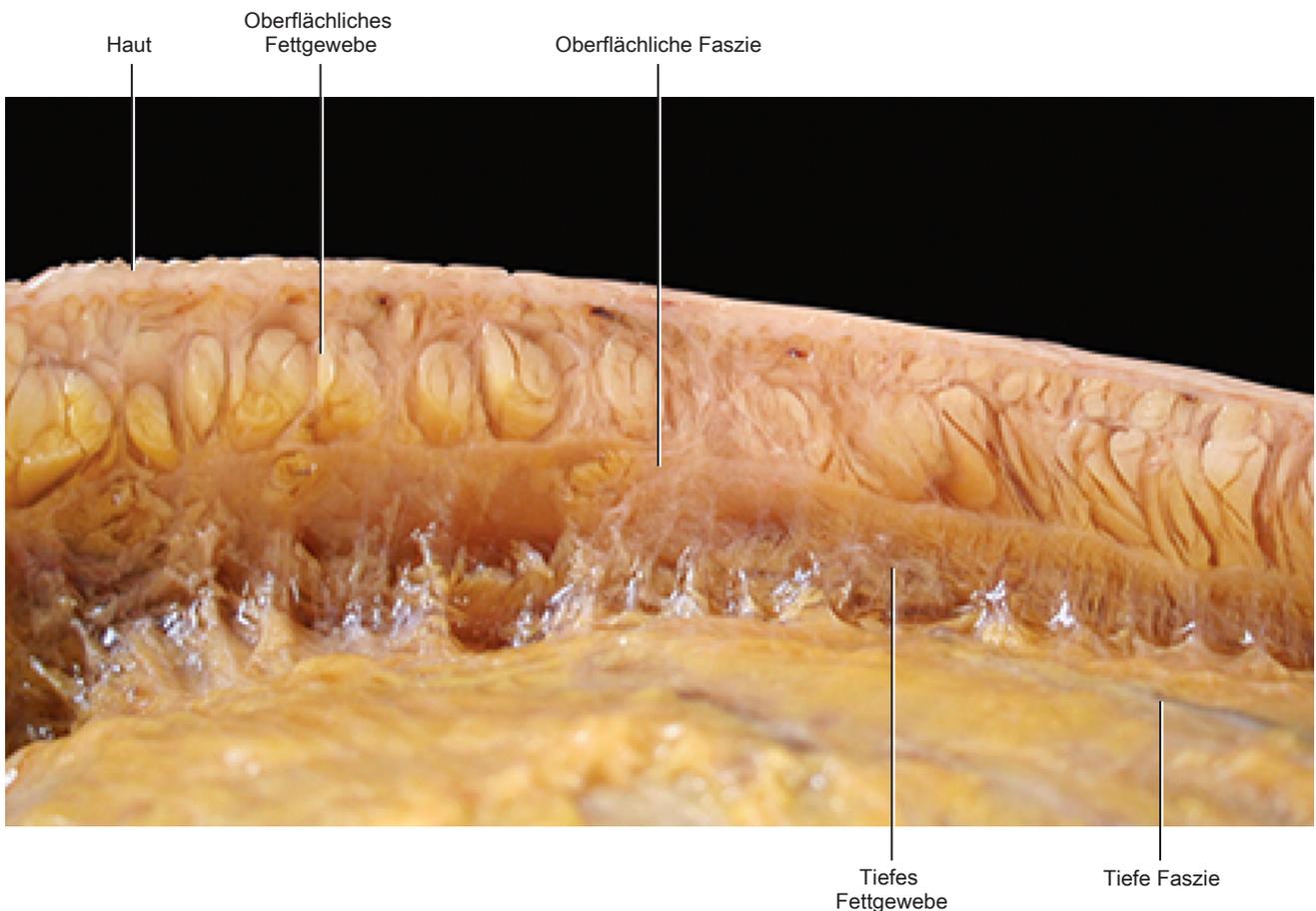


Abb. 2.1 Sektion der Subkutis des Oberschenkels. Gezeigt sind die Schichten der Subkutis. Die oberflächliche Faszie trennt das oberflächliche vom tiefen Fettgewebe. Das oberflächliche Fettgewebe enthält vertikale fibröse Septen, zwischen denen Fettläppchen liegen. Das tiefe Fettgewebe besteht aus lockerem Bindegewebe, enthält nur wenige Fettzellen und dünnere, nicht so faserreiche Septen. Durch diesen Aufbau entsteht eine Gleitebene zwischen oberflächlicher und tiefer Faszie.

und ihren Beziehungen zum Panniculus carnosus, die in den alten anatomischen Lehrbüchern beschrieben wurden, nicht weiter verfolgt. Somit blieb die Terminologie und Organisation der Subkutis weiterhin kontrovers. Nach der von Testut geleiteten Französischen Schule besteht die Subkutis aus zwei faserigen Schichten: der ersten direkt unter der Dermis und der zweiten nahe der tiefen Faszie. Getrennt sind diese Schichten durch eine dünne Lage aus lockerem Bindegewebe. Zwischen den beiden Faserschichten befindet sich Fettgewebe. Die Italienische und die Deutsche Schule hingegen betrachten die oberflächliche Faszien als Faserschicht, welche die Subkutis in eine oberflächliche und eine tiefe Fettschicht, die jeweils locker organisiert sind, teilt. Velpau bestätigte diese zweite Version und beschrieb eine oberflächliche Schicht (*couche areolaire*) und eine tiefe Schicht (*couche lamellare*). Seine Beschreibung wurde jedoch zu Gunsten von Testuts Vorstellung verworfen.

Interessant ist, dass die Begriffe Panniculus adiposus und oberflächliche Faszie in englisch-, französisch- und deutschsprachigen Ländern eine jeweils unterschiedliche Bedeutung haben. So wird die Faserschicht, welche die Subkutis trennt und vom Federative Committee on Anatomic Nomenclature (FACT) als *Textus connectives compactus* bezeichnet wird, von den italienischen und französischen Anatomen als oberflächliche Faszie bezeichnet, von den englischen Anatomen als membranöse Schicht, von den deutschen Autoren als lockeres Bindegewebe und von Wendell-Smith (1997) als Subkutanfaszie oder *Tela subcutanea*. Heute schlagen viele Autoren vor, sie ohne weitere Ausführungen einfach nur als Hypodermis oder Subkutis zu bezeichnen und selbst die Terminologia Ana-

tomica von 1997 verwendet den allgemeinen Begriff Hypodermis (Subkutis) statt oberflächliche Faszie.

2.2 Aktuelle Evidenz

Um die Organisation der Subkutis und das eventuelle Vorhandensein der oberflächlichen Faszie zu verstehen, muss der gesamte menschliche Körper betrachtet und davon ausgegangen werden, dass eine gemeinsame Organisation mit lokalen Unterschieden vorhanden sein muss. Daher wurde der menschliche Körper schichtweise präpariert. Diese Dissektionen frisch Verstorbener zeigten, dass die Subkutis durch eine faserhaltige Lamina in Schichten mit jeweils typischen Merkmalen unterteilt wird (> Abb. 2.1). Die oberflächliche Schicht wird als oberflächliches Fettgewebe und die tiefe Schicht als tiefes Fettgewebe bezeichnet. Die faserreiche Lamina in der Mitte ist die oberflächliche Faszie (> Abb. 2.2, > Abb. 2.3). In diesem Buch wird gemäß der Beschreibung von Professor Sterzi (1910) der Begriff oberflächliche Faszie verwendet. Die Terminologia Anatomica definiert eine Faszie als Hülle oder Blatt oder andere präparierbare Ansammlung von Bindegewebe. Daher handelt es sich im Ergebnis unserer Präparationen bei der oberflächlichen Faszie in jeder Hinsicht um eine echte Faszie.

Da die oberflächliche Faszie über fibröse Septen mit der Haut (*Retinaculum cutis superficialis*) und der tiefen Faszie (*Retinacu-*

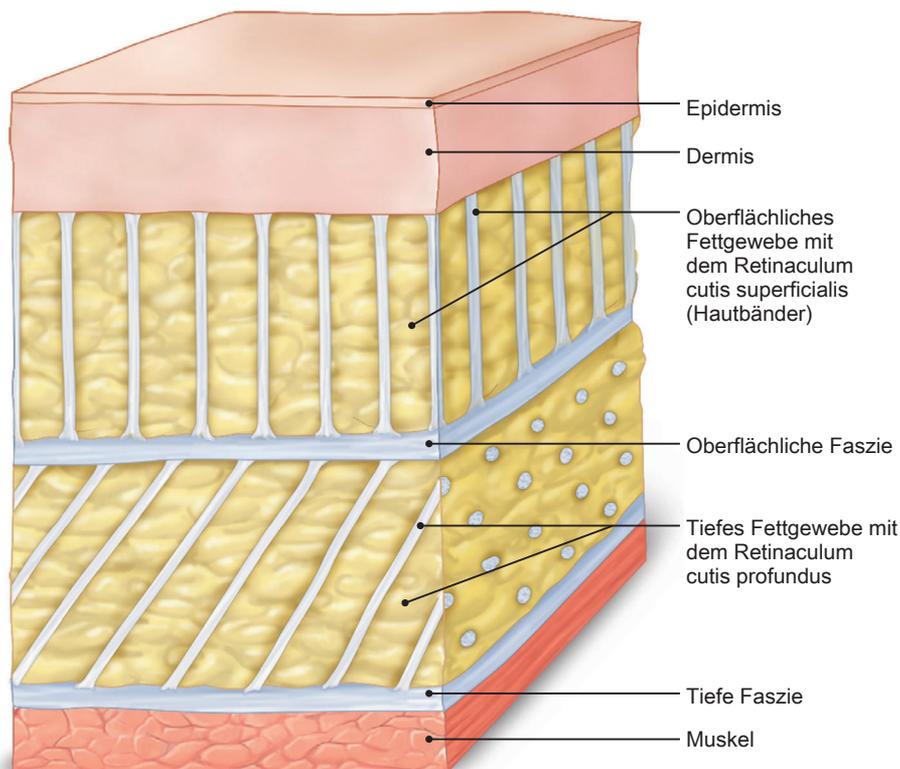


Abb. 2.2 Aufbau des Subkutangewebes.

lum cutis profundus) verbunden ist, weist die Subkutis bestimmte mechanische Eigenschaften auf (Nash et al 2004). Manche Septen verlaufen sehr schräg. In diesen Bereichen finden zahlreiche faserreiche Lamellen, die jedoch nicht zu einer abgrenzbaren Struktur verschmelzen. Diese Aussage wird durch die Bildgebung und histologische Untersuchungen gestützt. Somit ist die Subkutis gleichmäßig aufgebaut und weist abhängig von der Körperregion bestimmte Eigenschaften auf. In manchen Bereichen überwiegt die fibröse Komponente, in manchen die adipöse. Diese Zusammensetzung bestimmt die mechanischen und biologischen Eigenschaften der Subkutis. Gelegentlich spaltet sich die oberflächliche Faszie, um Ge-

fäße, Nerven oder Fettzellen zu umhüllen, sodass sie aus mehreren Schichten zu bestehen scheint.

Das Subkutangewebe ist nicht überall im Körper gleich aufgebaut. Die Unterschiede betreffen vor allem die Dicke und Form des oberflächlichen und tiefen Fettgewebes sowie die Verteilung der Fettläppchen und fibrösen Septen. Die Retinacula cutis superficiales (oder skin ligaments in englischen Lehrbüchern) verlaufen in der Regel fast vertikal (➤ Abb. 2.4). Die Retinacula cutis profunda verlaufen meist schräger und sind dünner als die oberflächlichen Septen und bilden eine deutliche Trennschicht zwischen der oberflächlichen und der tiefen Faszie. Die Retinacula cutis superficialis und

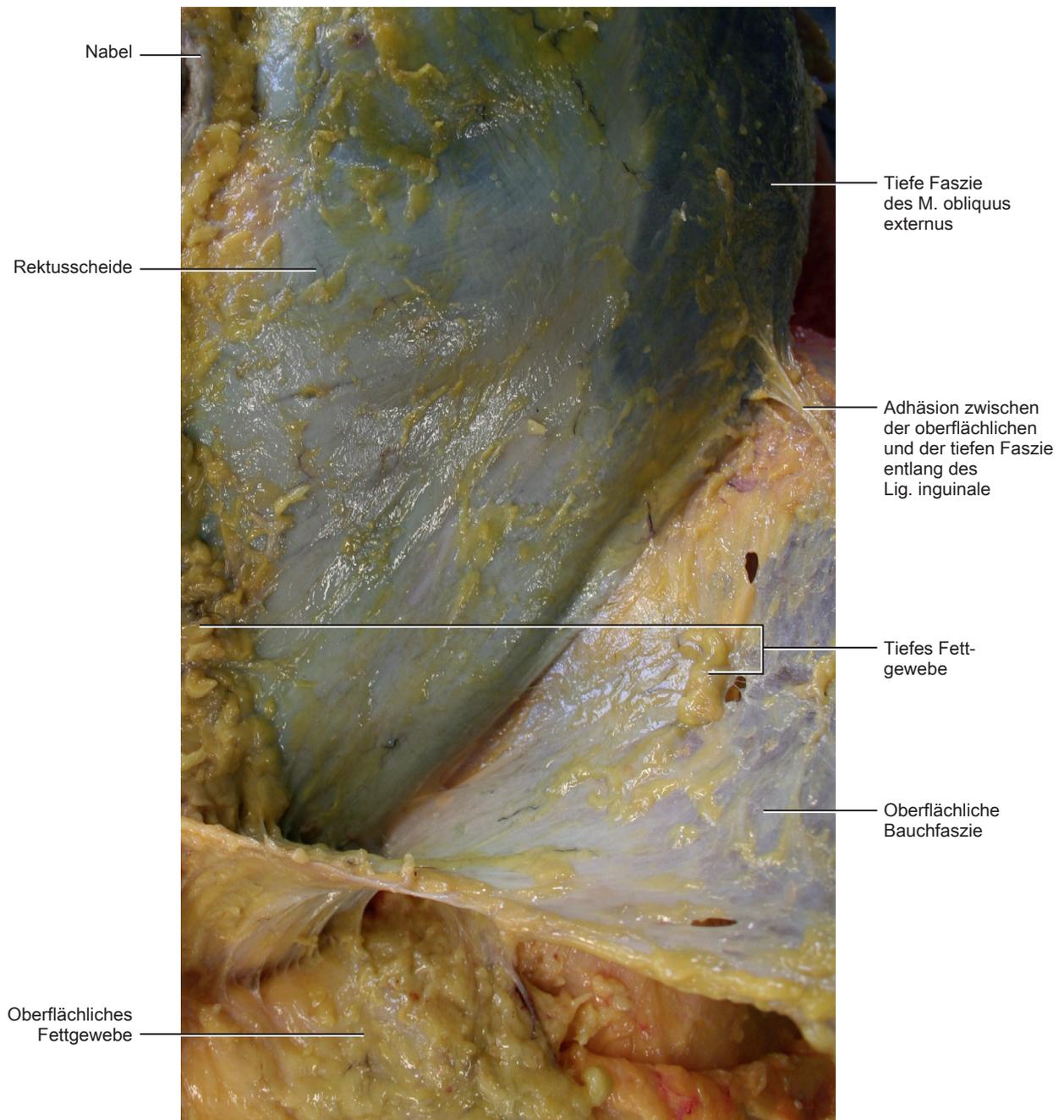


Abb. 2.3 Makroskopische Ansicht der oberflächlichen Bauchfaszie. Diese sehr faserreiche Schicht wird als Scarpa-Faszie bezeichnet.

profunda inserieren fächer- oder kegelförmig auf breiter Fläche an der oberflächlichen Faszie, sodass die oberflächliche Faszie in diesen Bereichen dicker erscheint. Vermutlich sind diese Septen für die in der Literatur sehr unterschiedlich angegebene Dicke der Faszie verantwortlich.

Die oberflächliche Faszie und die Retinacula cutis bilden ein dreidimensionales Netz zwischen den Fettläppchen und der Subkutis, das die Haut dynamisch an den darunterliegenden Geweben befestigt. Durch diese Anordnung entsteht ein flexibler und gleichzeitig widerstandsfähiger Mechanismus zur Übertragung von mechanischen Belastungen aus verschiedenen Richtungen. Nach Li und Ahn (2011) können die Retinacula cutis superficialis und profunda sowie die oberflächliche Faszie (die sie als subkutane Faszienbänder zusammenfassen) strukturell als Brücken, die eine mechanische Verbindung zwischen Haut, Subkutanschicht und tiefer Muskelschicht herstellen, betrachtet werden. Anzahl und Morphologie unterscheiden sich abhängig von der Körperregion. So nehmen die Retinacula cutis in Oberschenkel und Wade im Verhältnis zum

Subkutangewebe mehr Raum ein als im Arm. Ein Zusammenhang mit der Dicke der Subkutis besteht nicht. Im Oberschenkel findet sich die höchste durchschnittliche Anzahl von Retinacula cutis, während die durchschnittlich dicksten Retinacula cutis in der Wade vorkommen. Diese regionalen Unterschiede bestimmen die Verschieblichkeit der Haut auf den darunterliegenden Geweben und spiegeln oft die Summe der mechanischen Kräfte, die auf diese Region einwirken, wider. So fehlen das Fettgewebe und die Retinacula cutis in Lidern, Penis und Skrotum, sodass die Haut auf den darunterliegenden Schichten stärker verschieblich ist. Weitere Beispiele sind die Handflächen und Fußsohlen, in denen kein tiefes Fettgewebe vorkommt. In diesen Bereichen setzt die oberflächliche Faszie an der tiefen Faszie an und sind die Retinacula cutis im oberflächlichen Fettgewebe sehr dick und eng gepackt, sodass die Haut fest mit den darunterliegenden Ebenen verbunden ist.



Abb. 2.4 Die Bauchhaut wurde durchtrennt und abgehoben, sodass die Retinacula cutis superficialis gedehnt werden und besser zu erkennen sind.

2.3 Oberflächliches Fettgewebe

Im oberflächlichen Fettgewebe liegen zwischen den faserreichen Septen große Fettropfen (> Abb. 2.5). Die Fettläppchen sind fast rund und die gut abgegrenzten, vertikal zur Oberfläche verlaufenden Septen (Retinacula cutis superficialis) verankern die Dermis an den tieferen Ebenen. Die Fettläppchen sind abhängig vom Fettgehalt und der Dicke des oberflächlichen Fettgewebes in einer oder mehreren Lagen angeordnet (> Abb. 2.6).

Die Dicke des oberflächlichen Fettgewebes ist am Rumpf recht gleichmäßig und schwankt allgemein weniger abhängig von der Körperregion als diejenige des tiefen Fettgewebes. In den Beinen ist das oberflächliche Fettgewebe dicker als in den Armen und in Handflächen und Fußsohlen dünn mit einer höheren Anzahl kräftigerer vertikaler Retinacula cutis. Dadurch ist die Haut in diesen Bereichen fest mit den tieferen Ebenen verbunden. Am Handrücken ist die Haut durch eine andere Anordnung der Faszien und nur dünne Retinacula cutis superficialis besser auf den darunterliegenden Geweben verschiebbar.

Die Dicke des oberflächlichen Fettgewebes ist interindividuell unterschiedlich. Beim Adipösen erreicht sie am Rumpf durchschnittlich 17,2 mm (Bereich: 6–35 mm) und beim Normalgewich-

tigen 3,7 mm (Bereich: 1–10 mm). Beim Adipösen nimmt die Dicke des oberflächlichen Fettgewebes signifikant und progressiv von Th10 bis zum Femurkopf zu, während sie beim Schlanken gleich bleibt. Auch die Dicke der Retinacula cutis superficialis hängt von der Körperregion ab und ist interindividuell unterschiedlich. So ist sie auf dem Rücken dicker und fester, sodass die oberflächliche Fettschicht dort widerstandsfähiger ist als am Abdomen. Sterzi (1910) stellte fest, dass die Retinacula cutis superficialis in den Händen von Arbeitern doppelt oder dreimal so dick sind, wie die Septen in der Hand eines Menschen mit Bürotätigkeit. Außerdem ermittelte Sterzi geschlechtsabhängige Unterschiede: Bei Frauen ist der Anteil der Fettzellen im oberflächlichen Fettgewebe höher, sind die Retinacula cutis superficialis dünner und die Fettläppchen in mehreren Schichten angeordnet. Dieser Umstand erklärt vermutlich, warum die Zellulite (Herniation von subkutanem Fett im faserreichen Bindegewebe mit der Bildung von Hautgrübchen und -knötchen) bei Frauen häufiger ist. Da die Fettläppchen des oberflächlichen Fettgewebes im Alter weniger geschwollen sind und die Retinacula nicht so ausgeprägt vertikal verlaufen, ist die Haut nicht mehr so fest mit der oberflächlichen Faszie verbunden. Diese beiden Umstände tragen zu der mit dem Alter zunehmenden Erschlaffung der oberflächlichen Gewebe bei.

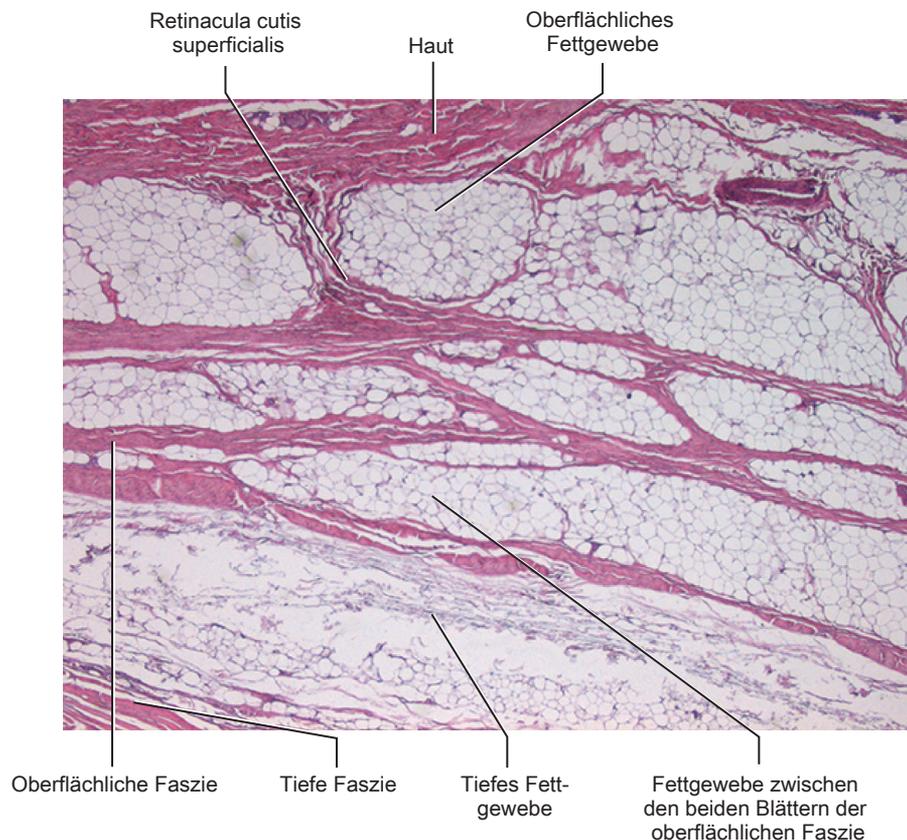


Abb. 2.5 Histologie des Subkutangewebes des Oberschenkels. Im oberflächlichen Fettgewebe sind Retinacula cutis superficialis und Fettläppchen zu erkennen, während im tiefen Fettgewebe lockeres Bindegewebe zu sehen ist. Die oberflächliche Faszie (SF) besteht aus mehreren Schichten von faserreichem Gewebe und Fettgewebe. Diese Aufteilung der Schichten ist histologisch gut zu erkennen, während die oberflächliche Faszie bei makroskopischer Betrachtung einlagig imponiert.

2.8 Subkutane Lymphgefäße

Mascagni (1755–1815) beschrieb als Erster Lymphgefäße im subkutanen Fettgewebe. Im Jahr 1884 bestätigte Hoggan, dass es beim Menschen zwei Arten oberflächlicher Lymphgefäße gibt: die dermalen und die subkutanen. Direkt unter der Dermis liegt ein Plexus lymphaticus, von dem kleine Lymphgefäße abgehen. Sie durchqueren das Subkutangewebe entlang der Retinacula cutis superficialis und sind oft vollständig von fibrösen Septen, die ihre dünnen Wände abstützen, umschlossen. In ihrem Verlauf nehmen sie kleine Lymphzuflüsse aus den Fettläppchen auf und bilden auf Höhe der oberflächlichen Faszie eine anastomotisches Netz². Anschließend münden sie in die großen Lymphgefäße im tiefen Fettgewebe.

Alle oberflächlichen Lymphknoten liegen im tiefen Fettgewebe (> Abb. 2.21). In der Regel werden sie durch lockeres Bindegewebe von der oberflächlichen und der tiefen Faszie getrennt. Die oberflächlichen Lymphknoten sind weich und verschieblich und haben meist eine Größe < 1 cm. Bei Entzündungen oder Krebserkrankungen verkleben sie mit dem sie umgebenden Gewebe und werden unverschieblich.

CLINICAL PEARL 2.3

Lymphödem

Hauck (1992) wies entlang der Bindegewebsfasern die Existenz eines **Lowresistance Pathway** für die Bewegung von Flüssigkeit aus den Kapillaren in die Lymphgefäße nach. Unsere Ansicht nach könnten die in der oberflächlichen Faszie abgelagerten Kollagenfasern und elastischen Fasern den Lymphfluss in die richtige Richtung lenken. Bei Veränderungen der oberflächlichen Faszie ist auch die Lymphdrainage eingeschränkt. In der klinischen Praxis sind die oberflächliche Faszie und das tiefe Fettgewebe oft am Lymphödem beteiligt. Nach Tassenoy et al. (2009) imponiert das tiefe Fettgewebe bei einem Lymphödem durch die an das fibrotische Gewebe gebundene Flüssigkeit im MRT honigwabenartig. Insbesondere die Septen des Retinaculum cutis profundus werden dicker. Der Außenrand der Fettzellen nimmt signifikant zu ($p < 0,05$) und es findet sich Flüssigkeit nahe der Muskelfaszie. Marotel et al. (1998) ermittelten durch computertomografische Untersuchungen von Patienten mit Lymphödem folgende Häufigkeitsrangfolge: Hautverdickung, Zunahme des Subkutangewebes, Verdickung der Muskelfaszie, Fettinfiltration, Linien im rechten Winkel und parallel zur Haut (entsprechend den fibrösen Retinacula cutis) und ödematöse Bereiche entlang der tiefen Faszie.

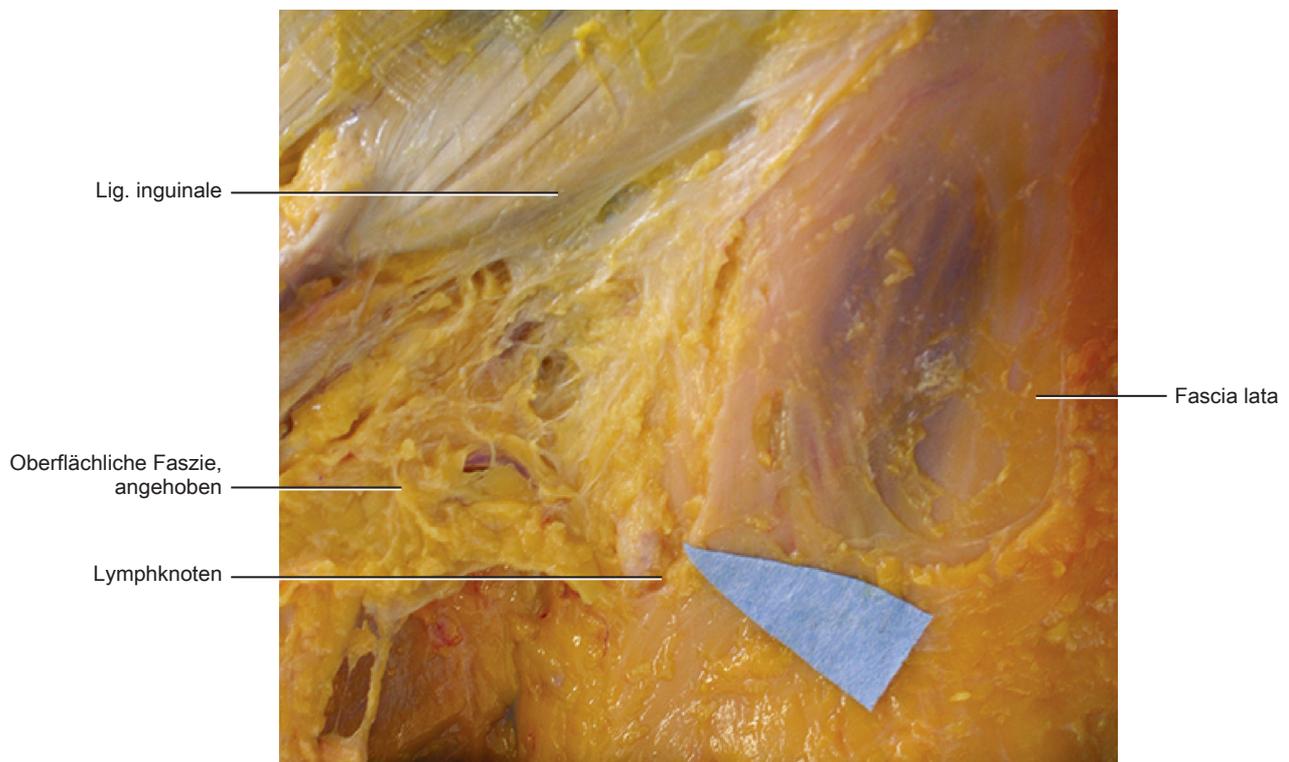


Abb. 2.21 Dissektion der linken Leiste und eines oberflächlichen Lymphknotens. Der Lymphknoten liegt im tiefen Fettgewebe und hat keinen Kontakt mit der oberflächlichen Faszie und der tiefen Faszie.

² Das Vorhandensein eines weiteren Plexus lymphaticus in der Subkutis wurde erstmals 1909 von Bartels beschrieben und 1910 von Sterzi bestätigt.

2.9 Subkutane Nerven

Die Nerven des Subkutangewebes sind in der Regel sehr dünn und folgen den Retinacula cutis zur Haut. Direkt unter der Dermis bilden sie einen subkutanen Plexus ähnlich dem subkutanen vaskulären Spalteholz-Plexus (1893) und dem subdermalen lymphatischen Unna-Plexus (1908).

Tiefer im Gewebe bietet die mobilere oberflächliche Faszie einen Weg für die langen, größeren Nerven und schützt sie vor Überdehnung (> Abb. 2.22, > Abb. 2.23). Auch dadurch, dass die Nerven die verschiedenen Faszienebenen in schräger Richtung durchqueren, sind sie vor übermäßigen Bewegungen geschützt. Im oberflächlichen Fettgewebe und der oberflächlichen Faszie finden sich vereinzelt Ruffini- und Vater-Pacini-Körperchen. Ruffini-Körperchen sind von Faszienewebe umgeben, damit sie eine Dehnung der oberflächlichen Faszie wahrnehmen. Vater-Pacini-Körperchen sind Drucksensoren und das oberflächliche Fettgewebe ist sehr stark verformbar. Durch ihre Lage nahe der Haut können sie zwischen leichtem und starkem Druck unterscheiden. Die oberflächlichen Vater-Pacini-Körperchen nehmen leichten Druck wahr und

die tiefen starken Druck. Die oberflächliche Faszie und das oberflächliche Fettgewebe spielen ebenso wie die Haut eine Rolle bei der Exterozeption.

Im tiefen Fettgewebe gibt es nur sehr wenige Nervenendigungen. Wir betrachten das tiefe Fettgewebe als eine Wasserscheide zwischen dem exterozeptiven System (aus Haut, oberflächlichem Fettgewebe und oberflächlicher Faszie) und dem propriozeptiven System (in den Muskeln und der tiefen Faszie). Wenn das tiefe Fettgewebe verschwindet und sich die oberflächliche und die tiefe Faszie vereinen (wie in der Hohlhand und der Fußsohle), werden das exterozeptive und das propriozeptive System kombiniert. Dies erleichtert die Wahrnehmung von Form, Volumen und verschiedenen Oberflächen und damit die Bewegung und stellt die Anpassung des Fußes und der Hand an die unterschiedlichen Kontaktflächen sicher. In Narben, in denen es durch das pathologische fibröse Gewebe zur Fusion von Haut, oberflächlicher und tiefer Faszie gekommen ist, wird neben der tiefen Faszie oft auch die oberflächliche Faszie unter Zug gesetzt und umgekehrt. In diesen Fällen kann selbst eine normale Muskelkontraktion oder Hautdehnung zur Hyperstimulation der exterozeptiven und propriozeptiven Rezeptoren führen.

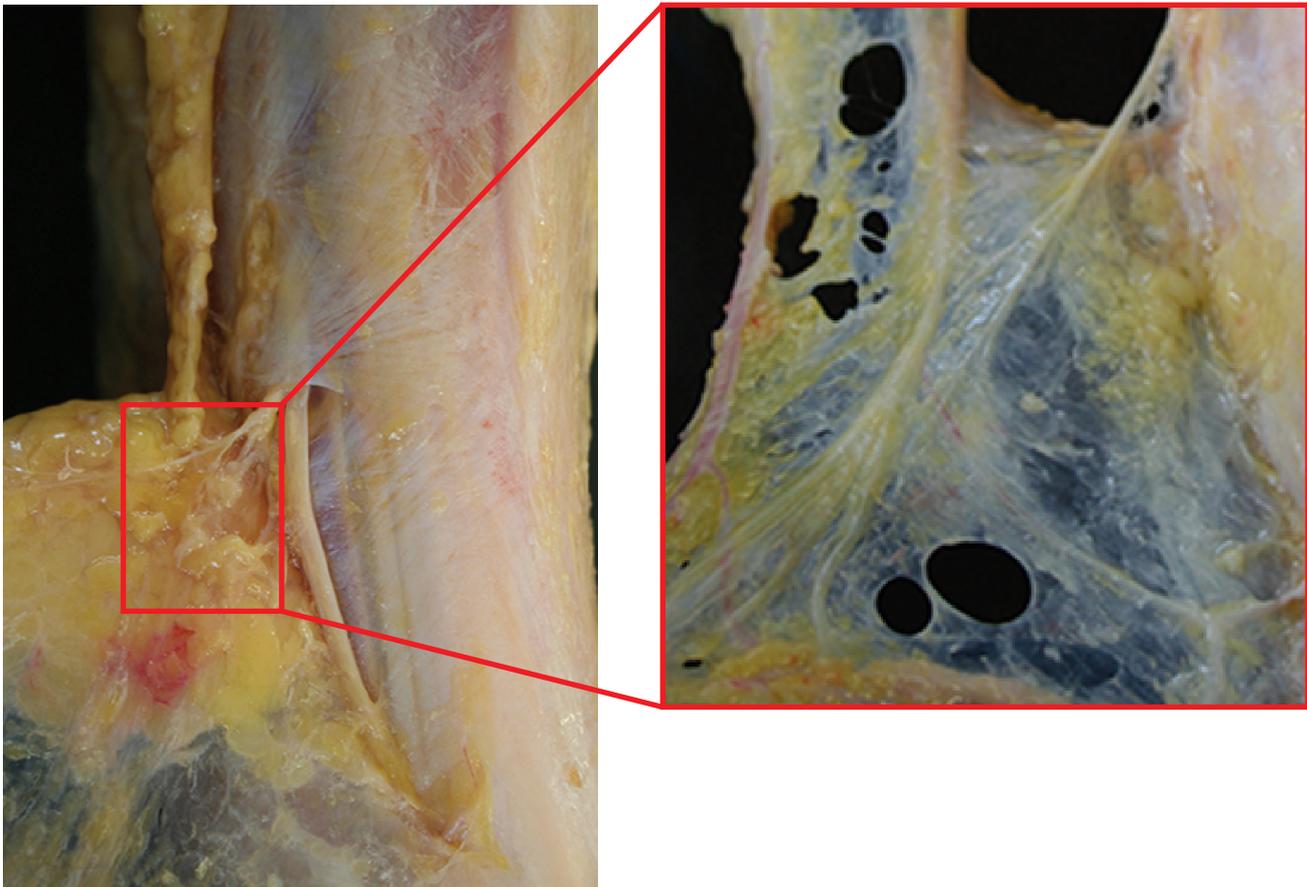


Abb. 2.22 Dissektion des lateralen Sprunggelenkbereichs mit Vergrößerung der oberflächlichen Faszie zur Darstellung des N. fibularis superficialis. Um zur Oberfläche zu gelangen, muss dieser Nerv die tiefe Faszie durchqueren und dann entlang eines Kanals in die oberflächliche Faszie eindringen, in der er sich in viele Äste verzweigt. Dieser Nerv wird oft auf Höhe eines Lochs in der tiefen Faszie komprimiert, gelegentlich wird seine Reizweiterleitung aber auch durch eine fibrotische oberflächliche Faszie eingeschränkt.

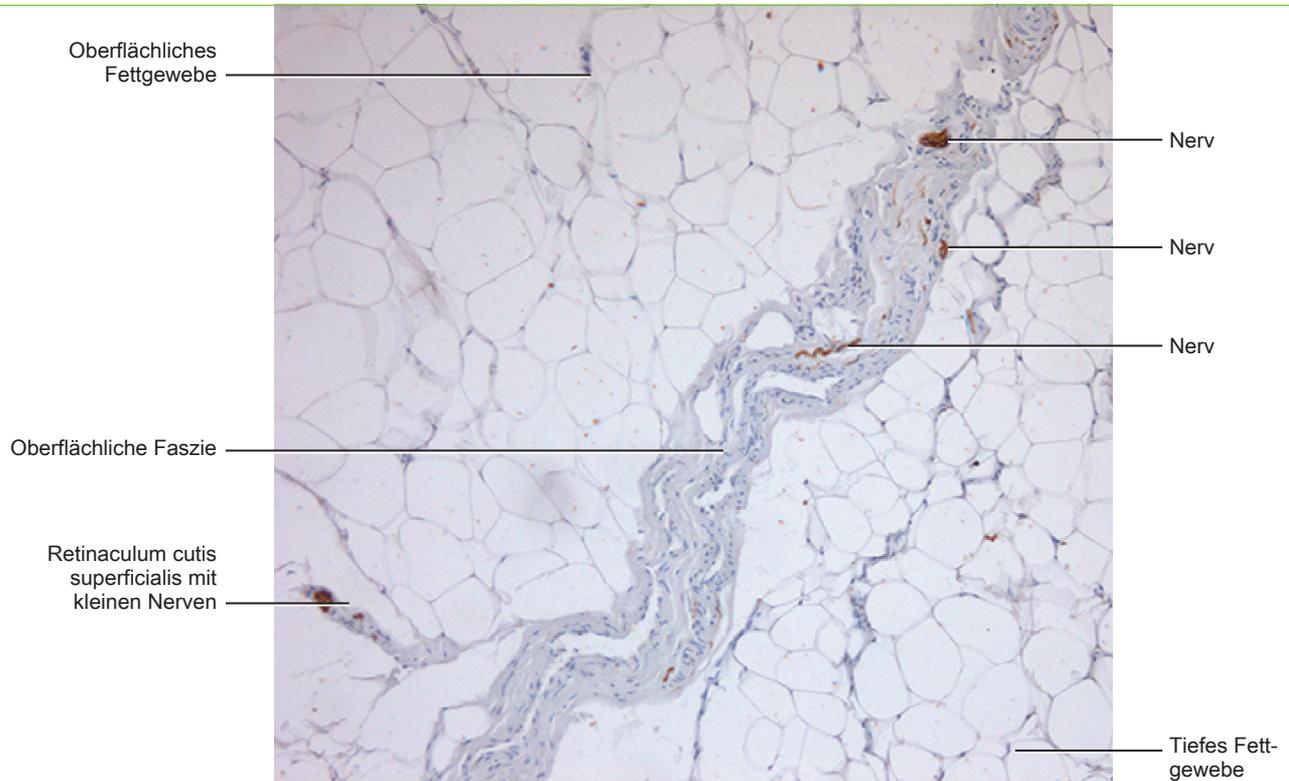


Abb. 2.23 Kleine Nerven in der oberflächlichen Oberschenkel faszie. Die immunhistochemische Anti-S100-Färbung erlaubt die alleinige Darstellung der myelinhaltigen Fasern.

2.10 Subkutane Schleimbeutel

Die subkutanen Schleimbeutel oder Bursen liegen in der Regel im tiefen Fettgewebe. Sie entstehen durch eine Fusion der oberflächlichen und der tiefen Faszie (> Abb.2.24), bei der ein virtueller Raum entsteht. Manche Bursen liegen in der oberflächlichen Faszie oder zwischen der Haut und der oberflächlichen Faszie. Sie erleichtern Bewegungen und reduzieren die Reibung zwischen den sich bewegenden Teilen. Canoso et al. (1983) konnten in den subkutanen Schleimbeuteln keine echte Synovialis nachweisen. Daher handelt es sich eher um eine spezialisierte Fasziengform als eine eigenständige anatomische Entität. Die Synovialflüssigkeit wird vermutlich von den häufig in Faszien vorkommenden fibroblastenartigen Zellen („Fasziozyten“) produziert (> Kap. 3), die auch Hyaluronan herstellen. In Bereichen, die Reibung ausgesetzt sind, organisieren sich diese Zellen stärker und produzieren mehr Hyaluronan, damit die Faszienschichten besser aufeinander gleiten können.

DER KLINISCHE FALL 2.4

Meteoropathie

Es gibt keine zufriedenstellende wissenschaftliche Erklärung für die vermehrte körperliche Wahrnehmung von Witterungsbedingungen, wie Feuchtigkeit, hohen und niedrigen Temperaturen sowie Luftdruckschwankungen, durch einzelne Menschen. Möglicherweise spielen die Faszien

dabei eine wichtige Rolle, da eine isolierte Faszie sensibel auf Schwankungen der Temperatur und des Drucks reagiert. Die Faszien und insbesondere die oberflächliche Faszie verändern abhängig von der Umgebung ständig ihre intrinsische Spannung. Eine fibrotische oder dichte Faszie kann sich nicht mehr an die physiologischen Schwankungen anpassen, sodass es zu einer veränderten Rezeptoraktivierung kommt.

2.11 Entwicklung der oberflächlichen Faszie

Nach Sterzi (1910) besitzt der Fetus unter der Haut eine gleichmäßige Bindegewebsschicht. Im 5. Entwicklungsmonat treten kleine Läppchen aus Fettgewebe auf sowie in der Mitte eine fibröse, zellreiche Schicht, welche die Subkutis in zwei Lagen unterteilt. Im 6. Entwicklungsmonat ist die oberflächliche Faszie gut zu erkennen und im 8. Entwicklungsmonat bilden die Fettläppchen im oberflächlichen Fettgewebe eine durchgehende Schicht. Auch im tiefen Fettgewebe bilden sich einzelne Fettläppchen. Außerdem treten dicke Retinacula cutis auf, die im oberflächlichen Fettgewebe stärker ausgeprägt sind, das Fett in kleine Läppchen unterteilen und die Haut an der oberflächlichen Faszie verankern. Die Retinacula sind dicker, aber vermutlich wegen der fehlenden mechanischen Belastung weniger zugfest als beim Erwachsenen.

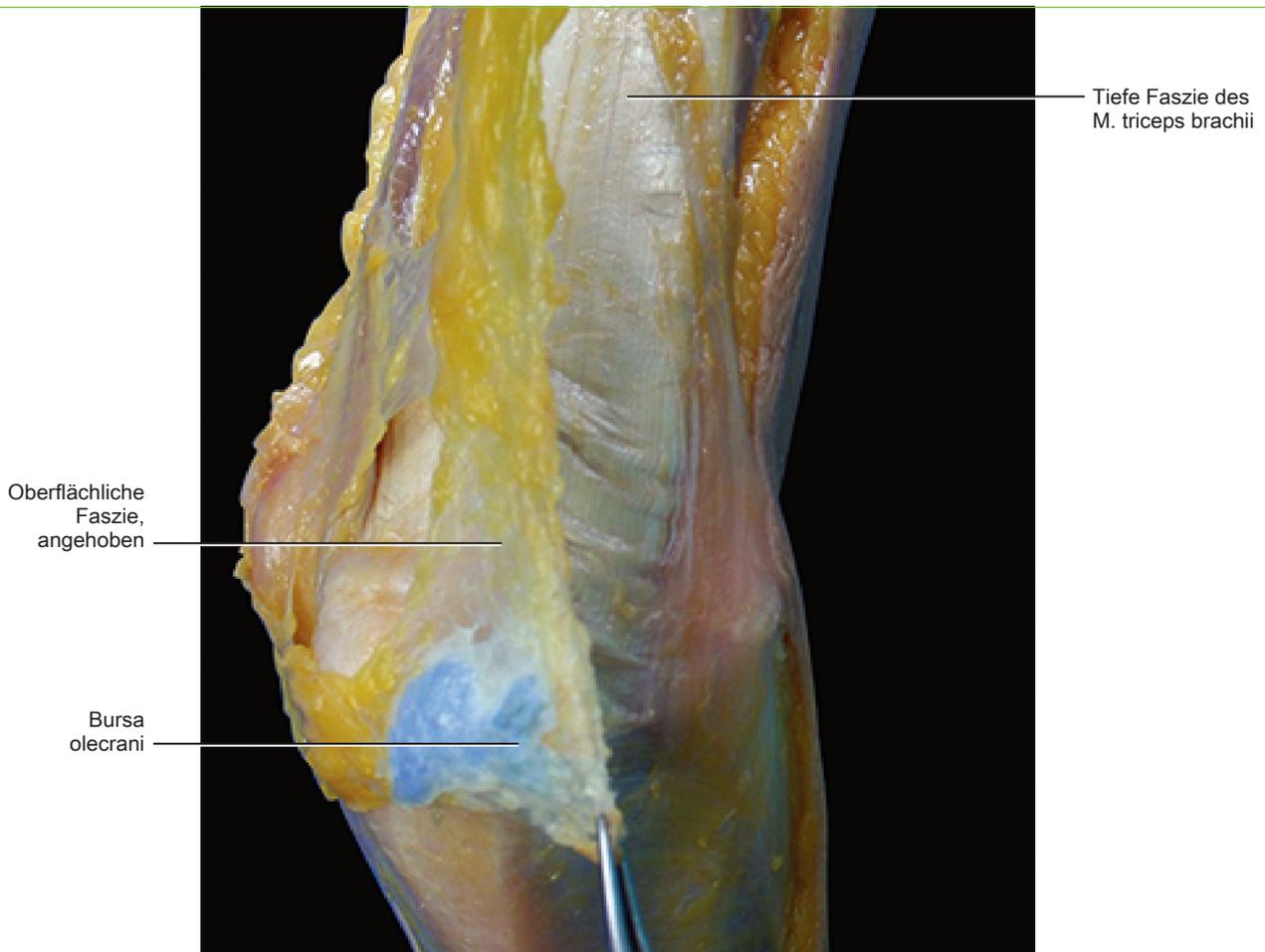


Abb. 2.24 Dissektion des Ellenbogens. In die Bursa olecrani wurde vor der Dissektion Kunstharz injiziert, um ihre Abgrenzungen und die Beziehung zu den umliegenden Geweben besser darzustellen. Die Retinacula cutis profunda wurden durchtrennt, um die oberflächliche Faszie zu entfernen. Außerdem wurde die Bursa olecrani von den tieferen Ebenen abgelöst. Die Bursa liegt zwar im tiefen Fettgewebe, ist aber fest mit der oberflächlichen Faszie verbunden.

Beim Neugeborenen ist das oberflächliche Fettgewebe zellreich, enthält aber mehr weißes Fettgewebe als beim Erwachsenen. Die ovalen Fettzellen sind einlagig angeordnet, wobei ihre Längsachse rechtwinklig zur Haut verläuft. Nach Sterzi findet sich im gesamten Körper eine oberflächliche Faszie.

Ab der 20. Lebenswoche ist die oberflächliche Faszie die wichtigste Lokalisation von braunem Fettgewebe. Beim Neugeborenen ist das braune Fettgewebe für eine effektive Anpassung an die extrauterine Umgebung essenziell. Sein intrauterines Wachstum hängt überwiegend von der Glukoseversorgung des Fetus durch die Mutter ab. Außerdem hängen Menge, Lage und Art der Fettgewebedepots vom fetalen Glukosestoffwechsel ab (Symonds et al. 2012). Im postnatalen Leben wird ein Teil der Depots durch weißes Fettgewebe ersetzt.

2.12 Mechanische Eigenschaften

Die oberflächliche Faszie ist eine fibroelastische Schicht, die sich leicht in verschiedene Richtungen dehnen lässt und danach in ihre Ausgangsposition zurückkehrt. Das mechanische Verhalten der oberflächlichen Faszie lässt sich nur unter Berücksichtigung der Retinacula cutis superficialis und profundus erklären, da sie mit der oberflächlichen Faszie zu einem festen dreidimensionalen Netz verbunden sind. Diese Struktur der Subkutis stützt das Fettgewebe und verankert die Haut an den tiefen anatomischen Ebenen. Gleichzeitig erlaubt sie unabhängige Bewegungen von Haut und Muskeln. Bei Bewegungen der Haut bewegt sich auch das Subkutangewebe – das oberflächliche Fettgewebe stärker als das tiefe Fettgewebe –, weil die Retinacula cutis und die oberflächliche Faszie elastisch sind und die Verschiebung progressiv ermöglichen. Die kurzen, kräftigen, vertikalen Retinacula des oberflächlichen Fettgewebes stellen eine feste Verbindung zwischen der Haut und den darunterliegenden Schichten her und ermöglichen eine direktere Übertragung der Hautbelastungen auf die tieferen Schichten.

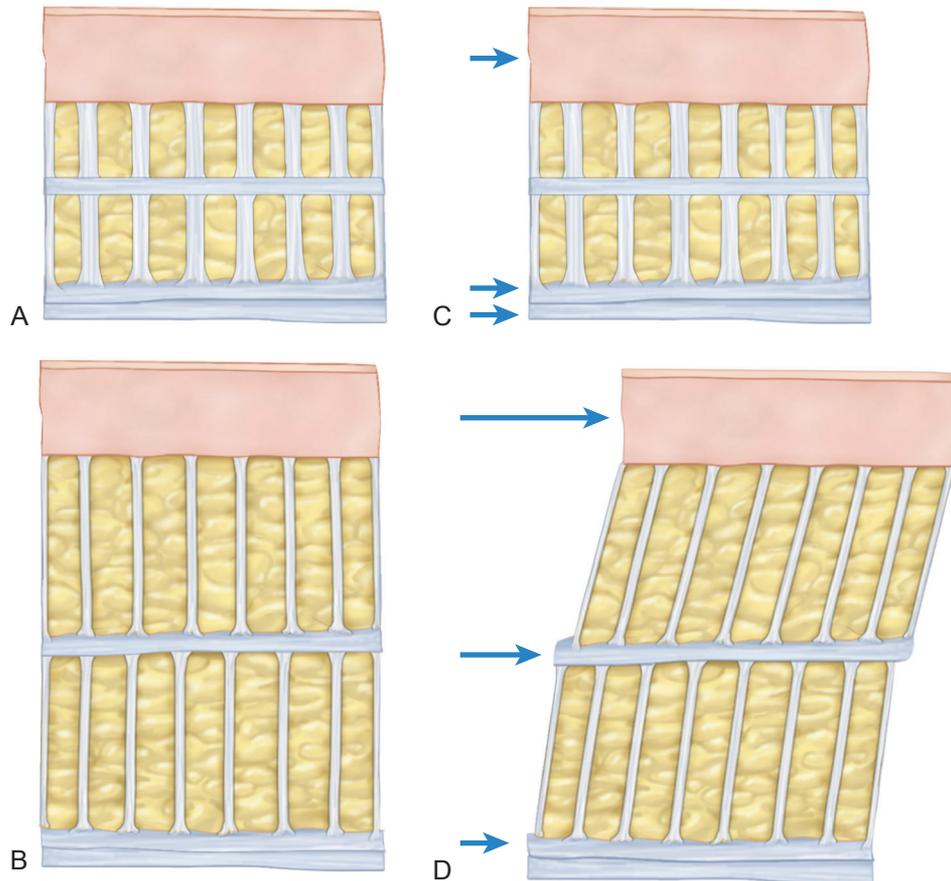


Abb. 2.25 Darstellung der Rolle der Retinakula cutis superficialis und profundus, die eine Verschiebung der Haut gegenüber den tieferen Schichten ermöglichen. Die blauen Pfeile entsprechen der Belastung, die bei der Dehnung der Haut in den verschiedenen Ebenen auftritt. (A und C) Die Retinakula sind kurz und dicker. Derartige Retinakula leiten jede Hautbelastung in die tieferen Ebenen weiter (C). (B und D) Die Retinakula sind länger und dünner. Diese Retinakula absorbieren die mechanische Belastung, sodass die Hautbelastungen nicht an die tiefe Faszie weitergegeben werden (D). Auch die Muskelkontraktionen haben keine Auswirkungen auf die Haut.

Dünne, lange, schräg verlaufende Retinakula können die mechanischen Belastungen, die über die Haut auf die tiefe Faszie einwirken, besser abschwächen (> Abb. 2.25). Dies ist auch für den Schutz von Nerven und Gefäßen, welche die tiefe Faszie durchqueren, wichtig. Diese Verschiebung stellt sicher, dass die Rezeptoren in der tiefen Faszie bei normaler Zugbelastung der Haut nicht aktiviert werden.

Die oberflächliche Faszie und die Retinakula dämpfen nicht nur die Belastung der Subkutangewebe, sondern tragen auch dazu bei, Schäden der Haut durch Muskelkontraktionen zu verhindern. Normalerweise gleiten Muskeln bei der Kontraktion leicht unter dem Subkutangewebe, ohne dass die Haut beteiligt wird. Die Muskelbewegungen dehnen zwar grundsätzlich bestimmte Anteile der tiefen Faszie (> Kap. 3), ihre Wirkung auf die Haut wird jedoch durch das tiefe Fettgewebe und die gleichförmigen Bewegungen von oberflächlicher und tiefer Faszie abgeschwächt. Nach Nakajima et al. (2004) unterscheiden sich die beiden subkutanen Fettschichten mechanisch und funktionell. Die oberflächliche Schicht (oberflächliches Fettgewebe) bildet mit der Haut und der oberflächlichen Faszie eine feste Struktur und schützt vor äußeren Einwirkungen. Die

tiefe Schicht (tiefes Fettgewebe) bildet eine mobile Schicht und isoliert die Bewegungen von Muskeln und Skelett.

Die Analyse von Narbengewebe zeigt, dass Narben keine Belastungen mehr abfangen können, weil die gesamte Subkutis in fibröses Gewebe, das eine starre Verbindung zwischen Haut und tiefer Faszie herstellt, verwandelt wurde. Jedes Mal, wenn Narbengewebe einer mechanischen Belastung ausgesetzt wird, wird auch die tiefe Faszie belastet, sodass die in ihr liegenden Rezeptoren aktiviert werden. Sobald ein Muskel aktiviert wurde, werden auch die Rezeptoren in der tiefen Faszie in diesem Bereich sowie die Rezeptoren in der lokal gedehnten Haut aktiviert. Dies könnte auch erklären, warum es bei der mechanischen Belastung von Narben zu Störungen der Afferenzen sowie zur Hyperstimulation von bestimmten Rezeptoren kommt, sodass das Narbengewebe überempfindlich und schmerzhaft ist.

Durch ihre mechanischen Eigenschaften stützen die Retinakula cutis und die oberflächliche Faszie die Haut und das subkutane Fettgewebe. Tsukahara et al. (2012) wiesen einen Zusammenhang zwischen der Tiefe von Gesichtsfalten und der Dichte der Retinakula cutis im Subkutangewebe der Haut nach. Sie zeigten, dass sich die

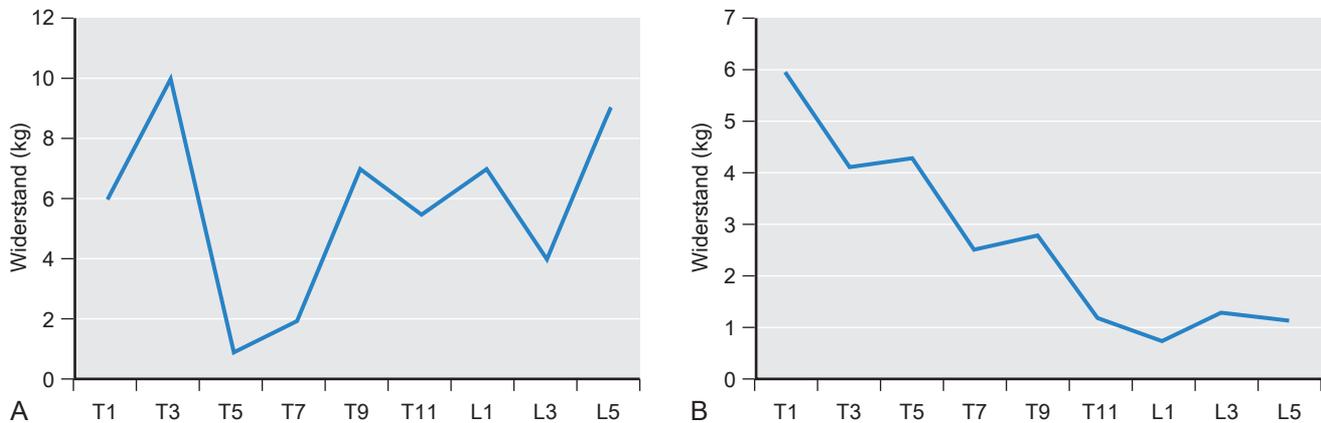


Abb. 2.26 Zugfestigkeit der oberflächlichen Faszie des Rückens in unterschiedlichen Höhen. (A) Transversaler Zug. (B) Longitudinaler Zug. Die oberflächliche Faszie ist kein homogenes Gewebe und weist eine wechselnde Zugfestigkeit auf, die von maximal 10 kg bis minimal 0,5 kg reicht.

Gesichtsfalten über den Bereichen mit einer reduzierten Dichte der Retinacula cutis entwickeln. Mit zunehmender Falttiefe nimmt die Dichte der Retinacula cutis noch weiter ab.

CLINICAL PEARL 2.5

Oberflächliche oder tiefe Massage?

Häufig stellen sich Ärzte, die eine manuelle Therapie durchführen wollen, die Frage, ob eine oberflächliche oder eine tiefe Massage erforderlich ist. Derzeit gibt es darauf keine verbindliche Antwort. Manche behaupten, dass sich eine oberflächlichere Behandlung genauso auf die tiefen Gewebe auswirkt, während andere eine tiefere manuelle Belastung bevorzugen. Die hier dargestellten Fakten über die Anatomie und Physiologie der Faszien können bei der Antwort auf diese Frage helfen. Die oberflächliche Faszie ist stärker an Veränderungen der Thermoregulation, des Lymphflusses, des venösen Blutkreislaufs und der Hautsinne beteiligt und die tiefe Faszie an der Propriozeption und der peripher-motorischen Koordination (> Kap. 3). Die strukturelle Organisation der Subkutis und die mechanischen Eigenschaften der oberflächlichen Faszie sowie der Retinacula cutis in der verschiedenen Körperregionen beeinflussen die Art der manuellen Therapie von oberflächlicher und tiefer Faszie. Ganz offensichtlich wird eine oberflächliche Hautmassage in Bereichen mit lockeren und dünnen Retinacula cutis die tiefe Faszie kaum (oder allenfalls indirekt) erreichen. Zur mechanischen Beeinflussung der tiefen Faszie muss das subkutane Fettgewebe verschoben werden. Dies wird durch einen kleinflächigen Oberflächenkontakt mit direktem Druck auf die tieferen Ebenen erreicht. Außerdem gibt es Bereiche, in denen die beiden Faszien verschmolzen sind und interagieren, sodass die auf eine von ihnen abzielende Behandlung zwangsläufig auch Auswirkungen auf die andere haben wird.

Ahn und Kaptchuk (2011) wiesen mithilfe der Sonografie für das Subkutangewebe eine spatiale Anisotropie³ nach. Besonders ausgeprägt war sie im Vergleich zu Oberschenkel und Arm in der Wade. Die Anisotropie war bei longitudinalen Aufnahmen signifikant stärker als bei transversalen Aufnahmen und erreichte Höchstwerte, wenn die longitudinal aufgesetzte Ultraschallsonde über die Extremität geschoben wurde. Dies lässt vermuten, dass sich im Sub-

kutangewebe longitudinale Kanäle mit höherer Spannung befinden. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die subkutane biomechanische Spannung durch echoreiche Kollagenbänder, die in der Wade größer sind als in Oberschenkel und Arm, vermittelt wird. Die Spannung ist bei schlanken Menschen und entlang der longitudinalen Bahnen, die parallel zum darunterliegenden Muskel verlaufen, höher. Die Analyse der spatialen Anisotropie mithilfe der Sonografie hat wichtige Muster aufgezeigt und ist ein effektives Verfahren zur Klärung der biomechanischen Belastungsmuster im Subkutangewebe der Extremitäten. Die isolierte oberflächliche Faszie weist eine starke Anisotropie und eine lokalisationsabhängig starke Variation ihrer mechanischen Eigenschaften auf (> Abb. 2.26). Möglicherweise ist die spatiale Anisotropie ein effektives Surrogat für die kumulativen Zugkräfte, die auf die Subkutangewebe einwirken.

2.12.1 Bildgebung

Die oberflächliche Faszie und alle Retinacula cutis lassen sich gut mittels Ultraschall (> Abb. 2.27), CT (> Abb. 2.28) und Magnetresonanztomografie (MRT; > Abb. 2.29) – insbesondere T1-gewichtete Sequenzen – nachweisen. Auf CT-Bildern imponiert die oberflächliche Faszie als relativ röntgendichte, gewundene Linie zwischen dem wenig röntgendichten oberflächlichen und tiefen Fettgewebe. In der MRT ist sie hingegen als eine in der T1- und T2-Wichtung signalschwache dünne durchgängige Linie zu erkennen. Die Dicke der oberflächlichen Faszie unterscheidet sich auf CT- und MRT-Bildern nicht signifikant.

In der Sonografie stellen sich faserreiche Bindegewebe als echoreiche und echofreie Bänder dar. Ein großer Vorteil der Sonografie ist, dass sie das Gleiten der verschiedenen Faszien-schichten aufeinander in Real Time darstellen kann und eine präzise Dickenmessung dieser Schichten ermöglicht. Sie hat allerdings zwei wichtige Einschränkungen: Sie ist abhängig vom Untersucher und vom betrachteten Bereich. Dadurch kann es zu Fehlinterpretationen der Faszienanatomie kommen. Dies gilt insbesondere für die oberflächliche Faszie, die sich oft um anatomische Strukturen spaltet. So lässt sich die oberflächliche Faszie oft nur schwer von den Retinacula

³ Anisotropie beschreibt die Richtungsabhängigkeit der physikalischen und mechanischen Eigenschaften eines Materials.

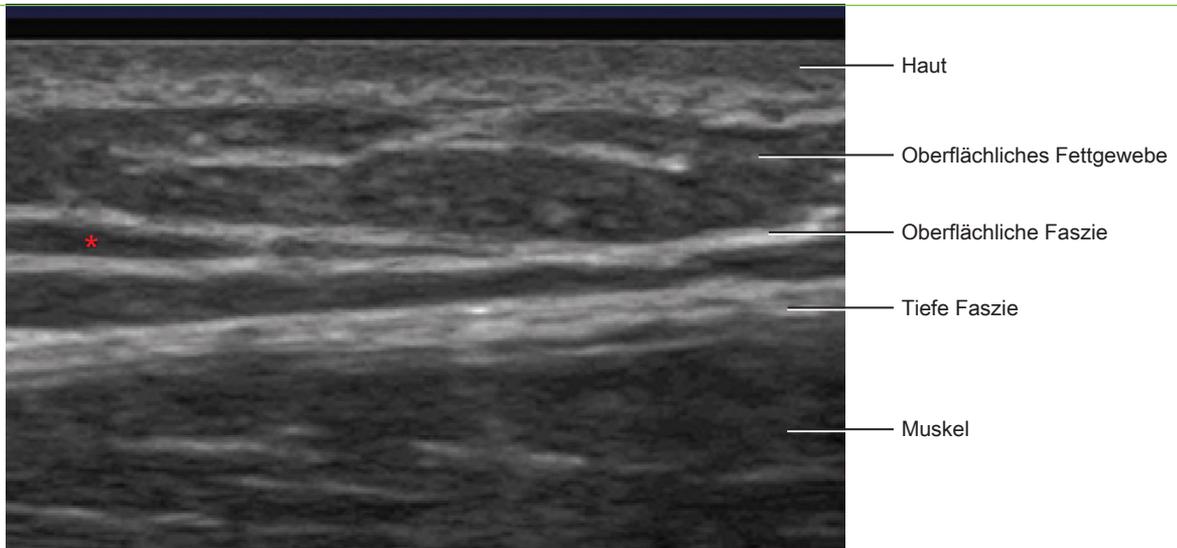


Abb. 2.27 Sonografie des Oberschenkels. Die oberflächliche Faszie und die tiefe Faszie sind gut zu erkennen. Da sie fibrös sind, imponieren sie weiß. Die oberflächliche Faszie spaltet sich in zwei Blätter, die einen Teil des Fettgewebes umschließen (*).

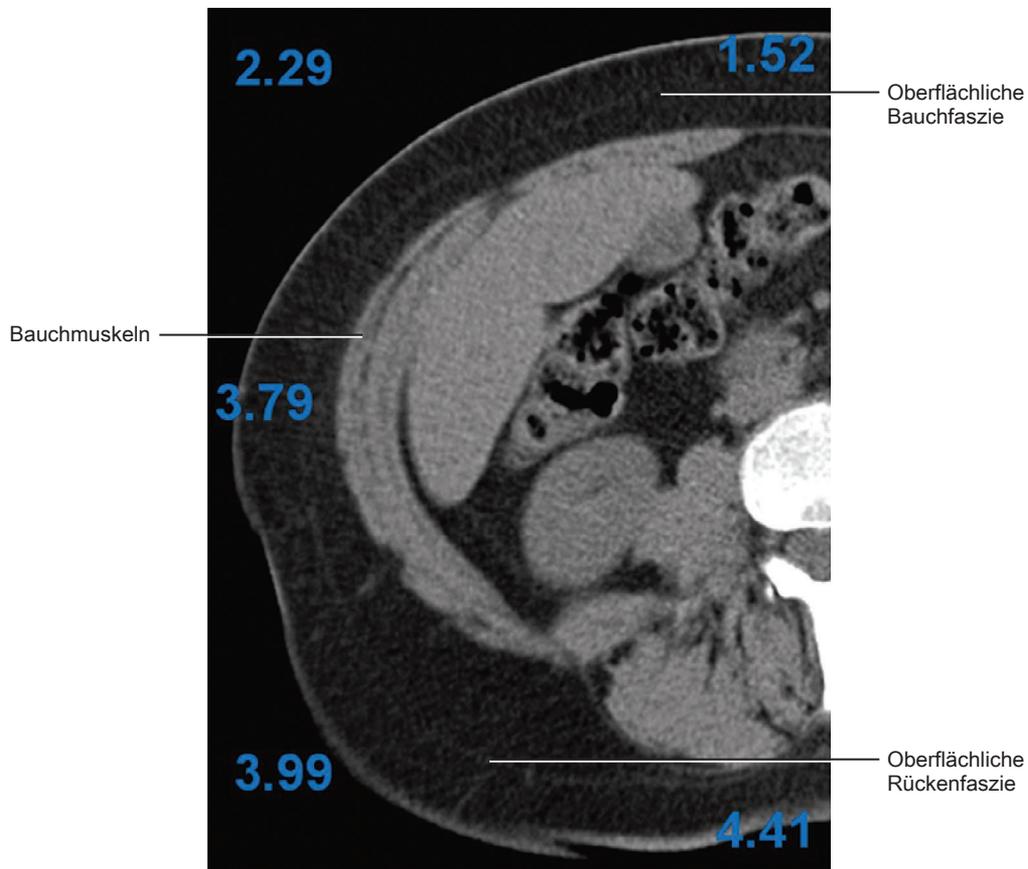


Abb. 2.28 CT des Abdomens. Die oberflächliche Faszie ist deutlich in der Mitte des Subkutangewebes zu erkennen. Ebenfalls gut dargestellt ist der Übergang zwischen der oberflächlichen Faszie von Abdomen und Rücken. Die Dicke der oberflächlichen Faszie sowie des oberflächlichen und tiefen Fettgewebes kann auf unterschiedlichen Ebenen gemessen werden. Die Ziffern geben die Dicke der oberflächlichen Faszie in Millimetern an.

cutis unterscheiden, weil sie fast parallel zu ihr verlaufen, sodass der Eindruck einer doppelagigen oberflächlichen Faszie entsteht.

Zwei neuere Verfahren sind die Elastografie, die eine Bedeutung bei der Untersuchung der oberflächlichen Faszie (insbesondere der

Festigkeit des Gewebes) erlangen könnte, und die dreidimensionale Sonografie, die eine dreidimensionale Darstellung des Netzwerks aus oberflächlicher Faszie und Retinacula cutis ermöglicht (> Abb. 2.30).

7.2.6 Fascia supraspinata

Die Fascia supraspinata ist eine kräftige fibröse Schicht, die das osteofibröse Fach des M. supraspinatus vervollständigt. An ihrer Unterseite inserieren einige Fasern dieses Muskels. Sie geht am Hals in die Fascie des M. levator scapulae, ventral in die Fascia clavipectoralis und medial in die Fascie der Mm. rhomboidei über. Über der Spina scapulae inseriert sie teilweise an der Fascia infraspinata und vereint sich partiell mit ihr (> Abb. 7.26).

Die Fascia supraspinata ist unterschiedlich dick (mittlere Dicke 0,7 mm) und enthält gelegentlich etwas Fettgewebe (Singer 1935). Duparc et al. (2010) fanden eine Verdickung dieser Faszie auf Höhe der Incisura scapulae, durch die es zur Kompression des N. suprascapularis kommen kann. Nach Bektas et al. (2003) findet sich ein Lig. spinoglenoidale, das normalerweise für die Kompression des N. suprascapularis verantwortlich gemacht wird, nur in 15,6% der Fälle, während das distale Drittel der Fascia supraspinata fast immer verdickt ist.

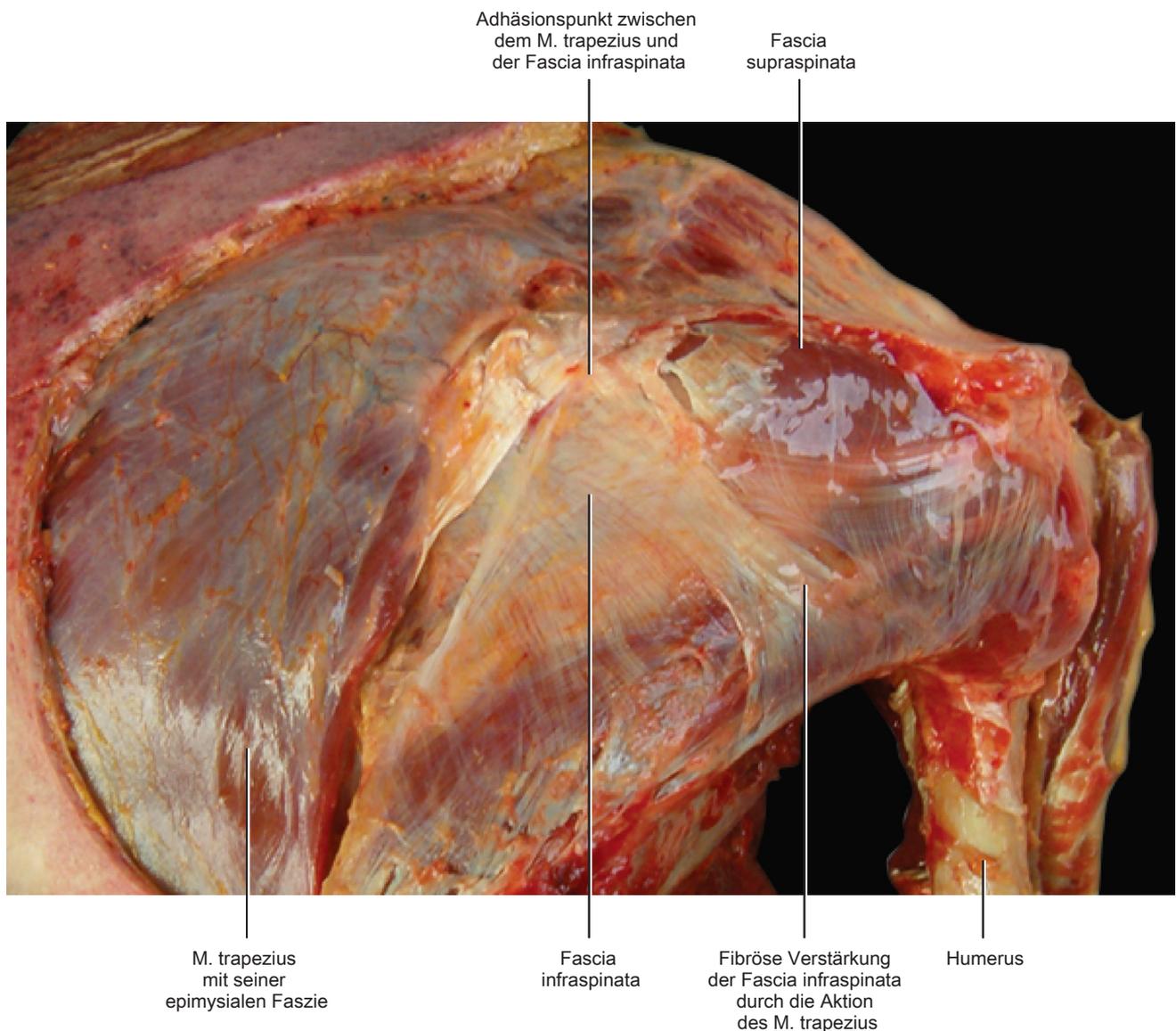


Abb. 7.26 Ansicht der Schulter von posterior. Die Mm. trapezius und deltoideus wurden teilweise entfernt, um die Fascia supraspinata und den Ansatz des M. trapezius an der Fascia infraspinata darzustellen. Allgemein lässt sich der M. trapezius leicht von den darunterliegenden Ebenen lösen, weil zwischen diesen beiden Strukturen lockeres Bindegewebe liegt. Die Faszie des M. trapezius und die Fascia infraspinata verschmelzen nur im Adhäsionsbereich. Auf diese Weise erzeugt der Zug (Dehnung) des M. trapezius an der Fascia infraspinata eine fibröse Verstärkung der Fascia infraspinata.

7.3 Tiefe Faszien des Arms: Fascia brachii

Die tiefe Faszie der oberen Extremität ist eine kräftige aponeurotische Faszie, die als fast weißes laminares Bindegewebsblatt alle Muskeln fibrös umscheidet. Die unterschiedlich ausgerichteten Kollagenfaserbündel dieser Faszie sind gut zu erkennen (Stecco et al. 2008). Sie wird für gewöhnlich in die Fascia brachii und die Fascia antebrachii unterteilt. Die Fascia brachii umhüllt die Oberarmmuskeln und die Fascia antebrachii die Unterarmmuskeln. Die beiden Faszien bilden eine Scheide ähnlich einem Abendhandschuh und werden proximal durch zahlreiche myofasziale Ansätze der Schultergürtelmuskeln gespannt. Dieser Handschuh kann teilweise frei auf der darunterliegenden Muskelebene gleiten und ist teilweise an den Knochen befestigt oder inseriert in Muskelfasern (> Abb. 7.27, > Abb. 7.28). Durch die Kontraktion dieser Muskelfasern werden die tiefen Faszien in die jeweilige Richtung gedehnt. An den Stellen, wo dieser Zug kräftiger ist, verdickt sich die tiefe Faszie. Dadurch sind in ihr als makroskopischer Beleg der mechanischen Aktion der Muskelansätze fibröse Verstärkungen zu erkennen.

CLINICAL PEARL 7.6

Dermatome oder Fasziotome?

Die oberflächliche Faszie wird von den Hautnerven innerviert und die tiefe Faszie von den motorischen Nerven. Daher folgt die Innervation der oberflächlichen Faszie den Dermatomen und die der tiefen Faszie den peripheren motorischen Nerven.

Symptome, die ein Dermatom betreffen (z. B. Schmerzen oder Exantheme), weisen auf eine mögliche Veränderung der oberflächlichen Faszie hin. Übertragungsschmerz hingegen folgt in der Regel nicht dem Dermatom und nur gelegentlich dem Innervationsmuster des tiefen Nervs. Diese Art des Übertragungsschmerzes ist typisch für das myofasziale Schmerzsyndrom. Die Schmerzen können von einem Segment zum anderen (z. B. vom Hals zum Arm) ziehen und nach proximal oder distal ausstrahlen. Dieses Phänomen wurde von der Akupunktur mit ihren Meridianlinien, die nach bestimmten Bereichen ausgerichtet sind, kodiert aber niemals physikalisch belegt (Lebarbier 1980). Vor kurzem stellten Langevin und Yandow (2002) die Hypothese auf, dass die Meridiane der Akupunktur mit den inter- und intramuskulären Bindegewebeebenen zusammenfallen und zeigten, dass die Rotation der Akupunkturnadel das Subkutangewebe „verquirlt“, sodass es zur extensiven Ausbreitung von Fibroblasten und zur Bildung von Lamellipodien kommt. Später vermuteten Langevin et al. (2006), dass das Bindegewebe als körperweites mechanosensitives Signalnetzwerk und Kommunikationssystem fungiert. Die französische Schule vermutete eine funktionelle Verbindung zwischen Muskelgruppen mit derselben motorischen Aktion und prägte den Begriff der Muskelketten (Busquet 1995). Auch die gut belegten myofaszialen Triggerpunkte (Travell und Simons 1983) belegen eine Verbindung zwischen Schmerzlokalisation und -ursprung, wobei letzterer oft weit entfernt liegt. Stecco (1996) beschreibt ein biomechanisches Modell, das die Zusammenhänge zwischen tiefen Faszien und Muskeln (Muskelsequenzen) beschreibt, und behauptet, dass diese Sequenzen direkt an der Organisation von Bewegungen sowie an der Weiterleitung der Muskelkraft beteiligt sind. Myers (2001) beschrieb myofasziale Verbindungen, die den gesamten Körper durchkreuzen, den Kopf mit den Zehen und das Zentrum mit der Peripherie verbinden (myofasziale Züge). Alle diese Autoren stimmen trotz komplett unterschiedlicher Theorien darin überein, dass diese Verbindungen räumlich organisiert sind. Anhand der von uns durchgeführten Dissektionen können wir bestätigen, dass die tiefe Faszie und die Organisation der myofaszialen Ausläufer die anatomischen Entsprechungen dieser Verbindungen

sind. Die myofaszialen Verbindungen stellen die anatomische Kontinuität der verschiedenen, an derselben Bewegung beteiligten Muskeln her, und die Kraftlinien in der Faszie könnten die exakte Ausstrahlung von Schmerzen z. B. entlang der oberen Extremität (Fasziotom) erklären.

Die mittlere Dicke der Fascia brachii beträgt $863 \mu\text{m}$ ($\text{SD} \pm 77 \mu\text{m}$), wobei sie ventral dünner ist als dorsal. Abgesehen vom Ellenbogen, wo sie an den Epikondylen befestigt ist, lässt sie sich überall leicht von den darunterliegenden Muskeln ablösen (> Abb. 7.29). Proximal geht sie in die Fascia axillaris und die Faszien der M. pectoralis major, deltoideus und latissimus dorsi über. Distal setzt sie sich in die Fascia antebrachii fort. Die Septa intermusculare laterale und mediale gehen von der Fascia brachii ab und trennen die Oberarmmuskeln in ein ventrales und ein dorsales Kompartiment.

Das Septum intermusculare brachii mediale (> Abb. 7.30, > Abb. 7.31, > Abb. 7.32) wird proximal vom M. coracobrachialis und distal von den epitrochleären Muskeln (die am Epicondylus medialis humeri ansetzen), insbesondere vom M. pronator teres, gedehnt. Gelegentlich vereint sich der M. pronator teres mit dem distalen Ansatz des M. coracobrachialis. Die mittlere Dicke des Septum intermusculare brachii laterale (> Abb. 7.33, > Abb. 7.34) beträgt 1,0 mm. Es wird proximal vom M. deltoideus (Pars acromialis und Pars spinalis) und distal von den Mm. brachioradialis und extensor carpi radialis longus und brevis, die in ihm ansetzen, gedehnt. Nach Tubbs et al. (2009) geht der distale Anteil dieses Septums in das Lig. anulare radii und die Kapsel des Ellenbogengelenks über. Etwa 10 cm proximal des Ellenbogens kreuzt der N. radialis das Septum intermusculare brachii auf seinem Weg vom dorsalen in das ventrale Muskelkompartiment des Oberarms. Beide Septen sind ventral Ansatzpunkt für einige der Muskelfasern des M. brachialis und posterior für einige Fasern des M. triceps.

CLINICAL PEARL 7.7

Kompressionssyndrome des N. radialis

Der N. radialis kann in seinem gesamten anatomischen Verlauf komprimiert werden. Am häufigsten kommt es im proximalen Unterarm im Bereich des M. supinator (Supinatorloge oder Frohse-Arkade) zur Kompression des N. interosseus antebrachii posterior. Angeblich sollen die wiederholte Pronation oder Supination die Entstehung eines Engpasses durch eine Fibrose der Frohse-Arkade begünstigen. Eine weitere Möglichkeit für eine Kompression des N. radialis besteht meist nach einer Humerusfraktur an dem Punkt, wo er das Septum intermusculare brachii laterale durchquert. Auch proximal des Ellenbogens kann der N. radialis auf der lateralen Seite zwischen den Mm. brachialis und brachioradialis durch eine fibröse Arkade im Caput laterale m. tricipitis komprimiert werden (Cabrera und McCue 1986) sowie distal auf der Radialseite des Handgelenks. Durch die Kompression kommt es zu Bewegungseinschränkungen und wird der Nerv bei bestimmten Armbewegungen unter Spannung gesetzt. Studien haben gezeigt, dass sich Nerven normalerweise in dem sie umgebenden Bindegewebe bewegen (Wilgis und Murphy 1986). Ist dieses Bindegewebe verdickt, kann die Reizweiterleitung des Nervs verändert werden. Butler (1991) geht davon aus, dass die Mobilität eines Nervs mit eingeschränkter longitudinaler Beweglichkeit oft durch von ihm als neurale Mobilisationstechniken bezeichnete Behandlungen wiederhergestellt werden kann. Angesichts der festen Verbindung von Nervencheiden und tiefer Muskelfaszie (> Kap. 3.5.1) schlagen wir zur Wiederherstellung der normalen Nervenmobilität und Symptomlinderung eine Behandlung der Faszien, die mit der Nerven Scheide Kontakt haben, vor.

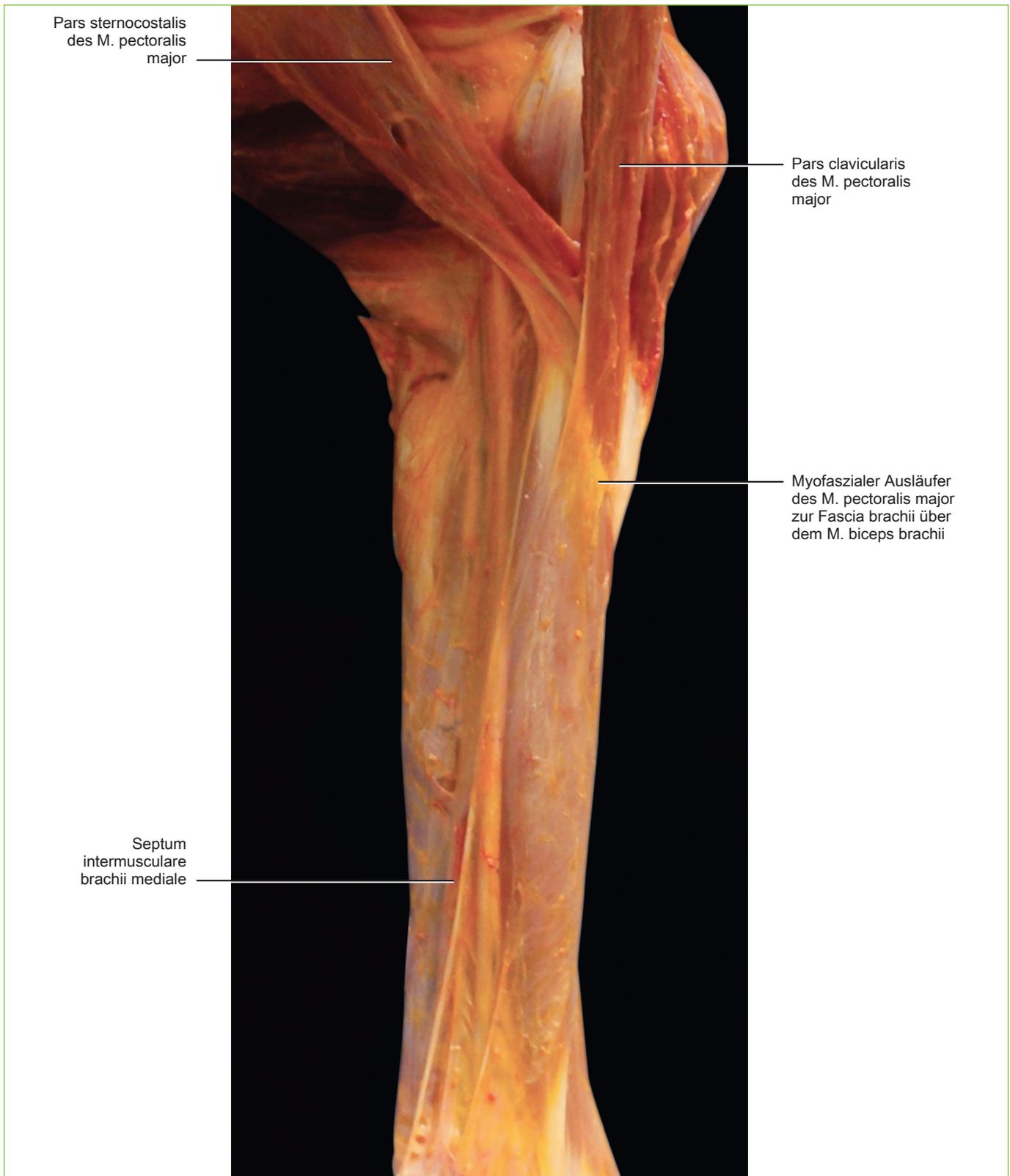


Abb. 7.27 Ansicht des Arms von anteriomedial. Die Pars clavicularis und die Pars costalis des M. pectoralis major wurden von ihren proximalen Ansätzen gelöst und gedehnt, um ihre Wirkung auf den ventralen Anteil der Fascia brachii darzustellen.

Muskelfasern des
M. biceps brachii,
die in der Fascia
brachii ansetzen.

Fascia brachii, nach
medial angehoben

M. biceps
brachii

Abb. 7.28 Ansicht des Arms von anterior. Die Fascia brachii wurde von den darunterliegenden Muskeln abgelöst und nach medial gezogen, um ihre Beziehung zum M. biceps brachii darzustellen. Dieser Muskel kann in der Regel dank seines Epimysiums frei unter der Fascia brachii gleiten. Außerdem entsendet er einen myofaszialen Ausläufer zur Fascia brachii. Jedes Mal, wenn sich der M. biceps brachii kontrahiert, zieht er den ventromedialen Anteil der Fascia brachii nach kaudal.

M. biceps brachii,
umhüllt von seinem
Epimysium



Fascia brachii

Abb. 7.29 Ansicht des Arms von anterior. Die Fascia brachii wurde vom M. biceps brachii abgelöst und nach lateral abgehoben, sodass ihre fibröse Struktur gut zu erkennen ist.

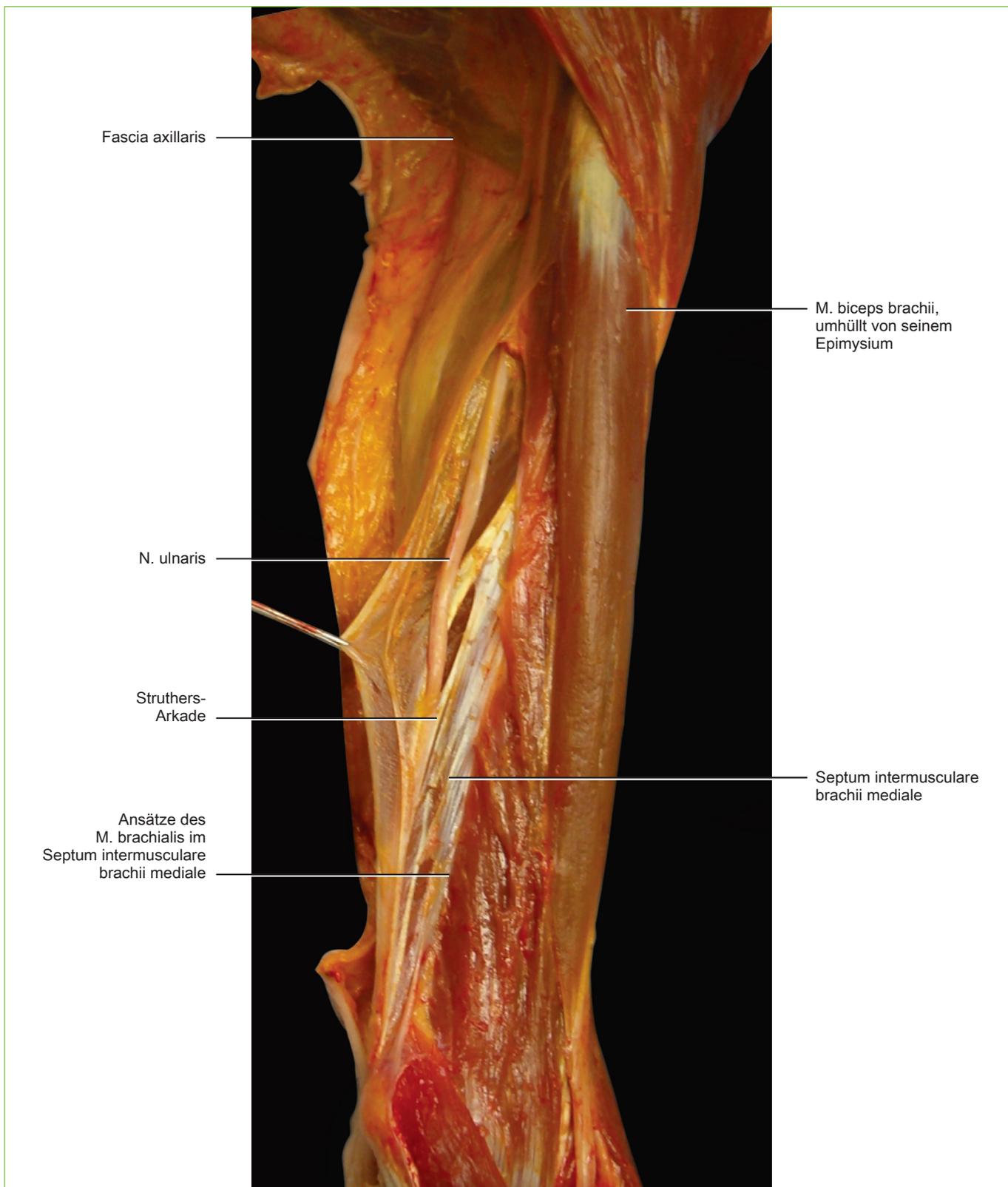


Abb. 7.30 Septum intermusculare brachii mediale. Die Pinzette zieht die Fascia brachii nach medial, um den Übergang zum Septum intermusculare brachii mediale darzustellen. Gut zu erkennen ist auch die Beziehung zwischen dem N. ulnaris und dem Septum intermusculare brachii mediale.

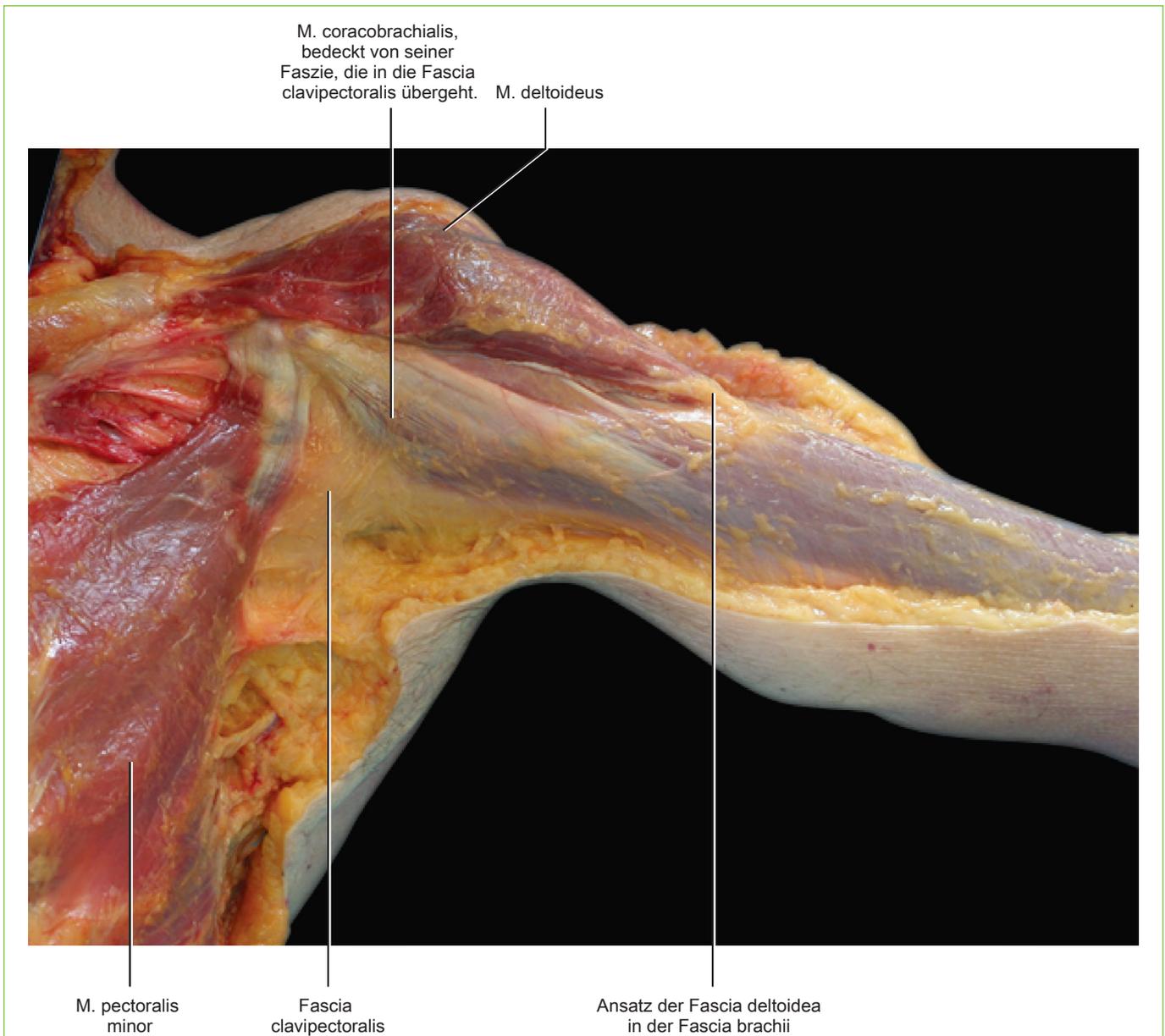


Abb. 7.31 Ansicht der Schulter von anterior. Der M. pectoralis major wurde entfernt, um die Fascia clavipectoralis darzustellen. Sie zieht gemeinsam mit der Faszie des M. coracobrachialis weiter in den Oberarm.