

**Nameless in anatomy, but famous among surgeons:
The so called “deltotrapezoid fascia”**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Dr. med.

an der Medizinischen Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von

Saskia Czerwonatis

geboren am 29.05.1987 in Lutherstadt Wittenberg

angefertigt:

an dem Institut für Anatomie, Universität Leipzig

an der Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Wiederherstellungschirurgie, Universität Leipzig

Betreuer:

Prof. Dr.med. Ingo Bechmann

Prof. Dr.med. Pierre Hepp

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrads vom:

19.10.2021

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINFÜHRUNG	3
1.1. Ziel der Arbeit	3
1.2. Die acromioclaviculare Gelenksluxation	3
1.2.1. Anatomie des acromioclavicularen Gelenks	3
1.2.2. Klassifikation der acromioclavicularen Gelenksluxation	4
1.2.3. Diagnostik	5
1.2.4. Therapie	6
1.2.4.1. konservativ	6
1.2.4.1.1. SICK-Scapula-Syndrom	7
1.2.4.2. operativ	7
1.2.4.2.1. Versorgungszeitpunkt	7
1.2.4.2.2. Operative Therapie der akuten Instabilität	7
1.2.4.2.3. Operative Therapie der chronischen Instabilität	8
1.2.4.2.4. Nachbehandlung	9
1.2.4.2.5. Komplikationen	9
1.3. Faszie	9
1.3.1. Anatomie des Fasziengewebes	9
1.3.1.1. Fascia superficialis	10
1.3.1.2. Fascia profunda	11
1.3.2. Chirurgische Relevanz	11
1.3.2.1. Chirurgische Therapie der deltotrapezoidalen Faszie	12
1.3.3. Federative International Committee for Anatomical Terminology (FICAT), Terminologica Anatomica (TA)	12
1.3.4. Einfluss von anatomischer Fixierung auf Fasziengewebe	13
1.3.4.1. Die deltotrapezoidale Faszie am frischen und fixierten Präparat	13
2. PUBLIKATIONSMANUSKRIFT	15
3. ZUSAMMENFASSUNG	20
4. LITERATURVERZEICHNIS	24
5. SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	29
6. DARSTELLUNG DES EIGENEN BEITRAGES	30
7. LEBENSLAUF	31
8. PUBLIKATIONSVERZEICHNIS	32
9. DANKSAGUNG	33

1. Einführung

1.1. Ziel der Arbeit

Die acromioclaviculare Gelenksluxation ist eine häufige Verletzung sportlich aktiver, insbesondere jüngerer, Patienten. Die hochgradige Instabilität des Acromioclaviculargelenks (ACG) ist eine komplexe und relevante Verletzung des Schultergürtels, die zu anhaltenden Schmerzen und Funktionsbeeinträchtigungen führen kann. Die Evidenzlage in der Literatur ist hinsichtlich des optimalen Therapieverfahrens schwach. Je nach Schweregrad werden konservative oder operative Therapie empfohlen, hinsichtlich letzterer stehen offene und arthroskopische Verfahren zur Auswahl. Während des offenen Verfahrens stellt die Naht der deltotrapezoidalen Faszie (DTF) einen wesentlichen Therapieschritt dar. Obgleich diese anatomische Entität in der Klinik, vor allem in der chirurgischen Therapie des Schultergürtels, eine gebräuchliche Terminologie darstellt, findet man den Terminus in grundlegender anatomischer Literatur sowie in internationalen terminologischen Standardwerken vergebens. Auch in der anatomischen Lehre am fixierten Präparat, wie es weitestgehend an deutschen Hochschulen Usus ist, trifft der Student nicht auf die DTF. Der formverändernde Einfluss gängiger Gewebefixierung lässt die makroskopische Struktur verblassen, die im operativen Situs unübersehbar ist. Ziel dieser Arbeit ist, die DTF als anatomische Struktur zu untersuchen, zu beschreiben und anatomisch zu etablieren, welche in der operativen Therapie der hochgradigen acromioclavicularen Gelenksluxation einen festen Bestandteil darstellt. Durch eine entsprechende Publikation in den *Annals of Anatomy* wollen wir die DTF in das Bewusstsein der Lehrenden der Anatomie bringen und sie als Lehrinhalt etablieren.

1.2. Die acromioclaviculare Gelenksluxation

1.2.1. Anatomie des Acromioclaviculargelenks

Die *Articulatio acromioclavicularis* oder das äußere Schulterbeingelenk ist eine plane Diarthrose sowie ein funktionelles Kugelgelenk und wird durch das laterale Ende (*extremitas lateralis*) der *Clavicula* und durch das *Acromion* gebildet. Die mit hyalinem Knorpel überzogenen inkongruenten Gelenkflächen werden durch den *Discus articularis* ausgeglichen. Funktionell ist das ACG mit der *Articulatio sternoclavicularis* und *Articulatio sternothoracalis* mechanisch gekoppelt. Passiv wird das Gelenk durch Bänder gesichert. So wird die zarte *Capsula articularis* kranial durch das *Ligamentum acromioclavicularis* verstärkt, welches horizontale Stabilität bietet. Vertikale Stabilität gewährleistet das *Ligamentum coracoclaviculare* (Rumschik & Wittner, 2002). Hier wird zwischen einem anterioren (*Ligamentum trapezoideum*) und einem dorsalen Anteil (*Ligamentum conoideum*) unterschieden. Zusammen mit dem *Processus coracoideus* und dem *Acromion* bildet das *Ligamentum*

coracoacromiale den Fornix humeri. Caudal dieses osteofibrösen Schutzdaches verlaufen die flächigen Sehnen der Rotatorenmanschette. Arterielle und venöse Versorgung erfolgt durch das Rete acromiale. Diese Anastomose wird aus dem Ramus acromialis der Arteria/Vena suprascapularis und dem Ramus acromialis der Arteria/Vena thoracoacromialis gebildet (Aumüller, 2010). Aktiv gesichert wird das ACG zum einen durch den Musculus trapezius, welcher mit der Pars descendens flächig an der lateralen Clavicula ansetzt und Zug nach kranial sowie eine Extension der Columna cervicalis bewirkt. Innerviert wird der Musculus trapezius durch den Nervus accessorius, welcher somatomotorische und speziell viszeromotorische Fasern enthält. Im Verlauf des Musculus trapezius nimmt der 11. Hirnnerv Fasern aus dem Plexus cervicalis (C1- C4) auf, durch dessen Vereinigung die Innervation des Muskels ausgeht. Zum anderen hat die Pars acromialis des Musculus deltoideus seinen Ursprung am Acromion und setzt, wie die Pars spinalis und die Pars clavicularis, an der Tuberositas deltoidea humeri an. Als kräftiger Abduktor bewirkt die Pars acromialis zudem mit der Pars clavicularis die Anteversion sowie mit der Pars spinalis die Retroversion der Articulatio glenohumerale (Rumschik & Wittner, 2002). Die Innervation erfolgt durch den gemischten Nervus axillaris (C5- C6), der aus dem Fasciculus posterior des Plexus brachialis (C5-Th1) entspringt (Aumüller, 2010). Zwischen Ansatz der Pars descendens des Musculus trapezius und Ursprung des Musculus deltoideus befindet sich cranial des ACG die DTF. Das ACG ist neben der Articulatio glenohumerale und der Articulatio sternoclaviculare ein Teil der gelenkigen Verbindungen des Cingulum membri superioris. Es trägt zur Stabilisierung desgleichen bei und ermöglicht zugleich Elevation und Depression. Als Hauptbewegung erfolgt die Rotation im ACG, was bei mehrartikulären Osteosynthesen bedacht werden sollte (Rumschik & Wittner, 2002). Die obere Extremität ist über den Cingulum membri superioris mit dem Truncus verbunden und fängt Druck- und Zugkräfte ab. Wird das erhebliche Bewegungsausmaß der Gesamtheit aller gelenkigen Verbindungen des Schultergürtels und der oberen Extremität bedacht, so kommt dem ACG als Teil dessen eine wesentliche Bedeutung für eine schmerzfreie Mobilisation und aktiven Teilhabe am täglichen Leben zuteil.

1.2.2. Klassifikation der acromioclavicularen Gelenksluxation

Die acromioclaviculare Gelenksluxation ist eine häufige Verletzung überwiegend junger sportlich aktiver Patienten und zählt zu den häufigsten Verletzungen des Schultergürtels. Vor allem in Hochrasanzsportarten wie Skisport, Eishockey oder Handball, tritt die acromioclaviculare Gelenksluxation häufig auf (Mazzocca et al., 2007; Nolte et al., 2020). Der Unfallmechanismus besteht in einer direkten Krafteinwirkung auf den Schultergürtel, bei welcher das Acromion in Relation zur Clavicula nach kaudal gezwungen wird oder ein Sturz auf die ausgestreckte obere Extremität. Die einwirkende Kraft führt zunächst zu einer Läsion der Capsula articularis mit coracoligamentären Anteil

und weiterführend zur Ruptur der coracoclaviculären Bänder. Durch den Zug des Musculus trapezius nach kranial und des Musculus deltoideus disloziert das ACG bei fehlender horizontaler Stabilität. Selten sind zusätzliche muskuläre Läsionen, Frakturen der Clavicula oder sternoclaviculare Gelenkluxationen (Mazzocca et al., 2007). Als eine der ersten Klassifikationen im klinischen Gebrauch etablierte sich Tossy 1963 (Tossy et al., 1963), gefolgt von zahlreichen weiteren Klassifikationen. 1984 erweiterte Rockwood basierend auf Tossy's Klassifikation eine sechsgradige Einteilung. Bis heute stellt diese die häufigste angewandte klinische Klassifikation dar. Die Tossy I Verletzung beschreibt die Zerrung des Bandapparates. Tossy II stellt eine Ruptur des Ligamentum acromioclaviculare dar. Radiologisch kann sich eine Elevation der lateralen Clavicula zeigen. Tossy III ist eine Gelenkluxation aufgrund horizontaler und vertikaler Instabilität durch Ruptur aller Bänder und stabilisierender Strukturen (Tossy et al., 1963). Im operativen Situs zeigt sich auch die DTF rupturiert. Rockwood I-III entspricht Tossy I-III. Rockwood IV entspricht Tossy III mit dorsaler Dislokation der Clavicula. Bei Rockwood V werden zusätzlich Abrissverletzungen des Musculus deltoideus und Musculus trapezius vom lateralen Ende der Clavicula beschrieben, die sich radiologisch durch einen mindestens 100% vergrößerten coracoclavicularen Abstand manifestieren. Rockwood VI entspricht Rockwood V mit claviculärer inferiorer Dislokation unter das Acromion oder Processus coracoideus (Rockwood, 1984).

1.2.3. Diagnostik

Neben dem typischen Unfallhergang gibt der Patient mit einer akuten acromioclavicularen Verletzung eine schmerzhaft Bewegungseinschränkung der betroffenen Schulter an. Der Arm wird in einer Adduktionsschonhaltung gehalten. Pathognomonisch ist der Claviculahochstand, welcher durch den Scapulatiefstand relativ entsteht. Weiterhin gibt der Patient einen Druckschmerz über dem ACG an, neurologische Läsionen des Plexus brachialis sollten ausgeschlossen werden. Die aktive Schultergelenksbeweglichkeit, vor allem Flexion und Abduktion über 90°, sowie der Horizontaladduktionsstest (Cross Body Test) sind schmerzhaft (Jensen, 2015). Wenn die Schmerzsymptomatik des Patienten es zulässt, kann die antero- posteriore Translation der Clavicula getestet werden, welche vor allem bei geringen Claviculahochstand im Seitenvergleich entscheidend ist. Besteht der klinische Verdacht auf eine acromioclaviculare Instabilität sollte zunächst eine ZANCA-Aufnahme (belastete bilaterale Aufnahme), sowie eine axiale und Outlet-Aufnahme mit Cross-Body-Manöver erfolgen (Beitzel et al., 2014; M. Tauber, 2017). Aus strahlenhygienischen Gründen sollte auf die früher übliche Panoramaaufnahme sowie unbelastete Aufnahmen verzichtet werden. Eine weiterführende Diagnostik mit MRT ist kein Standard-Diagnostikum, sondern kann lediglich zur Beurteilung des Bandapparats oder zum Ausschluss von Begleitverletzungen herangezogen werden (Jensen, 2015). Die Diagnostik mittels Computertomographie bleibt speziellen Fragestellungen

vorenthalten. Auch bei der chronischen Instabilität finden sich klinisch und radiologisch Instabilitätszeichen. Meist zeigt sich bei freier Beweglichkeit des Schultergelenks und -gürtels ein gestörter scapulohumeraler Bewegungsrhythmus. Dies kann einen schmerzhaften Bogen (painful arc) verursachen und nicht selten bestehen Bewegungsschmerzen im Sinne eines spinoclaviculären Impingementsyndroms (Mazzocca et al., 2007).

1.2.4. Therapie

Obwohl die acromioclaviculare Gelenkluxation eine hohe Prävalenz aufweist, gibt es bisher nur wenige evidenzbasierte Therapieempfehlungen (Gstettner et al., 2008). So variieren das therapeutische Vorgehen interkontinental und man ist sich im deutschsprachigen sowie europäischen Raum einig, höhergradige Instabilitäten operativ zu versorgen, wohingegen in den USA von einer operativen Therapie weitestgehend abgesehen wird. Standard in Deutschland ist heute die konservative Therapie der Rockwood I-II- Verletzung. Hierbei sollte unter Analgesie nach WHO-Stufenschema die schmerzadaptierte freie Mobilisation der betroffenen Schulter unter physiotherapeutischer Supervision erfolgen (Mazzocca et al., 2007; Nolte et al., 2020). Für Rockwood III wird in aktueller Datenlage weder die operative noch die konservative Therapie eindeutig empfohlen. Vielmehr wird dem jungen sportlich aktiven Patienten mit schulterbelastenden täglichen Überkopfarbeiten die operative Therapie empfohlen. Wohingegen dem älteren Patienten mit Komorbiditäten die konservative Therapie angeraten wird. Eine relative OP-Indikation gilt für höhergradige Verletzung Rockwood IV und V. Da die horizontale Instabilität als wesentlicher Faktor für die schmerzfreie Funktionalität des ACG gilt, wird Rockwood IIIb auch operativ therapiert (Ceccarelli et al., 2008).

1.2.4.1. Konservative Therapie

Zu den konservativen Therapiemaßnahmen gehört in der akuten Phase nach Reposition die schmerzadaptierte Immobilisation für maximal 14 Tage, die Analgesie nach Maßgabe der Beschwerden sowie lokale Kryotherapie. Unter physiotherapeutischer Supervision beginnt ab der 3. Woche die passive und aktive schmerzadaptierte Mobilisation des Schultergelenks. Dabei sollten bis zur 6. Woche ein Abduktionslimit von 90° in der Scapulaebene eingehalten, sowie Belastungen und Hebetätigkeiten bis zu 3 Monaten vermieden werden. Ab dem 3. Monat sollte kontrolliert mit stabilisierenden Übungen des Schultergürtels begonnen werden und die Belastung intensiviert werden. Innerhalb vier bis sechs Monaten sollten die Patienten überwiegend beschwerdefrei sein.

1.2.4.1.1. SICK-Scapula-Syndrom

Die konservative Therapie von Rockwood-III-Verletzungen geht bei mehr als der Hälfte der Patienten mit der Entwicklung einer Scapuladyskinesie bis hin zur Ausbildung eines sogenannten SICK-Scapula-Syndroms (Scapular malposition, Inferior medial border prominence, Coracoid pain and malposition and dyskinesia of scapular movement) einher. Bei der Scapuladyskinesie handelt es sich um eine veränderte Stellung und Bewegung des Schulterblattes in Relation zum Thorax, wodurch der Abstand des Processus coracoideus und des Musculus pectoralis minor verkleinert wird. Dies kann zu Nervenreizzuständen des in unmittelbarer Nähe gelegenen Plexus brachialis führen (Gumina et al., 2009; Hedtmann et al., 1998; Murena et al., 2013). Unter einem physiotherapeutisch angeleiteten spezifischen Trainings- und Dehnungsprogramms für die scapulastabilisierende Muskulatur und Rumpfmuskulatur kann die ACG-assoziierte Scapuladyskinesie in knapp 80 % der Fälle konservativ therapiert werden. Auch in operativ therapierten Rockwood III- Verletzungen wurden postoperativ SICK- Scapula-Syndrome beobachtet, jedoch mit einer niedrigeren Inzidenz (Burkhart et al., 2003; Gumina et al., 2009; Kibler & McMullen, 2003).

1.2.4.2. Operative Therapie

1.2.4.2.1. Versorgungszeitpunkt

Der Zeitpunkt der operativen Versorgung stellt einen klinisch relevanten Faktor dar. Gängig ist, dass Läsionen bis zu drei Wochen nach Trauma als akut, ab sechs Wochen als chronisch bezeichnet werden. Das Zeitintervall ab 3. bis 6. Woche post trauma, das subakute Stadium, wird in der Literatur nicht näher beschrieben. Auch wenn Studien mit Evidenz höheren Levels fehlen, herrscht gemäß Literaturanalysen aufgrund des besseren Outcomes bezüglich Schulterfunktion und Reposition weitestgehend der Konsens die operative Therapie so frühzeitig als möglich, jedoch spätestens 3 Wochen post trauma, durchzuführen (Martetschläger et al., 2019; Scheibel et al., 2011; Song et al., 2016).

1.2.4.2.2. Operative Techniken der akuten Instabilität

Es besteht weitestgehend Einigkeit darüber, dass höhergradige ACG-Verletzungen, wie Rockwood IV und V, operativ versorgt werden sollten (Beitzel et al., 2013; Kienast et al., 2011). Die operative Therapie kann offen oder arthroskopisch erfolgen. Erste offene Techniken mittels K-Drahtfixierungen finden heute, unter anderem aufgrund hoher Dislokationsraten, keine Anwendung mehr. Als Standardverfahren gelten die Hakenplatte sowie arthroskopische Verfahren, welche die Hakenplatte

nahezu vollständig ablöst (Gstettner et al., 2008; Nolte et al., 2020). Die Hakenplatte ist eine anatomisch vorgeformte Platte, welche nach manueller Reposition der Clavicula und Retention durch K-Drähte eingebracht wird, so dass der Haken der Platte unter dem Acromion zu liegen kommt. Die Platte wird mit Schrauben auf der Clavicula fixiert. Vor der Fixierung sollte ein Impingement der Rotatorenmanschette durch Außenrotation und Abduktion ausgeschlossen werden. Vor dem Wundverschluss erfolgt die Naht oder Raffung der DTF, um horizontale Stabilität zu gewährleisten. Für diese Art der Versorgung liegen mittelfristige Ergebnisse mit teils sehr guten klinischen Resultaten vor (Kienast et al., 2011). Der Vorteil der Hakenplatte besteht in der frühen Mobilisation der Schulter und einfachen chirurgischen Technik. Jedoch besteht ein deutlicher Nachteil in der hohen Rate an Rotatorenmanschettenläsionen sowie subacromialen Erosionen im Verlauf, weswegen eine Entfernung der Hakenplatte im Verlauf obligat ist (Kienast et al., 2011). Sowohl bei der akuten als auch bei der chronischen Instabilität hat sich die arthroskopische Technik zunehmend etabliert. Bei der akuten Instabilität wird bei der Tight-Rope-Technik unter arthroskopischer Kontrolle ein transclaviculär-transcoracoidaler Bohrkanal angelegt und ein Fadenkonstrukt eingezogen, das sich mit zwei Titanplättchen unter dem Coracoid und über der Clavicula abstützt, um so die Reposition zu halten (28, 29, 30). Auch zu diesem Verfahren existieren Untersuchungen mit guten klinischen 2-Jahres-Ergebnissen (Scheibel et al., 2011). Ein eindeutiger Vorteil liegt in dem einzeitigen Vorgehen und der Möglichkeit während des arthroskopischen Rundgangs relevante Begleitpathologien zu identifizieren und zu therapieren. Das Auftreten intraartikulärer Begleitpathologien, wie die SLAP-Läsion, wird mit 15- 18,5 % angegeben (Pauly et al., 2009; Tischer et al., 2009). Die Adressierung der DTF stellt sich in der arthroskopischen Technik als technisch anspruchsvoller dar.

1.2.4.2.3. Operative Techniken der chronischen Instabilität

Etwa 20% aller operativ oder konservativ therapierten akuten Instabilitäten zeigen chronisch-symptomatische Verläufe (Hedtmann et al., 1998; Mark Tauber et al., 2009). Ursachen dafür sind die verbliebene horizontale Instabilität durch Unterschätzung des Verletzungsausmaßes. Das Versagen einer konservativen oder operativen Therapie der vertikalen Instabilität in Kombination mit einer posttraumatischen Arthrose (Hedtmann et al., 1998). Die operative Therapie der akuten Instabilität nutzt die Reposition und Retention der ossären Strukturen als Voraussetzung für die Bildung von Narbengewebe kapsuloligamentärer Strukturen, welche durch das Trauma verletzt worden sind. Diese Regenerationsfähigkeit ist bei chronischen Verläufen nur noch eingeschränkt möglich, so dass eine alleinige Stabilisierung mit einem Implantat nicht ausreichend ist und biologische Ersatzverfahren zum Einsatz kommen. Wie in der operativen Therapie der akuten Instabilität konnten sich zunehmend arthroskopisch gestützte Verfahren etablieren (Patzner et al., 2013). Konventionelle Techniken sind das

Weaver-Dunn- Verfahren oder die autologe Sehnenplastik der coracoclaviculären Bänder, wobei sich Letztere in einer prospektiven Studie signifikant überlegen zeigte (Boileau et al., 2010; Hedtmann et al., 1998; Scheibel et al., 2011).

1.2.4.2.4. Nachbehandlung

Die Versorgungstechnik ist für das Nachbehandlungsregime bestimmend. Neben einer adäquaten Analgesie ist das Ziel eine stabile Ausheilung der scapuloclaviculären Synthese sowie des umgebenden Weichteil- und Faszien Gewebes. In den ersten Wochen postoperativ erfolgt die Immobilisation in einem Schulter-Arm-Orthese, welche für Pendelübungen und die tägliche Hygiene abgenommen werden darf. Unter physiotherapeutischer Supervision werden angrenzende Gelenke aktiv und das Schultergelenk passiv-assistiv mobilisiert. Die zeitliche Abfolge der Belastungssteigerung variiert nach innerklinischen Leitlinien. Jedoch kann die freie schmerzadaptierte Mobilisation des Schultergelenks ab der 7. Woche erfolgen. Belastungen des Schultergelenks sowie Übungen gegen Widerstand sollten bis zur 12. postoperativen Woche vermieden werden und vor allem bei Versorgung mit autologer Sehnenplastik schrittweise etabliert werden (Jensen et al., 2013).

1.2.4.2.5. Komplikationen

Bei etwa 10% der konservativ und operativ therapierten Patienten kommt es zu bleibenden Beschwerden, wie Schmerz, Kraft- und Bewegungseinschränkungen. Sowohl bei der offenen als auch bei dem arthroskopischen Verfahren kann es im Verlauf zu einer sekundären Dislokation kommen. Nach Materialentfernung der Hakenplatte oder einer Migration der Buttons in der Tight-Rope-Technik vor dem vollständigen Ausheilen des Bandapparates kann es zu einem Repositionsverlust kommen (Gstettner et al., 2008).

1.3. Faszie

1.3.1. Anatomie des Faszien Gewebes

Der Gegenstand der Faszie hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die Definition und Gegenstand dieser Struktur unterlag stetiger Wandlung. Ursprünglich wurde der Begriff *Faszie* allgemein von Chirurgen genutzt, um schneidbares Gewebe zu benennen, welches Muskulatur, Knochen und Organe umhüllt (Gatt & Zito, 2018). Die 1989 gegründete Federative Committee on Anatomical Terminology (FICAT) führte die Terminologie fascia superficialis und fascia profunda ein. Aufbauend auf dieser Definition erweiterte das Federative International Programme on Anatomical

Terminologies (FIPAT) den Begriff Faszie um «eine Schicht, eine Hülle oder jede andere schneidbare Form von Bindegewebe unter der Haut, welche Muskulatur und andere innere Organe trennt und verbindet» (Adstrum et al., 2017; Bordoni & Varacallo, 2018; Schleip et al., 2012). Dem Faszien-system werden zahlreiche Gewebe und Organsysteme zugeteilt, dies beinhaltet das lymphatische System, Fettgewebe, Knorpel- und Knochengewebe sowie Blut und blutbildendes System, Muskelfasern sowie die Strukturen, die sie umgeben. Das Faszien-system ist durchgehend und kontinuierlich durch Schichten unterschiedlicher Beschaffenheit und Ausprägung miteinander verbunden. Diese Schichten reichen von der Haut bis zum Periost und bilden ubiquitär eine dreidimensionale Struktur, welche metabolische und mechanische Funktion aufweist (Bordoni & Varacallo, 2018). Insbesondere das myofasziale System zeigt eine feine allgegenwärtige Innervation. Neben den Mechanorezeptoren Ruffini, Pacini und dem Golgi-Organ konnten freie Nervenendigungen dargestellt werden, welche in Verbindung mit dem Periost, dem Perimyseum und Endomyseum stehen und sich auch im Bindegewebe der Viszeralorgane befinden (Bordoni & Varacallo, 2018; Gatt & Zito, 2018). Diese Afferenzen fungieren als Interozeption. Informationen innerhalb des Körpersystems werden zentral verarbeitet und efferent als nervale und mentale Reaktionen wiedergegeben. Vor allem die Interozeption moduliert die sensorische Empfindsamkeit des menschlichen Körpers sowie die individuelle Schmerztoleranz (Craig, 2003; Critchley & Garfinkel, 2017). Diese Beobachtungen lassen vermuten, dass chronische Dysfunktionen des Faszien-systems auch emotionale Auswirkungen haben können (Bordoni & Varacallo, 2018). Auch andere Symptomkomplexe, wie Fatigue, chronische Schmerzzustände, Fibromyalgie, Diabetis mellitus und chronisch obstruktive Lungenerkrankungen werden ätiologisch in Zusammenhang mit dem Faszien-gewebe gebracht, bzw. zeigen pathologische strukturelle Veränderungen (Bordoni & Varacallo, 2018).

1.3.1.1. Fascia superficialis

Die oberflächliche Faszie ist eine Schicht subkutanen Gewebes, welches sich auf die dichtere Fascia profunda auflegt. Sie kann makroskopisch und auch mikroskopisch vom umgebenden Gewebe abgegrenzt werden und strahlt in die Dermis ein. Sie ist im Bereich des Stammes kräftiger ausgeprägt als in den Extremitäten und dünnt peripher aus. Zudem umgibt sie Drüsen, neurovaskuläre Leitungsbahnen, bahnt Lymphgefäße (Gatt & Zito, 2018).

1.3.1.2. Fascia profunda

Tiefe Faszien sind faserreiche dichte Bindegewebsschichten, welche Knochen, Muskeln, Nerven und Blutgefäße umschließen. Je nach Belastungsverhältnissen organisiert sich die tiefe Faszie als Fascia aponeurotica und bildet Aponeurosen, flächenhafte Faszien, Ligamente, Retinacula, Capsula articularis. Wie die Rektusscheide oder die thoracolumbale Faszie kann sie in Ursprung- und Ansatzsehnen anderer Muskeln einstrahlen. Sie besteht aus zwei bis drei parallel verlaufenden Kollagenfaserbündeln. Sie umgibt als Periosteum Knochen und als Endomysium Muskelfaser. Gekennzeichnet ist die Fascia profunda durch einen hohen Kollagenfaseranteil, wodurch das Gewebe eine hohe viskoelastische Belastbarkeit aufweist (Bordoni & Varacallo, 2018; Gatt & Zito, 2018). Meningen, Pleura, Pericardium und die Viszeralorgane umgebendes Faszienngewebe werden als viszerale Faszien zusammengefasst. Sie bettet Organe in das umgebende Gewebe ein. Im Bereich der Extremitäten zeigt die gefäß- und nervenreiche Fascia profunda eine mittlere Dicke von 1 mm und ist in den unteren Extremitäten stärker ausgeprägt als in der oberen. Der elastische Faseranteil im Bereich der Arme stärker vertreten, was auf die komplexe und differenzierte Funktion der oberen Extremität zurückzuführen ist (Stecco et al., 2008). Aus der Funktion der Faszie als Wasser- und Elektrolytreservoir für umgebendes Gewebe lässt sich ableiten, dass inadäquate Hydrierung Auswirkungen auf den Stoffwechsel, auf die biomechanische Funktion der tiefen Faszie und somit des gesamten muskuloskelettalen Systems hat (Bordoni & Varacallo, 2018).

1.3.2. Chirurgische Relevanz

In den operativen Disziplinen konnte eine zunehmende Beachtung des Faszienngewebes in Diagnostik und Therapie beobachtet werden. Während des chirurgischen Wundverschlusses wird die Fascia superficialis adaptiert um spannungsfreie Verhältnisse zu schaffen und Wundheilungsstörungen zu vermeiden. Eine Wunddehiszenz kann sich zu einem chirurgischen Notfall entwickeln und bedarf, in den meisten Fällen, einer chirurgischen Therapie. Gewebeadhäsionen nach chirurgischer Intervention verhindern ein spannungsfreies Gleiten der Faszienngewebsschichten. Dies beeinflusst den lokalen Metabolismus mit einhergehender inflammatorischer Reaktion, was wiederum Adhäsionen provoziert. Dies wird, unter anderem, als Ursache für chronische postoperative Schmerzzustände angenommen (Bordoni & Varacallo, 2018; Gatt & Zito, 2018; Lau & Pomahac, 2014). Untersuchungen lassen den Einfluss von Ernährung und Alter auf die Faszienngewebsmorphologie vermuten, denn der chirurgische Verschluss Faszienngewebe malnutritierter Patienten kann sich aufgrund verminderter Belastbarkeit des Gewebes als Herausforderung darstellen (Bordoni & Varacallo, 2018). In der plastischen Chirurgie werden Aponeurosen zum Verschluss großer Wundflächen genutzt und

Ligamente können gestrafft oder gelöst werden für ästhetische Zwecke (Stecco et al., 2013). Nicht zuletzt ist die Fasziotomie bei Kompartmentsyndrom eine Notfallintervention zum Erhalt der betroffenen Extremität (Mauser et al., 2013; Via et al., 2015). Die nekrotisierende Faszitis ist eine seltene und lebensbedrohliche Weichteilinfektion, die einem radikalen Debridement des betroffenen Faszien-, Muskelgewebes, des Subkutangewebes sowie der Dermis bedarf (Lancerotto et al., 2012). In der Manualtherapie bzw. Chirotherapie sind myofasziale Entspannungsverfahren etablierte Therapieverfahren bei akuten oder chronischen Schmerzzuständen (Ajimsha et al., 2015).

1.3.2.1. Chirurgische Therapie der deltotrapezoidalen Faszie

Bei der höhergradigen Acromioclaviculargelenksluxation sind stabilisierende Strukturen, Ligamente und die DTF gerissen. Obgleich die Versorgung dieser Struktur als wesentlicher Therapieschritt gilt, wird sie in aktuellen Arbeiten nicht obligat erwähnt, noch gibt es eindeutige Empfehlungen ob, und wenn ja, wie die DTF versorgt werden sollte (Scillia & Cain, 2015). Die Naht oder Raffung der DTF soll dem ACG Stabilität in anterior-superior Richtung verleihen. Dadurch kann die funktionelle Stabilität des gesamten Schultergelenks erhöht und die Wahrscheinlichkeit von chronischen Instabilitäten mit resultierenden Schmerzzuständen vermindert werden.

1.3.3. Federative International Committee for Anatomical Terminology (FICAT), Terminologia anatomica (TA)

Das Federative International Committee for Anatomical Terminology (FICAT), ursprünglich Federative Committee on Anatomical Terminology (FCAT), ist eine Arbeitsgruppe, welche sich mit Bezeichnungen morphologischer Strukturen in Anatomie, Histologie und Embryologie des menschlichen Körpers beschäftigt. Gegründet wurde das Komitee von der International Federation of Associations of Anatomists (IFAA) 1989. Gemeinsames Interesse ist die Etablierung einer international gebräuchlichen Sprache, welche den wissenschaftlichen medizinischen Austausch und Fortschritt bahnen und erleichtern soll (Bordoni & Varacallo, 2018). Die Terminologia anatomica (TA) als erstes internationales Standardwerk enthält über 7500 makroskopische Strukturen und stellt die Basis für medizinische Ausbildung, Lehre und Wissenschaft weltweit dar. Publiziert wurde die TA 1998, worauf 2008 die Terminologia histologica (TH) folgen sollte. Die TH beinhaltet Terminologie für mikroskopische zelluläre Strukturen von Gewebe. Die TA ersetzte die bis dahin gebräuchliche Nomina anatomica, welche seit 1955 den internationalen Terminologiestandard darstellte. Weiterhin beinhaltet sie für jede Struktur die lateinische Terminologie begleitet von der gegenwärtig genutzten englischen Bezeichnung. Dabei werden die Terminologien in Systemen unterteilt: Knochen, Gelenke, Muskulatur,

gastrointestinaler Trakt, Atmungsorgane, Thoraxorgane, urologisches System, Genital, abdominopelvine Organe, endokrine Drüsen, cardiovasculäres System, Lymphsystem, Nervensystem, Sinnesorgane und Integument. Die Terminologie deltotrapezoidale Faszie ist nicht zu finden (Richard L. Drake, 2011).

1.3.4. Einfluss von anatomischer Fixierung auf Faziengewebe

Die Fixierung und Konservierung von anatomischen Präparaten, Körpern oder einzelnen Präparaten ist notwendig, um die biologische Autolyse von Gewebe zu verhindern und diesen Zustand beizubehalten. Die Verwendung von fixierten Präparaten und das Lernen an lebensnahen anatomischen Objekten in der studentischen und ärztlichen Ausbildung gilt als integraler Bestandteil (Korf et al., 2008). 1893 wurde erstmals durch den Physiologen F. Blum die konservierende Eigenschaft Formalins in der Botanik zu Nutze gemacht. So kam es, dass sich Formaldehyd als gängigste Fixierung in anatomischen Instituten etablieren konnte. Als eindeutige Nachteile in der Fixierung mit Formaldehyd wurden Irritationen der Haut, Augen und oberen Atemwege beobachtet. Die kanzerogene Wirkung auf den Nasenrachenraum bei Exposition wurden hinreichend belegt (Hauptmann et al., 2009; Nielsen et al., 2017). Als kostenintensivere Alternative kann die Ethanol/ Glycerol-Fixierung verwendet werden (Hammer et al., 2012). So können krebserregende Effekte umgangen werden und das Präparat überzeugt durch optische und haptische Nähe zum unfixierten Präparat (Hammer et al., 2012). Auch die Thiel-Fixierung ist eine Möglichkeit, Gewebe ohne kanzerogene Wirkung zu fixieren. Diverse Untersuchungen haben den Einfluss von Formalin- und Alkoholfixierungen auf das menschliche Gewebe gezeigt. Zum einen wird es besser schneidbar, verliert jedoch an Gewicht und die physiologische makroskopische Struktur wird nahezu vollständig aufgehoben (Hammer et al., 2014).

1.3.4.1. Die deltotrapezoidale Faszie am frischen und fixierten Präparat

Im operativen Situs sowie an nichtfixierten Präparaten zeigt sich die DTF als makroskopisch gut erkennbare Struktur, welche sich klar von den muskulären Anteilen des Musculus trapezius, pars descendens und Musculus deltoideus, pars acromialis abgrenzen lässt. Am kräftigsten ausgeprägt zeigt sich die DTF im trapezoidalen Anteil, sowie direkt über dem ACG. In elf seziierten Präparaten konnten wir die DTF darstellen. Sie zeigt einen charakteristischen Verlauf mit Varianz in Stärke und Ausbreitung. Makroskopisch zeigt sie sich beginnend am distalen Teil der pars descendens des Musculus trapezius in die pars acromialis des Musculus deltoideus ziehend. Dabei überquert sie den acromioclavicularen Gelenkspalt, wo sich die Faszie am stärksten ausgeprägt zeigte und Kollagenfasern mit der Gelenkkapsel verwachsen sind. In neun von elf Schulterpräparaten dünnte die Faszie in den dorsalen

Anteil des Acromions aus. In zwei Präparaten wurde das gesamte Acromion durch die Faszie bedeckt. Der Hauptanteil der Faszie reichte bis zur Pars acromialis des Musculus deltoideus. Die mediolaterale Ausbreitung variierte von 24 mm bis 61 mm und die ventrodorsale Ausbreitung von 56 mm bis 84 mm. Die Dicke der Faszie über dem acromioclavicularen Gelenkspalt reichte von 1 mm bis 2 mm. In der histologischen Untersuchung zeigte sich das typische Bild eines Textus connectivus collagenosus compactus irregularis. Folgend enthält die DTF Perimyseum, Anteile der Gelenkkapsel und auch Periost von Acromion und Clavicula und kann somit als Fascia profunda klassifiziert werden. Die Fixierung mit Formalin, Alkohol/Glycerol und Thiel hatte massiven Einfluss auf die strukturelle Beschaffenheit der DTF. So konnte das Faszien­gewebe nicht, wie im operativen Situs, makroskopisch vom umgebenden Gewebe abgegrenzt werden.

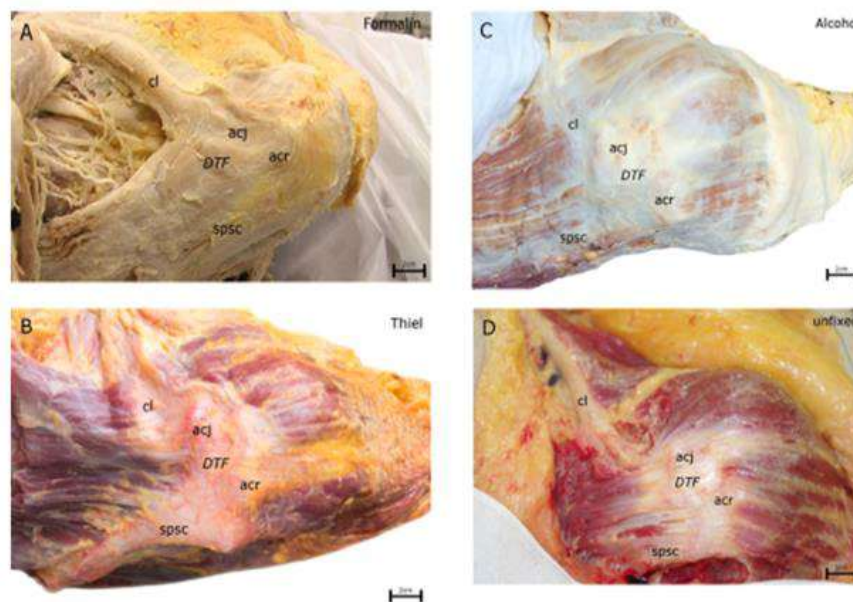


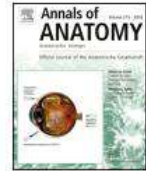
Fig. 1. A-D: Different presentations of the deltotracheid fascia. The DTF in human specimen. Right shoulder, cranio-lateral view. **A:** Formalin-fixed. **B:** Thiel-fixed. **C:** Alcohol-fixed. **D:** fresh specimen. *cl* clavicle. *acj* acromioclavicular joint. *acr* acromion. *spsc* spina scapulae. *DTF* deltotracheid fascia.

Auf Grundlage dieser Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass anatomische Strukturen im klinischen Alltag Bedeutung haben, welche in internationalen terminologischen Standardwerken sowie in grundlegender anatomischer Literatur nicht zu finden sind. Die Tatsache, dass anatomische Lehre überwiegend am fixierten veränderten Präparat erfolgt lässt schlussfolgern, dass eine Anatomie gelehrt wird, welche partiell nicht der klinischen Anatomie gleicht. Ein kontinuierlicher Dialog zwischen Anatomie und Klinik bildet die Grundlage für eine praxisnahe Lehre und somit fortschrittliche Medizin.



Contents lists available at ScienceDirect

Annals of Anatomy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/aanat

RESEARCH ARTICLE

Nameless in anatomy, but famous among surgeons:
The so called “deltotrapezoid fascia”Saskia Czerwonatis^a, Faramarz Dehghani^b, Hanno Steinke^a, Pierre Hepp^c,
Ingo Bechmann^{a,*}^a Institute of Anatomy, University of Leipzig, Leipzig, Germany^b Department of Anatomy and Cell Biology, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Halle (Saale), Germany^c Department of Orthopedics, Trauma and Plastic Surgery, University of Leipzig, Leipzig, Germany

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 November 2019

Received in revised form 6 February 2020

Accepted 8 February 2020

Keywords:

Deltotrapezoid fascia

Operative treatment acromioclavicular

luxation

Thiel-fixation

Formalin-fixation

Glycerol-fixation

Anatomical education

ABSTRACT

Acute dislocation of the acromioclavicular joint (AC-joint) often leads to disruption of the “deltotrapezoid fascia”, a common aponeurosis of the deltoid and the trapezoid muscles. Various studies demonstrated that its reconstruction is crucial for functional recovery. Textbooks of anatomy, however, fail to mention this prominent structure that is also not listed in the Terminologia Anatomica provided by the Federative Committee on Anatomical Terminology (FCAT). Here, we demonstrate that the delta-trapezoid fascia is hardly visible in formalin-fixed, but prominent in fresh specimen. We provide an extensive anatomical description based on 11 specimens derived from eight body donors and show, as a major finding that different fixations massively impact on the structural integrity of the DTF. We hypothesize that modern (minimal-invasive) surgical strategies unraveled many structures of fundamental function that are not known by anatomists and therefore not covered by anatomical education.

© 2020 Published by Elsevier GmbH.

1. Introduction

The acute dislocation of the acromioclavicular joint (AC-joint) is an often occurring injury in traumatology. AC-joint belongs to the joints most commonly affected by dislocation (Hindle et al., 2013), which is mostly caused by high impact sports injuries in male patients under 40 years (Chillemi et al., 2013). Besides Allman's, Horn's and Tossy's descriptions of the traumatic anatomy of a completely dislocated AC-joint, Rockwood's classification of 1984 is the most utilized and provides six types of severity (Allman, 1967; Horn, 1954; Ewerbeck et al., 2007; Warth et al., 2013). Besides Rockwood III being the most occurring type, Rockwood V is of surgical interest, because all stabilizing structures such as the coracoclavicular, the acromioclavicular ligaments and the delto-trapezoid fascia (DTF) are ruptured. The management depends on the type of the dislocation and it is still under debate whether operative versus conservative therapeutic approaches yield better results (Calvo et al., 2006; Fraser-Moodie et al., 2008; Schlegel et al., 2001).

Especially for young and active patients authors (Gstettner et al., 2008; Virtanen et al., 2013) recommend surgery in order to pre-

vent not only aesthetic problems, but also pain, weakness and deficiency. So far, there have been many investigations about surgical techniques, but the outcomes are difficult to compare. Several observations suggest that the reconstruction of the supraclavicular delta-trapezoid muscle complex which consists of the deltoid and trapezoid muscle and the DTF may be important. This allows horizontal movements and limits posterior movement and axial rotation of the clavicle (Lizaur et al., 2011, 1994). Current concepts propose that an open approach for Rockwood IV and V is necessary to reach the DTF, which is not possible by arthroscopic techniques (Tauber, 2013). So far, there are detailed investigations on the anatomy of the deltoid and trapezoid muscle and even the biomechanical influence of AC-joint instability (Kumar et al., 1997; Johnson et al., 1994) as well as the innervation of the subacromial region (Laumonerie et al., 2019), but the anatomy of the DTF has rarely been addressed (Lizaur et al., 1994; Ewerbeck et al., 2007; Fraser-Moodie et al., 2008). This may in part be due to the fact that the Terminologia Anatomica (TA) provided by the Federative Committee on Anatomical Terminology (FCAT) does not list the DTF, a structure under the focus of countless surgeons around the globe (Whitmore, 2011). One reason for the underestimation of the DTF may be that the structure –as we show here– is hardly visibly in formalin or alcohol-fixed tissues. In this study, we therefore give a detailed anatomical description of the DTF. Based on dissection of

* Corresponding author.

E-mail address: Ingo.Bechmann@medizin.uni-leipzig.de (I. Bechmann).

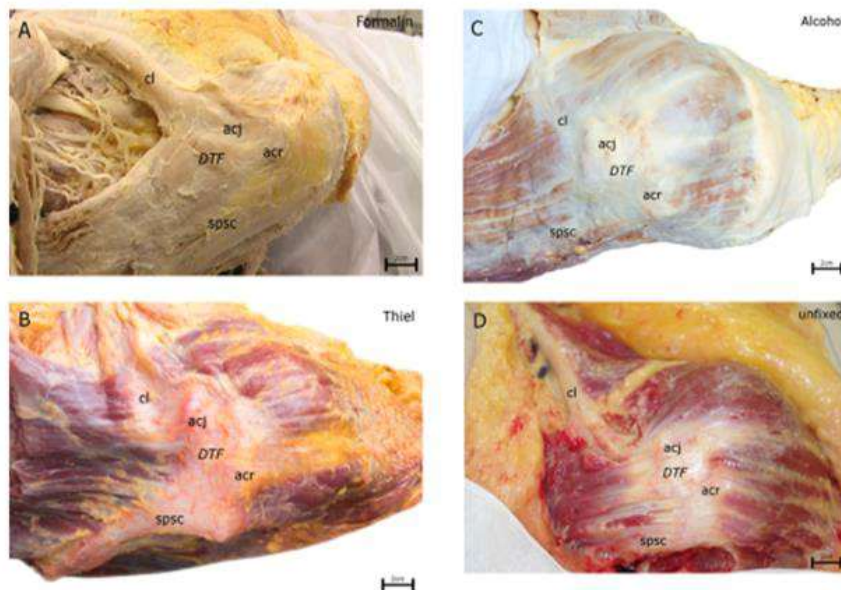


Fig. 1. A–D: Different presentations of the deltotrapezoid fascia. The DTF in human specimen. Right shoulder, cranio-lateral view. **A:** Formalin-fixed. **B:** Thiel-fixed. **C:** Alcohol-fixed. **D:** fresh specimen. *cl* clavicle. *acj* acromioclavicular joint. *acr* acromion. *spsc* spina scapulae. *DTF* deltotrapezoid fascia.

11 human specimens (three female, eight male) we provide average length, widths, histology, plastination and highlight topographic issues for clinical practice.

2. Materials and methods

As the macroscopic borders of the DTF were ill-defined in alcohol (Hammer et al., 2011, 2012), formalin, and Thiel-fixed tissues (Thiel, 1992; Hammer et al., 2015) used for the students' dissection course (Fig. 1, see Results), we studied fresh, non-fixed specimen with a post-mortem delay of less than 48 h. The Institute of Anatomy, University of Leipzig, received institutional approval for the use of post-mortem tissues which is part of the body donation program, regulated by the Saxonian Death and Funeral Act of 1994 (third section, paragraph 18 item 8). All body donors gave their informed and written consent to the donation of their bodies or body tissues before passing away. None of the body donors had an operative shoulder treatment in their history. Eleven shoulders of eight (three female, five male, mean age 82 years, Table 1) unfixed human cadavers were studied. Due to the shoulder positions and *post-mortem* delay of the body donors, five shoulders could not be dissected as explained in the following and were not processed for further investigation. In all shoulders the DTF was dissected by cutting from the medial to the lateral clavicle, removal of the skin and subdermal fat, and subsequent exposure of the deltoid muscle, the trapezoid muscle as well as parts of the pectoralis muscle, the clavicle and acromion. We then measured the width of the muscle insertion of the trapezoid and deltoid muscle on the clavicle, as well as length of the clavicle. In eleven specimens DTF was extracted and its expansion measured. Additionally, in seven cases the thickness above the acromioclavicular joint cavity was determined. One specimen was prepared for histological examination. Five μm paraffin sections were cut and stained with hematoxylin and eosin. Another unfixed, fresh frozen shoulder of a 64 old year male was cut frontally in apprehension position of the shoulder transecting the acromioclavicular joint. The slices

were then plastinated using 12 standard resin (Steinke, 2001). The occurring dry and transparent slices were scanned using directed light (Epson perfection V74 pro, Seiko Epson Corporation, Nagano, Japan).

3. Results

This study was initiated by a request of one of the authors (surgeon) to another (anatomist) as to the extension of DTF. The anatomist was unaware of this structure and invited the surgeon to the dissection room where it became evident that this structure is hardly discernable in fixed human tissues (Fig. 1). Only in unfixed specimen the borders of the DTF towards the deltoid and trapezoid muscles were preserved as observed *in situ* during surgery (Figs. 1D and 2 A–C). Therein, the DTF represented a macroscopic well discernable collagen structure which could be clearly distinguished from the surrounding muscle fibers of deltoid and trapezoid muscle (Fig. 1). In eleven dissected shoulders we could detect the fascia. It has a characteristic extension which varies in strength and width (Table 1). The fascia covers the very distal descending part of the trapezoid muscle passing the AC-joint and is running down the acromial part of the proximal deltoid muscle. The strongest fiber content was found in the trapezoid area as well as precisely across the acromioclavicular joint, where the collagen fibers are connected to the capsule of the joint. In two shoulders the fascia covered the whole acromion, in nine shoulders the fascia thinned down in the dorsal part of the acromion. Furthermore, it only touched the clavicular part of the deltoid muscle slightly, while the main component of the fascia reached the acromial part of the deltoid muscle. In the plastinate this part of fascia was seen continuing onto the acromioclavicular joint (Fig. 3). It was merging to the clavicle and the trapezius' fascial part. The apprehension position reveals the supraspinatus tendon with the subacromial-subdeltoid bursa near to the joint and thus to the DTF. In order to estimate inter-individual differences, we measured the mediolateral and ventrodorsal extension at the cleft of the acromio-clavicular joint in 0-position, the

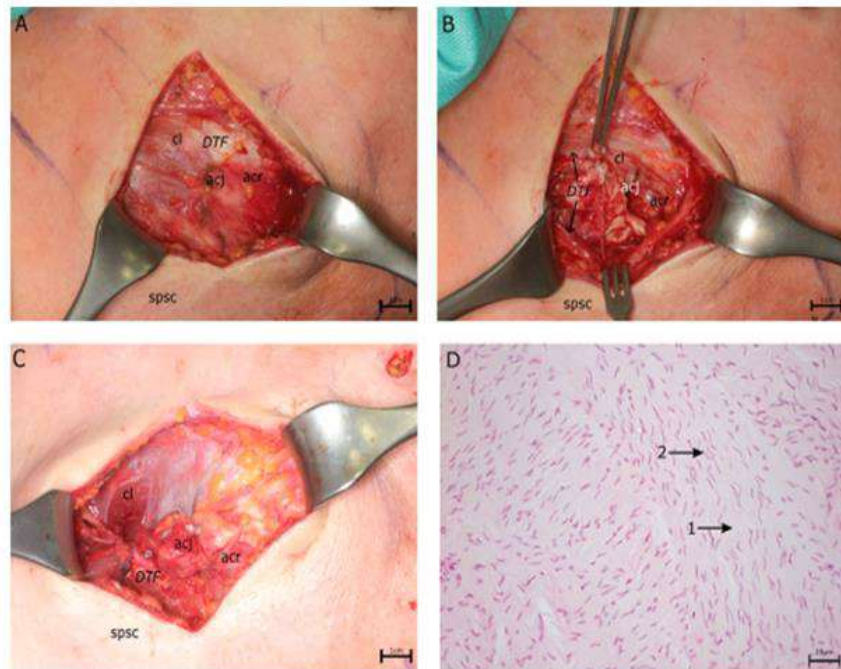


Fig. 2. A–C: The deltotrapezoid fascia in situ and D: Histological examination of the deltotrapezoid fascia. Situs of mini-open approach for the treatment of Rockwood V dislocation of a 55-year old patient (right shoulder) **A** before suturing the deltotrapezoid muscle complex **B**: ruptured deltotrapezoid muscle complex with ACJ cavity **C**: after suturing the muscle complex and the fascia. *cl* clavicle. *acj* acromioclavicular joint. *acr* acromion. *spsc* spina scapulae. *DTF* deltotrapezoid fascia. HE-Stain of the human DTF in 5 μ m Paraffin-Sections. **1** collagen fibers **2** fibrocytes

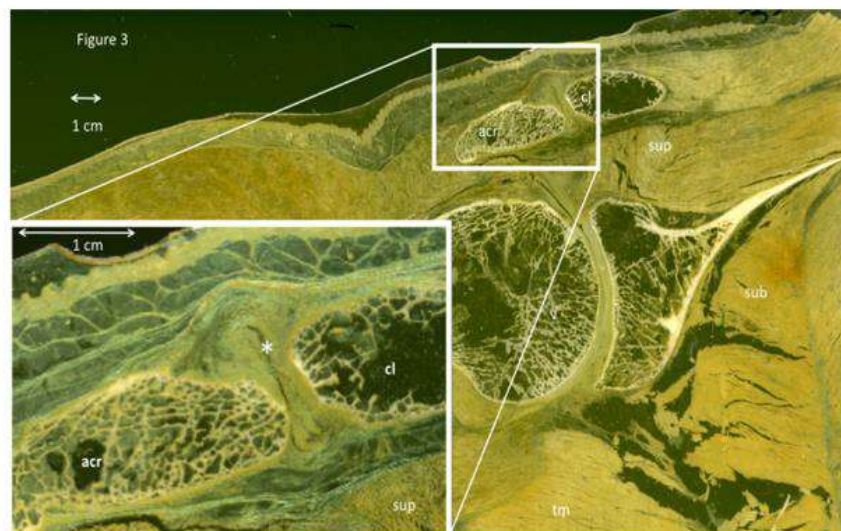


Fig. 3. Frontal plastinated slice of the deltotrapezoid fascia, humeral joint in apprehension position, 1 \times . The trapezius reaches the clavicle cranially and surrounds and covers the clavicle via its fascial continuing, the DTF. Laterally, the DTF continues to the deltoid muscle passing the acromioclavicular joint. Due to apprehension position, the major tubercle reaches the acromion and thus the tendon of the subscapularis. In this shoulder position, a tension of DTF due to the thickening AC-joint becomes visible in a higher magnification, and thus the functional connection of the DTF to other fascial components (inset, 4 \times). The DTF covers the subacromial gliding space with the subacromial-subdeltoid bursa (SSB). *tr* trapezoid muscle, descending part. *de* deltoid muscle, clavicular part. *cl* clavicle. *sub* subscapularis. *sup* teres major. *tm* teres major. * AC joint cavity. *SSB* subacromial gliding space with the subacromial-subdeltoid bursa.

Table 1

Shoulder Specimen and measurement of the deltotrapezoid fascia. Results of measuring the deltotrapezoid fascia show wide inter-individual differences. Specimen shoulder r right/left/sex m male/f female. ML mediolateral expansion. VD ventrodorsal expansion De width deltoid part. Tr width trapezoid part. Thickness of DTF above acromioclavicular joint.

Specimen Shoulder/sex	Age (Years)	ML (mm)	VD (mm)	L (mm)	De (mm)	Tr (mm)	Thickness (mm)
1 r, m	75	26	56	153	50	60	–
2 l, m	75	26	56	152	50	60	–
3 r, f	78	37	72	163	96	81	–
4 r, m	98	27	57	153	53	59	–
5 r, m	85	33	61	168	55	60	2
6 l, m	85	32	60	167	55	60	2
7 l, m	74	24	56	151	53	55	1
8 l, f	88	38	66	164	40	51	2
9 l, f	87	36	58	145	40	51	1
10 l, m	79	61	84	168	55	41	2
11 r, m	79	61	84	168	56	40	2
Mean	82.09	36	64	159	55	56	1.7
Median		33	60	163	53	59	2

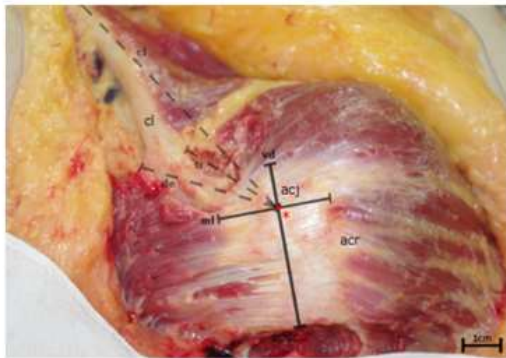


Fig. 4. Schematic illustration of the deltotrapezoid fascia's measurements. Point of reference for taking measurements was the acromioclavicular joint cavity. Out from there the mediolateral expansion and ventrodorsal expansion were measured. The thickness was measured above the acromioclavicular joint cavity. ml mediolateral. vd ventrodorsal. tr trapezoid muscle, descending part. de deltoid muscle, clavicular part. cl clavicle. * AC joint cavity.

length of the clavicle as well as the length of the connection of the deltoid and trapezoid muscle at the clavicle (Fig. 4). The mediolateral extension ranged from 24 mm to 61 mm (mean 36 mm, median 33 mm), the ventrodorsal expansion from 56 mm to 84 mm (mean 64 mm, median 60 mm), length of clavicle from 151 mm to 168 mm (mean 159 mm, median 163 mm), the width of the deltoid connection at the clavicle ranged from 40 mm to 96 mm (mean 55 mm, median 53 mm), the width of the trapezoid connection at the clavicle from 40 mm to 81 mm (mean 56 mm, median 59 mm).

Upon measuring these parameters, we dissected the DTF from the capsule of the acromio-clavicular joint with a scalpel as both structures are strongly interconnected. The thickness of the DTF varied between one and two mm (mean 1.7 mm, median 2.0 mm). As anticipated, histological examination of the DTF revealed the typical pictures of taut connective tissue (*textus connectivus collagenosus compactus irregularis*) (Fig. 2D). The projection of the acromioclavicular joint on the DTF is shown in Fig. 3.

4. Discussion

Many studies reported the importance of suturing the DTF for better recovery upon operative treatment of AC-joint luxation. In fact, it has been shown that lesions of the DTF significantly increase the instability of the AC-joint (Pastor et al., 2016) and accord-

ingly, interest in the DTF shows a remarkable renaissance (Azar et al., 2019; Laumonerie et al., 2019). Here, 11 human shoulders from eight individuals were dissected to give a detailed anatomical description of the DTF, as fascia represent important structures for wound healing and proprioception and thus, anatomical knowledge of these structures are important for the appropriate therapy of dislocation and recovery after shoulder injury. Such fascial connection of the DTF reveal slices of unfixed specimens (Fig. 3). The DTF is seen attached via the acromioclavicular joint to the subacromial gliding space with the subacromial-subdeltoid bursa (SSB; Fig. 3) (Braune, 1875; Chiquet et al., 2009; Desmoulière et al., 2005; Grinnell, 2008; Kwong and Findley, 2014; Pfuhl, 1933; Schleip et al., 2012). In platinates, the DTF appears to be a continuation of the muscle layers of the trapezius muscle distal to the deltoid muscle passing the AC-joint. Thus, the DTF consists of perimysial parts of the muscle, parts of the joint capsule, and the periosteum of both clavicle and acromion which all are part of the deep fascia (Stecco and Hammer, 2015; Steinke, 2018). As a limitation, we need to state that the specimen studied here derive from body donors who passed away with a mean age of 82 years, while more than half of AC-dislocations affect male patients under 40 years (Chillemi et al., 2013). As fascia changes throughout life (Behrendt and Strauch, 1965; Kretschmann, 1963; Rother et al., 1989; Vidinov et al., 1990), the measurements provided in Table 1 and Fig. 5 may differ from respective data collected in a group of young individuals. However, our data show wide inter-individual differences which can be taken into account, but do not allow statements as to the development of the DTF throughout life.

We regard it as a major finding of this study that fixation with formalin, alcohol/glycerol (Hammer et al., 2012, 2011; Hammer et al., 2015) and according to Thiel (Thiel, 1992) massively impacts on the structural integrity of the DTF which was hardly discernable in such specimen, as this may also apply to other structures approached by surgeons, but are less popular among anatomists. Our study may thus initiate a structured dialogue between the two groups in order to cover in anatomical education what is required in practice and is needed to at least understand what is mentioned in the clinics. As for the DTF, one may consider redefining it as deltotrapezial aponeurosis (DTA) as it constitutes a common insertion of the deltoid and the trapezoid muscles. In fact, this wording has been used already in prominent textbooks (e.g. Rockwood & Green's Fractures in Adults 2010; Disorders of the Shoulder by Iannotti, Williams, Miniaci 2013). However, cutting the unfixed fascial components and staining them could reveal the mesh-like wide spreading fascial connections (Steinke et al., 2017; Steinke, 2018) thus helping to uncover together more functionally relevant "structures".

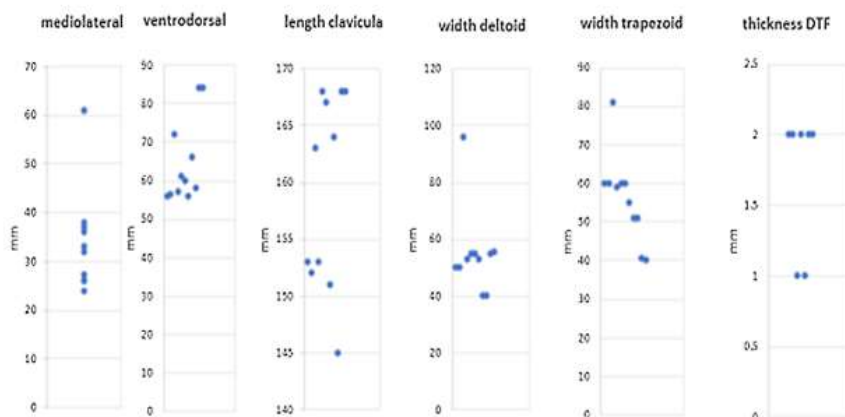


Fig. 5. graphic illustration of measurements.

As shown in Fig. 3 we measured the width of the muscle insertion of the trapezoid and deltoid muscle on the clavicle, as well as length of the clavicle. In eleven specimens DTF was extracted and its expansion measured showing wide inter-individual differences. In seven cases the thickness above the acromioclavicular joint cavity was determined.

Ethical statement

The authors declare to have kept all ethical standards.

Acknowledgement

We thank our body donors: their generous decision allowed us to perform this study.

References

- Allman, F.L., 1967. Fractures and ligamentous injuries of the clavicle and its articulation. *J. Bone Jt. Surg.* 49, 774–784.
- Azar, F., Pfeifer, C., Alt, V., Pregler, B., Weiss, I., Mayr, A., Kerschbaum, M., 2019. Clavicle elevation or shoulder girdle depression in acromioclavicular joint dislocation: a radiological investigation. *Orthop. J. Sports Med.* 7 (11), 232596711987992–232596711987996.
- Behrendt, W., Strauch, G., 1965. Die Feinstruktur des menschlichen Stimmbandes in Abhängigkeit vom Lebensalter. *Archiv f. Ohren-, Nasen- u. Kehlkopfheilkunde* 184, 510–520.
- Braune C. W., 1875. *Topographisch-anatomischer Atlas*. Leipzig, Veit.
- Calvo, E., López-Franco, M., Arribas, I.M., 2006. Clinical and radiologic outcomes of surgical and conservative treatment of type III acromioclavicular joint injury. *J. Shoulder Elbow Surg.* 15, 300–305.
- Chillemi, C., Franceschini, V., Dei Giudici, L., et al., 2013. Epidemiology of isolated acromioclavicular joint dislocation. *Emerg. Med. Int.* 2013, 171609.
- Chiquet, M., Gelman, L., Lutz, R., Maier, S., 2009. From mechanotransduction to extracellular matrix gene expression in fibroblasts. *Biochim. Biophys. Acta* 1793, 911–920.
- Desmoulière, A., Chaponnier, C., Gabbiani, G., 2005. Tissue repair, contraction, and the myofibroblast. *Wound Repair Regen.* 13, 7–12.
- Ewerbeck, V., Holz, F., Krämer, K.-L., Pfeil, J., Sabo, D., Wentzensen, A., 2007. Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie. THIEME, Stuttgart. <http://dx.doi.org/10.1055/b-001-39>, Available from:
- Fraser-Moodie, J.A., Shortt, N.L., Robinson, C.M., 2008. Injuries to the acromioclavicular joint. *J. Bone Jt. Surg.* 90, 697–707.
- Grinnell, F., 2008. Fibroblast mechanics in three-dimensional collagen matrices. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 12, 191–193.
- Gstettner, C., Tauber, M., Hitzl, W., Resch, H., 2008. Rockwood type III acromioclavicular dislocation. Surgical versus conservative treatment. *J. Shoulder Elbow Surg.* 17, 220–225.
- Hammer, N., Löffler, S., Feja, C., Bechmann, I., Steinke, H., 2011. Substitution of formaldehyde in cross anatomy is possible. *J. Natl. Cancer Inst.* 103, 610–611.
- Hammer, N., Löffler, S., Feja, C., et al., 2012. Ethanol-glycerin fixation with thymol conservation. A potential alternative to formaldehyde and phenol embalming. *Anat. Sci. Educ.* 5, 225–233.
- Hammer, N., Löffler, S., Bechmann, I., Steinke, H., Hädrich, C., Feja, C., 2015. Comparison of modified Thiel embalming and ethanol-glycerin fixation in an anatomy environment. Potentials and limitations of two complementary techniques. *Anat. Sci. Educ.* 8, 74–85.
- Hindle, P., Davidson, E.K., Biant, L.C., Court-Brown, C.M., 2013. Appendicular joint dislocations. *Injury* 44, 1022–1027.
- Horn, J.S., 1954. The traumatic anatomy and treatment of acute acromio-clavicular dislocation. *J. Bone Jt. Surg.* 36-B, 194–201.
- Johnson, G., Bogduk, N., Nowitzke, A., House, D., 1994. Anatomy and actions of the trapezius muscle. *Clin. Biomech.* 9, 44–50.
- Kretschmann, H.-J., 1963. Fluoreszenz-polarisationsmikroskopische Analyse der Ultrastruktur von Elastikalamenten und Elastikafasern. *Zeitschrift für Zellforschung* 60, 7–68.
- Kumar, V.P., Satku, K., Liu, J., Shen, Y., 1997. The anatomy of the anterior origin of the deltoid. *J. Bone Jt. Surg.* 79, 680–683.
- Kwong, E.H., Findley, T.W., 2014. Fascia—current knowledge and future directions in physiatry. Narrative review. *J. Rehabil. Res. Dev.* 51, 875–884.
- Laumonerie, P., Blasco, L., Tibbo, M.E., Bonneville, N., Labrousse, M., Chanynes, P., Mansat, P., 2019. Sensory innervation of the subacromial bursa by the distal suprascapular nerve: a new description of its anatomic distribution. *J. Shoulder Elbow Surg.* 28 (9), 1788–1794.
- Lizaur, A., Marco, L., Cebrian, R., 1994. Acute dislocation of the acromioclavicular joint. Traumatic anatomy and the importance of deltoid and trapezius. *J. Bone Jt. Surg.* 76, 602–606.
- Lizaur, A., Sanz-Reig, J., Gonzalez-Parreño, S., 2011. Long-term results of the surgical treatment of type III acromioclavicular dislocations. An update of a previous report. *J. Bone Jt. Surg.* 93, 1088–1092.
- Pastor, M.F., Averbeck, A.K., Welke, B., Smith, T., Claassen, L., Wellmann, M., 2016. The biomechanical influence of the deltotrapezoid fascia on horizontal and vertical acromioclavicular joint stability. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 136, 513–519.
- Pfuhl, W., 1933. Das subacromiale Nebengelenk des Schultergelenkes. *Gegenbauers Morph Jahrbuch* 73, 300–345.
- Rother, P., Leutert, G., Keller, F., Schützenmeister, I., 1989. Morphometrische Beweise für funktionsabhängiges Altern. *Z. Altersforsch.* 44, 219–223.
- Schlegel, T.F., Burks, R.T., Marcus, R.L., Dunn, H.K., 2001. A prospective evaluation of untreated acute grade III acromioclavicular separations. *Am. J. Sports Med.* 29, 699–703.
- Schleip, R., Jäger, H., Klingler, W., 2012. What is fascia? A review of different nomenclatures. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 16, 496–502.
- Stecco, C., Hammer, W., 2015. *Functional Atlas of the Human Fascial System*. Churchill Livingstone Elsevier, Edinburgh [etc.].
- Steinke, H., 2001. Plastinated body slices for verification of magnetic resonance tomography images. *Ann. Anat.* 183, 275–281.
- Steinke, H., 2018. *Atlas of Human Fascial Topography*. Photography by Anna Rowedder, 1st edition. Leipziger Universitätsverlag, Leipzig.
- Steinke, H., Wiersbicki, D., Speckert, M.-L., Merkwitz, C., Wolfskämpf, T., Wolf, B., 2017. Periodic acid-Schiff (PAS) reaction and plastination in whole body slices. A novel technique to identify fascial tissue structures. *Ann. Anat.* 216, 29–35.
- Tauber, M., 2013. Management of acute acromioclavicular joint dislocations. *Current concepts. Arch. Orthop. Trauma Surg.* 133, 985–995.
- Thiel, W., 1992. Die konservierung ganzer leichen in natürlichen farben. *Ann. Anat.* 174, 185–195.
- Vidinov, N., Vasilev, V., Keller, F., Wolff, W., Leutert, G., 1990. Changes in the distribution of proteinpolysaccharide complexes within the articular cartilage in experimental osteoarthritis. *Z. Mikrosk. Forsch.* 104, 140–146.
- Virtanen, K.J., Remes, V.M., Tulikoura, I.T.A., et al., 2013. Surgical treatment of Rockwood grade-V acromioclavicular joint dislocations. 50 patients followed for 15–22 years. *Acta Orthop.* 84, 191–195.
- Warth, R.J., Martetschläger, F., Gaskill, T.R., Millett, P.J., 2013. Acromioclavicular joint separations. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* 6, 71–78.
- Whitmore, L., 2011. *Terminologia Anatomica*. International Anatomical Terminology: FIPAT, Federative International Programme on Anatomical Terminologies. THIEME, Stuttgart.

3. Zusammenfassung

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. med.

Nameless in anatomy, but famous among surgeons: The so called “deltotrapezoid fascia”

eingereicht von:

Saskia Czerwonatis

Geboren am 29.05.1987 in Lutherstadt Wittenberg

angefertigt:

an dem Institut für Anatomie, Universität Leipzig

an der Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Wiederherstellungschirurgie, Universität Leipzig

betreut von

Prof. Dr.med. Ingo Bechmann

Prof. Dr.med. Pierre Hepp

Dezember 2020

Die acromioclaviculare Gelenksluxation ist eine häufige Verletzung sportlich aktiver, insbesondere jüngerer, Patienten. Vor allem Sportarten wie Ski oder Eishockey sind mit diesem Verletzungsmuster assoziiert. Die hochgradige Instabilität des Acromioclaviculargelenks (ACG) ist eine komplexe und relevante Verletzung des Schultergürtels, die zu anhaltenden Schmerzen und Funktionsbeeinträchtigungen führen, sowie einen akuten sowie chronischen Verlauf zeigen kann. Patienten mit einer akuten acromioclavicularen Gelenksluxation geben häufig an einen Sturz auf den

ausgestreckten Arm oder direkt auf die Schulter erlitten zu haben. Pathognomonisch ist der Claviculahochstand, welcher durch den Scapulatiefstand relativ entsteht. Häufig besteht ein Druckschmerz direkt über dem ACG. Die konventionell-radiologische Bildgebung mit ZANCA-Aufnahme, sowie Inlet und Outlet- Aufnahme ist die Diagnostik der Wahl. Die klinische Einteilung erfolgt anhand der Rockwood-Klassifikation, welche die Einteilung nach Tossy zunehmend ablöste. Dabei zeigt sich ausgehend von einer Zerrung des Bandapparats eine zunehmende horizontale und vertikale Instabilität des ACG. Rockwood VI beschreibt die Ruptur der stabilisierenden Ligamente, der deltotrapezoidalen Faszie (DTF) und muskuläre Abrissverletzung des Musculus deltoideus und Musculus trapezius vom lateralen Ende der Clavicula mit claviculärer inferiorer Dislokation unter das Acromion und Processus coracoideus. Die Evidenzlage in der Literatur ist hinsichtlich des optimalen Therapieverfahrens schwach. Je nach Schweregrad werden konservative oder operative Therapie empfohlen, hinsichtlich letzterer stehen offene und arthroskopische Verfahren zur Auswahl. Vor allem die Arthroskopie konnte sich zunehmend als Therapiestandard etablieren. Während des offenen sowie arthroskopischen Verfahrens stellt die Naht der DTF einen wesentlichen Therapieschritt dar. Die Naht oder Raffung dieser Struktur soll dem ACG Stabilität in anterior-superior Richtung verleihen. Dadurch kann die funktionelle Stabilität des gesamten Schultergelenks erhöht und die Wahrscheinlichkeit von chronischen Instabilitäten mit resultierenden Schmerzzuständen vermindert werden. Obgleich diese anatomische Entität in der Klinik, vor allem in der chirurgischen Therapie des ACG, eine gebräuchliche Terminologie darstellt, findet man den Terminus in grundlegender anatomischer Literatur sowie in internationalen terminologischen Standardwerken vergebens. Das Federative International Committee for Anatomical Terminology (FICAT) ist eine Arbeitsgruppe, welche sich mit Bezeichnungen morphologischer Strukturen in Anatomie, Histologie und Embryologie des menschlichen Körpers beschäftigt. Auf Grundlage des gemeinsamen Interesses eine international gebräuchliche Sprache zu etablieren, welche den wissenschaftlichen medizinischen Austausch und Fortschritt bahnen und erleichtern sollen, wurde 1998 die Terminologia anatomica (TA) als erstes internationales Standardwerk publiziert. Sie enthält über 7500 makroskopische Strukturen und stellt die Basis für medizinische Ausbildung, Lehre und Wissenschaft weltweit dar. Die Struktur DTF wird in der TA nicht gelistet. In der anatomischen Lehre am fixierten Präparat, wie es weitestgehend an deutschen Hochschulen Usus ist, trifft der Student nicht auf die DTF. Der formverändernde Einfluss gängiger Gewebefixierung lässt die makroskopische Struktur verblassen, die im operativen Situs unübersehbar ist.

Ziel dieser Arbeit ist, die DTF als anatomische Struktur zu untersuchen, zu beschreiben und anatomisch zu etablieren, welche in der operativen Therapie der hochgradigen acromioclavicularen Gelenksluxation einen festen Bestandteil darstellt. Aufgrund des strukturverändernden Einflusses gängiger anatomischer Fixierungen, welche auch in der anatomischen Lehre verwendet werden,

wurden zunächst elf unfixierte Schulterpräparate von acht Körperspendern (drei weiblich, fünf männlich) des Anatomischen Instituts der Universität Leipzig sezziert. Der Todeszeitpunkt betrug weniger als 48 Stunden. Alle Körperspender gaben vor Ableben ihr schriftliches Einverständnis für die Verwendung ihrer Körper oder Gewebe. Keine der untersuchten Schulterpräparate hatte einen operativen Eingriff in der Schultergelenksregion. Aufgrund von Schulterposition und Gewebeveränderung bei unfixierten Präparaten konnten fünf Schultern nicht, wie folgend beschrieben, untersucht werden. Die Cutis wurde entlang der medialen zur lateralen Clavicula durchtrennt. Präparieren durch Subkutis und Darstellen des Musculus deltoideus, partiell des Musculus trapezius sowie anteiliger Musculus pectoralis major, des Acromions, der Clavicula sowie des ACG. Messen des Muskelansatz von Musculus trapezius und Musculus deltoideus, sowie der Clavicularlänge. Elf DTF wurden abpräpariert und deren Ausdehnung gemessen. Zusätzlich wurde die Dicke der DTF über dem acromioclavicularen Gelenkspalt gemessen. Ein Präparat wurde histologisch untersucht, ein weiteres wurde frontal in Apprehension-Position durch das ACG transseziert und plastiniert. Nur in unfixierten Präparaten konnte die DTF von umgebenden Strukturen makroskopisch abgegrenzt werden, wie es auch im operativen Situs möglich ist. Sie stellt sich als makroskopisch gut erkennbare Struktur dar, welche sich klar von den muskulären Anteilen des Musculus trapezius, pars descendens und Musculus deltoideus, pars acromialis abgrenzen lässt. Am kräftigsten ausgeprägt zeigt sich die DTF im trapezoidalen Anteil, sowie direkt über dem Acromioclaviculargelenk. In allen elf sezzierten Präparaten konnten wir die DTF darstellen. Sie zeigt einen charakteristischen Verlauf mit Varianz in Stärke und Ausbreitung. Makroskopisch zeigt sie sich beginnend am distalen Teil der pars descendens des Musculus trapezius in die pars acromialis des Musculus deltoideus ziehend. Dabei überquert sie den acromioclavicularen Gelenkspalt, wo sich die Faszie am stärksten ausgeprägt zeigte und Kollagenfasern mit der Gelenkkapsel verwachsen sind. In neun von elf Schulterpräparaten dünnte die Faszie in den dorsalen Anteil des Acromions aus. In zwei Präparaten wurde das gesamte Acromion durch die Faszie bedeckt. Der Hauptanteil der Faszie reichte bis zur pars acromialis des Musculus deltoideus. In der Plastination zeigte sich dieser Anteil der DTF bis in das ACG ziehend und dünnte zur Clavicula und dem trapezoidalen Anteil hin aus. Die mediolaterale Ausbreitung variierte von 24 mm bis 61 mm und die ventrodorsale Ausbreitung von 56 mm bis 84 mm. Die Dicke der Faszie über dem acromioclavicularen Gelenkspalt reichte von 1 mm bis 2 mm. In der histologischen Untersuchung zeigte sich das typische Bild eines Textus connectivus collagenosus compactus irregularis. Folgend enthält die DTF Perimyseum, Anteile der Gelenkkapsel und auch Periost von Acromion und Clavicula und kann somit als Fascia profunda klassifiziert werden. Die Fixierung mit Formalin, Alkohol/Glycerol und Thiel hatte massiven Einfluss auf die strukturelle Beschaffenheit der DTF. So konnte das Faszien-gewebe nicht, wie im operativen Situs, makroskopisch vom umgebenden Gewebe abgegrenzt werden. Auf Grundlage dieser Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass anatomische Strukturen

im klinischen Alltag Bedeutung haben, welche in internationalen terminologischen Standardwerken sowie in grundlegender anatomischer Literatur nicht zu finden sind. Die Tatsache, dass anatomische Lehre überwiegend am fixierten veränderten Präparat erfolgt lässt schlussfolgern, dass eine Anatomie gelehrt wird, welche partiell nicht der klinischen Anatomie gleicht. Ein kontinuierlicher Dialog zwischen Anatomie und Klinik bildet die Grundlage für eine praxisnahe Lehre und somit fortschrittliche Medizin.

4. Literaturverzeichnis

- Adstrum, S., Hedley, G., Schleip, R., Stecco, C., & Yucesoy, C. A. (2017). Defining the fascial system. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2016.11.003>
- Ajimsha, M. S., Al-Mudahka, N. R., & Al-Madzhar, J. A. (2015). Effectiveness of myofascial release: Systematic review of randomized controlled trials. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2014.06.001>
- Aumüller, G. (2010). Gefäßversorgung und Innervation von Schulter, Oberarm und Ellenbogen. In *Duale Reihe: Anatomie* (pp. 412–422). Georg Thieme Verlag KG.
- Beitzel, K., Cote, M. P., Apostolakos, J., Solovyova, O., Judson, C. H., Ziegler, C. G., Edgar, C. M., Imhoff, A. B., Arciero, R. A., & Mazzocca, A. D. (2013). Current concepts in the treatment of acromioclavicular joint dislocations. In *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2012.11.023>
- Beitzel, K., Mazzocca, A. D., Bak, K., Itoi, E., Kibler, W. B., Mirzayan, R., Imhoff, A. B., Calvo, E., Arce, G., & Shea, K. (2014). ISAKOS upper extremity committee consensus statement on the need for diversification of the rockwood classification for acromioclavicular joint injuries. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.11.005>
- Boileau, P., Old, J., Gstaald, O., Brassart, N., & Roussanne, Y. (2010). All-Arthroscopic Weaver-Dunn-Chuinard Procedure With Double-Button Fixation for Chronic Acromioclavicular Joint Dislocation. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2009.08.008>
- Bordoni, B., & Varacallo, M. (2018). Anatomy, Fascia. In *StatPearls*.
- Burkhart, S. S., Morgan, C. D., & Kibler, W. Ben. (2003). The disabled throwing shoulder: Spectrum of pathology part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation. In *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*. [https://doi.org/10.1016/S0749-8063\(03\)00389-X](https://doi.org/10.1016/S0749-8063(03)00389-X)
- Ceccarelli, E., Bondí, R., Alvití, F., Garofalo, R., Miulli, F., & Padua, R. (2008). Treatment of acute grade III acromioclavicular dislocation: A lack of evidence. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*. <https://doi.org/10.1007/s10195-008-0013-7>
- Craig, A. D. (2003). Interoception: The sense of the physiological condition of the body. In *Current Opinion in Neurobiology*. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(03\)00090-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(03)00090-4)
- Critchley, H. D., & Garfinkel, S. N. (2017). Interoception and emotion. In *Current Opinion in*

Psychology. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.04.020>

Gatt, A., & Zito, P. M. (2018). Anatomy, Skin, Fascias. In *StatPearls*.

Gstettner, C., Tauber, M., Hitzl, W., & Resch, H. (2008). Rockwood type III acromioclavicular dislocation: Surgical versus conservative treatment. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2007.07.017>

Gumina, S., Carbone, S., & Postacchini, F. (2009). Scapular Dyskinesia and SICK Scapula Syndrome in Patients With Chronic Type III Acromioclavicular Dislocation. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2008.08.019>

Hammer, N., Löffler, S., Feja, C., Sandrock, M., Schmidt, W., Bechmann, I., & Steinke, H. (2012). Ethanol-glycerin fixation with thymol conservation: A potential alternative to formaldehyde and phenol embalming. *Anatomical Sciences Education*. <https://doi.org/10.1002/ase.1270>

Hammer, N., Voigt, C., Werner, M., Hoffmann, F., Bente, K., Kunze, H., Scholz, R., & Steinke, H. (2014). Ethanol and formaldehyde fixation irreversibly alter bones' organic matrix. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2013.09.008>

Hauptmann, M., Stewart, P. A., Lubin, J. H., Beane Freeman, L. E., Hornung, R. W., Herrick, R. F., Hoover, R. N., Fraumeni, J. F., Blair, A., & Hayes, R. B. (2009). Mortality from lymphohematopoietic malignancies and brain cancer among embalmers exposed to formaldehyde. *Journal of the National Cancer Institute*. <https://doi.org/10.1093/jnci/djp416>

Hedtmann, a, Fett, H., & Ludwig, J. (1998). Management of old neglected posttraumatic acromioclavicular joint instability and arthrosis. *Der Orthopade*.

Jensen. (2015). Verletzungen des Akromioklavikulargelenks. Hakenplatte vs. Arthroskopie. *Der Unfallchirurg*, 119, 132.

Jensen, G., Katthagen, C., Lill, H., & Voigt, C. (2013). Aktuelle Versorgungsstrategien bei Schulterreckgelenkinstabilitäten. In *Trauma und Berufskrankheit*. <https://doi.org/10.1007/s10039-012-1904-7>

Kibler, W. Ben, & McMullen, J. (2003). Scapular dyskinesia and its relation to shoulder pain. In *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. <https://doi.org/10.5435/00124635-200303000-00008>

Kienast, B., Thietje, R., Queitsch, C., Gille, J., Schulz, A. P., & Meiners, J. (2011). Mid-term results after operative treatment of Rockwood Grade III-V acromioclavicular joint dislocations with an AC-

-
- hook-plate. *European Journal of Medical Research*. <https://doi.org/10.1186/2047-783x-16-2-52>
- Korf, H. W., Wicht, H., Snipes, R. L., Timmermans, J. P., Paulsen, F., Rune, G., & Baumgart-Vogt, E. (2008). The dissection course - necessary and indispensable for teaching anatomy to medical students. *Annals of Anatomy*. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2007.10.001>
- Lancerotto, L., Tocco, I., Salmaso, R., Vindigni, V., & Bassetto, F. (2012). Necrotizing fasciitis: Classification, diagnosis, and management. In *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e318232a6b3>
- Lau, F. H., & Pomahac, B. (2014). Wound healing in acutely injured fascia. In *Wound repair and regeneration : official publication of the Wound Healing Society [and] the European Tissue Repair Society*. <https://doi.org/10.1111/wrr.12165>
- Martetschläger, F., Kraus, N., Scheibel, M., Streich, J., Venjakob, A., & Maier, D. (2019). The diagnosis and treatment of acute dislocation of the acromioclavicular joint. *Deutsches Aerzteblatt Online*. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2019.0089>
- Mausser, N., Gissel, H., Henderson, C., Hao, J., Hak, D., & Mauffrey, C. (2013). Acute lower-leg compartment syndrome. *Orthopedics*. <https://doi.org/10.3928/01477447-20130724-07>
- Mazzocca, A. D., Arciero, R. A., & Bicos, J. (2007). Evaluation and treatment of acromioclavicular joint injuries. In *American Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1177/0363546506298022>
- Murena, L., Canton, G., Vulcano, E., & Cherubino, P. (2013). Scapular dyskinesia and SICK scapula syndrome following surgical treatment of type III acute acromioclavicular dislocations. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-1959-9>
- Nielsen, G. D., Larsen, S. T., & Wolkoff, P. (2017). Re-evaluation of the WHO (2010) formaldehyde indoor air quality guideline for cancer risk assessment. In *Archives of Toxicology*. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1733-8>
- Nolte, P. C., Lacheta, L., Dekker, T. J., Elrick, B. P., & Millett, P. J. (2020). Optimal management of acromioclavicular dislocation: Current perspectives. *Orthopedic Research and Reviews*. <https://doi.org/10.2147/ORR.S218991>
- Patzer, T., Clauss, C., Kühne, C. A., Ziring, E., Efe, T., Ruchholtz, S., & Mann, D. (2013). Arthroscopically assisted reduction of acute acromioclavicular joint separations: Comparison of clinical and radiological results of single versus double TightRope™ technique. *Unfallchirurg*. <https://doi.org/10.1007/s00113-011-2135-2>
- Pauly, S., Gerhardt, C., Haas, N. P., & Scheibel, M. (2009). Prevalence of concomitant intraarticular

-
- lesions in patients treated operatively for high-grade acromioclavicular joint separations. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. <https://doi.org/10.1007/s00167-008-0666-z>
- Richard L. Drake. (2011). *Terminologia Anatomica* (2nd Edition). Thieme.
- Rockwood. (1984). Injuries in the acromioclavicular joint – sublocations and dislocations about the shoulder. In *Fractures in adults* (pp. 860–910). Lippincott.
- Rumschik, U., & Wittner, B. (2002). Topographie und funktionelle Anatomie des Schultergelenks. *OP-Journal*. <https://doi.org/10.1055/s-2007-977594>
- Scheibel, M., Dröschel, S., Gerhardt, C., & Kraus, N. (2011). Arthroscopically assisted stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations. *American Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1177/0363546511399379>
- Schleip, R., Jäger, H., & Klingler, W. (2012). What is “fascia”? A review of different nomenclatures. In *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2012.08.001>
- Scillia, A. J., & Cain, E. L. (2015). Acromioclavicular Joint Reconstruction. *Arthroscopy Techniques*. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2015.08.014>
- Song, T., Yan, X., & Ye, T. (2016). Comparison of the outcome of early and delayed surgical treatment of complete acromioclavicular joint dislocation. In *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3225-9>
- Stecco, C., Porzionato, A., Lancerotto, L., Stecco, A., Macchi, V., Ann Day, J., & De Caro, R. (2008). Histological study of the deep fasciae of the limbs. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2008.04.041>
- Stecco, C., Tiengo, C., Stecco, A., Porzionato, A., Macchi, V., Stern, R., & De Caro, R. (2013). Fascia redefined: Anatomical features and technical relevance in fascial flap surgery. In *Surgical and Radiologic Anatomy*. <https://doi.org/10.1007/s00276-012-1058-0>
- Tauber, M. (2017). Bildgebung in der Schulter- und Ellenbogenchirurgie: Schulterreckgelenksprengung – akut und chronisch. *Obere Extremität*, 12(Suppl.1(34)), 5.
- Tauber, Mark, Gordon, K., Koller, H., Fox, M., & Resch, H. (2009). Semitendinosus tendon graft versus a modified Weaver-Dunn procedure for acromioclavicular joint reconstruction in chronic cases: A prospective comparative study. *American Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1177/0363546508323255>
- Tischer, T., Salzmann, G. M., El-Azab, H., Vogt, S., & Imhoff, A. B. (2009). Incidence of associated injuries with acute acromioclavicular joint dislocations types III through V. *American Journal of*

Sports Medicine. <https://doi.org/10.1177/0363546508322891>

Tossy, J. D., Mead, N. C., & Sigmond, H. M. (1963). Acromioclavicular separations: useful and practical classification for treatment. *Clinical Orthopaedics and Related Research*.
<https://doi.org/10.1097/00003086-196300280-00012>

Via, A. G., Oliva, F., Spoliti, M., & Maffulli, N. (2015). Acute compartment syndrome. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*. <https://doi.org/10.32098/mltj.01.2015.04>

5. Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar eine Vergütung oder geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben in Bezug auf die Zulassung der klinischen Studien und die allgemeinen Datenschutzbestimmungen wurden eingehalten. Ich versichere, dass ich die Regelungen der Satzung der Universität Leipzig zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis kenne und eingehalten habe.

1.11.2020

Datum



Unterschrift

6. Erklärung über die Darstellung des eigenen Beitrags

Hiermit bestätigen wir, dass Saskia Czerwonatis in folgenden Bereichen an der Erstellung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Publikation beteiligt war:

- Durchführung der Präparationen
- Durchführung der Datenerhebung
- Statistische Auswertung
- Anfertigen der Tabellen
- Literaturrecherche
- Schreiben der Publikation

Erstautor der Publikation ist Saskia Czerwonatis. Co-Autoren sind Ingo Bechmann, Pierre Hepp, Hanno Steinke und Famarz Dehghani.

Die Co-Autoren der in dieser Dissertation verwendeten Publikation sind sowohl über die Nutzung, als auch über die oben angegebenen Eigenanteile informiert und stimmen dem zu. Ich bin mit der Abfassung der Dissertation als publikationsbasiert, d.h. kumulativ, einverstanden und bestätige die vorstehenden Angaben.

Prof. Dr. med. Ingo Bechmann
Direktor - Institut für Anatomie
UNIVERSITÄT LEIPZIG
Liebigstraße 13 · 04103 Leipzig
Tel. 0341 1 97-2 32 00 · Fax 97-2 32 09

.....
Ingo Bechmann

UNIVERSITÄTSKLINIKUM LEIPZIG
Department für Operative Medizin
Klinik und Poliklinik für Orthopädie,
Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie
Bereich Arthroscopische und spezielle
Gelenkchirurgie / Sportverletzungen
Prof. Dr. med. Pierre Hepp
Liebigstraße 20, Haus 4 · 04103 Leipzig
Tel. 0341 1 97-2 32 00 · Fax 97-2 32 09

.....
Pierre Hepp

Hanno Steinke

.....
Hanno Steinke

.....
Famarz Dehghani

8. Publikationsverzeichnis

Babayan, A., Erbey, M., Kumral, D., Reinelt, J. D., Reiter, A. M. F., Röbbing, J., Lina Schaare, H., Uhlig, M., Anwander, A., Bazin, P. L., Horstmann, A., Lampe, L., Nikulin, V. V., Okon-Singer, H., Preusser, S., Pampel, A., Rohr, C. S., Sacher, J., Thöne-Otto, A., Czerwonatis, S., ... Villringer, A. (2019). Data descriptor: A mind-brain-body dataset of MRI, EEG, cognition, emotion, and peripheral physiology in young and old adults. *Scientific Data*. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.30>

Czerwonatis, S., Dehghani, F., Steinke, H., Hepp, P., & Bechmann, I. (2020). Nameless in anatomy, but famous among surgeons: The so called “deltotrapezoid fascia.” *Annals of Anatomy*. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151488>

9. Danksagung

Ich möchte allen Personen herzlich danken, die mich bei der Fertigstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Insbesondere gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Ingo Bechmann und Herrn Prof. Dr. Pierre Hepp. Durch die außerordentliche Betreuung und konstruktive Kritik profitierte ich nicht nur fachlich, sondern auch menschlich. Durch einen kontinuierlichen Austausch und Dialog mit Prof. Dr. Bechmann konnte diese Arbeit angefertigt werden.

Den Mitarbeitern des Instituts für Anatomie der Universität Leipzig danke ich für die uneingeschränkte Hilfsbereitschaft. Mein ausdrücklicher Dank und Anerkennung gelten denen, welche Ihren Körper als Körperspender dem Institut für Anatomie zur Verfügung stellen. Durch diesen unersetzlichen Beitrag konnte diese Studie durchgeführt werden.

Durch ehemals Studienkollegen und nun engen Freunden habe ich motivierenden Zuspruch und auch fachlichen Rat erhalten. Meinem Lebensgefährten danke ich von Herzen für die Zuversicht und ehrliche Unterstützung in jeglicher Art und Weise.