

---

Einführung eines neuen Messverfahrens zur  
Quantifizierung der horizontalen  
Schultereckgelenksinstabilität anhand von  
Alexander-Aufnahmen im Seitenvergleich

JULIAN VAN MAELE

---



Aachen, Oktober 2019

---

Aus dem Deutschen Schulterzentrum in der Atos Klinik  
München

Prof. Dr. med Peter Habermeyer

---

Einführung eines neuen Messverfahrens zur  
Quantifizierung der horizontalen  
Schultereckgelenksinstabilität anhand von  
Alexander-Aufnahmen im Seitenvergleich

---

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Julian van Maele  
aus Aachen

2019

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Peter Habermeyer

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Matthias Pietschmann  
PD Dr. Manfred Pfahler  
Prof. Dr. Reinhard Putz

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Prof. Dr. Mark Tauber

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

Tag der mündlichen Prüfung: 24.10.2019

## **Danksagung**

Zunächst und ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Professor Mark Tauber dafür bedanken, dass er seiner Rolle als Betreuer stets mit sehr wertvollen Anregungen und stetigem Engagement nachgekommen ist.

Außerdem geht mein besonderer Dank auch Herrn Professor Peter Habermeyer. Ohne Ihn wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Herr Doktor Rudolf Welskopf stand mir jederzeit mit hilfreichen Ratschlägen bezüglich meiner statistischen Datenauswertung zur Seite. Dafür danke ich Ihm.

Meinen Freunden Carl und Nico gilt besonderer Dank, da sie mir stets ermutigend und motivierend zur Seite standen und mich insbesondere bei anfänglichen Startschwierigkeiten auf meinem Weg zum Dokortitel stets ermutigten.

Nicht zuletzt möchte ich ganz herzlich meiner Familie danken, ohne deren tatkräftige und liebevolle Unterstützung auf meinem Lebensweg die Anfertigung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

## Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	IV
1. Einleitung .....	1
2. Theoretische Grundlagen .....	4
2.1 Anatomie und Biomechanik des Akromioklavikulargelenks .....	4
2.2 Die Akromioklavikulargelenksprengung .....	6
2.2.1 Grundlagen .....	6
2.2.2 Ätiologie .....	6
2.2.3 Klassifikationssysteme .....	6
2.2.4.1 Klinische Untersuchung .....	9
2.2.4.2 Apparative Diagnostik .....	10
2.2.5 Therapie .....	12
2.2.5.1 Konservative Therapie .....	12
2.2.5.2 Operative Therapie .....	14
3 Material und Methoden .....	16
3.1 Fragestellung .....	16
3.2 Studiendesign .....	16
3.3 Patientenkollektiv .....	17
3.4 Datenerhebung .....	18
3.4.1 Allgemeine Patientendaten und Röntgenbilder .....	18
3.4.2 Erläuterung des Messverfahrens auf der Alexanderaufnahme .....	19
3.5 Datenverarbeitung und statistische Methoden .....	22
3.6 Ethik und Datenschutz .....	24
4. Ergebnisse .....	25
4.1 Patientenkollektiv und Häufigkeitsverteilung relevanter Parameter .....	25
4.2 Ergebnisse der Patienten mit vorliegender ACG-Verletzung .....	27
4.3. Ergebnisse des gesunden Patientenkollektivs .....	28
4.4 Vergleich der Gruppen „gesund“ vs. „krank“ .....	29
4.5 Korrelationsanalyse .....	29
4.6 Cut-off-Werte .....	35
4.6.1 Cut-Off Wert bezogen auf die einzelnen Rockwood-Grade .....	40
4.7. Intra- und interobserver reliability .....	41

5. Diskussion .....	42
5.1 Literaturvergleich .....	42
5.2 Kritische Betrachtung der Studie und Schwächen .....	48
5.4 Ausblick .....	50
6. Zusammenfassung .....	51
Abkürzungsverzeichnis.....	i
Literaturverzeichnis.....	iii
Abbildungsverzeichnis .....	xi
Tabellenverzeichnis .....	xii
Lebenslauf.....	xiii
Anhang .....	a

## 1. Einleitung

Verletzungen des Bewegungsapparats haben in den letzten Jahren bedingt durch die verstärkte Ausübung von Breitensport und Freizeitsport kontinuierlich zugenommen<sup>1</sup>. Mit einem Anteil von etwa 4 bis 17 Prozent aller Verletzungen des Schultergürtels stellen Dislokationen, beziehungsweise Rupturen des Akromioklavikulargelenks die zweithäufigste sportbedingte Verletzung der Schulter dar<sup>2-4</sup>. Unter einer Schulterreckgelenksprengung versteht man die Verletzung des Bandapparates des Akromioklavikulargelenks mit nachfolgender Fehlstellung und Dysfunktion des Gelenkes. Verletzungen des AC-Gelenks stellen noch immer, trotz des zunehmenden Wissens über die Pathologie sowie der konstanten Foranschreitung bestehender Therapieverfahren, eine Herausforderung in der Auswahl der adäquaten Versorgung dar. Das Durchschnittsalter der Patienten liegt bei 35 Jahren<sup>5-10</sup>. Meist kommt es durch einen „direkten Sturz auf den adduzierten Arm bzw. Schultergürtel“ bei entsprechendem Traumahergang zur „Zerreißung der akromioklavikulären (AC-) und korakoklavikulären (CC-)Bänder“ und schließlich auch zur „Avulsion der deltotrapezoidalen Faszie“<sup>11</sup>. Dies kann zu einer sukzessiven Instabilität des Schultergürtels führen, da das AC-Gelenk eine entscheidende Bedeutung für einen intakten „skapulothorakalen Rhythmus“ inne hat.

Akromioklavikulargelenks-Verletzungen werden primär nach der Klassifikation durch Rockwood eingeteilt; eine modifizierte Klassifikation von Tossy, wobei beide Systeme auf einer bilateralen anteroposterioren Belastungsradiografie basieren<sup>11,12</sup>. Die Klassifikation orientiert sich an der Abstandsänderung zwischen Akromion und Klavikula in der vertikalen Ebene. Ausnahme bildet hier die seltene Rockwood Verletzung vom Grad IV, bei der es definitionsgemäß zu einer Dislokation der lateralen Klavikula in den Faserapparat des M. trapezius kommt.

Eine exakte Diagnose der Akromioklavikulargelenksverletzung kann nur durch eine exakte Bildgebung erfolgen, wobei mittlerweile nativradiologisch eine Stresspanoramaaufnahme, sowie axiale Aufnahmen durchgeführt werden - bevorzugt als axiale Funktionsaufnahmen<sup>13</sup>. Letztere dienen zur Detektion horizontaler Instabilitätsformen, welche wohl eine negative Korrelation zum klinischen Ergebnis zu haben scheinen.

Zur adäquaten Beurteilung einer horizontalen Instabilität sind zusätzliche „Stressaufnahmen“ notwendig. Als weitere Spezialaufnahme hat sich hier die Alexanderaufnahme als die gebräuchlichste Variante im klinischen Setting herausgestellt. Bei horizontaler Instabilität schiebt sich das Akromion unter die laterale Klavikula<sup>14</sup>. Bisher erfolgt die Beurteilung semiquantitativ im Vergleich zur Gegenseite, es existiert bis dato keine objektive Messmethode.

Die Quantifizierung der horizontalen Instabilität bei Patienten mit Akromioklavikulargelenksverletzungen anhand der Alexanderaufnahme stellt das Ziel der folgenden retrospektiven Studie dar. Eine verbliebene, beziehungsweise nicht-adressierte horizontale Instabilitätskomponente ist mit nicht zufriedenstellenden klinischen Ergebnissen assoziiert, sodass eine noch exaktere Diagnose von großer klinischer Bedeutung ist. Hierzu wird eine neue Messmethode implementiert und an 46 Patienten mit einer akuten oder chronischen Akromioklavikulargelenkluxation im Seitenvergleich bestimmt. An einem gesunden Patientenkollektiv werden Normwerte erhoben, welche im Anschluss mit den Patientenmessungen korreliert werden. Anschließend wird ein Cut-off-Wert definiert, welcher das Vorliegen einer horizontalen Instabilitätskomponente am AC-Gelenk festlegt. Die durchgeführte Studie soll überprüfen, ob die Messmethode innerhalb der Alexanderaufnahmen bei zukünftigen Bildgebungen im klinischen Alltag zur radiologischen Diagnostik hinzugezogen werden könnte.

Ein weiteres Ziel der Arbeit ist es zu ermitteln, ob eine Korrelation zwischen den Messungen auf der Alexanderaufnahme und gängigen radiologischen Parametern aus dem klinischen Alltag, gemessen auf der Panoramaaufnahme, vorliegt.

## 2. Theoretische Grundlagen

### 2.1 Anatomie und Biomechanik des Akromioklavikulargelenks

Beim Akromioklavikulargelenk artikulieren die beiden Gelenkpartner von Akromion und Klavikula miteinander. Man bezeichnet das Akromioklavikulargelenk als „diarthrodiales Gelenk“. Es stellt die einzige knöcherne Verbindung zwischen Schultergürtel und Körperstamm dar und dient der Aufhängung der Schulter am Thorax<sup>4</sup>. Ein triangulärer fibrocartilaginärer Discus articularis dient zum Ausgleich des flächenmäßigen Ungleichgewichts zwischen den inkongruenten Gelenkpartnern. Die klavikuläre Gelenkfläche überragt die Akromiale flächenmäßig um bis zu 5 Prozent. Der D. articularis kann diskoid oder meniskoid sein und variiert in seiner Dicke zwischen 1,5 bis 4 mm<sup>15</sup>. Der akromioklavikuläre (AC-) Gelenkspalt beträgt zwischen 0,5 und 7 mm und verkleinert sich mit zunehmendem Alter<sup>16,17</sup>. Bei Bewegungen des Arms vollzieht die Skapula kombinierende Drehgleitbewegungen entlang der klavikulären Gelenkfläche des AC-Gelenks<sup>4</sup>. Bei reiner Elevation des Arms (120°) ist der Bewegungsumfang des AC-Gelenks relativ gering und beträgt 11° Aufwärtsrotation, 8° Innenrotation und 19° bei „posterioem Tilting“. Dieses beschreibt die Verkippung des oberen Skapulaaspektes nach hinten<sup>18</sup> (siehe Abb. 1).

Allerdings führen Provokationsbewegungen des Arms vor der Körperebene, wie zum Beispiel bei einer Anteflexion oder Horizontalabduktion, zu einem signifikanten Anstieg des Bewegungsumfangs<sup>4</sup>.

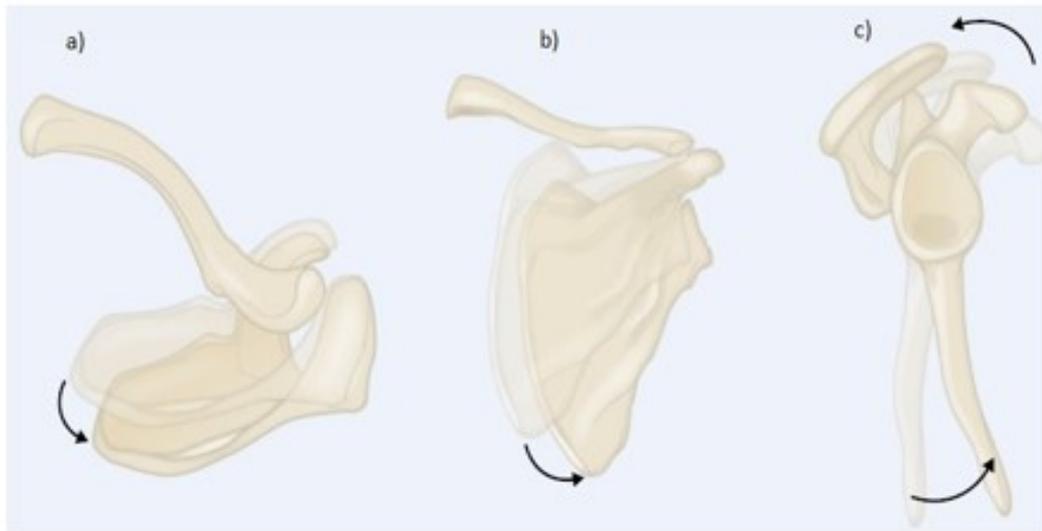


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Bewegungsausmaßes der Skapula relativ zur Klavikula bei 90° Abduktion des Arms in der Frontalebene<sup>4</sup>: a) Innenrotation von 8° b) Aufwärtsrotation von 11° c) kraniales Abklappen (posteriorer Tilt) von 19°

Biomechanische Studien konnten die Funktionen der jeweiligen Bandstrukturen prinzipiell klären<sup>19-21</sup>. Die Gelenkstabilität wird durch statische (kapsuloligamentäre) und dynamische (muskuläre) Stabilisatoren limitiert und kontrolliert, wobei das Akromioklavikulargelenk statisch durch die korakoklavikulären Bänder, bestehend aus Lig. conoideum und Lig. trapezoideum, sowie durch die akromioklavikulären Bänder, bestehend aus einem superioren und einem posterioren Kapselbandanteil, ligamentär stabilisiert wird. Dabei wird die Stabilisierung in der vertikalen Ebene primär durch die indirekt stabilisierenden korakoclavikulären (CC-)Bänder gewährleistet<sup>22</sup>. Weiterhin führen die CC-Bänder den skapulothorakalen Bewegungsablauf durch die Verbindung der Skapula an der Klavikula. Den direkt stabilisierenden akromioklavikulären (AC-) Bändern wird eine „horizontal stabilisierende“ Aufgabe zuteil<sup>23</sup>. Auch die knöcherne Führung des Akromioklavikulargelenks hat einen biomechanischen Stellenwert<sup>24</sup>. Zu den dynamischen Stabilisatoren zählen muskulotendinöse Strukturen wie M. trapezius und M. deltoideus, sowie die deltatrapezoidale Faszie<sup>25</sup>. Letztere generiert hierbei eine zusätzliche Stabilisierung in der horizontalen Ebene<sup>23</sup>.

## **2.2 Die Akromioklavikulargelenksprengung**

### **2.2.1 Grundlagen**

Akute Instabilitätsformen des Akromioklavikulargelenks sind aufgrund ihrer Abundanz im klinischen Alltag von großer Bedeutung. Sie stellen mit einem Anteil von 4-12 Prozent die zweithäufigste Verletzung des Schultergürtels dar<sup>2,26</sup>. Zu den am häufigsten betroffenen Personen zählen körperlich aktive Erwachsene in der dritten und vierten Lebensdekade. Die überwiegend männlichen Patienten (Geschlechterverhältnis 8:1 ) sind vorwiegend jünger als 35 Jahre<sup>5-10,27</sup>.

### **2.2.2 Ätiologie**

Häufig entstehen Verletzungen des Akromioklavikulargelenks im Rahmen von Kontaktsportarten, Zweiradunfällen oder bei Alpinsportarten<sup>28-30</sup>. Bezüglich des Unfallmechanismus wird ein direktes Anpralltrauma auf den adduzierten Arm bzw. Schultergürtel mit einer Krafeinleitung auf die laterale Akromio-Kante von einem indirekten Trauma unterschieden. Das indirekte Trauma ist deutlich seltener, jedoch konnte hier eine relativ hohe Koinzidenz intraartikulärer Begleitverletzungen nachgewiesen werden<sup>31,32</sup>. Hierbei wird bei einem Sturz auf den ausgestreckten Arm die Last vom Humeruskopf auf das Akromion übertragen<sup>33</sup>. Ein sequenzielles Verletzungsmuster wird angenommen: Beginnend lateral mit einer Verletzung der lateralen AC-Gelenkkapsel, welche nach medial fortschreitet bis zur Zerreißung der korakoklavikulären Bänder<sup>34</sup>. Dieser idealtypische Verletzungsmechanismus bietet die Basis für die etablierten Klassifikationen nach Tossy und Rockwood<sup>3,12</sup>.

### **2.2.3 Klassifikationssysteme**

Cadenet war die erste Person, die den sequenziellen Unfallmechanismus erkannte und beschrieb<sup>35</sup>. In Bezug auf die Beteiligung von akromioklavikulären und korakoklavikulären Bändern wurden drei

verschiedene Verletzungstypen unterschieden. Typ 1 beinhaltet eine inkomplette Zerreißung der akromioklavikulären Bandstrukturen ohne Beteiligung der korakoklavikulären Bänder, Typ 2 wurde definiert als komplette AC-Bandruptur mit inkompletter CC-Bandruptur, wohingegen bei Typ 3 Verletzungen sowohl AC - , als auch CC – Bänder zerrissen sind. Diese Klassifizierung und später die im Jahr 1963 publizierte Klassifizierung von Tossy repräsentierten aufgrund ihrer Einfachheit und hohen Reproduzierbarkeit den internationalen Standard bei der klinischen und radiologischen Einschätzung von Akromioklavikulargelenksverletzungen für eine lange Zeit. Jedoch beziehen sich diese Klassifizierungssysteme lediglich auf den Dislokationsgrad in der Frontalebene mit dem korakoklavikulären Abstand als Referenz und können sich somit nicht als vollständig bezeichnen.

Im Jahr 1984 präsentierte Rockwood eine erweiterte Klassifikation, welche die Klassifikation von Tossy weitgehend ersetzte<sup>3</sup>. Die Verletzungstypen des Typs Rockwood I und II entsprechen weitgehend den Typen I und II nach Tossy. Beim Verletzungstyp III nach Rockwood handelt es sich um ein weitgehend inhomogenes Patientenkollektiv, da ungeachtet des gleichen Abstands in der vertikalen Ebene verschieden große Ausprägungen bei horizontalen Instabilittsgraden vorliegen<sup>34</sup>. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass eine horizontale Instabilitätskomponente zu schlechteren Ergebnissen im klinischen Setting als bei einer isolierten vertikalen Instabilitätskomponente führt<sup>28,36</sup>. Deshalb wurde die Verletzung vom Typ Rockwood III angepasst. Typ IIIa beschreibt eine „Verletzung ohne horizontale Instabilität“, beim Typ IIIb liegt eine horizontale Instabilitätskomponente vor<sup>37</sup>. Im Gegensatz zum unidirektionalen System von Tossy fügte Rockwood mit der Verletzungstyp Grad-IV die Potenzialität der horizontalen Verschiebung der distalen Klavikula in den M. trapezius hinzu. Typ V ist durch eine subkutane Positionierung der distalen Klavikula aufgrund einer Unterbrechung von deltotrapezoidalen Muskelansätzen in Kombination mit einer kompletten Ruptur von AC- und CC-Bändern charakterisiert <sup>33</sup>. Außerdem wurde eine Typ VI Verletzung hinzugefügt, welche als inferiore Dislokation des lateralen Klavikulaendes unter den

Proc. coracoideus definiert ist. Typ VI ist lediglich aus Fallberichten in der Literatur bekannt<sup>38</sup>.

Verletzte Strukturen und Änderungen des korakoklavikulären Abstands (Nach Rockwood et.al)							
Struktur	Typ I	Typ II	Typ IIIa	Typ IIIb	Typ IV	Typ V	Typ VI
ACL	Gezerrt	Rupturiert	Rupturiert	Rupturiert	Rupturiert	Rupturiert	Rupturiert
CCL	Intakt	Gezerrt	Rupturiert	Rupturiert	Rupturiert	Rupturiert	Rupturiert
ACG	Intakt	Gelenkspalt weiter, leichter Vertikalansatz	Disloziert	Disloziert	Klavikula nach posterior in M. trapezius disloziert	Grob disloziert	Disloziert
Deltotrapezoidale Faszie	Intakt	Intakt	Meistens vom distalen Ende der Klavikula gelöst	Vom distalen Ende der Klavikula gelöst	Vom distalen Ende gelöst	Von distaler Hälfte der Klavikula abgelöst	Abgelöst vom distalen Ende der Klavikula
CC-Abstand <sup>a</sup>	Unverändert	0 bis +25% erweitert	+25 bis +100% erweitert	+25 bis +100% erweitert	Kann unverändert erscheinen	+101 bis +300%	Klavikula unter Prozessus coracoideus luxiert
Horizontale Instabilität <sup>b</sup>	Unverändert	Subluxation möglich	Subluxation möglich	Dislokation/Aufreiten der lateralen Klavikula auf das Akromion	Dislokation/Aufreiten der lateralen Klavikula auf das Akromion	Dislokation/Aufreiten der lateralen Klavikula auf das Akromion	-

Tabelle 1: Verletzte Gefüge und Abweichungen des CC-Abstands unter der Unterteilung in Typ IIIa und IIIb Verletzungen durch das Konsensusstatement des ISAKOS<sup>37</sup>

### 2.2.4.1 Klinische Untersuchung

Eine isolierte Pathologie des Akromioklavikulargelenks ist vom Patienten in der Regel gut lokalisierbar. Bei der Inspektion können Veränderungen im Sinne von Hautabschürfungen, Rötungen, Schwellungen oder Stufenbildungen auffällig sein<sup>33,39</sup>. Die genaue klinische Beurteilung kann in der Akutsituation schwierig sein, da jegliche Form der Palpation erheblich schmerzhaft ist. Eine visuell evidente Stufenbildung zwischen Akromion und distalem Klavikulaende, das sogenannte Klaviertastenphänomen, in Kombination mit einem Druckschmerz direkt über dem Akromioklavikulargelenk, stellt das Hauptsymptom bei vollständigen ACG-Luxationen (mindestens Typ III nach Rockwood) dar. Ein Vergleich mit der nicht betroffenen kontralateralen Seite am entkleideten Patienten ist aufgrund der bisweilen bereits physiologisch prominenten distalen Klavikula obligat. Bei höhergradigen Verletzungen mit Disruption der deltotrapezoidalen Faszie kann ein Hämatom vorhanden sein, eventuell ist das distale Klavikulaende in subkutaner Position sichtbar. Einen essentiellen Teil bei der klinischen Untersuchung stellt das Testen der horizontalen Instabilität dar. Hierbei wird die distale Klavikula nach hinten verschoben, wobei das Akromion mit der anderen Hand des Untersuchers fixiert wird. Eine erhöhte posteriore Translation im Vergleich zur kontralateralen Seite weist auf eine vorliegende horizontale Instabilitätskomponente hin<sup>33</sup>. Die klinische Untersuchung auf das Vorliegen einer posterioren Translation kann im akuten Setting aufgrund der starken Schmerzsymptomatik schwierig sein. Deshalb empfiehlt sich eine Reevaluation nach einigen Tagen. Das Akromioklavikulargelenk darf bei der klinischen Untersuchung nicht lediglich als Solches betrachtet werden. Vielmehr sollten sowohl das Sternoklavikulargelenk, als auch das „skapulothorakale Gelenk“ in die klinische Untersuchung miteingeschlossen werden. Als spezifische Tests bei Pathologien des Akromioklavikulargelenks sind der „AC–joint–resisted–extension Test“, der „Active–compression–test“ (O’Brien’s-Test), sowie der

„Horizontal-Abduktions-Test“ (Cross- Body-Test) zu nennen, während in der Literatur für Letzteren die höchste Sensibilität beschrieben wurde.<sup>40-42</sup>.

Eine weitere spezifische Methode zum Nachweis einer Akromioklavikulargelenks-Verletzung ist durch den Lokalanästhetikum-Test möglich, da durch die direkte lokale Infiltration des Akromioklavikulargelenks der Schmerz eliminiert wird<sup>33</sup>.

#### **2.2.4.2 Apparative Diagnostik**

Der Goldstandard der Diagnostik bei Verletzungen des Akromioklavikulargelenks ist unausgesetzt das Nativröntgen<sup>43</sup>. Standardmäßig wird zur Diagnostik der vertikalen Instabilität AC-Gelenksverletzungen ein anteroposteriores Röntgenbild (Zanca-Aufnahme), sowie eine Panoramastressaufnahme beider Schultern durchgeführt<sup>44</sup>. Zur Detektion einer horizontalen Instabilität haben sich im klinischen Alltag Alexander-Aufnahmen, sowie axiale Funktionsaufnahmen durchgesetzt<sup>13</sup>. Als erste Ebene sollte zunächst die a.p.-Aufnahme mittels Stresspanoramaaufnahme zur Beurteilung des korakoklavikulären (CC-) Abstandes durchgeführt werden<sup>45</sup>. Hierbei wird der Patient an beiden Armen mit zehn Kilogramm schweren Gewichten belastet, welche über Schlaufen am Handgelenk angebracht werden. Aufgrund einer erhöhten Strahlenexposition bei einer Panoramastressaufnahme hat sich die sogenannte Zanca-Aufnahme etabliert, um eine bessere Visualisierung des Akromioklavikulargelenks in der Nativröntgendiagnostik zu generieren<sup>17</sup>. Hierbei wird im a.p.-Strahlengang der Strahlengang ca. 10-15° in kraniokaudaler Richtung eingeneigt<sup>46</sup>. Es ist anzumerken, dass die Zanca-Aufnahme nicht die direkte Beurteilung des CC-Abstandes im Seitenvergleich erlaubt, was jedoch zur Bestimmung des Verletzungsausmaßes und letztendlich zur finalen Einordnung in die Klassifikation nach Rockwood unabdingbar ist.

Aufgrund der klinischen Relevanz einer horizontalen Instabilität nach posterior sollten im Rahmen der apparativen Diagnostik zusätzliche „Stressaufnahmen“ durchgeführt werden. Spezialaufnahmen wie dynamische axiale Funktionsaufnahmen im Liegen oder der Alexanderaufnahme, erlauben dabei, „dynamische Formen der horizontalen Instabilität“ zu detektieren sowie zu quantifizieren<sup>13,47</sup>.

Bei der Alexanderaufnahme handelt es sich im Prinzip um eine Projektion der Skapula nach lateral, ähnlich der sogenannten Y-Aufnahme (Outlet-View), „nur greift der Arm dabei zur Gegenseite hinüber und ermöglicht somit auch die Diagnose von AC-Gelenk(sub)luxationen“<sup>46</sup>. Innerhalb der Alexanderaufnahme kann detektiert werden, wie sich das Akromion bei horizontaler Instabilität unter die Klavikula schiebt. Die Auswertung der Alexanderaufnahmen erfolgt bisher fast ausschließlich relativ im Vergleich zur Gegenseite in semiquantitativer Form.



*Abbildung 2: Alexanderaufnahme mit maximaler Horizontalabduktion des betroffenen Arms und Fixierung durch den gesunden Arm<sup>4</sup>.*

Die Ultraschalluntersuchung hat im klinischen Alltag einen hohen Stellenwert, weil Kapsel-Band-Strukturen zügig und kosteneffizient beurteilt werden können<sup>23</sup>. Sonografisch lässt sich beim Akromioklavikulargelenk die Größe der (Sub-)luxation detektieren, um hiermit auf das Ausmaß des Gewebes Schadens zu schließen. Zudem ist es möglich, lädierte Strukturen

direkt darzustellen<sup>48</sup>. Eine direkte Darstellung der akromioklavikulären Distanz ist analog zum konventionellen Röntgen möglich, Diese korreliert sogar direkt mit dem Röntgenbild<sup>44</sup>. Mittels Ultraschalldiagnostik ist es möglich, sowohl CC- als auch AC – Bandläsionen in der akuten Phase einer Akromioklavikulargelenksverletzung zu detektieren<sup>49</sup>.

Untersuchungsverfahren wie die Computertomografie (CT) oder die Magnetresonanztomografie (MRT, sind bei AC – Gelenksverletzungen routinemäßig nicht erforderlich und sollten nicht das bildgebende Verfahren der Wahl sein<sup>50</sup>. Bei vermeintlich niedrig-gradigen Verletzungen kann das MRT zur Re-Evaluation hinzugezogen werden<sup>51</sup>. Die Beurteilung von glenohumeralen Begleitpathologien, welche bei bis zu 30 Prozent aller Akromioklavikulargelenksverletzungen vorkommen, darf als nicht zu vernachlässigender Vorteil der magnetresonanztomografischen Untersuchung angesehen werden.<sup>31,32</sup>. Zur suffizienten Beurteilung der korakoklavikulären Bänder sollte im Vergleich zur herkömmlichen Schulter-Magnetresonanztomografie eine „spezielle Schnitfführung mit Ausrichtung parallel zur lateralen Klavikula“ und dem Akromioklavikulargelenk erfolgen<sup>51</sup>.

## **2.2.5 Therapie**

### **2.2.5.1 Konservative Therapie**

Allein mit konservativen Maßnahmen ist es kaum möglich, die Klavikula gegenüber der Skapula zuverlässig zu fixieren, da beide äußerst mobil sind. Bisher konnte nicht bewiesen werden, ob eine temporäre Ruhigstellung einer orthetischen Behandlung überlegen ist<sup>44</sup>. Die konservative Therapie ist vor allem den Akromioklavikulargelenksinstabilitäten Typ I und II nach Rockwood vorbehalten und ist im Sinne des „skilful neglect“ zu verstehen<sup>33</sup>. Im Vordergrund steht die Einnahme von nichtsteroidalen anti-inflammatorischen Medikamenten, eine Kryotherapie, sowie die

schmerzorientierte Ruhigstellung mittels Gilchrist-Bandage für einen Zeitraum von etwa ein bis zwei Wochen<sup>25</sup>. Bewegungen, die Stress auf das Akromioklavikulargelenk ausüben, wie zum Beispiel eine forcierte „Adduktion“ (Cross-Body-Position), eine „Innenrotation hinter dem Rücken“, oder eine „endgradige Flexion“ sollten vermieden werden<sup>23</sup>. Anschließend oder parallel sollte mit einer frühfunktionellen Wiederaufnahme der Beweglichkeit, sowie einem sukzessiven Kraftaufbau begonnen werden. Hierbei steht die Kräftigung der periskapulären Muskulatur im Vordergrund, um einer Skapulafehlstellung bzw. -dyskinesie entgegenzuwirken. Insbesondere die Verletzungstypen vom Typ Rockwood I und II heilen bei einem konsequenten konservativen Therapieprozedere innerhalb weniger Wochen aus, in gewissen Fällen kam es jedoch auch hier zu „persistierende[n]“ bzw. chronisch rezidivierende[n] Beschwerden“<sup>52</sup>. Auch eine Verletzung vom Typ III nach Rockwood lässt sich mit guten Ergebnissen konservativ behandeln<sup>53,54</sup>. An dieser Stelle sollte in Betracht gezogen werden, dass bei Akromioklavikulargelenks-Verletzungen vom Typ Rockwood III „dynamische Formen der horizontalen Instabilität“ vorhanden sein können, welche sich negativ auf das konservative Therapieergebnis auswirken können<sup>13</sup>.

### 2.2.5.2 Operative Therapie

Eine operative Versorgung wird bei kompletten Instabilitäten des Akromioklavikulargelenks (Rockwood Typ IV und V) angestrebt, weil es durch die Kompletterreißung der deltotrapezoidalen Faszie und der ligamentären Stabilisatoren zu einem Stabilitätsverlust des gesamten Schultergürtels kommen kann<sup>25,36,55</sup>. Die operative Versorgung sollte wenn möglich unmittelbar nach der Verletzung erfolgen, da dies zu erheblich besseren Langzeitergebnissen als bei einer operativen Versorgung erst nach einigen Monaten führt<sup>56</sup>. Bei Eintritt einer Chronifizierung der Beschwerden ist mit einem oft schlechteren Behandlungsergebnis zu rechnen<sup>57</sup>.

Die operative Stabilisierung des Akromioklavikulargelenks wurde für lange Zeit ausschließlich offen chirurgisch angegangen<sup>58</sup>. Bewährt hat sich hierbei das Verfahren einer korakoklavikulären (Bosworth-Schraube, Polydioxansulfat, Cerclage) und/oder einer akromioklavikulären (K-Draht-Fixation, Hakenplattenosteosynthese) Stabilisation<sup>54,59-66</sup>. Potentielle Nachteile von offenen Rekonstruktionsverfahren sind zum einen hohe Versagensraten, zum anderen der Bedarf einer obligaten Implantatentfernung, welches mit erneuten Arbeitsausfällen vergesellschaftet sein kann<sup>59,61,64,67</sup>.

Durch innovative Entwicklungen innerhalb der arthroskopischen Gelenkchirurgie haben sich auch bei der Stabilisierung des Akromioklavikulargelenks Verfahren bewährt, die eine arthroskopisch gestützte, minimal – invasive Versorgung erlauben. Hervorzuheben ist hier, dass arthroskopische bzw. arthroskopisch-assistierte Techniken neben der Vermeidung eben genannter potentieller Nachteile sowohl ein geringeres Infektionsrisiko, als auch unter kosmetischer Betrachtungsweise eine höhere Patientenakzeptanz bieten<sup>58</sup>. Zudem können intraartikuläre glenohumerale BegleitleSIONen gleichzeitig durch arthroskopische Verfahren versorgt werden, welche bei bis zu 30 Prozent der höhergradigen ACG-Sprengungen bestehen<sup>31,32</sup>. In der Literatur sind verschiedene minimal-invasive Verfahren beschrieben<sup>36,68-71</sup>. Aus der

Syndesmosenchirurgie stammt die TightRope™ – Technik, bei der zwei Titanplättchen flaschenzugartig miteinander verbunden sind<sup>72</sup>. Ziel dieser synthetischen Augmentation des CC– und AC–Bandapparates ist neben der Wiederherstellung des Akromioklavikulargelenks auch die Annäherung der rupturierten Bänder, um eine angemessene Voraussetzung für die dauerhafte Heilung von Weichteilstrukturen zu garantieren. Bei höhergradigen Verletzungstypen der Akromioklavikulargelenksprengung mit kombinierter horizontaler und vertikaler Instabilität kann das TightRope™ mit einem Grazilissehnen-Transplantat kombiniert werden, um die anatomischen und biomechanischen Gegebenheiten des akromioklavikulären Bandapparates wieder herzustellen<sup>73</sup>.

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Fragestellung**

Ziel vorliegenden Studie ist es, die horizontale Instabilität des Akromioklavikulargelenks anhand von Alexanderaufnahmen im Seitenvergleich zu quantifizieren. Dies soll mit der Einführung einer neuen Messmethode geschehen. Zur Ermittlung von Referenzwerten werden Alexanderaufnahmen eines gesunden Vergleichskollektivs verwendet und analysiert. Generell wurde in der vorliegenden Arbeit die Hypothese erforscht, ob die horizontale Instabilität durch die durchgeführte Messmethode zahlenmäßig erfasst und gegebenenfalls bei zukünftigen Untersuchungen innerhalb der Alexanderaufnahme als objektive Messmethode hinzugezogen werden kann. Angaben aus der Literatur zur Quantifizierung der horizontalen Instabilität können dann mit den Ergebnissen aus der Arbeit verglichen und gegebenenfalls ergänzt werden.

Weiterhin wird in der der vorliegenden Studie erforscht, ob eine Korrelation der akromioklavikulären (AC-) Distanz gemessen auf der Alexanderaufnahme mit der korakoklavikulären (CC-) Distanz, gemessen auf der Panoramastressaufnahme besteht.

#### **3.2 Studiendesign**

Es handelt sich bei der vorliegenden Arbeit um eine retrospektive randomisierte klinische Studie. Sie dient der Quantifizierung der horizontalen Instabilität in der Alexander Aufnahme anhand von bereits vorliegenden Röntgenbildern, welche innerhalb der klinischen Routinediagnostik der ATOS Klinik München durchgeführt wurden. Bei einem Patientenkollektiv von 46 Patienten wird der akromioklavikuläre Abstand ermittelt und mit einer Vergleichsgruppe von 13 gesunden Probanden verglichen. Dazu wurden mit Hilfe des PACS-Systems der ATOS Klinik München 46 Patienten, welche dort im Zeitraum von April 2015 bis Dezember 2016 aufgrund einer Akromioklavikulargelenks-Luxation/-

sprengung sowohl ambulant, als auch stationär therapiert wurden, retrospektiv erfasst.

Routinemäßig erhielt jeder Patient eine Röntgenuntersuchung der Schulter, welche aus einer Panoramastressaufnahme, sowie bilateralen Zanca- und Alexanderaufnahmen bestand.

### **3.3 Patientenkollektiv**

Das gesamte Patientenkollektiv berief sich auf 46 erwachsene Patienten, davon 41 Männer und fünf Frauen. Die Altersgruppe des gesamten Patientenkollektivs liegt bei 22 bis 64 Jahren, der Altersdurchschnitt zum Zeitpunkt der Diagnose betrug 41,4 Jahre. Bei allen Patienten lag die Diagnose einer Akromioklavikulargelenksprengung/-luxation der Grade I bis V nach Rockwood vor. Im Zeitraum von April 2015 bis Dezember 2016 wurden alle Patienten in der ATOS Klinik München ambulant oder stationär versorgt.

Als Vergleichsgruppe wurde ein Patientenkollektiv von 13 gesunden Probanden inkludiert, bei denen es sich ausschließlich um Personen aus medizinischen Heilberufen handelte. Hier wurden neun männliche und fünf weibliche Probanden im Alter von 23 bis 47 Jahren in die Studie aufgenommen. Der Altersdurchschnitt betrug 32,3 Jahre.

Die folgenden Einschlusskriterien wurden für das Patientenkollektiv bestimmt:

- Alter über 18 Jahre für männliche und weibliche Patienten
- Patienten mit vorliegender akuter/chronischer ACG-Sprengung/-luxation, bei denen sowohl die Panorama-Stressaufnahme, als auch die Alexanderaufnahmen im Seitenvergleich vorlagen
- Vorhandensein der Röntgenbilder „a.p.-Aufnahme“ und „Alexanderaufnahme“ im Seitenvergleich

Folgende Ausschlusskriterien wurden für das Patientenkollektiv bestimmt:

- Voroperationen an der Schulter, sowie Schulterluxationen derselben Schulter
- Nicht ausreichende Qualität der Röntgenbilder sowie nicht vollständige Röntgenaufnahmen

### **3.4 Datenerhebung**

#### **3.4.1 Allgemeine Patientendaten und Röntgenbilder**

Zum strukturierten Sammeln der Daten wurde das Programm Microsoft® Excel® für Mac 2014 genutzt. Die Atos Klinik München stellte gesammelte Listen von Patienten mit akuter/ chronischer ACG-Sprengung/-luxation zur Verfügung, welche auf die erwähnten Vollständigkeitskriterien hin überprüft wurden. Es wurden lediglich diejenigen Patienten in die Studie aufgenommen, bei denen die Panoramaaufnahme, sowie die Alexanderaufnahme im Seitenvergleich vorlagen. Die Messungen wurden in anonymisierter Form in das Datenmessblatt übertragen.

Zum einen wurden Messungen nach dem bewährten Messverfahren des korakoklavikulären Abstandes innerhalb der Panorama-Stressaufnahme im Seitenvergleich durchgeführt. Hierzu wurde eine zur Wirbelsäule parallele Vertikale zwischen der Korakoidbasis und der inferioren Klavikulakortikalis auf beiden Seiten gebildet. Dieses Verfahren wird in der folgenden Darstellung veranschaulicht:



Abbildung 3: Messmethodik der koraklavikulären Distanz auf der Panoramastressaufnahme

### 3.4.2 Erläuterung des Messverfahrens auf der Alexanderaufnahme

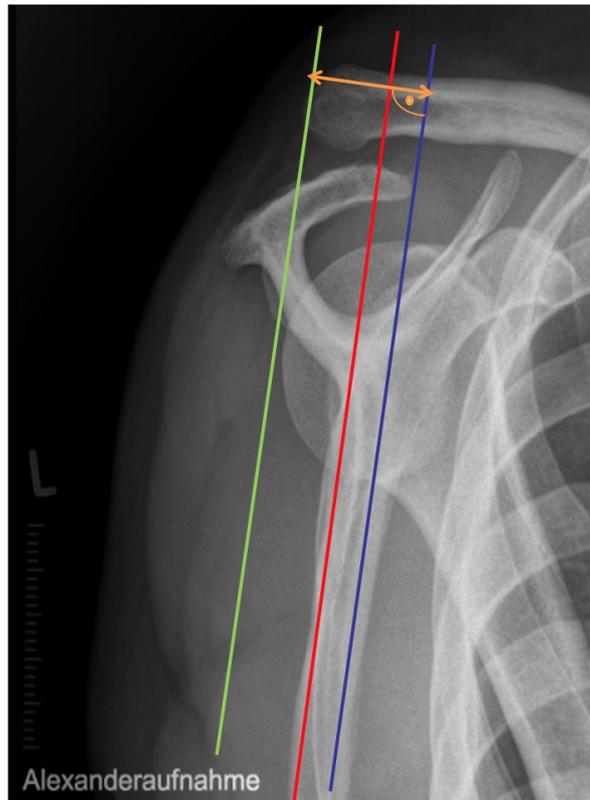
Zu Beginn jedes Röntgenbildes auf der Alexander-Aufnahme wurde eine Linie gebildet, welche einen Schnittpunkt zwischen dem tiefsten Punkt der Fossa supraspinata scapulae und dem Angulus inferior scapulae bildet. Diese Linie dient als Referenzlinie und wird als „scapular plane line“ (SPL) bezeichnet. Diese Referenzlinie wird nun zweimalig dupliziert, so dass nun drei parallele Linien innerhalb des Röntgenbildes entstehen.

Eine der beiden duplizierten Linien wird nun am äußersten hinteren Rand der Klavikula positioniert, sie erhält die Bezeichnung „posterior clavicle line“ (PCL).

Die zweite duplizierte Linie wird am äußersten vorderen Rand des Acromions positioniert und erhält die Bezeichnung „anterior acromion line“ (AAL).

Nun wird zu den drei Parallelen eine Senkrechte gebildet, so dass der Abstand zwischen „anterior acromion line“ (AAL) und „posterior clavicle line“ (PCL) ausgemessen werden kann. Diese Messung spiegelt die orthograde Distanz in Millimetern zwischen den beiden duplizierten Linien, also der Abstand zwischen Acromionvorderkante und Klavikulahinterkante innerhalb der Alexanderaufnahme wieder.

Folgende Illustration (siehe Abbildung 4) veranschaulicht die geschilderte Messmethode:



Scapular Plane Line (SPL) as Reference Line  
[defined by inferior angle and bottom of the fossa supraspinata]

Anterior Acromion Line (AAL)  
[parallel to SPL]

Posterior Clavicle Line (PCL)  
[parallel to SPL]

Acromio-Clavicular Distance  
[orthograde distance in mm between AAL and PCL]

Abbildung 4: Messmethodik der akromioklavikulären Distanz auf der Alexanderaufnahme

Dieses Verfahren wurde im Seitenvergleich durchgeführt. Die Datenerhebung stützte sich dabei auf die Aufzeichnungen im Rahmen des klinischen Routineablaufs der ATOS Klinik München innerhalb des PACS-Systems. Folgende Parameter wurden innerhalb eines angelegten Datenblatts erfasst:

- Korakoklavikuläre Distanz innerhalb der Panoramaaufnahme unverletzt
- Korakoklavikuläre Distanz innerhalb der Panoramaaufnahme verletzt
- Delta (Differenz beider Werte) für die korakoklavikuläre Distanz
- $\Delta[\%]$  für die korakoklavikuläre Distanz  $(\text{CC-Distanz verletzt} / \text{CC-Distanz unverletzt} \times 100)$
- Akromioklavikuläre Distanz innerhalb der Alexander-Aufnahme unverletzt
- Akromioklavikuläre Distanz innerhalb der Alexander-Aufnahme verletzt
- Delta (Differenz beider Werte) für die AC-Distanz
- $\Delta[\%]$  für die akromioklavikuläre Distanz  $(\text{AC-Distanz verletzt} / \text{AC-Distanz unverletzt} \times 100)$
- Diagnose des Patienten (betroffene Seite, Grad des Verletzungstyps nach Rockwood)
- Alter des Patienten zum Zeitpunkt der Diagnose
- Geschlecht des Patienten
- Status des Patienten, eingeteilt in „krank“ und „gesund“

Code	CC-Distance Panorama unverletzt [cm]	CC-Distance Panorama verletzt [cm]	Delta für die CC-Distance	Delta [%]	AC-Distance Alexanderau fnahme unverletzt [cm]	AC-Distance Alexanderau fnahme verletzt [cm]	Delta für die AC-Distance	Delta [%]2	Diagnose	Alter zum Zeitpunkt der Diagnose [Jahre]	Geschlecht	Status
1	0,914	2,045	1,131	223,7418	1,59	2,82	1,23	177,3585	ACG-Luxation Rockwood V links	22	männlich	krank

Tabelle 2: Darstellung der Datenerhebung in tabellarisch Form innerhalb des Programms Microsoft Excel®

### 3.5 Datenverarbeitung und statistische Methoden

Die Daten wurden mittels Microsoft Excel primär deskriptiv erfasst. Die statistische Datenauswertung erfolgte mittels „SPSS“ (Statistical Package for Social Sciences) für Windows, Version 20.0. Eine Signifikanz innerhalb der Hypothesenprüfung liegt dann vor, sobald der p-Wert unterhalb von 0.05 liegt.

Univariate, deskriptive Analysen wurden zur Beschreibung des Datensatzes anhand von Mittelwerten, prozentualen Häufigkeitsverteilungen, t-Tests, sowie Standardabweichungen durchgeführt. Zum Vergleich der beiden Gruppen hinsichtlich der Parameter wurden der „Mann-Whitney-U-Test“, der „Wilcoxon-Test“ und der KGS-Test durchgeführt.

Im Rahmen der Korrelationsanalysen wurden der Korrelationskoeffizient nach Pearson und die Rangkorrelation nach Spearman berechnet.

Receiver operating characteristics (ROC) Analysen wurden zur Bewertung der Diskriminierungsfähigkeit zwischen den beiden Studiengruppen „krankes“ und „gesundes“ Patientenkollektiv gebildet. Außerdem wurden Cut-off-Werte eruiert und die Sensitivität und Spezifität jedes Parameters ermittelt. Zur Berechnung der Cut-off-Werte wurde das Prinzip der „optimalen Klassierung“ innerhalb des Programms „SPSS“ für Microsoft verwendet.

Zur Beurteilung der inter- und intraobserver Reliabilität wurden die Messungen in der Alexander-Aufnahme zweimalig durch den Verfasser dieser Arbeit in einem Abstand von 4 Wochen, sowie einmalig durch Herrn Professor Tauber durchgeführt. Sowohl Inter-, als auch Intraobserver Reliabilität wurden mittels der Berechnung von Cronbachs- $\alpha$ -Werten evaluiert.  $\alpha$ -Werte von über 0,7 gelten als akzeptabel, von über 0,8 als gut. Werte von über 0,9 sind als exzellent zu bewerten<sup>74</sup>.

### **3.6 Ethik und Datenschutz**

Es handelt sich bei dieser retrospektiven Studie um eine statistische Auswertung von Daten, welche im Rahmen regulärer diagnostischer Untersuchungsmethoden erhoben wurden. Es waren weder spezielle Untersuchungen noch zusätzliche Befragungen der Patienten oder deren Angehörigen nötig. Somit ergibt sich kein Risiko für das Patientengut zum Zeitpunkt der Studie. Alle Daten, welche im Laufe der Studie aufgenommen wurden, waren im Intranet der ATOS Klinik München verfügbar. Von Seiten der Ethikkommission der Atos Klinik liegt die Bestätigung der ethisch-rechtlichen Unbedenklichkeit und dem Zeichen 042018 vor, welche für eine epidemiologische Studie am Menschen erforderlich ist. Um jegliche Form des Datenschutzes einzuhalten, wurden die Patientendaten pseudonymisiert.

Das gesunde Patientenkollektiv umfasst 13 freiwillige Probanden. Diese werden aus rein studientechnischen Zwecken einer Strahlenbelastung im Rahmen der Standartröntgendiagnostik mit Panoramastress - und Alexanderaufnahme im Seitenvergleich ausgesetzt. Bei dem gesunden Vergleichskollektiv handelt es sich ausschließlich um Angehörige von Medizinberufen, jeder Proband war sich des ausgesetzten Strahlenrisikos bewusst.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Patientenkollektiv und Häufigkeitsverteilung relevanter Parameter

Zwischen den Jahren 2014 und 2016 wurden 58 Patienten mit einer diagnostizierten Akromioklavikulargelenksverletzung in die Studie aufgenommen, bei denen Panoramastressaufnahmen, sowie Alexanderaufnahmen im Seitenvergleich vorlagen. Aus verschiedenen Gründen sind 12 Patienten aus der Studie ausgeschlossen worden. Bei den meisten Patienten war auf der Alexanderaufnahme der Angulus inferior scapulae nicht ausreichend dargestellt, sodass die Messmethode nicht adäquat durchgeführt werden konnte. Ein weiteres Problem bei der Auswertung der Patientendaten auf der Alexanderaufnahme stellten Überlagerungen innerhalb des Röntgenbildes dar, sodass die Fossa supraspinata nicht einsehbar war. Dies übte sich erneut nachteilig gegenüber einer korrekten Durchführung der Messmethode aus.

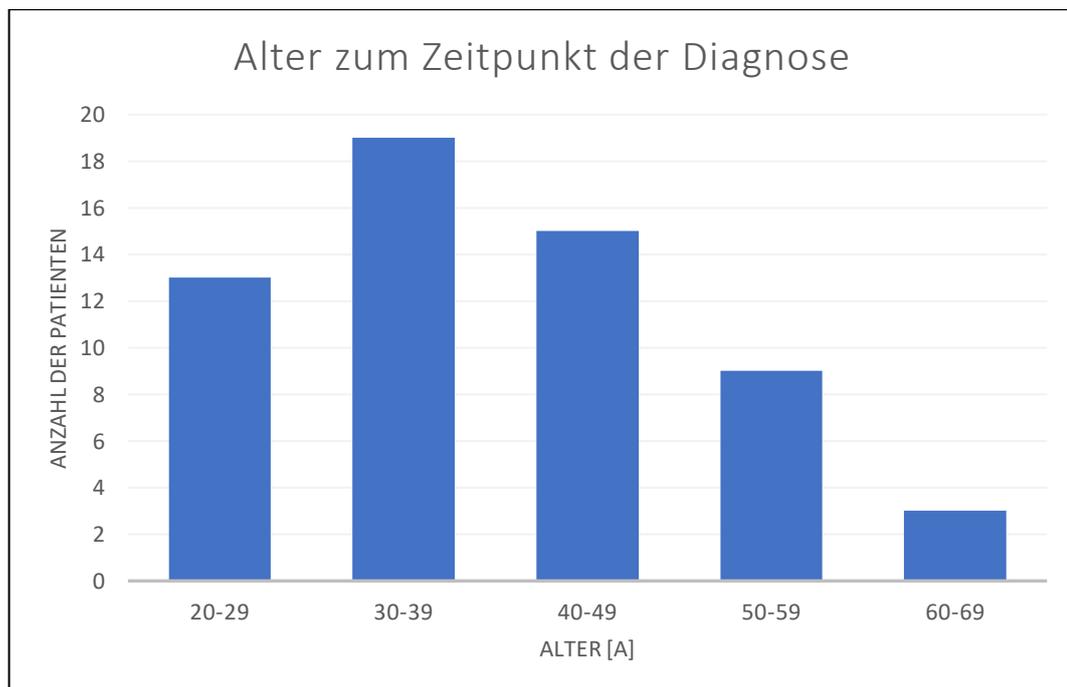


Abbildung 5: Altersverteilung der Gesamtgruppe

			Status Status		Gesamt
			0 gesund	1 krank	
Geschlecht Geschlecht	0 weiblich	Anzahl	5	6	11
		% innerhalb von Status Status	38,5%	13,0%	18,6%
	1 männlich	Anzahl	8	40	48
		% innerhalb von Status Status	61,5%	87,0%	81,4%
Gesamt		Anzahl	13	46	59
		% innerhalb von Status Status	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 3: Kreuztabelle über die Verteilung der Geschlechter innerhalb des Status "krank" und "gesund"

Insgesamt erfüllten 46 Patienten die Einschlusskriterien. Es wurden zwei Studiengruppen gebildet, bestehend aus 46 Patienten (77,9%) mit einer bestehenden Akromioklavikulargelenksverletzung und einem gesunden Vergleichskollektiv, bestehend aus 13 Patienten (22,1%). Das durchschnittliche Alter der gesamten Kohorte belief sich auf 39 Jahre bei einem Minimum von 23 Jahren und einem Maximum von 64 Jahren.

Die Häufigkeitsverteilung der 46 Patienten innerhalb der Rockwood-Grade I bis V ist in Tabelle 4 dargestellt:

ROCKWOOD-GRAD	ANZAHL DER PATIENTEN
I	2 (4,3%)
II	5 (10,8%)
III	11 (24%)
IV	10 (21,7%)
V	18 (39,2%)

Tabelle 4: Häufigkeitsverteilung der Patienten innerhalb der Klassifikation nach Rockwood<sup>75</sup>

Der Kolgorow-Smirnov-Anpassungstest wurde durchgeführt, um zu überprüfen, ob innerhalb der Gesamtpopulation eine Normalverteilung vorliegt. Die meisten Variablen sind nicht normalverteilt, zumindest nicht innerhalb der Gesamtstichprobe. Aus diesem Grund wurden nichtparametrische Testverfahren herangezogen. Hier zeigt sich, dass sowohl bezogen auf das Alter, als auch auf das Geschlecht zwischen Gesunden und Kranken, keine Normalverteilung vorliegt. Die Tabellen über die durchgeführten statistischen Verfahren zur Überprüfung auf Normalverteilung bezogen auf das Alter und das Geschlecht befinden sich im Anhang (siehe Abb. 16-18).

#### **4.2 Ergebnisse der Patienten mit vorliegender ACG-Verletzung**

Insgesamt wurden 46 Patienten mit vorliegender Akromioklavikulargelenksverletzung statistisch untersucht. Die Gruppe teilte sich auf in 40 männliche (87,0%) und sechs weibliche (13%) Patienten. Dabei kam die Verletzung überwiegend an der rechten Schulter vor (71,7%).

Um festzustellen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den jeweiligen Deltas der CC- und AC-Distanzen beim Patientenkollektiv mit AC-Gelenksprengung besteht, wurde der Wilcoxon Test, der Vorzeichentest, sowie der Rand-Homogenitätstest durchgeführt. Dieser wird mittels p-Werten wiedergegeben. Die asymptotische Signifikanz liegt bei den durchgeführten Tests unter 0,05 (0,000; 0,002), sodass von einem signifikanten Unterschied zwischen den Delta-Werten innerhalb der Patienten mit vorliegender Akromioklavikulargelenksverletzung ausgegangen werden kann.

### **4.3. Ergebnisse des gesunden Patientenkollektivs**

Insgesamt sind die statistischen Verfahren bei einem gesunden Patientenkollektiv von 13 Personen durchgeführt worden. Dabei teilte sich diese gesunde Vergleichsgruppe in fünf weibliche (38,0%) und acht männliche (62,0%) Probanden auf. Im Durchschnitt lag das Alter bei 32 Jahren (Min. 23; Max 47 ).

Um festzustellen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den jeweiligen Deltas der CC- und AC-Distanzen beim gesunden Patientenkollektiv besteht, wurde erneut der Wilcoxon Test sowie der Rand-Homogenitätstest durchgeführt. Erneut wird die Signifikanz in den folgenden Tabellen durch p-Werte wiedergegeben. Diese liegen bei den durchgeführten statistischen Tests über dem festgelegten Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$  (0,972), sodass im Gegensatz zum kranken Patientengut von keinem signifikanten Unterschied zwischen den Delta-Werten innerhalb der gesunden Vergleichsgruppe ausgegangen werden kann.

#### 4.4 Vergleich der Gruppen „gesund“ vs. „krank“

Um festzustellen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Deltawerten beim gesunden Patientenkollektiv und dem kranken Patientenkollektiv besteht, wurde der Student's-t-Test angewandt.

Status	Status	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
CC_Delta Delta für die CC-Distance	0 gesund	13	-,064	,201	,055
	1 krank	46	,952	,798	,117
CC_Delta_vH Delta [%]	0 gesund	13	92,337	27,075	7,509
	1 krank	46	206,063	65,122	9,601
AC_Delta Delta für die AC-Distance	0 gesund	13	-,073	,206	,057
	1 krank	46	1,024	,942	,138
AC_Delta_vH Delta [%] <sup>2</sup>	0 gesund	13	95,340	12,360	3,428
	1 krank	46	162,794	74,615	11,001

Tabelle 5: Gruppenstatistiken

Die zweizeitige asymptotische Signifikanz befindet sich insgesamt unterhalb des festgelegten Signifikanzniveaus von  $p \leq 0,05$  (0,00-0,002). Somit ist davon auszugehen, dass alle Deltawerte bei der Vergleichsgruppe signifikant kleiner sind, als beim Patientengut mit vorliegender Akromioklavikulargelenksverletzung.

#### 4.5 Korrelationsanalyse

Die AC-Deltas und CC-Deltas wurden innerhalb eines Box-Plots dargestellt (siehe Abb. 6). Hier zeigte sich jeweils ein Ausreißer, welcher mit einem „\*“ und der jeweiligen Fallnummer innerhalb der SPSS®-Datentabelle dargestellt wurde. Bei den Ausreißern handelte es sich um Extremwerte innerhalb der durchgeführten Messungen. Diese Ausreißer wurden bei den folgenden durchgeführten statistischen Verfahren eliminiert.

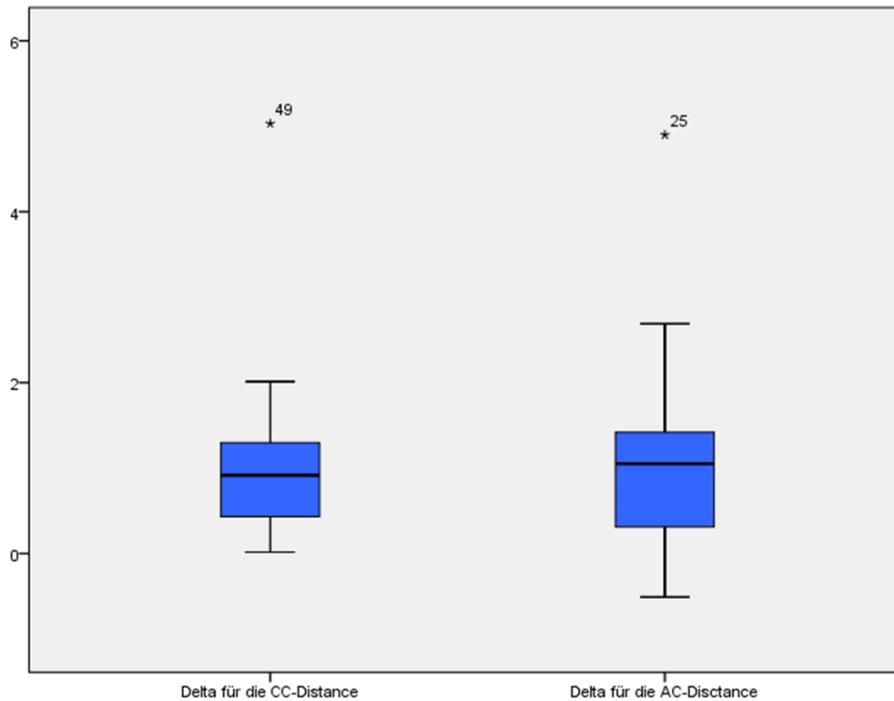


Abbildung 6: Explorative Datenanalyse mittels Darstellung eines Boxplots unter Einbeziehung der Ausreißer (siehe \*)

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
CC_Delta Delta für die CC-Distance	45	,86184	,514810	,017	2,012
AC_Delta Delta für die AC-Distance	45	,93880	,747461	-,510	2,690

Tabelle 6:: Nichtparametrische Tests unter Elimination der Ausreißer (s.o. \*) bei Delta und Delta[%]

Um festzustellen, ob eine Korrelation zwischen der CC-Distanz gemessen auf der Panoramastressaufnahme und der AC-Distanz gemessen auf der Alexanderaufnahme vorliegt, wurde jeweils der Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho angewandt. Dieser wurde separat für die gesunde Vergleichsgruppe (Status 0=gesund) und das kranke Patientenkollektiv (Status1=krank) anhand der errechneten Delta-Werte (Delta; Delta[%]) durchgeführt. Die zwei-zeitige Signifikanz wurde erneut mittels p-Werten wiedergegeben. Es fällt auf, dass alle p-Werte beim Status 0=gesund oberhalb des festgelegten Signifikanzniveaus von  $p \leq 0.05$  liegen. Somit

wird davon ausgegangen, dass die Deltawerte der CC-Distanz nicht mit den Deltawerten der AC-Distanz korrelieren.

Status 1 = krank			AC-Delta Delta für die AC-Distanz	AC-Delta_vH Delta [%]2	Alter zum Zeitpunk der Diagnose [Jahre]
<b>Spearman- Rho</b>	CC_Delta Delta für die CC- Distance	Korrelationskoeffizient	,442**	,370*	,077
		Sig. (2-seitig)	,003	,014	,615
		N	44	44	45
	CC_Delta_ vH Delta [%]	Korrelationskoeffizient	,520**	,432**	,138
		Sig. (2-seitig)	,000	,003	,359
		N	45	45	46

*Tabelle 7: Berechnung der Korrelation für den Status 1=krank mit dem Korrelationskoeffizienten nach Spearman-Rho*

In Tabelle 7 wurde die Korrelation zwischen den Deltawerten AC- / CC-Distanz beim Status 1=krank mittels zwei-zeitiger Signifikanz wiedergegeben. Im Vergleich zum gesunden Patientenkollektiv fällt auf, dass die p-Werte beim Status 1=gesund in drei von vier Fällen unterhalb des festgelegten Signifikanzniveaus von  $p \leq 0.05$  liegen, die Korrelationskoeffizienten aller vergleichenden Merkmale liegen im positiven Bereich ( $r > 0$ ). Lediglich zwischen dem CC-Delta und dem AC - Delta[%] liegt keine Korrelation vor. Somit kann davon ausgegangen werden, dass eine Korrelation zwischen den Deltawerten der CC-Distanz und den Deltawerten der AC-Distanz vorliegt.

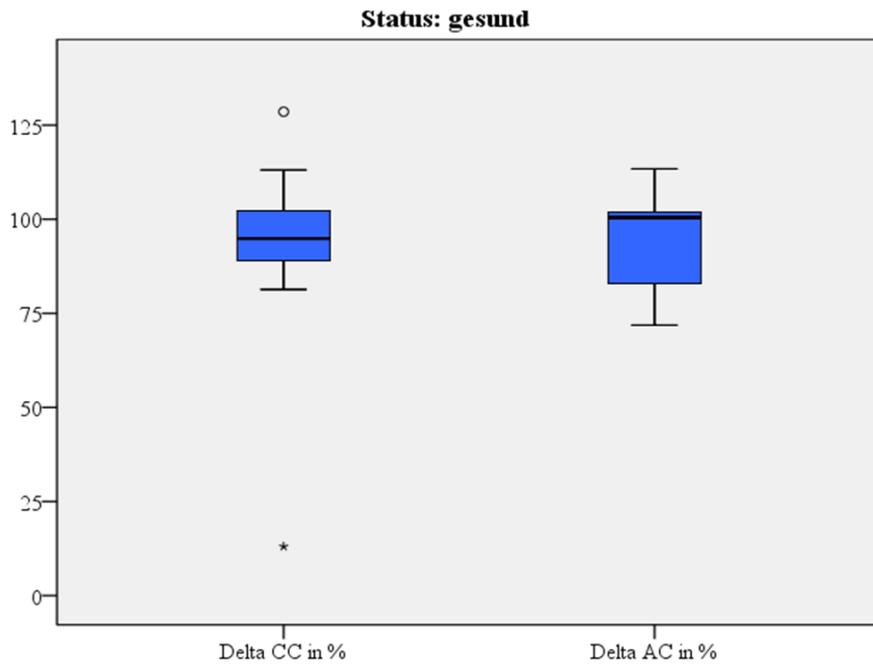


Abbildung 7: Boxplot: Darstellung der Deltas in % für den Status 0=gesund

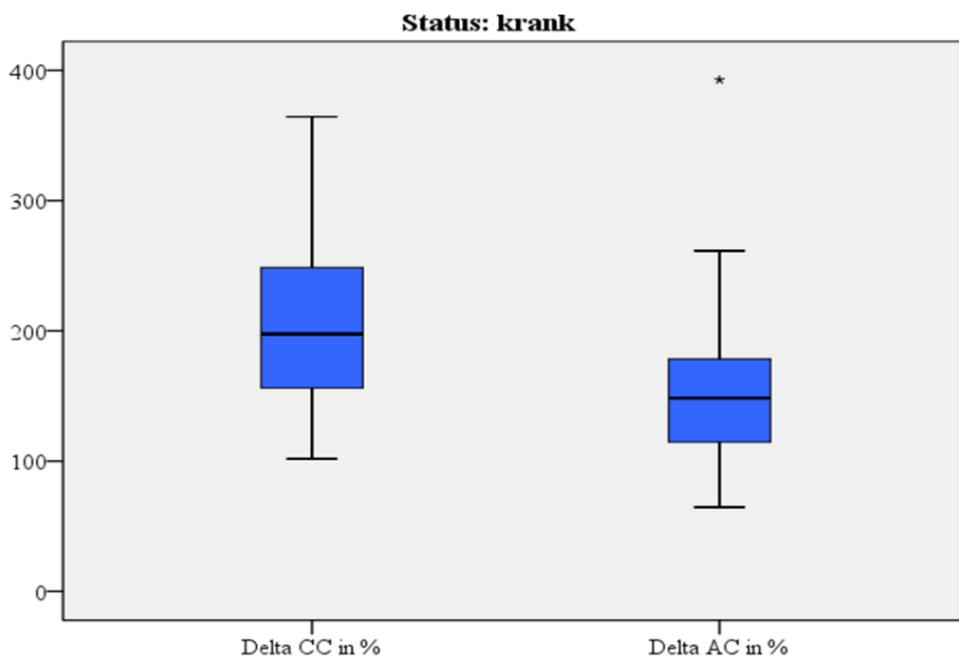


Abbildung 8: Boxplot: Darstellung der Deltas [%] für den Status 1=krank

Mithilfe von Streudiagrammen, bzw. Scatterplots gelang es, die Korrelation zwischen AC-Delta und CC-Delta, sowie AC-Delta[%] und CC-Delta[%] graphisch darzustellen. Dies wurde zum einen jeweils separat für das kranke und gesunde Patientengut, zum anderen für die gesamte Population durchgeführt. Die Streudiagramme werden in den Abbildungen 9 bis 11 aufgeführt. Beim Status 0=gesund liegt keine ( siehe Abb. 9 ), beim Status 1=krank liegt eine schwache (siehe Abb. 10) und beim gesamten Patientengut liegt eine stärkere Korrelation vor (siehe Abb. 11).

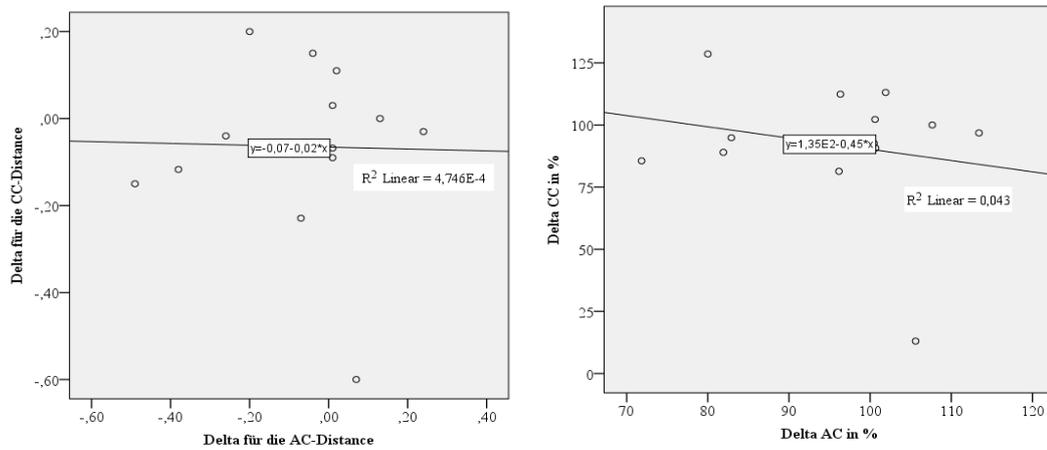


Abbildung 9: Scatterplots für den Status 0=gesund

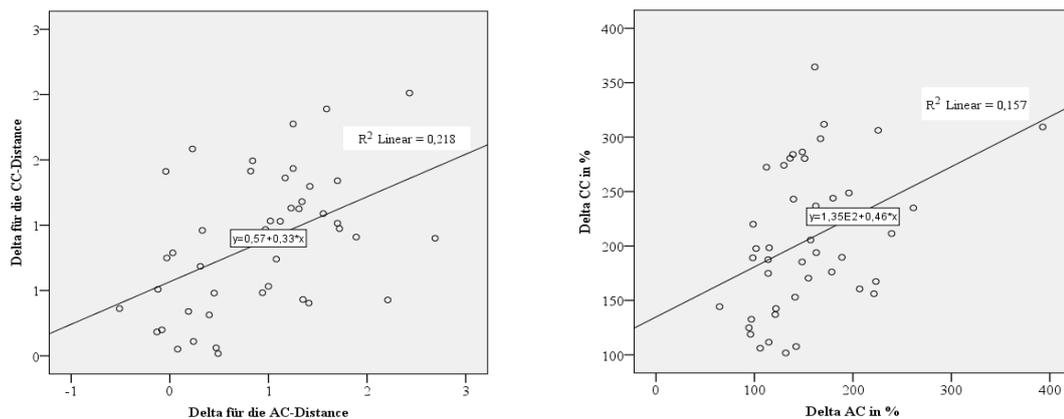


Abbildung 10: Scatterplots für den Status 1=krank

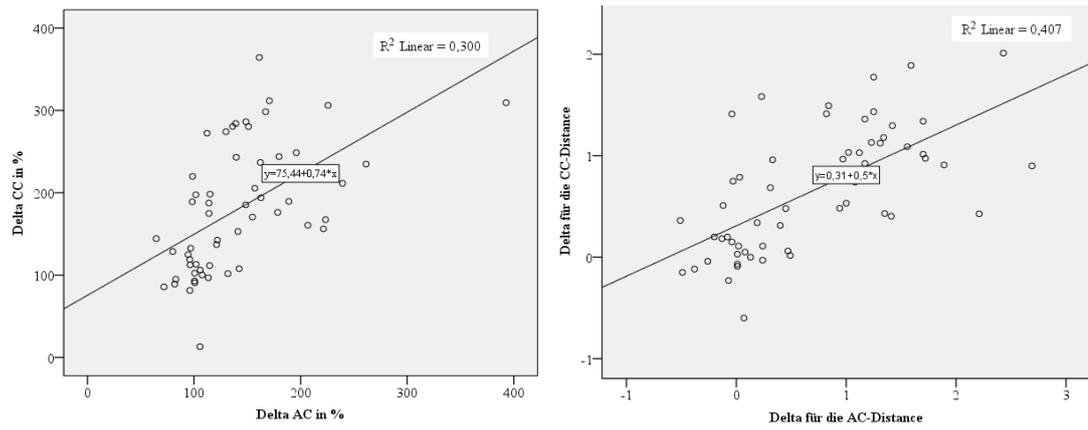


Abbildung 11: Scatterplots für das gesamte Patientengut (Status 0=gesund; Status 1=krank)

#### 4.6 Cut-off-Werte

Bei Betrachtung der Mittelwerte ( siehe Tab. 9) für das AC–Delta fällt ein Mittelwert von - 0,73, innerhalb der gesunden Vergleichsgruppe, und ein Mittelwert von 0,93 innerhalb des kranken Patientenkollektivs auf. Die 97,8% innerhalb des Status 1 kommt dadurch zustande, dass der Extremwert mit sehr hohem Delta innerhalb der Messungen für das AC-Delta eliminiert wurde.

Status		Fälle					
		Gültig		Fehlend	Gesamt		
		N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
AC_Delta Delta für die AC- Distanz	0 gesund	13	100,0%	0	0,0%	13	100,0%
	1 krank	45	97,8%	1	2,2%	46	100,0%

Tabelle 8: Verarbeitete Fälle zur Berechnung des Cut-offs exklusive einem Extremwert innerhalb des Status 1=krank

Status	Status	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
AC_Delta Delta für die AC-Distanz	0 gesund	13	-,07308	,206009	,057137
	1 krank	45	,93880	,747461	,111425

Tabelle 9: Darstellung der Mittelwerte der AC-Deltas für den Status 1=krank und 0=gesund

Zur visuellen Darstellung der Verteilung der Delta Werte innerhalb der AC – Distanz wurde ein Boxplot erstellt (siehe Abb. 12), die x–Achse stellt das gesunde Patientenkollektiv (Status 0=gesund) und das Patientenkollektiv mit vorliegender ACG-Verletzung (Status 1=krank) dar, auf der y–Achse wird die AC–Distanz in den Abständen von -1 bis +3 cm abgebildet. Bei genauerer Betrachtung von Abbildung 12 fällt bereits eine starke Abgrenzung der AC–Delta–Werte zwischen Gesunden und Kranken auf.

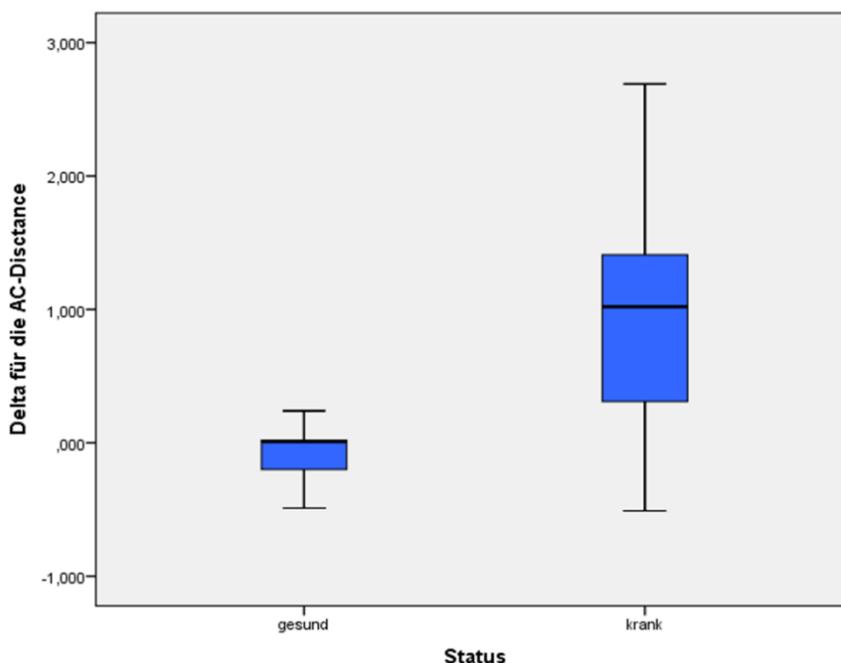


Abbildung 12: Boxplot für die Darstellung der Verteilung der Deltas für die AC-Distanzen

SPSS® bietet zur Berechnung eines Cut-off-Werts das Menü „optimale Klassierung“ an. Die Berechnung dazu wurden in Tabelle 14 aufgeführt.

Status	Mittelwert	N	Standardabweichung	Minimum	Maximum
0 gesund	-,07308	13	,206009	-,490	,240
1 krank	,93880	45	,747461	-,310	2,690
Insgesamt	,71200	58	,788282	-,510	2,690

Tabelle 10: Bericht "Optimale Klassierung" durch SPSS®

Aus Tabelle 14 geht hervor, dass der niedrigste Wert innerhalb des Status 1=krank bei 0,31 für das AC – Delta liegt. Auf der anderen Seite beträgt das Maximum, also der höchste AC–Delta–Wert beim gesunden Patientenkollektiv 0,24.

Folgendes eindimensionales Streudiagramm (Dotplot) in Abbildung 13 stellt die Verteilung der AC–Deltas bei Gesunden und Kranken in einer Spanne zwischen -1 und +3 mm dar. Hier fällt auf, dass sich die AC–Deltas beim gesunden Patientenkollektiv deutlich näher im Bereich von 0,000mm befinden, als beim kranken Patientenkollektiv.

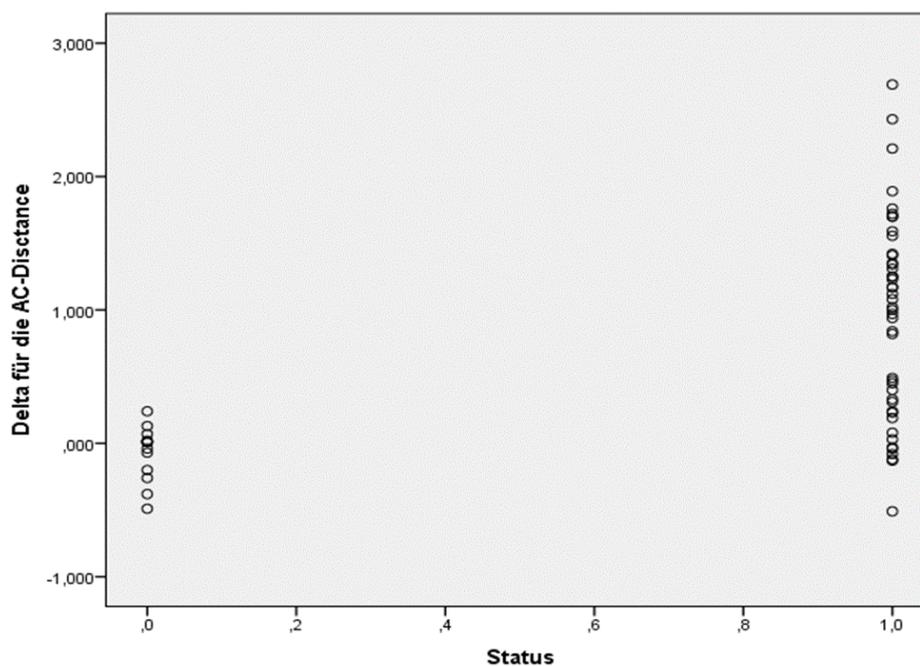


Abbildung 13: Dotplot zur Darstellung der Verteilung des Deltas für die AC-Distanz; links Status 0=gesund; rechts Status 1=krank

Tabelle 11 stellt die Deltas der AC–Distanz bei den 13 Gesunden und den 46 Kranken gegenüber. Es wird veranschaulicht, dass das höchste gemessene Delta innerhalb der Gesunden 0,24 beträgt, der nächsthöhere Wert innerhalb der des kranken Patientenkollektivs beträgt 0,310. Mittels „optimaler Klassierung“ wurden sogenannte Cut–off–Variablen erzeugt (siehe Abb. 38). Bei Bildung eines Cut-off-Wertes von 0,310 fallen auch 11

Patienten (23,9%) des kranken Patientenkollektivs unter diesen Wert. 35 Patienten (76,1%) befinden sich oberhalb des Cut-offs. Jedoch befinden sich 100 Prozent des gesunden Patientenkollektivs unterhalb des gebildeten Cut-off-Wertes von  $< ,310$ . 11 von 46 Patienten mit Akromioklavikulargelenksverletzung würden somit als falsch-negativ eingestuft werden.

			AC Delta-Cut-off Eingabevariable AC Delta auf der Grundlage der Leitvariablen Status		Gesamt
			AC Delta $< ,0310$	AC Delta $> ,0310$	
Status Status	0 gesund	Anzahl	<b>13</b>	0	13
		% innerhalb von Status Status	<b>100,0%</b>	0,0%	100,0%
	1 krank	Anzahl	11	<b>35</b>	46
		% innerhalb von Status Status	23,9%	<b>76,1%</b>	100,0%
Gesamt		Anzahl	24	35	59
		% innerhalb von Status Status	40,7%	59,3%	100,0%

*Tabelle 11: cut-off-Eingabevariable AC-Delta auf der Grundlage der Leitvariablen Status  
Kreuztabelle*

Mittels ROC – Verfahren wurde das Optimum für den Cut-off berechnet. Die Summe von Sensitivität und Spezifität ergab ein Optimum von 0,31 cm als Cut-off für eine vorliegende horizontale Instabilität. Die Berechnung der Cut-off-Werte mittels optimaler Klassierung wird in Tabelle 22 im Anhang aufgeführt. Die Fläche unter der Kurve ergab eine AUC von 100% (siehe Tab.12).

Fläche	Standardfehler <sup>a</sup>	Asymptotische Signifikanz <sup>b</sup>	Asymptotisches 95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
1,000	,000	,000	1,000	1,000

Tabelle 12: Berechnung der AUC: a) Unter der nicht parametrischen Annahme  
b) Nullhypothese: Wahrheitsfläche=0,05

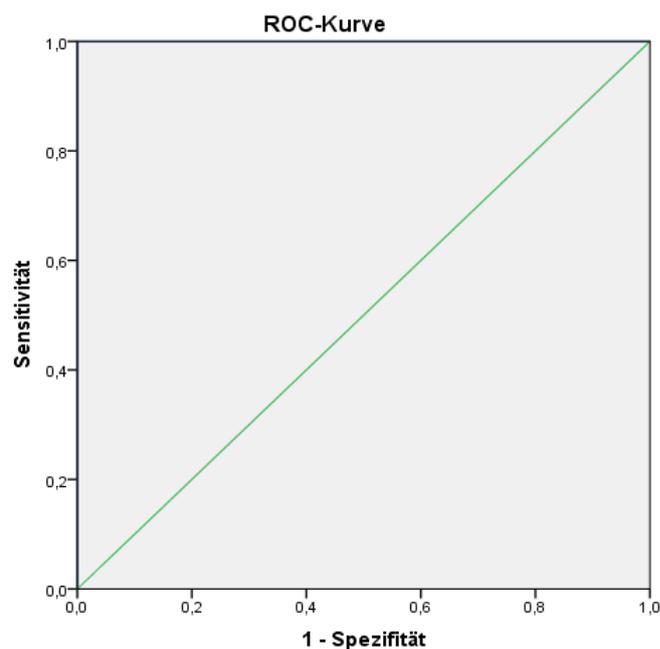


Abbildung 14: ROC-Kurve bei einem Cut-off-Wert von 0,310

Abbildung 14 zeigt, dass bei einem Cut-off von 0,310 cm eine hundert prozentige Trennung zwischen gesundem und kranken Patientenkollektiv entsteht. Die Area under the curve beträgt 100 Prozent und ist somit identisch mit der y-Achse und der oberen Kante.

#### 4.6.1 Cut-Off Wert bezogen auf die einzelnen Rockwood-Grade

Rockwood-Grad	Kleiner Cut-Off	Größer Cut-Off	Anteil in %
I	2	0	100/0
II	4	1	80/20
III	5	6	45/55
IV	1	9	10/90
V	1	17	5/95

Tabelle 13: Subgruppen für die einzelnen Grade nach der Rockwood<sup>75</sup> Einteilung

Bei einem festgelegten Cut-Off Wert von 0,310cm, welcher eine horizontale Instabilität bei Akromioklavikulargelenksprengungen in der vorliegenden Studie festlegt, wurden innerhalb der einzelnen Rockwood-Grade sogenannte Subgruppen der Patienten gebildet. Von 2 Patienten des Grads I nach Rockwood befinden sich 100% der Patienten unterhalb des Cut Offs und 0 % oberhalb des Cut-Offs. Von 5 Rockwood II Patienten befinden sich 80% unterhalb des Cut Off wertes, 20% liegen oberhalb des Cut-Off Wertes. Von insgesamt 11 Rockwood Grad III Patienten befinden sich 45 % unterhalb des Cut Offs, 55% liegen oberhalb des Cut Off Wertes. Von insgesamt 10 Rockwood IV Patienten befinden sich 10 % unterhalb des Cut Offs, 900% liegen oberhalb des Cut Off Wertes. Von insgesamt 18 Patienten mit einer Verletzung des Rockwood Grads V befinden sich 5% unterhalb des Cut Offs, 95% liegen oberhalb das Cut Off Wertes.

#### **4.7. Intra- und interobserver reliability**

Die Interobserver-Reliabilität der zwei voneinander unabhängigen Untersucher stellte sich mit einem  $\alpha$ -Wert von 0,89 als gut dar. Der  $\alpha$ -Wert von 0,94 für die Intraobserver-Reliabilität ist als exzellent zu bewerten. Weiterhin wurde statistisch erfasst, wie viele Patienten sich in einer Mindestabweichung von 10% zwischen Rater 1 und Rater 2 befinden. Diese wurden separat für die unverletzte sowie für die verletzte Schulter ausgewertet. 72,2% der Messungen an der unverletzten Schulter befinden sich im Bereich einer Abweichung von +/- 10%; Bei der verletzten Schulter sind es 88,6%.

## 5. Diskussion

### 5.1 Literaturvergleich

Bislang beruht die Klassifikation für Instabilitäten des Akromioklavikulargelenks auf einer radiologischen Evaluierung von Panoramastressaufnahmen beider Schultern. Das Klassifizierungssystem für Akromioklavikulargelenksverletzungen nach Rockwood quantifiziert exakt das Ausmaß der Dislokation der distalen Klavikula in der vertikalen Ebene. Die posteriore Dislokation wurde jedoch bei Verletzungen vom Grad IV nach Rockwood nicht quantitativ definiert. Mehrere Studien berichten von nicht zufriedenstellenden Ergebnissen nach konservativer Behandlung von sogenannten „niedrig-gradigen“ Akromioklavikulargelenksverletzungen vom Typ II und III nach Rockwood<sup>52,76-78</sup>. Diese Studien deuten darauf hin, dass eine vorliegende horizontale Instabilitätskomponente auch bei niedrig-gradigen Akromioklavikulargelenksverletzungen auftritt und eine horizontale Instabilitätskomponente in der primären radiologischen Diagnostik häufig übersehen wird, welche zu späterem Zeitpunkt eine chronische AC-Gelenkspathologie induzieren kann. Falls die Verletzung initial als nicht-instabil in der horizontalen Ebene eingestuft wird, wäre die konservative Behandlung nach evidenzbasierter Literatur die Therapie der Wahl. Zum jetzigen Zeitpunkt ist unklar, ob bei allen Patienten mit vorliegender horizontaler Instabilitätskomponente eine chirurgische Therapie von Nöten ist. Moushine et al. berichten in ihrer Studie von einer 27 prozentigen Versagensrate nach konservativer Behandlung von Akromioklavikulargelenksverletzungen des Typs I und II nach Rockwood mit sekundärer chirurgischer Therapie nach 26 Monaten<sup>52</sup>. Andere Autoren berichten von Versagensraten bei Rockwood Typ-II Verletzungen zwischen 25 und 35 Prozent nach konservativer Behandlung<sup>76,77</sup>. Schlegel et al. stellen innerhalb ihrer Studien eine 20 prozentige Rate suboptimaler Ergebnisse nach konservativer Therapie bei Rockwood Typ-III Verletzungen dar<sup>78</sup>. Eine Metaanalyse von 1172 Patienten mit Rockwood Typ-III Verletzungen schilderte eine Beschwerdepersistenz von 13 Prozent bei Patienten nach konservativer Therapie, nach operativer Therapie lag

diese bei 12 Prozent aller Patienten<sup>79</sup>. Es muss erwähnt werden, dass momentan wenig Literatur zu Ergebnissen von Patienten nach chirurgischer Therapie einer Rockwood III bis V Verletzung vorliegt<sup>75</sup>. Die meisten Studien stellen Ergebnisse vom Typ-III Dislokationen nach Tossy et al. vor, welche ein großes Spektrum an Anomalien beinhalten<sup>12</sup>.

Eine interessante und einfach durchzuführende Variante zur Detektion einer horizontalen Instabilität stellt die laterale Alexander-Aufnahme dar. Diese wurden erstmalig von O.M. Alexander im Jahr 1954 beschrieben<sup>47</sup>. Dabei handelt es sich um eine Y-View Stressaufnahme in maximaler Horizontaladduktion des verletzten Armes. Hierdurch wird die Klavikula unter Stress gesetzt, so dass diese horizontal abgebildet werden kann. Eine Überlagerung von distaler Klavikula und Akromion spricht laut Alexander für ein intaktes AC-Gelenk. Bei einer kompletten, bzw. inkompletten Ruptur der CC- und/oder AC-Bänder befindet sich das laterale Klavikulaende oberhalb des Akromions. Im Jahr 1981 wiesen Waldrop et al. erneut auf die Relevanz einer lateralen Aufnahme zur Detektion einer horizontalen Instabilitätskomponente, insbesondere bei einer Dislokation nach posterior hin<sup>80</sup>. Auf der Basis der Beobachtungen von O.M. Alexander beschrieben Sie, dass die Überlappung zwischen distalem Klavikulaende und Akromion bei einer vorliegenden posterioren Dislokation verloren geht und die Klavikula oberhalb und hinter dem Akromion erscheint.

Im Jahr 2017 wurde von Minkus et al. eine Studie zur Quantifizierung der horizontalen Instabilität anhand von Alexander-Aufnahmen unter Einschluss von Patienten mit Typ III und IV nach Rockwood durchgeführt<sup>81</sup>. Sie überarbeiteten die Alexander-Aufnahme, indem durch Kreuzpositionierung des ipsilateralen Armes der Stress auf das ACG weiter vergrößert wird und somit eine horizontale Instabilitätskomponente durch „Provokation“ einer posterioren Translation dargestellt werden kann<sup>82</sup>. Die dynamische posteriore Translation wurde anhand von qualitativen und quantitativen Parametern evaluiert. Eine qualitative posteriore Translation wird durch die Abweichung einer Linie zwischen Klavikula und Akromion innerhalb der modifizierten Alexander-Aufnahme beurteilt, die Einteilung

erfolgt in eine partielle, eine komplette oder in eine nicht vorhandene posteriore Translation. Die quantitative Evaluation berechnet den Überlappungsbereich zwischen Akromion und Klavikula und vergleicht diesen mit der kontralateralen Seite. Zusätzlich wurden die durchgeführten Messungen mit Scoring-Systemen für die Schulter und speziell für das AC-Gelenk, wie dem "*Constant Score*"<sup>83</sup>, dem "*Subjective shoulder value*"<sup>84</sup>, dem "*Taft score*"<sup>85</sup> und dem "*acromioclavicular joint instability score*"<sup>36</sup>, in Korrelation gesetzt. Die Ergebnisse der Studie von Minkus et al. zeigen, dass eine dynamische posteriore Translation mit schlechteren klinischen Ergebnissen einher geht. Dies unterstreicht die Notwendigkeit eines neuen umfassenden Klassifizierungssystems, welches eine horizontale Instabilitätskomponente berücksichtigt und diese auch unter den niedriggradigen AC-Gelenksinstabilitäten implementiert. Die Studie von Minkus et al. sollte auch kritisch betrachtet werden. Aufgrund des kleinen Patientenkollektivs benötigt diese Studie weitere Validierung in der Zukunft. Die Messmethode anhand von modifizierten Alexander-Aufnahmen stellt sich als vielversprechend dar, jedoch könnte es schwierig sein, die Patienten innerhalb des Röntgenstrahls einheitlich zu positionieren. Dies führt zwangsläufig zu mangelnder inter- und intraindividuelle Vergleichbarkeit der Aufnahmen und stellt eine Einschränkung dieser Studie dar.

Um eine horizontale Instabilität zu beurteilen, wurden von einigen Autoren als Alternative zur Alexander-Aufnahme sogenannte axilläre Aufnahmen vorgeschlagen. Rahm et al. zeigten in ihren Studien jedoch, dass es sich bei horizontalen Instabilitäten selten um ausschließlich statische Dislokationen handelt und dass die konventionelle axilläre Aufnahme eine horizontale Instabilität nicht akkurat genug diagnostizieren kann<sup>86</sup>. Interindividuelle Variationen, beziehungsweise positionsabhängige Faktoren, können die radiologischen Verhältnisse zwischen der distalen Klavikula und dem Akromion erheblich beeinflussen. Abhängig von der Position des Armes kann eine Akromioklavikulargelenksverletzung innerhalb einer axillären röntgenologischen Aufnahme „nicht-pathologisch“ erscheinen, dies führt zwangsläufig zu Fehldiagnosen mit nachfolgender

nicht zufriedenstellender Therapie. Generell können ligamentäre Gelenkinstabilitäten mittels Standard-Röntgenaufnahmen nicht immer diagnostiziert werden. Stressaufnahmen, beziehungsweise funktionale Aufnahmen, müssen durchgeführt werden, um ein ligamentäre Insuffizienzen zu detektieren. Aus diesem Grund wurde im Jahr 2010 von Tauber et al. ein umfassendes Protokoll für die Auswertung von sogenannten „funktionalen radiologischen Aufnahmen“ bei akuten Akromioklavikulargelenksverletzungen innerhalb der axillären Ansicht entwickelt, um eine horizontale Translation bei Patienten mit akuter Verletzung des Akromioklavikulargelenks zu detektieren<sup>13</sup>. Hierdurch soll die Detektion und Quantifizierung der anteroposterioren ACG-Instabilität ermöglicht werden, welche ansonsten gegebenenfalls innerhalb von statischen konventionellen axillären Aufnahmen nach Rockwood übersehen werden könnte. Hauptziel dieser Studie war es, ein standardisiertes und einfaches Messverfahren innerhalb der axillären Aufnahme einzuführen, um anhand dieser inter- und intraindividuelle Vergleiche, sowie statistische Analysen zu ermöglichen. Tauber et al. führten Messungen des sogenannten „Glenoakromioklavikularwinkels“ (GACA) auf dem Rücken liegend in zwei verschiedenen Armpositionen ( Position 1: Schulter in 90°-Abduktion und 60°-Flexion; Position 2: 90°-Abduktion und 60°-Flexion) durch, dieser wurde mit der kontralateralen Seite verglichen. Bei einer Differenz von „12,3° gemessen zwischen dem GACA aus Position 1 und dem GACA aus Position 2 „Sensitivität von 93% und einer Spezifität von 92%“ eine vorliegende horizontale Instabilität des ACg bestimmt werden. Die Methode erlaubt die Quantifizierung von dynamischen posterioren Translationen bei akuten Dislokationen des Akromioklavikulargelenks. Die Messmethode von Tauber et al. sollte jedoch auch kritisch diskutiert werden. Grundvoraussetzung für die Messmethode sind Winkelmessungen anhand von sechs verschiedenen Röntgenaufnahmen, somit ist die Strahlenbelastung zur Berechnung der GACA – Winkel nicht unerheblich. Weiterhin könnte die Umsetzung der Messmethode nach Tauber et al. im klinischen Alltag aufgrund der

Komplexität der Röntgenbilder und der zusätzlich entstehenden Kosten schwierig zu realisieren sein.

Erst kürzlich untersuchten Zumstein et al. weitere Parameter, um die vertikale und horizontale Instabilität detektieren zu können<sup>87</sup>. Dabei wurden verschiedene Verletzungsmuster mit unterschiedlichen Dislokationstypen an einem Kunstknochen-Modell aus Skapula und Klavikula simuliert. Bei jeder Positionsvariante wurden Zanca-Aufnahmen und Alexanderaufnahmen in koronaler, sagittaler und axialer Ebene durchgeführt. Insgesamt wurden fünf röntgenologische Messparameter erhoben, wobei sich insbesondere der AC-DC-Winkel (Winkel zwischen dorsaler Klavikula und einer Linie durch das Zentrum des Akromions) als zuverlässige Messmethode für die vertikale Dislokation und der GC-PC-Winkel (Winkel zwischen posteriorer Klavikula und einer Linie durch das Zentrum des Glenoids) als zuverlässige Messmethode für die horizontale Dislokation qualifizierte. Die beiden Werte zeigten eine sehr gute Validität verglichen mit der effektiv gemessenen Distanz auf computertomografischen Aufnahmen. Laut Zumstein et al. ist die Bestimmung dieser beiden Winkel hilfreich, um eine horizontale Instabilität, auch bei niedrig-gradigen Verletzungstypen nach Rockwood, zu detektieren. Jedoch muss auch die Studie von Zumstein et al. kritisch diskutiert werden. Da es sich bei der Studie um einen statischen, nicht-dynamischen Versuchsaufbau handelt, können die Messwerte nicht direkt in die klinische Praxis übertragen werden. Absolute Abstände zwischen Akromion und Klavikula können beim Kadaver, bzw. im klinischen Setup stark variieren. Sowohl die klinische Relevanz der Messungen, als auch die Rolle der Messungen innerhalb des Therapiekonzepts von Akromioklavikulargelenksverletzungen müsste in der Zukunft durch prospektive klinische Studien validiert werden.

Selbst die Zanca-Aufnahme, welche zur Detektion einer vertikalen Instabilität standartmäßig durchgeführt wird, ist nicht unumstritten und muss kritisch betrachtet werden. In einem Modell konnte gezeigt werden, dass die vertikale Distanz mittels der gebräuchlichen CC-Distanz entgegen der

Erwartung einer Zunahme entsprechend der Klassifikation nach Rockwood nicht adäquat abgebildet werden kann<sup>87</sup>. Die CC-Distanz kann bei einer zusätzlich vorliegenden posterioren Translation sogar projektionsbedingt unterschätzt werden, was zu einer substantiellen Unterschätzung der vorliegenden Pathologie führen kann.

Zunehmend werden Messparameter anhand von weiterführenden apparativen Untersuchungen wie dem MRT oder der Ultraschalldiagnostik erhoben und quantifiziert, um ACG-Sprengungen exakter diagnostizieren zu können. Zwar erlaubt das MRT eine direkte Visualisierung der Bandstrukturen, um das Verletzungsausmaß gegebenenfalls noch differenzierter beurteilen zu können<sup>51</sup>. Jedoch sind die zusätzlich entstehenden Kosten enorm, weiterhin besteht nicht in jeder orthopädisch/unfallchirurgischen Klinik eine uneingeschränkte Verfügbarkeit eines MRT, so dass eine standardmäßige Nutzung des MRT zur Diagnostik bei AC-Gelenksverletzungen kritisch betrachtet werden muss. Alternativ führen einige Kliniken eine Bildgebung des AC-Gelenks per Ultraschalluntersuchung durch<sup>48</sup>. Jedoch sind die erhobenen Messparameter anhand von Ultraschalluntersuchungen stark untersucherabhängig und nicht einheitlich reproduzierbar. Aus diesem Grund können sie nicht als Alternative zur Standarddiagnostik per Nativröntgen angesehen werden<sup>87</sup>.

Bei der genaueren Betrachtung des gebildeten Cut-off-Wertes von 0,310 cm für eine vorliegende horizontale Instabilität fällt auf, dass einige Patienten, insbesondere diejenigen mit einer diagnostizierten niedrig-gradigen ACG-Verletzung vom Typ I bis III nach Rockwood unterhalb des gebildeten Cut-off Wertes von 0,310 mm liegen und somit als falsch-negativ für eine horizontale Instabilität eingeordnet wurden. Eine mögliche Erklärung hierfür liefert die Studie von Mazzocca et al.<sup>45</sup>, welche ein Spektrum zwischen Typ-II-ACG-Verletzungen mit Stauchung der CC-Bänder und Typ-III-Dislokationen mit CC-Bandruptur vermutet. In einer Laborstudie wurde der Versuch unternommen, den biomechanischen Verletzungsgrad, ab welchem die AC-Bänder rupturiert sind und der CC-

Bandapparat inkomplett gerissen ist, zu bestimmen. Es wurde geschlussfolgert, dass ein Mobilitätsanstieg der distalen Klavikula einige Variabilitäten innerhalb der klinischen Ergebnisse von Typ-II-ACG-Verletzungen erklären kann. Dementsprechend kann konkludiert werden, dass ein variables Spektrum an ligamentären Verletzungen zu verschiedenen Graden der multidirektionalen ACG-Instabilität führt. Eine Teilruptur der AC-Bänder in Kombination mit einer Teilruptur der CC-Bänder muss berücksichtigt werden. Außerdem kann sich die Aponeurose des Deltoidmuskel und Trapezmuskels teilweise lösen, wodurch es zu einer erhöhten horizontalen Mobilität der distalen Klavikula kommen kann. Die Kombination von Verletzungen kann zwischen einzelnen Patienten variieren. Dies könnte ein Erklärungsansatz sein, warum manche Patienten mit niedrig-gradigen ACG-Verletzungen nach Rockwood oberhalb und zum Teil unterhalb des gebildeten Cut-off-Wertes in Höhe von 0,310 cm liegen.

## **5.2 Kritische Betrachtung der Studie und Schwächen**

Einige Kritikpunkte der vorliegenden Studie müssen an diesem Punkt erwähnt werden. Der Stichprobenumfang der durchgeführten Studie ist mit 46 Patienten sehr moderat, gleiches gilt für das Vergleichskollektiv von 13 Patienten. Die verhältnismäßig geringe Anzahl an Probanden für das Vergleichskollektiv kann damit gerechtfertigt werden, dass bei einer Erweiterung der Probandenanzahl weitere Personen einer Strahlenexposition ausgesetzt werden müssten. Dies wäre jedoch nicht gerechtfertigt, da die statistischen Analysen bereits bei dieser kleinen Anzahl hochsignifikante Unterschiede zwischen den Patienten mit Akromioklavikulargelenksverletzung (Status 1=krank) und der Vergleichsgruppe (Status 0=gesund) zeigten. Die durchgeführte Studie beansprucht für sich keineswegs Vollständigkeit. Sie dient lediglich als Versuch, ein Bilderzeugungswerkzeug zur exakteren Diagnose der horizontalen Instabilität bei Akromioklavikulargelenksverletzungen zu validieren. Als weiterer Kritikpunkt der Studie muss die Problematik von radiologischen Projektionsfehlern erwähnt werden, welche häufig zu

Messungenauigkeiten führen können. Positionierungen der Patienten innerhalb des Röntgenstrahls, sowie Röntgenkassetten und verwendete Röntgenröhren, variieren zwischen verschiedenen orthopädisch/unfallchirurgischen Instituten. Dies führt zwangsläufig zu mangelnder inter- und intraindividuelle Vergleichbarkeit und stellt somit eine Limitierung der durchgeführten Studie dar. Ein präzises radiologisches Standardprotokoll für die durchzuführende Radiografie bei Akromioklavikulargelenksverletzungen wäre entscheidend, um exakte und vergleichbare Messwerte zu gewährleisten und um das Risiko für Projektionsfehler zu minimieren. Zwar spielen zuverlässige radiologische Messmethoden eine große Rolle, jedoch sind diese nicht ausschlaggebend. Die implementierte Messmethode müsste mit klinischen Symptomen des Patienten, funktionellen Anforderungen, sowie klinischen Untersuchungsergebnissen korreliert und mittels prospektiv klinischer Studien validiert werden.

Bei Betrachtung der Cut-off-Werte bezogen auf die einzelnen Rockwood-Grade stellt sich die Frage, warum sich ein Patient von den Typ-IV-Verletzungen unterhalb des gebildeten cut-offs von 0,310cm befindet, wenn sich gerade dieser Typ durch eine Translation nach dorsal definiert. Weiterhin müssten alle Patienten mit einer Rockwood-V-Verletzung oberhalb des gebildeten cut-offs liegen. Ein Erklärungsansatz könnten erneut vorliegende radiologische Projektionsfehler, sowie eine inadäquate Haltung des Patientenguts während der Aufnahmen sein, welche zu Messungenauigkeiten innerhalb des Nativröntgenbildes führen.

Als weiterer Kritikpunkt der Studie kann die Tatsache angesehen werden, dass ein völlig neuer Messparameter erhoben wird, um eine zuvor nicht definierte funktionelle Anomalie des Akromioklavikulargelenks zu quantifizieren. Aus diesem Grund sind bisher keine Referenzwerte von bereits durchgeführten Studien zu Vergleichszwecken verfügbar.

## **5.4 Ausblick**

Das vorgestellte Messverfahren anhand von Alexanderaufnahmen im Seitenvergleich stellt ein einfaches und kostengünstiges Verfahren zur Quantifizierung der horizontalen Instabilität bei Akromioklavikulargelenksverletzungen dar. Es besteht ein Zusammenhang zwischen horizontaler Instabilität und nicht zufriedenstellenden klinischen Ergebnissen, deshalb muss diese Instabilitätskomponente bei der Klassifizierung von Akromioklavikulargelenksinstabilitäten in Zukunft stärker berücksichtigt werden. Die durchgeführte Studie kann keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Es liegt lediglich ein Versuch vor, ein praktisches Messverfahren anhand von in den meisten Kliniken verfügbaren Röntgenbildern zu etablieren, um eine exaktere Diagnose der horizontalen Instabilität zu gewährleisten. Der nächste realistische Schritt wäre die Umsetzung der radiologischen Befunde in einen therapeutischen Prozess. Die vorgestellte Messtechnik könnte eine horizontale Instabilität unabhängig vom Disklokationsgrad der distalen Klavikula in der vertikalen Ebene detektieren. Außerdem könnten in Zukunft Patienten detektiert werden, welche aufgrund ihrer vorliegenden horizontalen Instabilität eine chirurgische Behandlung benötigen. Bereits existierende Klassifikationssysteme müssen gegebenenfalls überarbeitet werden. Weitere Untersuchungen mittels prospektiver klinischer Langzeitstudien mit größerer Patientenpopulation sind in naher Zukunft notwendig, um den therapeutischen Nutzen, beziehungsweise die klinische Relevanz des vorgestellten Messverfahrens zu untersuchen, und um die vorgestellte neue Messmethode in gängigen Klassifizierungssystemen als Werkzeug zu validieren.

## **6. Zusammenfassung**

Eine horizontale Instabilitätskomponente bei ACG-Verletzungen ist mit schlechteren klinischen Resultaten assoziiert. Zur Beurteilung dieser müssen zusätzliche „Stressaufnahmen“, wie die Alexander-Aufnahme durchgeführt werden. Bisher erfolgt die Auswertung relativ im Vergleich zur Gegenseite, es existiert bis dato keine objektive Messmethode. Ziel dieser Studie war die Quantifizierung der horizontalen Instabilität anhand von Alexander-Aufnahmen im Seitenvergleich. Hierzu wurde eine neue Messmethode implementiert und an 46 Patienten mit einer akuten/chronischen ACG-Verletzung im Seitenvergleich bestimmt. An einem gesunden Vergleichskollektiv von 13 Probanden wurden Normwerte erhoben. Im Anschluss wurden die Patientenmessungen mit den Normwerten korreliert und ein Cut-off-Wert von 0,310 mm definiert, welcher das Vorliegen einer horizontalen Instabilitätskomponente am AC-Gelenk festlegt. Die durchgeführten statistischen Analysen zeigten hochsignifikante Unterschiede zwischen dem Patientengut mit ACG-Sprengung und dem gesunden Vergleichskollektiv. Zudem zeigten sich innerhalb des durchgeführten Messverfahrens gute bis ausgezeichnete Inter- und Intraobserver Reliabilitätswerte. Ein weiteres Ziel der Studie war die Korrelation der vertikalen Instabilität des AC-Gelenks, gemessen auf der Panoramastressaufnahme, mit der horizontalen Instabilität, gemessen auf der Alexander-Aufnahme im Seitenvergleich. Diese konnte durch statistische Analysen als signifikant eingestuft werden. Das neue Messverfahren anhand von Alexander-Aufnahmen stellt ein einfaches und kostengünstiges Mittel zur Detektion einer horizontalen Instabilität dar. Prospektive klinische Langzeitstudien mit größerer Patientenpopulation sind in Zukunft notwendig, um die klinische Relevanz und den therapeutischen Nutzen des vorgestellten Messverfahrens zu validieren. Innerhalb der radiologischen Diagnostik bei ACG-Verletzungen ist in Zukunft ein standardisiertes Röntgenprotokoll sinnvoll, um das Risiko für Projektionsfehler innerhalb der Messverfahren zur Detektion einer ACG-Verletzung zu minimieren.

## Abkürzungsverzeichnis

a.p.	anterior-posterior
AAL	anterior acromion line
Abb.	Abbildung
AC	Akromioklavikular
ACG	Akromioklavikulargelenk
al.	altera
Art.	Articulatio
AUC	area under the curve
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
CC	Korakoklavikular
cm	Zentimeter
CT	Computertomografie
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
männl.	männlich
Max.	Maximum
Min.	Minimum
mm	Millimeter
Mm.	musculi
MRT	Magnetresonanztomografie
PACS	Picture Archiving and Communication System

PCL	posterior clavicle line
Proc.	Prozess
ROC	Receiver operating statistics
Sig.	Signifikanz
SPL	scapular plane line
SPSS	Statistical Product and Service Solutions
Tab.	Tabelle
weibl.	weiblich
z.B.	zum Beispiel
Z.n.	Zustand nach

## Literaturverzeichnis

1. Habelt S, Hasler CC, Steinbruck K, Majewski M. Sport injuries in adolescents. *Orthopedic reviews* 2011;3:e18.
2. Nordqvist A, Petersson CJ. Incidence and causes of shoulder girdle injuries in an urban population. *Journal of shoulder and elbow surgery* 1995;4:107-12.
3. Rockwood C. Injuries in the acromioclavicular joint: subluxations and dislocations about the shoulder. In: RCJGD (ed) *Fracture in adults*. Philadelphia: JB Lippincott; 1984.
4. Wellmann M, Smith T. [Epidemiology, anatomy, biomechanics and imaging of acromioclavicular joint injuries]. *Unfallchirurg* 2012;115:867-71.
5. Fraser-Moodie JA, Shortt NL, Robinson CM. Injuries to the acromioclavicular joint. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 2008;90:697-707.
6. Sage FP, Salvatore JE. Injuries of the acromioclavicular joint: a study of results in 96 patients. *Southern medical journal* 1963;56:486-95.
7. Webb J, Bannister G. Acromioclavicular disruption in first class rugby players. *British journal of sports medicine* 1992;26:247-8.
8. Dias JJ, Gregg, P. J. Acromioclavicular joint injuries in sport. Recommendations for treatment. *Sports medicine (Auckland, NZ)* 1991;11:125-32.
9. Rowe CR. Acute and recurrent dislocations of the shoulder. *J Bone Joint Surg Am* 1962;44-a:998-1008.
10. Daly PJ, Sim FH, Simonet WT. Ice hockey injuries. A review. *Sports medicine (Auckland, NZ)* 1990;10:122-31.
11. Rockwood CA. *Injuries to the acromioclavicular joint*. Philadelphia: JB Lippincott; 1984.
12. Tossy JD, Mead NC, Sigmund HM. Acromioclavicular separations: useful and practical classification for treatment. *Clinical orthopaedics and related research* 1963;28:111-9.

13. Tauber M, Koller H, Hitzl W, Resch H. Dynamic radiologic evaluation of horizontal instability in acute acromioclavicular joint dislocations. *Am J Sports Med* 2010;38:1188-95.
14. Alexander OM. Dislocation of the acromioclavicular joint. : *Radiography* 15:260; 1949.
15. Heers G, Gotz J, Schubert T, et al. MR imaging of the intraarticular disk of the acromioclavicular joint: a comparison with anatomical, histological and in-vivo findings. *Skeletal radiology* 2007;36:23-8.
16. Petersson CJ, Redlund-Johnell I. Radiographic joint space in normal acromioclavicular joints. *Acta orthopaedica Scandinavica* 1983;54:431-3.
17. Zanca P. Shoulder pain: involvement of the acromioclavicular joint. (Analysis of 1,000 cases). *The American journal of roentgenology, radium therapy, and nuclear medicine* 1971;112:493-506.
18. Ludewig PM, Phadke V, Braman JP, Hassett DR, Cieminski CJ, LaPrade RF. Motion of the shoulder complex during multiplanar humeral elevation. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91:378-89.
19. Debski RE, Parsons IMt, Woo SL, Fu FH. Effect of capsular injury on acromioclavicular joint mechanics. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83-a:1344-51.
20. Fukuda K, Craig EV, An KN, Cofield RH, Chao EY. Biomechanical study of the ligamentous system of the acromioclavicular joint. *J Bone Joint Surg Am* 1986;68:434-40.
21. Klimkiewicz JJ, Williams GR, Sher JS, Karduna A, Des Jardins J, Iannotti JP. The acromioclavicular capsule as a restraint to posterior translation of the clavicle: a biomechanical analysis. *Journal of shoulder and elbow surgery* 1999;8:119-24.
22. Jensen G, Ellwein A, Voigt C, Katthagen JC, Lill H. [Erratum to: Injuries of the acromioclavicular joint : Hook plate versus arthroscopy]. *Unfallchirurg* 2016;119:132.
23. Tauber M. [Acromioclavicular injuries in professional athletes]. *Orthopade* 2014;43:249-55.
24. Corteen DP, Teitge RA. Stabilization of the clavicle after distal resection: a biomechanical study. *Am J Sports Med* 2005;33:61-7.

25. Kraus N, Minkus M, Scheibel M Acromioclavicular joint dislocation. When and how should it be treated ? Trauma Berufskrankh 2015;16:251-7.
26. Emery R. Acromioclavicular and sternoclavicular joints. Saunders, London: Copeland S (ed) Shoulder surgery; 1997.
27. Mazzocca AD, Arciero RA, Bicos J. Evaluation and treatment of acromioclavicular joint injuries. Am J Sports Med 2007;35:316-29.
28. Jensen G, Katthagen JC, Alvarado LE, Lill H, Voigt C. Has the arthroscopically assisted reduction of acute AC joint separations with the double tight-rope technique advantages over the clavicular hook plate fixation? Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA 2014;22:422-30.
29. Kocher MS, Feagin JA, Jr. Shoulder injuries during alpine skiing. Am J Sports Med 1996;24:665-9.
30. Weaver JK. Skiing-related injuries to the shoulder. Clinical orthopaedics and related research 1987:24-8.
31. Pauly S, Gerhardt, C., Haas, N. P., Scheibel, M. Prevalence of concomitant intraarticular lesions in patients treated operatively for high-grade acromioclavicular joint separations. Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA 2009;17:513-7.
32. Tischer T, Salzmänn GM, El-Azab H, Vogt S, Imhoff AB. Incidence of associated injuries with acute acromioclavicular joint dislocations types III through V. Am J Sports Med 2009;37:136-9.
33. Tauber M. Management of acute acromioclavicular joint dislocations: current concepts. Arch Orthop Trauma Surg 2013;133:985-95.
34. Wellmann M, da Silva G, Lichtenberg S, Magosch P, Habermeyer P. [Instability pattern of acromioclavicular joint dislocations type Rockwood III: relevance of horizontal instability]. Orthopäde 2013;42:271-7.
35. Cadenet FM. The treatment of dislocations and fractures of the outer end of the clavicle Int Clin 1:24; 1917.
36. Scheibel M, Droschel S, Gerhardt C, Kraus N. Arthroscopically assisted stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations. Am J Sports Med 2011;39:1507-16.

37. Beitzel K, Mazzocca AD, Bak K, et al. ISAKOS upper extremity committee consensus statement on the need for diversification of the Rockwood classification for acromioclavicular joint injuries. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 2014;30:271-8.
38. Gerber C, Rockwood CA, Jr. Subcoracoid dislocation of the lateral end of the clavicle. A report of three cases. *J Bone Joint Surg Am* 1987;69:924-7.
39. Niethard FU, Pfeil, J. , Biberthaler, P. *Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie*. Stuttgart,: Thieme; 2009.
40. Mc Laughlin HL. On the frozen shoulder: *BullHosp Joint Dis* 12; 1951.
41. Jacob AK, Sallay PI. Therapeutic efficacy of corticosteroid injections in the acromioclavicular joint. *Biomedical sciences instrumentation* 1997;34:380-5.
42. Chronopoulos E, Kim TK, Park HB, Ashenbrenner D, McFarland EG. Diagnostic value of physical tests for isolated chronic acromioclavicular lesions. *Am J Sports Med* 2004;32:655-61.
43. Jensen G KC, Lill H, Voigt C,. Aktuelle Versorgungsstrategien bei Schulterreckgelenkinstabilitäten. *Trauma Berufskrankh* 2013;15:17–24. doi:s10039-012-1904-7.
44. Habermeyer P, Lichtenberg S., Magosch, P. *Schulterchirurgie*. München: Elsevier; 2010.
45. Mazzocca AD, Spang JT, Rodriguez RR, et al. Biomechanical and radiographic analysis of partial coracoclavicular ligament injuries. *Am J Sports Med* 2008;36:1397-402.
46. Tauber M. [Diseases of the acromioclavicular joint]. *Orthopade* 2016;45:555-68.
47. Alexander OM. *Radiography of the acromioclavicular articulation: Medical Radiography Photografy*; 1954.
48. Alasaarela E, Tervonen O, Takalo R, Lahde S, Suramo I. Ultrasound evaluation of the acromioclavicular joint. *The Journal of rheumatology* 1997;24:1959-63.
49. Faruch Bilfeld M, Lapegue F, Chiavassa Gandois H, Bayol MA, Bonneville N, Sans N. Ultrasound of the coracoclavicular ligaments in the acute

phase of an acromioclavicular disjunction: Comparison of radiographic, ultrasound and MRI findings. *European radiology* 2017;27:483-90.

50. Alyas F, Curtis, M., Speed, C., Saifuddin, A., Connell, D. MR imaging appearances of acromioclavicular joint dislocation. *Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2008;28:463-79; quiz 619.

51. Schaefer FK, Schaefer PJ, Brossmann J, Hilgert RE, Heller M, Jahnke T. Experimental and clinical evaluation of acromioclavicular joint structures with new scan orientations in MRI. *European radiology* 2006;16:1488-93.

52. Mouhsine E, Garofalo R, Crevoisier X, Farron A. Grade I and II acromioclavicular dislocations: results of conservative treatment. *Journal of shoulder and elbow surgery* 2003;12:599-602.

53. Bradley JP, Elkousy H. Decision making: operative versus nonoperative treatment of acromioclavicular joint injuries. *Clinics in sports medicine* 2003;22:277-90.

54. Gstettner C, Tauber, M., Hitzl, W., Resch, H. Rockwood type III acromioclavicular dislocation: surgical versus conservative treatment. *Journal of shoulder and elbow surgery* 2008;17:220-5.

55. Collins D RC, Matsen FA, Wirth MA. *The shoulder*. Saunders, Philadelphia: Lippitt, SA; 2009.

56. Modi CS, Beazley, J., Zywiell, M. G., Lawrence, T. M., Veillette, C. J. Controversies relating to the management of acromioclavicular joint dislocations. *The bone & joint journal* 2013;95-b:1595-602.

57. Jensen G, Katthagen, J. C., Alvarado, L., Lill, H., Voigt, C. Arthroscopically assisted stabilization of chronic AC-joint instabilities in GraftRope technique with an additive horizontal tendon augmentation. *Arch Orthop Trauma Surg* 2013;133:841-51.

58. Kraus N, Scheibel M. [Injuries of the acromioclavicular joint in athletes]. *Der Chirurg; Zeitschrift fur alle Gebiete der operativen Medizen* 2014;85:854-63.

59. Broos P, Stoffelen, D., Van de Sijpe, K., Fourneau, I. [Surgical management of complete Tossy III acromioclavicular joint dislocation with the Bosworth screw or the Wolter plate. A critical evaluation]. *Unfallchirurgie* 1997;23:153-9; discussion 60.

60. De Baets T, Truijen J, Driesen R, Pittevels T. The treatment of acromioclavicular joint dislocation Tossy grade III with a clavicle hook plate. *Acta orthopaedica Belgica* 2004;70:515-9.
61. Eberle C, Fodor P, Metzger U. [Hook plate (so-called Balsler plate) or tension banding with the Bosworth screw in complete acromioclavicular dislocation and clavicular fracture]. *Zeitschrift für Unfallchirurgie und Versicherungsmedizin : offizielles Organ der Schweizerischen Gesellschaft für Unfallmedizin und Berufskrankheiten = Revue de traumatologie et d'assicurologie : organe officiel de la Socie* 1992;85:134-9.
62. Ejam S, Lind T, Falkenberg B. Surgical treatment of acute and chronic acromioclavicular dislocation Tossy type III and V using the Hook plate. *Acta orthopaedica Belgica* 2008;74:441-5.
63. Faraj AA, Ketzner B. The use of a hook-plate in the management of acromioclavicular injuries. Report of ten cases. *Acta orthopaedica Belgica* 2001;67:448-51.
64. Greiner S, Braunsdorf, J., Perka, C., Herrmann, S., Scheffler, S. Mid to long-term results of open acromioclavicular-joint reconstruction using polydioxansulfate cerclage augmentation. *Arch Orthop Trauma Surg* 2009;129:735-40.
65. Koukakis A, Manouras, A., Apostolou, C. D., Magoudianakis, E., Papadima, A., Triantafillou, C., Korres, D., Allen, P. W., Amini, A. Results using the AO hook plate for dislocations of the acromioclavicular joint. *Expert review of medical devices* 2008;5:567-72.
66. Kruger-Franke M, Maurer T, Rosemeyer B. [Athletic capacity after surgical management of acromioclavicular joint separation]. *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin* 1992;6:101-5.
67. Di Francesco A, Zoccali, C., Colafarina, O., Pizzoferrato, R., Flamini, S. The use of hook plate in type III and V acromio-clavicular Rockwood dislocations: clinical and radiological midterm results and MRI evaluation in 42 patients. *Injury* 2012;43:147-52.
68. Chernchujit B, Tischer T, Imhoff AB. Arthroscopic reconstruction of the acromioclavicular joint disruption: surgical technique and preliminary results. *Arch Orthop Trauma Surg* 2006;126:575-81.

69. Elser F, Chernchujit, B., Ansah, P., Imhoff, A. B. [A new minimally invasive arthroscopic technique for reconstruction of the acromioclavicular joint]. *Unfallchirurg* 2005;108:645-9.
70. Salzmann GM, Walz, L., Schoettle, P. B., Imhoff, A. B. Arthroscopic anatomical reconstruction of the acromioclavicular joint. *Acta orthopaedica Belgica* 2008;74:397-400.
71. Wolf EM, Pennington WT. Arthroscopic reconstruction for acromioclavicular joint dislocation. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 2001;17:558-63.
72. Hernegger GS KR. Tight rope- the revolutionary anatomical fixation in acromioclavicular joint dislocation- case report. *Tech Shoulder Elbow Surg* 2006;7:86–8.
73. Scheibel M, Ifesanya, A., Pauly, S., Haas, N. P. Arthroscopically assisted coracoclavicular ligament reconstruction for chronic acromioclavicular joint instability. *Arch Orthop Trauma Surg* 2008;128:1327-33.
74. Krüger DP, Ilka; Schecker, Horst. *Methoden der naturwissenschaftlichen Forschung*: Springer Spektrum; 2014.
75. Rockwood CJ WG, Young D. *Disorders of the acromioclavicular joint*. Philadelphia: WB Saunders.
76. Bergfeld JA, Andrish JT, Clancy WG. Evaluation of the acromioclavicular joint following first- and second-degree sprains. *Am J Sports Med* 1978;6:153-9.
77. Cox JS. The fate of the acromioclavicular joint in athletic injuries. *Am J Sports Med* 1981;9:50-3.
78. Schlegel TF, Burks RT, Marcus RL, Dunn HK. A prospective evaluation of untreated acute grade III acromioclavicular separations. *Am J Sports Med* 2001;29:699-703.
79. Phillips AM, Smart C, Groom AF. Acromioclavicular dislocation. Conservative or surgical therapy. *Clinical orthopaedics and related research* 1998:10-7.
80. Waldrop JI, Norwood LA, Alvarez RG. Lateral roentgenographic projections of the acromioclavicular joint. *Am J Sports Med* 1981;9:337-41.

81. Minkus M, Hann C, Scheibel M, Kraus N. Quantification of dynamic posterior translation in modified bilateral Alexander views and correlation with clinical and radiological parameters in patients with acute acromioclavicular joint instability. *Arch Orthop Trauma Surg* 2017;137:845-52.
82. Abel J, Zumstein MA, Bolliger L, Schar MO. [Current aspects and new techniques in dislocation of the shoulder joint]. *Orthopade* 2018;47:158-67.
83. Constant CR, Murley AH. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clinical orthopaedics and related research* 1987:160-4.
84. Fuchs B, Jost B, Gerber C. Posterior-inferior capsular shift for the treatment of recurrent, voluntary posterior subluxation of the shoulder. *J Bone Joint Surg Am* 2000;82:16-25.
85. Taft TN, Wilson FC, Oglesby JW. Dislocation of the acromioclavicular joint. An end-result study. *J Bone Joint Surg Am* 1987;69:1045-51.
86. Rahm S, Wieser K, Spross C, Vich M, Gerber C, Meyer DC. Standard axillary radiographs of the shoulder may mimic posterior subluxation of the lateral end of the clavicle. *Journal of orthopaedic trauma* 2013;27:622-6.
87. Zumstein MA, Schiessl P, Ambuehl B, et al. New quantitative radiographic parameters for vertical and horizontal instability in acromioclavicular joint dislocations. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 2018;26:125-35.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Bewegungsausmaßes der Skapula relativ zur Klavikula bei 90° Abduktion des Arms in der Frontalebene <sup>4</sup> ; a) Innenrotation von 8° b) Aufwärtsrotation von 11° c) kraniales Abklappen (posteriorer Tilt) von 19° .....	5
Abbildung 2: Alexanderaufnahme mit maximaler Horizontalabduktion des betroffenen Arms und Fixierung durch den gesunden Arm <sup>4</sup> . .....	11
Abbildung 3: Messmethodik der korakoclavikulären Distanz auf der Panoramastressaufnahme .....	19
Abbildung 4: Messmethodik der akromioklavikulären Distanz auf der Alexanderaufnahme .....	20
Abbildung 5: Altersverteilung der Gesamtgruppe.....	25
Abbildung 6: Explorative Datenanalyse mittels Darstellung eines Boxplots unter Einbeziehung der Ausreißer (siehe *) .....	30
Abbildung 7: Boxplot: Darstellung der Deltas in % für den Status 0=gesund .....	32
Abbildung 8: Boxplot: Darstellung der Deltas [%] für den Status 1=krank	32
Abbildung 9: Scatterplots für den Status 0=gesund .....	33
Abbildung 10: Scatterplots für den Status 1=krank .....	33
Abbildung 11: Scatterplots für das gesamte Patientengut (Status 0=gesund; Status 1=krank) .....	34
Abbildung 12: Boxplot für die Darstellung der Verteilung der Deltas für die AC-Distanzen .....	36
Abbildung 13: Dotplot zur Darstellung der Verteilung des Deltas für die AC-Distanz; links Status 0=gesund; rechts Status 1=krank .....	37
Abbildung 14: ROC-Kurve bei einem Cut-off-Wert von 0,310 .....	39

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verletzte Strukturen und Änderungen des korakoklavikulären Abstands unter der Unterteilung in Typ IIIa und IIIb Verletzungen durch das Konsensusstatement des ISAKOS <sup>37</sup> .....	8
Tabelle 2: : Darstellung der Datenerhebung in tabellarisch Form innerhalb des Programms Microsoft Excel®.....	22
Tabelle 3: Kreuztabelle über die Verteilung der Geschlechter innerhalb des Status "krank" und "gesund" .....	26
Tabelle 4: Häufigkeitsverteilung der Patienten innerhalb der Klassifikation nach Rockwood <sup>75</sup> .....	26
Tabelle 8: Gruppenstatistiken .....	29
Tabelle 9::Nichtparametrische Tests unter Elimination der Ausreißer (s.o.*) bei Delta und Delta[%] .....	30
Tabelle 10: Berechnung der Korrelation für den Status 1=krank mit dem Korrelationskoeffizienten nach Spearman-Rho.....	31
Tabelle 11: Verarbeitete Fälle zur Berechnung des Cut-offs exklusive einem Extremwert innerhalb des Status 1=krank.....	35
Tabelle 12: Darstellung der Mittelwerte der AC-Deltas für den Status 1=krank und 0=gesund .....	35
Tabelle 13: Bericht "Optimale Klassierung" durch SPSS® .....	36
Tabelle 14:cut-off-Eingabevariable AC-Delta auf der Grundlage der Leitvariablen Status Kreuztabelle.....	38
Tabelle 15: Berechnung der AUC: a) Unter der nicht parametrischen Annahme b)Nullhypothese:Wahrheitsfläche=0,05 .....	39
Tabelle 16: Subgruppen für die einzelnen Grade nach der Rockwood <sup>75</sup> Einteilung .....	40
Tabelle 17: Berechnung des cut-offs für eine vorliegende horizontale Instabilität.....	a
Tabelle 18: t-Test bei unabhängigen Stichproben.....	b



## *Eidesstattliche Versicherung*

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema“ Einführung eines neuen Messverfahrens zur Quantifizierung der horizontalen Schulterreckgelenksinstabilität anhand von Alexander-Aufnahmen im Seitenvergleich“ selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft und Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe. Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Aachen, den 14.11.2019

Julian van Maele

## Anhang

Positiv, wenn größer oder gleich <sup>a</sup>	Sensitivität	1 - Spezifität		
-1,51000	1,000	1,000	0,000	1,000
-,50000	1,000	,958	0,042	1,042
-,43500	1,000	,917	0,083	1,083
-,32000	1,000	,875	0,125	1,125
-,23000	1,000	,833	0,167	1,167
-,16500	1,000	,792	0,208	1,208
-,12500	1,000	,750	0,250	1,250
-,10000	1,000	,708	0,292	1,292
-,07500	1,000	,667	0,333	1,333
-,05500	1,000	,625	0,375	1,375
-,03500	1,000	,542	0,458	1,458
-,01000	1,000	,500	0,500	1,500
,01500	1,000	,375	0,625	1,625
,02500	1,000	,333	0,667	1,667
,05000	1,000	,292	0,708	1,708
,07500	1,000	,250	0,750	1,750
,10500	1,000	,208	0,792	1,792
,16000	1,000	,167	0,833	1,833
,21000	1,000	,125	0,875	1,875
,23500	1,000	,083	0,917	1,917
<b>,27500</b>	<b>1,000</b>	<b>0,000</b>	<b>1,000</b>	<b>2,000</b>

Tabelle 14: Berechnung des cut-offs für eine vorliegende horizontale Instabilität

		Levene-Test der Varianz- gleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Sig.	T	df	Sig. (2- seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
CC_Delta für die CC- Distanz	Varianzen sind gleich	4,598	,036	-4,52	57	,000	-1,016	,224629	-1,466	-,566
	Varianzen sind nicht gleich			-7,80	56,75	,000	-1,016	,130	-1,277	-,755
CC_Delta_vH Delta [%]	Varianzen sind gleich	12,854	,001	-6,11	57	,000	-113,725	18,589	-150,949	-76,501
	Varianzen sind nicht gleich			-9,33	48,64	,000	-113,725	12,189	-138,226	-89,225
AC_Delta für die AC- Distanz	Varianzen sind gleich	8,389	,005	-4,15	57	,000	-1,097	,264	-1,627	-,568
	Varianzen sind nicht gleich			-7,31	55,55	,000	-1,097	,150	-1,398	-,797
AC-Delta_vH Delta [%]2	Varianzen sind gleich	5,850	,019	-3,22	57	,002	-67,454	20,900	-109,306	-25,601
	Varianzen sind nicht gleich			-5,85	52,31	,000	-67,454	11,523	-90,573	-44,334

Tabelle 15: t-Test bei unabhängigen Stichproben