

Aus der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Charakteristika und Klassifikation der funktionellen Schulterinstabilität (FSI)

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Victor Andreas Danzinger
aus Wien

Datum der Promotion: 18.09.2020

Inhaltsverzeichnis

1	Abstrakt	4
1.1	Abstrakt	4
1.2	Abstract	5
2	Darstellung des Forschungsstandes	7
2.1	Allgemeiner Hintergrund	7
2.2	Zielsetzung	9
3	Vertiefte Schilderung der Methodik	11
3.1	Patientenkollektiv	11
3.2	Datenerhebung	11
3.3	Klinische Untersuchung	13
3.4	Radiologische Evaluation	13
3.5	Psychologisches Assessment	14
3.6	Einteilung des Instabilitätsmechanismus	15
3.7	Statistik	15
3.8	Ethikvotum und Datenschutz	16
4	Wesentliche neue Ergebnisse	17
4.1	Studienkollektiv	17
4.2	Klinische Merkmale	18
4.3	Einteilung des Instabilitätsmechanismus	19
4.4	Radiologische Evaluation	22
4.5	Psychologisches Assessment	23
5	Klinische Anwendung	25
5.1	Klassifikation der FSI	25
5.2	Richtung der Instabilität	26
5.3	Therapie der Subgruppen	27
6	Weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen	30
6.1	Verhältnis der Subgruppen	30
6.2	Verifikation der Muskelaktivität bei FSI	30
6.3	Evaluation der Beschwerden bei FSI	30

6.4	Strukturelle Auffälligkeiten bei FSI.....	31
6.5	Psychologischer Aspekt der FSI.....	32
7	Literaturverzeichnis	33
8	Eidesstattliche Versicherung	36
9	Ausführliche Anteilserklärung	37
10	Auszug aus der Journal Summary List	38
11	Druckexemplar der ausgewählten Publikation	39
12	Lebenslauf.....	50
13	Publikationsliste	52
14	Danksagung	53

1 Abstrakt

1.1 Abstrakt

Hintergrund: Abnormale Muskelaktivierungsmuster können zu Schulterinstabilität führen. In dieser prospektiven Kohortenstudie wurde diese Pathologie als funktionelle Schulterinstabilität (FSI) definiert. Eine detaillierte Analyse der FSI wurde durchgeführt, um spezifische Charakteristika der FSI aufzuzeigen.

Methodik: Innerhalb eines Jahres (1/2017-12/2017) wurden 36 Fälle von FSI prospektiv rekrutiert. Die diagnostische Analyse umfasste eine klinische Untersuchung, einen Pathologie-spezifischen Fragebogen inklusive standardisierte klinische Scores (WOSI, Rowe, SSV), eine psychologische Evaluation, aktuelle Magnetresonanztomographie-Aufnahmen, eine Videodokumentation und eine dynamische fluoroskopische Analyse des Instabilitätsmechanismus. Basierend auf den gesammelten Daten wurden unterschiedliche Subgruppen von FSI dargestellt und verglichen.

Ergebnisse: Gemäß des beobachteten Instabilitätsmechanismus wurde eine positionsabhängige FSI (78%) von einer nicht-positionsabhängigen FSI (22%) unterschieden. Eine kontrollierbare positionsabhängige FSI wurde in 6% und eine nicht-kontrollierbare positionsabhängige FSI in 72% der Fälle nachgewiesen, während eine kontrollierbare und nicht-kontrollierbare nicht-positionsabhängige FSI in 11% der Fälle beobachtet wurde. Die ermittelten Subgruppen der FSI offenbarten signifikante Unterschiede hinsichtlich der funktionellen Beeinträchtigung (Stabilität: $p < 0,001$, Alltag: $p = 0,001$, Sport: $p < 0,001$) und in den erhobenen klinischen Scores (WOSI: $p = 0,002$, Rowe-Score: $p = 0,001$, SSV: $p = 0,001$). 78% wurden als posterior,

17% als anterior und 6% als multidirektionale FSI identifiziert. Obwohl bei mehreren Studienteilnehmern konstitutionelle Veränderungen der Glenoidmorphologie oder eine Hyperlaxität beobachtet wurden, konnten nur in wenigen Fällen geringfügige, erworbene strukturelle Defekte festgestellt werden.

Schlussfolgerung: Vier Subtypen von FSI wurden gemäß dem Instabilitätsmechanismus und der willkürlichen Kontrollierbarkeit bestimmt. Entsprechend war das Ausmaß der Funktionsbeeinträchtigung zwischen den Subgruppen unterschiedlich. Die meisten Fälle zeigten eine unidirektionale posteriore FSI.

Modifiziert nach (1)

1.2 Abstract

Background: Aberrant muscle action patterns can result in shoulder instability. In this prospective cohort study, this pathology is defined as functional shoulder instability (FSI). An in-depth analysis was performed to analyze the characteristics of FSI.

Methods: Over the course of one year (1/2017-12/2017) 36 cases of FSI were recruited prospectively at the referral center. Diagnostic analysis involved a clinical examination, pathology-specific questionnaire including clinical scores (WOSI, Rowe, SSV) as well as psychological assessment, recent magnetic resonance imaging (MRI), video documentation and dynamic fluoroscopic evaluation of the pathomechanism. Based on the collected data, distinctive subgroups of FSI were established and compared.

Results: According to the observed pattern, positional FSI (78%) was differentiated from non-positional FSI (22%). Controllable positional FSI was detected in 6% and non-controllable positional FSI in 72% of the cases while controllable and non-controllable non-positional FSI were observed in 11% of all cases respectively. The determined subgroups of FSI revealed significant differences regarding functional impairment (stability: $p < 0.001$, daily activities: $p = 0.001$, sports activities: $p < 0.001$) and in all clinical scores assessed (WOSI: $p = 0.002$, Rowe-Score: $p = 0.001$, SSV: $p = 0.001$). 78% were identified with posterior, 17% with anterior, and 6% with multidirectional FSI. Although constitutional glenoid morphologic changes or hyperlaxity were observed in some participants, only few acquired minor structural defects were detected.

Conclusion: Four subtypes of FSI were determined according to the instability mechanism and volitional control. Correspondingly, the extent of functional impairment differed between the subgroups. Most of the cases were observed with unidirectional posterior FSI.

Modifiziert nach (1)

2 Darstellung des Forschungsstandes

2.1 Allgemeiner Hintergrund

Das Schultergelenk ist das beweglichste Gelenk des menschlichen Körpers, da knöcherne Strukturen dieses nur geringgradig einschränken.⁽²⁾ Die enorme Beweglichkeit wird neben den anatomisch-strukturellen Gegebenheiten des Glenohumeralgelenkes über eine koordinierte Bewegung des Schultergürtels erreicht, die ein komplexes Zusammenspiel der schulterstabilisierenden Muskulatur erfordert.⁽³⁾ Eine Zentrierung und Kompression des Humeruskopfes innerhalb der konkaven Gelenkpfanne durch koordinierte Kontraktion der Schultermuskulatur ermöglicht hierbei eine hohe Schultermobilität unter Erhalt der dynamischen glenohumeralen Stabilität.^(4, 5)

Einhergehend mit der hohen Mobilität des Schultergelenks ist dieses jedoch häufig von Instabilitäten und Luxationen betroffen. Als Schulterinstabilität wird eine abnormale symptomatische Translation des Humeruskopf bezeichnet, die sich in schmerzhafter Subluxation oder Dislokation äußern kann.⁽⁶⁾ Als Dislokation ist eine komplette Separation der glenohumeralen Gelenkflächen definiert und als Subluxation wird eine symptomatische partielle Separation der artikulierenden Flächen ohne Dislokation bezeichnet.⁽⁶⁾ Zahlreiche Klassifikationen existieren zur Beschreibung einer Schulterinstabilität, da, neben traumatisch bedingten, strukturellen Defekten, auch atraumatische Faktoren eine Schulterinstabilität verursachen können.⁽⁶⁻⁹⁾ Aktuell konnte sich jedoch keine dieser Klassifikationen als allgemein gültige Unterteilung der in vielfältiger klinischer Symptomatik und komplexer Genese vorliegenden Mischformen etablieren.⁽¹⁰⁾ Die Einteilung nach Bayley erlaubt eine ätiopathologische Zuordnung der Schulterinstabilität in drei Hauptgruppen (Polar-Gruppen) und ermöglicht zudem eine Subgruppierung

vorliegender Mischtypen.(6) Patienten der Polar-Gruppe I erleiden ein traumatisches Ereignis, welches zu einem deutlichen strukturellen Gelenkschaden führt und letztlich in einer Schulterinstabilität resultiert.(6) Die Polar-Gruppe II ist definiert durch das Vorhandensein atraumatischer struktureller Defizite, zum Beispiel eine Schulter-Kapselinsuffizienz oder angeborene strukturelle Dysplasien.(6) Diese können auch ohne ein relevantes Trauma zur Entwicklung einer Schulterinstabilität führen.(6) Biomechanische als auch klinische Arbeiten untersuchten und belegten den Einfluss struktureller Veränderungen auf die Entwicklung einer Schulterinstabilität.(11-17) Die Polar-Gruppe III hingegen beschreibt eine Instabilität der Schulter, die nicht durch strukturelle Veränderungen, sondern durch ein unphysiologisches Muskelaktivierungsmuster der schulterstabilisierenden Muskulatur verursacht wird und ohne bestehende strukturelle Defizite in einer rezidivierenden anterioren, posterioren oder multidirektionalen Instabilität resultieren kann.(6)

Nachfolgend soll eine Schulterinstabilität aufgrund eines gestörten Muskelaktivierungsmusters, welche nicht auf struktureller Ursache basiert, als funktionelle Schulterinstabilität (FSI) bezeichnet werden.(1) Unterschiedliche Aspekte der FSI sind in der Literatur zur Schulterinstabilität beschrieben. Im Gegensatz zur traumatischen Schulterinstabilität wird eine atraumatische Schulterinstabilität sehr selten beobachtet.(18, 19) Ein deutlich häufigeres Auftreten angesichts der generell zunehmenden Popularität von früher und intensiver sportlicher Aktivität wird vermutet.(6) Entsprechend detektierte eine von unserer Arbeitsgruppe durchgeführte Umfrage unter Medizinstudenten eine FSI in 0,5%-2,6% der befragten Fälle bei einem meist atraumatischen Beginn der Beschwerden unter 16 Jahren.(20) Zudem konnte bei rezidivierender Schulterinstabilität eine funktionelle Komponente in 46% der hierbei untersuchten Fälle identifiziert werden.(21) Weitere elektromyografische Untersuchungen verweisen auf eine unphysiologische Muskelaktivität bei

Schulterinstabilität.(22-29) Bei FSI konnte sowohl eine ursächliche Hypo- oder Hyperaktivität der Rotatorenmanschette, als auch der periskapulären Muskulatur identifiziert werden.(30) Essentiell bei FSI ist die Unterscheidung einer aktiven, gewollten Dislokation durch abnormale Muskelkontraktionen als sogenannte „Trick-Bewegung“ von einer unbeabsichtigten Schulterinstabilität, die positionsabhängig während einem spezifischen Punkt einer Armbewegung auftritt.(6, 31) Diese kann in rezidivierenden Subluxationen oder Dislokationen, funktionellen Beschwerden, Schmerzen, Bewegungseinschränkungen sowie in einem permanenten Instabilitätsgefühl resultieren.(31) Weitere Arbeiten verweisen auf einen langanhaltenden Verlauf der FSI und einen damit verbundenen emotionalen Leidensdruck und Stigmatisierung des meist jungen Patientenkollektivs.(19, 32) Eine Umfrage unter Schulterexperten konnte zeigen, dass die willkürliche Schulterinstabilität, welche als FSI interpretiert werden kann, die Art der Instabilität mit der geringsten Übereinstimmung hinsichtlich diagnostischer Kriterien darstellt.(33) In der Literatur wurde eine willkürliche Schulterinstabilität zudem als psychiatrische Störung bezeichnet.(8, 27) Hierbei soll eine beabsichtigte Subluxation oder Dislokation aufgrund eines psychologischen oder sekundären Zugewinns von einer demonstrierbaren Dislokation ohne entsprechende Motivation unterschieden werden und eine psychologische Testung betroffener Patienten erfolgen.(9) Eine Überbewertung einer ursächlichen psychosozialen Störung bei FSI wird allerdings vermutet.(6, 34, 35)

2.2 Zielsetzung

Ziel der folgenden Arbeit ist es, die funktionelle Schulterinstabilität detailliert zu beschreiben und anhand klinischer und radiologischer Analysen in unterschiedliche Subgruppen zu unterteilen.(1) Hierdurch soll erstmals eine Klassifikation der FSI

ermöglicht werden, um sowohl Merkmale als auch Unterschiede der verschiedenen Gruppen aufzuzeigen. Zukünftige Arbeiten sollen, basierend auf dieser Klassifikation, diese seltene Pathologie besser beschreiben und gemäß den Subgruppen eine optimale Therapie etablieren können.

3 Vertiefte Schilderung der Methodik

3.1 Patientenkollektiv

Im Rahmen einer prospektiven Kohortenstudie wurden innerhalb eines Jahres (01/2017-12/2017) alle Patienten eingeschlossen, die sich mit einem klinisch demonstrierbaren, rezidivierenden Instabilitätsmechanismus der Schulter in der Spezialsprechstunde für Schulter- und Ellenbogenchirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum, Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, vorstellten. Eine Zuweisung erfolgte hauptsächlich durch ärztliche Kollegen für Schulterchirurgie, sodass Studienteilnehmer aus dem gesamten deutschsprachigen Raum (Deutschland, Österreich, Schweiz) rekrutiert werden konnten. Die Einbeziehung von minderjährigen Teilnehmern erfolgte erst nach zusätzlicher Absprache und Einverständnis der Eltern oder des Erziehungsberechtigten. Auf eine Fallzahlschätzung wurde aufgrund der Seltenheit der Pathologie im Rahmen dieser Arbeit verzichtet. Es wurden alle Patienten, welche innerhalb des genannten Zeitraums mit einer FSI diagnostiziert wurden, in die Studie eingeschlossen.(1)

3.2 Datenerhebung

Zur Evaluation der FSI wurde ein spezifisch entwickelter Fragebogen verwendet. Neben der Erhebung von soziodemografischen Daten beinhaltete dieser einen selbsterstellten Teil zur Beurteilung der funktionellen Einschränkung bezogen auf die Schulterstabilität (1=volle Stabilität, 5=extrem instabil), den Alltag (1=keine Einschränkung, 5=extreme Einschränkung) und den Sport (1=keine Einschränkung, 5=extreme Einschränkung) sowie der bisherigen Therapie (Art, Dauer). Zudem wurde das Shoulder Activity Level (SAL) individuell bestimmt, um das

schulterpezifische Aktivitätsmuster während der Berufsausübung und der sportlichen Aktivität zu erfassen.(36) Anschließend wurden weitere anamnestische Angaben zu Art, Dauer und Ursache der Beschwerden, Schmerzen (Numeric Rating Scale, 0-10)(37) in Ruhe und Bewegung, sonstige Allgemeinerkrankungen und Sozialanamnese erfragt und dokumentiert. Zur Beurteilung der Schulterfunktion wurden die standardisierten Instabilitätsscores Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI)(38), Rowe-Score(39) sowie der Subjective Shoulder Value (SSV)(40) erfasst.(1) Der Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI) stellt ein subjektives Evaluationstool mit nachgewiesener hoher Validität und Reliabilität dar und wird für eine spezifische Bewertung von Schulterinstabilität empfohlen.(38, 41) Insgesamt umfasst dieser vier Kategorien: körperliche Beschwerden (10 Fragen); Sport, Freizeit und Arbeit (4 Fragen); Alltag (4 Fragen) und Emotionen (3 Fragen), wobei jede Frage von 0 (keine Schmerz/Einschränkung) bis 100 (extreme Schmerzen/Einschränkung) beantwortet werden kann. Es ergibt sich 0 als bestmögliche und 2100 als schlechtmöglichste Punktzahl bezogen auf die Schulterfunktion und Lebensqualität des Patienten.(38) Ergänzend wurde der Rowe-Score zur Einschätzung der Schulterschmerzen, der Bewegungseinschränkungen sowie der Schulterfunktion verwendet. Anhand von 4 vordefinierten Antwortmöglichkeiten in den jeweiligen Kategorien besitzt dieser eine Spanne von 0 (starke Schmerzen/Bewegungseinschränkung/Funktionseinschränkung) bis 100 (keine Schmerzen/normale Beweglichkeit/keine Beeinträchtigung) Punkten.(39) Der subjektive Schulterwert (SSV) stellt eine patientenspezifische Bewertung der Schulterfunktion dar und wird als Prozentsatz einer normalen, unauffälligen Schulter, die 100% erreichen würde, angegeben.(40) Neben umfassenden, komplexen klinischen Scores zur Erhebung der Schulterfunktion ist der SSV ein simples und

valides Tool, um ergänzend die direkte Wahrnehmung der Schulterbeschwerden des Patienten abzubilden.(40)

3.3 Klinische Untersuchung

Zur weiteren Beurteilung der Beschwerden erfolgte eine gründliche klinische Untersuchung der betroffenen Schulter sowie der Gegenseite. Dies beinhaltete initial die Prüfung des aktiven und passiven Bewegungsumfangs in Flexion, Abduktion, Außen- und Innenrotation in 0° sowie in 90° Abduktion. Anschließend wurden alle Studienteilnehmer gebeten, Ihren Schulterinstabilitätsmechanismus zu demonstrieren. Klinisch erkennbare Veränderungen der Schulterkontur wurden nach Einverständnis anonymisiert videodokumentiert. Spezifische Schulterinstabilitätstests wurden durchgeführt, um das Vorhandensein einer generalisierten Hyperlaxität sowie einer skapulothorakalen Insuffizienz zu bestimmen. Hierzu wurde das Sulcus-Zeichen(42), das Gagey-Zeichen(43), das Walch-Zeichen(44), der Beighton-Score(45) sowie das Vorhandensein einer skapulären Dyskinesie(46) evaluiert. Auf eine Kraftmessung wurde verzichtet, da diese aufgrund der massiven Instabilität bei den meisten Patienten nicht durchgeführt werden konnte.(1)

3.4 Radiologische Evaluation

Da eine rein klinische Untersuchung eine exakte Beurteilung des Translationsausmaßes und der Translationsrichtung des Humeruskopfes nur unzuverlässig ermöglicht, erfolgte zur Verifikation des demonstrierbaren Instabilitätsmechanismus einmalig eine dynamische biplanare (axial und antero-posterior) Bewegungsanalyse unter Verwendung eines Bildwandlers (Ziehm 8000, Ziehm Imaging GmbH, Nürnberg, Deutschland) in sitzender Positionierung des Teilnehmers unter Verwendung eines Röntgenschutzes. Bei einem beidseitigen

Auftreten der Beschwerden wurde nur die am stärksten betroffene Seite evaluiert, um die Durchleuchtungszeit und die resultierende Strahlenbelastung minimal zu halten. Aktuelle magnetresonanztomografische Aufnahmen der Schulter wurden bei allen Teilnehmern erfasst und hinsichtlich struktureller Veränderungen oder Defekte analysiert. Hierbei wurden alle Bilder auf das Vorhandensein von Rotatorenmanschettenläsionen, Muskelatrophie, Muskelverfettung, Bizepssehnenläsionen, Labraldefekten, Knorpeldefekten, knöcherne Läsionen, Form der glenoidalen Gelenkfläche und Humeruskopfzentrierung untersucht. Bei einem klinisch identischen, beidseitigen Auftreten der FSI wurde nur eine Seite geprüft.(1)

3.5 Psychologisches Assessment

Zur Evaluation potentiell auftretender psychologischer Begleitpathologien wurde eine zusätzliche Befragung mit dem „DSM-5 Self-Rated Level 1 Cross-Cutting Symptom Measure“ durchgeführt.(47) Dieses psychologische Screeningtool der amerikanischen psychiatrischen Vereinigung (APA) bewertet unterschiedliche spezifische Domänen des mentalen Gesundheitszustandes (z.B. Depression, Wut, Manie, Angst) anhand des Ausmaßes (0=keine, 4=schwerwiegend) von definierten Symptomen innerhalb der letzten 2 Wochen. Für Minderjährige wurde hierzu eine angepasste Version „DSM-5 Self-Rated Level 1 Cross-Cutting Symptom Measure-Child Age 11-17“ verwendet.(47) Alle Teilnehmer, die in der Domäne „Somatische Symptome“ den vorgegebenen Grenzwert (2=mild, 3=moderat, 4=schwer) erreichten, erhielten einen Folgefragebogen „Level 2-Somatic Symptom-Adult Patient“ beziehungsweise die für Minderjährige angepasste Version „Level 2-Somatic Symptom-Child Age 11-17“.(47) Dieser erfragt standardisierte somatische Symptome der letzten 7 Tage anhand einer 3-Punkte-Skala (0-2) und bewertet den

Schweregrad als minimal (0-4 Punkte), niedrig (5-9 Punkte), mittel (10-14 Punkte) oder hoch (15-30 Punkte).

3.6 Einteilung des Instabilitätsmechanismus

Anhand des gesammelten klinischen Videomaterials und der dynamischen Bildwandleranalyse wurden unterschiedliche Gruppen der FSI gemäß des erfassten Instabilitätsmechanismus definiert und in einer finalen Auswertung miteinander verglichen. Hierzu wurden 2 Hauptgruppen zur Unterteilung der FSI bestimmt: Eine positionsabhängige FSI (positional FSI) beschreibt eine Instabilität der Schulter, die sich in einer Subluxation oder Dislokation während einem bestimmten Punkt der Armbewegung äußert. Demgegenüber beschreibt die nicht-positionsabhängige FSI (non-positional FSI) eine durch eine klinisch offensichtliche Muskelkontraktion verursachte Subluxation oder Dislokation der Schulter, die, unabhängig von der Armpositionierung, auch in Neutralstellung auftreten kann. Eine weitere Subgruppierung der FSI erfolgte anhand der gezielten, willentlichen Kontrollierbarkeit (controllable bzw. non-controllable) des Instabilitätsmechanismus durch den betroffenen Patienten.(1)

3.7 Statistik

Die Daten wurden mit Hilfe der Software SPSS Statistics Version 25.0.0.0 verarbeitet und analysiert. Eine deskriptive Statistik wurde durchgeführt, um Mittelwert, Standardabweichung (SD), Spannweite, Häufigkeitszählungen und Prozentsätze zu analysieren. Eine Prüfung der Normalverteilung der untersuchten Parameter erfolgte mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Test. Zum Vergleich der Mittelwerte von zwei ungepaarten Subgruppen wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Der Kruskal-Wallis-Test wurde zum Vergleich der Mittelwerte von mehr als zwei Subgruppen

angewendet. Die Ergebnisse wurden zweiseitig analysiert und das Alpha-Level mit 0,05 festgelegt.(1)

3.8 Ethikvotum und Datenschutz

Die Studie wurden von der Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin genehmigt (EA2/195/6). Die „Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis“ und die Bestimmungen des Berliner Datenschutzgesetzes wurden eingehalten.

4 Wesentliche neue Ergebnisse

4.1 Studienkollektiv

Insgesamt konnten 36 Fälle (25 Patienten) mit einer FSI innerhalb eines Jahres prospektiv rekrutiert werden. Allgemeine und soziodemografische Daten sowie bisherige Therapie des untersuchten Kollektivs sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Allgemeine und soziodemografische Daten sowie bisherige Therapie der finalen Studienkohorte.

Patienten/ Fälle		25/36
Auftreten der Instabilität (Unilateral/ Bilateral)		14/11
Geschlecht (männlich/ weiblich)		9/16
Mittleres Alter (Jahre \pm SD) (Spannweite)		20 \pm 5,2 (13-33)
Größe (cm \pm SD) (Spannweite)		171 \pm 9 (150-190)
Gewicht (kg \pm SD) (Spannweite)		67 \pm 15 (45-110)
Alter erstes Instabilitätsereignis (Jahre \pm SD) (Spannweite)		15 \pm 5 (5-28)
Dauer erstes Instabilitätsereignis bis Studienteilnahme (Monate \pm SD) (Spannweite)		60 \pm 52 (1-183)
Dauer bisherige Physiotherapie bis Studienteilnahme (Monate \pm SD) (Spannweite)		11,9 \pm 14,5 (0,5-48)
Bisherige Physiotherapie (%) der Fälle (multiple Antworten möglich)	Gerätegestützte Krankengymnastik	42%
	Allgemeine Krankengymnastik	31%
	Manuelle Therapie	31%
	Elektrotherapie	25%
	Massagetherapie	25%
	Kälte-/ Wärmetherapie	11%
	Andere	6%
Bisherige operative Eingriffe (Anzahl)	Arthroskopischer kapsulolabraler Shift	6
	Offener kapsulolabraler Shift	1
	Stabilisierung nach Latarjet	1
	Rotatorenmanschettenverengung	1
	Subakromiale Dekompression bei Schmerzen	1

Innerhalb des jungen, vorwiegend weiblichen Patientenkollektivs wurde meist ein unilaterales Auftreten (56%) der FSI beobachtet. Oftmals zeigten sich initiale Instabilitätsbeschwerden bereits im Kindes- oder Jugendalter bei einer durchschnittlich 5-jährigen Beschwerdedauer bis Studieneinschluss.(Tabelle 1) Die Mehrheit (72%) der untersuchten Fälle berichtete einen atraumatischen Beginn der Instabilitätsereignisse. 28% der Fälle assoziierten den Beschwerdebeginn mit einem unspezifischen, geringfügigen Trauma oder mit repetitiven Mikrotraumata während schulterbelastender Sportarten (Volleyball, Handball etc.), ohne hierbei ein eindeutiges Makrotrauma aufzuweisen. Das mittlere Schulteraktivitätslevel (SAL) betrug $1,1 \pm 0,8$ (0-2). Aufgrund der oftmals langandauernden Beschwerden wurden diverse nicht-invasive als auch invasive Therapieinterventionen über eine im Mittel 12-monatige Zeitspanne durchgeführt. 69% der Fälle versuchten zuvor eine konservative Therapie, in 17% der Fälle wurde diese trotz klinisch bilateralem Auftreten der Beschwerden nur einseitig initiiert und 14% erhielten bisher keine Physiotherapie. Ein operativer Eingriff erfolgte in 8 Fällen (22%) bei 8 (32%) Patienten.(1)

4.2 Klinische Merkmale

Die untersuchten Fälle präsentierten durchschnittlich eine geringe Einschränkung des aktiven Bewegungsausmaß (Flexion $163^\circ \pm 31^\circ$, Abduktion $157^\circ \pm 39^\circ$, Außenrotation $70^\circ \pm 14^\circ$, glenohumerale Außenrotation $69^\circ \pm 26^\circ$, Innenrotation $Th9 \pm 4$, glenohumerale Innenrotation $63^\circ \pm 25^\circ$). Eine Hyperlaxität (positives Sulcus-Zeichen, Gagey-Test, Walch-Test, Beighton-Score ≥ 5) wurde in 36% und eine skapuläre Dyskinesie in 89% der Fälle festgestellt.(1)

4.3 Einteilung des Instabilitätsmechanismus

In Zusammenschau der klinischen Evaluation und der biplanaren fluoroskopischen Untersuchung präsentierten 78% eine posteriore Instabilität, 17% eine anteriore Instabilität und 6% der Fälle eine multidirektionale Instabilität. Entsprechend der definierten Klassifikation der FSI wurde eine positionsabhängige Instabilität häufiger (78%) als eine nicht-positionsabhängige Instabilität (22%) beobachtet. Eine weitere Subklassifikation entsprechend der Instabilitätsrichtung, der Kontrollierbarkeit und des erfassten Pathomechanismus ist in Abbildung 1 dargestellt. Insgesamt offenbarte die positionsabhängige Gruppe häufiger eine nicht-kontrollierbare posteriore oder multidirektionale FSI (72%) als eine kontrollierbare FSI (6%), welche ausschließlich als posteriore Instabilität beobachtet werden konnte. In der nicht-positionsabhängigen Gruppe zeigte sich ein kontrollierbarer anteriorer und nicht-kontrollierbarer anteriorer als auch posteriorer Instabilitätsmechanismus in jeweils 11% der Fälle.(1) (Abbildung 1)

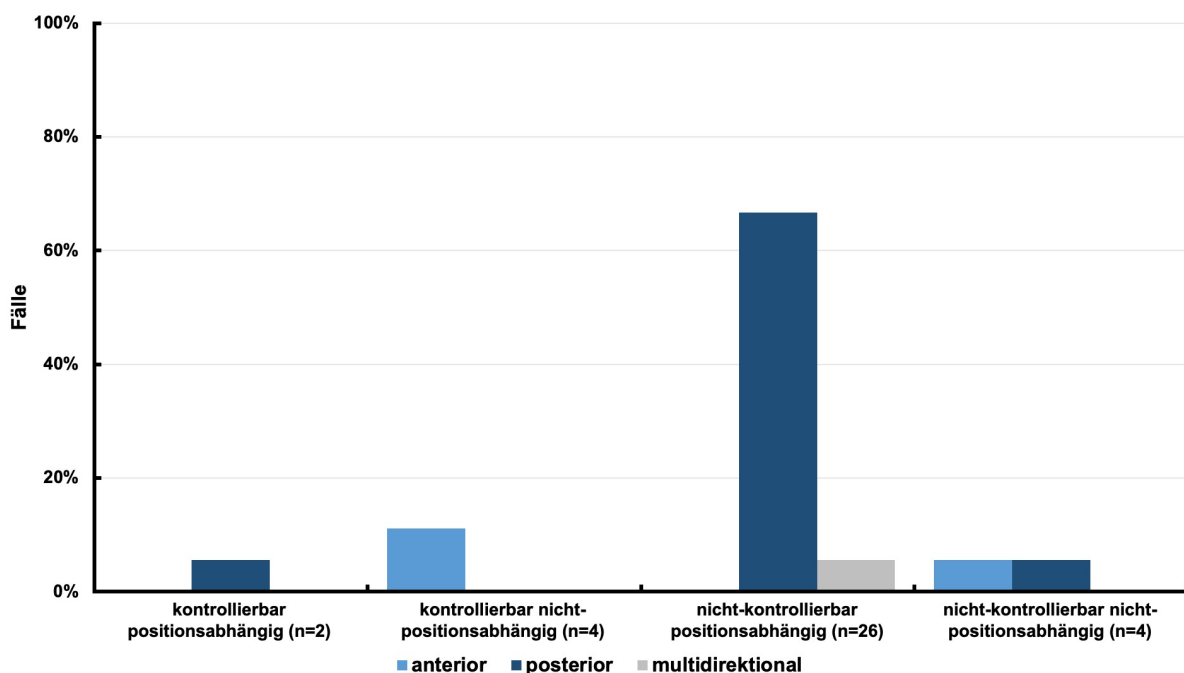


Abbildung 1: Subtypen der funktionellen Schulterinstabilität (FSI), welche anhand des

Pathomechanismus, der Kontrollierbarkeit und der Instabilitätsrichtung unterschieden wurden. Modifiziert nach (1)

Sowohl zwischen den verschiedenen FSI-Subtypen als auch innerhalb der jeweiligen Subgruppe wurde eine unterschiedliche Ausprägung der erhobenen klinischen Scores erfasst, sodass zudem eine ungleich ausgeprägte Diskrepanz der Parameter gegeben ist. Innerhalb der Funktionsscores zeigte der SSV in allen Subgruppen höhere Werte als die zusätzlich ermittelten Instabilitätsscores ROWE und WOSI, wobei die kontrollierbaren Subtypen insgesamt bessere Ergebnisse erzielten als die nicht-kontrollierbare FSI.(Abbildung 2)

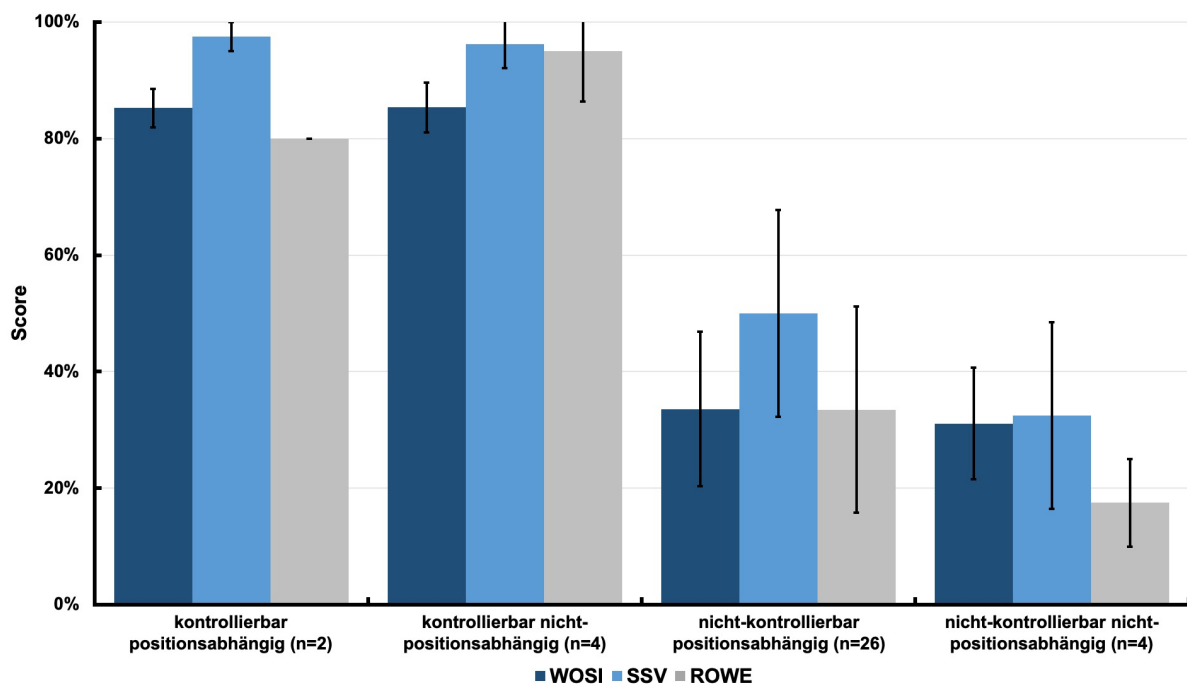


Abbildung 2: Durchschnittliche klinische Scores der FSI-Subgruppen. Modifiziert nach (1)

Ähnliche Resultate zeigte die Evaluation der funktionellen Beeinträchtigung hinsichtlich der generell empfundenen Schulterstabilität, des Alltags und der sportlichen Aktivität. Bei mäßiger funktioneller Einschränkung der Schulterstabilität innerhalb der kontrollierbaren FSI-Subtypen wurde insbesondere die nicht-

kontrollierbare FSI mit deutlichen Beschwerden bezüglich der Stabilität und während der sportlichen Aktivität assoziiert. Restriktionen im Alltag wiesen zwar eine geringere, aber dennoch eine deutliche Ausprägung auf. (Abbildung 3)

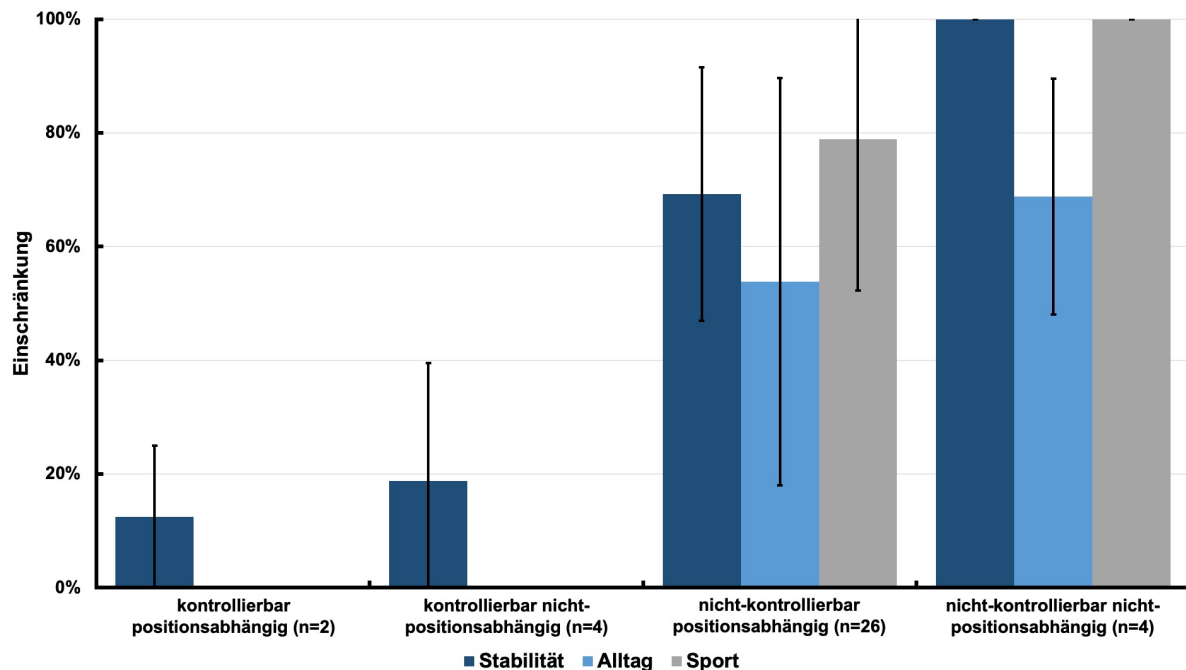


Abbildung 3: Durchschnittliche Einschränkung bezüglich Stabilität, Alltag und Sport der FSI-Subgruppen. Modifiziert nach (1)

Anschließend konnten anhand der vier verschiedenen FSI-Subtypen statistisch signifikante Unterschiede der erhobenen klinischen Scores (WOSI: $p=0,002$, Rowe-Score: $p=0,001$, SSV: $p=0,001$) als auch der Funktionseinschränkungen (Stabilität: $p<0,001$, Alltag: $p=0,001$, Sport: $p<0,001$) festgestellt werden. Während die positionsabhängigen und nicht-positionsabhängigen Subgruppen insgesamt keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf klinische Scores und funktionelle Beeinträchtigungen aufwiesen ($p>0,09$), wurden signifikante Unterschiede zwischen den kontrollierbaren und nicht-kontrollierbaren Subtypen beobachtet. Die kontrollierbaren FSI-Subtypen zeigten nur geringfügige Auswirkungen auf die erhobenen klinischen Scores, nicht-kontrollierbare FSI-Subgruppen waren mit signifikant schlechteren Werten assoziiert ($p<0,001$). Auch die funktionellen

Beeinträchtigungen zeigten einen ähnlichen Unterschied zwischen den kontrollierbaren und nicht-kontrollierbaren FSI-Subtypen ($p \leq 0,001$). Im Vergleich zeigte die nicht-kontrollierbare nicht-positionsabhängige FSI eine Tendenz zu schlechteren Scores und einer stärkeren funktionellen Beeinträchtigung als die nicht-kontrollierbare positionsabhängige FSI (WOSI: $p=0,791$, Rowe-Score: $p=0,071$, SSV: $p=0,044$, Stabilität: $p=0,007$, Alltag: $p=0,536$, Sport: $p=0,157$). Hinsichtlich des Schmerzniveaus in Ruhe ($p=0,932$) oder in Bewegung ($p=0,597$) konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den entsprechenden Gruppen festgestellt werden.(1)

4.4 Radiologische Evaluation

Als wesentliche strukturelle Merkmale dieser Studienkohorte wurde eine flache (12%) oder konvexe (8%) Morphologie der Glenoidgelenkfläche oder eine Glenoiddysplasie mit Weichteilkomensation (24%) beobachtet. Die meisten Fälle mit FSI präsentierten eine konkave (80%) Gelenkoberfläche. Eine Dezentrierung des Humeruskopfes wurde in 2 Fällen (8%) festgestellt. Erworbene strukturelle Defekte umfassten 4 Fälle (16%) mit geringfügigen Labrumläsionen und 3 Fälle (12%) mit unkritischen, inversen Hill-Sachs Läsionen. Es wurden keine Läsionen der Rotatorenmanschette einschließlich Muskelatrophie oder Muskelverfettung, der Bizepssehne oder des Knorpels beobachtet sowie keine knöchernen glenoidalen Defekte festgestellt.(1) (Tabelle 2)

Tabelle 2: Strukturelle Defizite und Defekte bei Patienten mit funktioneller Schulterinstabilität (FSI). Modifiziert nach (1)

Strukturelle Defizite/ Defekte		n (%)
Rotatorenmanschettenläsionen/Muskelatrophie/ Muskelverfettung		0 (0%)
Bizepssehnenläsionen		0 (0%)
Knorpelläsionen		0 (0%)
Labrumläsionen		4 (16%)
Knöcherner glenoidale Defekte		0 (0%)
Inverse Hill-Sachs Läsionen		3 (12%)
Dezentrierung des Humeruskopf		2 (8%)
Morphologie der Gelenkoberfläche	konkav	20 (80%)
	flach	3 (12%)
	konvex	2 (8%)
Glenoiddysplasie	mit Weichteilkomensation	6 (24%)
	ohne Komensation	0 (0%)

Die durchschnittliche Glenoid-Version des Studienkollektivs betrug $96^{\circ} \pm 6^{\circ}$ (90° - 120°). Die anteriore FSI zeigte hierbei einen Mittelwert von $92^{\circ} \pm 1,7^{\circ}$ (90° - 94°) und die posteriore FSI von $97^{\circ} \pm 7^{\circ}$ (90° - 120°) ($p=0,067$). Insgesamt wurden keine adäquat ausreichenden, strukturellen Defekte beobachtet, welche die gravierende Instabilitätssymptomatik im mittelgradigen Bewegungsausmaß oder gar Neutralstellung der Schulter erklären könnten.(1)

4.5 Psychologisches Assessment

Von den 25 an der Studie teilnehmenden Patienten stimmten 22 (88%) einem Screening auf psychologischen Begleitpathologien zu. Hierbei waren die durchschnittlichen Werte innerhalb der erhobenen Domänen nur geringfügig erhöht.(1) (Tabelle 3)

Tabelle 3: Ergebnisse der psychologischen Evaluation unter Verwendung des „DSM-5 Self-Rated Level 1 Cross-Cutting Symptom Measure“. Definierte Symptome der letzten 2 Wochen wurden anhand einer 5-Punkte Skala (0=keine, 4=schwerwiegend) bewertet. Mittelwerte und Standardabweichungen sind für die entsprechende Kinder- und Erwachsenenversion angegeben. *Nur Teil des Fragebogens für Erwachsene oder Kinder. **Mittelwert (SD) wird nicht angegeben, da die Antwort Ja/Nein lautet. Modifiziert nach (1)

Level 1 Domäne	Erwachsene (n=16) Mittelwert (SD)	Kinder (n=6) Mittelwert (SD)
Depression	0,56 (0,79)	0,08 (0,28)
Wut/ Reizbarkeit	0,44 (0,5)	0,25 (0,43)
Manie	0,84 (1,42)	0,25 (0,43)
Angst	0,69 (1)	0,11 (0,31)
Somatische Symptome	0,63 (1,05)	1 (1,15)
Suizidalität	0,19 (0,73)	0%**
Psychose	0,06 (0,24)	0 (0)
Schlafstörung	0,94 (1,3)	0,5 (1,12)
Gedächtnis	0,31 (0,58)	*
Repetitive Gedanken und Verhaltensweisen	0,5 (1,03)	0,17 (0,47)
Dissoziation	0,13 (0,48)	*
Persönlichkeitsfunktion	0,19 (0,58)	*
Substanzabusus	0,33 (0,94)	17%**
Unaufmerksamkeit	*	0,83 (1,21)

7 von 22 Teilnehmern (32%) überschritten den definierten Grenzwert im Bereich „Somatische Symptome“ und wurden einer weiteren Evaluation durch den Folgefragebogen „Level 2-Somatic Symptom-Adult Patient“ oder „Level 2-Somatic Symptom-Child Age 11-17“ unterzogen. Hierbei zeigte sich bei 6 Patienten (27%) eine „minimale“ oder „niedrige“ Ausprägung der somatischen Symptome und 1 Patient (5%) erreichte einen „mittleren“ Schweregrad.(1)

5 Klinische Anwendung

5.1 Klassifikation der FSI

Im Rahmen dieser Arbeit konnte eine für diese Pathologie relativ große Kohorte von Studienteilnehmern mit FSI rekrutiert und anhand klinischer Evaluation, bildgebender Verfahren einschließlich Videodokumentation, MRT- und dynamischer Bildwandleranalyse des Instabilitätsmechanismus als auch psychologischer Evaluation analysiert werden. Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie wurde eine Klassifikation der FSI erstellt, welche im klinischen Alltag eine spezifische Einteilung dieser komplexen Pathologie in unterschiedliche Subgruppen ermöglicht.(1) (Abbildung 4)

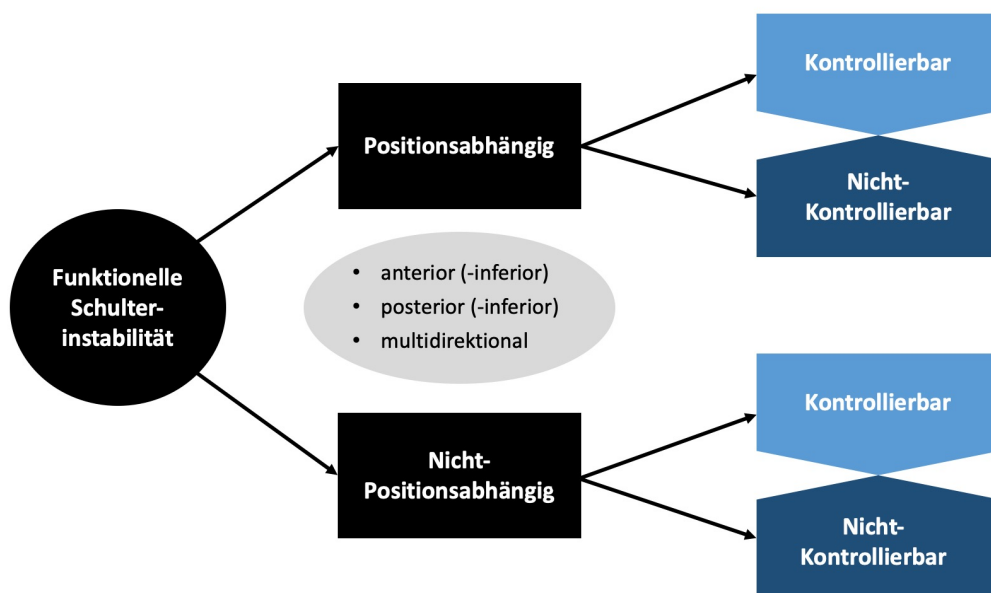


Abbildung 4: Klassifikation der funktionellen Schulterinstabilität anhand des Pathomechanismus (positionsabhängig und nicht-positionsabhängig) und der Kontrollierbarkeit (kontrollierbar und nicht-kontrollierbar). Modifiziert nach (1)

Eine positionsabhängige FSI beschreibt eine Schulterinstabilität während eines spezifischen Grades einer Armbewegung, wobei eine spontane Reduktion erfolgt,

sobald diese Position verlassen wird. Dieser Instabilitätsmechanismus kann kontrollierbar bei bestimmten Armbewegungen willentlich demonstriert als auch unterdrückt werden und ist mit nur geringen Beschwerden assoziiert. Eine nicht-kontrollierbare positionsabhängige FSI beschreibt eine unbeeinflussbare Schulterinstabilität bei Bewegung und kann in massiven funktionellen Einschränkungen sowie Schmerzen resultieren. Die nicht-positionsabhängige FSI beschreibt eine Schulterinstabilität in neutraler oder beinahe Neutral-Position des Armes und scheint aufgrund pathologischer Muskelkontraktionen unabhängig von einem spezifischen Bewegungsgrad aufzutreten. Bei einer kontrollierbaren Form wurden auch hierbei nur geringfügige funktionelle Beeinträchtigungen festgestellt. Eine nicht-kontrollierbare nicht-positionsabhängige FSI kann als repetitive oder statische Schulterinstabilität in deutlichen Beschwerden und Einschränkungen resultieren.(1)

5.2 Richtung der Instabilität

Im Gegensatz zur allgemein häufig vorkommenden, strukturell bedingten anterioren Schulterinstabilität kann bei einer Instabilität aufgrund muskulärer Dysbalancen oftmals eine posteriore Instabilität beobachtet werden.(48, 49) Elektromyographische Untersuchungen bei rezidivierender Schulterinstabilität mit abnormalen Muskelaktivierungsmustern konnten innerhalb von 122 analysierten Fällen meist eine posteriore Instabilität (49%) und seltener eine anteriore (30%), multidirektionale (20%) oder inferiore (1%) Instabilität feststellen, wobei häufig ein atraumatischer Beginn der Beschwerden berichtet wurde.(30) Innerhalb einer prospektiven Studie zur atraumatischen Schulterinstabilität konnte in 56 von 573 Fällen eine unwillkürliche, habituelle Schulterinstabilität erfasst werden, welche sich ebenfalls überwiegend als posteriore Instabilität (93%) und nur in wenigen Fällen als anteriore

Instabilität (7%) darstellte.(19) Auch in einer Kohortenstudie zur unwillkürlichen positionellen Schulterinstabilität mit insgesamt 50 Studienteilnehmern manifestierte sich diese typischerweise im Jugendalter als posteriore Instabilität (78%), wobei eine willentliche, kontrollierbare Instabilitätskomponente bei einigen Teilnehmern (44%) beobachtet wurde.(31) Demgegenüber untersuchte eine prospektive Kohortenstudie 36 Fälle mit willkürlicher Schulterinstabilität und konnte ebenso unidirektional meist eine posteriore (36%) und seltener eine anteriore (6%) oder eine inferiore (11%) Instabilität aufzeigen, sowie häufig eine multidirektionale Instabilität (47%) feststellen.(34)

Innerhalb des in dieser Arbeit untersuchten Kollektivs bestehend aus 25 Patienten (36 Fälle) ist initial oftmals eine multidirektionale Instabilität vermutet worden. Daher erfolgte einmalig eine fluoroskopische Untersuchung, um die Richtung der Instabilität objektiv zu verifizieren. Vergleichbar mit den Ergebnissen der bisherigen Literatur zeigte sich in den meisten Fällen eine posteriore Instabilität (78%), insbesondere in der Gruppe der positionsabhängigen FSI. Eine anteriore (17%) FSI zeigte sich als nicht-positionsabhängig und nur ein Patient präsentierte eine beidseitige multidirektionale (6%) FSI im Sinne einer bidirektionalen anterioren und posterioren Instabilität.(Abbildung 1) In keinem Fall konnte eine inferiore Instabilität beobachtet werden. Insgesamt scheint eine multidirektionale Instabilität deutlich seltener bei FSI aufzutreten als vermutet.(1)

5.3 Therapie der Subgruppen

Eine allgemein gültige Therapieempfehlung für die entsprechenden Subgruppen von FSI ist bei nicht vorhandenen standardisierten diagnostischen Kriterien und Therapieleitlinien aktuell nicht möglich.(33) Basierend auf den Ergebnissen dieser Arbeit und der bisherigen Literatur sollten dennoch folgende Grundsätze in der

Behandlung einer FSI berücksichtigt werden: Aufgrund des willentlich beeinflussbaren Instabilitätsmechanismus sollte eine kontrollierbare FSI weder chirurgisch noch konservativ therapiert werden. Auch im Langzeitverlauf wurde diese Form der FSI nicht mit der Entwicklung von sekundären degenerativen Veränderungen assoziiert.(8, 34) Allerdings sollte ein Demonstrieren des Instabilitätsmechanismus eher vermieden werden, da eine Progression eines kontrollierbaren Instabilitätsmechanismus in eine nicht-kontrollierbare FSI festgestellt werden konnte.(19, 49)

In der Literatur ist die Therapie der nicht-kontrollierbaren FSI ein kontrovers diskutiertes Thema. Im Langzeitverlauf wurde das reine Beobachten der Symptomatik („Skilful neglect“) aufgrund einer potentiellen Regression der Beschwerden nach mehreren Jahren als mögliche Therapiealternative beschrieben.(19, 34) Insbesondere die Vermeidung von Überkopfsportarten wurde hierbei mit einer höheren Rekonvaleszenzrate assoziiert, jedoch kann ein reines Beobachten ebenso in einer Zunahme der Schmerzen, funktionellen Einschränkungen und Depression resultieren.(19) Innerhalb dieser Arbeit wurden keine Studienteilnehmer höheren Alters mit FSI erfasst, sodass eine potentielle Selbstlimitation oder Adaptation an die Beschwerden im Verlauf vermutet werden könnte. Allerdings erscheint ein mehrjähriges Beobachten aufgrund des hohen, akuten Leidensdruckes der meist jungen, sportlich aktiven Patienten in klinischer Praxis nicht durchführbar, sodass eine nicht-kontrollierbare FSI einer gezielten Therapie zugeführt werden sollte.(1) Eine primäre konservative Behandlung sollte Stabilisierungs-, Koordinierungs- und Kräftigungsübungen als auch Biofeedback und in einzelnen Fällen eine Anwendung von Botoxinjektionen in die hyperaktive Muskulatur beinhalten.(31, 49-51) Eine chirurgische Intervention sollte bei einer nicht-kontrollierbaren FSI vermieden werden, da eine potentielle Aggravation der

funktionellen Instabilitätsbeschwerden, Zunahme von Schmerzen, sowie das Auftreten von frühzeitigen degenerativen Veränderungen resultieren kann.(19, 34, 35, 49) Für Therapieversager mit posteriorer positionsabhängiger FSI, als größte Subgruppe dieser Kohortenstudie, konnte durch die Anwendung elektrischer Muskelstimulation ein vielversprechender Therapieerfolg erreicht werden.(32) Künftige systematische Therapiestudien könnten anhand der Ergebnisse dieser Studie erstellt und hierdurch neue Therapiestrategien entwickelt werden.(1)

6 Weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen

6.1 Verhältnis der Subgruppen

Studienteilnehmer mit einer kontrollierbaren FSI sind in dieser Arbeit wahrscheinlich unterrepräsentiert, da diese Form als demonstrierbare „Trick-Bewegung“ ohne pathologischen Krankheitswert aufgefasst werden kann und eine medizinische Konsultation vermutlich seltener in Anspruch genommen wird. Das identifizierte Verhältnis der Subgruppen dieser Arbeit beschreibt daher die klinische Realität des Studienzentrums, sodass genaue Zahlen innerhalb der Allgemeinbevölkerung weiterhin unklar sind.(1) In einer weiteren Studie unserer Arbeitsgruppe wurde die Prävalenz der FSI detaillierter untersucht.(20)

6.2 Verifikation der Muskelaktivität bei FSI

Eine ursächliche abnorme Muskelaktivität wird bei einer positionsabhängigen und nicht-positionsabhängigen FSI vermutet und Ergebnisse bisheriger elektromyographischer Untersuchungen unterstützen diese Hypothese.(22-30) Dennoch sind weitere dynamische elektrophysiologische Analysen notwendig, um das spezifische Muskelaktivitätsmuster der verschiedenen FSI-Subgruppen zu evaluieren.

6.3 Evaluation der Beschwerden bei FSI

Im Rahmen dieser Studie wurden die etablierten Funktionsscores WOSI(38), Rowe(39) und SSV(40) sowie Fragen nach der Beeinträchtigung der Schulterstabilität, des Alltags und des Sports für die Evaluation der Instabilitätsbeschwerden verwendet.(Abbildung 2, Abbildung 3) Der Grund für die Wahl einer subjektiven Bewertung der Beschwerden in dieser Arbeit ist, dass derzeit

keine Richtlinien bezüglich zuverlässiger objektiver klinischer oder bildgebender Parameter für die untersuchte Pathologie existieren und die eigene Wahrnehmung der Schulterfunktion allgemein einen Schlüsselfaktor für einen potentiellen Behandlungserfolg im Verlauf darstellt.(52) Insgesamt konnten signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen FSI-Subtypen festgestellt werden, die eine entsprechende Klassifikation erlauben. Dennoch wurde eine teilweise erhebliche Diskrepanz der relativen Werte zwischen den jeweiligen Parametern innerhalb der Subgruppen festgestellt. Zukünftig sollte daher ein sinnvolles und verlässliches Evaluationstool zur Beurteilung des Schweregrades der FSI etabliert werden, welches zudem eine Verlaufsbeurteilung zulässt.

6.4 Strukturelle Auffälligkeiten bei FSI

Der Einfluss und Zusammenhang struktureller Insuffizienzen oder struktureller Defekte auf die FSI ist derzeit ungewiss. Mehrere Fälle des untersuchten Studienkollektivs zeigten eine veränderte glenoidale Gelenkfläche als auch eine Weichteilhyperlaxität, die zu den berichteten Symptomen beitragen könnte. Weiterhin unklar ist, ob die beobachteten Glenoid-morphologischen Variationen konstitutionell bedingt oder als Folge des geänderten Muskelkräftemissverhältnisses auftreten, welche eine frühe Knochenentwicklung potentiell beeinflussen könnten.(53) In der untersuchten Kohorte wurden nur geringfügige erworbene strukturelle Defekte festgestellt. Diese scheinen aufgrund ungenügender biomechanische Wirkung eher als Konsequenz der rezidivierenden Subluxationen oder Dislokationen aufzutreten, als eine tatsächliche Ursache der beobachteten, teilweise schweren Schulterinstabilität darzustellen. Weitere biomechanische Studien sind außerdem notwendig, um die vermutlich geringen Kompressionskräfte aufzuzeigen, die während eines Instabilitätsereignis bei FSI vorherrschen.(1)

6.5 Psychologischer Aspekt der FSI

Eine FSI kann mit Bewegungseinschränkungen, Schmerzen und weiteren funktionellen Einschränkungen trotz langjähriger, erfolgloser konservativer als auch operativer Therapie verbunden sein.(31, 32) In den Ergebnissen dieser Arbeit wurden keine schweren psychopathologischen Komorbiditäten der Studienkohorte erfasst. Teilweise geringfügig erhöhte Werte könnten durch die langandauernde Krankheitsbelastung der Pathologie erklärt werden, da diese nicht nur zu einer physischen, sondern auch zu einer psychischen Belastung führen.(1)

7 Literaturverzeichnis

1. Moroder P, Danzinger V, Maziak N, Plachel F, Pauly S, Scheibel M, Minkus M. Characteristics of functional shoulder instability. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(1):68-78.
2. Halder AM, Kuhl SG, Zobitz ME, Larson D, An KN. Effects of the glenoid labrum and glenohumeral abduction on stability of the shoulder joint through concavity-compression : an in vitro study. *J Bone Joint Surg Am.* 2001;83(7):1062-9.
3. Veeger HE, van der Helm FC. Shoulder function: the perfect compromise between mobility and stability. *J Biomech.* 2007;40(10):2119-29.
4. Labriola JE, Lee TQ, Debski RE, McMahon PJ. Stability and instability of the glenohumeral joint: the role of shoulder muscles. *J Shoulder Elbow Surg.* 2005;14(1 Suppl S):32S-8S.
5. Lee SB, Kim KJ, O'Driscoll SW, Morrey BF, An KN. Dynamic glenohumeral stability provided by the rotator cuff muscles in the mid-range and end-range of motion. A study in cadavera. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82(6):849-57.
6. Lewis A, Kitamura T, Bayley JIL. (ii) The classification of shoulder instability: new light through old windows! *Current Orthopaedics.* 2004;18(2):97-108.
7. Thomas SC, Matsen FA. An approach to the repair of avulsion of the glenohumeral ligaments in the management of traumatic anterior glenohumeral instability. *J Bone Joint Surg Am.* 1989;71(4):506-13.
8. Gerber C, Nyffeler RW. Classification of glenohumeral joint instability. *Clin Orthop Relat Res.* 2002(400):65-76.
9. Kuhn JE. A new classification system for shoulder instability. *Br J Sports Med.* 2010;44(5):341-6.
10. Habermeyer P, Magosch P, Lichtenberg S. [Shoulder instability. Classification and treatment]. *Orthopade.* 2004;33(7):847-72.
11. Arciero RA, Parrino A, Bernhardson AS, Diaz-Doran V, Obopilwe E, Cote MP, Golijanin P, Mazzocca AD, Provencher MT. The effect of a combined glenoid and Hill-Sachs defect on glenohumeral stability: a biomechanical cadaveric study using 3-dimensional modeling of 142 patients. *Am J Sports Med.* 2015;43(6):1422-9.
12. Bryce CD, Davison AC, Okita N, Lewis GS, Sharkey NA, Armstrong AD. A biomechanical study of posterior glenoid bone loss and humeral head translation. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010;19(7):994-1002.
13. Burkhart SS, De Beer JF. Traumatic glenohumeral bone defects and their relationship to failure of arthroscopic Bankart repairs: significance of the inverted-pear glenoid and the humeral engaging Hill-Sachs lesion. *Arthroscopy.* 2000;16(7):677-94.
14. Moroder P, Damm P, Wierer G, Bohm E, Minkus M, Plachel F, Mardian S, Scheibel M, Khatamirad M. Challenging the Current Concept of Critical Glenoid Bone Loss in Shoulder Instability: Does the Size Measurement Really Tell It All? *Am J Sports Med.* 2019;47(3):688-94.
15. Moroder P, Plachel F, Tauber M, Habermeyer P, Imhoff A, Liem D, Lill H, Resch H, Gerhardt C, Scheibel M. Risk of Engagement of Bipolar Bone Defects in Posterior Shoulder Instability. *Am J Sports Med.* 2017;45(12):2835-9.
16. Wellmann M, Blasig H, Bobrowitsch E, Kobbe P, Windhagen H, Petersen W, Bohnsack M. The biomechanical effect of specific labral and capsular lesions on posterior shoulder instability. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2011;131(3):421-7.

17. Yamamoto N, Itoi E, Abe H, Kikuchi K, Seki N, Minagawa H, Tuoheti Y. Effect of an anterior glenoid defect on anterior shoulder stability: a cadaveric study. *Am J Sports Med.* 2009;37(5):949-54.
18. Rowe CR. Prognosis in dislocations of the shoulder. *J Bone Joint Surg Am.* 1956;38-A(5):957-77.
19. Kuroda S, Sumiyoshi T, Moriishi J, Maruta K, Ishige N. The natural course of atraumatic shoulder instability. *J Shoulder Elbow Surg.* 2001;10(2):100-4.
20. Danzinger V, Schulz E, Moroder P. Epidemiology of functional shoulder instability: an online survey. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2019;20(1):281.
21. Malone A, Jaggi A, Calvert P, Lambert S, Bayley I. The prevalence of inappropriate muscle sequencing in recurrent shoulder instability. *Orthopaedic Proceedings.* 2005;87-B(SUPP_II):163.
22. Illyes A, Kiss RM. Kinematic and muscle activity characteristics of multidirectional shoulder joint instability during elevation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(7):673-85.
23. Illyes A, Kiss RM. Electromyographic analysis in patients with multidirectional shoulder instability during pull, forward punch, elevation and overhead throw. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(5):624-31.
24. Barden JM, Balyk R, Raso VJ, Moreau M, Bagnall K. Atypical shoulder muscle activation in multidirectional instability. *Clin Neurophysiol.* 2005;116(8):1846-57.
25. Morris AD, Kemp GJ, Frostick SP. Shoulder electromyography in multidirectional instability. *J Shoulder Elbow Surg.* 2004;13(1):24-9.
26. Pande P, Hawkins R, Peat M. Electromyography in voluntary posterior instability of the shoulder. *Am J Sports Med.* 1989;17(5):644-8.
27. Rowe CR, Pierce DS, Clark JG. Voluntary dislocation of the shoulder. A preliminary report on a clinical, electromyographic, and psychiatric study of twenty-six patients. *J Bone Joint Surg Am.* 1973;55(3):445-60.
28. Glousman R, Jobe F, Tibone J, Moynes D, Antonelli D, Perry J. Dynamic electromyographic analysis of the throwing shoulder with glenohumeral instability. *J Bone Joint Surg Am.* 1988;70(2):220-6.
29. Hawkes DH, Khaiyat OA, Howard AJ, Kemp GJ, Frostick SP. Patterns of muscle coordination during dynamic glenohumeral joint elevation: An EMG study. *PLoS One.* 2019;14(2):e0211800.
30. Jaggi A, Noorani A, Malone A, Cowan J, Lambert S, Bayley I. Muscle activation patterns in patients with recurrent shoulder instability. *Int J Shoulder Surg.* 2012;6(4):101-7.
31. Takwale VJ, Calvert P, Rattue H. Involuntary positional instability of the shoulder in adolescents and young adults. Is there any benefit from treatment? *J Bone Joint Surg Br.* 2000;82(5):719-23.
32. Moroder P, Minkus M, Bohm E, Danzinger V, Gerhardt C, Scheibel M. Use of shoulder pacemaker for treatment of functional shoulder instability: Proof of concept. *Obere Extrem.* 2017;12(2):103-8.
33. Chahal J, Kassiri K, Dion A, MacDonald P, Leiter J. Diagnostic and treatment differences among experienced shoulder surgeons for instability conditions of the shoulder. *Clin J Sport Med.* 2007;17(1):5-9.
34. Huber H, Gerber C. Voluntary subluxation of the shoulder in children. A long-term follow-up study of 36 shoulders. *J Bone Joint Surg Br.* 1994;76(1):118-22.
35. Hawkins RJ, Koppert G, Johnston G. Recurrent posterior instability (subluxation) of the shoulder. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66(2):169-74.
36. Moroder P, Odorizzi M, Pizzinini S, Demetz E, Resch H, Moroder P. Open Bankart Repair for the Treatment of Anterior Shoulder Instability without Substantial

- Osseous Glenoid Defects: Results After a Minimum Follow-up of Twenty Years. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(17):1398-405.
37. Haefeli M, Elfering A. Pain assessment. *Eur Spine J.* 2006;15 Suppl 1:S17-24.
 38. Kirkley A, Griffin S, McLintock H, Ng L. The development and evaluation of a disease-specific quality of life measurement tool for shoulder instability. The Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI). *Am J Sports Med.* 1998;26(6):764-72.
 39. Rowe CR, Patel D, Southmayd WW. The Bankart procedure: a long-term end-result study. *J Bone Joint Surg Am.* 1978;60(1):1-16.
 40. Gilbert MK, Gerber C. Comparison of the subjective shoulder value and the Constant score. *J Shoulder Elbow Surg.* 2007;16(6):717-21.
 41. Plancher KD, Lipnick SL. Analysis of evidence-based medicine for shoulder instability. *Arthroscopy.* 2009;25(8):897-908.
 42. Jia X, Ji JH, Petersen SA, Freehill MT, McFarland EG. An analysis of shoulder laxity in patients undergoing shoulder surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91(9):2144-50.
 43. Gagey OJ, Gagey N. The hyperabduction test. *J Bone Joint Surg Br.* 2001;83(1):69-74.
 44. Coudane H, Walch G, Sebesta A. [Chronic anterior instability of the shoulder in adults. Methodology]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2000;86 Suppl 1:94-5.
 45. Baum J, Larsson LG. Hypermobility syndrome--new diagnostic criteria. *J Rheumatol.* 2000;27(7):1585-6.
 46. Kibler WB. The role of the scapula in athletic shoulder function. *Am J Sports Med.* 1998;26(2):325-37.
 47. American Psychiatric Association. Online assessment measures. Washington DC, USA: American Psychiatric Association; [Available from: <https://www.psychiatry.org/psychiatrists/practice/dsm/educational-resources/assessment-measures>] accessed 1.11.2018.
 48. Kroner K, Lind T, Jensen J. The epidemiology of shoulder dislocations. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1989;108(5):288-90.
 49. Jaggi A, Lambert S. Rehabilitation for shoulder instability. *Br J Sports Med.* 2010;44(5):333-40.
 50. Donnellan CP, Scott MA, Antoun M, Wallace WA. Physiotherapy and botulinum toxin injections prior to stabilization surgery for recurrent atraumatic anteroinferior shoulder dislocation with abnormal muscle patterning. *Shoulder & Elbow.* 2012;4(4):287-90.
 51. Sinha A, Higginson DW, Vickers A. Use of botulinum A toxin in irreducible shoulder dislocation caused by spasm of pectoralis major. *J Shoulder Elbow Surg.* 1999;8(1):75-6.
 52. Simmen BR, Angst F, Schwyzer HK, Herren DB, Pap G, Aeschlimann A, Goldhahn J. A concept for comprehensively measuring health, function and quality of life following orthopaedic interventions of the upper extremity. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009;129(1):113-8.
 53. Kim SH, Noh KC, Park JS, Ryu BD, Oh I. Loss of chondrolabral containment of the glenohumeral joint in atraumatic posteroinferior multidirectional instability. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(1):92-8.

8 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Victor Andreas Danzinger, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Charakteristika und Klassifikation der funktionellen Schulterinstabilität (FSI)“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

9 Ausführliche Anteilserklärung

Publikation:

Moroder P*, Danzinger V*, Maziak N, Plachel F, Pauly S, Scheibel M, Minkus M. Characteristics of functional shoulder instability. J Shoulder Elbow Surg 2020; 29(1):68-78. doi:10.1016/j.jse.2019.05.025

*These authors contributed equally to this work.

Victor Andreas Danzinger hatte folgenden Anteil an der erfolgten Publikation:

- Literaturrecherche
- Erstellung des Ethikantrags und Zusammenstellung des Fragebogens
- prospektive Rekrutierung der Studienteilnehmer
- Durchführung der Interviews und Mithilfe der klinischen Untersuchungen zur weiteren Datenerhebung
- Auswertung von MRT-Übersichtsaufnahmen (Winkel- und Distanzmessungen)
- Anlegen des Datensatzes
- Mithilfe der Auswertung und Interpretation der gewonnenen Daten
- Erstellung des Manuskripts (insbesondere Methodik- und Ergebnisteil)
- Erstellung graphischer Darstellungen (Abbildung 1-7, Video 1)
- Erstellung der Tabellen (Tabelle 1-2)
- Mitbearbeitung der Revision

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers

Unterschrift des Doktoranden (2. Erstautor)

10 Auszug aus der Journal Summary List

Journal Data Filtered By: Selected JCR Year: 2017 Selected Editions: SCIE,SSCI

Selected Categories: „ORTHOPEDECS” Selected Category Scheme: WoS

Platz 14 von 77 Journals in der Kategorie „ORTHOPEDECS”

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	AMERICAN JOURNAL OF SPORTS MEDICINE	32,251	6.057	0.041740
2	OSTEOARTHRITIS AND CARTILAGE	15,911	5.454	0.026630
3	JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY- AMERICAN VOLUME	46,966	4.583	0.044930
4	Journal of Physiotherapy	839	4.542	0.002390
5	ARTHROSCOPY-THE JOURNAL OF ARTHROSCOPIC AND RELATED SURGERY	15,568	4.330	0.020760
6	CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH	40,313	4.091	0.037880
7	Bone & Joint Journal	4,676	3.581	0.019010
8	JOURNAL OF ORTHOPAEDIC RESEARCH	14,800	3.414	0.016570
9	JOURNAL OF ARTHROPLASTY	16,901	3.338	0.029760
10	KNEE SURGERY SPORTS TRAUMATOLOGY ARTHROSCOPY	14,017	3.210	0.026090
11	Spine Journal	8,564	3.119	0.019380
12	JOURNAL OF ORTHOPAEDIC & SPORTS PHYSICAL THERAPY	6,612	3.090	0.006800
13	Acta Orthopaedica	8,583	3.076	0.008670
14	JOURNAL OF SHOULDER AND ELBOW SURGERY	12,263	2.849	0.017730
15	SPINE	46,984	2.792	0.035050
16	ORTHOPEDIC CLINICS OF NORTH AMERICA	3,140	2.672	0.003050
17	FOOT & ANKLE INTERNATIONAL	8,682	2.653	0.008190
18	Journal of Hand Surgery-European Volume	4,234	2.648	0.004220
19	JOURNAL OF THE AMERICAN ACADEMY OF ORTHOPAEDIC SURGEONS	5,082	2.638	0.007810
20	EUROPEAN SPINE JOURNAL	15,242	2.634	0.023050



Characteristics of functional shoulder instability



Philipp Moroder, MD^{a,*},¹, Victor Danzinger^{a,1}, Nina Maziak, MD^a,
Fabian Plachel, MD^a, Stephan Pauly, MD^a, Markus Scheibel, MD^b,
Marvin Minkus, MD^a

^aDepartment for Shoulder and Elbow Surgery, Center for Musculoskeletal Surgery, Campus Virchow, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Germany

^bDepartment for Shoulder and Elbow Surgery, Schulthess Clinic, Zürich, Switzerland

Background: Pathologic activation pattern of muscles can cause shoulder instability. We propose to call this pathology functional shoulder instability (FSI). The purpose of this prospective study was to provide an in-detail description of the characteristics of FSI.

Methods: In the year 2017, a total of 36 consecutive cases of FSI presenting to our outpatient clinic were prospectively collected. Diagnostic investigation included a pathology-specific questionnaire, standardized clinical scores, clinical examination, psychological evaluation, video and dynamic fluoroscopy documentation of the instability mechanism, as well as magnetic resonance imaging (MRI). In a final reviewing process, the material from all collected cases was evaluated and, according to the observed pattern, different subtypes of FSI were determined and compared.

Results: Based on the pathomechanism, positional FSI (78%) was distinguished from nonpositional FSI (22%). Controllable positional FSI was observed in 6% of all cases and noncontrollable positional FSI in 72%, whereas controllable and noncontrollable nonpositional FSI were each detected in 11% of the cases. The different subtypes of FSI showed significant differences in all clinical scores (Western Ontario Shoulder Instability Index: $P = .002$, Rowe Score: $P = .001$, Subjective Shoulder Value: $P = .001$) and regarding functional impairment (shoulder stability: $P < .001$, daily activities: $P = .001$, sports activities: $P < .001$). Seventy-eight percent had posterior, 17% anterior, and 6% multidirectional instability. Although several patients showed constitutional glenoid shape alterations or soft tissue hyperlaxity, only few patients with acquired minor structural defects were observed.

Conclusion: FSI can be classified into 4 subtypes based on pathomechanism and volitional control. Depending on the subtype, patients show different degrees of functional impairment. The majority of patients suffer from unidirectional posterior FSI.

Level of evidence: Level IV; Case Series; Prognosis Study

© 2019 The Author(s). This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Keywords: Shoulder instability; functional shoulder instability; voluntary shoulder instability; positional shoulder instability; noncontrollable shoulder instability; multidirectional shoulder instability; posterior shoulder instability; anterior shoulder instability

This study was performed at the Department for Shoulder and Elbow Surgery, Center for Musculoskeletal Surgery, Campus Virchow, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Germany.

This study was approved by the ethical committee of the Charité University, Berlin, Germany (EA2/195/16).

¹These authors contributed equally to this work.

*Reprint requests: Philipp Moroder, MD, Center for Musculoskeletal Surgery, Campus Virchow, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Augustenburgerplatz 1, 13353 Berlin, Germany.

E-mail address: philipp.moroder@icloud.com (P. Moroder).

1058-2746/© 2019 The Author(s). This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), <https://doi.org/10.1016/j.jse.2019.05.025>

Shoulder instability is a common and well-studied pathology. Even though there are still debates and differences of opinion regarding certain topics, the diagnosis, classification, and treatment of shoulder instability in general has reached a high level of standardization among shoulder surgeons. Several biomechanical as well as clinical studies have revealed that structural defects are the main cause for shoulder instability.^{2,5,6,31,35,43,44} However, in addition to structural defects, pathological muscle activation patterns have been found to cause shoulder instability even in the absence of structural defects.²² We propose to call this form of instability functional shoulder instability (FSI) as opposed to instability caused by structural defects. Current classification systems for shoulder instability include patients with FSI in different ways. Although the TUBS (Traumatic, Unidirectional, Bankart Lesion, Surgery) and AMBRI (Atraumatic, Multidirectional, Bilateral, Rehabilitation, Inferior Capsular Shift) classification systems do not specifically mention FSI,⁴² the Stanmore classification describes patients with an abnormal muscle activation pattern under the group Polar Type 3.²⁹ Among patients with FSI, the distinction between the unwanted dislocation during movement (involuntary positional instability) and the ability to deliberately dislocate one's shoulder (voluntary instability) has been proposed.⁴¹ Accordingly, the Gerber and Nyffeler classification distinguishes between patients who suffer from involuntary shoulder instability with voluntary reduction (type B6) and patients who can wilfully dislocate their shoulders (type C).¹⁰ A further distinction between patients with voluntary instability who have the desire to dislocate their shoulders because of psychological or secondary gain issues (volitional instability) and patients who can deliberately dislocate their shoulders but have no actual desire to do so (demonstrable instability) has been emphasized.²⁷ Despite these existing classifications and descriptions of the pathology, a survey among shoulder experts identified voluntary shoulder instability (which can be considered as a former expression used for FSI) as the type of shoulder instability with the least agreement regarding diagnostic criteria.⁷

In a prospective descriptive study, FSI cases were clinically and radiologically analyzed in an attempt to provide a comprehensive and in-detail description of the characteristics of FSI. We hypothesized that FSI can be broken down into separate groups with distinct clinical findings.

Methods

Study cohort

All patients able to demonstrate what appeared to be a subluxation or dislocation mechanism of their shoulder during presentation at our outpatient clinic from January to December 2017 were

included in this prospective cohort study. Local ethical committee approval was obtained prior to the beginning of the study and for all included minors, parental consent was obtained.

Information on a total of 38 consecutive cases was collected, including patient interviews with pathology-specific questionnaires, standardized clinical scores, clinical examination, video and dynamic fluoroscopy documentation of the pathomechanism, as well as magnetic resonance imaging (MRI). After review of all collected data, 2 patients were excluded from the study because of apparent initial misdiagnosis. One young female patient revealed scapular entrapment on biplane fluoroscopy imaging during arm elevation instead of the presumed repetitive glenohumeral instability. One middle-aged male patient with demonstrable anterior shoulder instability after a recent skiing accident showed an extensive acute glenoid fracture on MRI.

Clinical assessment

Before clinical examination, all cases completed a questionnaire on general medical history, pathology-specific medical history, and shoulder-specific activity level.³⁴ Standardized clinical scores including the Western Ontario Shoulder Instability Index,²⁶ Rowe Score,³⁹ as well as the Subjective Shoulder Value¹² were obtained. Furthermore, the pain level was rated on a numeric pain rating scale¹³ at rest and in motion. All patients were asked to demonstrate their shoulder instability. Any macroscopic changes in the shoulder contour, abrupt shifts in shoulder position, or cracking noises were noted and video documented. Analysis of the presence of hyperlaxity included the sulcus sign,²³ which was rated positive if the sulcus exceeded 1 cm, the Gagey test,⁹ which was deemed positive if glenohumeral abduction was more than 105°, as well as the Walch test,⁸ which was considered positive in the presence of an external rotation >90°. In addition, the Beighton score⁴ was used to determine generalized joint hyperlaxity. Scapular dyskinesis was diagnosed and classified according to Kibler et al.²⁴ Furthermore, active range of motion of the affected shoulders was assessed. Strength measurements were rendered impossible by the high grade of instability in a majority of patients.

Imaging

Fluoroscopy was employed in all cases to dynamically analyze the subluxation or dislocation process. The fluoroscope used for this study was a mobile C-Arm Ziehm 8000 (Ziehm Imaging GmbH, Nuremberg, Germany). Before starting the procedure, the patients were positioned as close as possible to the fluoroscope wearing protection against radiation exposure. Next, the patients were asked to demonstrate their shoulder instability. Axial and anterior-posterior imaging was used to video document the presence and direction of instability. In the case of bilateral FSI with clinically identical appearance, only 1 side was analyzed with dynamic fluoroscopy in order to minimize radiation exposure.

Conventional MRI was obtained using a 1.5-Tesla system and a dedicated shoulder coil in all patients to identify any structural insufficiencies or sustained structural defects. In particular, all images were analyzed for the presence of rotator cuff lesions,

muscle atrophy, muscle fatty degeneration, biceps tendon lesions, labral defects, cartilage defects, bony lesions, shape of the glenoid articular surface, and humeral head centering. In the case of bilateral FSI with identical clinical appearance, only 1 side was analyzed with MRI.

Types of instability

In a final reviewing process, video material and fluoroscopy imaging data of all collected cases were evaluated and, according to the observed pattern, different subtypes of FSI were determined and compared.

Two main types of FSI were distinguished and defined as positional FSI and nonpositional FSI. The term *positional FSI* was applied if a subluxation or dislocation of the shoulder occurred during motion of the arm (Fig. 1). In contrast, the term *nonpositional FSI* was applied if an apparent muscle contraction caused a subluxation or dislocation with the arm in neutral or close to neutral position (Fig. 2). Furthermore, the types of FSI were distinguished based on the patient's ability to willfully control the instability episodes.

Psychological assessment

Of the 25 patients included in the study, 22 (88%) participants agreed to screening for accompanying psychological disorders using the DSM-5 Self-Rated Level 1 Cross-Cutting Symptom Measure, a short but comprehensive psychological tool offered by the American Psychiatric Association. This self-administered questionnaire evaluates different specific mental health domains, such as depression, anger, mania, anxiety, etc and has shown good to excellent test-retest reliability.^{1,38} Each domain is evaluated with questions regarding symptoms endured during the past 2 weeks to be rated on a 5-point severity scale (0 = none, 4 = severe). For minors, we used the adapted version DSM-5 Self-Rated Level 1 Cross-Cutting Symptom Measure-Child Age 11-17.¹ Patients reaching or exceeding the threshold mild (2), moderate (3), or severe (4) in the domain Somatic Symptoms were subjected to further investigation using the LEVEL 2-Somatic Symptom-Adult Patient or LEVEL 2-Somatic Symptom-Child Age 11-17.¹ These adapted versions of the commonly used Patient Health Questionnaire Physical Symptoms (PHQ-15) use 13 (children) or 15 (adults) different items to assess standardized somatic symptoms experienced during the last 7 days. The rating is accomplished on a 3-point scale (0-2). The level of somatic symptoms severity is interpreted as follows: minimal (0-4 points), low (5-9 points), medium (10-14 points), or high (15-30 points).

Statistics

After collection of data on spreadsheets, descriptive statistics were computed.

The Kolmogorov-Smirnov test was used to test the investigated parameters for normal distribution. The Mann-Whitney *U* test was employed for comparison of means of 2 unpaired samples and the Kruskal-Wallis test for comparison of means of more than 2 samples. For all analyses, the results were 2-tailed and the alpha level was set to 0.05.

Results

Patient characteristics

In total, 36 cases of FSI in 25 patients were collected. Fourteen patients (56%) presented with unilateral and 11 (44%) with bilateral FSI. Of the 25 patients, 16 were female (64%) and 9 male (36%). The mean age was 20 ± 5.2 years (range: 13-33 years), mean height 171 ± 9 cm (range: 150-190 cm), and mean weight 67 ± 15 kg (range: 45-110 kg). The mean shoulder activity level of patients having FSI was 1.1 ± 0.8 (range: 0-2). Hyperlaxity with combined positive sulcus sign, Gagey test, and Walch test as well as a Beighton score equal to or above 5, was noted in 36% of the cases (50% of controllable positional, 27% of noncontrollable positional, 75% of controllable nonpositional, and 50% of noncontrollable nonpositional FSI). Scapular dyskinesia was commonly noted with a prominent inferomedial border of the scapula (type I dyskinesia) presenting in 36% of the cases and a prominence of the entire medial border (type II dyskinesia) showing in 53% of all cases. Only 11% featured a normal scapulothoracic motion (3 cases of noncontrollable positional FSI and 1 case of controllable nonpositional FSI). Noticeable, general body posture of patients suffering from FSI often featured lumbar hyperlordosis, or thoracic hyperkyphosis as well as excessive protraction of the scapulae. The active range of motion of the affected shoulders displayed a mean flexion of $163^\circ \pm 31^\circ$, abduction of $157^\circ \pm 39^\circ$, external rotation of $70^\circ \pm 14^\circ$, external rotation in 90° of abduction of $69^\circ \pm 26^\circ$, internal rotation of $\text{Th}9 \pm 4$, and internal rotation in 90° of abduction of $63^\circ \pm 25^\circ$.

In 72% of the 36 cases, no traumatic event was found as the cause of the first instability episode. In 28%, a minor trauma or repetitive micro-trauma performing high-demanding shoulder sports was reported as a triggering factor resulting in FSI. The mean age at which the first instability episode was experienced was 15 ± 5 years (range: 5-28 years). The mean time interval between the first instability episode and presentation at our department was 60 ± 52 months (range: 1-183 months).

Prior therapy consisted of conservative as well as surgical interventions. In total, 8 cases (22%) in 8 patients (32%) underwent unsuccessful surgical stabilization attempts, with 1 patient undergoing a total of 3 surgical procedures on 1 shoulder. Surgical interventions included arthroscopic capsulolabral shifts ($n = 6$), open capsulolabral shift ($n = 1$), Latarjet procedure ($n = 1$), rotator cuff tensioning ($n = 1$), and subacromial decompression for pain ($n = 1$). Sixty-nine percent of the cases had undergone physiotherapy for an extensive period of time with an average duration of 11.9 ± 14.5 months (range: 0.5-48 months). As symptoms persisted over an often extensive period of time without response to therapy, patients having FSI attempted several conservative treatment approaches,

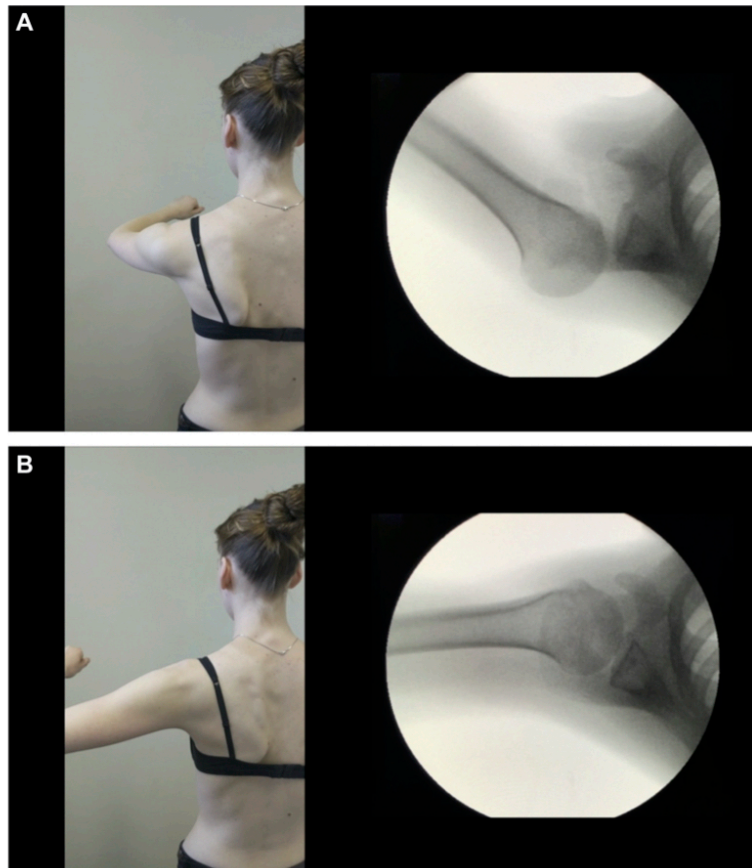


Figure 1 Clinical and fluoroscopic images of an adolescent woman with positional posterior functional shoulder instability. (A) Flexion and internal rotation of the arm lead to a temporary posterior dislocation of the humeral head visible as bulging of the posterior aspect of the shoulder. (B) Horizontal extension leads to reduction of the humeral head accompanied by abrupt contour normalization and sometimes also by a “popping” noise.

including training with resistance machines (42%), general physiotherapy (31%), manual therapy (31%), electrical therapy (25%), massage (25%), thermo-therapy (11%), and other conservative therapies (6%). Overall, 14% of the cases generally did not receive physiotherapy and in 17% only the shoulder with more prominent symptoms was treated although clinical evaluation clearly demonstrated a bilateral FSI.

Types of instability

Positional instability was more commonly observed (78%) than nonpositional instability (22%). In 3 patients, concurrent ipsilateral positional and nonpositional FSI was

observed. Although in the positional group noncontrollable FSI (72%) was much more commonly observed than controllable FSI (6%), the frequency of nonpositional controllable (11%) and noncontrollable FSI (11%) was similar. Of all FSI cases, 78% showed a posterior instability, 17% an anterior instability, and 6% a multidirectional instability (Fig. 3).

The 4 different subtypes of FSI showed significant differences in all clinical scores (Western Ontario Shoulder Instability Index: $P = .002$; Rowe Score: $P = .001$; Subjective Shoulder Value: $P = .001$) and regarding their impact on functional impairment (shoulder stability: $P < .001$; daily activities: $P = .001$; sports activities: $P < .001$). Although overall the positional and the nonpositional

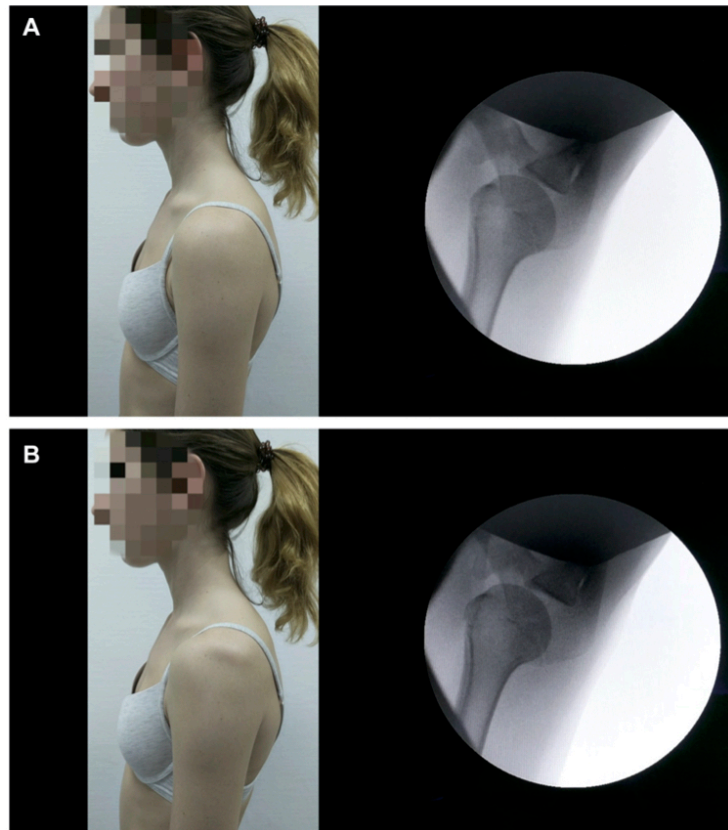


Figure 2 Clinical and fluoroscopic images of an adolescent woman with nonpositional anterior functional shoulder instability. (A) In neutral position of the arm, the humeral head is centered. (B) The patient can anteriorly subluxate the humeral head without moving the arm from neutral position. The subluxation becomes clinically apparent as a result of the sudden indentation underneath the acromion as well as the bulging of the anterior contour of the shoulder.

subtypes showed no statistically significant differences regarding clinical scores and functional impairment ($P > .09$), there were significant differences between controllable and noncontrollable subtypes. The controllable types of FSI had only little impact on the clinical scores, whereas noncontrollable types of FSI showed significantly worse averages ($P < .001$) (Fig. 4). Regarding overall impairment of shoulder stability as well as impairment of daily activities and sports, a similar difference between controllable and noncontrollable types of FSI was observed ($P \leq .001$) (Fig. 5). Noncontrollable nonpositional FSI showed a trend toward even worse scores and more severe impairment of shoulder function than noncontrollable positional FSI (Western Ontario Shoulder Instability Index: $P = .791$; Rowe Score: $P = .071$; Subjective Shoulder

Value: $P = .044$; shoulder stability: $P = .007$; daily activities: $P = .536$; sports activities: $P = .157$).

No statistically significant difference regarding pain level at rest ($P = .932$) or during motion ($P = .597$) was noted between groups.

Radiological characteristics

The main structural deficiencies noted in this series of patients with FSI were changes of the morphology of the glenoid articular surface including glenoid flattening and glenoid dysplasia with soft tissue compensation (Fig. 6).

The mean overall recorded glenoid version was $96^\circ \pm 6^\circ$ (range: 90° - 120°), with an average of $92^\circ \pm 1.7^\circ$ (range:

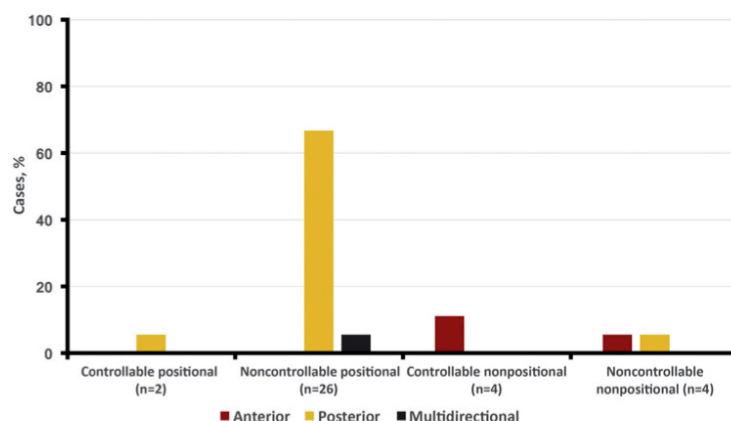


Figure 3 Subtypes of functional shoulder instability distinguished based on their pathomechanism, controllability, and direction of instability.

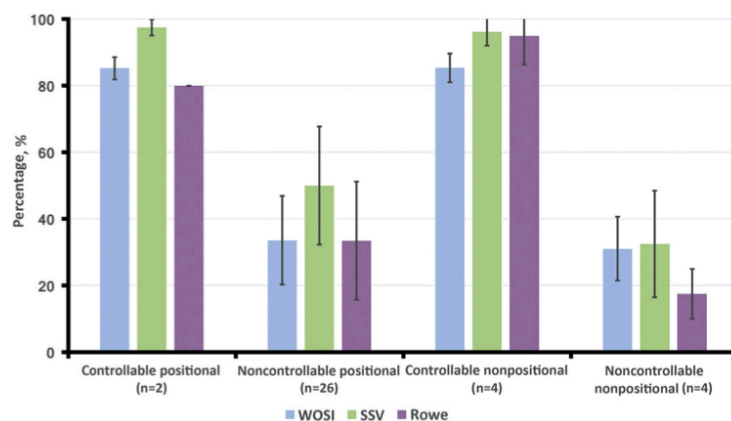


Figure 4 Average clinical scores recorded for the different subtypes of functional shoulder instability. WOSI, Western Ontario Shoulder Instability Index; SSV, Subjective Shoulder Value.

90°-94°) in patients with anterior FSI and an average of 97° ± 7° (range: 90°-120°) in patients with posterior FSI ($P = .067$). Sustained structural defects included 4 cases (16%) with slight labral lesions and 3 cases (12%) with small (reverse) Hill-Sachs lesions. None of the structural defects were of sufficient extent to explain the severe instability patients suffered from already during midrange or even starting-range of motion (Table I).

Psychological characteristics

Mean values in all the assessed mental health domains were elevated but low on average (Table II). Seven of 22 patients (32%) exceeded the defined threshold in the

domain Somatic Symptoms and were subjected to further evaluation. Assessment of Level 2-Somatic Symptom displayed minimal or low severity of somatic symptoms in 6 patients (27%), and 1 patient (5%) reached medium severity.

Discussion

Functional shoulder instability is a condition mainly caused by pathologic muscle activation patterns instead of structural defects. In this prospective study, a detailed description of the characteristics of FSI and its different subgroups was provided.

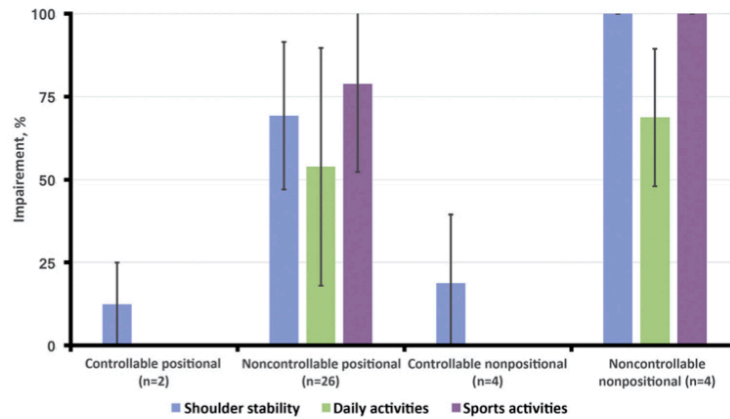


Figure 5 Average impairment of shoulder stability, daily activities, and sports activities among the different subtypes of functional shoulder instability.

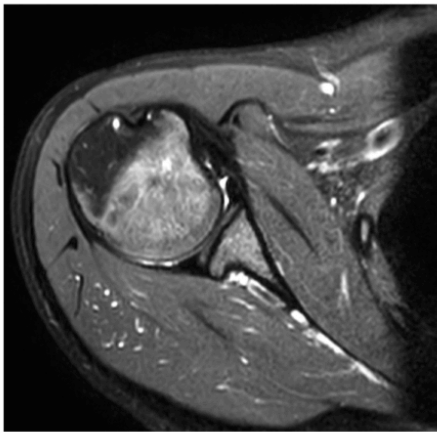


Figure 6 Axial magnetic resonance image of a patient with functional shoulder instability and associated glenoid dysplasia with convex shape of the articular surface of the glenoid.

Based on the findings of this study, we propose the following classification of FSI (Fig. 7) (Video 1).

Positional FSI involves subluxations or dislocations caused by movement of the affected arm in a certain position and spontaneous reduction once the position is left again. Positional FSI can either be controllable or noncontrollable. Controllable means that subluxations or dislocations can voluntarily be caused by the patients by executing certain movements. It creates little discomfort or functional impairment because it can be suppressed by the patient if wanted. Noncontrollable means that subluxations or dislocations occur involuntarily during movement of the

arm. It can lead to severe loss of function, discomfort, and pain because it cannot be countered by the patient. The typical movement during which posterior positional FSI can be observed is horizontal flexion and internal rotation. It causes a posterior subluxation or dislocation, which, for the observer, is often hardly noticeable. Subsequent horizontal extension leads to reduction of the joint, which is typically visible for the examiner as a result of an abrupt contour change of the posterior aspect of the shoulder sometimes accompanied by a “popping” noise (Fig. 1). The typical movement during which anterior positional FSI can be observed is abduction and external rotation. The movement causes a subluxation or dislocation of the humeral head, which is visible as bulging in the axilla. Reduction is obtained by returning to a neutral position. Posterior positional FSI was by far the most commonly observed type of FSI in this study. Anterior positional FSI seems to be much less frequent.

Nonpositional FSI involves subluxations or dislocations of the shoulder in neutral or close to neutral position of the arm. In contrast to positional instability, it is not caused by certain arm movements but rather seems to be caused by pathologic muscle contractions that lead to a temporary dislocation of the humeral head (Fig. 2). This form of FSI also can be controllable or noncontrollable. In the case of a controllable nonpositional FSI, patients often have no functional impairment. In contrast, noncontrollable nonpositional FSI is a very severe form of shoulder instability that can completely impair normal shoulder function. Repetitive subluxations, dislocations, or sometimes even static dislocations in various directions are sustained even with the arm in neutral rotation because of nonphysiological muscle contractions, and in some cases “tic-like” muscle contractions are observed. Although both anterior and posterior nonpositional FSI exist, the anterior direction can

Table I Structural deficiencies and defects observed on MRI scans of patients with functional shoulder instability

Structural deficiency or defect	n (%)
Rotator cuff lesions: muscle atrophy or fatty degeneration	0 (0)
Biceps tendon lesions	0 (0)
Cartilage lesions	0 (0)
Labral damage	4 (16)
Bony glenoid defect	0 (0)
(Reverse) Hill-Sachs lesion	3 (12)
Shape of articular surface	
Concave	20 (80)
Flat	3 (12)
Convex	2 (8)
Glenoid dysplasia	
With soft tissue compensation	6 (24)
No compensation	0 (0)
Decentered humeral head	2 (8)

MRI, magnetic resonance imaging.

be observed more commonly, especially in patients with controllable nonpositional FSI.

An important factor in FSI is the burden and perception of disease. Patients with controllable positional or nonpositional FSI often do not have any symptoms and therefore do not interpret their "condition" as pathologic but rather as an enhanced ability. Therefore, it is likely that many patients with controllable FSI do not even seek medical attention, which is also the reason why patients with controllable FSI are surely underrepresented in this study. As a matter of fact, some adolescents were presented to us because their parents worried about their child's "abnormal" shoulder movements rather than because of actual symptoms of the patient. The perception of this form of FSI can vary extensively. It ranges from the positive interpretation as delightful party trick maneuver to the negative interpretation as attention-seeking behavior.²⁷ In contrast, patients with noncontrollable positional or nonpositional FSI often carry a large burden of disease in terms of severe loss of function, discomfort, and pain. Many patients in this study had visited several medical specialists before consultation at our institution and had undergone extensive periods of physiotherapy and even surgical stabilization attempts without success. This lack of successful previous therapy paired with an extensive medical record is sometimes interpreted as doctor shopping, attention-seeking behavior, or even an underlying psychiatric disorder.^{10,16,27} However, attention must be paid not to be lured into a premature labeling of these patients as psychiatric by the combination of their "freakish"-looking symptoms, the absence of relevant structural defects, and the ineffectiveness of multiple forms of treatment. According to our results, no severe mental health disorder could be found in these patients, and the conspicuous minor findings, in our opinion, might be explained by the severe burden of the

Table II Results of the mental health issue screening of the patients using the DSM-5 Self-Rated Level 1 Cross-Cutting Symptom Measure

Level 1 domain	Adult, Mean (SD) (n = 16)	Child, Mean (SD) (n = 6)
Depression	0.56 (0.79)	0.08 (0.28)
Anger and irritability	0.44 (0.5)	0.25 (0.43)
Mania	0.84 (1.42)	0.25 (0.43)
Anxiety	0.69 (1)	0.11 (0.31)
Somatic symptoms	0.63 (1.05)	1 (1.15)
Suicidal	0.19 (0.73)	0%*
Psychosis	0.06 (0.24)	0 (0)
Sleep problems	0.94 (1.3)	0.5 (1.12)
Memory	0.31 (0.58)	—†
Repetitive thoughts and behaviors	0.5 (1.03)	0.17 (0.47)
Dissociation	0.13 (0.48)	—†
Personality functioning	0.19 (0.58)	—†
Substance use	0.33 (0.94)	17%*
Inattention	—†	0.83 (1.21)

DSM-5, Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th edition; SD, standard deviation.

Means (SDs) are presented for the child and adult version.

* Mean (SD) is not provided because the answer is yes or no.

† Only part of the questionnaire for adults or child.

pathology itself, which affects the often adolescent patients not only physically but also psychologically in this very vulnerable period of character development.

Fluoroscopy helped to objectively assess the direction of instability. Although multidirectional instability might have falsely been suspected in the clinical examination, in most patients with FSI a unidirectional instability was revealed. Especially in the large group with positional FSI, posterior was by far the most common direction of instability. Anterior and anteroinferior FSI was mostly observed in the group with nonpositional FSI. Only 1 patient with positional FSI showed a true multidirectional instability in the anterior and posterior direction. Therefore, true multidirectional instability seems to be less common among patients with FSI than expected. Surprisingly, one patient with clinically suspected positional FSI revealed no glenohumeral instability during fluoroscopy but rather a form of entrapment of the scapula within the periscapular musculature instead. The case might represent a very rare form of FSI in a wider sense but does not represent glenohumeral FSI. However, it is noteworthy that in 89% of the examined patients with FSI an accompanying scapular dyskinesia was noted during clinical examination. Although we cannot distinguish whether the dyskinesia is the cause or the consequence of FSI, it certainly seems to play an important role in its treatment.²⁰

Structural insufficiencies and, even more so, structural defects are a much debated topic in patients with FSI. Although structural insufficiencies such as altered

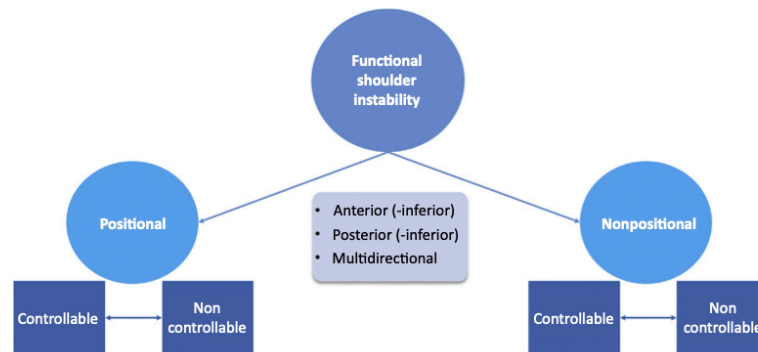


Figure 7 Classification of functional shoulder instability based on pathomechanism (positional and nonpositional) and controllability (controllable and noncontrollable).

morphology of the glenoid articular surface or generalized soft tissue hyperlaxity was encountered in several patients of this study cohort and likely contributed to their symptoms, the extent of the causal relationship is yet unclear. Additionally, it is unclear whether the observed shape variations of the glenoid are purely constitutional or a consequence of altered muscle forces and vectors influencing skeletal development during early childhood.²⁵ Obtained structural defects, on the contrary, were rarely observed in these patients and, if present, they were of minor extent. These small defects do not have enough biomechanical effect to cause the severe instability in midrange or even starting-range of motion observed in the patients and, therefore, rather seem to be a consequence of the repetitive instability episodes. In general, it is remarkable how rarely structural defects and degenerative changes are observed in patients with FSI despite an extremely high number of recurring instability episodes. This is likely explained by the pathologic muscle activation pattern leading to very low concavity compression forces acting during subluxation or dislocation. Interestingly, during the study period, one patient with extensive traumatic structural defect was initially misdiagnosed with functional shoulder instability because of the demonstrable nature of his instability before MRI scans were obtained. In general, it is recommended to perform an MRI scan in every patient before locking in on the diagnosis of FSI.^{32,36} At the same time, it is important not to overinterpret minor structural lesions seen on MRI that are not able to explain the severe form of shoulder instability patients display during clinical examination in order to avoid unnecessary surgical interventions with often unsatisfactory and in some cases even catastrophic outcome.^{15,17,20,28,32,36,41}

The presumed cause for positional as well as nonpositional FSI is an imbalance of muscle activation patterns.^{14,22} In the group of patients with positional FSI, hypoactivity of certain rotator cuff muscles appears to lead to excessive translation of the humeral head during

movement of the arm. Although hypoactivity of the infraspinatus muscle as well as the teres minor muscle can result in posterior instability, hypoactivity of the subscapularis muscle seems to lead to anterior instability. This can, for example, explain why the wall-slide maneuver (resisted external rotation during arm elevation)^{11,20} stabilizes the shoulder in patients with positional posterior FSI. Nonpositional FSI appears to be caused by hyperactivity of larger muscles, which pull the humeral head out of its physiological position. For example, anterior or antero-inferior nonpositional FSI seems to be caused by excessive contraction of the pars abdominalis of the pectoralis major muscle,⁴⁰ while possibly overactive large internal rotators such as the latissimus dorsi muscle and teres major muscle cause posterior or postero-inferior instability of the humeral head. Although some electrophysiological evidence^{3,18,19,22,37} supports these assumptions drawn from clinical observation, further electrophysiological analysis is required to precisely determine which combination of muscle hypo- and hyperactivity is responsible for the different types of FSI.

Unfortunately, it is not possible to offer clear treatment recommendations for the different subtypes of FSI because very few clinical studies are reported. Those that are reported differ widely regarding diagnosis, classification, and treatment, which is a general challenge with this rather complicated pathology.⁷ Nonetheless, a few principles that have provided treatment success in the past ought to be mentioned. First of all, patients with controllable FSI should neither be treated surgically nor conservatively as they have not lost control over the stability of their shoulders and are unlikely to develop any secondary degenerative changes.¹⁰ Patients with noncontrollable FSI should not undergo surgical treatment, because of the unpredictable outcome.^{15,17,20,28,32,36,41} As the pathology might be self-limiting and disappear over the course of several years, skillful neglect has been proposed as a treatment alternative.^{17,28} However, this

long-term approach with unguaranteed outcome is hardly accepted by the often young patients who want and need to regain function quickly. Quite often, patients affected by FSI visit several medical professionals in the search for alleviation of their symptoms and after years of unsuccessful conservative treatment, eventually undergo a salvage surgical stabilization attempt with sometimes worse outcome than prior to surgery. Therefore, it is key to provide a targeted conservative treatment including core stabilization, coordination exercises, strengthening, and biofeedback.^{20,41} For the large group of patients with positional posterior FSI, promising preliminary results have been obtained with a therapy concept based on electric muscle stimulation.³³

Limitations and strengths

As explained above, patients with controllable FSI are less likely to seek professional medical assistance than patients with noncontrollable FSI. Therefore, the ratio between controllable and noncontrollable FSI presented in this study does not reflect reality but rather a clinical reality seen from the referral center's perspective. Generally, the true prevalence of FSI and its subtypes remains unknown and is likely higher than expected.³⁰

A further limitation is the fact that in the case of bilateral symmetric appearance of FSI, dynamic fluoroscopy and MRI examinations of only 1 side were obtained in order to limit radiation exposure, duration of examination, and study costs.

Moreover, a surface electromyography analysis to detect abnormal muscle activation patterns has been attempted in this patient cohort but was unsuccessful because the surface electrodes were not able to procure measurements of sufficient quality, probably because of the rapid change in motion during instability episodes. A similar limitation of surface electromyography in detecting abnormal muscle activation patterns in FSI has been described by Jaggi et al.²¹

This study is the first comprehensive and in-depth prospective diagnostic analysis of a rather large case series of patients with FSI providing clinical examination with video documentation as well as MRI and dynamic fluoroscopy imaging in order to identify different subtypes of FSI and their characteristics. The findings of this study may serve as a starting point for future systematic exploration and discussion of much needed treatment options.

Conclusions

FSI can be classified into 4 subtypes based on pathomechanism and controllability. Depending on the subtype, patients show different degrees of functional impairment. In most patients with FSI, unidirectional

instability can be observed with the majority of patients having posterior FSI. Although several patients show accompanying structural insufficiencies including generalized soft tissue hyperlaxity or altered morphology of the glenoid articular surface, structural defects are typically absent or of minor extent.

Disclaimer

The authors, their immediate families, and any research foundations with which they are affiliated have not received any financial payments or other benefits from any commercial entity related to the subject of this article.

Supplementary Data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.jse.2019.05.025>.

References

1. American Psychiatric Association. Online assessment measures. Washington DC: American Psychiatric Association. <https://www.psychiatry.org/psychiatrists/practice/dsm/educational-resources/assessment-measures>. Accessed November 1, 2018.
2. Arciero RA, Parrino A, Bernhardson AS, Diaz-Doran V, Obopilwe E, Cote MP, et al. The effect of a combined glenoid and Hill-Sachs defect on glenohumeral stability: a biomechanical cadaveric study using 3-dimensional modeling of 142 patients. *Am J Sports Med* 2015;43:1422-9. <https://doi.org/10.1177/0363546515574677>
3. Barden JM, Balyk R, Raso VJ, Moreau M, Bagnall K. Atypical shoulder muscle activation in multidirectional instability. *Clin Neurophysiol* 2005;116:1846-57. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.04.019>
4. Baum J, Larsson LG. Hypermobility syndrome—new diagnostic criteria. *J Rheumatol* 2000;27:1585-6.
5. Bryce CD, Davison AC, Okita N, Lewis GS, Sharkey NA, Armstrong AD. A biomechanical study of posterior glenoid bone loss and humeral head translation. *J Shoulder Elbow Surg* 2010;19:994-1002. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2010.04.010>
6. Burkhart SS, De Beer JF. Traumatic glenohumeral bone defects and their relationship to failure of arthroscopic Bankart repairs: significance of the inverted-pear glenoid and the humeral engaging Hill-Sachs lesion. *Arthroscopy* 2000;16:677-94.
7. Chahal J, Kassiri K, Dion A, MacDonald P, Leiter J. Diagnostic and treatment differences among experienced shoulder surgeons for instability conditions of the shoulder. *Clin J Sport Med* 2007;17:5-9. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31802b4fda>
8. Coudane H, Walch G, Sebesta A. [Chronic anterior instability of the shoulder in adults. Methodology]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2000;86:94-5 [in French].
9. Gagey OJ, Gagey N. The hyperabduction test. *J Bone Joint Surg Br* 2001;83:69-74.
10. Gerber C, Nyffeler RW. Classification of glenohumeral joint instability. *Clin Orthop Relat Res* 2002;65:76.

11. Gibson JC. (iii) Rehabilitation after shoulder instability surgery. *Orthop Trauma* 2004;18:197-209. <https://doi.org/10.1016/j.cuor.2004.03.003>
12. Gilbert MK, Gerber C. Comparison of the subjective shoulder value and the Constant score. *J Shoulder Elbow Surg* 2007;16:717-21. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2007.02.123>
13. Haefeli M, Elfering A. Pain assessment. *Eur Spine J* 2006;15(Suppl 1): S17-24. <https://doi.org/10.1007/s00586-005-1044-x>
14. Hawkes DH, Khaiyat OA, Howard AJ, Kemp GJ, Frostick SP. Patterns of muscle coordination during dynamic glenohumeral joint elevation: an EMG study. *PLoS One* 2019;14:e0211800. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211800>
15. Hawkins RJ, Koppert G, Johnston G. Recurrent posterior instability (subluxation) of the shoulder. *J Bone Joint Surg Am* 1984;66:169-74.
16. Heintzelmann AD, Savoie FH 3rd. Posterior and multidirectional instability of the shoulder. *Instr Course Lect* 2009;58:315-21.
17. Huber H, Gerber C. Voluntary subluxation of the shoulder in children. A long-term follow-up study of 36 shoulders. *J Bone Joint Surg Br* 1994;76:118-22.
18. Illyes A, Kiss RM. Kinematic and muscle activity characteristics of multidirectional shoulder joint instability during elevation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:673-85. <https://doi.org/10.1007/s00167-005-0012-7>
19. Illyes A, Kiss RM. Electromyographic analysis in patients with multidirectional shoulder instability during pull, forward punch, elevation and overhead throw. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15:624-31. <https://doi.org/10.1007/s00167-006-0163-1>
20. Jaggi A, Lambert S. Rehabilitation for shoulder instability. *Br J Sports Med* 2010;44:333-40. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.059311>
21. Jaggi A, Malone AA, Cowan J, Lambert S, Bayley I, Cairns MC. Prospective blinded comparison of surface versus wire electromyographic analysis of muscle recruitment in shoulder instability. *Physiother Res Int* 2009;14:17-29. <https://doi.org/10.1002/pri.407>
22. Jaggi A, Noorani A, Malone A, Cowan J, Lambert S, Bayley I. Muscle activation patterns in patients with recurrent shoulder instability. *Int J Shoulder Surg* 2012;6:101-7. <https://doi.org/10.4103/0973-6042.106221>
23. Jia X, Ji JH, Petersen SA, Freehill MT, McFarland EG. An analysis of shoulder laxity in patients undergoing shoulder surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91:2144-50. <https://doi.org/10.2106/JBJS.H.00744>
24. Kibler WB. The role of the scapula in athletic shoulder function. *Am J Sports Med* 1998;26:325-37.
25. Kim SH, Noh KC, Park JS, Ryu BD, Oh I. Loss of chondrolabral containment of the glenohumeral joint in traumatic posteroinferior multidirectional instability. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:92-8. <https://doi.org/10.2106/JBJS.C.01448>
26. Kirkley A, Griffin S, McLintock H, Ng L. The development and evaluation of a disease-specific quality of life measurement tool for shoulder instability. The Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI). *Am J Sports Med* 1998;26:764-72.
27. Kuhn JE. A new classification system for shoulder instability. *Br J Sports Med* 2010;44:341-6. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.071183>
28. Kuroda S, Sumiyoshi T, Morishi J, Maruta K, Ishige N. The natural course of atraumatic shoulder instability. *J Shoulder Elbow Surg* 2001;10:100-4.
29. Lewis A, Kitamura T, Bayley J. The classification of shoulder instability: new light through old windows! *Curr Orthop* 2004;18:97-108. [https://doi.org/10.1016/S0268-0890\(04\)00037-4](https://doi.org/10.1016/S0268-0890(04)00037-4)
30. Malone A, Jaggi A, Calvert P, Lambert S, Bayley I. The prevalence of inappropriate muscle sequencing in recurrent shoulder instability. *Orthop Proc* 2015;87-B:163.
31. Moroder P, Damm P, Wierer G, Bohm E, Minkus M, Plachel F, et al. Challenging the current concept of critical glenoid bone loss in shoulder instability: does the size measurement really tell it all? *Am J Sports Med* 2019;47:688-94. <https://doi.org/10.1177/0363546518819102>
32. Moroder P, Danzinger V, Minkus M, Scheibel M. The ABC guide for the treatment of posterior shoulder instability. *Der Orthop* 2018;47:139-47. <https://doi.org/10.1007/s00132-017-3513-4> [in German].
33. Moroder P, Minkus M, Bohm E, Danzinger V, Gerhardt C, Scheibel M. Use of shoulder pacemaker for treatment of functional shoulder instability: proof of concept]. *Obere Extremit* 2017;12:103-8. <https://doi.org/10.1007/s11678-017-0399-z> [in German].
34. Moroder P, Odorizzi M, Pizzini S, Demetz E, Resch H, Moroder P. Open Bankart repair for the treatment of anterior shoulder instability without substantial osseous glenoid defects: results after a minimum follow-up of twenty years. *J Bone Joint Surg Am* 2015;97:1398-405. <https://doi.org/10.2106/JBJS.N.01214>
35. Moroder P, Plachel F, Tauber M, Habermeyer P, Imhoff A, Liem D, et al. Risk of engagement of bipolar bone defects in posterior shoulder instability. *Am J Sports Med* 2017;45:2835-9. <https://doi.org/10.1177/0363546517714456>
36. Moroder P, Scheibel M. ABC classification of posterior shoulder instability]. *Obere Extremit* 2017;12:66-74 [in German]. <https://doi.org/10.1007/s11678-017-0404-6>
37. Morris AD, Kemp GJ, Frostick SP. Shoulder electromyography in multidirectional instability. *J Shoulder Elbow Surg* 2004;13:24-9. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2003.09.005>
38. Narrow WE, Clarke DE, Kuramoto SJ, Kraemer HC, Kupfer DJ, Greiner L, et al. DSM-5 field trials in the United States and Canada, Part III: development and reliability testing of a cross-cutting symptom assessment for DSM-5. *Am J Psychiatry* 2013;170:71-82. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2012.12071000>
39. Rowe CR, Patel D, Southmayd WW. The Bankart procedure: a long-term end-result study. *J Bone Joint Surg Am* 1978;60:1-16.
40. Sinha A, Higginson DW, Vickers A. Use of botulinum A toxin in irreducible shoulder dislocation caused by spasm of pectoralis major. *J Shoulder Elbow Surg* 1999;8:75-6.
41. Takwale VJ, Calvert P, Rattue H. Involuntary positional instability of the shoulder in adolescents and young adults. Is there any benefit from treatment? *J Bone Joint Surg Br* 2000;82:719-23.
42. Thomas SC, Matsen FA 3rd. An approach to the repair of avulsion of the glenohumeral ligaments in the management of traumatic anterior glenohumeral instability. *J Bone Joint Surg Am* 1989;71:506-13.
43. Wellmann M, Blasig H, Bobrowitsch E, Kobbe P, Windhagen H, Petersen W, et al. The biomechanical effect of specific labral and capsular lesions on posterior shoulder instability. *Arch Orthop Trauma Surg* 2011;131:421-7. <https://doi.org/10.1007/s00402-010-1232-y>
44. Yamamoto N, Itoi E, Abe H, Kikuchi K, Seki N, Minagawa H, et al. Effect of an anterior glenoid defect on anterior shoulder stability: a cadaveric study. *Am J Sports Med* 2009;37:949-54. <https://doi.org/10.1177/0363546508330139>

12 Lebenslauf

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

13 Publikationsliste

- Moroder P*, **Danzinger V***, Maziak N, Plachel F, Pauly S, Scheibel M, Minkus M. Characteristics of functional shoulder instability. J Shoulder Elbow Surg. 2020;29(1):68-78. doi:10.1016/j.jse.2019.05.025
*These authors contributed equally to this work.
- Moroder P, Plachel F, Van-Vliet H, Adamczewski C, **Danzinger V**. Shoulder-Pacemaker Treatment Concept for Posterior Positional Functional Shoulder Instability: A Prospective Clinical Trial. Am J Sports Med. 2020;48(9):2097-2104. doi: 10.1177/0363546520933841
- Peters P, Plachel F, **Danzinger V**, Novi M, Märdian S, Scheibel M, Moroder P. Clinical and Radiographic Outcomes After Surgical Treatment of Proximal Humeral Fractures with Head-Split Component. J Bone Joint Surg Am. 2020;102(1):68-75. doi: 10.2106/JBJS.19.00320
- **Danzinger V**, Schulz E, Moroder P. Epidemiology of functional shoulder instability: an online survey. BMC Musculoskeletal Disorders. 2019;20(1):281. doi: 10.1186/s12891-019-2563-7
- Moroder P, **Danzinger V**, Minkus M, Scheibel M. [The ABC guide for the treatment of posterior shoulder instability]. Der Orthopade. 2018;47(2):139-47. doi: 10.1007/s00132-017-3513-4
- Moroder P, Minkus M, Bohm E, **Danzinger V**, Gerhardt C, Scheibel M. Use of shoulder pacemaker for treatment of functional shoulder instability: Proof of concept. Obere Extrem. 2017;12(2):103-8. doi: 10.1007/s11678-017-0399-z

14Danksagung

Danken möchte ich besonders meinem Doktorvater PD Dr. med. univ. Philipp Moroder, der mir das Thema anvertraut und unsere Projekte stets sowohl hilfreich als auch zuverlässig betreut und mein wissenschaftliches Interesse wegweisend gefördert hat. Ohne seine klaren Hinweise bezüglich der Strukturierung der Arbeit sowie seiner immer vorhandenen Hilfsbereitschaft bei allen auftretenden Problemen und Herausforderungen wäre die Erstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Insbesondere für die enge Unterstützung als auch kollegiale Zusammenarbeit möchte ich danken, die maßgeblich den Abschluss beeinflusst und zum erfolgreichen Gelingen geführt hat.

Zudem gilt ein Dank Univ.- Prof. Dr. med. Markus Scheibel für die Unterstützung und weitere Betreuung meiner Promotion sowie für die Möglichkeit, diese Arbeit innerhalb der Abteilung für Schulter- und Ellenbogenchirurgie, Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie des Charité Virchow Klinikums durchführen zu können.

Abschließend möchte ich auch allen Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmern für Ihre Mithilfe an dieser Arbeit danken.