

Klinik für Orthopädie Universitätsklinikum Ulm  
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. Heiko Reichel

**Sagittales Alignment und Outcome nach  
atlantoaxialer Spondylodese bei  
rheumatischer Instabilität**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

Marcello Catena  
Neu-Ulm  
2020

**Amtierender Dekan:** Prof. Dr. med. Thomas Wirth

**1. Berichterstatter:** Prof. Dr. med. Sebastian Weckbach

**2. Berichterstatter:** Prof. Dr. med. Hildegard Kehrer-Sawatzki

**Tag der Promotion:** 15.10.2021

Gewidmet meiner Familie

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	I
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	III
<b>1. Einleitung</b>	1
1.1 Rheumatoide Arthritis	1
1.2 Sagittale Balance	5
1.3 Fragestellung	9
<b>2. Patienten und Methoden</b>	10
2.1 Studiendesign und Patientenkollektiv	10
2.2 Daten	10
2.3 Radiologische Untersuchung	12
2.3.1 Messung der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule	12
2.3.2 Berechnung der segmentalen Cobb-Winkel der Halswirbelsäule	14
2.3.3 Reliabilitätsprüfung	15
2.3.4 Definition der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule	15
2.4 Klassifikationen	15
2.4.1 ASA Klassifikation	15
2.4.2 Ranawat Klassifikation	16
2.4.3 Steinbrocker Klassifikation	17
2.4.4 Pellicci Klassifikation	17
2.5 Datensammlung und statistische Analyse	19
2.5.1 Patientendaten	19
2.5.2 Radiologische Daten	19
2.5.3 Klassifikationen	21
<b>3. Ergebnisse</b>	22
3.1 Patientenkollektiv	22
3.2 Operation, Operationszeit und Patientenalter	23
3.3 Radiologische Ergebnisse	23
3.3.1 Cobb-Winkel der Halswirbelsäule	24
3.3.2 Segmentale Cobb-Winkel der Halswirbelsäule	25
3.3.3 Reliabilitätsprüfung	25

3.3.4	Segmentale Cobb-Winkel C1-C2 und C3-C4	27
3.4	Klassifikationen	27
3.4.1	ASA Klassifikation	28
3.4.2	Ranawat Klassifikation	29
3.4.3	Steinbrocker Klassifikation	31
3.4.4	Pellicci Klassifikation	33
3.5	Komplikationen	35
3.5.1	Intra- und postoperative Komplikationen	35
3.5.2	Postoperative Komplikationen im Follow-up	35
3.5.3	Nicht operationsbezogene Komplikationen und Re-Operationen im Follow-up	35
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>37</b>
4.1	Patientenkollektiv	37
4.2	Radiologische Untersuchung und Messung der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule	37
4.3	Radiologische Ergebnisse	40
4.4	Sagittale Balance	47
4.5	Klassifikationen	49
4.6	Komplikationen	53
4.7	Medikation	55
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>56</b>
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>58</b>
<b>Anhang</b>		<b>68</b>
<b>Danksagung</b>		<b>86</b>
<b>Lebenslauf</b>		<b>87</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AA	Atlas-Achse
aAAD	anteriore Atlanto-Axiale-Distanz
AG	Aktiengesellschaft
a.-p.	anterior-posterior
ASA	American Society of Anesthesiologists
CP	Chronische Polyarthritits
Cx	Halswirbel x; vom lateinischen Wort cervicalis abgeleitet von columna vertebralis pars cervicalis
Cx/Cy	Halswirbel x/Halswirbel y; zervikales Segment
Cx-Cy	Halswirbel x bis Halswirbel y
C0	Schädel; vom lateinischen Wort cranium abgeleitet
C1	der erste Halswirbel: Atlas
C2	der zweite Halswirbel: Axis
C1/C2	zervikales Segment zwischen Atlas und Axis
FU	Follow-up
GmbH & Co.	Gesellschaft mit beschränkter Haftung & Compagnie
KG	Kommanditgesellschaft
HWS	Halswirbelsäule
M	männlich
Max	Maximum
Min	Minimum
MW	Mittelwert
N	Zahl der Patienten
p	p-Wert
PCC	Pearson's Correlation Coefficient = Korrelationskoeffizient nach Pearson
postop	postoperativ
präop	präoperativ
®	Registered Trademark = eingetragene Warenmarke
RA	Rheumatoide Arthritis
SD	standard deviation = Standardabweichung
™	Trademark = Warenmarke

T2	Tangente Grundplatte Halswirbel 2
T7	Tangente Deckplatte Halswirbel 7
W	weiblich
95 %-KI	95 %-Konfidenzintervall

# 1. Einleitung

## 1.1 Rheumatoide Arthritis

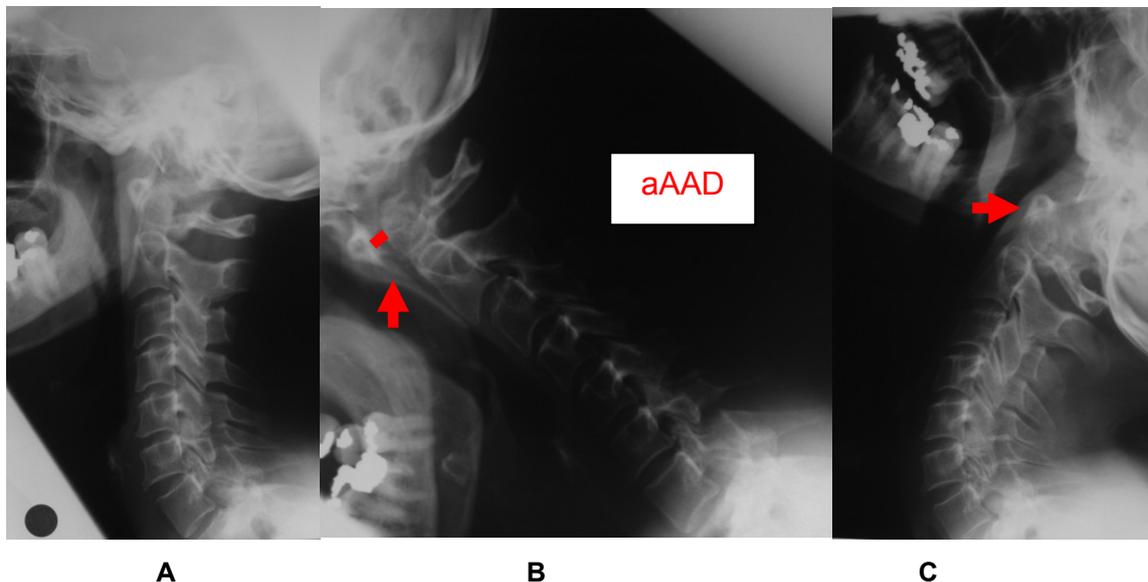
Die rheumatoide Arthritis (RA) ist eine schubweise, systemisch auftretende, chronische Entzündungskrankheit [35] [57] [80] [128]. Mit einer Prävalenz von 1 % bis 2 % der erwachsenen Weltbevölkerung [35] [93] mit regionalen Unterschieden liegt das durchschnittliche Manifestationsalter zwischen der dritten und fünften Lebensdekade [80], wobei die Erkrankung auch durchaus im jugendlichen Alter beginnen kann. Die Beteiligung der Halswirbelsäule (HWS) bei chronischer Polyarthrit (CP) wurde erstmals von Alfred Baring Garrod 1890 beschrieben. Von 500 Patienten mit RA wiesen 178 eine zervikale Beteiligung auf [141]. Je nach Studie ist die HWS bei 16 % bis 86 % der Patienten mit rheumatoider Arthritis betroffen [1] [10] [19] [40] [57] [72] [93] [128] [139] [140]. Die Beteiligung der HWS kann bereits früh im Krankheitsprozess auftreten [25] [93]; nach einem Krankheitsverlauf von mehr als 10 Jahren ist in über 50 % der Fälle eine Beteiligung zu verzeichnen [16] [69] [70] [91] [92] [126]. Neue Behandlungsstrategien haben auf den Krankheitsverlauf der RA wesentlich Einfluss genommen. Die medikamentöse Therapie mit disease-modifying anti-rheumatic drugs und Biologika vermag bei vielen Patienten die Erkrankungsaggressivität und die destruktiven Vorgänge sowie das Auftreten zervikaler Läsionen einzudämmen [57]. Viele Patienten können bei frühzeitiger und kontinuierlicher Behandlung der RA eine Remission erreichen [15] [18].

Die obere HWS weist bei über 50 % der Patienten mit RA radiologische Zeichen der Erkrankung auf und ist nach Händen und Füßen der am häufigsten beeinträchtigte Skelettabschnitt [16] [24] [131]. In der Regel beginnt der Befall der HWS an den oberen Segmenten [68]. Die obere HWS unterscheidet sich von der übrigen HWS aufgrund der besonderen Anatomie, der bandgestützten Gelenkmechanik sowie der Funktion mit multidirektionaler Beweglichkeit. Mit den synovial umhüllten Gelenken stellt sie damit eine Prädilektionsstelle für die RA dar. Die Facettengelenke sind zudem in der axialen Ebene ausgerichtet, sodass im Falle der ligamentären und kapsulären Zerstörung ein knöchernes Verhaken, welches eine Subluxation verhindern könnte, nicht eintreten kann [106]. Die dadurch entstehende Gefügelockerung führt zwangsläufig zu einer vermehrten

segmentalen Beweglichkeit und bei Progredienz zur Instabilität eines oder mehrerer Segmente der HWS. Zervikale Subluxationen werden radiologisch in 43 % bis 86 % der Fälle gesehen [93]. Instabilitäten an der HWS konnten bei bis zu 80 % der Fälle bereits ein Jahr nach Erstmanifestation der Erkrankung nachgewiesen werden [14] mit steigender Tendenz nach 5 Jahren Beobachtungszeit [140]. Bei einigen Fällen ist eine Ankylosierung der HWS mit Verlust der physiologischen Lordose in Subluxations-, Flexionsstellung oder in kyphotischer Malpositionierung zu sehen [64]. Die translatorische Instabilität im atlantoaxialen Segment ist die erste Veränderung, welche radiologisch nachweisbar wird [40]. In späteren Stadien wird auch die untere HWS mit Antero- und Retrolisthese sowie Ausbildung einer kyphoskoliotischen Deformität befallen. Die atlantoaxiale Instabilität wird vielfach als initialer Mechanismus der rheumatisch bedingten Veränderungen an der oberen HWS angesehen [69] [70]. Häufig bestehen initial okzipitale Zephalgien im Innervationsgebiet des Nervus occipitalis major [14] [68] und stechende, subokzipitale Zervikalgien bei Degeneration oder Instabilität im atlantoaxialen Segment [93]. Nackenschmerzen treten in 40 % bis 88 % der Fälle auf [93].

Zur Basisdiagnostik sind Röntgenaufnahmen der HWS im anterior-posterioren (a.-p.) Strahlengang mit transoraler Dens-Zielaufnahme sowie eine seitliche Aufnahme in Neutralstellung mit obligat lateralen Funktionsaufnahmen in maximaler Flexion und Extension notwendig [19] [40] [46] [80] [93] [128]. Die Funktionsaufnahmen sind sinnvoll, da in einer seitlichen Röntgenaufnahme nur in der Neutralstellung eine atlantoaxiale Instabilität in bis zu 50 % der Fälle übersehen wird [19] [62]. In den lateralen Funktionsaufnahmen können vor allem die unvollständige oder vollständige Reposition oder die Fixierung der Dislokation im atlantoaxialen Segment gesichert werden. Auch ein latentes Wirbelgleiten der subaxialen HWS kann zur Darstellung kommen. Diese Faktoren sind von entscheidender Bedeutung für ein operatives Vorgehen [40] [65] und müssen in der präoperativen Planung sorgfältig analysiert werden [46], unter anderem um zeitnahe Anschlusssegmentinstabilitäten zu vermeiden. Ab 9 mm anteriorer atlantoaxialer Distanz (aAAD) kann die atlantoaxiale Instabilität, wenn sie unbehandelt bleibt, neurologische Störungen [39] [68], vaskuläre Beeinträchtigungen und Nackenschmerzen verursachen [16] [90] [109]. Neurologische Symptome und Defizite treten je nach Studie bei 7 % bis 58 % der

Patienten auf [93] [102], doch trotz radiologisch gesicherter Instabilität haben bis zu 50 % der Patienten keine Symptome [14] [28].



**Abbildung 1:** Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule im lateralen Strahlengang

**A** in Neutralposition: nicht nachweisbare atlantoaxiale Instabilität

**B** in Inklinaton: nachweisbare atlantoaxiale Instabilität (Pfeil)

(aAAD = anteriore Atlanto-Axiale-Distanz: 5 Bild-Millimeter = rote Linie)

**C** in Reklination: vollständige Reposition der atlantoaxialen Instabilität (Pfeil)

(Abbildungen: Röntgenaufnahmen aus dem Archiv der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm; mit freundlicher Genehmigung der Patientin)

Nicht selten werden diese Symptome durch Beschwerden der peripheren Gelenke überlagert [126] und die Untersuchung der peripheren Neurologie dadurch erschwert [6] [69] [70] [93]. Die Intensität der Symptome differiert vom Ausmaß der atlantoaxialen Dislokation [40], sodass Diskrepanzen zwischen der Beschwerdesymptomatik und den Befunden der bildgebenden Diagnostik bestehen können [46]. Wenn sich die Myelopathie klinisch manifestiert, sinkt die Wahrscheinlichkeit der neurologischen Erholung und die Mortalität ist erhöht [24] [119]. In seltenen Fällen kann der plötzliche Tod eintreten [24]. In einer Obduktionsstudie wurden 104 Patienten mit RA untersucht; 10 % der Todesfälle konnten auf eine druckbedingte Myelonschädigung, resultierend aus einer zervikalen Instabilität, zurückgeführt werden [26] [33] [85]. Die Entwicklung neurologischer Defizite in 76 % sowie eine Bettlägerigkeit nach 36 Monaten, Mortalitätsraten von 50 % bei Patienten mit unbehandelter zervikaler Myelopathie nach einem Jahr [93] und eine 7-Jahre-Überlebensrate von 0 % [119] belegen das

Gefahrenpotential der Myelopathie. Frühe chirurgische Eingriffe, vor dem Auftreten neurologischer Defizite, liefern zufriedenstellendere Ergebnisse [111] [128]. Die Ranawat Klassifikation ist ein nützliches Instrument zur Einteilung, Behandlungsplanung und Beurteilung von Patienten mit Myelopathie bei RA [93]. Patienten mit Ranawat Stadium II und IIIA profitieren am meisten von einer chirurgischen Intervention [83]. Mit der dorsalen, transartikulären Verschraubung von Atlas und Axis wird eine Dreipunkt-Stabilisierung erreicht und damit im Vergleich zu anderen operativen Techniken das stabilste biomechanische Konstrukt [90] bezüglich Seitneigung und Rotationsstabilität [41]. Als Ersatz für die komplikationsträchtige sublaminäre Zerklagenosteosynthese wurde eine Kombination aus transartikulärer Schraubenosteosynthese mit einem interlaminären atlantoaxialen Klammersystem zur Fixierung des dorsalen Atlasbogens entwickelt [23]. Hohe Fusionserfolge und geringe Komplikationsraten sind mit der Technik nach Magerl und Seemann dokumentiert [36]. Die Pseudarthrosen-Rate konnte dadurch auf 0 % bis 5 % gesenkt werden [40] [46] und Fusionsraten von über 90 % wurden dokumentiert [29] [30] [84]. Trotz exzellenter Ergebnisse nach dorsaler atlantoaxialer Spondylodese haben mehrere Autoren ein postoperatives Malalignment der subaxialen HWS festgestellt [88] [137].

Die atlantoaxiale Versteifung verhindert zwar die Entwicklung einer Myelopathie in diesem Bereich und die Progredienz zu einer vertikalen Instabilität, dennoch kommt es im Verlauf nach der Operation zu subaxialen radiologischen Veränderungen. Dies unterstreicht die Relevanz der klinischen und radiologischen Verlaufskontrollen nach erfolgter chirurgischer Stabilisierung, um die Progredienz bereits bestehender oder neu auftretender Läsionen zu diagnostizieren [57]. An der unteren HWS sind im Verlauf oft eine Spinalkanalstenose sowie ein Verlust der Lordose der HWS zu beobachten [40]. So konnte in einer Studie nachgewiesen werden, dass 42 % der Patienten nach atlantoaxialer Fusion eine subaxiale Kyphosierung der HWS entwickelten [137]. Subaxiale Instabilitäten wurden im Krankheitsverlauf nach vorangegangener Fusion der oberen, zervikalen Segmente beobachtet; bis zu 40 % der Patienten entwickeln subaxiale Instabilitäten [103], häufig im Segment C3/C4 (C = Halswirbel) [22]. Nach atlantoaxialer Fusion ist die Entwicklung einer subaxialen Kyphose der HWS bei Patienten mit postoperativer subaxialer Subluxation im Vergleich zu Patienten

ohne subaxiale Subluxation signifikant höher [136]. Bei 36 % der Patienten mit okzipitozervikaler Fusion konnten bereits nach durchschnittlich 2 Jahren eine subaxiale Subluxation nachgewiesen werden und nach atlantoaxialer Fusion konnten nach durchschnittlich 9 Jahren nur bei 5,5 % der Patienten eine subaxiale Subluxation festgestellt werden [71]. Subaxiale Subluxationen treten jedoch auch ohne vorausgegangene Operation progredient in Erscheinung [140], bei circa 7 % bis 29 % der Patienten mit CP. Die entzündlichen Veränderungen der Bandscheiben, der Uncovertebralgelenke und der ligamentären Strukturen verursachen den intervertebralen Höhenverlust und den Verlust der Translationsstabilität zwischen den Wirbelkörpern; dies begünstigt die Entstehung der subaxialen Subluxation [35]. Häufig finden sich multiple Subluxationen mit Ausbildung eines radiologischen Treppenphänomens [57] assoziiert mit einer Kyphosierung der Halswirbelsäule [26] [87] [93] [128]. Eine Spondylolisthese von mehr als 2 mm bis 4 mm [57] [72] oder von 15 % bis 20 % der entsprechenden Grundplatte des Wirbelkörpers in der Sagittalebene ist als signifikant zu werten [26] [106]. Diese subaxialen Subluxationen beeinflussen das Alignment und die sagittale Balance der HWS.

## **1.2 Sagittale Balance**

Die Bedeutung der HWS bei der sagittalen Balance nimmt bei der radiologischen, präoperativen Bewertung und Analyse sowie der postoperativen Beurteilung im Verlauf einen immer größeren Stellenwert ein [27] [110]. Die spinale Balance, die optimale Ausrichtung und Stabilisierung der Wirbelsäule in der koronaren, sagittalen und axialen Ebene mit minimalem muskulären Kraftaufwand steht im Zusammenhang mit dem Modell vom Kegel der Ökonomie („cone of economy“) nach Dubousset, in dessen engem Rahmen sich der Körper ohne äußere Hilfe und mit minimaler Muskelkraft aufrecht und in Balance hält [112]. Die Schwerkraftlinie, die auf einen Punkt zwischen den Füßen ausgerichtet ist, spielt hierbei eine zentrale Rolle [100]. Die Wirbelsäulenkrümmungen und die Stellung des Beckens sowie der Beine stehen hierbei in einer ausgeglichenen Wechselbeziehung zueinander [8] [9] [108]. Bei der Betrachtung der spinalen Balance und des resultierenden sagittalen Alignments nimmt das Becken eine zentrale Rolle ein [44] [73] [76] [77] [108].

Mehrere Autoren haben diverse Messtechniken zur Erfassung der sagittalen Ausrichtung der Wirbelsäule mit Kopfposition, Charakteristika der Wirbelsäulenkrümmungen in Relation zur Orientierung des Beckens und der Stellung der unteren Extremitäten beschrieben [8] [9] [108]. Die Beurteilung der spinopelvinen Balance im Röntgenbild ist durch die Weiterentwicklung differenzierter Messtechniken ermöglicht worden [44] [73]. Diese sind zeitaufwändig, teilweise kompliziert und erfordern auch eine entsprechende Computersoftware [9]. Die Messtechniken bieten eine objektive Bewertung der Ausmaße von Deformitäten und Pathologien [44] sowie konsekutiv des Korrekturgrades, der zur Wiederherstellung des Gleichgewichts erforderlich ist [108]. Das Interesse an der „normalen“ Krümmung in der Sagittalebene und das Verständnis der Variationsmuster wurden in den letzten Jahren zunehmend diskutiert [107]. Diverse Studien haben den hohen Grad an Variabilität der Wirbelsäule in der sagittalen Ausrichtung dokumentiert [44] [107] [117]. Die Erstellung einer Referenztabelle mit Normwerten für Kyphose und Lordose des sagittalen Wirbelsäulenprofils scheiterte aufgrund der weiten Spannbreite der Messwerte und damit der Normwerte [117], sodass diese auf einzelne Individuen nicht pauschal übertragbar sind [44]. In der Literatur gibt es deshalb unterschiedliche Berichte über akzeptable Normwerte für die Kyphose und die Lordose der Wirbelsäule [108]. Trotz der Unterschiede im Grad der normalen Krümmung ermöglichen diese dennoch eine gleichmäßige Verteilung der Kräfte über die Wirbelsäule und damit die sagittale Balance [108]. Pathologien beeinträchtigen die sagittale Balance und führen zu Kompensationsmechanismen um die Balance wiederherzustellen [108]. Die Treiber und Kompensationsmechanismen müssen zunächst identifiziert werden. Durch Ausgleichsmechanismen wird ein angemessenes, sagittales Gleichgewicht aufrechterhalten und gleichzeitig der Energieverbrauch minimiert [108]. Die Ursachen für das Ungleichgewicht der sagittalen Wirbelsäule sind multifaktoriell und reichen von iatrogenen bis zu genetischen und metabolischen Ursachen [108].

In der gegenwärtigen wissenschaftlichen Diskussion wird die besondere Rolle der sagittalen Balance und ihrer Aufrechterhaltung respektive ihrer Wiederherstellung betont [44] [73] [108]. Sie ist wichtig für die Deformitätenchirurgie, bei der präoperativen Planung [4] [11] zur Vermeidung einer sagittalen Imbalance, wie

auch zur Beurteilung des Outcomes. Bei der Korrektur von Deformitäten wird die Wiederherstellung eines harmonischen und physiologischen Wirbelsäulenprofils angestrebt, welches entscheidend für Schmerzfreiheit, Beweglichkeit und Ergonomie ist [56] [108] [114]. Hierbei müssen die individuelle Anatomie und das Alter berücksichtigt werden [113].

Vorbestehende Segmentdegenerationen beeinflussen das Alignment, das Outcome und die sagittale Balance der Wirbelsäule. Die Rekonstruktion oder Erhaltung des ursprünglichen sagittalen Alignments ist mitunter ein intraoperatives Ziel, um der Entwicklung eines Malalignments vorzubeugen [121]. Veränderungen des okzipitozervikalen Alignments vor und nach Operationen sind mit Veränderungen des subaxialen Alignments assoziiert; die postoperativen Veränderungen des subaxialen Alignments stehen wiederum mit dem Auftreten von subaxialen Bandscheibendegenerationen im Zusammenhang [101]. Ein postoperatives, sagittales Malalignment erhöht das Risiko für eine Degeneration der Anschlusssegmente. Die Ursachen für Degenerationen der Anschlusssegmente sind multifaktoriell, jedoch kann das postoperative Alignment eine Schlüsselrolle spielen [42]. Anschlusssegmentdegenerationen nehmen einen wachsenden Stellenwert in der präoperativen und postoperativen Diagnostik bezüglich der Beurteilung des Outcomes ein. Zur Beurteilung und Messung des sagittalen Alignments der HWS in den Röntgenaufnahmen im lateralen Strahlengang ist es empfehlenswert, den Patienten in natürlicher Sitzposition mit nach ventral horizontal ausgerichtetem Blick zu lagern [112] [113]. Einen Standard zur Beurteilung des zervikalen sagittalen Alignments gibt es noch nicht [27] [121]. Das physiologische sagittale Alignment der Wirbelsäule unterscheidet sich von Person zu Person, sodass allgemeingültige Aussagen nicht getroffen werden können. Ein unausgewogenes Alignment der Wirbelsäule in der Sagittalebene ist ein wichtiger Faktor für die Entwicklung von Symptomen und degenerativen Erkrankungen [32].

Andere Autoren empfehlen, den Steigungswinkel des ersten Brustwirbelkörpers als Entscheidungskriterium [134] bei Operationen mit Beeinflussung der Lordose an der HWS heranzuziehen [127], insbesondere bei vorbestehender Deformität der HWS [99]. Mit steigendem Lebensalter nimmt der Steigungswinkel des ersten Brustwirbelkörpers zu und in Folge dessen auch der Winkel C2-C7. Dies führt zur Verlagerung des Schwerpunktes des Kopfes, was wiederum durch Zunahme der

Lordose der HWS ausgeglichen wird [99] [129]. Patienten mit großem Steigungswinkel des ersten Brustwirbelkörpers müssen kompensatorisch eine ausgeprägte Lordose der HWS haben, um die physiologische sagittale Balance zu erhalten [75]. Zu berücksichtigen ist auch, dass es im Rahmen des natürlichen Alterungsprozesses zur Degeneration der Bandscheiben, insbesondere ventral betont, mit konsekutiver Höhenminderung kommt. Hierdurch verändern sich die segmentalen Winkel und folglich auch die Lastverteilung, was sich wiederum auf das Alignment auswirkt. 80 % der Last wird über die ventrale Säule der Wirbelsäule geleitet. Dies verursacht eine Kyphose [32]. Weiterhin wurde bewiesen, dass ein großer Steigungswinkel des ersten Brustwirbelkörpers ein potentieller Risikofaktor für die Entwicklung von Degenerationen der Bandscheiben und der angrenzenden Wirbelkörper aufgrund von Veränderungen der sagittalen Balance insbesondere im Segment C5/C6 ist [78].

Der große Steigungswinkel des ersten Brustwirbels scheint auch ein prädisponierender Faktor bei der Entwicklung einer degenerativen Spondylolisthese der HWS zu sein [59]. Patienten mit kleinem Steigungswinkel des ersten Brustwirbelkörpers weisen höhergradige Bandscheibendegenerationen an der HWS auf, unabhängig von Alter und Geschlecht [133]. Der Steigungswinkel des ersten Brustwirbelkörpers spielt eine wesentliche Rolle bei der Bestimmung des sagittalen Alignments der HWS [75]. Jedoch ist der erste Brustwirbelkörper häufig in seitlichen Röntgenaufnahmen nicht klar abzugrenzen, da er von anderen anatomischen Strukturen verdeckt wird. Der Steigungswinkel des siebten Halswirbelkörpers wird ebenfalls als nützlicher Parameter zwischen der okzipitozervikalen und thorakolumbalen Wirbelsäule zur Beurteilung des sagittalen Alignments verwendet [95]. Die sagittale Balance der Wirbelsäule vom Kopf bis zum Becken wird über entsprechende Krümmungen der Wirbelsäulenabschnitte garantiert. Wird ein Abschnitt der Wirbelsäule beeinträchtigt, müssen kompensatorisch die übrigen Abschnitte eine Veränderung durchmachen, abhängig vom Schwerpunkt, um das Gleichgewicht wieder zu erlangen. Jeder Wirbelsäulenabschnitt hält das Gleichgewicht über die entsprechende Wirbelsäulenkrümmung gegen die Schwerkraft [99]. Degenerationen der Lendenwirbelsäule können sich so bei Patienten mit zervikaler Kyphose auf die globale Wirbelsäulenausrichtung auswirken [86]. Bezüglich der atlantoaxialen Spondylodese wurde eine deutliche Korrelation zwischen einem reduzierten

atlantoaxialen Winkel und einer Änderung des Cobb-Winkels C2-C7 mit Abflachung der Lordose beobachtet [61].

### **1.3 Fragestellung**

Ziele dieser Arbeit waren die radiologische Messung und Beurteilung des sagittalen Alignments der HWS und des atlantoaxialen Winkels vor und nach atlantoaxialer Fusion bei rheumatisch bedingter atlantoaxialer Instabilität. Um die angewendete Operationstechnik zu bewerten, wurden intra- und postoperative Daten erhoben sowie Komplikationen, die im Zusammenhang mit der atlantoaxialen Spondylodese stehen. Zur Ermittlung des präoperativen neurologischen und funktionellen Status und des Outcomes der Patienten nach der chirurgischen Intervention erfolgte eine Einteilung und Beurteilung mit den Klassifikationen nach Ranawat, Steinbrocker und in Anlehnung an Pellicci.

- Wie war der atlantoaxiale Winkel präoperativ und postoperativ?
- Hatte die atlantoaxiale Spondylodese Auswirkungen auf das sagittale Alignment der Halswirbelsäule?
- Waren die durchgeführten Messungen reliabel?
- Wie war der neurologische und funktionelle Status der Patienten präoperativ und postoperativ?

## **2. Patienten und Methoden**

### **2.1 Studiendesign und Patientenkollektiv**

Nach vorliegendem positiven Votum der zuständigen Ethikkommission der Universität Ulm (Aktenzeichen 233/2000) wurden in die prospektive Analyse einer retrospektiven Datenbank alle Patienten der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm, welche im Zeitraum vom 01.01.1995 bis 31.01.2009 operativ an der Halswirbelsäule mit dem Implantatsystem neon™ superior spine system (ulrich GmbH & Co. KG) behandelt wurden, eingeschlossen. Der Patienteneinschluss erfolgte anhand der Aktendokumentation abhängig von einer rheumatischen Grunderkrankung bei bestehender horizontaler Instabilität zwischen Atlas (C1) und Axis (C2).

Die Einschlusskriterien waren:

- Rheumatoide Arthritis
- Atlantoaxiale Instabilität
- Allgemeine Operationsfähigkeit
- Isolierte atlantoaxiale Spondylodese
- Keine Voroperationen an der HWS
- Vorliegen verwertbarer präoperativer und postoperativer Röntgenaufnahmen der HWS in Neutralposition im seitlichen Strahlengang
- Vollständige Patientenakte

Die Ausschlusskriterien waren:

- Zeitgleiche Instrumentierung darunter liegender Segmente der HWS
- Basiläre Impression und okzipitozervikale Versteifung

### **2.2 Daten**

Die erforderlichen Informationen und Patientendaten, Diagnose, Art der Operation (OP), Operationsdatum, Operationszeit, Komplikationen, neurologischer und funktioneller Status wurden aus den Ambulanzbriefen, Operations- sowie Verlaufsberichten der täglichen Visiten und den Entlassungsbriefen der

Patientenakten entnommen. Die präoperativ festgestellte American Society of Anesthesiologists (ASA) Klassifikation der Patienten wurde von den ärztlichen Mitarbeitern der Abteilung Anästhesie dokumentiert und übernommen. Von den Patienten wurden präoperativ Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule in 2 Ebenen mit Dens-Ziel-Aufnahme und seitlichen Funktionsaufnahmen angefertigt. Alle Patienten wurden präoperativ über die chirurgische Intervention an der Halswirbelsäule sowie über Alternativen, Chancen, Risiken und Komplikationen aufgeklärt. Nach präoperativer schriftlicher Einverständniserklärung wurde der Patient anschließend in Intubationsnarkose von dorsal an der HWS mit transartikulärer Spondylodese C1/C2 nach Magerl und Seemann operiert. Die gesammelten Operationsdaten beinhalteten Informationen über die verwendeten Implantate, zusätzlich notwendige Erweiterung der Spondylodese mit Knochenmaterialien sowie die fakultative Verwendung eines computergestützten Navigationssystems, Spinal Navigation Application der Firma Brainlab AG, Feldkirchen, Deutschland. Die Operationszeit wurde definiert als die Zeit, die beim Hautschnitt beginnt und mit der Hautnaht durch den Operateur endet. Diese wurde durch das Operationssaalpersonal dokumentiert. Mögliche Komplikationen wurden intraoperativ, postoperativ während des stationären Aufenthalts bis zur Entlassung in die Anschlussheilbehandlung und im Follow-up erfasst. Berücksichtigt wurden Komplikationen wie Schraubenfehlage, Implantatmaterialbruch und -lockerung, iatrogene Fraktur, Gefäß-, Nervenverletzungen, thromboembolische Ereignisse, Infektion, Wundheilungsstörung, Dekubitus, Infektion der Atem- und der Harnwege, neurologische Defizite, Pseudarthrose sowie Re-Operation. Desweiteren wurden subjektiv empfundene Bewegungseinschränkung der Halswirbelsäule und Schmerzen erfasst.

Es wurden im postoperativen Verlauf Röntgenaufnahmen der HWS a.-p. und lateral, zum Teil je nach Beschwerdebild um laterale Funktionsaufnahmen ergänzt, angefertigt.

Ziele waren ein retrospektiver Vergleich des präoperativen mit dem postoperativen atlantoaxialen Winkels und des zervikalen Alignments im letzten Follow-up (FU) im Sagittalprofil in den Röntgenaufnahmen im lateralen Strahlengang sowie die Einteilung der Patienten präoperativ, postoperativ und im FU mit den Klassifikationen nach Ranawat, Steinbrocker und in Anlehnung an Pellicci.

## **2.3 Radiologische Untersuchung**

Die präoperativ und postoperativ angefertigten Röntgenbilder der HWS im seitlichen Strahlengang eines Patienten wurden standardisiert aufgenommen. Die Bilder wurden in digitaler Form mit dem Programm DiagnostiX-32 (Produktversion 3.8.3, Programmversion 3.8.5.2, Gesellschaft für medizinisches Datenmanagement, Freiburg, Deutschland) gespeichert.

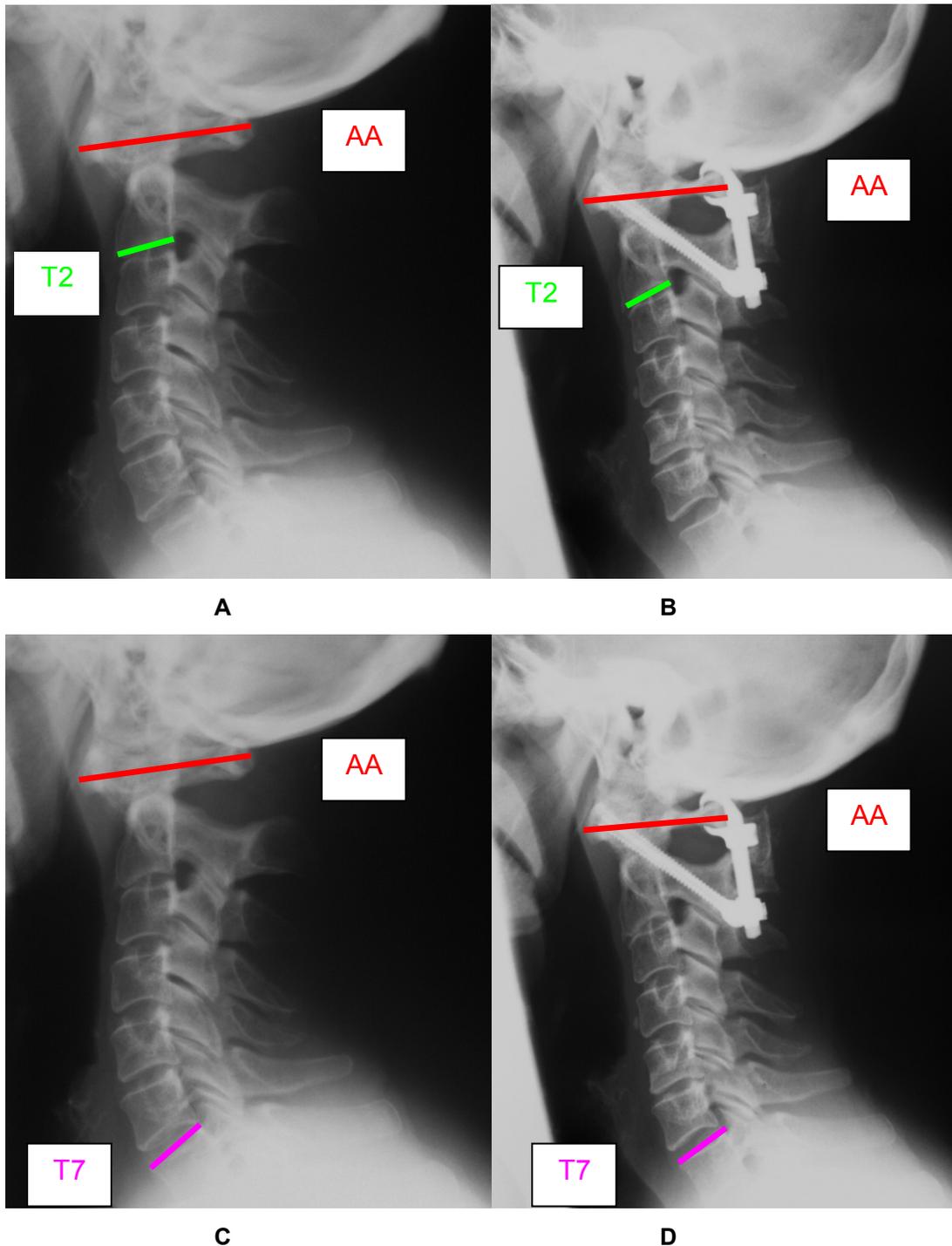
### **2.3.1 Messung der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule**

Das sagittale zervikale Alignment wurde über Winkelmessungen quantitativ anhand der digitalisierten lateralen Röntgenaufnahmen in Neutralposition der HWS erfasst. Die Messungen der Winkel wurden dabei am Computer digital erhoben. Die Winkelmessung erfolgte mit 2 für den Untersucher frei platzierbaren Linien, der Winkel wurde automatisch berechnet durch die verwendete Software DiagnostiX-32 (Produktversion 3.8.3, Programmversion 3.8.5.2, Gesellschaft für medizinisches Datenmanagement, Freiburg, Deutschland).

Die Vermessung der Röntgenbilder am Computer erlaubte eine beliebige Vergrößerung der Bilder und damit der Details. Es wurden die jeweiligen Daten der Röntgenaufnahmen dokumentiert:

- Das Datum der Röntgen-Untersuchung beziehungsweise das Datum der Digitalisierung
- Das Datum der Messung zusammen mit den Patientendaten

Im Abstand von 4 Wochen wurde eine Kontrollmessung (zweite Messung) durchgeführt.



**Abbildung 2:** Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule im lateralen Strahlengang in Neutralposition

**A** Cobb-Winkel C1-C2 präoperativ

**B** Cobb-Winkel C1-C2 postoperativ

**C** Cobb-Winkel C1-C7 präoperativ

**D** Cobb-Winkel C1-C7 postoperativ

(AA = Atlas-Achse, rote Linie; T2 = Tangente Grundplatte Halswirbel 2, grüne Linie; T7 = Tangente Deckplatte Halswirbel 7, pinkfarbene Linie; C1-C2 = Halswirbel 1 bis Halswirbel 2; C1-C7 = Halswirbel 1 bis Halswirbel 7; Abbildungen: Röntgenaufnahmen aus dem Archiv der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm; mit freundlicher Genehmigung der Patientin)

Nachdem das entsprechende prä- und postoperative Röntgenbild beziehungsweise das des letzten FU eines Patienten aufgerufen wurde, wurde zunächst eine Verbindungslinie vom Zentrum des vorderen Atlasbogens (Arcus anterior atlantis) zum Zentrum des hinteren Atlasbogens (Arcus posterior atlantis) als Referenzlinie für die Messungen festgelegt. Das entspricht der Atlas-Achse (AA). Anschließend wurde die Tangente zur Grundplatte des C2 eingezeichnet und der entsprechende Winkel zur Referenzlinie notiert, welcher von der Software automatisch errechnet wurde. Der Vorgang wurde parallel am prä- sowie postoperativen seitlichen Röntgenbild der HWS beziehungsweise an dem des FU eines Patienten durchgeführt. Im nächsten Schritt wurde die Tangente zur Grundplatte des C3 gezeichnet und wiederum der durch die Software errechnete Winkel zur der anfangs festgelegten Referenzlinie notiert. In gleicher Art und Weise wurden die übrigen Halswirbel vermessen und die entsprechenden Winkel dokumentiert. Beim siebten Halswirbel hingegen wurde generell die Tangente zur Deckplatte des Halswirbels zur Messung herangezogen, da die kaudalen Anteile des Wirbels und damit auch die Grundplatte des Halswirbels bei den seitlichen Röntgenaufnahmen häufig durch andere anatomische Strukturen verdeckt sind und somit eine Messung über die Grundplatte des siebten Halswirbels nicht möglich ist.

### **2.3.2 Berechnung der segmentalen Cobb-Winkel der Halswirbelsäule**

Aus den vorliegenden Cobb-Winkeln der HWS, die wie vorher beschrieben an den prä- und postoperativen beziehungsweise den Röntgenbildern des FU bestimmt wurden, wurden anschließend die segmentalen Cobb-Winkel wie folgt errechnet: Nach Subtraktion des Winkels von C1-C2 vom Winkel C1-C3 eines jeden Patienten wurde der segmentale Cobb-Winkel C2-C3 errechnet. Nach Subtraktion des Winkels C1-C3 vom Winkel C1-C4 eines jeden Patienten wurde der segmentale Cobb-Winkel C3-C4 errechnet und so weiter, bis zum Vorliegen aller segmentalen Cobb-Winkel bis C6-C7 eines jeden Patienten. Entsprechend wurden die Winkel zuordnungssicher dokumentiert.

### **2.3.3 Reliabilitätsprüfung**

Um die Messgenauigkeit der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule zu evaluieren (Intrarater-Reliabilität), wurde nach Abschluss der gleichzeitigen Messung am prä- und postoperativen beziehungsweise am Röntgenbild des letzten FU eines jeden Patienten eine Kontrollmessung (zweite Messung) in identischer Prozedur, wie in 2.3.1 bereits erläutert, durchgeführt. Die Kontrollmessung erfolgte in einem Abstand von 4 Wochen durch denselben Untersucher.

Zur Vervollständigung der Reliabilitätsprüfung wurden die segmentalen Cobb-Winkel, wie in 2.3.2 bereits dargestellt, auch für die Kontrollmessung (zweite Messung) errechnet.

### **2.3.4 Definition der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule**

Zur Interpretation der Winkel wurden Lordosierung und Kyphosierung wie folgt festgelegt: Größer werdende, positive Winkel wurden als Lordosierung und kleiner werdende, gegebenenfalls auch negative Winkel als Kyphosierung definiert.

## **2.4 Klassifikationen**

### **2.4.1 ASA Klassifikation**

Die Einteilung wurde nach der Klassifikation der American Society of Anesthesiologists anhand der vorbestehenden Systemerkrankungen und des körperlichen Zustandes der Patienten in verschiedene Risikogruppen vor der Narkose durchgeführt.

**Tabelle 1:** Klassifikation der American Society of Anesthesiologists (ASA) [38]

Grad	Symptomatik
ASA I	Patient ohne Systemerkrankung
ASA II	Patient mit leichter Systemerkrankung
ASA III	Patient mit schwerer Systemerkrankung
ASA IV	Patient mit schwerster Systemerkrankung
ASA V	Moribunder Patient, der ohne Operation/Intervention 24 Stunden voraussichtlich nicht überleben wird
ASA VI	Patient mit dissoziiertem Hirntod, der zur Organspende vorgesehen ist

#### 2.4.2 Ranawat Klassifikation

Die 1979 von Chitranjan Singh Ranawat veröffentlichte Klassifikation zur Einteilung neurologischer Ausfälle wurde speziell für Patienten mit RA und zervikalen Fusionsoperationen entwickelt. Sie beinhaltet drei Kategorien, wobei die letzte in weitere 2 Unterkategorien unterteilt wird:

Patienten der Klasse I sind neurologisch asymptomatische Patienten, also solche ohne neurologische Ausfälle. Klasse II beinhaltet Patienten mit subjektiver Schwäche mit gesteigerten Reflexen und Dysästhesien. Patienten der Klasse III haben objektivierbare Paresen und werden weiter unterteilt in Klasse IIIA gehfähige und Klasse IIIB nicht mehr gehfähige Patienten.

**Tabelle 2:** Klassifikation neurologischer Ausfälle bei chronischer Polyarthrits nach Ranawat [105]

Klasse	Symptomatik
Klasse I	Patient ohne neurologisches Defizit
Klasse II	Patient mit subjektiver Schwäche, gesteigerten Reflexen und Dysästhesie
Klasse III	Patient mit objektiver Schwäche und Pyramidenbahnzeichen
A	Patient gehfähig
B	Patient nicht gehfähig

### 2.4.3 Steinbrocker Klassifikation

Die 1949 von Otto Steinbrocker veröffentlichte Klassifikation zur Etablierung therapeutischer Kriterien bei RA gliedert sich anhand der funktionellen Beeinträchtigung im Alltag in 4 Klassen:

Patienten der Klasse I bewältigen ihre Alltagsaufgaben ohne Einschränkungen, die der Klasse II mit kleineren Einschränkungen aufgrund Beweglichkeitsdefiziten. Die Klasse III beschreibt Patienten mit großen Einschränkungen bezüglich der Eigenversorgung oder Körperpflege. Patienten der Klasse IV entsprechen Pflegebedürftigen, also bettlägerigen oder rollstuhlpflichtigen Patienten, die zur Eigenversorgung auf fremde Hilfe angewiesen sind.

**Tabelle 3:** Funktionelle Beeinträchtigung bei chronischer Polyarthritits nach Steinbrocker [118]

Klasse	
Klasse I	Vollständige Fähigkeit zur Ausführung der Alltagsaufgaben ohne Behinderung
Klasse II	Ausreichende Fähigkeit für normale Tätigkeiten trotz Beschwerden oder eingeschränkter Beweglichkeit eines oder mehrere Gelenke
Klasse III	Eingeschränkte Fähigkeit zur Bewältigung weniger oder gar keiner Alltagsaufgaben oder Selbstversorgung
Klasse IV	Weitgehende oder völlige Behinderung, Bettlägerigkeit, Rollstuhlpflichtigkeit, wenig oder keine Selbstversorgung

### 2.4.4 Pellicci Klassifikation

Die 1981 publizierte Klassifikation von Paul Mario Pellicci evaluiert Patienten mit fortschreitender RA an der Halswirbelsäule. Schmerz und neurologische Beteiligung werden in Korrelation zu den bildmorphologischen Gegebenheiten und dem Ausmaß der atlantoaxialen, subaxialen und vertikalen Instabilität gesetzt. Dies erlaubt wiederum auch Rückschlüsse auf die funktionelle Beeinträchtigung der Patienten.

In Anlehnung an die Klassifikation von Pellicci wurden die Patienten bezogen auf die atlantoaxiale Subluxation wie folgt eingeteilt:

Patienten, die unter Grad 0 fielen, waren beschwerdefrei und hatten keine radiologisch fassbare atlantoaxiale Instabilität. Grad I-Patienten wiesen eine atlantoaxiale Instabilität bis 4 mm auf mit Analgetikabedarf zur Schmerzlinderung sowie Gefühlsstörungen und auffällig gesteigerten Reflexen. In der Kategorie Grad II wurden Patienten eingestuft, die zusätzlich zur analgetischen Abdeckung eine Ruhigstellung der HWS mit orthopädischen Hilfsmitteln benötigten, bereits manifeste Paresen beklagten und eine atlantoaxiale Instabilität bis 7 mm hatten. Patienten mit signifikanten funktionellen Einschränkungen und Paresen mit invalidisierender Schmerzsymptomatik und einer fortgeschrittenen atlantoaxialen Instabilität von 8 mm oder mehr wurden unter Grad III erfasst.

**Tabelle 4:** Klassifikation der rheumatischen Arthritis der Wirbelsäule in Anlehnung an Pellicci [102] bezogen auf die atlantoaxiale Subluxation

(mm = Millimeter; > = größer als; < = kleiner als;  $\geq$  = größer als oder gleich)

Grad	Schmerz	Neurologische Beteiligung	Radiologische Beteiligung
Grad 0	Kein	Keine	Keine
Grad I	Intermittierend, behandelt mit Analgetika	Gesteigerte Reflexe und Dysästhesie	Atlantoaxiale Subluxation > 2,5 mm und < 5 mm
Grad II	Intermittierend, behandelt mit Analgetika und Halskrause	Milde Schwäche, Paresen	Atlantoaxiale Subluxation $\geq$ 5 mm und < 8 mm
Grad III	Konstant und invalidisierend	Schwerwiegende Schwäche mit signifikanter funktioneller Einschränkung	Atlantoaxiale Subluxation $\geq$ 8 mm

## **2.5 Datensammlung und statistische Analyse**

Alle erhobenen Daten wurden in verschiedenen Tabellen mit definierten Variablen sortiert und mit dem Programm Microsoft® Office Excel 2003 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) dokumentiert. Unter Berücksichtigung des Datenschutzes wurden alle Daten in anonymisierter Form erfasst und gespeichert.

Die statistische Analyse der Daten erfolgte in Zusammenarbeit mit der Studienzentrale der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm. Alle Daten wurden einem Mitarbeiter des Instituts für Epidemiologie und Medizinische Biometrie der Universität Ulm zur Beratung vorgelegt.

### **2.5.1 Patientendaten**

Die Berechnung des Durchschnittsalters der Patienten zum Zeitpunkt der Operation, die durchschnittliche Operationszeit sowie die durchschnittliche radiologische und klinische Nachuntersuchungszeit wurden mit Microsoft® Office Excel 2003 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) durchgeführt. Zur Abbildung von Daten in Tabellen wurde Microsoft® Office Word 2003 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) verwendet.

### **2.5.2 Radiologische Daten**

Die statistische Auswertung der Cobb-Winkel und der segmentalen Cobb-Winkel der Halswirbelsäule erfolgte mit einer kommerziellen statistischen Software, Statistical Analysis System - SAS® 9.2 TS Level 2M3 für Windows (SAS Institute Incorporated, Cary, North Carolina, USA).

Der t-Test nach Student (zweiseitiger Test) bestimmt die Signifikanz einer möglichen Änderung zwischen den präoperativen und postoperativen Winkeln. Ein p-Wert (p) kleiner als 0,05 wurde als statistisch signifikanter Unterschied gewertet. Die Differenzen der entsprechenden Winkel der präoperativen und postoperativen beziehungsweise der Röntgenbilder des FU wurden errechnet. Dazu wurden von den postoperativen beziehungsweise den Winkeln des FU die präoperativen Winkel subtrahiert. Die Mittelwerte der Differenzen wurden von allen Patienten

kalkuliert. Des Weiteren wurden die Standardabweichungen für die Differenzen der entsprechenden Winkel von allen Patienten errechnet. Die 95 %-Konfidenzintervalle (95 %-KI) wurden aus den Mittelwerten der Differenzen der Winkel kalkultiert. 95 % der Werte (Differenzen) sind in diesem Intervall abgebildet. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte grafisch mit Box-Plots getrennt für jeden Cobb-Winkel der HWS aller Patienten.

### **Reliabilitätsprüfung**

Zur Überprüfung der Reliabilität wurde die zuvor geschilderte statistische Analyse zur Bestimmung der Intra-Untersucher-intra-Methoden-Messgenauigkeit (Re-Test-Reliabilität) mit den Kontrollmessungen (zweite Messung) identisch durchgeführt und verglichen.

Zur Vervollständigung der Reliabilitätsprüfung wurde die Analyse separat sowohl für die präoperative Messung (erste Messung) mit der Kontrollmessung (zweite Messung) als auch für die Messung des FU (erste Messung) mit der Kontrollmessung (zweite Messung) verglichen. Dieser Vergleich wurde sowohl für die Cobb-Winkel als auch für die segmentalen Cobb-Winkel untereinander durchgeführt.

Zum Nachweis des linearen Zusammenhangs der ersten und zweiten Messung wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson (PCC) für alle verglichenen Winkel kalkultiert. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson misst die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen zwei quantitativen, normalverteilten Größen, in diesem Fall zwischen der ersten und zweiten Messung. Ein hoher PCC weist einen hohen linearen Zusammenhang zwischen den Messungen/Winkeln nach. Ist der PCC größer als Null, so liegt ein positiver Zusammenhang vor. Kein linearer Zusammenhang liegt vor, wenn der PCC gleich Null ist.

### **2.5.3 Klassifikationen**

Die statistische Auswertung der Klassifikationen nach Ranawat, Steinbrocker und Pellicci erfolgte mit der kommerziellen statistischen Software Statistical Analysis System - SAS® 9.2 TS Level 2M3 für Windows (SAS Institute Incorporated, Cary, North Carolina, USA).

Die statistische Analyse wurde mit dem Wilcoxon-Rang-Summen-Test durchgeführt. In der statistischen Analyse wurden jeweils die präoperative der postoperativen und der Klassifikation des FU sowie die postoperative der Klassifikation des FU gegenübergestellt und ausgewertet. Dies erfolgte separat für die Ranawat, Steinbrocker und Pellicci Klassifikation. Das Signifikanzniveau wurde mit p-Wert gleich 0,05 festgelegt, sodass ein p-Wert kleiner als 0,05 als statistisch signifikanter Unterschied gewertet wurde.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1 Patientenkollektiv**

Die Einschlusskriterien erfüllten 20 von 34 Patienten mit rheumatoider Arthritis. Folgende Patienten wurden ausgeschlossen: 2 Patientinnen wurden bei manifester atlantoaxialer Instabilität und gleichzeitiger subaxialer Instabilität mit einer Fusion C1-C3 und C1-C5 behandelt und damit von der Studie ausgeschlossen. 8 Patienten erhielten eine C0-C2 Fusion bei basilärer Impression und eine Patientin wurde von C0-C6 aufgrund zusätzlich bestehenden, multiplen, subaxialen Instabilitäten langstreckig versteift. Bei einem weiteren Patienten wurde bei multiplen subaxialen Instabilitäten eine dorsale Spondylodese von C2-C7 durchgeführt. Eine Patientin wurde aufgrund lückenhafter Dokumentation und unvollständiger Krankenakte bei C1/C2 Fusion nach Magerl und Gallie vom Patientenkollektiv ausgeschlossen. Bei einer Patientin lagen lediglich präoperative Röntgen-Funktionsaufnahmen der HWS im lateralen Strahlengang und keine laterale Röntgenaufnahme in Neutralposition vor. 20 Patienten, 15 Frauen und 5 Männer, konnten in die Studie eingeschlossen werden. Sie hatten eine rheumatoide Arthritis sowie eine manifeste atlantoaxiale Instabilität und wurden in der Zeit von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm operiert.

Das präoperative klinische Beschwerdebild des Patientenkollektivs beinhaltete bei 11 Patienten Nacken- und bei 4 Patienten Kopfschmerzen. Eine Patientin beklagte ein Brachialgie rechts. Schwindel wurde von 3 Patienten angegeben, subjektive Kraftminderung von einem Patienten. Sensibilitätsstörungen im Sinne von Hypästhesien wurden von 6 Patienten beklagt, hiervon hatte eine Patientin eine Multiple Sklerose, sodass die Ätiologie der pseudoradikulären Sensibilitätsstörungen an der rechten oberen Extremität mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Nebenerkrankung zurückzuführen ist. 6 Patienten waren beschwerdefrei und wiesen neurologisch keine Auffälligkeiten auf. Das heißt 30 % der Patienten waren beschwerdefrei, obwohl eine versorgungspflichtige Instabilität vorlag.

### **3.2 Operation, Operationszeit und Patientenalter**

Bei allen in die Studie eingeschlossenen Patienten lag eine rheumatische Instabilität im atlantoaxialen Segment vor. Es handelte sich dabei ausschließlich um horizontale, atlantoaxiale Instabilitäten.

Es wurde jeweils eine transartikuläre Spondylodese C1/C2 durchgeführt; bei 19 Patienten mit Anlage von 2 Atlashakenklammern, und bei einem Patienten erfolgte die Anlage einer dorsalen Zerklage mit Span-Interposition nach Gallie.

Bei allen Patienten wurde additiv eine Knochen transplantation durchgeführt, bei 18 Patienten eine autogene Spongiosa-Transplantation mit Entnahme am Beckenkamm, bei 2 Patienten allogenen mit zusätzlich angebrachtem allogenen Knochenspan. Von den oben genannten 18 Patienten mit autogener Spongiosa-Transplantation erhielten 5 Patienten zusätzlich einen autogenen Knochenspan und davon einer die Span-Interposition nach Gallie mit Zerklage.

Bei 9 Patienten erfolgte die Operation gestützt mit dem Navigationssystem Spinal Navigation Application (Brainlab AG, Feldkirchen, Deutschland).

Die kürzeste Operation endete nach 90 Minuten und die längste nach 160 Minuten. Die Durchschnitts-Operationszeit betrug 111 Minuten. Die 20 Patienten wiesen zum Operationszeitpunkt ein Durchschnittsalter von 56,65 Jahren (18 – 72 Jahre) auf. Die 15 Frauen wiesen ein durchschnittliches Alter von 55,47 Jahren (18 – 72 Jahre) und die 5 Männer von 60,20 Jahren (52 – 71 Jahre) auf.

### **3.3 Radiologische Ergebnisse**

Die durchschnittliche radiologische Nachuntersuchungszeit betrug 3,19 Jahre (1 Monat – 139,3 Monate). Nicht bei jeder Verlaufskontrolle in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm wurden Röntgenbilder angefertigt. Die Indikation zur Durchführung von Röntgenbildern wurde abhängig von den Beschwerden der Patienten und der körperlichen Untersuchung gestellt. Aufgrund einer weiten Wegstrecke vom Wohnort zur Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm nahmen 6 Patienten innerhalb der ersten 6 postoperativen Monate die Verlaufskontrollen auf eigenen Wunsch in einer

wohnortnahen Einrichtung wahr. Diese Umstände mindern die durchschnittliche radiologische Nachuntersuchungszeit dieser Studie.

Bei 2 Patienten konnten am präoperativen und bei 3 Patienten am postoperativen Röntgenbild sowohl die erste Messung als auch die Kontrollmessung (zweite Messung) über die Tangente zur Deckplatte des siebten Halswirbels nicht durchgeführt werden, da der siebte Halswirbel in den seitlichen Röntgenaufnahmen durch andere anatomische Strukturen verdeckt und nicht zu identifizieren war. Deshalb standen für die statistische Auswertung der Cobb-Winkel C1-C7 der präoperativen Röntgenbilder nur 18 statt 20 Werte und der postoperativen Röntgenbilder nur 17 statt 20 Werte zur Verfügung.

Die Tests nach Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk, Cramér-von-Mises und Anderson-Darling lieferten für die Cobb-Winkel C1-C3 und C1-C4, sowohl für die präoperativen Messungen als auch für die entsprechenden präoperativen Kontrollmessungen sowie für die Cobb-Winkel C1-C5 der präoperativen Kontrollmessungen, Hinweise für das Nichtvorliegen einer Normalverteilung.

Für alle anderen Cobb-Winkel, inklusive der segmentalen mit Kontrollmessungen, lieferten die Tests insgesamt Hinweise auf das Vorliegen einer Normalverteilung. Da es sich bei den Daten um quantitativ stetige Werte handelte, wurde deshalb insgesamt eine Normalverteilung angenommen. Es wurde ein einziges Verfahren zur Auswertung aller Cobb-Winkel herangezogen und der t-Test nach Student angewendet (zweiseitiger Test).

### **3.3.1 Cobb-Winkel der Halswirbelsäule**

Beim Vergleich der Cobb-Winkel der HWS der präoperativen mit den postoperativen beziehungsweise den Röntgenbildern des FU in Neutralposition konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der Mittelwert der Cobb-Winkel C1-C2 präoperativ betrug  $24^\circ$  (Minimum  $0,31^\circ$  und Maximum  $42,33^\circ$ ) und war nach der Operation im letzten FU  $25^\circ$  (Minimum  $15,16^\circ$  und Maximum  $39,13^\circ$ ). Der Mittelwert der Differenz des letzten FU und der präoperativen Cobb-Winkel C1-C2 war  $1,11^\circ$ . Die geringe operative Korrektur des Cobb-Winkels C1-C2 war nicht signifikant ( $p = 0,607$ ).

Der Mittelwert der Cobb-Winkel C1-C7 betrug präoperativ  $39^\circ$  und postoperativ  $36^\circ$ . Der Mittelwert der Differenz des letzten FU und der präoperativen Cobb-

Winkel C1-C7 war  $-2,95^\circ$ . Dieser geringe Verlust der Lordose im Cobb-Winkel C1-C7 war nicht statistisch signifikant ( $p = 0,164$ ). Die Veränderung des Cobb-Winkels C1-C2 durch die atlantoaxiale Spondylodese hatte keine statistisch signifikante Änderung des Cobb-Winkels C1-C7 und damit der Lordose der HWS im FU zur Folge. Die Ergebnisse der statistischen Analyse sind in der Tabelle 9 sowie in den Abbildungen 6 und 7 im Anhang dargestellt.

### **3.3.2 Segmentale Cobb-Winkel der Halswirbelsäule**

Beim Vergleich der errechneten segmentalen Cobb-Winkel der HWS der präoperativen mit den postoperativen beziehungsweise den Röntgenbildern des FU in Neutralposition konnte im Segment C3/C4 eine statistisch signifikante Änderung nachgewiesen werden ( $p = 0,015$ ). Der Mittelwert der Cobb-Winkel C3-C4 präoperativ betrug  $4^\circ$  und postoperativ  $2^\circ$ . In allen anderen Segmenten konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse der statistischen Analyse sind in der Tabelle 10 sowie in den Abbildungen 8 und 9 im Anhang dargestellt.

### **3.3.3 Reliabilitätsprüfung**

Beim Vergleich der Kontrollmessungen (zweite Messung) der Cobb-Winkel der HWS der präoperativen mit den postoperativen beziehungsweise den Röntgenbildern des FU in Neutralposition konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse waren mit den Ergebnissen der statistischen Analyse von 3.3.1 vergleichbar und bestätigten die Verlässlichkeit der Daten. Die Ergebnisse der statistischen Analyse sind in der Tabelle 11 sowie in der Abbildung 10 im Anhang dargestellt.

Beim Vergleich der errechneten segmentalen Cobb-Winkel der HWS der präoperativen Kontrollmessungen (zweite Messung) mit den postoperativen Kontrollmessungen (zweite Messung) konnte im Segment C3/C4 eine statistisch signifikante Änderung nachgewiesen werden ( $p = 0,005$ ). In allen anderen Segmenten konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse waren mit den Ergebnissen der statistischen Analyse von 3.3.2 vergleichbar und bestätigten die Verlässlichkeit der Daten. Die Ergebnisse der

statistischen Analyse sind in der Tabelle 12 sowie in der Abbildung 11 im Anhang dargestellt.

Beim Vergleich der präoperativen Cobb-Winkel der HWS mit den entsprechenden präoperativen Kontrollmessungen (erste und zweite Messung präoperativ) und der postoperativen Cobb-Winkel mit den entsprechenden postoperativen Kontrollmessungen (erste und zweite Messung postoperativ) konnte in allen einzelnen Vergleichen kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse wiesen eine Reliabilität der durchgeführten Messungen bei nur geringfügigen Abweichungen und somit replizierbare Werte nach.

Um den Einfluss der Messgenauigkeit zu analysieren, wurden die Messwerte mit dem 95 %-KI und dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson untersucht. Die PCC waren für alle untersuchten Cobb-Winkel (Vergleich erste und zweite Messung) sowohl für die präoperativen als auch für die postoperativen Winkel größer als 0,984. Damit bestand jeweils ein hoher linearer Zusammenhang zwischen den beiden Messreihen. Die Ergebnisse der statistischen Analyse sind in den Tabellen 13 und 14 sowie in den Abbildungen 12 und 13 im Anhang dargestellt.

Beim Vergleich der präoperativen segmentalen Cobb-Winkel der HWS mit den entsprechenden segmentalen Cobb-Winkeln der Kontrollmessungen (Winkel aus erster und zweiter Messung präoperativ) und der postoperativen segmentalen Cobb-Winkel mit den entsprechenden segmentalen Cobb-Winkeln der Kontrollmessungen (Winkel aus erster und zweiter Messung postoperativ) konnte in allen einzelnen Vergleichen kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse wiesen eine Reliabilität bei nur geringfügigen Abweichungen und somit replizierbare Werte nach.

Um den Einfluss der Messgenauigkeit zu analysieren, wurden die Messwerte mit dem 95 %-KI und dem PCC untersucht. Die PCC waren für alle untersuchten segmentalen Cobb-Winkel (Vergleich Winkel aus erster und zweiter Messung) sowohl für die präoperativen als auch für die postoperativen Winkel größer als 0,923. Damit bestand ein hoher linearer Zusammenhang zwischen den beiden Messreihen. Die Ergebnisse der statistischen Analyse sind in den Tabellen 15 und 16 sowie in den Abbildungen 14 und 15 im Anhang dargestellt.

### **3.3.4 Segmentale Cobb-Winkel C1-C2 und C3-C4**

Der atlantoaxiale Winkel wurde durch die Fusionsoperation bei den meisten Patienten verändert: Bei 8 Patienten wurde der Cobb-Winkel C1-C2 vergrößert und damit lordotisch, bei 9 Patienten verkleinert und damit kyphotisch und bei 3 Patienten verblieb er annähernd unverändert.

Der Cobb-Winkel des Segmentes C3/C4 veränderte sich postoperativ im FU statistisch signifikant. Bei 13 Patienten wurde der segmentale Cobb-Winkel C3-C4 kleiner und damit kyphotisch, bei 4 Patienten größer und damit lordotisch und bei 3 Patienten verblieb er annähernd unverändert.

Bei den 8 Patienten mit vergrößertem und damit lordotischem Cobb-Winkel C1-C2 wiesen 5 einen kyphotischen und 3 einen lordotischen Cobb-Winkel C3-C4 auf. Bei den 9 Patienten mit verkleinertem und damit kyphotischem Cobb-Winkel C1-C2 wiesen 7 einen kyphotischen und 2 einen lordotischen Cobb-Winkel C3-C4 auf. Bei den 3 Patienten mit annähernd unverändertem Cobb-Winkel C1-C2 wiesen 2 einen kyphotischen und ein Patient einen gleichen Cobb-Winkel C3-C4 auf.

### **3.4 Klassifikationen**

Die durchschnittliche Nachuntersuchungszeit betrug 5,37 Jahre (1 Monat – 139,8 Monate). Die Daten von 18 Patienten konnten in die Auswertung der Klassifikationen nach Ranawat, Steinbrocker und in Anlehnung an Pellicci einbezogen werden. Eine Patientin mit Multipler Sklerose als Nebenerkrankung (sensible Ausfallerscheinungen) und eine Patientin mit multiplen zerebralen Ischämien bei ausgedehnter Mediaischämie links sowie mehreren kleineren Ischämien zerebral rechts einhergehend mit globaler Aphasie und Hemiparese rechts fielen für diese Auswertungen aus.

Die Messreihen der Ranawat, Steinbrocker und Pellicci Klassifikation der Patienten waren ordinalskaliert.

Die Tests nach Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk, Cramér-von-Mises und Anderson-Darling lieferten bei jeder Klassifikation als Ergebnis das Nichtvorliegen einer Normalverteilung der ordinalskalierten Werte, sodass eine Normalverteilung

nicht angenommen und die statistische Analyse mit dem Wilcoxon-Rang-Summen-Test durchgeführt wurde.

### 3.4.1 ASA Klassifikation

Jeweils 50 % des Patientenkollektives waren in der Gruppe ASA Grad II und ASA Grad III. Es gab keine Patienten mit ASA Grad I, IV und V. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 6 zusammengefasst.

**Tabelle 5:** Patientendaten und ASA Klassifikation der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. (ASA = Klassifikation der American Society of Anesthesiologists; ASA Grad II = Patient mit leichter Systemerkrankung; ASA Grad III = Patient mit schwerer Systemerkrankung; M = männlich; W = weiblich)

Patient Nummer	Geschlecht	Alter zur Zeit der Operation (Jahre)	ASA Grad
1	W	72	III
2	W	63	III
3	W	57	III
4	W	53	II
5	W	69	II
6	M	52	II
7	W	59	II
8	W	48	III
9	W	59	III
10	W	55	II
11	M	67	II
12	W	18	II
13	W	56	II
14	W	67	III
15	W	50	III
16	M	59	II
17	M	52	II
18	M	71	III
19	W	51	III
20	W	55	III

### 3.4.2 Ranawat Klassifikation

Vor der Operation wurden 12 Patienten in Klasse I nach Ranawat eingestuft, 6 Patienten in Klasse II und kein Patient in die Klassen IIIA und IIIB.

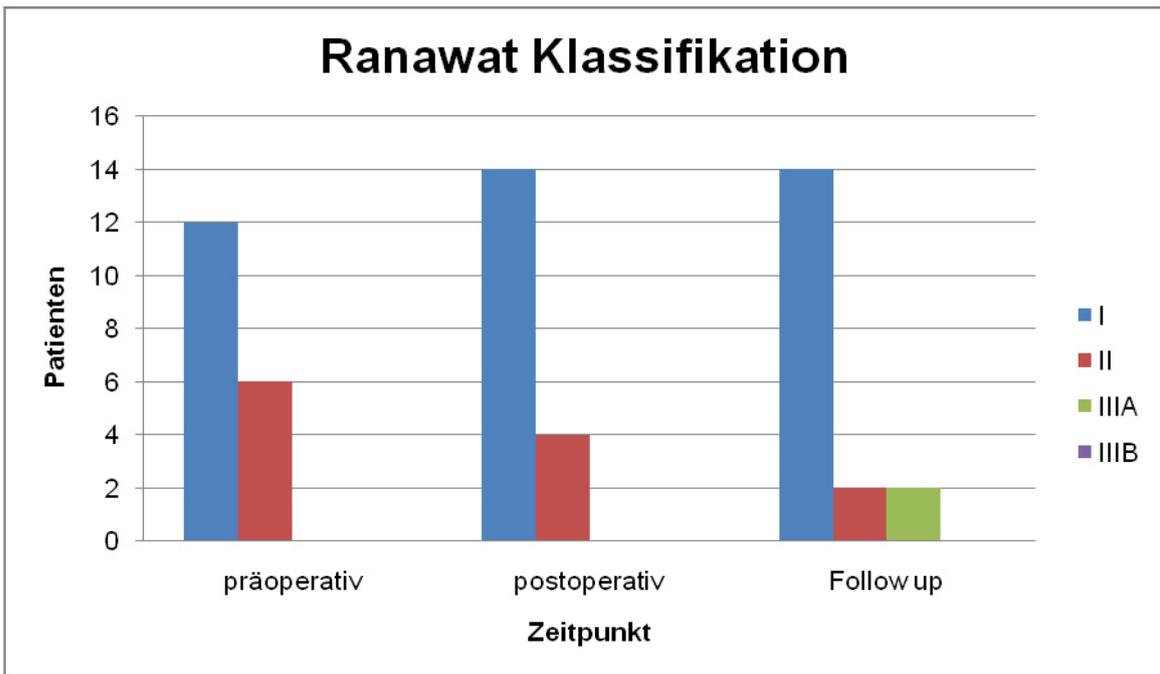
Nach der Operation wurden 14 Patienten in Klasse I nach Ranawat eingestuft, 4 Patienten in Klasse II und kein Patient in die Klassen IIIA und IIIB.

Im FU wurden 14 Patienten in Klasse I nach Ranawat eingestuft, 2 Patienten in Klasse II und 2 Patienten in Klasse IIIA. Kein Patient wurde in Ranawat-Klasse IIIB eingestuft.

Nach der Operation verbesserten sich 2 Patienten im Outcome und in der Ranawat-Klasse von II auf I, alle anderen verblieben postoperativ in der gleichen Ranawat-Klasse, kein Patient verschlechterte sich.

Im FU waren 2 Patienten im Vergleich zu präoperativ eine Ranawat-Klasse besser und 2 Patienten im Vergleich zu präoperativ eine Ranawat-Klasse schlechter. Alle anderen Patienten verblieben in der gleichen Ranawat-Klasse.

In der Analyse der Daten der präoperativen mit der postoperativen und der präoperativen mit der Klassifikation des FU sowie der postoperativen mit der Klassifikation des FU konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse der Analyse sind in der folgenden Tabelle 6 enthalten.



**Abbildung 3:** Ergebnisdarstellung mit der Ranawat Klassifikation der 18 Patienten präoperativ, postoperativ und im Follow-up der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten (2 Patientinnen Drop out), die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. (I = Ranawat Klasse I, blauer Balken; II = Ranawat Klasse II, roter Balken; IIIA = Ranawat Klasse IIIA, grüner Balken; IIIB = Ranawat Klasse IIIB, lila Balken; [105])

**Tabelle 6:** Ergebnisse der Analyse der Ranawat Klassifikation der 18 Patienten präoperativ, postoperativ und im Follow-up der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten (2 Patientinnen Drop out), die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. (p = p-Wert des Wilcoxon-Rang-Summen-Test)

Ranawat Klassifikation	p
präoperativ versus postoperativ	0,50
präoperativ versus Follow-up	1,00
postoperativ versus Follow-up	0,75

### 3.4.3 Steinbrocker Klassifikation

Vor der Operation wurden 5 Patienten in Klasse I nach Steinbrocker eingestuft, 11 Patienten in Klasse II, 2 Patienten in der Klasse III und kein Patient in Klasse IV nach Steinbrocker.

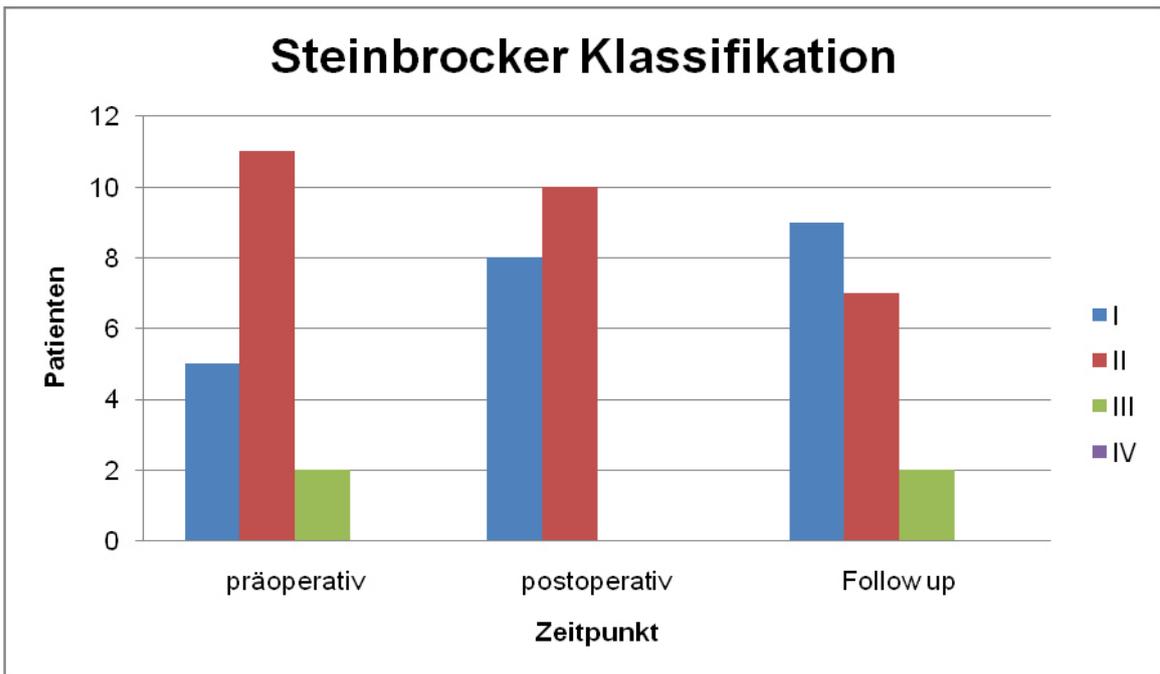
Nach der Operation wurden 8 Patienten in Klasse I nach Steinbrocker eingestuft, 10 Patienten in Klasse II und kein Patient in die Steinbrocker Klassen III und IV.

Im FU wurden 9 Patienten in Klasse I nach Steinbrocker eingestuft, 7 Patienten in Klasse II und 2 Patienten in Klasse III. Kein Patient wurde in Steinbrocker Klasse IV eingestuft.

Nach der Operation verbesserten sich 5 Patienten im klinischen Outcome, 3 von Steinbrocker Klasse von II auf I und 2 von Klasse III auf II. Alle anderen Patienten verblieben postoperativ in der gleichen Klasse, kein Patient verschlechterte sich. Im FU waren 6 Patienten im Vergleich zu präoperativ eine Steinbrocker-Klasse besser, davon 4 von Klasse II auf I und 2 von Klasse III auf II.

2 Patienten waren im Vergleich zu präoperativ eine Steinbrocker-Klasse schlechter, von Klasse II auf III. Alle anderen Patienten verblieben in der gleichen Steinbrocker-Klasse.

In der Analyse der Daten der präoperativen mit der postoperativen und der präoperativen mit der Klassifikation des FU sowie der postoperativen mit der Klassifikation des FU konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse der Analyse sind in der folgenden Tabelle 7 enthalten.



**Abbildung 4:** Ergebnisdarstellung mit der Steinbrocker Klassifikation der 18 Patienten präoperativ, postoperativ und im Follow-up der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten (2 Patientinnen Drop out), die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. (I = Steinbrocker Klasse I, blauer Balken; II = Steinbrocker Klasse II, roter Balken; III = Steinbrocker Klasse III, grüner Balken; IV = Steinbrocker Klasse IV, lila Balken; [118])

**Tabelle 7:** Ergebnisse der Analyse der Steinbrocker Klassifikation der 18 Patienten präoperativ, postoperativ und im Follow-up der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten (2 Patientinnen Drop out), die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. (p = p-Wert des Wilcoxon-Rang-Summen-Test)

Steinbrocker Klassifikation	p
präoperativ versus postoperativ	0,06
präoperativ versus Follow-up	0,29
postoperativ versus Follow-up	1,00

#### **3.4.4 Pellicci Klassifikation**

Vor der Operation wurden 6 Patienten in Grad II nach Pellicci eingestuft, 12 Patienten in Grad III. Kein Patient wurde in Grad 0 und Grad I nach Pellicci eingestuft.

Nach der Operation wurden 12 Patienten in Grad 0 nach Pellicci eingestuft und 6 Patienten in Grad I. Kein Patient wurde in Grad II und Grad III nach Pellicci eingestuft.

Im FU wurden 12 Patienten in Grad 0 nach Pellicci eingestuft, 4 Patienten in Grad I und jeweils ein Patient in Grad II und Grad III.

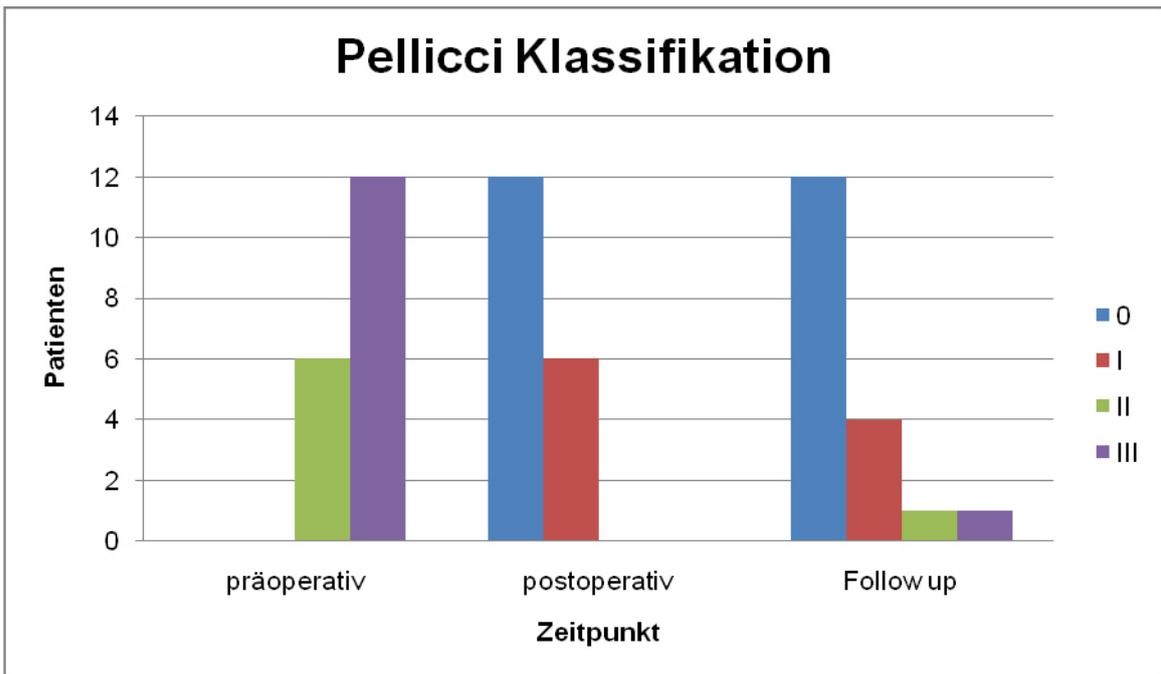
Nach der Operation verbesserten sich alle 18 Patienten im klinischen Outcome: 3 von Grad II auf Grad I, 3 von Grad II auf Grad 0, 3 von Grad III auf Grad I und 9 von Grad III auf Grad 0. Kein Patient verschlechterte sich postoperativ in dieser Klassifikation.

Im FU waren 3 Patienten von Grad II auf Grad I und ein Patient von Grad III auf Grad II verbessert.

4 Patienten verbesserten sich im Vergleich zu präoperativ, ein Patient von Grad III auf Grad I und 3 Patienten von Grad II auf Grad 0. 9 Patienten verbesserten sich im Vergleich zu präoperativ von Grad III auf Grad 0. Eine Patientin war im FU wieder schlechter als direkt postoperativ und wurde, wie präoperativ, in Grad III nach Pellicci eingestuft.

In der Analyse der Daten der präoperativen mit der postoperativen und der präoperativen mit der Klassifikation des FU konnte jeweils ein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden.

In der Analyse der postoperativen mit der Klassifikation des FU konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse der Analyse sind in der folgenden Tabelle 8 enthalten.



**Abbildung 5:** Ergebnisdarstellung mit der Klassifikation in Anlehnung an Pellicci der 18 Patienten präoperativ, postoperativ und im Follow-up der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten (2 Patientinnen Drop out), die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. (0 = Pellicci Grad 0, blauer Balken; I = Pellicci Grad I, roter Balken; II = Pellicci Grad II, grüner Balken; III = Pellicci Grad III, lila Balken; in Anlehnung an Pellicci bezogen auf die atlantoaxiale Subluxation [102])

**Tabelle 8:** Ergebnisse der Analyse der Klassifikation in Anlehnung an Pellicci der 18 Patienten präoperativ, postoperativ und im Follow-up der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten (2 Patientinnen Drop out), die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. (p = p-Wert des Wilcoxon-Rang-Summen-Test)

Pellicci Klassifikation	p
präoperativ versus postoperativ	< 0,0001
präoperativ versus Follow-up	< 0,0001
postoperativ versus Follow-up	0,75

### **3.5 Komplikationen**

#### **3.5.1 Intra- und postoperative Komplikationen**

Intraoperativ traten keine Komplikationen auf. 11 Patienten waren postoperativ beschwerdefrei.

Während des stationären Aufenthalts entwickelte eine Patientin postoperativ eine Harnwegsinfektion mit Escherichia coli, welche mit Sulfamethoxazol/Trimethoprim (Cotrimoxazol) behandelt wurde. Eine weitere Patientin entwickelte im postoperativen Verlauf eine submandibuläre Wunde ohne Nekrosen und ohne bakterielle Superinfektion entsprechend einem Dekubitus Grad 2, Stadium A mit etwa 15 mm Durchmesser aufgrund der postoperativ verordneten Zervikalorthese. Postoperativ beklagten 2 Patienten intermittierende Schmerzen an der HWS und ein Patient weiter bestehenden Schwindel. Verspannungen der Schultergürtel- und Nackenmuskulatur beklagten 3 Patienten. Ein Patient beklagte eine Bewegungseinschränkung aufgrund der atlantoaxialen Spondylodese. Sensibilitätsstörungen wurden von 6 Patienten berichtet.

#### **3.5.2 Postoperative Komplikationen im Follow-up**

Im FU waren 10 Patienten beschwerdefrei. Die übrigen Patienten verblieben im Zustand wie direkt postoperativ. Im untersuchten Zeitraum gab es keine nativradiologischen Hinweise und keine dokumentierten Pseudarthrosen. Operationsbezogene Komplikationen waren nicht zu verzeichnen.

#### **3.5.3 Nicht operationsbezogene Komplikationen und Re-Operationen im Follow-up**

Eine Patientin mit Multipler Sklerose gab im FU eine Hypästhesie des gesamten Körpers an. 4 Monate nach der Operation erlitt eine weitere Patientin multiple zerebrale Ischämien rechts und eine ausgedehnte Mediaischämie links einhergehend mit globaler Aphasie und Hemiparese rechts. Bei der intraarteriellen Thrombolyse kam es konsekutiv zur sekundären zerebralen Einblutung.

Eine Patientin entwickelte 2 Jahre und 5 Monate nach der Operation Zervikozephalgien mit radiologisch nachgewiesenen osteoporotischen Frakturen von C6 und C7 mit Kyphosierung der HWS sowie eine degenerative Spondylolisthese C5/C6. Es erfolgte eine ventrale Korporektomie C6, ventrale interkorporelle Fusion mit Beckenkammspan und Spondylodese C5-C7 mit Plattenosteosynthese. Etwa 8 Jahre nach der ersten Operation entwickelte die Patientin subaxiale Instabilitäten in den Segmenten C3/C4 und C4/C5 mit Myelopathie in Höhe von C3 einhergehend mit konsekutiver inkompletter Tetraparese; eine dorsale Spondylodese und Ausweitung der Instrumentierung nach kaudal bis C6 mit anschließender spezieller Querschnitttherapie folgte. Die Patientin war bei anhaltenden Zervikozephalgien mit Rollator oder Unterarmgehstützen gehfähig.

Nach 8 Jahren entwickelte ein Patient eine Anschlusssegmentdegeneration C0/C1 und C2/C3 nach durchgeführter transartikulärer Verschraubung und Span-Interposition nach Gallie, sodass das Implantat entfernt wurde und eine dorsale Instrumentierung und Spondylodese C0-C3 durchgeführt wurde. Eine postoperative Wundinfektion mit *Staphylococcus aureus* wurde antibiotisch therapiert. Aufgrund der Spongiosa-Entnahme am Beckenkamm dorsal rechts beklagte der Patient Schmerzen, und es entwickelte sich ein Hämatom gluteal rechts; beides wurde konservativ behandelt. Im FU entwickelte der Patient Kopf- und HWS-Schmerzen sowie einen subjektiven Kraftverlust der Arme. Knapp 2 Jahre nach der Revisionsoperation beklagte er ein Sensibilitätsdefizit im Dermatom der vierten Nervenwurzel rechts. In der radiologischen Verlaufskontrolle wurde ein Bruch der transartikulären Schraube rechts nachgewiesen. 3 Jahre nach der Revisionsoperation wies der Patient eine Gangunsicherheit auf mit anhaltenden Schmerzen am Os ilium rechts und Sensibilitätsstörungen an den oberen Extremitäten. Die Facettengelenksarthrosen der Segmente C3/C4, C4/C5 und C5/C6 wurden mit Infiltrationen behandelt.

## **4. Diskussion**

### **4.1 Patientenkollektiv**

Die Auswertung der Ergebnisse der Patientendaten ist mit bereits veröffentlichten Studien teilweise vergleichbar. Auch andere Studien wurden mit kleinen Patientenkollektiven von 6 bis 63 Probanden mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität durchgeführt [22] [23] [36] [53] [88] [89] [90] [97] [125] [135]. 75 % der Patienten dieser Studie waren weiblichen Geschlechts, Männer hatten lediglich einen Anteil von 25 %. Diese ungleiche Geschlechterverteilung entspricht der Literatur [48] [125] und epidemiologischen Daten bei RA als Grunderkrankung [28] [93]. Das Frau-zu-Mann-Verhältnis bei chronischer Polyarthrits beträgt in anderen Studien 3:1 [80] [93]. Das mittlere Alter des Patientenkollektivs dieser Studie lag bei 56,65 Jahren. Diese Daten sind mit anderen Studien vergleichbar [48] [53] [89] [90] [125]. Lediglich eine Studie mit einem Durchschnittsalter von 73 Jahren wurde gefunden [23]. Nackenschmerzen traten präoperativ in dieser Studie bei 55 % der Patienten auf; dieses Ergebnis ist ebenfalls vergleichbar mit der Literatur [83], teilweise wird von höheren Prozentzahlen berichtet [7] [35] [90]. 30 % der Patienten dieser Studie waren beschwerdefrei bei vorliegender atlantoaxialer Instabilität. In anderen Studien lag der Prozentsatz der asymptomatischen Patienten mit bis zu 50 % der Patienten noch höher [14] [28] [35] [106]. Dies unterstreicht einerseits die Relevanz eines Aufklärungsgesprächs für Patienten, in dem die möglichen Konsequenzen des zervikalen Befalls bei rheumatoider Arthritis dargelegt werden. Andererseits benötigen die Patienten Kontrolluntersuchungen mit Röntgenaufnahmen in Abhängigkeit des Erkrankungsverlaufs, der Medikation und der Aggressivität der RA.

### **4.2 Radiologische Untersuchung und Messung der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule**

Die zufällige oder antalgische Haltung sowie eine unterschiedliche Blickrichtung des Patienten beim Röntgen können zu Abweichungen der tatsächlichen Neutralstellung der Halswirbelsäule führen und damit auch zu einer Beeinflussung

des abgebildeten sagittalen Alignments. Insbesondere die hängende Haltung der Arme und Schultern zur vollständigen Abbildung der HWS im lateralen Strahlengang kann zu einer Abflachung der Lordose und gegebenenfalls Steilstellung der HWS im Röntgenbild führen. Bei der Messung der Röntgenbilder der Halswirbelsäule im lateralen Strahlengang kann dies wiederum Auswirkungen auf das Gesamtergebnis haben, da eine Neutralstellung vorausgesetzt wird. Eine haltungsbedingte Seitneigungstendenz der Halswirbelsäule durch den Patienten bei der Röntgenaufnahme kann zu einer geneigten Aufnahme und damit zu einer geneigten Darstellung des Atlas führen. Infolgedessen kann die Festlegung der Atlas-Achse und damit der Referenzlinie für die Messungen erschwert oder nicht korrekt sein. Die Qualität der Röntgenaufnahmen kann zu projektionsbedingten Messfehlern führen. Durch die Aufnahme des Röntgenbilds von der rechten oder linken Seite können bei gegebenenfalls asymmetrischen Wirbelkörpern Messfehler entstehen; dies unter anderem bei Konstellationen mit präoperativem Röntgenbild von rechts und postoperativem Röntgenbild von links oder umgekehrt.

Die Grundplatten und die Hinterkanten der jeweiligen Halswirbelkörper stehen nicht im rechten Winkel zueinander [45]. Die Parallelität der Grund- und Deckplatten der Halswirbelkörper wird angenommen, ist jedoch nicht bewiesen, sodass durch das Messverfahren Fehler entstehen können, insbesondere bei der Messung des siebten Halswirbels, bei dem generell die Deckplatte herangezogen wird. In 3 Fällen war die Messung am Röntgenbild des FU über die Tangente zur Deckplatte des siebten Halswirbels nicht möglich, da andere anatomische Strukturen den Wirbelkörper verdecken. Dies grenzte die statistische Auswertung der Cobb-Winkel C1-C7 und C6-C7 zusätzlich ein. Messfehler beruhen auch auf der Progredivenz der subaxialen Segmentdegenerationen im postoperativen Verlauf. Progredivente spondylophytäre Ausziehungen können eine Messung im postoperativen Röntgenbild ebenso erschweren wie auch die sich verändernde Konfiguration eines Segmentes. Das Implantatmaterial, insbesondere die Atlashakenklammern, haben die Festlegung der Atlas-Achse als Referenzlinie durch Bedeckung von Landmarken erschwert. Wirbelkörperdeformierungen, Wirbelkörperspontanfusionsen, Spondylophyten, osteoporotische Frakturen, interkorporelle Fusionsen und Erweiterungen der Spondylodesen auf die Anschlusssegmente haben zum Teil die Messung beeinträchtigt und erschwert;

dies durch die veränderten Landmarken im postoperativen Röntgenbild des FU. Die Fehler bei der Messung wirken sich konsekutiv auch auf die Berechnung der segmentalen Cobb-Winkel aus. Winkelmessungen, die in Röntgenbildern durchgeführt wurden, spielen eine wichtige Rolle bei der Behandlung von orthopädischen Patienten und bei der Auswahl der Behandlungsoptionen [20]. Um diese Fehlerquellen zu minimieren, wurden Kontrollmessungen durchgeführt. Diese belegen die Reliabilität der erhobenen Daten dieser Studie. Zusammenfassend weisen die Ergebnisse der statistischen Auswertung darauf hin, dass die Messmethode nach Cobb zur Bestimmung der Winkel zuverlässig ist und replizierbare Ergebnisse liefert. Einschränkungen dieser Aussagen sind jedoch zu berücksichtigen. Mit dem Cobb-Winkel C1-C7 wird die Krümmung sagittal überschätzt [45]. Die Messung des Cobb-Winkels C2-C7 ist nicht präzise genug, um die Gesamtausrichtung der HWS bezüglich Kyphose oder Lordose zu belegen [27], und die Krümmung wird sagittal unterschätzt [45]. In dieser Studie wurde der Cobb-Winkel C1-C7 herangezogen und damit der atlantoaxiale Winkel in die Messung inkludiert. Die in dieser Arbeit verwendete Messmethode zur Objektivierung des sagittalen Alignments der Halswirbelsäule nach Cobb ist die allgemein verwendete Methode [45], war aber nur eine der vorhandenen Möglichkeiten. Der uneinheitliche Gebrauch der diversen Messtechniken zieht sich wie ein roter Faden durch die Literatur zur sagittalen Balance und des sagittalen Alignments der Wirbelsäule [44]. Die Verwendung der Tangenten der Hinterkanten der Halswirbelkörper nach Harrison ist ebenfalls eine bereits erprobte Messmethode zur Erfassung des sagittalen Alignments [96] wie auch die modifizierte Toyama-Methode [27]. Die Messmethode nach Cobb ist eine weit verbreitete, standardisierte Methode und wird häufig sowohl für a.-p. als auch laterale Röntgenaufnahmen verwendet, wohingegen die Messmethode mit den posterioren Tangenten nicht sehr verbreitet ist [45]. Die Methode der posterioren Tangenten bildet das sagittale Alignment der HWS genauer ab und liefert eine bessere Einschätzung der zervikalen Lordose als die Methode nach Cobb [5] [45]. Die Cobb-Winkel C1-C7 und C2-C7 beschreiben nicht, wie die Krümmung zwischen dem Anfangs- und Endpunkt ist. Die Methode der posterioren Tangenten liefert hingegen Daten aller zervikalen Krümmungsbereiche [45]. Aus diesem Grund wurden in dieser Studie die segmentalen Cobb-Winkel der HWS zusätzlich untersucht und analysiert. Sowohl die hier verwendete Methode nach

Cobb als auch die der posterioren Tangenten sind gültige und robuste Verfahren zur Messung des sagittalen Alignments; der Standardfehler fällt jedoch bei Verwendung der Methode der posterioren Tangenten etwas geringer aus [45] [96]. Für die Messung mit der Cobb-Methode in der sagittalen Ebene sind höhere Abweichungen von bis zu  $\pm 5^\circ$  bis  $\pm 10^\circ$  bekannt [9]. Die modifizierte Toyama-Methode ist ein besseres Instrument für die globale Bewertung des sagittalen zervikalen Alignments [27]. Aufgrund der Fragestellung dieser Studie und der Absicht, die Daten mit anderen Studien besser vergleichen zu können, wurde die Cobb-Methode gewählt. Die Messung der sagittalen Balance der HWS ist auch über den Steigungswinkel des ersten Brustwirbelkörpers möglich [58] [99]. Der Steigungswinkel des ersten Brustwirbels ist ein bekannter, nützlicher Parameter und spielt eine Schlüsselrolle bei der Beurteilung der sagittalen zervikalen Balance [75] [133] [134]. Der erste Brustwirbel ist jedoch häufig in den Röntgenaufnahmen im seitlichen Strahlengang durch andere anatomische Strukturen verdeckt [99]. Diese Methode ist als Messverfahren an magnetresonanztomographisch oder computertomographisch erstellten Bildern aussagekräftiger. Aufgrund dieser Gegebenheiten wurde die Verwendung der Messmethode des Steigungswinkels des ersten Brustwirbels in der vorliegenden Arbeit ausgeschlossen. Röntgenbilder, welche im Stand durchgeführt werden, sind zu bevorzugen, denn sie stellen die natürliche Haltung des Patienten dar. Bei liegend durchgeführten Aufnahmen kann es zu Abweichungen des sagittalen Alignments durch die Einflüsse der Schwerkraft kommen [58]. Ein genereller Konsens, welche Messmethode zur Objektivierung des sagittalen Alignments der HWS anzuwenden ist, konnte in keiner Studie gefunden werden.

### **4.3 Radiologische Ergebnisse**

Die durchschnittliche radiologische Nachuntersuchungszeit dieser Studie lag bei 3,19 Jahren (1 Monat – 139,3 Monate). Die Auswertung anderer veröffentlichter Studien ergab ähnliche Ergebnisse [48] [125]. Einige Studien weisen im Vergleich zur vorliegenden Arbeit eine geringere durchschnittliche Nachuntersuchungszeit mit 24 Monaten [135] und circa 15 Monaten [23] [36] auf, zum Teil mit ähnlichem Minimum und Maximum: (0,1 Monat – 106,3 Monate) [36] und (3 Monate – 27 Monate) [23]. Eine einzige Studie konnte mit einer durchschnittlichen

Nachuntersuchungszeit von über 11 Jahren gefunden werden [53]. Die inhomogene radiologische Nachuntersuchungszeit aufgrund von einzelnen Patienten, die sich im FU nicht mehr zur Nachuntersuchung vorstellten, beeinflusste das Ergebnis. Ein Nachuntersuchungszeitraum von mindestens 5 und besser 10 Jahren wäre für jeden Patienten sinnvoll, denn die Änderungen des sagittalen Alignments der Halswirbelsäule könnten mit der Degeneration der Anschlusssegmente sowie mit der rheumatischen Destruktion im Zusammenhang stehen, die im Laufe der Zeit fortlaufend zunehmen.

Beim Vergleich der präoperativen mit den Röntgenbildern des letzten FU konnte im Cobb-Winkel C6-C7 kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Die Prüfung der Kontrollmessungen bestätigte dies mit einem nicht signifikanten Ergebnis. Limitationen dieser Aussage sind aufgrund der reduzierten Anzahl von nur 17 der 20 Patienten gegeben. Dies könnte das Ergebnis zusätzlich beeinflusst haben. Tendenziell bestand auch hier insgesamt bei kleiner werdenden Winkeln eine Neigung zur Kyphosierung im Segment C6/C7 bei 8 Patienten. Bei 4 Patienten wurde eine annähernde Konstanz der Winkel und bei 5 Patienten eine Zunahme der Winkel im Sinne einer Lordosierung festgestellt. Berücksichtigt werden muss auch, dass im Segment C6/C7 mit der Cobb-Methode die Größe des Winkels und damit die Lordose unterschätzt wird [45]. Die Ergebnisse der statistischen Auswertung aller anderen Cobb-Winkel ergaben keinen statistisch signifikanten Unterschied im Vergleich der präoperativen Röntgenbilder mit denen des letzten FU, bis auf den Cobb-Winkel C3-C4. Einschränkend wirkte sich insbesondere für die Cobb-Winkel C1-C7 die reduzierte Zahl von 17 statt 20 Werten in der statistischen Auswertung aus. Der Mittelwert der Cobb-Winkel C1-C7 betrug präoperativ  $39^\circ$  und postoperativ  $36^\circ$ . Der Mittelwert der Differenz des letzten FU und der präoperativen Cobb-Winkel C1-C7 war  $-2,95^\circ$ . Der geringe Verlust der Lordose im Cobb-Winkel C1-C7 war nicht statistisch signifikant ( $p = 0,164$ ). In der Literatur wird die Lordose, je nach Studie, unterschiedlich definiert und mal mit positivem und mal mit negativem Vorzeichen angegeben. Die mittlere Lordose der HWS wurde in einer Studie mit  $-40^\circ \pm 9,7^\circ$  angegeben, wobei kein Unterschied zwischen zervikal asymptomatischen Probanden mit und ohne Schmerzen an der LWS festgestellt wurde [43]. Andere Studien geben die Lordose der HWS von C2-C7 an mit Mittelwerten von  $9,9^\circ$  [74] und  $-16,4^\circ \pm 5,6^\circ$  an [4]. In einer weiteren Studie wurde die zervikale Lordose von

C2-C7 mit  $15^\circ \pm 10^\circ$  bei jungen Erwachsenen und mit  $25^\circ \pm 16^\circ$  bei über 60-Jährigen angegeben [37]. Bei asymptomatischen Studienteilnehmern wurde die zervikale Lordose von C2-C7 mit  $8^\circ \pm 11,8^\circ$  bei 30-Jährigen festgestellt und die zervikale Lordose stieg bei 80-Jährigen auf  $19,7^\circ \pm 11,3^\circ$ : Die Lordose der HWS nahm mit steigendem Alter zu [52] [100] [138]. Zu berücksichtigen ist die Tatsache, dass der Hauptteil der Lordose der HWS im Segment C1/C2 auftritt und nur zu  $6^\circ$ , entsprechend 15 % der Lordose der HWS, in den Segmenten C4/C5, C5/C6 und C6/C7 [43].

Frühere Studien haben gezeigt, dass die ventrale atlantoaxiale Dislokation durch die rheumatische und osteoporotische Destruktion des kapsuloligamentären Halteapparates der Halswirbelsäule bereits zu einer kyphotischen Fehlstellung führen kann [65] [69]. Ein zervikales Malalignment wurde bei 32,5 % der Patienten festgestellt, insbesondere bei langer Krankheitsdauer der RA [3]. Das Gesamtalignment C1-C7 hatte sich postoperativ im Patientengut dieser Studie nicht statistisch signifikant geändert: Es wurde keine kyphotische, zervikale Fehlstellung nach atlantoaxialer Spondylodese induziert. Dieses Ergebnis ist bei der vorliegenden Nachuntersuchungszeit vergleichbar mit anderen Studien [125], bei denen die sagittale Balance erhalten blieb [48]. Einige Patienten entwickelten jedoch nach der Operation auch eine unerwartete Kyphosierung der Halswirbelsäule [137]. Andere Autoren berichteten, dass 33 % der Patienten eine postoperative Kyphose oder eine Schwanenhalsdeformität entwickelten, die auf eine Überkorrektur im atlantoaxialen Segment zurückzuführen war [122]. Ergebnisse aus früheren Studien belegen auch, dass eine atlantoaxiale Fixierung in Hyperlordose zu einer postoperativen subaxialen Kyphose des sagittalen Alignments der HWS führt [54] [97] [135] [137]. Patienten nach atlantoaxialer Spondylodese mit postoperativer subaxialer Kyphose wiesen einen durchschnittlichen Winkel C1-C2 von  $29^\circ$ , mit postoperativer Schwanenhalsdeformität von  $26^\circ$ , mit erhaltener Lordose von  $19^\circ$  und bei Steilstellung der HWS von  $25^\circ$  auf [122].

In dieser Studie konnte im Vergleich der präoperativen Röntgenbilder mit den Röntgenbildern des letzten FU für den atlantoaxialen Winkel kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ( $p = 0,607$ ). Der Mittelwert der Cobb-Winkel C1-C2 präoperativ betrug  $24^\circ$  (Minimum  $0,31^\circ$  und Maximum  $42,33^\circ$ ) und war nach der Operation im letzten FU  $25^\circ$  (Minimum  $15,16^\circ$  und Maximum

39,13°). Die größere Streuung der Cobb-Winkel C1-C2 präoperativ ist durch die ventrale atlantoaxiale Dislokation zu erklären. Durch die ventrale Dislokation des Atlas in Relation zum Axis resultieren kleinere Cobb-Winkel C1-C2 präoperativ und damit eine Reduktion der Lordose im Segment C1/C2. Die kleinere Streuung der Cobb-Winkel C1-C2 nach der Operation im letzten FU ist durch die atlantoaxiale Reposition im Rahmen der Spondylodese zu erklären. Diese Ergebnisse sind mit der Literatur teilweise vergleichbar. Der Cobb-Winkel C1-C2 wurde in einer Studie mit einer Lordose von  $-27,07^\circ \pm 4,3^\circ$  angegeben [4]. Einige Autoren berichteten, dass bei atlantoaxialer Spondylodese ein Winkel von etwa  $20^\circ$  ein Orientierungswert für den atlantoaxialen Winkel sein könnte [61] [122]. Da das physiologische sagittale Alignment der Halswirbelsäule individuell verschieden ist, hat auch der optimale Fusionswinkel im Segment C1/C2 interindividuell eine große Spannbreite [137]. Somit ist die Festlegung eines optimalen atlantoaxialen Fusionswinkels als Referenzwert schwierig, da er nicht auf jeden Patienten übertragbar ist. Patienten mit einem Fusionswinkel C1-C2 von über  $30^\circ$  entwickeln kompensatorisch eine subaxiale Veränderung des sagittalen Alignments [122]. Der Fusionswinkel im Segment C1/C2 sollte intraoperativ sorgfältig fluoroskopisch ermittelt werden, um das Risiko der postoperativen subaxialen Kyphosierung zu minimieren [97] [137].

Nach genauerer Inspektion der Daten ging die Änderung postoperativ bei 9 Patienten mit Abnahme der Winkel entsprechend einer Kyphosierung des Segmentes C1/C2 ein. Bei 3 Patienten waren die Winkel annähernd konstant, und bei 8 war eine Zunahme im Sinne einer Lordosierung im Segment C1/C2 zu verzeichnen. Die statistische Analyse mit den Kontrollmessungen bestätigte die Ergebnisse, sodass von einer Reliabilität der erhobenen Daten ausgegangen werden kann. In Zusammenschau lässt sich folgern, dass der Mittelwert der Differenzen der präoperativen und postoperativen Winkel bei Fusion von C1/C2 von circa  $1^\circ$  in Hyperlordose eine nicht signifikante Änderung der sagittalen Ausrichtung der HWS mit Verlust der Lordose C1-C7 mit einem Mittelwert von circa  $3^\circ$  zur Folge hatte. Ist der atlantoaxiale Fusionswinkel nicht überkorrigiert, so ist das Risiko einer subaxialen Kyphose minimiert und statistisch nicht signifikant. Daher sollte eine intraoperative C1/C2 Fusion in Hyperlordose vermieden werden, um die physiologische sagittale zervikale Ausrichtung aufrechtzuerhalten [47]. Auch die Versteifung von C1/C2 in exzessiver kyphotischer Stellung sollte

vermieden werden, um einem postoperativen, subaxialen Malalignment vorzubeugen. Eine geringe Reduktion des atlantoaxialen Winkels wirkt sich nicht auf den okzipitozervikalen Winkel aus und führt nicht zur kyphotischen Fehlstellung der subaxialen HWS [48]. Abgesehen von einer verminderten subaxialen Lordose kann eine atlantoaxiale Fixierung in Hyperlordose auch zu einer kyphotischen Veränderung im okzipitozervikalen Gelenk und konsekutiv zu einer vermehrten Vorwärtsneigung der HWS führen [47]. Den Auswirkungen des atlantoaxialen Versatzes im okzipitozervikalen Gelenk sollte besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden [48] um die sagittale Balance zu erhalten.

Es ist wichtig, die Reposition zwischen Atlas und Axis durchzuführen. Bei der transartikulären atlantoaxialen Spondylodese ist die Reposition vor der Platzierung der Schrauben unerlässlich [48]. Zu bedenken ist auch ein möglicher atlantoaxialer Repositionsverlust beim Setzen oder Eindrehen der transartikulären Schrauben. Bei Patienten mit präoperativer Kyphose der HWS ist bei atlantoaxialer Fusion mit relevanter Reduktion des atlantoaxialen Winkels zu berücksichtigen, dass diese Reduktion im okzipitozervikalen Gelenk ausgeglichen wird; konsekutiv muss im FU besonderes Augenmerk auf das subaxiale Alignment gelegt werden [48].

Die übermäßige Korrektur mit Vergrößerung des atlantoaxialen Winkels bei der atlantoaxialen Spondylodese kann über den Verlust der zervikalen Lordose zur Entwicklung von postoperativen subaxialen Subluxationen [50] [53] mit neurologischer Verschlechterung führen. Patienten mit RA haben unter diesen Umständen ein größeres Risiko, subaxiale Subluxationen zu entwickeln [54], was durch die progressiven Krankheitsschübe bedingt sein kann. Nach atlantoaxialer Fusion ist die Entwicklung einer subaxialen Kyphose der HWS bei Patienten mit postoperativen subaxialen Subluxationen im Vergleich zu Patienten ohne subaxiale Subluxation signifikant höher [136]. Kontrovers wird dies innerhalb einer anderen Studie diskutiert: Obwohl der subaxiale Winkel nach atlantoaxialer Spondylodese beibehalten wurde, entwickelten 48 % der Patienten einer Studie eine subaxiale Subluxation in den ersten 5 Jahren nach der Operation, ohne eine Erklärung dafür zu finden [49].

In dieser Untersuchung lag eine statistisch signifikante Änderung im segmentalen Cobb-Winkel C3-C4 im Vergleich der präoperativen Röntgenbilder mit den Röntgenbildern des letzten FU vor ( $p = 0,015$ ). Bei 3 Patienten waren die Winkel

annähernd konstant und lediglich bei 4 war eine Zunahme im Sinne einer Lordosierung im segmentalen Cobb-Winkel C3-C4 zu verzeichnen. 13 von 20 Patienten entwickelten im Segment C3/C4 postoperativ eine Abnahme des segmentalen Winkels und damit eine Kyphosierung in diesem Segment; dies entspricht 65 % der Patienten. Im Vergleich zur Messmethode der posterioren Tangenten wird mit den Messungen der segmentalen Cobb-Winkel C2-C3, C4-C5 und C6-C7 die Größe der Winkel und damit der Lordose in diesen Segmenten unterschätzt, da die Grundplatten und die Hinterkanten der Wirbelkörper nicht senkrecht zueinander stehen [45]. In anderen Studien kam es im Verlauf nach der Operation bei bis zu 40 % beziehungsweise 57,6 % der Patienten zu subaxialen Instabilitäten [54] [103], häufig im Segment C3/C4 [22] [53]. Die im postoperativen Verlauf zusätzlich entstehende, knöcherne Versteifung von C2/C3 führt häufig zur Entwicklung von subaxialen Subluxationen im Segment C3/C4 [53]. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass nach der Versteifung eines Segments die übrigen Segmente den Verlust an Beweglichkeit kompensieren müssen. Dies verursacht einen Verschleiß der Anschlusssegmente und erhöht zudem die Belastung der in der Anzahl reduzierten, funktionsfähigen Gelenke [42] [63].

Die Detektion von subaxialen, vorbestehenden, degenerativ veränderten Segmenten ist in diesem Zusammenhang bedeutsam. Aus der Literatur und den Ergebnissen dieser Studie lässt sich ableiten, dass die statistisch signifikante Änderung des Cobb-Winkels C3-C4 wahrscheinlich unter anderem auf einer Degeneration des Segments und den destruktiven Prozessen der RA basiert. Durch Fehl- und Überbelastung kann die fortschreitende Degeneration wiederum Auswirkungen auf das sagittale Alignment durch veränderte Konfiguration der Bandscheiben haben. Auch wenn die Datenlage in der Literatur nicht ausreichend ist, scheint das sagittale Alignment nach rekonstruktiven Eingriffen an der HWS ein Risikofaktor für die Entwicklung von Anschlusssegmentdegenerationen zu sein [42]. Die durch die chirurgische Spondylodese verursachte Muskelatrophie durch Minderbewegung der dorsalen Muskulatur der Halswirbelsäule kann die sagittale Balance beeinträchtigen und eine Kyphoseentwicklung begünstigen. Schäden an der okzipitozervikalen Muskulatur und an ligamentären Strukturen durch die Operation sind ein Risikofaktor für die Entwicklung eines postoperativen Malalignments [122]. Das zervikale Alignment ist nach einer dorsalen operativen Intervention an der Halswirbelsäule durch die Abtrennung der Musculi semispinalis

vom Dornfortsatz des Axis signifikant beeinträchtigt [51] [94]. Auch der Grad der Vernarbung und die Rekonvaleszenz der Muskulatur postoperativ hat Auswirkungen auf das zervikale Alignment [51]. Andererseits konnte eine andere Studie die Ablösung der Streckmuskulatur am Dornfortsatz des C2 statistisch nicht als Risikofaktor für eine subaxiale Kyphose belegen [67]. Aufgrund der durch die rheumatoide Arthritis bedingten ligamentären Schwäche kann eine Muskelabtrennung auch eine subaxiale Pathologie verstärken und zu einer subaxialen Kyphose führen [88]. Minimalinvasive Zugänge und Verfahren zur perkutanen Schraubenosteosynthese bei der dorsalen Spondylodese grenzen die Größe des Operationszugangs ein und können den muskulären Schaden, eine eventuelle Denervierung der Muskulatur, Vernarbungsprozesse und das gesamte Weichteiltrauma minimieren. Möglicherweise kann durch die Erhaltung der Muskulatur einer Kyphoseentwicklung der HWS entgegengewirkt werden; dies muss jedoch noch durch weitere Studien untersucht werden. Aufschlussreich wäre eine Studie zum Vergleich perkutaner, minimal invasiver und offener Spondylodese an der Halswirbelsäule bei rheumatisch bedingter atlantoaxialer Instabilität mit einem längeren FU zur Untersuchung des sagittalen Alignments der Halswirbelsäule, um den Faktor Muskulatur besser zu evaluieren.

Die Gründe für die subaxiale Kyphosierung und Subluxationen der HWS nach atlantoaxialer Versteifung sind vielfältig. Faktoren wie der Fusionswinkel zwischen C1 und C2 und der präoperative Zustand der subaxialen HWS spielen eine wesentliche Rolle, aber auch die Entwicklung und Progredienz von subaxialen Pathologien, die Durchtrennung der Extensoren [88] beim Operationszugang an der dorsalen Halswirbelsäule sowie die fortschreitende Muskelatrophie bedingt durch die Versteifung beeinflussen das Operationsergebnis. Das subaxiale zervikale Alignment wird bei Patienten mit RA auch durch krankheitsbedingte, also rheumatisch bedingte Veränderungen und Läsionen sowie subaxiale Subluxationen beeinträchtigt, welche oft progredient in Erscheinung treten. Diese subaxialen Veränderungen können sich nicht nur als Folge des natürlichen Krankheitsverlaufs der RA entwickeln, sondern auch aufgrund der operativen Fusion der oberen Segmente bedingt durch Überbelastung. Es ist von einem kombinierten Mechanismus auszugehen, welchem die Grunderkrankung selbst, die operative Behandlung und Alterungsprozesse zu Grunde liegen können, die zu einem subaxialen Malalignment und Subluxationen führen. Das sagittale

Alignment der HWS unterliegt damit einer Kaskade von mechanischen, unter anderem altersabhängigen Ereignissen. Es ist empfehlenswert, bei operativen Eingriffen an der HWS das sagittale, lordotische Alignment zu erhalten oder zu rekonstruieren [42]. Abschließend kann als Empfehlung geäußert werden, die Messungen an Röntgenbildern in natürlicher Haltung und im Stand des Patienten durchzuführen, sowie besonderes Augenmerk auf das Segment C3/C4 präoperativ, postoperativ sowie im FU nach atlantoaxialer Fusion zu legen, da das Segment C3/C4 häufig den Apex der Krümmung darstellt [122]. In diesem Zusammenhang ist die Analyse von Funktionsaufnahmen der HWS zur Detektion von subaxialen Subluxationen und Degenerationen interessant. Zum Nachweis einer eventuellen statistisch signifikanten Kyphosierung des sagittalen Alignments der HWS über die Messungen der Cobb-Winkel ist wahrscheinlich ein größeres Patientengut mit einer längeren radiologischen Nachuntersuchungszeit notwendig. Des Weiteren sind die Überprüfung der Ergebnisse mit dem Cobb-Winkel C2-C7 möglicherweise aufschlussreicher und ein Vergleich mit der Messmethode der posterioren Tangenten sinnvoll.

#### **4.4 Sagittale Balance**

Die spinopelvine sagittale Balance beruht auf der Wechselwirkung zwischen Einstellung der Wirbelsäulenkrümmungen zueinander sowie Einstellung der Wirbelsäule zum Becken [8] [9] [108]. Sie wird im Rahmen teils konkurrierender Konzepte durch Winkel und Abstände beschrieben [8] [9] [108] und wird durch das Wachstum und das Altern verändert [113]. Die ideale sagittale Ausrichtung sollte unter Berücksichtigung des Patientenalters bewertet [108] und altersbezogen betrachtet werden. In dieser Studie wurden die Patienten nicht altersbezogen untersucht. Eine Änderung des Alignments kann sowohl Teil des normalen Alterungsprozesses als auch pathologisch sein [13]. Die Beziehung zwischen der HWS und der übrigen Wirbelsäule ist in der Literatur beschrieben [115]. Auch das zervikale Alignment hängt vom spinopelvinen Alignment ab, insbesondere bei Patienten mit zervikalen Symptomen [4]. Veränderungen der zervikalen Lordose korrelieren umgekehrt mit Änderungen der thorakalen Ausrichtung [43]. Der Steigungswinkel des ersten Brustwirbelkörpers hat einen sehr großen Einfluss auf das zervikale Alignment [74]. Der zervikothorakale Übergang spielt damit eine

zentrale Rolle bei der sagittalen zervikalen Ausrichtung. Die Lordose der HWS sollte proportional zum Steigungswinkel des ersten Brustwirbelkörpers sein [8]. Die vorliegenden Messungen der zervikalen Lordose sollten um den Steigungswinkel des ersten Brustwirbelkörpers ergänzt werden.

Die grundlegende Funktion der HWS besteht darin, den Kopf über dem Rumpf und dem Becken im Gleichgewicht zu halten [44] und den horizontalen Blick aufrechtzuerhalten [2] [66] [120]. Die wechselseitige Beziehung zwischen dem Alignment des gesamten Körpers und der Aufrechterhaltung des horizontalen Blicks erfordert ein grundlegendes Verständnis des spinopelvinen Alignments als Bestandteil der spinalen Balance [2]. Die Beteiligung der Halswirbelsäule an Kompensationsmechanismen zielt darauf ab, einen horizontalen Blick mit einer Zunahme der zervikalen Lordose zu wahren [11]. Erwachsene mit einem sagittalen spinopelvinen Malalignment kompensieren dieses Malalignment mit einer abnormal erhöhten zervikalen Lordose, um den horizontalen Blick aufrechtzuerhalten [116]. Die chirurgische Korrektur eines spinopelvinen Malalignment kann zu kompensatorischen Veränderungen der Wirbelsäulenausrichtung außerhalb der fusionierten Wirbelsäulensegmente führen [116]. Eine Änderung des zervikalen Alignments kann also eine Kompensation für eine vorliegende Pathologie im übrigen spinopelvinen Bereich sein [112]. Es wurde festgestellt, dass das zervikale Alignment durch die Verschlechterung der Ausrichtung der übrigen Wirbelsäule in der Sagittalebene beeinflusst wird [115]. Die chirurgische Korrektur eines sagittalen Malalignment wiederum führt zu einer Verbesserung der abnormalen zervikalen Hyperlordose durch wechselseitige Veränderungen [116]. Eine Untersuchung, ob die Patienten dieser Studie weiteren Operationen an der thorakalen oder lumbalen Wirbelsäule unterzogen wurden, erfolgte nicht. Demnach bleibt unklar, ob eventuelle Wirbelsäulenoperationen oder Pathologien das Alignment der HWS mit beeinflusst haben könnten. Demnach könnte der statistisch signifikante Unterschied im Segment C3/C4 auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sein.

Wenn in der körperlichen oder radiologischen Untersuchung eine signifikante sagittale Deformität vermutet wird, sollten die regionale Ausrichtung der Halswirbelsäule und das sagittale globale Alignment der Wirbelsäule präoperativ über stehende Ganzkörper-Röntgenbilder im lateralen Strahlengang für eine angemessene operative Planung [5] und postoperativ für das Outcome, bewertet

werden. Laterale Ganzkörper-Röntgenbilder der Patienten dieser Studie liegen nicht vor, sodass das sagittale Alignment des gesamten Körpers nicht analysiert werden konnte. Die vorliegende Arbeit lässt nur eine Aussage über die HWS und nicht über das spinopelvine Alignment zu. Die Validität der alleinigen Messung der zervikalen Lordose als eigenständiger Parameter ist damit fragwürdig, denn Studien an asymptomatischen Patienten zeigen eine große Variabilität. Letztendlich bietet dies die Basis für weitere Untersuchungen des Patientenguts dieser Studie mit Fokus auf weitere Ursachen, insbesondere Operationen oder Pathologien an der thorakalen und lumbalen Wirbelsäule, die das Alignment der HWS mit beeinflusst haben könnten. Die Korrektur von zervikalen Deformitäten sollte einen umfassenden Ansatz bei der Bewertung der globalen zervikopelvinen Beziehungen verfolgen [5], denn ungeachtet des spezifischen, operativen Verfahrens oder der speziellen Pathologie geht eine postoperativ optimal sagittal ausgeglichene Wirbelsäule mit einer erhöhten Patientenzufriedenheit, Schmerzreduktion und verbesserter Funktion einher [12]. Die Indikationen für eine Operation zur Korrektur der Ausrichtung des zervikalen Alignments sind nicht genau definiert, und es gibt keinen festgelegten Standard des zu erreichenden Korrekturumfanges [5].

#### **4.5 Klassifikationen**

Die in die Studie eingeschlossenen Patienten wiesen präoperativ einen ASA Grad II oder III auf mit leichten oder schweren Systemerkrankungen. Patienten mit höhergradigem ASA Grad waren nicht in der Studie vertreten. Ob Patienten mit RA mit operationswürdiger atlantoaxialer Instabilität mit höhergradigem ASA Grad nicht operationsfähig waren und infolgedessen nicht operiert wurden, ist nicht bekannt. Ausgehend von den erhobenen Daten im Untersuchungszeitraum ist eine Minderklassifikation von ASA Grad I, IV und Grad V zugunsten von Grad II und Grad III zu vermuten. Die präoperative ASA Klassifikation erfolgte durch unterschiedliche Anästhesisten. Die Einteilung in die ASA Klassifikation durch unterschiedliche Anästhesisten erfolgt subjektiv verschieden, häufig mit geringer Übereinstimmung; dies wird in der Literatur als Schwachpunkt der ASA Klassifikation nachgewiesen [79] [98]. Dennoch besteht eine Korrelation zwischen der ASA Klassifikation und perioperativen Risikofaktoren, Mortalität sowie

postoperativen Komplikationen [124] [132]. Mit hoher Wahrscheinlichkeit beeinflusste sowohl der niedrige ASA Grad der in die Studie eingeschlossenen Patienten als auch die frühzeitige Diagnose und Therapie der Erkrankung das Ergebnis. Die durchschnittliche Nachuntersuchungszeit betrug 5,37 Jahre (1 Monat – 139,8 Monate). Andere Studien weisen kleinere Nachuntersuchungszeiten auf [23] [36] [48]. Ein Vergleich bezüglich der ASA Klassifikation mit anderen Studien war aufgrund nicht publizierter ASA Klassifikationen nicht möglich.

In dieser Studie waren keine Todesfälle zu verzeichnen. In der Literatur wird zum Teil von bis zu 23 % Todesfällen [23] beziehungsweise einer hohen Mortalität [31], abhängig vom neurologischen Status, berichtet [7]. Bei Patienten mit langjährigem Krankheitsverlauf kann die RA eine HWS-Beteiligung mit Entwicklung einer progredienten Myelopathie und Schmerzen verursachen [88]. Die Ausbildung einer zervikalen Myelopathie ist selten, jedoch für den Patienten schwerwiegend und prognostisch am ungünstigsten [6] [24] [70]. Bei bestehenden neurologischen Symptomen und Zeichen einer zervikalen Myelopathie ist bei Nichtbehandlung ein für den Patienten fataler Verlauf bezüglich Bettlägerigkeit und Mortalität vorhersagbar [6] [31] [119]. Durch Fusionsoperationen lassen sich sowohl eine deutliche Schmerzreduktion [16] [50] als auch eine Verbesserung bestehender neurologischer Defizite nachweisen [7] [16] [69] [70] [81]. Die transartikuläre Spondylodese C1/C2 ist eine sichere Technik zur chirurgischen Behandlung der atlantoaxialen Subluxation bei Patienten mit RA [90]. Dieser chirurgische Ansatz zielt auf eine solide, stabile Fixierung, eine Verhinderung einer neurologischen Verschlechterung und/oder Schädigung des Rückenmarks beziehungsweise eine Verbesserung des neurologischen Status, Gefäßintegrität und Erhaltung der sagittalen Balance der HWS ab [24]. Ziele der Behandlung beinhalten die Prävention von irreversiblen neurologischen Defiziten, die Vermeidung des plötzlichen Todes bei nicht bemerkter Kompression des Rückenmarks und die Vermeidung unnötiger Operationen [106]. Es konnte gezeigt werden, dass eine frühe chirurgische Intervention bei wenig neurologisch beeinträchtigten Patienten zu einem besseren Outcome führt [48] [93] [106] [111]. Die Ranawat Klassifikation ist ein gutes und häufig verwendetes Instrument, um die neurologische Erholung von Patienten im Verlauf zu beurteilen. Zudem ist die präoperative Ranawat Klassifikation ein relevanter Prädiktor für die postoperativen Ergebnisse [35].

Patienten der höheren Klassen haben eine schlechtere Prognose. In Studien konnte bereits gezeigt werden, dass die Mehrzahl der Patienten sich um mindestens eine Ranawat Klasse nach chirurgischer Intervention verbesserten [7] [21] [35] [81] [90] [93] [111]. Eine neurologische Verschlechterung tritt selten bei Patienten der Klassen Ranawat I und II auf [130]. Ranawat IIIB Patienten haben ein schlechtes Outcome [130], und die Mortalität ist in dieser Klasse am höchsten [7]. Die Klassifikation nach Ranawat ist bei der Bewertung postoperativer Ergebnisse sehr hilfreich, da mit zunehmender Klasse mehr Morbiditäten und Komplikationen auftreten [35]. Diese Daten decken sich nicht vollständig mit dieser Studie, in der die meisten Patienten in der gleichen Ranawat Klasse verblieben. Lediglich 2 Patienten verbesserten sich postoperativ beziehungsweise im FU im Vergleich zu präoperativ, und 2 Patienten verschlechterten sich im FU. Eine statistische Signifikanz konnte nicht nachgewiesen werden. Wahrscheinlich ist eine höhere Patientenzahl notwendig, um eine statistische Signifikanz nachweisen zu können. Jedoch ist noch anzumerken, dass die Mehrzahl der Patienten (12 Patienten) dieser Arbeit bereits präoperativ in der niedrigsten Ranawat Klasse, der Klasse I, eingestuft waren und somit keine neurologischen Defizite aufwiesen. 14 Patienten waren auch im weiteren Verlauf ohne neurologisches Defizit. Eine weitere Verbesserung konnte aus diesem Grund mit der Ranawat Klassifikation nicht dokumentiert werden. Von den präoperativ 6 Patienten der Klasse II verbesserten sich 2, 2 weitere verblieben im FU in Klasse II, und 2 Patienten verschlechterten sich in die Klasse IIIA. Daraus lässt sich ableiten, dass Patienten mit einer frühen chirurgischen Intervention, wie in anderen Studien [106] [130] postuliert, ein besseres Outcome aufweisen. Diese Klassifikation ist relevant, da mit zunehmender Ranawat Klasse eine starke Korrelation mit Morbidität und Mortalität besteht [35].

Dies scheint auch mit der Klassifikation nach Steinbrocker zu korrelieren, in der der globale Funktionsstatus untersucht wird, und bestimmt wurde inwieweit die Patienten im Alltagsleben durch die Erkrankung beeinträchtigt sind. Auch bei dieser Klassifikation konnte keine statistische Signifikanz herausgearbeitet werden. Anzumerken ist auch hier, dass die meisten Patienten (16) bereits präoperativ in einer niedrigen Klasse, I (5 Patienten) oder II (11 Patienten), eingestuft waren und davon 10 in dieser niedrigen Klasse konstant im FU verblieben. Lediglich 2 von den 18 Patienten waren in ihrem Alltagsleben stark

eingeschränkt und in die Klasse III eingestuft. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass bei dieser Klassifikation die Einschränkung im Alltagsleben auf alle Gelenke und nicht nur die HWS bei RA bezogen ist. Vermutlich sind auch hier eine höhere Patientenzahl sowie ein längeres FU notwendig, um eine statistische Signifikanz nachzuweisen. Die Klassifikation nach Steinbrocker wird in der Literatur als ein wichtiges Instrument zur Beurteilung von Patienten ausgezeichnet [35] [60] [83].

In der Klassifikation in Anlehnung an Pellicci bezogen auf die atlantoaxiale Instabilität wurde eine statistische Signifikanz nachgewiesen für die Einteilung postoperativ und im FU der Patienten im Vergleich zum präoperativen Status. Dies ist jedoch mit Einschränkungen zu sehen. Der Grad der atlantoaxialen Instabilität korreliert nicht immer mit den klinischen Symptomen, sodass Abweichungen zwischen der Beschwerdesymptomatik des Patienten und den nativradiologischen Befunden möglich sind [40] [46]. 12 Patienten waren bereits präoperativ in die höchste Stufe Pellicci Grad III eingeteilt aufgrund der führenden radiologischen Beteiligung mit der atlantoaxialen Instabilität von mindestens 8 mm. Auffällig war jedoch, dass diese Patienten nicht immer die entsprechenden neurologischen Defizite und Beschwerden der entsprechenden Graduierung aufwiesen. Diese Patienten waren zum Teil asymptomatisch und wiesen eben nur die radiologische Auffälligkeit auf. Postoperativ waren diese Patienten weiter asymptomatisch und wurden entsprechend in die niedrigste Klasse nach Pellicci, Grad 0, eingeteilt. Anzumerken ist auch, dass nur Patienten mit Grad II und III einer atlantoaxialen Spondylodese zugeführt wurden. Patienten mit Grad 0 und I, die eventuell keine Indikation zur Operation hatten, waren in der Studie nicht vertreten. Weiter festzuhalten ist auch die Tatsache, dass die Patienten dieser Studie mit der Klassifikation in Anlehnung an Pellicci nur im Hinblick auf die atlantoaxiale Instabilität bewertet wurden. Möglich ist auch eine kombinierte Bewertung im Rahmen von subaxialer Instabilität und basilärer Impression. Dies bietet eine Grundlage für eine weitergehende Untersuchung der Patienten dieser Studie und erneuter statistischer Auswertung. Abschließend kann gesagt werden, dass die mit der Klassifikation in Anlehnung an Pellicci erzielten Ergebnisse in dieser Studie zwar statistisch signifikant, jedoch eingeschränkt verwertbar sind, da sich diese nur auf die atlantoaxiale Instabilität fokussierten. Vergleichbare Studien mit der Pellicci Klassifikation wurden im Rahmen der Literaturrecherche nicht gefunden. Insgesamt kann bestätigt werden, dass die Mehrzahl der Patienten mit

atlantoaxialer Spondylodese dieser Studie keine neurologische Verschlechterung im FU hatten. Die Ranawat Klassifikation ist eine anerkannte Klassifikation bei der Evaluation von Patienten mit zervikalem Befall bei RA und auch zur Verlaufsbeurteilung geeignet. Lediglich eine Patientin entwickelte im späteren Verlauf eine Myelopathie. Todesfälle waren nicht zu verzeichnen. Eine längere Nachuntersuchungszeit und ein größeres Patientenkollektiv könnten zum Nachweis einer statistischen Signifikanz der Klassifikationen nach Ranawat und Steinbrocker aufschlussreich sein.

#### **4.6 Komplikationen**

Die Beteiligung der HWS bei RA ist überwiegend in den oberen Segmenten zu sehen, und verschiedene chirurgische Behandlungsmöglichkeiten wurden bereits im letzten Jahrhundert dokumentiert [17] [34] [41] [82] [104] [105]. Es wurden Patientenkollektive ohne intraoperative neurologische und vaskuläre Komplikationen [123] oder notwendige Re-Operationen im Verlauf beschrieben [23]. Intraoperativ traten in dieser Studie keine Komplikationen auf. In der Literatur werden Verletzungen der Arteria vertebralis [36], Schraubenfehlplatzierungen [81] und Nervenwurzelverletzungen beschrieben [29] [30]. Insgesamt sind geringe Komplikationsraten bei der atlantoaxialen Fusion mit der Technik nach Magerl und Seemann dokumentiert worden [36]. In der vorliegenden Arbeit gab es keine dokumentierten Pseudarthrosen und nativradiologisch auch keine Hinweise auf Pseudarthrosen nach durchgeführter atlantoaxialer Spondylodese. In der Literatur wird von Pseudarthrose-Raten von 0 % bis 5 % nach atlantoaxialer Fusion nach Magerl und Seemann berichtet [29] [30] [36] [40] [46]. Bei allen in die Studie eingeschlossenen Patienten wurde additiv eine Knochentransplantation durchgeführt. Eine Nachbehandlung mit einer Philadelphia-Halskrawatte (Zervikalorthese) ist für 6 bis 12 Wochen indiziert, um eine Fusion sicherzustellen [90]. Die postoperativ aufgetretene Komplikation mit submandibulärem Dekubitus aufgrund der Zervikalorthese ist eine seltene Komplikation.

Im FU dieser Studie waren 50 % der Patienten beschwerdefrei. In der Literatur werden zum Teil höhere Anteile von beschwerdefreien Patienten genannt [7]. Die postoperativ auftretenden Schmerzen an der HWS und die Verspannungen der Schultergürtel- und Nackenmuskulatur könnten über kleinere Operationszugänge

sowohl in der Wundheilungsphase als auch im weiteren Verlauf durch geringere Vernarbungsprozesse der Nackenmuskulatur positiv beeinflusst werden.

Aufgrund der atlantoaxialen Versteifung wird konsekutiv die verlorene Beweglichkeit dieses Segmentes teilweise durch die darunterliegenden Segmente kompensiert, welche vorzeitig einem Verschleiß unterliegen könnten. Nicht selten sind die Segmentdegenerationen jedoch vorbestehend und können im Rahmen der RA bei aggressivem Krankheitsverlauf einer zunehmenden Destruktion bis zur Instabilität mit Antero- oder Retrolisthese unterliegen. Abhängig von Krankheitsverlauf und Krankheitsdauer der RA [16] [92] [102] [106] ist die entsprechende Medikation zu optimieren. Im Rahmen der rheumatoiden Arthritis haben Patienten begleitend eine Osteoporose, welche unter anderem sekundär durch eine Medikation mit Kortikosteroiden induziert sein kann. Konsekutiv können sich, wie im Fall einer Patientin dieser Studie, osteoporotische Frakturen entwickeln.

In der Literatur ist beschrieben, dass sich aus der atlantoaxialen Instabilität im Verlauf eine vertikale Instabilität entwickeln kann [21] wie im Fall eines Patienten dieser Studie. Die atlantoaxiale Spondylodese verhindert in den meisten Fällen die Entwicklung einer basilären Impression [71], welche gravierende Folgen für den Patienten hat [22]. Die Degeneration der Anschlusssegmente kann sich nicht nur nach kranial sondern auch nach kaudal bei vorliegender atlantoaxialer Fusion entwickeln, sodass eine Ausweitung der Spondylodese notwendig werden kann. 21 % der Patienten benötigen im Verlauf eine Verlängerung der Spondylodese an der HWS [22]. Durch die weitere Degeneration der subaxialen Segmente können Facettengelenksarthrosen als schmerzverursachend mit Infiltrationen detektiert und auch suffizient symptomatisch behandelt werden [40].

Die Komplikationen konnten nur für die Patienten berücksichtigt werden, welche sich in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm wieder vorstellten. Informationen über Komplikationen, welche durch niedergelassene Fachärzte oder Allgemeinärzte sowie durch andere Kliniken behandelt wurden, lagen nicht vor.

## 4.7 Medikation

Neue Behandlungsstrategien haben den Verlauf der RA wesentlich verändert [15] [18]. Diese medikamentösen Therapien sind sehr wirksam bei der Vorbeugung von Gelenkschäden, und die Notwendigkeit eines chirurgischen Eingriffs wird bei Patienten mit RA hierunter deutlich seltener [14] [80]. Aufgrund der Fortschritte in der pharmazeutischen Behandlung während der letzten Jahre zeigen neue Daten, dass die Prävalenz der Beteiligung der HWS abnimmt [55]. Eine nicht therapierte RA ist wahrscheinlich ein Hauptrisikofaktor für die Entwicklung von Instabilitäten an der Wirbelsäule [57]. Ein früher Beginn der Pharmakotherapie kann das Fortschreiten der rheumatischen Erkrankung an der HWS verlangsamen [128]. Die Medikamente führen zur Kontrolle der Entzündungsprozesse, und konsekutiv vermindern sie die Schädigungen an der Wirbelsäule [14] [57] [92]. Die Biologika verhindern damit das Fortschreiten der RA [14]. Seit der Zulassung der disease-modifying anti-rheumatic drugs weisen weniger Patienten Manifestationen der RA an der HWS auf [35]. Abhängig von der Schwere der Läsionen an der HWS spielt die chirurgische Behandlung weiterhin eine wichtige Rolle [55].

In dieser Studie wurde die Medikation der eingeschlossenen Patienten nicht berücksichtigt. Dies bietet eine Grundlage für weitere Untersuchungen unter Einbeziehung der Krankheitsdauer sowie Beachtung der verschiedenen Klassen von Medikamenten, die bei RA eingesetzt werden.

## 5. Zusammenfassung

In der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm wurde eine prospektive Analyse einer retrospektiven Datenbank von 20 Patienten durchgeführt, die sich einer atlantoaxialen Spondylodese bei rheumatischer Instabilität im Zeitraum vom 01.01.1995 bis 31.01.2009 unterzogen hatten. Einschlusskriterien waren keine Voroperationen an der Halswirbelsäule (HWS) und das Vorliegen prä- und postoperativer, lateraler Röntgenaufnahmen der HWS in Neutralposition. Das sagittale Alignment von jedem Patienten wurde parallel am präoperativen und am Röntgenbild des letzten Follow-up (FU) (durchschnittliche radiologische FU-Zeit 3,19 Jahre) mit Cobb-Winkel von C1-C2 (C = Halswirbel) beginnend bis C1-C7 gemessen. Aus den Messdaten wurden die segmentalen Cobb-Winkel von C2-C3 bis C6-C7 berechnet und alle Cobb-Winkel statistisch analysiert. Zur Reliabilitätsprüfung wurden die Messungen nach 4 Wochen wiederholt und statistisch ausgewertet. Die Patienten wurden prä-, postoperativ und im FU (durchschnittliche FU-Zeit 5,37 Jahre) anhand der Klassifikationen nach Ranawat, Steinbrocker und in Anlehnung an Pellicci eingeteilt und die Ergebnisse statistisch ausgewertet. Es wurden prä-, intra- und postoperative Patientendaten sowie Komplikationen erhoben. Im Vergleich der präoperativen mit den Cobb-Winkeln des letzten FU konnte ein statistisch signifikanter Unterschied im Cobb-Winkel C3-C4 festgestellt werden ( $p$ -Wert = 0,015) mit Kyphosierung im FU. Der Mittelwert der Cobb-Winkel C3-C4 präoperativ betrug  $4^\circ$  und im letzten FU  $2^\circ$ . Im Vergleich der übrigen Cobb-Winkel konnte kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Der Mittelwert der Cobb-Winkel C1-C2 präoperativ betrug  $24^\circ$  (Minimum  $0,31^\circ$  und Maximum  $42,33^\circ$ ) und war im letzten FU  $25^\circ$  (Minimum  $15,16^\circ$  und Maximum  $39,13^\circ$ ) ( $p$ -Wert = 0,607). Der Mittelwert der Cobb-Winkel C1-C7 betrug präoperativ  $39^\circ$  und im letzten FU  $36^\circ$  ( $p$ -Wert = 0,164). In Zusammenschau lässt sich folgern, dass der Mittelwert der Differenzen der präoperativen und FU Winkel bei Fusion von C1/C2 von circa  $1^\circ$  in Lordose eine nicht signifikante Änderung der sagittalen Ausrichtung der HWS mit Verlust der Lordose C1-C7 mit einem Mittelwert von circa  $3^\circ$  im letzten FU zur Folge hatte. Es wurde keine statistisch signifikante, kyphotische, zervikale Fehlstellung nach atlantoaxialer Spondylodese induziert. Die Kontrollmessungen bestätigen die Ergebnisse der ersten Messungen und Berechnungen und die Reliabilität der Daten. Das physiologische

sagittale Alignment der HWS ist individuell verschieden. Der optimale Fusionswinkel C1/C2 hat eine große Spannbreite und somit ist die Festlegung eines Referenzwertes schwierig, da er nicht auf jeden Patienten übertragbar ist. Ein Winkel von etwa 20° ist ein Orientierungswert für den atlantoaxialen Fusionswinkel und dieser sollte, um das Risiko einer subaxialen Kyphose zu minimieren, 30° nicht übersteigen. Intraoperativ gab es keine Komplikationen. Die Klassifikationen von Ranawat und Steinbrocker ergaben keinen statistisch signifikanten Unterschied. In der Klassifikation in Anlehnung an Pellicci waren die Vergleiche postoperativ zu präoperativ sowie FU zu präoperativ statistisch signifikant. Die Pellicci Klassifikation sollte mit kombinierter Bewertung von subaxialer Instabilität und basilärer Impression angewendet werden. Die atlantoaxiale Fusion vor Entwicklung neurologischer Störungen stabilisierte den neurologischen Status der Patienten. Ein besonderes Augenmerk ist auf das Segment C3/C4 prä-, postoperativ sowie im FU nach atlantoaxialer Fusion zu legen. Möglicherweise liegt der statistischen Änderung eine Degeneration von C3/C4 zu Grunde. Die rheumatoide Arthritis (RA), die Operation mit dem Festlegen des Fusionswinkels, die Beeinträchtigung der dorsalen Muskulatur beim Operationszugang und weitere Operationen an der Wirbelsäule können die sagittale Balance und das Alignment der HWS beeinflussen. Diese unterliegen einer Kaskade von mechanischen und altersabhängigen Ereignissen. Die kleine Patientenzahl und das heterogene FU beeinflussten die statistische Relevanz der Arbeit. Die Erkrankungsdauer und die Medikation bei RA wurden nicht berücksichtigt. Die Medikation nimmt in der Behandlung einen immer größeren Stellenwert ein, und die zervikale Beteiligung bei RA ist hierunter rückläufig. Die vorliegende Arbeit lässt nur eine Aussage über die HWS und nicht über das spinopelvine Alignment zu. Die Validität der alleinigen Messung der zervikalen Lordose als eigenständiger Parameter ist fragwürdig. Wenn eine signifikante sagittale Deformität vermutet wird, sollte das sagittale Alignment des gesamten Körpers über stehende, laterale Ganzkörper-Röntgenbilder für eine operative Planung und postoperativ für das Outcome, bewertet werden. Diese Limitationen bieten die Möglichkeit für weitere Untersuchungen mit der Analyse von Funktionsaufnahmen zur Detektion von subaxialen Subluxationen und Degenerationen und der Überprüfung der Ergebnisse mit dem Cobb-Winkel C2-C7, der Messmethode der posterioren Tangenten und Ergänzung mit dem Steigungswinkel des ersten Brustwirbelkörpers.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Ahn JK, Hwang JW, Oh JM, Lee J, Lee YS, Jeon CH, Cha HS, Koh EM: Risk factors for development and progression of atlantoaxial subluxation in Korean patients with rheumatoid arthritis. *Rheumatology international* 31: 1363-1368 (2011)
2. Akbar M, Almansour H, Diebo B, Adler D, Pepke W, Richter M: Normal sagittal profile of the cervical spine - must the cervical spine always be lordotic?. *Der Orthopäde* 47: 460-466 (2018)
3. Alcala JM, Douat D, Pinheiro DL, Kamei DJ, dos Santos FR, Silva MB, Skare TL: Radiographic changes of cervical spine in rheumatoid arthritis. *Revista brasileira de reumatologia* 53: 388-393 (2013)
4. Alijani B, Rasouljan J: The Sagittal Balance of the Cervical Spine: Radiographic Analysis of Interdependence between the Occipitocervical and Spinopelvic Alignment. *Asian spine journal*: (2020)
5. Ames CP, Blondel B, Scheer JK, Schwab FJ, Le Huec JC, Massicotte EM, Patel AA, Traynelis VC, Kim HJ, Shaffrey CI, Smith JS, Lafage V: Cervical radiographical alignment: comprehensive assessment techniques and potential importance in cervical myelopathy. *Spine* 38: S149-160 (2013)
6. Arlt AC, Steinmetz J: Cervical myelopathy as a complication of rheumatoid arthritis. *Zeitschrift für Rheumatologie* 63: 281-295 (2004)
7. van Asselt KM, Lems WF, Bongartz EB, Hamburger HL, Drossaers-Bakker KW, Dijkmans BA, van Soesbergen RM: Outcome of cervical spine surgery in patients with rheumatoid arthritis. *Annals of the rheumatic diseases* 60: 448-452 (2001)
8. Berthonnaud E, Dimnet J, Roussouly P, Labelle H: Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters. *Journal of spinal disorders & techniques* 18: 40-47 (2005)
9. Berthonnaud E, Labelle H, Roussouly P, Grimard G, Vaz G, Dimnet J: A variability study of computerized sagittal spinopelvic radiologic measurements of trunk balance. *Journal of spinal disorders & techniques* 18: 66-71 (2005)
10. Blom M, Creemers MC, Kievit W, Lemmens JA, van Riel PL: Long-term follow-up of the cervical spine with conventional radiographs in patients with rheumatoid arthritis. *Scandinavian journal of rheumatology* 42: 281-288 (2013)
11. Blondel B, Schwab F, Bess S, Ames C, Mummaneni PV, Hart R, Smith JS, Shaffrey CI, Burton D, Boachie-Adjei O, Lafage V: Posterior global malalignment after osteotomy for sagittal plane deformity: it happens and here is why. *Spine* 38: E394-401 (2013)
12. Blondel B, Schwab F, Ungar B, Smith J, Bridwell K, Glassman S, Shaffrey C, Farcy JP, Lafage V: Impact of magnitude and percentage of global sagittal plane correction on health-related quality of life at 2-years follow-up. *Neurosurgery* 71: 341-348; discussion 348 (2012)
13. Boden SD, McCowin PR, Davis DO, Dina TS, Mark AS, Wiesel S: Abnormal magnetic-resonance scans of the cervical spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. *The Journal of bone and joint surgery American volume* 72: 1178-1184 (1990)
14. Borenstein D: Inflammatory arthritides of the spine: surgical versus nonsurgical treatment. *Clinical orthopaedics and related research* 443: 208-221 (2006)
15. Bortoluzzi A, Furini F, Generali E, Silvagni E, Luciano N, Scire CA: One year in review 2018: novelties in the treatment of rheumatoid arthritis. *Clinical and experimental rheumatology* 36: 347-361 (2018)

16. Bouchaud-Chabot A, Liote F: Cervical spine involvement in rheumatoid arthritis. A review. *Joint, bone, spine : revue du rhumatisme* 69: 141-154 (2002)
17. Brooks AL, Jenkins EB: Atlanto-axial arthrodesis by the wedge compression method. *The Journal of bone and joint surgery American volume* 60: 279-284 (1978)
18. Burmester GR, Pope JE: Novel treatment strategies in rheumatoid arthritis. *Lancet (London, England)* 389: 2338-2348 (2017)
19. Cakir B, Kafer W, Reichel H, Schmidt R: Surgery of the cervical spine in rheumatoid arthritis. Diagnostics and indication. *Der Orthopäde* 37: 1127-1140; quiz 1141 (2008)
20. Cakir B, Richter M, Kafer W, Wieser M, Puhl W, Schmidt R: Evaluation of lumbar spine motion with dynamic X-ray--a reliability analysis. *Spine* 31: 1258-1264 (2006)
21. Casey AT, Crockard HA, Geddes JF, Stevens J: Vertical translocation: the enigma of the disappearing atlantodens interval in patients with myelopathy and rheumatoid arthritis. Part I. Clinical, radiological, and neuropathological features. *Journal of neurosurgery* 87: 856-862 (1997)
22. Clarke MJ, Cohen-Gadol AA, Ebersold MJ, Cabanela ME: Long-term incidence of subaxial cervical spine instability following cervical arthrodesis surgery in patients with rheumatoid arthritis. *Surgical neurology* 66: 136-140; discussion 140 (2006)
23. Cornefjord M, Henriques T, Alemany M, Olerud C: Posterior atlanto-axial fusion with the Olerud Cervical Fixation System for odontoid fractures and C1-C2 instability in rheumatoid arthritis. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 12: 91-96 (2003)
24. da Corte FC, Neves N: Cervical spine instability in rheumatoid arthritis. *European journal of orthopaedic surgery & traumatology : orthopedie traumatologie* 24 Suppl 1: S83-91 (2014)
25. Del Grande M, Del Grande F, Carrino J, Bingham CO, 3rd, Louie GH: Cervical spine involvement early in the course of rheumatoid arthritis. *Seminars in arthritis and rheumatism* 43: 738-744 (2014)
26. Delamarter RB, Bohlman HH: Postmortem osseous and neuropathologic analysis of the rheumatoid cervical spine. *Spine* 19: 2267-2274 (1994)
27. Donk RD, Fehlings MG, Verhagen WIM, Arnts H, Groenewoud H, Verbeek ALM, Bartels R: An assessment of the most reliable method to estimate the sagittal alignment of the cervical spine: analysis of a prospective cohort of 138 cases. *Journal of neurosurgery Spine* 26: 572-576 (2017)
28. Dreyer SJ, Boden SD: Natural history of rheumatoid arthritis of the cervical spine. *Clinical orthopaedics and related research*: 98-106 (1999)
29. Elliott RE, Tanweer O, Boah A, Morsi A, Ma T, Frempong-Boadu A, Smith ML: Outcome comparison of atlantoaxial fusion with transarticular screws and screw-rod constructs: meta-analysis and review of literature. *Journal of spinal disorders & techniques* 27: 11-28 (2014)
30. Elliott RE, Tanweer O, Boah A, Morsi A, Ma T, Smith ML, Frempong-Boadu A: Atlantoaxial fusion with screw-rod constructs: meta-analysis and review of literature. *World neurosurgery* 81: 411-421 (2014)
31. Falope ZF, Griffiths ID, Platt PN, Todd NV: Cervical myelopathy and rheumatoid arthritis: a retrospective analysis of management. *Clinical rehabilitation* 16: 625-629 (2002)

32. Ferrara LA: The biomechanics of cervical spondylosis. *Advances in orthopedics* 2012: 493605 (2012)
33. Fielding JW, Cochran G, Lawsing JF, 3rd, Hohl M: Tears of the transverse ligament of the atlas. A clinical and biomechanical study. *The Journal of bone and joint surgery American volume* 56: 1683-1691 (1974)
34. Gallie WE: Fractures and dislocations of the cervical spine. *The American Journal of Surgery* 46: 495-499 (1939)
35. Gillick JL, Wainwright J, Das K: Rheumatoid Arthritis and the Cervical Spine: A Review on the Role of Surgery. *International journal of rheumatology* 2015: 252456 (2015)
36. Gluf WM, Schmidt MH, Apfelbaum RI: Atlantoaxial transarticular screw fixation: a review of surgical indications, fusion rate, complications, and lessons learned in 191 adult patients. *Journal of neurosurgery Spine* 2: 155-163 (2005)
37. Gore DR, Sepic SB, Gardner GM: Roentgenographic findings of the cervical spine in asymptomatic people. *Spine* 11: 521-524 (1986)
38. Gottschalk A, Van Aken H, Zenz M, Standl T: Is anesthesia dangerous? *Deutsches Arzteblatt international* 108: 469-474 (2011)
39. Gottsche T, Kothe R, Adam G, Ruther W: Radiological diagnostics of cervical rheumatoid arthritis. *Zeitschrift für Rheumatologie* 63: 296-302 (2004)
40. Grob D: Surgical aspects of the cervical spine in rheumatoid arthritis. *Der Orthopäde* 33: 1201-1212, quiz 1213-1204 (2004)
41. Grob D, Crisco JJ, 3rd, Panjabi MM, Wang P, Dvorak J: Biomechanical evaluation of four different posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine* 17: 480-490 (1992)
42. Hansen MA, Kim HJ, Van Alstyne EM, Skelly AC, Fehlings MG: Does postsurgical cervical deformity affect the risk of cervical adjacent segment pathology? A systematic review. *Spine* 37: S75-84 (2012)
43. Hardacker JW, Shuford RF, Capicotto PN, Pryor PW: Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine* 22: 1472-1480; discussion 1480 (1997)
44. Harding IJ: Understanding sagittal balance with a clinical perspective. *European journal of physical and rehabilitation medicine* 45: 571-582 (2009)
45. Harrison DE, Harrison DD, Cailliet R, Troyanovich SJ, Janik TJ, Holland B: Cobb method or Harrison posterior tangent method: which to choose for lateral cervical radiographic analysis. *Spine* 25: 2072-2078 (2000)
46. Heyde CE, Weber U, Kayser R: Instability of the upper cervical spine due to rheumatism. *Der Orthopäde* 35: 270-287 (2006)
47. Huang JC, Qian BP, Qiu Y, Yu Y, Ni HB: Surgical overreduction and hyperlordotic fusion of C1-C2 joint are associated with cervical sagittal malalignment. *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 137: 1631-1639 (2017)
48. Iizuka H, Iizuka Y, Kobayashi R, Takechi Y, Nishinome M, Ara T, Sorimachi Y, Nakajima T, Takagishi K: Effect of a reduction of the atlanto-axial angle on the cranio-cervical and subaxial angles following atlanto-axial arthrodesis in rheumatoid arthritis. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 22: 1137-1141 (2013)
49. Iizuka H, Iizuka Y, Mieda T, Kobayashi R, Nishinome M, Ara T, Sorimachi Y, Nakajima T, Takagishi K: A Retrospective Analysis of Subaxial Subluxation After Atlanto-axial Arthrodesis in Patients With Rheumatoid Arthritis Based on Annual Radiographs Obtained for 5 Years. *Clinical spine surgery* 30: E598-e602 (2017)

50. Iizuka H, Iizuka Y, Mieda T, Tsunoda D, Kobayashi R, Sorimachi Y: The clinical outcomes of atlanto-axial arthrodesis in patients with rheumatoid arthritis - Assessment according to the Japanese Orthopaedic Association Cervical Myelopathy Evaluation Questionnaire (JOACMEQ). *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association* 22: 401-404 (2017)
51. Iizuka H, Shimizu T, Tateno K, Toda N, Edakuni H, Shimada H, Takagishi K: Extensor musculature of the cervical spine after laminoplasty: morphologic evaluation by coronal view of the magnetic resonance image. *Spine* 26: 2220-2226 (2001)
52. Iorio J, Lafage V, Lafage R, Henry JK, Stein D, Lenke LG, Gupta M, Kelly MP, Sides B, Kim HJ: The Effect of Aging on Cervical Parameters in a Normative North American Population. *Global spine journal* 8: 709-715 (2018)
53. Ishii K, Matsumoto M, Takahashi Y, Okada E, Watanabe K, Tsuji T, Takaishi H, Nakamura M, Toyama Y, Chiba K: Risk factors for development of subaxial subluxations following atlantoaxial arthrodesis for atlantoaxial subluxations in rheumatoid arthritis. *Spine* 35: 1551-1555 (2010)
54. Ito H, Neo M, Sakamoto T, Fujibayashi S, Yoshitomi H, Nakamura T: Subaxial subluxation after atlantoaxial transarticular screw fixation in rheumatoid patients. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 18: 869-876 (2009)
55. Janssen I, Shibani E, Meyer B: Cervical spine involvement in rheumatoid arthritis : Diagnostics and treatment of instability due to rheumatism. *Zeitschrift für Rheumatologie* 77: 889-895 (2018)
56. Jean L: Influence of age and sagittal balance of the spine on the value of the pelvic incidence. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 23: 1394-1399 (2014)
57. Joaquim AF, Appenzeller S: Cervical spine involvement in rheumatoid arthritis - a systematic review. *Autoimmunity reviews* 13: 1195-1202 (2014)
58. Jun HS, Chang IB, Song JH, Kim TH, Park MS, Kim SW, Oh JK: Is it possible to evaluate the parameters of cervical sagittal alignment on cervical computed tomographic scans? *Spine* 39: E630-636 (2014)
59. Jun HS, Kim JH, Ahn JH, Chang IB, Song JH, Kim TH, Park MS, Kim YC, Kim SW, Oh JK: T1 slope and degenerative cervical spondylolisthesis. *Spine* 40: E220-226 (2015)
60. Kaito T, Ohshima S, Fujiwara H, Makino T, Yonenobu K, Yoshikawa H: Incidence and risk factors for cervical lesions in patients with rheumatoid arthritis under the current pharmacologic treatment paradigm. *Modern rheumatology* 27: 593-597 (2017)
61. Kato Y, Itoh T, Kanaya K, Kubota M, Ito S: Relation between atlantoaxial (C1/2) and cervical alignment (C2-C7) angles with Magerl and Brooks techniques for atlantoaxial subluxation in rheumatoid arthritis. *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association* 11: 347-352 (2006)
62. Kauppi M, Neva MH: Sensitivity of lateral view cervical spine radiographs taken in the neutral position in atlantoaxial subluxation in rheumatic diseases. *Clinical rheumatology* 17: 511-514 (1998)
63. Kepler CK, Hilibrand AS: Management of adjacent segment disease after cervical spinal fusion. *The Orthopedic clinics of North America* 43: 53-62, viii (2012)

64. Kerschbaumer F, Kandziora F, Klein C, Mittlmeier T, Starker M: Transoral decompression, anterior plate fixation, and posterior wire fusion for irreducible atlantoaxial kyphosis in rheumatoid arthritis. *Spine* 25: 2708-2715 (2000)
65. Kerschbaumer F, Rittmeister M, Ewald W, Kandziora F: Atlanto-axial kyphosis. *Der Orthopäde* 30: 919-924 (2001)
66. Khalil N, Bizdikian AJ, Bakouny Z, Salameh M, Bou Zeid N, Yared F, Otayek J, Kharrat K, Kreichati G, Ghanem I, Lafage R, Lafage V, Obeid I, Assi A: Cervical and postural strategies for maintaining horizontal gaze in asymptomatic adults. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 27: 2700-2709 (2018)
67. Kim HS, Lee JB, Park JH, Lee HJ, Lee JJ, Dutta S, Kim IS, Hong JT: Risk factor analysis of postoperative kyphotic change in subaxial cervical alignment after upper cervical fixation. *Journal of neurosurgery Spine*: 1-6 (2019)
68. Kolen ER, Schmidt MH: Rheumatoid arthritis of the cervical spine. *Seminars in neurology* 22: 179-186 (2002)
69. Kothe R, Wiesner L, Ruther W: Rheumatoid arthritis of the cervical spine. Current concepts for diagnosis and therapy. *Der Orthopäde* 31: 1114-1122 (2002)
70. Kothe R, Wiesner L, Ruther W: Therapy of cervical rheumatoid arthritis. *Zeitschrift für Rheumatologie* 63: 303-311 (2004)
71. Kraus DR, Peppelman WC, Agarwal AK, DeLeeuw HW, Donaldson WF, 3rd: Incidence of subaxial subluxation in patients with generalized rheumatoid arthritis who have had previous occipital cervical fusions. *Spine* 16: S486-489 (1991)
72. Krauss WE, Bledsoe JM, Clarke MJ, Nottmeier EW, Pichelmann MA: Rheumatoid arthritis of the craniovertebral junction. *Neurosurgery* 66: 83-95 (2010)
73. Le Huec JC, Aunoble S, Philippe L, Nicolas P: Pelvic parameters: origin and significance. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 20 Suppl 5: 564-571 (2011)
74. Lee SH, Kim KT, Seo EM, Suk KS, Kwack YH, Son ES: The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults. *Journal of spinal disorders & techniques* 25: E41-47 (2012)
75. Lee SH, Son ES, Seo EM, Suk KS, Kim KT: Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society* 15: 705-712 (2015)
76. Legaye J, Duval-Beaupere G: Sagittal plane alignment of the spine and gravity: a radiological and clinical evaluation. *Acta orthopaedica Belgica* 71: 213-220 (2005)
77. Legaye J, Duval-Beaupere G: Gravitational forces and sagittal shape of the spine. Clinical estimation of their relations. *International orthopaedics* 32: 809-816 (2008)
78. Ma Z, Liu P, Liu J, Mou J, Wang Z, Sun D, Cheng J, Zhang D, Xiao J: Kinematic analysis of the relationship between Modic changes and sagittal balance parameters in the cervical spine. *Medicine* 96: e7699 (2017)
79. Mak PH, Campbell RC, Irwin MG: The ASA Physical Status Classification: inter-observer consistency. *American Society of Anesthesiologists. Anaesthesia and intensive care* 30: 633-640 (2002)

80. Mallory GW, Halasz SR, Clarke MJ: Advances in the treatment of cervical rheumatoid: Less surgery and less morbidity. *World journal of orthopedics* 5: 292-303 (2014)
81. Marques PM, Cacho-Rodrigues P, Ribeiro-Silva M, Linhares D, Negro P, Pinto R, Neves N: Surgical management of cervical spine instability in rheumatoid arthritis patients. *Acta reumatologica portuguesa* 40: 34-39 (2015)
82. McGraw RW, Rusch RM: Atlanto-axial arthrodesis. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 55: 482-489 (1973)
83. McRorie ER, McLoughlin P, Russell T, Beggs I, Nuki G, Hurst NP: Cervical spine surgery in patients with rheumatoid arthritis: an appraisal. *Annals of the rheumatic diseases* 55: 99-104 (1996)
84. Meyer B, Kuhlen D: Atlantoaxial fusion: transarticular screws versus screw-rod constructs. *World neurosurgery* 80: 516-517 (2013)
85. Mikulowski P, Wollheim FA, Rotmil P, Olsen I: Sudden death in rheumatoid arthritis with atlanto-axial dislocation. *Acta medica Scandinavica* 198: 445-451 (1975)
86. Mizutani J, Verma K, Endo K, Ishii K, Abumi K, Yagi M, Hosogane N, Yang J, Tay B, Deviren V, Ames C: Global Spinal Alignment in Cervical Kyphotic Deformity: The Importance of Head Position and Thoracolumbar Alignment in the Compensatory Mechanism. *Neurosurgery*: (2017)
87. Monsey RD: Rheumatoid Arthritis of the Cervical Spine. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 5: 240-248 (1997)
88. Mukai Y, Hosono N, Sakaura H, Fujii R, Iwasaki M, Fuchiya T, Fujiwara K, Fuji T, Yoshikawa H: Sagittal alignment of the subaxial cervical spine after C1-C2 transarticular screw fixation in rheumatoid arthritis. *Journal of spinal disorders & techniques* 20: 436-441 (2007)
89. Na MK, Chun HJ, Bak KH, Yi HJ, Ryu JI, Han MH: Risk Factors for the Development and Progression of Atlantoaxial Subluxation in Surgically Treated Rheumatoid Arthritis Patients, Considering the Time Interval between Rheumatoid Arthritis Diagnosis and Surgery. *Journal of Korean Neurosurgical Society* 59: 590-596 (2016)
90. Nagaria J, Kelleher MO, McEvoy L, Edwards R, Kamel MH, Bolger C: C1-C2 transarticular screw fixation for atlantoaxial instability due to rheumatoid arthritis: a seven-year analysis of outcome. *Spine* 34: 2880-2885 (2009)
91. Neva MH, Kaarela K, Kauppi M: Prevalence of radiological changes in the cervical spine--a cross sectional study after 20 years from presentation of rheumatoid arthritis. *The Journal of rheumatology* 27: 90-93 (2000)
92. Neva MH, Kauppi MJ, Kautiainen H, Luukkainen R, Hannonen P, Leirisalo-Repo M, Nissila M, Mottonen T: Combination drug therapy retards the development of rheumatoid atlantoaxial subluxations. *Arthritis and rheumatism* 43: 2397-2401 (2000)
93. Nguyen HV, Ludwig SC, Silber J, Gelb DE, Anderson PA, Frank L, Vaccaro AR: Rheumatoid arthritis of the cervical spine. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society* 4: 329-334 (2004)
94. Nolan JP, Jr., Sherk HH: Biomechanical evaluation of the extensor musculature of the cervical spine. *Spine* 13: 9-11 (1988)
95. Nunez-Pereira S, Hitzl W, Bullmann V, Meier O, Koller H: Sagittal balance of the cervical spine: an analysis of occipitocervical and spinopelvic interdependence, with C-7 slope as a marker of cervical and spinopelvic alignment. *Journal of neurosurgery Spine* 23: 16-23 (2015)

96. Ohara A, Miyamoto K, Naganawa T, Matsumoto K, Shimizu K: Reliabilities of and correlations among five standard methods of assessing the sagittal alignment of the cervical spine. *Spine* 31: 2585-2591; discussion 2592 (2006)
97. Oshima S, Sudo H, Ito M, Abumi K: Subaxial sagittal alignment after atlantoaxial fixation techniques. *Journal of spinal disorders & techniques* 28: E49-55 (2015)
98. Owens WD, Felts JA, Spitznagel EL, Jr.: ASA physical status classifications: a study of consistency of ratings. *Anesthesiology* 49: 239-243 (1978)
99. Park JH, Cho CB, Song JH, Kim SW, Ha Y, Oh JK: T1 Slope and Cervical Sagittal Alignment on Cervical CT Radiographs of Asymptomatic Persons. *Journal of Korean Neurosurgical Society* 53: 356-359 (2013)
100. Park MS, Moon SH, Lee HM, Kim SW, Kim TH, Lee SY, Riew KD: The effect of age on cervical sagittal alignment: normative data on 100 asymptomatic subjects. *Spine* 38: E458-463 (2013)
101. Passias PG, Wang S, Kozanek M, Wang S, Wang C: Relationship between the alignment of the occipitoaxial and subaxial cervical spine in patients with congenital atlantoaxial dislocations. *Journal of spinal disorders & techniques* 26: 15-21 (2013)
102. Pellicci PM, Ranawat CS, Tsairis P, Bryan WJ: A prospective study of the progression of rheumatoid arthritis of the cervical spine. *The Journal of bone and joint surgery American volume* 63: 342-350 (1981)
103. Pisitkun P, Pattarowas C, Siriwongpairat P, Totemchokchayakarn K, Nantiruj K, Janwityanujit S: Reappraisal of cervical spine subluxation in Thai patients with rheumatoid arthritis. *Clinical rheumatology* 23: 14-18 (2004)
104. Rana NA, Hancock DO, Taylor AR, Hill AG: Atlanto-axial subluxation in rheumatoid arthritis. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 55: 458-470 (1973)
105. Ranawat CS, O'Leary P, Pellicci P, Tsairis P, Marchisello P, Dorr L: Cervical spine fusion in rheumatoid arthritis. *The Journal of bone and joint surgery American volume* 61: 1003-1010 (1979)
106. Reiter MF, Boden SD: Inflammatory disorders of the cervical spine. *Spine* 23: 2755-2766 (1998)
107. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J: Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine* 30: 346-353 (2005)
108. Roussouly P, Nnadi C: Sagittal plane deformity: an overview of interpretation and management. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 19: 1824-1836 (2010)
109. Ryu JI, Han MH, Cheong JH, Kim JM, Kim CH, Chun HJ, Bak KH: The Effects of Clinical Factors and Retro-Odontoid Soft Tissue Thickness on Atlantoaxial Instability in Patients with Rheumatoid Arthritis. *World neurosurgery* 103: 364-370 (2017)
110. Scheer JK, Tang JA, Smith JS, Acosta FL, Jr., Protosaltis TS, Blondel B, Bess S, Shaffrey CI, Deviren V, Lafage V, Schwab F, Ames CP: Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications: a review. *Journal of neurosurgery Spine* 19: 141-159 (2013)
111. Schmitt-Sody M, Kirchhoff C, Buhmann S, Metz P, Birkenmaier C, Troullier H, Jansson V, Veihelmann A: Timing of cervical spine stabilisation and outcome in patients with rheumatoid arthritis. *International orthopaedics* 32: 511-516 (2008)

112. Schwab F, Lafage V, Boyce R, Skalli W, Farcy JP: Gravity line analysis in adult volunteers: age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. *Spine* 31: E959-967 (2006)
113. Schwab F, Lafage V, Patel A, Farcy JP: Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient. *Spine* 34: 1828-1833 (2009)
114. Schwab F, Patel A, Ungar B, Farcy JP, Lafage V: Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine* 35: 2224-2231 (2010)
115. Smith JS, Lafage V, Schwab FJ, Shaffrey CI, Protopsaltis T, Klineberg E, Gupta M, Scheer JK, Fu KM, Mundis G, Hostin R, Deviren V, Hart R, Burton DC, Bess S, Ames CP: Prevalence and type of cervical deformity among 470 adults with thoracolumbar deformity. *Spine* 39: E1001-1009 (2014)
116. Smith JS, Shaffrey CI, Lafage V, Blondel B, Schwab F, Hostin R, Hart R, O'Shaughnessy B, Bess S, Hu SS, Deviren V, Ames CP: Spontaneous improvement of cervical alignment after correction of global sagittal balance following pedicle subtraction osteotomy. *Journal of neurosurgery Spine* 17: 300-307 (2012)
117. Stagnara P, De Mauroy JC, Dran G, Gonon GP, Costanzo G, Dimnet J, Pasquet A: Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane: approach to references for the evaluation of kyphosis and lordosis. *Spine* 7: 335-342 (1982)
118. Steinbrocker O, Traeger CH, Batterman RC: Therapeutic criteria in rheumatoid arthritis. *Journal of the American Medical Association* 140: 659-662 (1949)
119. Sunahara N, Matsunaga S, Mori T, Ijiri K, Sakou T: Clinical course of conservatively managed rheumatoid arthritis patients with myelopathy. *Spine* 22: 2603-2607; discussion 2608 (1997)
120. Tan LA, Riew KD, Traynelis VC: Cervical Spine Deformity-Part 1: Biomechanics, Radiographic Parameters, and Classification. *Neurosurgery* 81: 197-203 (2017)
121. Tanouchi T, Shimizu T, Fueki K, Ino M, Toda N, Manabe N, Itoh K: Distal Junctional Disease after Occipitothoracic Fusion for Rheumatoid Cervical Disorders: Correlation with Cervical Spine Sagittal Alignment. *Global spine journal* 5: 372-377 (2015)
122. Toyama Y, Matsumoto M, Chiba K, Asazuma T, Suzuki N, Fujimura Y, Hirabayashi K: Realignment of postoperative cervical kyphosis in children by vertebral remodeling. *Spine* 19: 2565-2570 (1994)
123. Uei H, Tokuhashi Y, Maseda M: Radiographic and clinical outcomes of C1-C2 intra-articular screw fixation in patients with atlantoaxial subluxation. *Journal of orthopaedic surgery and research* 13: 273 (2018)
124. Vacanti CJ, VanHouten RJ, Hill RC: A statistical analysis of the relationship of physical status to postoperative mortality in 68,388 cases. *Anesthesia and analgesia* 49: 564-566 (1970)
125. Vanek P, Bradac O, de Lacy P, Pavelka K, Votavova M, Benes V: Treatment of atlanto-axial subluxation secondary to rheumatoid arthritis by short segment stabilization with polyaxial screws. *Acta neurochirurgica*: (2017)
126. Vesela M, Stetkarova I, Lisy J: Prevalence of C1/C2 involvement in Czech rheumatoid arthritis patients, correlation of pain intensity, and distance of ventral subluxation. *Rheumatology international* 26: 12-15 (2005)
127. Wang ZL, Xiao JL, Mou JH, Qin TZ, Liu P: Analysis of Cervical Sagittal Balance Parameters in MRIs of Patients with Disc-Degenerative Disease. *Medical*

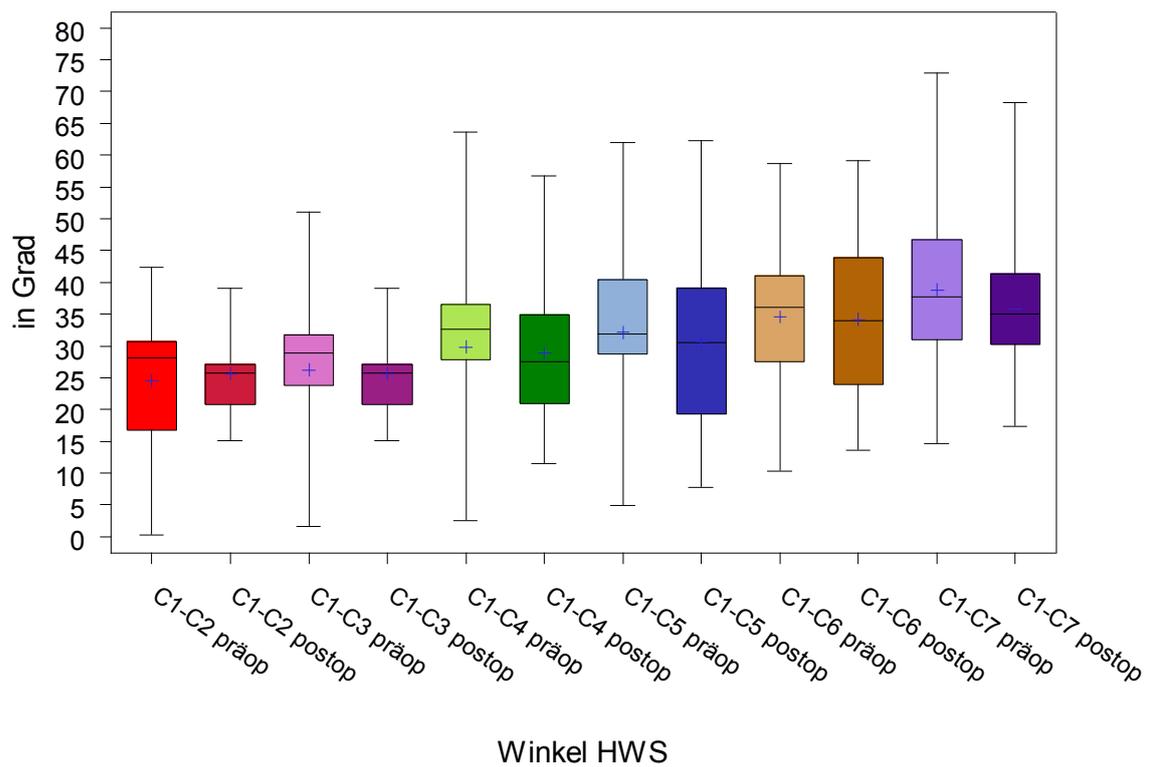
- science monitor : international medical journal of experimental and clinical research 21: 3083-3088 (2015)
128. Wasserman BR, Moskovich R, Razi AE: Rheumatoid arthritis of the cervical spine--clinical considerations. *Bulletin of the NYU hospital for joint diseases* 69: 136-148 (2011)
129. Weng C, Wang J, Tuchman A, Wang J, Fu C, Hsieh PC, Buser Z, Wang JC: Influence of T1 Slope on the Cervical Sagittal Balance in Degenerative Cervical Spine: An Analysis Using Kinematic MRI. *Spine* 41: 185-190 (2016)
130. Wolfs JF, Kloppenburg M, Fehlings MG, van Tulder MW, Boers M, Peul WC: Neurologic outcome of surgical and conservative treatment of rheumatoid cervical spine subluxation: a systematic review. *Arthritis and rheumatism* 61: 1743-1752 (2009)
131. Wolfs JF, Peul WC, Boers M, van Tulder MW, Brand R, van Houwelingen HJ, Thomeer RT: Rationale and design of The Delphi Trial--I(RCT)2: international randomized clinical trial of rheumatoid craniocervical treatment, an intervention-prognostic trial comparing 'early' surgery with conservative treatment [ISRCTN65076841]. *BMC musculoskeletal disorders* 7: 14 (2006)
132. Wolters U, Wolf T, Stutzer H, Schroder T: ASA classification and perioperative variables as predictors of postoperative outcome. *British journal of anaesthesia* 77: 217-222 (1996)
133. Yang BS, Lee SK, Song KS, Yoon SP, Jang G, Lee CC, Moon SH, Lee HM, Lee SH: The Use of T1 Sagittal Angle in Predicting Cervical Disc Degeneration. *Asian spine journal* 9: 757-761 (2015)
134. Yang M, Yang C, Ni H, Zhao Y, Li M: The Relationship between T1 Sagittal Angle and Sagittal Balance: A Retrospective Study of 119 Healthy Volunteers. *PloS one* 11: e0160957 (2016)
135. Yoshida G, Kamiya M, Yoshihara H, Kanemura T, Kato F, Yukawa Y, Ito K, Matsuyama Y, Sakai Y: Subaxial sagittal alignment and adjacent-segment degeneration after atlantoaxial fixation performed using C-1 lateral mass and C-2 pedicle screws or transarticular screws. *Journal of neurosurgery Spine* 13: 443-450 (2010)
136. Yoshida G, Kamiya M, Yukawa Y, Kanemura T, Imagama S, Matsuyama Y, Ishiguro N: Rheumatoid vertical and subaxial subluxation can be prevented by atlantoaxial posterior screw fixation. *European Spine Journal* 21: 2498-2505 (2012)
137. Yoshimoto H, Ito M, Abumi K, Kotani Y, Shono Y, Takada T, Minami A: A retrospective radiographic analysis of subaxial sagittal alignment after posterior C1-C2 fusion. *Spine* 29: 175-181 (2004)
138. Yukawa Y, Kato F, Suda K, Yamagata M, Ueta T: Age-related changes in osseous anatomy, alignment, and range of motion of the cervical spine. Part I: Radiographic data from over 1,200 asymptomatic subjects. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 21: 1492-1498 (2012)
139. Yurube T, Sumi M, Nishida K, Miyamoto H, Kohyama K, Matsubara T, Miura Y, Sugiyama D, Doita M: Incidence and aggravation of cervical spine instabilities in rheumatoid arthritis: a prospective minimum 5-year follow-up study of patients initially without cervical involvement. *Spine* 37: 2136-2144 (2012)
140. Yurube T, Sumi M, Nishida K, Takabatake M, Kohyama K, Matsubara T, Ozaki T, Maeno K, Kakutani K, Zhang Z, Doita M: Progression of cervical spine

instabilities in rheumatoid arthritis: a prospective cohort study of outpatients over 5 years. Spine 36: 647-653 (2011)  
141. Zeidman SM, Ducker TB: Rheumatoid arthritis. Neuroanatomy, compression, and grading of deficits. Spine 19: 2259-2266 (1994)

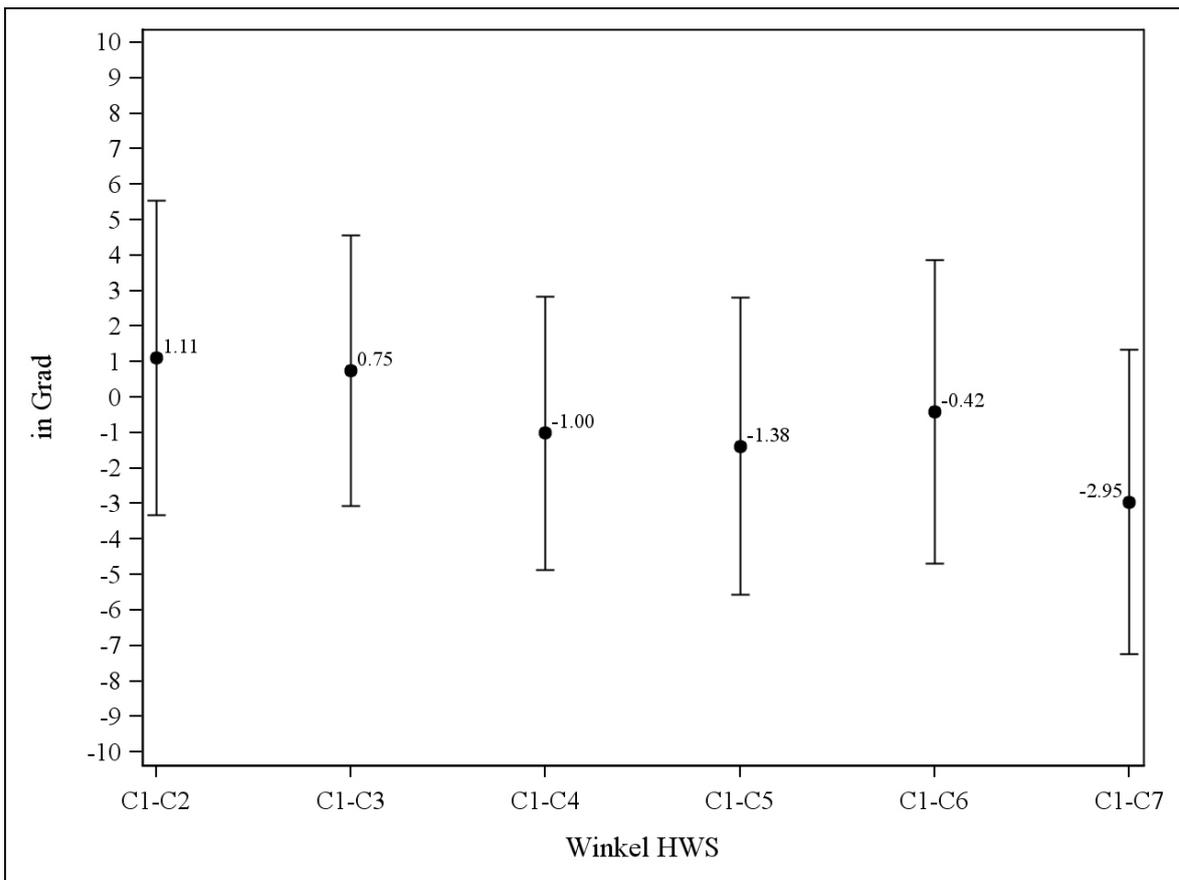
## Anhang

**Tabelle 9:** Statistische Auswertung der Differenz (postoperativ - präoperativ) der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Messung der Winkel C1-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; Max = Maximum; Min = Minimum; MW = Mittelwert; N = Zahl der Patienten; p = p-Wert des t-Test; SD = standard deviation = Standardabweichung; 95 %-KI = 95 %-Konfidenzintervall)

Winkel	N	MW	SD	Min	Max	95 %-KI		p
C1-C2	20	1,11°	9,49°	-15,65°	18,11°	-3,33°	5,55°	0,607
C1-C3	20	0,75°	8,14°	-13,71°	16,36°	-3,06°	4,56°	0,685
C1-C4	20	-1,00°	8,23°	-15,27°	10,96°	-4,86°	2,85°	0,592
C1-C5	20	-1,38°	8,97°	-16,32°	21,97°	-5,58°	2,82°	0,500
C1-C6	20	-0,42°	9,13°	-18,16°	19,52°	-4,69°	3,85°	0,839
C1-C7	17	-2,95°	8,34°	-19,57°	10,42°	-7,24°	1,34°	0,164



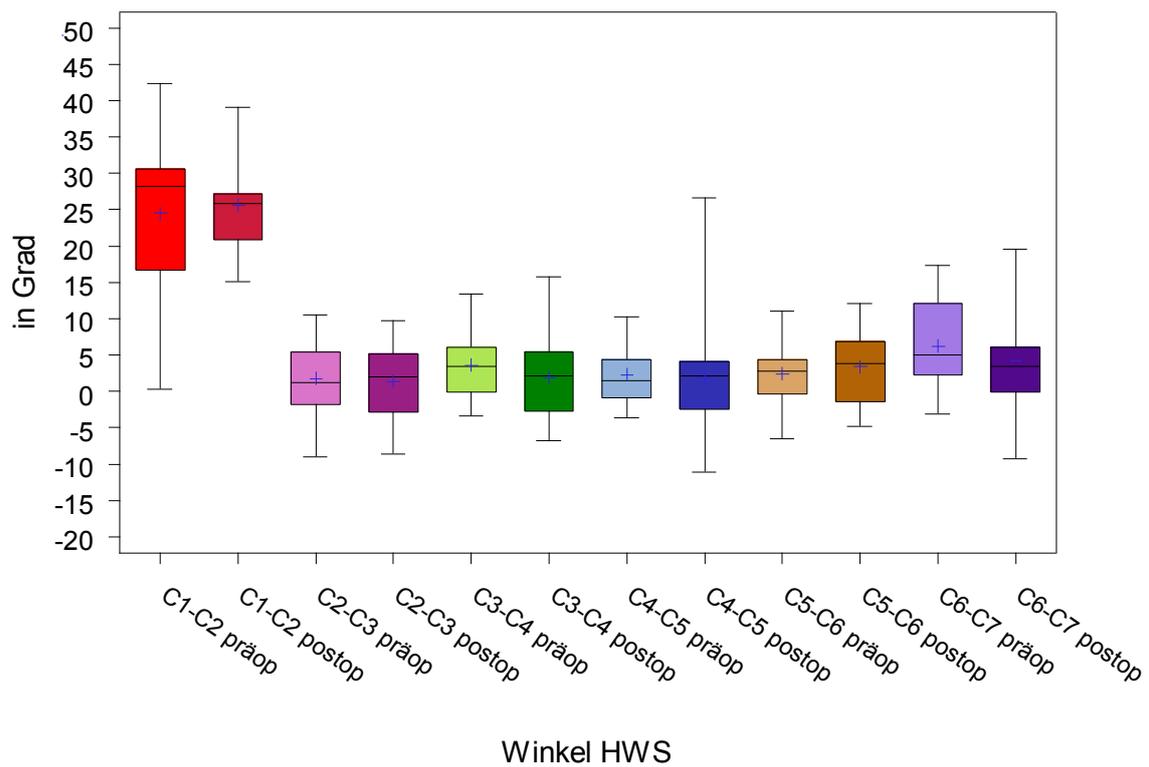
**Abbildung 6:** Ergebnisdarstellung der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral mit Box-Plots der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Messung der Winkel C1-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; HWS = Halswirbelsäule; postop = postoperativ; präop = präoperativ)



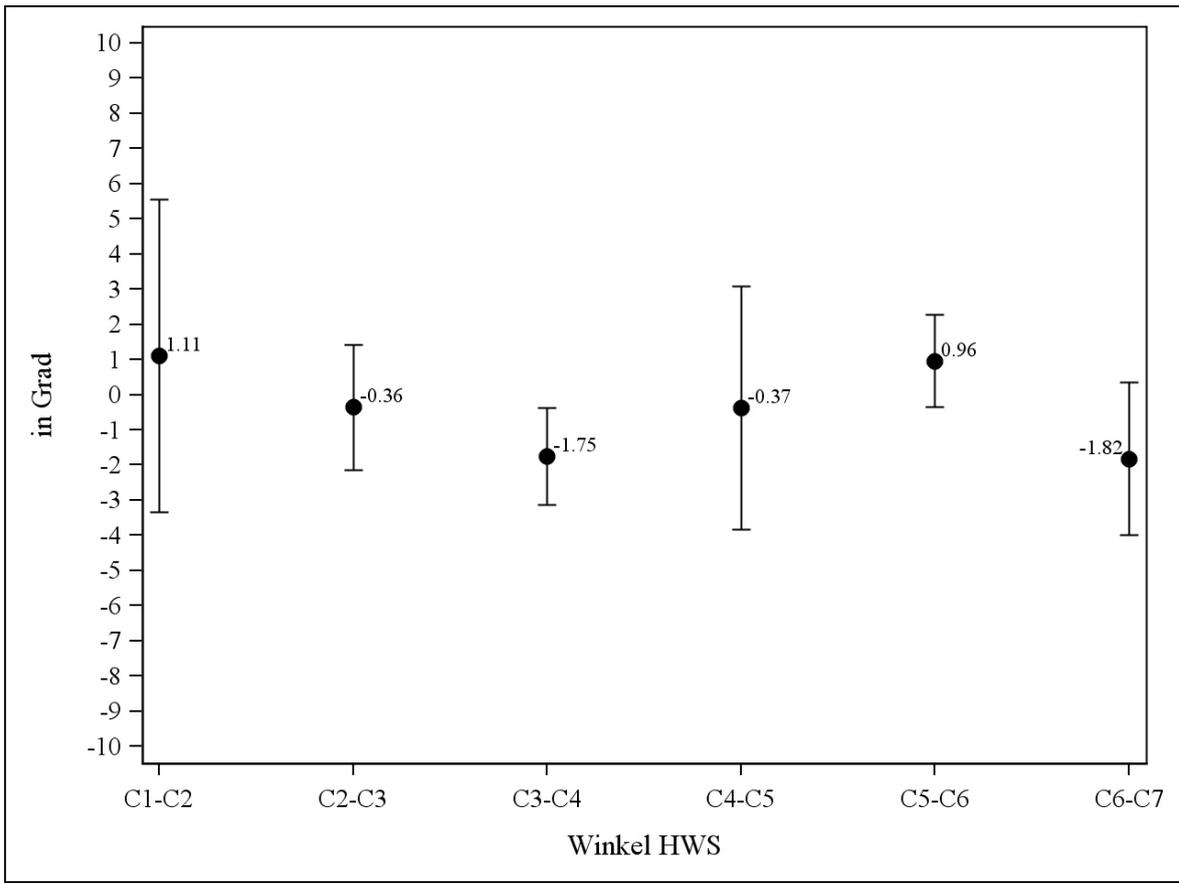
**Abbildung 7:** Ergebnisdarstellung der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral mit 95 %-Konfidenzintervallen von den Mittelwerten der Differenzen der postoperativen und präoperativen Messungen der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Messung der Winkel C1-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; HWS = Halswirbelsäule)

**Tabelle 10:** Statistische Auswertung der Differenz (postoperativ - präoperativ) der segmentalen Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Winkel C6-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; Max = Maximum; Min = Minimum; MW = Mittelwert; N = Zahl der Patienten; p = p-Wert des t-Test; SD = standard deviation = Standardabweichung; 95 %-KI = 95 %-Konfidenzintervall)

Winkel	N	MW	SD	Min	Max	95 %-KI		p
C1-C2	20	1,11°	9,49°	-15,65°	18,11°	-3,33°	5,55°	0,607
C2-C3	20	-0,36°	3,80°	-8,00°	4,99°	-2,14°	1,42°	0,676
C3-C4	20	-1,75°	2,93°	-7,39°	2,93°	-3,12°	-0,39°	0,015
C4-C5	20	-0,37°	7,38°	-9,49°	23,36°	-3,83°	3,08°	0,824
C5-C6	20	0,96°	2,81°	-3,35°	6,76°	-0,36°	2,28°	0,144
C6-C7	17	-1,82°	4,23°	-11,64°	3,65°	-4,00°	0,36°	0,095



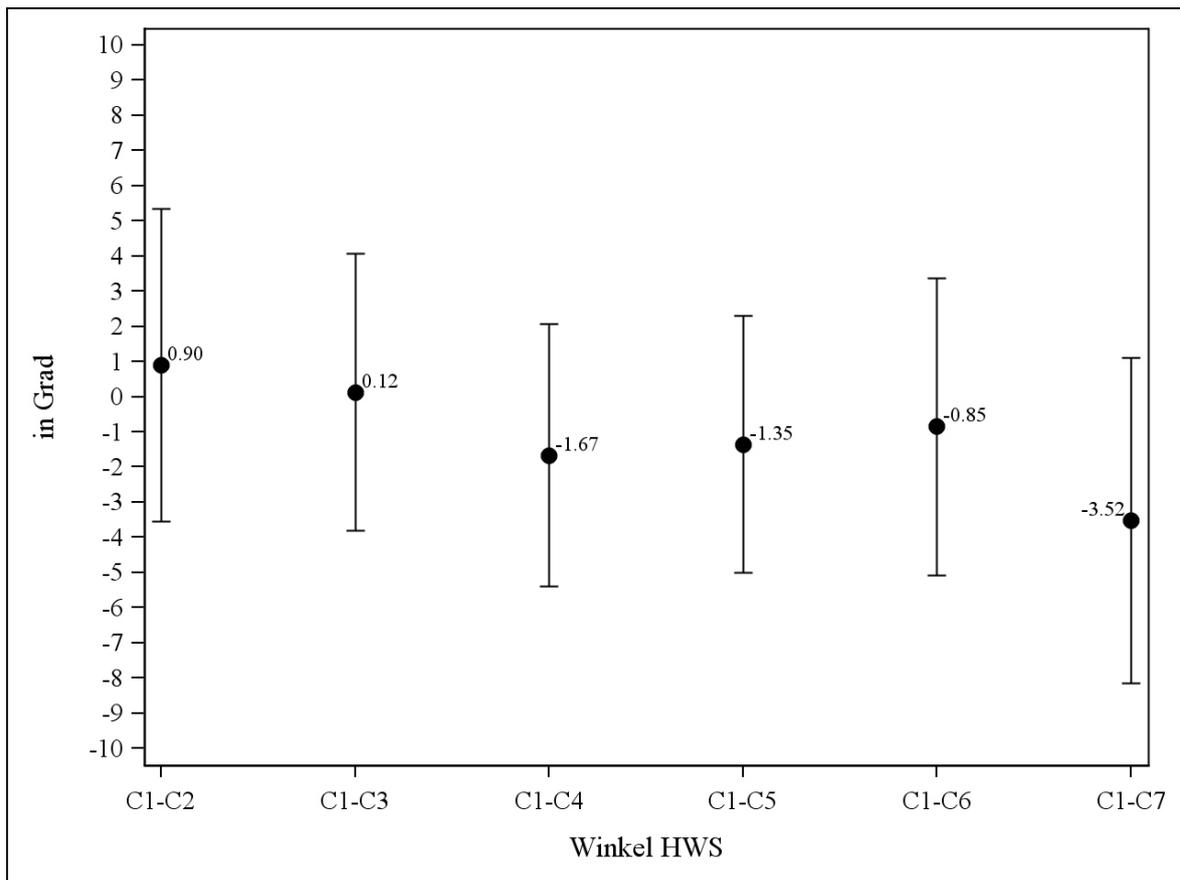
**Abbildung 8:** Ergebnisdarstellung der segmentalen Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral mit Box-Plots der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Winkel C6-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; HWS = Halswirbelsäule; postop = postoperativ; präop = präoperativ)



**Abbildung 9:** Ergebnisdarstellung der segmentalen Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral mit 95 %-Konfidenzintervallen von den Mittelwerten der Differenzen der postoperativen und präoperativen Winkel der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Winkel C6-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; HWS = Halswirbelsäule)

**Tabelle 11:** Statistische Auswertung der Differenz (postoperativ - präoperativ) der Cobb-Winkel/Kontrollmessungen der Halswirbelsäule lateral (Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Messung der Winkel C1-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; Max = Maximum; Min = Minimum; MW = Mittelwert; N = Zahl der Patienten; p = p-Wert des t-Test; SD = standard deviation = Standardabweichung; 95 %-KI = 95 %-Konfidenzintervall)

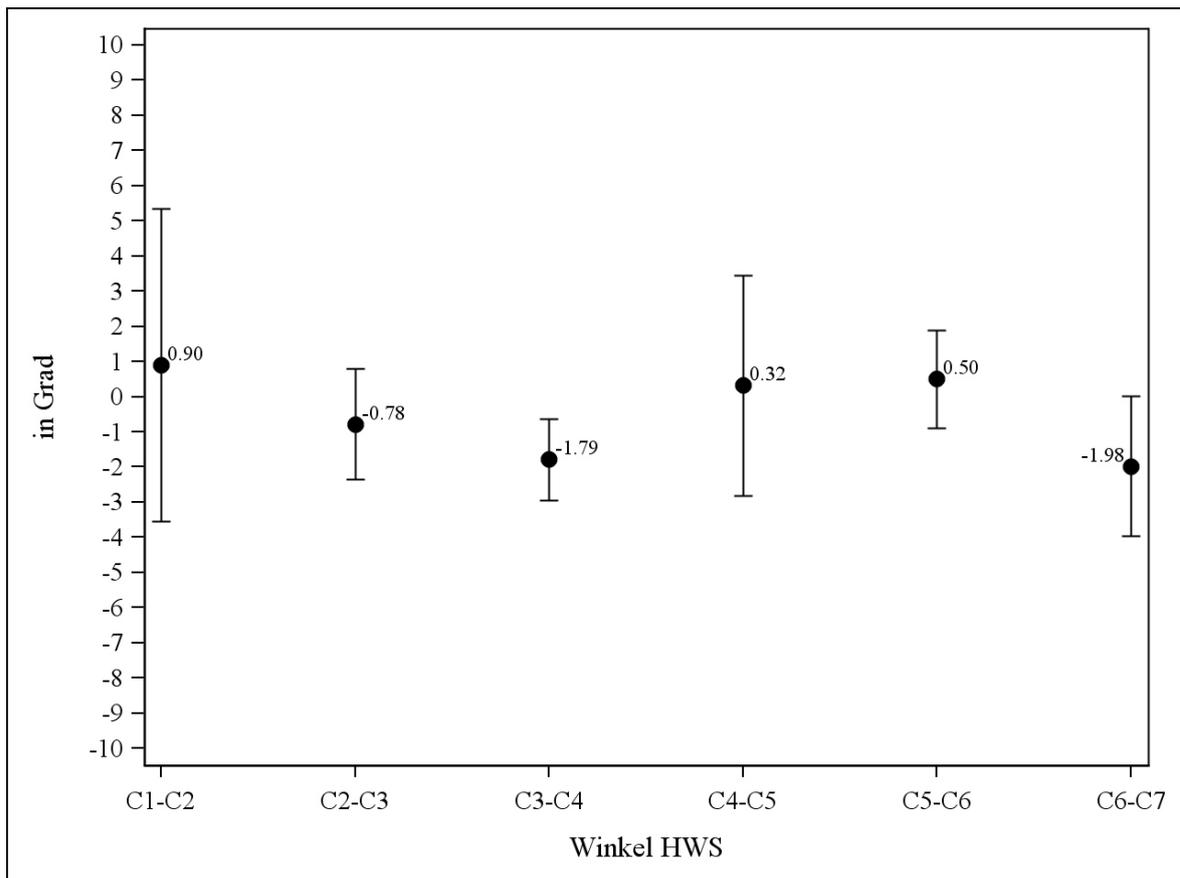
Winkel	N	MW	SD	Min	Max	95 %-KI		p
C1-C2	20	0,90°	9,52°	-16,66°	19,65°	-3,55°	5,36°	0,676
C1-C3	20	0,12°	8,43°	-15,73°	16,73°	-3,82°	4,07°	0,948
C1-C4	20	-1,67°	7,99°	-16,56°	13,36°	-5,41°	2,07°	0,362
C1-C5	20	-1,35°	7,81°	-15,67°	16,12°	-5,00°	2,30°	0,448
C1-C6	20	-0,85°	9,04°	-19,89°	17,50°	-5,08°	3,38°	0,679
C1-C7	17	-3,52°	9,00°	-19,87°	10,10°	-8,15°	1,10°	0,126



**Abbildung 10:** Ergebnisdarstellung der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral mit 95 %-Konfidenzintervallen von den Mittelwerten der Differenzen der postoperativen und präoperativen Kontrollmessungen (Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Messung der Winkel C1-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; HWS = Halswirbelsäule)

**Tabelle 12:** Statistische Auswertung der Differenz (postoperativ - präoperativ) der segmentalen Cobb-Winkel/Kontrollwinkel der Halswirbelsäule lateral (Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Winkel C6-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; Max = Maximum; Min = Minimum; MW = Mittelwert; N = Zahl der Patienten; p = p-Wert des t-Test; SD = standard deviation = Standardabweichung; 95 %-KI = 95 %-Konfidenzintervall)

Winkel	N	MW	SD	Min	Max	95 %-KI		p
C1-C2	20	0,90°	9,52°	-16,66°	19,65°	-3,55°	5,36°	0,676
C2-C3	20	-0,78°	3,36°	-7,92°	3,86°	-2,35°	0,79°	0,312
C3-C4	20	-1,79°	2,49°	-8,84°	2,89°	-2,96°	-0,63°	0,005
C4-C5	20	0,32°	6,71°	-9,12°	20,34°	-2,83°	3,46°	0,835
C5-C6	20	0,50°	2,98°	-5,15°	6,27°	-0,90°	1,90°	0,463
C6-C7	17	-1,98°	3,87°	-8,67°	3,56°	-3,97°	0,01°	0,051



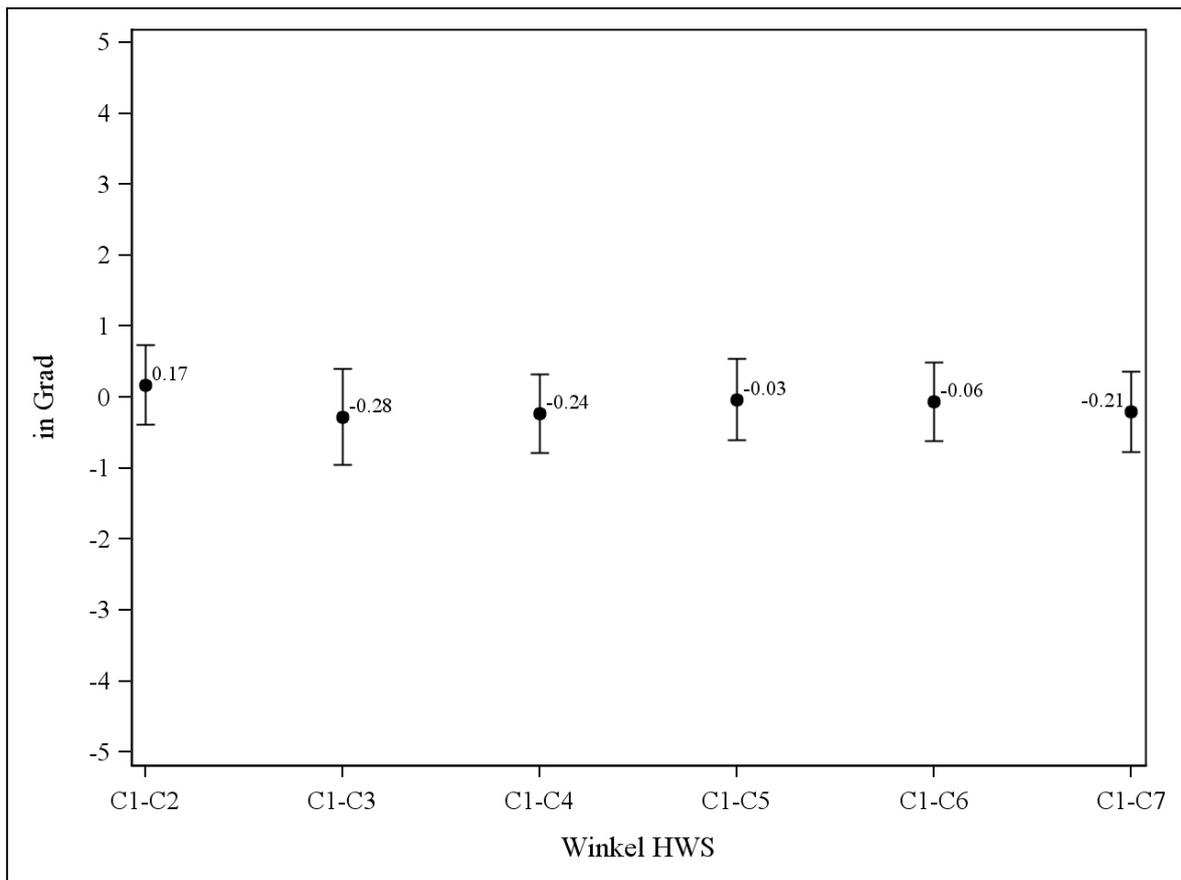
**Abbildung 11:** Ergebnisdarstellung der segmentalen Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral mit 95 %-Konfidenzintervallen von den Mittelwerten der Differenzen der postoperativen und präoperativen Kontrollwinkel (Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Winkel C6-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; HWS = Halswirbelsäule)

**Tabelle 13:** Statistische Auswertung der Differenz der Cobb-Winkel der präoperativen Messungen und präoperativen Kontrollmessungen (erste und zweite Messung) der Halswirbelsäule lateral (Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Messung der Winkel C1-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; Max = Maximum; Min = Minimum; MW = Mittelwert; N = Zahl der Patienten; p = p-Wert des t-Test; PCC = Pearson's Correlation Coefficient = Korrelationskoeffizient nach Pearson; SD = standard deviation = Standardabweichung; 95 %-KI = 95 %-Konfidenzintervall)

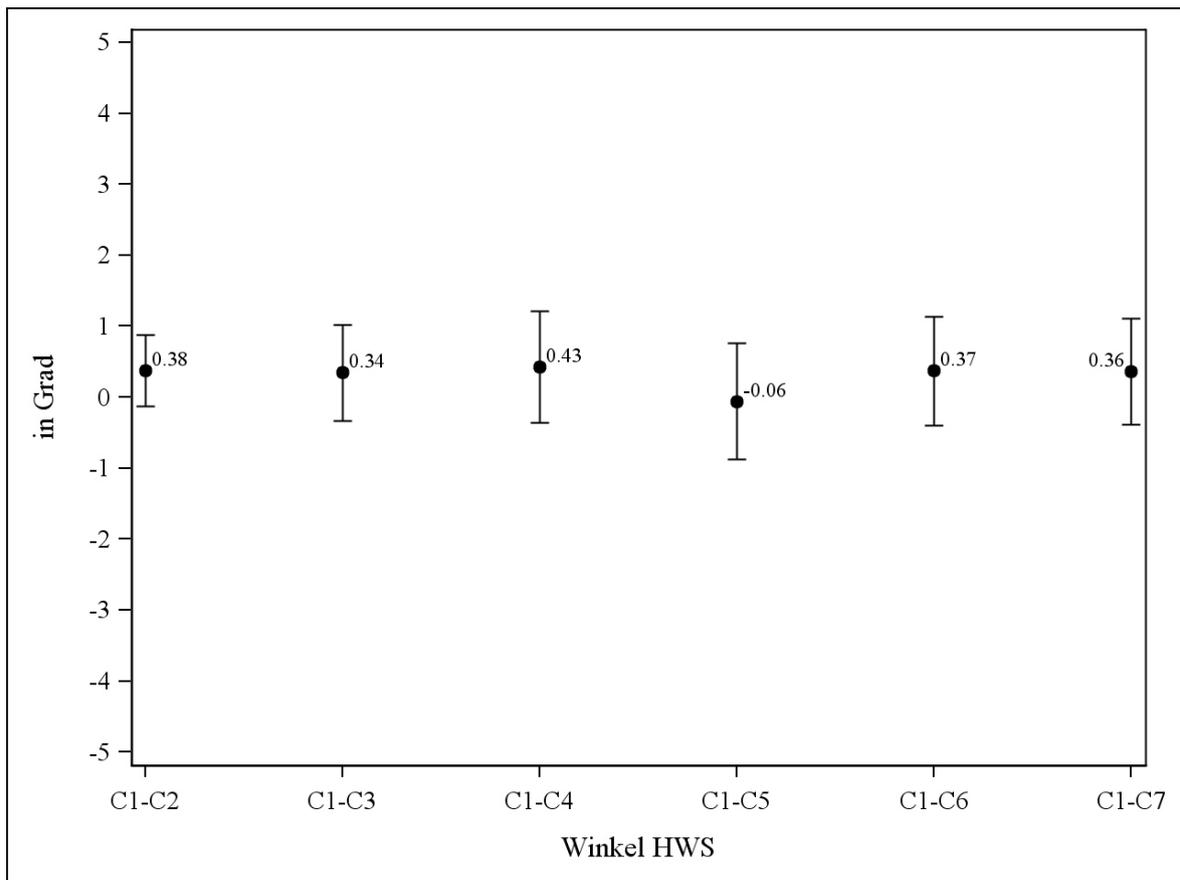
Winkel	N	MW	SD	Min	Max	95 %-KI		p	PCC
C1-C2	20	0,17°	1,20°	-1,98°	2,45°	-0,39°	0,73°	0,530	0,994
C1-C3	20	-0,28°	1,45°	-3,27°	1,47°	-0,96°	0,40°	0,397	0,994
C1-C4	20	-0,24°	1,18°	-3,14°	1,62°	-0,79°	0,32°	0,382	0,997
C1-C5	20	-0,03°	1,22°	-2,23°	2,08°	-0,61°	0,54°	0,905	0,997
C1-C6	20	-0,06°	1,20°	-2,13°	2,52°	-0,62°	0,50°	0,816	0,997
C1-C7	17	-0,21°	1,10°	-1,61°	1,98°	-0,78°	0,36°	0,444	0,997

**Tabelle 14:** Statistische Auswertung der Differenz der Cobb-Winkel der postoperativen Messungen und postoperativen Kontrollmessungen (erste und zweite Messung) der Halswirbelsäule lateral (Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Messung der Winkel C1-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; Max = Maximum; Min = Minimum; MW = Mittelwert; N = Zahl der Patienten; p = p-Wert des t-Test; PCC = Pearson's Correlation Coefficient = Korrelationskoeffizient nach Pearson; SD = standard deviation = Standardabweichung; 95 %-KI = 95 %-Konfidenzintervall)

Winkel	N	MW	SD	Min	Max	95 %-KI		p	PCC
C1-C2	20	0,38°	1,07°	-2,25°	3,09°	-0,13°	0,88°	0,132	0,986
C1-C3	20	0,34°	1,45°	-2,80°	3,50°	-0,33°	1,02°	0,301	0,984
C1-C4	20	0,43°	1,69°	-3,95°	3,61°	-0,36°	1,22°	0,273	0,988
C1-C5	20	-0,06°	1,75°	-2,92°	4,31°	-0,88°	0,76°	0,880	0,992
C1-C6	20	0,37°	1,65°	-3,82°	4,44°	-0,40°	1,14°	0,330	0,992
C1-C7	17	0,36°	1,45°	-3,28°	2,80°	-0,38°	1,11°	0,318	0,993



**Abbildung 12:** Ergebnisdarstellung der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral mit 95 %-Konfidenzintervallen von den Mittelwerten der Differenzen der präoperativen Messungen und präoperativen Kontrollmessungen (erste und zweite Messung; Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Messung der Winkel C1-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; HWS = Halswirbelsäule)



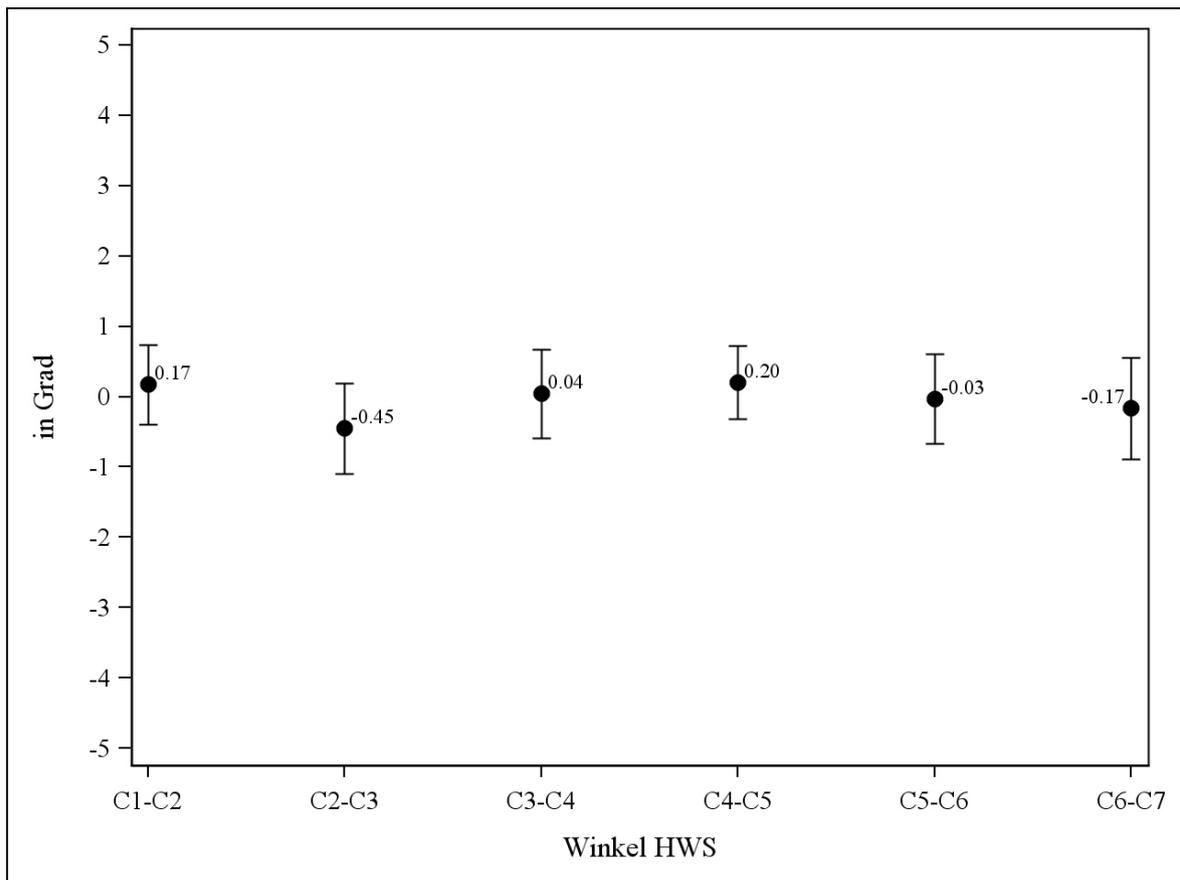
**Abbildung 13:** Ergebnisdarstellung der Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral mit 95 %-Konfidenzintervallen von den Mittelwerten der Differenzen der postoperativen Messungen und postoperativen Kontrollmessungen (erste und zweite Messung; Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Messung der Winkel C1-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; HWS = Halswirbelsäule)

**Tabelle 15:** Statistische Auswertung der Differenz der segmentalen Cobb-Winkel der präoperativen Messungen und präoperativen Kontrollmessungen (erste und zweite Messung) der Halswirbelsäule lateral (Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Winkel C6-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; Max = Maximum; Min = Minimum; MW = Mittelwert; N = Zahl der Patienten; p = p-Wert des t-Test; PCC = Pearson's Correlation Coefficient = Korrelationskoeffizient nach Pearson; SD = standard deviation = Standardabweichung; 95 %-KI = 95 %-Konfidenzintervall)

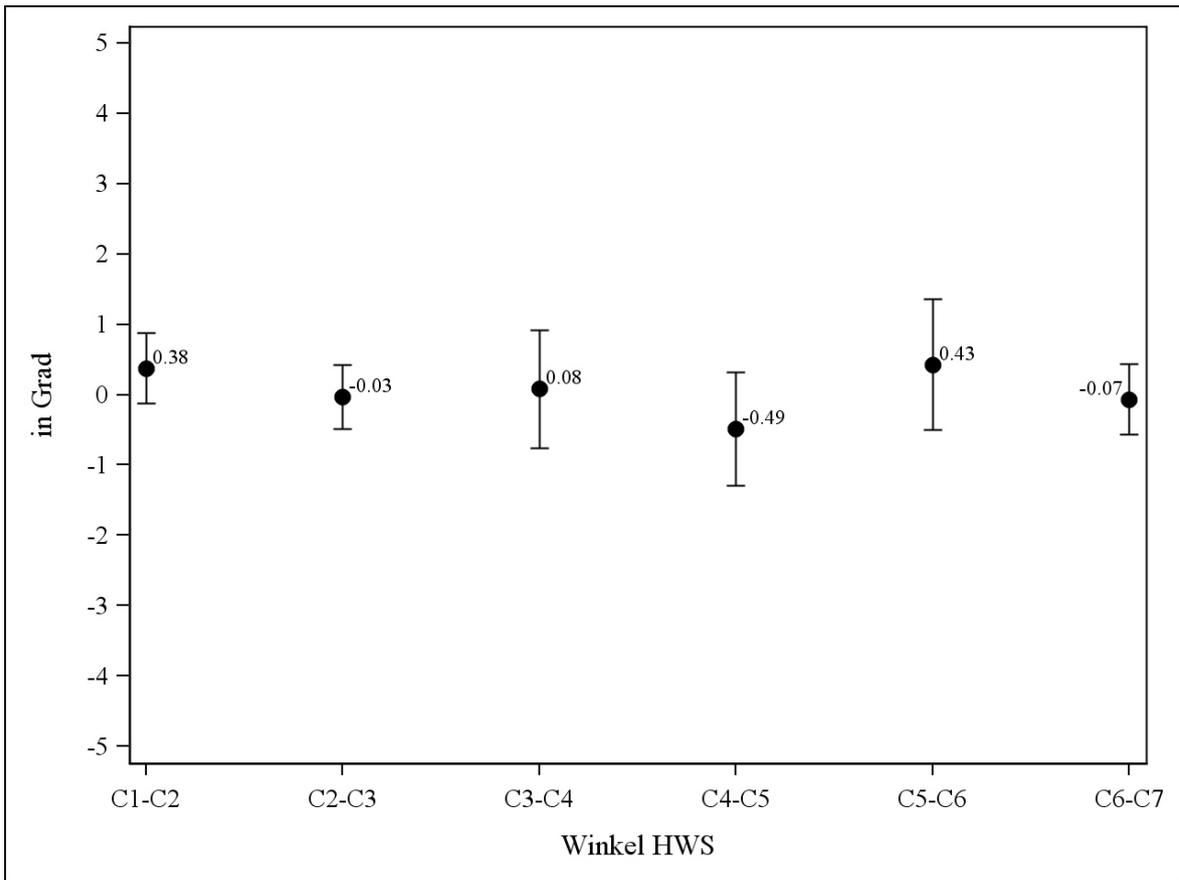
Winkel	N	MW	SD	Min	Max	95 %-KI		p	PCC
C1-C2	20	0,17°	1,20°	-1,98°	2,45°	-0,39°	0,73°	0,530	0,994
C2-C3	20	-0,45°	1,37°	-3,52°	1,96°	-1,09°	0,19°	0,155	0,961
C3-C4	20	0,04°	1,34°	-2,80°	3,18°	-0,59°	0,67°	0,886	0,963
C4-C5	20	0,20°	1,10°	-2,12°	2,12°	-0,31°	0,72°	0,418	0,967
C5-C6	20	-0,03°	1,36°	-2,37°	3,47°	-0,67°	0,61°	0,923	0,951
C6-C7	17	-0,17°	1,40°	-2,93°	2,89°	-0,89°	0,56°	0,633	0,980

**Tabelle 16:** Statistische Auswertung der Differenz der segmentalen Cobb-Winkel der postoperativen Messungen und postoperativen Kontrollmessungen (erste und zweite Messung) der Halswirbelsäule lateral (Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Winkel C6-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; Max = Maximum; Min = Minimum; MW = Mittelwert; N = Zahl der Patienten; p = p-Wert des t-Test; PCC = Pearson's Correlation Coefficient = Korrelationskoeffizient nach Pearson; SD = standard deviation = Standardabweichung; 95 %-KI = 95 %-Konfidenzintervall)

Winkel	N	MW	SD	Min	Max	95 %-KI		p	PCC
C1-C2	20	0,38°	1,07°	-2,25°	3,09°	-0,13°	0,88°	0,132	0,986
C2-C3	20	-0,03°	0,96°	-2,42°	1,43°	-0,48°	0,42°	0,880	0,983
C3-C4	20	0,08°	1,79°	-2,55°	4,11°	-0,76°	0,92°	0,841	0,949
C4-C5	20	-0,49°	1,72°	-3,92°	3,52°	-1,29°	0,32°	0,222	0,982
C5-C6	20	0,43°	1,99°	-3,20°	6,23°	-0,50°	1,36°	0,347	0,923
C6-C7	17	-0,07°	0,98°	-1,64°	1,35°	-0,57°	0,44°	0,787	0,996



**Abbildung 14:** Ergebnisdarstellung der segmentalen Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral mit 95 %-Konfidenzintervallen von den Mittelwerten der Differenzen der präoperativen Winkel und präoperativen Kontrollwinkel (erste und zweite Messung; Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Winkel C6-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; HWS = Halswirbelsäule)



**Abbildung 15:** Ergebnisdarstellung der segmentalen Cobb-Winkel der Halswirbelsäule lateral mit 95 %-Konfidenzintervallen von den Mittelwerten der Differenzen der postoperativen Winkel und postoperativen Kontrollwinkel (erste und zweite Messung; Reliabilitätsprüfung) der in die Studie eingeschlossenen 20 Patienten, die von Januar 1995 bis April 2008 in der Klinik für Orthopädie des Universitätsklinikums Ulm mit atlantoaxialer Spondylodese bei rheumatischer Instabilität operiert wurden. Für die Winkel C6-C7 standen nur 17 Patienten zur Verfügung bei nicht durchführbarer Messung am siebten Halswirbel bei 3 Patienten. (Cx-Cy = Halswirbel x bis Halswirbel y; HWS = Halswirbelsäule)

## **Danksagung**

Die Danksagung wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt.

## **Lebenslauf**

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt.