

**Veränderung der Hämodynamik der
A. vertebralis in verschiedenen
Kopfpositionen**

Untersuchung durch Ultraschall
Doppler Sonographie

Master Thesis zur Erlangung des Grades
Master of Science in Osteopathie

an der **Donau Universität Krems –
Zentrum für chin. Medizin & Komplementärmedizin**

niedergelegt
an der **Wiener Schule für Osteopathie**

von ***Klaus Georg Petautschnig***

Guttaring, Mai 2011

Betreut von *Mag. Claudia Gamsjäger*

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorgelegte Masterthese selbständig verfasst zu haben.

Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer übernommen wurden, wurden als solche gekennzeichnet. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit genutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt weder im In- noch im Ausland noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Diese Arbeit stimmt mit der von dem/der Gutachter/in beurteilten Arbeit überein.

Datum

Unterschrift

Abstract (Deutsch)

Hintergrund: In der Osteopathie wird der De Kleyn Test als Sicherheitstest vor einer zervikalen Manipulation durchgeführt. In Hinblick auf die Hämodynamik der A.

vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen existieren unterschiedliche Meinungen.

Ziel: Ziel ist es, Veränderungen der Hämodynamik während der De Kleyn Position, der endgradigen Rotation und pre-manipulativen Position von C3/C4 zu untersuchen.

Methode: Es werden 23 freiwillige und gesunde Probanden ohne Risikofaktoren im Alter zwischen 20 und 45 Jahren ausgewählt und in Rückenlage an der A. vertebralis in Nullstellung, in endgradiger Rotation, in endgradiger Position des De Kleyn Tests und in pre-manipulativer Position von C3/C4 untersucht. Es werden die maximale Blutflussgeschwindigkeit und der Durchmesser der kontralateralen A. vertebralis in der eingenommenen Kopfposition gemessen und das Blutvolumen daraus bestimmt. Die Probanden werden einmalig in Rückenlage in der jeweiligen Kopfposition auf Höhe von C3/C4 mit dem Ultraschallgerät Vivit 7 Pro mit einem Linearschallkopf mit 10 MHz untersucht, und die Messungen der Hämodynamik der A. vertebralis werden winkelkorrigiert durchgeführt.

Ergebnisse: In der De Kleyn Position kommt es zu keiner signifikanten Veränderung der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der rechten A. vertebralis ($p=0,66$) und linken A. vertebralis ($p=0,47$). Im Gegensatz dazu, kommt es in endgradiger Rotation zu einer signifikanten Reduktion der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit der rechten A. vertebralis ($p=0,001$) und linken A. vertebralis ($p=0,002$), sowie zu einer signifikanten Reduktion der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit der rechten A. vertebralis ($p=0,009$) und zu einer deutlichen Abnahme der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit der linken A. vertebralis ($p=0,09$) in pre-manipulativer Position von C3/C4.

Diskussion: Es wird ein signifikanter und deutlicher Einfluss der endgradigen Rotation und der pre-manipulativen Position beidseits und das Fehlen eines signifikanten Effekts der endgradigen De Kleyn Position auf den Blutfluss der A. vertebralis bestätigt. Die De Kleyn Position als Sicherheitstest wird hinterfragt.

Stichworte: A. vertebralis, Blutflussgeschwindigkeit, De Kleyn Test, Halswirbelsäule, Manipulation

Abstract (English)

Background: Before a cervical manipulation is executed in the osteopathic practice the De Kleyn test is carried out as safety test. However, different opinions exist with regard to haemodynamics of the vertebral artery in different positions of the head.

Aim: The aim of this study is to evaluate changes in haemodynamics during the De Kleyn position, end-of-range rotation and the pre-manipulative position for C3/C4.

Method: 23 healthy volunteers without risk factors aged between 20 and 45 years are selected as test persons and their vertebral artery is examined in the neutral position of the head, in end-of-range rotation, in the end-of-range position of the De Kleyn test and in the pre-manipulative position for C3/C4. The maximum speed of blood flow and the diameter of the contralateral vertebral artery during the different head positions are measured and the volume of blood flow is also established. On one occasion the test persons are examined in the supine position and in the different head positions with the ultrasonic device Vivit 7 Pro with a linear transducer with 10MHz at the level of C3/C4. The measurements of the haemodynamics of the vertebral artery are carried out with angle correction.

Results: In the De Kleyn position no significant change in the maximum speed of blood flow of the right ($p=0.66$) and left vertebral artery ($p=0.47$) can be observed. In contrast, the end-of-range rotation provokes a significant reduction of the maximum speed of contra-lateral blood flow of the right ($p=0.001$) and left vertebral artery ($p=0.002$). Also the pre-manipulative position for C3/C4 ensues a significant reduction of the maximum contra-lateral speed of blood flow of the right vertebral artery ($p=0.009$) and a clear decrease of the maximum contra-lateral speed of blood flow of the left vertebral artery ($p=0.09$).

Discussion: A significant and obvious influence of the end-of-range rotation and the pre-manipulative position can be observed on both sides, while the end-of-range De Kleyn position does not have a significant influence on the blood flow of the vertebral artery. Thus the value of the De Kleyn position as safety test needs to be questioned.

Key words: vertebral artery, speed of blood flow, De Kleyn test, cervical spine, manipulation

Inhaltsverzeichnis

ABSTRACT (DEUTSCH).....	3
ABSTRACT (ENGLISH)	4
INHALTSVERZEICHNIS	5
1 EINLEITUNG.....	9
2 THEORIE	10
2.1 PROBLEMAUFRISS.....	10
2.2 RELEVANZ.....	15
2.3 ENTWICKLUNG UND STELLENWERT DER HALSWIRBELSÄULE	17
2.4 DOPPLER SONOGRAPHIE.....	20
2.5 HÄMODYNAMISCHE ASPEKTE UND VERBINDUNGEN	21
2.5.1 Blutflussgeschwindigkeit.....	22
2.5.2 Blutflussvolumen.....	23
2.5.3 Korrelation Blutfluss und Blutdruck.....	24
2.6 A. VERTEBRALIS TEST NACH DE KLEYN	25
2.7 PATHOLOGIE UND FOLGEN	27
2.7.1 Arteriosklerose in der A. vertebralis.....	27
2.7.2 Dissektion der A. vertebralis	28
3 METHODIK	31
3.1 BESCHREIBUNG DER METHODIK.....	31
3.2 FORSCHUNGSFRAGE UND HYPOTHESEN	35
3.2.1 Arbeitshypothese 1	35
3.2.2 Nullhypothese 1	35
3.2.3 Arbeitshypothese 2	35
3.2.4 Nullhypothese 2.....	35
3.2.5 Arbeitshypothese 3.....	36
3.2.6 Nullhypothese 3.....	36
3.3 STICHPROBE	36
3.3.1 Stichprobenbeschreibung.....	36
3.3.2 Einschlusskriterien.....	36
3.3.3 Ausschlusskriterien.....	37

3.3.4	Abbruchkriterien.....	38
3.4	ERHEBUNGSVERFAHREN	39
4	ERGEBNISDARSTELLUNG	41
4.1	METHODIK.....	41
5	ERGEBNISSE	44
5.1	STICHPROBENCHARAKTERISTIKA.....	44
5.2	VORBETRACHTUNGEN	44
5.2.1	Pulsrate	44
5.2.2	Blutdruck.....	46
5.3	ULTRASCHALLUNTERSUCHUNGEN IN ENDGRADIGER ROTATION.....	51
5.3.1	Maximale Strömungsgeschwindigkeit in der A. vertebralis	51
5.3.2	Gefäßdurchmesser der A. vertebralis	53
5.3.3	Blutfluss/Volumen in der A. vertebralis	56
5.4	ULTRASCHALLUNTERSUCHUNGEN IN ENDGRADIGER DE KLEYN POSITION	59
5.4.1	Maximale Strömungsgeschwindigkeit in der A. vertebralis	59
5.4.2	Gefäßdurchmesser der A. vertebralis	62
5.4.3	Blutfluss/Volumen in der A. vertebralis	65
5.5	ULTRASCHALLUNTERSUCHUNGEN IN PRE-MANIPULATIVER POSITION C3/C4.....	69
5.5.1	Maximale Strömungsgeschwindigkeit in der A. vertebralis	69
5.5.2	Gefäßdurchmesser der A. vertebralis	71
5.5.3	Blutfluss/Volumen in der A. vertebralis	74
5.6	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	78
5.6.1	Endgradige Rotation	78
5.6.2	Endgradige De Kleyn Position	78
5.6.3	Pre-manipulative Position C3/C4	79
6	DISKUSSION	80
6.1	DISKUSSION DER METHODIK	80
6.2	DISKUSSION DER ERGEBNISSE.....	81
6.2.1	Endgradige Rotation und Hypothese 1	81
6.2.2	De Kleyn Position und Hypothese 2	83
6.2.3	Pre-manipulative Position C3/C4 und Hypothese 3.....	84
7	KONKLUSION.....	85

8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	87
9	TABELLENVERZEICHNIS	90
10	LITERATURVERZEICHNIS	93
11	ANHANG	99
11.1	INFORMATIONSBLETT	99
11.2	SCHRIFTLICHE EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG	101
11.3	OSTEOPATHISCHE VORUNTERSUCHUNG	103
11.4	TESTFORMULAR.....	104
12	ZUSAMMENFASSUNG.....	106
12.1	EINLEITUNG.....	106
12.2	THEORETISCHER HINTERGRUND	107
12.3	METHODIK.....	107
12.3.1	Beschreibung der Methodik.....	107
12.4	FORSCHUNGSFRAGE UND HYPOTHESEN	109
12.4.1	Arbeitshypothese 1	109
12.4.2	Nullhypothese 1	109
12.4.3	Arbeitshypothese 2	110
12.4.4	Nullhypothese 2	110
12.4.5	Arbeitshypothese 3	110
12.4.6	Nullhypothese 3	110
12.5	STICHPROBE	110
12.5.1	Einschlusskriterien	110
12.5.2	Ausschlusskriterien	111
12.6	ERHEBUNGSVERFAHREN	111
12.7	ERGEBNISDARSTELLUNG	112
12.7.1	Methodik.....	112
12.7.2	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	114
12.7.3	Diskussion der Ergebnisse.....	116
12.8	KONKLUSION	119
12.9	LITERATURVERZEICHNIS	121
13	SUMMARY	123
13.1	INTRODUCTION	123

13.2	THEORETICAL BACKGROUND	123
13.3	METHODOLOGY	124
13.3.1	Description of methodology.....	124
13.4	RESEARCH QUESTION AND HYPOTHESES.....	126
13.4.1	Working hypothesis 1	126
13.4.2	Null hypothesis 1	126
13.4.3	Working hypothesis 2.....	126
13.4.4	Null hypothesis 2.....	127
13.4.5	Working hypothesis 3.....	127
13.4.6	Null hypothesis 3.....	127
13.5	SAMPLE	127
13.5.1	Inclusion criteria	127
13.5.2	Exclusion criteria	128
13.6	PROCESS OF DATA COLLECTION	128
13.7	PRESENTATION OF THE RESULTS.....	129
13.7.1	Methodology.....	129
13.7.2	Summary of the results	131
13.7.3	Discussion of the results	133
13.8	CONCLUSION.....	136
13.9	REFERENCE LIST	138

1 Einleitung

In meiner Ausbildung zum Osteopathen an der Wiener Schule für Osteopathie habe ich verschiedenste Osteopathen als Vortragende kennenlernen dürfen. Jeder dieser Vortragenden hatte seinen eigenen Stil und konnte auf seine Art und Weise die Osteopathie etwas näher bringen. Der Unterricht über die Halswirbelsäule, welche sich sekundär im Laufe der ersten Wochen nach der Geburt entwickelt, zeigte mir den hohen Stellenwert, den die Halswirbelsäule einnimmt (Mitchell et al., 2004). Durch ihre Verbindung zur Außenwelt ist die Halswirbelsäule wiederum anfällig für somatische Dysfunktionen und hier bietet die Osteopathie eine große Auswahl an Behandlungsmöglichkeiten, zu denen auch die Manipulation gehört (Simons et al., 2002).

Diese Art von Therapie zeigt sich als wichtiger Bestandteil einer notwendigen und erfolgreichen Behandlung. Wenn die Notwendigkeit es verlangt, dann ist eine Manipulation die Therapie der Wahl (Greenman, 2005). Neben der korrekten Durchführung der Technik im jeweiligen Segment der Halswirbelsäule sind eine genaue Anamnese, Sicherheitstests und eine genaue Bewegungsprüfung unerlässlich.

In der Anamnese erfährt man schon mögliche Hinweise einer Kontraindikation, und mit der Durchführung von Sicherheitstests bekommt man weitere wichtige Informationen, um gegebenenfalls von einer Manipulation an der Halswirbelsäule Abstand zu nehmen (Liem, 2010).

Neben Blutdruck und Pulsmessung wird auch der A. vertebralis Test nach De Kleyn durchgeführt, der Hinweise auf eine Störung der A. vertebralis geben kann.

Es ist aber nicht immer so einfach wie es aussieht, denn ein gewisses Restrisiko ist immer noch vorhanden, und die Literaturrecherche zeigt, dass die Meinungen oft auseinandergehen (Meyer-Holz, 2006). Dies bringt wiederum Unsicherheit und Scheu in der Durchführung einer Manipulation an der Halswirbelsäule mit sich.

Um eine erfolgreiche und zielgerichtete Manipulation in der Halswirbelsäule durchführen zu können, bedarf es an Sicherheit und Vertrauen in die Technik einer Manipulation.

Die folgende Studie befasst sich mit der Hämodynamik der A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen, wobei die Untersuchung mittels Ultraschall Doppler Sonographie erfolgt.

Ziel der Arbeit ist es, die Hämodynamik der A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen zu untersuchen, um weitere Erkenntnisse und Aufschlüsse zu gewinnen. Es wird in der Studie nicht die Validität des A. vertebralis Test nach De Kleyn überprüft, sondern die Hämodynamik der A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen. Es existieren mehrere Studien, die sich mit den Komplikationen nach einer Manipulation in der Halswirbelsäule auseinandersetzen, als mit der Hämodynamik der A. vertebralis.

Die Studie sollte weitere Erkenntnisse über das Verhalten der Hämodynamik in verschiedenen Kopfpositionen bringen, denn in der internationalen Fachwelt herrschen diesbezüglich unterschiedliche Meinungen.

2 Theorie

2.1 Problemaufriss

Die Auswirkungen von Bewegungen in der Halswirbelsäule in Bezug auf die Hämodynamik werden schon lange untersucht. Am Anfang stehen Experimente mit Leichen im Vordergrund (Tissington-Tatlow et al., 1957, Toole et al., 1960, Brown et al., 1963), die aber bald von Studien an Lebenden durch verbesserte Untersuchungsmethoden, wie die Doppler Sonographie oder die Magnetresonanz, abgelöst werden.

Einige Untersuchungen zeigen während einer Rotation der Halswirbelsäule keine Veränderung des kontralateralen Blutflusses der A. vertebralis (Weingart et al., 1992, Thiel et al., 1994, Licht et al., 1999, Licht et al., 2000, Haynes et Milne, 2001, Licht et al., 2002, Zaina et al., 2003), während andere Untersuchungen signifikante Unterschiede im kontralateralen Blutfluss der A. vertebralis ergeben (Stevens, 1991, Rossitti et al., 1992, Refshauge, 1994, Licht et al., 1998, Rivett et al., 1998, Rivett et al., 1999, Mitchell, 2003, Arnold et al., 2004, Mitchell et al., 2004). Dies dürfte möglicherweise auf unterschiedliche Voraussetzungen zurückzuführen sein. So werden beispielsweise gesunde Menschen (Rossitti et al., 1992, Weingart et al., 1992, Refshauge et al., 1994, Licht et al., 1998, Licht et al., 1999, Rivett et al., 1999) bzw.

Patienten (Stevens, 1991, Haynes 1996, Licht et al., 2000, Haynes et Milne, 2001, Licht et al. 2002), die zum Untersuchungszeitpunkt keine Zeichen einer vertebrobasilären Insuffizienz vorweisen, ausgewählt und vermischt, und einige Autoren vergleichen Männer und Frauen (Rivett et al., 1999, Haynes et al., 2000, Mitchell, 2003, Mitchell, 2007). Patienten und Probanden werden in verschiedenen Positionen untersucht. Viele werden in der sitzenden Position (Rossitti et al., 1992, Rossitti et al., 1995, Mitchell et al., 2004) und andere in der Rückenlage (Licht et al., 1998, Rivett et al., 1999, Arnold et al., 2004) untersucht.

Die A. vertebralis teilt man in vier Abschnitte, und in verschiedenen Studien wird die Hämodynamik im pre-vertebralen Abschnitt (Licht et al., 1998, Licht et al., 1999, Licht et al., 2000, Licht et al., 2002), im zervikalen Abschnitt (Stevens, 1991, Weingart et al., 1992, Thiel et al., 1994, Haynes, 1996, Rivett et al., 1999, Zaina et al., 2003, Arnold et al., 2004, Mitchell et al., 2004), im suboccipitalen Abschnitt (Mitchell et al., 2008) und im intrakraniellen Abschnitt (Rossitti et al., 1992, Rossitti et al., 1995, Mitchell et al., 2003, Mitchell et al., 2004) untersucht.

In der nun folgenden Studie über die Hämodynamik der A. vertebralis wird auf die Homogenität der Gruppe großen Wert gelegt und die Methodik genau durchdacht und festgesetzt. Einige Studien, die in dieser Arbeit Berücksichtigung finden, kommen der neuen Studie sehr nahe und haben auch ihre Berechtigung und Aussagekraft, jedoch wird nun versucht, durch eine Verbesserung der Homogenität der Gruppe und der Methodik, eine verbesserte Aussage zu bekommen.

Ultraschall dopplersonographische Untersuchungen sind an verschiedenen Abschnitten der A. vertebralis gemacht worden. So untersuchen, zum Beispiel, Arnold et al. (2004) die A. vertebralis mit Ultraschall Doppler Sonographie auf Höhe C3-C5 und J. Mitchell (2003) die A. vertebralis transkranial, ebenfalls mit Ultraschall Doppler Sonographie.

Arnold et al. (2004) untersuchen den Blutfluss der A. vertebralis in sechs verschiedenen Positionen der Halswirbelsäule. Die Gruppe umfasst 22 Frauen und Männer, in einem Alter um 35 Jahre, mit keinen bekannten Pathologien. Die Ausschlusskriterien beinhalten alle Kontraindikationen einer Manipulation. Die Patienten werden stets nach Symptomen befragt und es wird auf neurologische Zeichen geachtet.

Die höchste systolische und diastolische Blutflussgeschwindigkeit wird in Neutralposition, in Rotation, in Extension, in kombinierter Rotation und Extension, in

Kombination in Rotation, Extension und Traktion, in der De Kleyn Testposition und in einer C1/C2 Testposition gemessen.

Es gibt keine signifikante Differenz ($p > 0,05$) des Blutflusses vor und nach den Testserien in der neutralen Position. Vor der Testserie beträgt die höchste systolische Blutflussgeschwindigkeit in Neutralposition 56,5 cm/s (SD=12,3). Nach der Testserie beträgt sie 58,6 cm/s (SD=15,0). Die höchste diastolische Blutflussgeschwindigkeit beträgt vor der Testserie in der neutralen Position 18,4 cm/s (SD=5,0). Nach der Testserie beträgt sie 18,2 cm/s (SD=4,5). Nach den Testfrequenzen kommt es jedoch zu einer signifikanten Veränderung ($p < 0,05$) während der einzelnen Testfrequenzen. Die Resultate zeigen, dass es zu einer deutlichen Abnahme des systolischen und diastolischen Blutflusses in Rotation und in pre-manipulativer Position von C1/C2 in der kontralateralen A. vertebralis kommt. Daher kann man aus der Studie schließen, dass ein pre-manipulativer Test durchaus seine Berechtigung hat.

Arnold et al. (2004) untersuchen die Hämodynamik der A. vertebralis in Nullposition und in sechs verschiedenen Positionen und vergleichen die Werte der systolischen und diastolischen Blutflussgeschwindigkeit in den oben angeführten Positionen.

In der folgenden Studie werden die Nullposition, die endgradige Rotation, die kombinierte endgradige Position in Extension und Rotation (De Kleyn Position) und die pre-manipulative Position von C3/C4 untersucht. Es wird darauf geachtet, dass die eingenommenen Positionen endgradig sind, da es gerade in diesen Positionen eine sichere Aussage über die Hämodynamik der A. vertebralis gibt. Der Osteopath führt den Kopf in die jeweilige Endposition und verstärkt passiv diese Position.

Mitchell et al. (2004) untersuchen in sitzender Position den Blutfluss der A. vertebralis intrakraniell mit Ultraschall Doppler Sonographie in einer endgradigen Rotation. Die Gruppe umfasst 30 junge, gesunde Studenten der Physiotherapie.

Ein wesentliches Einschlusskriterium ist eine aktive Beweglichkeit des Kopfes von der neutralen Position über 45° Rotation hinaus.

Es handelt sich um ein quantitatives Design mit einer experimentellen Studie. Die unabhängige Variabel ist die endgradige Rotation in der Halswirbelsäule und die abhängige Variabel der Blutfluss der A. vertebralis.

Der Blutdruck wird gemessen und die Untersuchung wird in der sitzenden Position durchgeführt. Die Untersuchungen ergeben bei allen Patientinnen eine signifikante Verminderung des Blutflusses der kontralateralen A. vertebralis in der endgradigen Rotation.

Wenn man die linke A. vertebralis mit der rechten A. vertebralis vergleicht, fällt auf, dass in der linken A. vertebralis der Blutfluss (45,9 cm/s SD=8,5 auf 41,8 cm/s SD=11,6) gegenüber der rechten A. vertebralis (27,8 cm/s SD=6,9 zu 25,2 cm/s SD=8,2) deutlich geringer ist und dadurch eine statistisch signifikante Differenz ($p < 0,001$) vorweist. Eine ähnliche signifikante Differenz zeigt die Blutflussgeschwindigkeit der linken ($p=0,03$) und der rechten ($p=0,01$) A. vertebralis. Eine signifikante Verminderung des Blutflusses während einer kontralateralen zervikalen Rotation zeigt sich sowohl in der linken ($p=0,02$) als auch in der rechten ($p=0,04$) A. vertebralis.

Die folgende Studie untersucht die Hämodynamik der A. vertebralis in Rückenlage, da die Rückenlage in der Manipulation der Halswirbelsäule eine bevorzugte Position ist. Eine Manipulation in der Halswirbelsäule kann natürlich auch im Sitz, in Bauchlage oder Seitenlage durchgeführt werden, aber die häufigste Ausgangsstellung für eine Manipulation ist die Rückenlage. Bei möglich auftretenden neurologischen Symptomen einer vertebrobasilären Insuffizienz ist die Rückenlage als Ausgangsstellung eines Sicherheitstest zu bevorzugen.

Weingart et al. (1997) untersuchen die A. vertebralis mit farbkodierter Doppler Sonographie in Abhängigkeit von Rotation und Traktion des Kopfes. In dieser Studie können keine signifikanten Änderungen bezüglich maximaler Strömungsgeschwindigkeit oder Gefäßdurchmesser nachgewiesen werden, weder bei Rotationsänderung, noch bei zusätzlicher Traktion von 10 kg. In ihrer Grundlagenuntersuchung der A. vertebralis konzentrieren sich Weingart et al. (1997) auf die Gefäßdurchblutung hinsichtlich der Kopfrotation in Verbindung mit Traktion. 20 gesunde Probanden, 10 weibliche und 10 männliche Probanden, im Alter zwischen 22 und 47 Jahren werden unter Ausschluss von Risikofaktoren in die Studie aufgenommen.

Zur Durchführung der Studie entwickeln Weingart et al. (1997) ein Gerät, welches den Kopf in 0° , 45° und endgradiger Rotation fixieren kann. Die endgradige Rotation variiert in einem Bereich von $85-95^\circ$. Der obere Thorax und die Schulter werden fixiert, damit bei der Traktion ein Gleiten nach kranial verhindert wird. Bei allen Messungen der Probanden beträgt der Gefäßdurchmesser im Durchschnitt 2,9 mm. Bei allen männlichen Probanden beträgt der Gefäßdurchmesser im Durchschnitt 2,925 mm (SD=0,04) und bei allen weiblichen Probanden beträgt der Gefäßdurchmesser im Durchschnitt 2,89 mm (SD=0,03). Vom Gesamtkollektiv wird

ein Durchschnittswert von 33,75 cm/s für die maximal gemessene Strömungsgeschwindigkeit ermittelt. Das männliche Kollektiv zeigt einen Durchschnittswert von 35,25 cm/s (SD=0,06), beim weiblichen Kollektiv jedoch wird ein Durchschnittswert von 32,22 cm/s (SD=0,06) ermittelt.

Es gibt keine Änderungen der maximalen systolischen Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Geschlecht, Rotation oder Traktion des Kopfes und keinen Anstieg der enddiastolischen Strömungsgeschwindigkeit.

Weingart et al. (1997) führen noch Gruppenvergleiche durch, wobei sie mit dem F-Test primär die Vergleichbarkeit der Gruppen untersuchen. Es zeigt sich kein Unterschied.

Weiters untersuchen sie mit dem T-Test, ob es Unterschiede zwischen Geschlechtern, Rotationen und Traktionen gibt. Es gibt jedoch auch diesbezüglich keine signifikanten Änderungen des Gefäßdurchmessers und der maximalen Strömungsgeschwindigkeit.

Weingart et al. (1997) bestätigen, dass die Literatur an jahrzehntelangen Untersuchungsmethoden festhält, in denen es in Rotation zu einer Abnahme und sogar zu einer Unterbrechung des Blutflusses der kontralateralen A. vertebralis kommt. Die Untersuchungsmethoden verbessern sich aber ständig, und so kommt es, dass es bereits Studien gibt, die keine Veränderung des Blutflusses der A. vertebralis in Abhängigkeit von verschiedenen Bewegungsänderungen ergeben (Weingart et al., 1997, Haynes et Milne, 2001, Zaina et al., 2003).

Weingart et al. (1997) untersuchen in ihrer Studie die Kopfposition in Nullstellung, in 45° Rotation und endgradiger Rotation mit Traktion. Die Studie ist nicht sehr praxisnahe, denn weder in der Durchführung von Sicherheitstests, noch in der Durchführung einer Manipulation in der Halswirbelsäule, wird der Oberkörper fixiert. Um eine Aussage über die Hämodynamik der A. vertebralis in der endgradigen Rotation zu bekommen, ist eine manuelle Einstellung einer endgradigen Rotation durch einen Osteopathen sinnvoller, als eine endgradige Einstellung eines, zu diesen Studienzwecken, entwickelten Gerätes.

Zaina et al. (2003) untersuchen 20 Probanden im Alter zwischen 26 und 54 Jahren mit Ultraschall Doppler Sonographie auf Höhe von C1-C2 und C5-C6. Auf Höhe C1-C2 wird die Blutflussgeschwindigkeit und auf Höhe von C5-C6 das Blutvolumen der kontralateralen A. vertebralis untersucht. Gemessen wird in der neutralen Position, in 45 ° Rotation, in endgradiger Rotation und wieder in der neutralen Position. Es

werden nur jene Probanden für die Studie zugelassen, die keine Symptome einer vertebrobasilären Insuffizienz vorweisen. Der Test wird wiederum in der sitzenden Position durchgeführt.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass es zu keiner signifikanten Veränderung der Messungen der Blutgeschwindigkeit auf Höhe C1-C2 und des Blutvolumens auf Höhe C5-C6 in den vier verschiedenen Ausgangsstellungen kommt.

Die Studie von Zaina et al. (2003) wird in der sitzenden Position und nicht in der Rückenlage durchgeführt. Auch wenn die sitzende Position in der Praxis vor allem für einen Sicherheitstest vor einer Manipulation sehr beliebt ist, so ist eine Testung in der Rückenlage sicher sinnvoller und effektiver, denn in der Rückenlage ist Patient entspannter, die Schwerkraft fällt weg, die Muskulatur ist lockerer und das endgradige Bewegungsausmaß einer Rotation ist vergrößert. Sollten während der Durchführung der Bewegungstests in Rückenlage Erscheinungsbilder oder Symptome eines Schwindels oder Übelkeit auftreten, so können jene Personen, die an der Durchführung der Studie beteiligt sind, die Situation gut kontrollieren.

An Hand der erwähnten Studien kann man erkennen, dass in diesem Bereich noch sehr viel Grundlagenforschung notwendig ist, welche die Hämodynamik der A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen untersucht. In Bezug zu den verschiedenen Kopfpositionen sind vor allem jene Positionen relevant, welche in der Praxis angewendet werden. Hier sollten zuerst isolierte und dann kombinierte Bewegungen untersucht werden.

2.2 Relevanz

Die klinische Bedeutung und die Relevanz für eine Veränderung des Blutflusses der A. vertebralis in Verbindung mit einer Rotation in der Halswirbelsäule, wie es Osteopathen in der Behandlung von Patienten gebrauchen, steht in den letzten 50 Jahren im Mittelpunkt der Forschung. Frühere Studien an Leichen finden in Rotation eine signifikante Abnahme des Blutflusses der kontralateralen A. vertebralis (Tissington-Tatlow et al., 1957, Toole et al., 1960, Brown et al., 1963), während neuere Studien, die an lebenden Menschen durchgeführt werden, unterschiedliche Ergebnisse finden (Stevens, 1991, Rossitti et al., 1992, Refshauge, 1994, Thiel et al., 1994, Haynes, 1996, Weingart et al., 1997, Licht et al., 1999, Rivett, 1999).

Ein Großteil aller Studien, die sich bisher mit der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der kontralateralen A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen auseinandergesetzt

haben, findet eine Abnahme der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der kontralateralen A. vertebralis (Stevens, 1991, Rossitti et al., 1992, Refshauge, 1994, Licht et al., 1998, Rivett et al., 1998, Rivett et al., 1999, Arnold et al., 2004, Mitchell et al., 2004). Andere Autoren finden keine Veränderung des Blutflusses der kontralateralen A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen (Thiel et al., 1994, Weingart et al., 1997, Licht et al., 1999, Licht et al., 2000, Haynes et Milne, 2001, Licht et al., 2002, Zaina et al., 2003).

Eine Vertiefung in dieses Thema zeigt, dass der verletzlichste Teil der A. vertebralis zwischen Atlas und Axis ist, wo die größte Rotation in der Halswirbelsäule stattfindet (Stevens, 1991, Rivett et al., 1999, Haynes et Milne, 2001, Rivett et al., 2003, Zaina et al., 2003, Arnold et al., 2004). In diesem Bereich kann es bei einer endgradigen Rotation zu einer mechanischen Kompression und Dehnung durch den Verlauf der A. vertebralis durch das Foramen vertebrale des Processus Transversus des Atlas und entlang des posterioren Bogens des Atlas (Hufnagel et al., 1999, Michaud, 2002, Herzog, 2003, Mitchell et al., 2007, Kawchuk et al., 2008) oder entlang der lateralen Masse des Atlas (Mitchell, 2003, Mitchell et al., 2004, Mitchell, 2008, Kawchuk et al., 2008) kommen. Eine Testreihenfolge mit isolierter endgradiger Extension oder isolierter endgradiger Rotation oder in Kombination von beiden endgradigen Bewegungsrichtungen ist kein valider Test zur Provokation einer vertebrobasilären Insuffizienz (Thiel et al., 1994, Cote et al., 1996).

Die Untersuchung der Hämodynamik der A. vertebralis mittels Doppler Sonographie ist ein valider Test, um Veränderungen des Blutflusses festzustellen und indirekt den mechanischen Stress der A. vertebralis, während einer kontralateralen Rotation in der Halswirbelsäule, zu erkennen (Haynes, 2000). Die Erkennung von mechanischem Stress in der A. vertebralis, während der pre-manipulativen Untersuchungen, hilft dem Risiko einer Verletzung der A. vertebralis vorzubeugen.

Eine mögliche Veränderung des Blutflusses der A. vertebralis, während einer kontralateralen Rotation in der Halswirbelsäule, entsteht auf Grund der erhöhten Spannung und Einengung der A. vertebralis (Stevens, 1991). Refshauge (1994) berichtet über die Ergebnisse Doppler sonographischer Studien, welche einen Anstieg der Blutflussgeschwindigkeit in 45° kontralateraler Rotation und dann einen signifikanten Abfall der Blutflussgeschwindigkeit in endgradiger kontralateraler Rotation vorweisen. Dies erklärt sich Refshauge durch eine Einengung der A.

vertebralis auf Grund der Dehnung in 45° kontralateraler Rotation und später mit einer weiteren Einengung in endgradiger kontralateraler Rotation.

Die Doppler Sonographie ist ein valider Test zur Beurteilung der Hämodynamik der A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen (Haynes, 2000). Die folgende Studie soll weitere Erkenntnisse über die Hämodynamik der A. vertebralis in Rückenlage in verschiedenen Kopfpositionen bringen. Die Untersuchung der Hämodynamik der A. vertebralis erfolgt in verschiedenen Kopfpositionen mit Ultraschall Doppler Sonographie.

2.3 Entwicklung und Stellenwert der Halswirbelsäule

Nach Mitchell et al. (2004) hat die Wirbelsäule eines Fötus in der Gebärmutter eine entsprechend der Gebärmutterwand nach hinten konvex gekrümmte Form. Diese Form der Wirbelsäule wird als primäre Krümmung bezeichnet und hat intrauterin schon die Funktion eines Stoßdämpfers. Doch sehr bald entwickelt sich beim neugeborenen Kind die Lordose der Halswirbelsäule und mit zunehmender Mobilität die Lordose der Lendenwirbelsäule. Diese beiden Lordosen werden als sekundäre Krümmungen bezeichnet. Zu den primären Krümmungen gehören somit Kopf, Brustwirbelsäule und Kreuzbein. Primäre Krümmungen sind stabiler als sekundäre, sind nach dorsal konvex und schützen Gehirn, Herz-Kreislaufsystem und Reproduktionsorgane. Sekundäre Krümmungen sind beweglicher, nach außen hin offen und anfälliger für Pathologien und somatische Dysfunktionen. Die Halswirbelsäule verfügt über ein großes Bewegungsausmaß von Flexion, Extension, Rotation und Lateralflexion, stellt die Verbindung zur Außenwelt dar und ist wichtig für die Kommunikation und alle Sinnesorgane. Die Halswirbelsäule wird vor allem durch Muskulatur und Bänder stabilisiert. Kommt es im Bereich der Halswirbelsäule zu einem Trauma im Sinne einer Beschleunigungsverletzung, so kann sich ein posttraumatisches Syndrom mit Nackenschmerzen, vegetativen und neurogenen Beschwerden zeigen. Diese sind Schwindel, Übelkeit, Erbrechen, Licht- und Geräuschempfindlichkeit, Müdigkeit, Ein- und Durchschlafstörung, Beeinträchtigung der Gedächtnisfähigkeiten und kognitiven Fähigkeiten. Es können auch Seh-, Geruchs und Geschmacksstörungen hinzutreten (Keidel et al., 1998).

Für Osteopathen hat die Halswirbelsäule einen hohen Stellenwert, denn häufig nehmen somatische Dysfunktionen hier ihren Ursprung (Simons et al., 2002). Der Osteopath ist immer auf der Suche nach der sogenannten primären Läsion, welche oft

im zervikalen Bereich ihren Ursprung hat (Liem et al., 2010). Am Übergang von Occiput und Atlas findet man vermehrt primäre Läsionen (Liem et al., 2010), denn in diesem Bereich können diese schon intrauterin oder im Rahmen der Geburt entstehen (Möckel et al., 2009). Eine Geburt ist unter diesem Gesichtspunkt ein natürliches Trauma, welches seine Spuren bzw. Merkmale zurücklässt. Der Körper versucht, sich über diese Merkmale auszurichten und gegebenenfalls zu kompensieren (Mitchell et al., 2010), und der Osteopath untersucht, ob es sich um eine Kompensation oder eine Läsion handelt. Eine Läsion sollte behoben werden, wobei eine Korrektur einer bereits länger bestehenden Läsion in Kompensation oft schwierig ist, da sie mit einer Verschlechterung der Symptomatik einher gehen könnte. Eine Korrektur einer somatischen Dysfunktion in der Halswirbelsäule sollte durchgeführt werden, wenn es sich um eine Läsion handelt, die den Ursprung in einem Segment in der Halswirbelsäule hat. Eine somatische Dysfunktion in der Halswirbelsäule kann Auswirkungen auf den gesamten Bewegungsapparat haben. Es kann sowohl eine somatische Dysfunktion einer kranialen Struktur die kaudal gelegenen Strukturen beeinflussen, aber auch eine somatische Dysfunktion einer kaudalen Struktur die kranial gelegenen Strukturen. Die Antwort für diese Zusammenhänge liefert uns die Anatomie mit ihren Muskeln und Fasziensverbindungen und das Konzept von Littlejohn, welcher physikalische Gesetze zu Hilfe nimmt, um die Biomechanik der Wirbelsäule zu erklären. Das Modell ist ein aus der Praxis entstandenes funktionelles Modell und erklärt die Verbindung und das Verhalten der einzelnen Wirbelsäulenabschnitte zueinander. Für ihn ist die Wirbelsäule eine wichtige Struktur für die Entstehung und Behandlung von Krankheiten. Das Modell von Littlejohn ist ein interessantes Modell von Kraftlinien, Wirbelsäulenkrümmungen, Drehpunkten, Kurven und Bögen (Richter et al., 2007).

In Deutschland wurden 1997 gemäß der Abrechnungsstatistiken der gesetzlichen Krankenversicherungen ca. 14 Millionen chirotherapeutische Eingriffe an der Wirbelsäule durchgeführt, 80 % davon an der Halswirbelsäule (Saxler et al., 2004). Aus dieser Statistik kann man schließen, dass die Halswirbelsäule den wohl wichtigsten Teil der gesamten Wirbelsäule einnimmt und dass man Diagnose und Behandlung im Sinne einer zervikalen Manipulation optimieren sollte.

Die Halswirbelsäule steht in Verbindung mit dem Kiefergelenk, Sprech- und Schluckapparat (Schildt-Rudloff et al., 2008), den Sinnesorganen, mit Symptomen im Gesichts und Schädelbereich, und ist ein wichtiger Abschnitt für die arterielle

Blutversorgung und den venösen Abtransport aus dem Gehirn (Liem, 2005). In diesem Abschnitt der Wirbelsäule befinden sich sowohl wichtige Zentren des Lymphsystems, als auch des vegetativen, peripheren und zentralen Nervensystems (Lomba et al., 2007).

Nach Schünke et al. (2005) wird die arterielle Versorgung für Kopf und Gehirn einerseits von der A. carotis communis, die sich in eine A. carotis externa und eine A. carotis interna teilt, und der A. vertebralis gewährleistet. Der venöse Abtransport erfolgt über die V. jugularis interna, V. jugularis externa und V. jugularis anterior in die V. subclavia. Die Lymphe wird in die linke und rechte V. subclavia abgeleitet und man findet im Halsbereich eine Anhäufung von Lymphknoten, die für die Immunabwehr sehr wichtig sind.

Das vegetative Nervensystem besteht in diesem Abschnitt aus einem kranialen parasympathischen Zentrum für Kopf und Halsbereich und dem N. vagus mit Nucleus dorsalis und dem sympathischen Grenzstrang mit Verbindungen zum Ganglion cervicale superius, Ganglion cervicale medius und Ganglion cervicothoracicum. Vom Ganglion cervicale superius ziehen noch Fasern zur Teilungsstelle der A. carotis communis und bilden dort den Glomus caroticus und im kranialen Verlauf des sympathischen Grenzstranges gibt es auch Verbindungen zum parasympathischen Nervensystem. Zum peripheren Nervensystem im Halsbereich gehören die Spinalnerven, Hirnnerven und Nerven des autonomen oder vegetativen Nervensystems. Die Spinalnerven der zervikalen Rückenmarkssegmenten C1-C4 teilt man in ventrale und dorsale Rami, welche einen Muskel oder ein Areal im Bereich des Hinterhauptes, Nackens und Halses motorisch oder sensibel innervieren. Sie bilden zusammen den sogenannten Plexus cervicalis. Die unteren Spinalnerven der zervikalen Rückenmarkssegmente C5-C8 bilden den Plexus brachialis und versorgen motorisch oder sensibel einen Muskel oder ein Areal in der Region des Schultergürtels und der oberen Extremität. Weitere periphere Nerven im Halsbereich sind Hirnnerven, die dem Hirnstamm entstammen. Dies sind der N. glossopharyngeus, der N. vagus, der N. accessorius und der N. hypoglossus. Sie innervieren motorisch und sensibel Pharynx und Larynx, motorisch den M. trapezius, M. sternocleidomastoideus, die Zungenmuskulatur und den Mundboden. Man sieht aus diesem kurzen osteopathischen und anatomischen Auszug, welchen Stellenwert die Halswirbelsäule allgemein einnimmt und welches Potential und welche Ressourcen die Halswirbelsäule für die Osteopathie bietet. Durch ihre Entwicklung

und durch äußere Einflüsse ist die Halswirbelsäule der Gefahr einer somatischen Dysfunktion ausgesetzt, welche es wiederum in der Osteopathie zu analysieren und zu beheben gilt.

2.4 Doppler Sonographie

Die Ultraschalldiagnose ist heute in Klinik und Praxis das am meisten genutzte Verfahren (Kubale et al., 2002). Ultraschall wird in einer Frequenz von 2 bis 20 MHz in kurzen Impulsen ausgesendet und nach Reflexion an verschiedenen Strukturen wieder empfangen. Die reflektierenden Impulse werden zu Sonographiebildern verarbeitet. Die Ultraschalldiagnostik wird sowohl für die Bestimmung von Veränderungen im Gewebe als auch für eine Funktionsdiagnostik angewendet (Kubale et al., 2002). In den Bereich der Funktionsdiagnostik fällt auch die Untersuchung der Hämodynamik der A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen. Ein Ultraschallgerät besteht je nach Anwendung aus einem spezifischen Schallkopf und einer Steuereinheit, dem Ultraschallgerät. Der Doppler-Effekt ermittelt die Geschwindigkeit bewegter Objekte. In der Praxis wird mit der Ultraschall Doppler Sonographie das Blutflussverhalten untersucht.

Die Frequenz von Schallwellen ändert sich, wenn sich Sender und Empfänger zueinander bewegen. Ein bekanntes Beispiel ist ein akustisches Phänomen der Sirene eines Krankenwagens. Bewegt sich der Krankenwagen mit lauter Sirene auf eine Person zu, so hört man ein anschwellendes, hochfrequenten Sirenengeräusch. Bewegt sich der Krankenwagen mit lauter Sirene von der Person weg, so hört man ein tiefes Sirenengeräusch (Scherfgen, 2006). Der Wiener Christian Johann Doppler (1843) beschreibt diese für alle Wellen geltende Erscheinung als Doppler-Effekt. Dieser Doppler-Effekt gilt auch, wenn die ausgesendeten Schallwellen auf eine bewegte Struktur treffen. In der Medizin wird dieses Dopplerprinzip seit über 50 Jahren angewendet, denn Satumoro (1957) benutzt die Ultraschall Doppler Sonographie zur Messung der Strömung am Herzen; Franklin (1961) beschreibt die Geschwindigkeit des Blutflusses mittels Analyse der ermittelten Frequenzverschiebung, den sogenannten Doppler-Shift, und McLeod (1967) entwickelte ein Gerät, welches neben der Strömungsgeschwindigkeit auch die Strömungsrichtung erfasst (Schäberle, 2010). Am Anfang werden die Doppler Untersuchungen mit der sogenannten „*continious wave*“ Technik durchgeführt. Ein Sendekristall sendet bei der „*continious-wave*“ Doppler Sonographie ununterbrochen

Ultraschallkristalle, während ein zweiter Sendekristall ununterbrochen die reflektierenden Signale empfängt. Aus der Verschiebung der Frequenz zwischen der gesendeten und empfangenen Ultraschallsignal wird die Strömungsgeschwindigkeit gemessen (Schäberle, 2010). Eine weitere Entwicklung dieser Technik führte zur „*pulsed-wave*“ Doppler Sonographie, bei welcher von einem Kristall ein kurzer Ultraschallimpuls gesendet und die Echos mit demselben Kristall wieder empfangen werden (Schäberle, 2010).

Mitte der 80er Jahre wird die Duplexsonographie eingeführt (Nappenev et al., 2010). Über eine sonographische Darstellung von Blutgefäßen im B-Mode (Brightness-mode) wird ein „*pulsed-wave*“ Doppler Messvolumen übertragen und sowohl Flussgeschwindigkeit, als auch Flussrichtung analysiert. Nach genauer Lokalisierung des Gefäßes kann nun auch der genaue Winkel θ zwischen Dopplerstrahl und der Achse des untersuchten Gefäßes bestimmt und damit die Flussgeschwindigkeit berechnet werden. Ein weiterer Fortschritt ist die Farbdopplersonographie. Die Farbdopplersonographie ist die Kombination der zweidimensionalen Schnittbildsonographie mit der flächenhaften Darstellung der Strömungsinformation (Schäberle, 2010). Die Flussverschiebungen in die eine Richtung werden auf dem Schallkopf rot, die anderen in Gegenrichtung blau dargestellt. Die Farbe verändert je nach der Blutflussgeschwindigkeit ihre Intensität. Die Blutflussgeschwindigkeit kann mit der Farbdopplersonographie nur qualitativ begutachtet werden. Daraus entsteht die farbkodierte Duplexsonographie, eine Kombination aus farbiger Darstellung und quantitativer Bestimmung der Blutflussgeschwindigkeit. Über ein Gefäß, welches farbdopplersonographisch dargestellt wird, wird ein Doppler Messvolumen gelegt. Auf dem Bildschirm wird dann das entstehende Frequenz-Zeit-Spektrum dargestellt. Eine genaue Flussgeschwindigkeit kann berechnet werden, da eine Winkelkorrektur mit diesem Verfahren möglich ist.

2.5 Hämodynamische Aspekte und Verbindungen

Das Gesetz der Hydrodynamik beschreibt das Strömungsverhalten von Flüssigkeiten. Die Hämodynamik beschäftigt sich mit dem Verhalten des Blutflusses (Kubale et al. 2002). Blut besteht aus Plasma und zellulären Bestandteilen, wobei die Erythrozyten den größten Anteil ausmachen. Gesetze der Hydrodynamik können auf jene Gefäße übertragen werden, welche einen guten Zugang einer Duplexsonographie vorweisen und einen größeren Gefäßquerschnitt als 0,5 mm haben.

Der Durchmesser der A. vertebralis beträgt zwischen 3 und 5 mm (Schäberle, 2010). Das Blut hat wie andere Flüssigkeiten eine bestimmte Zähigkeit. Diese Zähigkeit wird als Viskosität bezeichnet und wird vom Hämatokritwert des Blutes beeinflusst. Die Strömungen von Flüssigkeiten in Röhren sind laminare Schichten, welche den gleichen Abstand zur Gefäßwand vorweisen und sich tangential gegeneinander verschieben. Zwischen den einzelnen Schichten besteht innere Reibung, die sogenannte Viskosität. Schichten, die an der Gefäßwand anhaften, bewegen sich langsamer als mittlere Schichten.

2.5.1 Blutflussgeschwindigkeit

Hagen-Poiseuille beschreibt ein Gesetz für kreisrunde Röhren und Flüssigkeiten mit konstanter Viskosität und laminarer Strömung, welches auch für die intraarterielle pulsatile Blutströmung anwendbar ist:

$$I = \frac{\Delta P \times r^4 \times \pi}{8 \times \eta \times l}$$

Legende:

I	= Volumenstrom
ΔP	= Druckgefälle
r	= Radius
η	= Viskosität
l	= Länge

In Bezug auf die Blutflussgeschwindigkeit besagt das Gesetz von Hagen-Poiseuille, dass Druckdifferenz und Gefäßradius Faktoren sind, welche die Blutflussgeschwindigkeit beeinflussen (Harten, 2006). Bei einer Halbierung des Gefäßradius bei konstantem Blutflussvolumen kommt es zu einer Vervierfachung der Flussgeschwindigkeit. Das Gesetz der Kontinuität besagt, dass eine Abnahme des Querschnittes in einem Gefäß die Strömungsgeschwindigkeit zwangsläufig ansteigen lässt. In engeren Gefäßen fließt bei gleichem Blutdruck das Blut schneller als bei weiteren Gefäßen. Umgekehrt verhält sich die Strömungsgeschwindigkeit im

Kapillarsystem, wo der Gesamtquerschnitt der Blutbahn sein Maximum erreicht (Hick et al., 2009).

2.5.2 Blutflussvolumen

Die wichtigsten für die Beurteilung der Blutströmung abgeleiteten Parameter, welche aus dem Dopplerfrequenzspektrum zu entnehmen sind, lauten (Schäberle, 2010):

- systolische Maximalfrequenz (relevant in der Stenosedagnostik)
- enddiastolische Maximalfrequenz (Stenosedagnostik, Strömungscharakter)
- gemittelte Strömungsgeschwindigkeit
- der sogenannte „mean-Wert“ (der Mittelwert ist Grundlage für die Volumenmessung)
- Varianz (Verbreiterung des Frequenzspektrums durch Störungen der Strömung)

Es können aus dem Frequenzspektrum winkelkorrigiert die systolische und die enddiastolische Maximalgeschwindigkeit entnommen werden und aus der Signalverarbeitung lässt sich die mittlere Blutflussgeschwindigkeit berechnen:

$$\text{Blutflussvolumen}(ml / \text{min}) = 60 \times \text{mittlere Flussgeschwindigkeit}(cm / s) \times \text{Querschnittsfläche}(cm^2)$$

Eine genaue Ableitung und Anpassung an die relevanten Parameter werden im Kapitel 3.4 genauer beschrieben.

In der Studie über die Hämodynamik der A. vertebralis wird nicht die mittlere Flussgeschwindigkeit zur Berechnung des Blutvolumen verwendet, sondern die systolische Maximalfrequenz, welche vor allem in der Stenosedagnostik relevant ist (Schäberle, 2010).

Ein wichtiger Faktor ist auch die Einstellung des Dopplerwinkels. Durch das Einbeziehen des Dopplerwinkels wird die Blutflussgeschwindigkeit errechnet. Der Winkel sollte möglichst spitz eingestellt werden, denn zwangsläufig auftretende Fehler in der Durchführung der Ultraschalluntersuchung führen so zu einer geringeren Auswirkung auf das Ergebnis der Blutflussgeschwindigkeit. Quantitative Messungen sollten einen Winkel von 60° nicht überschreiten. In der Messung der Blutflussgeschwindigkeit kommt es bei einem Fehler der Winkeleinstellung von ca. +/- 5° bei einem Dopplerwinkel von 60° zu einem Messfehler von ca. 20 %. Eine weitere Hauptfehlerquelle für Flexionsmessungen liegt in der Messung des

Gefäßdurchmessers und der daraus resultierenden Ungenauigkeit der Berechnung der Querschnittsfläche des Gefäßes.

2.5.3 Korrelation Blutfluss und Blutdruck

Das Blutflussvolumen ist definiert als Blutvolumen, das pro angegebene Zeiteinheit ein Gefäß durchquert. Die Einheit wird in ml/s, ml/min und l/min angegeben. Es ist direkt proportional zur Druckdifferenz und indirekt proportional zur Stärke der Gefäßwand.

Druckdifferenz und der Widerstand wird im Ohm-Gesetz dargestellt:

$$\text{Blutvolumen} = \frac{\text{Druckdifferenz}}{\text{Widerstand}}$$

Druckänderungen, die durch den Puls hervorgerufen werden, werden nicht berücksichtigt. Daher hat das Ohm-Gesetz in diesem Fall nur bedingte Gültigkeit. Die Druckdifferenz wird durch die Differenz des mittleren arteriellen und venösen Drucks in einem Gefäßsystem ermittelt.

Nach Schäberle (2010) muss die Durchblutung eines Organs einerseits dem unterschiedlichen Bedarf angepasst werden, andererseits muss trotz systemischer Faktoren eines hohen oder niedrigen Blutdrucks eine ausreichende Versorgung durch die Gefäße gewährleistet werden. Die dafür notwendige Regulation erfolgt in den Gefäßen der Organe, welche den Widerstand der Gefäßwand bestimmen. Bei der Regulation werden Autoregulation und Bedarfsregulation unterschieden. Im Rahmen der Autoregulation haben die Gefäße die Aufgabe, die Durchblutung weitgehend konstant zu halten und dies unabhängig von systemischen Faktoren wie zum Beispiel dem Blutdruck. Durch die Autoregulation wird beispielsweise ein zerebraler Perfusionsdruck aufrechterhalten. Bei niedrigem Perfusionsdruck kommt es zur Dilatation der Widerstandsgefäße, während es bei einem Anstieg des Perfusionsdrucks zur Vasokonstriktion der Gefäße kommt.

Bei einer erhöhten Aktivität bedarf es einer erhöhten Sauerstoffbereitstellung, welche mit einem erhöhten Herzzeitvolumen und einer erhöhten Blutflussgeschwindigkeit einhergeht. Der systolische Druck erhöht sich bei Aktivität minimal, während der diastolische Blutdruck gleich bleibt oder sogar sinkt.

In der Untersuchung der Hämodynamik der A. vertebralis werden diese Faktoren genau berücksichtigt und in den Kapiteln 3.1, 3.3 und 3.4 beschrieben.

2.6 A. vertebralis Test nach De Kleyn

Ein genaues Anamneseprotokoll, funktionelle Bewegungstests und spezifische Tests der A. vertebralis, zum Ausschluss möglicher Erkrankungen und Verletzungen der A. vertebralis, sind ein wichtige Bestandteile vor einer Manipulation an der Halswirbelsäule (Carey, 1995, Rivett, 1995, Grant, 1996, Barker et al., 2000). De Kleyn und Nieuwenhuys (1927) berichten als Erste in der Literatur, dass es bei einer endgradigen, kombinierten Bewegung von Extension und Rotation in der Halswirbelsäule zu einer Einengung der kontralateralen A. vertebralis und einer Abnahme der Hämodynamik der A. vertebralis kommt. Nach Angaben von De Kleyn und Nieuwenhuys kommt es durch einen Verschluss der kontralateralen A. vertebralis zu einem neurologischen Erscheinungsbild im Sinne einer vertebrobasilaren Insuffizienz (Van der El, 2009). Dies wird heute noch, trotz kontroverser Meinungen über die Validität (Kunnasmaa et al., 1994, Thiel et al., 1994, Cote et al., 1996, Rivett et al., 1998, Licht et al., 2000, Westaway et al., 2003), den Studenten an den Schulen der Osteopathie gelehrt und der Test findet auch heute noch seine Anwendung in der täglichen Praxis. Die Durchführung eines pre-manipulativen Tests passiert teilweise noch auf dem Glauben, dass ein negativer Test eine klinische Sicherheit für die Durchführung einer Manipulation an der Halswirbelsäule mit sich bringt. Ein exakter pathophysiologischer Vorgang zur Entstehung eines ischämischen Insults nach einer Manipulation in der Halswirbelsäule ist oft unklar. Es wird aber angenommen, dass dies die Hauptursache eine Dissektion der A. vertebralis ist (Frisoni et al., 1991). Wenn eine Dissektion der A. vertebralis bereits vorliegt, dann ist es auch nicht möglich, diese Patienten mit einer pathologischen Gefäßverletzung im ausreichenden Ausmaß, mittels A. vertebralis Test herauszufiltern. Im Gegenteil, die Patienten müssten durch einen endgradigen Bewegungstest in kombinierter Extension und Rotation einem erhöhten Risiko ausgesetzt sein. Symons et al. (2002) finden an Leichen während pre-manipulativer Bewegungstests eine höhere Spannung in der A. vertebralis, als während einer zervikalen Manipulation. Trotzdem sind in der Fachliteratur keine Fälle einer Dissektion nach einem pre-manipulativen Test beschrieben.

Gefäßspasmus ist ein anderer pathophysiologischer Prozess, welcher einen Verschluss der A. vertebralis nach einer zervikalen Manipulation bewirken kann (Schmitt, 1991). Dies kann mit oder ohne Schädigung der Gefäßwand passieren. Wie vor einer Dissektion der A. vertebralis ist es genauso schwierig einen Patienten mit drohendem Gefäßverschluss durch einen pre-manipulativen Test herauszufiltern. Auch für dieses Krankheitsbild ist die Validität des Tests nicht ausreichend. Ein weiteres Krankheitsbild ist ein vorexistierender Thrombus, welcher durch ein Loslösen einen ischämischen Insult bewirken kann. Der Thrombus könnte mit dem Krankheitsbild der Dissektion oder der Arteriosklerose einhergehen und kann zu jeder Zeit und bei jeder Bewegung losgelöst werden. Auch eine Hyperplasie der Gefäßwand der A. vertebralis kann als einengender Faktor einen ischämischen Insult nach einer Manipulation in der Halswirbelsäule bewirken (Mann et al., 2001). Auch für diese Krankheitsbilder der A. vertebralis zeigt der pre-manipulativer Test eine geringe Validität.

Der pre-manipulative Test nach De Kleyn untersucht die Hämodynamik der A. vertebralis in endgradiger kombinierter Bewegung von Extension und Rotation. Viele Ultraschall Doppler sonographische Studien untersuchen den Blutfluss der A. vertebralis in verschiedenen Positionen. Doppler Studien messen den Blutfluss der kontralateralen A. vertebralis und finden eine Abnahme oder sogar ein Verschwinden des Blutflusses (Stevens, 1991, Refshauge 1994, Haynes, 1994, Haynes 1996, Licht et al., 1998, Rivett et al., 1999, Haynes, 2000, Haynes et Milne, 2001, Mitchell, 2002), oder finden keine signifikante Änderung (Weingart et al., 1992, Thiel et al., 1994, Cote et al., 1996, Licht et al., 1999, Zaina et al., 2003) bei einer Anwendung von verschiedenen funktionellen Tests. Weiters gibt es Berichte von Patienten, die trotz bekannter Hyperplasie oder einem Verschluss der A. vertebralis in Rotation keine Symptome während eines pre-manipulativen Tests zeigen (Rivett et al., 1998, Westaway et al., 2003).

2.7 Pathologien und Folgen

2.7.1 Arteriosklerose in der A. vertebralis

Die A. vertebralis ist ein Blutgefäß wie jedes andere und kann in ihrem Verlauf Ablagerungen bilden, die mit dem Krankheitsbild einer Arteriosklerose einhergehen. Kaum eine Erkrankung am Gefäßsystem steht mehr im Blickfeld der Medizin. Sie entwickelt sich langsam über Jahre und zeigt meist keine Symptome bis es zu einem Verschluss oder zur Bildung eines Thrombus kommt. Die Gefäßwand verändert sich und hat nicht mehr die gleiche Qualität wie vorher.

Kommt es zu einem Loslösen eines Embolus, so kann dies eine ischämischen Insult verursachen.

Es stellt sich hier die Frage, welche Auswirkung die Arteriosklerose auf die Hämodynamik und auf eine zervikale Manipulation hat. Cagnie et al. (2005) untersuchen in ihrer Studie die Aa. vertebralia von 57 Leichen, welche sich in einem Testament bereiterklärten, ihren Körper für Untersuchungen zur Verfügung zu stellen. 32 Männer und 25 Frauen in einem Durchschnittsalter von 81,3 (SD=10,4), 17 % sind jünger als 70, 28,3 % sind zwischen 70 und 79, 22,6 % sind zwischen 80 und 89 und 32,1 % sind älter als 89 Jahre, werden am anatomischen Institut der Universität Ghent an der A. vertebralis untersucht. Die A. vertebralis wird freipräpariert und geöffnet und in 4 Abschnitte eingeteilt. Der erste Abschnitt erstreckt sich von der A. subclavia bis zum Eintritt in das Foramen vertebrale des 7. Halswirbelkörpers. Der 2. Abschnitt erstreckt sich vom Foramen vertebrale des 6. Halswirbelkörpers bis zum Foramen vertebrale des 2. Halswirbelkörpers. Der 3. Abschnitt erstreckt sich vom Foramen vertebrale des 2. Halswirbelkörpers bis zum Occiput und der 4. Abschnitt erstreckt sich vom Occiput nach kranial und wird als intrakranieller Abschnitt bezeichnet. Nach der Öffnung der freipräparierten Arterien findet man in 22,8% der Fälle keine arteriosklerotischen Plaques, in 35,1 % der Fälle findet man unilateral arteriosklerotische Plaques, davon 60% auf der linken Seite, 40 % auf der rechten Seite, und in 42,1% findet man in beiden Aa. vertebralia arteriosklerotische Plaques. Im 3. Abschnitt der A. vertebralis werden signifikant mehr arteriosklerotische Plaques gefunden, als im 1. Abschnitt ($P=0,007$) und im 2. Abschnitt der A. vertebralis. Es werden keine Unterschiede im Auftreten von arteriosklerotischen Plaques von der linken und rechten A. vertebralis festgestellt. Im 1. Abschnitt ($P= 0,008$) und im 2.

Abschnitt ($P=0,002$) findet man zwischen dem gewundenen Verlauf der Gefäße arteriosklerotische Plaques.

Nach Cagnie et al. (2005) beeinflusst eine zervikale Manipulation veränderte Gefäße und erhebt ein weiteres Risiko einer vertebrobasilären Insuffizienz. Eindeutige Hinweise arteriosklerotischer Plaques sind nur selten belegbar und Osteopathen sollten beim Auftreten von indirekten Zeichen einer arteriosklerotischen Erkrankung Abstand von einer zervikalen Manipulation nehmen. Eine genauere diagnostische Abklärung ist in diesem Fall sinnvoll.

2.7.2 Dissektion der A. vertebralis

Bis zu 25 % der ischämischen Schlaganfälle jüngerer Patienten (unter 50 Jahre) sind durch Dissektionen hirnersorgender Halsarterien verursacht (Nedeltchev et al., 2005, Dziewas et al., 2003). Ohne Berücksichtigung einer relativ hohen Dunkelziffer beträgt die Häufigkeit einer Zervikalarteriendissektion ca. 2,6 – 5 pro 100000 Einwohner pro Jahr (Schievink, 2001, Lee et al., 2006). Dies ergibt ein Verhältnis von Dissektionen der A. carotis interna zur Dissektionen der A. vertebralis von 3:1 (Lee et al., 2006). Am häufigsten tritt die Krankheit im Alter zwischen 43 und 45 Jahre auf (Bassetti et al., 1996, Dietrich et al., 2007). In zwei Drittel der Fälle zeigen die Patienten zunächst lokale Symptome mit starken, ziehenden Schmerzen im vorderen und seitlichen Halsbereich im Verlauf der A. carotis interna. Man spricht von einer sogenannten Karotidynie. Tritt ein pochender oder bohrender Schmerz unterhalb des Mastoids im Bereich der Atlasschleife auf, so ist die A. vertebralis betroffen. Beide Schmerzgeschehen können sich auf den Kopf halbseitig ausweiten. Treten zentrale neurologische Symptome verbunden mit Schmerzen unmittelbar nach oder mit einer Latenz von Tagen bis Wochen nach einem traumatischen Geschehen auf, so ist die Wahrscheinlichkeit einer Dissektion der A. vertebralis oder der A. carotis interna vor allem bei jüngeren Menschen sehr hoch (Masuhr et al., 1998).

Dissektionen hirnzuführender Gefäße werden häufig in einen zeitlichen Zusammenhang mit einer zervikalen Manipulation gebracht, wobei zum Zeitpunkt der Manipulation bereits eine Spontandissektion vorliegt (Bischoff, 2004). Einen absoluten Ausschluss der Kontraindikation Spontandissektion hirnzuführender Arterien gibt es nicht.

In den letzten 20 Jahren wurde in der Literatur immer häufiger ein scheinbarer Zusammenhang zwischen der zervikalen Manipulation und der arteriellen Dissektion

erwähnt (Rothwell et al., 2001). Die Verlaufsrichtung der A. vertebralis wechselt von einem senkrechten in einen waagrechten Verlauf und an genau dieser Stelle kann die Arterie bei Rotations- und Extensionsbewegungen verletzt werden (Assendelft et al., 1996). Weiters wird angenommen, dass es bei einer Rotation der Halswirbelsäule zu einer Dehnung der Arterie kommt und dies eine Dissektion oder eine Okklusion der A. vertebralis verursacht (Rothwell et al., 2001). Bei jungen Menschen (Alter unter 45 Jahren) ist die zervikale arterielle Dissektion eine der häufigsten Ursachen für einen Schlaganfall (Chan et al., 2001). Diese Patientengruppe weist ein 5-fach höheres Risiko eines Schlaganfalles infolge einer Dissektion der A. vertebralis auf (Rothwell et al., 2001).

Eine genetische Veranlagung kann schon bei jungen Patienten existieren. Eine zervikale Manipulation könnte bei jungen Patienten aggressiver ausfallen, und bei älteren Menschen tritt eine Dissektion im Zusammenhang mit anderen medizinischen Erkrankungen auf (Rothwell et al., 2001).

Diesen Studien ist eine biomechanische Studie von Wuest (2010) entgegenzusetzen, die sich mit der Biomechanik der A. vertebralis in den Segmenten C1-C6 während einer zervikalen Manipulation beschäftigt. Wuest et al. (2010) untersuchen beide Aa. vertebrales vom Leichnam einer 90-jährigen, an Lungenentzündung verstorbenen Frau. In dieser Studie werden acht Ultraschallkristalle in die A. vertebralis im Abschnitt von C1 bis C6 eingesetzt und das Innere der A. vertebralis mit Ultraschallgel für die Übermittlung der Ultraschallsignale aufgefüllt. Die Untersuchung ermittelt nicht die Hämodynamik der A. vertebralis, sondern untersucht die Spannungen der A. vertebralis in einer endgradigen Rotation und während einer Manipulation. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass es bei einer endgradigen Rotation zu höheren Spannungen als bei einer Manipulation kommt.

Symons et al. (2002) untersuchen in ihrer Studie die Dehnung von sechs Aa. vertebrales und die einwirkende Kraft an fünf erst kürzlich verstorbenen Leichen im anatomischen Institut der Universität in Calgary. In eine ausgewählte A. vertebralis werden vorsichtig vier piezoelektrische ultrasonographische Kristalle im Abschnitt zwischen der A. subclavia und dem Occiput eingesetzt und mit einer Naht in der Position fixiert. Jeder Kristall wird als Sender oder Empfänger gekennzeichnet. Damit eine gute Übertragung gewährleistet wird, werden die Kristalle mit Ultraschallgel bedeckt. Es wird die Zeit eines Ultraschallsignales gemessen, die es von einem Kristall zum anderen paarigen Kristall braucht, um die Dehnung zwischen den beiden

Kristallen zu errechnen. Die Dehnung ist die Zeit, die ein Ultraschallsignal zwischen Sender und Empfänger in der Nullstellung im Verhältnis zwischen der Zeit, die ein Ultraschallsignal zwischen Sender und Empfänger in den verschiedenen, untersuchten Kopfpositionen braucht. Die Signale werden mit einem Computer mit einem Kanal von 2000 Herz verstärkt und aufgenommen. Es werden passiv zuerst die Flexion, die Extension, die Lateralflexion und die Rotation endgradig getestet. In der Folge wird die endgradige kombinierte Testposition von Extension und Rotation für einen Test einer vertebrobasilären Insuffizienz untersucht und zu allerletzt werden zervikale Manipulationen auf Höhe C1/C2, C3/C4 und C6/C7 durchgeführt und untersucht.

Die Resultate ergeben generell eine erhöhte Dehnung bei kontralateralen Bewegungstests. Bei allen Bewegungstests kommt es in den Segmenten C0/C1 zu einer deutlich höheren Dehnung, als in den unteren Segmenten. Die größte Dehnung zeigt sich in der Rotation, gefolgt von der Lateralflexion. Die Bewegungsprüfung in Extension ergibt weniger Dehnung. Der vertebrobasiläre Test zeigt wiederum eine erhöhte Spannung.

Test	Dehnung C0/C1 (% Neutralstellung)	Dehnung A. subclavia/C6 (% Neutralstellung)
Flexion	3,6 +/- 2,4	2,4 +/- 1,9
Extension	1,2 +/- 0,6	2,8 +/- 2,0
Ipsilaterale Rotation	5,3 +/- 3,2	3,2 +/- 2,1
Kontralaterale Rotation	12,5 +/- 10,1	4,8 +/- 4,5
Ipsilaterale Lateralflexion	3,3 +/- 3,2	2,0 +/- 1,8
Kontralaterale Lateralflexion	5,5 +/- 2,1	2,2 +/- 2,2
Ipsilaterale VBI	4,2 +/- 2,2	3,2 +/- 2,4
Kontralaterale VBI	11,8 +/- 8,6	4,9 +/- 4,2

Tabelle 1: Dehnung der A. vertebralis während verschiedener Bewegungstests.

Die Werte der Dehnung werden in Prozenten ausgedrückt und in Relation zur Nullstellung gesetzt. % Dehnungsausmaß, VBI, vertebrobasilärer Insuffizienztest.

Die Messungen der Dehnung, während einer zervikalen Manipulation, ergeben für das Segment C0/C1 höhere Werte als für die übrigen Segmente der Halswirbelsäule.

Wenn man drei Manipulationstechniken auf Höhe C3/C4 durchführt, so produziert die

Rotationsmanipulation die größte Dehnung (7%), gefolgt von einer Manipulation mit kombinierten Bewegungen (5,2%) und einer Manipulation in Lateralflexion (4,5%). In der oberen Halswirbelsäule ist eine höhere Dehnung der kontralateralen A. vertebralis zu erwarten, als in der unteren Halswirbelsäule.

Manipulation	Dehnung C0/C1 (% Neutralstellung)	Dehnung A. subclavia/C6 (% Neutralstellung)
Kontralateral C3/C4 Kombination	5,2 +/- 4,9	2,7 +/- 1,5
Kontralateral C3/C4 Lateralflexion	4,5 +/- 1,0	1,4 +/- 0,7
Kontralateral C3/C4 Rotation	7,0 +/- 6,1	2,5 +/- 0,7

Tabelle 2: Dehnung der A. vertebralis während einer Manipulation.

Die Werte der Dehnung werden in Prozenten ausgedrückt und in Relation zur Nullstellung gesetzt. % Dehnungsausmaß.

Diese Studien zeigen abermals, dass zu diesem Thema viele kontroverse Meinungen existieren und dass sich viele Angaben auf veraltete Studien stützen. Es existieren bereits Studien verschiedener Berufsgruppen über die A. vertebralis und es ist aus den Studien eine berufspolitische Diskrepanz erkennbar.

3 Methodik

3.1 Beschreibung der Methodik

Die Studie geht in den Bereich der Grundlagenforschung und wird im Krankenhaus der Barmherzigen Brüder St. Veit an der Glan durchgeführt. Die Probanden werden mittels eines Informationsblattes über die Durchführung der Untersuchung aufgeklärt und erklären sich durch eine Einverständniserklärung bereit, freiwillig an der Studie teilzunehmen.

Maximal vier Probanden werden an einem Nachmittag untersucht, um mögliche Fehlerquellen minimieren zu können und nicht unter Zeitdruck zu geraten. Der Osteopath leitet die Studie und übernimmt die Koordination, um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten.

Es werden 23 freiwillige und gesunde Probanden ohne Risikofaktoren im Alter zwischen 20 und 45 Jahren, männlich und weiblich, ausgewählt und an der A. vertebralis in Rückenlage in Nullstellung, in endgradiger Rotation, in endgradiger Position des De Kleyn Tests und in pre-manipulativer Position von C3/C4 untersucht. Alle Positionen werden in der Rückenlage des Probanden getestet und sind auf Grund einer möglichen klinischen Relevanz in Bezug auf die Hämodynamik der A. vertebralis ausgewählt worden. In diesen Positionen ist am ehesten zu erwarten, dass es zu einer Veränderung der Hämodynamik kommen kann.

Die ausgewählten Probanden werden innerhalb der letzten 3 Tage vor dem Test im Zuge einer Voruntersuchung vom Osteopathen untersucht. Diese Voruntersuchung beinhaltet eine umfangreiche Anamnese, eine grobe aktive Bewegungsprüfung, eine Blutdruckmessung und eine Pulsmessung. In der Bewegungsprüfung wird auf eine genaue Gradmessung verzichtet, da sich auch die Fragestellung der Studie auf die Hämodynamik der A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen richtet und die eingenommenen Positionen endgradige Testpositionen sind. Es werden aktiv die Flexion, die Extension, die rechte und linke Rotation und rechte und linke Lateralflexion getestet. Es wird im Zuge dessen auf möglich auftretende Symptome bzw. Merkmale und auf eine harmonisch durchgeführte Bewegung geachtet.

Symptome und Merkmale könnten zum Beispiel Schmerz, Schwindel oder Übelkeit sein, die wiederum den betroffenen Probanden von der Studie ausschließen würden. Auf eine Bewegungsprüfung mit genauen Gradangaben wird in der Voruntersuchung und in der Studie verzichtet, da es sich in der Studie weitgehend um kombinierte endgradige Bewegungen handelt. In der Literatur findet man Studien, die endgradige Bewegungsrichtungen untersuchen (Arnold et al., 2004, Zaina et al., 2003) und Studien, die eine genaue Angabe der Bewegungsgrade der Bewegungsrichtung angeben (Weingart et al., 1992, Refshauge, 1994). In diesen Studien werden ausschließlich Bewegungen in eine Bewegungsrichtung und keine kombinierten Bewegungen in verschiedenen Bewegungsgraden untersucht.

Für die Klinik ist diese Aussage über die endgradige Position von großer Relevanz, denn wenn es zu einer signifikanten Änderung der Hämodynamik kommt, dann muss gut analysiert werden, in welcher Position dies stattfindet und welche Auswirkung diese Änderung bezüglich Test und Therapie mit sich bringt.

Zur genauen Erläuterung der Positionen befindet sich der Proband in allen Positionen in der Rückenlage. Die Rückenlage wird einerseits aus dem Grund gewählt, da auch

in der Praxis häufig diese Ausgangstellung für Testverfahren und Behandlung angewendet wird und andererseits, da eine Umlagerung, die Einfluss auf Puls und Blutdruck hat, vermieden wird.

Alle Probanden müssen 10 Minuten in flacher Rückenlage und ohne Polster liegen. Wenn sich der Proband in Rückenlage befindet wird erstmalig Puls und Blutdruck gemessen. Nach 10 Minuten werden vor Beginn der Untersuchung nochmals der Puls und Blutdruck gemessen und während der Untersuchung werden immer in der Nullstellung Puls und Blutdruck gemessen. Puls und Blutdruck haben Auswirkungen auf die Hämodynamik der A. vertebralis und eine weitgehende Anpassung auf den Ausgangswert, vor Durchführung der Untersuchung, verhindert ein verfälschtes Ergebnis.

Die Probanden werden einmalig in Rückenlage in der jeweiligen Kopfposition auf Höhe von C3/C4 mit dem Ultraschallgerät Vivit 7 Pro mit einem Linearschallkopf mit 10 MHz untersucht und die Messungen der Hämodynamik der A. vertebralis werden winkelkorrigiert durchgeführt. Die Testpositionen am Probanden werden immer vom selben Osteopathen eingestellt und die Ultraschall Doppler Sonographie vom selben Facharzt für Innere Medizin durchgeführt. Der Osteopath selbst verfügt über eine 10 jährige Berufserfahrung. Der Facharzt für Innere Medizin verfügt über jahrelange Erfahrung in Ultraschall Doppler Sonographie und führt unter anderem täglich Untersuchungen hirnzuführender Arterien durch.

Gemessen wird in allen Positionen mittels Ultraschall Doppler Sonographie die Blutflussgeschwindigkeit und der Durchmesser der kontralateralen A. vertebralis. Der Blutfluss wird aus den gemessenen Parametern berechnet (siehe Kapitel 3.4).

Die Positionen der Nullstellung, der endgradigen Rotation, der endgradigen De Kleyn Position und der pre-manipulativen Position von C3/C4 werden vom Osteopathen eingestellt. Die erste Position, die der Patient einnimmt ist die Nullstellung des Kopfes in Rückenlage. In dieser Position werden beide Aa. vertebrales an den oben angeführten Parameter mittels Ultraschall Doppler Sonographie untersucht.

Die zweite Kopfposition ist eine endgradige Rotation in Rückenlage. Der Proband dreht den Kopf aktiv zur Seite und der Osteopath führt den Kopf passiv bis an sein Bewegungsende in Rotation. In beiden Rotationsrichtungen wird die kontralaterale A. vertebralis untersucht.

Die dritte Position ist die endgradige Position des A. vertebralis Test nach De Kleyn. Hier handelt es sich um eine endgradige kombinierte Bewegung des Kopfes in

Extension und Rotation. Der Proband rutscht so weit nach oben, dass sich sein Kopf, der vom Osteopathen gestützt wird, im Überhang befindet. Der Osteopath führt den Kopf des Probanden in die Endposition von Extension und Rotation und kontrolliert diese. Dieser Test wird beidseits durchgeführt und es wird jeweils die kontralaterale A. vertebralis untersucht.

Die vierte Position ist die endgradige Position der Manipulation des Segments C3/C4. Der Patient befindet sich in Rückenlage und der Kopf des Patienten wird vom Osteopathen durch kombinierte Bewegungen von Flexion oder Extension, mit Rotation, Lateralflexion, Traktion oder Kompression eingestellt.

Bei jedem Probanden wird die endgradige Position einer Manipulation von C3/C4 an beiden Seiten eingenommen und es wird jeweils die kontralaterale A. vertebralis begutachtet.

Jede dieser Kopfpositionen wird für 20 Sekunden eingenommen, und bevor es zur nächsten Einstellung der jeweiligen Kopfposition kommt, wird der Kopf immer wieder für die Dauer von einer Minute in die Nullstellung zurückgeführt. Puls und Blutdruck sollten nach dieser Pause wieder weitgehend den ursprünglichen Ausgangswert einnehmen. Die Dauer der Pause hat sich in der Untersuchung von drei Test-Probanden als angemessen herausgestellt.

Um einen reibungslosen Ablauf der Untersuchungen zu gewährleisten, wird der Untersuchungsablauf zwischen dem Facharzt, der die Untersuchungen mittels Ultraschall Doppler Sonographie durchführt, und dem Osteopathen mehrmals besprochen und im Geiste durchgespielt. Der Ablauf der gesamten Studie wird im Vorfeld an drei Probanden durchgeführt, um eine gewisse Routine und Sicherheit in der Durchführung zu bekommen.

Arzt und Osteopath arbeiten an einer reibungslosen Durchführung der Studie, um möglich auftretende Fehlerquellen zu vermeiden. Die Auswertung der Daten erfolgt durch einen Statistiker, der die Werte gegenüberstellt und analysiert. Es wird ein Testformular erstellt, welches mittels einer Tabelle die Testposition mit den Messwerten der Untersuchung vergleicht.

Ziel ist es, diskriminierende Variablen (HWS-Position) zu finden, welche Auskunft über eventuelle Veränderungen der beschriebenen Parameter geben können.

3.2 Forschungsfrage und Hypothesen

Forschungsfrage:

Welche Aussage gibt eine Ultraschall Doppler Sonographie bei Probanden in der Rückenlage über die Hämodynamik der kontralateralen A. vertebralis in der Nullstellung, in der endgradigen Rotation, in Kombination von endgradiger Extension und Rotation (De Kleyn Test) und in einer pre-manipulativen Position von C3/C4.

3.2.1 Arbeitshypothese 1

In der endgradigen Einstellung in Rotation kommt es zu einer signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers und des Blutflussvolumens.

3.2.2 Nullhypothese 1

In der endgradigen Einstellung in Rotation kommt es zu keiner signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers, und des Blutflussvolumens.

3.2.3 Arbeitshypothese 2

In der endgradigen Einstellung in Rotation und Extension (De Kleyn Position) kommt es zu einer signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers, und des Blutflussvolumens.

3.2.4 Nullhypothese 2

In der endgradigen Einstellung in Rotation und Extension (De Kleyn Position) kommt es zu keiner signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers, und des Blutflussvolumens.

3.2.5 Arbeitshypothese 3

In der endgradigen pre-manipulativen Einstellung von C3/C4 kommt es zu einer signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers und des Blutflussvolumens.

3.2.6 Nullhypothese 3

In der endgradigen pre-manipulativen Einstellung von C3/C4 kommt es zu keiner signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers und des Blutflussvolumens.

3.3 Stichprobe

3.3.1 Stichprobenbeschreibung

Es werden 23 männliche und weibliche Probanden ausgewählt und auf ihre Eignung zur Studie in einer osteopathischen Voruntersuchung geprüft. Die ausgewählten Probanden werden innerhalb der letzten drei Tage vor der Durchführung der Studie untersucht. Bei jedem Probanden wird eine genaue Anamnese gemacht und die Beweglichkeit der Halswirbelsäule getestet. In der Voruntersuchung dürfen keine Merkmale auftreten, welche die Studie in irgendeiner Form verfälschen würde. Merkmale, die in der Voruntersuchung auftreten können, werden im Kapitel Ausschlusskriterien noch näher beschrieben.

Im Kapitel Abbruchkriterien wird noch auf mögliche auftretende Symptome hingewiesen, die einen Abbruch der Studie mit sich bringen.

3.3.2 Einschlusskriterien

Alle 23 männlichen und weiblichen Probanden sollten gesund und im Alter zwischen 20 und 45 Jahren sein. Ab dem 45. Lebensjahr kommt es bei 2 % der Männer und Frauen zu einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Gefäßverengung bis hin zum Gefäßschluss (Gross et al., 2002). Sie sollten Bereitschaft, Motivation und Verlässlichkeit mitbringen. Alle Probanden werden im Rahmen einer Voruntersuchung mündlich über die Durchführung der Untersuchung genau aufgeklärt und müssen schriftlich eine Einverständniserklärung über Durchführung der Untersuchung

unterzeichnen. Es handelt sich hier um ein Informationsblatt mit einer Einverständniserklärung. Informationsblatt und Einverständniserklärung werden im Anhang angeführt.

3.3.3 Ausschlusskriterien

Die Probanden sollten keine neurologischen Erkrankungen, keine kardiorespiratorischen Erkrankungen und keine Erkrankungen am Bewegungsapparat vorweisen. Eine starke degenerative Veränderung oder Instabilität könnte einen Einfluss auf die A. vertebralis haben (Van den Berg, 2005). Prolapsbedingte Beschwerdezustände beim zervikobrachialen oder zervikomedullären Syndrom stellen eine Kontraindikation für eine Teilnahme an der Studie dar. Es besteht die Gefahr, dass ein Prolaps mehr aus der Bandscheibe gedrückt wird und Lähmungen verursacht. Ein zervikozepales Syndrom könnte negative Auswirkungen auf die Zirkulation der A. vertebralis haben und zusätzliche arteriosklerotische Veränderungen, Aneurysma und Anomalien bedrohen den Blutfluss der A. vertebralis (Krämer, 2006).

Alle Probanden sollten keine Risikofaktoren in Bezug auf das Herz-Kreislauf-System vorweisen.

Dazu gehören nach Block (2006):

- Fettstoffwechselstörung
- Nikotinabusus
- Hypertonus
- Diabetes Mellitus
- Hypercholesterinämie

Die bekannteste Gefäßerkrankung ist die Arteriosklerose, welche als die bedeutendste Zivilisationskrankheit bezeichnet wird (Gross et al., 2002).

Jene Probanden, welche in der osteopathischen Voruntersuchung einen Hinweis einer Erkrankung haben, welche einen Einfluss auf die Untersuchung der Hämodynamik der A. vertebralis haben könnten, werden in der Studie nicht berücksichtigt.

Sollte es während der Untersuchung zu einem erhöhten Blutdruck kommen, so wird dies im Rahmen der statistischen Auswertung berücksichtigt. Bei einer schweren

Hypertonie wird die Untersuchung nicht durchgeführt. Die genauen Werte sind aus der unten angeführten Tabelle zu entnehmen.

Die Weltgesundheitsorganisation hat eine Klassifikation für arterielle Hypertonie vorgestellt (WHO Guidelines, 1999).

Folgende Tabelle wurde erstellt:

Bewertung	Systolisch (mm Hg)	Diastolisch (mm Hg)
Optimaler Blutdruck	<120	<80
Normaler Blutdruck	120-129	80-84
Hoch-normaler Blutdruck	130-139	85-89
Milde Hypertonie (Stufe 1)	140-159	90-99
Mittlere Hypertonie (Stufe 2)	160-179	100-109
Schwere Hypertonie (Stufe3)	>180	> 110

Tabelle 3: Klassifikation für arterielle Hypertonie (WHO Guidelines, 1999).

3.3.4 Abbruchkriterien

Die Untersuchung der A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen kann zu jeder Zeit von Seiten des Probanden, Arztes und Osteopathen abgebrochen werden. Dabei beinhalten die Abbruchkriterien jede Art von unwohl sein bis hin zu möglich auftretenden Erscheinungen. Darunter fallen neurologische Symptome wie Schwindel, Übelkeit und Erbrechen, die auf eine Minderversorgung des Gehirns aufgrund einer Beeinträchtigung hirnzuführender Arterien schließen lässt. Wenn dies der Fall ist, wird die Untersuchung abgebrochen. Der Arzt und der Osteopath werden sich in diesem Fall dem Patienten annehmen und mit dem Patienten die Situation besprechen. Eine genauere Abklärung ist in diesem Fall sinnvoll und weitere

Untersuchungsmaßnahmen werden mit dem Patienten besprochen.

In jedem Fall wird dieser Patient aus der Studie herausgenommen, aber im praktischen Teil der Arbeit angeführt und erläutert.

Auch bei anderen Symptomen, wie Ohrgeräusche, Kribbeln in den Händen oder im Kopf oder Schmerzen im Nacken oder Kopf, wird die Untersuchung sofort abgebrochen. Der Proband wird auch in diesem Fall von Arzt und Osteopath betreut und der Arzt bespricht mit dem Probanden weitere Untersuchungsmaßnahmen.

Bei allen Symptomen, die der Patient aufweisen könnte, handelt es sich um Symptome des kardiovaskulären und neurologischen Systems oder um Symptome des Bewegungsapparates. Unter Symptome des Bewegungsapparates fallen alle Krankheiten und Veränderungen an der Halswirbelsäule, die wiederum eine starke Bewegungseinschränkung und eine Schmerzsymptomatik mit sich bringen. Auch akute und chronische Myalgien beeinträchtigen den Untersuchungsablauf. In den Bereich der neurologischen Symptome fallen alle zentralen, peripheren, aber auch vegetativen Erscheinungsbilder. Der Bereich der kardiovaskulären Symptome beinhaltet alle Gefäß- und Herz-Kreislaufferkrankungen.

3.4 Erhebungsverfahren

In einem Testformular werden von allen Probanden Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht bestimmt und der Wert des Body-Maß-Index errechnet.

Der Wert des Body-Maß-Index errechnet sich nach der World Health Organization folgendermaßen:

$$BMI = \frac{M}{L^2}$$

Legende:

BMI	=	Body-Maß-Index
M	=	Masse in kg
L	=	Körpergröße in m

Die Untersuchung der Hämodynamik der A. vertebralis wird mit Ultraschall Doppler Sonographie mit dem Vivit 7 Pro der Firma General Electric Healthcare durchgeführt. Dieses Gerät verfügt über eine Technologie, welche dem Ultraschallgerät eine ausgezeichnete Bildgebungs- und Darstellungsqualität verleiht. Die Technologie der dreidimensionalen Strahlenerzeugung verbessert die Bildqualität und bringt insbesondere für die 2D Farbfluss- und Doppelbildgebung eine Leistungsverbesserung mit sich. Der Osteopath stellt in Rückenlage die Kopfpositionen ein und der Arzt untersucht mittels Ultraschall Doppler Sonographie die Blutflussgeschwindigkeit und den Durchmesser der A. vertebralis. Die

Untersuchung der A. vertebralis erfolgt im Longitudinalschnitt bei anterolateraler Sondenposition. Das Blutvolumen wird folgendermaßen berechnet:

$$FV = V \times A$$

Legende:

FV = Blutflussvolumen in ml/min

V = höchste systolische Blutflussgeschwindigkeit cm/s

A = Querschnittfläche des Gefäß in cm² $A = \frac{\pi \times D^2}{4}$

D = Durchmesser in cm

Der Faktor 60 wird zu spezifischen Umrechnung des Blutflussvolumens verwendet.

Aus den oben angegebenen Parametern lässt sich folgende Formel zur Berechnung des Blutflussvolumens in ml/min anführen:

$$FV = D^2 \times V_{mean} \times \pi \times 15$$

Die Blutdruck- und Pulsmessung wird mit dem Intelli Vue X2 Patientenüberwachungsmonitor der Firma Philips durchgeführt, der sämtliche Parameter wie Elektrokardiographie, Puls, Blutdruck, Sättigung, Atemfrequenz und Temperatur misst und jährlich einer TÜV Überprüfung unterzogen wird. Der Überwachungsmonitor verfügt über hohe Validität in der Durchführung von Messparameter und ist bestens geeignet für den intensivmedizinischen und anästhesiologischen Bereich. Für die Studie werden relevante Daten von Blutdruck und Puls erfasst.

4 Ergebnisdarstellung

4.1 Methodik

Die Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen und Blutdruck- sowie Pulsmessungen wurden in einer Microsoft® Excel®-Tabelle gesammelt und computerunterstützt unter Verwendung der Statistiksoftware R 2.12.0. (R Development Core Team, 2010) ausgewertet. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha=0,05$ gewählt.

Überprüfung der Rohdaten und der Voraussetzung von verteilungsabhängigen Testverfahren:

Die Rohdaten wurden mit Hilfe eines einfachen Ausreißertests (Sachs, 2004) auf deren Plausibilität überprüft und diesbezügliche Auffälligkeiten nachgeprüft und Werte entsprechend korrigiert. Bei diesem Test wird der Mittelwert und die Standardabweichung der Daten ohne den höchsten bzw. niedrigsten Wert berechnet und anschließend geprüft, ob dieser größer bzw. kleiner als die Summe aus Mittelwert und vierfacher Standardabweichung ist. Der 4σ -Bereich umfasst bei normalverteilten Daten 99,99% der Werte, bei beliebigen anderen Verteilungen 96% (Sachs, 2004). Das heißt, dass Werte, die außerhalb dieses Bereichs liegen, mit hoher Wahrscheinlichkeit atypisch für die Stichprobe sind.

Verwendete statistische Methoden:

Grundvoraussetzung für die Anwendbarkeit von parametrischen Verfahren (wie ANOVA, t-Tests) ist eine annähernde Normalverteilung der Daten in den einzelnen Gruppen und in der gesamten Stichprobe (multivariate Normalverteilung), sowie die Homogenität der Varianzen. Die Normalverteilung wurde mit Hilfe des Shapiro-Wilk Tests untersucht, wobei das Signifikanzniveau mit $p=0,10$ gewählt wurde (Sachs, 2004). Für die Untersuchung der Homogenität der Varianzen, eine andere Grundbedingung für verteilungsabhängige Tests, wurde der Bartlett Test verwendet. Aufgrund der Stichprobengröße ($n=23$) wurden jedoch auch bei Erfüllung dieser Voraussetzungen in allen Fällen zusätzlich parameterfreie Tests durchgeführt, die bei Fallzahlen dieser Größenordnung oftmals wirksamer sind (Sachs, 2004).

Die Änderung der Beobachtungen der abhängigen Variablen wurde generell mittels **einfaktorieller Varianzanalyse** mit Messwiederholung (Analysis of

Variance...ANOVA) untersucht, wobei der Faktor „Position“ bei Blutdruck und Puls sämtliche acht Messungen (Beginn, Nullmessung nach 10 Minuten Ruhepause in Rückenlage, nach endgradiger Rotation rechts bzw. links, nach endgradiger De Kleyn Position rechts bzw. links und nach pre-manipulativer Position rechts bzw. links) umfasst.

Nachdem bei diesen Vorbetrachtungen ein deutlicher Unterschied in den Blutdruckmessungen (diastolisch) nach den Ultraschalluntersuchungen in Abhängigkeit von der untersuchten Arterie (rechts/links) erkennbar wurde, wurden die Ergebnisse der abhängigen Variablen „maximale Blutflussgeschwindigkeit“, „Gefäßdurchmesser“ und „Blutfluss“ für jede Körperseite und - der Fragestellung entsprechend - für jede Kopfposition gesondert ausgewertet. Demnach ist die unabhängige Variable „Position“ in diesen Fällen dichotom (Nullmessung in Rückenlage nach 10 Minuten Ruhepause in der selben Lage/zu untersuchende Position entweder links oder rechts). Als Fehlerterm wurde die Streuung zwischen den Versuchspersonen (Faktor „Versuchsperson“ gekreuzt mit Faktor „Position“) herangezogen, wodurch die Ergebnisse jenen von t-Tests gepaarter Stichproben entsprechen (Innersubjektdesign). Nachdem etliche Variablen deutlich von einer Normalverteilung abweichen, wurden zusätzlich nichtparametrische **Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests** gepaarter Stichproben durchgeführt.

Bei signifikanten Ergebnissen der ANOVA der abhängigen Variablen Puls und Blutdruck mit dem in diesem Fall nicht dichotomen Faktor „Position“ wurden anschließend **t-Tests gepaarter Stichproben** durchgeführt, wobei einerseits die Erstmessung (Beginn) und die Nullmessung (nach 10 Minuten Ruhe in Rückenlage), sowie die Werte nach den Ultraschalluntersuchungen in den sechs Kopfpositionen mit jenen der Nullmessung verglichen wurden.

Nachdem zwischen den Ultraschalluntersuchungen in den einzelnen Kopfpositionen eine Ruheperiode eingehalten wurde, die sich in Vorversuchen als geeignet lang herausgestellt hatte, um einen mit der Nullmessung vergleichbaren Ausgangszustand hinsichtlich Puls und Blutdruck herzustellen, ist davon auszugehen, dass diese Parameter keinen Einfluss auf die Ergebnisse ausüben.

Zur Absicherung wurde dennoch eine **Kovarianzanalyse** (Analysis of Covariance...ANCOVA) der abhängigen Variable „Blutfluss“ durchgeführt, bei der

neben dem Faktor „Position“ die Kovariaten „Puls“, „systolischer Blutdruck“ und „diastolischer Blutdruck“ zusätzlich mitberücksichtigt wurden.

Aufgrund der relativ geringen Anzahl an Versuchspersonen wurde die ANCOVA mit jeder der drei Kovariaten einzeln durchgeführt, um die Anzahl der Freiheitsgrade nicht zu stark zu reduzieren, was bei einem geringen Effekt der Kovariate auf die Varianz der abhängigen Variable zu einer Reduktion der Power führen würde.

Eine direkte Interpretation der Ergebnisse ist aufgrund des Zeitpunkts der Blutdruck- und Pulsmessungen direkt *nach* der jeweiligen Ultraschalluntersuchung und *vor der Ruheperiode* zwischen dieser und der nächsten Untersuchung nicht möglich, da die exakten Werte dieser Kovariaten unmittelbar vor dem Einstellen der Kopfposition nicht bekannt sind. Daher wurden jeweils die Messergebnisse der Kovariaten nach der vorausgegangenen Ultraschalluntersuchung (und somit vor der Pause) herangezogen.

Diese Werte stellen bei einem Effekt der Kopfposition auf die Kovariaten und anschließender Normalisierung den Worst-case dar und bei einer systematischen Änderung mit der Zeit die bestmögliche Einschätzung des Zustands des Systems. Bei einem signifikanten Ergebnis des Hauptfaktors „Position“ kann ein Störeinfluss der Kovariablen ausgeschlossen werden, da die Varianzanalyse nur mit den Regressionsresiduen berechnet wird (d.h. die Varianz der abhängigen Variable, die auf die Kovariaten zurückgeht, fließt nicht in die Varianzanalyse ein).

Darstellung der Ergebnisse:

Differenzwerte der Messwerte werden so berechnet, dass negative Vorzeichen eine Abnahme, positive eine Zunahme der Werte mit der Zeit anzeigen (Wert 2 – Wert 1)

5 Ergebnisse

5.1 Stichprobencharakteristika

An der Studie nahmen entsprechend den Einschlusskriterien zehn Männer und 13 Frauen zwischen 20 und 44 Jahren (mittleres Alter $32,8 \pm 5,8$ Jahre) teil.

Während der Untersuchung traten bei keiner der Testpersonen Symptome auf, die ein Abbruchkriterien darstellen.

Die mittlere Größe der Probanden beträgt $171,9 \pm 8,1$ cm, das mittlere Gewicht $68,1 \pm 13,5$ kg und daraus berechnet der mittlere BMI $22,9 \pm 3,4$ kg/m².

5.2 Vorbetrachtungen

Um Einflüsse der Kopfpositionen auf Puls und systolischen sowie diastolischen Blutdruck erkennen zu können, die wiederum die Ergebnisse der nachfolgenden Tests beeinflussen können, wurden diese Parameter vor Testbeginn in einem zeitlichen Abstand von 10 Minuten und anschließend nach jeder einzelnen Bestimmung des Blutflusses gemessen.

5.2.1 Pulsrate

Es ist kein signifikanter Unterschied in der Änderung der mittleren Pulsfrequenz zwischen der acht Messungen zu beobachten (ANOVA: $F_{7,154} = 1,028$, $p = 0,41$). Der Verlauf der Pulsrate für die einzelnen 23 Versuchspersonen ist in Abbildung 1 dargestellt, Mittelwerte und 95%-Vertrauensintervalle von allen Messungen in Abbildung 2.

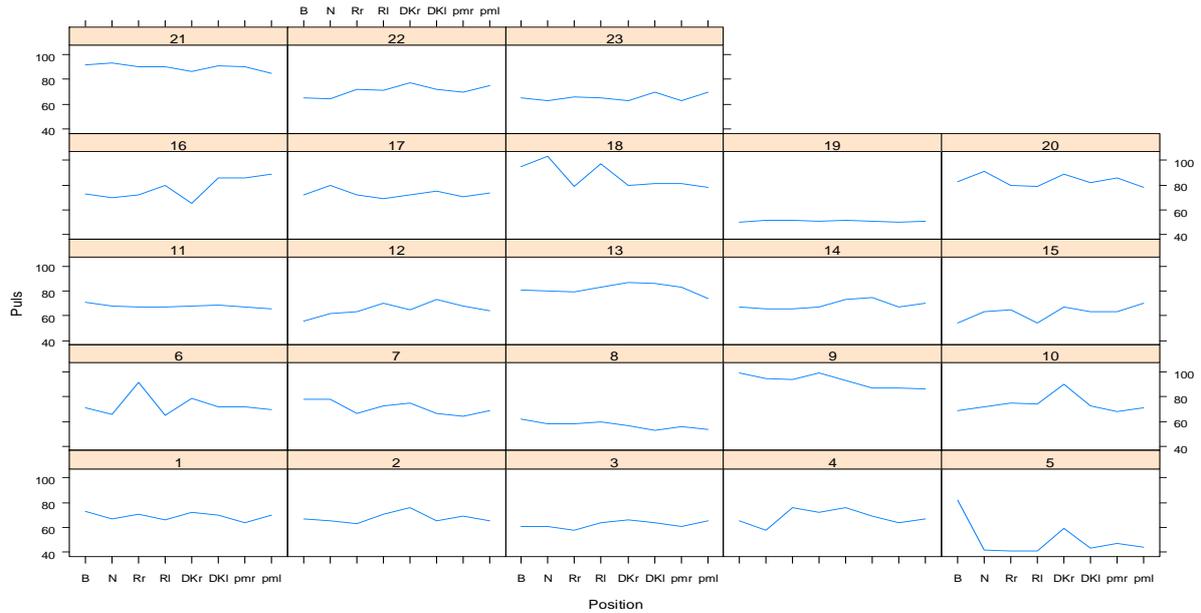


Abbildung 1: Verlauf der Pulsfrequenz während der acht Messungen bei allen 23 Versuchspersonen (B...Beginn, N...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage (Nullmessung), Rr/RI...nach endgradiger Rotation rechts/links, DKr/DKl... nach endgradiger De Kleyn Position rechts/links, pmr/pml...nach pre-manipulativer Position C3/C4 rechts/links).

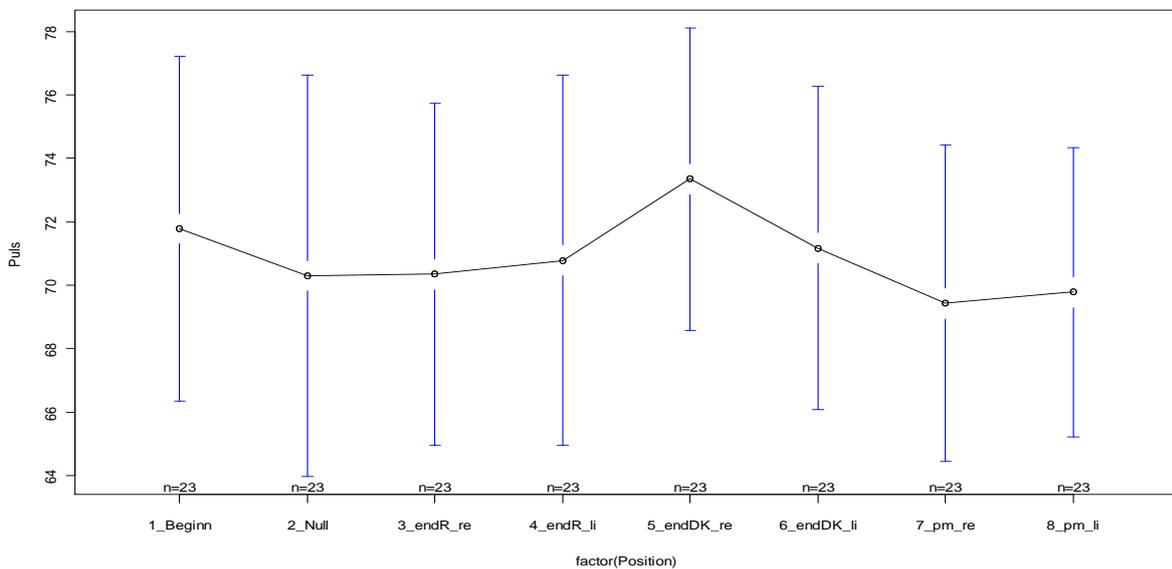


Abbildung 2: Verlauf der Pulsfrequenz während der acht Messungen (Mittelwerte und 95%-Vertrauensbereiche (Null...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage, endR...nach endgradiger Rotation, endDK... nach endgradiger De Kleyn-Position, pm...nach pre-manipulativer Position C3/C4, re...rechte, li...linke A. vertebralis).

Die insgesamt am deutlichsten erhöhte Pulsrate ist nach der De Kleyn Position rechts zu beobachten. Nach den De Kleyn Positionen sinkt die mittlere Pulsrate wieder auf einen der Nullmessung (2_Null) ähnlichen Zustand ab.

5.2.2 Blutdruck

5.2.2.1 Systolisch

Bei den Mittelwerten der Messergebnisse des systolischen Blutdrucks sind signifikante Unterschiede zu beobachten (ANOVA: $F_{7, 154} = 7,79$, $p < 0,0001$). Der Verlauf für die einzelnen 23 Versuchspersonen ist in Abbildung 3 dargestellt, Mittelwerte und 95%-Vertrauensintervalle von allen Messungen in

Abbildung 4: Verlauf des systolischen Blutdrucks während der acht Messungen (Mittelwerte und 95%-Vertrauensbereiche (Null...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage, endR...nach endgradiger Rotation, endDK... nach endgradiger De Kleyn-Position, pm...nach pre-manipulativer Position C3/C4, re...rechte, li...linke A. vertebralis).

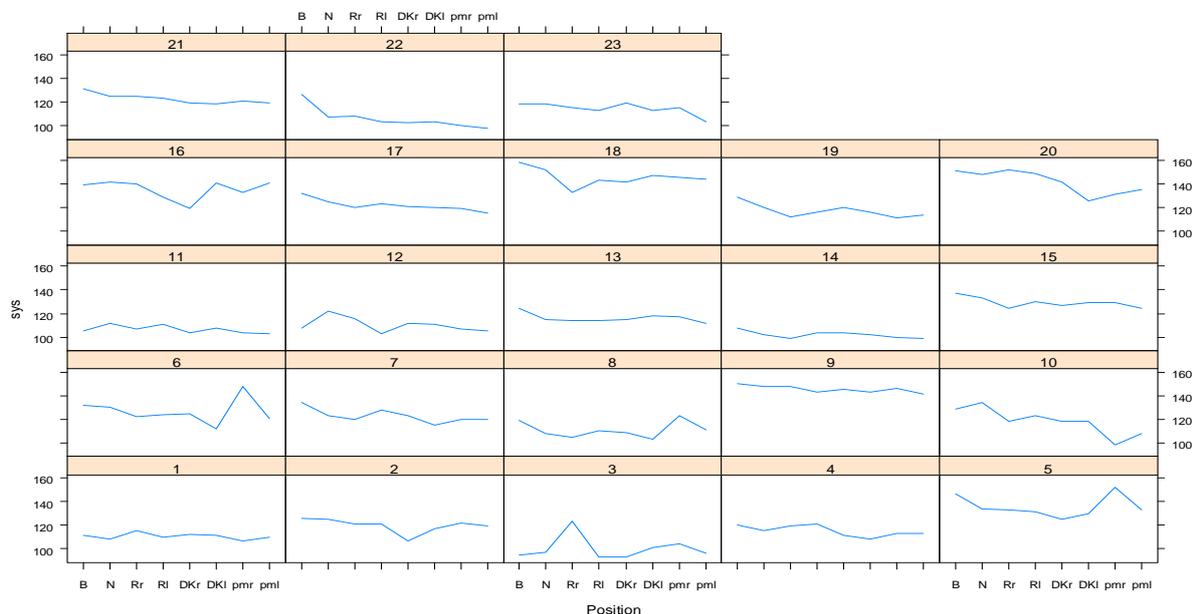


Abbildung 3: Verlauf des systolischen Blutdrucks während der acht Messungen bei allen 23 Versuchspersonen (B...Beginn, N...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage (Nullmessung), Rr/RI...nach endgradiger Rotation rechts/links, DKr/DKl... nach endgradiger De Kleyn Position rechts/links, pmr/pml...nach pre-manipulativer Position C3/C4 rechts/links).

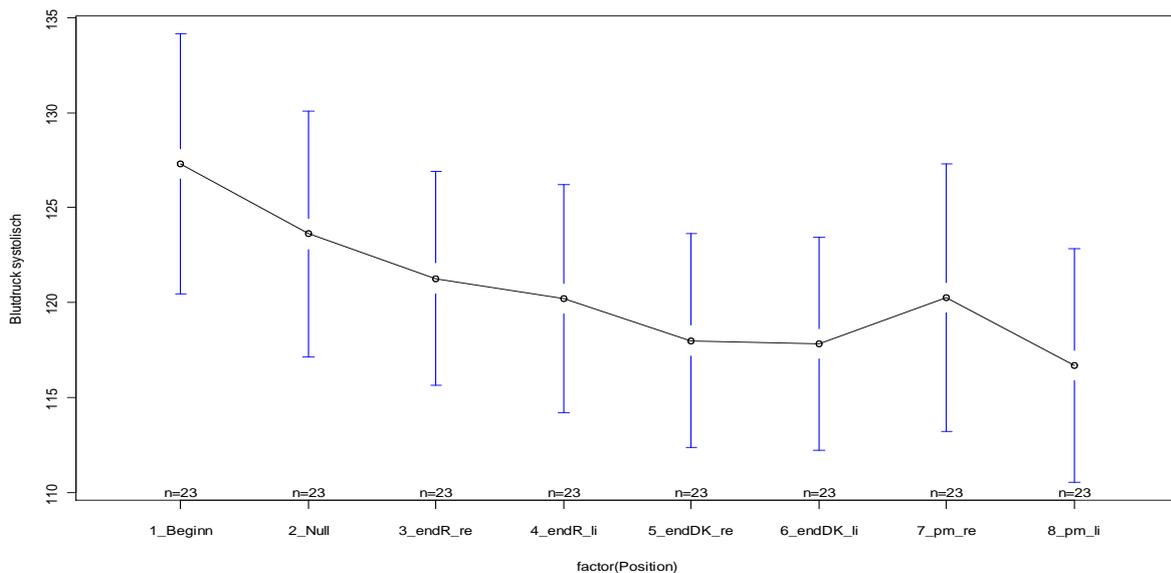


Abbildung 4: Verlauf des systolischen Blutdrucks während der acht Messungen (Mittelwerte und 95%-Vertrauensbereiche (Null...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage, endR...nach endgradiger Rotation, endDK... nach endgradiger De Kleyn-Position, pm...nach pre-manipulativer Position C3/C4, re...rechte, li...linke A. vertebralis).

Der mittlere systolische Blutdruck sinkt bis zur sechsten Messung stetig ab, wobei bei allen Messungen eine ähnliche Streuung zu beobachten ist. Auffällig ist die Zunahme des systolischen Blutdrucks bei der siebten Messung, die nach dem Einstellen der pre-manipulativen Position rechts und der darauf folgenden Ultraschalluntersuchung durchgeführt wurde.

Anhand der Ergebnisse von t-Tests für gepaarte Stichproben (vgl. Tabelle 4) ist erkennbar, dass der systolische Blutdruck durch die unterschiedlichen Kopfpositionen teilweise stärker beeinflusst wird, als durch die 10-minütige Ruhepause (sys_Null – sys_Beginn). So ist der systolische Blutdruck zwischen Nullmessung und den Messungen nach endgradiger De Kleyn Position beidseits (sys_0_DK_li bzw. re), sowie nach pre-manipulativer Position C3/C4 (sys_0_pm_li) links signifikant reduziert.

Systolisch [mmHg]		Differenz	t	df	p
sys_Beginn	sys_Null	-3,7	-2,5033	22	0,020
sys_Null	sys_0_rot_re	-2,3	-1,3198	22	0,20
sys_Null	sys_0_rot_li	-3,4	-2,844	22	0,009
sys_Null	sys_0_DK_r	-5,6	-4,0562	22	0,0005
sys_Null	sys_0_DK_li	-5,8	-4,3801	22	0,0002
sys_Null	sys_0_pm_r	-3,3	-1,3991	22	0,18
sys_Null	sys_0_pm_li	-6,9	-5,0404	22	0,00005

Tabelle 4: Ergebnisse der t-Tests für gepaarte Stichproben, sowie mittlere Differenzen der Blutdruckwerte (systolisch) zwischen der Nullmessung und den Blutdruckmessungen nach den einzelnen Ultraschalluntersuchungen.

Das bedeutet, dass bei einem zu kurz gewählten zeitlichen Intervall, nach Einnahme dieser Positionen, geänderte Ausgangssituationen hinsichtlich des systolischen Blutdrucks im Vergleich zur Nullmessung herrschen können. Die Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen in den gelb markieren Positionen müssen daher auch unter diesem Gesichtspunkt betrachtet werden.

5.2.2.2 Diastolisch

Aufgrund der Ergebnisse der ANOVA ($F(7,154)=2,1725$, $p=0,040$) sind beim diastolischen Blutdruck ebenfalls signifikante Unterschiede in den Mittelwerten der Ergebnisse der acht Messungen zu erwarten. Der Verlauf für die einzelnen 23 Versuchspersonen ist in Abbildung 5 dargestellt, Mittelwerte und 95%-Vertrauensintervalle von allen Messungen in Abbildung 6.

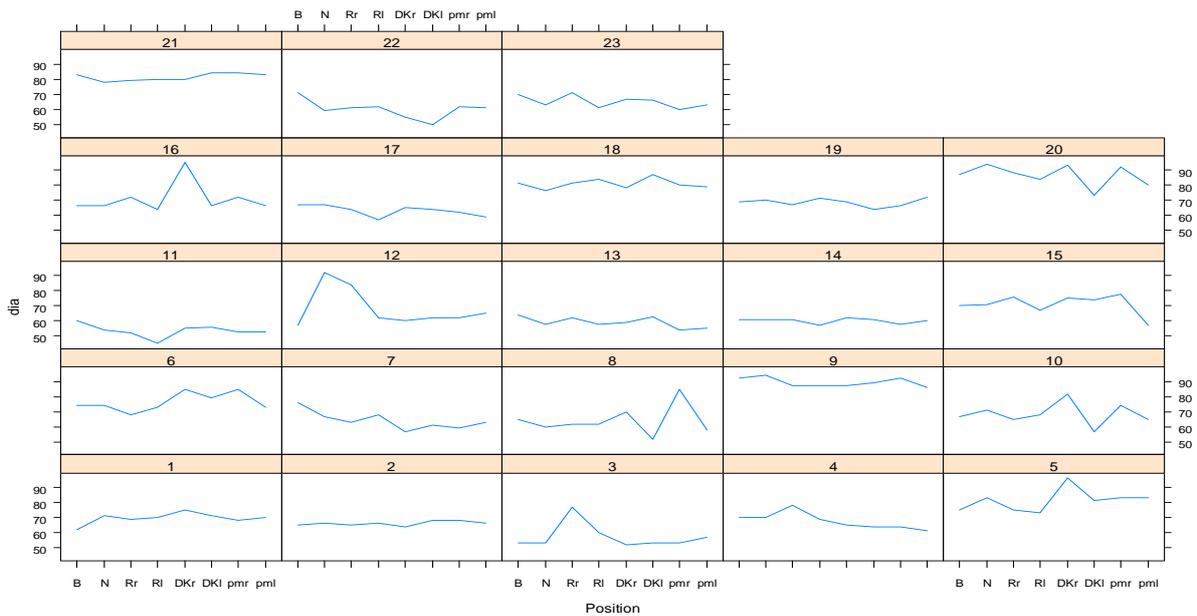


Abbildung 5: Verlauf des diastolischen Blutdrucks während der acht Messungen bei allen 23 Versuchspersonen (B...Beginn, N...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage (Nullmessung), Rr/RI...nach endgradiger Rotation rechts/links, DKr/DKl... nach endgradiger De Kleyn Position rechts/links, pmr/pml...nach pre-manipulativer Position C3/C4 rechts/links).

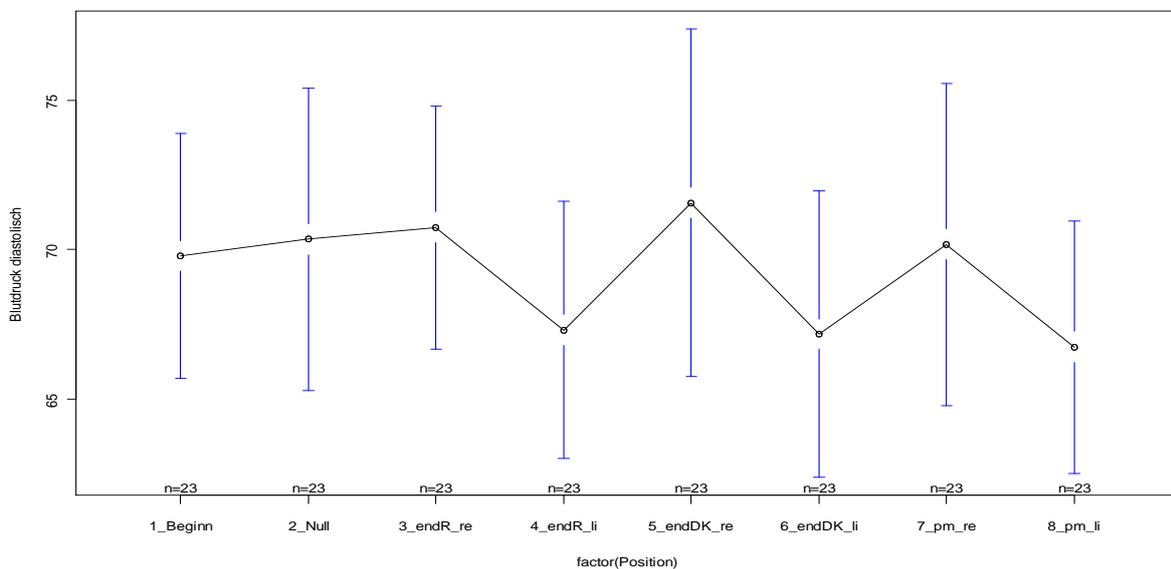


Abbildung 6: Verlauf des diastolischen Blutdrucks während der acht Messungen (Mittelwerte und 95%-Vertrauensbereiche (Null...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage, endR...nach endgradiger Rotation, endDK... nach endgradiger De Kleyn-Position, pm...nach pre-manipulativer Position C3/C4, re...rechte, li...linke A. vertebralis).

Der diastolische Blutdruck ist jeweils nach den Messungen des Blutflusses an der linken A. vertebralis reduziert. Die Ergebnisse von t-Tests für gepaarte Stichproben (vgl. Tabelle 5) zeigen, dass auch der diastolische Blutdruck durch die meisten Kopfpositionen stärker beeinflusst wird, als durch die 10-minütige Ruhepause (dia_Null – dia_Beginn). Die mittleren Messergebnisse nach den drei Ultraschalluntersuchungen an der linken A. vertebralis (dia_0_rot_li...endgradige Rotation, dia_0_DK_li...endgradige De Kleyn Position und dia_0_pm_li...pre-manipulative Position C3/C4) sind im Vergleich zur Nullmessung reduziert, wobei allerdings nur bei der pre-manipulativen Position ein signifikanter Unterschied besteht, bei den beiden anderen Positionen ist er zumindest deutlich.

Diastolisch [mmHg]		Differenz	t	df	p
dia_Beginn	dia_Null	0,6	0,2951	22	0,77
dia_Null	dia_0_rot_re	0,4	0,2608	22	0,80
dia_Null	dia_0_rot_li	-3,0	-1,8981	22	0,07
dia_Null	dia_0_DK_re	1,2	0,5369	22	0,60
dia_Null	dia_0_DK_li	-3,2	-1,6693	22	0,11
dia_Null	dia_0_pm_re	-0,2	-0,0875	22	0,93
dia_Null	dia_0_pm_li	-3,6	-2,386	22	0,026

Tabelle 5: Ergebnisse der t-Tests für gepaarte Stichproben, sowie mittlere Differenzen der Blutdruckwerte (diastolisch) zwischen der Nullmessung und den Blutdruckmessungen nach den einzelnen Ultraschalluntersuchungen.

Die Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen in den gelb markierten Positionen können demnach theoretisch durch im Vergleich zur Nullmessung geänderte Ausgangssituationen hinsichtlich des diastolischen Blutdrucks beeinflusst sein. Allerdings ist aus anatomischer bzw. funktioneller Sicht keine Auswirkung des diastolischen Blutdrucks auf den Blutfluss in der A. vertebralis anzunehmen.

5.3 Ultraschalluntersuchungen in endgradiger Rotation

5.3.1 Maximale Strömungsgeschwindigkeit in der A. vertebralis

In Abbildung 7 sind die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der rechten A. vertebralis bei der Nullmessung (Nullposition des Kopfes) und der Messung bei endgradiger Rotation nach links für jeden einzelnen Probanden dargestellt. Für die linke A. vertebralis sind die entsprechenden Daten in Abbildung 8 ersichtlich.

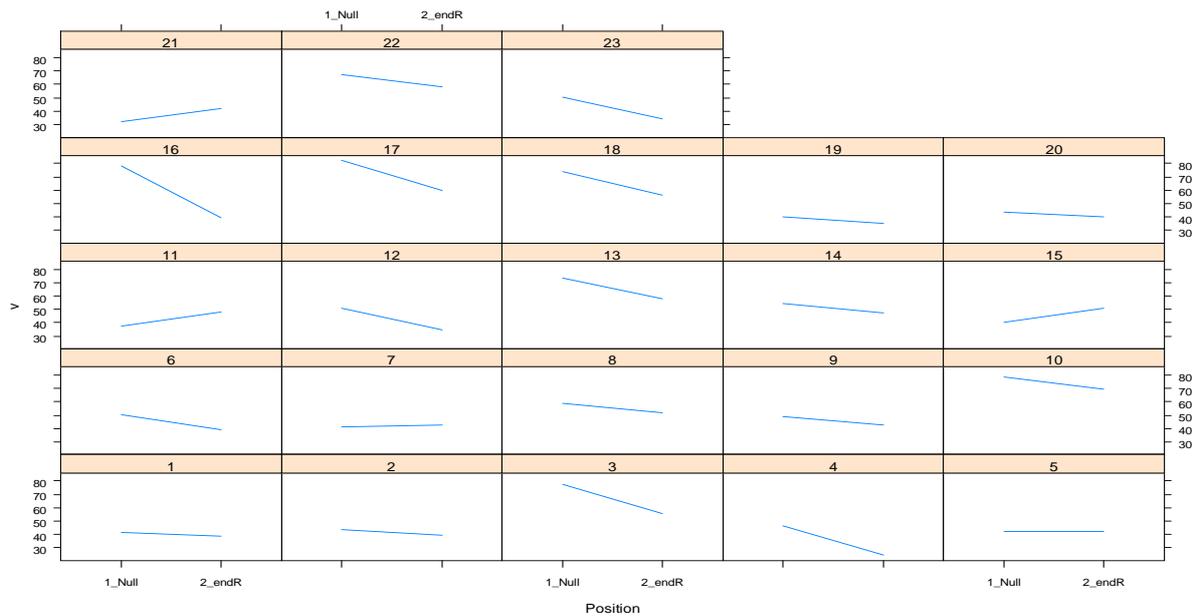


Abbildung 7: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

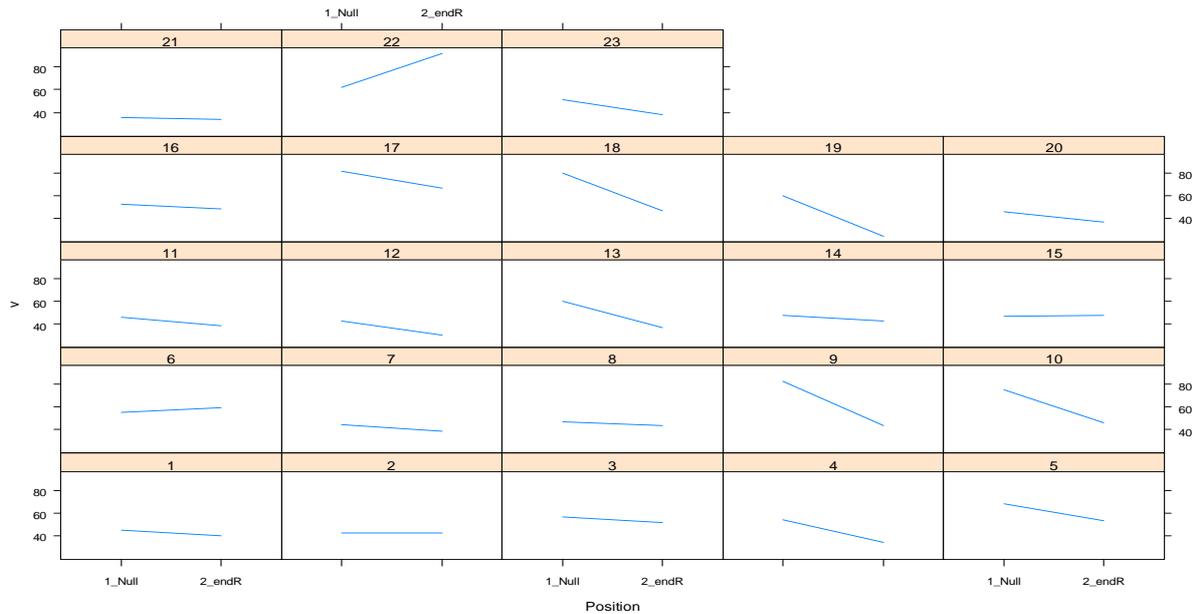


Abbildung 8: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variable „Maximale Strömungsgeschwindigkeit“ in der linken und rechten A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige Rotation) zusammengefasst. Zur Absicherung der Ergebnisse sind zum Vergleich die Ergebnisse der entsprechenden Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben angeführt.

	ANOVA					Wilcoxon (gepaart)	
rechts	Df	SS	MS	F	p	V	P
factor(Position)	1	907,98	907,98	13,231	0,001	40	0,0019
Residuals	22	1509,74	68,62				
links	Df	SS	MS	F	p		
factor(Position)	1	1335,2	1335,21	11,781	0,0024	27	0,0003
Residuals	22	2493,3	113,33				

Tabelle 6: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable „Maximale Strömungsgeschwindigkeit“ in der linken und rechten A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige Rotation, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).

Die deskriptiven Daten für die beiden Kopfpositionen sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Ebenso sind die Differenzwerte (Endgradige Rotation – Nullmessung), sowie deren 95%-Vertrauensbereich für die Arterien beider Körperseiten angeführt.

maximale Strömungsgeschwindigkeit [cm/s]									95%- Vertrauensber.	
rechts	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	32,47	54,545	82,10	15,667	50,360	23	3,27	-8,89	-13,95	-3,82
Engrad Rot	24,53	45,659	69,47	10,498	42,780	23	2,19			
links	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	35,83	55,689	82,88	13,472	52,600	23	2,81	-10,78	-17,29	-4,26
Engrad Rot	24,00	44,913	91,78	13,836	42,750	23	2,89			

Tabelle 7: Deskriptive Daten der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten [cm/s] in rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation.

In endgradiger Rotation ist eine signifikante Reduktion der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zur Strömungsgeschwindigkeit in Nullposition zu erkennen. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 8,9 cm/s (16%, $F_{1,22}=13,231$, $p=0,001$), in der linken A. vertebralis 10,8 cm/s (19%, $F_{1,22}=11,781$, $p=0,002$).

5.3.2 Gefäßdurchmesser der A. vertebralis

In Abbildung 9 sind die Gefäßdurchmesser der rechten A. vertebralis bei der Nullmessung (Nullposition des Kopfes) und der Messung bei endgradiger Rotation nach links für jeden einzelnen Probanden dargestellt. Für die linke A. vertebralis sind die entsprechenden Daten in Abbildung 10 ersichtlich.

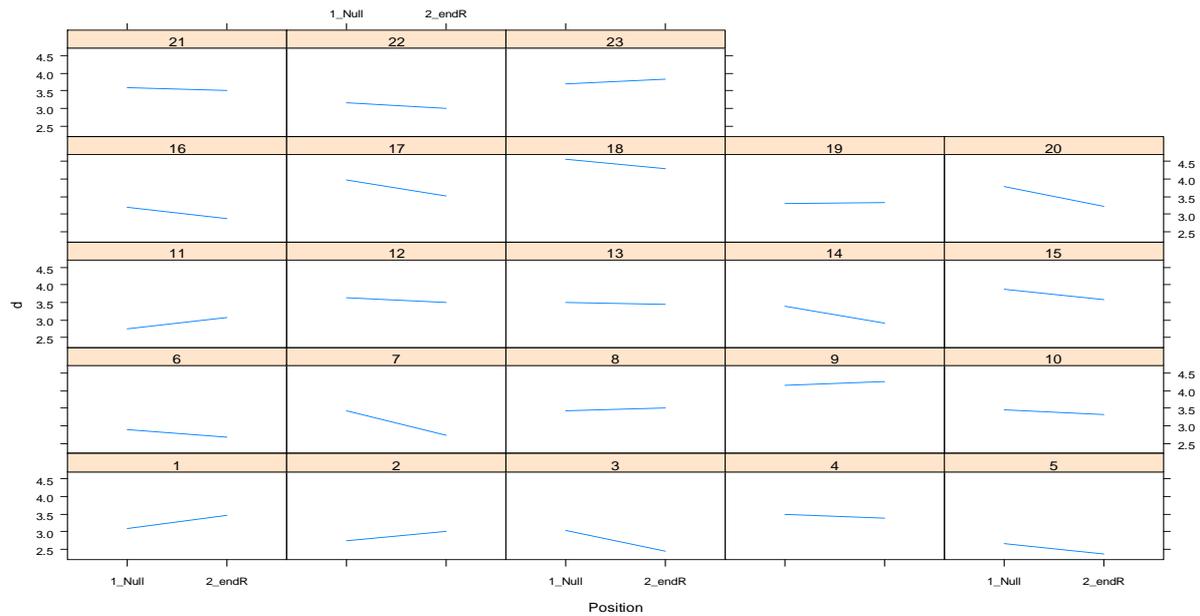


Abbildung 9: Vergleich der Gefäßdurchmesser der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

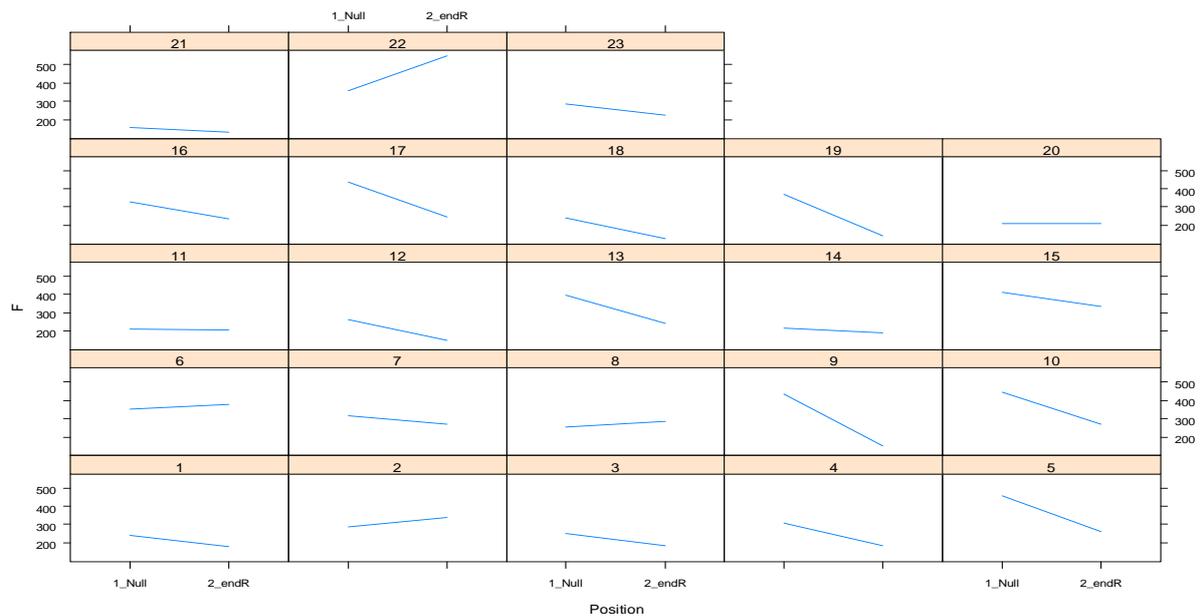


Abbildung 10: Vergleich der Gefäßdurchmesser der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variable Gefäßdurchmesser der linken und rechten A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige Rotation) zusammengefasst. Zur Absicherung der Ergebnisse sind zum Vergleich die Ergebnisse der entsprechenden Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben angeführt.

	ANOVA					Wilcoxon (gepaart)	
rechts	Df	SS	MS	F	p	V	p
factor(Position)	1	0,27862	0,278617	6,6031	0,017	61,5	0,021
Residuals	22	0,92828	0,042195				
links	Df	SS	MS	F	p	V	p
factor(Position)	1	0,16321	0,163209	3,8601	0,06	69	0,06
Residuals	22	0,93019	0,042281				

Tabelle 8: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable Gefäßdurchmesser der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige Rotation, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).

Die deskriptiven Daten für die beiden Kopfpositionen sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Ebenso sind die Differenzwerte (Endgradige Rotation – Nullmessung), sowie deren 95%-Vertrauensbereich für die Arterien beider Körperseiten angeführt.

Gefäßdurchmesser [mm]									95%- Vertrauensber.	
rechts	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	2,65	3,424	4,55	0,468	3,430	23	0,098	-0,16	-0,28	-0,03
Engrad Rot	2,36	3,268	4,28	0,493	3,340	23	0,103			
links	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	2,55	3,458	4,33	0,366	3,490	23	0,076	-0,12	-0,24	0,01
Engrad Rot	2,40	3,339	4,11	0,431	3,380	23	0,090			

Tabelle 9: Deskriptive Daten der Gefäßdurchmesser [mm] von rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation.

In endgradiger Rotation ist eine signifikante Reduktion des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis im Vergleich zum Gefäßdurchmesser in Nullposition zu erkennen, an der linken A. vertebralis ist die Differenz geringer ausgeprägt, jedoch ebenfalls deutlich. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 0,16 mm

(4%, $F_{1,22}=6,603$, $p=0,02$), in der linken A. vertebralis 0,12 mm (3%, $F_{1,22}=3,860$, $p=0,06$).

5.3.3 Blutfluss/Volumen in der A. vertebralis

In Abbildung 11 sind die Blutflüsse in der rechten A. vertebralis bei der Nullmessung (Nullposition des Kopfes) und der Messung bei endgradiger Rotation nach links für jeden einzelnen Probanden dargestellt. Für die linke A. vertebralis sind die entsprechenden Daten in Abbildung 12 ersichtlich.

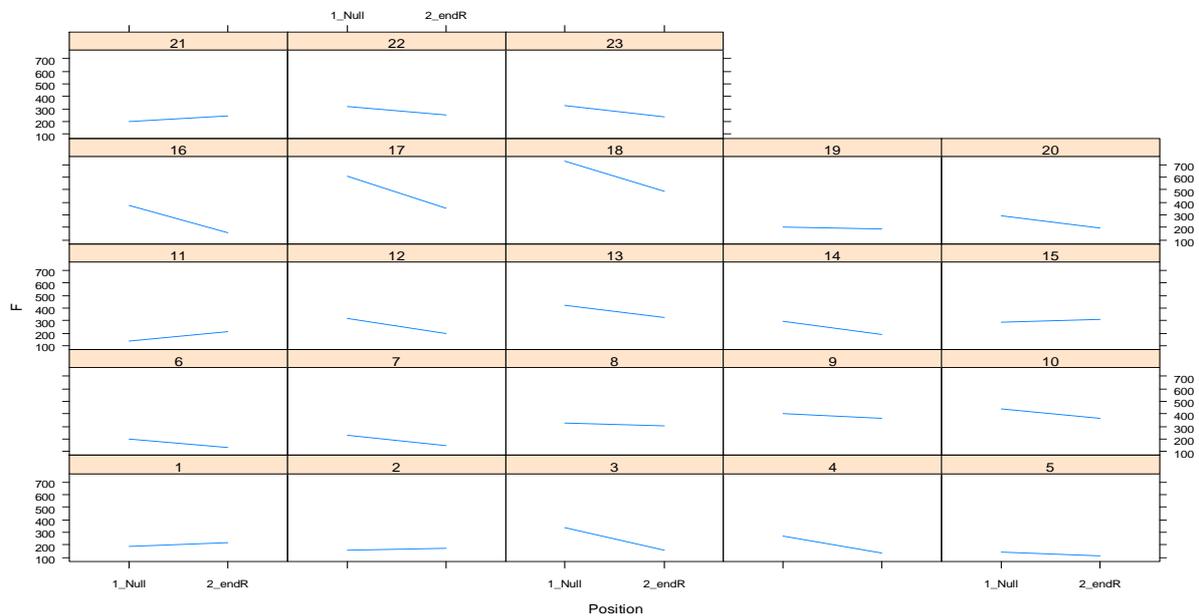


Abbildung 11: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

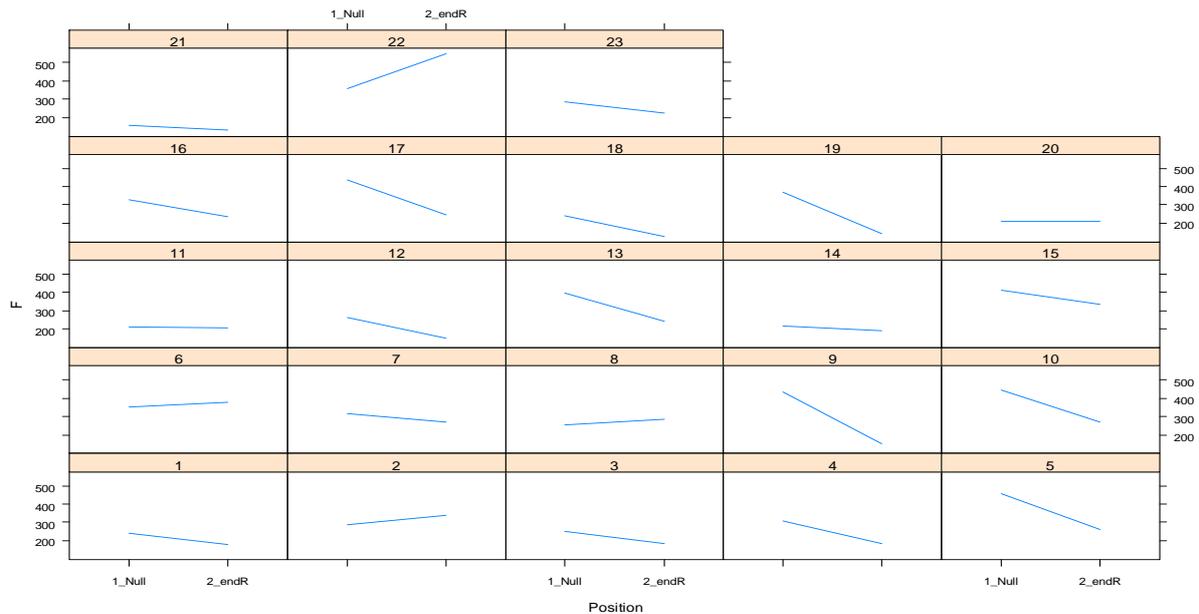


Abbildung 12: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variable Blutfluss in der linken und rechten A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige Rotation) zusammengefasst. Zur Absicherung der Ergebnisse sind zum Vergleich die Ergebnisse der entsprechenden Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben angeführt.

	ANOVA					Wilcoxon (gepaart)	
rechts	Df	SS	MS	F	p		
factor(Position)	1	67671	67671	16,946	0,0005	29	0,0004
Residuals	22	87851	3993				
links	Df	SS	MS	F	p		
factor(Position)	1	66280	66280	12,07	0,0022	39	0,0017
Residuals	22	120807	5491				

Tabelle 10: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängigen Variablen Blutfluss der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige Rotation, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).

Wie die Ergebnisse der ANCOVA (vgl. Tabelle 11) zeigen, ist auch unter der Annahme, dass Blutdruck und Puls durch das vorangegangene Einstellen der Kopfposition (endgradige Rotation rechts) von der Nullmessung abweichen und sich nicht in der auf diese Messungen folgenden Ruhephase normalisiert haben, ein signifikanter Effekt der endgradigen Rotation links auf den Blutfluss in der A. vertebralis abzuleiten.

Die Messung vor der Ultraschalluntersuchung an der linken A. vertebralis in endgradiger Rotation ist die Nullmessung, weshalb ein identer Ausgangszustand garantiert ist.

Rotation links	Df	SS	MS	F	p
Puls_v (Kovariate)	1	4392	4392	0,7934	0,38
factor(Position)	1	66440	66440	12,0015	0,0023
Residuals	21	116255	5536		
sys_v (Kovariate)	1	14702	14702	2,6177	0,12
factor(Position)	1	54442	54442	9,6935	0,0053
Residuals	21	117943	5616		
dia_v (Kovariate)	1	1964	1964	0,3514	0,56
factor(Position)	1	67761	67761	12,1247	0,0022
Residuals	21	117362	5589		

Tabelle 11: Ergebnisse der ANCOVA zur Untersuchung auf Einflüsse von möglicherweise durch zu kurze zeitliche Abstände zwischen den Ultraschalluntersuchungen bedingten unterschiedlichen Ausgangssituationen.

Die deskriptiven Daten für die beiden Kopfpositionen sind in Tabelle 12 zusammengefasst. Ebenso sind die Differenzwerte (Endgradige Rotation – Nullmessung), sowie deren 95%-Vertrauensbereich für die Arterien beider Körperseiten angeführt.

Blutfluss [ml/s]									95%- Vertrauensber.	
rechts	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	134,46	311,993	723,22	143,004	295,160	23	29,818	-76,7	-115,4	-38,1
Engrad Rot	110,62	235,283	483,42	93,992	212,790	23	19,599			
links	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	153,92	314,439	454,68	87,948	308,350	23	18,338	-75,9	-121,2	-30,6
Engrad Rot	126,53	238,522	547,86	96,076	225,590	23	20,033			

Tabelle 12: Deskriptive Daten des Blutflusses [ml/s] der rechten und linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation.

In endgradiger Rotation ist eine signifikante Reduktion des Blutflusses in beiden Aa. vertebrales im Vergleich zum Blutfluss in Nullposition zu erkennen. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 77 ml/s (25%, $F_{1,22}=16,946$, $p=0,0005$), in der linken A. vertebralis 76 ml/s (24%, $F_{1,22}=12,07$, $p=0,002$).

5.4 Ultraschalluntersuchungen in endgradiger De Kleyn Position

5.4.1 Maximale Strömungsgeschwindigkeit in der A. vertebralis

In Abbildung 13 sind die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der rechten A. vertebralis bei der Nullmessung (Nullposition des Kopfes) und der Messung in endgradiger De Kleyn Position links für jeden einzelnen Probanden dargestellt. Für die linke A. vertebralis sind die entsprechenden Daten in Abbildung 14 ersichtlich.

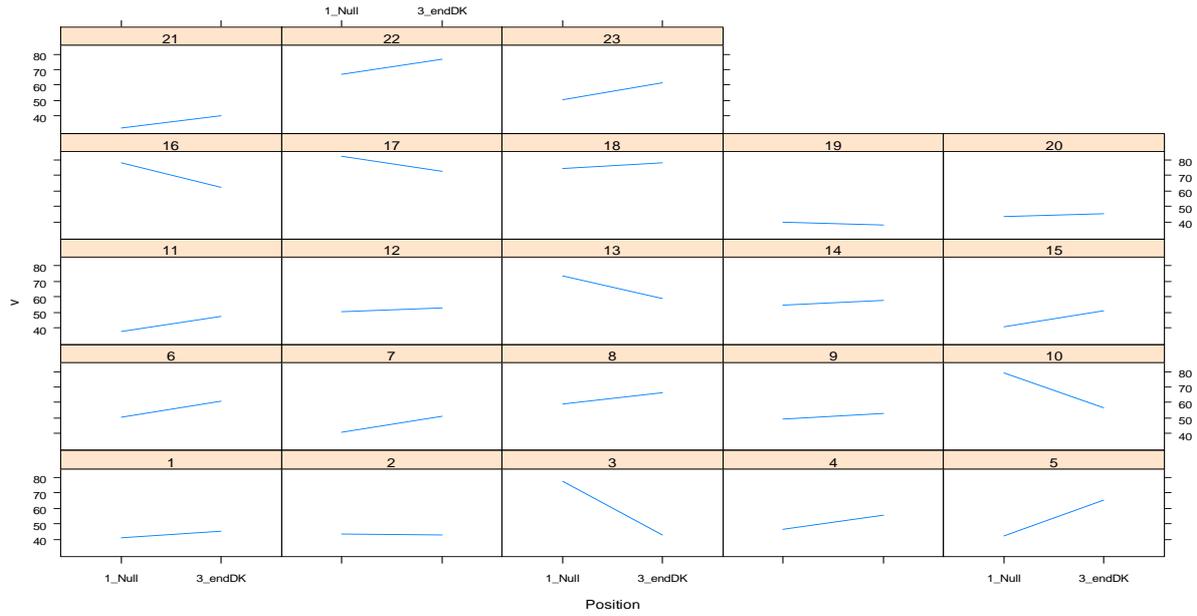


Abbildung 13: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

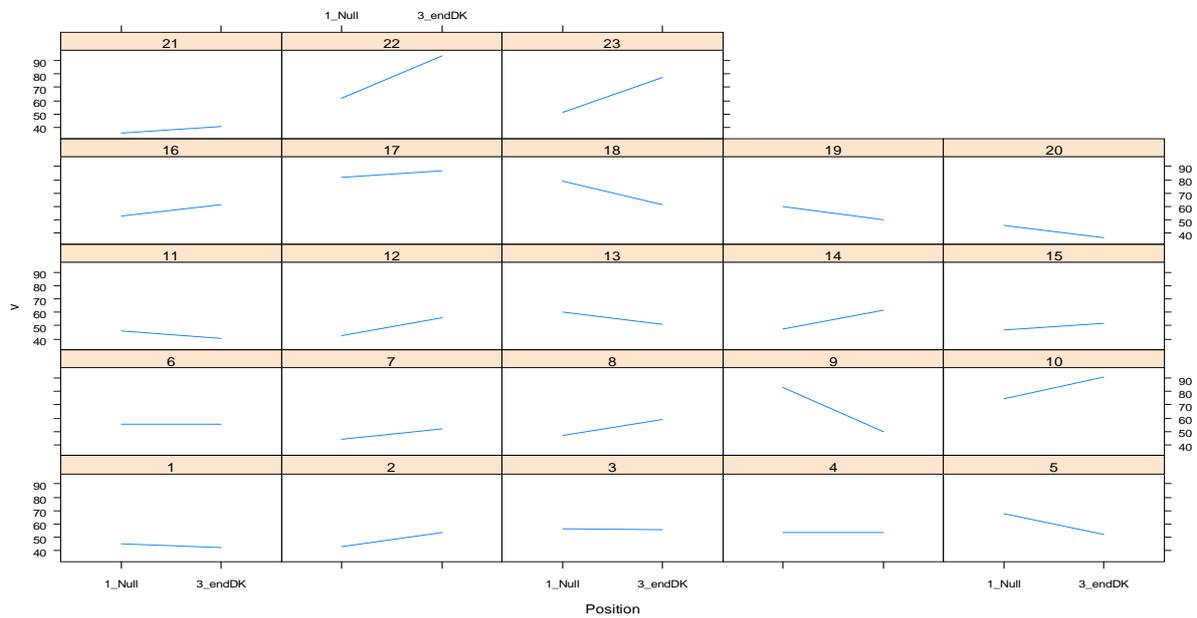


Abbildung 14: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variable Maximale Strömungsgeschwindigkeit in der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige De Kleyn Position) zusammengefasst. Zur Absicherung der Ergebnisse sind zum Vergleich die Ergebnisse der entsprechenden Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben angeführt.

	ANOVA					Wilcoxon (gepaart)	
rechts	Df	SS	MS	F	p	V	p
factor(Position)	1	16,44	16,44	0,1996	0,66	176	0,26
Residuals	22	1812,11	82,369				
links	Df	SS	MS	F	p	V	p
factor(Position)	1	57,55	57,546	0,545	0,47	161	0,50
Residuals	22	2323,14	105,597				

Tabelle 13: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable „Maximale Strömungsgeschwindigkeit“ in der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige De Kleyn-Position, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).

Es ist kein signifikanter Unterschied des Erwartungswerts der maximalen Strömungsgeschwindigkeit zu beobachten.

Die deskriptiven Daten für die beiden Kopfpositionen sind in Tabelle 14 zusammengefasst. Ebenso sind die Differenzwerte (Endgradige De Kleyn Position – Nullmessung), sowie deren 95%-Vertrauensbereich für die Arterien beider Körperseiten angeführt.

maximale Strömungsgeschwindigkeit [cm/s]									95%- Vertrauensber.	
rechts	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	32,47	54,545	82,10	15,667	50,360	23	3,267	+1,20	-4,35	+6,75
De Kleyn	38,08	55,740	78,17	11,233	55,470	23	2,342			
links	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	35,83	55,689	82,88	13,472	52,600	23	2,809	+2,24	-4,05	+8,52
De Kleyn	36,70	57,926	93,58	15,410	53,590	23	3,213			

Tabelle 14: Deskriptive Daten der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten [cm/s] in rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position.

In endgradiger De Kleyn Position ist beidseitig eine geringfügige mittlere Zunahme der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zur Strömungsgeschwindigkeit in Nullposition zu erkennen. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 1,2 cm/s (2%, $F_{1,22}=0,1996$, $p=0,66$), in der linken A. vertebralis 2,2 cm/s (4%, $F_{1,22}=0,545$, $p=0,47$).

5.4.2 Gefäßdurchmesser der A. vertebralis

In Abbildung 15 sind die Gefäßdurchmesser der rechten A. vertebralis bei der Nullmessung (Nullposition des Kopfes) und der Messung in endgradiger De Kleyn Position nach links für jeden einzelnen Probanden dargestellt. Für die linke A. vertebralis sind die entsprechenden Daten in Abbildung 16 ersichtlich.

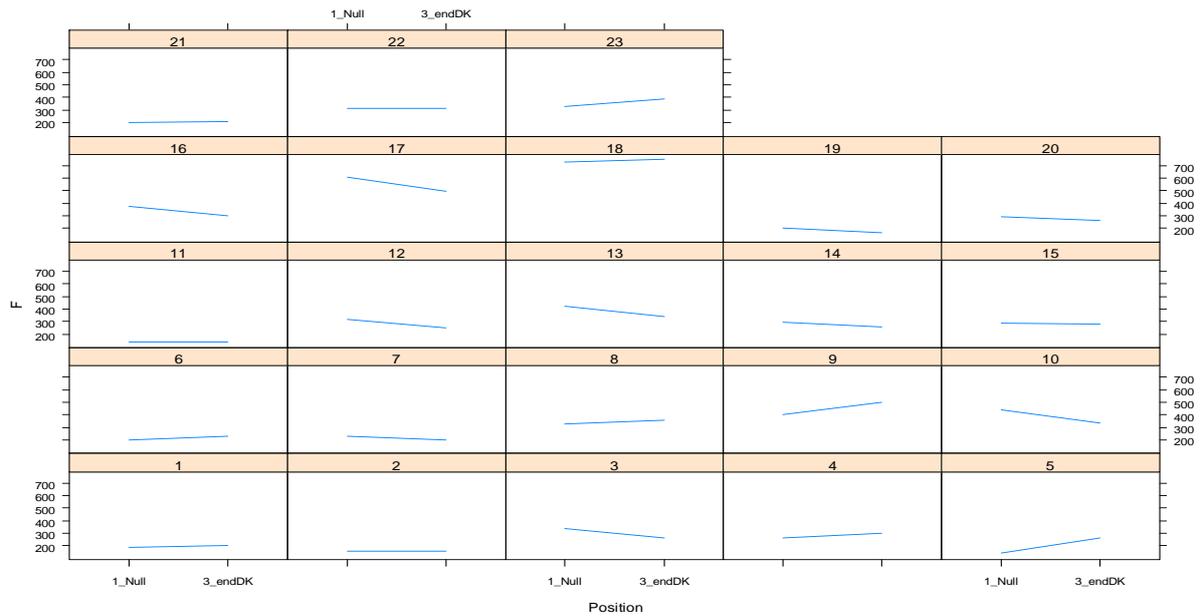


Abbildung 15: Vergleich der Gefäßdurchmesser der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

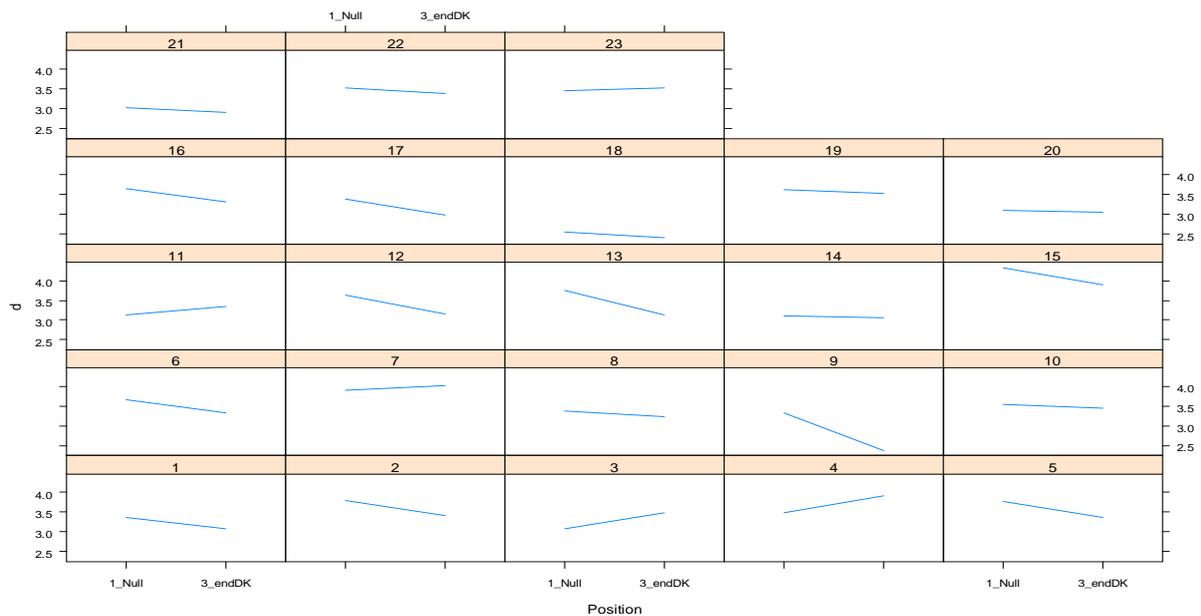


Abbildung 16: Vergleich der Gefäßdurchmesser der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variable Gefäßdurchmesser der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige De Kleyn Position) zusammengefasst.

Zur Absicherung der Ergebnisse sind zum Vergleich die Ergebnisse der entsprechenden Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben angeführt.

	ANOVA					Wilcoxon (gepaart)	
rechts	Df	SS	MS	F	p	V	P
factor(Position)	1	0,11802	0,11802	3,3436	0,08	62	0,038
Residuals	22	0,77653	0,035297				
links	Df	SS	MS	F	p	V	P
factor(Position)	1	0,39823	0,39823	7,8809	0,010	56	0,013
Residuals	22	1,11167	0,05053				

Tabelle 15: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable Gefäßdurchmesser der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige De Kleyn-Position, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).

Die deskriptiven Daten für die beiden Kopfpositionen sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Ebenso sind die Differenzwerte (Endgradige De Kleyn Position – Nullmessung), sowie deren 95%-Vertrauensbereich für die Arterien beider Körperseiten angeführt.

Gefäßdurchmesser [mm]									95%- Vertrauensber.	
rechts	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	2,65	3,424	4,55	0,468	3,430	23	0,098	-0,10	-0,22	+0,01
De Kleyn	2,45	3,323	4,50	0,492	3,290	23	0,103			
links	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	2,55	3,458	4,33	0,366	3,490	23	0,076	-0,19	-0,32	-0,05
De Kleyn	2,38	3,272	4,01	0,401	3,330	23	0,084			

Tabelle 16: Deskriptive Daten der Gefäßdurchmesser [mm] von rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position.

In endgradiger De Kleyn Position ist eine deutliche Reduktion des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis im Vergleich zum Gefäßdurchmesser in Nullposition zu erkennen, in der linken A. vertebralis ist die Differenz signifikant. In

der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 0,10 mm (2%, $F_{1,22}=3,3436$, $p=0,08$), in der linken A. vertebralis 0,19 mm (4%, $F_{1,22}=7,8809$, $p=0,01$).

5.4.3 Blutfluss/Volumen in der A. vertebralis

In Abbildung 17 sind die Blutflüsse in der rechten A. vertebralis bei der Nullmessung (Nullposition des Kopfes) und der Messung in endgradiger De Kleyn Position links für jeden einzelnen Probanden dargestellt. Für die linke A. vertebralis sind die entsprechenden Daten in Abbildung 18 ersichtlich.

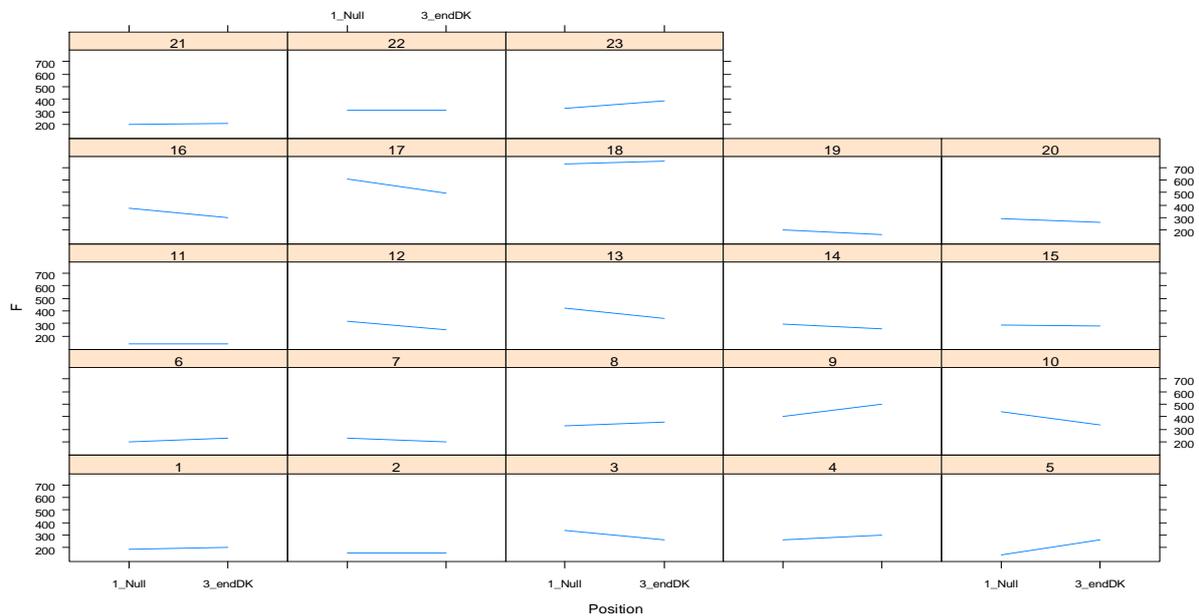


Abbildung 17: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

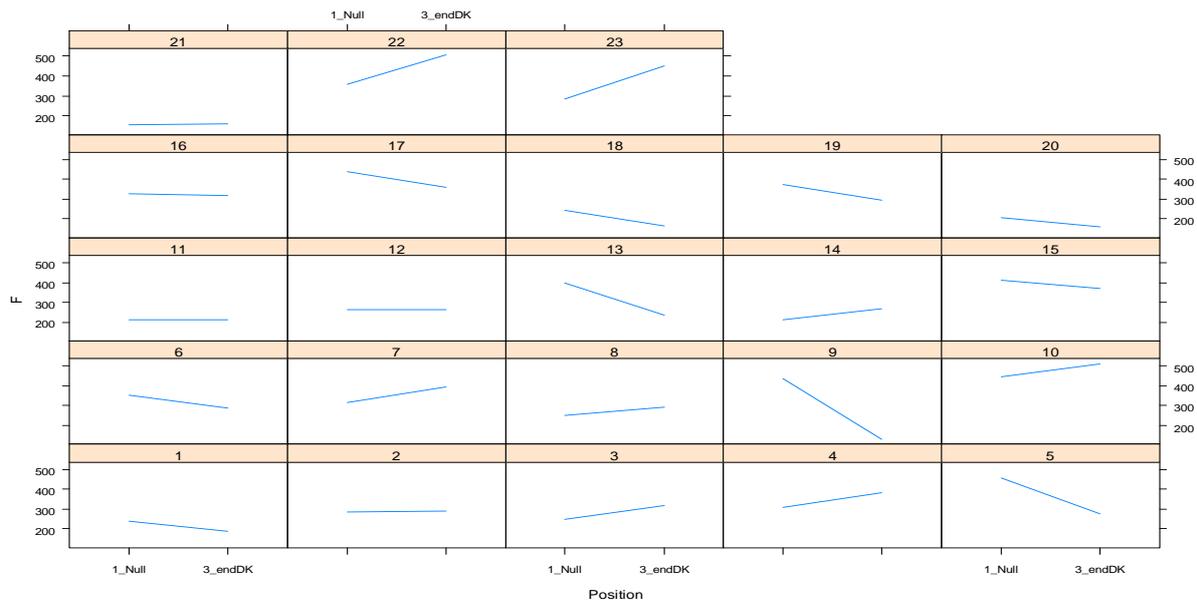


Abbildung 18: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

In Tabelle 17 sind die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variable Blutfluss in der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige De Kleyn Position) zusammengefasst. Zur Absicherung der Ergebnisse sind zum Vergleich die Ergebnisse der entsprechenden Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben angeführt.

	ANOVA					Wilcoxon (gepaart)	
rechts	Df	SS	MS	F	p	V	p
factor(Position)	1	1273	1273,5	0,6929	0,41	108	0,38
Residuals	22	40434	1837,9				
links	Df	SS	MS	F	p	V	p
factor(Position)	1	3367	3367,2	0,603	0,45	119	0,58
Residuals	22	122843	5583,8				

Tabelle 17: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängigen Variablen Blutfluss der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige De Kleyn-Position, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).

Wie die Ergebnisse der ANCOVA (rechte Arterie vgl. Tabelle 18, linke Arterie vgl. Tabelle 19) zeigen, ist auch unter der Annahme, dass Blutdruck und Puls durch das vorangegangene Einstellen der Kopfposition (endgradige Rotation links,) von der Nullmessung abweichen und sich nicht in der auf diese Messungen folgenden Ruhephase normalisiert haben, kein signifikanter Effekt der endgradigen De Kleyn Position links auf den Blutfluss in der A. vertebralis abzuleiten.

De Kleyn Position	Df	SS	MS	F	p
rechts					
Puls_v (Kovariate)	1	192	191,66	0,1002	0,75
factor(Position)	1	1357	1357,37	0,7098	0,41
Residuals	21	40159	1912,33		
sys_v (Kovariate)	1	3783	3782,7	2,0957	0,16
factor(Position)	1	20	19,7	0,0109	0,92
Residuals	21	37905	1805		
dia_v (Kovariate)	1	921	921,36	0,4825	0,49
factor(Position)	1	687	687,13	0,3599	0,56
Residuals	21	40099	1909,5		

Tabelle 18: Ergebnisse der ANCOVA zur Untersuchung auf Einflüsse von möglicherweise durch zu kurze zeitliche Abstände zwischen den Ultraschalluntersuchungen bedingten unterschiedlichen Ausgangssituationen.

Wie schon bei der rechten Arterie ist auch unter Berücksichtigung der einzelnen Kovariaten (vgl. Tabelle 19) kein signifikanter Effekt der endgradigen De Kleyn Position links auf den Blutfluss in der A. vertebralis abzuleiten.

De Kleyn Position links	Df	SS	MS	F	p
Puls_v (Kovariate)	1	1486	1486,4	0,2616	0,61
factor(Position)	1	5393	5393	0,9491	0,34
Residuals	21	119330	5682,4		
sys_v (Kovariate)	1	1706	1705,9	0,2917	0,59
factor(Position)	1	1681	1680,8	0,2874	0,60
Residuals	21	122823	5848,7		
dia_v (Kovariate)	1	445	445,2	0,0762	0,79
factor(Position)	1	3135	3135	0,5369	0,47
Residuals	21	122629	5839,5		

Tabelle 19: Ergebnisse der ANCOVA zur Untersuchung auf Einflüsse von möglicherweise durch zu kurze zeitliche Abstände zwischen den Ultraschalluntersuchungen bedingten unterschiedlichen Ausgangssituationen.

Die deskriptiven Daten für die beiden Kopfpositionen sind in Tabelle 20 zusammengefasst. Ebenso sind die Differenzwerte (Endgradige De Kleyn Position – Nullmessung), sowie deren 95%-Vertrauensbereich für die Arterien beider Körperseiten angeführt.

Blutfluss [ml/s]									95%- Vertrauensber.	
rechts	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	134,46	311,993	723,22	143,004	295,160	23	29,818	-10,5	-36,7	+15,7
De Kleyn	134,15	301,470	745,57	134,728	265,720	23	28,093			
links	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	153,92	314,439	454,68	87,948	308,350	23	18,338	-17,1	-62,8	+28,6
De Kleyn	132,49	297,328	509,65	105,547	291,780	23	22,008			

Tabelle 20: Deskriptive Daten des Blutflusses [ml/s] der rechten und linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position.

In endgradiger De Kleyn Position ist eine geringfügige mittlere Reduktion des Blutflusses in beiden Aa. vertebrales im Vergleich zum Blutfluss in Nullposition zu erkennen. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 10,5 ml/s (3%, $F_{1,22}=0,6929$, $p=0,41$), in der linken A. vertebralis 17 ml/s (5%, $F_{1,22}=0,603$, $p=0,45$, beide nicht signifikant). Sollte in der Grundgesamtheit ein signifikanter Einfluss in dieser Größenordnung und mit dieser Streuung auftreten, wären 247 bzw. 309 Versuchspersonen (rechts/links) nötig, um diesen mit t-Tests gepaarter Stichproben mit einer Power von 0,8 und einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ zu bestätigen.

5.5 Ultraschalluntersuchungen in pre-manipulativer Position C3/C4

5.5.1 Maximale Strömungsgeschwindigkeit in der A. vertebralis

In Abbildung 19 sind die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der rechten A. vertebralis bei der Nullmessung (Nullposition des Kopfes) und der Messung in pre-manipulativer Position links für jeden einzelnen Probanden dargestellt. Für die linke A. vertebralis sind die entsprechenden Daten in Abbildung 20 ersichtlich.

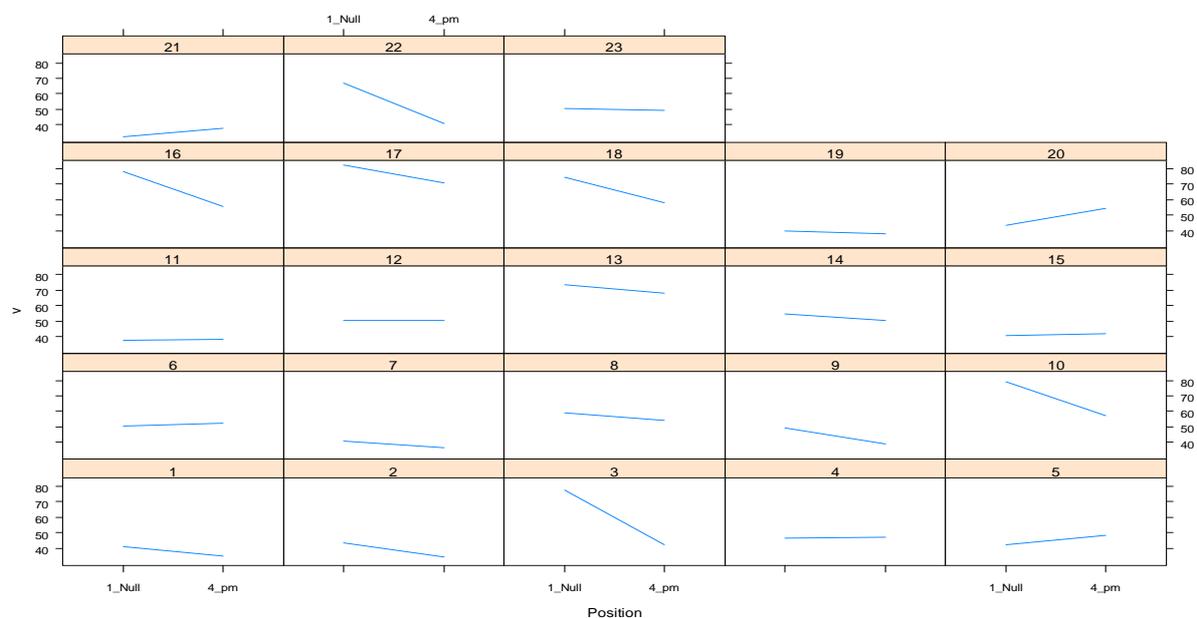


Abbildung 19: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der rechten A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

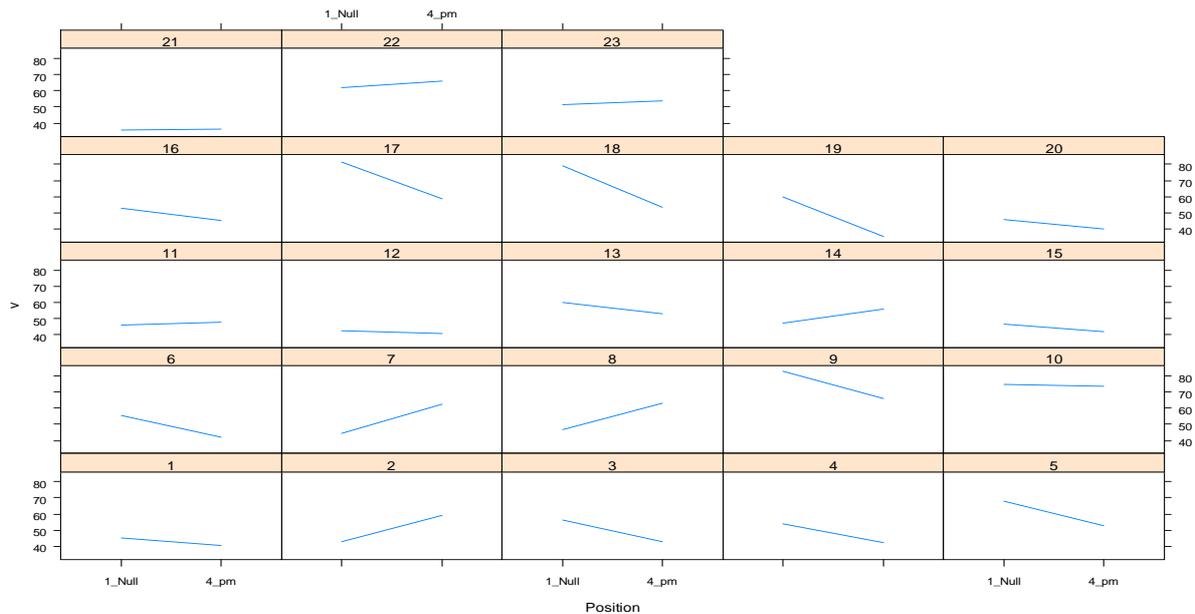


Abbildung 20: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der linken A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

In Tabelle 21 sind die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variable Maximale Strömungsgeschwindigkeit in der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und pre-manipulative Position) zusammengefasst. Zur Absicherung der Ergebnisse sind zum Vergleich die Ergebnisse der entsprechenden Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben angeführt.

	ANOVA					Wilcoxon (gepaart)	
rechts	Df	SS	MS	F	p	V	p
factor(Position)	1	516,44	516,44	8,251	0,0088	58	0,014
Residuals	22	1377	62,59				
links	Df	SS	MS	F	p	V	p
factor(Position)	1	257,05	257,052	3,2486	0,09	82	0,09
Residuals	22	1740,78	79,126				

Tabelle 21: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable „Maximale Strömungsgeschwindigkeit“ in der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und pre-manipulative Position C3/C4, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).

Die deskriptiven Daten für die beiden Kopfpositionen sind in Tabelle 22 zusammengefasst. Ebenso sind die Differenzwerte (pre-manipulative Position – Nullmessung), sowie deren 95%-Vertrauensbereich für die Arterien beider Körperseiten angeführt.

maximale Strömungsgeschwindigkeit [cm/s]									95%- Vertrauensber.	
rechts	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	32,47	54,545	82,10	15,667	50,360	23	3,267	-6,70	-11,54	-1,86
Preman.	34,30	47,843	70,98	10,138	48,150	23	2,114			
links	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	35,83	55,689	82,88	13,472	52,600	23	2,809	-4,73	-10,17	0,71
Preman.	35,22	50,961	73,75	10,850	52,500	23	2,262			

Tabelle 22: Deskriptive Daten der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten [cm/s] in rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4.

In pre-manipulativer Position C3/C4 ist in der rechten A. vertebralis eine signifikante Reduktion der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zur Strömungsgeschwindigkeit in Nullposition zu erkennen, in der linken Arterie ist die Reduktion geringer ausgeprägt, jedoch deutlich. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 6,7 cm/s (12%, $F_{1,22}=8,251$, $p=0,009$), in der linken A. vertebralis 4,7 cm/s (8%, $F_{1,22}=3,2486$, $p=0,09$).

5.5.2 Gefäßdurchmesser der A. vertebralis

In Abbildung 21 sind die Gefäßdurchmesser der rechten A. vertebralis bei der Nullmessung (Nullposition des Kopfes) und der Messung in pre-manipulativer Position links für jeden einzelnen Probanden dargestellt. Für die linke A. vertebralis sind die entsprechenden Daten in Abbildung 22 ersichtlich.

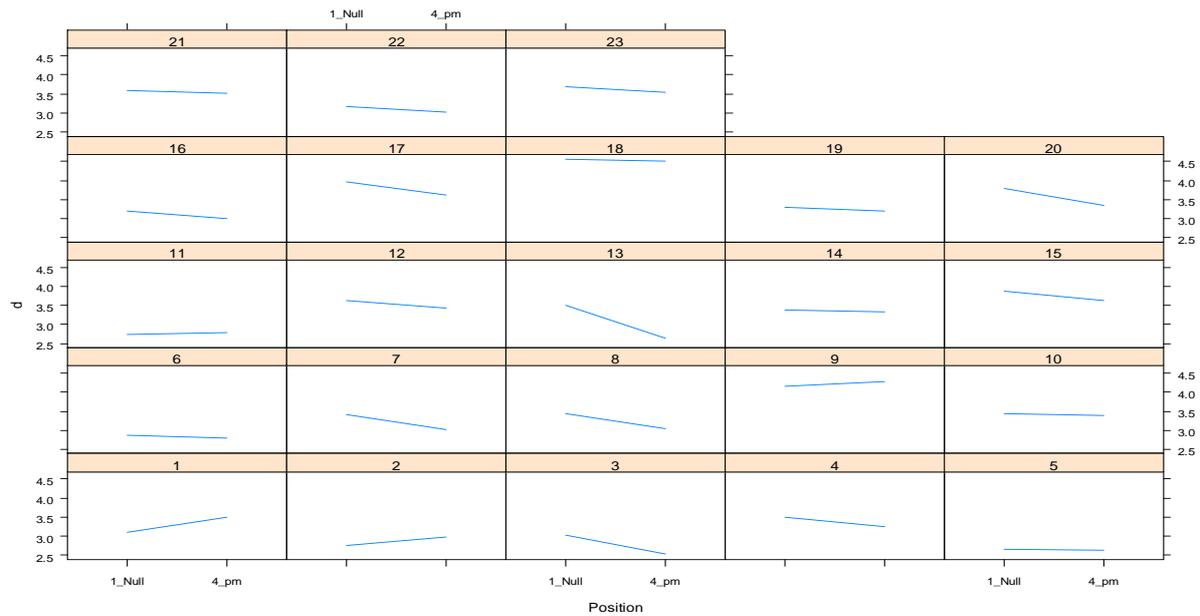


Abbildung 21: Vergleich der Gefäßdurchmesser der rechten A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

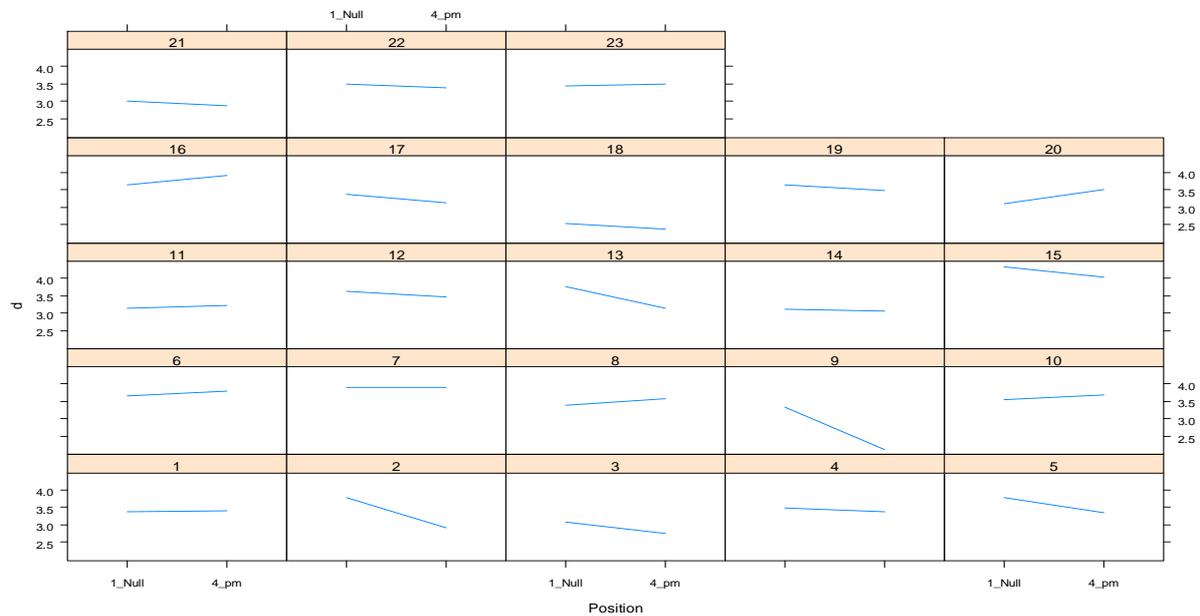


Abbildung 22: Vergleich der Gefäßdurchmesser der linken A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

In Tabelle 23 sind die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variable Gefäßdurchmesser der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und pre-manipulative Position) zusammengefasst. Zur

Absicherung der Ergebnisse sind zum Vergleich die Ergebnisse der entsprechenden Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben angeführt.

	ANOVA					Wilcoxon (gepaart)	
rechts	Df	SS	MS	F	p	V	p
factor(Position)	1	0,30083	0,300835	8,6552	0,0075	45	0,0049
Residuals	22	0,76467	0,034758				
links	Df	SS	MS	F	p	V	p
factor(Position)	1	0,27862	0,278617	4,2018	0,05	77,5	0,07
Residuals	22	1,45878	0,066308				

Tabelle 23: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable Gefäßdurchmesser der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und pre-manipulative Position C3/C4, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).

Die deskriptiven Daten für die beiden Kopfpositionen sind in Tabelle 24 zusammengefasst. Ebenso sind die Differenzwerte (pre-manipulative Position – Nullmessung), sowie deren 95%-Vertrauensbereich für die Arterien beider Körperseiten angeführt.

Gefäßdurchmesser [mm]									95%- Vertrauensber.	
rechts	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	2,65	3,424	4,55	0,468	3,430	23	0,098	-0,16	-0,28	-0,05
Preman.	2,53	3,262	4,51	0,487	3,250	23	0,102			
links	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	2,55	3,458	4,33	0,366	3,490	23	0,076	-0,16	-0,31	+0,002
Preman.	2,13	3,303	4,04	0,472	3,380	23	0,098			

Tabelle 24: Deskriptive Daten der Gefäßdurchmesser [mm] von rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4.

In pre-manipulativer Position C3/C4 ist eine signifikante mittlere Reduktion des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis im Vergleich zum Gefäßdurchmesser in Nullposition zu erkennen. In der linken A. vertebralis ist aufgrund der höheren

Streuung der Differenzwerte keine Signifikanz zu beobachten, die mittlere Reduktion ist jedoch ebenso stark ausgeprägt. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 0,16 mm (4%, $F_{1,22}=8,6552$, $p=0,008$), in der linken A. vertebralis ebenfalls 0,16 mm (4%, $F_{1,22}=4,2018$, $p=0,05$).

5.5.3 Blutfluss/Volumen in der A. vertebralis

In Abbildung 23 sind die Blutflüsse in der rechten A. vertebralis bei der Nullmessung (Nullposition des Kopfes) und der Messung in pre-manipulativer Position links für jeden einzelnen Probanden dargestellt. Für die linke A. vertebralis sind die entsprechenden Daten in Abbildung 24 ersichtlich.

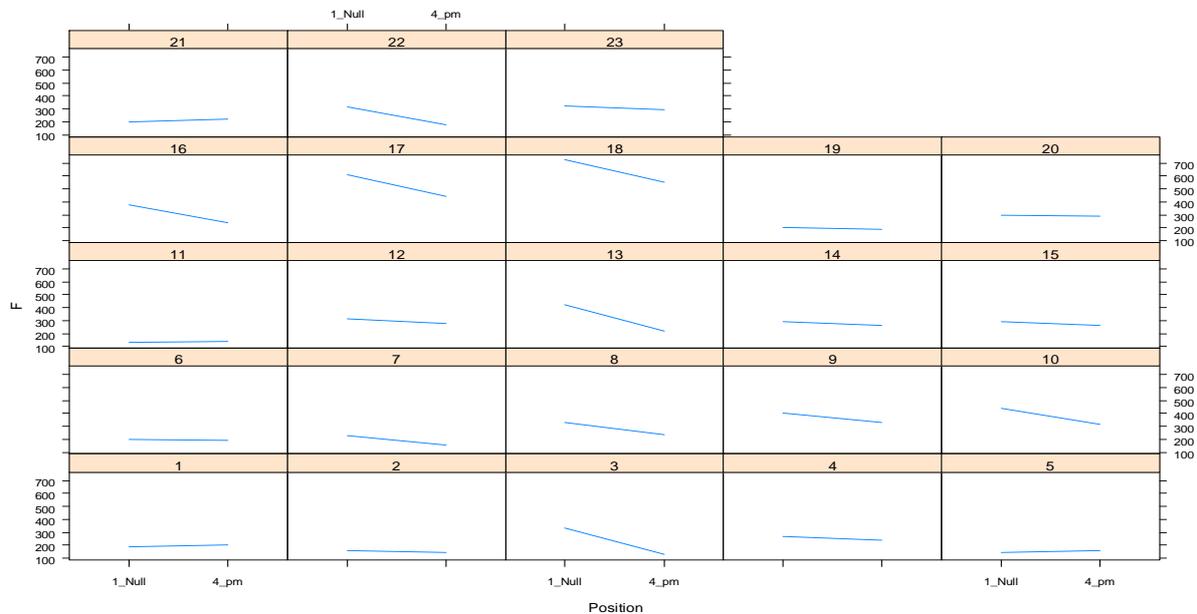


Abbildung 23: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der rechten A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

Eine leichte Zunahme des Blutflusses [ml/s] ist bei den Probanden 1, 5, 11 und 21 zu erkennen, wobei diese im Vergleich zum Ausmaß der Abnahme bei den meisten anderen Fällen äußerst gering ist.

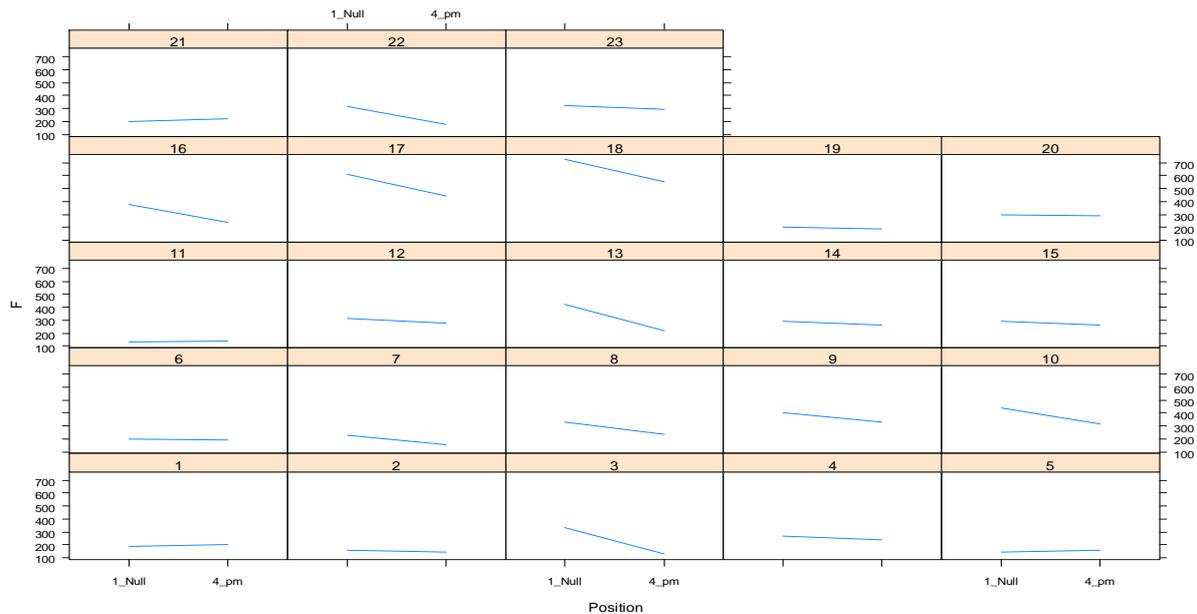


Abbildung 24: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der linken A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).

Auch an der linken Arterie treten wie schon bei der rechten bei den Probanden 1, 5, 11 und 21 leicht höhere Werte im Vergleich zur Nullmessung auf.

In Tabelle 25 sind die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit der abhängigen Variable Blutfluss in der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und pre-manipulative Position) zusammengefasst. Zur Absicherung der Ergebnisse sind zum Vergleich die Ergebnisse der entsprechenden Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben angeführt.

	ANOVA					Wilcoxon (gepaart)	
rechts	Df	SS	MS	F	p	V	p
factor(Position)	1	50157	50157	18,256	0,0003	22	0,0001
Residuals	22	60445	2748				
links	Df	SS	MS	F	p	V	P
factor(Position)	1	28043	28043,4	5,4694	0,029	69	0,035
Residuals	22	112802	5127,4				

Tabelle 25: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängigen Variablen Blutfluss der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und pre-manipulative Position C3/C4, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).

Wie die Ergebnisse der ANCOVA (vgl. Tabelle 26) zeigen, ist auch unter der Annahme, dass Blutdruck und Puls durch das vorangegangene Einstellen der Kopfposition (endgradige De Kleyn Position links) von der Nullmessung abweichen und sich nicht in der auf diese Messungen folgenden Ruhephase normalisiert haben, ein signifikanter Effekt der pre-manipulativen Position rechts auf den Blutfluss in der A. vertebralis abzuleiten.

Pre-manipulativ rechts	Df	SS	MS	F	p
Puls_v (Kovariate)	1	1	1	0,0005	0,98
factor(Position)	1	50656	50656	17,7458	0,0004
Residuals	21	59945	2855		
sys_v (Kovariate)	1	8791	8791	3,4245	0,08
factor(Position)	1	47905	47905	18,6617	0,0003
Residuals	21	53907	2567		
dia_v (Kovariate)	1	3029	3029	1,0602	0,31
factor(Position)	1	47582	47582	16,6558	0,0005
Residuals	21	59992	2857		

Tabelle 26: Ergebnisse der ANCOVA zur Untersuchung auf Einflüsse von möglicherweise durch zu kurze zeitliche Abstände zwischen den Ultraschalluntersuchungen bedingten unterschiedlichen Ausgangssituationen.

Wie schon bei der rechten Arterie ist auch unter Berücksichtigung der einzelnen Kovariaten (vgl. Tabelle 27) ein signifikanter Effekt der pre-manipulativen Position links auf den Blutfluss in der A. vertebralis abzuleiten.

Pre-manipulativ links	Df	SS	MS	F	p
Puls_v (Kovariate)	1	750	750,3	0,1398	0,71
factor(Position)	1	27364	27363,6	5,0974	0,035
Residuals	21	112732	5368,2		
sys_v (Kovariate)	1	43	42,8	0,0082	0,93
factor(Position)	1	31224	31224	5,9839	0,023
Residuals	21	109579	5218		
dia_v (Kovariate)	1	4761	4760,8	0,9218	0,35
factor(Position)	1	27623	27623,5	5,3484	0,031
Residuals	21	108461	5164,8		

Tabelle 27: Ergebnisse der ANCOVA zur Untersuchung auf Einflüsse von möglicherweise durch zu kurze zeitliche Abstände zwischen den Ultraschalluntersuchungen bedingten unterschiedlichen Ausgangssituationen.

Die deskriptiven Daten für die beiden Kopfpositionen sind in Tabelle 28 zusammengefasst. Ebenso sind die Differenzwerte (pre-manipulative Position – Nullmessung), sowie deren 95%-Vertrauensbereich für die Arterien beider Körperseiten angeführt.

Blutfluss [ml/s]									95%- Vertrauensber.	
rechts	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	134,46	311,993	723,22	143,004	295,160	23	29,818	-66,0	-98,1	-34,0
Preman.	128,04	245,952	553,45	99,365	235,860	23	20,719			
links	Min	MW	Max	SD	Med	n	SE	Differenz	untere	obere
Nullmessung	153,92	314,439	454,68	87,948	308,350	23	18,338	-49,4	-93,2	-5,6
Preman.	140,48	265,057	472,97	90,648	245,670	23	18,901			

Tabelle 28: Deskriptive Daten des Blutflusses [ml/s] der rechten und linken A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4.

In pre-manipulativer Position C3/C4 ist eine signifikante Reduktion des Blutflusses in beiden Aa. vertebrales im Vergleich zum Blutfluss in Nullposition zu erkennen. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 66 ml/s (21%, $F_{1,22}=18,256$, $p=0,0003$), in der linken A. vertebralis 49 ml/s (16%, $F_{1,22}=5,4694$, $p=0,03$).

5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

5.6.1 Endgradige Rotation

In endgradiger Rotation ist eine signifikante Reduktion der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zur Strömungsgeschwindigkeit in Nullposition zu erkennen. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 8,9 cm/s (16%, $F_{1,22}=13,231$, $p=0,001$), in der linken A. vertebralis 10,8 cm/s (19%, $F_{1,22}=11,781$, $p=0,002$).

Ebenso ist in dieser Position eine signifikante Reduktion des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis im Vergleich zum Gefäßdurchmesser in Nullposition zu erkennen, an der linken A. vertebralis ist die Differenz geringer ausgeprägt, jedoch ebenfalls deutlich. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 0,16 mm (4%, $F_{1,22}=6,603$, $p=0,02$), in der linken A. vertebralis 0,12 mm (3%, $F_{1,22}=3,860$, $p=0,06$).

Daraus ergibt sich eine ebenfalls signifikante Reduktion des Blutflusses in beiden Aa. vertebrales im Vergleich zum Blutfluss in Nullposition. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 77 ml/s (25%, $F_{1,22}=16,946$, $p=0,0005$), in der linken A. vertebralis 76 ml/s (24%, $F_{1,22}=12,07$, $p=0,002$).

5.6.2 Endgradige De Kleyn Position

In endgradiger De Kleyn Position ist beidseitig lediglich eine geringfügige, nicht signifikante, mittlere Zunahme der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zur Strömungsgeschwindigkeit in Nullposition zu erkennen. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 1,2 cm/s (2%, $F_{1,22}=0,1996$, $p=0,66$), in der linken A. vertebralis 2,2 cm/s (4%, $F_{1,22}=0,545$, $p=0,47$).

Im Gegensatz dazu ist die Reduktion des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis im Vergleich zum Gefäßdurchmesser in Nullposition deutlich ausgeprägt, in der linken A. vertebralis ist die Differenz signifikant. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 0,10 mm (2%, $F_{1,22}=3,3436$, $p=0,08$), in der linken A. vertebralis 0,19 mm (4%, $F_{1,22}=7,8809$, $p=0,01$).

Die mittlere Reduktion des Blutflusses in beiden Aa. vertebrales im Vergleich zum Blutfluss in Nullposition ist gering. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 10,5 ml/s (3%, $F_{1,22}=0,6929$, $p=0,41$), in der linken A. vertebralis 17 ml/s (5%, $F_{1,22}=0,603$, $p=0,45$, beide nicht signifikant). Sollte in der Grundgesamtheit ein signifikanter Einfluss in dieser Größenordnung und mit dieser Streuung auftreten, wären 247 bzw. 309 Versuchspersonen (rechts/links) nötig, um diesen mit t-Tests gepaarter Stichproben mit einer Power von 0,8 und einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ zu bestätigen.

5.6.3 Pre-manipulative Position C3/C4

In pre-manipulativer Position C3/C4 ist in der rechten A. vertebralis eine signifikante Reduktion der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zur Strömungsgeschwindigkeit in Nullposition zu erkennen, in der linken Arterie ist die Reduktion geringer ausgeprägt, jedoch ebenfalls deutlich. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 6,7 cm/s (12%, $F_{1,22}=8,251$, $p=0,009$), in der linken A. vertebralis 4,7 cm/s (8%, $F_{1,22}=3,2486$, $p=0,09$).

Wie die Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit ist auch die mittlere Reduktion des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis im Vergleich zum Gefäßdurchmesser in Nullposition signifikant. In der linken A. vertebralis ist aufgrund der höheren Streuung der Differenzwerte keine Signifikanz zu beobachten, die mittlere Reduktion ist jedoch ebenso stark ausgeprägt. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 0,16 mm (4%, $F_{1,22}=8,6552$, $p=0,008$), in der linken A. vertebralis ebenfalls 0,16 mm (4%, $F_{1,22}=4,2018$, $p=0,05$).

In pre-manipulativer Position C3/C4 ist eine signifikante Reduktion des Blutflusses in beiden Aa. vertebrales im Vergleich zum Blutfluss in Nullposition zu erkennen. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 66 ml/s (21%, $F_{1,22}=18,256$, $p=0,0003$), in der linken A. vertebralis 49 ml/s (16%, $F_{1,22}=5,4694$, $p=0,03$).

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Methodik

Nachdem die Kopfposition offensichtlich einen Einfluss auf Blutdruck und Puls hat, und diese Parameter den Blutfluss beeinflussen, wäre deren Messung direkt vor der Ultraschalluntersuchung geeigneter, als der gewählte Zeitpunkt nach diesen Untersuchungen und vor der Ruhepause zwischen den Messungen.

Die Dauer dieser Ruhepause von einer Minuten stellte sich in Vortests an drei Versuchspersonen als geeignet heraus, einen der Nullmessung ähnlichen Zustand hinsichtlich der Kovariaten Puls und Blutdruck herzustellen, womit die Ergebnisse der Kovarianzanalyse unter Berücksichtigung der Kovariaten direkt nach der vorangehenden Ultraschalluntersuchung als Worst-case interpretiert werden können. Auch unter diesen Bedingungen wird der signifikante Einfluss der endgradigen Rotation und der pre-manipulativen Position beidseits und das Fehlen eines signifikanten Effekts der endgradigen De Kleyn Position auf den Blutfluss der A. vertebralis bestätigt. Selbst wenn nach der zuvor eingestellten Position niedrigere Blutdruck- oder Pulswerte gemessen wurden, sind diese nicht der Grund für die Reduktion des Blutflusses. Weitere Untersuchungen von Quereinflüssen von Puls und Blutdruck auf Blutflussgeschwindigkeit und Gefäßdurchmesser wurden nicht durchgeführt, da die Ergebnisse im Vergleich zum Blutfluss keine Beeinflussung ergaben.

Aufgrund der relativ geringen Anzahl an Versuchspersonen wurde die ANCOVA mit jeder der drei Kovariaten (Puls, Blutdruck systolisch und diastolisch) einzeln durchgeführt, um die Anzahl der Freiheitsgrade nicht zu stark zu reduzieren, was bei einem geringen Effekt der Kovariate auf die Varianz der abhängigen Variable zu einer Reduktion der Power führen würde. Bei einer höheren Fallzahl könnten jedoch zusätzlich noch mögliche Interaktionen der Kovariaten untereinander berücksichtigt werden, was in diesem Fall nicht möglich ist.

Eine Untersuchung der Zirkularität (Varianzhomogenität der Differenzen zwischen wiederholten Messungen), die prinzipiell eine Grundbedingung für varianzanalytische Verfahren mit Messwiederholung ist, konnte entfallen, da sie für eine Wiederholung nicht relevant ist.

Insgesamt stimmen sowohl die Ergebnisse der parametrischen (einfaktorielle ANOVA, ANCOVA) und der nicht-parametrischen Tests (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests gepaarter Stichproben) gut überein, sodass die Ergebnisse der parametrischen Tests trotz in manchen Fällen auftretender Verletzung der Normalverteilungsbedingung als gesichert angenommen werden können.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

6.2.1 Endgradige Rotation und Hypothese 1

In der endgradigen Rotation kommt es in der Studie zu einer signifikanten Abnahme der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der rechten A. vertebralis ($p=0,001$) und der linken A. vertebralis ($p=0,002$), zu einer signifikanten Abnahme des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis ($p=0,02$) und zu einer deutlichen Abnahme des Gefäßdurchmessers der linken A. vertebralis ($p=0,06$) und zu einer signifikanten Abnahme des Blutflusses der rechten A. vertebralis ($p=0,0005$) und linken A. vertebralis ($p=0,002$).

Hypothese 1:

In der endgradigen Einstellung in Rotation kommt es zu einer signifikanten Abnahme des Gefäßdurchmessers, der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit und des Blutflussvolumens.

Hypothese 1 kann bestätigt werden.

Die Mehrzahl der bisher durchgeführten Studien kommt zu ähnlichen Ergebnissen: Stevens (1991) findet bei sieben Patienten eine Abnahme der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit von 14,83 cm/s in der Neutralposition auf 8,33 cm/s in endgradiger Rotation. Rossitti et al. (1992) finden bei 30 gesunden

Probanden in der sitzenden Position eine Reduktion der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeiten von 34 cm/s in Neutralposition auf 30,1 cm/s in endgradiger Rotation. Licht et al. (1998) untersuchen 20 gesunde Probanden in Rückenlage und finden eine Abnahme der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit von 68 cm/s in der Neutralposition auf 61 cm/s in endgradiger Rotation. Rivett et al. (1999) finden bei 10 gesunden Probanden und 10 Patienten eine Abnahme der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit von 30,78 cm/s in Neutralposition auf 24,33 cm/s in endgradiger Rotation. Mitchell (2003) findet an 120 gesunden Probanden in Rückenlage eine Reduktion der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit von 36,78 cm/s in Neutralposition auf 29,74 cm/s in endgradiger Rotation. Mitchell et al. (2004) finden an 30 gesunden Probanden in sitzender Position eine Abnahme der kontralateralen maximalen Blutflussgeschwindigkeit von 36,85 cm/s in der Neutralposition auf 33,53 cm/s in endgradiger Rotation. Arnold et al. (2004) finden an 22 gesunden Probanden in Rückenlage eine Verminderung der kontralateralen maximalen Blutflussgeschwindigkeit von 31,40 cm/s in der Neutralposition auf 27,17 cm/s in der endgradigen Rotation.

Es gibt jedoch Autoren, die bei der Untersuchung der Rotation zu keinem signifikanten Ergebnis kommen:

Weingart et al. (1997) untersuchen 20 gesunde Probanden in Rückenlage und finden keine signifikante Veränderung der kontralateralen maximalen Blutflussgeschwindigkeit. Vom Gesamtkollektiv wird ein Durchschnittswert von 33,75 cm/s für die maximale kontralaterale Blutflussgeschwindigkeit ermittelt. Haynes et Milne (2001) finden an 15 Patienten keine signifikante Veränderung der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit, bei 5 Patienten kommt es bei 7 Aa. vertebrales zu einer Abnahme der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit.

Eine mögliche Erklärung für die Ergebnisse von Weingart et al. (1997) wäre, dass die Studie mit einem Fixationsgerät durchgeführt wird, welches den Kopf in 0°, 45° und endgradiger Rotation fixiert. Der obere Thorax und die Schulter werden zusätzlich fixiert, damit bei der Traktion ein Gleiten nach kranial verhindert wird. Die Studie von Weingart et al. (1997) sind nicht sehr praxisorientiert und eine spezifische Einstellung kann mit einem Fixationsgerät nur bedingt durchgeführt werden.

In der Studie von Haynes et Milne (2001) zeigen 15 Patienten keine signifikante Veränderung der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit. Eine mögliche Ursache hierfür ist, dass Haynes et al. keine Probanden, sondern Patienten mit HWS-Syndrom untersuchen. Patienten mit HWS-Syndrom können auf Grund ihres Beschwerdebildes eine endgradige Rotation nur unzureichend einnehmen.

6.2.2 De Kleyn Position und Hypothese 2

In der De Kleyn Position kommt es in der Studie zu keiner signifikanten Veränderung der maximalen Blutflussgeschwindigkeit in der rechten A. vertebralis ($p=0,66$) und der linken A. vertebralis ($p=0,47$), zu keiner signifikanten Veränderung des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis ($p=0,08$), aber zu einer signifikanten Veränderung des Gefäßdurchmessers der linken A. vertebralis ($p=0,01$). Das Blutflussvolumens der rechten A. vertebralis ($p=0,41$) und der linken A. vertebralis ($p=0,45$) verändert sich nicht signifikant.

Hypothese 2:

In der endgradigen Einstellung in Rotation und Extension (De Kleyn Position) kommt es zu einer signifikanten Abnahme des Gefäßdurchmessers, der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit und des Blutflussvolumens.

Hypothese 2 muss verworfen werden.

Thiel et al. (1994) finden an 30 freiwilligen Menschen ebenfalls keine signifikante Veränderung der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit der A. vertebralis in endgradiger Extension und Rotation. Licht et al. (2000) finden an 15 Patienten mit positivem pre-manipulativen Test keine signifikante Veränderung der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit der A. vertebralis. Arnold et al. (2004) finden keine signifikante Veränderung der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit der A. vertebralis ($p<0,05$).

Der De Kleyn Test prüft vor allem die vertebrobasiläre Durchblutung und gibt uns nur indirekt Auskunft über den Zustand der A. vertebralis. Ein positiver De Kleyn Test zeigt ein neurologisches Erscheinungsbild einer vertebrobasilären Insuffizienz. Der Test wird Studenten in ihrer Ausbildung gelehrt und findet täglich seine Anwendung in

der klinischen Praxis, ungeachtet dessen, dass kontroverse Meinungen über seine Validität existieren.

Die Ergebnisse meiner Studie zeigen, dass diese kontroversen Meinungen berechtigt sind und dass speziell dieser Test nach De Kleyn noch weiter untersucht werden sollte.

6.2.3 Pre-manipulative Position C3/C4 und Hypothese 3

In der pre-manipulative Position kommt es in der Studie zu einer signifikanten Abnahme der maximalen Blutflussgeschwindigkeit in der rechten A. vertebralis ($p=0,009$) und zu einer deutlichen Abnahme der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit der linken A. vertebralis ($p=0,09$), zu einer signifikanten Abnahme des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis ($p=0,008$), zu einer deutlichen Abnahme des Gefäßdurchmessers der linken A. vertebralis ($p=0,05$) und zu einer signifikanten Abnahme des Blutflussvolumens der rechten A. vertebralis ($p=0,0003$) und der linken A. vertebralis ($p=0,03$).

Hypothese 3:

In der endgradigen pre-manipulativen Einstellung von C3/C4 kommt es zu einer signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers und des Blutflussvolumens.

Hypothese 3 kann bestätigt werden.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Arnold et al. (2004), welche eine signifikante Abnahme der maximalen Blutflussgeschwindigkeit in pre-manipulativer Position von C1/C2 ($p<0,05$) finden.

In der Literatur werden keine weiteren Studien gefunden, welche die maximale kontralaterale Blutflussgeschwindigkeit während der pre-manipulativen Position von C3/C4 untersuchen.

7 Konklusion

In der Durchführung des De Kleyn Tests untersucht man die Hämodynamik der A. vertebralis in endgradiger kombinierter Bewegung von Extension und Rotation. Laut den Ergebnissen dieser Studie, kommt es in der endgradigen De Kleyn Position zu keiner signifikanten Veränderung der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der rechten A. vertebralis ($p=0,66$) und linken A. vertebralis ($p=0,47$) und zu keiner signifikanten Veränderung der Blutflusses der rechten A. vertebralis ($p=0,41$) und linken A. vertebralis ($p=0,45$). Der Gefäßdurchmesser der rechten A. vertebralis ist deutlich reduziert ($p=0,08$) und der Gefäßdurchmesser der linken A. vertebralis signifikant reduziert ($p=0,01$).

Viele Probanden haben diesen Test im Rahmen der Studie zwar als unangenehm empfunden, zeigten aber keine Symptome und die Ergebnisse zeigen keine signifikante Veränderung der Hämodynamik.

Nach den Ergebnissen dieser Studie sollte die De Kleyn Position als Sicherheitstest hinterfragt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass weitere Forschung auf Aussage und Validität notwendig ist.

Im Gegensatz zur De Kleyn Position kommt es in der endgradigen Rotation und pre-manipulativen Position zu signifikanten Veränderungen der Hämodynamik der A. vertebralis.

In der endgradigen Rotation kommt es zu einer signifikanten Abnahme der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der rechten A. vertebralis ($p=0,001$) und der linken A. vertebralis ($p=0,002$), zu einer signifikanten Abnahme des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis ($p=0,02$) und zu einer deutlichen Abnahme des Gefäßdurchmessers der linken A. vertebralis ($p=0,06$). Der Blutfluss der rechten A. vertebralis ($p=0,0005$) und der linken A. vertebralis ($p=0,002$) ist signifikant reduziert. Die endgradige Rotation hat den Vorteil, dass es sich um eine isolierte Bewegung in eine Richtung handelt und nicht um eine kombinierte Bewegung. Diese Bewegung erlaubt es, leichter an das Bewegungsende zu gelangen und dadurch eine bessere Aussage über die Beweglichkeit und die Hämodynamik der A. vertebralis zu bekommen.

In der pre-manipulativen Position von C3/4 kommt es zu einer signifikanten Reduktion der maximalen Strömungsgeschwindigkeit in der rechten A. vertebralis ($p=0,009$) und einer deutlichen Reduktion der maximalen Strömungsgeschwindigkeit in der linken A. vertebralis ($p=0,09$), zu einer signifikanten Reduktion des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis ($p=0,008$) und zu einer deutlichen Reduktion des Gefäßdurchmessers der linken A. vertebralis ($p=0,05$). Der Blutfluss der rechten A. vertebralis ($p=0,0003$) und der linken A. vertebralis ($p=0,03$) ist signifikant reduziert. Die pre-manipulative Position C3/C4 ist eine spezifische Ausgangsposition einer Manipulation in diesem Segment und nach dieser Studie eignet sich eine pre-manipulative Voreinstellung hervorragend als Sicherheitstest, um eine Aussage über die Hämodynamik der A. vertebralis zu bekommen.

Die endgradige Rotation und die pre-manipulative Position sind nach dieser Studie jene zwei Positionen, welche sich bestens als pre-manipulativer Test für eine vertebrobasiläre Insuffizienz eignen könnten.

Diese Ergebnisse zeigen, dass gerade diese Kopfpositionen eine signifikante Auswirkung auf die Hämodynamik der A. vertebralis haben. In der Studie gibt keiner der Probanden Symptome einer vertebrobasilären Insuffizienz an. Es handelt sich bei allen Probanden um gesunde Menschen, die den Ein- und Ausschlusskriterien zur Sicherung der Homogenität der Gruppe entsprechen. Bei Patienten, die eine begleitende Pathologie im Bereich der Halswirbelsäule vorweisen, könnte es jedoch zu neurologischen Symptomen kommen.

8 **Abbildungsverzeichnis**

- Abbildung 1: Verlauf der Pulsfrequenz während der acht Messungen bei allen 23 Versuchspersonen (B...Beginn, N...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage (Nullmessung), Rr/RI...nach endgradiger Rotation rechts/links, DKr/DKI... nach endgradiger De Kleyn Position rechts/links, pmr/pml...nach pre-manipulativer Position C3/C4 rechts/links). 45
- Abbildung 2: Verlauf der Pulsfrequenz während der acht Messungen (Mittelwerte und 95%-Vertrauensbereiche (Null...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage, endR...nach endgradiger Rotation, endDK... nach endgradiger De Kleyn-Position, pm...nach pre-manipulativer Position C3/C4, re...rechte, li...linke A. vertebralis).45
- Abbildung 3: Verlauf des systolischen Blutdrucks während der acht Messungen bei allen 23 Versuchspersonen (B...Beginn, N...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage (Nullmessung), Rr/RI...nach endgradiger Rotation rechts/links, DKr/DKL... nach endgradiger De Kleyn Position rechts/links, pmr/pml...nach pre-manipulativer Position C3/C4 rechts/links). 46
- Abbildung 4: Verlauf des systolischen Blutdrucks während der acht Messungen (Mittelwerte und 95%-Vertrauensbereiche (Null...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage, endR...nach endgradiger Rotation, endDK... nach endgradiger De Kleyn-Position, pm...nach pre-manipulativer Position C3/C4, re...rechte, li...linke A. vertebralis). 47
- Abbildung 5: Verlauf des diastolischen Blutdrucks während der acht Messungen bei allen 23 Versuchspersonen (B...Beginn, N...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage (Nullmessung), Rr/RI...nach endgradiger Rotation rechts/links, DKr/DKL... nach endgradiger De Kleyn Position rechts/links, pmr/pml...nach pre-manipulativer Position C3/C4 rechts/links). 49
- Abbildung 6: Verlauf des diastolischen Blutdrucks während der acht Messungen (Mittelwerte und 95%-Vertrauensbereiche (Null...nach 10 Minuten Liegen in Rückenlage, endR...nach endgradiger Rotation, endDK... nach endgradiger De Kleyn-Position, pm...nach pre-manipulativer Position C3/C4, re...rechte, li...linke A. vertebralis). 49

Abbildung 7: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).....	51
Abbildung 8: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).....	52
Abbildung 9: Vergleich der Gefäßdurchmesser der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).	54
Abbildung 10: Vergleich der Gefäßdurchmesser der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).	54
Abbildung 11: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).	56
Abbildung 12: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).	57
Abbildung 13: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).....	60
Abbildung 14: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).....	60
Abbildung 15: Vergleich der Gefäßdurchmesser der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).....	63
Abbildung 16: Vergleich der Gefäßdurchmesser der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).....	63
Abbildung 17: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der rechten A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).	65
Abbildung 18: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).	66

Abbildung 19: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der rechten A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).....	69
Abbildung 20: Vergleich der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der linken A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).....	70
Abbildung 21: Vergleich der Gefäßdurchmesser der rechten A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).....	72
Abbildung 22: Vergleich der Gefäßdurchmesser der linken A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).....	72
Abbildung 23: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der rechten A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).	74
Abbildung 24: Vergleich des Blutflusses [ml/s] der linken A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4 (Probanden 1-23 von links unten nach rechts oben).	75

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dehnung der A. vertebralis während verschiedener Bewegungstests.	30
Tabelle 2: Dehnung der A. vertebralis während einer Manipulation.	31
Tabelle 3: Klassifikation für arterielle Hypertonie (WHO Guidelines, 1999).	38
Tabelle 4: Ergebnisse der t-Tests für gepaarte Stichproben, sowie mittlere Differenzen der Blutdruckwerte (systolisch) zwischen der Nullmessung und den Blutdruckmessungen nach den einzelnen Ultraschalluntersuchungen.	48
Tabelle 5: Ergebnisse der t-Tests für gepaarte Stichproben, sowie mittlere Differenzen der Blutdruckwerte (diastolisch) zwischen der Nullmessung und den Blutdruckmessungen nach den einzelnen Ultraschalluntersuchungen.	50
Tabelle 6: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable „Maximale Strömungsgeschwindigkeit“ in der linken und rechten A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige Rotation, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).	52
Tabelle 7: Deskriptive Daten der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten [cm/s] in rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation.	53
Tabelle 8: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable Gefäßdurchmesser der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige Rotation, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).	55
Tabelle 9: Deskriptive Daten der Gefäßdurchmesser [mm] von rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation.	55
Tabelle 10: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängigen Variablen Blutfluss der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige Rotation, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).	57
Tabelle 11: Ergebnisse der ANCOVA zur Untersuchung auf Einflüsse von möglicherweise durch zu kurze zeitliche Abstände zwischen den Ultraschalluntersuchungen bedingten unterschiedlichen Ausgangssituationen.	58

Tabelle 12: Deskriptive Daten des Blutflusses [ml/s] der rechten und linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger Rotation.	59
Tabelle 13: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable „Maximale Strömungsgeschwindigkeit“ in der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige De Kleyn-Position, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).	61
Tabelle 14: Deskriptive Daten der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten [cm/s] in rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position.....	62
Tabelle 15: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable Gefäßdurchmesser der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige De Kleyn-Position, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).	64
Tabelle 16: Deskriptive Daten der Gefäßdurchmesser [mm] von rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position.	64
Tabelle 17: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängigen Variablen Blutfluss der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und endgradige De Kleyn-Position, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).....	66
Tabelle 18: Ergebnisse der ANCOVA zur Untersuchung auf Einflüsse von möglicherweise durch zu kurze zeitliche Abstände zwischen den Ultraschalluntersuchungen bedingten unterschiedlichen Ausgangssituationen.	67
Tabelle 19: Ergebnisse der ANCOVA zur Untersuchung auf Einflüsse von möglicherweise durch zu kurze zeitliche Abstände zwischen den Ultraschalluntersuchungen bedingten unterschiedlichen Ausgangssituationen.	68
Tabelle 20: Deskriptive Daten des Blutflusses [ml/s] der rechten und linken A. vertebralis in Nullposition und endgradiger De Kleyn Position.	68
Tabelle 21: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable „Maximale Strömungsgeschwindigkeit“ in der rechten und linken A. vertebralis in	

Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und pre-manipulative Position C3/C4, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).	70
Tabelle 22: Deskriptive Daten der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten [cm/s] in rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4.	71
Tabelle 23: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängige Variable Gefäßdurchmesser der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und pre-manipulative Position C3/C4, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).	73
Tabelle 24: Deskriptive Daten der Gefäßdurchmesser [mm] von rechter und linker A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4.	73
Tabelle 25: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung, sowie der gepaarten Wilcoxon-Tests für die abhängigen Variablen Blutfluss der rechten und linken A. vertebralis in Abhängigkeit von der Kopfposition (Nullposition und pre-manipulative Position C3/C4, p-Wert der ANOVA ident mit jenem von t-Tests gepaarter Stichproben).....	75
Tabelle 26: Ergebnisse der ANCOVA zur Untersuchung auf Einflüsse von möglicherweise durch zu kurze zeitliche Abstände zwischen den Ultraschalluntersuchungen bedingten unterschiedlichen Ausgangssituationen.	76
Tabelle 27: Ergebnisse der ANCOVA zur Untersuchung auf Einflüsse von möglicherweise durch zu kurze zeitliche Abstände zwischen den Ultraschalluntersuchungen bedingten unterschiedlichen Ausgangssituationen.	77
Tabelle 28: Deskriptive Daten des Blutflusses [ml/s] der rechten und linken A. vertebralis in Nullposition und pre-manipulativer Position C3/C4.	77

10 Literaturverzeichnis

- Arnold C, Bourassa T, Langer T, Stoneham G. 2004. Doppler studies evaluating the effect of a physical therapy screening protocol on vertebral artery blood flow. *Manual Therapy*. 9:13-21.
- Assendelft WJJ, Bouter LM, Knipschild PG. 1996. Complication of spinal manipulation – a comprehensive review of the literature. *The Journal of Family Practice*. 42(5):478-480.
- Barker S, Kesson M, Ashmore J, Turner G, Conway J, Stevens. 2000. Guidance for pre-manipulative testing of the cervical spine. *Manual Therapy*. 5:37-40.
- Bassetti C, Carruzzo A, Sturzenegger M, Tuncdogan E. 1996. Recurrence of cervical artery dissection. A prospective study of 81 patients. *Stroke*. 27:1804-1807.
- Bischoff HP. 2004. Dissektion hirnzuführender Gefäße im zeitlichen Zusammenhang mit Chirotherapie. *Manuelle Medizin*. 42:9-13.
- Block B. Herz-Kreislauf-System. 2006. Thieme. Stuttgart. 132.
- Brown BSTJ, Tissington-Tatlow WF. 1963. Radiographic studies of the vertebral arteries in cadavers. *Radiology*. 81:80-88.
- Carey P. 1995. A suggested protocol for the examination and treatment of the cervical spine: managing the risk. *Journal of the Canadian Chiropractic Association* 39:35-39.
- Chan MT, Nadareishvili ZG, Norri JW. 2001. Diagnostic strategies in young patients with ischemic stroke in Canada. *Canadian Journal of Neurology*. SCI27:120-124.
- Cote P, Kreitz BG, Cassidy JD. 1996. The validity of the extension-rotation test as a clinical screening procedure before neck manipulation: a secondary analysis. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 19:159.
- Dittrich R, Nassenstein I, Bachmann R, Maintz D, Nabavi DG, Heindl W. 2007. Polyarterial clustered recurrence of cervical artery dissection seems to be the rule. *Neurology*. 69:180-186.
- Dvorak J, Loustlot D, Baumgarner H. 1993. Frequency of complications of manipulation of the spine – a survey among the members of the Swiss Medical Society of Manual Therapy. *European Spine Journal*. 2:136-139.
- Dziewas R, Konrad C, Dräger B, Evers S, Besselmann M, Braun B. 2003. Cervical artery dissection – clinical features, risk factors, therapy and outcome in 126 patients. *Journal of Neurology*. 250:1179-1184.

- Franklin DI, Schlegel W, Rushmen RF. 1961. Blood flow measurement by Doppler frequency shift on backscattered ultrasound. *Science*.134:564-565.
- Frisoni G, Anzola G. 1991. Vertebrobasilar ischemia after neck motion. *Stroke*. 22:49-55.
- Grant R. 1996. Vertebral artery testing, the Australian Physiotherapy association protocol after 6 years. *Manual Therapy*. 1:149-153.
- Greenman P. 2005. *Lehrbuch der osteopathischen Medizin*. Haug. Stuttgart. 114.
- Gross S, Haus E. 2002. *Innere Medizin*. Urban und Fischer. München. 76.
- Harten U. 2006. *Physik für Mediziner*. Springer. Heidelberg. 91-92.
- Haynes MJ. 1994. Stroke following cervical manipulation in Perth. *Chiropractic Journal of Australia*. 24(2):42-46.
- Haynes MJ. 1996. Doppler studies comparing the effects of cervical rotation and lateral flexion on vertebral artery blood flow. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 19:378-384.
- Haynes MJ. 2000. Vertebral arteries and neck rotation: Doppler velocimeter and duplex results compared. *Ultrasound in Medicine and Biology*. 26:57.
- Haynes MJ, Milne N. 2001. Colour duplex sonographic findings in human vertebral arteries during cervical rotation. *Journal of Clinical Ultrasound*. 29:14-24.
- Herzog W. 2003. Letter to the editor. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 26:339-340.
- Hick C, Hick A. 2009. *Intensivkurs Physiologie*. Urban und Fischer. München. 79.
- Hufnagel A, Hammers A, Schonle PW, Bohm KD, Leonhardt G. 1999. Stroke following chiropractic manipulation of the cervical spine. *Journal of Neurology*. 246:683-688.
- Kawchuk GN, Jhangri GS, Hurwitz EL, Wynd S, Haldemann S, Hill MD. 2008. The relation between the spatial distribution of vertebral artery compromise and exposure to cervical manipulation. *Journal of Neurology*. 255:371-377.
- Keidel M, Neu I, Langohr HD, Göbel H. 1998. *Therapie des posttraumatischen Kopfschmerzes nach Schädel-Hirn-Trauma und HWS Distorsion*. Springer. Stuttgart. 12:352-372.
- Krämer J. 2006. *Bandscheibenbedingte Erkrankungen*. Thieme. Stuttgart. 116-117.
- Kunasmaa KTTT, Thiel HW. 1994. Vertebral artery syndrome: a review of the literature. *Journal of Osteopathic Medicine*. 16-20.
- Kubale R, Stiegler H. 2002. *Farbkodierte Duplexsonographie*. Thieme. Stuttgart. 1;78.

Lee PK, Carlini WG, McCormick GF, Albers GW. 1995. Neurologic complications following chiropractic manipulation: a survey of California neurologist. *Neurology*. 45:1213-1215.

Lee VH, Brown RD, Madrekar JN, Mokri B. 2006. Incidence and outcome of cervical artery dissection: a population-based study. *Neurology*. 67:1809-1812.

Licht PB, Christensen HW, Hojgaard P, Hoilund-Carlsen PF. 1998. Triplex ultrasound of vertebral artery flow during cervical rotation. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 21:27-31.

Licht PB, Christensen HW, Hoilund-Carlsen PF. 1999. Vertebral artery volume flow in human beings. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 22:363-367.

Licht PB, Christensen HW, Hoilund-Carlsen PF. 2000. Is there a role of pre-manipulative testing before cervical manipulation? *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 23:175-179.

Licht PB, Christensen HW, Hoilund-Carlsen PF. 2002. Carotid artery blood flow during premanipulative testing. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 25:370-383.

Liem T. 2005. *Kraniosakrale Osteopathie, Ein praktisches Lehrbuch*. Hippokrates. Stuttgart. 459-466.

Liem T, Dobler T. 2010. *Leitfaden Osteopathie, Parietale Techniken*. Urban und Fischer. München. 117;612; 822-827.

Lomba JA, Peper W. 2007. *Handbuch der Chiropraktik und strukturelle Osteopathie*. Haug. Stuttgart. 77.

Mann T, Refshauge K. 2001. Causes of complications from cervical spine manipulation. *Australian Journal of Physiotherapy*. 255-266.

Mas JL, Henin D, Bousser MG, Chain F. 1989. Dissecting aneurysm of the vertebral artery and cervical manipulation: A case report with autopsy. *Neurology*. 39:512-515.

Mashur KF, Neumann M. 1998. *Neurologie*. Hippokrates. Stuttgart. 346.

Meyer-Holz J, Ernst A, Brüggemann V. 2006. *Praxisbuch Wirbelsäulenschmerz*. Thieme. Stuttgart. 68-69.

McLeod FD. 1967. A directional Doppler flowmeter. 7th International Conference on Medical and Biological Engineering.

Michaelli A. 1993. Reported occurrence and nature of complication following manipulative physiotherapy in South Africa. *Australian Journal of Physiotherapy*. 39(4):309-315.

Michaud TC. 2002. Uneventful upper cervical manipulation in the presence of a damaged vertebral artery. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 25:472-483.

Mitchell J. 2003. Changes in vertebral artery blood flow following normal rotation of the cervical spine. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 26:347-351.

Mitchell J, Keene D, Dyson C, Harvey L, Pruey C, Phillips R. 2004. Is cervical spine rotation, as used in the standard vertebrobasilar insufficiency test, associated with a measurable change in intracranial vertebral artery blood flow? *Manual Therapy*. 9:220-227.

Mitchell F, Mitchell P. 2004. *Handbuch der Muskel Energie Techniken 1, Grundlage der MET-Diagnostik und Therapie: Halswirbelsäule*. Hippokrates. Stuttgart. 46;93.

Mitchell J. 2007. Doppler insonation of vertebral artery blood flow changes associated with cervical spine rotation: Implications for manual therapists. *Physiotherapy Theory and Practice*. 23:303-313.

Mitchell J, Kramschuster K. 2008. Real-time ultrasound measurements of changes in suboccipital vertebral artery diameter and blood flow velocity associated with cervical spine rotation. *Physiotherapy Research International*. 13:241-254.

Möckel E, Mitha N. 2009. *Handbuch der Pädiatrie*. Urban und Fischer. München. 73-78.

Nappene T, Nüllen H. 2010. *Varikose: Diagnostik, Therapie, Begutachtung*. Springer. Stuttgart. 97.

Nedelchev K, der Mauer TA, Georgiadis D, Arnold M, Caso V, Mattle HP. 2005. Ischaemic stroke in young adults: predictors of outcome and recurrence. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 76:191-195.

R Development Core Team (2010): R: A language and environment for statistical computing. Wien: R Foundation for Statistical Computing. Im Internet: <http://www.R-project.org/>.

Refshauge K. 1994. Rotation: a valid premanipulative dizziness test? Does it predict safe manipulation? *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 17:15-19.

Richter P, Hebgen E. 2007. *Triggerpunkt und Muskelfunktionsketten in der Osteopathie und manuellen Therapie*. Hippokrates. Stuttgart. 62-64.

Rivett DA. 1995. The pre-manipulative vertebral artery testing protocol: a brief review. *New Zealand Journal of Physiotherapy*. 9-12.

Rivett DA, Milburn P. 1997. Complications arising from spinal manipulation therapy in New Zealand. *Physiotherapy* . 83(12):626-632.

Rivett DA, Milburn P, Chapple C. 1998. Negative pre-manipulative vertebral artery testing despite occlusion: a case of false negativity? *Manual Therapy*. 3:102-107.

Rivett DA, Sharple KJ, Milburn PD. 1999. Effect of pre-manipulative test on vertebral artery and internal carotid artery blood flow: A pilot study. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 22:368-375.

Rossitti S, Volkmann R, Logren J. 1992. Changes of blood flow velocity in the vertebrobasilar circulation during rotation of the head in the normal human. *Biomechanics Seminars*. 6:92-99.

Rossitti S, Volkmann R. 1995. Changes of blood flow velocity indicating mechanical compression of the vertebral arteries during rotation of the head in the normal human measured with transcranial Doppler Sonography. *Arquivos de Neuropsychiatria*. 53:26-33.

Rothwell D, Bondy SJ, Williams JI. 2001. Chirotherapeutische Manipulation und Schlaganfall. *Manuelle Medizin*. 39;246-253.

Sachs, L. 2004. *Angewandte Statistik*. Springer. Berlin, Heidelberg, New York. 200;365;425.

Saxler G, Schopphoff E, Quitmann H, Quint U. 2004. Können durch Chirotherapie neurologische Schäden hervorgerufen werden? *Manuelle Medizin*. 42:287-292.

Schildt-Rudloff K, Sachse J. 2008. *Wirbelsäule, Manuelle Untersuchung und Mobilisationstechnik für Ärzte und Physiotherapeuten*. Urban und Fischer. München. 229.

Schäberle Wilhelm. 2010. *Ultraschall in der Gefäßdiagnostik. Therapieorientiertes Lehrbuch und Atlas*. Springer. Berlin, Heidelberg. 1;14-20;312.

Schivink WI. 2001. Spontaneous dissection of the carotid and vertebral arteries. *The New England Journal of Medicine*. 344:898-906.

Schmitt H. 1991. Anatomical structure of the cervical spine with reference to pathology of manipulation complications. *Manual Medicine*. 6:102-105.

Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. 2005. *Prometheus, Hals und Innere Organe, Atlas der Anatomie*. Thieme. Stuttgart. 10-19.

Simons DG, Travell JG, Simons LS. 2002. *Handbuch der Muskel-Trigger Punkte, Obere Extremität, Kopf und Rumpf*. Urban und Fischer. München. 482.

Stevens A. 1991. Functional Doppler sonography of the vertebral artery and some considerations about manual techniques. *Journal of Manipulative Medicine*. 6:102-105.

Symons PB, Leonard T, Herzog W. 2002. Internal forces sustained by the vertebral artery during spinal manipulative therapy. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 25:504-510.

Tissington-Tatlow WF, Brammer HG. 1957. Syndrome of vertebral artery compression. *Neurology*. 7:331-340.

Thiel H, Wallace K, Donat J, Jong-Hing K. 1994. Effects of various head and neck positions on vertebral artery blood flow. *Clinical Biomechanics*. 9:105-110.

Thiel H, Rix G. 2005. Is it time to stop functional pre-manipulation testing of the cervical spine? *Manual Therapy*. 10(2):148-154.

Toole JF, Tucker SH. 1960. Influence of head position upon cerebral circulation: studies on blood flow in cadavers. *Archives of Neurology*. 2:626-623.

Van den Berg F. 2005. *Angewandte Physiologie, Band 5*. Thieme. Stuttgart. 454.

Van der El. 2009. *Orthopaedic Manual Therapy Diagnosis*. Library of Congress Cataloging in Publication Data. 192-194.

Weingart JR, Bischoff HP. 1997. Farbcodierte Dopplersonographie der A. vertebralis, Abhängigkeit von Rotation und Traktion des Kopfes. *Manuelle Medizin*. 35:254-257.

Westaway M, Stratford P, Symons P. 2003. False-negative extension/rotation premanipulative screening test in a patient with an atretic and hypoelastic vertebral artery. *Manual Therapy*. 8:120-127.

WHO/ISH-Guidelines-Subcommittee:1999 World Health Organization-International Society of Hypertension Guidelines for the Management of Hypertension. Guidelines Subcommittee. In: *Journal Hypertens*.17. 151-183.

Wuest S, Symons B Leonard T, Herzog W. 2010. Biomechanics of vertebral artery segments C1-C6 during cervical spinal manipulation. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 273-278.

Zaina C, Grant R, Johnson C, Dansie B, Tayler J, Spyropolous P. 2003. The effect of the cervical rotation on blood flow in the contralateral vertebral artery. *Manual Therapy*. 8:103-109.

11 Anhang

11.1 Informationsblatt

Sie haben sich bereit erklärt an einer Studie teilzunehmen, die in den Bereich der Grundlagenforschung geht. Der Ort der Studie ist das Krankenhaus der Barmherzigen Brüder St. Veit an der Glan und das Thema der Studie lautet:

Veränderung der Hämodynamik der A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen. Untersuchung durch Ultraschall Doppler Sonographie

Die Studie ist ein wesentlicher Teil einer Master Thesis zur Erlangung des Grades Master of Science in Osteopathie.

Im Vorfeld der Studie werden sie gebeten an einer Voruntersuchung teilzunehmen, die in einer Befundaufnahme ihre derzeitige körperliche Verfassung festlegt. Der Osteopath macht die Voruntersuchung, vergibt Termine für die Durchführung der Studie, klärt bei Unklarheiten über die Durchführung der Studie genau auf, holt die schriftliche Einverständniserklärung ein und leitet die Studie.

Es werden 20 freiwillige und gesunde Probanden im Alter zwischen 20 und 45 Jahren, männlich und weiblich, ohne Risikofaktoren ausgewählt und an der A. vertebralis in Rückenlage in verschiedenen Kopfpositionen untersucht. Der Osteopath führt den Kopf des Probanden in die richtige Position und der Facharzt für Innere Medizin, welcher in seiner Tätigkeit täglich Untersuchungen an hirnzuführenden Gefäßen durchführt und jahrelange Erfahrung aufweist, untersucht die A. vertebralis mit Ultraschall Doppler Sonographie. Dabei wird genau untersucht, ob es während verschieden eingenommener Kopfpositionen in Rückenlage zu einer Veränderung der höchsten Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers und des Blutvolumens kommt. Es werden in der Studie jene Kopfpositionen ausgewählt, welche in der Praxis häufig verwendet werden. Die Daten, die in der Untersuchung aus der Ultraschall Doppler Sonographie herauskommen, werden in ein Testformular eingetragen und von einem Statistiker ausgewertet.

Während der gesamten Studie befindet sich der Proband unter ärztlicher Aufsicht. Es werden nur jene Probanden ausgewählt, die den Einschlusskriterien entsprechen und keine Ausschlusskriterien vorweisen. Dies wird schon in einer Voruntersuchung durch den Osteopathen begutachtet und bestimmt.

Genauere Informationen bezüglich Einschluss- und Ausschlusskriterien, und der daraus folgenden möglichen Eignung zur Teilnahme an der Studie, sind mit dem Arzt oder zuständigen Osteopathen zu klären.

Vor, während und nach der Untersuchung werden bei jedem Patienten der Puls und der Blutdruck gemessen.

Sollten aus irgendwelchen Gründen Symptome oder Merkmale, wie Schwindel, Übelkeit oder andere Symptome auftreten, die den Abbruchkriterien entsprechen, so wird die Studie abgebrochen. Die Studie kann aber auch zu jeder Zeit von Seiten des Probanden abgebrochen werden.

Sollten noch Unklarheiten auftreten, so können Sie sich gerne an den Osteopathen, der für den Ablauf und die Durchführung der Studie verantwortlich ist, melden.

Sie werden nun gebeten im Anhang des Informationsblattes eine Einverständniserklärung zur rechtlichen Absicherung der Durchführung der Studie zu unterschreiben.

Herzlichen Dank

Ihr Arzt und Osteopath

11.2 Schriftliche Einverständniserklärung

Bitte lesen Sie dieses Schreiben sorgfältig durch.

Bitte fragen Sie, wenn Sie etwas nicht verstehen oder wissen möchten.

Titel der Studie:	Veränderung der Hämodynamik der A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen Untersuchung durch Ultraschall Doppler Sonographie
Ort der Studie:	Allgemeines öffentliches Krankenhaus der Barmherzigen Brüder St. Veit an der Glan
Untersuchender Arzt: Name und Vorname:	Dr. Gröchenig Hans-Peter, Facharzt für Innere Medizin
Leitender Osteopath: Name und Vorname:	Petautschnig Klaus, Osteopath
Proband/Probandin: Name und Vorname: Geburtsdatum: Geschlecht:	

Ich wurde vom unterzeichnenden Arzt und vom Osteopathen mündlich und schriftlich über die Ziele, den Ablauf der Studie, über möglich auftretenden Symptome und eventuelle Risiken informiert.

Ich habe das Informationsblatt zur oben genannten Studie gelesen und verstanden. Alle Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an dieser Studie sind ausreichend beantwortet worden.

Ich hatte genügend Zeit mich für die Teilnahme an der Studie zu entscheiden.

Ich weiß, dass meine Daten nur in anonymisierter Form bearbeitet werden und als solches auch anonym weitergegeben werden.

Ich nehme an der Studie freiwillig teil und ich kann zu jeder Zeit und ohne Angaben von Gründen meine Zustimmung zur Teilnahme an der Studie widerrufen. Die Studie selbst kann auch zu jeder Zeit und ohne Angaben von Gründen abgebrochen werden.

Ich muss vor der eigentlichen Studie eine Voruntersuchung durch einen Osteopathen absolvieren, in welcher schon im Vorfeld eine Eignung für eine mögliche Teilnahme an der Studie geprüft wird.

Unterschrift des Probanden/der Probandin:

Ort, Datum:

11.3 Osteopathische Voruntersuchung

Befundaufnahme:

Proband:

Telefonnummer:

Adresse:

Geschlecht:

Beruf:

Sport/Hobbies:

Medikamente:

Nikotin:

Alkohol:

Bisherige Erkrankungen:

Bisherige Operationen:

Erkrankungen und Traumata am Bewegungsapparat:

Internistische Erkrankungen (evtl. Herz- und Kreislaufsystem):

Neurologische Erkrankungen (Kribbeln, Taubheitsgefühl, Schwäche):

Aktive Bewegungsprüfung der Halswirbelsäule:

	Auffälligkeiten, Merkmale Symptome
Flexion	
Extension	
Rotation rechts	
Rotation links	
Lateralflexion rechts	
Lateralflexion links	

Blutdruckmessung:

Pulsmessung:

11.4 Testformular

Proband:

Alter:

Geschlecht:

Größe:

Gewicht:

BMI:

In der Nullstellung werden beide Aa vertebralia untersucht. In der endgradigen Rotation, endgradigen De Kleyn Position und endgradigen pre-manipulativen Position von C3/C4 wird jeweils die kontralaterale A. vertebralis untersucht.

	Nullstellung		Endgradige Rotation		Endgradige De Kleyn Position		Pre-manipulative Position C3/C4	
	re. Art.	li. Art.	re. Art.	li. Art.	re. Art.	li. Art.	re. Art.	li. Art.
Höchste Strömungsgeschwindigkeit								
Gefäßdurchmesser								
Blutfluss/Volumen								

Zur Erläuterung: re. Art.=rechte Arterie; li. Art.=linke Arterie

Auffälligkeiten/Symptome/Merkmale:

	JA	NEIN
Schwindel		
Übelkeit		
Sehstörung		
Hörstörung		
Sprechstörung		
Schluckstörung		
Sensibilitätsstörung		
Sonstige Störungen		

Blutdruckmessung und Pulsmessung:

	Puls	Blutdruck
Beginn Rückenlage		
Nach 10 min Rückenlage		
In Nullstellung nach Rotation rechts		
In Nullstellung nach Rotation links		
In Nullstellung nach De Kleyn Test rechts		
In Nullstellung nach De Kleyn Test links		
In Nullstellung nach pre- manipulativer Position C3/C4		
In Nullstellung nach pre- manipulativer Position C3/C4		

12 Zusammenfassung

12.1 Einleitung

In der Osteopathie hat die Halswirbelsäule einen hohen Stellenwert. Durch ihre Verbindung zu Außenwelt ist sie anfällig für somatische Dysfunktionen, und hier bietet die Osteopathie eine große Auswahl an Behandlungsmöglichkeiten zu denen auch die Manipulation gehört (Simons et al., 2002). Wenn die Notwendigkeit es verlangt, dann ist die Manipulation die Therapie der Wahl (Greenman 2005). Neben der korrekten Durchführung der Technik im jeweiligen Segment der Halswirbelsäule sind eine genaue Anamnese, Sicherheitstests und eine genaue Bewegungsprüfung unerlässlich. In der Anamnese erfährt man schon mögliche Hinweise auf eine Kontraindikation und mit der Durchführung von Sicherheitstests bekommt man weitere wichtige Informationen, um gegebenenfalls von einer Manipulation an der Halswirbelsäule Abstand zu nehmen (Liem, 2010). Neben der Puls- und Blutdruckmessung wird auch der A. vertebralis Test nach De Kleyn durchgeführt, der Hinweise auf eine Störung der A. vertebralis geben kann. Es mag aber einfacher erscheinen als es ist, denn ein gewisses Restrisiko ist immer noch vorhanden und die Literaturrecherche zeigt, dass die Meinungen oft auseinandergehen (Meyer-Holz, 2006). Dies bringt Unsicherheit und Scheu in der Durchführung einer Manipulation an der Halswirbelsäule mit sich. Um eine erfolgreiche und zielgerichtete Manipulation in der Halswirbelsäule durchführen zu können, bedarf es an Sicherheit und Vertrauen in die Technik einer Manipulation.

Ziel der Arbeit ist es, Veränderungen der A. vertebralis und in weiterer Folge der Hämodynamik der A. vertebralis während der endgradigen Rotation, der De Kleyn Position und pre-manipulativen Position von C3/C4 zu untersuchen. Die Ergebnisse sollen weitere Erkenntnisse in Hinblick auf Befund und Behandlung in der Osteopathie vermitteln. Es wird in der Studie nicht die Validität des A. vertebralis Test nach De Kleyn überprüft, sondern die Hämodynamik der A. vertebralis in verschiedenen Kopfpositionen.

12.2 Theoretischer Hintergrund

Die Auswirkungen von Bewegungen in der Halswirbelsäule in Bezug auf die Hämodynamik werden schon lange untersucht. Am Anfang stehen Experimente mit Leichen im Vordergrund (Tissington-Tatlow et al., 1957, Toole et al., 1960, Brown et al., 1963), die aber bald von Studien an Lebenden durch verbesserte Untersuchungsmethoden, wie die Doppler Sonographie oder die Magnetresonanz, abgelöst werden.

Einige Untersuchungen zeigen während einer Rotation der Halswirbelsäule keine Veränderung des kontralateralen Blutflusses der A. vertebralis (Thiel et al., 1994, Weingart et al., 1997, Licht et al., 1999, Licht et al., 2000, Haynes et Milne, 2001, Licht et al., 2002, Zaina et al., 2003), während andere Untersuchungen signifikante Unterschiede im kontralateralen Blutfluss der A. vertebralis ergeben (Stevens, 1991, Rossitti et al., 1992, Refshauge, 1994, Licht et al., 1998, Rivett et al., 1998, Rivett et al., 1999, Mitchell, 2003, Arnold et al., 2004, Mitchell et al., 2004).

Die Untersuchung der Hämodynamik der A. vertebralis mittels Doppler Sonographie ist ein valider Test, um Veränderungen des Blutflusses festzustellen und indirekt den mechanischen Stress der A. vertebralis, während einer kontralateralen Rotation in der Halswirbelsäule, zu erkennen. (Haynes, 2000). Die Erkennung von mechanischem Stress in der A. vertebralis während der pre-manipulativen Untersuchungen helfen dem Risiko einer Verletzung der A. vertebralis vorzubeugen.

Eine mögliche Veränderung des Blutflusses der A. vertebralis, während einer kontralateralen Rotation in der Halswirbelsäule, entsteht auf Grund der erhöhten Spannung und Einengung der A. vertebralis (Stevens, 1991).

Die folgende Studie soll weitere Erkenntnisse über die Hämodynamik der A. vertebralis in Rückenlage in verschiedenen Kopfpositionen bringen. Die Untersuchung erfolgt in verschiedenen Kopfpositionen mit Ultraschall Doppler Sonographie.

12.3 Methodik

12.3.1 Beschreibung der Methodik

Die Studie geht in den Bereich der Grundlagenforschung und wird im Krankenhaus der Barmherzigen Brüder St. Veit an der Glan durchgeführt. Die Probanden werden mittels eines Informationsblattes über die Durchführung der Untersuchung aufgeklärt

und erklären sich durch eine Einverständniserklärung bereit, freiwillig an der Studie teilzunehmen.

Es werden 23 freiwillige und gesunde Probanden ohne Risikofaktoren im Alter zwischen 20 und 45 Jahren, männlich und weiblich, ausgewählt und an der A. vertebralis in Rückenlage in Nullstellung, in endgradiger Rotation, in endgradiger Position des De Kleyn Tests und in pre-manipulativer Position von C3/C4 untersucht. Die ausgewählten Probanden werden innerhalb der letzten 3 Tage vor dem Test im Zuge einer Voruntersuchung vom Osteopathen untersucht. Diese Voruntersuchung beinhaltet eine umfangreiche Anamnese, eine grobe aktive Bewegungsprüfung, eine Blutdruckmessung und eine Pulsmessung.

Auf eine Bewegungsprüfung mit genauen Gradangaben wird in der Voruntersuchung und in der Studie verzichtet, da es sich in der Studie weitgehend um kombinierte endgradige Bewegungen handelt. In der Literatur findet man Studien, die endgradige Bewegungsrichtungen untersuchen (Arnold et al., 2004, Zaina et al., 2003) und Studien, die eine genaue Angabe der Bewegungsgrade der Bewegungsrichtung angeben (Weingart et al., 1992, Refshauge, 1994). In diesen Studien werden Bewegungen in eine Bewegungsrichtung und keine kombinierten Bewegungen in verschiedenen Bewegungsgraden untersucht.

In der von mir durchgeführten Studie müssen alle Probanden 10 Minuten in flacher Rückenlage und ohne Polster liegen. Wenn sich der Proband in Rückenlage befindet wird erstmalig Puls und Blutdruck gemessen. Nach 10 Minuten werden vor Beginn der Untersuchung nochmals der Puls und Blutdruck gemessen, und während der Untersuchung werden immer in der Nullstellung Puls und Blutdruck gemessen. Die Probanden werden einmalig in Rückenlage in der jeweiligen Kopfposition auf Höhe von C3/C4 mit dem Ultraschallgerät Vivit 7 Pro mit einem Linearschallkopf mit 10 MHz untersucht und die Messungen der Hämodynamik der A. vertebralis werden winkelkorrigiert durchgeführt. Die Testpositionen am Probanden werden immer vom selben Osteopathen eingestellt und die Ultraschall Doppler Sonographie vom selben Facharzt für Innere Medizin durchgeführt. Der Osteopath selbst verfügt über eine 10 jährige Berufserfahrung. Der Facharzt für Innere Medizin verfügt über jahrelange Erfahrung in Ultraschall Doppler Sonographie und führt unter anderem täglich Untersuchungen hirnzuführender Arterien durch.

Gemessen wird in allen Positionen mittels Ultraschall Doppler Sonographie die maximale Blutflussgeschwindigkeit und der Gefäßdurchmesser der kontralateralen A.

vertebralis. Der Blutfluss der kontralateralen A. vertebralis wird aus der maximalen Blutflussgeschwindigkeit und dem Gefäßdurchmesser bestimmt.

Jede dieser Kopfpositionen wird für 20 Sekunden eingenommen, und bevor es zur nächsten Einstellung der jeweiligen Kopfposition kommt, wird der Kopf immer wieder für die Dauer von einer Minute in die Nullstellung zurückgeführt. Puls und Blutdruck sollten nach dieser Pause wieder weitgehend den ursprünglichen Ausgangswert einnehmen. Die Dauer der Pause hat sich in der Untersuchung von drei Test-Probanden als angemessen herausgestellt.

Arzt und Osteopath arbeiten an einer reibungslosen Durchführung der Studie, um möglich auftretende Fehlerquellen zu vermeiden. Die Auswertung der Daten erfolgt durch einen Statistiker, der die Werte gegenüberstellt und analysiert. Es wird ein Testformular erstellt, welches mittels einer Tabelle die Testposition mit den Messwerten der Untersuchung vergleicht.

12.4 Forschungsfrage und Hypothesen

Forschungsfrage:

Welche Aussage gibt eine Ultraschall Doppler Sonographie bei Probanden in Rückenlage über die Hämodynamik der A. vertebralis in der Nullstellung, in der endgradigen Rotation, in Kombination von endgradiger Extension und Rotation (De Kleyn Test) und in einer pre-manipulativen Position von C3/C4.

12.4.1 Arbeitshypothese 1

In der endgradigen Einstellung in Rotation kommt es zu einer signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers und des Blutflussvolumens.

12.4.2 Nullhypothese 1

In der endgradigen Einstellung in Rotation kommt es zu keiner signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers, und des Blutflussvolumens.

12.4.3 Arbeitshypothese 2

In der endgradigen Einstellung in Rotation und Extension (De Kleyn Position) kommt es zu einer signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers und des Blutflussvolumens.

12.4.4 Nullhypothese 2

In der endgradigen Einstellung in Rotation und Extension (De Kleyn Position) kommt es zu keiner signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers und des Blutflussvolumens.

12.4.5 Arbeitshypothese 3

In der endgradigen pre-manipulativen Einstellung von C3/C4 kommt es zu einer signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers und des Blutflussvolumens.

12.4.6 Nullhypothese 3

In der endgradigen pre-manipulativen Einstellung von C3/C4 kommt es zu keiner signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers und des Blutflussvolumens.

12.5 Stichprobe

12.5.1 Einschlusskriterien

Alle 23 männlichen und weiblichen Probanden sollten gesund und im Alter zwischen 20 und 45 Jahren sein. Ab dem 45. Lebensjahr kommt es bei 2 % der Männer und Frauen zu einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Gefäßverengung bis hin zum Gefäßverschluss (Gross et al., 2002). Sie sollten Bereitschaft, Motivation und Verlässlichkeit mitbringen. Alle Probanden werden im Rahmen einer Voruntersuchung mündlich über die Durchführung der Untersuchung genau aufgeklärt und müssen später eine Einverständniserklärung über Durchführung der Untersuchung unterzeichnen.

12.5.2 Ausschlusskriterien

Die Probanden sollten keine neurologischen Erkrankungen, keine kardiorespiratorischen Erkrankungen und keine Erkrankungen am Bewegungsapparat vorweisen. Eine starke degenerative Veränderung oder Instabilität könnte einen Einfluss auf die A. vertebralis haben (Van den Berg, 2005).

Ebenso sollten keine Risikofaktoren in Bezug auf das Herz-Kreislauf-System vorliegen.

Die bekannteste Gefäßerkrankung ist die Arteriosklerose, welche als die bedeutendste Zivilisationskrankheit bezeichnet wird (Gross et al., 2002).

Jene Probanden, welche in der osteopathischen Voruntersuchung einen Hinweis auf eine Erkrankung haben, welche einen Einfluss auf die Untersuchung der Hämodynamik der A. vertebralis haben könnten, werden in der Studie nicht berücksichtigt.

12.6 Erhebungsverfahren

In einem Testformular werden von allen Probanden Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht bestimmt und der Wert des Body-Maß-Index errechnet.

Die Untersuchung der Hämodynamik der A. vertebralis wird mit Ultraschall Doppler Sonographie mit dem Vivit 7 Pro der Firma General Electric Healthcare durchgeführt. Der Osteopath stellt in Rückenlage die Kopfposition ein und der Arzt untersucht mittels Ultraschall Doppler Sonographie die Blutflussgeschwindigkeit und den Durchmesser der A. vertebralis. Die Untersuchung der A. vertebralis erfolgt im Longitudinalschnitt bei anterolateraler Sondenposition. Das Blutvolumen wird folgendermaßen berechnet:

$$FV = V \times A$$

Legende:

FV = Blutflussvolumen in ml/min

V = höchste systolische Blutflussgeschwindigkeit cm/s

A = Querschnittfläche des Gefäßes in cm² $A = \frac{\pi \times D^2}{4}$

D = Durchmesser in cm

Der Faktor 60 wird zur spezifischen Umrechnung des Blutflussvolumens verwendet.

Aus den oben angegebenen Parametern lässt sich folgende Formel zur Berechnung des Blutflussvolumens in ml/min anführen:

$$FV = D^2 \times V_{mean} \times \pi \times 15$$

Die Blutdruck- und Pulsmessung wird mit dem Intelli Vue X2 Patientenüberwachungsmonitor der Firma Philips durchgeführt.

Der Überwachungsmonitor verfügt über hohe Validität in der Durchführung von Messparametern und ist bestens geeignet für den intensivmedizinischen und anästhesiologischen Bereich. Für die Studie werden relevante Daten von Blutdruck und Puls erfasst.

12.7 Ergebnisdarstellung

12.7.1 Methodik

Die Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen und Blutdruck- sowie Pulsmessungen wurden in einer Microsoft® Excel®-Tabelle gesammelt und computerunterstützt unter Verwendung der Statistiksoftware R 2.12.0. (R Development Core Team, 2010) ausgewertet. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha=0,05$ gewählt.

Überprüfung der Rohdaten und der Voraussetzung von verteilungsabhängigen Testverfahren:

Die Rohdaten wurden mit Hilfe eines einfachen Ausreißertests (Sachs, 2004) auf deren Plausibilität überprüft und diesbezügliche Auffälligkeiten nachgeprüft und Werte entsprechend korrigiert.

Verwendete statistische Methoden:

Grundvoraussetzung für die Anwendbarkeit von parametrischen Verfahren (wie ANOVA, t-Tests) ist eine annähernde Normalverteilung der Daten in den einzelnen Gruppen und in der gesamten Stichprobe, sowie die Homogenität der Varianzen. Die Normalverteilung wurde mit Hilfe des Shapiro-Wilk Tests untersucht, wobei das

Signifikanzniveau mit $p=0,10$ gewählt wurde (Sachs, 2004). Für die Untersuchung der Homogenität der Varianzen, eine andere Grundbedingung für verteilungsabhängige Tests, wurde der Bartlett Test verwendet.

Aufgrund der Stichprobengröße ($n=23$) wurden jedoch auch bei Erfüllung dieser Voraussetzungen in allen Fällen zusätzlich parameterfreie Tests durchgeführt, die bei Fallzahlen dieser Größenordnung oftmals wirksamer sind (Sachs, 2004).

Die Änderung der Beobachtungen der abhängigen Variablen wurde generell mittels **einfaktorieller Varianzanalyse** mit Messwiederholung (Analysis of Variance...ANOVA) untersucht, wobei der Faktor „Position“ bei Blutdruck und Puls alle acht Messungen (Beginn, Nullmessung nach 10 Minuten Ruhepause in Rückenlage, nach endgradiger Rotation rechts bzw. links, nach endgradiger De Kleyn Position rechts bzw. links und nach pre-manipulativer Position rechts bzw. links) umfasst. Bei signifikanten Ergebnissen der ANOVA der abhängigen Variablen Puls und Blutdruck mit dem in diesem Fall nicht dichotomen Faktor „Position“ wurden anschließend **t-Tests gepaarter Stichproben** durchgeführt, wobei einerseits die Erstmessung (Beginn) und die Nullmessung (nach 10 Minuten Ruhe in Rückenlage), sowie die Werte nach den Ultraschalluntersuchungen in den sechs Kopfpositionen mit jenen der Nullmessung verglichen wurden.

Nachdem zwischen den Ultraschalluntersuchungen in den einzelnen Kopfpositionen eine Ruheperiode eingehalten wurde, die sich in Vorversuchen als geeignet lang herausgestellt hatte, um einen mit der Nullmessung vergleichbaren Ausgangszustand hinsichtlich Puls und Blutdruck herzustellen, ist davon auszugehen, dass diese Parameter keinen Einfluss auf die Ergebnisse ausüben.

Zur Absicherung wurde dennoch eine **Kovarianzanalyse** (Analysis of Covariance...ANCOVA) der abhängigen Variable „Blutfluss“ durchgeführt, bei der neben dem Faktor „Position“ die Kovariaten „Puls“, „systolischer Blutdruck“ und „diastolischer Blutdruck“ zusätzlich mitberücksichtigt wurden.

12.7.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

12.7.2.1 Endgradige Rotation

In endgradiger Rotation ist eine signifikante Reduktion der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zur Strömungsgeschwindigkeit in Nullposition zu erkennen. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 8,9 cm/s (16%, $F_{1,22}=13,231$, $p=0,001$), in der linken A. vertebralis 10,8 cm/s (19%, $F_{1,22}=11,781$, $p=0,002$).

Ebenso ist in dieser Position eine signifikante Reduktion des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis im Vergleich zum Gefäßdurchmesser in Nullposition zu erkennen. An der linken A. vertebralis ist die Differenz geringer ausgeprägt, jedoch ebenfalls deutlich. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 0,16 mm (4%, $F_{1,22}=6,603$, $p=0,02$), in der linken A. vertebralis 0,12 mm (3%, $F_{1,22}=3,860$, $p=0,06$).

Daraus ergibt sich eine ebenfalls signifikante Reduktion des Blutflusses in beiden Aa. vertebrales im Vergleich zum Blutfluss in Nullposition. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 77 ml/s (25%, $F_{1,22}=16,946$, $p=0,0005$), in der linken A. vertebralis 76 ml/s (24%, $F_{1,22}=12,07$, $p=0,002$).

12.7.2.2 Endgradige De Kleyn Position

In endgradiger De Kleyn Position ist beidseitig lediglich eine geringfügige, nicht signifikante, mittlere Zunahme der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zur Strömungsgeschwindigkeit in Nullposition zu erkennen. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 1,2 cm/s (2%, $F_{1,22}=0,1996$, $p=0,66$), in der linken A. vertebralis 2,2 cm/s (4%, $F_{1,22}=0,545$, $p=0,47$).

Im Gegensatz dazu ist die Reduktion des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis im Vergleich zum Gefäßdurchmesser in Nullposition deutlich ausgeprägt, in der linken A. vertebralis ist die Differenz jedoch signifikant. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 0,10 mm (2%, $F_{1,22}=3,3436$, $p=0,08$), in der linken A. vertebralis 0,19 mm (4%, $F_{1,22}=7,8809$, $p=0,01$).

Die mittlere Reduktion des Blutflusses in beiden Aa. vertebrales im Vergleich zum Blutfluss in Nullposition ist gering. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 10,5 ml/s (3%, $F_{1,22}=0,6929$, $p=0,41$), in der linken A. vertebralis 17 ml/s (5%, $F_{1,22}=0,603$, $p=0,45$, beide nicht signifikant). Sollte in der Grundgesamtheit ein signifikanter Einfluss in dieser Größenordnung und mit dieser Streuung auftreten, wären 247 bzw. 309 Versuchspersonen (rechts/links) nötig, um diesen mit t-Tests gepaarter Stichproben mit einer Power von 0,8 und einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ zu bestätigen.

12.7.2.3 Pre-manipulative Position C3/C4

In pre-manipulativer Position C3/C4 ist in der rechten A. vertebralis eine signifikante Reduktion der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zur Strömungsgeschwindigkeit in Nullposition zu erkennen. In der linken Arterie ist die Reduktion geringer ausgeprägt, jedoch ebenfalls deutlich. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 6,7 cm/s (12%, $F_{1,22}=8,251$, $p=0,009$), in der linken A. vertebralis 4,7 cm/s (8%, $F_{1,22}=3,2486$, $p=0,09$).

Wie die Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit ist auch die mittlere Reduktion des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis im Vergleich zum Gefäßdurchmesser in Nullposition signifikant. In der linken A. vertebralis ist aufgrund der höheren Streuung der Differenzwerte keine Signifikanz zu beobachten, die mittlere Reduktion ist jedoch ebenso stark ausgeprägt. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 0,16 mm (4%, $F_{1,22}=8,6552$, $p=0,008$), in der linken A. vertebralis ebenfalls 0,16 mm (4%, $F_{1,22}=4,2018$, $p=0,05$).

In pre-manipulativer Position C3/C4 ist eine signifikante Reduktion des Blutflusses in beiden Aa. vertebrales im Vergleich zum Blutfluss in Nullposition zu erkennen. In der rechten A. vertebralis beträgt die mittlere Differenz 66 ml/s (21%, $F_{1,22}=18,256$, $p=0,0003$), in der linken A. vertebralis 49 ml/s (16%, $F_{1,22}=5,4694$, $p=0,03$).

12.7.3 Diskussion der Ergebnisse

12.7.3.1 Endgradige Rotation und Hypothese 1

In der endgradigen Rotation kommt es in der Studie zu einer signifikanten Abnahme der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der rechten A. vertebralis ($p=0,001$) und der linken A. vertebralis ($p=0,002$), zu einer signifikanten Abnahme des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis ($p=0,02$) und zu einer deutlichen Abnahme des Gefäßdurchmessers der linken A. vertebralis ($p=0,06$) und zu einer signifikanten Abnahme des Blutflusses der rechten A. vertebralis ($p=0,0005$) und linken A. vertebralis ($p=0,002$).

Hypothese 1:

In der endgradigen Einstellung in Rotation kommt es zu einer signifikanten Abnahme des Gefäßdurchmessers, der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit und des Blutflussvolumens.

Hypothese 1 kann bestätigt werden.

Die Mehrzahl der bisher durchgeführten Studien kommt zu ähnlichen Ergebnissen: Stevens (1991) findet bei sieben Patienten eine Abnahme der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit von 14,83 cm/s in der Neutralposition auf 8,33 cm/s in endgradiger Rotation. Rossitti et al. (1992) finden bei 30 gesunden Probanden in der sitzenden Position eine Reduktion der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeiten von 34 cm/s in Neutralposition auf 30,1 cm/s in endgradiger Rotation. Licht et al. (1998) untersuchen 20 gesunde Probanden in Rückenlage und finden eine Abnahme der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit von 68 cm/s in der Neutralposition auf 61 cm/s in endgradiger Rotation. Rivett et al. (1999) finden bei 10 gesunden Probanden und 10 Patienten eine Abnahme der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit von 30,78 cm/s in Neutralposition auf 24,33 cm/s in endgradiger Rotation. Mitchell (2003) findet an 120 gesunden Probanden in Rückenlage eine Reduktion der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit von 36,78 cm/s in Neutralposition auf 29,74 cm/s in endgradiger Rotation. Mitchell et al. (2004) finden an 30 gesunden Probanden in sitzender Position eine Abnahme der kontralateralen maximalen Blutflussgeschwindigkeit von 36,85 cm/s in der Neutralposition auf 33,53 cm/s in

endgradiger Rotation. Arnold et al. (2004) finden an 22 gesunden Probanden in Rückenlage eine Verminderung der kontralateralen maximalen Blutflussgeschwindigkeit von 31,40 cm/s in der Neutralposition auf 27,17 cm/s in der endgradigen Rotation.

Es gibt jedoch Autoren, die bei der Untersuchung der Rotation zu keinem signifikanten Ergebnis kommen:

Weingart et al. (1997) untersuchen 20 gesunde Probanden in Rückenlage und finden keine signifikante Veränderung der kontralateralen maximalen

Blutflussgeschwindigkeit. Vom Gesamtkollektiv wird ein Durchschnittswert von 33,75 cm/s für die maximale kontralaterale Blutflussgeschwindigkeit ermittelt. Haynes et Milne (2001) finden an 15 Patienten keine signifikante Veränderung der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit, bei 5 Patienten kommt es bei 7 Aa.

vertebrales zu einer Abnahme der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit.

Eine mögliche Erklärung für die Ergebnisse von Weingart et al. (1997) wäre, dass die Studie mit einem Fixationsgerät durchgeführt wird, welches den Kopf in 0°, 45° und endgradiger Rotation fixiert. Der obere Thorax und die Schulter werden zusätzlich fixiert, damit bei der Traktion ein Gleiten nach kranial verhindert wird. Die Studie von Weingart et al. (1997) ist nicht sehr praxisorientiert und eine spezifische Einstellung kann mit einem Fixationsgerät nur bedingt durchgeführt werden.

In der Studie von Haynes et Milne (2001) zeigen 15 Patienten keine signifikante Veränderung der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit. Eine mögliche Ursache hierfür ist, dass sie keine Probanden, sondern Patienten mit HWS-Syndrom untersuchen. Patienten mit HWS-Syndrom können auf Grund ihres Beschwerdebildes eine endgradige Rotation nur unzureichend einnehmen.

12.7.3.2 De Kleyn Position und Hypothese 2

In der De Kleyn Position kommt es in der Studie zu keiner signifikanten Veränderung der maximalen Blutflussgeschwindigkeit in der rechten A. vertebralis ($p=0,66$) und der linken A. vertebralis ($p=0,47$), zu keiner signifikanten Veränderung des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis ($p=0,08$), aber zu einer signifikanten Veränderung des Gefäßdurchmessers der linken A. vertebralis ($p=0,01$). Das Blutflussvolumens der rechten A. vertebralis ($p=0,41$) und der linken A. vertebralis ($p=0,45$) verändert sich nicht signifikant.

Hypothese 2:

In der endgradigen Einstellung in Rotation und Extension (De Kleyn Position) kommt es zu einer signifikanten Abnahme des Gefäßdurchmessers, der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit und des Blutflussvolumens.

Hypothese 2 muss verworfen werden.

Thiel et al. (1994) finden an 30 freiwilligen Menschen ebenfalls keine signifikante Veränderung der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit der A. vertebralis in endgradiger Extension und Rotation. Licht et al. (2000) finden an 15 Patienten mit positivem pre-manipulativen Test keine signifikante Veränderung der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit der A. vertebralis. Arnold et al. (2004) finden keine signifikante Veränderung der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit der A. vertebralis ($p < 0,05$).

Der De Kleyn Test prüft vor allem die vertebrobasiläre Durchblutung und gibt uns nur indirekt Auskunft über den Zustand der A. vertebralis. Ein positiver De Kleyn Test zeigt ein neurologisches Erscheinungsbild einer vertebrobasilären Insuffizienz. Der Test wird Studenten in ihrer Ausbildung gelehrt und findet täglich seine Anwendung in der klinischen Praxis, ungeachtet dessen, dass kontroverse Meinungen über seine Validität existieren.

Die Ergebnisse meiner Studie zeigen, dass diese kontroversen Meinungen berechtigt sind und dass speziell dieser Test nach De Kleyn noch weiter untersucht werden sollte.

12.7.3.3 Pre-manipulative Position C3/C4 und Hypothese 3

In der pre-manipulativen Position kommt es in der Studie zu einer signifikanten Abnahme der maximalen Blutflussgeschwindigkeit in der rechten A. vertebralis ($p = 0,009$) und zu einer deutlichen Abnahme der maximalen kontralateralen Blutflussgeschwindigkeit der linken A. vertebralis ($p = 0,09$). Ebenso kommt es zu einer signifikanten Abnahme des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis ($p = 0,008$), zu einer deutlichen Abnahme des Gefäßdurchmessers der linken A. vertebralis ($p = 0,05$) und zu einer signifikanten Abnahme des Blutflussvolumens der rechten A. vertebralis ($p = 0,0003$) und der linken A. vertebralis ($p = 0,03$).

Hypothese 3:

In der endgradigen pre-manipulativen Einstellung von C3/C4 kommt es zu einer signifikanten Abnahme der höchsten systolischen Blutflussgeschwindigkeit, des Gefäßdurchmessers und des Blutflussvolumens.

Hypothese 3 kann bestätigt werden.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Arnold et al. (2004), welche eine signifikante Abnahme der maximalen Blutflussgeschwindigkeit in pre-manipulativer Position von C1/C2 ($p < 0,05$) finden.

In der Literatur werden keine weiteren Studien gefunden, welche die maximale kontralaterale Blutflussgeschwindigkeit während der pre-manipulativen Position von C3/C4 untersuchen.

12.8 Konklusion

In der Durchführung des De Kleyn Tests untersucht man die Hämodynamik der A. vertebralis in endgradiger kombinierter Bewegung von Extension und Rotation. Laut den Ergebnissen dieser Studie, kommt es in der endgradigen De Kleyn Position zu keiner signifikanten Veränderung der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der rechten A. vertebralis ($p=0,66$) und linken A. vertebralis ($p=0,47$) und zu keiner signifikanten Veränderung der Blutflusses der rechten A. vertebralis ($p=0,41$) und linken A. vertebralis ($p=0,45$). Der Gefäßdurchmesser der rechten A. vertebralis ist deutlich reduziert ($p=0,08$) und der Gefäßdurchmesser der linken A. vertebralis signifikant reduziert ($p=0,01$).

Viele Probanden haben diesen Test im Rahmen der Studie zwar als unangenehm empfunden, zeigten aber keine Symptome und die Ergebnisse zeigen keine signifikante Veränderung der Hämodynamik.

Nach den Ergebnissen dieser Studie sollte die De Kleyn Position als Sicherheitstest hinterfragt werden und es ist weitere Forschung auf Aussage und Validität auf diesem Gebiet notwendig.

Im Gegensatz zur De Kleyn Position kommt es in der endgradigen Rotation und pre-manipulativen Position zu signifikanten Veränderungen der Hämodynamik der A. vertebralis.

In der endgradigen Rotation kommt es zu einer signifikanten Abnahme der maximalen Blutflussgeschwindigkeit der rechten A. vertebralis ($p=0,001$) und der linken A. vertebralis ($p=0,002$), zu einer signifikanten Abnahme des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis ($p=0,02$) und zu einer deutlichen Abnahme des Gefäßdurchmessers der linken A. vertebralis ($p=0,06$). Der Blutfluss der rechten A. vertebralis ($p=0,0005$) und der linken A. vertebralis ($p=0,002$) ist signifikant reduziert. Die endgradige Rotation hat den Vorteil, dass es sich um eine isolierte Bewegung in eine Richtung handelt und nicht um eine kombinierte Bewegung. Diese Bewegung erlaubt es, leichter an das Bewegungsende zu gelangen und dadurch eine bessere Aussage über die Beweglichkeit und die Hämodynamik der A. vertebralis zu bekommen.

In der pre-manipulativen Position von C3/4 kommt es zu einer signifikanten Reduktion der maximalen Strömungsgeschwindigkeit in der rechten A. vertebralis ($p=0,009$) und einer deutlichen Reduktion der maximalen Strömungsgeschwindigkeit in der linken A. vertebralis ($p=0,09$), zu einer signifikanten Reduktion des Gefäßdurchmessers der rechten A. vertebralis ($p=0,008$) und zu einer deutlichen Reduktion des Gefäßdurchmessers der linken A. vertebralis ($p=0,05$). Der Blutfluss der rechten A. vertebralis ($p=0,0003$) und der linken A. vertebralis ($p=0,03$) ist signifikant reduziert. Die pre-manipulative Position C3/C4 ist eine spezifische Ausgangsposition einer Manipulation in diesem Segment, und nach dieser Studie eignet sich eine pre-manipulative Voreinstellung hervorragend als Sicherheitstest, um eine Aussage über die Hämodynamik der A. vertebralis zu bekommen.

Die endgradige Rotation und die pre-manipulative Position sind nach dieser Studie jene zwei Positionen, welche sich bestens als pre-manipulativer Test für eine vertebrobasiläre Insuffizienz eignen könnten.

Diese Ergebnisse zeigen, dass gerade diese Kopfpositionen eine signifikante Auswirkung auf die Hämodynamik der A. vertebralis haben. In der Studie gibt keiner der Probanden Symptome einer vertebrobasilären Insuffizienz an. Es handelt sich bei allen Probanden um gesunde Menschen, die den Ein- und Ausschlusskriterien zur Sicherung der Homogenität der Gruppe entsprechen. Bei Patienten, die eine

begleitende Pathologie im Bereich der Halswirbelsäule vorweisen, könnte es jedoch zu neurologischen Symptomen kommen.

12.9 Literaturverzeichnis

Arnold C, Bourassa T, Langer T, Stoneham G. 2004. Doppler studies evaluating the effect of a physical therapy screening protocol on vertebral artery blood flow. *Manual Therapy*. 9:13-21.

Brown BSTJ, Tissington-Tatlow WF. 1963. Radiographic studies of the vertebral arteries in cadavers. *Radiology*. 81:80-88.

Greenman P. 2005. *Lehrbuch der osteopathischen Medizin*. Haug. Stuttgart. 114.

Gross S, Haus E. 2002. *Innere Medizin*. Urban und Fischer. München. 76.

Haynes MJ, Milne N. 2001. Colour duplex sonographic findings in human vertebral arteries during cervical rotation. *Journal of Clinical Ultrasound*. 29:14-24.

Licht PB, Christensen HW, Hojgaard P, Hoilund-Carlsen PF. 1998. Triplex ultrasound of vertebral artery flow during cervical rotation. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 21:27-31.

Licht PB, Christensen HW, Hoilund-Carlsen PF. 1999. Vertebral artery volume flow in human beings. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 22:363-367.

Licht PB, Christensen HW, Hoilund-Carlsen PF. 2000. Is there a role of pre-manipulative testing before cervical manipulation? *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 23:175-179.

Licht PB, Christensen HW, Hoilund-Carlsen PF. 2002. Carotid artery blood flow during premanipulative testing. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 25:370-383.

Liem T, Dobler T. 2010. *Leitfaden Osteopathie, Parietale Techniken*. Urban und Fischer. München. 117;612;822-827.

Meyer-Holz J, Ernst A, Brüggemann V. 2006. *Praxisbuch Wirbelsäulenschmerz*. Thieme. Stuttgart. 68-69.

Mitchell J. 2003. Changes in vertebral artery blood flow following normal rotation of the cervical spine. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 26:347-351.

Mitchell J, Keene D, Dyson C, Harvey L, Prueve C, Phillips R. 2004. Is cervical spine rotation, as used in the standard vertebrobasilar insufficiency test, associated with a measurable change in intracranial vertebral artery blood flow? *Manual Therapy*. 9:220-227.

R Development Core Team (2010): R: A language and environment for statistical computing. Wien: R Foundation for Statistical Computing. Im Internet: <http://www.R-project.org/>.

Refshauge K. 1994. Rotation: a valid premanipulative dizziness test? Does it predict safe manipulation? *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 17:15-19.

Rivett DA, Sharple KJ, Milburn PD. 1999. Effect of pre-manipulative test on vertebral artery and internal carotid artery blood flow: A pilot study. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 22:368-375.

Rossitti S, Volkmann R, Logren J. 1992. Changes of blood flow velocity in the vertebrobasilar circulation during rotation of the head in the normal human. *Biomechanics Seminars*. 6:92-99.

Sachs, L. 2004. *Angewandte Statistik*. Springer. Berlin, Heidelberg, New York. 200;365;425.

Simons DG, Travell JG, Simons LS. 2002. *Handbuch der Muskel-Trigger Punkte, Obere Extremität, Kopf und Rumpf*. Urban und Fischer. München. 482.

Stevens A. 1991. Functional Doppler sonography of the vertebral artery and some considerations about manual techniques. *Journal of Manipulative Medicine*. 6:102-105.

Tissington-Tatlow WF, Brammer HG. 1957. Syndrome of vertebral artery compression. *Neurology*. 7:331-340.

Thiel H, Wallace K, Donat J, Jong-Hing K. 1994. Effects of various head and neck positions on vertebral artery blood flow. *Clinical Biomechanics*. 9:105-110.

Toole JF, Tucker SH. 1960. Influence of head position upon cerebral circulation: studies on blood flow in cadavers. *Archives of Neurology*. 2:626-623.

Weingart JR, Bischoff HP. 1997. Farbcodierte Dopplersonographie der A. vertebralis, Abhängigkeit von Rotation und Traktion des Kopfes. *Manuelle Medizin*. 35:254-257.

Zaina C, Grant R, Johnson C, Dansie B, Tayler J, Spyropolous P. 2003. The effect of the cervical rotation on blood flow in the contralateral vertebral artery. *Manual Therapy*. 8:103-109.

13 Summary

13.1 Introduction

The cervical spine plays an important role in osteopathy. Due to its relationship with the external world the cervical spine is prone to somatic dysfunctions, in the case of which osteopathy offers a broad selection of treatment options including manipulation (Simons et al., 2002). If it is indicated, manipulation is the treatment of choice (Greenman, 2005). In addition to the correct execution of the technique for the dysfunctional cervical segment a thorough and comprehensive case history, safety tests and precise mobility tests are indispensable. Already the case history provides information regarding possible contraindications. Appropriate safety tests give the practitioner further important information to decide in favour of or against manipulating the cervical spine depending on the individual situation (Liem, 2010). Besides taking the patient's pulse and blood pressure also a test of the vertebral artery according to De Kleyn is usually carried out. It can indicate whether the vertebral artery is impaired. However, the situation is not as simple as it may seem because a certain risk still remains despite all the safety measures. A research of the available literature shows that opinions concerning safety tests in the context of manipulation of the cervical spine often differ considerably (Meyer-Holz, 2006). This contributes to the feeling of insecurity and anxiety when it comes to manipulations of the cervical spine. To carry out a successful and targeted manipulation of the cervical spine the practitioner needs security, confidence and trust in the manipulative technique.

The aim of the present paper is to evaluate changes in the vertebral artery and the ensuing changes in its haemodynamics in the position of end-of-range rotation, in the De Kleyn position and in the pre-manipulative position for C3/C4. The results shall provide further information regarding osteopathic evaluation and treatment of this region. This study does not evaluate the validity of the vertebral artery test according to De Kleyn, it looks at the haemodynamics of the vertebral artery in different head positions.

13.2 Theoretical Background

The effects of movements of the cervical spine on haemodynamics have already been studied for a long time. In the beginning experiments were carried out with corpses

(Tissington-Tatlow et al., 1957, Toole et al., 1960, Brown et al., 1963) but soon they were replaced by studies with living subjects due to improved examination methods like Doppler sonography or MR imaging.

Some examinations show no changes in the blood flow of the contra-lateral vertebral artery (Thiel et al., 1994, Weingart et al., 1997, Licht et al., 1999, Licht et al., 2000, Haynes et Milne, 2001, Licht et al., 2002, Zaina et al., 2003) while others demonstrate significant differences in the contra-lateral blood flow of the vertebral artery (Stevens, 1991, Rossitti et al., 1992, Refshauge, 1994, Licht et al., 1998, Rivett et al., 1998, Rivett et al., 1999, Mitchell, 2003, Arnold et al., 2004, Mitchell et al., 2004).

The examination of vertebral artery haemodynamics with Doppler sonography is regarded as valid test to recognize changes of the blood flow and – indirectly – mechanical stress on the vertebral artery during contra-lateral rotation of the cervical spine (Haynes, 2000). If mechanical stress of the vertebral artery can be recognized during pre-manipulative examinations, the risk of damages to this artery can be prevented.

A possible change in the blood flow of the vertebral artery during contra-lateral rotation of the cervical spine is the result of an increased tension and a narrowing of the vessel (Stevens, 1991).

The following study wants to present further knowledge regarding the haemodynamics of the vertebral artery in the supine position and in different head positions. For this purpose, the haemodynamic behaviour of the vertebral artery is evaluated in different head positions with the aid of Doppler ultrasound examinations.

13.3 Methodology

13.3.1 Description of methodology

This study belongs to the field of fundamental research and is carried out at the hospital 'Barmherzige Brüder' in the town of St. Veit an der Glan, Austria (Brothers of God Hospital). The test persons receive an information sheet where the examination procedure is explained. In a consent form they agree to voluntarily participate in the study.

23 healthy male and female volunteers without risk factors aged between 20 and 45 years are selected and their vertebral artery is examined in the supine position with their heads in the neutral position, in end-of-range rotation, in the end-of-range

position of the De Kleyn test and in the pre-manipulative position for C3/C4. In addition, the selected test persons are examined by an osteopath in the course of a preliminary medical examination within the last three days preceding the ultrasound examination. This preliminary examination includes a comprehensive case history, global active movement tests, and the taking of blood pressure and pulse.

Detailed mobility tests with exact indication of the degrees of motion are not carried out in the context of this study because the tests in this study mainly involve combined movements. Studies which look at end-of-range movements in different directions can be found in the literature (Arnold et al., 2004, Zaina et al., 2003) as well as studies, which exactly indicate the degrees of motion in a certain direction (Weingart et al., 1992, Refshauge, 1994). These studies examine movements in one specific direction in contrast to combined movements in different degrees of motion.

In the present study all participants have to lie flat on their back without a pillow for ten minutes. Once the test persons are in the supine position their pulse and blood pressure are taken for the first time. After 10 minutes and before the start of the ultrasound examination pulse and blood pressure are taken one more time. Also during the examination procedure pulse and blood pressure are taken repeatedly but always in the neutral position of the head.

The test persons are examined on one occasion in the supine position and in the different head positions with the ultrasonic device Vivit 7 Pro with a linear transducer with 10MHz at the level of C3/C4. The measurements of the haemodynamics of the vertebral artery are carried out with angle correction. The participants' head is positioned in the various test positions always by the same osteopath and the Doppler ultrasound examination is always carried out by the same specialist in internal medicine. The osteopath has ten years of practical experience and also the specialist in internal medicine has several years of practical experience with Doppler ultrasound examinations and among other things carries out examinations of the vessels that supply the brain with arterial blood on a daily basis.

The Doppler ultrasound examination is carried out in the different positions of the head and the maximum speed of blood flow and the diameter of the contra-lateral vertebral artery are registered. The volume of blood flow of the contra-lateral vertebral artery is calculated on the basis of the maximum speed of blood flow and the diameter of the vessel.

Each head position is held for 20 seconds. Before the head is positioned in the next test position it is returned in the neutral position for a period of one minute. Pulse and blood pressure are supposed to have returned to more or less their initial values after this pause. The duration of this pause proved to be appropriate in a preliminary test run with three trial participants.

The medical specialist and the osteopath make sure that the examinations can be carried out without interruptions to avoid possible sources of error. The collected data is analyzed by a statistician who compares and evaluates the results. A test form is established where the test positions and measured values are represented in a table and thus can be easily compared and contrasted.

13.4 Research question and hypotheses

Research question:

What information does an ultrasound Doppler examination of test persons in the supine position give about the haemodynamics of the vertebral artery in the neutral position of the head, in end-of-range rotation, in the position of combined end-of-range extension and rotation (De Kleyn test) and in the pre-manipulative position for C3/C4.

13.4.1 Working hypothesis 1

In the position of end-of-range rotation the maximum speed of systolic blood flow, the diameter of the vessel and the volume of blood flow decrease significantly.

13.4.2 Null hypothesis 1

In the position of end-of-range rotation no significant decrease of the maximum speed of systolic blood flow, the diameter of the vessel and the volume of blood flow can be observed.

13.4.3 Working hypothesis 2

In the position of end-of-range rotation and extension (De Kleyn position) the maximum speed of systolic blood flow, the diameter of the vessel and the volume of blood flow decrease significantly.

13.4.4 Null hypothesis 2

In the position of end-of-range rotation and extension (De Kleyn position) no significant decrease of the maximum speed of systolic blood flow, the diameter of the vessel and the volume of blood flow can be observed.

13.4.5 Working hypothesis 3

In the end-of-range pre-manipulative position for C3/C4 the maximum speed of systolic blood flow, the diameter of the vessel and the volume of blood flow decrease significantly.

13.4.6 Null hypothesis 3

In the end-of-range pre-manipulative position for C3/C4 no significant decrease of the maximum speed of systolic blood flow, the diameter of the vessel and the volume of blood flow can be observed.

13.5 Sample

13.5.1 Inclusion criteria

All 23 male and female participants are required to be healthy and aged between 20 and 45 years. From the age of 45 onwards a more or less pronounced narrowing of the blood vessels and sometimes even an occlusion can be observed in 2 % of the male and female population (Gross et al., 2002). The test persons should also be reliable and motivated and willing to participate in the study. In the course of a preliminary examination the procedure of the ultrasound examination is explained in all details to the participants who later have to sign a declaration of consent to the procedure. The consent form is a combined information sheet and declaration of consent. Both are included in the annex to this paper.

13.5.2 Exclusion criteria

The test persons must not have any neurological disorders, cardio-respiratory problems or disorders of the locomotor system. Pronounced degenerative changes or instability can have an influence on the vertebral artery (Van den Berg, 2005).

All test persons are required to be free of any risk factors concerning the cardiovascular system.

The most common vascular condition is arteriosclerosis which is also called the most significant lifestyle disease (Gross et al., 2002).

The test persons whose preliminary evaluation indicates evidence of a pathology which might have an influence on the examination of vertebral artery haemodynamics are not included in the study.

13.6 Process of data collection

The gender, age, height and weight of all test persons are listed in a test form and their body mass index is calculated.

The vertebral artery haemodynamics are examined with the aid of Doppler sonography by means of the ultrasonic device Vivit 7 Pro of the manufacturer General Electric Healthcare. The osteopath positions the head of the test person who is lying in the supine position and the medical specialist examines the speed of blood flow and the diameter of the vertebral artery with the Doppler sonography. The examination of the vertebral artery is carried out in longitudinal sections with an antero-lateral transducer position. The volume of blood flow is calculated as follows:

$$FV = V \times A$$

Abbreviations:

FV = volume of blood flow in ml/min

V = maximum speed of systolic blood flow in cm/s

A = diametrical surface of the vessel in cm² $A = \frac{\pi \times D^2}{4}$

D = diameter in cm

The factor 60 is used for the specific conversion of the volume of blood flow.

Based on the above mentioned parameters the following formula for the calculation of the volume of blood flow in ml/min can be deduced:

$$FV = D^2 \times V_{mean} \times \pi \times 15$$

The blood pressure and pulse are measured by means of the patient monitor Intelli Vue X2 of the manufacturer Philips.

The patient monitor has a high validity regarding the measurement of specific parameters and is especially suited for the fields of intensive care medicine and anaesthesiology. In this study it is used for collecting the relevant data of blood pressure and pulse.

13.7 Presentation of the results

13.7.1 Methodology

The data obtained through ultrasound examination and measurement of blood pressure and pulse are collected in a Microsoft® Excel® table and a computer-assisted analysis is carried out with the aid of the statistics software R 2.12.0. (R Development Core Team, 2010). $\alpha=0.05$ is determined as level of significance.

Evaluation of raw data and precondition of distribution-dependent statistical tests:

The raw data were checked for their plausibility by means of a simple outlier test (Sachs, 2004) and conspicuous values were re-checked and corrected accordingly.

Statistical methods:

The basic precondition for the use of parametrical procedures (like ANOVA, t-tests) is an approximate normal distribution of the data in the individual groups and the overall sample, as well as the homogeneity of variance. The normal distribution was evaluated by means of the Shapiro-Wilk test with the level of significance set at $p=0.10$ (Sachs, 2004). The Bartlett test was used to check the homogeneity of variance, the other basic precondition for distribution-dependent statistical tests.

Due to the sample size (n=23) additional parameter-free tests were carried out in all cases even if the preconditions were fulfilled, because such tests are often better in the context of small samples (Sachs, 2004).

The changes of the observations of the dependent variables were in general evaluated with a **univariate analysis of variance** (ANOVA) with repeated measurements. In this context the factor “position” included all eight measurements of blood pressure and pulse (initial measurement, baseline measurement after 10 minutes rest in the supine position, after end-of-range rotation right and left, after end-of-range De Kleyn position right and left and after pre-manipulative position right and left).

In the case of significant results of the ANOVA of the dependent variables pulse and blood pressure with the – in this case – not dichotomous factor “position”, **paired sample t tests** were carried out comparing the initial measurement with the baseline measurement (after 10 minutes rest in supine position) as well as the measurements after the ultrasound examinations in the six different head positions with the baseline measurement.

Since a period of rest – which proved to be appropriate in preliminary test runs to re-establish a situation comparable to the patients’ initial state of blood pressure and pulse – followed the ultrasound examination in each head position, it can be assumed that these parameters do not have an influence on the study results.

Nevertheless an **analysis of covariance** (ANCOVA) of the dependent variable “blood flow” was carried out, which besides the factor “position” took into account the covariants “pulse”, “systolic blood pressure” and “diastolic blood pressure”.

13.7.2 Summary of the results

13.7.2.1 End-of range rotation

In the end-of range rotation a significant reduction of the maximum speed of blood flow can be observed in comparison with the maximum speed of blood flow in the neutral position. Regarding the right vertebral artery the mean difference is 8.9 cm/s (16%, $F_{1,22}=13.231$, $p=0.001$), regarding the left vertebral artery the mean difference is 10.8 cm/s (19%, $F_{1,22}=11.781$, $p=0.002$).

Similarly, a significant reduction of the diameter of the right vertebral artery can be recognized in the end-of-range rotation position in comparison with the neutral position. Regarding the left vertebral artery the difference is less pronounced but still obvious. The mean difference of diameter of the right artery is 0.16 mm (4%, $F_{1,22}=6.603$, $p=0.02$), while it is 0.12 mm (3%, $F_{1,22}=3.860$, $p=0.06$) for the left vertebral artery.

This has the effect that also the volume of blood flow in both vertebral arteries is significantly reduced in the end-of-range rotation position compared to the neutral head position. Regarding the right vertebral artery the mean difference is 77 ml/s (25%, $F_{1,22}=16.946$, $p=0.0005$), while it is 76 ml/s (24%, $F_{1,22}=12.07$, $p=0.002$) for the left vertebral artery.

13.7.2.2 End-of-range De Kleyn position

In the end-of-range De Kleyn position only a small non-significant mean increase of the maximum speed of blood flow can be observed in comparison with the neutral position. Regarding the right vertebral artery the mean difference is 1.2 cm/s (2%, $F_{1,22}=0.1996$, $p=0.66$), regarding the left vertebral artery it is 2.2 cm/s (4%, $F_{1,22}=0.545$, $p=0.47$).

In contrast, the reduction of the diameter of the right vertebral artery is quite pronounced in comparison with the diameter of the vessel in the neutral position. Regarding the left vertebral artery the difference is even significant. Regarding the

right vertebral artery the mean difference is 0.10 mm (2%, $F_{1,22}=3.3436$, $p=0.08$), regarding the left vertebral artery it is 0.19 mm (4%, $F_{1,22}=7.8809$, $p=0.01$).

The mean reduction of the volume of blood flow in both vertebral arteries in comparison with the volume of blood flow in the neutral position is small. Regarding the right vertebral artery the mean difference is 10.5 ml/s (3%, $F_{1,22}=0.6929$, $p=0.41$), regarding the left vertebral artery it is 17 ml/s (5%, $F_{1,22}=0.603$, $p=0.45$), i.e. not significant on both sides. If a significant influence in this order of magnitude and with this variance is supposed to occur, 247 or 309 test persons (right/left) would be necessary to confirm this result with paired sample t-test with a power of 0.8 and a level of significance of $\alpha=0.05$.

13.7.2.3 Pre-manipulative position for C3/C4

In pre-manipulative position for C3/C4 a significant reduction of the maximum speed of blood flow in the right vertebral artery can be observed in comparison with the neutral head position. On the left side the reduction is less pronounced but still obvious. Regarding the right vertebral artery the mean difference is 6.7 cm/s (12%, $F_{1,22}=8.251$, $p=0.009$), regarding the left vertebral artery it is 4.7 cm/s (8%, $F_{1,22}=3.2486$, $p=0.09$).

Like the reduction of the speed of blood flow also the mean reduction of the diameter of the right vertebral artery is significant in comparison with the vessel's diameter in the neutral position. Regarding the left vertebral artery no significant difference can be observed due to the great variance of the values. However, the mean reduction is as pronounced as on the right side. Regarding the right vertebral artery the mean difference is 0.16 mm (4%, $F_{1,22}=8.6552$, $p=0.008$), regarding the left vertebral artery it is also 0.16 mm (4%, $F_{1,22}=4.2018$, $p=0.05$).

In the pre-manipulative position for C3/C4 a significant reduction of the volume of blood flow can be observed on both sides in comparison to the neutral position. Regarding the right vertebral artery the mean difference is 66 ml/s (21%, $F_{1,22}=18.256$, $p=0.0003$), regarding the left vertebral artery it is 49 ml/s (16%, $F_{1,22}=5.4694$, $p=0.03$).

13.7.3 Discussion of the results

13.7.3.1 End-of-range rotation and hypothesis 1

The study results show that the position of end-of-range rotation produces a significant decrease of the maximum speed of blood flow of both the right ($p=0.001$) and left vertebral arteries ($p=0.002$), a significant reduction of the diameter of the right vertebral artery ($p=0.02$) and a clear reduction of the diameter of the left vertebral artery ($p=0.06$), as well as a significant reduction of the volume of blood flow of both the right ($p=0.0005$) and left vertebral arteries ($p=0.002$).

Hypothesis 1:

In the position of end-of-range rotation the maximum speed of systolic blood flow, the diameter of the vessel and the volume of blood flow decrease significantly.

Hypothesis 1 can be confirmed.

The majority of studies that have been carried out so far have produced similar results:

Stevens (1991) observes a decrease of the maximum speed of contra-lateral blood flow from 14.83 cm/s in the neutral position to 8.33 cm/s in the position of end-of-range rotation. Rossitti et al. (1992) detect a reduction of the maximum speed of contra-lateral blood flow among thirty healthy subjects in the sitting position from 34 cm/s in the neutral head position to 30.1 cm/s in the head position of end-of-range rotation. Licht et al. (1998) examine 20 healthy test persons in the supine position and observe a decrease of the maximum speed of contra-lateral blood flow from 68 cm/s in the neutral position to 61 cm/s in the position of end-of-range rotation. Rivett et al. (1999) detect a reduction of the maximum speed of contra-lateral blood flow among 10 healthy test persons and 10 patients from 30.78 cm/s in the neutral position to 24.33 cm/s in the position of end-of-range rotation. Mitchell (2003) observes a reduction of the maximum speed of blood flow among 120 healthy test persons from 36.78 cm/s in the neutral position to 29.74 cm/s in the position of end-of-range rotation. Mitchell et al. (2004) observe a reduction of the maximum speed of contra-lateral blood flow among 30 healthy subjects in the sitting position from 36.85 cm/s in the neutral position to 33.53 cm/s in the position of end-of-range rotation. Arnold et al. (2004) detect a decrease of the maximum speed of contra-lateral blood flow among 22

healthy test persons in the supine position from 31.40 cm/s in the neutral position to 27.17 cm/s in the position of end-of-range rotation.

However, there are also authors whose examination of the position of rotation does not produce significant results:

Weingart et al. (1997) examine 20 healthy test persons in the supine position and do not detect any significant changes of the maximum speed of contra-lateral blood flow. Based on the total sample a mean value of 33.75 cm/s is calculated for the maximum speed of contra-lateral blood flow. Haynes et Milne (2001) detect no significant change of the maximum speed of contra-lateral blood flow among 15 patients, however, in 7 vertebral arteries of 5 patients they observe a reduction of the maximum speed of contra-lateral blood flow.

A possible explanation for the results of Weingart et al. (1997) would be that the study was carried out with the aid of a fastening device which fixed the head of the test persons in a position of 0°, 45° and end-of-range rotation. Also the upper thorax and shoulders are fixated so that they cannot glide cranially when traction is applied. The study of Weingart et al. (1997) is not very practice-oriented and a fastening device as used in the study only leaves limited possibilities when it comes to specific positioning. In the study of Haynes et Milne (2001) 15 patients do not show a significant change of the maximum speed of contra-lateral blood flow. A possible reason for this is that they do not evaluate healthy test persons but cervical syndrome patients. Patients with cervical syndrome only have an inappropriate ability to move into the position of end-of-range rotation due to the clinical presentation of their complaint.

13.7.3.2 De Kleyn position and hypothesis 2

In the De Kleyn position no significant change of the maximum speed of blood flow of the right ($p=0.66$) and left vertebral arteries ($p=0.47$) can be observed in this study. Also the diameter of the right vertebral artery does not change significantly ($p=0.08$), while a significant change of the diameter of the left vertebral artery ($p=0.01$) can be detected. The volume of blood flow of the right ($p=0.41$) and left vertebral artery ($p=0.45$) does not change significantly.

Hypothesis 2:

In the position of end-of-range rotation and extension (De Kleyn position) the maximum speed of systolic blood flow, the diameter of the vessel and the volume of blood flow decrease significantly.

Hypothesis 2 has to be discarded.

Also Thiel et al. (1994) do not observe significant changes of the maximum speed of contra-lateral blood flow of the vertebral artery in the position of end-of-range extension and rotation among 30 volunteers. Among 15 patients with a positive pre-manipulative test Licht et al. (2000) do not detect a significant change of the maximum speed of contra-lateral blood flow of the vertebral artery. Also Arnold et al. (2004) do not observe a significant change of the maximum speed of contra-lateral blood flow of the vertebral artery ($p < 0.05$).

The De Kleyn test mainly evaluates the vertebro-basilar circulation and provides only indirect information about the state of the vertebral artery. A positive De Kleyn test points to the neurological picture of a vertebro-basilar insufficiency. Students learn this test during their osteopathic training and the test is applied in the clinical practice on a daily basis even though there are conflicting opinions regarding its validity.

The results of this study show that these critical voices are legitimate and that in particular the test according to De Kleyn needs to be studied further.

13.7.3.3 Pre-manipulative position for C3/C4 and hypothesis 3

In this study a significant decrease of the maximum speed of blood flow of the right vertebral artery ($p = 0.009$) can be observed in the pre-manipulative position, while the left vertebral artery shows a clear decrease of the maximum speed of contra-lateral blood flow ($p = 0.09$). Similarly, a significant reduction of the diameter of the right vertebral artery ($p = 0.008$) and a clear reduction of the diameter of the left vertebral artery ($p = 0.05$) can be detected, as well as a significant decrease of the volume of blood flow of the right ($p = 0.0003$) and the left vertebral arteries ($p = 0.03$).

Hypothesis 3:

In the end-of-range pre-manipulative position of C3/C4 the maximum speed of systolic blood flow, the diameter of the vessel and the volume of blood flow decrease significantly.

Hypothesis 3 can be confirmed.

Arnold et al. (2004) observe similar results in their study which shows a significant decrease of the maximum speed of blood flow in the pre-manipulative position of C1/C2 ($p < 0.05$).

No further studies can be found in the literature, which examine the maximum speed of contra-lateral blood flow during the pre-manipulative position for C3/C4.

13.8 Conclusion

The aim of the De Kleyn test is to evaluate the haemodynamics of the vertebral artery with the combined movement of end-of-range extension and rotation. However, according to the results of this study the end-of-range De Kleyn position does not provoke a significant change of the maximum speed of blood flow of the right ($p = 0.66$) or left vertebral arteries ($p = 0.47$), nor does it ensue a significant change of the volume of blood flow of the right ($p = 0.41$) or left vertebral artery ($p = 0.45$). The diameter of the right vertebral artery is clearly reduced ($p = 0.08$) while the diameter of the left vertebral artery is reduced significantly ($p = 0.01$).

In the context of this study many test persons experienced the test as uncomfortable even though they did not show any symptoms and the haemodynamics did not change significantly.

Based on the results of this study the De Kleyn position should be questioned as safety test. Further research and studies are necessary to evaluate its usefulness and validity.

In contrast to the De Kleyn position the end-of-range rotation and pre-manipulative position provoke significant changes of the haemodynamics of the vertebral artery. The end-of-range rotation causes a significant decrease of the maximum speed of blood flow of the right ($p = 0.001$) and left vertebral artery ($p = 0.002$), a significant reduction of the diameter of the right vertebral artery ($p = 0.02$) and a clear reduction of

the diameter of the left vertebral artery ($p=0.06$). The volume of blood flow of both the right ($p=0.0005$) and left vertebral arteries ($p=0.002$) are also reduced significantly. The end-of-range rotation has the advantage that it is one isolated movement in a single direction as opposed to a combined movement. This makes it easier to reach the true end-of-range of the movement and thus to get a better reading of the mobility and the haemodynamic behaviour of the vertebral artery.

In the pre-manipulative position for C3/4 a significant reduction of the maximum speed of blood flow of the right vertebral artery ($p=0.009$) and a clear reduction of the maximum speed of blood flow of the left vertebral artery ($p=0.09$) can be observed. In addition, a significant reduction of the diameter of the right vertebral artery ($p=0.008$) and a clear reduction of the diameter of the left vertebral artery ($p=0.05$) can be detected. The volume of blood flow of both the right ($p=0.0003$) and left vertebral arteries ($p=0.03$) is also significantly reduced.

The pre-manipulative position for C3/C4 is the starting position for initiating a specific manipulation of the indicated segment. According to the results of this study the pre-manipulative positioning is an excellent safety test which gives clear evidence about the haemodynamics of the vertebral artery.

According to the results of this study the end-of-range rotation and the pre-manipulative position are the two positions which are best suited for testing for vertebro-basilar insufficiency before carrying out a cervical manipulation.

The results illustrate that these head positions have a significant influence on the haemodynamic behaviour of the vertebral artery. None of the test persons in this study indicated symptoms of a vertebro-basilar insufficiency. All test persons were healthy subjects who met the inclusion and exclusion criteria of this study to ensure the homogeneity of the study sample. However, patients who suffer from a neurological pathology in the region of the cervical spine might show neurological symptoms during these tests.

13.9 Reference list

Arnold C, Bourassa T, Langer T, Stoneham G. 2004. Doppler studies evaluating the effect of a physical therapy screening protocol on vertebral artery blood flow. *Manual Therapy*. 9:13-21.

Brown BSTJ, Tissington-Tatlow WF. 1963. Radiographic studies of the vertebral arteries in cadavers. *Radiology*. 81:80-88.

Greenman P. 2005. *Lehrbuch der osteopathischen Medizin*. Haug. Stuttgart. 114.

Gross S, Haus E. 2002. *Innere Medizin*. Urban und Fischer. München. 76.

Haynes MJ, Milne N. 2001. Colour duplex sonographic findings in human vertebral arteries during cervical rotation. *Journal of Clinical Ultrasound*. 29:14-24.

Licht PB, Christensen HW, Hojgaard P, Hoilund-Carlsen PF. 1998. Triplex ultrasound of vertebral artery flow during cervical rotation. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 21:27-31.

Licht PB, Christensen HW, Hoilund-Carlsen PF. 1999. Vertebral artery volume flow in human beings. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 22:363-367.

Licht PB, Christensen HW, Hoilund-Carlsen PF. 2000. Is there a role of pre-manipulative testing before cervical manipulation? *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 23:175-179.

Licht PB, Christensen HW, Hoilund-Carlsen PF. 2002. Carotid artery blood flow during premanipulative testing. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 25:370-383.

Liem T, Dobler T. 2010. *Leitfaden Osteopathie, Parietale Techniken*. Urban und Fischer. München. 117;612;822-827.

Meyer-Holz J, Ernst A, Brüggemann V. 2006. *Praxisbuch Wirbelsäulenschmerz*. Thieme. Stuttgart. 68-69.

Mitchell J. 2003. Changes in vertebral artery blood flow following normal rotation of the cervical spine. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 26:347-351.

Mitchell J, Keene D, Dyson C, Harvey L, Prueve C, Phillips R. 2004. Is cervical spine rotation, as used in the standard vertebrobasilar insufficiency test, associated with a measurable change in intracranial vertebral artery blood flow? *Manual Therapy*. 9:220-227.

R Development Core Team (2010): *R: A language and environment for statistical computing*. Wien: R Foundation for Statistical Computing. Im Internet: <http://www.R-project.org/>.

Refshauge K. 1994. Rotation: a valid premanipulative dizziness test? Does it predict safe manipulation? *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 17:15-19.

Rivett DA, Sharple KJ, Milburn PD. 1999. Effect of pre-manipulative test on vertebral artery and internal carotid artery blood flow: A pilot study. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 22:368-375.

Rossitti S, Volkmann R, Logren J. 1992. Changes of blood flow velocity in the vertebrobasilar circulation during rotation of the head in the normal human. *Biomechanics Seminars*. 6:92-99.

Sachs, L. 2004. *Angewandte Statistik*. Springer. Berlin, Heidelberg, New York. 200;365;425.

Simons DG, Travell JG, Simons LS. 2002. *Handbuch der Muskel-Trigger Punkte, Obere Extremität, Kopf und Rumpf*. Urban und Fischer. München. 482.

Stevens A. 1991. Functional Doppler sonography of the vertebral artery and some considerations about manual techniques. *Journal of Manipulative Medicine*. 6:102-105.

Tissington-Tatlow WF, Brammer HG. 1957. Syndrome of vertebral artery compression. *Neurology*. 7:331-340.

Thiel H, Wallace K, Donat J, Jong-Hing K. 1994. Effects of various head and neck positions on vertebral artery blood flow. *Clinical Biomechanics*. 9:105-110.

Toole JF, Tucker SH. 1960. Influence of head position upon cerebral circulation: studies on blood flow in cadavers. *Archives of Neurology*. 2:626-623.

Weingart JR, Bischoff HP. 1997. Farbcodierte Dopplersonographie der A. vertebralis, Abhängigkeit von Rotation und Traktion des Kopfes. *Manuelle Medizin*. 35:254-257.

Zaina C, Grant R, Johnson C, Dansie B, Tayler J, Spyropoulos P. 2003. The effect of the cervical rotation on blood flow in the contralateral vertebral artery. *Manual Therapy*. 8:103-109.