

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Physikalische  
Medizin und Rehabilitation  
Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Vorstand: Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Volkmar Jansson

**Einfluss von Ganzkörper-Vibration und  
Physiotherapie auf die posturale Kontrolle  
gesunder Probanden**

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

vorgelegt von  
Johannes Back

aus  
Mannheim

Jahr  
2020

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Eduard Kraft

Mitberichterstatter: PD Dr. med. Roman Schniepp

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Nicole Zolyniak

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

Tag der mündlichen Prüfung: 03.12.2020

Ich widme diese wissenschaftliche Arbeit meinen Eltern Helga Schmid-Back und Ernst Back. Ohne deren finanzielle und mentale Unterstützung weder die Vollendung dieser Arbeit noch ein erfolgreicher Abschluss meines Studiums möglich gewesen wären.

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	VII
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Abbildungsverzeichnis .....	IX
1 Einleitung.....	1
1.1 Entstehung der posturalen Kontrolle .....	1
1.2 Hintergrund der Studie.....	4
1.3 Grundlagen von WBV- Training .....	5
1.4 Effekte von WBV- Training auf die posturale Kontrolle und die Balance.....	7
2 Material und Methoden.....	9
2.1 Studiendesign .....	9
2.1.1 Probandenkollektiv .....	9
2.1.2 Rekrutierung .....	9
2.1.3 Gruppeneinteilung .....	10
2.1.4 Eingangs- und Abschlussuntersuchung .....	10
2.1.5 Intervention .....	10
2.1.5.1 Vibrationsgruppe .....	10
2.1.5.2 Physiotherapiegruppe .....	11
2.1.5.3 Kontrollgruppe.....	11
2.2 Datenschutz.....	11
2.3 Klinische Tests.....	11
2.3.1 Posturographie .....	11
2.3.1.1 Messinstrument.....	11
2.3.1.2 Messparameter .....	13
2.3.1.3 Messvorgang.....	14
2.3.1.4 Einzeltestbedingungen .....	14
2.3.2 Functional Reach Test .....	15
2.3.3 MFT-S3- Test (Multifunktionale Trainingsgeräte) .....	15
2.3.3.1 Messinstrument.....	15
2.3.3.2 Messvorgang .....	16
2.3.3.3 Messparameter .....	16
2.3.4 Single-Leg-Stance (SLS).....	18
2.3.5 Counter Movement Jump (CMJ) in der Leonardo Mechanographie	18
2.3.5.1 Das Messinstrument.....	18
2.3.5.2 Messparameter .....	18
2.3.5.3 Messvorgang.....	19
2.5 Statistische Auswertung.....	19
3 Ergebnisteil .....	20
3.1 Auswertung SP1 in der Posturographie .....	20

3.2 Auswertung SP2 in der Posturographie .....	23
3.3 Auswertung SP3 in der Posturographie .....	26
3.4 Auswertung SP4 in der Posturographie .....	28
3.5 Auswertung SP5 in der Posturographie .....	30
3.6 Auswertung SP6 in der Posturographie .....	33
3.7 Auswertung SP7 in der Posturographie .....	36
3.8 Auswertung SP8 in der Posturographie .....	39
3.9 Auswertung SP9 in der Posturographie .....	41
3.10 Auswertung SP10 in der Posturographie .....	44
3.11 Veränderungen zwischen Pre- und Posttest für SP1 – SP10 .....	47
3.12 Auswertung RMS1 in der Posturographie .....	48
3.13 Auswertung RMS2 in der Posturographie .....	51
3.14 Auswertung RMS3 in der Posturographie .....	53
3.15 Auswertung RMS4 in der Posturographie .....	56
3.16 Auswertung RMS5 in der Posturographie .....	58
3.17 Auswertung RMS6 in der Posturographie .....	60
3.18 Auswertung RMS7 in der Posturographie .....	62
3.19 Auswertung RMS8 in der Posturographie .....	64
3.20 Auswertung RMS9 in der Posturographie .....	66
3.21 Auswertung RMS10 in der Posturographie .....	68
3.22 Veränderungen im Pre- und Posttest für RMS1 – RMS10 .....	70
3.23 Auswertung Functional Reach .....	71
3.24 Auswertung Single leg Stance .....	74
3.25 Auswertung des MFT-S3.....	77
3.26 Auswertung Maximalkraft im Single two leg Jump.....	80
3.27 Auswertung Maximalleistung im Single two leg Jump.....	83
3.28 Auswertung des Esslinger-Fitness-Index im Single two leg Jump.....	86
 4 Diskussion.....	89
4.1 Studienziel .....	89
4.2 Studienergebnisse .....	90
4.2.1 Ergebnisse der primären Auswertungskriterien in der Posturographie .....	90
4.3.2 Ergebnisse der sekundären Auswertungskriterien.....	91
4.3 Vergleich mit der Literatur .....	93
4.4 Limitationen der vorliegenden Studie.....	96
 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	97
 6 Danksagung .....	99
 7 Literaturverzeichnis .....	100
 8 Eidesstattliche Erklärung .....	106

# Abkürzungsverzeichnis

FR	Functional reach
EFI	Esslinger-Fitness-Index
Fmax	Maximalkraft
CMJ	Counter Movement Jump
HWS	Halswirbelsäule
MFT-S3	Multifunktionale Trainingsgeräte
Pmax	Maximalleistung
RMS	Root mean Square
SP	Swaypath
TUG	Timed up and go
TVR	Tonic-vibration-Reflex
SLS	Single leg stance
WBV	Whole-Body-Vibration, Ganzkörpervibration
WBVT	Whole-Body-Vibration-Training, Ganzkörpervibrationstraining
Hz	Hertz
STI	Stabilitätsindex
SI	Symmetrie-Index
SMI	Sensomotorik-Index
COF	Centre of force
Fz	Gewichtskraft
COP	Centre of preasure
UPDRS	Unified Parkinson's Disease Rating Scale
PT	Physiotherapie
ZNS	Zentrales Nervensystem

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: SP1 Daten .....	20
Tabelle 2: SP2 Daten .....	23
Tabelle 3: SP3 Daten .....	26
Tabelle 4: SP4 Daten .....	28
Tabelle 5: SP5 Daten .....	30
Tabelle 6: SP6 Daten .....	33
Tabelle 7: SP7 Daten .....	36
Tabelle 8: SP8 Daten .....	39
Tabelle 9: SP9 Daten .....	41
Tabelle 10: SP10 Daten .....	44
Tabelle 11: p-Werte SP1-10 .....	47
Tabelle 12: RMS1 Daten .....	48
Tabelle 13: RMS2 Daten .....	51
Tabelle 14: RMS3 Daten .....	53
Tabelle 15: RMS4 Daten .....	56
Tabelle 16: RMS5 Daten .....	58
Tabelle 17: RMS6 Daten .....	60
Tabelle 18: RMS7 Daten .....	62
Tabelle 19: RMS8 Daten .....	64
Tabelle 20: RMS9 Daten .....	66
Tabelle 21: RMS 10 Daten .....	68
Tabelle 22: p- Werte RMS1- 10 .....	70
Tabelle 23: FR Daten .....	71
Tabelle 24: p-Werte Kruskal-Wallis-Test FR .....	73
Tabelle 25: SLS Daten .....	74
Tabelle 26: p-Werte Kruskal-Wallis-Test SLS .....	76
Tabelle 27: Post-hoc Mann-Whitney-U Test für alle Gruppen .....	76
Tabelle 28: MFT-S3 Daten .....	77
Tabelle 29: p-Werte Varianzanalyse MFT-S3 .....	79
Tabelle 30: $F_{\max}$ Daten .....	80
Tabelle 31: p-Werte Varianzanalyse $F_{\max}$ .....	82
Tabelle 32: $P_{\max}$ Daten .....	83
Tabelle 33: p-Werte Kruskal-Wallis-Test $P_{\max}$ .....	85
Tabelle 34: EFI Daten .....	86
Tabelle 35: p-Werte Kruskal-Wallis-Test EFI .....	88

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der posturalen Kontrolle[2] .....	1
Abbildung 2: Verwendete Kraftmessplattform (Typ 9281 B, Firma Kistler / Schweiz) .....	12
Abbildung 3: SI Auswertung MFT-S3 .....	17
Abbildung 4: Auswertung MFT-S3 für die Testrichtung links /rechts .....	17
Abbildung 5: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP1 .....	21
Abbildung 6: Vergleich der Gruppendifferenzen SP1 .....	21
Abbildung 7: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP2 .....	24
Abbildung 8: Vergleich der Gruppendifferenzen SP2 .....	24
Abbildung 9: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP3 .....	27
Abbildung 10: Vergleich der Gruppendifferenzen SP3 .....	27
Abbildung 11: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP4 .....	29
Abbildung 12: Vergleich der Gruppendifferenzen SP4 .....	29
Abbildung 13: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP5 .....	31
Abbildung 14: Vergleich der Gruppendifferenzen SP5 .....	31
Abbildung 15: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP6 .....	34
Abbildung 16: Vergleich der Gruppendifferenzen SP6 .....	34
Abbildung 17: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP7 .....	37
Abbildung 18: Vergleich der Gruppendifferenzen SP7 .....	37
Abbildung 19: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP8 .....	40
Abbildung 20: Vergleich der Gruppendifferenzen SP8 .....	40
Abbildung 21: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP9 .....	42
Abbildung 22: Vergleich der Gruppendifferenzen SP9 .....	42
Abbildung 23: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP10 .....	45
Abbildung 24: Vergleich der Gruppendifferenzen SP10 .....	45
Abbildung 25: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS1 .....	49
Abbildung 26: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS1 .....	49
Abbildung 27: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS2 .....	52
Abbildung 28: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS2 .....	52
Abbildung 29: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS3 .....	54
Abbildung 30: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS3 .....	54
Abbildung 31: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS4 .....	57
Abbildung 32: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS4 .....	57
Abbildung 33: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS5 .....	59
Abbildung 34: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS5 .....	59
Abbildung 35: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS6 .....	61
Abbildung 36: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS6 .....	61
Abbildung 37: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS7 .....	63
Abbildung 38: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS7 .....	63
Abbildung 39: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS8 .....	65

Abbildung 40: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS8 .....	65
Abbildung 41: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS9.....	67
Abbildung 42: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS9 .....	67
Abbildung 43: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS10.....	69
Abbildung 44: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS10 .....	69
Abbildung 45: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest FR .....	72
Abbildung 46: Vergleich der Gruppendifferenzen FR.....	72
Abbildung 47: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SLS .....	75
Abbildung 48: Vergleich der Gruppendifferenzen SLS.....	75
Abbildung 49: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest MFT-S3.....	78
Abbildung 50: Vergleich der Gruppendifferenzen MFT-S3 .....	78
Abbildung 51: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest $F_{\max}$ .....	81
Abbildung 52: Vergleich der Gruppendifferenzen $F_{\max}$ .....	81
Abbildung 53: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest $P_{\max}$ .....	84
Abbildung 54: Vergleich der Gruppendifferenzen $P_{\max}$ .....	84
Abbildung 55: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest EFI .....	87
Abbildung 56: Vergleich der Gruppendifferenzen EFI.....	87

# 1 Einleitung

## 1.1 Entstehung der posturalen Kontrolle

Die posturale Kontrolle im beidfüßigen Stand beim Menschen wird durch komplexe Regelungsvorgänge bestimmt. Diese werden durch verschiedene sensible Afferenzen, zentrale Integration, kognitive Antizipation zukünftiger Bewegungsabläufe und motorische Efferenzen gesteuert.[1]

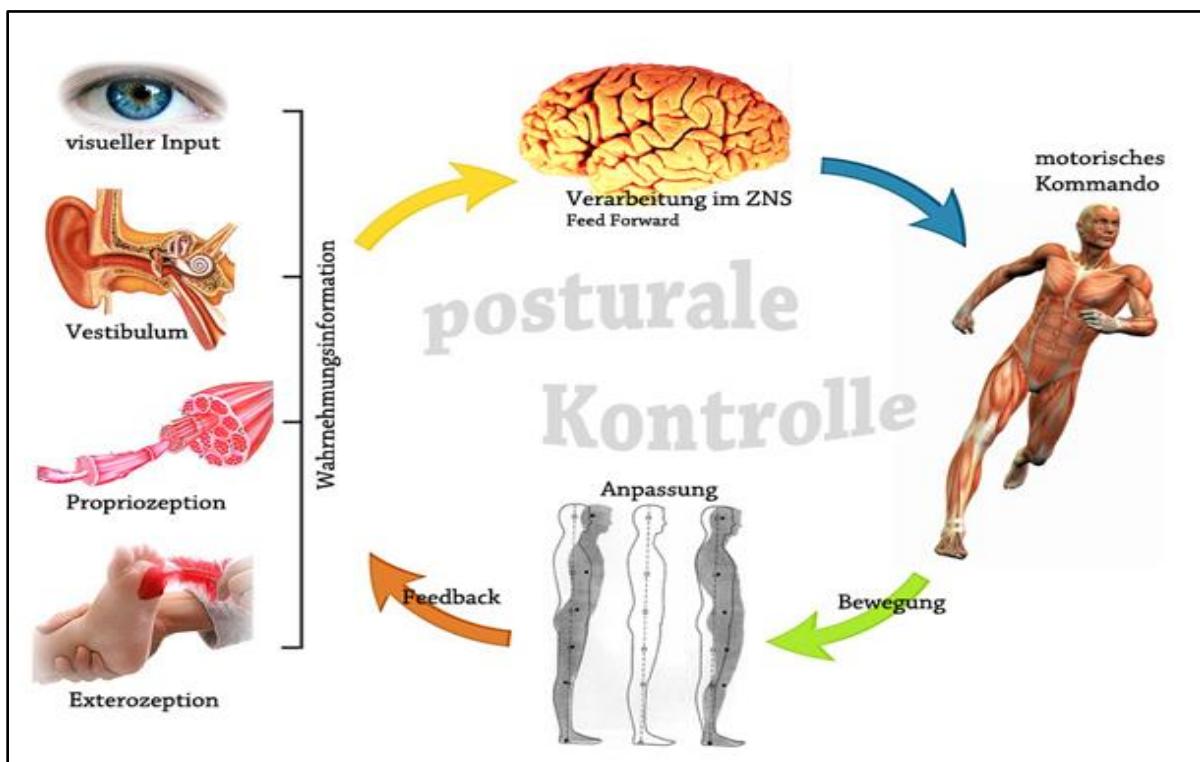


Abbildung 1: Aufbau der posturalen Kontrolle[2]

Die Wahrnehmung von Informationen über die Lage des Körpers im Raum erfolgt durch folgende Sinneseindrücke und deren Zusammenspiel:

1. Vestibularapparat: Aus den in drei Raumrichtungen angeordneten Bogengängen und Ortholithenorganen (Sacculus, Utriculus) werden Informationen über Winkel- und Progressionsbeschleunigung sowie über Stellung des Kopfes im Raum gebildet.
2. Rezeptoren der Zervikalgelenke und Propriozeptoren der Halsmuskulatur mit ihren dazugehörigen Afferenzen zum Kleinhirn.

3. Druckrezeptoren der Haut und Dehnungsrezeptoren der Fußmuskeln bilden somatosensible Afferenzen (Exterozeption).
4. Optische Afferenzen in das Sehzentrum im Okzipitallappen (Brodmann-Areal 17).
5. Antizipation zukünftiger Bewegungsabläufe (Feedforward-Mechanismus) mit den dazugehörigen kortikalen Arealen im präfrontalen Cortex.

Um ein physiologisches Gleichgewicht und somit einen stabilen Gang zu erlauben, bedarf es eines funktionierenden Zusammenspiels aller oben genannten Komponenten. Diese zu koordinieren und an die aktuell vorliegende Situation anzupassen ist Aufgabe des neuromuskulären Kontrollapparates.[3, 4]

Der neuromuskuläre Kontrollapparat beinhaltet Zentren des ZNS, hierzu zählen die Formatio reticularis, das Cerebellum, die Basalganglien und der motorische Kortex.

In der Formatio reticularis laufen afferente Informationen aus dem Vestibularapparat, den Propriozeptoren und dem visuellen System zusammen. Diese Informationen werden dort in motorische Kommandos aus dem Kortex integriert und es kann zur Ausbildung von Ausgleichsbewegungen kommen.[5]

Das Cerebellum hat durch seine anatomischen Leitungsbahnen eine enge Verbindung zum Vestibularorgan. Es ist somit in der Lage die Feinabstimmung im Zusammenspiel von Agonist und Antagonist zu gewährleisten. Des Weiteren ist es für den koordinierten Ablauf von Bewegungsabläufen verantwortlich.[6] In diesem Zusammenhang wird das Cerebellum für die posturale Anpassung an mögliche Störsituationen verantwortlich gemacht. Mit Hilfe des Kleinhirns findet ein motorisches Lernen in Bezug auf frühere Bewegungsfehler statt und es entwickelt sich dadurch eine differenzierte Feedforward-Kontrolle.[7]

Eine ähnliche Funktion in Bezug auf die posturale Kontrolle wie das Cerebellum haben auch die Basalganglien. Ihre beiden Hauptaufgaben sind hier zum einen die posturale Flexibilität (Fähigkeit, sich an wechselnde Umweltbedingungen anzupassen), zum anderen die sensomotorische Integration (Einfluss auf die Tiefensensibilität und Propriozeption).[8-10]

Die Funktion der Motorkortizes zeigt sich vor allem als Kompensationsreaktion bei plötzlicher Störung des physiologischen Gangs als sogenannte Long-loop-Reflexe.[4] Finden diese plötzlichen Störungen als schnelle Dehnungen statt, kommt es zu zwei verschiedenen Reaktionen. Zum einen werden Dehnreflexe auf spinaler Ebene ausgelöst. Diese passieren mit einer kurzen

Latenzzeit von ca. 40–50 ms. Zum anderen leiten afferente Bahnen die Information zu höheren, kortikalen Zentren, in diesem Fall der sensomotorische Kortex. Nach einer 10 Millisekunden Verarbeitungszeit gelangt die motorische Erregung vom Motorkortex zur motorischen Endplatte und somit zur Effektmuskultur. Diese verlängerte Reflexschleife dauert circa 90-95 ms und ist differenzierter als die spinale Antwort auf die Anforderung an den Körper bzw. auf die zu verarbeitende Situation zugeschnitten.[11, 12]

Bei Ausfall oder mangelnder Funktion einer dieser Komponenten oder bei einer Störung des Zusammenspiels der einzelnen Bestandteile und den übergeordneten Zentren kommt es zu einer Abschwächung der posturalen Kontrolle, welche sich meist in einer Störung des Gangbildes wiederspiegelt.[4, 13]

Um eine Verbesserung der posturalen Kontrolle zu erzielen, bedarf es je nach betroffenem Teilgebiet der posturalen Kontrolle verschiedener Behandlungsmöglichkeiten. Liegen die Funktions einschränkungen hauptsächlich im exterozeptiven und propriozeptiven Bereich, so stellt das WBVT eine mögliche Therapieoption dar.[14] Bei aktuell uneinheitlicher Studienlage war das Ziel dieser Studie mögliche Effekte von WBVT auf die posturale Kontrolle im Vergleich zu Physiotherapie bei gesunden Personen, mit Hilfe der Posturographie und weiterer sekundärer Auswertungsparameter, zu detektieren.

## 1.2 Hintergrund der Studie

Posturale Kontrolle ist eine essenzielle physiologische Leistung des Menschen, die als Grundvoraussetzung für sicheren Stand gilt.

Um die posturale Kontrolle zu stärken gibt es bereits zahlreiche Trainingsansätze, hierzu zählt auch das Ganzkörpervibrationstraining. Die posturale Kontrolle zu erhalten bzw. zu stärken ist wichtig, da Stürze älterer Menschen ein relevantes medizinisches und sozioökonomisches Problem darstellen. Der zunehmende Verlust der posturalen Kontrolle bei älteren Menschen führt zu einem erhöhten Auftreten von Stürzen. Internationalen Angaben zufolge stürzten 2010 30-60% aller alleine bzw. selbstständig lebenden Menschen über 60 Jahren mindestens einmal pro Jahr. Mit einem geschätzten Anteil von 29% im Jahre 2030 hat Deutschland nach Japan und Italien den höchsten Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung. Die mittlere Sturzrate liegt hier bei 0,7 für selbstständig lebende und bei 1,6 für in einer betreuten Einrichtung lebenden Menschen. Die größte Gefahr stellen sturzbedingte Frakturen dar. 6% aller Stürze führen bei sich selbst versorgenden Menschen zu Frakturen, vor allem im Bereich des Hüftgelenks oder am Oberschenkelhals. 25-75 % der Patienten mit sturzbedingter Hüftgelenksfraktur erreichen nie mehr ihr vorheriges Mobilitätsniveau. 20-30% der Patienten sterben innerhalb eines Jahres nach Erleiden der Fraktur. Diese Tatsache und der zunehmende demographische Wandel der Gesellschaft ziehen beträchtliche ökonomische Folgen nach sich. So werden die Kosten von Stürzen mit der Folge einer hüftgelenksnahen Fraktur im Jahre 2030 auf 3,9 Mrd. EUR geschätzt.[15]

Die Defizite der posturalen Kontrolle sind bei älteren Personen ein Risikofaktor für Stürze. Maßnahmen, welche die körperliche und kognitive Leistungsfähigkeit von älteren Menschen fördern können, bekommen eine zunehmend wichtige Bedeutung v.a. in der Prävention.[16]

Gleichgewichts- und Koordinationstraining sind etablierte und zentrale Übungselemente in der konventionellen Physiotherapie. Allerdings sind die Übungen zeitaufwändig und bedürfen eines gewissen Know-how der betreuenden Therapeuten.[17] Daher treten immer mehr alternative Trainingsmethoden in den Vordergrund, mit deren Hilfe sich das Training für die Patientin spannender und abwechslungsreicher gestalten lässt. Des Weiteren können hier Personalkosten eingespart werden. Eine der interessanten, alternativen Trainingsformen stellt das Whole-Body-Vibration-Training (WBVT) dar.[14, 18] Um die Effektivität dieser Trainingsmethode zu evaluieren, wurden folgende primäre und sekundäre Auswertungskriterien erstellt:

- Primäre Auswertungskriterien in der Posturographie (Swaypath und RMS)
- Sekundäre Auswertungskriterien SLS, FR, MFT-S3 und CMJ

### 1.3 Grundlagen von WBV- Training

Es gibt verschiedene Formen von Vibrationstraining. Bislang konnten sich drei Gerätearten etablieren: Vertikale Schwingung (z.B. Power Plate), seitenalternierende, sinusoidale Schwingung (z.B. Galileo) und alternierende Schwingung mit stochastischer Resonanz (z.B. sr-Zep- tor). In der aktuellen Studie wurde mit einer Vibrationsplattform der Firma Galileo® gearbeitet, die seitenalternierende Schwingungsmuster verwendet. Hierbei wird über das Abkippen der Bodenplatte nach rechts und links ein Dehnungsreflex mit konzentrischer / exzentrischer Reaktion der Muskulatur hervorgerufen. Durch die daraus folgende An- bzw. Entspannung der Muskulatur werden Bewegungsmuster vermittelt, die den Bewegungsmustern beim Gehen äh- neln. Mit dieser Art Training kann ein Effekt auf die Balance und die posturale Kontrolle erzielt werden.[19]

Die Effektivität des WBV-Trainings wird vor allem durch die Frequenz und die Dauer des Trainings sowie durch den körperlichen Trainingszustand und das Alter der trainierenden Personen beeinflusst. Die Amplitude der Schwingungen scheint nur eine untergeordnete Rolle zu spielen.[19-21] Um einen effektiven Trainingserfolg zu erreichen, sollte in einem definierten Frequenzbereich gearbeitet werden. Der Hersteller gibt einen Frequenzbereich von 6-12 Hz für ein Training des Gleichgewichts an, welcher im Rahmen der Studie verwendet wurde.[22] Mittlere Frequenzen von 12-20 Hz dienen der Verbesserung von Muskelfunktion und Koordination sowie der Dehnung des Muskel- und Sehnenapparats. Mit höheren Frequenzen > 20 Hz kann eine Tonuserhöhung sowie eine Steigerung der Muskelkraft durch Hypertrophie Trainings er-zielt werden.[23]

Die optimale Trainingsdauer wurde von Haas et al. mit drei Vibrationssitzungen von 60s und einer vollständigen Pause von je 60s drei Mal wöchentlich beschrieben.[24] Ein Cochrane Re- view schlägt alternativ einen Trainingszeitraum zwischen fünf bis zwölf Monaten vor. Pro The- rapieeinheit werden dabei für herkömmliche Balanceübungen ohne WBVT 15-70 Minuten pro Therapieeinheit veranschlagt.[25]

In Bezug auf Probanden mit knöchernen Veränderungen, in erster Linie Osteoporose oder Sar- kopenie, wird eine verstärkte Mineralisierung des Knochens und somit ein reduziertes Fraktur- risiko sowohl durch WBVT als auch durch Physiotherapie beschrieben. Die Hintergründe die- ses Effekts sind zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht endgültig geklärt. Es wird aber eine direkte Aktivierung von Mechanosensoren in den Knochenzellen diskutiert.[26-29]

Es liegen Studienergebnisse von Testpopulationen mit neurophysiologischen Defiziten vor. Diese zeigen deutliche Erfolge durch WBVT, vor allem im Bereich des M. Parkinson. Diese Verbesserungen waren bereits nach einer einzelnen Trainingseinheit mit 6 Hz zu erkennen.[30-32]

## 1.4 Effekte von WBV- Training auf die posturale Kontrolle und die Balance

Bislang wurden einige Studien bezüglich des Trainings der posturalen Kontrolle älterer Probanden mittels WBVT durchgeführt. Die Studienergebnisse sind widersprüchlich.[33-38]

Übersichtsarbeiten, wie die von Rittweger und Rogan et al., konnten bereits einen positiven Einfluss auf Muskelkraft, Osteogenese und Ausdauer nachweisen. In Bezug auf die posturale Kontrolle zeigten sie kontroverse Ergebnisse. [14, 18]

Seitenalternierende Schwingungen, wie sie in dieser Studie verwendet wurden, simulieren das menschliche Gangbild. Durch diese Bewegung wird ein Dehnungsreflex provoziert, dessen efferente, neurophysiologische Antwort über das  $\alpha$ -Motoneuron eine Aktivierung in der betroffenen Muskulatur bewirken.[39] Abercromby et al. (2007) beschreiben ein koordinierteres Zusammenspiel der intrafusalen Muskulatur durch WBVT.[40, 41] Aufgrund dieser neuromuskulären Verbesserung kam es zu einer effizienteren Muskelsynchronität, welche aus einer erhöhten Rekrutierung motorischer Einheiten resultiert. Außerdem konnte durch ein verstärktes Auslösen des Tonic-vibration-Reflex eine Erhöhung efferenter Signale festgestellt werden.[42, 43] Durch diese genannten Mechanismen lässt sich mittels WBVT eine Steigerung der Maximalkraft und -leistung erzielen, welche in zahlreichen Studien beschrieben wird.[20, 44-48]

Nachlassende Muskelkraft gilt als Prädiktor für den Verlust der posturalen Kontrolle und erhöht somit die Fallneigung bzw. das Sturzrisiko. Es gibt mehrere Studien, in denen eine Verbesserung der posturalen Kontrolle durch WBVT erreicht werden konnte.[49-52] Ähnliches gilt hinsichtlich der Ganggeschwindigkeit. Hier zeigten sich ebenfalls positive Veränderungen durch WBVT.[53, 54] Dies ist von großer Bedeutung, da die Ganggeschwindigkeit als Prädiktor für das Überleben gilt.[55] In Bezug auf die ältere Bevölkerung lässt sich anhand der Ganggeschwindigkeit eine Aussage über die Selbstständigkeit der Personen treffen.[56]

Interessante Effekte des WBVT wurden bei Personen mit zentralnervösen Störungen beobachtet. So profitierten Patienten mit Schlaganfall, Parkinson oder Multiple Sklerose von einer Therapie mit WBVT. Es konnten eine Steigerung der Muskelkraft, Beweglichkeit und der posturalen Kontrolle beobachtet werden.[57-60]

Des Weiteren konnten diverse Effekte von WBVT auf den menschlichen Hormonhaushalt gefunden werden. In der Literatur zeigt sich eine erhöhte Testosteron- und Katecholaminausschüttung. Außerdem weist der Blutglukosespiegel einen Abfall auf, der voraussichtlich durch eine verstärkte Aufnahme der Glukose in die Skelettmuskulatur zu erklären ist. In Bezug auf den Glukokortikoidstoffwechsel besteht eine uneinheitliche Studienlage. So zeigten Bosco et al. (2000) und Di Lorente et al. (2004) in einem ähnlichen Studiensempling einen signifikanten Abfall der Cortisolkonzentration nach Whole-Body-Vibration.[61, 62] Dem gegenüber ermittelten Cardinale et al. (2010) einen signifikanten Anstieg.[63] Keine Veränderungen nach Whole-Body-Vibration stellten Erskine et al. 2007 fest.[64]

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine prospektive, randomisierte klinische Untersuchung. Die Studie wurde durch die Ethik-Kommission der medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zu München geprüft und genehmigt. Die Probanden wurden in drei Gruppen eingeteilt, von denen zwei eine Intervention durchführten und die dritte Gruppe eine Kontrollgruppe bildete.

#### 2.1.1 Probandenkollektiv

Es wurde eine Studie über die klinischen und posturographischen Veränderungen der posturalen Kontrolle und deren Trainingsmöglichkeiten durchgeführt. In diese Studie konnten 42 Patienten eingeschlossen werden, darunter 20 Frauen und 22 Männer. Das Durchschnittsalter bei Intervention betrug  $33,74 \pm 10,24$  Jahre (18-56 Jahre).

Ausschlusskriterien der Probanden:

- Alter > 60 Jahre
- Künstlicher Gelenkersatz der unteren Extremität
- Akute, floride Entzündung
- Polyneuropathie
- Z.n. Schlaganfall mit Hemiparese/- plegie
- chronisches Schmerzsyndrom
- Diabetes mellitus

#### 2.1.2 Rekrutierung

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte im Zeitraum von März bis September 2015. Dabei handelte es sich um Personen aus den Fachabteilungen der Klinik für Orthopädie, Physikalische

Medizin und Rehabilitation und anderen Fachbereichen des Klinikums München Großhadern. Außerdem erfolgte ein Aufruf zur freiwilligen Teilnahme an der Studie durch Verteilung von Flyern in den umliegenden Supermärkten und Sportvereinen.

### 2.1.3 Gruppeneinteilung

Die Probanden wurden in drei Gruppen eingeteilt. Die Randomisierung erfolgte doppelt verblindet durch das Losverfahren. Gruppe eins trainierte für die Dauer von sechs Wochen auf der Galileo<sup>®</sup>-Vibrations-Plattform (Firma: Novotec, Pforzheim, Deutschland). Gruppe zwei trainierte sechs Wochen mit konventioneller Physiotherapie in Einzelbehandlung. Gruppe drei war eine Kontrollgruppe, die keine Interventionsmaßnahmen durchlief.

- Die Vibrationsgruppe bestand aus 14 Probanden im Durchschnittsalter von 31,23 Jahren, darunter 7 weibliche und 7 männliche Probanden.
- Die Physiotherapiegruppe bestand aus 14 Probanden im Durchschnittsalter von 32,5 Jahren, darunter 6 weibliche und 8 männliche Probanden.
- Die Kontrollgruppe bestand aus 14 Probanden im Durchschnittsalter von 35 Jahren, darunter 7 weibliche und 7 männliche Probanden.

### 2.1.4 Eingangs- und Abschlussuntersuchung

Der Autor führte, nach Überprüfung der Einschlusskriterien, am Tag des ersten Trainings die klinischen und apparativen Tests durch. Die Abschlussuntersuchung wurde ebenfalls vom Autor dieser Arbeit 24 Stunden nach dem letzten Training durchgeführt.

### 2.1.5 Intervention

#### 2.1.5.1 Vibrationsgruppe

Diese Gruppe führte aktives Training auf der Vibrationsplattform (Galileo<sup>®</sup>-Ganzkörpervibrations-Training) mit drei definierten Übungen (Kniebeuge, Einbeinstand, Rumpfrotation) durch. Die Frequenz wurde auf 6 Hz festgelegt und die Amplitude auf 4 mm. In diesem Frequenzbereich ist der größte Trainingseffekt auf die posturale Kontrolle zu erzielen.[65] Dies wurde auch

laut Herstellerangaben so empfohlen. Von jeder Übung wurden drei einminütige Sätze durchgeführt. Zwischen jedem Satz pausierten die Probanden für eine Minute. Insgesamt wurden 12 Trainingseinheiten mit einer Dauer von 18 Minuten absolviert.

#### 2.1.5.2 Physiotherapiegruppe

Diese Gruppe führte aktives physiotherapeutisches Training unter Betreuung durch einen ausgebildeten Physiotherapeuten durch. Es wurden drei definierte Übungen (Kniebeuge, Einbeinstand, Rumpfrotation) auf einer instabilen Unterlage (Schaumstoffmatte) ausgeübt. Von jeder Übung wurden drei einminütige Sätze mit je einer anschließenden einminütigen Pause durchgeführt. Insgesamt wurden 12 Trainingseinheiten mit einer Dauer von 18 Minuten absolviert.

#### 2.1.5.3 Kontrollgruppe

Diese Gruppe führte keine Intervention durch, es wurde lediglich die Anfangs- und Abschlussuntersuchung abgenommen.

### 2.2 Datenschutz

Mit einer vor Beginn der Eingangsuntersuchung ausgehändigten Einverständniserklärung stimmten die Patienten per Unterschrift der Abspeicherung und Auswertung ihrer Daten zu. Anschließend wurden die Daten mit einer zweistelligen Nummer (01-42) anonymisiert.

### 2.3 Klinische Tests

#### 2.3.1 Posturographie

##### 2.3.1.1 Messinstrument

Eine elektrophysiologische Methode zur Messung auftretender Körperschwankungen bei Haltungs- und Gleichgewichtsregulation ist die Posturographie. Diese stellt mittels Kraftmessplatten bezogen auf die Messung von Weggrößen (Schwankungsweg) ein indirektes Verfahren dar. Die Lageveränderungen des Körperschwerpunktes in der Horizontalebene bzw. des Druckmittelpunktes sind die zentralen Messparameter. Anhand der abgeleiteten Parameter (Schwankungsweg, Schwankungsgeschwindigkeit und Schwankungsfläche) lassen sich Aussagen zur Haltungs- und Gleichgewichtsregulation formulieren.[66],[67]

Die Posturographie ist die Aufzeichnung der Körperbewegungen beim aufrechten Stand. Sie stellt ein Verfahren zur Ermittlung der Funktionsfähigkeit der Gleichgewichtsregulation unter Belastung der unteren Extremitäten dar. Unter Verwendung einer Messplattform (Kistler Instrumente GmbH Typ 9281 B, Umberto-Nobile-Str. 14, 71063 Sindelfingen), die mittels Kraftsensoren die Gewichtsverlagerungen ermittelt und aufzeichnet, wird der Kraftangriffspunkt sowie das Schwingungsverhalten des Körpers und die Lastverteilung über den Füßen ermittelt. Die Daten über das Schwingungsverhalten und die Lastverteilung gelten als Indikatoren für Balance, Stabilität und Symmetrie. Die Ergebnisse der Messungen liefern Hinweise für Diagnose und Therapie. Das Verfahren ist die digitaltechnische Weiterentwicklung des Romberg-Tests. Der Romberg-Test ist ein neurologisches Verfahren zur Feststellung von Störungen des Gleichgewichtssinnes. Bei dem Test soll die Person mit zusammenstehenden Füßen und geschlossenen Augen aufrecht und mit möglichst geringen Körperschwankungen stehen. Zeigt der Patient nun eine Fallneigung zu einer eindeutig feststellbaren Seite, so weist dies auf einen pathologischen Befund in der vestibulären oder propriozeptiven Verarbeitung hin.

Im Prinzip handelt es sich bei der Posturographieplattform um eine spezielle, besonders empfindliche Waage, auf der man möglichst ruhig stehen soll. Die komplizierte elektronische Apparatur misst dann die Körperschwankungen und kann so normales von gestörtem Gleichgewicht abgrenzen.[68]

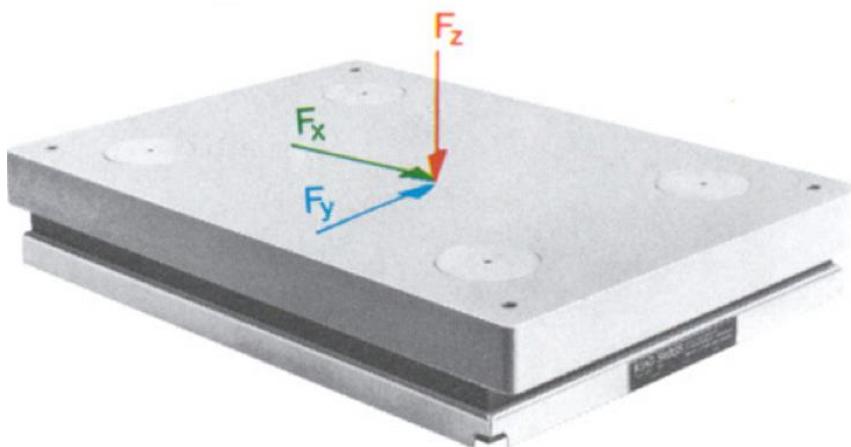


Abbildung 2: Verwendete Kraftmessplattform (Typ 9281 B, Firma Kistler / Schweiz)

Aus den Analogsignalen dieser Kraftmessplattform werden folgende Daten über die Bewegung des Kraftangriffspunkt digital errechnet.

### 2.3.1.2 Messparameter

In dieser Studie wird die Posturographie als eine quantitative Auswertung der Schwankungen im Stand bei gesunden Testpersonen verwendet. Mit Hilfe der statischen Posturographie sollen diese Schwankungen des Körpers (Swaypath) analysiert werden. Der Bodysway wird für drei Bewegungsrichtungen angegeben:

lateral (x): Schwankungen nach rechts und links

Fore-aft (y): Schwankungen nach vorne und hinten

Body weight (z): Schwankungen nach oben und unten

Bei der statischen Posturographie steht der Patient auf einer Kraftmessplattform. Es wird die Bewegung des Kraftangriffspunktes und die Gewichtskraft gemessen: COF (Centre of force) und Fz (Gewichtskraft).

Aus den gemessenen Originalkurven werden folgende sway-Parameter berechnet.

Swaypath gesamt (SP<sub>ges</sub>) von Bedingung 1 bis 10:

$$SP_{ges} = \sum_{i=1}^{N-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$$

Physikalische Einheit: [m/min]

Beim SP wird über die Bewegung des Kraftschwerpunktes der Schwingungsweg errechnet. Die Bodysway-Werte in x- und y-Richtung werden über den COF errechnet. Die Bodysway-Werte in z-Richtung entsprechen der Gewichtskraft Fz.

Root mean square gesamt (RMS<sub>ges</sub>) von Bedingung 1 bis 10:

$$RMS_{ges} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}$$

Physikalische Einheit: [mm]

Der RMS Wert stellt die von den Körperschwankungen umschlossene Fläche dar und dient somit als Effektmaß der einzelnen Testbedingungen. Der RMS ist ein Effektmaß für die erbrachte Leistung des Probanden. Hier lassen sich langsamere Bewegungen deutlicher abbilden als im Swaypath. Der SP wiederum gewährleistet eine bessere Darstellung der Dynamik des

COF.[69] Der RMS zeigt den Mittelwert aus den gleichgerichteten Körperschwankungen während der Testphase und dient somit als guter Vergleich für den Effekt der einzelnen Testbedingungen.[70]

### 2.3.1.3 Messvorgang

Der Patient wird aufgefordert, sich mit beiden Füßen auf die Plattform zu stellen, die einer gewöhnlichen Standwaage ähnelt (Füße im Winkel von 30 Grad). Während kurzer Perioden von 30 Sekunden Dauer soll der Proband mit offenen Augen oder mit geschlossenen Augen sowie unter speziellen, schwierigeren Bedingungen sein Gleichgewicht halten. Es werden zehn Messungen mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad durchgeführt. Ein Computer zeichnet die Messung mit einer Abtastrate von 40 Hz auf.

Alle Probanden der Studie waren in der Lage die zehn nachfolgend beschriebenen Bedingungen auszuführen.

### 2.3.1.4 Einzeltestbedingungen

Die Bedingungen 1-4 haben eine identische Ausgangsstellung. Die Probanden stehen im hüftbreiten Stand auf einer Kraftmessplatte, Arme hängen neben dem Körper und die Handinnenflächen zeigen nach vorne. Während all dieser Bedingungen steht der Proband auf einem festen Untergrund mit folgenden Zusatzaufgaben:

1. Augen geöffnet
2. Augen geschlossen
3. Augen geöffnet mit 30° Kopf-Reklination
4. Augen geschlossen mit 30° Kopf-Reklination

Bei den Bedingungen 5-8 steht der Proband auf einem Schaumstoffkissen mit Brettauflage (Höhe 10 cm, spezifisches Gewicht 40g/dm<sup>3</sup>, Steifhärte 3,7 kPa). Die Zusatzaufgaben sind identisch zu den Testbedingungen 1-4:

5. Augen geöffnet auf Schaumstoff
6. Augen geschlossen auf Schaumstoff
7. Augen geöffnet mit 30° Kopf-Reklination auf Schaumstoff
8. Augen geschlossen mit 30° Kopf-Reklination auf Schaumstoff

Bei den Bedingungen 9 und 10 ändert sich die Ausgangsposition, die Probanden stehen im Tandemstand auf dem Schaumstoffkissen, die Füße stehen direkt hintereinander. Bei Bedingung 9 haben die Patienten die Augen geöffnet und bei Bedingung 10 sind die Augen geschlossen. Der Experimentator hat die Aufgabe bei Sturzgefahr des Probanden einzugreifen und einen Sturz zu verhindern.

### 2.3.2 Functional Reach Test

Dieser Testparameter stellt einen motorischen Funktionstest zur Erfassung des funktionsbezogenen (alltagsbezogenen) Gleichgewichts dar. Der "Functional Reach"-Test wurde als einfacher, klinischer Test zur Beurteilung des funktionsbezogenen Gleichgewichts entwickelt. Bei diesem Test wird gemessen, wie weit die Person dazu in der Lage ist, über die Länge ihrer Arme hinaus nach vorne zu reichen, ohne das Gleichgewicht zu verlieren. Dazu steht die Versuchsperson seitlich zu einer Wand, an der auf Schulterhöhe ein Maßstab waagerecht angebracht ist. Die Person wird dazu aufgefordert, eine Faust zu bilden und mit dem nach vorne ausgestreckten Arm, soweit als möglich nach vorne zu reichen, ohne das Gleichgewicht zu verlieren bzw. einen Schritt nach vorne zu machen oder die Fersen vom Boden zu heben. Endpunkt ist die maximale Distanz, die beim Vorbeugen erreicht werden kann. Als Messpunkt wird der Kopf des dritten Mittelhandknochens verwendet. Das Ergebnis stellt die Differenz zwischen Anfangsmessung und Endmessung dar und wird an einer Messskala [cm] an der Wand abgelesen. Es werden drei Versuche durchgeführt, von denen der Mittelwert gebildet wird. [71]

### 2.3.3 MFT-S3- Test (Multifunktionale Trainingsgeräte)

#### 2.3.3.1 Messinstrument

Der MFT-S3 Test bietet nach Herstellerangaben eine Möglichkeit zur funktionalen Bewertung der Körperstabilität und sensomotorischen Regulationsfähigkeit im Stehen. Der Aufbau des Testsystems besteht aus einer einachsig, instabilen Standplatte, deren Durchmesser 530 mm beträgt. In die Standplatte sind ein sensorgesteuerter Messwertaufnehmer und die dazugehörige Software integriert.

Die Standfläche ist durch eine horizontale Achse mit der Bodenplatte verbunden. Über diese horizontale Achse ist ein Kippwinkel von 12° zu beiden Seiten möglich.

Durch die Ausgleichsbewegungen des Körperschwerpunktes der Testperson von der Drehachse weg erfolgt eine Aktivierung des Neigungssensors, welcher an der Unterseite der Standplatte

montiert ist. Der Messbereich des Sensors reicht von  $+20^\circ$  bis  $-20^\circ$ , bei einer Messgenauigkeit von besser als  $0,5^\circ$ . Die Messwerte werden mit einer Abtastrate von 100 Hz erfasst. Die Auswertung der Information des Neigungssensors erfolgt über die angeschlossene Messsoftware. Bei dem Messsystem sind durch Drehen um  $90^\circ$  zwei verschiedene Testrichtungen möglich. Wenn die Ausgleichsbewegungen der Testperson in der Frontalebene verlaufen, bedeutet dies eine Links-Rechts-Messung, dementsprechend in der Sagitalebene eine Vor-Zurück-Messung.

### 2.3.3.2 Messvorgang

Für die oben genannte Studie war nur die Links-Rechts-Messung in der Frontalebene im Stand von Interesse. Während der Messung haben die Probanden die Aufgabe, die Messplattform über eine vordefinierte Zeitspanne, in der aktuellen Studie zweimal 30 s, möglichst waagrecht zu halten. Der bessere Versuch der beiden Durchgänge wurde als Testergebnis ausgewertet. Vor dem Messvorgang wurden die Probanden mündlich eingewiesen. Nach einer Aufwärmphase von 15 s folgten 5 s, in der die Probanden ihre ideale Position einnehmen sollten, anschließend startete die erste Messung. Nach einer Pause von 10 s folgte die zweite Messung. Die Standardtestung wurde ohne Schuhe und mit einer frei wählbaren Armhaltung durchgeführt. Die Probanden standen hüftbreit auf der Standfläche und hatten die Aufgabe, die Messplattform über die vordefinierte Zeitspanne möglichst waagrecht zu halten.

### 2.3.3.3 Messparameter

Zur Erhebung des vorhandenen individuellen Ist-Zustandes der Gleichgewichtsfähigkeit werden in der Messphase die Links-Rechts-Bewegungen der Standfläche aufgezeichnet. Je geringer die Ausschläge nach rechts und links sind, desto besser ist die posturale Stabilität der untersuchten Person. Aus der Anzahl und Größe der Bewegungen der Messplatte wird der Sensorikmotorikindex (SMI) errechnet. Abweichungen von der horizontalen Plattenstellung (nach links oder rechts) werden im Symmetrieindex (SI) ausgedrückt. Aus diesen beiden Faktoren ergibt sich der Stabilitätsindex (STI).

Die Messwerte von STI und SMI werden in altersbezogenen Vergleichsdiagrammen dargestellt (vgl. Abb. 3), während der SI prozentual zugeordnet wird. Die Messwerte des STI bewegen sich auf einer Skala zwischen minimal 1 und maximal bis 9.[72]

Der S3-Check ist ein Testinstrument, das auf einfachem und schnellem Weg Aussagen über die Gesamtkörperstabilität, die Gleichgewichtskoordination und die funktionale Bewegungssymmetrie erlaubt.[3]

Für die durchgeführte Studie wurde nur der STI als relevant angesehen. Durch diesen Wert können Rückschlüsse über die Körperstabilität der Testpersonen auf instabiler Unterlage unter Berücksichtigung der Körpersymmetrie gezogen werden.

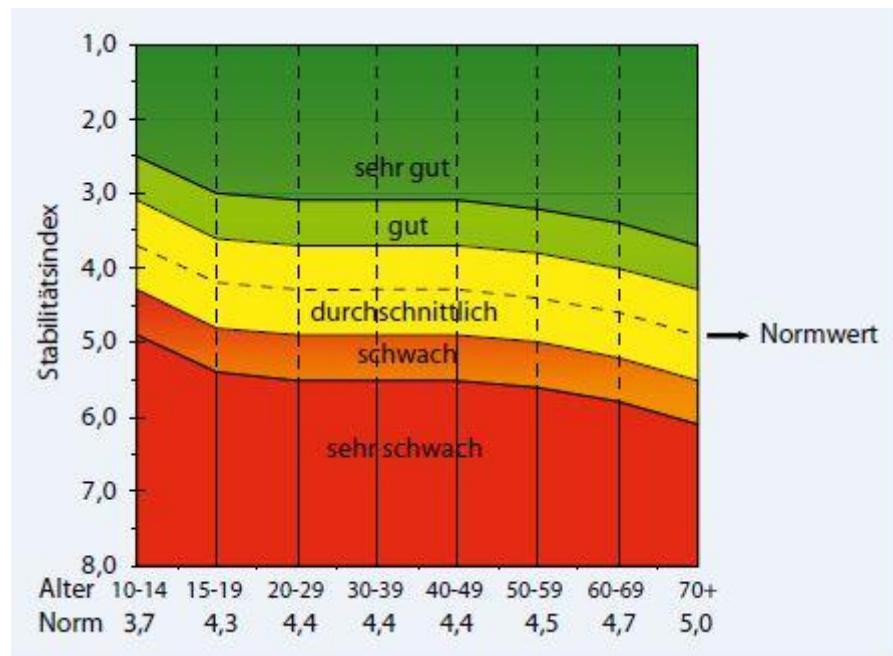


Abbildung 3: SI Auswertung MFT-S3

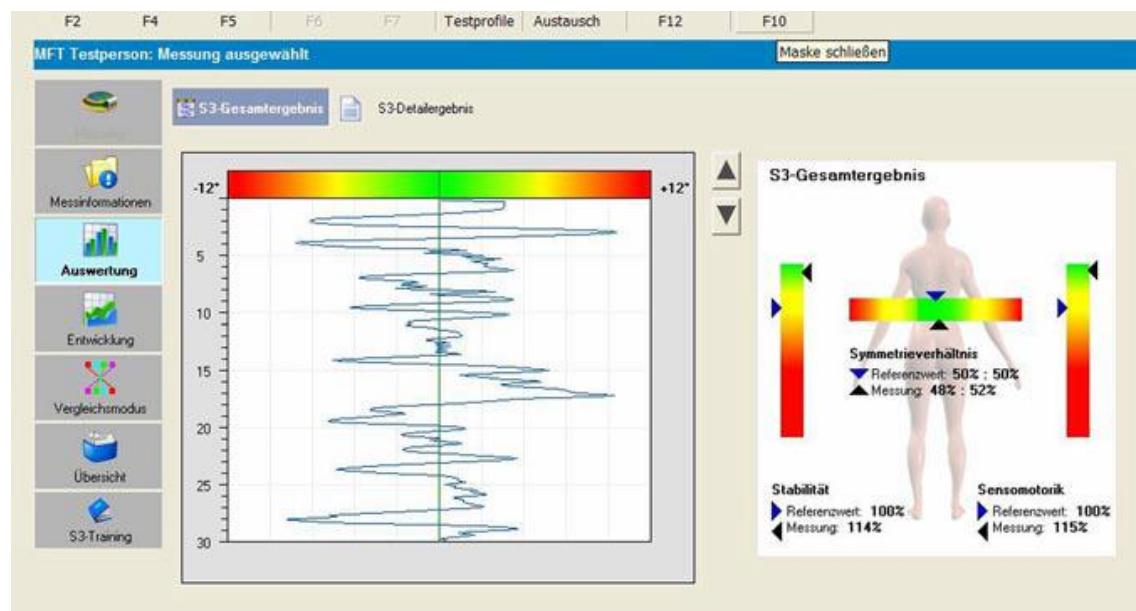


Abbildung 4: Auswertung MFT-S3 für die Testrichtung links/rechts

### 2.3.4 Single-Leg-Stance (SLS)

Der Patient steht auf ebener Fläche einbeinig mit leicht gebeugtem Knie, die Augen sind geschlossen und die Arme sind überkreuzt auf den gegenüberliegenden Schultern abgelegt. Die Beine dürfen sich nicht berühren. Die Zeit bis zum Gleichgewichtsverlust wird gemessen [sec]. Endpunkt des Tests stellt der Gleichgewichtsverlust dar. Dieser tritt ein, wenn die Füße sich gegenseitig berühren, der abgehobene Fuß den Boden berührt, die Augen geöffnet werden oder die Armposition geändert wird. Beide Beine werden einmal getestet und von beiden Werten wird der Mittelwert berechnet. [73]

### 2.3.5 Counter Movement Jump (CMJ) in der Leonardo Mechanographie

#### 2.3.5.1 Das Messinstrument

Bei der Leonardo Mechanographie GRFP handelt es sich um eine Kraftmessplatte (Firma: Novotec, Pforzheim, Deutschland) zur ortsaufgelösten Erfassung der Bodenreaktionskräfte (Länge: 880, Breite: 880 mm, Höhe: 70 mm). Die Analysesoftware Leonardo Mechanographie STD v4.3 wurde zur Auswertung verwendet. Die Platte beinhaltete acht Kraftsensoren, mit einer Abtastrate von 800 Hz. Einsetzbar ist die Kraftmessplatte für alle Altersklassen (Referenzdaten von 3 bis 99 Jahren).[74]

#### 2.3.5.2 Messparameter

Es können eine Reihe von Messparametern zu verschiedenen Zeitpunkten erhoben werden. Für die Studie von Interesse waren  $F_{\max}$ ,  $P_{\max}$  und der Esslinger Fitness Index (EFI).

- $F_{\max}$ : maximale Kraft beim Absprung (Summe aus rechtem und linkem Bein), physikalische Einheit: [kN]
- $P_{\max}$ : maximale Leistung beim Absprung, physikalische Einheit: [kW]
- EFI: Referenzdaten bezogen auf Alter und Geschlecht (im Alter von 5 bis 95), Bestimmung der Effizienz der Bewegung (inter- und intramuskuläre Koordination im gesamten Körper). Ein Wert von 100% entspricht dabei dem Mittelwert des gesunden (optimal alternden) Referenzkollektivs im Altersbereich.

### 2.3.5.3 Messvorgang

Beim CMJ wurde ein einfacher Sprung mit beiden Beinen und Ausholbewegung ausgeführt. Die Zielvorgabe war es, eine maximal-mögliche Sprunghöhe zu erreichen. Es konnten bestimmte Ausführungsbedingungen festgelegt werden. In der hier durchgeführten Studie sollten die Patienten auf Kommando möglichst viel Schwung holen (bis 90° Kniegelenksflexion) und so hoch wie möglich springen. Die Arme sollten hierbei nicht angelegt sein und somit die Schwungphase unterstützen. Alle Testpersonen führten drei Sprünge durch, deren Mittelwert ermittelt wurde.[75, 76]

## 2.5 Statistische Auswertung

Die Datenerfassung erfolgte mit Microsoft Excel®. Die statistische Analyse wurde mit dem Statistikprogramm SPSS durchgeführt. Die Verteilungsanalyse erfolgte durch den Shapiro-Wilk-Test. Je nach Verteilung wurden dementsprechende Tests zur weiteren Analyse verwendet. Bei normalverteilten Daten erfolgte die weitere Analyse durch einen gepaarten t-Test für verbundene Stichproben. Eine Varianzanalyse (ANOVA) wurde verwendet, um Unterschiede zwischen den Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten (Pre- und Posttest), der absoluten Differenz und der prozentualen Veränderung zu detektieren. Bei signifikanten Unterschieden innerhalb der Gruppen erfolgte eine Post-hoc Analyse mit Hilfe des Tukey-Tests.[77]

Bei nicht normalverteilten Daten erfolgte die weitere Analyse durch den Wilcoxon-Test, um signifikante Unterschiede zwischen Pre- und Posttest zu erfassen. Die Gruppenanalyse wurde mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Tests durchgeführt, um signifikante Gruppenunterschiede im Pre- und Posttest sowie in der absoluten Differenz und der prozentualen Veränderung zu erfassen. Bei signifikanten Unterschieden in den Gruppen erfolgte eine Post-hoc Analyse mit Hilfe des Mann-Whitney-Tests.[77]

### 3 Ergebnisteil

#### 3.1 Auswertung SP1 in der Posturographie

Gruppe		Deskriptive Statistiken						Perzentile		
		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	25.	50. (Median)	75.	
Kontrolle	SP1 Pre [m/min]	14	0,7265	0,16411	0,48	1,03	0,5924	0,7133	0,8159	
	SP1 Post [m/min]	14	0,8123	0,24078	0,51	1,41	0,6820	0,7485	0,8709	
	Differenz SP1 [m/min]	14	0,0857	0,27241	-0,33	0,76	-0,0386	0,0110	0,1744	
	%-Veränderung SP1	14	15,6085	39,14138	-32,27	117,54	-5,6936	1,1112	33,8257	
Vibration	SP1 Pre [m/min]	14	0,7173	0,12316	0,53	0,87	0,5938	0,7268	0,8394	
	SP1 Post [m/min]	14	0,6996	0,11812	0,54	0,95	0,6123	0,7060	0,7680	
	Differenz SP1 [m/min]	14	-0,0177	0,11918	-0,20	0,20	-0,1118	-0,0193	0,0657	
	%-Veränderung SP1	14	-1,1102	16,50751	-24,47	27,31	-13,5419	-3,1964	10,5133	
PT-Gruppe	SP1 Pre [m/min]	14	0,7869	0,13801	0,55	1,13	0,7120	0,7614	0,8599	
	SP1 Post [m/min]	14	0,7112	0,09306	0,52	0,89	0,6679	0,7079	0,7628	
	Differenz SP1 [m/min]	14	-0,0757	0,13981	-0,33	0,16	-0,1718	-0,0732	0,0138	
	%-Veränderung SP1	14	-7,6243	17,63149	-31,81	29,29	-21,4509	-8,6837	2,1250	

Tabelle 1: SP1 Daten

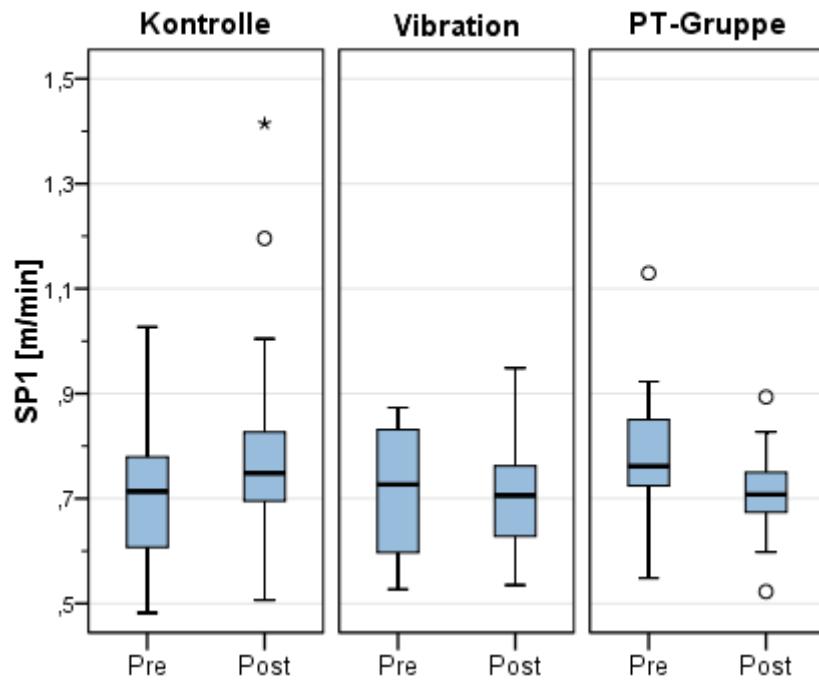


Abbildung 5: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP1

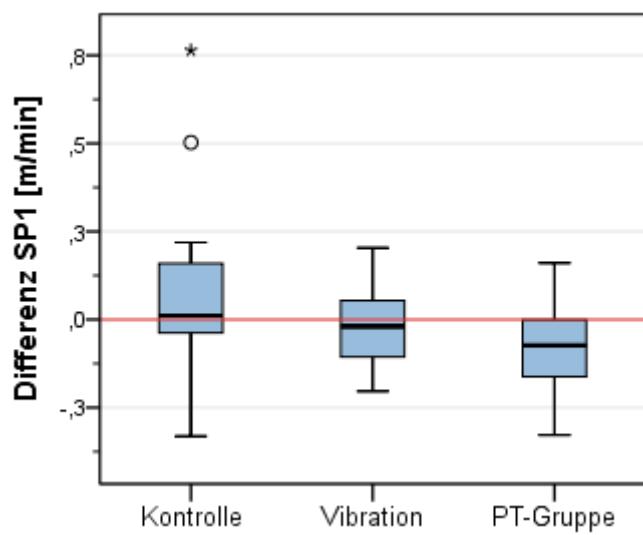


Abbildung 6: Vergleich der Gruppendifferenzen SP1

Nach Verteilungsanalyse wurden nicht-parametrische Tests zur weiteren Auswertung genutzt. Im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen zeigte sich in keiner der drei Gruppen eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Der p-Werte lag bei 0,433 (Kontroll-

gruppe), 0,470 (Vibration) und 0,064 (PT). Im Kruskal-Wallis-Test ergab sich zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Gruppenunterschied. P-Wert (Pretest) = 0,408, p-Wert (Posttest) = 0,430, p-Wert (absolute Differenz) = 0,127, p-Wert (prozentuale Veränderung) = 0,118.

### 3.2 Auswertung SP2 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	SP2 Pre [m/min]	14	0,9389	0,26734	0,61	1,54	0,7081	0,9110	1,1380
	SP2 Post [m/min]	14	0,8967	0,19214	0,56	1,25	0,7431	0,8971	1,0241
	Differenz SP2 [m/min]	14	-0,0422	0,20978	-0,51	0,32	-0,2011	-0,0438	0,0998
	%-Veränderung SP2	14	-0,8469	22,56101	-33,06	52,87	-21,3368	-5,6684	13,3709
Vibration	SP2 Pre [m/min]	14	0,8862	0,16966	0,68	1,26	0,7481	0,8679	0,9649
	SP2 Post [m/min]	14	0,9313	0,26136	0,66	1,69	0,7506	0,9033	0,9607
	Differenz SP2 [m/min]	14	0,0451	0,23516	-0,34	0,56	-0,1398	0,0043	0,1851
	%-Veränderung SP2	14	6,1159	24,42081	-26,67	50,15	-13,9103	0,6660	22,2606
PT-Gruppe	SP2 Pre [m/min]	14	0,9740	0,21429	0,70	1,51	0,8148	0,8964	1,1162
	SP2 Post [m/min]	14	1,0005	0,24858	0,57	1,53	0,7886	0,9807	1,1700
	Differenz SP2 [m/min]	14	0,0265	0,20473	-0,34	0,37	-0,1188	0,0270	0,2202
	%-Veränderung SP2	14	3,6470	20,13097	-29,49	33,68	-10,8702	3,2355	21,3611

Tabelle 2: SP2 Daten

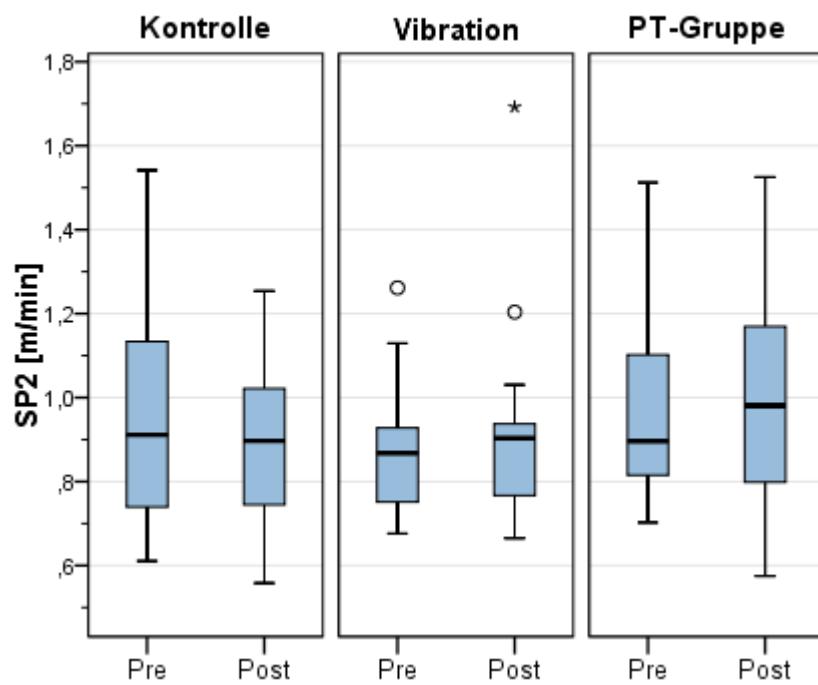


Abbildung 7: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP2

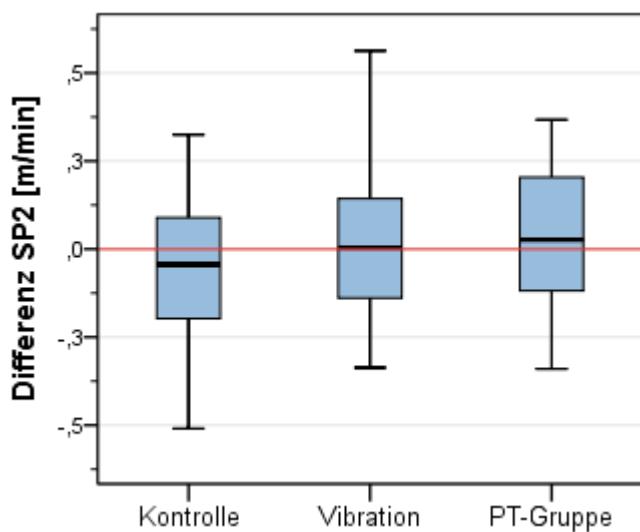


Abbildung 8: Vergleich der Gruppendifferenzen SP2

Hier wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen der Kontrollgruppe war bei  $p = 0,551$ . Für die Vibrationsgruppe ergab der Wilcoxon-Test einen  $p$ -Wert von 0,638 und für die Physiotherapiegruppe

einen p-Wert von 0,683. Im Kruskal-Wallis-Test konnte zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ermittelt werden: P-Wert (Pretest) = 0,596, p-Wert (Posttest) = 0,425, p-Wert (absolute Differenz) = 0,678, p-Wert (prozentuale Veränderung) = 0,706. Mit einem Kreis (°) wurden Werte in der Vibrationsgruppe gekennzeichnet, die mehr als 1,5 bis 3 Kastenlängen (Interquartilsabstände) vom benachbarten Kastenrand entfernt liegen. Ein Stern (\*) markiert Extremwerte, die über 3 Kastenlängen abweichen. Beide Werte gingen nicht in die Berechnung der übrigen dargestellten Maßzahlen ein.

### 3.3 Auswertung SP3 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	SP3 Pre [m/min]	14	0,6977	0,10220	0,54	0,92	0,6287	0,7058	0,7402
	SP3 Post [m/min]	14	0,7178	0,17585	0,49	1,13	0,5738	0,6743	0,7958
	Differenz SP3 [m/min]	14	0,0200	0,12131	-0,09	0,40	-0,0432	-0,0111	0,0472
	%-Veränderung SP3	14	2,3559	16,94697	-14,47	55,07	-6,2835	-1,5541	7,1551
Vibration	SP3 Pre [m/min]	14	0,7121	0,14802	0,48	1,05	0,5927	0,6918	0,7945
	SP3 Post [m/min]	14	0,6931	0,11053	0,55	0,98	0,6019	0,6807	0,7571
	Differenz SP3 [m/min]	14	-0,0190	0,16339	-0,34	0,34	-0,0999	-0,0236	0,0491
	%-Veränderung SP3	14	0,3858	23,17234	-31,94	52,56	-13,1165	-3,4896	6,9301
PT-Gruppe	SP3 Pre [m/min]	14	0,7714	0,15075	0,56	1,05	0,6537	0,7832	0,8591
	SP3 Post [m/min]	14	0,7349	0,11345	0,53	0,87	0,6572	0,7548	0,8283
	Differenz SP3 [m/min]	14	-0,0365	0,12570	-0,22	0,27	-0,1071	-0,0611	0,0229
	%-Veränderung SP3	14	-2,8530	18,22429	-20,59	47,73	-15,9509	-7,0448	3,0867

Tabelle 3: SP3 Daten

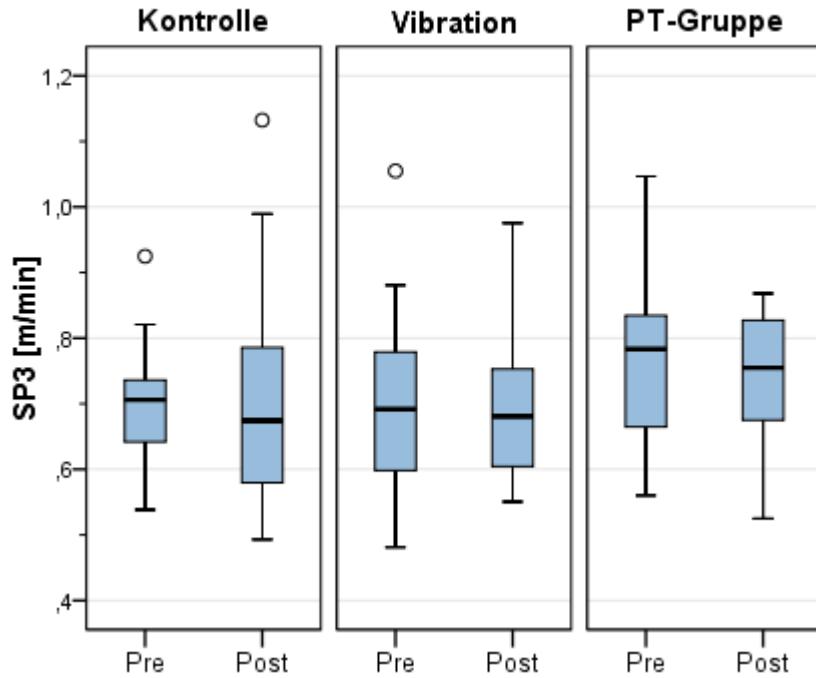


Abbildung 9: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP3

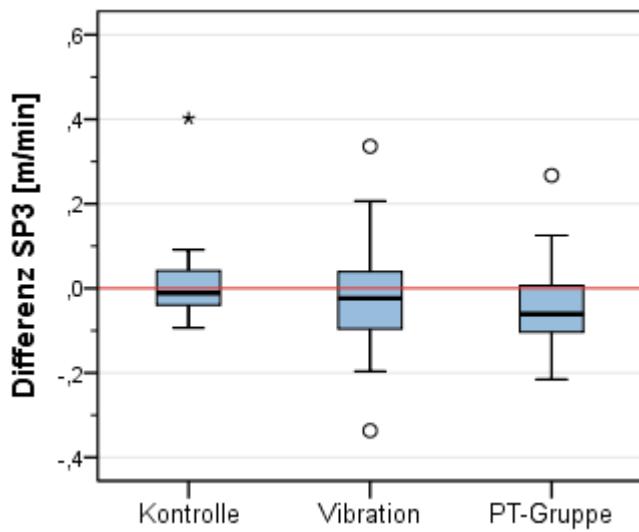


Abbildung 10: Vergleich der Gruppendifferenzen SP3

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 11 aufgelistet. Signifikante Gruppenunterschiede sind nicht nachweisbar, (Kruskal-Wallis-Test,  $p \geq 0,05$ ).

### 3.4 Auswertung SP4 in der Posturographie

Gruppe		Deskriptive Statistiken						Perzentile		
		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	25.	50. (Median)	75.	
Kontrolle	SP4 Pre [m/min]	14	0,9224	0,24872	0,59	1,51	0,7411	0,8715	1,0999	
	SP4 Post [m/min]	14	0,9454	0,35163	0,55	1,96	0,7017	0,9236	1,0800	
	Differenz SP4 [m/min]	14	0,0229	0,17245	-0,20	0,45	-0,1233	-0,0004	0,1032	
	%-Veränderung SP4	14	1,5445	15,72192	-21,80	29,91	-11,4661	-0,1089	11,4593	
Vibration	SP4 Pre [m/min]	14	1,0018	0,20202	0,70	1,29	0,8544	0,9432	1,2374	
	SP4 Post [m/min]	14	1,0128	0,24742	0,72	1,69	0,8198	0,9720	1,1520	
	Differenz SP4 [m/min]	14	0,0110	0,28146	-0,46	0,46	-0,1845	-0,0629	0,2470	
	%-Veränderung SP4	14	4,0875	28,73440	-35,99	64,70	-18,8743	-6,7129	27,4790	
PT-Gruppe	SP4 Pre [m/min]	14	1,2048	0,35447	0,76	2,05	0,9261	1,0946	1,4726	
	SP4 Post [m/min]	14	1,1056	0,36731	0,73	2,10	0,8667	1,0288	1,2099	
	Differenz SP4 [m/min]	14	-0,0992	0,27400	-0,56	0,33	-0,3078	-0,0880	0,0886	
	%-Veränderung SP4	14	-6,5458	21,20574	-38,63	32,89	-23,6666	-8,0586	7,1142	

Tabelle 4: SP4 Daten

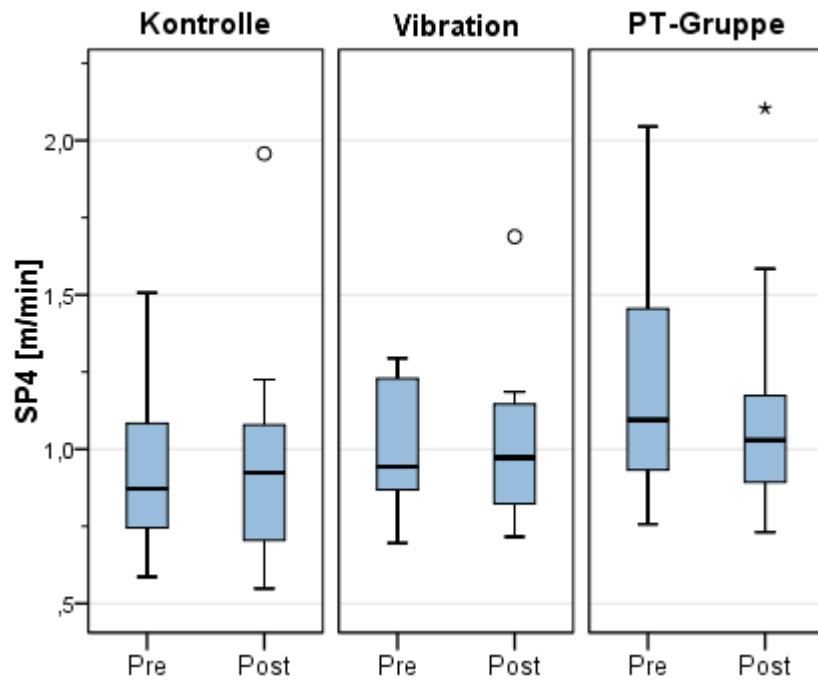


Abbildung 11: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP4

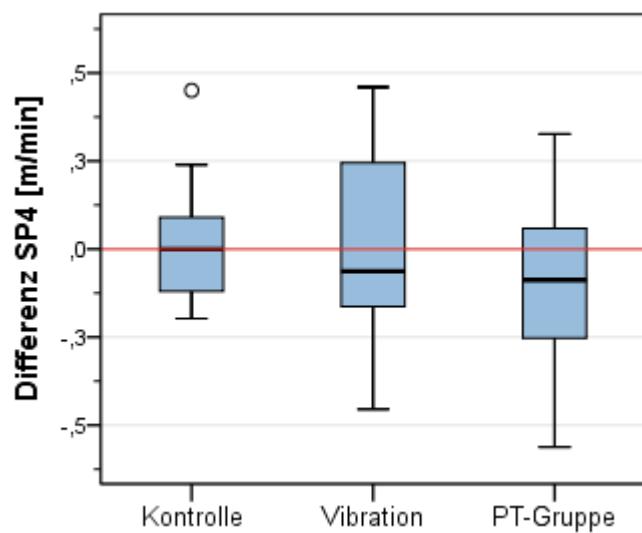


Abbildung 12: Vergleich der Gruppendifferenzen SP4

Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 11 aufgelistet. Lediglich in der Pre-Messung zeigte sich ein signifikanter Gruppenunterschied (Kruskal-Wallis-Test,  $p = 0,040$ ), für diesen Testzeitpunkt folgten Post-hoc -Paarvergleiche. Im Mann-Whitney-U Test ergab sich ein signifikanter Gruppenunterschied zwischen der Kontroll- und der Physiotherapiegruppe ( $p$ -Wert = 0,019).

### 3.5 Auswertung SP5 in der Posturographie

Gruppe		N	Deskriptive Statistiken					Perzentile		
			Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	25.	50. (Median)	75.	
Kontrolle	SP5 Pre [m/min]	14	1,4508	0,37819	0,97	2,62	1,2956	1,4459	1,5013	
	SP5 Post [m/min]	14	1,4765	0,56273	1,06	3,29	1,1243	1,3962	1,5035	
	Differenz SP5 [m/min]	14	0,0257	0,25728	-0,41	0,67	-0,1133	0,0136	0,0990	
	%-Veränderung SP5	14	0,7023	14,88297	-27,89	25,39	-8,2170	1,1281	8,5074	
Vibration	SP5 Pre [m/min]	14	1,4414	0,32020	1,05	1,97	1,0993	1,3966	1,7957	
	SP5 Post [m/min]	14	1,4262	0,22438	1,12	2,00	1,2522	1,4115	1,5652	
	Differenz SP5 [m/min]	14	-0,0152	0,25621	-0,48	0,33	-0,2273	0,0109	0,2038	
	%-Veränderung SP5	14	1,5171	17,29334	-24,46	28,68	-12,9141	1,1625	17,9045	
PT-Gruppe	SP5 Pre [m/min]	14	1,6132	0,16834	1,37	1,94	1,4654	1,6065	1,7038	
	SP5 Post [m/min]	14	1,4979	0,30481	1,01	2,18	1,2411	1,4961	1,6722	
	Differenz SP5 [m/min]	14	-0,1153	0,24786	-0,47	0,31	-0,3303	-0,1739	0,1572	
	%-Veränderung SP5	14	-7,2565	15,53001	-27,03	16,62	-21,2786	-9,6987	10,1562	

Tabelle 5: SP5 Daten

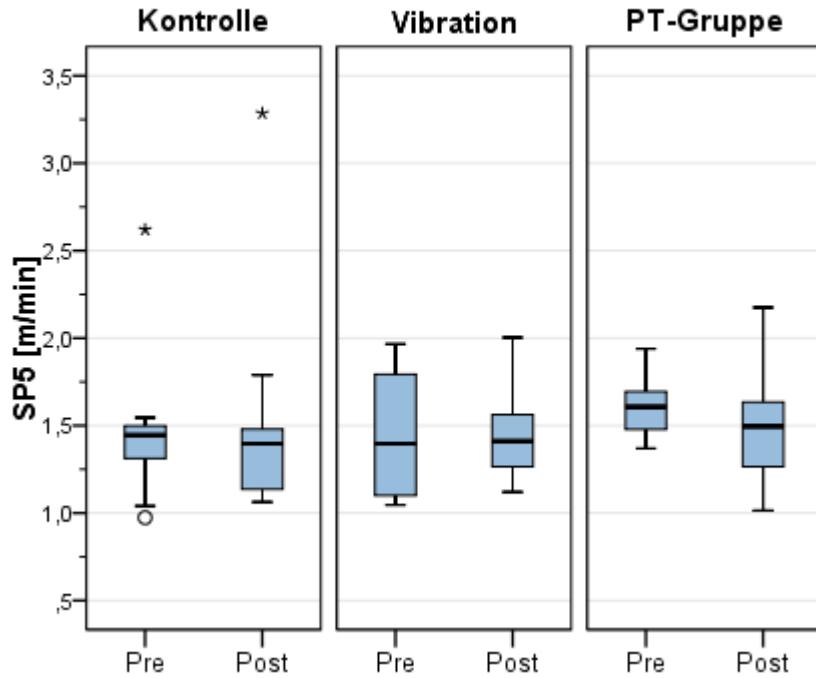


Abbildung 13: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP5

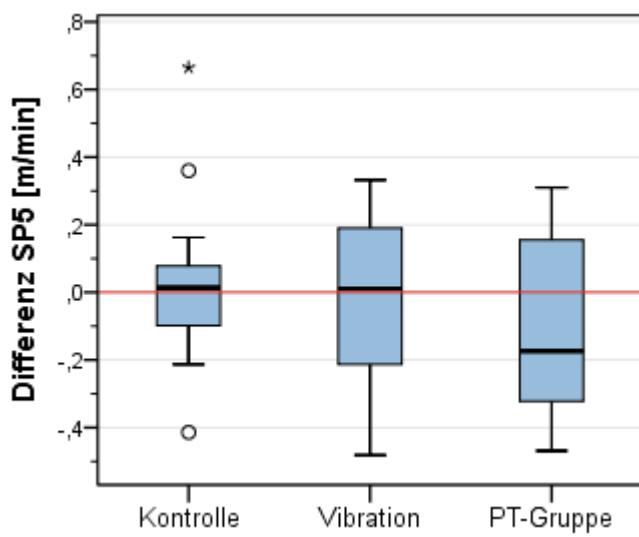


Abbildung 14: Vergleich der Gruppendifferenzen SP5

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Es zeigte sich nur in der Pre-Messung ein signifikanter Gruppenunterschied (Kruskal-Wallis-Test,  $p = 0,046$ ), für diesen erfolgte ein Post-hoc-Paarvergleich. Im Mann-Whitney-U Test ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontroll- und Physiotherapiegruppe ( $p$ -Wert = 0,008).

### 3.6 Auswertung SP6 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	SP6 Pre [m/min]	14	3,0154	0,72039	2,02	5,08	2,6723	2,9920	3,1194
	SP6 Post [m/min]	14	3,0038	1,08535	1,76	6,07	2,3043	2,6483	3,4158
	Differenz SP6 [m/min]	14	-0,0117	0,60096	-1,02	0,99	-0,4158	0,0133	0,4368
	%-Veränderung SP6	14	-1,4031	18,10296	-28,48	27,65	-16,1394	0,6800	14,6023
Vibration	SP6 Pre [m/min]	14	2,6552	0,55689	1,66	3,52	2,2316	2,8107	3,0741
	SP6 Post [m/min]	14	2,8335	0,54224	1,98	4,02	2,4062	2,8402	3,0805
	Differenz SP6 [m/min]	14	0,1783	0,52656	-0,69	1,15	-0,2772	0,0987	0,5632
	%-Veränderung SP6	14	9,6251	24,22262	-23,11	61,71	-9,5458	3,9706	22,1654
PT-Gruppe	SP6 Pre [m/min]	14	3,6024	0,72764	2,51	5,00	3,1159	3,3850	3,9696
	SP6 Post [m/min]	14	3,0627	0,53426	2,32	4,09	2,7095	2,9409	3,3365
	Differenz SP6 [m/min]	14	-0,5397	0,84650	-2,05	0,86	-1,0890	-0,4817	0,1481
	%-Veränderung SP6	14	-12,3997	20,37270	-41,19	26,69	-30,7337	-14,2420	4,9029

Tabelle 6: SP6 Daten

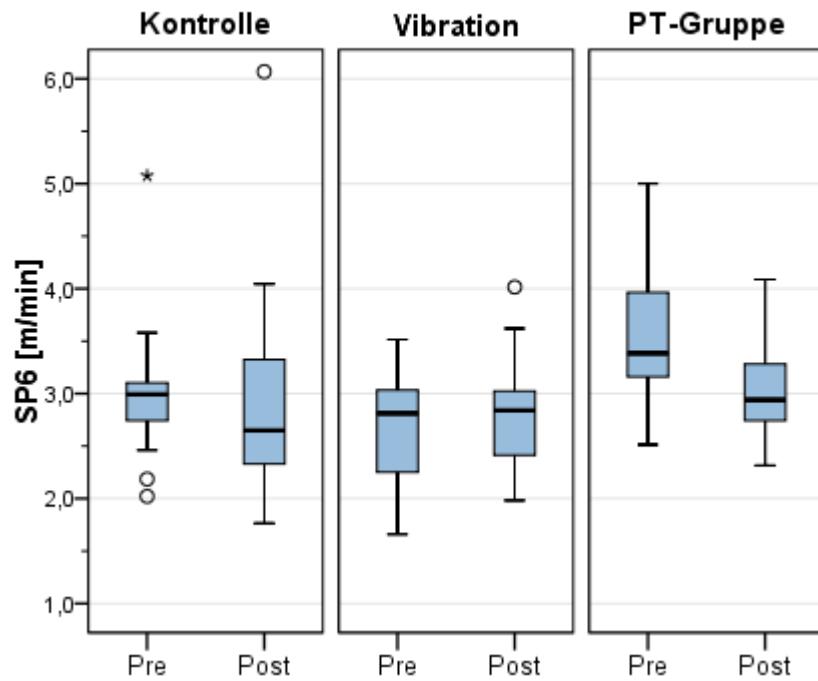


Abbildung 15: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP6

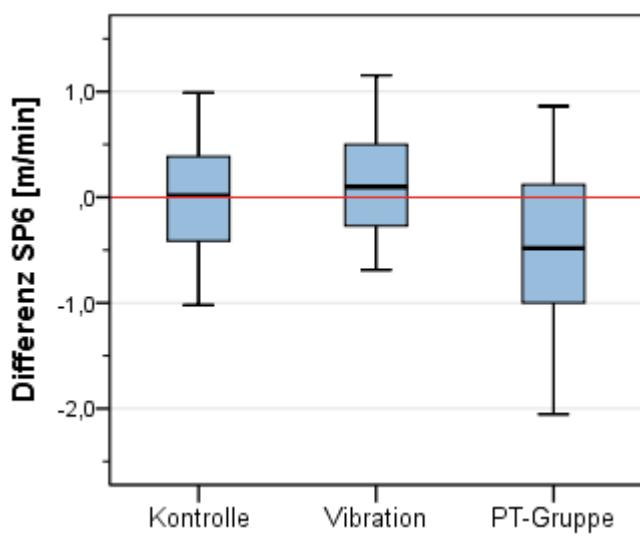


Abbildung 16: Vergleich der Gruppendifferenzen SP6

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. Signifikante Veränderung zwischen Pre- und Posttest waren in der Physiotherapie-Gruppe nachweisbar. Die im

Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 11 aufgelistet, für die PT-Gruppe lag dieser bei 0,035.

Im Gruppenvergleich lag ebenfalls ein signifikanter Unterschied im Pretest (Kruskal-Wallis-Test, p-Wert = 0,003) und in der absoluten Differenz (Kruskal-Wallis-Test p-Wert 0,049) vor.

Für diese beiden Testzeitpunkte erfolgten Post-hoc-Paarvergleiche mittels des Mann-Whitney-U-Tests. Hier zeigten sich signifikante Unterschiede im Pretest zwischen der Kontroll- und der PT-Gruppe (p- Wert = 0,013) sowie zwischen der PT- und der WBVT- Gruppe (p-Wert = 0,001). In der absoluten Differenz konnte zwischen der Vibrations- und der PT-Gruppe ein signifikanter Unterschied (p-Wert = 0,022) ermittelt werden. Aufgrund der Ergebnisse ist bei dieser Testbedingung von einem statistisch signifikanten Unterschied in der PT-Gruppe gegenüber der Vibrationsgruppe auszugehen.

### 3.7 Auswertung SP7 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	SP7 Pre [m/min]	14	1,3572	0,35771	1,02	2,32	1,0622	1,2855	1,5656
	SP7 Post [m/min]	14	1,3869	0,38968	0,93	2,34	1,0557	1,3539	1,5671
	Differenz SP7 [m/min]	14	0,0297	0,19133	-0,39	0,33	-0,1004	0,0326	0,1828
	%-Veränderung SP7	14	2,5944	14,59886	-25,20	31,48	-7,7659	2,5658	13,1349
Vibration	SP7 Pre [m/min]	14	1,2860	0,22665	0,94	1,79	1,1376	1,2414	1,3894
	SP7 Post [m/min]	14	1,2970	0,16946	1,01	1,64	1,1719	1,3127	1,4084
	Differenz SP7 [m/min]	14	0,0110	0,15861	-0,34	0,37	-0,0545	0,0123	0,0396
	%-Veränderung SP7	14	2,1136	12,54123	-19,16	34,92	-4,1870	0,9803	3,7818
PT-Gruppe	SP7 Pre [m/min]	14	1,6286	0,33646	1,22	2,42	1,3971	1,5625	1,6797
	SP7 Post [m/min]	14	1,5033	0,24103	1,12	2,00	1,3623	1,5029	1,6534
	Differenz SP7 [m/min]	14	-0,1253	0,25270	-0,71	0,21	-0,2976	-0,0962	0,0726
	%-Veränderung SP7	14	-6,3164	12,79376	-29,13	11,65	-16,8132	-6,7798	5,4428

Tabelle 7: SP7 Daten

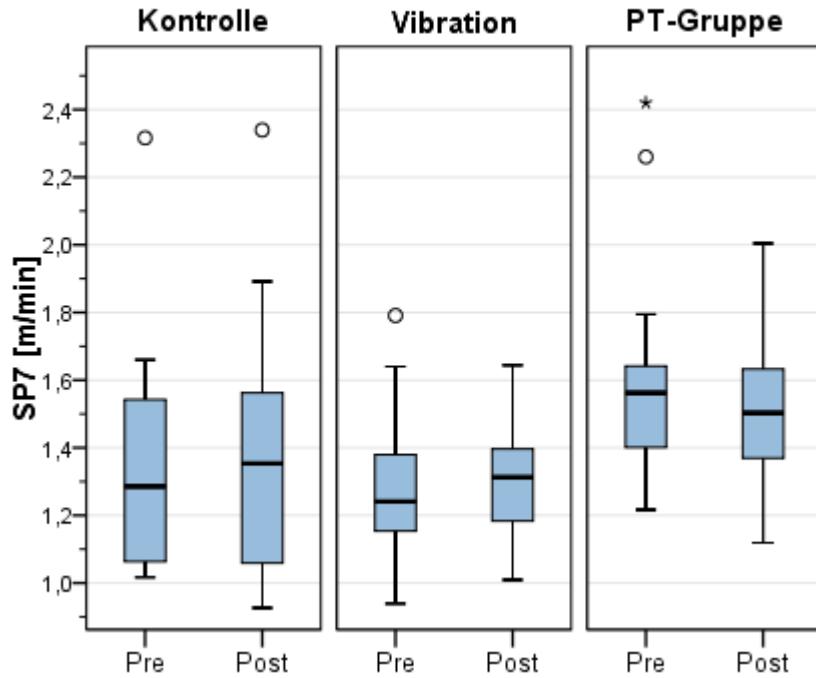


Abbildung 17: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP7

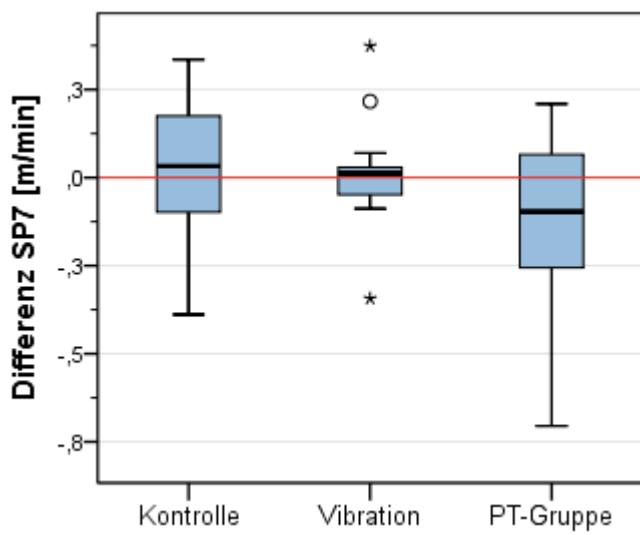


Abbildung 18: Vergleich der Gruppendifferenzen SP7

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Es zeigte sich nur in der Pre-Messung ein signifikanter Gruppenunterschied (Kruskal-Wallis-Test,  $p=0,046$ ), für diesen erfolgte ein Post-hoc-Paarvergleich. Im Mann-Whitney-U Test ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontroll- und der Physiotherapiegruppe ( $p$ -Wert von 0,027) und zwischen der Vibrations- und der PT-Gruppe ( $p$ -Wert = 0,003).

### 3.8 Auswertung SP8 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	SP8 Pre [m/min]	14	4,0345	1,26217	2,66	6,06	2,9283	3,7523	5,1460
	SP8 Post [m/min]	14	3,5541	1,04470	2,12	5,93	2,7857	3,5099	4,2612
	Differenz SP8 [m/min]	14	-0,4804	1,18869	-2,81	1,25	-1,2970	-0,6182	0,7075
	%-Veränderung SP8	14	-7,7537	27,41255	-46,32	41,38	-26,8681	-19,2616	18,3841
Vibration	SP8 Pre [m/min]	14	3,7218	1,66828	1,79	7,17	2,3418	3,5926	4,2899
	SP8 Post [m/min]	14	3,2830	0,60619	2,15	4,31	2,8525	3,3722	3,7805
	Differenz SP8 [m/min]	14	-0,4387	1,37765	-3,43	1,22	-0,8734	-0,0936	0,5709
	%-Veränderung SP8	14	-0,7644	30,78723	-49,12	54,88	-22,1300	-2,2836	25,5922
PT-Gruppe	SP8 Pre [m/min]	14	4,7351	1,31773	3,12	7,56	3,6106	4,5408	5,7789
	SP8 Post [m/min]	14	4,0441	0,96645	2,50	5,41	3,0865	4,2928	4,7441
	Differenz SP8 [m/min]	14	-0,6910	1,44178	-4,45	1,05	-1,5383	-0,4868	0,2192
	%-Veränderung SP8	14	-10,4517	24,98771	-58,91	28,86	-24,5663	-9,7343	4,7539

Tabelle 8: SP8 Daten

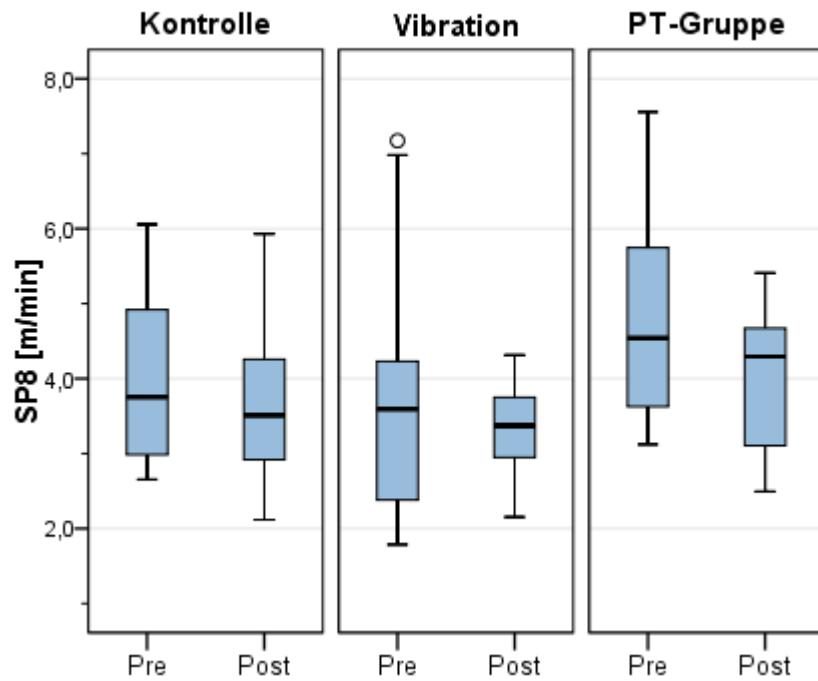


Abbildung 19: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP8

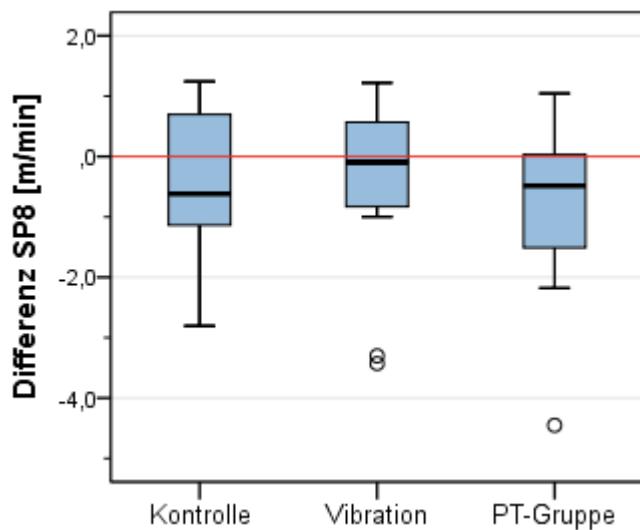


Abbildung 20: Vergleich der Gruppendifferenzen SP8

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 11 aufgelistet. Im Kruskal-Wallis-Test waren keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar ( $p$ -Wert  $\geq 0,05$ ).

### 3.9 Auswertung SP9 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	SP9 Pre [m/min]	14	2,3085	0,72623	1,31	4,07	1,8731	2,1253	2,5480
	SP9 Post [m/min]	14	2,1258	0,64087	1,18	3,55	1,6677	2,0788	2,4799
	Differenz SP9 [m/min]	14	-0,1827	0,43099	-1,08	0,53	-0,3914	-0,1444	0,0840
	%-Veränderung SP9	14	-6,9609	14,41229	-26,57	17,42	-18,8397	-8,3037	3,7386
Vibration	SP9 Pre [m/min]	14	1,9959	0,46278	1,44	3,17	1,6324	1,9026	2,2275
	SP9 Post [m/min]	14	2,1193	0,56680	1,54	3,72	1,7966	1,9894	2,1390
	Differenz SP9 [m/min]	14	0,1234	0,26649	-0,43	0,54	-0,0597	0,1149	0,2998
	%-Veränderung SP9	14	6,4036	12,13738	-17,67	29,46	-2,8170	6,5514	14,6915
PT-Gruppe	SP9 Pre [m/min]	14	2,5306	0,61441	1,75	4,03	2,0214	2,4306	2,8676
	SP9 Post [m/min]	14	2,4696	0,67371	1,37	3,67	1,9983	2,4055	3,0023
	Differenz SP9 [m/min]	14	-0,0610	0,38438	-0,61	0,47	-0,4712	-0,0114	0,2741
	%-Veränderung SP9	14	-2,2725	15,60571	-31,03	22,73	-16,4317	-0,4125	9,7497

Tabelle 9: SP9 Daten

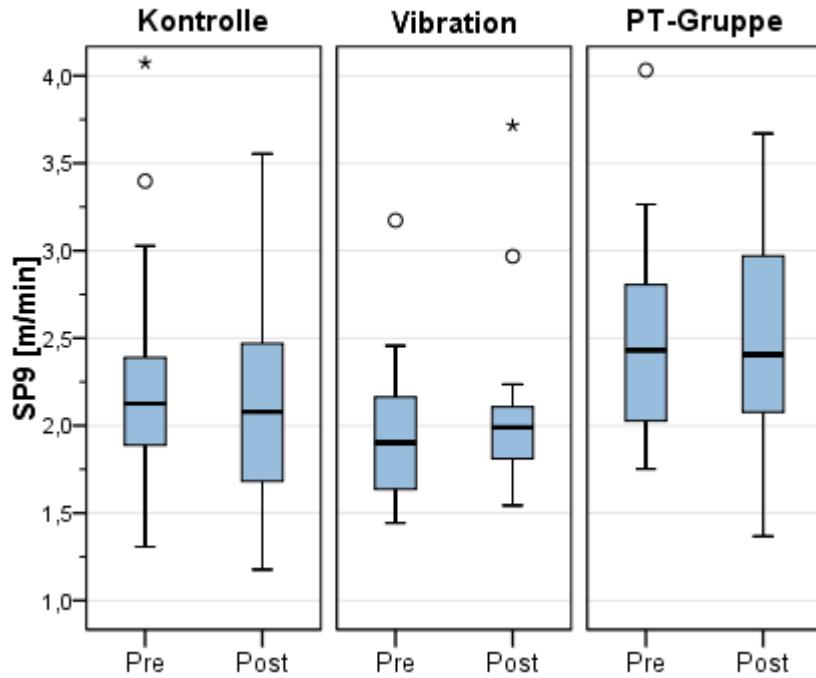


Abbildung 21: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP9

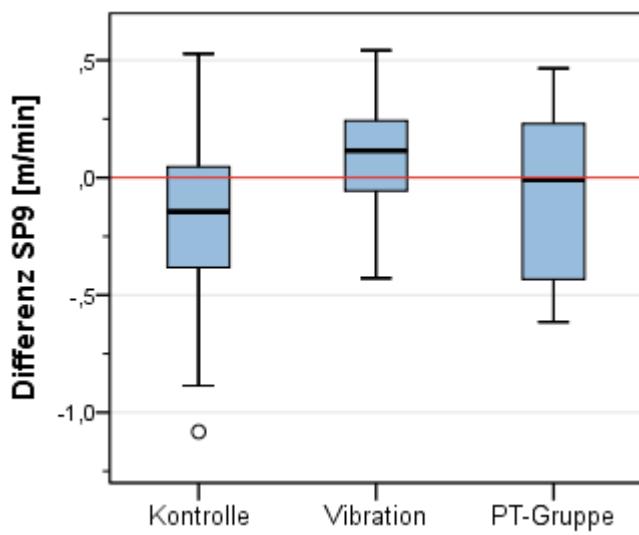


Abbildung 22: Vergleich der Gruppendifferenzen SP9

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Es zeigte sich lediglich für die Pre-Messung ein signifikanter Gruppenunterschied (Kruskal-Wallis-Test,  $p=0,036$ ), auf diesen folgten Post-hoc-Paarvergleiche. Im Mann-Whitney-U Test ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Vibrations- und PT-Gruppe ( $p$ -Wert = 0,012).

### 3.10 Auswertung SP10 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	SP10 Pre [m/min]	14	5,9011	1,75623	3,69	8,96	4,1574	5,2753	7,6153
	SP10 Post [m/min]	14	6,1856	2,88692	3,23	14,27	4,1597	5,4571	7,5726
	Differenz SP10 [m/min]	14	0,2844	2,73926	-3,78	7,66	-1,0437	0,0948	1,5411
	%-Veränderung SP10	14	7,6771	42,56782	-45,22	115,86	-22,9528	1,5628	36,0299
Vibration	SP10 Pre [m/min]	14	4,7602	1,22098	3,40	7,30	3,9770	4,3811	5,2119
	SP10 Post [m/min]	14	4,8047	1,08910	2,71	6,93	4,1684	4,8988	5,4846
	Differenz SP10 [m/min]	14	0,0445	1,30503	-2,40	2,07	-1,3649	0,3293	1,0332
	%-Veränderung SP10	14	4,2704	25,64144	-33,34	42,53	-22,5652	8,1682	24,0887
PT-Gruppe	SP10 Pre [m/min]	14	6,3256	2,28124	3,41	10,83	4,5456	5,7799	7,9010
	SP10 Post [m/min]	14	5,9273	1,91674	3,15	9,83	4,8011	5,7338	6,8130
	Differenz SP10 [m/min]	14	-0,3984	1,63312	-3,48	1,68	-1,6754	-0,6466	1,2434
	%-Veränderung SP10	14	-1,8551	26,91443	-37,46	46,10	-23,8808	-8,3115	23,4766

Tabelle 10: SP10 Daten

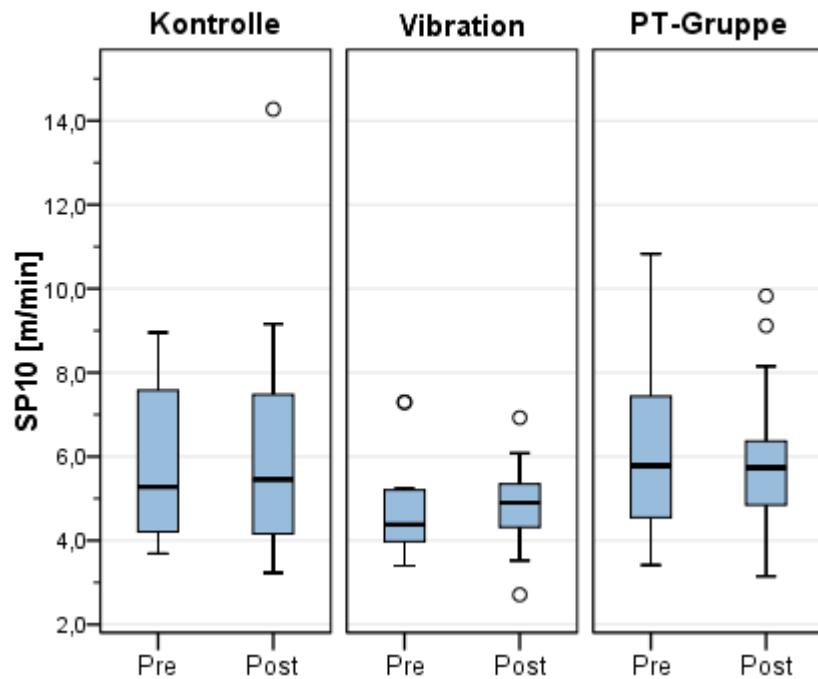


Abbildung 23: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SP10

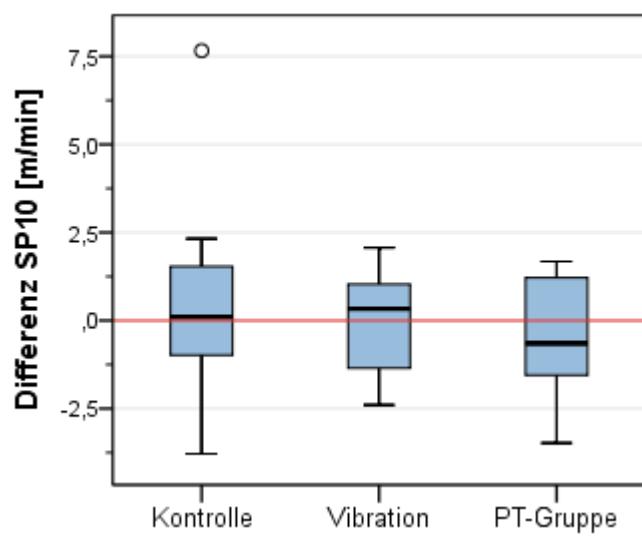


Abbildung 24: Vergleich der Gruppendifferenzen SP10

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung.

Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 11 aufgelistet. Im Kruskal-Wallis-Test zeigten sich keine signifikanten Gruppenunterschiede (p-Wert  $\geq 0,05$ ).

### 3.11 Veränderungen zwischen Pre- und Posttest für SP1 – SP10

	P-Wert (SP1)	P-Wert (SP2)	P-Wert (SP3)	P-Wert (SP4)	P-Wert (SP5)	P-Wert (SP6)	P-Wert (SP7)	P-Wert (SP8)	P-Wert (SP9)	P-Wert (SP10)
<b>Kontrolle</b>	0,433	0,551	0,826	0,875	0,975	0,875	0,433	0,221	0,140	0,730
<b>Vibration</b>	0,470	0,638	0,433	0,925	0,925	0,245	0,975	0,433	0,064	0,778
<b>PT</b>	0,064	0,638	0,198	0,300	0,096	0,035	0,124	0,109	0,594	0,551

Tabelle 11: p-Werte SP1-10

### 3.12 Auswertung RMS1 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	RMS1 Pre [mm]	14	5,1069	1,84859	2,31	8,97	4,0842	5,0296	5,7617
	RMS1 Post [mm]	14	6,2833	2,90367	3,09	13,34	3,8832	5,9824	6,9836
	Differenz RMS1 [mm]	14	1,1764	2,36918	-3,24	5,82	-0,8805	0,8079	2,9081
	%-Veränderung RMS1	14	29,1350	49,21089	-50,43	122,40	-14,0803	25,6981	54,4699
Vibration	RMS1 Pre [mm]	14	4,9417	1,52042	3,43	7,88	3,8028	4,0721	5,9290
	RMS1 Post [mm]	14	5,1656	1,39009	3,37	8,01	4,0676	4,8973	6,5924
	Differenz RMS1 [mm]	14	0,2239	1,92984	-3,65	3,93	-1,0864	0,3110	1,3004
	%-Veränderung RMS1	14	11,5772	39,24962	-46,34	96,28	-18,7040	7,4914	33,4933
PT-Gruppe	RMS1 Pre [mm]	14	5,5173	1,55303	3,78	8,36	4,1407	5,2221	6,4849
	RMS1 Post [mm]	14	4,5180	1,55359	2,82	8,92	3,5140	4,1402	5,1052
	Differenz RMS1 [mm]	14	-0,9993	1,83806	-4,14	3,73	-1,9482	-1,2671	-0,1488
	%-Veränderung RMS1	14	-15,0167	30,13970	-49,47	71,93	-36,5780	-20,2710	-3,9345

Tabelle 12:RMS1 Daten

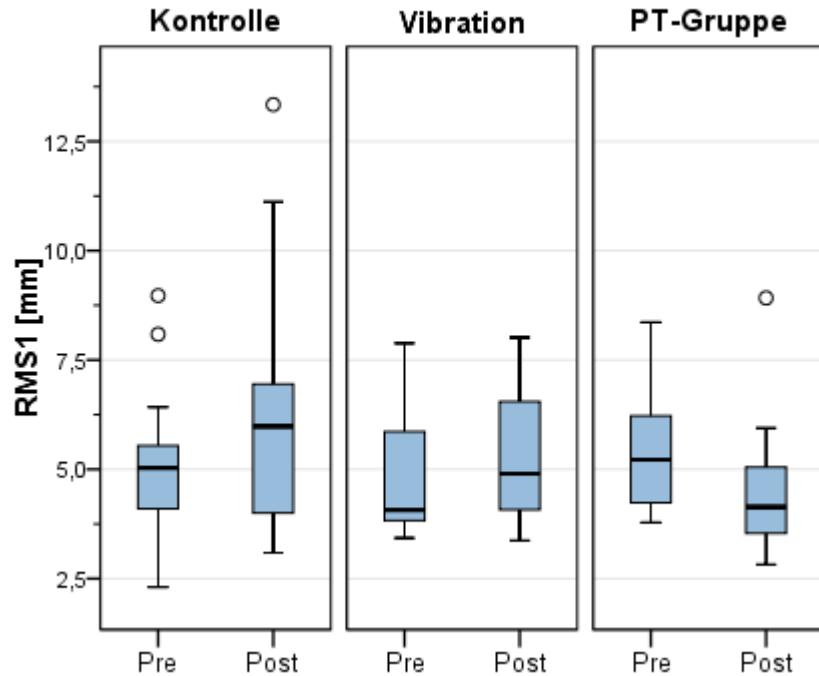


Abbildung 25: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS1

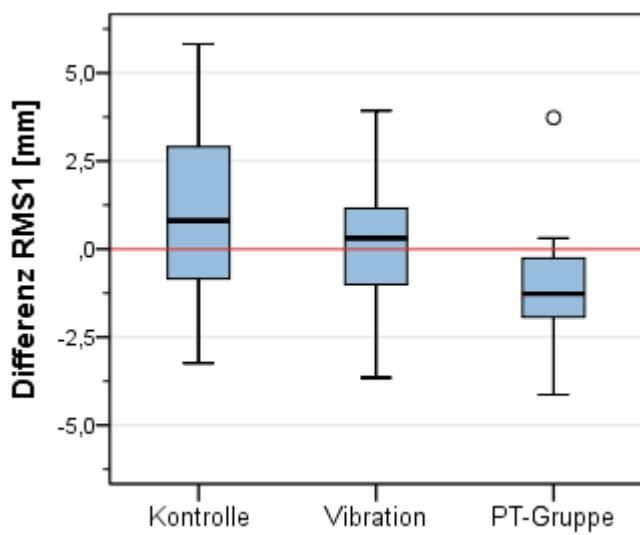


Abbildung 26: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS1

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. Signifikante Veränderung zwischen Pre- und Posttest waren nur in der PT-Gruppe nachweisbar. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 22 aufgelistet. In Bezug

auf die PT-Gruppe lag der p-Wert bei 0,026. Im Gruppenvergleich waren ebenfalls signifikante Unterschiede in der absoluten Differenz und in der prozentualen Veränderung nachweisbar. Die p-Werte betrugen hier 0,013 für die absolute Differenz und 0,017 für die prozentuale Veränderung. Für diese Testpunkte erfolgten Post-hoc-Paarvergleiche mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests. Zu beiden Testzeitpunkten konnten signifikante Unterschiede zwischen der Kontroll- und der PT-Gruppe sowie zwischen der PT- und der Vibrationsgruppe ermittelt werden. Im Bereich der absoluten Differenz lagen die p-Werte bei 0,005 bzw. 0,048. Hinsichtlich der prozentualen Veränderung lagen diese bei 0,009 im Vergleich der PT-Gruppe zur Kontrollgruppe. Bei der Vibrationsgruppe verglichen mit der PT-Gruppe lag der p-Wert bei 0,043.

### 3.13 Auswertung RMS2 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	RMS2 Pre [mm]	14	5,9690	2,40482	2,70	11,77	4,3951	5,6265	6,3522
	RMS2 Post [mm]	14	6,3786	1,95195	3,85	9,55	4,7717	5,9566	8,1934
	Differenz RMS2 [mm]	14	0,4096	2,09549	-2,90	3,09	-0,7593	-0,4354	2,7301
	%-Veränderung RMS2	14	16,4465	43,52543	-42,49	107,19	-13,3515	-6,2651	51,3025
Vibration	RMS2 Pre [mm]	14	5,7606	2,56115	2,39	12,84	4,2967	5,4146	6,7409
	RMS2 Post [mm]	14	5,5554	1,38729	2,96	8,39	4,7149	5,5652	6,4731
	Differenz RMS2 [mm]	14	-0,2053	2,35060	-7,64	1,36	-1,2477	0,7462	1,0521
	%-Veränderung RMS2	14	5,8433	26,50651	-59,50	36,39	-18,2593	13,6318	25,1858
PT-Gruppe	RMS2 Pre [mm]	14	6,1682	2,17134	2,44	11,29	4,9390	5,9671	7,3836
	RMS2 Post [mm]	14	6,0058	2,74926	3,02	12,76	3,8423	4,9384	7,4046
	Differenz RMS2 [mm]	14	-0,1624	1,91766	-3,58	2,23	-2,1999	0,0916	1,6048
	%-Veränderung RMS2	14	-0,1673	31,26877	-54,25	43,91	-33,2959	3,0613	29,7842

Tabelle 13: RMS2 Daten

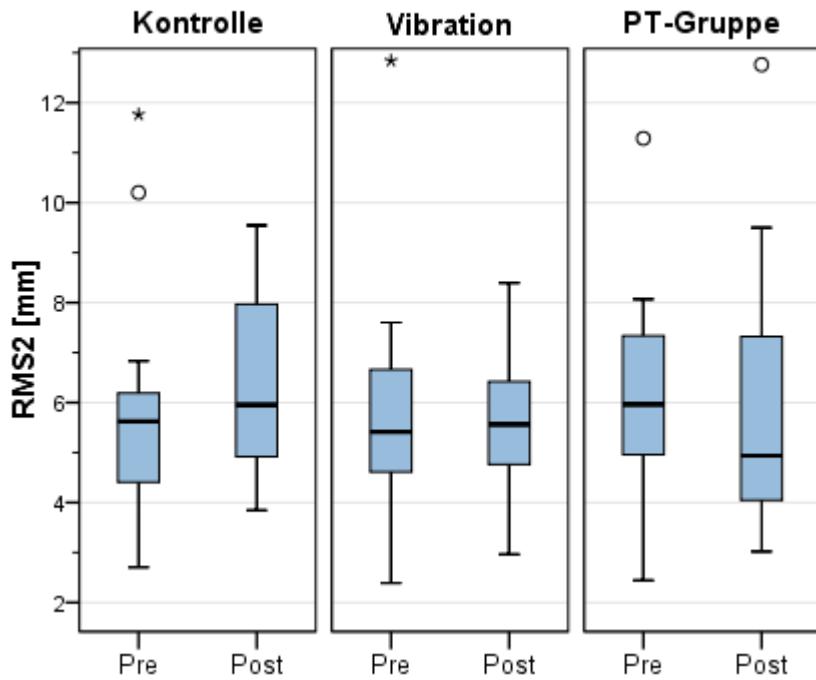


Abbildung 27: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS2

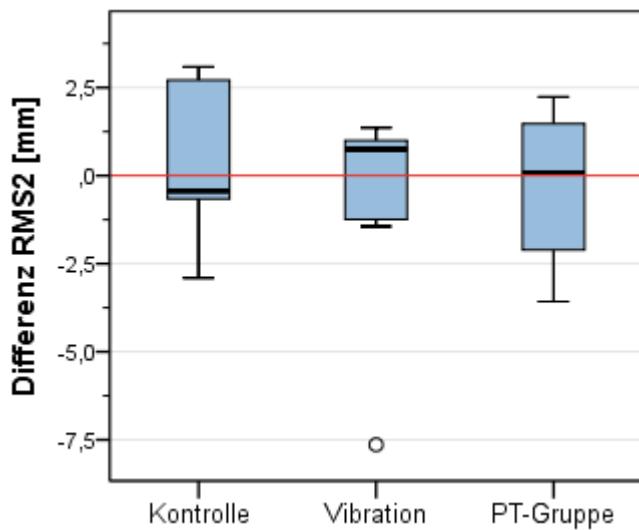


Abbildung 28: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS2

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 22 aufgelistet. Es waren keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar (Kruskal-Wallis-Test, p-Wert  $\geq 0,05$ ).

### 3.14 Auswertung RMS3 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	RMS3 Pre [mm]	14	4,2891	1,73523	2,31	8,62	2,8807	4,0717	5,3811
	RMS3 Post [mm]	14	5,5857	1,72291	2,66	9,03	4,2303	5,5308	6,8816
	Differenz RMS3 [mm]	14	1,2966	2,45895	-4,25	6,07	0,3840	0,9964	2,8990
	%-Veränderung RMS3	14	47,7126	73,12922	-49,24	205,58	8,8876	21,3734	82,3967
Vibration	RMS3 Pre [mm]	14	5,1104	1,70335	2,83	9,11	3,6604	5,1945	6,1670
	RMS3 Post [mm]	14	4,7233	0,99708	3,36	6,40	4,0265	4,4902	5,4814
	Differenz RMS3 [mm]	14	-0,3871	1,59040	-2,92	3,10	-1,6552	-0,6078	0,7650
	%-Veränderung RMS3	14	0,2607	36,07422	-37,92	93,64	-28,0766	-9,9306	19,6095
PT-Gruppe	RMS3 Pre [mm]	14	5,7758	2,13399	2,68	11,02	4,4115	5,4342	7,1469
	RMS3 Post [mm]	14	4,9342	1,84574	2,55	9,66	3,7733	4,4502	6,0071
	Differenz RMS3 [mm]	14	-0,8416	2,57882	-7,19	4,16	-1,9328	-0,4786	0,6236
	%-Veränderung RMS3	14	-8,4543	34,33790	-65,27	75,72	-30,4978	-11,9074	12,8858

Tabelle 14: RMS3 Daten

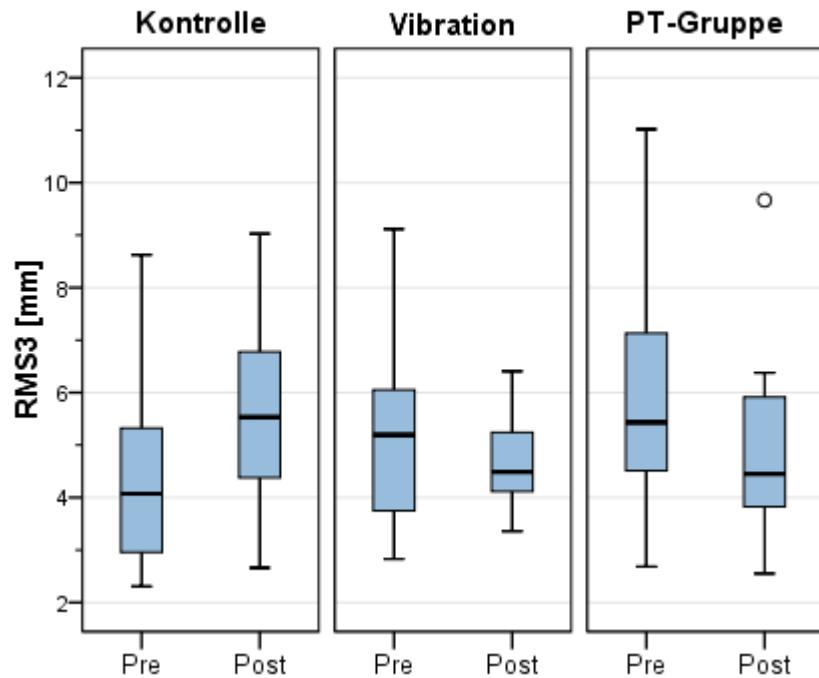


Abbildung 29: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS3

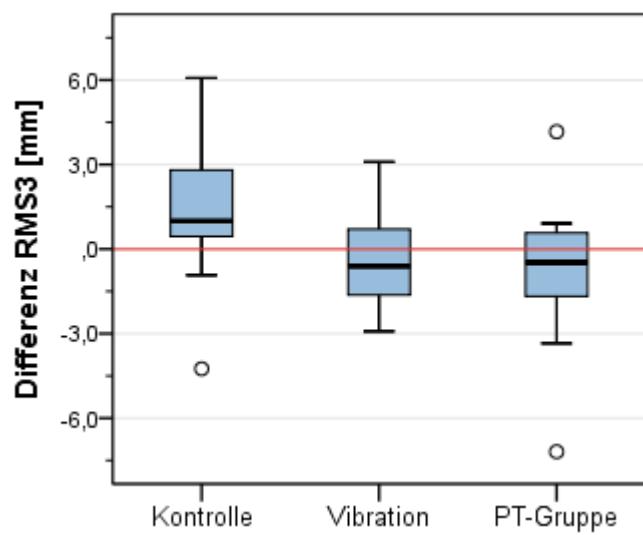


Abbildung 30: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS3

Es sind signifikante Abweichungen von einer Normalverteilung nur in der prozentualen Veränderung nachweisbar. Diese Werte wurden mit nicht-parametrischen Tests analysiert. Bei allen anderen Parametern wurden parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In

keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im t-Test für verbundene Stichproben errechneten p-Werte sind in Tabelle 22 aufgelistet.

In der Varianzanalyse zeigten sich signifikante Gruppenunterschiede in der absoluten Differenz (p-Wert = 0,04). Für diesen Parameter erfolgten Post-hoc-Paarvergleiche mittels des Tukey-Tests. Hier zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontroll- und PT-Gruppe (p-Wert 0,042). Im Kruskal-Wallis-Test, der für die prozentuale Veränderung angewendet wurde, ergab sich ein globaler signifikanter Unterschied in den Gruppen (p-Wert = 0,014). Daraufhin wurde ein Post-hoc-Paarvergleich durch den Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Hier zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontroll- und Vibrationsgruppe (p-Wert = 0,022). Des Weiteren zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontroll- und PT-Gruppe (p-Wert = 0,008), zwischen der Vibrations- und der PT-Gruppe zeigte sich kein signifikanter Unterschied (p-Wert = 0,581).

### 3.15 Auswertung RMS4 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	RMS4 Pre [mm]	14	6,2004	2,95314	3,03	12,49	3,7561	5,1069	9,0263
	RMS4 Post [mm]	14	6,3165	2,25616	3,29	9,86	4,1794	6,3300	8,2303
	Differenz RMS4 [mm]	14	0,1161	1,68580	-2,84	3,05	-1,3899	0,3278	1,6650
	%-Veränderung RMS4	14	8,2947	26,54638	-25,41	60,46	-16,8703	8,1255	30,3607
Vibration	RMS4 Pre [mm]	14	6,6305	2,18619	2,51	10,74	4,6291	6,8776	8,1333
	RMS4 Post [mm]	14	5,6475	1,52945	3,35	8,40	4,4404	5,7328	6,6385
	Differenz RMS4 [mm]	14	-0,9829	2,24052	-6,07	2,61	-2,2733	-0,8678	0,5846
	%-Veränderung RMS4	14	-7,5572	31,83770	-56,52	45,23	-32,3079	-11,0029	16,3220
PT-Gruppe	RMS4 Pre [mm]	14	7,5159	3,82732	2,56	16,39	4,9709	6,3147	9,2155
	RMS4 Post [mm]	14	6,3434	2,79875	2,51	14,34	4,6220	6,0845	7,0854
	Differenz RMS4 [mm]	14	-1,1725	2,12276	-6,04	1,74	-2,2563	-1,1316	0,7506
	%-Veränderung RMS4	14	-10,1459	24,35691	-42,49	34,53	-27,6507	-17,1592	11,9158

Tabelle 15: RMS4 Daten

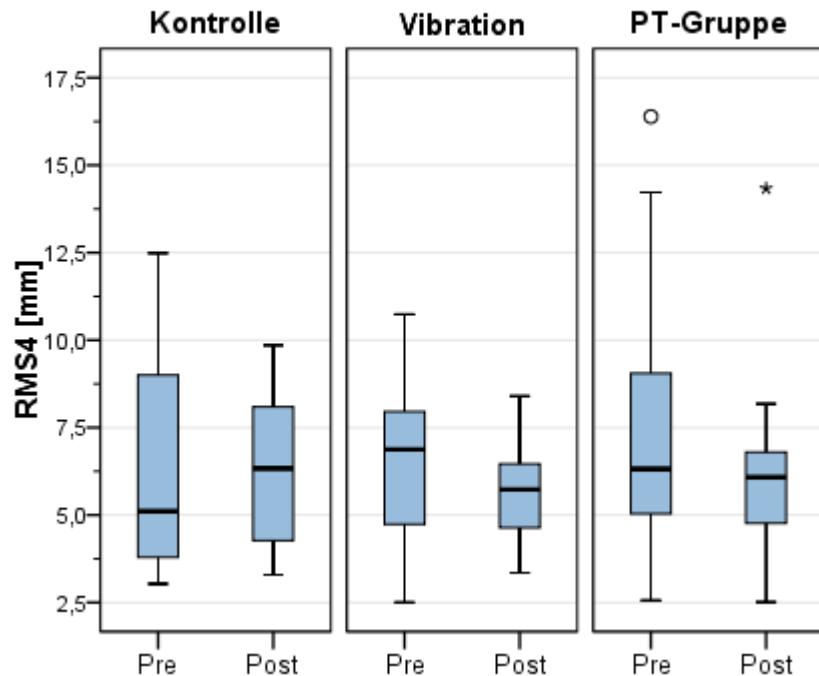


Abbildung 31: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS4

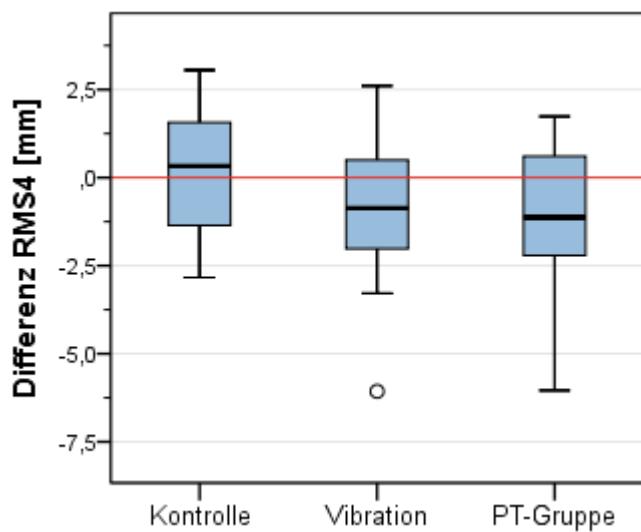


Abbildung 32: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS4

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 22 aufgelistet. Im Kruskal-Wallis-Test waren keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar (p-Wert  $\geq 0,05$ ).

### 3.16 Auswertung RMS5 in der Posturographie

Gruppe		N	Deskriptive Statistiken					Perzentile		
			Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	25.	50. (Median)	75.	
<b>Kontrolle</b>	RMS5 Pre [mm]	14	9,1175	3,22652	5,72	15,41	7,0457	7,6124	10,7109	
	RMS5 Post [mm]	14	9,6418	3,86622	4,41	19,05	7,3775	8,9587	10,9804	
	Differenz RMS5 [mm]	14	0,5243	2,11571	-3,17	4,04	-0,9720	0,5630	2,0599	
	%-Veränderung RMS5	14	6,6488	24,99527	-31,25	57,79	-13,7433	6,1399	25,4267	
<b>Vibration</b>	RMS5 Pre [mm]	14	8,7992	1,42605	6,94	11,82	7,7112	8,2376	10,2324	
	RMS5 Post [mm]	14	9,3016	2,53737	6,20	12,91	7,2932	8,2584	12,2285	
	Differenz RMS5 [mm]	14	0,5024	2,43011	-3,30	4,86	-1,8539	0,6334	2,1245	
	%-Veränderung RMS5	14	6,8806	29,05091	-34,73	63,43	-20,0805	8,7983	25,2509	
<b>PT-Gruppe</b>	RMS5 Pre [mm]	14	9,5816	1,67806	7,76	14,09	8,0470	9,4710	10,3078	
	RMS5 Post [mm]	14	8,4320	1,51846	6,44	10,92	7,1069	8,1395	9,8028	
	Differenz RMS5 [mm]	14	-1,1496	2,48735	-6,80	2,61	-2,6715	-1,3201	1,0657	
	%-Veränderung RMS5	14	-9,2790	23,58698	-48,24	33,61	-26,4122	-14,0476	11,5443	

Tabelle 16: RMS5 Daten

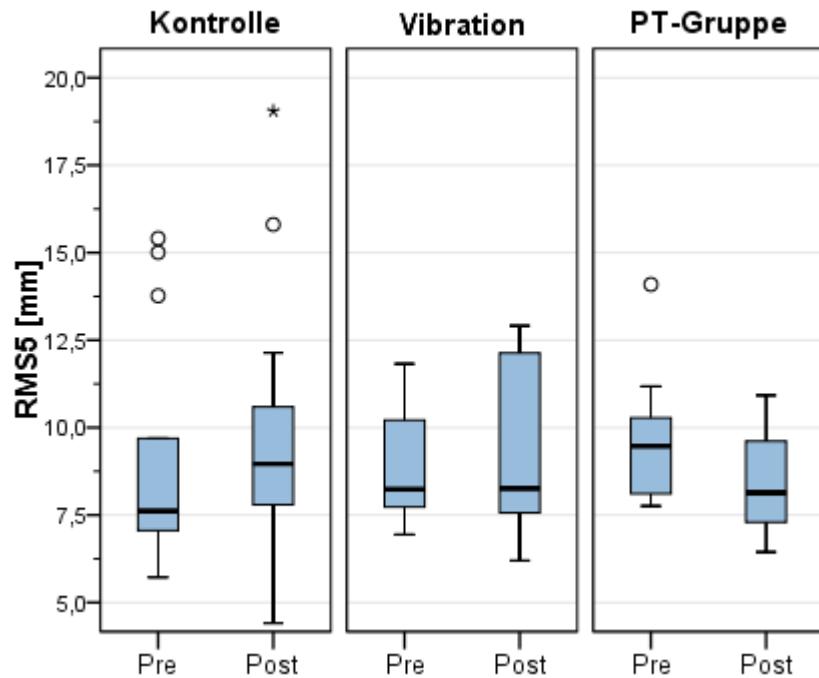


Abbildung 33: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS5

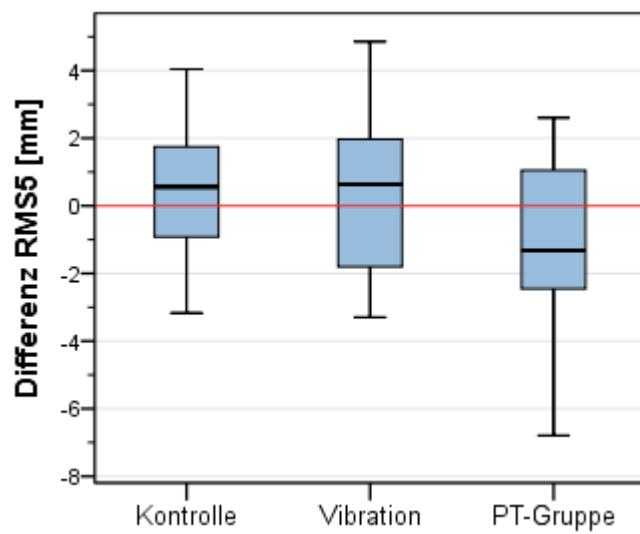


Abbildung 34: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS5

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 22 aufgelistet. Im Kruskal-Wallis-Test waren keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar (p-Wert  $\geq 0,05$ ).

### 3.17 Auswertung RMS6 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	RMS6 Pre [mm]	14	18,4099	6,55857	10,18	35,01	14,0283	16,1768	22,0168
	RMS6 Post [mm]	14	17,1477	2,71131	11,08	21,43	15,6888	17,5656	19,5492
	Differenz RMS6 [mm]	14	-1,2622	5,64329	-17,16	3,67	-4,4250	1,2126	2,3068
	%-Veränderung RMS6	14	-0,4781	22,18168	-49,02	23,12	-18,0103	9,2114	15,9537
Vibration	RMS6 Pre [mm]	14	15,0141	2,68454	11,28	19,16	12,4256	15,6141	17,6802
	RMS6 Post [mm]	14	15,4796	3,08830	10,31	20,98	13,1820	15,1061	18,5516
	Differenz RMS6 [mm]	14	0,4655	2,95593	-3,89	4,24	-2,4646	0,7678	3,4347
	%-Veränderung RMS6	14	4,6811	20,52716	-24,13	32,64	-17,1063	5,3768	21,8394
PT-Gruppe	RMS6 Pre [mm]	14	18,2244	2,91014	14,48	23,28	15,5509	17,8858	20,8593
	RMS6 Post [mm]	14	16,4299	2,25579	11,14	21,21	14,9220	16,3967	17,5650
	Differenz RMS6 [mm]	14	-1,7945	3,20012	-6,13	3,59	-4,9316	-1,5675	0,2513
	%-Veränderung RMS6	14	-8,2851	16,76324	-27,26	23,89	-25,5437	-9,1229	1,4746

Tabelle 17: RMS6 Daten

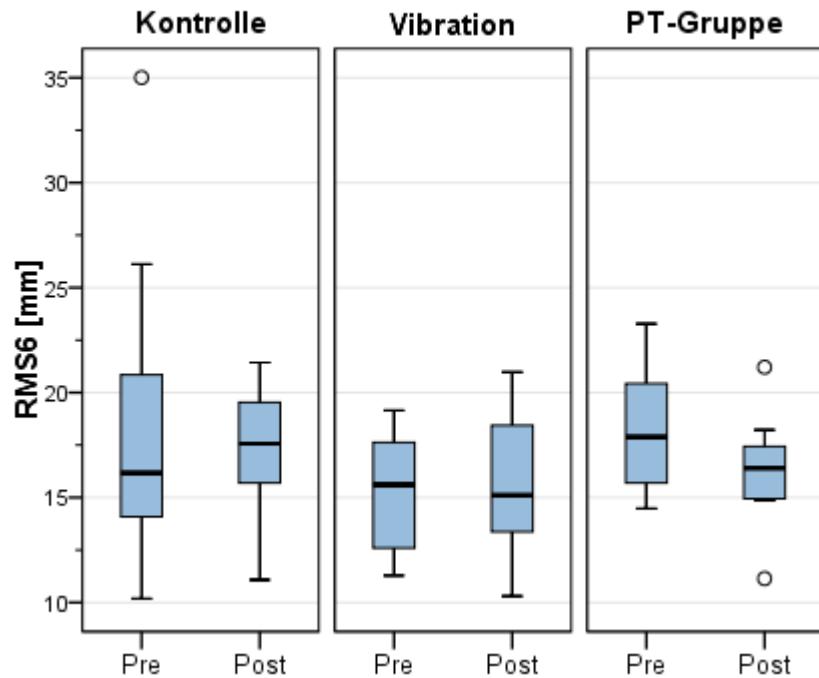


Abbildung 35: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS6

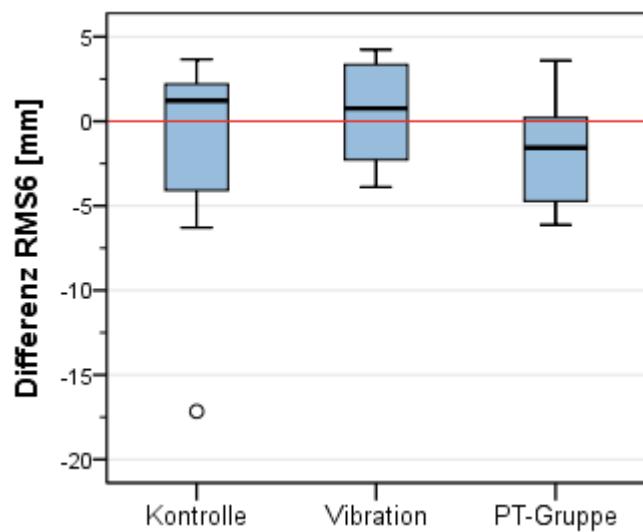


Abbildung 36: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS6

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 22 aufgelistet. Im Kruskal-Wallis-Test waren keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar (p-Wert  $\geq 0,05$ ).

### 3.18 Auswertung RMS7 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	RMS7 Pre [mm]	14	8,7024	2,56931	5,27	14,69	7,1683	8,4862	9,1526
	RMS7 Post [mm]	14	9,5510	3,87731	5,41	19,93	7,2219	8,5190	10,8523
	Differenz RMS7 [mm]	14	0,8487	2,64123	-2,05	6,56	-1,1643	0,3320	2,5881
	%-Veränderung RMS7	14	11,3472	34,58716	-27,49	99,81	-13,9583	3,2700	36,3895
Vibration	RMS7 Pre [mm]	14	8,1158	2,50063	4,11	14,06	6,4958	7,5831	9,9254
	RMS7 Post [mm]	14	8,4848	2,45304	5,26	13,54	6,7853	7,6059	10,2405
	Differenz RMS7 [mm]	14	0,3690	2,22341	-3,83	3,33	-1,7205	0,1281	2,6667
	%-Veränderung RMS7	14	8,4702	27,94479	-27,22	48,02	-19,4323	2,7563	36,1805
PT-Gruppe	RMS7 Pre [mm]	14	8,6491	1,65252	5,66	11,37	7,4101	8,9152	9,7012
	RMS7 Post [mm]	14	8,0184	1,40512	6,21	10,49	6,8496	7,6681	9,3694
	Differenz RMS7 [mm]	14	-0,6307	2,06556	-3,38	3,47	-2,3782	-1,0947	0,7519
	%-Veränderung RMS7	14	-4,2502	24,37632	-30,46	49,39	-24,6674	-10,6591	10,6153

Tabelle 18: RMS7 Daten

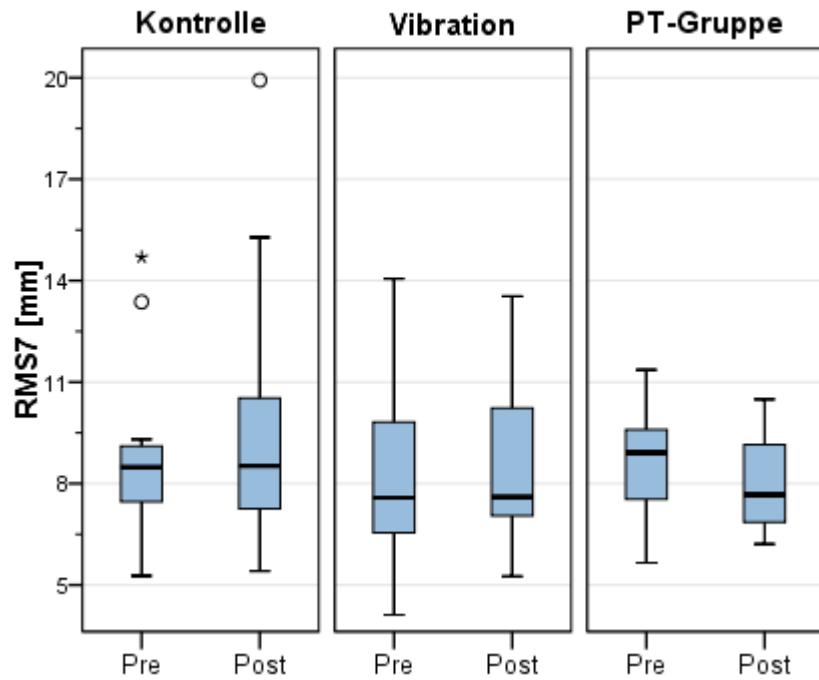


Abbildung 37: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS7

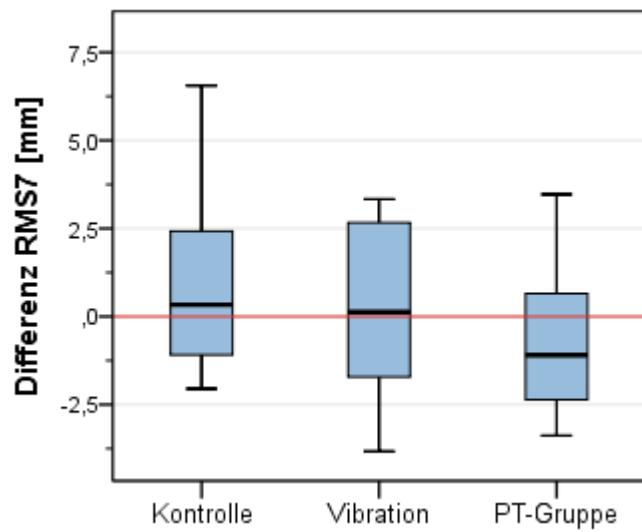


Abbildung 38: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS7

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 22 aufgelistet. Im Kruskal-Wallis-Test waren keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar (p-Wert  $\geq 0,05$ ).

### 3.19 Auswertung RMS8 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	RMS8 Pre [mm]	14	26,3041	12,15423	12,58	44,25	15,6394	22,1556	39,6536
	RMS8 Post [mm]	14	22,0805	7,22497	10,21	35,65	15,8822	21,7820	25,4407
	Differenz RMS8 [mm]	14	-4,2236	9,45477	-20,62	11,18	-10,1586	-3,5941	4,8917
	%-Veränderung RMS8	14	-5,2214	39,20321	-52,87	79,59	-29,2287	-19,1351	27,3839
Vibration	RMS8 Pre [mm]	14	22,5965	10,52337	12,38	50,33	14,5035	20,9361	24,8518
	RMS8 Post [mm]	14	19,6029	4,55313	12,25	26,38	17,0027	18,8921	23,7524
	Differenz RMS8 [mm]	14	-2,9936	10,25384	-28,66	8,02	-3,6506	-1,6377	4,4546
	%-Veränderung RMS8	14	-2,4697	33,15657	-56,94	55,29	-16,0552	-10,2277	24,0665
PT-Gruppe	RMS8 Pre [mm]	14	23,5911	6,09043	14,57	37,67	18,7915	23,1158	25,4989
	RMS8 Post [mm]	14	21,4018	6,54383	13,12	33,25	16,2701	19,7677	25,7571
	Differenz RMS8 [mm]	14	-2,1894	8,97859	-21,85	11,22	-6,9306	-0,6493	3,7106
	%-Veränderung RMS8	14	-5,1228	30,94328	-58,01	51,79	-28,2093	-3,0377	16,8006

Tabelle 19: RMS8 Daten

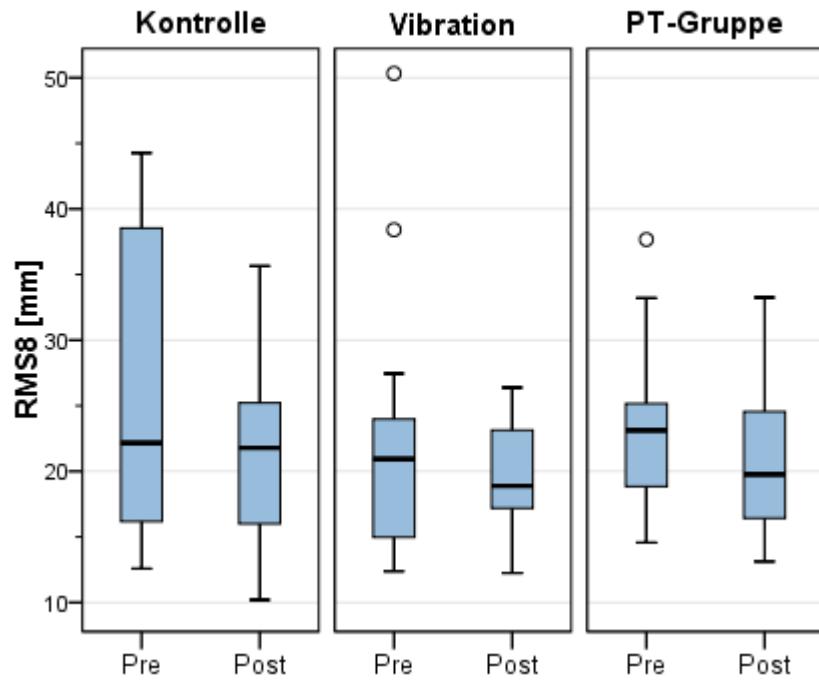


Abbildung 39: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS8

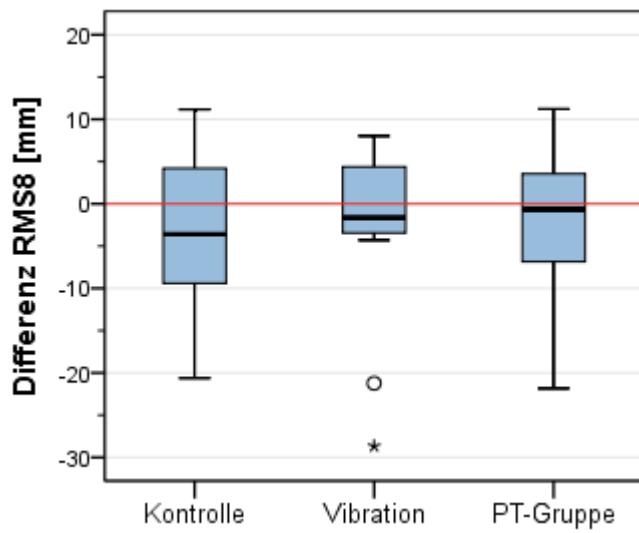


Abbildung 40: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS8

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 22 aufgelistet. Im Kruskal-Wallis-Test sind keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar ( $p$ -Wert  $\geq 0,05$ ).

### 3.20 Auswertung RMS9 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	RMS9 Pre [mm]	14	11,0552	7,40094	5,01	34,96	7,2521	8,8263	12,9995
	RMS9 Post [mm]	14	10,1891	4,89113	5,80	22,87	6,9023	7,9570	12,3437
	Differenz RMS9 [mm]	14	-0,8661	4,55806	-12,09	4,64	-3,0486	-0,2527	3,3691
	%-Veränderung RMS9	14	2,4112	38,80319	-43,29	92,61	-30,7574	-3,4843	26,3293
Vibration	RMS9 Pre [mm]	14	9,7113	3,15396	4,87	16,14	7,0706	9,2955	11,7087
	RMS9 Post [mm]	14	10,6008	4,78614	5,43	24,80	7,8694	9,1787	11,3941
	Differenz RMS9 [mm]	14	0,8895	5,60249	-6,24	17,91	-2,1079	0,5323	2,4289
	%-Veränderung RMS9	14	19,0157	73,56129	-38,64	259,83	-19,2172	4,8857	28,3796
PT-Gruppe	RMS9 Pre [mm]	14	11,3733	4,62037	6,96	23,46	8,3211	9,7342	13,8046
	RMS9 Post [mm]	14	9,8846	2,31919	6,60	15,24	8,2504	9,3478	11,5100
	Differenz RMS9 [mm]	14	-1,4887	3,25010	-8,22	2,87	-3,5586	-1,4155	1,3672
	%-Veränderung RMS9	14	-6,7109	25,24490	-35,03	34,66	-29,1417	-14,1822	19,5195

Tabelle 20: RMS9 Daten

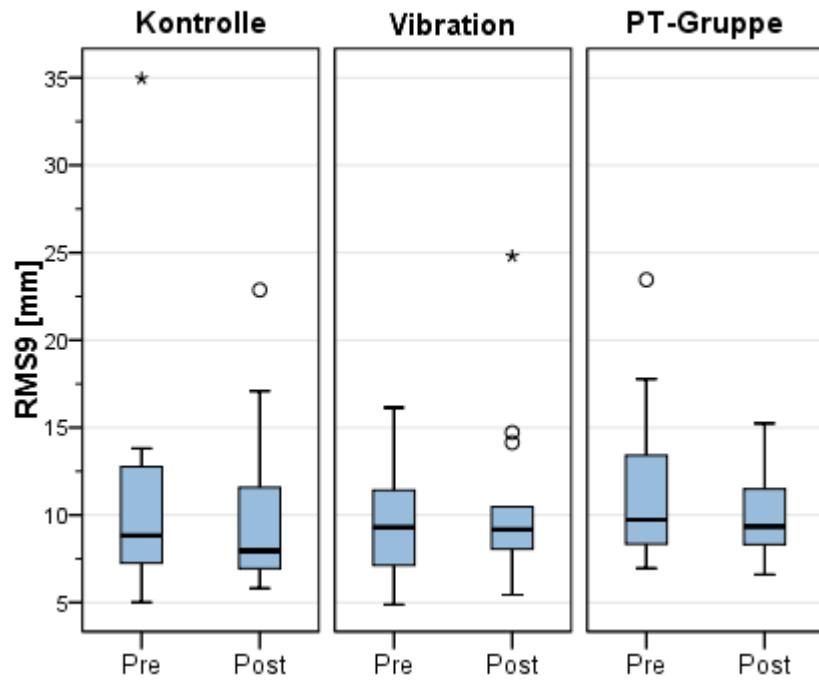


Abbildung 41: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS9

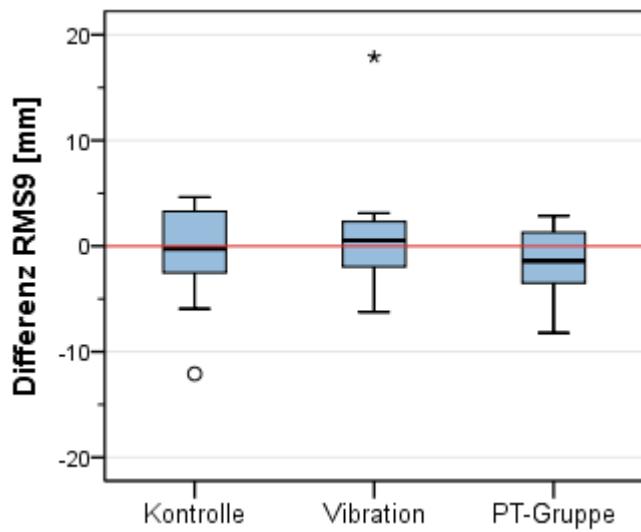


Abbildung 42: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS9

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 22 aufgelistet. Im Kruskal-Wallis-Test waren keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar (p-Wert  $\geq 0,05$ ).

### 3.21 Auswertung RMS10 in der Posturographie

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	RMS10 Pre [mm]	14	25,9851	8,49119	12,92	40,17	18,5402	25,2676	32,2413
	RMS10 Post [mm]	14	23,8572	9,83316	13,73	53,69	17,5245	21,9474	26,3110
	Differenz RMS10 [mm]	14	-2,1279	8,31546	-16,00	13,52	-7,3030	-2,2405	2,2253
	%-Veränderung RMS10	14	-3,6592	34,88743	-43,22	85,08	-27,4962	-10,9055	11,3990
Vibration	RMS10 Pre [mm]	14	20,8764	6,85534	11,22	35,09	16,3572	19,4385	23,2457
	RMS10 Post [mm]	14	21,4218	7,32889	12,92	41,55	16,1635	19,7126	24,7215
	Differenz RMS10 [mm]	14	0,5454	8,76561	-18,89	15,14	-3,1141	1,2750	7,3194
	%-Veränderung RMS10	14	8,8231	35,85180	-53,84	59,39	-15,1453	7,6738	51,4441
PT-Gruppe	RMS10 Pre [mm]	14	26,3377	8,99563	15,11	42,20	18,5496	24,4865	33,4647
	RMS10 Post [mm]	14	22,3039	8,16564	9,84	39,71	14,9673	21,4839	28,6653
	Differenz RMS10 [mm]	14	-4,0337	10,00321	-21,45	8,82	-14,7448	-0,9319	4,8690
	%-Veränderung RMS10	14	-9,0986	35,58859	-60,89	55,57	-44,4557	-3,7737	19,2994

Tabelle 21: RMS 10 Daten

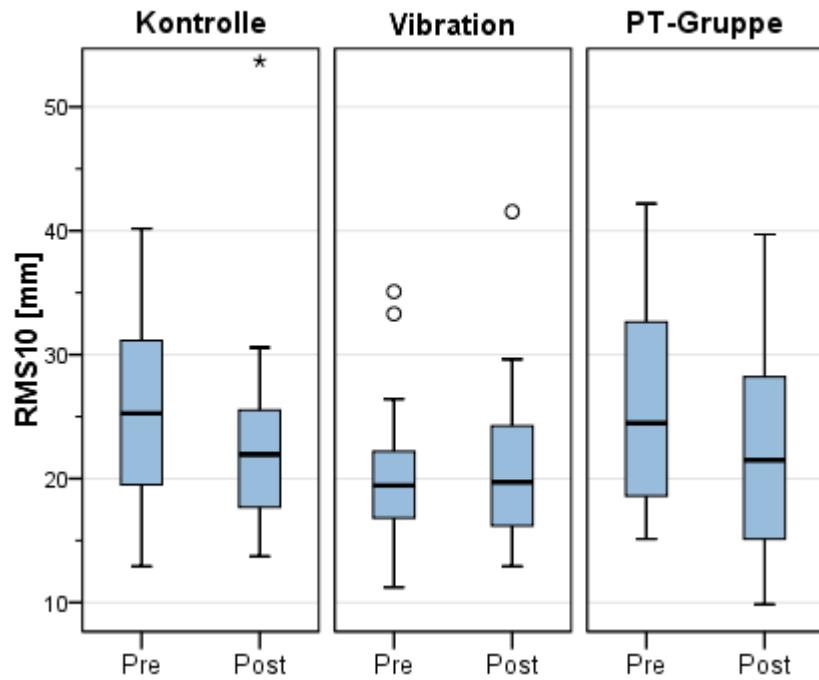


Abbildung 43: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest RMS10

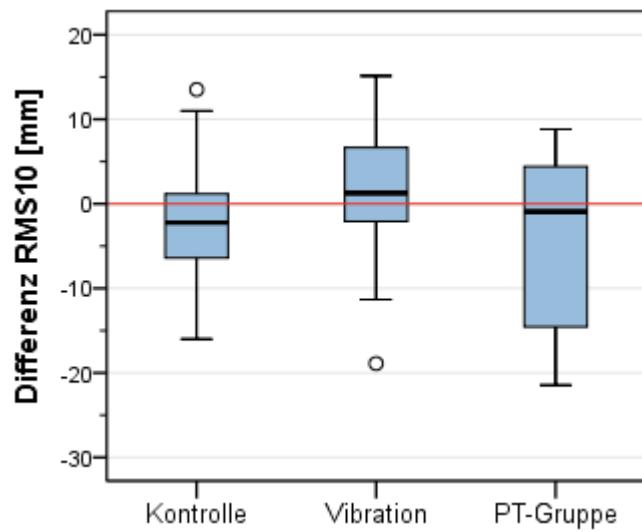


Abbildung 44: Vergleich der Gruppendifferenzen RMS10

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. In keiner der drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung. Die im Wilcoxon-Test für Paardifferenzen errechneten p-Werte sind in Tabelle 22 aufgelistet. Im Kruskal-Wallis-Test sind keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar ( $p$ -Wert  $\geq 0,05$ ).

### 3.22 Veränderungen im Pre- und Posttest für RMS1 – RMS10

	P-Wert (RMS1)	P-Wert (RMS2)	P-Wert (RMS3)	P-Wert (RMS4)	P-Wert (RMS5)	P-Wert (RMS6)	P-Wert (RMS7)	P-Wert (RMS8)	P-Wert (RMS9)	P-Wert (RMS10)
<b>Kontrolle</b>	0,158	0,683	0,070	0,730	0,433	0,683	0,510	0,124	0,683	0,245
<b>Vibration</b>	0,683	0,683	0,379	0,124	0,470	0,594	0,510	0,638	0,730	0,594
<b>PT</b>	0,026	0,778	0,244	0,056	0,124	0,056	0,245	0,470	0,124	0,272

Tabelle 22: p- Werte RMS1- 10

### 3.23 Auswertung Functional Reach

Gruppe		Deskriptive Statistiken							
		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	FR Pre [cm]	14	39,7557	6,51051	29,30	53,67	34,3275	40,6500	43,5025
	FR Post [cm]	14	41,8757	6,63577	31,33	56,00	36,8300	41,9850	46,2500
	Differenz FR	14	2,1200	2,43433	-2,33	6,66	0,7500	1,7000	3,7550
	%-Veränderung FR	14	5,6036	6,36470	-6,30	15,61	2,0644	3,8293	11,0024
Vibration	FR Pre [cm]	14	39,0321	5,40616	32,17	51,67	35,1650	37,1700	42,7475
	FR Post [cm]	14	42,5721	5,54075	36,67	54,00	38,1650	41,8350	44,7500
	Differenz FR	14	3,5400	4,38325	-1,63	13,33	-0,0825	2,1650	6,9400
	%-Veränderung FR	14	9,7915	12,30798	-4,15	36,35	-0,1949	5,0582	16,6162
PT-Gruppe	FR Pre [cm]	14	42,6500	7,15268	32,00	53,00	35,4575	43,6650	48,5000
	FR Post [cm]	14	44,5714	6,33877	32,67	55,00	40,0000	46,1700	48,5000
	Differenz FR	14	1,9214	3,21511	-4,97	6,00	0,4175	2,1650	4,7750
	%-Veränderung FR	14	5,1710	8,12998	-9,50	16,42	0,8073	4,5870	13,3105

Tabelle 23: FR Daten

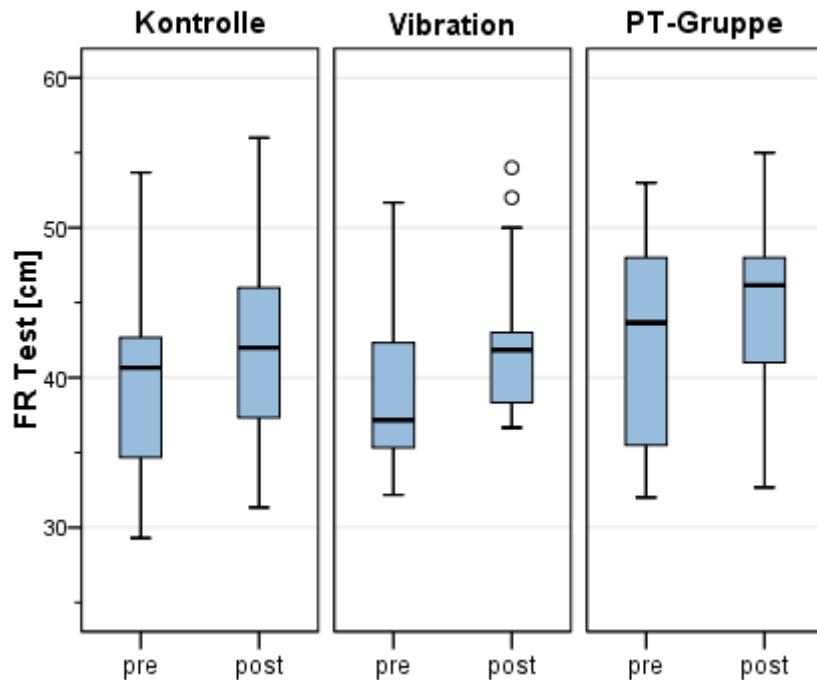


Abbildung 45: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest FR

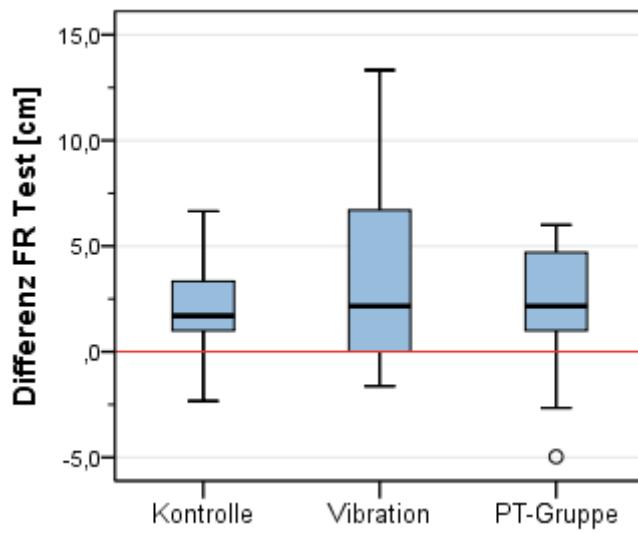


Abbildung 46: Vergleich der Gruppendifferenzen FR

Im Shapiro-Will-Test treten signifikante Abweichungen von einer Normalverteilung auf (p-Wert < 0,05). In den Boxplots zeigte sich eine schiefe Verteilung, was für eine nicht-parametrische Verteilung spricht, folglich kommen nicht-parametrische Verfahren zum Einsatz.

In der Kontrollgruppe und auch in der Vibrationsgruppe zeigten sich signifikante Verände-

rungen zwischen dem Pre- und dem Post-Wert. Der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen ergibt ein p-Wert von 0,010 für beide Gruppen. In der PT-Gruppe ließ sich keine signifikante Veränderung im FR nachweisen ( $p=0,055$ ). Signifikante Gruppenunterschiede sind weder in der Pre- und der Post-Messung, noch in der absoluten oder prozentualen Veränderung nachweisbar. Im Kruskal-Wallis-Test zeigten sich folgende p-Werte:

	FR Pre [cm]	FR Post [cm]	Differenz FR	%-Veränderung FR
Signifikanz / p-Werte	0,354	0,444	0,821	0,793

Tabelle 24: p-Werte Kruskal-Wallis-Test FR

### 3.24 Auswertung Single leg Stance

Gruppe		N	Deskriptive Statistiken					Perzentile	
			Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	25.		
Kontrolle	SLS Pretest [Sek]	14	13,5271	4,91282	3,75	24,90	11,0875	13,3000	15,9575
	SLS Post [Sek]	14	14,7721	10,91372	5,35	43,50	8,1250	11,4250	16,4275
	Differenz SLS	14	1,2450	11,16464	-13,85	30,60	-5,7875	-1,6250	6,0150
	%-Veränderung SLS	14	19,5914	85,53411	-55,62	237,21	-42,9773	-14,3891	86,9834
Vibration	SLS Pretest [Sek]	14	30,4857	30,73874	3,40	108,21	6,5325	19,3000	49,0650
	SLS Post [Sek]	14	32,9925	29,83172	5,17	113,25	14,0125	18,4050	46,9000
	Differenz SLS	14	2,5068	20,10085	-45,47	47,58	-3,5750	3,2750	9,5825
	%-Veränderung SLS	14	67,5520	124,46511	-70,50	359,37	-12,2112	18,2966	145,7143
PT-Gruppe	SLS Pretest [Sek]	14	19,9571	16,25365	2,00	55,80	6,3000	16,7500	29,8800
	SLS Post [Sek]	14	36,8229	31,10638	5,00	114,00	17,3700	27,1450	46,6125
	Differenz SLS	14	16,8657	20,51671	-7,50	58,20	2,7500	12,2750	29,0525
	%-Veränderung SLS	14	140,1512	191,74260	-23,26	762,73	31,5812	106,2637	160,0734

Tabelle 25: SLS Daten

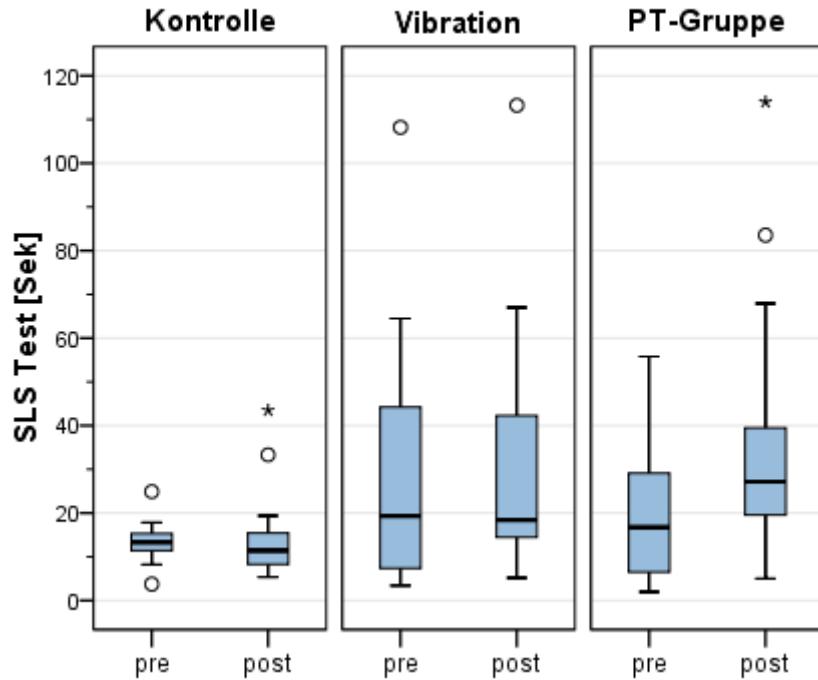


Abbildung 47: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest SLS

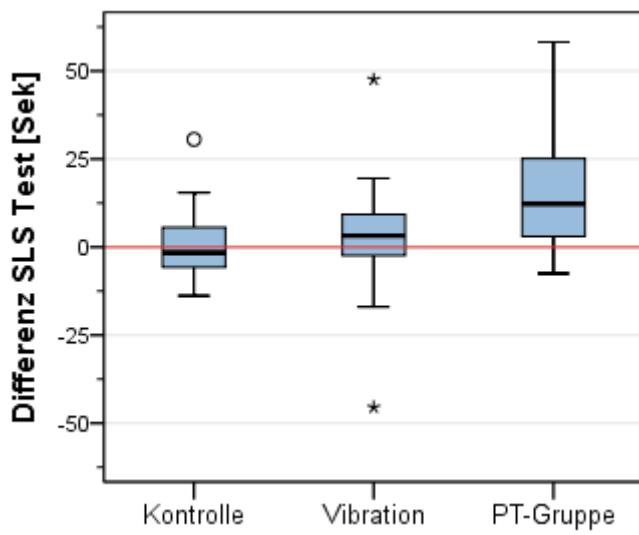


Abbildung 48: Vergleich der Gruppendifferenzen SLS

Es wurden nicht-parametrische Verfahren zur weiteren Analyse eingesetzt. Im Wilcoxon-Test zeigte sich in der PT-Gruppe eine signifikante Veränderung zwischen Pre- und Posttest ( $p$ -Wert = 0,005). Die  $p$ -Werte lagen bei 0,826 (Kontrolle) und bei 0,272 (Vibration).

Im Mann-Whitney-U-Test zeigten sich signifikante Gruppenunterschiede im SLS Post-Test, in der absoluten Differenz und auch in der prozentualen Veränderung. Die p-Werte sind in folgender Tabelle aufgeführt:

	SLS Pretest [Sek]	SLS Post [Sek]	Differenz SLS	%-Veränderung SLS
Signifikanz / p-Werte	0,577	0,021	0,041	0,018

Tabelle 26: p-Werte Kruskal-Wallis-Test SLS

Es folgten Post-hoc-Paarvergleiche für die einzelnen Parameter. Die jeweiligen p-Werte sind in Tabelle 27 aufgelistet.

Gruppenunterschied im Mann-Whitney-U-Test	SLS Posttest	Differenz SLS	%-Veränderung SLS
Kontrolle / Vibration	0,023	0,435	0,183
Kontrolle / PT- Gruppe	0,015	0,019	0,007
Vibration / PT- Gruppe	0,520	0,066	0,098

Tabelle 27: Post-hoc Mann-Whitney-U Test für alle Gruppen

Im Post-hoc-Paarvergleich zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontroll- und Vibrationsgruppe zum Zeitpunkt des Posttests. Im Vergleich der Kontrolle zur PT-Gruppe zeigten sich zu allen Zeitpunkten signifikante Unterschiede. Keine signifikanten Unterschiede zeigten sich beim Vergleich der Vibrations- und der PT-Gruppe.

### 3.25 Auswertung des MFT-S3

Gruppe		Deskriptive Statistiken							
		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	25.	50. (Median)	75.
<b>Kontrolle</b>	MFT-S3 Pre	14	3,9000	1,50282	1,30	5,80	2,3500	4,5000	5,0750
	MFT-S3 Post	14	3,8643	1,50773	1,10	5,60	2,6250	4,2000	5,1000
	Differenz MFT-S3	14	-0,0357	0,46011	-0,60	0,70	-0,4250	-0,2000	0,4250
	%-Veränderung MFT-S3	14	-0,9772	14,76937	-18,18	28,00	-13,7500	-5,4977	10,2717
<b>Vibration</b>	MFT-S3 Pre	14	4,0714	1,29105	1,60	6,00	3,3500	4,2000	5,1500
	MFT-S3 Post	14	4,0714	1,09293	2,00	5,50	3,0750	4,2500	4,9500
	Differenz MFT-S3	14	0,0000	0,73798	-1,50	1,40	-0,3500	0,0500	0,5000
	%-Veränderung MFT-S3	14	3,3899	18,12329	-25,00	37,84	-8,7871	1,8404	16,7151
<b>PT-Gruppe</b>	MFT-S3 Pre	14	3,5786	0,87370	2,00	4,60	2,8500	3,5000	4,3500
	MFT-S3 Post	14	3,3500	0,81595	2,20	4,90	2,6500	3,1000	4,0000
	Differenz MFT-S3	14	-0,2286	0,81281	-1,60	1,20	-0,5750	-0,3000	0,3000
	%-Veränderung MFT-S3	14	-3,1312	25,41943	-37,21	60,00	-18,5401	-8,3214	8,3004

Tabelle 28: MFT-S3 Daten

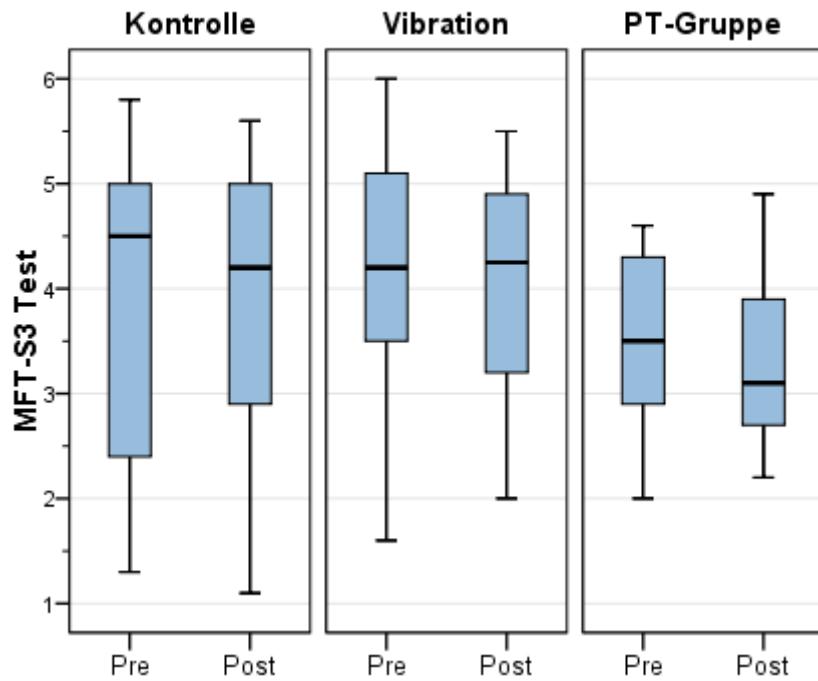


Abbildung 49: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest MFT-S3

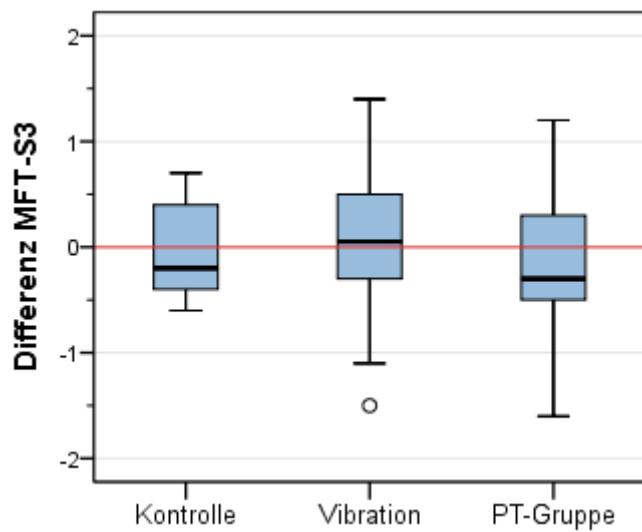


Abbildung 50: Vergleich der Gruppendifferenzen MFT-S3

Es ließen sich im Shapiro-Wilk-Test keine signifikanten Abweichungen von einer Normalverteilung nachweisen. Die weitere statistische Analyse erfolgte demnach mit parametrischen Methoden. Der t-Test für verbundene Stichproben zeigte in keiner der drei Gruppen eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung,  $p$ -Wert (Kontrolle) = 0,776,  $p$ -

Wert (Vibration) = 1,0 und der p-Wert (PT-Gruppe) = 0,312. In der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigte sich zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Gruppenunterschied. Die p-Werte der ANOVA sind in folgender Tabelle dargestellt:

	MFT-S3 Pre	MFT-S3 Post	Differenz MFT-S3	%-Veränderung MFT-S3
Signifikanz / p-Werte	0,575	0,258	0,642	0,681

Tabelle 29: p-Werte Varianzanalyse MFT-S3

### 3.26 Auswertung Maximalkraft im Single two leg Jump

Gruppe		N	Deskriptive Statistiken					
			Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	25.	50. (Median)
<b>Kontrolle</b>	Fmax Pre [kN]	14	1,6814	0,49705	0,88	2,68	1,3025	1,6367
	Fmax Post [kN]	14	1,6702	0,43880	0,94	2,51	1,3117	1,6283
	Differenz Fmax [kN]	14	-0,0112	0,11725	-0,21	0,21	-0,1075	0,0050
	%-Veränderung Fmax	14	0,3973	6,99809	-8,87	12,50	-6,5834	0,2591
<b>Vibration</b>	Fmax Pre [kN]	14	1,6090	0,35186	1,14	2,31	1,2542	1,5817
	Fmax Post [kN]	14	1,6176	0,31649	1,20	2,26	1,2900	1,6800
	Differenz Fmax [kN]	14	0,0086	0,16544	-0,22	0,40	-0,0758	-0,0083
	%-Veränderung Fmax	14	1,3962	10,48156	-11,21	26,98	-4,7179	-0,7130
<b>PT-Gruppe</b>	Fmax Pre [kN]	14	1,6790	0,34778	0,95	2,12	1,4658	1,7033
	Fmax Post [kN]	14	1,6321	0,30807	1,15	2,03	1,3958	1,5867
	Differenz Fmax [kN]	14	-0,0469	0,14169	-0,33	0,20	-0,1208	-0,0233
	%-Veränderung Fmax	14	-1,7390	9,77605	-19,65	21,40	-6,9087	-1,4167

Tabelle 30:  $F_{\max}$  Daten

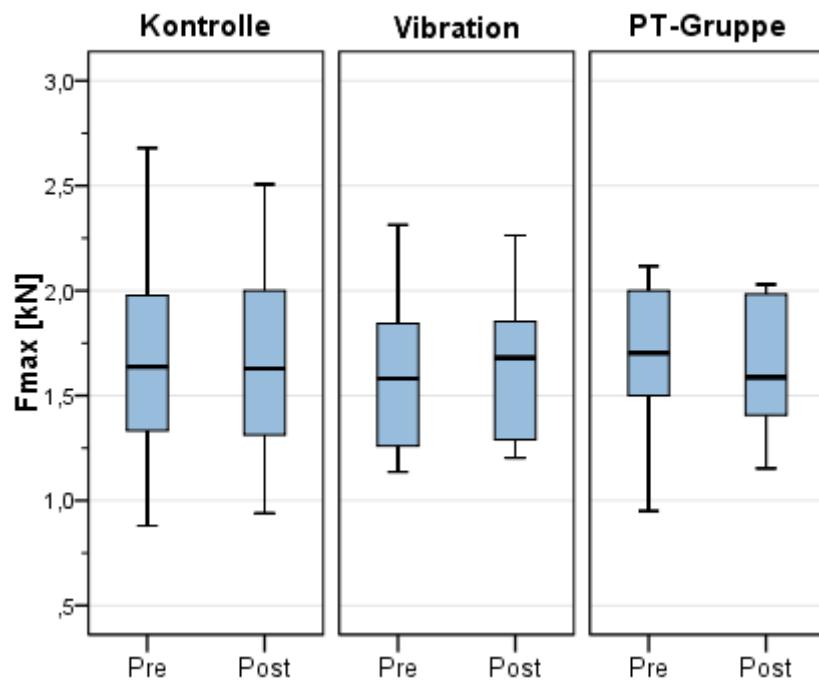


Abbildung 51: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest  $F_{\max}$

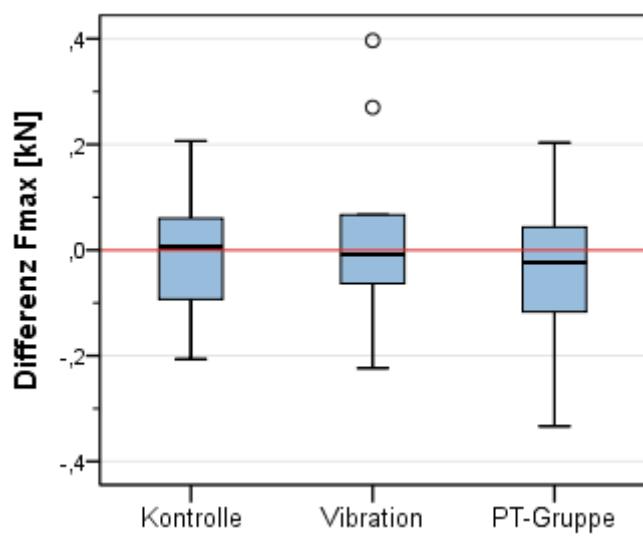


Abbildung 52: Vergleich der Gruppendifferenzen  $F_{\max}$

Es ließen sich im Shapiro-Wilk-Test keine signifikanten Abweichungen von einer Normalverteilung nachweisen. Die weitere statistische Analyse erfolgte demnach mit parametrischen Me-

thoden. Der t-Test für verbundene Stichproben zeigte in keiner der drei Gruppen eine signifikante Veränderung zwischen der Pre- und der Post-Messung, p-Wert (Kontrolle) = 0,727, p-Wert (Vibration) = 0,849 und der p-Wert (PT-Gruppe) = 0,237. In der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigte sich zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Gruppenunterschied. Die p-Werte der ANOVA sind in folgender Tabelle dargestellt:

	F <sub>max</sub> Pre [kN]	F <sub>max</sub> Post [kN]	Differenz F <sub>max</sub> [kN]	%-Veränderung F <sub>max</sub>
Signifikanz / p-Werte	0,575	0,258	0,642	0,681

Tabelle 31: p-Werte Varianzanalyse F<sub>max</sub>

### 3.27 Auswertung Maximalleistung im Single two leg Jump

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	Pmax Pre [kW]	14	3,1272	1,30167	0,01	5,53	2,4167	3,2133	4,0142
	Pmax Post [kW]	14	3,2202	1,00506	1,47	5,12	2,4742	3,1067	4,0733
	Differenz Pmax [kN]	14	0,0930	0,43986	-0,42	1,46	-0,1208	0,0033	0,1558
	%-Veränderung Pmax	14	938,1343	3509,06518	-7,53	13130,00	-4,2414	0,1108	5,3946
Vibration	Pmax Pre [kW]	14	3,1712	0,84761	1,92	5,27	2,5083	3,2200	3,5642
	Pmax Post [kW]	14	3,1960	0,87043	2,05	5,23	2,4633	3,0850	3,8067
	Differenz Pmax [kN]	14	0,0248	0,22341	-0,31	0,56	-0,1100	0,0033	0,1242
	%-Veränderung Pmax	14	0,8604	7,04755	-8,72	17,60	-4,5514	0,0979	5,1996
PT-Gruppe	Pmax Pre [kW]	14	3,4936	1,19906	1,57	5,34	2,1842	3,7700	4,5183
	Pmax Post [kW]	14	3,4095	1,12286	1,59	5,10	2,2792	3,6150	4,4225
	Differenz Pmax [kN]	14	-0,0840	0,28282	-0,91	0,24	-0,1933	0,0000	0,1150
	%-Veränderung Pmax	14	-1,5041	7,09508	-21,38	6,45	-3,9777	-0,1028	3,8320

Tabelle 32:  $P_{\max}$  Daten

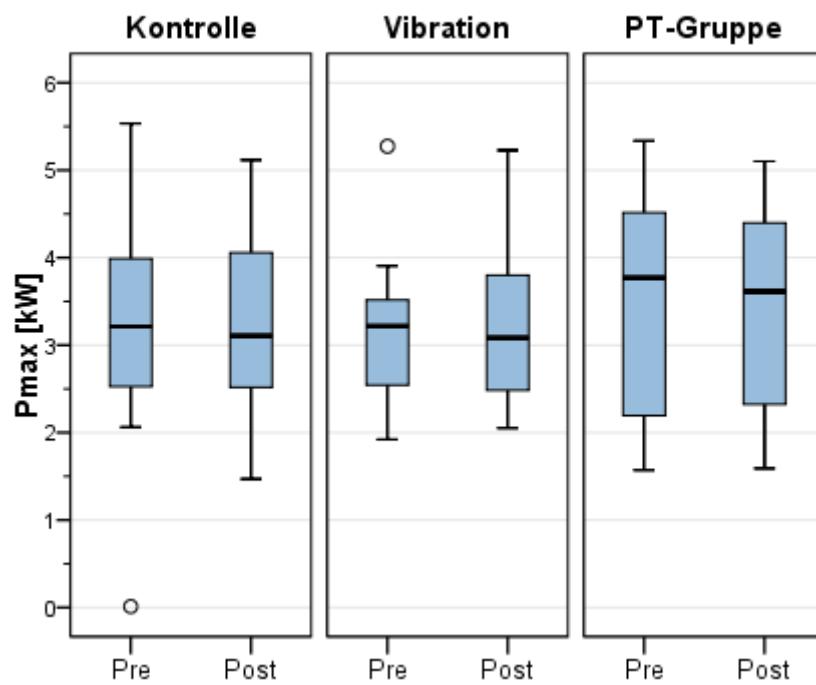


Abbildung 53: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest  $P_{\max}$

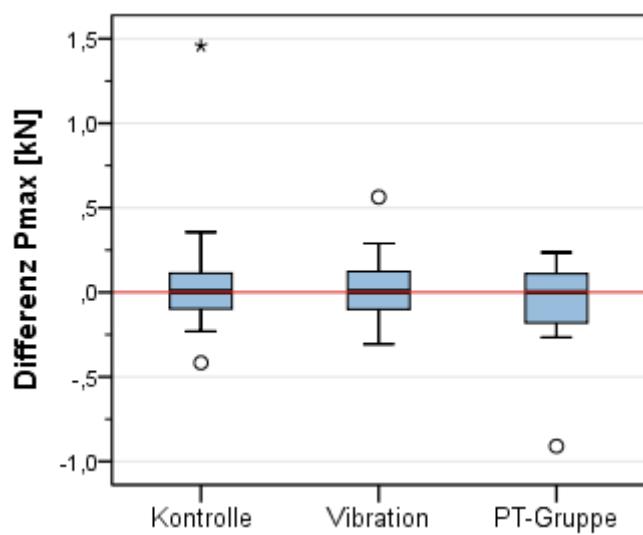


Abbildung 54: Vergleich der Gruppendifferenzen  $P_{\max}$

Zur weiteren Analyse wurden nicht-parametrische Verfahren genutzt.

In keiner der drei Gruppen zeigten sich signifikante Veränderungen zwischen dem Pre- und dem Post-Wert. Der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen ergab ein  $p$ -Wert von 0,778 für die

Kontrollgruppen, für die Vibrationsgruppe ein p-Wert von 0,807 und für die PT- Gruppe ein p-Wert von 0,490. Signifikante Gruppenunterschiede sind weder in der Pre- oder Post-Messung nachweisbar, noch in der absoluten oder prozentualen Veränderung. Im Kruskal-Wallis-Test zeigten sich folgende p-Werte:

	Pmax Pre [kW]	Pmax Post [kW]	Differenz Pmax [kN]	%-Veränderung Pmax
Signifikanz / p-Werte	0,584	0,808	0,779	0,889

Tabelle 33: p-Werte Kruskal-Wallis-Test  $P_{\max}$

### 3.28 Auswertung des Esslinger-Fitness-Index im Single two leg Jump

#### Deskriptive Statistiken

Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Kontrolle	EFI Pre [%]	14	84,0238	13,30475	56,67	104,67	75,3333	82,6667	95,9167
	EFI Post [%]	14	83,9283	13,25010	53,33	105,00	75,9167	85,8333	91,0000
	Differenz EFI [%]	14	-0,0955	4,78308	-8,33	9,00	-3,5833	0,3333	2,8308
	%-Veränderung EFI	14	0,0006	5,66655	-8,77	11,54	-5,5162	0,3805	3,6196
Vibration	EFI Pre [%]	14	82,9524	14,93968	62,33	112,00	71,8333	79,6667	95,5000
	EFI Post [%]	14	83,6905	14,64711	56,67	112,67	71,8333	81,1667	92,7500
	Differenz EFI [%]	14	0,7381	5,78707	-7,00	11,33	-4,7500	0,3333	6,5000
	%-Veränderung EFI	14	1,1876	7,69091	-9,09	14,85	-4,9570	0,2976	9,1403
PT-Gruppe	EFI Pre [%]	14	91,0714	11,94230	69,67	111,67	82,6667	89,8333	99,8333
	EFI Post [%]	14	90,1667	11,98414	67,67	113,00	84,6667	89,5000	99,3333
	Differenz EFI [%]	14	-0,9048	5,98064	-17,00	5,00	-3,7500	0,6667	4,3333
	%-Veränderung EFI	14	-0,7992	6,87579	-20,08	6,00	-3,7970	0,5970	4,6593

Tabelle 34: EFI Daten

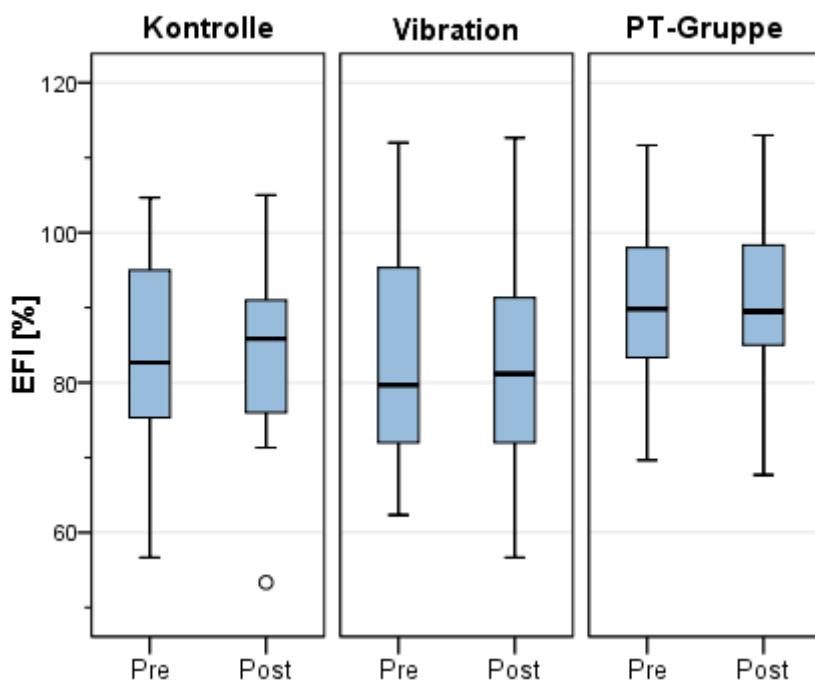


Abbildung 55: Boxplots Vergleich Pre- und Posttest EFI

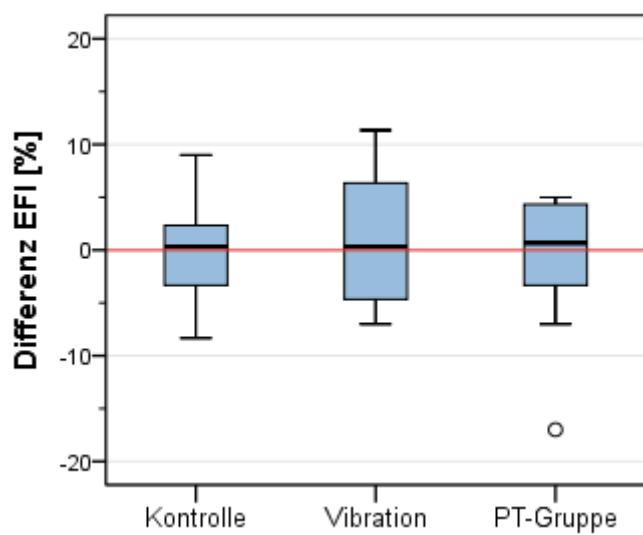


Abbildung 56: Vergleich der Gruppendifferenzen EFI

Im Shapiro-Will-Test traten signifikante Abweichungen von einer Normalverteilung auf. Folglich kamen im weiteren Verlauf nicht-parametrische Verfahren zum Einsatz.

In keiner der drei Gruppen zeigten sich signifikante Veränderungen zwischen dem Pre- und dem Post-Test. Der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen ergab ein p-Wert von 0,861 für die Kontrollgruppen, für die Vibrationsgruppe ein p-Wert von 0,675 und für die PT-Gruppe ein p-Wert von 0,889. Signifikante Gruppenunterschiede sind weder in der Pre- oder Post-Messung nachweisbar, noch in der absoluten oder prozentualen Veränderung.

Im Kruskal-Wallis-Test zeigten sich folgende p-Werte:

	EFI Pre [%]	EFI Post [%]	Differenz EFI [%]	%-Veränderung EFI
Signifikanz / p-Werte	0,268	0,344	0,960	0,973

Tabelle 35: p-Werte Kruskal-Wallis-Test EFI

## 4 Diskussion

### 4.1 Studienziel

Ziel der durchgeföhrten Untersuchung war es einen Trainingseffekt auf die posturale Kontrolle und das Gleichgewicht bei gesunden Menschen zu detektieren. Verglichen wurde der Einfluss von Ganzkörper-Vibration, konventioneller Physiotherapie und einer Kontrollgruppe auf die posturale Kontrolle. Hierbei sollten die Ergebnisse gemäß unserer primären und sekundären Outcome Parametern diskutiert werden. Es sollte gezeigt werden, ob die posturale Kontrolle durch verschiedene Trainingsformen beeinflusst werden kann. Als primäres Zielkriterium wurde hier die Posturographie, mit den Hauptparametern Swaypath und RMS gewählt. Als sekundäre Zielkriterien fungierten der MFT- S3 Test, FR, SLS und der CMJ.

Über die Wirkung von Whole-Body-Vibration auf die posturale Kontrolle und das Gleichgewicht werden vielversprechende Ergebnisse von klinischen Untersuchungen mit unterschiedlichem Evidenzgrad diskutiert. Deutliche Effekte sind mit wenigen Ausnahmen nur bei Testpopulationen mit verschiedenen Pathologien beschrieben.

## 4.2 Studienergebnisse

### 4.2.1 Ergebnisse der primären Auswertungskriterien in der Posturographie

Die posturale Kontrolle konnte durch keine der beiden Trainingsinterventionen signifikant, durchgängig beeinflusst werden. Somit hatte das WBVT keinen Trainingseffekt auf die posturale Kontrolle bei gesunden Probanden.

Physiotherapeutisches Training weist durch den gesamten Datensatz einen deskriptiven und teilweise explorativen signifikanten Vorteil gegenüber dem WBVT auf. In der Posturographie sieht man in den Boxplots der Pre- und Posttestdifferenzen nahezu in allen Bedingungen (Ausnahme: SP2, RMS8) eine Abnahme der Mediane. Dies bedeutet, dass die Schwankungen des Kraftangriffspunktes im Posttest geringer geworden sind, wenngleich die Veränderungen nicht als signifikant eingestuft werden konnten. In der Bedingung SP6 (Augen geschlossen auf Schaumstoff) zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied der PT- Gruppe zwischen Pre- und Posttest. Der dazu gehörige Gruppenvergleich ergab einen signifikanten Unterschied zwischen Physiotherapie- und Kontrollgruppe sowie zwischen Physiotherapie- und Whole-Body-Vibration. Unter dieser Testbedingung sind der visuelle Input sowie die Propriozeption ausgeschaltet, d.h. zwei wesentliche Faktoren der posturalen Kontrolle sind nicht aktiv.[16, 78] Aufgrund dieser schwierigen Testbedingung ist davon auszugehen, dass physiotherapeutisches Training einen nachweisbaren Trainingseffekt aufweist, der sich von dem Trainingseffekt der Whole-Body-Vibration-Gruppe statistisch signifikant unterscheidet.

Interessant wäre hier sicherlich eine erneute Testreihe, in der mit erschweren Testbedingungen begonnen wird. In dieser Testreihe wären das die Bedingungen SP10 / RMS10. Aufgrund der dann fehlenden Adaptationsprozesse wäre ein deutlicheres Ergebnis denkbar.[79]

In der Testbedingung RMS1 (fester Untergrund Augen geöffnet) lag ebenfalls ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Pre- und Posttest in der PT-Gruppe vor. Im Gruppenvergleich zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen der Physiotherapie- und der Vibrationsgruppe. Folglich lässt sich auch hier ein Trainingseffekt in der Physiotherapiegruppe darstellen, der den Effekt in der WBVT-Gruppe in signifikantem Maße übersteigt.

Interessant ist das Ergebnis vor allem deshalb, weil RMS1 die erste Testbedingung ist und deshalb kurzfristige Adaptationsprozesse zu vernachlässigen sind.[79]

Ein Vorteil der Physiotherapie könnte sicherlich die Interaktion zwischen Therapeuten und Patienten sein. Diesen Effekt belegen zahlreiche Placebostudien. Empathie und persönliche Sympathie sowie Zuwendungseffekte sind wichtige Anteile jeglicher physiotherapeutischer Intervention. Folglich können sie oft nicht von der Wirkung der Therapie selbst unterschieden werden. Lacroix et al. konnten eine deutliche Überlegenheit von beobachtetem Kraft- und Balancecstraining gegenüber unbeobachtetem Training darstellen.[80]

Des Weiteren zeigte sich in RMS3 (Augen geöffnet mit Kopf in 30° Reklination, fester Untergrund) ein signifikanter Gruppenunterschied zum Testzeitpunkt der absoluten Differenz, jedoch ohne signifikanten Unterschied im Pre- und Posttestvergleich. Es lag ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Kontroll- und der WBVT-Gruppe mit einem p-Wert von 0,022 und im Vergleich von PT- zu Kontrollgruppe mit einem p-Wert von 0,008 im Mann-Whitney-Test vor. Dieses Ergebnis spiegelt sicher eine gewisse Heterogenität in den verschiedenen Gruppen wider.

In diesem Zusammenhang muss die Validität der Posturographie diskutiert werden. Diese ist in mehreren Studien belegt. Bei gesunden Probanden ohne Grunderkrankung liegen die Sensitivität und die Spezifität nahezu bei 1,0.[68]

#### 4.3.2 Ergebnisse der sekundären Auswertungskriterien

In den sekundären Zielkriterien SLS, FR, CMJ und MFT- S3 zeigte sich ein unterschiedliches Bild bzgl. des Trainingseffekts der einzelnen Trainingsmethoden. So lag im SLS ein signifikanter Unterschied im Pre- / Posttest-Vergleich bei der Physiotherapiegruppe vor. Im Post-hoc-Gruppen- bzw. Paarvergleich ließ sich ein signifikanter Unterschied von Physiotherapie- zu Kontrollgruppe darstellen. Es lag demnach in der Physiotherapiegruppe ein signifikanter Trainingseffekt vor. Durch das Training auf instabiler Unterlage kommt es zu einer vermehrten Aktivierung von Agonist und Antagonist, was wiederum zu einer verstärkten Co-kontraktion führt. Durch die Co-kontraktion wird eine Gelenkstabilität erzielt. Hieraus folgt eine verbesserte Propriozeption und Exterozeption, welche dann zu einer Verbesserung der posturalen Kontrolle führt.[81, 82]

Im MFT-S3 ergaben sich weder im Pre-/ Posttest-Vergleich noch im Gruppenvergleich signifikante Unterschiede. Deskriptiv betrachtet sieht man in den Boxplots dieser Testbedingung beim Pre- und Posttest einen relativ großen Wertebereich, der auf einer hohen Varianz beruht. Der breiteste Wertebereich liegt in der Kontrollgruppe vor. Diese Tatsache zeigt, dass dieser

Testparameter eine sehr anspruchsvolle Koordinationsübung darstellt. Alleine die Durchführung dieses Tests stellt, selbst für gesunde Probanden, eine Herausforderung dar. In Bezug auf die Validität des Tests stellten Raschner et al. bereits ein deutlich besseres Abschneiden von koordinativ gut ausgebildeten Sportlern im MFT-S3 fest. Diese Voraussetzungen lagen bei der vorliegenden Testpopulation nicht durchgängig vor.[72]

Im Functional-Reach-Test zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Pre- und Posttest in der Kontroll- und der Vibrationsgruppe. In der PT-Gruppe ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen Pre- und Posttest nachweisen. Im durchgeführten Gruppenvergleich ließen sich ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede nachweisen. Anong Tantisuwat et al. zeigten, dass der FR-Test die größte Aussagekraft in der Altersgruppe über 60 Jahre besitzt. Aufgrund des geringeren Durchschnittsalters in der hier durchgeführten Studie ist die Aussagekraft des FR-Tests eher kritisch zu sehen.[83]

Im Counter-movement-jump konnten weder im Pre- und Posttestvergleich, noch im Gruppenvergleich signifikante Veränderungen erzielt werden. Dieses Ergebnis war so zu erwarten, da der Frequenzbereich bei dieser Studie eher im Bereich der Propriozeption und des Gleichgewichtstrainings einzuordnen ist und nicht im Bereich des Hypertrophietrainings.[65, 84]

In Zusammenschau der primären und sekundären Auswertungsparameter zeigt sich ein Vorteil der physiotherapeutischen Trainingsgruppe gegenüber der Ganzkörpervibrationsgruppe. Deskriptiv stellt sich dies in den Boxplots dar. Statistisch signifikante Unterschiede zeigen sich nur in einzelnen Testbedingungen.

### 4.3 Vergleich mit der Literatur

Vergleichbare Ergebnisse zeigten Bogaerts et al. in einer randomisierten, kontrollierten Studie über die posturale Kontrolle und Sturzrisiko. Die Testpopulation war mit 113 Frauen über 70 Jahren (Mittelwert: 79,6) deutlich älter als die hier vorliegende Population. Es konnten dort keine signifikanten Effekte von WBVT auf die posturale Kontrolle in der Posturographie nachgewiesen werden. Als Testparameter wurde dort ebenfalls der Swaypath verwendet. Klinisch zeigte sich eine Verbesserung im 10 m Gehtest und im TUG-Test.[51] In dieser Studie wurde 6 Monate trainiert. Deshalb sind ein geringer Trainingsumfang und ein gewisser altersabhängiger Effekt des menschlichen Gleichgewichts sowie dessen Trainingsmöglichkeiten zu diskutieren.[50] Die Effekte des WBVT sind allesamt bei älteren Personen stärker ausgeprägt als bei jungen Personen. Als Ursache hierfür wird eine vermehrte neurophysiologische Degeneration beschrieben.[85] Folglich kann ein präventiver Ansatz von WBVT in der älteren Bevölkerung bzgl. einer Sturzprophylaxe diskutiert werden.[86]

Bezugnehmend auf Gleichgewichtstraining durch WBVT zeigten Nele N. Mahieu et al. bei etwas jüngeren Testpersonen, dass sich trotz höheren Trainingsumfangs mit drei Trainingseinheiten pro Woche keine Auswirkung von WBVT auf die posturale Kontrolle erzielen ließen. Verglichen wurden hier zwei randomisierte Gruppen, die Trainingsdauer betrug sechs Wochen. Eine Gruppe führte konventionelles Krafttraining durch, die andere Gruppe trainierte sechs Wochen mit den identischen Übungen auf einer Vibrationsplattform. Als Testparameter für das Gleichgewicht wurde der Centre of pressure herangezogen. Es zeigten sich keine signifikanten Veränderungen in der posturalen Kontrolle.[87]

Torvinen et al. verglichen in einer Studie 56 Probanden im Alter von 19 bis 38 Jahren, die in zwei Gruppen randomisiert wurden. Die eine Gruppe führte mindestens drei Mal pro Woche ein WBVT durch. Die andere Gruppe bildete die Kontrollgruppe. Hier sollten keine speziellen, neuen, sportlichen Aktivitäten innerhalb des Testzeitraums ausgeführt werden. Als Messparameter für das Gleichgewicht wurde in dieser Studie der Bodysway herangezogen, welcher ebenfalls den Centre of pressure abbildet. Es konnten keine signifikanten Veränderungen im Pre- und Posttest sowie im Gruppenvergleich festgestellt werden.[88]

Im Gegensatz dazu konnten in zahlreichen Studien mit älteren Patienten durchaus Effekte von WBVT auf die posturale Kontrolle nachgewiesen werden. Runge et al. konnten in ihrer Studie

eine deutliche Verbesserung der posturalen Kontrolle darstellen. Es wurde eine Crossover Studie mit insgesamt 39 Probanden durchgeführt, von denen 34 die Studie beendet haben. Das Durchschnittsalter lag in dieser Testpopulation bei 67 Jahren. Es wurde acht Wochen lang, drei Mal wöchentlich mit der Galileo<sup>®</sup>- Vibrationsplattform trainiert. Anschließend erfolgte eine Kontrolltestung ebenfalls nach acht Wochen, ohne jegliches Training. Nach der Interventionsperiode zeigte sich eine signifikante Verbesserung im Chair-rising-Test von 18%. Nach der Kontrollperiode konnten keine signifikanten Verbesserungen mehr festgestellt werden.[89] Hier spiegelt sich sicherlich der fehlende Trainingsreiz wieder.

Eine weitere interessante Studie liegt aus dem Jahre 2016 vor. Shiuan-Yu Tseng et al. (2016) testeten den Einfluss von WBVT mit und ohne visuelles Feedback auf die posturale Kontrolle bei älteren Menschen. Das Testkollektiv bestand aus 51 Probanden, diese wurden in drei Gruppen randomisiert und die Studiendauer betrug drei Monate. Die erste Gruppe führte ein gewöhnliches WBVT durch. Die zweite Gruppe führte ein WBVT ohne visuelles Feedback aus. Die dritte Gruppe bildete eine Kontrollgruppe. Die Balance wurde mit dem Limits of stability-Test untersucht.[90] Der Test ist vergleichbar mit der Posturographie und bildet den Center of gravity bei verschiedenen Bewegungen ab. Nach dreimonatigem Training zeigte sich hier eine signifikante Verbesserung der Balance in der ersten und der zweiten Gruppe gegenüber der Kontrollgruppe. Im Vergleich der beiden Trainingsgruppen untereinander konnte ein klarer Vorteil in der Trainingsgruppe ohne optische Kontrolle detektiert werden. In einem weiteren Follow-up nach sechs Monaten wurden in den beiden Interventionsgruppen keine Krankenhausbesuche aufgrund eines Sturzes beobachtet, während in der Kontrollgruppe vier Krankenhausbesuche zu beobachten waren. Die Ursache für diese positive Bilanz wurde in langfristigen Trainingseffekten der beiden Interventionsgruppen gesehen.[91]

Die Gründe für die unterschiedlichen Trainingsergebnisse in den verschiedenen Altersklassen sind neuronale Anpassungsprozesse, die letztendlich in neuronaler Plastizität von spinalen und supraspinalen Strukturen münden.[92-94] Ab Geburt mit zunehmender motorischer Entwicklung findet eine permanente Verbesserung der posturalen Kontrolle statt. In späten Lebensabschnitten nimmt die posturale Kontrolle wieder ab. Quoniam et al. beschrieben vermehrte Körperschwingungen bei älteren im Vergleich zu jüngeren Personen.[95]

Es werden in der Literatur zahlreiche Gründe für diese altersabhängige Verschlechterung des Gleichgewichts diskutiert. Zum einen kommt es im Alter zu einer verlangsamten sensorischen Übertragung in das zentrale Nervensystem. Hier sind vor allem die Afferenzen der Gruppe II Fasern zu nennen.[96] Weiterhin wird eine im Alter verstärkte präsynaptische Hemmung durch

supraspinale und segmentale Fasern beobachtet. Diese Hemmung wirkt sich nicht nur auf Typ I-Fasern, sondern auch auf Typ II-Fasern aus und bewirkt somit eine verlängerte Latenz im Erfolgsorgan.[97] Burke und Butchart beschrieben eine verstärkte Ausprägung der Reflexinhibition des Dehnungs- und H-Reflexes bei älteren Personen.[98, 99] Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es im Alter durch degenerative Prozesse im neuromuskulären System zu einer Desensibilisierung der Muskelspindeln kommt. Hier kann durch verstärktes Gleichgewichtstraining über eine Aktivierung des  $\gamma$ -Motoneuron eine Sensibilisierung der Muskelspindel erreicht werden.[86]

Diese Gründe sind für eine erhöhte Sturz- und somit die Frakturgefahr im Alter verantwortlich. An diesem Punkt kann mit Hilfe des WBVT ein präventiver Trainingsansatz ausgemacht werden. Mehrere Studien haben gezeigt, dass das Gleichgewicht in jedem Lebensalter trainierbar ist.[4]

Bezüglich der hier durchgeführten Studie bei einer etwas jüngeren Testpopulation ist eine Steigerung des Trainingsumfangs oder der Trainingsintensität denkbar. Um einen durchgängigen Trainingseffekt zu erzielen, wäre auch eine andere Übungsauswahl mit kleinerer Unterstützungsfläche denkbar. Im Rahmen einer Intensitätserhöhung muss hier sicherlich der Frequenzbereich diskutiert werden.

In Bezug auf Gleichgewichtstraining wird von den Herstellern ein Frequenzbereich zwischen 6 und 12 Hz angegeben. In diesem Bereich ist ein willentlicher Ausgleich von Vibrationsbewegungen möglich. Hier wird über eine Reizung von Mechanorezeptoren der Muskel- und Sehnenspindeln ein Trainingseffekt auf die Tiefensensibilität und Propriozeption erzielt.[22] Steigt die Trainingsfrequenz über 15 Hz an, so kommt es zu einer beginnenden Auslösung des tonic vibration Reflexes. Hierbei verursachen diese höherfrequenten Vibratoren eine erhöhte reflektorische Aktivierung des Muskel- Sehnen- Komplexes und somit eine vermehrte Rekrutierung motorischer Einheiten auf Reflexebene. Aufgrund dieser Aktivierung ist nun kein willkürliches Gleichgewichtstraining mehr möglich. Im niedrigen Frequenzbereich (6 - 12 Hz) sind die Vibrationsbewegungen nicht schnell genug um einen tonic vibration Reflex (Dehnungsreflex) auszulösen. Die Reizschwelle des tonic vibration Reflexes wird nicht erreicht. Hier erfolgt ein willkürlicher Ausgleich der Vibrationsbewegungen durch die Muskulatur. Es kann somit ein Trainingseffekt erreicht werden.[23, 100]

#### 4.4 Limitationen der vorliegenden Studie

Die Power der vorliegenden Studie mit 42 Probanden ist grenzwertig. Weitere Studien mit einer höheren Anzahl sind von Nöten.

Statistisch gesehen könnte sich durch die zahlreichen Auswertungsparameter ein multiples Testproblem ergeben. Aufgrund dessen erfolgte eine Einteilung in primäre und sekundäre Testparameter.[77]

Die Randomisierung in dieser Studie ist hinsichtlich des Alters und der sportlichen Leistungsfähigkeit der einzelnen Probanden nicht ausreichend. Dies könnte v.a. bei dem sekundären Auswertungsparameter MFT- S3 eine Rolle spielen. Hier wurde ein deutlich besseres Abschneiden von koordinativ gut ausgebildeten Testpersonen beschrieben.[72]

In dem hier verwendeten Studiendesign liegt im Ablauf der einzelnen Testbedingungen eine Schwierigkeitsprogression vor. Ein gewisser Trainingseffekt bzw. kurzfristige Adaptationsprozesse können somit nicht ausgeschlossen werden. Ein Design, in welchem, zu Beginn der Testbatterie mit den schwierigen Testbedingungen begonnen wird wäre denkbar.[79]

## 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Diese klinische Therapiestudie untersuchte einen möglichen Effekt von Ganzkörpervibrationstraining auf die posturale Kontrolle. Es wurden 42 Patienten beider Geschlechter getestet. Von den Patienten wurden durch eine Randomisierung 14 Probanden einer Physiotherapie-, 14 einer Ganzkörpervibrationstrainings- (WBV) und 14 einer Kontrollgruppe zugeteilt. Alle drei Gruppen wurden über einen Zeitraum von sechs Wochen jeweils zwei Mal pro Woche für 18 Minuten trainiert.

Die erste Gruppe führte die physiotherapeutischen Übungen ohne zusätzliche Vibrationsreize durch. Die Ganzkörpervibrationstrainingsgruppe führte die identischen Übungen wie die Physiotherapiegruppe mit zusätzlichen Vibrationen durch. In der Kontrollgruppe wurden innerhalb der sechs Wochen keine speziellen Übungen durchgeführt. Das Setting der drei Gruppen lief identisch ab. Vor Beginn und nach dem Therapiezeitraum wurden jeweils die primären Auswertungsparameter Swaypath und RMS in der Posturographie, sowie die sekundären Testparameter SLS, FR, MFT-S3 und CMJ der Patienten mittels standardisierter Messinstrumente bestimmt.

Es zeigte sich in den Interventions- und der Kontrollgruppe keine durchgängige, signifikante Verbesserung bezüglich der definierten primären und sekundären Zielkriterien. Im Vergleich beider Interventionsgruppen konnte nur in einzelnen Testbedingungen ein Unterschied hinsichtlich der posturalen Kontrolle festgestellt werden. Hierbei muss die primäre Testbedingung SP6 (Augen geschlossen auf Schaumstoff) in der Posturographie erwähnt werden. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied in der Physiotherapiegruppe zwischen Pre- und Posttest. Der dazu gehörige Gruppenvergleich ergab ebenfalls einen signifikanten Unterschied zwischen Physiotherapie- und Kontrollgruppe sowie zwischen Physiotherapie- und Ganzkörpervibration. Auch im sekundären Auswertungskriterium SLS zeigte sich eine ähnliche Tendenz. Im Pre- / Posttest-Vergleich lag bei der Physiotherapiegruppe ein signifikanter Unterschied vor.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind mit der Hypothese vereinbar, dass Ganzkörpervibrationstraining gegenüber der konventionellen Physiotherapie und einer Kontrollgruppe bei jungen, gesunden Probanden zu keiner Verbesserung der posturalen Kontrolle führt.

Weitere Studien sind notwendig, um zu klären, ob eine Ganzkörpervibration mit einer erweiterten Interventionsdauer und Intensität, deutlichere Effekte auf die posturale Kontrolle erzielen kann, als die bisher üblichen physiotherapeutischen Trainingstherapien. Hier gilt es die optimale Therapiedauer und Therapieintensität sowie die Behandlungsparameter zu finden.

Denkbar ist, dass sich Ganzkörpervibration im Bereich der Sturzprävention bei älteren Menschen sowie bei Pathologien des neuromuskulären Systems und vorliegender Beeinträchtigung der posturalen Stabilität als weitere oder ergänzende Trainingsmethode etablieren könnte. Auch ein präventiver Ansatz in Bezug auf Sturzprophylaxe wäre vorstellbar.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung konnten jedoch keinen zusätzlichen Nutzeffekt im Vergleich zur konventionellen Physiotherapie aufzeigen.

## 7 Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Dipl. Ing. V. Jansson für die Möglichkeit, an seiner Klinik promovieren zu können.

Für die Überlassung des Themas und die Unterstützung bei der Planung danke ich Herrn Priv.-Doz. Dr. med. E. Kraft.

Ebenso möchte ich mich bei Frau Dr. med. Nicole Zolyniak und Herrn Dr. Dipl.-Ing. Matthias Woiczinski bedanken, die mich bei der Durchführung der Studie unterstützten, wenn es nötig war und die mir stets mit Rat und Tat zur Seite standen.

Großer Dank gilt Herrn Dr. rer.nat. Dipl.-Ing. Siegbert Krafczyk für die Bereitstellung der Posturographieplattform und die Unterstützung beim Auftreten technischer Problemen, die wir dank seiner Improvisationsfähigkeiten stets rasch lösen konnten.

Für die statistische Beratung danke ich Frau Dipl.-Math. Ulrike von Hehn.

Zuletzt gilt besonderer Dank meiner Familie, die mich wann immer möglich unterstützte. In besonderem Maße danke ich meiner kleinen Tochter Annabelle, die mir als ständige Motivation diente und zeitweise für die nötige Ablenkung sorgte.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Horak, F.B., *Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls?* Age Ageing, 2006. **35 Suppl 2**: p. ii7-ii11.
2. Kraxner, M. *Posturale Kontrolle*. 2013 01.11.2013]; Available from: <https://www.handlungsplan.net/>.
3. Tilscher, H., et al., *Effects of impairments at the movement apparatus on the result of the S3-body stability test*. Manuelle Medizin, 2007.
4. W, T., *Neuronale Mechanismen der posturalen Kontrolle und der Einfluss von Gleichgewichtstraining*. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2013. **14**(2): p. 55-63.
5. Luccarini, P., Y. Gahery, and O. Pompeiano, *Injection of a cholinergic agonist in the dorsolateral pontine tegmentum of cats affects the posturokinetic responses to cortical stimulation*. Neurosci Lett, 1990. **114**(1): p. 75-81.
6. Diener, H.C. and J. Dichgans, *Pathophysiology of cerebellar ataxia*. Mov Disord, 1992. **7**(2): p. 95-109.
7. Morton, S.M. and A.J. Bastian, *Mechanisms of cerebellar gait ataxia*. Cerebellum, 2007. **6**(1): p. 79-86.
8. Zia, S., F. Cody, and D. O'Boyle, *Joint position sense is impaired by Parkinson's disease*. Ann Neurol, 2000. **47**(2): p. 218-28.
9. Klockgether, T., et al., *A defect of kinesthesia in Parkinson's disease*. Mov Disord, 1995. **10**(4): p. 460-5.
10. Visser, J.E. and B.R. Bloem, *Role of the basal ganglia in balance control*. Neural Plast, 2005. **12**(2-3): p. 161-74; discussion 263-72.
11. Taube, W., et al., *Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance*. J Appl Physiol (1985), 2006. **101**(2): p. 420-9.
12. Petersen, N., et al., *Evidence that a transcortical pathway contributes to stretch reflexes in the tibialis anterior muscle in man*. J Physiol, 1998. **512** ( Pt 1): p. 267-76.
13. Pollock, A.S., et al., *What is balance?* Clin Rehabil, 2000. **14**(4): p. 402-6.
14. Rittweger, J., *Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be*. Eur J Appl Physiol, 2010. **108**(5): p. 877-904.
15. Granacher, U., et al., *Diagnostik und Training von Kraft und Gleichgewicht zur Sturzprävention im Alter* Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie, 2014. **47**(6): p. 513-526.
16. Tuunainen, E., et al., *Risk factors of falls in community dwelling active elderly*. Auris Nasus Larynx, 2014. **41**(1): p. 10-6.
17. Howe, T.E., et al., *Exercise for improving balance in older people*. Cochrane Database Syst Rev, 2007(4): p. Cd004963.
18. Rogan, S., et al., *Effects of whole-body vibration on postural control in elderly: a systematic review and meta-analysis*. BMC Geriatr, 2011. **11**: p. 72.
19. Cardinale, M. and J. Wakeling, *Whole body vibration exercise: are vibrations good for you?* Br J Sports Med, 2005. **39**(9): p. 585-9; discussion 589.
20. Luo, J., B. McNamara, and K. Moran, *The use of vibration training to enhance muscle strength and power*. Sports Med, 2005. **35**(1): p. 23-41.
21. Runge, M. and D. Felsenberg, *Activity programme for the prevention of falls and fractures*. Arthritis und Rheuma, 2006. **26**(4): p. 239-247.

22. Novotec Medical, G. *Wahl der richtigen Frequenz beim Galileo® Training*. 2017 [cited 2017 28.03.]; Available from: <http://www.galileo-training.com/deutsch/produkte/galileo-therapiegeraete/grundlagen/frequenzen.html>.
23. Ritzmann, R., A. Gollhofer, and A. Kramer, *The influence of vibration type, frequency, body position and additional load on the neuromuscular activity during whole body vibration*. Eur J Appl Physiol, 2013. **113**(1): p. 1-11.
24. Haas, C.T., *Training auf vibrierenden Platten Praktische Hinweise für den Einsatz von Vibrationsreizen in der Therapie*. Zeitschrift für Physiotherapeuten, 2008. **60**(7): p. 787-789.
25. Howe, T.E., et al., *Exercise for improving balance in older people*. Cochrane Database Syst Rev, 2011(11): p. Cd004963.
26. Wysocki, A., et al., *Whole-body vibration therapy for osteoporosis: state of the science*. Ann Intern Med, 2011. **155**(10): p. 680-6, w206-13.
27. Lai, C.L., et al., *Effect of 6 months of whole body vibration on lumbar spine bone density in postmenopausal women: a randomized controlled trial*. Clin Interv Aging, 2013. **8**: p. 1603-9.
28. Verschueren, S.M., et al., *Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study*. J Bone Miner Res, 2004. **19**(3): p. 352-9.
29. Cardinale, M. and J. Rittweger, *Vibration exercise makes your muscles and bones stronger: fact or fiction?* J Br Menopause Soc, 2006. **12**(1): p. 12-8.
30. Haas, C.T., et al., *Proprioceptive and sensorimotor performance in Parkinson's disease*. Res Sports Med, 2006. **14**(4): p. 273-87.
31. Haas, C.T., et al., *The effects of random whole-body-vibration on motor symptoms in Parkinson's disease*. NeuroRehabilitation, 2006. **21**(1): p. 29-36.
32. Tougaard, J., *Signal detection theory, detectability and stochastic resonance effects*. Biol Cybern, 2002. **87**(2): p. 79-90.
33. Beck, B.R. and T.L. Norling, *The effect of 8 mos of twice-weekly low- or higher intensity whole body vibration on risk factors for postmenopausal hip fracture*. Am J Phys Med Rehabil, 2010. **89**(12): p. 997-1009.
34. Bruyere, O., et al., *Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents*. Arch Phys Med Rehabil, 2005. **86**(2): p. 303-7.
35. Cheung, W.H., et al., *High-frequency whole-body vibration improves balancing ability in elderly women*. Arch Phys Med Rehabil, 2007. **88**(7): p. 852-7.
36. Furness, T.P., et al., *Efficacy of a whole-body vibration intervention on functional performance of community-dwelling older adults*. J Altern Complement Med, 2010. **16**(7): p. 795-7.
37. Furness, T.P. and W.E. Maschette, *Influence of whole body vibration platform frequency on neuromuscular performance of community-dwelling older adults*. J Strength Cond Res, 2009. **23**(5): p. 1508-13.
38. Rees, S.S., A.J. Murphy, and M.L. Watsford, *Effects of whole body vibration on postural steadiness in an older population*. J Sci Med Sport, 2009. **12**(4): p. 440-4.
39. Gollhofer, A. and W. Rapp, *Recovery of stretch reflex responses following mechanical stimulation*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1993. **66**(5): p. 415-20.
40. Abercromby, A.F., et al., *Variation in neuromuscular responses during acute whole-body vibration exercise*. Med Sci Sports Exerc, 2007. **39**(9): p. 1642-50.

41. Abercromby, A.F., et al., *Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training*. Med Sci Sports Exerc, 2007. **39**(10): p. 1794-800.
42. Haas, C.T., et al., *Biomechanische und physiologische Effekte mechanischer Schwingungsreize beim Menschen*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2004. **55**(2).
43. Haas, C.T., *Vibrationstraining, Biomechanische Stimulation und Stochastische Resonanz Therapie. Eine interdisziplinäre Betrachtung präventiver und rehabilitativer Funktionen*. Zeitschrift für Physiotherapeuten, 2008. **60**(7): p. 728-789.
44. Bosco, C., et al., *Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure*. Clin Physiol, 1999. **19**(2): p. 183-7.
45. Bosco, C., et al., *The influence of whole body vibration on jumping performance*. Biology of Sport, 1998. **15**(3).
46. Issurin, V.B., D.G. Liebermann, and G. Tenenbaum, *Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility*. J Sports Sci, 1994. **12**(6): p. 561-6.
47. Osawa, Y., Y. Oguma, and N. Ishii, *The effects of whole-body vibration on muscle strength and power: a meta-analysis*. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2013. **13**(3): p. 380-90.
48. Osawa, Y., Y. Oguma, and S. Onishi, *Effects of whole-body vibration training on bone-free lean body mass and muscle strength in young adults*. J Sports Sci Med, 2011. **10**(1): p. 97-104.
49. Orr, R., *The effect of whole body vibration exposure on balance and functional mobility in older adults: a systematic review and meta-analysis*. Maturitas, 2015. **80**(4): p. 342-58.
50. Taube, W., M. Gruber, and A. Gollhofer, *Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance*. Acta Physiol (Oxf), 2008. **193**(2): p. 101-16.
51. Bogaerts, A., et al., *Changes in balance, functional performance and fall risk following whole body vibration training and vitamin D supplementation in institutionalized elderly women. A 6 month randomized controlled trial*. Gait Posture, 2011. **33**(3): p. 466-72.
52. Kawanabe, K., et al., *Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly*. Keio J Med, 2007. **56**(1): p. 28-33.
53. Bogaerts, A., et al., *Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: A 1 year randomized controlled trial*. Gait & Posture, 2007. **26**(2): p. 309-316.
54. Rees, S.S., A.J. Murphy, and M.L. Watsford, *Effects of whole-body vibration exercise on lower-extremity muscle strength and power in an older population: a randomized clinical trial*. Phys Ther, 2008. **88**(4): p. 462-70.
55. Studenski, S., et al., *Gait speed and survival in older adults*. Jama, 2011. **305**(1): p. 50-8.
56. Jahn, K., et al., *Schwindel und Gangunsicherheit im Alter*. Dtsch Arztebl International, 2015. **112**(23): p. 387-93.
57. Turbanski, S., et al., *Effects of random whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease*. Res Sports Med, 2005. **13**(3): p. 243-56.
58. Schuhfried, O., et al., *Effects of whole-body vibration in patients with multiple sclerosis: a pilot study*. Clin Rehabil, 2005. **19**(8): p. 834-42.

59. Lee, G., *Does whole-body vibration training in the horizontal direction have effects on motor function and balance of chronic stroke survivors? A preliminary study*. J Phys Ther Sci, 2015. **27**(4): p. 1133-6.
60. Perraton, L., Z. Machotka, and S. Kumar, *Whole-body vibration to treat low back pain: fact or fad?* Physiother Can, 2011. **63**(1): p. 88-93.
61. Bosco, C., et al., *Hormonal responses to whole-body vibration in men*. Eur J Appl Physiol, 2000. **81**(6): p. 449-54.
62. Di Loreto, C., et al., *Effects of whole-body vibration exercise on the endocrine system of healthy men*. J Endocrinol Invest, 2004. **27**(4): p. 323-7.
63. Cardinale, M., et al., *Hormonal responses to a single session of wholebody vibration exercise in older individuals*. Br J Sports Med, 2010. **44**(4): p. 284-8.
64. Erskine, J., et al., *Neuromuscular and hormonal responses to a single session of whole body vibration exercise in healthy young men*. Clin Physiol Funct Imaging, 2007. **27**(4): p. 242-8.
65. Berschin, G. and H.M. Sommer, *Vibrationskrafttraining und Gelenkstabilität: EMG-Untersuchungen zur Wirkung von Vibrationsfrequenz und Körperhaltung auf Muskelaktivierung und -koaktivierung*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 2004. **55**(6).
66. Schwesig, R. *Das posturale System in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht*. 2006 [cited 2017 24.02.]; Available from: <https://www.medizin.uni-halle.de/index.php?id=5527>.
67. Schwesig, R., A. Lauenroth, and K. Hottenrott, *Quantifizierung sensomotorischer Trainingseffekte mittels Posturographie*. Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin, 2005. **15**(04): p. A59.
68. Krafczyk, S., et al., *Artificial neural network: a new diagnostic posturographic tool for disorders of stance*. Clin Neurophysiol, 2006. **117**(8): p. 1692-8.
69. Hufschmidt, A., et al., *Some methods and parameters of body sway quantification and their neurological applications*. Arch Psychiat Nervenkr (1970), 1980. **228**(2): p. 135-50.
70. Brandt, T., S. Krafczyk, and I. Malsbenden, *Postural imbalance with head extension: improvement by training as a model for ataxia therapy*. Ann N Y Acad Sci, 1981. **374**: p. 636-49.
71. Duncan, P.W., et al., *Functional reach: a new clinical measure of balance*. J Gerontol, 1990. **45**(6): p. M192-7.
72. Raschner, C., et al., *[S3-Check--evaluation and generation of normal values of a test for balance ability and postural stability]*. Sportverletz Sportschaden, 2008. **22**(2): p. 100-5.
73. Whitney, S. *Criteria for Performance of Various Balance Tests*. 1998 [cited 2017 24.02.]; Available from: <http://www.pitt.edu/~whitney/neursig.htm>.
74. Runge, M., et al., *Is muscle power output a key factor in the age-related decline in physical performance? A comparison of muscle cross section, chair-rising test and jumping power*. Clin Physiol Funct Imaging, 2004. **24**(6): p. 335-40.
75. Salles, A.S., V. Baltzopoulos, and J. Rittweger, *Differential effects of countermovement magnitude and volitional effort on vertical jumping*. Eur J Appl Physiol, 2011. **111**(3): p. 441-8.
76. Taani, M.H., C.R. Kovach, and B. Buehring, *Muscle Mechanography: A Novel Method to Measure Muscle Function in Older Adults*. Res Gerontol Nurs, 2017. **10**(1): p. 17-24.
77. Bender R, Lange S, and Z. A, *multiples Testen*. Deutsches medizinisches Wochenschreiben, 2007. **132**: p. 26-29.

78. Ambrose, A.F., G. Paul, and J.M. Hausdorff, *Risk factors for falls among older adults: a review of the literature*. Maturitas, 2013. **75**(1): p. 51-61.
79. Haas, C.T., et al., *Interactions of coordinative and proprioceptive performances*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2007. **58**(1).
80. Lacroix, A., et al., *Effects of a Supervised versus an Unsupervised Combined Balance and Strength Training Program on Balance and Muscle Power in Healthy Older Adults: A Randomized Controlled Trial*. Gerontology, 2016. **62**(3): p. 275-88.
81. Freyler, K., et al., *Improved postural control in response to a 4-week balance training with partially unloaded bodyweight*. Gait Posture, 2014. **40**(2): p. 291-6.
82. Behm, D.G., J.C. Colado, and J.C. Colado, *Instability resistance training across the exercise continuum*. Sports Health, 2013. **5**(6): p. 500-3.
83. Tantisuwat, A., D. Chamonchant, and S. Boonyong, *Multi-directional Reach Test: An Investigation of the Limits of Stability of People Aged between 20-79 Years*. J Phys Ther Sci, 2014. **26**(6): p. 877-80.
84. Cardinale, M. and C. Bosco, *The use of vibration as an exercise intervention*. Exerc Sport Sci Rev, 2003. **31**(1): p. 3-7.
85. Rittweger, J., et al., *Sprint and endurance power and ageing: an analysis of master athletic world records*. Proc Biol Sci, 2009. **276**(1657): p. 683-9.
86. Granacher, U., A. Gollhofer, and D. Strass, *Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men*. Gait Posture, 2006. **24**(4): p. 459-66.
87. Mahieu, N.N., et al., *Improving strength and postural control in young skiers: whole-body vibration versus equivalent resistance training*. J Athl Train, 2006. **41**(3): p. 286-93.
88. Torvinen, S., et al., *Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study*. J Bone Miner Res, 2003. **18**(5): p. 876-84.
89. Runge, M., G. Rehfeld, and E. Resnick, *Balance training and exercise in geriatric patients*. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2000. **1**(1): p. 61-5.
90. Pickerill, M.L. and R.A. Harter, *Validity and reliability of limits-of-stability testing: a comparison of 2 postural stability evaluation devices*. J Athl Train, 2011. **46**(6): p. 600-6.
91. Tseng, S.Y., et al., *Influence of Whole-Body Vibration Training Without Visual Feedback on Balance and Lower-Extremity Muscle Strength of the Elderly: A Randomized Controlled Trial*. Medicine (Baltimore), 2016. **95**(5): p. e2709.
92. Beck, S., et al., *Task-specific changes in motor evoked potentials of lower limb muscles after different training interventions*. Brain Res, 2007. **1179**: p. 51-60.
93. Schubert, M., et al., *Balance training and ballistic strength training are associated with task-specific corticospinal adaptations*. Eur J Neurosci, 2008. **27**(8): p. 2007-18.
94. Taube, W., et al., *Cortical and spinal adaptations induced by balance training: correlation between stance stability and corticospinal activation*. Acta Physiol (Oxf), 2007. **189**(4): p. 347-58.
95. Quoniam, C., et al., *Age effects on reflex and postural responses to propriomuscular inputs generated by tendon vibration*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 1995. **50**(3): p. B155-65.
96. Dietz, V., *Human neuronal control of automatic functional movements: interaction between central programs and afferent input*. Physiol Rev, 1992. **72**(1): p. 33-69.

97. Rudomin, P. and R.F. Schmidt, *Presynaptic inhibition in the vertebrate spinal cord revisited*. Exp Brain Res, 1999. **129**(1): p. 1-37.
98. Burke, J.R., et al., *Age-dependent effects of muscle vibration and the Jendrassik maneuver on the patellar tendon reflex response*. Arch Phys Med Rehabil, 1996. **77**(6): p. 600-4.
99. Butchart, P., et al., *The effect of age and voluntary contraction on presynaptic inhibition of soleus muscle Ia afferent terminals in man*. Exp Physiol, 1993. **78**(2): p. 235-42.
100. Torvinen, S., et al., *Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study*. Clin Physiol Funct Imaging, 2002. **22**(2): p. 145-52.

## 9 Eidestattliche Erklärung

Back, Johannes

---

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,  
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema:

Einfluss von Ganzkörper-Vibration und Physiotherapie auf die posturale Kontrolle gesunder Patienten

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Friedrichshafen, 09.12.2020

Johannes Back

---

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin/Doktorand