

2. Probanden und Methoden

2.1 Studiendesign

Die monozentrische prospektive Vergleichsstudie (Signatur: GALILEO 2000) in randomisiertem Design fand von Februar 1998 bis Dezember 1999 am Zentrum für Muskel- und Knochenforschung des Klinikum Benjamin Franklin FU Berlin statt. Das Studienprotokoll wurde überprüft und genehmigt durch die Ethikkommission (Medizinische Fakultät der Freien Universität Berlin).

2.2 Das Probandenkollektiv

2.2.1 Rekrutierung

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte durch Aushänge in der näheren Umgebung des Klinikum Benjamin Franklin und durch die Ziehung einer systematischen (repräsentativen) Stichprobe aus dem Landeseinwohnermeldeamt von Berlin. Zielgruppe waren männliche und weibliche Einwohner Berlins im Alter von 20 bis 30 Jahren.

Personen, die sich im Zuge des Anschreibens oder der Aushänge meldeten, wurden über den Studieninhalt, dessen Hintergrund und den zeitlichen Aufwand am Telefon unterrichtet. In einem zweiten Schritt wurden alle respondierenden Probanden zu einer weitergehenden ärztlichen Befragung und Untersuchung einbestellt.

2.2.2 Anthropometrische Daten der Probanden

	N	mean Alter (Jahre)	SD	mean Größe (cm)	SD	mean Gewicht (kg)	SD	mean BMI
Galileo Gruppe								
Frauen	5	25,8	3,7	171,2	4,82	59,6	10,64	20,3
Männer	5	26,2	3,49	178,6	2,61	70,8	3,96	22,2
Gesamt	10	26	3,4	174,9	5,34	65,2	9,6	21,3
Konvent. Gruppe								
Frauen	4	26,5	3,42	170,25	4,5	63,75	9,67	22
Männer	5	26,2	3,9	182,2	10,16	77,5	13,71	23,4
Gesamt	9	26,35	3,46	176,23	9,94	70,63	13,48	22,7
Kontroll Gruppe								
Frauen	4	26	3,65	165,75	6,65	62	6,58	22,6
Männer	4	24,25	3,2	179,5	6,24	64,5	4,2	20
Gesamt	8	25,13	3,31	172,63	9,47	63,25	5,28	21,3
Männer	14	25,92	3,41	180,14	6,75	71,39	9,79	22
Frauen	13	26,08	3,3	169,23	5,46	61,62	8,68	21,5
TOTAL	27	25,83	3,3	175,28	8,21	66,83	10,37	21,8

Die Studie wurde mit 30 Probanden (15 gesunde Frauen und Männer) durchgeführt, wobei zwei Probanden der Kontrollgruppe im Laufe der Studie aus persönlichen Gründen ausschieden (drop-outs), sodass die Studie mit 28 Teilnehmer zu Ende geführt wurde.

2.2.3 Einschlussverfahren

Mittels eines Fragebogens wurden anamnestische Daten erhoben u.a. zu Lebensgewohnheiten, Ernährung (Milchprodukte), Alkoholkonsum, Rauchgewohnheiten, Kinderkrankheiten, Grunderkrankungen, Medikamenteneinnahme, bei Frauen zusätzlich Menarcheeintritt, Zyklusverhalten, Partus, Aborte. Bei jedem Probanden wurde ein körperlicher Status erhoben (Auskultation von Herz und Lunge, Lymphknotenstatus, Hirnnerventestung, Reflexstatus, Prüfung der groben Kraft und der Sensibilität, Palpation des Abdomens, Blutdruck- und Pulsmessung). Die Probanden erklärten sich im Voraus bereit, in jeder der drei Gruppen teilzunehmen. Die Einteilung wurde mittels Losverfahren vorgenommen.

2.2.4 Ausschlusskriterien

Bei Erkrankungen des Stütz- und Bindegewebes war die Teilnahme an der Studie nicht möglich, da zur Durchführung eines ausgereizten Maximalkrafttrainings ein gesunder Halteapparat Grundvoraussetzung ist. Ebenfalls durften keine koordinativen Störungen

vorliegen. Probanden mit Gefäßerkrankungen bzw. einer venösen Thrombose in der Anamnese wurden ebenso, wie Personen mit einer Herzerkrankung von der Studie ausgeschlossen. Ein weiteres Ausschlusskriterium war die Einnahme von Ovulationshemmern während des vorausgegangenen Jahres in Form der Pille bei weiblichen Personen oder anderen Hormonpräparaten, da hier ein Eingriff in den Knochenstoffwechsel diskutiert wird. Ein weiteres Ausschlusskriterium war ein vermehrter Nikotinabusus (>5 Zigaretten pro Tag). Weiterhin war entscheidend, ob und in welcher Intensität die Probanden Sport betrieben haben. Hierbei wurde streng zwischen Ausdauer- und Kraftsportarten unterschieden. Ausschlusskriterium war jegliche Form des Leistungssportes (> 3mal wöchentliches Training) und intensives Krafttraining im Lebenslauf. Akzeptiert wurden Probanden mit allen Formen von Ausdauersportarten mit leichter bis mittelmäßiger Intensität (nicht häufiger als 2-3 Mal wöchentliches Ausdauertraining). Weiterhin wurde im Vorfeld abgeklärt, ob in den nächsten 5 Monaten der Studie eine Änderung des Sportverhaltens (Intensivierung oder Verminderung) angestrebt werden sollte. Nur Probanden mit gleich bleibender sportlicher Aktivität und ohne erhebliche Veränderung ihres Trainings wurden für die Studie zugelassen. Veränderungen der Messwerte einzelner Probanden während der Trainingsphase können so eindeutig auf das Training innerhalb der Studien zurückgeführt werden.

Galileo 2000 als Trainingsgerät

Das Galileotrainingsgerät (Firma Novotec, Pforzheim, Deutschland) ähnelt einem Schaukelbrett. Die Schwingungsachse befindet sich in der Mitte der Platte, die Auslenkung nimmt von innen nach außen zu und beträgt am äußersten Rand der Platte jeweils 1,4 cm. Das Gerät wird mithilfe eines Motors in Schwingung versetzt. Die Frequenz ist variabel und wurde für die Galileo 2000 Studie auf 26 Hz festgelegt und während der gesamten Studienzeit nicht verändert. Im vorderen Bereich der Schwingungsplatte befindet sich ein Haltegriff, der während des Trainings lediglich zum Ausbalancieren benutzt werden kann.



2.4 Studienablauf

Für jeden Probanden wurde eine genaue Trainingsdokumentation vorgenommen, in welcher Trainingsdaten, sowie äußere und innere Einflüsse (z.B. Krankheit, psychische oder körperliche Stressphasen) dokumentiert wurden. Das Krafttraining wurde im Rahmen eines progressiv dynamischen Maximalkrafttrainings (Definition siehe 1.1.1.6) zwei mal wöchentlich zu festen Terminen durchgeführt. Konnten Termine nicht zeitgerecht eingehalten werden, war es in den meisten Fällen möglich einen Ausweich- bzw. Ersatztermin einzurichten. Die Messtermine, bei denen Untersuchungen der Muskulatur, des Knochens und verschiedener Stoffwechselfparameter stattfanden, wurden bereits im Studiendesign festgelegt. Der Zeitraum der Studienteilnahme erstreckte sich über 5 ½ Monate (Visit = V = Untersuchungs- und Messtermin V0-V37). Nach 6, 8 und 12 Monaten fand jeweils eine Kontrolluntersuchung statt (V38, V39 und V40).

Die Galileogruppe trainierte lediglich mit dem zur Verfügung stehenden Galileo 2000 Gerät. Die Vergleichsgruppe unterzog sich einem konventionellen Krafttraining an Kraftmaschinen der Firma Schnell Trainingsgeräte GmbH, welche in dem Sportstudio für Rehabilitation und Prävention, geleitet von Herrn Martin Brink, in Berlin, zur Verfügung standen. Die Kontrollgruppe absolvierte kein körperliches Training, kam jedoch ebenso wie die trainierenden Probanden zu den vorgesehenen Messvisiten. Die Visits V01 - V36 fand während einer Zeitspanne von 5 Monaten kontinuierlich zweimal wöchentlich (Mo. und Do., bzw. Di. und Fr) statt. Bei den Visiten V37, V38, V39 und V40 wurden nochmals alle Zielparameter ohne erneutes Training getestet. V37 fand 5 Monate, V38 6 Monate, V39 8 Monate und V40 12 Monaten nach Trainingsbeginn statt.

Untersuchungsschlüssel für EGWM konv.

Pat. Initials _____ z.B. MB _____

Pat. Nr. _____ z.b. 1202 _____

Woche	-2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12										
Visit	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22
Termin																							
Training*	---	Gew	25 Wiederholungen, 2 min.						prog. dyn. Krafttraining, 10 Wiederholungen, 90 sec.														
Anamnese(1)	x																						
Labor	x(2)	x(3*)		x(3)		x(3*)		x(3)		x(3*)													
Lactat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Befr. zum Status		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Muskelkraft	x	x				x				x										x			
Sprunghöhe	x	x				x				x										x			
EMG		x				x				x										x			
Ergometrie	x									x													
pQCT der Tibia	x(4)									x													
DXA	x																						
Bef. zum Training		x(5)		x		x		x		x(5)	Pause		x		x		x		x		x		x

Woche	13	14	15	16	17	18	19	20	21	26	35	52										
Visit	V23		V24	V25	V26	V27	V28	V29	V30	V31	V32	V33	V34	V35	V36	V37	V38	V39	V40			
Termin																						
Training*		prog. dyn. Krafttraining, 5 Wiederholungen, 50 sec.														---	---	---	---			
Labor(2)	x(3*)			x(3)				x(3*)				x(3)				x(3*)	x(3*)	x(3*)	x(3*)			
Lactat	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
Befr. zum Status	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Muskelkraft	x			x				x				x				x	x	x	x			
Sprunghöhe	x			x				x				x				x	x	x	x			
EMG	x			x				x				x				x						
Ergometrie	x							x								x						
pQCT der Tibia	x							x								x(4)	x	x	x(4)			
DXA																x						x
Bef. zum Training	x(5)	Pause		x		x		x		x		x		x		x(5)	5	5	5			

*: **Gew** : Gewöhnungsphase, **o.G.** : Ohne Gewicht, **35%** : mit zusätzlichen 35% des Körpergewichts (KG), **70%** : mit zusätzl. 70% des KG.

(1): Erstanamnese mit ausführlicher Befragung zum Status, Vorerkrankung, Familienanamnese und körperlicher Untersuchung, Neurologischer Status

(2): Na, K, Ca, GPT, CK, tAP, bAP, PYD, DPD, CTx, IGF-1, kleines Blutbild.

(3): tAP, bAP, PYD, DPD, CTx, IGF-1.

(4): zusätzlich pQCT des Radius

(3*): tAP, bAP, PYD, DPD, CTx, IGF-1, kleines Blutbild.

(5): zusätzlich Baseler Befindlichkeitsskala (BORG-Skala)

Pause: 1 Woche Trainingspause

2.4.1 Trainingsgestaltung mit Galileo 2000

Eingewöhnungsphase: Visits V01 und V02 dienten dem Heranführen der Probanden an das neue Trainingsgerät. Die Probanden wurde aufgefordert, im mittleren Bereich des Schwingbrettes mit der geringsten Amplitudenauslenkung auf das Gerät aufzusteigen und bis zum freihändigen Stand auszubalancieren. Anschließend sollten die Beine langsam gespreizt werden.

Die Füße sollten flach aufgesetzt werden. Anschließend wurden Bewegungsabläufe, wie z.B. Zehenspitzenstand oder Kniebeugen ausgeführt. Während des Trainings trugen die Probanden Gymnastikschuhe. Jede Trainingseinheit wurde erst bei kompletter subjektiver Erschöpfung des einzelnen Probanden beendet.

Training ohne Gewicht (V03-08): Nachdem der Proband auf dem Trainingsgerät einen sicheren freihändigen Stand erlangt hatte und die oben beschriebenen Bewegungen sicher durchführen konnte, folgten sechs Visits (V03-08), bei denen gleichmäßig Kniebeugen bis zur subjektiven Erschöpfung durchgeführt werden sollten. Die Dauer des Trainings bei jedem Visit wurde notiert (Takt: 10 Kniebeugen pro min.).

Training mit Gewicht (V09-36): In den folgenden Wochen wurde den Probanden während des Trainings ein Hüftgürtel mit zunehmend schwerer werdenden Gewichten angelegt. Um die Kraft nicht über die Wirbelsäule zu leiten, wurde ein Hüftgurt verwendet. Das zusätzliche Gewicht wurde progressiv dynamisch dem Trainingserfolg angepasst und richtete sich zu Beginn nach dem aktuellen Körpergewicht des Probanden und wurde im weiteren Verlauf an die vorher erbrachte Belastungszeit angepasst. Der Bewegungsablauf änderte sich nicht.

V09-V22: Training mit zusätzlich bis zu 35% des Körpergewichtes. Die Trainingszeit soll 5 Minuten betragen. (Takt: 10 Kniebeugen pro min.)

V23-V36: Training mit zusätzlich bis zu 70% des Körpergewichtes. Die Trainingszeit soll 3 Minuten betragen. (Takt: 10 Kniebeugen pro min.)

Das genaue zusätzliche Gewicht richtete sich nach der festgelegten Trainingszeit und wurde entsprechend erhöht oder verringert.

Tab. 03: Trainingsplan der Galileogruppe mit Festlegung der zu bewältigenden Leistung in Abhängigkeit von dem Trainingsabschnitt (Trainingswoche)

	Gewöhnungsphase	Training ohne Gewicht	Training +35% des Körpergewichtes	Training +75% des Körpergewichtes
Dauer (Woche)	1	3	8	8
Visit	V01-02	V03-08	V09-22	V23-V36

2.4.2 Trainingsgestaltung des konventionellen Krafttrainings

Es wurde ein progressiv dynamisches Krafttraining an auxotonischen Trainingsgeräten durchgeführt. Nach der Prüfung der Grundleistung eines jeden Probanden an den einzelnen Trainingsgeräten wurde die zu bewältigende Leistung im weiteren Trainingsverlauf dem individuellen Leistungszuwachs entsprechend angepasst. Bei zunehmender Muskelspannung zu Beginn einer Muskelaktivität passten sich die Trainingsgeräte mit ihrem Trainingswiderstand dieser steigenden Spannung an (auxotonisches Trainingsgerät).

Um einen maximalen Kraftzuwachs zu erreichen, sollte die Zahl der Wiederholungen pro Intervall zunächst zwischen 10 und 12 liegen. Gleichzeitig wurde in der Trainingsmethode festgelegt, dass die Erschöpfung der zu trainierenden Muskulatur innerhalb 90 Sekunden erreicht werden sollte. Die Bewegungsgeschwindigkeit wurde mit einer Hub- und Senkzeit von jeweils 4 Sekunden pro Wiederholung standardisiert. Dies wurde mit Metronom und Stoppuhr kontrolliert. Bei einem Über- oder Unterschreiten der Wiederholungen pro Intervall erfolgt eine adäquate Anpassung des Trainingswiderstandes. Da auch die konventionelle Trainingsgruppe eine Steigerung der zu erbringenden Leistung im Training erfahren sollte, wurden nach 8 Wochen die Trainingsgewichte so gesteigert, dass nur noch 5-6 Wiederholungen pro Intervall möglich waren.

Trainiert wurden folgende Muskelgruppen:

Ein- und Zweigelenkige Hüftstrecker:	Beinpresse im geschlossenen System
musculus quadrizeps femoris:	isolierter Beinstrecker
Rumpfextension:	Kraftmaschine M3
Rumpfflexion:	Kraftmaschine M3
Armbeuger und oberer Rücken:	Rudern

Bei den ersten 2 Visits (V01 und V02) sollten die Probanden mit den Geräten vertraut gemacht werden.

Weitere zwei Wochen (V03 – V08) wurden die Probanden zum Schutz der Gelenke, Sehnen, Bänder und der Muskulatur mit geringen Trainingswiderständen an das progressiv dynamische Training herangeführt. D.h., die Trainingswiderstände waren geringer und die Anzahl der Wiederholungen war größer (25 Wiederholungen in 120 Sekunden).

Für 8 Wochen (V09 - V22) erfolgte das progressiv dynamische Krafttraining, wie oben beschrieben, mit 10 - 12 Wiederholungen bei einer Erschöpfungszeit von 90 Sekunden.

Weitere 8 Wochen (V23 - V36) erfolgte ein progressiv dynamisches Krafttraining mit 5 - 6 Wiederholungen bei einer Erschöpfungszeit von 50 Sekunden.

Bei V1 bis V36 fand vor dem eigentlichen Training eine allgemeine (Fahrradergometer) und spezifische Aufwärmphase (5 Wiederholungen mit dem halben Trainingsgewicht) statt.

2.4.3 Trainingsgestaltung der Kontrollgruppe

Die Erhebung der Ausgangswerte erfolgte ebenso wie bei den Trainingsgruppen (Galileo u. Konventionell). Folgend kamen die Probanden nur zu den Messeinheiten. Die Probanden sollten während des Studienzeitraumes keiner neuen sportlichen Betätigung nachgehen, um eine mögliche Verfälschung der Werte auszuschließen

2.5 Zeitlicher Ablauf einer Trainings- und Messeinheit

Zu Beginn jedes Visits wurde das momentane Befinden erfragt und bei Besonderheiten notiert. Ebenfalls wurden Krankheitsphasen, erhöhter Stress oder ungewohnt hohe körperliche Belastungen in den letzten Tagen schriftlich festgehalten. Blutabnahmen und Urinproben wurden stets vor den Messeinheiten durchgeführt. Die Bestimmung des Laktatwertes aus dem Kapillarblut der Fingerbeere wurde bei allen Probanden zu Beginn und nach Abschluss jeder Trainingseinheit vorgenommen.

Es folgte die genaue Einstellung des Drehmomentstuhls. Zu Beginn jeder Messeinheit wurde von den Probanden ein 5-minütiges Aufwärmen auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Anschließend wurden die Maximalkraftmessungen mithilfe des Drehmomentstuhls vorgenommen. Es wurde stets in derselben Reihenfolge und mit gleich bleibenden Kommandos gearbeitet. Folgend wurden die Probanden aufgefordert in der vorgegebenen

Haltung (siehe 2.7.2) drei aufeinander folgende Sprünge in einem zeitlichen Abstand von je 5 sec. durchzuführen.

2.6 Maximalkraftmessungen mit dem Drehmomentstuhl

2.6.1 Gerätebeschreibung und Anwendung

Mit Hilfe eines von der Firma Novotec, Pforzheim entwickelten Drehmomentstuhls wurden im Verlauf der Studie die Maximalkraftwerte der Kniestrecker und der Armbeuger gemessen. Hierfür verfügt das Messgerät über jeweils einen verstellbaren Kraftaufnehmer für jede Extremität, mit welchem die einwirkende Kraft in Newton gemessen wird. Mit Kenntnis der Länge des Hebelarms wird anschließend mit einem ebenfalls von der Firma Novotec entwickelten Verrechnungsprogramms das Drehmoment errechnet. Bei Beendigung der Messung wurde der maximal erreichte Kraftwert angegeben.

$$\text{Drehmoment} = \text{Kraft in N} \times \text{Hebelarm in m}$$

Die gesamte Kraftentfaltung wurde in Form einer Kurve aufgezeichnet. Der Untersucher überwachte zu jeder Zeit die Kraft-Zeit-Kurve. Die Probanden wurden stetig aufgefordert nach einem verbalen Kommando explosiv eine maximale Kraftleistung zu erbringen, welche sich grafisch in einem sehr kurzen und steilen Anstieg abzeichnete und im Verlauf der Messung wieder langsam abfiel.

Eine möglichst genaue Reproduzierbarkeit der Maximalkraftwerte war nur bei festgelegter Sitzposition und Extremitätenstellung während der Messung gegeben. Alle Vergleichsmessungen wurden identisch durchgeführt.

Richtige Sitzposition auf dem Momentstuhl:

Der Oberschenkel lag, bis auf zwei Fingerbreiten von der Kniebeuge gemessen, auf der Unterlage auf. Die beiden unteren Kraftaufnehmer wurden im Bereich des unteren Drittels des Unterschenkels so angebracht, dass auch bei maximalem Druck keine Beeinträchtigung durch Schienbeinschmerzen entstanden. Die ebenfalls verstellbaren Kraftaufnehmer der Arme wurden nach Fixierung der Ellenbogen in der für sie vorgesehenen Polsterung so eingestellt, dass der Proband ein leicht gebeugtes Handgelenk aufwies und subjektiv das Gefühl hatte, optimale Leistung erbringen zu können. Zur Vermeidung des Einsatzes der

Schultermuskulatur zur Unterstützung der Kraftentwicklung wurde das Ellenbogengelenk stetig in der Polsterung gehalten. Um bei der Maximalkraftmessung der unteren Extremität ein Anheben des Gesäßes zu vermeiden, wurde ein Beckengurt verwendet.

2.6.2 Ablauf einer Messeinheit mit dem Momentstuhl

Jeder Maximalkraftmessung ging eine 5-minütige Aufwärmphase auf dem Fahrradergometer mit 50 Watt voraus. Es folgte eine kurze Dehnung der Oberschenkelstreckmuskulatur. Nun nahm der Proband die oben beschriebene Position ein. Nach Kommando wurden für jede Extremität in gleich bleibender Reihenfolge jeweils 4 aufeinander folgende Messungen mit kurzen Pausen (ca. 20-30 sec.) durchgeführt. Der jeweils höchste Wert wurde für die Auswertung herangezogen.

In Abständen von 2 Wochen wurde eine Eichung des Momentstuhls mittels 10 kg Gewichten durchgeführt und dokumentiert.

2.7 Messung der Sprunghöhe

2.7.1 Sprunghöhenregistrierung mittels einer Sprungmatte

Zur Untersuchung der Entwicklung der Sprunghöhe wurde eine Sprungmatte verwendet, welche Signale beim Betreten an den gekoppelten Computer abgab. Befand sich der Proband während des Sprunges in der Luft, wurden diese Signale unterbrochen. Die Zeitdifferenz zwischen Verschwinden der Signale (Absprung) und deren Wiederaufnahme (Landung) wurde als Zeitintervall gespeichert und gleichzeitig in cm Höhe umgerechnet.

2.7.2 Durchführung der Sprunghöhenmessung

Es wurden jeweils drei aufeinander folgende Sprünge im Abstand von 5 sec. aufgezeichnet. Der Ablauf war auch hier immer gleich und wurde den Probanden vor Trainingsbeginn nochmals erörtert. Beide Beine sollten im Hüftabstand parallel zueinander stehen, die Knie leicht gebeugt, die Hände positioniert in der Hüfte. Aus dieser Grundstellung heraus erfolgten die Sprünge, wobei sich die Probanden so stark wie möglich vom Boden abstoßen sollten, ohne im Verlauf des Sprunges die Beine anzuwinkeln.

2.8 Statistische Auswertung der Maximalkraftwerte

Alle Werte die eine Abweichung von mehr als 20% von ihrem Vorwert überschritten wurden als Fehlmessung beurteilt und von den weiteren Berechnungen ausgeschlossen.

2.8.1 Berechnung der Reproduzierbarkeit der Messwerte für alle vier Extremitäten jedes Probanden

Um die Reproduzierbarkeit bzw. Präzision der Ergebniswerte beurteilen zu können, wurde der Variationskoeffizient berechnet. Gerade bei Nichtsportlern kann damit geprüft werden, ob die Maximalkraft starken Schwankungen unterliegt. Der Variationskoeffizient ist der Quotient aus der Standardabweichung und dem Mittelwert. Um eine Prozentzahl zu erhalten, wird mit 100 multipliziert. Eine Schwankung von null entspricht somit einer 100 %igen Reproduzierbarkeit=Variationskoeffizient. Da zur Überprüfung zwei Visits gewählt wurden, ergeben sich folgende Formeln:

Mittelwert (MW): $(V0 + V1)/2$; Standardabweichung (s): $[MW(V0+V1)-V0 + MW(V0+V1)-V1]/2$

Variationskoeffizient (v): s/MW

$$v = 100 \times \frac{(\text{abs}(MW-V0)+\text{abs}(MW-V1)) / 2}{MW} = 100 \times \frac{(\text{abs } MW-V0)+(\text{abs } MW-V1)}{2 \times MW}$$

2.8.2 Berechnung der Gesamtproduzierbarkeit der Maximalkraftwerte für alle vier Extremitäten

Zur Aussage über die allgemeine Genauigkeit der durchgeführten Messungen wurde die Gesamtproduzierbarkeit berechnet. Sie berechnet sich für die einzelnen Extremitäten aus dem Mittelwert aller für eine Extremität erhaltenen Variationskoeffizienten.

2.8.3 Korrelation zwischen den Maximalkraftwerten zu Beginn und zum Ende der Trainingszeit für alle Extremitäten

Mithilfe der Korrelation nach Pearson ist eine Aussage über die Art und die Stärke des Zusammenhanges der Werte möglich. Ergibt sich eine Punktwolke im Diagramm, so kann eine Regressionsgerade eingezeichnet werden. Ihre Steigung ist positiv, wenn der

Zusammenhang gleichsinnig ist. Bei einer negativen Steigung findet sich ein gegensinniger Zusammenhang.

Die Stärke des Zusammenhanges lässt sich über das Verteilungsmuster der Punkte ablesen. Je näher diese an der Regressionsgerade liegen, desto stärker ist der Zusammenhang. Der Korrelationskoeffizient r nach Pearson kann Werte zwischen 1 und -1 annehmen. Je näher er bei 1 oder -1 liegt, desto stärker ist der vorliegende Zusammenhang (neg.: gegensinnig, pos.: gleichsinnig). Zur Berechnung wurden die Mittelwerte zu Beginn und am Ende der Trainingszeit verwendet.

2.8.4 Berechnung der Signifikanz der Entwicklung der Maximalkraftwerte für die einzelnen Gruppen

Die Signifikanz macht eine Aussage darüber, wie relevant der Unterschied zwischen Ausgangswert und Endwert innerhalb der einzelnen Gruppen ist, bzw. ob überhaupt eine Veränderung innerhalb einer Gruppe stattgefunden hat. Als statistisches Verfahren wird der gepaarte T-Test gewählt. Hierbei entsteht die erste Variable wiederum aus dem Mittelwert der ersten 3 Messungen und die zweite Variable entsprechend aus dem Mittelwert der letzten drei Trainingsmessungen. Das Konfidenzintervall betrug 95%.

2.8.5 Berechnung des mittleren prozentualen Kraftzuwachses für alle Extremitäten in den einzelnen Gruppen

Der tatsächliche Kraftzuwachs in den unterschiedlichen Gruppen wurde mit nachfolgender Formel berechnet.

$$\frac{\text{MW (aller ersten 3 Kraftmessungen)} \times 100}{\text{MW (aller letzten 3 Kraftmessungen)}}$$

2.8.6 Prüfung auf signifikante Unterschiede der prozentualen Kraftzuwachsrate der einzelnen Extremitäten zwischen den drei Gruppen

Als statistisches Mittel wurde hier der Kruskal-Wallis 1-Way Anova Test (SPSS) verwendet. $P < 0,05$ entspricht einem signifikanten Unterschied. Es wurden sowohl alle drei Gruppen, als auch nur die beiden Trainingsgruppen auf signifikante Unterschiede geprüft.

2.8.7. Prüfung auf signifikante Unterschiede der prozentualen Kraftzuwachsrate der einzelnen Extremitäten zwischen den beiden Trainingsgruppen

Als statistisches Mittel wurde der Mann-Whitney U – Wilcoxon Rank Sum W Test (SPSS) verwendet. Das Signifikanzniveau wurde als $p < 0,05$ (= probability of failure) definiert. Der prozentuale Kraftzuwachs wurde mithilfe der Mittelwerte der Maximalkraftwerte zu Beginn und zum Ende der Trainingszeit ermittelt.

2.8.8. Gruppenvergleich der Maximalkraftwerte zu Beginn und zum Ende der Trainingszeit, sowie der mittleren prozentualen Veränderung

Um Abweichungen aufgrund unterschiedlicher Basiswerte und damit verschiedene Ausgangsniveaus zwischen den Gruppen zu erfassen, wurden diese mithilfe des Kruskal-Wallis Test auf signifikante Unterschiede getestet.

Zur Beurteilung des Trainingseffektes und ggf. bestehenden Unterschieden zwischen den Gruppen wurde weiterhin die Endwerte nach Trainingsende und die mittlere prozentuale Veränderung mit dem gleichen Verfahren ermittelt.

Als Berechnungsgrundlage wurden erneut die Mittelwerte der ersten beiden bzw. letzten beiden Trainingsvisits herangezogen.

2.9 Statistische Auswertung der Sprunghöhenmessungen

Im Folgenden wurden diejenigen Messungen, die über 20% von ihren angrenzenden Werten abwichen, als Fehlmessung beurteilt und von den weiteren Berechnungen ausgeschlossen.

2.9.1 Berechnung des Variationskoeffizienten zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit der Sprunghöhen für die einzelnen Probanden

Die Reproduzierbarkeit der Sprunghöhenwerte wurde entsprechend der Berechnung der Reproduzierbarkeit der Maximalkraftwerte durchgeführt (siehe 2.8.2). Es ergibt sich daher folgende Formel:

$$v = 100 \times \frac{(\text{abs}(\text{MW}-V_0)+\text{abs}(\text{MW}-V_1)) / 2}{\text{MW}} = 100 \times \frac{(\text{abs MW}-V_0)+(\text{abs MW}-V_1)}{2 \times \text{MW}}$$

2.9.2 Berechnung der Gesamtproduzierbarkeit für den Sprunghöhenwerte (jump1)

Zur Aussage über die allgemeine Genauigkeit der durchgeführten Messungen wird die Gesamtproduzierbarkeit angegeben. Sie berechnet sich aus dem Mittelwert aller Variationskoeffizienten für jump1.

2.9.3 Berechnung der prozentualen Zuwachsrate der Sprunghöhen für jeden Einzelnen Probanden im Zeitverlauf

Um einen Überblick über die Entwicklung der Sprunghöhen jedes einzelnen Probanden zu erhalten, wurde die Zuwachsrate für jeden neuen Versuch berechnet. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander wurde zu Beginn eine Normierung vorgenommen. Hierzu wurde der zu berechnende Wert durch den zuvor ermittelten Mittelwert, aus den drei ersten gültigen Sprungmessungen, dividiert. Man erhielt einen Zahlenwert um 1. Multiplizierte man diesen Wert mit 100 ergab sich die Prozentangabe. Nach Subtraktion des Wertes 100 erhielt man die Zuwachsrate.

$$\text{z.B. } ((V_{19}/(MWV_0+V_1+V_5)) \times 100) - 100$$

2.9.4 Berechnung der mittleren Sprunghöhenzunahme für die einzelnen Gruppen

Zum tatsächlichen Vergleich der Sprunghöhenzunahme in den einzelnen Gruppen wurde mit nachfolgender Formel die prozentuale Veränderung in den einzelnen Gruppen berechnet.

$$\frac{\text{MW(aller Sprunghöhen zu Beginn)} \times 100}{\text{MW(aller Sprunghöhenmittelwerte am Ende)}}$$

2.9.5 Berechnung der Signifikanz der Sprunghöhe in den einzelnen Gruppen

Die Signifikanz macht eine Aussage darüber, wie relevant der Unterschied zwischen Ausgangswert und Endwert innerhalb der einzelnen Gruppen ist, bzw. ob überhaupt eine

Veränderung innerhalb einer Gruppe stattgefunden hat. Als statistisches Verfahren wird der gepaarte T-Test gewählt. Hierbei entsteht die erste Variable wiederum aus dem Mittelwert der ersten drei Messungen und die zweite Variable entsprechend aus dem Mittelwert der letzten drei Trainingsmessungen. Das Konfidenzintervall betrug 95%.

2.9.6 Prüfung auf signifikante Unterschiede der Sprunghöhenzunahme in den drei Gruppen

Als statistisches Mittel wurde hier der Kruskal-Wallis 1-Way Anova Test (SPSS) verwendet. $P < 0,05$ entspricht einem signifikanten Unterschied. Es wurden sowohl alle drei Gruppen, als auch nur die beiden Trainingsgruppen auf signifikante Unterschiede geprüft.

2.9.7 Vergleich der prozentualen Veränderung der Sprunghöhenwerte beider Trainingsgruppen auf einen signifikanten Unterschied

Als statistisches Mittel wurde der Mann-Whitney U – Wilcoxon Rank Sum W Test (SPSS) verwendet. Das Signifikanzniveau wurde als $p < 0,05$ (= probability of failure) definiert. Die prozentuale Sprunghöhenzunahme wurde mithilfe der Mittelwerte der Sprunghöhen zu Beginn und zum Ende der Trainingszeit ermittelt.