

Zielsetzung der randomisierten komparativen Trainingsstudie war es, den Langzeiteffekt nach 10 Wochen Training mit 20 Trainingseinheiten zwischen den beiden Wirkprinzipien miteinander zu vergleichen. Als Outcome Parameter zur Evaluation dienten hierbei Daten der Kernspintomographie (MRI) als nicht invasives und zugleich hochpräzises Verfahren zur Quantifizierung des Hypertrophieeffekts des Zielmuskels (Oberschenkel). Der Prä-Post-Vergleich der Interventionswirkung auf Kraft und Leistung beim Sprungtest auf der Mechanographie Messplatte setzte die gefundenen morphologischen Ergebnisse in Beziehung zu physikalischen Kenngrößen. Inwieweit sich die eventuell verbesserten konditionellen bzw. koordinativen Fähigkeiten in lokomotorische Schnelligkeit umsetzen lassen, wurde im Prä-Post-Vergleich eines Sprinttests ermittelt.

3. Probanden und Methoden

3.1. Studiendesign

Die prospektive Trainingsvergleichsstudie mit randomisiertem Kontrollgruppendesign fand von Januar 2007 bis Juni 2007 am Zentrum für Muskel und Knochenforschung des Klinikums Benjamin Franklin Berlin statt. Interventionsort der Studie war der relax Sportpark in Berlin-Köpenick. Das Studienprotokoll wurde überprüft und genehmigt durch die Ethikkommission/Ausschuss 4 des Campus Benjamin-Franklin der Charité Berlin (Antragsnummer EA4/075/06).

3.2. Das Probandenkollektiv

3.2.1. Rekrutierung

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte durch Aushänge in der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft. Zielgruppe waren männliche Probanden im Alter von 18 bis 30 Jahren, welche sportlich inaktiv sein sollten.

Personen, die sich im Zuge der Aushänge meldeten, wurden über den Studieninhalt, dessen Hintergrund und den zeitlichen Aufwand primär am Telefon unterrichtet.

Bei Interesse an der Studienteilnahme erfolgte zur Anamneseerhebung und zum Ausschluss von Kontraindikationen die persönliche Kontaktaufnahme mit den evtl. respondierenden Probanden.

3.2.2. Anthropometrische Daten der Probanden

Tab.1 Anthropometrische Daten der Probanden

	Arithmetisches Mittel Alter (Jahre)	SD Größe	Arithmetisches Mittel Gewicht (kg)	SD Gewicht	Arithmetisches Mittel BMI (kg/cm ²)	SD BMI
Galileo-Gruppe	25,67	3,039	81,34	13,34	24,09	3,681
Power-Plate-Gruppe	24,29	3,97	85,71	13,04	25,86	3,924
Kontrollgruppe	24,93	2,615	88,79	18,82	26,86	5,84

Die Studie wurde mit 43 männlichen, gesunden Probanden durchgeführt. Kein Proband schied aus der Intervention aus (drop out), so dass die Studie mit 43 Teilnehmern zu Ende geführt werden konnte.

3.2.3. Ein- und Ausschlussverfahren

Alle respondierenden Probanden wurden zu einer Befragung einbestellt. Mittels eines Fragebogens wurden anamnestische Daten erhoben u. a. zu Lebensgewohnheiten, Grunderkrankungen, Medikamenteneinnahme. Des Weiteren wurde eine schriftliche Einverständniserklärung der Probanden eingeholt. Die Probanden sollten sich im Voraus bereit erklären, an jeder der drei Gruppen (Power-Plate-Gruppe, Galileo-Gruppe, Kontrollgruppe), teilzunehmen. Die Randomisierung erfolgte mittels Losverfahren.

Bei Erkrankungen des Stütz- und Bindegewebes war die Teilnahme an der Studie nicht möglich, da zur Durchführung eines Sprungkrafttests ein gesunder Halteapparat Grundvoraussetzung war. 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. Weiterhin wurden nur Probanden ohne sportliche Aktivitäten für die Studie zugelassen. Probanden galten als sportlich inaktiv, wenn die letzte sportliche Aktivität länger als ein Jahr zurücklag. Ehemalige Leistungssportler wurden grundsätzlich von der Studie ausgeschlossen.

Veränderungen der Messwerte einzelner Probanden während der Trainingsphase konnten so eindeutig auf das Training innerhalb der Studien zurückgeführt werden.

Weitere Gegenanzeigen waren:

- Akute Thrombosen
- Akute Entzündungen des Bewegungsapparates
- Akute Tendinopathien in trainierten Körperregionen
- Frische Frakturen in trainierten Körperregionen
- Steinleiden von Gallenwegen und ableitenden Harnwegen
- Implantate in trainierten Körperregionen
- akute Hernien
- akute Diskopathien
- akute Migräneanfälle
- frische Wunden und Narben in trainierten Körperregionen
- rheumatoide Arthritis
- Epilepsie
- aktive Arthrosen und Arthropathien

3.3. Trainingsgeräte

Das Galileo 2000 Trainingsgerät, das von der Firma Novotec Medical GmbH, Pforzheim hergestellt und weltweit vertrieben wird, arbeitet wie eine Wippe mit einer Amplitude von 0 - 6 mm (medial nach distal, entspricht einem Hub von 0 - 12 mm) bei stufenlos einstellbarer Frequenz, z. B. 5 - 30 Hertz (Hertz = Schwingungen pro Sekunde). Für die Studie wurde die Frequenz auf 24 Hz festgelegt und während der gesamten Studienzeit nicht verändert. Im vorderen Bereich der Schwingungsplatte befindet sich ein Haltegriff, der während des Trainings nicht benutzt wurde. Das Galileotrainingsgerät ähnelt einem Schaukelbrett. Die Schwingungsachse befindet sich in der Mitte der Platte, die Auslenkung nimmt von innen nach außen zu. Die Fußposition wurde bei allen Probanden während der Intervention auf 49 cm von Fußaußenkante zu Fußaußenkante standardisiert und während der gesamten Studienzeit nicht verändert.

Durch die schnelle, seitenalternierende Bewegung (seitenalternierendes Vibrationstraining oder auch side alternating Whole Body Vibration (WBV) oder Biomechanische Stimulation (BMS) der Galileo Trainingsplattform werden in der Muskulatur so genannte "Dehnreflexe" ausgelöst, die eine Kontraktion der Muskulatur in den Beinen bis hinauf in den Rumpf (insbesondere auch im Rücken) bewirken.

Die in der Studie verwendete Power Plate Professional (Next Generation) verzichtet auf die Wippe. Unter der Plattform der Power Plate befindet sich ein Motor mit 200 - 240 V der Schwingungen von 30 - 50 Hz erzeugt. Für die Studie wurde die Frequenz auf 30 Hz festgelegt und während der gesamten Studienzeit nicht verändert.

Die Power Plate ermöglicht zwei Amplitudeneinstellungen High (4 mm) und Low (2 mm). Die Amplitude wurde in der Studie auf 4 mm festgelegt und blieb während des ganzen Interventionszeitraums unverändert. Die Fußposition wurde analog zur Galileofußposition auf 49 cm normiert.



Abb.6 Galileo (links) und Power Plate (rechts)

3.4. Studienablauf

Für jeden Probanden erfolgte eine genaue Trainingsdokumentation, in der Trainingsdaten sowie äußere und innere Einflüsse (z.B. Krankheit, psychische oder körperliche Stressphasen) festgehalten wurden. Das Vibrationstraining wurde auf dem jeweils vorher per Zufallsprinzip zugelosten Vibrationstrainingsgerät (Galileo 2000 oder Power Plate Professionell Next Generation) im Rahmen eines progressiven, kombiniert dynamisch und statischen Krafttrainings ohne Zusatzlast durchgeführt. Es wurde zweimal wöchentlich zu festen Terminen trainiert. Eine dritte auch durch Randomisierung festgelegte Kontrollgruppe blieb inaktiv. Konnten Trainingstermine nicht zeitgerecht eingehalten werden, war es in den meisten Fällen möglich, einen Ausweich- bzw. Ersatztermin einzurichten. Bei der Festlegung der Trainingstermine wurde darauf geachtet, dass mindestens 48 Stunden zwischen den einzelnen Trainingsterminen lagen.

Die Messtermine, bei denen kernspintomographische Untersuchungen der Oberschenkelmuskulatur stattfanden, verschiedene Sprünge auf der Leonardo Sprungmessplatte durchgeführt wurden und Handkraft sowie die lokomotorische Schnelligkeit in einem 15-m-Sprinttest ermittelt wurden, waren bereits im Studiendesign festgelegt.

Der Zeitraum der Studienteilnahme erstreckte sich über 12 Wochen. Dabei betrug der eigentliche Interventionszeitraum 10 Wochen mit 20 Trainingseinheiten. In der Woche vor der Intervention und in der Woche nach der letzten Trainingseinheit fand die Prä- bzw. Postmessung oben genannter Parameter statt. Zwischen der 10. und 11. Trainingseinheit also in der 6. Woche, fand eine Mittelmessung oben genannter Parameter statt. Eine Ausnahme bildete hier der 15-m-Sprinttest, der nur Prä und Post stattfand.

Vier Wochen nach dem letzten Training fand bei 13 an den Trainingsgruppen respondierenden Teilnehmern eine Follow-Up-Messung eines ausgewählten Sprungtests statt. Diese Untersuchung wurde durchgeführt, um evtl. Langzeiteffekte sichtbar zu machen. Tabelle 2 stellt den Versuchsplan in komprimierter Weise dar.

Tab. 2 Versuchsplan

	Messzeitpunkt T1 <i>(prä)</i> <i>Visit 0</i>	Messzeitpunkt T2 <i>(Mittel)</i> <i>nach Visit 10</i>	Messzeitpunkt T3 <i>(post)</i> <i>nach Visit 20</i>	Follow Up- Messung T4 <i>Nach 4</i> <i>Wochen post</i>
Interventionsgruppe I Galileo 10 Wochen (2 TE pro Woche) N = 15	Querschnittsfläche der Oberschenkelmuskulatur bestimmt durch transversale MRT-Schnitte des Oberschenkels	Querschnittsfläche der Oberschenkelmuskulatur bestimmt durch transversale MRT-Schnitte des Oberschenkels	Querschnittsfläche der Oberschenkelmuskulatur bestimmt durch transversale MRT-Schnitte des Oberschenkels	Kraft, Beschleunigung, Leistung, kinetische Energie, potentielle Energie, Sprunghöhe, des Beidbeinsprungs bestimmt durch eine Mechanographie auf der Leonardo-Messplatte bei 13 Pbn. der Interventionsgruppen
Interventionsgruppe II Power Plate 10 Wochen (2 TE pro Woche) N=14	Kraft, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Leistung, kinetische Energie, potentielle Energie, Sprunghöhe, Bodenkontaktzeit Verschiedener Sprünge bestimmt durch eine Mechanographie auf der Leonardo Messplatte	Kraft, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Leistung, kinetische Energie, potentielle Energie, Sprunghöhe, Bodenkontaktzeit verschiedener Sprünge bestimmt durch eine Mechanographie auf der Leonardo Messplatte	Kraft, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Leistung, kinetische Energie, potentielle Energie, Sprunghöhe, Bodenkontaktzeit verschiedener Sprünge bestimmt durch eine Mechanographie auf der Leonardo Messplatte	
Kontrollgruppe (keine Intervention) N=14	Handkraft bestimmt durch ein Handkraftdynamometer Sprintzeit über 15 m bestimmt durch Lichtschrankenmessung	Handkraft bestimmt durch ein Handkraftdynamometer	Handkraft bestimmt durch ein Handkraftdynamometer Sprintzeit über 15 m bestimmt durch Lichtschrankenmessung	

3.5. Trainingsgestaltung beim Vibrationstraining

Zielbewegung auf den Vibrationstrainingsgeräten war eine dynamische Kniebeuge im Sinne eines Squats. Vor der ersten Trainingseinheit wurde der jeweilige Proband vom Studienleiter an die Zielbewegung herangeführt. Die Standbreite auf beiden Geräten wurde auf 49 cm festgelegt

(Abb. 7).

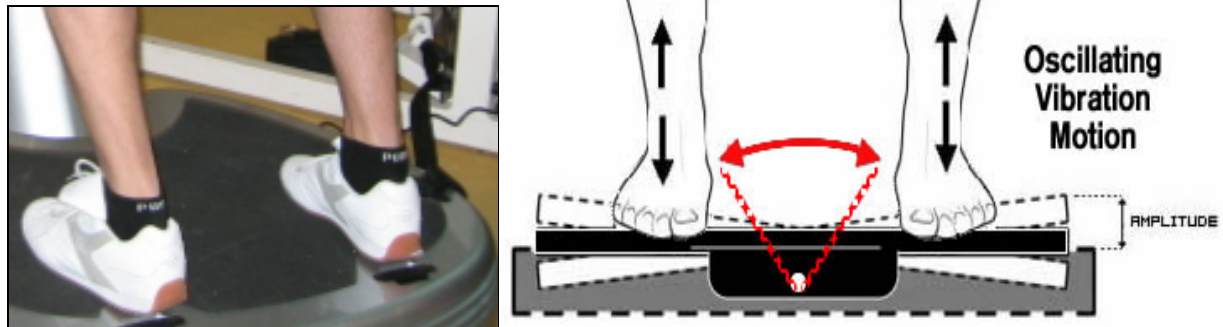


Abb. 7 Fußstellung auf den Vibrationsplatten; Power Plat (links) und Galileo (rechts)

Bei der Zielbewegung auf der Galileo 2000 sollte der Körperschwerpunkt der Probanden auf der ganzen Fußsohle ruhen. Bei der Power Plate sollten die Probanden ihren Körperschwerpunkt leicht auf den Vorfuß verlagern. Begründung findet dieser Unterschied in der Fußstellung trotz Standardisierung und Homogenisierung der Intervention zwischen beiden Interventionsgruppen in den unterschiedlichen Dämpfungseigenschaften der Systeme. Beim Galileo Training werden auftretende Kräfte durch Bewegungen um die sagittale Achse gedämpft. Durch das seitliche Kippen des Beckens entsteht eine Lateralflexion in der Wirbelsäule, welche natürlicherweise mit Rotation einhergeht. Somit werden die Kräfte bis hoch in die Wirbelsäule verarbeitet. Ein Stehen auf der ganzen Fußsole ist somit unproblematisch und indiziert. Bei der Power Plate kann der Körper die Kräfte nur durch Bewegungen um die transversale Achse auffangen. Diese Kräfte werden im oberen Sprunggelenk (Dorsalextension - Plantarflexion), im Knie (Flexion – Extension) und in der Hüfte (Flexion – Extension) gedämpft. Kräfte, die bis dorthin nicht gedämpft sind, werden in die Wirbelsäule eingeleitet. Das macht die Vorfußstellung notwendig. Ein Stehen auf der gesamten Fußsohle ist somit kontraindiziert.

Die Fußspitzen sollten bei der Zielbewegung in die gleiche Richtung wie die Knie zeigen. Das Fußgelenk wurde so ausgerichtet, dass im unteren Sprunggelenk keine Über- oder Unterpronation stattfand. Die Aktivierung des Quergewölbes wurde angestrebt. Der Blick sollte während der Kniebeuge nach geradeaus gerichtet sein (Abb. 8). Eingeleitet sollte die Bewegung mit einer leichten Außenrotation im Hüftgelenk werden. Dann sollte die Hüftbeuge folgen. Somit wurde bei korrekter Ausführung das Gesäß nach hinten geschoben. Erst jetzt sollten die Probanden die Knie beugen, die Unterschenkel blieben somit so senkrecht wie möglich.

Angestrebt sollte bei den Probanden eine LWS-Lordosierung werden, d.h. der ganze Rücken sollte in "Bogenspannung" gebracht werden, auch der Bauch sollte angespannt werden, um durch eine Aktivierung der Lendenrückenbinde die intrasegmentale Stabilität der Wirbelsäule zu erhöhen.

Angestrebt wurde ein Kniewinkel von 90° (Abb.8). Der Proband sollte hierbei vier Sekunden exzentrisch ohne dynamische Betonung in die 90° Kniewinkelposition kommen.

Dort sollten die Probanden zwei Sekunden isometrisch halten, um dann wieder für vier Sekunden ohne dynamische Betonung in die Streckung (nicht ganz vollständige Streckung) zu kommen. Die erneute Abwärtsbewegung sollte dann im Anschluss ohne Pause erfolgen.



Abb.8 Ausgangsposition (links) und Endposition (rechts) der Kniebeuge

Während des Trainings trugen die Probanden Gymnastikschuhe und kurze Hosen. Jede einzelne Trainingseinheit wurde vom Studienleiter im Eins-zu-Eins-Training betreut. So konnte sichergestellt werden, dass die oben beschriebenen standardisierten Bewegungsabläufe korrekt eingehalten wurden. Eine verbale und taktile Bewegungskorrektur wurde vom Studienleiter durchgeführt (Abb.9 a). Außerdem diente ein vom Studienleiter gedrehtes Video mit der standardisierten Bewegungsausführung und dem standardisierten Bewegungstempo als Vorlage. Dadurch erhielt der Proband ein direktes Feedback bezüglich seiner Ausführung und seines Bewegungstempos. Das Video wurde während der Intervention auf einem in Blickrichtung des Probanden gut sichtbaren Laptop abgespielt (Abb.9 b).



Abb.9 a.) Taktile Bewegungskorrektur b.)Standardisierung der Bewegung mit Hilfe eines Videos

Zum Zwecke der Vorbereitung auf die Studie unterzog sich der Studienleiter einer Schulung durch das Power-Plate-Institut und einer Einweisung auf dem Galileo-Trainingsgerät durch den Hersteller, Herrn H. Schießl, in Pforzheim. Das im Folgenden vorgestellte Trainingsdesign wurde mit dem wissenschaftlichen Beirat von Power Plate Herrn Dr. F. Frebel und Herrn Dr. R. Raver von Novotec dem Hersteller der Galileotrainingsgeräte diskutiert bzw. abgestimmt.

In der ersten bis vierten Trainingseinheit (1. und 2. Woche) absolvierten die Probanden ein Training mit drei Serien mal sechs Wiederholungen im oben beschriebenen Tempo von vier Sekunden exzentrischer Phase, zwei Sekunden isometrischer Phase und zwei Sekunden konzentrischer Phase. Das entspricht einer Anspannungszeit der Muskulatur (Time under Tension) von einer Minute. Die Pause zwischen den Sätzen wurde jeweils auf eine Minute standardisiert und mit Hilfe einer Stoppuhr kontrolliert.

Aller zwei Wochen oder nach vier Trainingseinheiten wurde nun die Wiederholungszahl um eine Wiederholung bzw. die Anspannungsdauer um 10 Sekunden erhöht. Die Pausenzeit blieb dabei bei einer Minute, so dass sich folglich die Belastungsdichte (Verhältnis Anspannungszeit zur Pause) progressiv erhöhte.

Ab der neunten Trainingseinheit, also in der fünften Trainingswoche wurde zu den dynamischen drei Serien nach einer Minute Pause noch eine vierte isometrische letzte Serie durchgeführt.

Die Zeit dieser Serie und die Progression entsprach hierbei der, der jeweiligen dynamischen Serien zuvor. Bei der letzten isometrischen Serie sollten die Probanden die 90° Kniewinkelposition halten. Bei der hier beschriebenen progressiven Steigerung der Anspannungsdauer absolvierten die Probanden in den letzten vier Trainingseinheiten (Einheit 16-20) drei dynamische Serien mit je 10 Wiederholungen bzw. mit 100 Sekunden Anspannungsdauer dynamisch und im Anschluss eine Serie mit 100 Sekunden isometrischer Anspannung.

Tab.3 Trainingsplan der Interventionsgruppen in Abhängigkeit von den Trainingswochen

Trainigseinheiten	1.-4. TE	5.-8. TE	9.-12. TE	13.-16. TE	17.-20. TE
Anzahl der Serien	3	3	4 3 mal Dynamisch 1 mal Isometrisch	4 3 mal Dynamisch 1 mal Isometrisch	4 3 mal Dynamisch 1 mal Isometrisch
Anzahl der Wiederholungen je Serie	6	7	8	9	10
Zeit unter Spannung je Serie	1 Minute	1 Minute und 10 Sekunden	1 Minute und 20 Sekunden	1 Minute und 30 Sekunden	1 Minute und 40 Sekunden
Pausen zwischen den Serien	1 Minute	1 Minute	1 Minute	1 Minute	1 Minute
Belastungsdichte (t Belastung : t Pause)	1:1	7:6	4:3	9:6	5:3

3.6. Beschreibung und Anwendungen der Messungen

3.6.1. Sprunghöhenregistrierung mittels der Mechanographie

Die Messbarkeit von Leistungen des Bewegungsapparates wird sehr häufig indirekt über isometrische Kraftmessungen hergeleitet. Mit der Leonardo Messplatte sind die Möglichkeiten gegeben, Muskelkraft und Muskelleistung in dynamischen Verläufen zu bestimmen.

Bei der Mechanographie konnte sich der Proband frei auf einer Kraftmessplatte bewegen. Dabei können aus den auf der Platte erzeugten Gegenkräften, Bodenreaktionskräfte als physikalische Repräsentation jeder Bewegung gemessen werden. „Das Leonardo Messsystem ist in der Lage, aus den Bodenreaktionskräften Kraft, Geschwindigkeit und damit Leistung [...] zu messen“ [Runge, 2006]

Es wurden vier unterschiedliche Tests auf einer Leonardo Ground Reaction Force Platform Mechanographie Messplatte (Sprungmessplatte) durchgeführt (Abb.10). Diese vier Tests sollen an dieser Stelle der Arbeit dargestellt werden. Je Sprungtest waren drei Versuche zu absolvieren. Eine Ausnahme gab es beim mehrfachen Einbeinsprung. Hier wurden je Bein zwei Sprünge gemessen. Es wurden während der Messzeitpunkte identisches Schuhwerk getragen und nur kurze Hose und T-Shirt.



Abb. 10 Sprung auf der Mechanographie Messplatte und Auswertung der Daten

3.6.1.1. Beidbeinsprung (single 2 Leg Jump)

Es wurde ein natürlicher Sprung mit Ausholbewegung und dem Ziel maximaler Höhe durchgeführt. 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.

Die Zielsetzung dieses Tests ist die Beurteilung der individuellen Leistungsfähigkeit (Power-Output). Es gibt zum Vergleich entsprechende Referenzdaten mit Alter/ Geschlecht (EFI) (im Alter von 5 bis 95). Des weiteren dient der Beidbeinsprung zur Bestimmung der Effizienz der Bewegung (inter- und intramuskuläre Koordination im gesamten Körper). Es wurden die Kurven der Kraft, der Leistung und der Sprunghöhe analysiert. Für die Auswertung wurden folgende Rahmenbedingungen für die Anfangsphase der Messung festgelegt:

- Die Kraft muss konstant sein.
- Die Sprunghöhe muss konstant null sein.

In Fällen der Abweichung von diesen Rahmenbedingungen wurde der entsprechende Sprung nicht ausgewertet, denn es wurde von einer falschen Kalibrierung der Platte ausgegangen. Des weiteren wurde ein Plausibilitätscheck über den Vergleich der vom Probanden angegebenen Körpermasse und der durch die Platte bestimmten Masse vor jedem Sprung durchgeführt. Diese Standardprozedur der Validierung der Sprünge wurde bei allen der vier Testtypen von Sprüngen analog zur beschriebenen Prozedur durchgeführt.

3.6.1.2. Drop Jump

Beim Drop Jump handelt es sich um einen Test zur Bestimmung der Bodenkontaktzeit/ Schnelligkeit. Aus einer definierten Fallhöhe (Stuhl) ließ sich der Proband auf den Boden "fallen" und sollte mit möglichst geringer Bodenkontaktzeit wieder abspringen. Die Bodenkontaktzeit ist die Zeit zwischen dem ersten Auftreffen und dem unmittelbar folgenden Absprung. (Je kürzer die Kontaktzeit, desto besser.) Der Drop Jump machte eine Aussage über die Schnelligkeitsvoraussetzungen und dient somit der Beurteilung der intra- und intermuskulären Koordination. Messwerte hierbei waren Kraft, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Leistung, kinetische Energie, potentielle Energie, Gewicht sowie die Bodenkontaktzeit.

3.6.1.3. Landetest (Land Test)

Hierbei handelt es sich um einen Koordinationstest. Der Proband sprang aus definierter Höhe auf die Kraftmessplatte mit dem Ziel, so leise und weich wie möglich zu landen. Minimale Maximalkräfte zeigten möglichst gleich bleibende Energieabsorption. Zielsetzung dieses Tests war die Beurteilung der Koordination der Bewegung und die Bewertung der Fähigkeit zur koordinierten, gleichmäßigen Energieabsorption.

Messwerte die bestimmt wurden sind Kraft, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Leistung, kinetische Energie, potentielle Energie, Gewicht und L/R Differenzen.

3.6.1.4. Mehrfacher Einbeinsprung (multiple 1 Leg Jump)

Dieser Test diente zur Bestimmung der willentlichen Maximalkräfte. Der Proband sprang wiederholt auf dem Vorfuß auf einem Bein, ohne dass die Ferse den Boden berührte. Es handelt sich um einen allgemeinen Leistungstest zur Erfassung der Maximalkraft und Energiespeicherung (Gesamtkörpersteifigkeit).

Messwerte waren Kraft, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Leistung, kinetische Energie, potentielle Energie, Gewicht und Steifigkeit.

3.6.2. Durchführung der kernspintomographischen Messungen

In dieser Studie wurde die Untersuchung der intendierten Hypertrophieeffekte mittels MRT durchgeführt, da diese Technik nicht invasiv ist und durch gute Kontrastgebung besonders des Weichteilgewebes eine hervorragende Darstellung der Muskulatur erlaubt.

Für die Untersuchungstechnik wurden die Variablen so gewählt, dass die Bildqualität eine optimale Unterscheidung zwischen Muskelgewebe, Knochen, Fett und Bindegewebe zuließ. Es wurden Magnetresonanztomogramme beider Oberschenkel vom medialen tibia-plateau bis über den trochanter major angefertigt. Dabei wurden für jeden Probanden jeweils 30 T1- und 30 T2-gewichtete Querschnitte der Oberschenkel gefertigt. Markierungen wurden mittels kontrastreicher Marker auf der Haut mit Pflasterstreifen fixiert.

Die Markierungen wurden an beiden Beinen in Höhe Kniegelenkspalt, auf den trochanter major und direkt auf die mittels Messung bestimmte Mitte zwischen trochanter major und Kniegelenkspalt geklebt. Zur Festlegung des Untersuchungsbereiches wurde zunächst ein scout view angefertigt. Eingeschlossen wurden der Hüftgelenkspalt (proximal) und der Kniegelenkspalt (distal).

Die Referenzlinie lag proximal als Tangente auf dem Femurkopf des linken Beines und distal auf der lateralen Femurkondyle. Erster und letzter scan lagen jeweils ober- bzw. unterhalb der Referenzlinien. Die Probanden wurden während der Untersuchung auf dem Rücken liegend, Füße voraus auf dem Untersuchungstisch gelagert, so dass Hüft- und Kniegelenk gestreckt waren. Des Weiteren wurden Becken und Knie mittels weicher Zellstoffunterlage unterpolstert, so dass die Messung an den Oberschenkelmuskeln ohne Auflagedruck erfolgen konnte. Die Oberschenkel der Probanden wurden weitgehend horizontal gelagert (nichtmagnetische Miniwasserwaage). Die Beine wurden in Höhe der Kniegelenke und an den Füßen mit einem Klebeband fixiert.

Zur Auswertung wurde zunächst über das Programm E-Film die Länge (cm) von trochanter major bis zur condylus fibularis vermessen. Danach wurde auf Grundlage der Gesamtlänge das obere und untere Drittel vermessen und gekennzeichnet. Im Folgendem wurde der slice (Schnitt) aus den jeweiligen Messungen extrahiert, der dem oberen und unterem Drittel entsprach. Diese Schnitte wurden mit dem Programm Osirix ausgewertet. Dabei wurde über den ROI-Manager regions of interest (ROI) ausfindig gemacht und die Muskelquerschnittsflächen vermessen.

Das Pixelvolumen der zuvor bestimmten Muskelumfänge der MRT Oberschenkelschnitte wurde durch ein kalibriertes Gradientensystem, das der Osirix ROI-Manager bereitstellt, in physikalische Einheiten umgerechnet (cm²). Die Auswertung der Bilder erfolgte verblindet, wobei zwei Personen an der Auswertung beteiligt waren. Die erste Person öffnete den MRT-Schnitt, die zweite Person bestimmte die Querschnittsflächen. So wurde gesichert, dass die Vermessung der Oberschenkelquerschnitte erfolgte, ohne dass der Untersucher wusste, welcher Proband zu welchem Messzeitpunkt momentan ausgewertet wurde.

3.6.3. Durchführung der Handkraft-Messungen

Das Messen der Handkraft mit einem Vigorimeter oder Dynamometer diente zur Klärung der generellen Muskelstärke der Probanden. Zur Messung standen die Probanden, Ellbogen 90° gebeugt, Unterarm bezüglich Pronation/ Supination in Neutralstellung und das Handgelenk in 20° Extension. Der Proband führte mit der dominanten und nicht dominanten Hand jeweils drei Versuche durch.

3.6.4. Durchführung der Sprintmessung über 15 Meter

Zur Erfassung der lokomotorischen Schnelligkeit wurde ein 15-Meter-Sprinttest durchgeführt. Zur Zeitnahme diente bei der Untersuchung eine Lichtschrankenanlage (Fa. Brower Trainings System), zur Bestimmung der 15 m ein Maßband. Der Sprinttest fand in einer Turnhalle auf Hallenboden statt. Der Proband begann selbstständig im Hochstart (Abb.11 a) und startete an einer Pflastermarkierung, welche in zwei Metern Abstand zur Lichtschranke am Boden angebracht war. Nach zwei Metern löste der Proband die Lichtschranke aus. Nach Durchlaufen der zweiten Lichtschranke nach 15 m wurde die Zeit gestoppt und im Anschluss dokumentiert (Abb.11 b). Vorher sollte sich der Proband drei Minuten durch einen Lauf aufwärmen, gedehnt wurde nicht. Der Proband hatte drei Versuche, wobei zwischen den Versuchen zwei Minuten Pause zur Verfügung standen. Der schnellste Lauf wurde gewertet.



Abb. 11 a.) Hochstartposition der Sprintmessung b.) Dokumentation der Sprintmessung

3.7. Darstellung der angewandten statistischen Methoden

Für die statistischen Berechnungen wurde die Programmiersprache R benutzt, die für statistische Berechnungen eingesetzt wird. Die Statistik-Software R ist eine Open-Source Implementierung der Sprache S zur Verarbeitung statistischer Daten.

Die anthropometrischen Daten der Probanden, wie Gewicht und Größe sowie das Alter, die Handgriffkraft und die Sprintzeit sowie die Muskelquerschnittsflächen, wurden von den Untersuchern erfasst und zunächst elektronisch in R-Scripts umgewandelt. Die Sprung-Daten wurden aus den Datensätzen der Analysesoftware Leonardo GRFP Mechanography v4.1 elektronisch extrahiert. Die Bodenkontaktzeit, welche der grundlegende Parameter des Drop-Jumps ist, wurde in den Datensätzen nicht gespeichert. Deshalb erfolgte eine manuelle Übernahme der Bodenkontaktzeiten vom Bildschirm. Die ermittelten Kontaktzeit-Daten wurden dann in R-Scripts umgewandelt.

Es folgte die Sortierung der Daten nach zuvor definierten Kriterien, wobei nur der beste Wert der jeweiligen Messung pro Messzeitpunkt selektiert wurde. Für den Sprinttest wurde der Wert mit der kürzesten Zeit ausgewählt, bei der Handkraftmessung die Messung mit der größten Kraft.

Beim Beidbeinsprung wurde der Sprung mit der höchsten physikalischen Leistung ausgewählt. Der Test mit der kürzesten Bodenkontaktzeit wurde beim Drop Jump für die Auswertung benutzt.

Beim Landetest ging der Wert mit der geringsten Kraft, beim mehrfachen Einbeinsprung der Test mit der höchsten Kraft als Berechnungsgrundlage in die Analyse mit ein.

Zunächst wurden die Daten der Prä-Messung (Baseline) im Querschnitt für die einzelnen Gruppen (Galileo-Gruppe, Power-Plate-Gruppe, Kontrollgruppe) analysiert. Dies diente der Charakterisierung der Stichprobe.

Neben der beschreibenden Darstellung der Charakteristika der Stichprobe (arithmetisches Mittel, Standardabweichung) wurden in einem Kruskal-Wallis-Test ermittelt, ob es bzgl. der ermittelten Werte signifikante Mittelwertunterschiede zwischen den zuvor randomisierten Gruppen gibt.

Der Kruskal-Wallis-Test ist ein parameterfreier statistischer Test, mit dem im Rahmen einer Varianzanalyse verglichen wird, ob sich verschiedene unabhängige Stichproben (Gruppen) hinsichtlich einer ordinalskalierten Variablen unterscheiden. Die Homogenität zwischen den einzelnen Gruppen bezüglich der ermittelten Werte kann dadurch nachgewiesen werden. Analysiert wurden gruppeninterne Charakteristika.

Dies waren Mittelwert und Standardabweichung für Alter, Gewicht, Größe BMI und MRT-Querschnittsflächen sowie Leistung des Beidbeinsprungs, Sprintzeit über 15 Meter und Handgriffkraft.

Im nächsten Schritt der statistischen Auswertung wurden die Korrelationen zwischen den einzelnen Parametern der anthropometrischen Daten, der MRT-Querschnittsflächen, der verschiedenen Sprünge, der Sprintzeit und der Handkraft zum Messzeitpunkt der Prä-Messung (Baseline) dargestellt.

Folgend wurden die absoluten Veränderungen der gemessenen Parameter über die Zeit im Längsschnitt innerhalb der jeweiligen Gruppen für jede Versuchsperson einzeln und als Mittelwertveränderung gesamt berechnet sowie graphisch dargestellt. Des Weiteren wurde, um einen Überblick über die Entwicklung der Werte zu erhalten, die relative Zuwachsrate ermittelt.

Zunächst wurden die Ergebnisse der Studie univariat analysiert. Durch einen Wilcoxon-Test sollte ermittelt werden, ob die absolute Veränderung zwischen Ausgangswert und Endwert innerhalb der Gruppen signifikant sind. Ob es charakteristische Unterschiede in der Zuwachsrate zwischen den Gruppen (Power-Plate-Gruppe vs. Galileo-Gruppe vs. Kontrollgruppe) gab, wurde mit dem Kruskal-Wallis-Test geprüft.

Die Signifikanz macht eine Aussage darüber, wie relevant der Unterschied zwischen Ausgangswert und Endwert innerhalb der einzelnen Gruppen ist, bzw. ob die unterschiedlichen relativen Veränderungen zwischen den Gruppen bedeutsam sind. Das Konfidenzintervall betrug 95 %. Zur weiteren statistischen Analyse wurden "linear mixed effects models" benutzt.

