

Aus dem Institut für Physiologie
Zentrum für Weltraummedizin
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

In Kollaboration mit Prof. Dr. Alan R. Hargens, University of California, San Diego, USA

DISSERTATION

Comparison of cardiovascular and biomechanical parameters of supine lower body negative pressure (LBNP) and upright lower body positive pressure (LBPP) to simulate activity in 1/6 G and 3/8 G.

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Thomas Schlabs
aus Bautzen

Datum der Promotion: 26.02.2016

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Abstract | 2 |
| 1.1. Deutsch..... | 2 |
| 1.2. Englisch..... | 4 |
| 2. Eidesstattliche Versicherung und Anteilserklärung | 6 |
| 3. Auszug aus der Journal Summary List (ISI Web of KnowledgeSM 2013) | 9 |
| 4. Druckexemplar der Publikation | 10 |
| 5. Lebenslauf | 21 |
| 6. Publikationsliste | 26 |
| 6.1. Publikationen..... | 26 |
| 6.2. Kongressbeiträge und Abstracts..... | 27 |
| 7. Danksagung | 29 |

1. Abstract

1.1. Deutsch

Einführung:

Erfahrungen aus 40 Jahren bemannter Raumfahrt zeigen, dass die Exposition des menschlichen Körpers gegenüber reduzierter Schwerkraft erhebliche Veränderungen des Herz-Kreislauf-Systems sowie des Bewegungsapparates bewirkt. Diese Veränderungen bedingen eine Reduktion seiner Leistungsfähigkeit. Es ist davon auszugehen, dass zukünftige Weltraum-Missionen zum Mond oder Mars denkbar länger sein werden als alle bisherigen. Um diese adäquat vorzubereiten, sind zusätzliche Forschungen notwendig, um erdbasierte Simulationen reduzierter Schwerkraft weiter zu verbessern. Derzeit existieren zwei Methoden für die Simulation reduzierter Schwerkraft auf der Erde: Die Applikation von Unterdruck auf den Unterkörper in horizontaler Position (Lower Body Negative Pressure, LBNP) und die Applikation von Überdruck auf den Unterkörper in vertikaler Position (Lower Body Positive Pressure, LBPP). Allerdings ist bisher kein direkter Vergleich zwischen horizontalem LBNP und vertikalem LBPP durchgeführt worden, um die beste Methode zur Simulation der Anpassungen des Herz-Kreislauf-Systems und Bewegungsapparates an Mond- ($1/6 G$) und Mars-Gravitation ($3/8 G$) auf der Erde zu bestimmen. Das Ziel der Studie war daher die Simulation dieser Anpassungen mittels beider Methoden (LBNP vs. LBPP) im Ruhen und Gehen jeweils miteinander zu vergleichen.

Methoden:

Zwölf Probanden durchliefen ein Protokoll bestehend aus Ruhen und Gehen ($0,25$ Froude) unter Verwendung von jeweils horizontalem LBNP und vertikalem LBPP. Jedes Protokoll wurde in simulierter Mond- ($1/6 G$) und Mars-Gravitation ($3/8 G$) durchgeführt. Folgende Parameter wurden untersucht: Herzfrequenz (HF), mittlerer arterieller Blutdruck, Sauerstoffaufnahme (VO_2), normierte Schrittlänge, normierte vertikale Spitzenbodenreaktionskraft, Tastverhältnis (Duty Factor), Schrittfrequenz, subjektive Beurteilung der Anstrengung (Borg) und des Komforts des Probanden. Ein gemischtes lineares Modell wurde verwendet, um Effekte der Simulation auf die jeweiligen Parameter zu bestimmen. Darüber hinaus wurden die erhobenen Parameter mit vorberechneten Werten für Mond- und Mars-Gravitation verglichen, um die Simulations-Methode mit der besten Übereinstimmung zu identifizieren.

Ergebnisse:

Während des Gehens waren alle Herz-Kreislauf- und biomechanischen Parameter unabhängig von der Simulations-Methode für 1/6-G und 3/8-G. Während der Ruhebedingungen hingegen waren HF und VO₂ in horizontalem LBNP verglichen mit vertikalem LBPP niedriger. Darüber hinaus zeigten die mittels horizontalem LBNP und vertikalem LBPP simulierten Parameter (HF, VO₂ und normierte vertikale Spitzenbodenreaktionskraft) eine gute Übereinstimmung mit den vorberechneten Werten für Mond- und Mars-Gravitation.

Diskussion:

Da zwischen horizontalem LBNP und vertikalem LBPP keine signifikanten Unterschiede aufgezeigt werden konnten, schlussfolgern wir, dass beide Simulations-Methoden geeignet sind, die Anpassungen des Herz-Kreislauf-Systems und Bewegungsapparates an Aktivitäten bei Mond- und Mars-Gravitation zu simulieren. Die vorgesehene Anwendung und deren Spezifika sollten bei der Auswahl der jeweiligen Methodik (horizontaler LBNP oder vertikaler LBPP) zur Simulation von Mond- und Mars-Gravitation auf der Erde Berücksichtigung finden.

1.2. English

Introduction:

Missions of astronauts to Moon and Mars may be planned in the future. From over 40 years of manned spaceflight it is known that the human body experiences cardiovascular and musculoskeletal losses and a decrease in aerobic fitness while exposed to reduced gravity. Because future missions will be much longer than before, further research is needed to improve Earth-based simulations of reduced gravity. Among others, two methods are capable of simulating fractional gravity on Earth: supine Lower Body Negative Pressure (LBNP) and upright Lower Body Positive Pressure (LBPP). Up to now no direct comparison between supine LBNP and upright LBPP has been performed. To prepare future space exploration missions it is, however, important to determine the best method of simulating on Earth cardiovascular and biomechanical conditions for lunar (1/6 G) and Martian (3/8 G) gravities. For this purpose, exercise performed within a lower body negative pressure (LBNP) and a lower body positive pressure (LBPP) chamber was compared in this study.

Methods:

Twelve subjects underwent a protocol of resting and walking (0.25 Froude) within supine LBNP and upright LBPP simulation. Each protocol was performed in simulated 1/6 G and 3/8 G. We assessed heart rate (HR), mean arterial blood pressure, oxygen consumption ($\dot{V}O_2$), normalized stride length, normalized vertical peak ground reaction force, duty factor, cadence, perceived exertion (Borg), and comfort of the subject. A mixed linear model was employed to determine effects of the simulation on the respective parameters. Furthermore, parameters were compared with predicted values for lunar and Martian gravities to determine the method that showed the best agreement.

Results:

During walking, all cardiovascular and biomechanical parameters were unaffected by the simulation used for lunar and Martian gravities. During rest, HR and $\dot{V}O_2$ were lower in supine LBNP compared with upright LBPP. HR, $\dot{V}O_2$, and normalized vertical peak ground reaction force obtained with supine LBNP and upright LBPP during walking showed good agreement with predicted values.

Discussion:

Since supine LBNP and upright LBPP are lacking significant differences, we conclude that both simulations are suited to simulate the cardiovascular and biomechanical conditions during activity in lunar and Martian gravities. Operational characteristics and the intended application should be considered when choosing either supine LBNP or upright LBPP to simulate partial gravities on Earth.

2. Eidesstattliche Versicherung und Anteilserklärung

„Ich, Thomas Schlabs, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „*Comparison of cardiovascular and biomechanical parameters of supine lower body negative pressure (LBNP) and upright lower body positive pressure (LBPP) to simulate activity in 1/6 G and 3/8 G.*“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Mein Anteil an der ausgewählten Publikation entspricht dem, der in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben ist.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

Publikation:

Thomas Schlabs, Armando Rosales-Velderrain, Heidi Ruckstuhl, Alexander C. Stahn, Alan R. Hargens. *Comparison of cardiovascular and biomechanical parameters of supine lower body negative pressure and upright lower body positive pressure to simulate activity in 1/6 G and 3/8 G*. J Appl Physiol. 2013 Jul;115(2):275-84

Beitrag im Einzelnen:

Konzept & Fragestellung:

- Selbstständige Identifikation der wissenschaftlichen Problematik nach ausführlicher Literaturrecherche und Diskussion mit Alan R. Hargens (ARH). Hiernach eigenständige Planung und Durchführung von Pilotstudien zur Differenzierung der Fragestellung zusammen mit Armando Rosales-Velderrain (ARV).
- Endgültige Entwicklung der Fragestellung sowie Hypothese der vorliegenden Studie unter Supervision von ARH.

Studiendesign:

- Wesentlicher und eigenständiger Anteil an der Entwicklung des Studiendesigns: Auswahl der geeigneten Messmethodik und des experimentellen Versuchsaufbaus. Zudem Testung des gesamten Versuchsaufbaus sowie Durchführung von Anpassungen.
- Selbstständige Erstellung des schriftlichen Studienplans mit dem Titel „Comparison of upright LBPP and supine LBNP in terms of cardiovascular and biomechanical parameters to simulate 1/6-G (lunar gravity) and 3/8-G (Martian gravity) activity“ inklusive der Antragsdokumente (Versuchsbeschreibung, Stichprobenumfangsschätzung, Probandendokumente, Statistikplan etc.) zur Beratung durch die Ethikkommission der University of California, San Diego (Protokoll-Nr. T06873). Umsetzung der Änderungsvorschläge der Ethikkommission.

Erhebung der Daten:

- Hauptverantwortliche Rekrutierung und Aufklärung der Probanden sowie organisatorische und logistische Koordination der Versuche in Zusammenarbeit mit ARV.
- Wesentlicher Anteil an der Erhebung der Daten mit Unterstützung von ARV: Durchführung der Versuche, Betreuung der Probanden, Registrierung und Speicherung der Rohdaten.

Verarbeitung der Daten:

- Selbständige Aufarbeitung der erhobenen Daten: Bereinigung der Rohdaten und Überführung dieser in eine zentrale elektronische Datenbank zur weiteren statistischen Analyse.

Statistische Analyse:

- Erheblicher Anteil an der Auswahl der statistischen Methoden basierend auf dem vorab gefertigten Statistikplan sowie Durchführung der statistischen Berechnungen in Zusammenarbeit mit Heidi Ruckstuhl und Alexander C. Stahn.

Wissenschaftliche Würdigung der Ergebnisse und Erstellung der Publikation:

- Entscheidender Beitrag zur kritischen Würdigung der Ergebnisse sowie Identifikation der relevanten Aussagen der Studie einschließlich ihrer Limitationen.
- Eigenständige graphische Darstellung der Ergebnisse in Form von Tabellen, Diagrammen und Abbildungen.
- Selbständige Erstellung des zur Publikation führenden Manuskripts unter Supervision von ARH sowie Umsetzung der Rückmeldungen der beteiligten Co-Autoren und Kooperationspartner hierzu.
- Federführende Koordination der Einreichung des Manuskripts, Kommunikation mit der Zeitschrift, Umsetzung der Reviewer-Kommentare in Abstimmung mit den Co-Autoren sowie finale Freigabe der Druckversion der Publikation.

Datum

Unterschrift des Doktoranden

3. Auszug aus der Journal Summary List (ISI Web of KnowledgeSM 2013)

Journal of Applied Physiology

- Eigenfactor[®] Score: 0,04704
- Journal-Kategorie: Physiologie
- Rang: 4 von 81 (Sortierung nach Eigenfactor[®] Score, absteigend)

Quelle: <http://admin-apps.webofknowledge.com/JCR/JCR> (Zugriff am 09.01.2015)

| Mark | Rank | Abbreviated Journal Title (linked to journal information) | ISSN | JCR Data ⁱ⁾ | | | | | | Eigenfactor [®] Metrics ^{j)} | |
|-------------------------------------|------|--|-----------|------------------------|---------------|----------------------|-----------------|----------|-----------------|--|--------------------------------------|
| | | | | Total Cites | Impact Factor | 5-Year Impact Factor | Immediacy Index | Articles | Cited Half-life | Eigenfactor [®] Score | Article Influence [®] Score |
| <input type="checkbox"/> | 1 | J NEUROPHYSIOL | 0022-3077 | 43740 | 3.041 | 3.446 | 0.583 | 523 | >10.0 | 0.06881 | 1.409 |
| <input type="checkbox"/> | 2 | J PHYSIOL-LONDON | 0022-3751 | 47233 | 4.544 | 5.021 | 1.368 | 386 | >10.0 | 0.06245 | 1.827 |
| <input type="checkbox"/> | 3 | AM J PHYSIOL-HEART C | 0363-6135 | 32958 | 4.012 | 4.046 | 0.614 | 352 | 8.5 | 0.05303 | 1.285 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 | J APPL PHYSIOL | 8750-7587 | 42489 | 3.434 | 4.193 | 0.723 | 393 | >10.0 | 0.04704 | 1.296 |
| <input type="checkbox"/> | 5 | PHYSIOL REV | 0031-9333 | 23974 | 29.041 | 35.456 | 4.486 | 35 | 9.8 | 0.04161 | 13.875 |
| <input type="checkbox"/> | 6 | AM J PHYSIOL-ENDOC M | 0193-1849 | 20258 | 4.088 | 5.037 | 0.701 | 284 | 7.6 | 0.03950 | 1.667 |
| <input type="checkbox"/> | 7 | J CELL PHYSIOL | 0021-9541 | 17398 | 3.874 | 3.825 | 1.387 | 269 | 6.6 | 0.03598 | 1.157 |
| <input type="checkbox"/> | 8 | AM J PHYSIOL-REG I | 0363-6119 | 21416 | 3.529 | 3.502 | 0.527 | 277 | 8.9 | 0.03470 | 1.114 |
| <input type="checkbox"/> | 9 | AM J PHYSIOL-CELL PH | 0363-6143 | 18064 | 3.674 | 3.952 | 1.081 | 222 | 7.9 | 0.03312 | 1.324 |
| <input type="checkbox"/> | 10 | AM J PHYSIOL-RENAL | 1931-857X | 16896 | 3.300 | 3.753 | 0.774 | 332 | 7.4 | 0.03301 | 1.169 |
| <input type="checkbox"/> | 11 | AM J PHYSIOL-GASTR L | 0193-1857 | 14610 | 3.737 | 3.853 | 0.722 | 205 | 7.6 | 0.02810 | 1.238 |
| <input type="checkbox"/> | 12 | AM J PHYSIOL-LUNG C | 1040-0605 | 13603 | 4.041 | 4.338 | 0.654 | 182 | 7.7 | 0.02115 | 1.167 |
| <input type="checkbox"/> | 13 | EUR J APPL PHYSIOL | 1439-6319 | 12058 | 2.298 | 2.586 | 0.503 | 292 | 8.5 | 0.02110 | 0.744 |
| <input type="checkbox"/> | 14 | PFLUG ARCH EUR J PHY | 0031-6768 | 9138 | 3.073 | 3.615 | 0.770 | 148 | 9.3 | 0.01668 | 1.234 |
| <input type="checkbox"/> | 15 | ANNU REV PHYSIOL | 0066-4278 | 8246 | 14.696 | 18.785 | 6.300 | 30 | 10.0 | 0.01583 | 7.850 |
| <input type="checkbox"/> | 16 | PSYCHOPHYSIOLOGY | 0048-5772 | 10746 | 3.180 | 3.924 | 0.696 | 125 | >10.0 | 0.01468 | 1.212 |
| <input type="checkbox"/> | 17 | Q J EXP PSYCHOL | 1747-0218 | 3883 | 1.730 | 2.591 | 0.417 | 151 | 5.8 | 0.01398 | 1.082 |
| <input type="checkbox"/> | 18 | INT J BEHAV NUTR PHY | 1479-5868 | 3291 | 3.675 | 4.807 | 0.305 | 141 | 4.0 | 0.01341 | 1.505 |
| <input type="checkbox"/> | 19 | J INSECT PHYSIOL | 0022-1910 | 7578 | 2.500 | 2.567 | 0.593 | 145 | >10.0 | 0.01232 | 0.739 |
| <input type="checkbox"/> | 20 | J GEN PHYSIOL | 0022-1295 | 8002 | 4.570 | 4.142 | 1.725 | 91 | >10.0 | 0.01136 | 1.758 |

4. Druckexemplar der Publikation

Die Publikation mit dem Titel "*Comparison of cardiovascular and biomechanical parameters of supine lower body negative pressure (LBNP) and upright lower body positive pressure (LBPP) to simulate activity in 1/6 G and 3/8 G.*" von T. Schlabs, A. Rosales-Velderrain, H. Ruckstuhl, A. C. Stahn und A. R. Hargens erschienen im Journal of Applied Physiology (2013 Jul;115(2):275-84) wird aus urheberrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.1152%2Fjappphysiol.00990.2012>

5. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

6. Publikationsliste

6.1. Publikationen

1. Kassner U*, Schlabs T*, Rosada A, Steinhagen-Thiessen E. Lipoprotein(a) - An independent causal risk factor for cardiovascular disease and current therapeutic options. *Atheroscler Suppl.* 2015 May;18:263-7. (* geteilte Erstautorenschaft)
Impact Factor: 2,293 (2014)
2. Schlabs T, Rosales-Velderrain A, Ruckstuhl H, Stahn AC, Hargens AR. Comparison of cardiovascular and biomechanical parameters of supine LBNP and upright LBPP to simulate activity in 1/6-G and 3/8-G. *J Appl Physiol.* 2013 Jul;115(2):275-84
Impact Factor: 3,434 (2013)
3. Rosales-Velderrain A, Cardno M, Mateus J, Kumar R, Schlabs T, Hargens AR. Toe Blood Pressure and Leg Muscle Oxygenation with Body Posture. *Aviat Space Environ Med.* 2011;82(5):531-4.
Impact Factor: 0,879 (2011)
4. Ruckstuhl H, Schlabs T, Rosales-Velderrain A, Hargens AR. Oxygen consumption during walking and running under fractional weight bearing conditions. *Aviat Space Environ Med.* 2010;81(6):550-4.
Impact Factor: 0,852 (2010)
5. Gunga HC, Werner A, Stahn A, Steinach M, Schlabs T, Koralewski E, et al. The Double Sensor-A non-invasive device to continuously monitor core temperature in humans on earth and in space. *Respir Physiol Neurobiol.* 2009;169 Suppl 1:S63-8.
Impact Factor: 2,135 (2009)
6. Kulike K, Lauch R, Westkemper M, Schlabs T, Johannink J, Schwab A, Lapp S, Weinmann P, Hilgers J. Die Bachelor/Master-Struktur in der Medizin - Die Perspektive der Medizinstudierenden. *GMS Z Med Ausbild.* 2008;25(1):Doc71
Impact Factor: N/A

6.2. Kongressbeiträge und Abstracts

1. Werner A, Schlabs T, Moore AD, Sattler F, Koch J, Koralewski HE, Gunga HC. Preliminary Data of Changes in Thermoregulation in Astronauts on ISS using a new non-invasive Heat Flux Doublesensor. *62nd International Astronautical Congress*. International Astronautical Federation. Kapstadt, 2011
2. Rosales-Velderrain A, Cardno M, Mateus J, Kumar R, Schlabs T, Hargens AR. Toe Blood Pressure and Leg Muscle Oxygenation with Body Posture. *Experimental Biology Meeting 2011*. American Physiological Society. Washington, 2011
3. Schlabs T, Arnold U, Gross M. Studierendenmobilität in Europa - Ergebnisse des CHarME-Projekts. *GMA-Jahrestagung*. Gesellschaft für Medizinische Ausbildung. Bochum, 2010.
4. Schlabs T, Arnold U, Gross M. Student mobility in Europe – A closer look on student exchange between 8 medical faculties. *AMEE Conference 2010*. Association for Medical Education in Europe. Glasgow, 2010
5. Schlabs T, Werner A, Noack T, Koralewski HE, Gunga HC. Rapid fluid shifts induced by parabolic flights alter the thermal balance in humans. *61rst International Astronautical Congress*. International Astronautical Federation. Prag, 2010
6. Werner A, Schlabs T, Stahn A, Noack T, Koralewski HE, Scheithe K, Jahn E, Gunga HC. Effects of Nebivolol (Nebilet®) on cardiovascular and thermoregulatory functions under real and simulated microgravity conditions. *61rst International Astronautical Congress*. International Astronautical Federation. Prag, 2010
7. Schlabs T, Werner A, Noack T, Koralewski HE, Gunga HC. Der Einfluss von schnellen Flüssigkeitsverschiebungen auf den menschlichen Wärmehaushalt während Parabelflügen. *48. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrtmedizin*. Wiesbaden, 2010

8. Schlabs T, Rosales-Velderrain A, Ruckstuhl H, Richardson S, Hargens A. Comparison of upright LBPP and supine LBNP in terms of cardiovascular and biomechanical parameters to simulate 1/6-G (lunar gravity) and 3/8-G (Martian gravity) activities".
 - *COSPAR 2010 - Committee on Space Research*. International Astronautical Federation. Bremen, 2010
 - *Life in Space for Life on Earth Congress*. European Space Agency. Triest, 2010.
 - *5. Internationaler Kongress für Raumfahrtmedizin und Medizin in extremen Umwelten (ICMS)*. Zentrum für Weltraummedizin Berlin, 2010

9. Schlabs T, Steinach M, Koralewski HE, Gunga HC. Thermoregulation and Changes in Body Composition during a 60-Day Bed Rest in 6°-Head-Down Tilt. *BBR-2: 2nd Scientific Meeting of the Berlin-Bed-Rest Study II*. Charité – Universitätsmedizin Berlin. Berlin, 2009

10. Rosales-Velderrain A, Ruckstuhl H, Schlabs T, Hargens AR. Oxygen Consumption During Unloaded Walking and Running. *Southwest Chapter 29th Annual Meeting (Posterbeitrag)*. American College of Sports Medicine. San Diego, 2009

11. Schlabs T, Noack T, Werner A, Koralewski HE, Gunga HC. Thermoregulation and core temperature changes under short-time micro-gravity conditions during parabolic flights. *Life in Space for Life on Earth Congress*. European Space Agency. Angers, 2008

12. Schlabs T, Wagenseil B, Betzler F, Gewies M, Abels W, Schulz J, Kowoll R, Gunga HC. Can facilitation increase the HOFFMANN-reflex under short-term micro-gravity conditions during a Parabolic flight. *Biennial International Symposium*. European Low Gravity Research Association. Florenz, 2007

13. Schlabs T, Wagenseil B, Betzler F, Gewies M, Abels W, Schulz J, Kowoll R, Gunga HC. Can facilitation increase the HOFFMANN-reflex under short-time micro-gravity conditions during a parabolic flight?. *18th European Students' Conference (Posterbeitrag)*. Charité – Universitätsmedizin Berlin. Berlin, 2007

7. Danksagung

Zunächst möchte ich Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Dipl. Geol. Hanns-Christian Gunga für die freundliche Aufnahme in seine Arbeitsgruppe, das mir entgegengebrachte Vertrauen sowie die fortwährende großzügige Unterstützung meiner Forschung danken. Seine Faszination für außergewöhnliche wissenschaftliche Fragestellungen sowie seine ganzheitliche Sicht auf den menschlichen Organismus und dessen Interaktion mit der Umwelt weckten in mir das Interesse, mich mit dem spannenden Forschungsgebiet der extremen Umwelten zu befassen.

Ich danke den Mitarbeitern der Arbeitsgruppe „Extreme Umwelten“ des Zentrums für Weltraummedizin Berlin für die langjährige intensive Zusammenarbeit und den wissenschaftlichen Austausch, die mich motiviert haben, „am Ball zu bleiben“:

Dr. med. Andreas Werner, Dipl.-Sportl. Dr. med. Rainer Kowoll (†), Dr. ing. Hans-Eberhardt Koralewski, Dr. med. Alexander Stahn, Dr. med. Oliver Opatz, Dr. med. Mathias Steinach, Dr. med. Thilo Noack, Bärbel Himmelsbach-Wegener und Eveline Hofmann.

Große Bedeutung für meinen wissenschaftlichen Werdegang hatte mein Forschungsaufenthalt im Labor von Alan R. Hargens, Ph.D. an der University of California, San Diego. Thank you Alan, for the excellent opportunity to join your laboratory, the inspiring scientific exchange and last but not least for your continuous support and patience with me writing the publication for this study. Furthermore, I would like to thank my collaborators for their support: Heidi Ruckstuhl, Ph.D.; Armando Rosales-Velderrain, M.D.; Sara Richardson; Miles Wilkinson and Ruthven Stanford. Mein Dank gilt auch den Probanden - ohne deren Einsatz die Versuche für diese Studie nicht hätten durchgeführt werden können. Ich danke zudem dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) sowie der Studentischen Forschungsförderung der Charité für die finanzielle Unterstützung dieses Forschungsjahres.

Ich danke außerdem allen Menschen, die meinen bisherigen Werdegang begleiteten und ihn dabei in besonderer Weise prägten, allerdings hier nicht namentlich genannt sind.

Der größte Dank gebührt schließlich meiner Familie. Ohne ihre immerwährende Unterstützung wäre dies Alles nicht möglich gewesen.