
Schlussbericht

50WB / 1730

Zirkadiane Rhythmen und Temperaturregulation des Menschen unter simulierten und realen Mikro-g Bedingungen (ISS, Antarktis)

**Institut für Physiologie / Zentrum für Weltraummedizin Berlin
Charité – Universitätsmedizin Berlin**

Gliedkörperschaft der Freien Universität Berlin und der Humboldt-Universität zu Berlin

I. Kurze Darstellung:

1. Aufgabenstellung

Im Projektzeitraum wurden mit dem ThermoLab-System Astronauten vor dem Raumflug, während des Aufenthaltes auf der internationalen Raumstation ISS (6 Monate) und nach Rückkehr im Hinblick auf Veränderungen des zirkadianen Verlaufs der Körperkerntemperatur untersucht. Es konnten nahezu sämtliche geplanten Messungen erfolgreich durchgeführt werden.

Parallel zu den Experimenten auf der ISS wurden Studien in extremen Umwelten durchgeführt, um die physiologischen Veränderungen des Herz-Kreislaufsystems und verschiedener Parameter des autonomen Systems zu erfassen.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das ThermoLab-System ist seit 2009 auf der internationalen Raumstation im Einsatz. Unsere integrative, nicht-invasive Methodik hat den Vorteil, dass außer der Körperkerntemperatur weitere physiologische Parameter erfasst werden können. Parallel zu den Experimenten auf der ISS wurden in enger Abstimmung mit dem Alfred-Wegener-Institut (AWI) in Bremerhaven und mit der LMU (A. Choukèr) Studien zur Anpassung an Isolation und Confinement an Überwinterern auf der Neumayer-Station III in der Antarktis durchgeführt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Für die Untersuchungen wurde bei Astronauten der Verlauf der Körperkerntemperatur vor, während und nach Aufhalten auf der Raumstation ISS für jeweils 36-Stunden erfasst. Insgesamt liegen jetzt nach Abschluss der Messreihe 13 komplette Datensätze zum zirkadianen Verlauf der Körperkerntemperatur vor.

Diese Forschungen wurden ergänzt durch terrestrische Begleituntersuchungen zur Anpassung des autonomen Nervensystems sowohl bei Ausdauersportlern in extremen Kälte-Klimaten als auch bei Überwinterern in der Antarktis, hier incl. hormoneller Untersuchungen zur Resilienz. Bei den Überwinterern zeigten sich u. a. deutliche Unterschiede in der Körperzusammensetzung im Verlauf der Isolation, die auf ein unterschiedliches Schlaf-Wachverhalten bei Männern und Frauen hinweisen.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Dieser ist den Publikationen (siehe V.) zu entnehmen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen:

Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR), Köln; Deutsches Herzzentrum Berlin (DHZB), Berlin; Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven; Ludwig-Maximilian-Universität (LMU), München; European Space Agency (ESA), Noordwijk; Johnson Space Center (JSC, NASA, Houston, USA).

II. Erzielte Ergebnisse

1. Schlussfolgerungen

Beim abgeschlossenen Vorläuferprojekt wurde festgestellt, daß sich der Set-point der Körperkerntemperatur innerhalb von ca. 60 Tagen im All um ca. 0,8 °C erhöht. Die nun vorliegenden Untersuchungen bestätigen den Befund, dass die Körperkerntemperaturen im Durchschnitt über denen liegen, die vor und in der Erholungsphase nach Weltraumaufenthalt gemessen werden. Die Untersuchungen ergaben u. a. deutliche Unterschiede in der Körperzusammensetzung im Verlauf der Isolation und wiesen auf ein unterschiedliches Schlaf-Wachverhalten bei Männern und Frauen hin.

Ferner weisen die vorläufigen Untersuchungen darauf hin, dass es außerdem zu einem deutlichen zirkadianen Rhythmus der Körperkerntemperatur bei den Astronauten kommt, obgleich natürliche Lichtverhältnisse, die einen wesentlichen Stimulus für die zirkadiane Rhythmik auf der Erde darstellen, auf der Internationalen Raumstation nicht gegeben sind. Entgegen unserer Ausgangshypothese gibt es deutliche Amplituden im Verlauf der zirkadianen Körperkerntemperatur und somit Hinweise darauf, dass der zirkadiane Rhythmus bei Astronauten, zumindest in der erdnahen Umlaufbahn der Internationalen Raumstation, nicht wesentlich zu terrestrischen Bedingungen verändert ist.

2. Kritische Betrachtungen und Ausblick

Das Arbeitsprogramm, d. h. die Durchführung der Untersuchungen zum zirkadianen Rhythmus vor, während und nach einem Langzeitaufenthalt auf der ISS Experimente sowie die Anpassungen des autonomen Nervensystems an extreme Umweltbedingungen wie Isolation, Confinement und extreme Ausdauerbelastungen konnten wie geplant durchgeführt werden. Mit der umfangreichen

wissenschaftlichen Auswertung dieser humanwissenschaftlichen Studien im Labor und Feld konnte weitgehend fristgerecht begonnen werden. In Einzelfällen liegen bereits Publikationen in peer-reviewed Journalen vor. Weitere Publikationen sind in der Begutachtung bzw. in Vorbereitung.

Der Projektverlauf kann insgesamt als sehr erfolgreich bezeichnet werden. Für die Zukunft wäre es wünschenswert, wenn mehr terrestrische Parabelflugkampagnen durchgeführt und die Zusammenarbeit mit dem Alfred-Wegener-Institut sowie den chinesischen Kooperationspartnern gestärkt werden könnte, um Zeitreihenanalysen physiologischer Parameter beim Menschen unter Bedingungen von Isolation und Confinement zu ermöglichen.

Hier wäre darüber hinaus auch eine vertiefte Zusammenarbeit mit der University of Pennsylvania, Philadelphia, von besonderem Interesse, da die dortige psychologische Abteilung unter Leitung von Prof. Dinges und Prof. Basner interessante, neuartige Methoden zur Erfassung der psychischen Leistungsfähigkeit und des Schlafs entwickelt. Unser Mitarbeiter Dr. Stahn hält sich deshalb z. Zt. dort auf, um sich mit diesen neuen Methoden und deren wissenschaftlicher Auswertung näher vertraut zu machen.

III. Voraussichtlicher Nutzen (Verwertungsplan)

Siehe Anlage Erfolgskontrollbericht, Seite 2

IV. Fortschritte während des Vorhabens

Bisher verfügbare Methoden haben den Nachteil, dass parallel nicht genügend Parameter zur Beurteilung der physischen und psychischen Leistungsfähigkeit unter feldphysiologischen Bedingungen erfasst und anschaulich zeitnah dargestellt werden können. Die integrative, nicht-invasive Methodik erlaubt dies und könnte daher große Bedeutung für die Arbeits-, Sport- und Umweltmedizin sowie Kontrollbehörden gewinnen.

V. Publikationen mit Bezug zur Förderung

Originalarbeiten

1. Maggioni MA, Merati G, Castiglioni P, Mendt S, **Gunga HC**, Stahn AC. Reduced vagal modulations of heart rate during overwintering in Antarctica. *Sci Rep.* 2020 Dec 11;10(1):21810. doi: 10.1038/s41598-020-78722-3.
2. Balcerek B, Steinach M, Lichti J, Maggioni MA, Becker PN, Labes R, **Gunga HC**, Persson PB, Fähling M. A broad diversity in oxygen affinity to haemoglobin. *Sci Rep.* 2020 Oct 9;10(1):16920. doi: 10.1038/s41598-020-73560-9.
3. Friedl-Werner A, Brauns K, **Gunga HC**, Kühn S, Stahn AC. Exercise-induced changes in brain activity during memory encoding and retrieval after long-term bed rest. *Neuroimage.* 2020 Dec; 223:117359. Doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.117359. Epub 2020 Sep 10.
4. Maggioni MA, Rundfeldt LC, **Gunga HC**, Joerres M, Merati G, Steinach M. The advantage of supine and standing heart rate variability analysis to assess training status and performance in a walking ultramarathon. *Front Physiol.* 2020 Jul 24;11:731. doi: 10.3389/fphys.2020.00731.

5. Prell R, Opatz O, Merati G, Gesche B, **Gunga HC**, Maggioni MA. Heart rate variability, risk-taking behavior and resilience in firefighters during a simulated extinguish-fire task. *Front Physiol.* 2020 Jul 10;11:482. doi: 10.3389/fphys.2020.00482. eCollection 2020.
6. Stahn AC, Riemer M, Wolbers T, Werner A, Brauns K, Besnard S, Denise P, Kühn S, **Gunga HC**. Spatial updating depends on gravity. *Front Neural Circuits.* 2020 Jun 5;14:20. doi: 10.3389/fncir.2020.00020. eCollection 2020.
7. Stahn AC, Maggioni MA, Gunga HC, Terblanche E. Combined protein and calcium β -hydroxy- β -methylbutyrate induced gains in leg fat free mass: a double-blinded, placebo-controlled study. *J Int Soc Sports Nutr.* 2020 Mar 12;17(1):16. doi: 10.1186/s12970-020-0336-1.
8. Clement G, Boyle RD, **Gunga HC**. Editorial: The effects of altered gravity on physiology. *Front Physiol.* 2019 Nov 27;10:1447. doi: 10.3389/fphys.2019.01447. eCollection 2019.
9. Stahn AC, **Gunga HC**, Kohlberg E, Gallinat J, Dinges DF, Kühn S. Brain changes in response to long arctic expeditions. *N Engl J Med.* 2019 Dec 5;381(23):2273-2275. doi: 10.1056/NEJMc1904905.
10. Brauns K, Werner A, **Gunga HC**, Maggioni MA, Dinges DF, Stahn A. Electrocortical evidence for impaired affective picture processing after long-term immobilization. *Sci Rep.* 2019 Nov 12;9(1):16610. doi: 10.1038/s41598-019-52555-1.
11. Kienast C, **Gunga HC**, Steinach M. Neuropeptide Y – Its role in human performance and extreme environments. *REACH.* 2019 Jun-Sep; 14-15:100032. doi.org/10.1016/j.reach.2019.100032.
12. Strewe C, Moser D, Buchheim JI, **Gunga HC**, Stahn A, Crucian BE, Fiedel B, Bauer H, Gössmann-Lang P, Thieme D, Kohlberg E, Choukèr A, Feuerecker M. Sex differences in stress and immune responses during confinement in Antarctica. *Biol Sex Differ.* 2019 Apr 16;10(1):20. doi: 10.1186/s13293-019-0231-0.
13. Schalt A, Johannsen MM, Kim J, Chen R, Murphy CJ, Coker MS, **Gunga HC**, Coker RH, Steinach M. Negative energy balance does not alter fat-free mass during the Yukon Arctic Ultra - the longest and the coldest ultramarathon. *Front Physiol.* 2018 Dec 20;9:1761. doi: org/10.3389/fphys.2018.01761.
14. Maggioni MA, Castiglioni P, Merati G, Brauns K, **Gunga HC**, Mendt S, Opatz O, Rundfeldt LC, Steinach M, Werner A, Stahn A. High-intensity exercise mitigates cardiovascular deconditioning during long-duration bed rest. *Front Physiol.* 2018 Nov 19;9:1553. doi: 10.3389/fphys.2018.01553.
15. Opatz O, Nordine M, Habazettl H, Ganse B, Petricek J, Dosel P, Stahn A, Steinach M, **Gunga HC**, Maggioni MA. Limb skin temperature as a tool to predict orthostatic instability. *Front Physiol.* 2018 Sep 5;9:1241.
16. Masatli Z, Nordine M, Maggioni MA, Mendt S, Hilmer B, Brauns K, Werner A, Schwarz A, Habazettl H, **Gunga HC**, Opatz OS. Gender-specific cardiovascular reactions to +Gz interval training on a short arm human centrifuge. *Front Physiol.* 2018 Jul 31;9:1028.
17. Tapia M, Wulff-Zottele C, De Gregorio N, Lang M, Varela H, Josefa Serón-Ferré M, Vivaldi EA, Araneda OF, Silva-Urra J, **Gunga HC**, Behn C. Melatonin relations with respiratory quotient weaken on acute exposure to high altitude. *Front Physiol.* 2018 Jun 29;9:798. doi: 10.3389/fphys.2018.00798.
18. Rundfeldt LC, Maggioni MA, Coker R, **Gunga HC**, Riveros-Rivera A, Schalt A, Steinach M. Cardiac autonomic modulations and psychological correlates in the Yukon Arctic Ultra: the longest and the coldest ultramarathon. *Front Physiol.* 2018 Feb 12; 9:35.

19. Stahn AC, Werner A, Opatz O, Maggioni MA, Steinach M, von Ahlefeld VW, Moore A, Crucian BE, Smith SM, Zwart SR, Schlabs T, Mendt S, Trippel T, Koralewski E, Koch J, Choukèr A, Reitz G, Shang P, Röcker L, Kirsch KA, **Gunga HC**. Increased core body temperature in astronauts during long-duration space missions. *Sci Rep*. 2017 Nov 23;7(1):16180.

Monographien

1. **Gunga HC**: Human Physiology in Extreme Environments. 2nd Edition, Academic Press, Elsevier 2020. [*Erweiterte und um ein neues Kapitel ergänzte Auflage*]
2. **Gunga HC**: Am Tag zu heiß und nachts zu hell, Rowohlt, 2019.
3. **Gunga HC**: Human Physiology in Extreme Environments. Chinese Edition, Elsevier (Singapore) Pte Ltd., 2018.

Buchbeiträge

1. Grevers D, **Gunga HC**, Opatz SO, Stahn A, Steinach M, Werner A. Weltraummedizin. *In*: Ley, Wittmann, Hallmann (Hrsg.), Handbuch der Raumfahrttechnik. 5. aktualisierte und erweiterte Auflage, Carl Hanser Verlag München, 2019, pp. 650-666.
2. **Gunga HC**, Steinach M. Wärmehaushalt und Temperaturregulation. *In*: Speckmann H, Hescheler J, Köhling R (Hrsg.), Physiologie. 7. Auflage, Elsevier, 2019. pp. 625-652.

Dissertationen

1. Nordine, Michael: Untersuchung des Schwerkrafteinflusses auf das kardiovaskuläre System anhand der Methoden LBNP (Lower body negative pressure), Zentrifuge und Wasserimmersion. Dissertation Charité – Universitätsmedizin Berlin, Freie Universität Berlin (2020).

Masterarbeiten

1. Prell, Rebecca: Über die Assoziation der Herzratenvariabilität mit der Risikobereitschaft und Resilienz bei Feuerwehrleuten in einer simulierten Brandbekämpfung. MSc Psychologie, Technische Universität Berlin (2019).

VI. Erfolgskontrollbericht

Siehe Anlage

VII. Berichtsblatt Deutsch, Englisch

Siehe Anlagen

Berlin, den 14. Dezember 2020


Prof. Dr. Hanns-Christian Gunga
(Projektleiter)

Berichtsblatt

| | | |
|---|--|--|
| 1. ISBN oder ISSN | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht | |
| 3. Titel Zirkadiane Rhythmen und Temperaturregulation des Menschen unter simulierten und realen Mikro-g Bedingungen (ISS, Antarktis) | | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Gunga, Hanns-Christian | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2020 | 6. Veröffentlichungsdatum Dezember 2020 |
| | 7. Form der Publikation Schlußbericht | |
| | 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Mitte CharitéCrossOver (CCO), Institut für Physiologie Zentrum für Weltraummedizin Berlin Charitéplatz 1 10117 Berlin | |
| 13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. Königswinterer Str. 522-524 53227 Bonn | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution - | 10. Förderkennzeichen *) 50 WB 1730 |
| | 11. Seitenzahl 5 | |
| | 12. Literaturangaben 26 | |
| 16. Zusätzliche Angaben - | 14. Tabellen - | |
| | 15. Abbildungen - | |
| | 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) DLR, Bonn, Dezember 2020 | |
| 18. Kurzfassung Im Projektzeitraum wurden mit dem ThermoLab System weitere Astronauten vor dem Raumflug, während des Aufenthaltes auf der internationalen Raumstation ISS (6 Monate) und nach Rückkehr im Hinblick auf Veränderungen des zirkadianen Verlaufs der Körperkerntemperatur untersucht. Es konnten nahezu sämtliche geplanten Messungen erfolgreich durchgeführt werden. Insgesamt liegen von den Astronauten 13 komplette Datensätze zum zirkadianen Verlauf der Körperkerntemperatur vor. Erste Ergebnisse weisen daraufhin, dass die Körperkerntemperaturen im Durchschnitt über denen liegen, die vor und in der Erholungsphase nach Raumaufenthalt gemessen werden. Ferner weisen die vorläufigen Untersuchungen darauf hin, dass im Gegensatz zu unserer Ausgangshypothese deutliche Amplituden im Verlauf der zirkadianen Kerntemperatur gibt. Parallel zu den Versuchen auf der ISS wurden mit dem ThermoLab System verschiedene theoretische Arbeiten und humanphysiologische Studien mit dem Doppelsensor durchgeführt, die der Validierung der Methode dienten. Außerdem konnten die Untersuchungen in der Antarktis zu Isolation und Confinement fortgesetzt werden. Ein Großteil der Ergebnisse konnte in international referierten Journalen publiziert werden. | | |
| 19. Schlagwörter ISS, autonomes Nervensystem, Temperaturregulation, nicht-invasive Technologien, Antarktis-überwinterungen | | |
| 20. Verlag - | 21. Preis - | |

*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

Document Control Sheet

| | | |
|---|--|--|
| 1. ISBN oder ISSN | 2. Type of Report Final report | |
| 3a. Report Titel Circadian rhythms and thermoregulation of humans under simulated and real micro-g-conditions (ISS, Antarctica) | | |
| 3b. Titel of Publication | | |
| 4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Gunga, Hanns-Christian | 5. End of Project 30.06.2020 | |
| | 6. Publication Date December 2020 | |
| 4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) | 7. Form of Publication Final report | |
| | 9. Originator's Report No. - | |
| 8. Performing Organization(s) (Name, Address) Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Mitte CharitéCrossOver (CCO), Institut für Physiologie Zentrum für Weltraummedizin Berlin Charitéplatz 1 10117 Berlin | 10. Reference No. 50 WB 1730 | |
| | 11. No. of Pages Report 5 | |
| | 12. No. of References 26 | |
| 13. Sponsoring Agency (Name, Address) Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. Königswinterer Str. 522-524 53227 Bonn | 14. No. of Tables - | |
| | 15. No. of Figures - | |
| | 16. Supplementary Notes - | |
| 17. Presented at (Title, Place, Date) DLR, Bonn, December 2020 | | |
| 18. Kurzfassung In the course of the project, some additional astronauts were studied in respect to changes in body core temperature over 36 hrs (circadian rhythm) before, during, and after a long-term stay (6 months) on the ISS. Nearly all planned measurements could be performed, so that currently 13 complete data sets of the changes of core temperatures in astronauts are available. So far, it was found that the astronauts – although isolated and confined on the station – had clear and pronounced circadian rhythm profiles. In addition to these studies in astronauts on ISS, several other ground-based studies were performed, among them physiological measurements on human adaptation to the extreme isolation and confinement in Antarctica. The results from these field studies were published in peer-reviewed journals recently. Besides those field studies, different laboratory studies were performed which dealt with the accuracy and precision of the double sensor method to measure body core temperature. Meanwhile, these studies could be published in a peer-reviewed journal as well. | | |
| 19. Keywords ISS, autonomic nervous system, regulation of temperature, non-invasive technologies, overwintering campaigns in Antarctica | | |
| 20. Publisher - | 21. Price - | |