

4. 添付資料

4.1 有人宇宙医学講義シラバス

科目ナンバリング		G-LAS13 80009 LJ95		G-LAS13 80009 LJ25		G-LAS13 80009 LJ89			
授業科目名 <英訳>		有人宇宙医学 Space Medicine		担当者所属 職名・氏名		総合生存学館 教授 山敷 庸亮 宇宙航空研究開発機構 特定准教授 寺田 昌弘			
群	大学院横断教育科目群		分野(分類)	健康・医療系		使用言語	日本語		
旧群		単位数	2単位	週コマ数	1コマ	授業形態	講義（対面授業科目）		
開講年度・開講期	2024・後期		曜時限	水4		配当学年	大学院生	対象学生	全学向
(総合生存学館の学生は、全学共通科目として履修登録できません。所属部局で履修登録してください。)									
[授業の概要・目的]									
人類の宇宙進出は、特に技術的発展に伴って益々活況となっている。人の宇宙滞在もスペースシャトルから国際宇宙ステーションに宇宙プログラムが移行して、益々長期化し、今後は月面ミッションや火星ミッションなどで数年単位の滞在も現実のものになっている。しかし、地球環境に適応して進化した我々人が、宇宙環境に滞在した際にどのような影響があるのかはすべて解明されているわけではない。そのため本講義では、今後の有人宇宙活動に向けて、人への宇宙滞在の影響がどのようなものであるかを学び、将来的にその対策方法の解明に従事する人材育成を目的とする。 Human space exploration is becoming more and more active, especially with recent technological developments. The space program has shifted from the Space Shuttle to the International Space Station (ISS), and stays in space are becoming longer and longer. However, the effects of space stays on humans, who have evolved to adapt to the Earth's environment, have not yet been fully understood. Therefore, the purpose of this lecture is to learn the effects of space stays on human beings for future manned space missions, and to develop human resources who will be engaged in development of countermeasures against such effects in the future.									
[到達目標]									
宇宙環境が人へどのような影響があるかを理解する。そして今後数年単位に及ぶ宇宙滞在においてどのような問題点があり、それを解決するために何を必要とするかなど、自身で考察する能力を養う。 Understand how the space environment affects humans. They will also develop the ability to consider for themselves what problems they will face during their future stay in space with the duration of over several years, and what they need to do to overcome those issues.									
[授業計画と内容]									
1. 宇宙医学概要 寺田昌弘 Outline of Space Medicine (Masahiro Terada, Kyoto University) 2. 宇宙での骨格筋への影響① 谷端淳（慈恵医大） Influence on skeletal muscles in space 1 (Jun Tanihata, The Jikei University School of Medicine) 3. 宇宙での骨格筋への影響② 志波直人（久留米大） Influence on skeletal muscles in space 2 (Naoto Shiba, Kurume University) 4. 宇宙での骨格筋への影響③ 河野史倫（松本大） Influence on skeletal muscles in space 2 (Fuminori Kawano, Matsumoto University) 5. 宇宙での姿勢制御 萩生翔太 Attitude control in space (Shota Hagio, Kyoto University) 6. 宇宙での心循環系への影響① 南沢享（慈恵医大） Effects on the cardiovascular system in space 1 (Susumu Minamisawa, The Jikei University School of Medicine) 7. 宇宙での心循環系への影響② 岩瀬敏（愛知医大） Effects on the cardiovascular system in space 2 (Satoshi Iwase, Aichi Medical University)									
----- 有人宇宙医学(2)へ続く↓↓↓ -----									

有人宇宙医学(2)
8. 宇宙放射線の影響① 山敷庸亮 Effects on Cosmic Radiation 1 (Yosuke Yamashiki, Kyoto University) 9. 宇宙放射線の影響② 山敷庸亮 Effects on Cosmic Radiation 2 (Yosuke Yamashiki, Kyoto University) 10. 宇宙酔い 野村泰之 (日大) Space Sickness (Yasuyuki Nomura, Nihon University) 11. 宇宙医学に基づいた宇宙服開発 田中邦彦 (岐阜医療科学大) Space Suit development based on space medicine (Kunihiko Tanaka, Gifu University of Medical Science) 12. フライトサージヤンの役割 嶋田和人 (JAXA) The role of Flight surgeon (Kazuhito Shimada, JAXA) 13. 宇宙飛行士リハビリテーション 山田深 (杏林大学) The Rehabilitation for astronauts (Shin Yamada, Kyorin University) 14. 宇宙生物実験 暮地本宙己 Space Biology Experiments (Hiroki Botimoto, The Jikei University School of Medicine)
【履修要件】
学部学生も聴講可能である。
【成績評価の方法・観点】
全講義終了後に、提出レポートの点数によって合否を判定する。なお、レポートは出席ではない。レポートを提出しても、0点となることがあることに注意。
【教科書】
使用しない
【参考書等】
(参考書) 授業中に紹介する (関連URL) https://spacemedicine.usss.kyoto-u.ac.jp/(宇宙医学教育プログラム)
【授業外学修（予習・復習）等】
有人宇宙活動、宇宙医学に関して興味のある資料や文献、そしてメディア上の番組などは各自自習し、問題意識を持って取り組むこと。
【その他（オフィスアワー等）】
※オフィスアワーの詳細については、KULASISで確認してください。

4.1.1. 第1回宇宙医学講義スライド集

第1回 有人宇宙医学講義

京都大学宇宙航空学研究所
寺田 昌弘

講義受講による習熟度評価

初回と最終回に各自にコンセプトマップを作成してもらい、講義受講前後のコンセプトマップの比較からどのような概念構成の変化があったのかを評価。

本日の内容

- ・コンセプトマップの作成
- ・宇宙医学教育プログラムの紹介
- ・宇宙医学概要

コンセプトマップ (概念地図) とは

コンセプト (概念) 間の関係を、ノードとリンクとリンク語を使って描いた図 (Novak & Gowin, 1984)

コンセプトマップの作成手順

- ・授業で学んだことをできるだけ出す。
- ・主題 (A3) の中心テーマ「有人宇宙医学」の周りに、思い出したコンセプト (名詞・名詞句) を相互の関係性を考えながら配置し、リンクをつなぐ。
- ・可能な限りリンク語 (コンセプト間の関係性を数明する言葉) を書き入れる。
- ・なお、覚えていた内容で作成することが望ましいため、講義の配布資料などを活用して作成してよい。



図1 「宇宙医学」の概念マップ (寺田昌弘) の作成手順
図2 ノボク・ゴウイン (1984) 「コンセプトマップの作成手順」 (寺田昌弘) の作成手順
【引用】 Novak, J. & Gowin, D. (1984) Learning to Use Concepts. New York: Cambridge University Press.



2022年度 宇宙航空科学技術推進委員会宇宙人育成プログラム

将来の有人宇宙活動を支える 宇宙医学人材養成プログラムの創出

主管機関: 京都大学
共同参画機関: 岐阜医療科学大学

宇宙医学教育プログラムの紹介

研究代表者			
寺田 昌弘	京都大学 宇宙航空学研究所 宇宙航空学研究所 (宇宙人育成)	特定研究員	
共同参画者 (京都大学)			
山口 昌弘	京都大学 宇宙航空学研究所 宇宙航空学研究所 (宇宙人育成)	准教授	
西村 隆	京都大学 医学部附属病院 医学部附属病院 (宇宙人育成)	特定研究員	
共同参画者 (岐阜医療科学大学)			
田中 祥平	岐阜医療科学大学 大学医療科学部 大学医療科学部 (宇宙人育成)	教授	
杉浦 明彦	岐阜医療科学大学 看護学部 看護学部 (宇宙人育成)	講師	



2023年度宇宙医学実習訪問先

- ・ 大分大学・大分空港
- ・ 東京慈恵会医科大学・宇宙航空医学研究室
- ・ IHIエアロスペース
- ・ ヒューストン

大分大学

大分大学医学部ではAIを用いた手術支援システムの開発を行っており、先進的な臨床医学研究を実施しております。また、大分空港はスペースポート(宇宙港)の建設予定地でもあり、大分県は県全体で宇宙産業の支援を実施している自治体でもあります。高度な医学研究と宇宙港というユニークな要素が宇宙医学分野とどのように関わっていくのかを考察してもらいます。

実施日: 2023年 9月21-22日
参加者: 内田大智(京大)
保田夏野(群馬大)
中島浩彰(京大宇宙倫理)



東京慈恵会医科大学・宇宙航空医学研究室

実習では5日間の実験体験を行い、クリノスタット(Gravite)で培養した培養細胞を用いて基本的な遺伝子解析や組織解析を体験してもらい、宇宙医学に関する基礎研究を学びます。

実施日: 2023年 9月25-29日
参加者: 西方深太郎(芝浦工大)
保田夏野(群馬大)



IHIエアロスペース

IHIエアロスペースはわが国を代表するロケット・飛翔体の総合メーカーとして、固体燃料ロケットの技術に応用し、科学観測や実用衛星打ち上げ用ロケットの開発を行うことにより、日本の宇宙開発の一部を担っています。実習では工場見学とエンジニアの方々との交流を行い、宇宙航空分野と宇宙医学分野との繋がりを考察してもらいます。

実施日: 2024年 2月21日
参加者: 吉志満(早大)、狩俣空(東北大)、
鈴木大雅(愛知医大)、島谷陽樹(京大)、
林 誠一(東京医科歯科大)、藤間一輝(東大)、
山本大航(名古屋大)



ヒューストン

NASA研究者とのディスカッションを通じて宇宙医学についての知見を深めてもらいます。また、NASA Johnson Space Center内の施設見学も調整しています。アメリカの宇宙分野の現場を体験していただき、今後の宇宙医学分野への考察を深めて下さい。

実施日: 2024年 2月19-25日
参加者: 加藤和(名古屋市大)、秦瑞貴(川崎医科)、
門井況衛(早大)、原口朝紀(京大)、
天野健太(千葉大)



2024年度宇宙医学実習訪問先

- ・ NASA Ames Research Center
(2024年10月17-22日を予定)
- ・ NASA Johnson Space Center
(2025年1月23-30日を予定)

評価方法

【コンセプトマップによる教育効果の評価】
各講義・実習において教育効果を定量的に評価するために、コンセプトマップを活用。前後のコンセプトマップを比較することによって、コンセプトマップによる学習の可視化が可能。

前日講義や実習前のコンセプトマップ



最終日講義や実習後のコンセプトマップ



【教育プログラム自体の評価】
外部評価委員を設け、本プログラム内容について評価をしてもらう。
外部評価委員は宇宙関連学会・企業・機関の中から指名する。

事業計画および事業期間終了後の方針

- 事業期間中:
- 国内の宇宙医学関連団体(日本宇宙航空学術協会、Space Medicine Japan Youth Communityなど)と連携・交流を推進
 - 本教育プログラムに参加した学生が、次年度の参加学生のリーダーとして指導するという体制を構築



事業終了後の方針:
継続的な教育体制を構築し、各団体と協力を継続し、事業終了後も宇宙ユニットの役割(予備・スタッフ)を活用し、教育プログラムを継続していく。

普及活動(事業成果の発信)

- 宇宙ユニットシンポジウム(医界との対話・双方内の交流)
- 毎年2月に宇都宮大学で開催
 - 中高生・大学生、一般市民・企業の方々など200名以上が参加し、ポスター発表や講演などを通じて交流

- 宇宙ユニットNEWS(最新の情報提供)
- 毎月発行、全国の関係大学・機関等に無料配布
 - 宇宙ユニットの活動や研究紹介
 - 宇宙における最新の話題も掲載

- 日本宇宙航空学術協会年次大会(分野拡大)
- 日本の宇宙医学研究者が集う学会
 - 若手の会もあり、学生セッションも開催
 - 京大入会としてシンポジウムを開催

その他、宇宙医学ゼミや宇宙医学学生同士の通じて普及活動を行う。



実施体制



実証のある機関との連携を行う。

まとめ

育成する人材像

人が安心・安全に宇宙で活動できるように、宇宙医学の専門知識を持ち、有人宇宙活動の発展を支えることができる人材。

宇宙医学教育の必要性

日本国内における宇宙医学教育の需要が増し、海外においてもその必要性が増している状況。

本プログラムの特色

模擬微小重力環境実験を有することにより、総合的に宇宙環境での影響を再現でき、実践的に宇宙医学を学ぶことが可能。宇宙医学関連学会との連携を強化。

成果発信

年次シンポジウムなどを活用し、広く一般社会にも本プログラムの成果を発信する。

プログラム評価

コンセプトマップによる学習理解度の可視化。宇宙医学学会・企業によるプログラム外部評価。

今後の体制

継続的な教育体制を構築し、事業終了後も宇宙ユニットの役割を活用して普及活動を行う。

宇宙医学概要

宇宙医学の定義

宇宙空間における人体の生理的変化とその対応策、病気の診断と予防、宇宙環境を利用した病気の治療、宇宙空間における人間の生活設計などを対象とする医学。(大槻祥)

人間が宇宙空間で生命を維持し、人体を防護する際に遭遇する諸問題を、医学的、心理学的、生理学的あるいは生化学的に研究する学問。(世界大百科事典)

宇宙医学の目的

宇宙の環境が健康にどのような影響があるかを研究し、健康が害されるメカニズムをつきとめ、対策を生み出し、それらの影響を最小限に抑える能力を行う宇宙飛行士の健康と体力を維持することが「宇宙医学」の目的とす。(JAXA HPより)

宇宙飛行士の健康管理

宇宙環境を利用した医学研究

宇宙医学とは?

「普通では生命維持不可能な環境」へのヒトの滞在・活動をサポートする
極限環境医学の一分野。

- 1903年 フライト兄弟の動力飛行機飛行(航空医学)
- 1953年 ヒツリーのエベレスト山登山頂(山岳医学)
- 1965年 アルゼンチン南極探検隊(極地医学)
- 1961年 ガガーリンの有人宇宙飛行(宇宙医学)



宇宙医学は宇宙空間における搭乗員(微小重力環境・宇宙放射線・極大気圧環境など)が人体・生命に及ぼす影響を把握し、宇宙飛行士の有人宇宙活動を総合的にサポートする学問である。



基礎医学研究



臨床医学・産業医学(作業環境・健康管理)

Flight Surgeon 航空宇宙医師

フライト・サーजन(FS)とは地上と宇宙を往還し宇宙空間に滞在する飛行士(旅行者)の健康管理に携わる。宇宙医学の知識を有する専門医のことである。もともと航空機に乗ることを職業とする人が、航空環境で身体に受ける身体的・心理的影響を研究する領域を航空医学といい、その専門医をFSと称したが、航空パイロットの数が多く、また早くから有人宇宙飛行に取り組んできたアメリカでは、すでに100年近い歴史がある。



NASA Johnson Space Centerのクリニック

At flight medicine clinic, astronauts get fixed before they go to space



© Houston Chronicle

NASA JSCの薬剤師



© Photo: NASA/JSC

How Tina Bayuse became the first pharmacist at NASA

After inspiring a presentation about drugs in space, Tina Bayuse thought there might be a role for pharmacists in the space program. She was hired the pharmacy at Johnson Space Center in Houston, Texas.

【第7回】 11月13日 フライトサージャンの役割 (嶋田和人：筑波航研、元JAXA医師)

有人宇宙飛行に必要な支援活動について医学・医療を中心に述べる。国内では1952年の航空医科以来、有人飛行についての自主開発が乏しい。有人宇宙分野でも飛行士に関わる技術の開発経験は確かである。有人宇宙開発については基礎である航空機の開発経験を積み、弾道飛行とその回収技術から習得するのが医学支援上も無理がない。我が国がこれから有人宇宙技術の自主開発にどう進むのか、熟考する必要がある。清美では、JAXAフライトサージャンとして勤務した経験に基づき、宇宙飛行士の医学運用について解説した。軌道上での健康維持や帰還後のリハビリについてもNASAやJAXAでの運用方法について詳しく説明した。



宇宙環境での人への影響

<宇宙ステーション軌道の世界>



微小重力
($10^{-6} \sim 10^{-4}G$)

宇宙放射線

高真空
($10^{-9}Pa$)

大気汚染

大気圏突破

大気圏突破

軌道トランジット

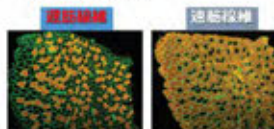
<帰還直後の様子>



© JAXA

微小重力環境下での筋肉への影響

<骨格筋の特徴>



遅筋繊維：
赤色で、収縮が遅く持続的な大きな力は発揮できないが、持久性に優れている

速筋繊維：
白色で、早い収縮を行い爆發性に優れているが、疲れやすく持久力は弱い



微小重力環境下での骨・筋肉への影響

骨格筋への影響：

<筋萎縮>



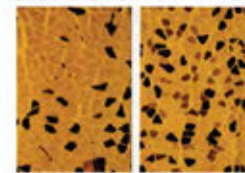
コントロール前 後退後（3ヶ月）

Kawano et al., Am J Physiol Cell Physiol 282: C458-467, 2002.

- ・抗重力筋（運動単位に筋肉）の萎縮が顕著
- ・短期飛行（スペースシャトル）では、約10%萎縮
 - 腰部背筋：10.3%
 - ハムストリング：8.3%
 - 下腿三頭筋：6.0%
 - 大腿四頭筋：6.0%
- ・ミール宇宙船による長期滞在（115日）では、約20%萎縮
 - 腰部背筋：18%
 - 下腿三頭筋：18%
 - 大腿四頭筋：12%

<筋繊維のタイプ変化>

組織化学的染色を施したラットヒラメ筋横断面



コントロール前

宇宙飛行後（14日間）

Ohira et al., J Appl Physiol 78: 628-635, 1995.

・遅筋繊維の遅筋化が生じる

<筋力の低下>

- ・短期（1-2週間）の宇宙飛行でも筋力低下が生じる



【第2回】 10月9日 宇宙での骨格筋への影響①（志波直人：久留米大）

宇宙における筋萎縮に対する運動効果を中心に解説した。加齢性筋萎縮であるサルコペニアについてリハビリの臨床医の立場から詳細に説明した。筋力の衰えに伴い、骨折などのリスクが高まるため、総合的な予防が重要となる。リハビリの現場では、ハイブリットトレーニングと呼ばれる電気刺激を利用した装置が用いられている。講師は実際にこの機器を宇宙に持っていき、宇宙飛行士で筋萎縮予防効果があるかを検討した。ハイブリットトレーニング機器などを用いれば、宇宙における筋萎縮を効果的に予防できる可能性がある。特に、地上での臨床現場での技術が宇宙に活かせることができれば、開発コストも抑えることができ、また宇宙から地上への還元にもつながり、有用な手段である。



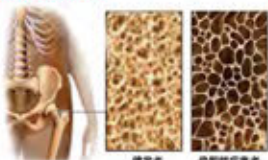
【第14回】 1月22日 宇宙での骨格筋への影響②（河野史倫：松本大学）

宇宙環境に滞在すると筋肉が萎縮することは知られている。そのため、衰えない筋肉を作るという考えも非常に重要である。宇宙で萎縮する筋繊維は主に遅筋と呼ばれるものであり、遅筋はほとんど萎縮することはない。遅筋と遅筋は遺伝的に異なり、通常は遅筋繊維が遅筋繊維に、遅筋繊維が遅筋繊維に遷移することはない。それぞれ持続的な性質や線粒体的な性質があり、異なる筋繊維として運動を繰り返している。しかし、エビジェネティックのような遺伝子調節を改変することで、一つの筋繊維で両方の利点を持った筋繊維を構築できる可能性がある。将来的には宇宙でも衰えない、萎縮しない筋肉を遺伝的に作ることができるかもしれない。これらの研究を動物実験で継続していくことが重要である。



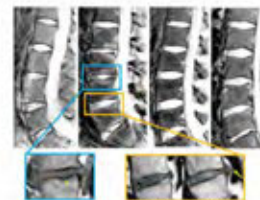
骨への影響：

<骨密度の低下>



- ・骨からカルシウムが漏出し、骨量減少や尿路結石のリスクが高まる
- ・骨量減少速度が、骨粗鬆症患者の約10倍早く進む

腰部椎間板ヘルニア

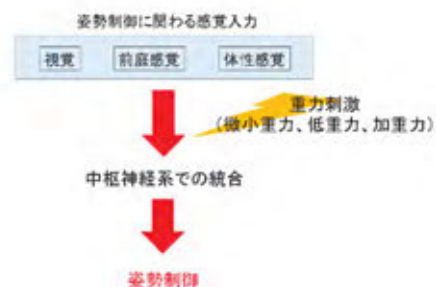
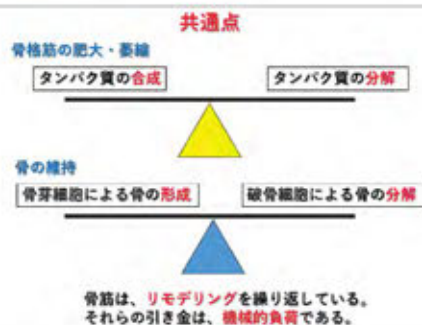


- ・69%の宇宙飛行士が腰痛を訴えた
- ・ヘルニアのリスクは4.3倍

症状のあった宇宙飛行士の腰椎MRI

Bailey JF, et al. Spine J 18 (1): 7-14, 2018
 宇宙飛行士が腰痛を訴える原因は？

【第3回】 10月16日 宇宙での骨への影響（近藤久貴：愛知学院大）



Apollo飛行士 月面での歩行



Cydonia Apollo moon walk

～図シナジー～宇宙から帰還後の帰還の特性による運動機能の変化によって、多様な運動・身体感覚の両方の両方を獲得する。

背景・目的

1. 宇宙飛行士は帰還後の約1週間、宇宙飛行中の約1/10の重力環境に置かれ、大きな身体機能の変化が生じる。シナジーは、宇宙飛行中の約1週間、重力環境の変化によって、多様な運動・身体感覚の両方の両方を獲得する。

2. シナジーは、宇宙飛行中の約1週間、重力環境の変化によって、多様な運動・身体感覚の両方の両方を獲得する。

研究概要

シナジーは、宇宙飛行中の約1週間、重力環境の変化によって、多様な運動・身体感覚の両方の両方を獲得する。

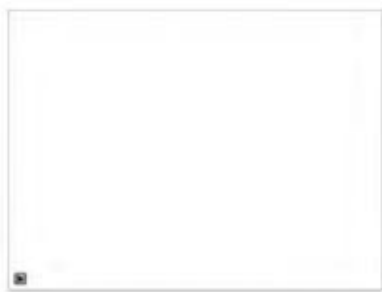
シナジーは、宇宙飛行中の約1週間、重力環境の変化によって、多様な運動・身体感覚の両方の両方を獲得する。

シナジー(Synergy)とは??

Nikolai Bernstein (1896-1966)

- 運動制御の本質は自由意志の創造である
- 自由意志の創造
 - 生物は最大な自由度をどのように制御しているか?
 - 関節数
 - 筋数
 - 神経系のニューロン数
 - 上位神経系ニューロン数

これら自由度の制限が存在すると考えられる→シナジー(Synergy)の概念

【第11回】 12月18日 宇宙での姿勢制御 (教生翔大：京都大学)

人地上においては1Gの下、平衡感覚を保持している。数々の種々の動作は様々な感覚が統合されて、一つの動作を行うことが可能である。つまり、様々な自由度の組み合わせによって特定の動作を行っている。一つ一つの自由度を脳が対の関係を制御する。前大の情報を同時に処理する必要がある。そのため、脳と筋肉感覚(骨格筋)の間には、シナジーと呼ばれるパターンが存在することが知られている。脳神経データから特定の動作に慣れているシナジーパターンを抽出することが可能である。過去では、これまで持ってきた宇宙飛行士対象の宇宙実験についても同様だった。約1ヶ月間地上に滞在して地上に帰還した宇宙飛行士のシナジーパターンは帰還後3ヶ月経過しても、軌道上滞在時のパターンに回復していないことが分かっている。この原因については現在調査している宇宙実験でさらに解明する予定である。





地上



宇宙



ムーンフェイス



心循環系への影響

宇宙飛行士が帰還後、重力環境に慣れるまでの心臓の変化を示す。重力環境に慣れるまでの心臓の変化を示す。重力環境に慣れるまでの心臓の変化を示す。

宇宙飛行士が帰還後、重力環境に慣れるまでの心臓の変化を示す。重力環境に慣れるまでの心臓の変化を示す。重力環境に慣れるまでの心臓の変化を示す。

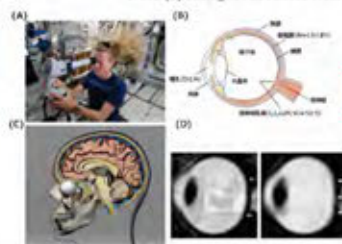
宇宙飛行士が帰還後、重力環境に慣れるまでの心臓の変化を示す。重力環境に慣れるまでの心臓の変化を示す。重力環境に慣れるまでの心臓の変化を示す。

ヒトが脳の重大課題と認識されること、神経細胞、心臓血管、免疫系、骨格系、消化系、消化、免疫系、体細胞調節にそれぞれ「専門家」は、後述の如く不変的なものや循環系フアンクショニング、記憶系、骨格系、消化系、免疫系、消化、調節などの様々な身体的な不変が起る。特に、心臓血管の不変は、体液循環、循環血流量低下に伴うもので、その大きな変化の源は自律神経系の受容にあって考えられ、不変を解決する方法として、人工重力が提案されている。議論は、実際に人工重力を可能な人工重力装置（大型宇宙機）を製作し、これでも多くの実験を実施すること。また、研究対象として人を長期滞在型宇宙飛行装置に用いるベドリスト実験なども行い、自律神経系からの循環調節の影響を研究している。人工重力が実現すれば、宇宙での多くの問題が克服できる可能性を享受した。



視神經乳頭浮腫

SANS (Spaceflight-Associated Neuro-Ocular Syndrome)



C) 鉄と銅はつながってあり、銅は塩酸により腐食され、鉄は腐食されず、鉄が腐食する。
(説明: NASA) その結果、銅側の電圧が低くなり、腐食を促進。腐食は鉄の方で進む。

(D) 脂肪の叫量値 (sagittal oblique t2-weighted MRI images)。(左図) 胸小骨力に長時間曝露する前の正常の画像。脂肪の信号は高信号になっている(矢印)。(右図) 胸小骨力に長時間曝露した後の正常の画像。脂肪信号の低減部(矢印)と脂肪の欠損が観察になっている。

Shrivastava, Kalpana et al., Association of Spontaneous Right-to-Left Portals of the Brain and Type 2 Diabetes Mellitus. *Journal of Neurology* 256 (2019), 10175–10180, 2019.

宇宙空間に約半年間滞在した18人と、約2週間滞在した16人について、打ち上げ前後に超々共鳴映像法(MRI)で撮影した脳画像を比較。その結果、長期滞在の17人と短期滞在の3人で、帰還後に、脳の頂頭部付近にある「中心溝」と呼ばれる溝が狭まったことを確認。また、長期滞在12人と短期滞在6人で、脳の位置がわずかに後頭部側にずれただことも確認した。

【印刷】 11月27日 平野での自然体験活動への影響（巻頭） 愛知県大

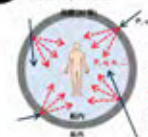
長期滞在の宇宙飛行士、脳が「圧搾」状態に

宇宙飛行士34人（男性28人、女性6人）を対象に研究。その内、国際宇宙ステーション（ISS）に長期滞在した経験があるのは18人。脳脊髄液が増え、脳が頭蓋骨内部で上方に移動している。脳脊髄液の増加によって脳が「圧搾」され、脳の領域間の空間が狭小している。

[illegible]

宇宙放射線が生物に与える影響

生体試料を用いた創薬研究・研究
生体試料の大量に採集（腫瘍系がん）

[illegible]

1995年12月1日，中国海监51号在南海海域发现并扣押了越南非法捕捞的渔船，这是中国海监首次在南

研究員入団希望者の方へ：興味ある方は、<http://www.kyushu-u.ac.jp/~chem/chem2000/>までご連絡ください。

※要領入国審査に30分～1時間
(集合～1,000人以上)

Figure 1 is a bar chart showing the concentration of dissolved organic carbon (DOC) in the water column (mg/L) for the 1020 and 1030 cruises. The y-axis ranges from 0 to 1.0 mg/L. The x-axis shows dates from 10/20 to 10/30. The 1020 cruise (orange bars) shows higher DOC concentrations than the 1030 cruise (blue bars). A dashed line indicates the 1020 cruise average (0.45 mg/L). A blue arrow points to the 1030 cruise average (0.25 mg/L).

Figure 2 consists of two bar charts, A and B, showing the effect of 1,25-(OH)₂D₃ on MC3T3-E1 cells. The y-axis for both charts is labeled '相对表达量' (Relative expression) and ranges from -10 to 40. The x-axis for both charts shows four conditions: 'control', '1,25-(OH)₂D₃', '1,25-(OH)₂D₃ + 100 μg/ml', and '1,25-(OH)₂D₃ + 100 μg/ml + 100 μg/ml'.

Chart A shows ALP activity (OD). The bars are colored red, blue, yellow, and green respectively. The values are approximately 38, 25, 10, and 2. The bars for 1,25-(OH)₂D₃ + 100 μg/ml and 1,25-(OH)₂D₃ + 100 μg/ml + 100 μg/ml are significantly lower than the control and 1,25-(OH)₂D₃ groups, indicated by asterisks (**).

Chart B shows ALP gene expression (fold increase). The bars are colored red, blue, yellow, and green respectively. The values are approximately 35, 30, 10, and 2. The bars for 1,25-(OH)₂D₃ + 100 μg/ml and 1,25-(OH)₂D₃ + 100 μg/ml + 100 μg/ml are significantly lower than the control and 1,25-(OH)₂D₃ groups, indicated by asterisks (**).

Condition	Relative Expression (OD)
control	~38
1,25-(OH) ₂ D ₃	~25
1,25-(OH) ₂ D ₃ + 100 μg/ml	~10
1,25-(OH) ₂ D ₃ + 100 μg/ml + 100 μg/ml	~2

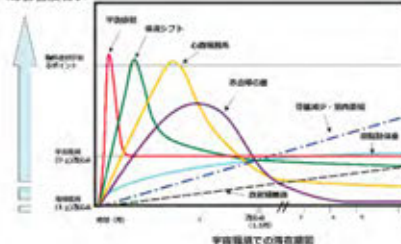
Condition	Relative Expression (fold increase)
control	~35
1,25-(OH) ₂ D ₃	~30
1,25-(OH) ₂ D ₃ + 100 μg/ml	~10
1,25-(OH) ₂ D ₃ + 100 μg/ml + 100 μg/ml	~2

マウスの行動様式は、有電動物（雄鼠、マウス）の場合から遊動法に決定
 (A) 動物の行動パフォーマンスでは、動物の行動能力が減少によって示される動物の行動能力が減少した。
 (B) オブジェクト・イン・プレイ（オブジェクト）では、動物の行動能力の減少を示し、動物の行動能力を示す。

Fig. 3. 研究結果から、本邦の労働市場は供給と需要のバランスがとれていないことが示唆される。これは、労働市場の構造的問題を反映していると考えられる。

地球は磁気圏で覆われているため、太陽から入ってくる宇宙空間の物質と衝突するということはない。しかし、ISSは地上から400キロメートル上空を飛行しているが、地球気象というより太陽からの放射線はISSに入ってきている。そのため、ISSに滞在する宇宙飛行士にもいっていいだろうが、宇宙空間の放射線は地上の放射線と比べて格段に多い。しかし、ISSではほぼ毎週一ヶ月間宇宙放射線計測装置が稼働しているという事実がある。ISS内で、地上以上に劣化する半導体素子の放射線損傷を測ることが知られている。また、気象は月や火星などのミッションも計画されており、地球の放射線の強度が及ばない場所でのように半導体放射線計測を防御すべきかということ也是非常な重要なテーマであ

人生への影響度合い



宇宙での閉鎖環境

宇宙に人がいくと、精神心理にはどのようなストレスがかかるでしょうか？大きく、以下の三つにわけて調査研究・対処法の検討が行われています。

- ・ 隔離 : 地上と隔絶した環境で過ごす孤独感
- ・ 社会 : 異なる文化を持つ垣られた人々と毎日寝食を共にして暮らす対人関係上のストレス
- ・ 危険 : 危険な環境で過ごす緊張感



ISSN 0013-788X

[illegible]

宇宙に行くため（宇宙飛行士になるため）の求められる資質が問われ、選抜・訓練を経て「宇宙飛行士」が誕生

- ・ストレス耐性
- ・協調性
- ・健康体
- ・専門能力
- ・言語能力
- ・宇宙に行きたい！



厳しい選抜試験・長い訓練期間

宇宙飛行士

© 1994



1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 26

「与庄ローバによる月面探査に関する文部科学省と米航空宇宙局の実施取決め」への署名

2024年4月10日（日本時間）、望山正仁「文学科学人脈とビル・ネルソン」NASA展との関連で、「圧縮ローバを使用した月面探査に関するアメリカ合衆国航空宇宙局と文学科学者の間の実証的決定」が署名されました。

本実証的決定では日本は有人と圧縮ローバの両方の役割を担います。また、日本人宇宙飛行士2名の月面活動機会が規定されています。

© 2004 Blackwell Publishing Ltd *Journal of Internal Medicine* 255: 111–118

閉鎖環境の模擬実験 (Analog Mission 海外事例)

ハワイ大・NASA HI-SEAS@ハワイ 6名 1年



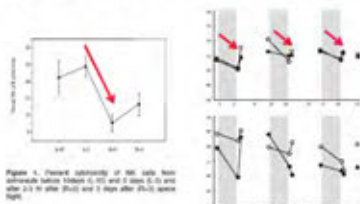
NASA @ JSC HERA 4名 45日間



地上の模擬実験

[illegible]

宇宙ミッション ⇔ 地上模擬実験



シャトル(10日間 10名) ⇔ 三三地球

生理ストレス（NK細胞数）などが、宇宙ではミッション後に低下し、ミニ地球の“閉鎖”環境でも同様の結果が得られた。（ミニ地球はグレーの部分が開鎖期間）

宇宙飛行士の軌道上滞在中の精神心理対策

週1回宇宙飛行士専門の雑誌であるフライトサージャンがテレビ電話などを用いて面談する。また、2週間に1度の頻度で、精神科医や心理学の専門家のカウンセリングを行い、心理的サポートをしている。

ストレス問題を語るときは、「第3・4半期が要注意！！」

宇宙ではストレスコーピング（ストレス発散法）が限られている

宇宙（閉鎖環境）での感染症対策

宇宙飛行士は打ち上げの10日前からみどりの隔離を待ち、隔離室で生活する（Quarantine）。このため、米航空宇宙局（NASA）はHSP（Health Stabilization Program）として隔離方法などを規定している。隔離については、血液検査でチェックする。

UAE astronauts to be quarantined ahead of historic launch

Fazza Al Mansour and Sultan Al Naydi to be placed in clean environment to avoid bringing germs up to the International Space Station (Sep. 2020)



宇宙での感染症対策も重要 寺田昌弘氏

シニア 京都府立大学准教授

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的な蔓延に伴い、宇宙飛行士や宇宙滞在者の健康確保が重要な課題となっている。宇宙空間は閉鎖環境であり、感染症のリスクは非常に高い。そのため、宇宙飛行士は打ち上げ前には厳格な隔離（クアランティン）を受け、打ち上げ後も隔離された状態で滞在する必要がある。また、宇宙空間では重力の影響で免疫機能が低下するため、感染症にかかりやすくなる。このようなリスクを軽減するためには、宇宙飛行士の健康管理に力を入れる必要がある。本稿では、宇宙での感染症対策の重要性と、具体的な対策について解説する。

対策：

<飛行前>

軌道上滞在時に生じる筋・骨萎縮や有酸素能力の低下に対して、あらかじめ地上でこれらを向上させる目的で運動プログラムを行う

- ・打ち上げ1年前から体力トレーニングが開始される
- ・週3回、1日2時間で有酸素運動と抵抗運動などを行う

<飛行中>



週5日、1日あたり2.5時間（準備・ストレッチ30分、心肺運動45分、抵抗運動45分、片付け・着替え30分）の運動をする

ペンギンスーツ

スーツに弾力バンドがついており、弾力によって体に負担がかかる



【第12回】12月25日 宇宙服と減圧症（田中邦彦：岐阜医科大学）

有人宇宙活動において、宇宙服の開発は重要である。船内で着用している衣服も圧力の意味では宇宙服であるが、今回は特に船外活動用の宇宙服について解説する。船外宇宙服は、内圧が高いと宇宙環境が真空のため極端に膨張し、可動性が下がることとなる。そこで現在NASAの船外活動用宇宙服では、内圧が0.3気圧に維持されている。しかし、この0.3気圧では内部の宇宙飛行士には低圧症のリスクが高まる。そのため、宇宙環境の真空状態と宇宙服内圧のせめぎ合いにより、可動性がよく内部環境が快適な状態を同時に満たすことは非常に困難である。この問題を解決するため、スーツ等の締め付けによる加圧を加えた宇宙服などの開発がされている。今後は、月面周回軌道でのミッションなども計画されており、宇宙飛行士にとって効率的にミッションを実行できる宇宙服の開発が重要となってくる。



<帰還直後の様子>



<飛行後>

帰還直後の船内による骨折や捻挫を予防し、飛行前の体力に回復させることを目的に行われる

第1フェーズ (帰還3日後まで)	介助つき歩行、パイラバス、マッサージ、ストレッチ
第2フェーズ (帰還2週間まで)	水中運動、歩行訓練、マッサージ、ストレッチ、有酸素運動、抵抗運動
第3フェーズ (帰還2週間以降)	個人に合わせた機能的なトレーニング

Ohashima et al., Jpn J Rehabil Med 42: 296-304, 2006

【第5回】10月30日 宇宙飛行とリハビリテーション（山田 謙：杏林大学）

宇宙飛行士のリハビリテーションについて、詳細に解説した。講師は、JAXAで生理的対応担当として宇宙飛行士のリハビリを担当している。実際に多くの日本人宇宙飛行士のリハビリを指導してきた。宇宙飛行士のリハビリのスケジュールや運動内容などについて説明をした。宇宙飛行士は帰還後には様々な運動制限がある。運動制限解除の低下といった様々な変化が身体に生じ、リハビリテーションが必要となる。現在は有酸素運動、静的ストレッチング、抵抗運動、ファンクショナルトレーニング、体幹トレーニング、静的ストレッチングなどをリハビリテーションとして実施しているが、個人因子やコンディショニングにも配慮した多様なリハビリテーションプログラムの提供は今後の検討課題である。



＜ヒト対象実験＞



宇宙哲学の中で「宇宙酔い」は、いまだに解決されていない難題の一つである。宇宙酔いの歴史、例外的カニズム、現在の対応法、将来へ向けての展望など、自らの所属しているNASAアメリカ研究チームの昨年の研究成果を本号の2ページにおおむね判りやすく解説した。平衡感覚を司る耳石器官への無重力の影響をはじめ、宇宙酔いの生じるメカニズムについて説明した。特に視覚や平衡感覚など様々な感覚器官の微妙なずれによって宇宙酔いが生じる可能性がある。宇宙飛行士の訓練にも宇宙酔いの現状は映るが、はららかに予測と矛盾するためその対策については僕らが有効である。宇宙酔いの予防のための対応方法についても解説した。

[illegible]

NASA Space Radiation Laboratory - Brookhaven National Laboratory



シヤトルの打ち上げ

これまで何が分かったか？



実験手段	Gレベル	持続時間	回数	実験者同意
航空機実験 (パラゴリックフライト)	0.01 G	20~30秒	1000程度/1フライト	可
落下塔実験	10 ⁻⁶ G	4.5秒(岐阜) 10秒(北海道)	2000程度(岐阜) 5000程度(北海道)	不可

アカザザルを飼った研究

[illegible][illegible]

地球上の生き物は生まれてからずっと重力の中で進化してきたけど重力が弱くてもらいしょうぶな事がわかってきた

[illegible]

すなわち母から父、父から子供へと進むことが出来る環境の重要性
ムネが母宮での旅と同じように子供が成長した。その子供は、母



生まれてすぐの母はかえ
生まれて少し地上に置い

重力が無いと生き物にどのような影響が及ぼされたりが無くて生きていく仕組みにつ

[illegible]

ニワトリはちゃんと生まれるか？



産まれてすぐの雛が宇宙に行ってもダメ！
7～10日目に宇宙に待っていてOK！
なぜなら (a) のようになっているから

カエルの卵はどうなる？ ちゃんとカエルになるか？



地上 宇宙
重力がないと厚くなる



A. 普通の卵の孵化
B. 逆立ちにおいた卵の孵化



目と口の大きさがちがう！

「きぼう」の概要



Experiment Facilities in JEM Pressurized Module



細胞培養実験装置 (CBEF) (Cell Biology Experimental Facility)

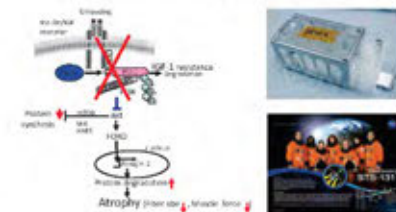


(Myo Lab) タンパク質ユビキチンリガーゼCblを介した筋萎縮の新規メカニズム

代表研究者 徳島大学 二川健樹

目的 Cblに注目しながら、どのようなメカニズムで筋肉が萎縮するかを明らかにする

概要 ラット筋芽細胞(L-6)をCBEFで培養し、10日後に筋内成素因子(IGF-1)を加え、その後、地上で遺伝子・タンパク質について解析する

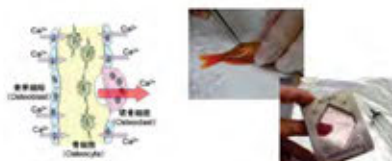


(Fish Scales) 宇宙空間における骨代謝調節：キンギョの培養ウロコを骨のモデルとした解析

代表研究者 金沢大学 鈴木保雄准教授

目的 骨代謝調節と骨形成調節に特化した骨代謝調節機構を明らかにする

概要 キンギョの再生ウロコを宇宙で3日間培養し、地球帰還後に細胞活性測定・遺伝子発現解析・骨代謝調節ホルモン解析・形態学的解析等を行う



Mice Drawer System (MDS)



イタリア宇宙機関が作成。
2009年、6匹のマウスを3ヶ月間ISSで飼育。
内3匹が地上に帰還して、各匹の研究者がサンプルシエを行った。

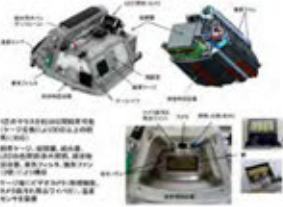
マウスの宇宙での研究




(A) 国際宇宙ステーションきぼう実験室のマウス飼育実験装置 (MDS) で作業中のNASAの宇宙飛行士ニコル・ストット。
http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/695.html#images

(B) 宇宙でのマウスの様子

JAXAマウス飼育装置



● 飼育マウスが自由に活動できる空間 (マウスは自由に活動できる空間に飼育される)

● 飼育マウスは、定期的に、適切な量の餌と水を摂取し、排泄物を排出する。

● マウスは、定期的に、適切な量の餌と水を摂取し、排泄物を排出する。

線虫 (C.elegans) を用いた老化・寿命の研究



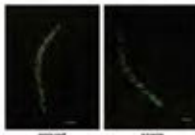
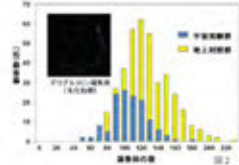

C.elegansの顕微鏡写真

宇宙へ行く前

宇宙から帰った後

大きさはおとなで1mm程度

宇宙では線虫の寿命が延びる

線虫の寿命は地上で約2週間、宇宙では約3週間延びる。

宇宙では、線虫 (C.elegans) の遺伝子とともに関連する遺伝子が発現し、寿命が延びる。

宇宙で飼育された線虫は、地上で飼育された線虫よりも長生きする。

Twins Study

A study new to NASA took place throughout the historical *One-Year Mission* beginning in March 2015 and ending in March 2016. The landmark Twins Study helped scientists better understand the impacts of spaceflight on a human body through the study of identical twins. Retired astronaut Scott Kelly spent one year in low-Earth orbit aboard the International Space Station while retired astronaut Mark Kelly, his identical twin, remained on Earth. The twins' genetic similarity provided scientists with a reduced number of variables and an ideal control group, both important to scientific investigation.

Study investigations were selected as part of the Human Exploration Research Opportunities solicitation developed and managed by NASA's Human Research Program.





【第13回】 1月8日 宇宙での動物実験 (高橋昭久・群馬大)

～宇宙で ガンの進行は早まる？～

研究テーマ：宇宙でのガン発生率の増加とガン細胞の増殖

代表団員：高橋昭久 (群馬大) 動物実験研究センター 准教授 高橋 昭久





● 宇宙でのガン発生率の増加とガン細胞の増殖

● 宇宙でのガン発生率の増加とガン細胞の増殖

● 宇宙でのガン発生率の増加とガン細胞の増殖

＜地上の現象との共通点＞

宇宙での筋・骨萎縮

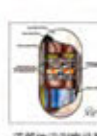
(原因) 微小重力による廃用 (使わない) ことによって生じる



- ・長期臥床患者における下肢での現象
- ・高齢者での筋萎縮 (サルコペニア)
- ・骨粗鬆症患者

＜宇宙実験からのスピノフ＞

他分野でのスピノフ


血液分析装置 深部体温測定装置 加圧食事配膳機

骨粗鬆症では？

カウンターメジャーの開発

宇宙でのメカニズム解明

- ・トレーニング方法、器材の改良
- ・栄養分野での活用
- ・ドーピング等での予防
- ・人工重力装置 (宇宙コロニー?)

医療・リハビリ・スポーツ分野への応用

国際宇宙ステーションに長期滞在する宇宙飛行士の筋骨格系機能性維持への
ハイブリッド訓練法の効果

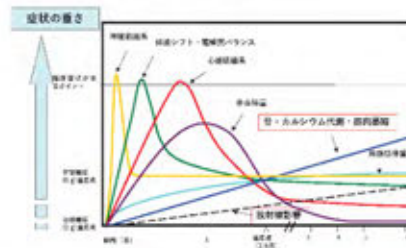
代表研究者 久留米大学 志波廣人教授

概要 電気刺激と運動節制を与えるハイブリッドトレーニングにより、飛行前後における飛行士の筋力、熱量、骨量等を評価。筋骨格適用性基礎の予防効果を確認する



人が宇宙で活動する時の課題発見！

宇宙開発の初期、宇宙環境に対するヒトの適応応答が系統的に調べられ、臨床医学的課題が明らかになった。



この先は？ **不明**

今後の宇宙分野



火星移住計画



2012年マーズワン(オランダの民間宇宙利権株)は、2025年までに、人
イーロン・マスク氏「2年以内に無人宇宙
の火星探査、バス・ランズドール
ンって、実現しようというもの
火星探査、民主党政府は事業を急進させ
。世界で20万人の希望者、
ある」

[illegible]

「この『浮城物語』、史実の骨格をもちつつ、『源氏物語』のやうな文法に富み
た作品は、これまで数人の作家の間で」と、「その『浮城物語』の中で、主人公は
『浮城物語』と題する」と述べている。また、『浮城物語』のなかには、
『浮城物語』という小説の存在が示唆されているように、これは『浮城物語』

[illegible]

「現代の女性はますます男性に求めるものが多岐にわたる。見た目だけでなく、ハイテク知識と対応し、才能やスキルで競い合っている。そして、女性自身もハイテク知識や才能を磨き、男性と肩を並べようとしている。その結果、男性は女性と競争する必要がある。女性も男性も、自分自身を磨き、競争する必要がある。女性も男性も、自分自身を磨き、競争する必要がある。」



2016年国際学生エキスポーションに初登壇を遂げる前年の創業企業Jucor社のイー・ロン・マズクは、米国に1人当たり15～20ドル（約1300～2300円）の費用を渡りかわくという価格を明らかにした。

惑星の環境を改造して地球のようにして住もう
(テラフォーミング)



大星を破壊するキュリオシティ（想像図）
大星の土壌に水が含まれる（2013年発見）

大気中の二酸化炭素濃度を削減し、温室効果ガスの排出を削減する。同時に、二酸化炭素濃度を削減し、温室効果ガスの排出を削減する。



シアンバクテリア (らん菌) の利用

与んち結実。赤いのは与ん属と花母は別。黒い果
 實に分類される。葉の形が分ち、柿と似てよう
 に両端尖る。食用には苦味。栽培へは果実が
 腐爛して食用に出来ず。果の皮を剥いて煮飯中に
 練り込む食法も有り。葉が虫食されて美観に達
 していない。

300年~1000年後？



民間人の宇宙滞在が進行中

● 飲食新聞 2014/2

[首页](#)
[关于我们](#)
[联系我们](#)
[加入我们](#)
[网站地图](#)
[隐私政策](#)
[联系我们](#)

民間人だけの宇宙ツアー。「クルードラゴン」が地球に帰還…乗組員含む4人

▲ 2015年12月，在加拿大渥太華，一名男子在國會山莊前，向一名女子投擲一枚燃燒彈。圖為渥太華警方在案發現場進行調查。

據悉，此次活動將由中國社會福利基金會（CSF）與「愛德華·多明戈斯基金會」聯合主辦。CSF 是中國第一家致力於社會福利事業的民間組織，其宗旨是通過社會福利事業的發展，促進社會和諧與進步。愛德華·多明戈斯基金會則是一家致力於全球人道主義事業的組織，其宗旨是通過提供人道主義援助，改善全球貧困人口的生活水平。此次活動將由 CSF 負責具體的籌備工作，包括邀請嘉賓、安排行程、組織演出等。愛德華·多明戈斯基金會則將提供必要的資金支持。活動的具體內容包括：在 10 月 10 日晚間舉行一場慈善晚宴，邀請各界名流參加；在 10 月 11 日上午舉行一場慈善義演，由 CSF 的義工們表演各種節目。活動所得款項將全部用於支持 CSF 的各項社會福利事業。

● 読者の疑問を解消する



C-SPACE X Tufflex



初の民間人宇宙旅行に成功

民間宇宙旅行者に必要な宇宙医学上の留意点

- 事前の既往歴の把握
- 宇宙飛行中の宇宙酔い、腰痛など
- 代謝の変化（食欲や栄養状態など）
- 心理的ストレス
- 宇宙飛行中の応急処置技術、医療体制
- インフォームドコンセント、医療保険

Space Medicine in the Era of Civilian Spaceflight

Authors: Jan DeMaessene, M.D., M.P.H., Rebecca S. Shiu, M.D., M.P.H., and David R. Partridge, M.D. Authors' info & Affiliations

Published March 15, 2019 | N Engl J Med 2019;380:1013-1040 | DOI: 10.1056/NEJMra1809912 | Epub 2019-03-15

Abstract

As space travel expands to include civilian populations in addition to trained astronauts, physicians and space medicine experts will need to address numerous and unique risks to participants with preexisting medical conditions that may be exacerbated by spaceflight.

将来、宇宙医学に求められること

- 宇宙飛行士の健康管理、医学管理、勤務環境管理など
- 基礎研究として、宇宙医学研究を地上の医学に還元・応用する
- 一般の方が宇宙滞在する際の医療検査、診療、診断技術の確立

ニッチな分野である
宇宙医学



一般の方にも身近な
宇宙医学

【第6回】11月8日 宇宙での歯科分野への対応(前田初彦:愛知学院大)

日本宇宙歯科研究会

代表 前田初彦
(愛知学院大学歯学部口腔病理・歯科臨床学講座教授)



日本宇宙歯科研究会では、電力がない宇宙環境での
歯科に必要とする宇宙飛行士の口腔ケアから歯科疾患予
防・治療・研究など、あらゆる取り組みを展開してい
きます。
特に、宇宙空間特有の環境に適した歯科治療技術
の開発、教育力が口腔内の微生物に与える影響の解明、
そして、宇宙滞在者の日常生活を支える口腔衛生管理
システムの開発に力を入れていきます。
このような先進的な研究は、宇宙での生活をより快
適にし、月球における歯科医療技術の革新にも寄与し
ます。

月面での居住



©JAXA

- ◆ 放射線防御のために地下に居住？
- ◆ 月面の重力1/6Gに対処？

宇宙での長期移住

- ◆ 地上との関わり方をどうするか(医療も含めて)
- ◆ 宇宙環境への適応をどう考えるか
- ◆ 妊娠や出産をどうするか
- ◆ 宇宙で亡くなった際にどう対応するか



©森田健治



©Star Trek:エンタープライズ

現在の宇宙医学の限界：

- 現在まで約600名ほどしか宇宙に行っていない。
- 宇宙実験の機会が少ない。
- 地上での宇宙の模擬実験は正確に宇宙環境を反映しているのか。

模擬の機会が少ないため、正確な予測や予想ができていないのか？
現在の宇宙医学は、地球に帰還することをベースに考えている。

ヒトは数年単位で宇宙に居住できるのか？

今の宇宙医学では答えが出せない。
個人的には、時間があれば人類は適応できると信じている。
地球（1G）に帰還しないのであれば、宇宙に適応したままでよい？

レポート課題：

「あなたは火星滞在ミッションを企画します。火星滞在ミッションへの出発から帰還までの過程で、医学運用面の観点から計画を作成してください」

上記の課題について、A4で最大4ページまでにまとめて提出して下さい。文字フォントについては問いませんが、文字サイズは11ポイントでお願いします。図や写真などを含めてもOKです。
火星への渡航から帰還までの有人宇宙船内や火星環境下での滞在時における医学的問題点やその対応法などについて、有人宇宙医学講義の内容を参考に記載してください。どのようなミッション(宇宙飛行士の構成や任務)かや、火星滞在期間については各自で自由に設定してください。
専門的な知識を評価するつもりはありませんので、生物や医学・医学を専門としない学生もぜひ自由に発想を述べてください。科学的なエビデンスや実証性については、問いません。

課題提出後に限っては、レポート評価(採点満点)と課題提出回数によって、総合評価を1単位を与えます。課題提出に関しては単位取得はしてもらえませんが、任意でレポート提出をお願いします(採点はしません)。

質問がある場合は、terada.masahiro.2m@kyoto-u.ac.jpまでお問い合わせください。

提出締め切り：2025年2月5日 17時まで

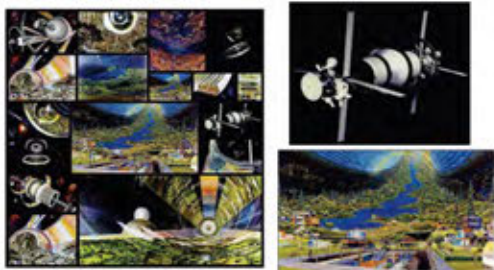


Buck Up

人類が宇宙環境に適応するために
宇宙医学的に何が許される？

技術的な方法によって、宇宙環境に地上と同じような生活環境を持ていく

例：



©NASA

スペースコロニー（＝人工重力装置）によって、多くの生理的影響（筋骨の衰え、体液シフト、平衡感覚など）は解決する！

閉鎖空間でのストレス問題は？

居住面積を拡大させることで解決できる！

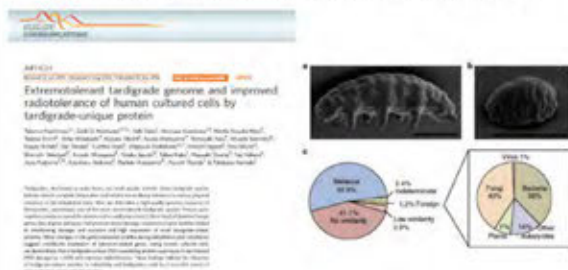
一番大きな懸念事項は？

宇宙放射線！！！！



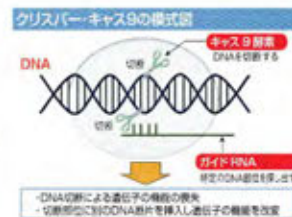
宇宙放射線から防御する方法を考える必要がある！！

遺伝子改変によって、放射線耐性を持たせることは許される？？



遺伝子改変技術：

2020年ノーベル化学賞受賞



CRISPR-Cas9では、標的のDNAの特定の場所に存在するデオキシリボ核酸（DNA）を切断する酵素を持つ人工酵素「キャスター」でDNAを切断し、切断した部分の遺伝子の働きを失わせたり切断部に別の遺伝情報を挿入することで遺伝子を改変する。

現在の国際宇宙ステーションの宇宙食

国際宇宙ステーション (ISS) 長期滞在の初期段階の食事メニュー
・10日間のローテーション、5日分の宇宙食メニュー
・5日分の宇宙食メニュー

宇宙でピザ作り



宇宙でピザ作り

宇宙のトイレと尿の再処理

宇宙船内



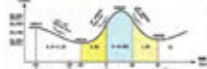
尿を回収し、ろ過、消毒、再利用するシステム。水は再利用される。

再処理した水で飲料する宇宙飛行士

宇宙で手術は可能か？



パラボリックフライトを利用した微小重力下での手術練習に成功した。



冬眠してもっと遠くへ、まずは火星に



火星に到達するための冬眠技術の開発。火星に到達するための冬眠技術の開発。

重要課題：

- ◆宇宙放射線の影響を解明すべき
- ◆精神心理的サポートを重視すべき
- ◆恒星間飛行中の娯楽を考えるべき

4.1.2. 第2回宇宙医学講義スライド集

宇宙での骨格筋への影響
一国際宇宙ステーション利用研究と関連研究から
筋骨格系の廃用予防と運動の効果を考えるー

久留米大学医学部 整形外科科学教室
志波 直人



COI 講演の内容には
Panasonic株式会社との
共同研究の内容が含まれます

NHK / JAXA

講義内容

- 研究の背景
- 筋骨格系の廃用
(ロコモティブシンドローム、サルコペニア、フレイル)
- 宇宙医学研究
- 産学共同研究と装置の市販化
- 運動の全身効果について



加齢による筋骨格系の変化

筋萎縮・筋機能低下、骨粗鬆症
脆弱性骨折(転倒骨折) → 歩行困難 → 寝たきり



重力の存在によって進化し、重力に順応したヒトの身体が
重力に抗しきれなくなる

講義内容

- 研究の背景
- 筋骨格系の廃用
(ロコモティブシンドローム、サルコペニア、フレイル)
- 宇宙医学研究
- 産学共同研究と装置の市販化
- 運動の全身効果について

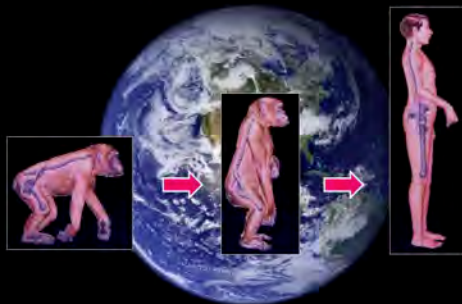


志波 直人 略歴



1982年 久留米大学医学部卒業、同整形外科入局
1991年 米国Mayo医科大学整形外科バイオメカ研究室留学
2004年 久留米大学病院リハビリテーション部教授
2009年 WHO ICD11 Musculoskeletal Topic Advisory Group
2012年 久留米大学整形外科 主任教授 現在に至る
2014年 国際宇宙ステーション利用研究実施 PI
2015年 日本宇宙航空環境医学会理事 現在に至る
2016年 日本運動器科学会理事 現在に至る
2017年 第63回日本宇宙航空環境医学会会長
2017年 日本整形外科科学会理事(2019年5月まで)
2020年 久留米大学病院長、久留米大学理事

重力の存在と共に人類は進化




運動器(骨・関節・背骨)の病氣と外傷



骨粗鬆症
腰椎椎間板ヘルニア
変形性膝関節症
ロコモ2016R1
大腸癌骨転移

日本整形外科科学会HPより引用

ロコモ:ロコモティブシンドロームとは？

運動器症候群:運動器の障害のために移動機能の低下をきたした状態
2007年 日本整形外科学会



日本整形外科学会ロコモチャレンジHPPより改編

Sarcopenia サルコペニア

進行性および全身性の骨格筋肉量および骨格筋力の低下を特徴とする症候群で、身体機能障害、QOL 低下、死のリスクを伴うもの
Age and Ageing 2010

ICD10疾患コード: M6259

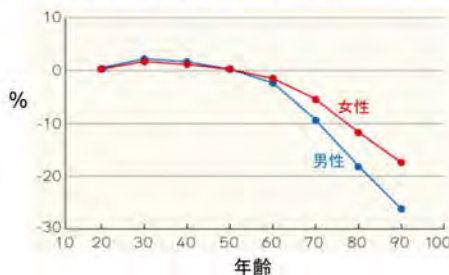
一次性サルコペニア	
加齢性サルコペニア	加齢以外に明らかな原因がないもの
二次性サルコペニア	
活動に関連するサルコペニア	寝たきり、不活発なスタイル（生活）失調や無力状態が原因となり得るもの
薬用性筋萎縮	
疾患に関連するサルコペニア	重症臓器不全（心臓、肺、肝臓、腎臓、脳）、炎症性疾患、悪性腫瘍や内分泌疾患に付随するもの
栄養に関連するサルコペニア	吸収不良、消化管疾患、および食欲不振を起こす薬剤使用などに伴う、摂取エネルギーおよび/またはタンパク質の摂取量不足に起因するもの

Age Ageing 2014; 43(6): 748-759. より改編

日本人筋肉量 加齢変化率

インピーダンス法 18歳以上日本人4,003人(男1,702人、女2,301人)

筋肉量は20歳代後半をピークに年間1-2%減少する。

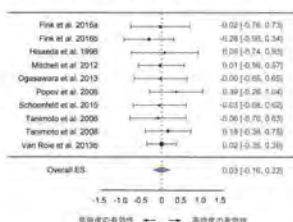


谷本芳美他:日本老年医学 2010 (47) 52-57 より改編

13

Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis

筋タンパク質の合成作用=総負荷量(運動強度 × 運動回数)



低負荷の運動でも運動回数を
やすと筋トレ効果がある。

Brad J. Schoenfeld, Jozo Grigic, Dan Osborn, James W. Krieger, JSCR, 2017

サルコペニアとは？



Sarcopenia サルコペニア

Sarx + Penia

サルコ ペニア
(筋肉) (喪失)

Irwin Rosenberg 1989

Nutrition Forum, How to Prevent Sarcopenia
http://www.nutritionforum.com/blog/how-to-prevent-sarcopenia/

フレイル(Frailty)とは？

2001年Fried 2014年日本老年医学会 ICD10 疾患コード: R54

「加齢とともに心身の活力(運動機能や認知機能等)が低下し、複数の慢性疾患の併存などの影響もあり、生活機能が障害され、心身の脆弱性が出現した状態」

厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業) 総括研究報告書 後期高齢者の健康事業のあり方に関する研究

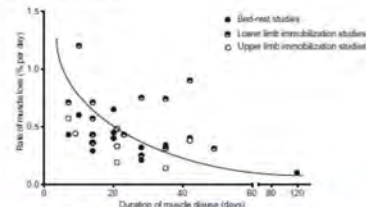


老年医学会誌より改編

12

廃用(臥床)が筋量に及ぼす影響

筋量減少率 (% per day)

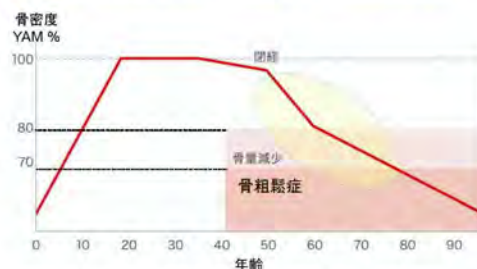


廃用早期の10日の筋萎縮は0.5~1%/day
1~2日の臥床で加齢の1年分の筋肉を失う

Wall BT, et al. Implications for age-related sarcopenia. Ageing Research Reviews, 2013.

加齢による骨密度変化(女性)

女性は閉経後に年間1-2% 骨密度が低下する。

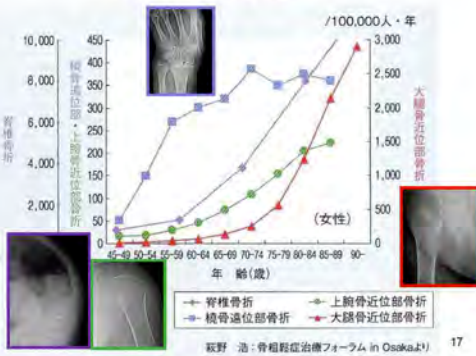


YAM: young adult mean 若年成人平均値、20-40歳健康成人骨密度を100%

WHO Technical report series 843, 1994 より改編

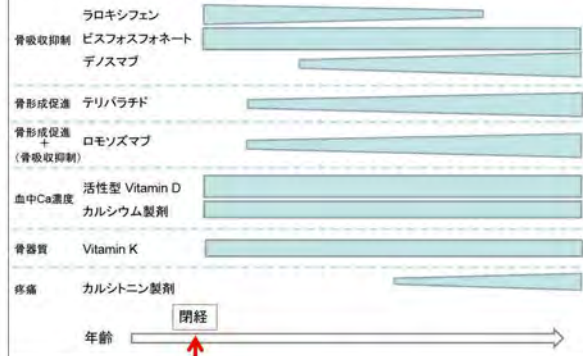
16

骨脆弱性骨折



閉経後骨粗鬆症治療薬使用イメージ

久留米大学病院骨粗鬆症外来



2017年 大腿骨近位部骨折発生数 総数と施設数での補正



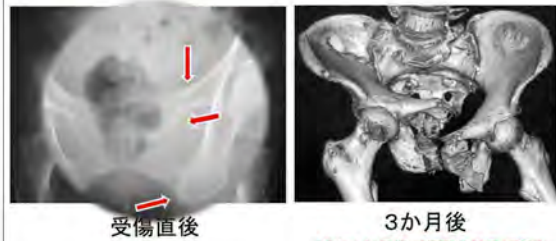
日本整形外科学会 骨粗鬆症委員会

18

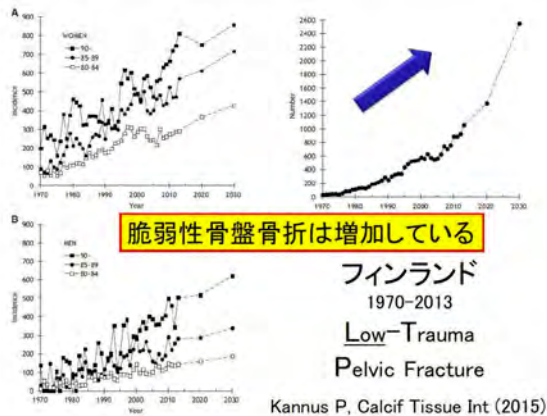
高齢者の骨盤骨折

脆弱性骨盤骨折

81歳 女性 転倒して左股関節部痛出現するも歩行可能。
その後、歩行不能となる。



さらに1か月後、腹膜炎併発で死亡



86歳 女性 FFP IIIa 骨折外傷担当教授 白濱正博



臥床廃用による骨量変化

120日間のベッドレスト後の骨量変化ベッドレスト前からの変化率(%) n = 6

部位	120日目	120日目/120日	120日目/120日
腰椎	-5.8	-1.08%/月	-2.4
大腿骨 頭部	-3.6	-0.84%/月	-3.6
大転子部	-4.6	-0.92%/月	-3.4

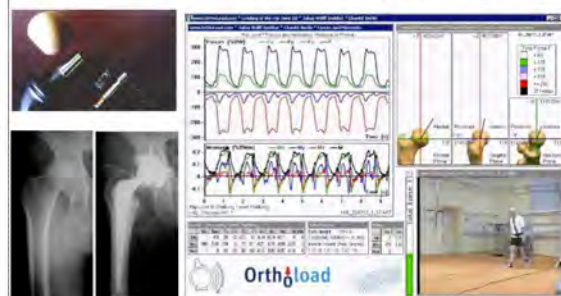
臥床1か月で加齢1年分の骨を失う

LeBlanc et al. J Bone Miner Res. 1990.

23

股関節荷重生体計測

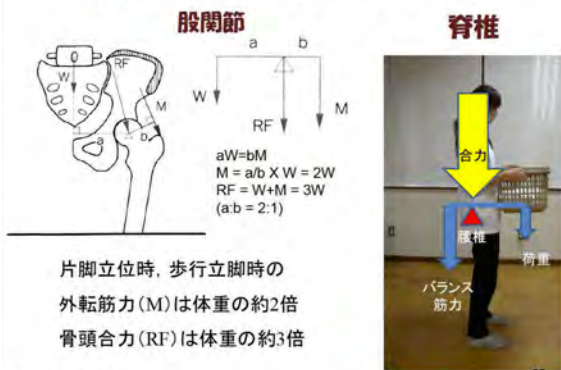
OrthoLoad <http://www.orthoload.com/>



Georg N. Datta. Musculoskeletal loading.
J Biomech, 34, 2001

24

抗重力姿勢で身体に加わる負荷

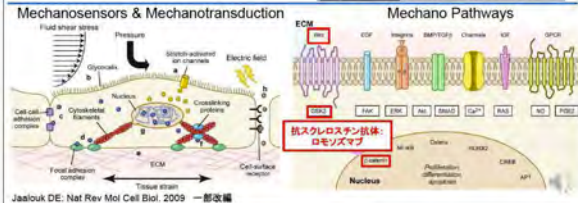
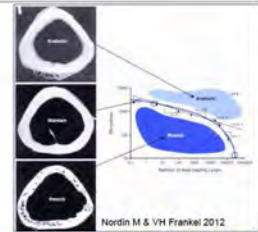


Pauwels, 1957 より改編

骨とメカニカルストレス

1892年 Wolff's law
1987年 Frost's Mechanostat Theory

メカニカルストレスが骨を増加させ、与えられたメカニカルストレスに応じて形態や機能が変化



講義内容

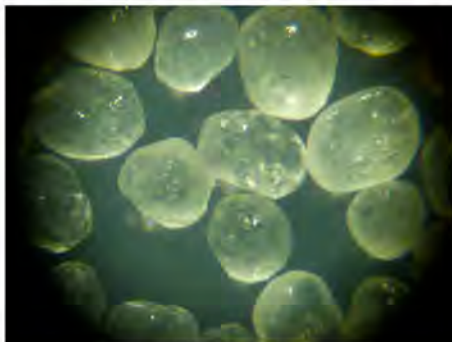
- 研究の背景
- 筋骨格系の応用
(ロコモティブシンドローム、サルコペニア、フレイル)
- 宇宙医学研究
- 産学共同研究と装置の市販化
- 運動の全身効果について



Mayo Clinic Orthopedic Biomechanics lab 1991 - 1992



月面の砂(レゴリス)の拡大写真 Mayo Clinic Jeffrey R Basford 教授提供



長期宇宙滞在による筋骨格系廃用が 人体に及ぼす影響

国際宇宙ステーション長期滞在の影響

- 筋力は飛行前の-20~-30%低下
- 骨量は1か月に-1~-1.5%低下
(部位による)
- 8か月長期滞在で最大-20%
完全回復に3年以上



大島博 (JAXA宇宙医学G): 第1回宇宙基地医学研究会 2007.6.15.

宇宙飛行士の帰還後筋骨格系外傷

- 94名の米国宇宙飛行士を対象 1987-1995.
- 骨折: 26例, 重篤な靭帯・軟骨等損傷: 36例
- 整形外科的手術: 28例 (膝手術19例)
- レクリエーション程度の運動で受傷

Jennings RT: Aviat Space Environ Med. 1996 Aug;67(8):762-6.

30

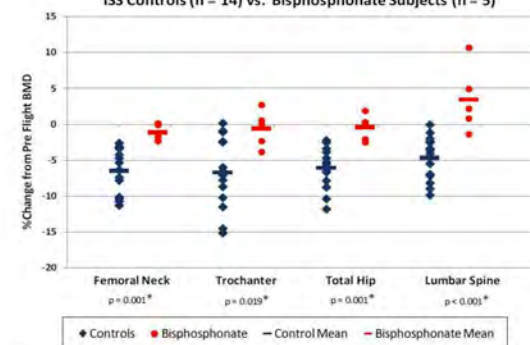
国際宇宙ステーションで行われる運動

重力が無いので大がかりな装置で重力に代わる運動負荷を身体に与える



宇宙飛行士の骨密度低下はビスフォスフォネートで抑制できる

%Change in DXA BMD (g/cm²)
ISS Controls (n = 14) vs. Bisphosphonate Subjects (n = 5)



ES on Forearm and Hand

- paired positions for stimulation
 - dorsiflexion
 - ch1 ECRV-ECRL-ED / EPB-EPL-ED2
 - palmar flexion
 - ch2 FDS / FDP
 - thumb flexion
 - ch3 thenar muscles / FPL

装置作製: 九州工業大学

stimulation patterns

HTS>動作検証

ハイブリッドトレーニング

Hybrid training system: HTS

ハイブリッド = 自発筋収縮 + 電気刺激筋収縮

- 想定した運動は容易に可能
- 抵抗運動 (VR dumbbell exercise)
 - 無重力空間でもダンベル運動
 - 疑似重力運動

数週間にわたり日常生活で装着

- 様々な動作で使用可能
- 筋トレ後の疲労感
- 動作困難などは起こらず

HTS 第1号装置
作製: 九州工業大学

US PAT No 6,456,885 b1,
EU PAT No 2195733
Jpn PAT No 3026007

HTSの仕様 刺激電流について

40Hzが十分な筋収縮力が得られ筋疲労は比較的少ない

志波直人, 橋津祐一, Monthly Book of Medical Rehabilitation 2004

HTSのバリエーション

肩関節

肘関節

手関節

膝関節

足関節

装置構成

- 電気刺激装置・電源
- 皮膚表面電極
- 関節運動感知センサ

股関節

歩行

自転車こぎ運動

ハイブリッドトレーニング

Hybrid training system: HTS

ハイブリッド = 自発筋収縮 + 電気刺激筋収縮

コンパクトな装置で重力に代わる運動抵抗を自身の体内で作製する

Yanagi T et al: Archives PM & R, 2003.
US PAT No 6,456,885 b1,
EU PAT No 2195733
Jpn PAT No 3026007

「宇宙空間で有効な骨格筋維持装置開発の研究」

(財)日本宇宙フォーラム宇宙環境利用公募地上研究
第6回 (平成14・15年度) 萌芽研究
第8回 (平成17~19年度) 次期宇宙環境利用研究

2009年国際公募 国際宇宙ステーションISS利用研究
2014年 宇宙飛行士を対象にISS実験実施

Research Questions

1. 想定した運動が可能か
2. 安全性
3. 効果
4. 宇宙での運用性

HTS studies

~2020/7

Participants	Intervention period (wk)	Frequency	Total (times)
432	8.8 (4-24)	2.9 (2-3)	10,733

2019

- 1 HTS (elbow)
- 2 HTS (elbow)
- 3 HTS (elbow)
- 4 HTS (elbow)
- 5 HTS (elbow)
- 6 HTS (elbow @ISS)
- 7 HTS (wrist)
- 8 HTS (knee)
- 9 HTS (knee TKA)
- 10 HTS (knee NAFLD)
- 11 HTS (knee NAFLD)
- 12 HTS (knee aged)
- 13 HTS (knee)
- 14 HTS (knee @Kansas)
- 21 HTS (knee bending)
- 22 HTS (ergo NAFLD)
- 23 HTS (shoulder)
- 24 HTS (thigh)
- 25 HTS (thigh aged)
- 26 HTS (thigh locomo)
- 27 HTS (walk metabo)
- 28 HTS (walk Abdomen)
- 29 HTS (walk trunk)
- 30 HTS (jogging)
- 31 HTS (twist exercise)
- 32 HTS (walk abdomen)
- 33 HTS (jogging)
- 34 HTS (twist)
- 35 HTS (cycle)
- 36 HTS (cycle aged)
- 37 HTS (cycle interval)
- 38 HTS (cycle kidney)
- 39 HTS (cycle kidney)
- 40 HTS (cycle kidney)

HTS>局所効果検証

上肢実験: 長期肘屈伸実験

1回15分40秒 週3回 8週間

肘屈伸運動

上腕二頭筋断面積: 14%増加

肘屈筋力: 40%増加

Isometric elbow flexion torque
Maximal isometric torque (Nm)

Matsumae H, Shiba H: Aviat Space Environ Med 2005.

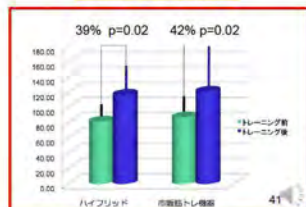
HTS>効果>高齢者

高齢者での週2回、3か月間 膝屈伸トレーニングの膝伸筋力

対象:60歳以上の健康高齢者 平均年齢 66.7歳
18名(男性4名, 女性14名)

- ・ハイブリッド群9名(男性2名, 女性7名)
 - ・市販マシン群 9名(男性2名, 女性7名)
- 週2回, 1回20分間, 12週

高齢者にも効果があった

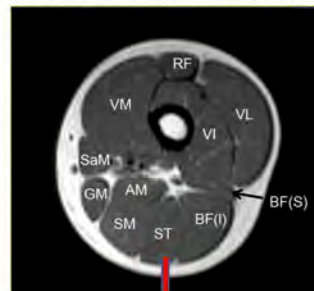


Takano Y, Shiba N: Tohoku J of Exp Med, 2010.

HTS>局所効果検証

筋生検

膝前十字靭帯再建術前に、4週間のHybrid exerciseを実施
靭帯再建に用いた後の不要なsemitendinos muscleを用いた



Matsugaki T: Kurume Medical Journal, 2011.

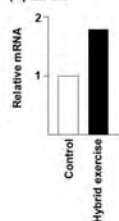
HTS>局所効果検証

筋生検

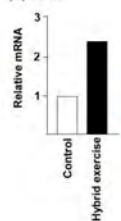
Expression of genes by real-time RT-PCR

DNAマイクロアレイを用いたcomprehensive gene expression解析

(A) EIF5A



(B) PEX6



筋再生に関する
遺伝子が強く発現
していた

EIF5A: translation initiation factor
筋タンパク合成, 骨格筋幹細胞分化に
よる筋再生の強化に関与

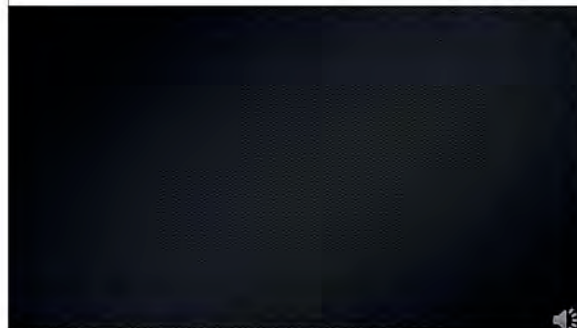
PEX6: peroxisome biogenesis
筋損傷後の筋再生に強い関与

Matsugaki T: Kurume Medical Journal, 2011.

HTS + トレーニングスーツ+VR 2007年

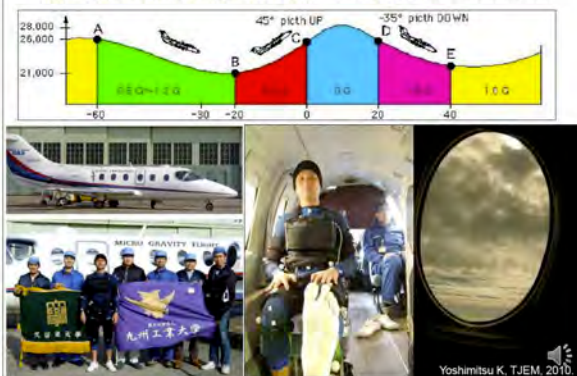
by 吉光一浩, M.D., Ph.D.

Jpn PAT No 5122188, 4840926
Korea Pat No 10-113357
China Pat No 200680022005.7
EU PAT No 2166733



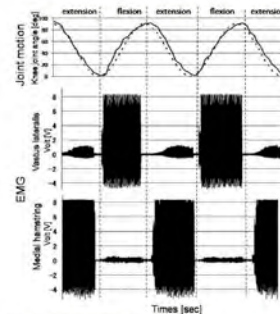
HTS>動作検証>下肢>無重力実験

航空機を用いた無重力実験パラボリックフライト 2007.11.19 - 28



Results of parabolic flight μG

exercise of lower limbs, joint motion & EMG of vastus lateralis



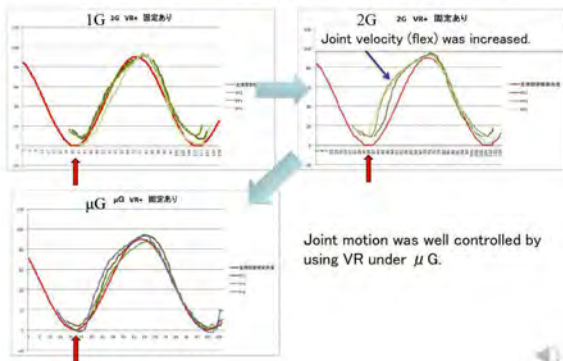
- Hybrid exercise was able to be performed in micro gravity.
- EMG data showed reciprocal stimulation on the quadriceps during knee flexion as the resistance of voluntary contraction of the hamstring, and activity of quadriceps during knee extension.



Yoshimitsu K, TJEM, 2010.

Results

comparison among varied Gs



Yoshimitsu K, TJEM, 2010.

昭和基地での実験 2009年4月~9月



南極昭和基地での実験

平成21年度 第50次南極観測隊

目的
閉鎖環境長期使用での問題点を明らかにする

方法
10名の被験者で、座位膝屈伸HTSを8週間実施

結果
有害事象発生なし
膝屈伸筋力で45%程度筋力増強

考察
閉鎖環境長期使用における装置の問題点
装着性の改善、刺激装置操作簡略化、モチベーション維持
閉鎖環境内での評価方法の検討の問題点

HTS>ISS実験

Test/Session Descriptions (1)

Subject: one astronaut
HTS training 12 times, 3 times/week for 4 weeks

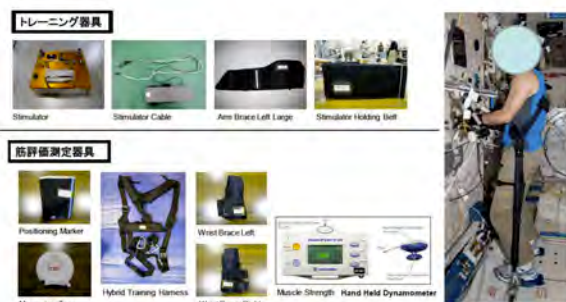
No.	Work contents
1	Preparation for experiment
2	Put on and set HTS Attach the electrodes with supporter only for non-dominant upper arm . Connect the line to the stimulator and activate the system, confirm the threshold, set the stimulation intensities. Stimulation intensity should be set at the level of BDC.
3	HTS training Elbow curls: flexion 2 sec and extension 2 sec, 1set: 10 elbow curls, 10 sets of 10 elbow curls with 1 minute rest interval between sets. 15 minutes 40 seconds/ training
4	Replace HTS Remove the electric wire and the electrodes with the supporter.
5	Store the device Put away the electrodes with supporter, electric wire, and stimulator.
6	Fill the check sheet for 1 st , 2 nd and 3 rd training session.

Shiba N, PLOS ONE, 2015

51

HTS>ISS実験

軌道上の実験装置と評価

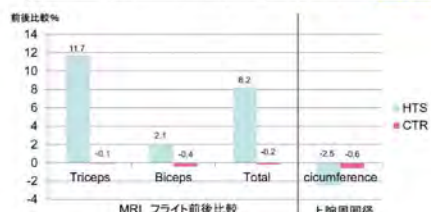


画像提供: JAXA

HTS>ISS実験

結果 MRIによる上腕筋容量（地上）と上腕周囲径（軌道上）

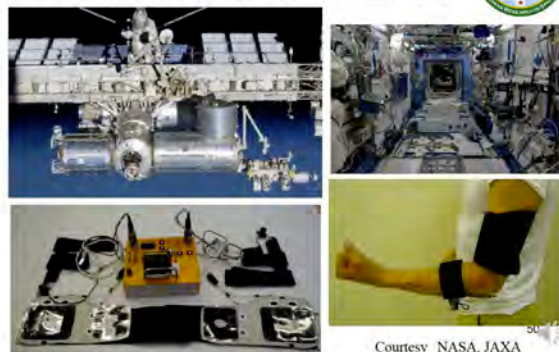
	S1-3	HTS		CTR		HTS	CTR
		Pre	Post	Pre	Post	Post/Pre (%)	Post/Pre (%)
Ground Based Evaluation	Triceps muscle (mm ³)	60504	67559	64599	64526	111.7	99.0
	Biceps muscle (mm ³)	34320	35034	37829	37677	102.1	99.6
	Total (mm ³)	94824	102594	102428	102197	108.2	99.8
Inflight Evaluation	Circumference of arm (cm)	31.5	30.7	31.4	31.2	97.5	96.4



Shiba N, PLOS ONE, 2015

55

2009年度国際公募国際宇宙ステーションきぼう利用ミッション
「国際宇宙ステーションに長期滞在する宇宙飛行士の筋骨格系廃用性萎縮へのハイブリッド訓練法の効果」



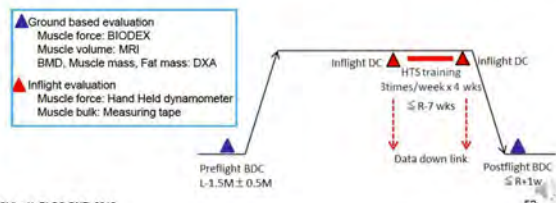
Courtesy NASA, JAXA

HTS>効果>宇宙実験

Test/Session Descriptions (2)

Evaluation

- Evaluations were performed on the ground using high quality evaluation devices such as BDC, and inflight evaluations were also performed using simple evaluation devices.
- HTS training took place toward the end of the flight, starting at less than R-7 weeks.



Shiba N, PLOS ONE, 2015

52

HTS>ISS実験

結果

- 2014年4月実験実施
- NRS: #1:0, #2:0, #3:0
- HTSトレーニング, モニタリング, 画像

全て問題なく完了

HTSトレーニング所要時間

- 初回準備時間: 35 分(含む刺激強度設定)
- 二回目以降平均準備時間: 8.3 ± 1.6 分(6-10 分)(刺激強度設定なし)
- 平均収納時間: 6.1 ± 0.3 分(6-7 分)
- トレーニング時間15分40秒を加えて、2回目以降は合計で30分程度
- 総運用予定時間640分を548分で実施

Shiba N, PLOS ONE, 2015

54

HTS>ISS実験

結果 DXA フライト前後

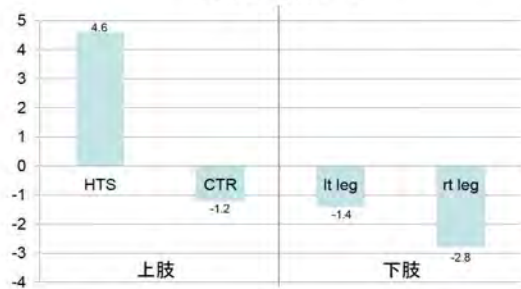
	HTS		CTR		HTS	CTR
	Pre	Post	Pre	Post	Post/Pre (%)	Post/Pre (%)
BMD (g/cm ²)	0.786	0.822	0.848	0.833	104.6	98.2
Lean (muscle) (g)	2979	3294	3087	3087	110.6	100.0
Fat (g)	21	18	21	20	85.7	95.2



Shiba N, PLOS ONE, 2015

56

DXA結果 四肢骨密度 (フライト前後 %)



Shiba N. PLOS ONE, 2015

57

考察 2. 宇宙医学実験特殊性

1. 宇宙環境の特殊性

- ①無重力
- ②極限的閉鎖環境

2. 宇宙実験の特殊性

- ①実験装置打ち上げ・ISS搬入における制約
- ②被験者数・時間の制約
- ③装置のNASA基準、莫大な書類の作成
- ④公的支援、宇宙専門家の協力が不可欠

公的助成: 科研費宇宙生命科学分野、国際公募ISS利用実験

JAXA, JSP: 宇宙医学や運用上の指摘や助言、NASAとの調整

59

考察. 宇宙実験を実施してわかったこと

1. 宇宙実験実施概要

1. 国内での事前準備、リハーサル
2. NASA ジョンソンスペースセンター JSC
リハーサル 事前準備
地上データ取得 打ち上げ前、帰還後
3. 筑波宇宙センターTKSC管制室
画像・音声 評価・トレーニング実施状況確認
ISS内データ取得 ISSより地上へデータダウンロード
4. ISS内ではGMT
JSTとの時差9時間

58

考察 3. トレーニング効果の評価

長期宇宙滞在での筋骨格系雇用予防効果検証

1. 軌道上評価: トレーニング期間前後

ISS内での評価は極めて限定的: 実験計画時JAXA独自の評価装置なし
他エージェント(NASA, ESA)の装置の借用は困難(交渉、時間制約)
大掛かりな新規評価装置は打ち上げ困難
新たな実施可能な方法の確立と検証(被験者一人で行えることが基本)

2. 地上評価: ISS滞在期間前後(打ち上げ前、帰還後)

再現性の高い装置で評価
トレーニングをISS滞在期間のできるだけ後半として帰還直後のデータ取得

3. データシェア: NASAなどとのデータ共有

実験計画、IRB申請の段階で要求

60

考察 4. 飛行士トレーニング実験の特殊性

1. 身体的影響

疲労などによる通常業務への影響
他の実験への影響

2. 時間的影響

トレーニングの繰り返しで長期間実施
評価など累積すると長時間

限られたリソース(被験者数、時間)の中で調整が必要。
実験を実施、実現するための妥協点を見つける。

61

ISS利用実験

当初の実験要求と最終プロトコル

最終プロトコルでの評価項目

1. 長期宇宙飛行での宇宙飛行士への安全性
2. 無重力環境での操作性、運用性
3. 被験者1名で片方上肢への4週間の効果
筋骨格系への影響左右比較(筋力、筋量、骨量)
メカニカルストレスの筋骨格系への影響

62



2013.7.9~12 Houston NASA Johnson Space Center





65



小型の宇宙船で地球の軌道を超えて有人探査を行う際、有用なトレーニング装置となる可能性がある。

Naoto Shiba, et al: Electrically Stimulated Antagonist Muscle Contraction Increased Muscle Mass and Bone Mineral Density -Initial Verification on the International Space Station- 2015

Summary

- 宇宙飛行士1名を対象にISSで実験を実施。
- 肘屈伸運動100回を週3回4週間計12回実施。
- 問題なく予定通りに実験完了。
- HTSを用いた上肢で筋量、骨密度が増加。
- 1名の被験者ではあるが、HTSは宇宙環境でも運用上の問題なく筋骨格系廃用予防が可能。
- 将来の有人宇宙探査で有用な装置となる可能性。

66

HTS>効果>宇宙実験

米国 NASA TV で放映された実験映像



2014.4.9 NASA TV

68

エリソン オニツカ宇宙飛行士

1986年1月28日チャレンジャー号事故で殉職
父方の地元である久留米近郊の浮羽町のオニツカ飛行士を記念した橋



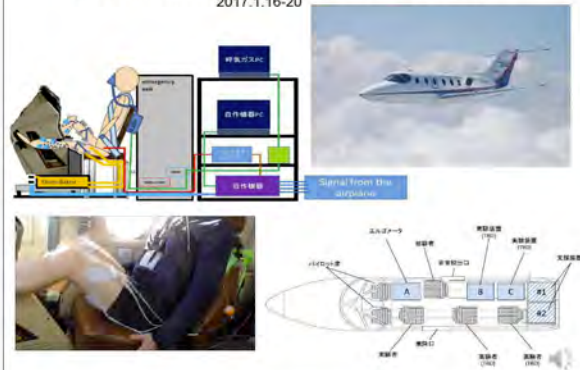
HTS 特許取得日
2000.1.28

2014.5.20 ヒューストンでオニツカ飛行士の奥様ローナ・オニツカ様とお会いすることができた。ヒューストンに事務所を構えて日本人宇宙飛行士の支援を行う

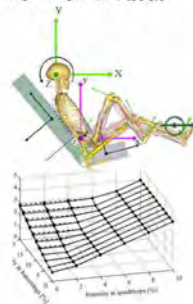
HTS>効果>エルゴ実験>無重力実験

Parabolic flight experiment (Mitsubishi MU-300)

2017.1.16-20



コンピュータシミュレーション AnyBodyによる解析



田川義彦: 宇宙航空環境医学, 2017
2018年度最優秀論文賞

側臥位HTSエルゴ駆動実験



大本将之: 宇宙航空環境医学, 2019

71



The 3rd International Moon Village Workshop & Symposium

Dec 5-8, 2019
Dec 5-8, 2019 Workshop | Tokyo Univ. of Sci. & Kinki Univ., Japan
Dec 7-8, 2019 Symposium/Outreach Event | Kyoto Univ., Japan

Time	Session Title	Theme	Speaker
13 : 00-14 : 30	Keynote Lecture #1 General Session (TUS)	"What space is going to do on the Moon?" "The Moon: How we got there, why we went, and what it means?" "Mish and UN COPULS, promoting cooperation, norms and energy?" "The International Astronautical Federation - Connecting the Space People to Move Forward to the Moon?"	Takashi Nakamura (Japan) John Horack (Ohio State University) Dorin Probert (Astronaut and former Chairman of COPULS) Christian Fehderling (BAE Executive Director)
14 : 30-15 : 30	General Session #2 Workshop on the Moon Topics Keynote Lecture (JAXA)	"Functional space tools improve the QOL in moon village?" "Effect of hypogravity on human physiology on the Moon surface?" "Effect of the Hybrid Training Method on the Disuse Atrophy of the Musculoskeletal System of the Astronauts Staying in the International Space Station for a Long Term?" "Moon Olympic?"	Takashi Nakamura (Tokushima University) Satoshi Iwase (Jichi Medical University) Naoto Shiba (Shizuoka University) Masahito Aoki (Zemitsui Inc.)



膝痛を有する肥満患者におけるHTS歩行効果 米国カンザス大学との国際共同研究

目的

膝関節筋力増強と膝痛改善効果を検証する。



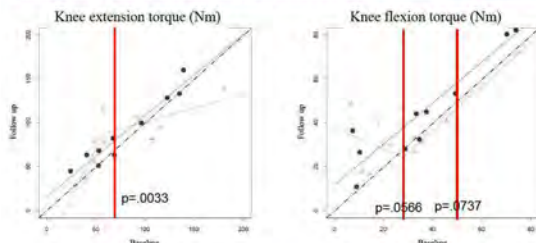
方法



- 被検者: 膝痛を有する肥満女性28名 (BMI 30–45kg/m², age 39–70)
- 介入: 歩行30分、週2回12週間
- 歩行+sensoryTENS14名; Control群、歩行+電気刺激14名; HTS群
- 評価: 等速性膝伸・屈筋力 (60度/秒)、身体機能、KOOS

Matsuse H, Segal NA, Rabe KG, Shiba N. Am J Phys Med Rehabil. 2020

開始時の膝筋力が大きい場合にHTS歩行による筋力増強効果がsensory TENS歩行よりも有意に大きい



Matsuse H, Segal NA, Rabe KG, Shiba N. Am J Phys Med Rehabil. 2020

FDA アメリカ食品医薬品局

2017/12/17

<https://www.fda.gov/medical-devices/consumer-products/electronic-muscle-stimulators>

EMS: electrical muscle stimulation (筋肉電気刺激装置)

- 調査の結果、EMSには痩身や腹筋がシックスバックに割れるような効果は認められなかった。
- このような誇張した販促が多いことから、EMS装置は医学的な管理が必要な装置として、FDAの管理下に置かれることになった。
- 米国でEMS装置を販売する企業はFDAの要求に応じた資料を提出し、認可を受ける必要がある。
- 米国内では医療専門家の指示の下で、使用/販売しなければならない。

85

講義内容

- 研究の背景
- 筋骨格系の廃用
 - ロコモティブシンドローム、サルコペニア、フレイル
- 宇宙医学研究
- 産学共同研究と装置の市販化
- 運動の全身効果について



結果

Change in Outcome Measures from Baseline to 12-Week Follow-Up

Variable	HTS Group (N=10)	Control Group (N=10)	P-value comparing groups
Knee extension torque (Nm/kg)	0.10 ± 0.07* (.02)	0.063* ± 0.07 (.53)	0.72
Knee flexion torque (Nm/kg)	0.96 ± 0.04* (.02)	0.065* ± 0.04 (.22)	0.62
20m-walk time (sec)	-0.53 ± 0.9 (.09)	-0.52 ± 1.5 (.29)	0.98
Chair stand test (sec)	-1.5 ± 1.5 (.01)	-2.4 ± 2.9 (.03)	0.41
Stair climb test (sec)	-0.79 ± 0.5 (.001)	-1.4 ± 1.4 (.01)	0.21
KOOS pain (point)	-5.4 ± 4.0 (.002)	-5.3 ± 4.9 (.007)	0.96

#Mean ± Standard Error; (within group p-values)

両群とも身体機能と膝痛は改善した。
一方で膝屈伸筋力はHTS歩行のみ有意に増加した。

Matsuse H, Segal NA, Rabe KG, Shiba N. Am J Phys Med Rehabil. 2020



2019 PM&R
Best Original Research Award

2019年 米国リハビリテーション医学会最優秀論文賞

米国カンザス大学との国際共同研究

International collaboration with University of Kansas and Kurume University

Neil Segal, MD, MS, Professor Dept of Rehab The University of Kansas

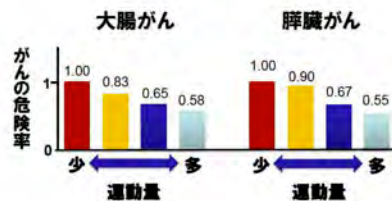
Hiroo Matsuse, MD, PhD, Associate Professor, Div of Rehab Kurume University Hospital

Evaluation of the Combined Application of Neuromuscular Electrical Stimulation and Volitional Contractions on Thigh Muscle Strength, Knee Pain, and Physical Performance in Women at Risk for Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial

94



運動とがん



運動は乳がん・子宮体がんに対する予防効果もある。

Tsugane and Inoue. Cancer Sci. 2010;101:1073-9.

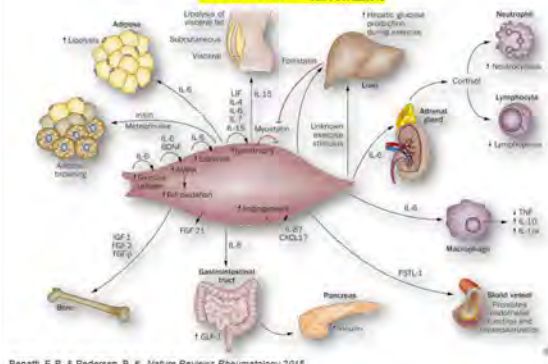
日本人のためのがん予防法

座って仕事をしている人なら、ほぼ毎日計60分程度の歩行などの適度な身体活動に加えて、週に1回は活発な運動(60分程度の早歩きや30分程度のランニングなど)を加えましょう。

毎日6,000歩+週1回の運動

Skeletal muscle: a secretory organ

Cross talk = 組織連関



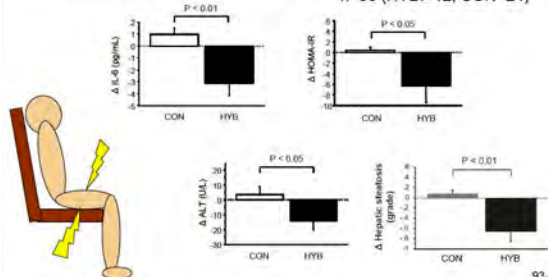
Benatti, F. B. & Pedersen, B. K. Nature Reviews Rheumatology 2015

HTS>効果>メタボ

メタボリックシンドローム (NAFLD) への応用

週2回 12週間の膝屈伸トレーニング

homeostasis model assessment of insulin resistance: HOMA-IR
インスリン抵抗性 検査 空腹時の血中インスリン濃度 $\mu\text{U} / \text{ml} \times$ 空腹時血糖値 $\text{mg} / \text{dl} / 405$
 $n=36$ (HYB=12, CON=24)



Kawaguchi T, Shiba N. Journal of Gastroenterology, 2011

HTS膝屈伸 健康人の運動後急性期のMyokine分泌

Knee extension



対象・方法

16名 健康男性。HTS膝屈伸運動10x10回(20分間)直後の血清をBio-Plexにより52項目マーカー測定

結果

3項目で有意に増加

- ① CTACK: cutaneous T-cell-attracting chemokine
- ② EPO: erythropoietin
- ③ TRAIL: TNF-related apoptosis-inducing ligand

考察

①皮膚創傷治癒促進、②抗動脈硬化・血管新生増強、③重症下肢虚血患者の下肢骨格筋における抗炎症・抗アポトーシス効果。がそれぞれ期待できる。
閉塞性動脈硬化症などの重症下肢虚血患者における運動療法としてHTSが貢献できる可能性を示す。

Sasaki, K. Hybrid training system-induced myokine secretion in healthy men. Cytokine 11: 176-181, 2018

マイオカイン オリジナル文献

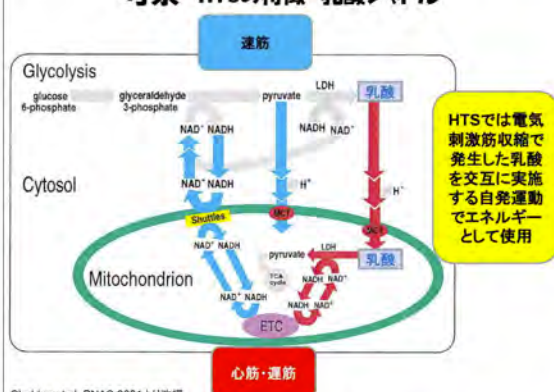
Contraction-induced myokine production and release: is skeletal muscle an endocrine organ?

Febbraio MA, Pedersen BK. Exerc Sport Sci Rev. 2005. Jul;33(3):114-9.

- コペンハーゲン大学 Pedersen教授グループの長年の研究成果。IL-6は収縮する骨格筋の筋細胞で産生、血中に動員される。
- 活動筋から分泌されるサイトカインということで、IL-6をマイオカイン (myokine) と呼ぶ。

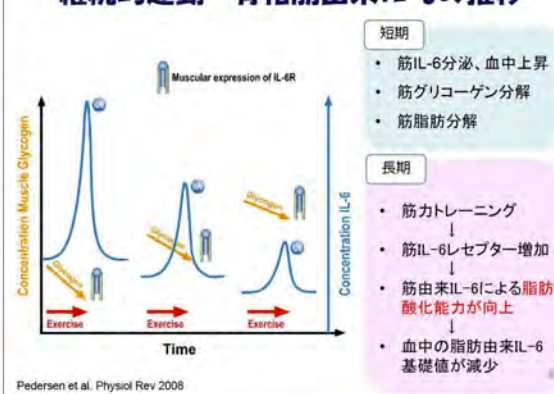


考察 HTSの特徴 乳酸シャトル



Gladden et al. PNAS 2001より改稿

継続的運動 骨格筋由来IL-6の推移



Pedersen et al. Physiol Rev 2008

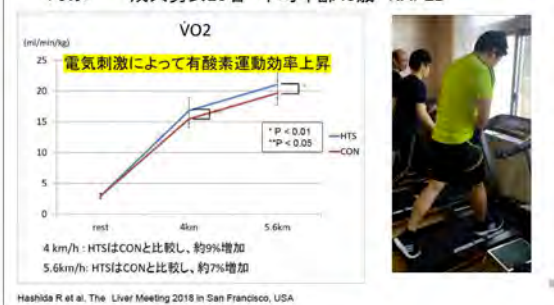
HTS>効果>歩行実験>トレッドミル実験

トレッドミルでのHTS歩行

訓練内容 30分間の歩行訓練(時速4.8km/時)を、3回/週、6週間

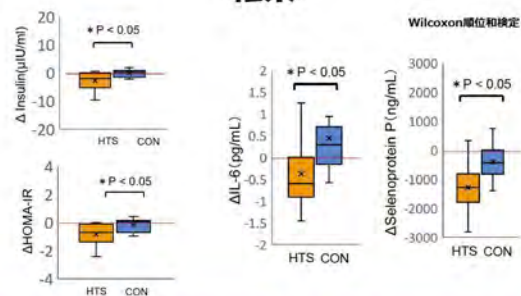
※全て監視下でリハビリテーション室で行い、毎日、食事、体重管理を日誌にて管理

対象 成人男女20名 平均年齢45歳 NAFLD



Hashida R et al. The Liver Meeting 2018 in San Francisco, USA

結果



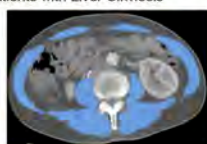
メタ病患者 6週間HTS歩行で、インスリン抵抗性、IL-6、Selenoprotein P改善

Hashida R et al. The Liver Meeting 2018 in San Francisco, USA

骨格筋量と関連するマイオカイン

Myokine Associated with Sarcopenia in Patients with Liver Cirrhosis

- 39 patients with liver cirrhosis
- age 75 [41-84], female/male 19/20
- BMI 22.1 [14.0-33.6], Child-Pugh score 6[5-10]
- L3 vertebra on CT image using Image J
- Evaluated by ELISA



Variable	Estimate	95% CI	P
Age	7.694225	-20.93564-36.324089	0.5875
Child-Pugh score	-0.045779	-1.899424-1.7978657	0.9999
Cathepsin B	0.0151027	-0.068423-0.0986281	0.7148
Myostatin	-0.000696	-0.001615-0.0002227	0.1325
Irisin	-0.081161	-0.398361-0.2360594	0.6055
Decorin	9.0019772	8.4233e-6-0.092146	0.0483

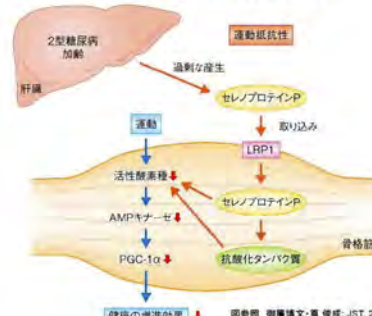
Hashida R, et al. Poster#485, AASLD The Liver Meeting 2017 in Washington D.C.
Bekki M, et al. IJSM Rapid Communications, 2018.

Summary

- 宇宙の無重力環境では筋骨格系に著しい廃用性変化を来す
- 臨床と宇宙の筋骨格系廃用には共通点も多く、ともに対策が必要
- 力学的負荷を効果的に与えることが重要
- 宇宙で使用可能な装置を開発し、ISS実験を行った
- Panasonicとの共同研究で装置を市販した
- 運動の全身効果に関する研究が加速

101

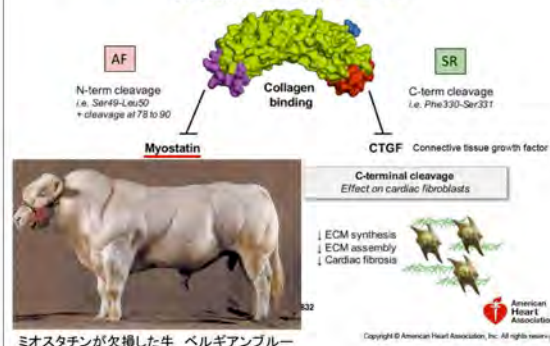
Serenoprotein Pは受容体LRP1を介して運動抵抗性を誘発する



Misu H, et al. Nature Medicine, 23: 508-516, 2017

98

Decorin はMyostatinの作用を抑制して骨格筋を肥大させる



HTS 参加研究施設・研究者

久留米大学

赤字: 博士課程修了 11名
青字: 修士課程修了 16名

整形外科・リハビリ科: 佐野美佐 (博士), 柳東次郎 (博士・非常勤講師), 梅津祐一 (元准教授), 岩崎敏彦, 松瀬博夫 (博士・講師), 名護健 (博士・講師), 吉光一浩 (博士), 松塚亨 (博士・講師), 大本将之 (博士), 横田竜樹 (博士), 戸次将史 (博士大学院), 原光司 (博士大学院), 若永壮平 (博士大学院), 田川善彦 (工学博士客員教授), 山本直輝 (工学助教)

他教室: 川口巧 (消化器内科・講師), 桑野剛一 (聴覚学教室・教授), 橋本隆 (皮膚科・元教授), 長田周治 (放射線科・講師), 佐々木健一郎 (循環器内科・助教), 深木圭 (腎臓内科・教授)

理学療法士: 田嶋久実, 前田貴司 (修士), 今石喜成 (修士), 岩佐聖彦, 中島義博, 広田桂介 (修士・博士学生), 成田新 (修士), 五嶋佳子 (修士・博士), 高野吉郎 (修士・博士), 佐藤孝二 (修士・博士), 甲斐龍造 (修士・博士), 羽田圭宏 (修士), 佐々木祐二 (修士), 神川達郎 (修士), 政所和也 (修士・博士), 本山浩司 (修士), 白石大地 (修士), 山本千晶, 黒川由貴, 天本美奈子, 神谷俊次 (修士・博士大学院), 塚田裕也 (修士・博士大学院), 福島竜也, 天本亮, 岸本直也 (修士), 小池秀和 (修士), 谷口南紀 (修士), 山崎貴弘, 穂方悠太 (修士大学院), 工藤芽衣

作業療法士: 岩佐剛正 (修士), 山口仁美 (修士), 長綾子, 原口正邦

他の協力部署: 放射線診療部, 臨床検査部

学外研究施設

九州工業大学, 久留米工業大学, 国際医療福祉大学, 徳島大学, カンザス大学

企業

アクティブリンク株式会社, 積水化成成品工業, ゴールドウィン株式会社, 千代田アドバンス・ソリューションズ, パナソニック株式会社

宇宙関連施設

JISF, JAXA宇宙医学生物学研究室, JAXA ODF team, JAMSS, JAXA宇宙環境利用センター, NASA



4.1.3. 第3回宇宙医学講義スライド集

宇宙での骨への影響

2024年10月16日 水曜日 15:00-16:30

授業科目名：有人宇宙医学

対象：大学院生、学部生

場所：総合生存学館大講義室（2階）

愛知学院大学短期大学部 准教授 近藤久貴

- 自己紹介 5-10分 1-12
- 骨について 10分 13-18
- 骨細胞について 10分 19-22
- 宇宙での骨の減少 10分 23-28
- 骨と筋肉の関係 10分 29-36
- 交感神経による骨減少 15分 37-44
- NASAでの研究 15分 45-66

学生時代は柔道や合気道をやっていました。



愛知学院大学 歯学部 柔道部監督

趣味は星を見ること



2つの月（小惑星2024PT5）11-42m

- Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System
- ATLAS（小惑星地球衝突警報システム）8月に発見
- 56日間（2024年9月29日から11月25日）
- 地球と月との距離の約10倍（350〜400万km）の距離
- 2025年？2055年？に再度飛来すると予測されている。
- 約18mを超える小惑星でなければ、燃え尽きるといわれている。



紫金山 アトラス彗星

2024/10/14
TimeLapse

<https://www.youtube.com/watch?v=sQZ88eTcIc>





宇宙医学



宇宙飛行士の骨の変化

宇宙開発事業団 (NASDA)、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

- 廃用性骨萎縮
- メカニカルストレスによる骨リモデリング
- 無歯顎→歯槽骨減少、歯科矯正



宇宙医学：宇宙飛行による骨の減少



なぜ宇宙飛行士の骨は弱くなるのか？



骨の役割



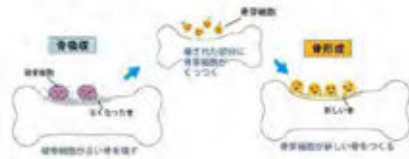
- 支持機能：206個の骨が全身を支える。
- 運動機能：骨格筋と共同して体を動かす。
- 保護機能：脳や内臓を保護する
- 貯蔵機能：カルシウムやリンなどミネラルの貯蔵庫（細胞外液に海のような環境をつくるため）
- 造血機能：骨の中には骨髄がある。
造血幹細胞（赤血球、白血球、血小板の元となる細胞）
- 内分泌機能：骨芽細胞により産生される
オステオカルシン、FGF23など

年代	人口	人口密度	人口密度
1950年	250	100	100
1960年	300	120	120
1970年	350	140	140
1980年	400	160	160
1990年	450	180	180
2000年	500	200	200
2010年	550	220	220
2020年	600	240	240

生命は海で進化してきた



骨のリモデリング=骨代謝=骨の新陳代謝



骨代謝は骨芽細胞と破骨細胞のバランスによって調節される。
通常は骨芽細胞による骨形成と破骨細胞による骨吸収はバランスが釣り合っているため、見た目はもちろんのこと、骨の量や骨強度も一定に保たれている。

[Bone Remodeling and Metabolism \(YouTube.com\)](https://www.youtube.com/watch?v=H0mRm0e0gZ0)

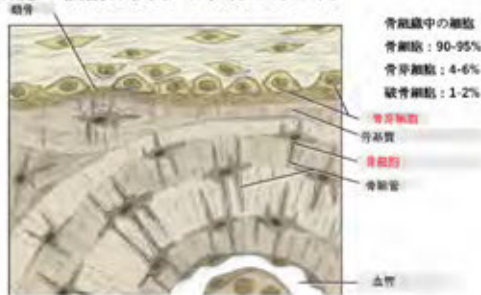
なぜ宇宙飛行士の骨は弱くなるのか？



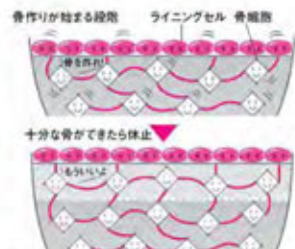
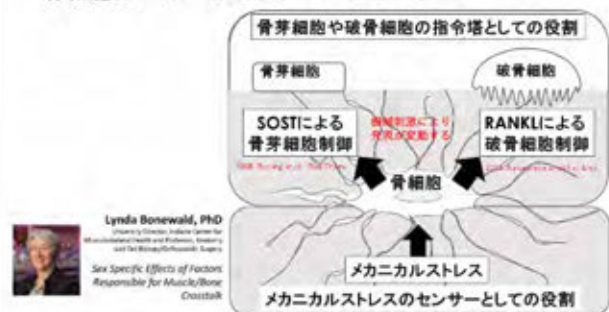
宇宙飛行士は無重力の環境で生活することで、骨にかかる負担が大きく減少する。地上では重力に抗い、歩いたり立ったりと、骨には常に一定の力がかかっている。

宇宙飛行士は骨代謝のバランスが崩れている

骨細胞の役割は長らく不明であった



骨細胞はメカニカルストレスのセンサー



骨をかけることで骨が太くなる仕組み。骨を作り出した骨芽細胞は骨の中で骨細胞になり、互いに手をつないでネットワークを構成。骨にかかる負担を感知すると、骨表面のライニングセル（静止した骨芽細胞）に「骨を作れ！」と指令を出す。するとライニングセルは骨芽細胞に変身、骨作りが始まる。十分な骨ができた後、骨細胞から骨作り停止の指令が出る（イラスト：三巧書房、図版監修：石橋崇典）

メカニカルストレスが減少すると、骨細胞はSOSTを分泌し、骨形成を低下させる。
SOST欠損動物は非加量で骨が減少しない



なぜ宇宙飛行士の骨は弱くなるのか？



骨細胞へのメカニカルストレスが減少するから

宇宙飛行により骨の量が平均で6-9%ほど減少する

ISS宇宙飛行士 人数				平均158日-約5ヶ月の宇宙飛行	
Variable	N	%/Month	変数	人数	平均167日-約5ヶ月の宇宙飛行
BMD Spine	18	-1.06*			
BMD Neck	18	-1.15*			
BMD Troch	18	-1.36*			
BMD Total	17	-0.35*			
BMD Pelvis	17	-1.35*			
BMD Ankle	17	-0.04			
BMD Leg	18	-0.54*			
Lean Total	17	-0.57*			
Lean Leg	16	-1.00*			
Lean Arm	17	0.00			
Fat Total	17	-4.79			

* p<0.05

Table 1. BMD and lean tissue change after 4-14.4 months of spaceflight.

Table 2. BMD and lean tissue change after 4 months of bed rest without exercise.

**高齢者の骨粗鬆症(-1.0~1.5%/Year)と比べて
10倍の骨量減少速度→尿路結石のリスク↑**

ISS宇宙飛行士 人数 平均183日 = 約6か月の宇宙飛行 4か月のベッドレスト

Variable	N	%/Month	SD
BMD Spine	18	-1.06*	0.63
BMD Neck	18	-1.15*	0.84
BMD Troch	18	-1.56*	0.99
BMD Total	17	-0.55*	0.75
BMD Pelvis	17	-1.35*	0.54
BMD Arm	17	-0.04	0.68
BMD Leg	16	-0.54*	0.33
Lean Total	17	-0.57*	0.62
Lean Leg	16	-1.09*	0.73
Lean Arm	17	0.00	0.77
Fat Total	17	-1.79	4.66

*p<0.05

Table 1. BMD and lean tissue change after 4-14.4 months of spaceflight.

Table 2. BMD and lean tissue change after 4 months of bed rest without exercise.

大幅に長い宇宙滞在(311日と438日)を過ごした2人の宇宙飛行士の場合、腰椎からの骨損失率(0.68%/月と0.51%/月)は約半分の損失率の減少を示している可能性

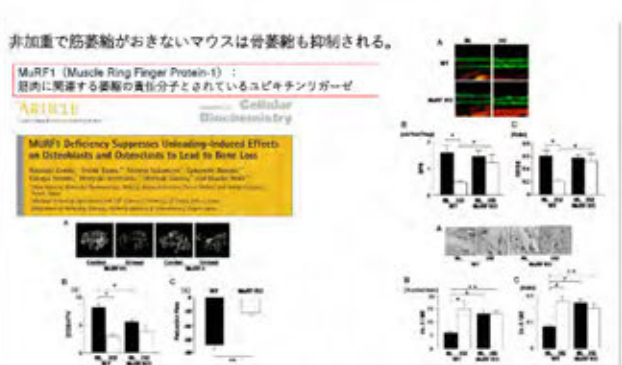
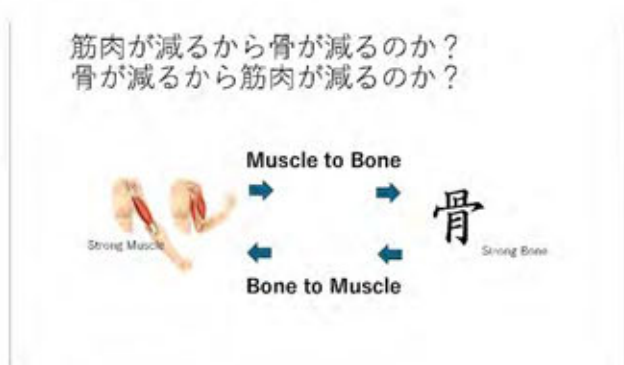
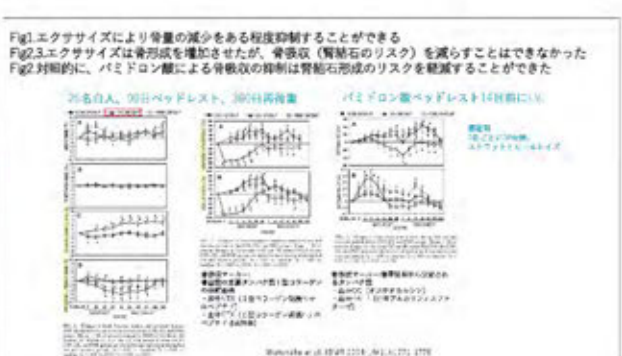
ISS宇宙飛行士 人数 平均183日

Variable	N	%/Month	SD
BMD Spine	18	-1.06*	0.63
BMD Neck	18	-1.15*	0.84
BMD Troch	18	-1.56*	0.99
BMD Total	17	-0.55*	0.75
BMD Pelvis	17	-1.35*	0.54
BMD Arm	17	-0.04	0.68
BMD Leg	16	-0.54*	0.33
Lean Total	17	-0.57*	0.62
Lean Leg	16	-1.09*	0.73
Lean Arm	17	0.00	0.77
Fat Total	17	-1.79	4.66

*p<0.05

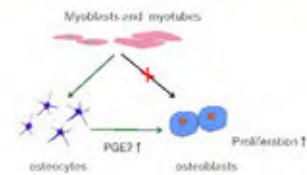
Table 1. BMD and lean tissue change after 4-14.4 months of spaceflight.

Table 2. BMD and lean tissue change after 4 months of bed rest without exercise.





Possible mechanism for muscle derived factors on bone cells



- Muscle conditioned media have indirect effects on osteoblast proliferation and metabolic activity via osteocytes.

Lynda Bonewald, PhD
University Director, Indiana Center for Musculoskeletal Health and the Indiana Academy of Cell Biology/Orthopaedic Surgery
Sex Specific Effects of Factors Responsible for Muscle/Bone Crosstalk

筋肉が動くと、骨が増える
≡ 筋肉が動かないと、骨が増えない

Muscle to Bone
骨細胞 → 骨芽細胞 → 骨

Strong Muscle → Strong Bone



宇宙医学：宇宙飛行による骨の減少

宇宙医学：宇宙飛行による骨の減少

骨のリモデリング

骨吸収 (Osteoclasts) → 骨形成 (Osteoblasts)

骨のリモデリングは、骨吸収と骨形成のバランスによる。

宇宙飛行による骨の減少は、骨吸収が増加し、骨形成が減少するため。

2001 竹田 Katsunori

交感神経

骨のリモデリング

骨吸収 (Osteoclasts) → 骨形成 (Osteoblasts)

交感神経は、骨のリモデリングを調節する。

交感神経が活性化すると、骨吸収が増加し、骨形成が減少する。

2001 竹田 Katsunori

交感神経

骨のリモデリング

骨吸収 (Osteoclasts) → 骨形成 (Osteoblasts)

交感神経は、骨のリモデリングを調節する。

交感神経が活性化すると、骨吸収が増加し、骨形成が減少する。

2001 竹田 Katsunori

交感神経

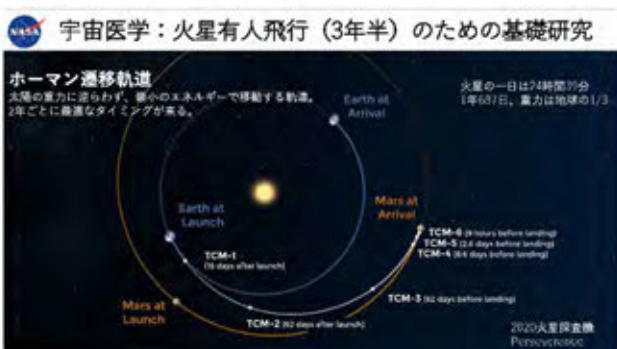
骨のリモデリング

骨吸収 (Osteoclasts) → 骨形成 (Osteoblasts)

交感神経は、骨のリモデリングを調節する。

交感神経が活性化すると、骨吸収が増加し、骨形成が減少する。

2001 竹田 Katsunori



- International Space Station. (0.3-1.5 mGy / day)
- Extravehicular activity. (1-5 mGy / day)
- Lunar missions
Solar particle events (SPEs)
1-2 Gy is possible (over hours to days).
- Mars mission (0.5-1.0 Gy / 3 years)
火星ローバー「キュリオシティ」が地球を出発してから火星に到達するまでの間に受けた放射線量は0.66(Sv/66Gy) [C. ZEPHUR, 2013]

(However, The direct effects of radiation on bone are not fully understood.)

- Diagnosis (Local, 0.05 mGy) 
- Cancer treatment (Local, 2Gy/day, total 60-70Gy) 
- Suppression of immune system for transplantation. (Whole body, 10 Gy/dose)

This diagram illustrates the interaction between the Sun and Earth's magnetic field. On the left, the Sun is shown with labels for '太陽磁気圏' (Solar Magnetosphere), '太陽風' (Solar Wind), '太陽フレア' (Solar Flare), and 'コロナ' (Corona). Arrows represent the flow of solar particles towards Earth. In the center, Earth is depicted with its magnetic field lines, labeled '地球' (Earth), 'N' (North), and 'S' (South). The '放射能ベルト' (Van Allen Radiation Belt) is shown as a region of trapped particles. On the right, the '地球宇宙圏' (Earth's Space Environment) is shown, including the '外宇宙' (Outer Space) and '地球磁気圏' (Earth's Magnetosphere). The '放射能ベルト' (Van Allen Radiation Belt) is also labeled as '放射能ベルト' (Van Allen Radiation Belt).

Figure 1 shows the histomorphometric analysis of bone volume. The top left is a schematic of a femur with a 10 mm scale bar. To its right are histological sections at 0x, 10x, and 20x magnification, with a 1 mm scale bar. The bottom part is a bar graph of Bone Volume Tissue Volume X 100 (%).

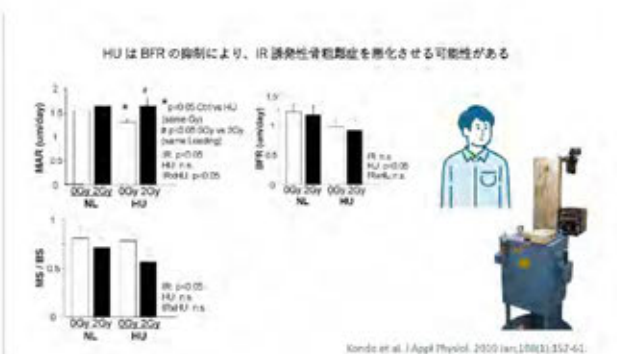
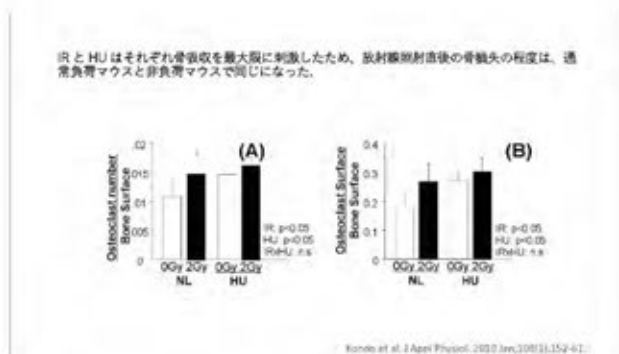
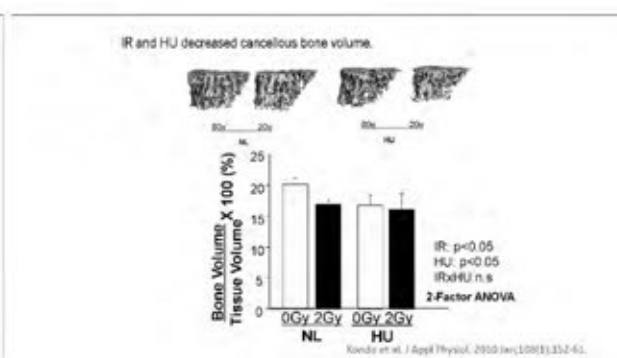
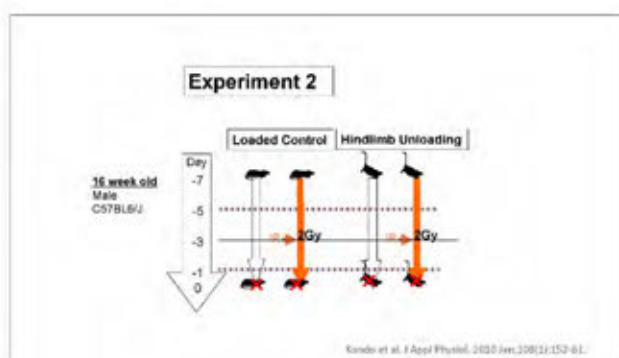
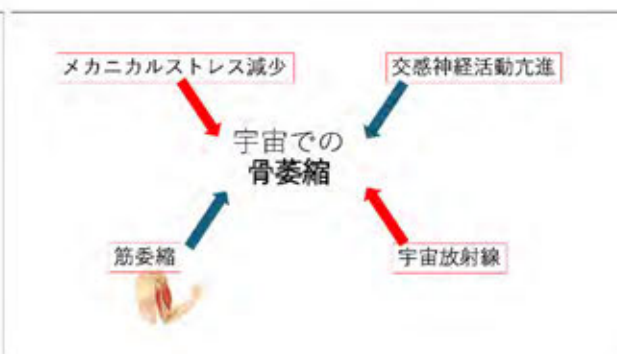
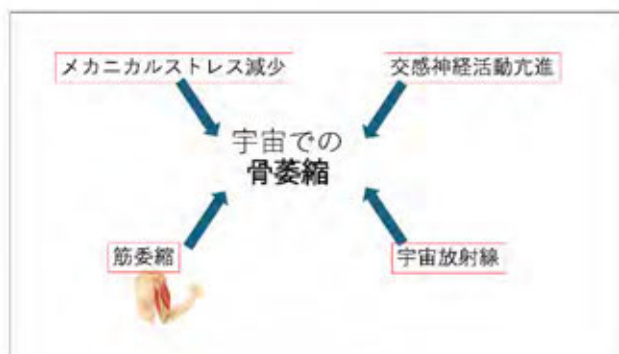
Group	BL Ctrl	Ctrl	Day3	Day10
Dose (Gy)	0	0	1	2

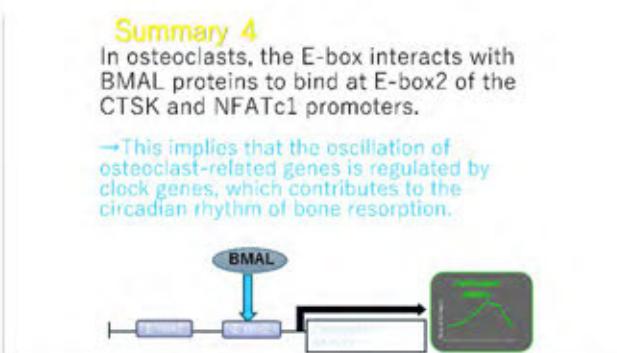
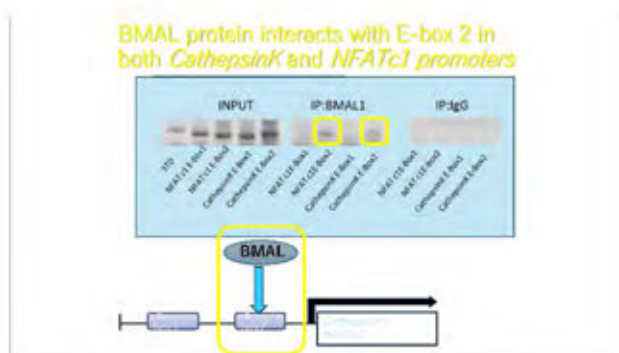
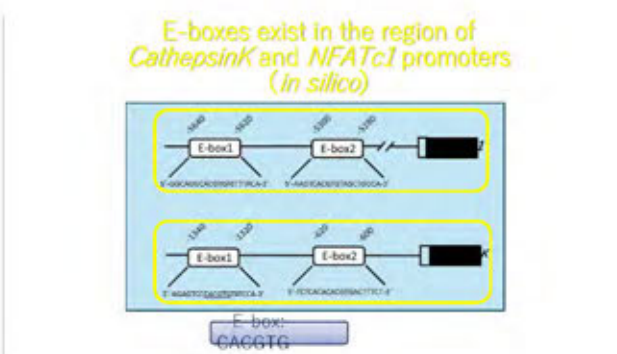
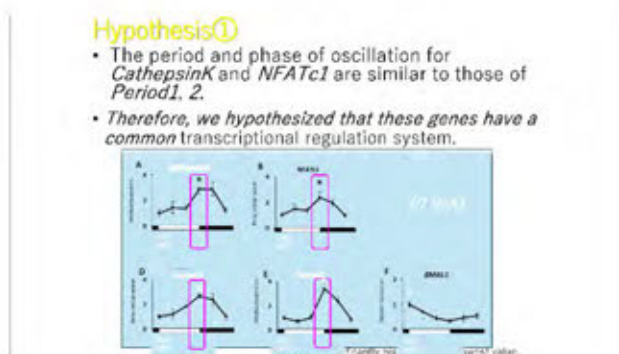
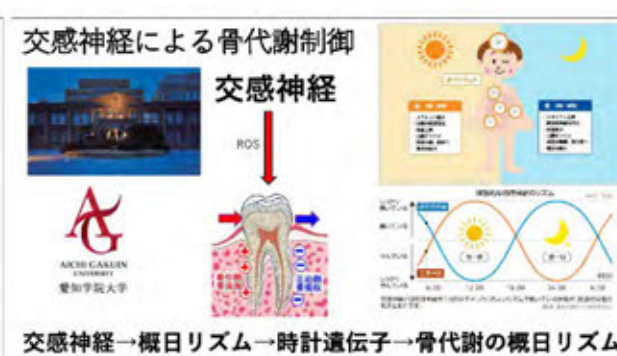
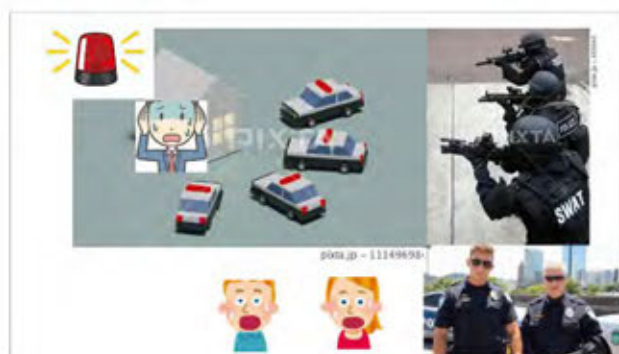
Approximate Bone Volume Tissue Volume X 100 (%) values from the graph:

Group	BL Ctrl	Ctrl	Day3	Day10
Value (%)	~19	~19	~17	~14

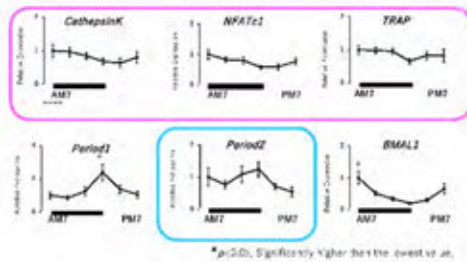
Significance markers: * p < 0.05 compared to 0 Gy; # p < 0.05 compared to 1 Gy (same day); ° p < 0.05 compared to 2 Gy (same dose). ANOVA, Tukey-Kramer Post hoc.

Figure 1 consists of three panels. Panel (a) is a schematic diagram of the experimental design. It shows a timeline from Day 0 to Day 10. At Day 0, a cell is labeled 'Label 1'. At Day 2, a cell is labeled 'Label 2'. At Day 10, a cell is labeled 'Label 1'. The timeline is divided into three sections: 'Pre-0', '0-10', and '10-20'. The 'Pre-0' section shows the cell at Day 0. The '0-10' section shows the cell at Day 2 and Day 10. The '10-20' section shows the cell at Day 10. Panel (b) is a bar graph showing the number of cells per field (x10^4) for Control, Day 2, and Day 10. The y-axis ranges from 0 to 2.5. The Control bar is at approximately 1.5, Day 2 is at approximately 2.0, and Day 10 is at approximately 2.2. Panel (c) is a bar graph showing the number of cells per field (x10^4) for Control, Day 2, and Day 10. The y-axis ranges from 0 to 3. The Control bar is at approximately 1.5, Day 2 is at approximately 1.8, and Day 10 is at approximately 2.0.

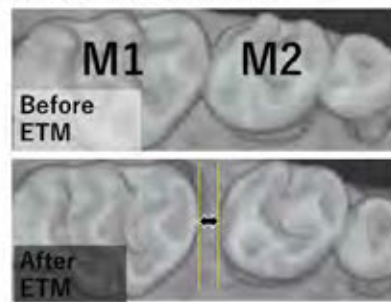




In ADX mice, the circadian rhythms of osteoclast-related genes disappeared



Amount of Tooth Movement



4.1.4. 第4回宇宙医学講義スライド集

2024.10.23 (水) 京都大学
有人宇宙医学講義30分間

宇宙酔い

野村泰之
日本大学 医学部 耳鼻咽喉・頭頸部外科学分野



COI：開示すべき利益相反はありません

日本大学医学部 耳鼻咽喉・頭頸部外科学分野



開示すべき COI 利益相反なし

宇宙航空環境医学会、2022年

2022年11月24、25日
大会長：日本大学耳鼻咽喉科 野村泰之 @渋谷



宇宙酔い、めまい

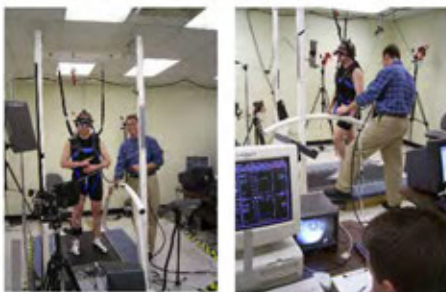
宇宙航空医学に関する教科書もあります



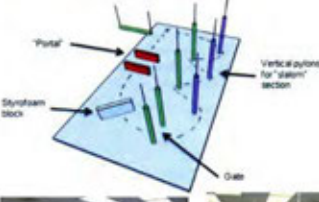
1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間感失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



宇宙飛行士たちの平衡バランス失調対策



長期宇宙滞在前後の姿勢歩行動態




Michael Fincke 飛行士

テキサス州ヒューストン NASA・ジョンソン宇宙センター



月・火星の重力下を作る弾道飛行



パラボリックフライト（弾道飛行）実験



航空機を用いて無重力状態を作成、月火星重力も作成

飛行条件

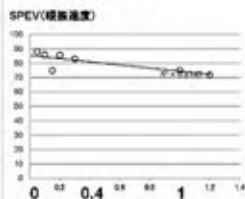


パラボリック・フライト（弾道飛行）実験

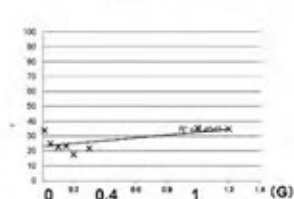


可変重力値と相関する耳石器応答を認めた

初回飛行者



既経験者



0.1G以下で身体が浮く $\Rightarrow$ どこかに重力閾値がある？
 $\Rightarrow$ 視運動性眼振の応答に閾値変化は認めず、相関していた。

パラボリックフライト（弾道飛行）

日本では名古屋空港（三菱重工機：DAS）の利用のみ、名古屋空港から離陸して海上空域で行動・実験する。



- ・小型機（MU-300）と中型機（G-2）があるが、作成できる無重力時間は同じ（約25秒間）。
- ・NASAではジャンボ機やエアバス機等大型機を用いているが約30秒間という条件は変わらない（物質の自由落下時間は同じなので）

月・火星の重力下を作る弾道飛行

前澤氏も訓練で弾道飛行！



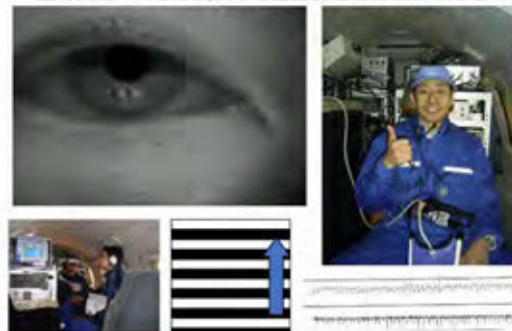
前澤友作氏



© Twitter

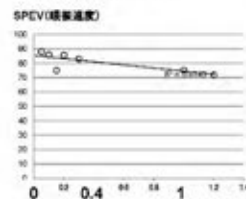
月・火星重力環境での前庭機能測定

重力変化への球形囊反応を垂直視運動性眼振で測定

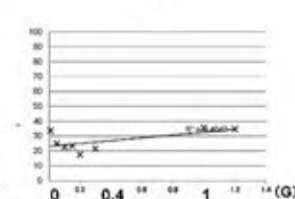


初飛行者は異常亢進、既経験者は順当に機能維持

初回飛行者



既経験者



重力入力が増減すれば本来は耳石器入力低下 $\Rightarrow$ 視運動性眼振低下が妥当だが、逆の異常亢進は感覚混乱や酔いにつながる？
 視運動性眼振に作用する「自律神経」や「情動」の影響の差？

1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. **空間減失調**
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



身体認知の経験値（重力の規定下）

重力・加速度の変化

空間識失調

動揺病（乗り物酔い、船酔い、宇宙酔い、
シミュレーター酔い、VR酔い、等）

重力下での空間識失調

(過重力・加速度刺激と適応障害)



Fig. 1 加速度 (a) の定義

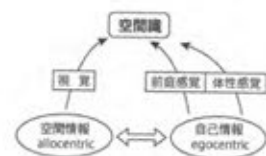


Fig. 1 空間識失調

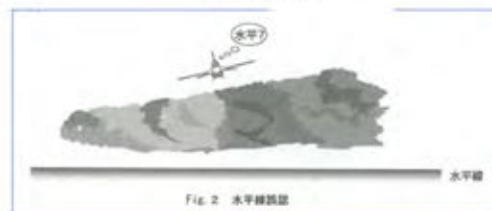


Fig. 2 水平線調整

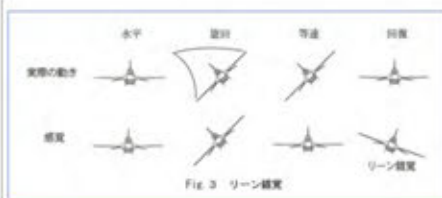


Fig. 3 リーン結束



Fig. 4 体重力経緯



Fig. 5 コリオリ効果



JAXA パーチャルシミュレーション



JAXA バーチャルシミュレーション



JAXA バーチャルシミュレーション



1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間認知失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ

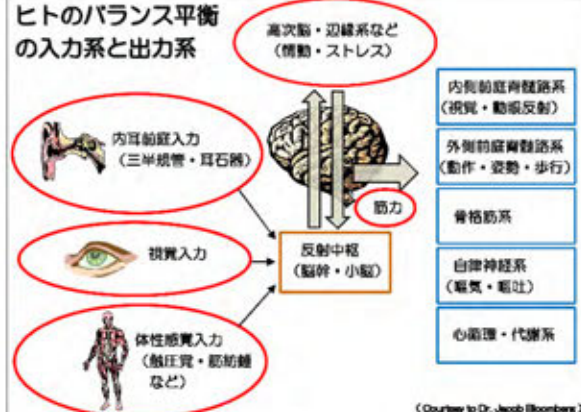


ヒトはどこで重力を受容するか？

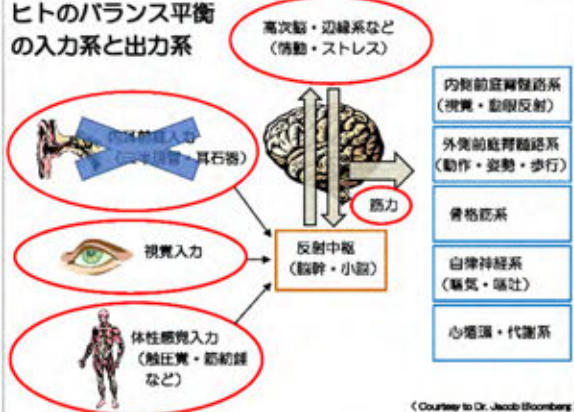


ヒトはどこでバランスを保つか？

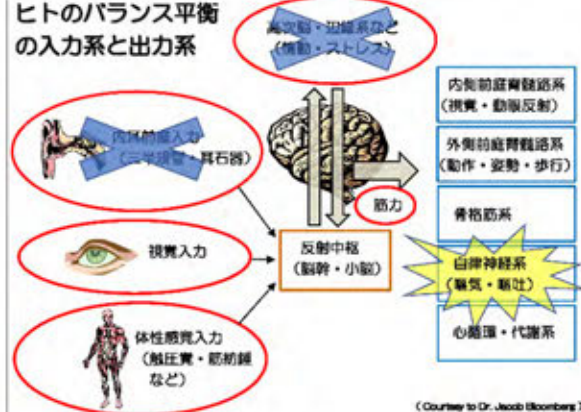
ヒトのバランス平衡の入力系と出力系



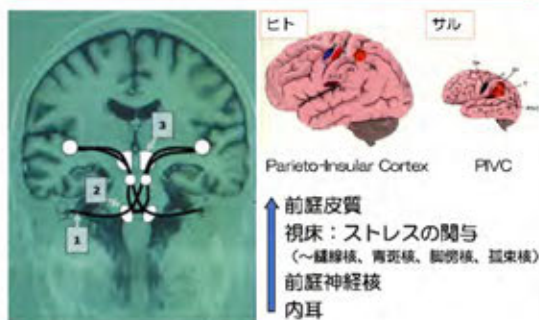
ヒトのバランス平衡の入力系と出力系



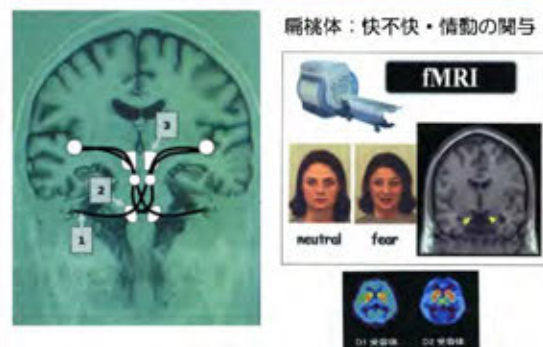
ヒトのバランス平衡の入力系と出力系



酔いやささ、めまいには中枢の感受性も関与



辺縁系、視床、扁桃体など情動中枢の関与



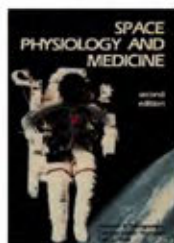
1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間意識失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



宇宙酔い

〜酔いの歴史

ヒポクラテス（紀元前5世紀）に船酔いの記載
nausea = ギリシャ語の「船酔い」が語源



「船酔い」から、究極の乗り物酔いである「宇宙酔い」の時代へ

Space Physiology and Medicine : 4th edition



Space Physiology and Medicine : 4th edition



宇宙航空環境医学会@渋谷では NASAの旧友たちも特別講演

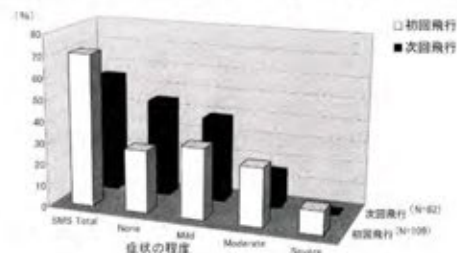


宇宙酔いの特徴・その1「初回罹患率が高い！」

宇宙酔い罹患率：初回飛行士7割、2回目以降は減少

スペースシャトル36フライト171名：全体で65%の罹患率

- ・初飛行109名の71%、それらの2回目以降（62名）では55%
- ・重症度：severeは初回飛行では11%だが、2回目以降では0%



〔石井正樹, 1998〕

以前、このかたも罹患しました！

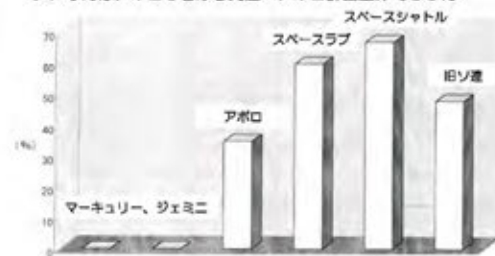
以前、このかたも罹患しました！

以前、このかたも罹患しました！

宇宙船の大型化にともなって宇宙酔い罹患率は上昇



船内で動き回ると増悪しがち。
初報告：チトフ（旧ソ連2人目の飛行士・ポストコク2号）
アメリカはアポロ3号から発症：アポロ計画全体で35%

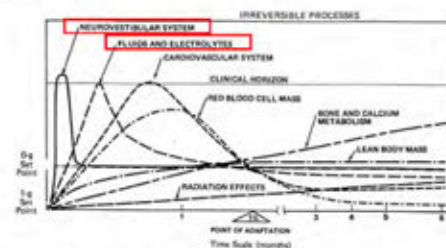


宇宙酔いの特徴・その2「宇宙滞在初期に発症！」

微小重力環境への曝露による様々な生体変化

宇宙酔いの多くは初期の数時間～4、5日でおさまる。

その発症には前庭平衡系の変化に加えて、体液シフトの関与が考えられる。



1G ⇒ μ G (微小重力環境曝露時)

Space Physiology and Medicine (Hogrefe) 4, E. 1982

宇宙酔いの特徴・その3「いきなり嘔吐しがち！」

体液シフトの影響・ムーンフェイス
消化管運動の変化
嘔吐中枢への信号伝達変化、等々が示唆される



宇宙酔いの特徴

- 微小重力環境に入った初期に発症する。
数時間から数日でおさまることが多いが長期間に及ぶこともある。
- 嘔気から嘔吐に至ることが多く地上に比べて嘔吐を生じやすい。
- 座席など身体や頭を動かさずにいると発症しにくい。逆に、空間内を動き回ると発症しやすい。
- 地上の動揺病よりも発症率が高く、初回飛行のほうが発症しやすいが飛行回数を重ねると発症しにくくなる。



宇宙酔いの成因諸説

- ・感覚混乱説
- ・体液シフト説
- ・耳石器左右非対称仮説
- ・耳石器傾斜再適応仮説
- ・位相差非同期適応仮説



等々の諸説がこれまでにあるが、単一仮説では捉えきれない複数の要因が重なることで発症するメカニズムが想定される。

微小重力環境への対応策

打ち上げ前	バーチャルリアリティ訓練、パラボリック飛行、航空機訓練、制吐薬
宇宙滞在中	制吐薬 (promethazine, scopolamine) dextroamphetamine 運動負荷
帰還後	制吐薬静注、補液、平衡リハビリテーション

Williams D, et al. CMAJ. 2009.

宇宙酔いの成因諸説

- ・感覚混乱説

微小重力環境に突入後の急性期における前庭、視覚、体性感覚などのミスマッチを仮説の基本におき、諸仮説の主幹となる。



他の仮説と異なり、地上 1 G 環境における動揺病自体の解釈も可能である。

つまり体液シフト説、耳石器説などでは重力のある地上での動揺病の病態を説明しきれない。

宇宙酔い、前庭機能系低下への対応策

打ち上げ前

バーチャルリアリティ訓練、パラボリック飛行、航空機訓練、制吐薬

宇宙滞在中

制吐薬 (promethazine, scopolamine)
dextroamphetamine
運動負荷

帰還後

制吐薬静注、補液、平衡リハビリテーション

Williams D, et al. CMAJ. 2009.

抗動揺病薬：嘔吐を防ぐことも重要

1) 抗ヒスタミン薬

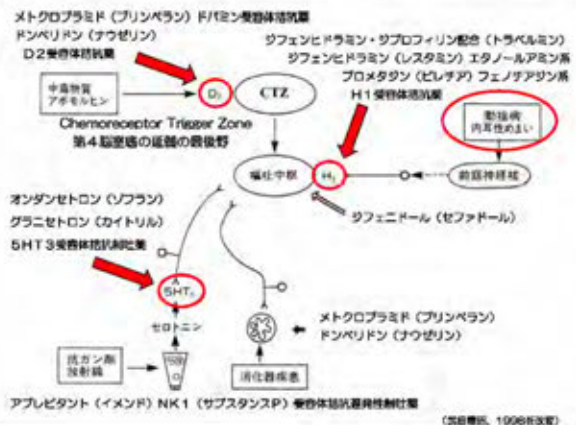
H1レセプター拮抗薬：ヒスタミン神経系
(脳血管門より脳内のヒスタミン神経系)

2) 抗コリン薬

ムスカリン受容体拮抗薬：アセチルコリン系

3) 覚醒剤

カテコラミン遊離薬：カテコラミン神経系



本邦の乗り物酔い止め市販薬（合剤が多い）

トラベルミン®各種	適応： 歳小5歳～成人 剤型： 錠、液、速溶錠、チュアブル錠など 成分： クロルフェニラミンマレイン酸塩、スコポラミン臭化水素酸塩水化物、ジフェンヒドラミンメソイル塩、シプロヘドリン、無水カフェイン、ピリドキシン塩酸塩 (VBS)、塩酸メクリジン、などの組み合わせ
センバツ®各種	適応： 歳小5歳～成人 剤型： 錠、液、速溶錠、チュアブル錠など 成分： クロルフェニラミンマレイン酸塩、スコポラミン臭化水素酸塩水化物、などの組み合わせ
アネロン®	適応： 歳小7歳～成人 剤型： カプセル 成分： マレイン酸フェニラミン、アミノ安息香酸エチル、スコポラミン臭化水素酸塩水化物、無水カフェイン、ピリドキシン塩酸塩 (VBS)、などの組み合わせ
マイトラベル®	適応： 歳小5歳～成人 剤型： 錠 成分： サリチル酸ジフェンヒドラミン、シプロヘドリン、などの組み合わせ

文部科学省の承認済みの市販薬。 (資料提供：2022)

あれ？「抗ヒスタミン薬」って花粉症の薬にも使うよね？



あれ？「抗ヒスタミン薬」って花粉症の薬にも使うよね？

めまい用の抗ヒ剤は
脳血液関門を通して脳へ。



制吐作用に加えて
眠気による鎮静も有用な効果。

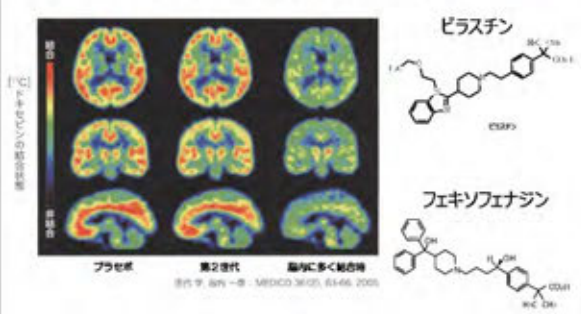
BBB

しかし花粉症薬は
眠気の無い方が良い。

第2世代抗ヒスタミン薬

抗ヒスタミン薬：鼻アレルギーとしては脳内移行を減らす

第2世代はカルボキシル基やアミノ基等の付加で分子重量を増加



「日本医事新報」2022年発刊 Webコンテンツ



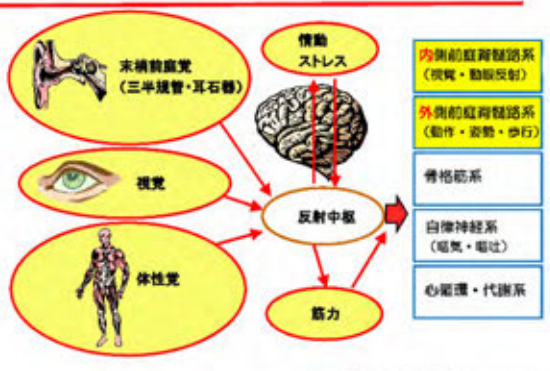
「日本医事新報」2022年発刊 Webコンテンツ



「日本医事新報」2022年発刊 Webコンテンツ



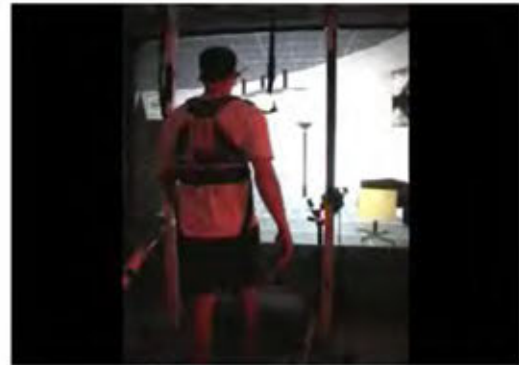
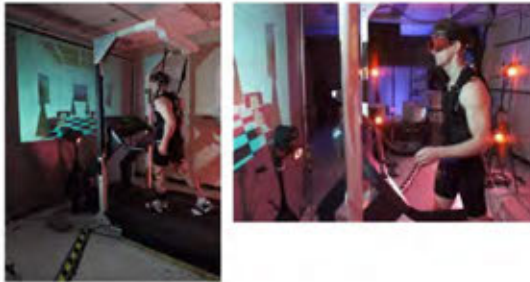
内耳前庭は姿勢・歩行もつかさどる



微小重力では全身の
姿勢等にも変化



NASAでのVR、免荷を用いた宇宙酔い対策



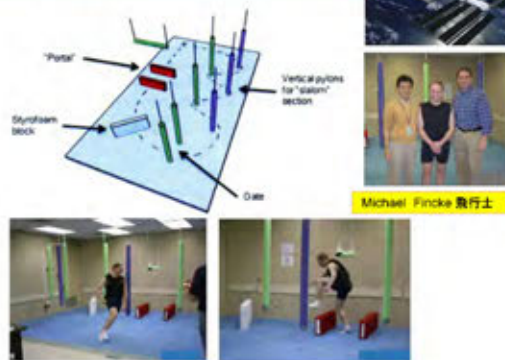
帰還後（再突入、再適応）症候群



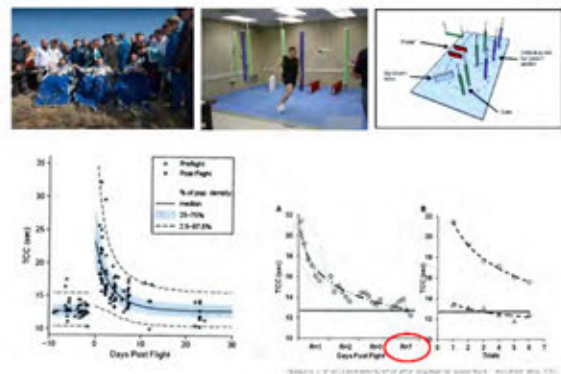
帰還後（再突入、再適応）症候群



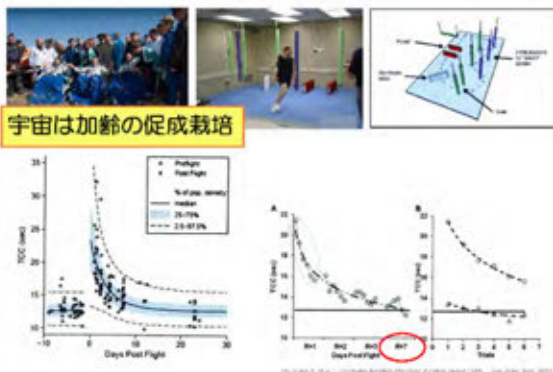
長期宇宙滞在前後の回復経過



長期宇宙滞在前後の回復経過



長期宇宙滞在前後の回復経過



おわりに：

では、宇宙医学をどう地上医学に活かすか？
スピンオフの話：高齢者めまいバランスの改善

おわりに：スピノフの話
：高齢者のめまい・バランス障害への研究



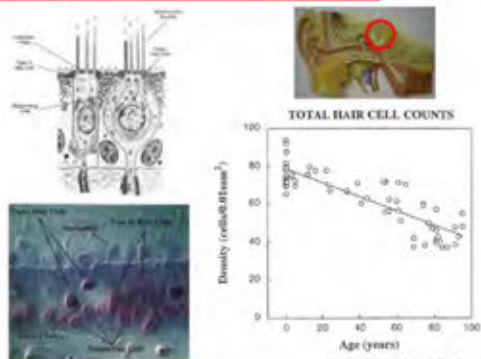
謝野さんの承諾を得て撮影。公開していません

高齢者のめまい・バランス障害
(加齢性平衡障害)



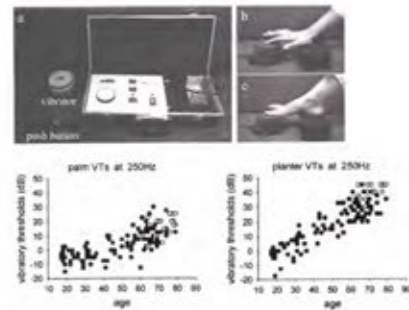
進行増悪するだけのこの病態に
前庭神経路から介入できないか？

内耳・前庭有毛細胞の加齢による減少



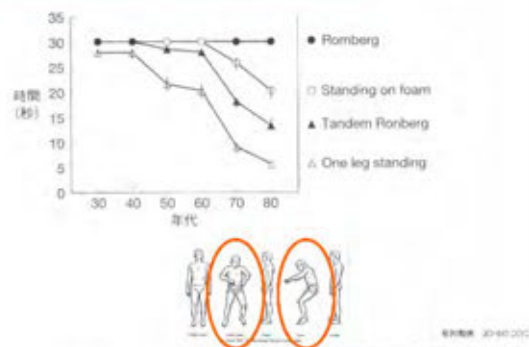
Weninger et al. / J. Assoc. Res. Otol. 2008

体性感覚・振動覚の加齢変化



Liou et al. / J. Geriatr. 2008

起立平衡機能の加齢変化



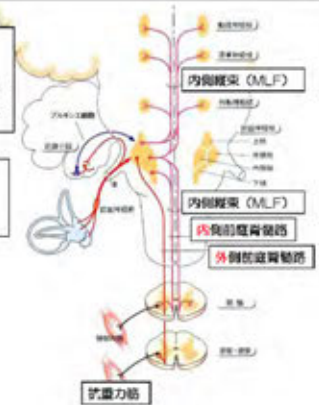
Liou et al. / J. Geriatr. 2008

MVST：内側前庭神経路

- ・顔部まで下降
- ・MLF（内側縦束）と関わるので、上行して眼球運動にも関与

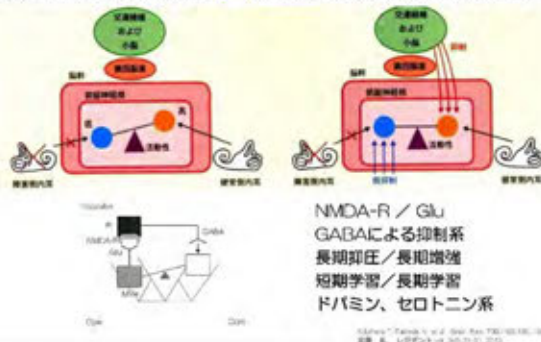
LVST：外側前庭神経路

- ・腰部まで下降
- ・下肢の筋にも関与



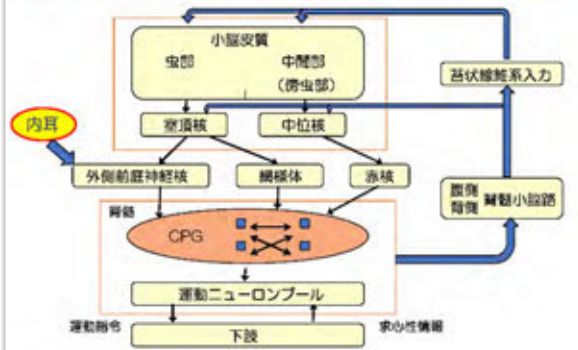
前庭代償・適応と中枢受容体

片側の内耳障害でめまいを発症 → 中枢からの整制への抑制作用で代償・適応



Liou et al. / J. Geriatr. 2008

歩行における脊髄小脳ループ：Central Pattern Generator

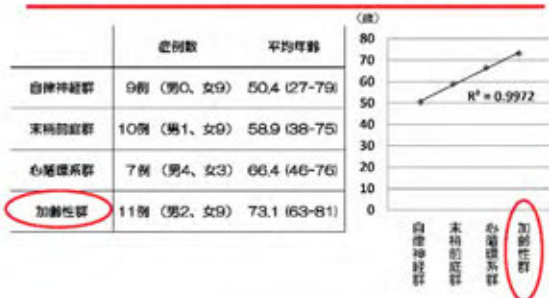


高齢者のめまいバランス障害 (加齢性平衡障害)



進行増悪するだけのこの病態に
前庭脊髄路から介入できないか？

対象となる高齢者めまいバランス障害群を抽出



頭部3方向による内耳（内側前庭脊髄路）の運動療法



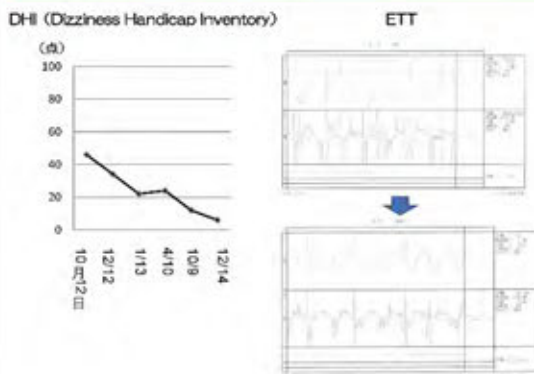
静的運動による外側前庭脊髄路の運動療法

ウツカターサナ (ヨガの「椅子のポーズ」)

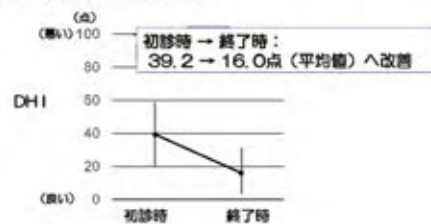
: 下肢筋力、感覚入力



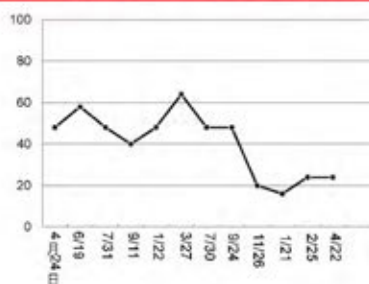
症例：74歳女性、加齢性平衡障害



- ・内訳：男2例、女9例 平均年齢73.1歳
- ・検定期間：1~25か月 (平均 8.2か月)
- ・DHI (Dizziness Handicap Inventory) めまい質問票を用いて介入前後の主観的評価の改善を調べた



症例：87歳女性、改善には2年を要した



症例：87歳女性、改善には2年を要した そして、90歳を越えても元気！



患者さんの承諾を得て撮影、公開しています

Time Flies. 少年老い易く、学成り難し



Time Flies. 少年老い易く、学成り難し



Time Flies. 少年老い易く、学成り難し



Time Flies. 少年老い易く、学成り難し



- Cradle 揺りかご
- 赤ちゃんを抱っこで揺らす



電車やバスの車中での居眠りなど、そもそも「揺れ」はヒトにとって心地よいものである。

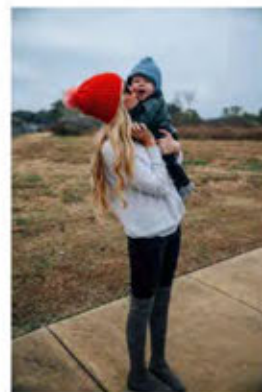
しかし乗り物やジェットコースターなどの加速度刺激が苦手な人もいる。

それでは「快」と「不快」の分岐はどこにあるのか？

「前庭感覚の混乱による情動不快」が関与？

抱っこ、揺れ

気持ち良さ



患者さんの「快」バランスを保つ治療戦略

「めまいと揺れを快適に」



お姫様だって、は誰にも快適

我々みんなも宇宙人

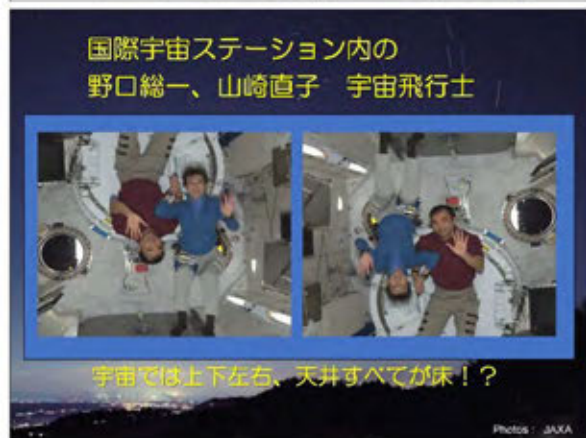
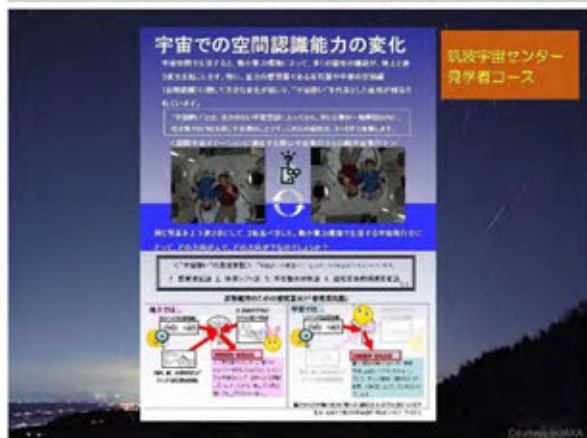




筑波宇宙センターへ：日大医学部6年生自由選択授業



JAXA筑波宇宙センター



1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間離失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



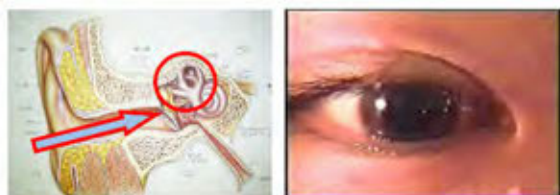
内耳の前庭平衡器 = 三半規管・耳石器



ヒトはどこで重力を受容するのか？

内耳の前庭平衡器（三半規管・耳石器）と重力

三半規管を調べるカロリック検査



温度刺激 ⇒ 三半規管のリンパ対流 ⇒ 眼振を生じる

三半規管を調べるカロリック検査：バラニー博士



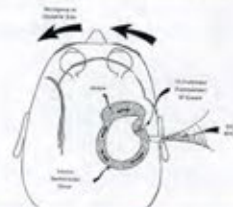
Dr. Robert Barany
(1876-1936)

ウィーン大学に勤務
耳垢洗浄中に眼振に気付いた



Barany R et al. Neurology 25:1384-1390 (1935)

カロリック検査など平衡前庭機能で1915年に
バラニー博士がノーベル医学生理学賞を受賞



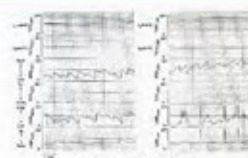
温度差による三半規管内の
リンパ液の対流は重力による
比重差で生じるもの

H.F. Schuknecht: Pathology of the Ear 1936

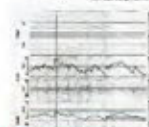


1915年 ノーベル
医学生理学賞

スペースシャトルのカロリック実験で
眼振が出現してしまった！



1980年代ESAスペースシャトル内での
カロリックテストで眼振が記録された



温度変化によるリンパ液の容積変化？
受容器細胞の電気応答変化？

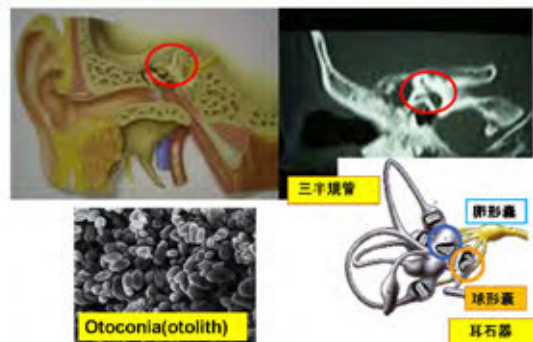
従来の定説 ⇒ 異重力環境研究 ⇒ 新事実解明

Shenopatin R et al. Science 225:209-212, 1984

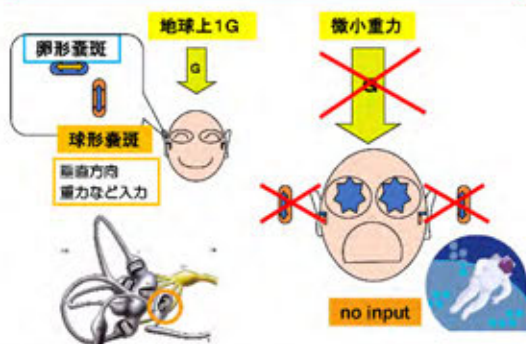
が、しかし！

重力を受容する内耳

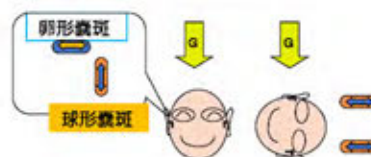
三半規管（前・水平・後半規管）と耳石器（球形嚢と卵形嚢）



耳石器はいつも重力を頭上から受容している



地上で耳石器への重力方向を変えて実験してみよう



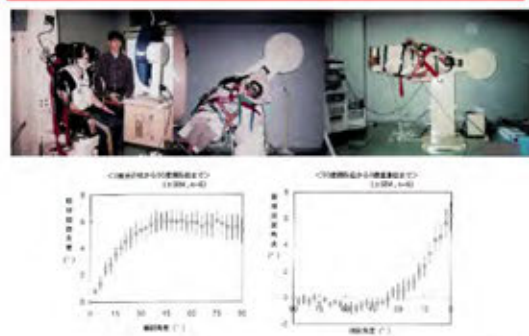
重力方向の変換に対して内耳前庭系は適応するのか？

地上研究としての「傾斜実験」や「ベッドレスト」

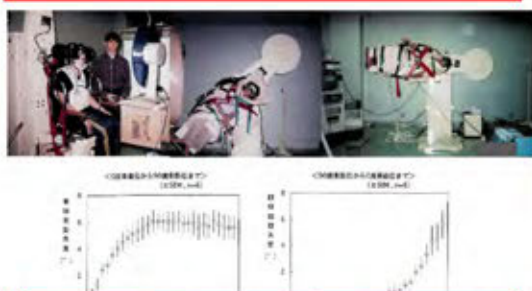
地上での模擬微小重力研究 JAXA筑波宇宙センター 以前は「NASDA：宇宙開発事業団」



地上で耳石器への重力方向を変えて実験してみよう



内耳への重力方向を変えた実験研究、 耳石器の話



内耳傾斜で耳石器の経時的な適応現象を確認

内耳への重力方向を変えた実験研究、 耳石器の話：ベッドレスト研究



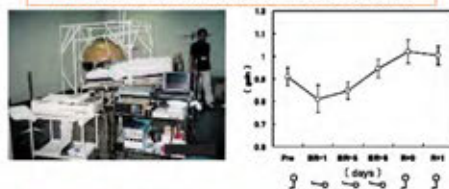
内耳への重力方向を変えた実験研究、
耳石器の話：ベッドレスト研究

7日間ベッドレスト実験による視運動性眼振反射の計測



内耳への重力方向を変えた実験研究、
耳石器の話：ベッドレスト研究

7日間ベッドレスト実験による視運動性眼振反射の計測



ベッドレスト3～5日目で耳石器が
重力方向に適応することを確認
⇒

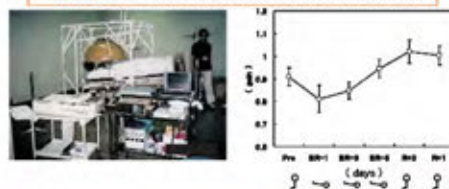
内耳への重力方向を変えた実験研究、
耳石器の話：ベッドレスト研究

7日間ベッドレスト実験による視運動性眼振反射の計測



内耳への重力方向を変えた実験研究、
耳石器の話：ベッドレスト研究

7日間ベッドレスト実験による視運動性眼振反射の計測



ベッドレスト3～5日目で耳石器が
重力方向に適応することを確認
⇒ 宇宙酔いの適応日数と合致

地上での模擬微小重力実験



航空機による可変重力実験

1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間離失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



火星へ



Mission to MARS

火星：片道半年以上の惑星間飛行





モスクワに建設された火星探査飛行
シミュレーション施設：
520日の閉鎖施設実験をロシア・
欧州宇宙機構（ESA）・中国で実施

火星往復 + 滞在30日 = 計520日の火星探査シミュレーション
(2010年6月3日~2011年11月4日)



NASA, ESA, ロシア, 中国は, post 宇宙ステーション時代として
すでに火星の重力環境への適応訓練に向けて選進し始めている

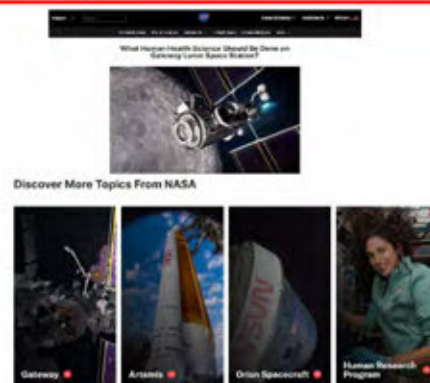


中国人クルーとして参加した中国宇宙飛行士科学
研究訓練センターの教員・王運良は「火星探査
行実験成功」受賞状を収用した



米大統領
ケネディ
—
ブッシュ（息子）
オバマ（社会福祉重視）
トランプ
バイデン
次は???

諸計画の現況はNASAのホームページで見れます



月・火星の重力下での平衡機能測定

可変重力研究実験

従来の宇宙研究と重力値：

- 1 G
 - 地球上の1 G環境での研究実験
 - ベッドレスト等の模擬微小重力環境の作成
 - 地上での遠心重力装置による過重力環境の作成
- μ G
 - 航空機弾道飛行（パラボリックフライト）による微小重力環境の作成
- μ G
 - スペースシャトルや宇宙ステーション
 - 地球周回軌道上の微小重力環境

火星 = 0.38 G
月 = 0.17 G

4.1.5. 第5回宇宙医学講義スライド集



リハビリテーション（名譽回復）：Rehabilitatio（レハビリタティオ）
破門：Excommunicatio（エクスコミュニカティオ）



ドミニク・アングル
(1780-1867)



ヘルマン・ストライク
(1843)



チャールズ・ルノアール
(19世紀後半-20世紀前半)

ジャンヌ・ダルク：百年戦争中に異端の魔女として告発、1431年カトリック教会から破門。1456年に教皇の命で再審が行われ、無罪に。

リハビリテーション(医学)とは？ (全人的復権)

WHOの定義（意訳）

「環境との相互作用において、様々な健康状態を持つ個人の生活機能を最適化し、障害を軽減するように設計された一連の介入」

Rehabilitation is defined as "a set of interventions designed to optimize functioning and reduce disability in individuals with health conditions in interaction with their environment".

<https://www.who.int/newsroom/factsheets/fs104/en/>
<https://www.who.int/publications-detail/active-living-conditions-a-global-recovery>



Functioning：生活機能



有人宇宙開発と生活機能



自己紹介

杏林大学医学部
リハビリテーション医学教室
主任教授



1997 慶應義塾大学医学部
2009～2010 慶應義塾大学講師
2010～2013 JAXA
2013～ 杏林大学



JAXA 有人宇宙技術部門
宇宙飛行士健康管理グループ
主任医長（非常勤招聘）
生体計測・筋力強化
Astronaut Strengthening,
Conditioning, and Rehabilitation:
ASCR

電子聴診器によるリモート聴診



電子聴診器によるリモート聴診



月面歩行



生理的対策業務

<飛行前>

- ・運動処方作成および運動指導
- ・軌道上トレーニング機器の習熟（飛行前）

<飛行中>

- ・ダウンリンクデータの解析（毎週）
- ・運動処方の改定とアップロード
- ・エクササイズカンファレンス（毎月）
- ・トレーニングフォームのチェック
- ・体力（最大酸素摂取量）の評価

<飛行後>

- ・帰還後リハビリテーションの指導



Countermeasure Working Group



有人宇宙開発の歴史



- 1961年 人類初の宇宙飛行（1時間48分）
- 1969年 Apollo11号月面着陸（8日間）
- 1973年 Skylab打ち上げ
- 1981年 Space Shuttle運用開始（～2011年）
- 1992年 毛利衛宇宙飛行士Space Shuttle搭乗
- 1998年 国際宇宙ステーション
(International Space station: ISS)建設開始



2000年～
ISS長期滞在
ミッション

ISS長期滞在ミッション



長期滞在ミッションでは
運動・生理的対策が必要



宇宙飛行と運動・生理的対策

Neutral Body Postureと免荷の影響



微小重力環境での生活
により

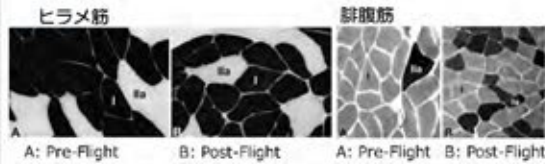
- 筋萎縮
- 骨量減少
- 柔軟性低下
- 心肺機能低下
- 平衡機能障害

宇宙飛行と運動・生理的対策



筋萎縮

ISS初期 • 筋断面積の減少
10~15%



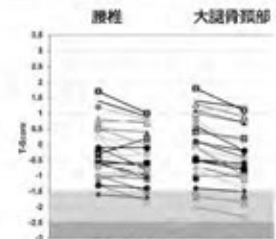
Fitts RH, et al. J Appl Physiol 115(5): 667-79, 2013

骨密度の低下

ISS初期 • 骨密度の低下
6~9%



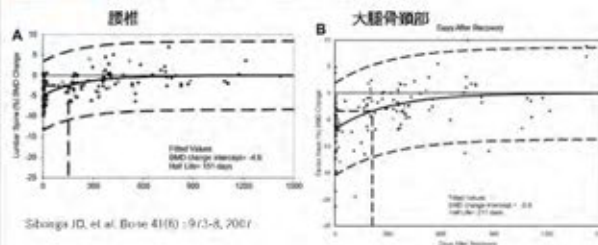
LeBlanc et al. J Musculoskelet
Neuronal Interact 1(2):157-60, 2000



※T-score: 若年成人平均値との比較
Lang, et al. JBMR 19(5): 1006-12, 2004

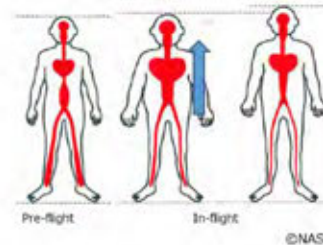
骨密度の低下

ISS初期 • 骨量の回復には3年程度を要する



Sibonga JD, et al. Bone 41(6): 913-8, 2007

身体構造の変化



身長は1~3%程度伸びる

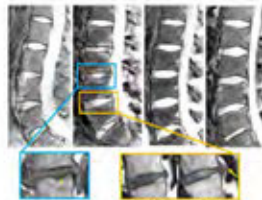
Thornton WE, et al. NASA SP-377: 330-336, 1977

©NASA

腰部椎間板ヘルニア



- 69%の宇宙飛行士が腰痛を訴えた
- ヘルニアのリスクは4.3倍

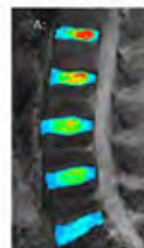


症状のあった宇宙飛行士の腰椎MRI

Boiley JF, et al. Spine J 18 (1): 7-14, 2018

脊柱の変化

椎間板水分含有量および脊柱前彎



- N=6
ISS astronauts
- A 椎間板の水分含有量をT2緩和時間より算出
➢ 飛行前後で有意な変化なし
- B 脊柱前彎角度を算出
➢ 飛行前と比較し、11.1°の減少 (p=.009)

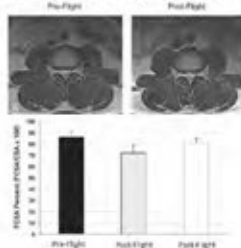
Boiley JF, et al. Spine J 18 (1): 7-14, 2018



Boen E, Kalichman L. Spine J 14 (1): 87-97, 2014

傍脊柱筋の変化

傍脊柱筋の断面積(第3腰椎/第4腰椎)



N=6
ISS astronauts

- 除脂肪筋が筋全体の断面積に占める割合は、飛行前の86%から72%にまで減少 (p<0.05)

Chang et al. Spine J 24(24): 1917-24, 2016

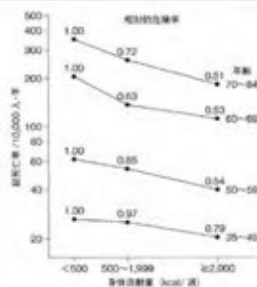
宇宙飛行士に運動が必要な理由

フライトミッションのために

- 軌道上での運動
身体機能の維持
- 健康の維持
運動習慣の維持・獲得
リスクの低下
加齢に抗う
外傷の予防
- 身体的負荷の高い業務
船外活動
緊急脱出



宇宙飛行士に運動が必要な理由



リスクの低下

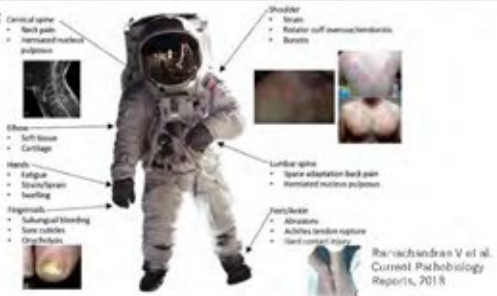
身体活動量と総死亡率

- 16936名を12~16年にわたって調査。
- 速当たりの身体活動量が2000 kcal以上の群は、2000 kcal未満の群に比べて総死亡率が28%低かった。

Paffenbarger RS Jr, et al: N Engl J Med 1986; 605-613

宇宙飛行士に運動が必要な理由

外傷の予防

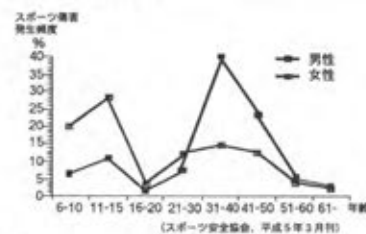


Ramachandran V et al. Current Pathobiology Reports, 2018

宇宙飛行士に運動が必要な理由



スポーツと外傷



アキレス腱断裂に注意!

宇宙飛行士に運動が必要な理由

船外活動

Extravehicular Activity: EVA
STS-118 EVA1 (4:46 h:mm)
平均 375.63 Kcal/hr
最大 689.56 Kcal/hr

Activity	Met Rate (kcal/hr)
Resting	77
Walking	149
Swimming	500
Tennis	800
Jogging	800
Walking up stairs	1100

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20080014832/downloads/20080014832.pdf>



JAXA/NASA

体カトレーニング

長時間運動を続けるために

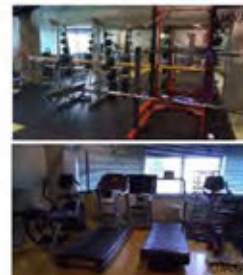
・酸素の供給と運搬



- 肺に入る空気の量 (換気量)
- 肺の毛細血管中の血液へ酸素を取り込む能力 (肺拡散能力)
- 心臓から送り出す血液の量 (心拍出量)
- 酸素を運搬する赤血球やヘモグロビンの量
- 送られてきた酸素を効率的に取り込む筋肉

増田和夫 (2011) 山形大学医科, スポーツ運動生理学概説, 昭和出版, pp99-119

体カトレーニング



- 筋力
- 筋持久力
- 全身持久力
- 柔軟性
- 俊敏性
- 巧敏性
- 平衡性

- 抵抗運動
- 持久カトレーニング
- ストレッチング

週3回、1日2時間程度



軌道上での運動



軌道上では?



20世紀の軌道上運動機器

Skylab 1-G Trainer



<https://spacecenter.org/>

Treadmill-like Exercise Device



<https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/11456762794>

軌道上での運動

ISSにおける軌道上運動機器

Cycle Ergometer with Vibration Isolation and Stabilization System: CEVIS

Max 350 Watt



Small text describing the CEVIS system and its capabilities.

2023~ Teal CEVIS Max 500 Watt

ISSにおける軌道上運動機器

Treadmill with Vibration Isolation System: TVIS

2009~Treadmill 2



Max 11.3 km/h



Max 19.3 km/h

ISSにおける軌道上運動機器

Interlimb Resistive Exercise Device: iRED

2009~Advanced Resistive Exercise Device: ARED



Max 300 lbs



Max 600 lbs

軌道上での運動



・毎日2.5時間（有酸素1時間、抵抗運動1.5時間）が計画



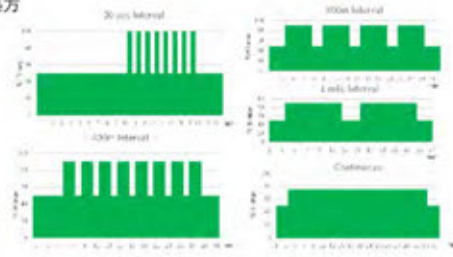
軌道上での運動

・主な種目と強度

種目	1000m	1000m	1000m	1000m	1000m
心肺	Heart Rate	Heart Rate	Heart Rate	Heart Rate	Heart Rate
筋力	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs
柔軟性	Shoulder Flexion	Shoulder Flexion	Shoulder Flexion	Shoulder Flexion	Shoulder Flexion
平衡	Balance	Balance	Balance	Balance	Balance
協調性	Coordination	Coordination	Coordination	Coordination	Coordination
持久力	Endurance	Endurance	Endurance	Endurance	Endurance
スピード	Speed	Speed	Speed	Speed	Speed
パワー	Power	Power	Power	Power	Power
敏捷性	Agility	Agility	Agility	Agility	Agility
反応時間	Reaction Time	Reaction Time	Reaction Time	Reaction Time	Reaction Time
認知能力	Cognitive Function	Cognitive Function	Cognitive Function	Cognitive Function	Cognitive Function
感情安定性	Mood Stability	Mood Stability	Mood Stability	Mood Stability	Mood Stability
社会スキル	Social Skills	Social Skills	Social Skills	Social Skills	Social Skills
問題解決能力	Problem Solving	Problem Solving	Problem Solving	Problem Solving	Problem Solving
創造性	Creativity	Creativity	Creativity	Creativity	Creativity
リーダーシップ	Leadership	Leadership	Leadership	Leadership	Leadership
チームワーク	Teamwork	Teamwork	Teamwork	Teamwork	Teamwork
コミュニケーション	Communication	Communication	Communication	Communication	Communication
ストレス管理	Stress Management	Stress Management	Stress Management	Stress Management	Stress Management
健康管理	Health Management	Health Management	Health Management	Health Management	Health Management
安全意識	Safety Awareness	Safety Awareness	Safety Awareness	Safety Awareness	Safety Awareness
責任感	Responsibility	Responsibility	Responsibility	Responsibility	Responsibility
誠実さ	Honesty	Honesty	Honesty	Honesty	Honesty
礼儀正しさ	Politeness	Politeness	Politeness	Politeness	Politeness
協調性	Cooperativeness	Cooperativeness	Cooperativeness	Cooperativeness	Cooperativeness
柔軟性	Flexibility	Flexibility	Flexibility	Flexibility	Flexibility
適応力	Adaptability	Adaptability	Adaptability	Adaptability	Adaptability
忍耐力	Patience	Patience	Patience	Patience	Patience
決断力	Decision Making	Decision Making	Decision Making	Decision Making	Decision Making
計画性	Planning	Planning	Planning	Planning	Planning
組織力	Organization	Organization	Organization	Organization	Organization
時間管理	Time Management	Time Management	Time Management	Time Management	Time Management
優先順位付け	Priority Setting	Priority Setting	Priority Setting	Priority Setting	Priority Setting
目標設定	Goal Setting	Goal Setting	Goal Setting	Goal Setting	Goal Setting
モチベーション	Motivation	Motivation	Motivation	Motivation	Motivation
自己管理能力	Self-Management	Self-Management	Self-Management	Self-Management	Self-Management
チームワーク	Teamwork	Teamwork	Teamwork	Teamwork	Teamwork
リーダーシップ	Leadership	Leadership	Leadership	Leadership	Leadership
コミュニケーション	Communication	Communication	Communication	Communication	Communication
問題解決能力	Problem Solving	Problem Solving	Problem Solving	Problem Solving	Problem Solving
創造性	Creativity	Creativity	Creativity	Creativity	Creativity
責任感	Responsibility	Responsibility	Responsibility	Responsibility	Responsibility
誠実さ	Honesty	Honesty	Honesty	Honesty	Honesty
礼儀正しさ	Politeness	Politeness	Politeness	Politeness	Politeness
協調性	Cooperativeness	Cooperativeness	Cooperativeness	Cooperativeness	Cooperativeness
柔軟性	Flexibility	Flexibility	Flexibility	Flexibility	Flexibility
適応力	Adaptability	Adaptability	Adaptability	Adaptability	Adaptability
忍耐力	Patience	Patience	Patience	Patience	Patience
決断力	Decision Making	Decision Making	Decision Making	Decision Making	Decision Making
計画性	Planning	Planning	Planning	Planning	Planning
組織力	Organization	Organization	Organization	Organization	Organization
時間管理	Time Management	Time Management	Time Management	Time Management	Time Management
優先順位付け	Priority Setting	Priority Setting	Priority Setting	Priority Setting	Priority Setting
目標設定	Goal Setting	Goal Setting	Goal Setting	Goal Setting	Goal Setting
モチベーション	Motivation	Motivation	Motivation	Motivation	Motivation
自己管理能力	Self-Management	Self-Management	Self-Management	Self-Management	Self-Management

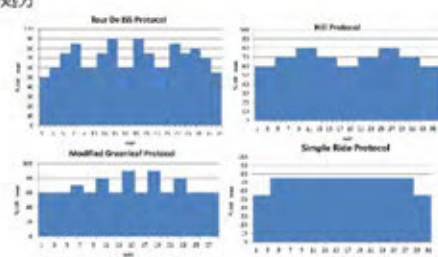
軌道上での運動

T2処方



軌道上での運動

CEVIS処方

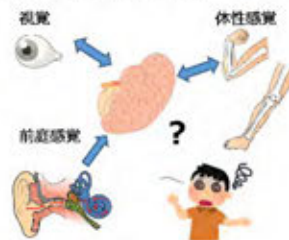


まるで「首の据わらない赤ん坊」だ。



重力環境への再適応

感覚・知覚と運動の統合



最適な運動様式を再学習

リハビリテーション

- ・手足を協調させ、より制限のない（自由度の高い）運動を素早く行う
- ・運動の難易度を徐々に高める
- ・帰還後45日間継続

帰還後のリハビリテーション

①有酸素運動

エルゴメータ/トレッドミルなど

②ウォームアップ・静的ストレッチ

頸部体幹の前後屈・側屈・回旋
自重スクワット
動的ストレッチ

③抵抗運動

マシントレーニング
フリーウェイトトレーニング

④ファンクショナルトレーニング

メディシンボールエクササイズ
ラダー/コーン/バー

⑤体幹トレーニング・クールダウン・静的ストレッチ

山田、龍形・災害外科 62(6): 705-712, 2019より一部改編

mobalanceception:
mobile+balance+reception
環境に適応するために前庭・体性感覚系の情報を統合し、移動性、バランスに関する機能の向上をはかる運動

有酸素運動

自転車エルゴメータ から開始し、トレッドミルへ移行



pg.44

AlterG



<http://www.alterg.com/>

帰還後のリハビリテーション

動的ストレッチ



帰還後のリハビリテーション

ファンクショナルトレーニング



帰還後のリハビリテーション

ファンクショナルトレーニング



pg.45

帰還後のリハビリテーション

体幹トレーニング



帰還後のリハビリテーション

静的ストレッチング

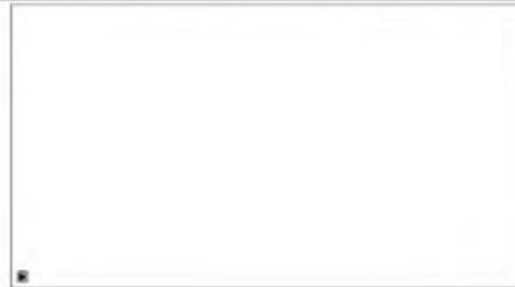


pg.50

帰還後のリハビリテーション

2009年 若田飛行士 ～	- NASAに支援を依頼 - ジョンソン宇宙センター (JSC) で45日間のリハビリを実施。 - NASA ASCRが指導し、JAXA ASCRはオブザーバー参加。
2016年 大西飛行士	- NASA監督下でJAXA ASCRが運動プログラムを管理。 - JSC帰還後21日で日本に帰国。
2018年 金井飛行士	- JAXA ASCRが運動プログラムを管理。(必要に応じてNASAに助言を求める) - JSC帰還後9日で日本に帰国。
2021年 野口飛行士	- COVID-19流行下 - NASAの支援を得つつ実施

帰還後のリハビリテーション



帰還後のリハビリテーション



飛行前後の身体機能・運動能力

ファンクショナルフィットネステスト

項目	内容
長座位体前屈	腰部とハムストリングスの柔軟性
コーンアジリティ	移動と方向転換における敏捷性
腕立て伏せ	2分間に反復できる回数
懸垂	連続して実施できる回数
腹筋	2分間に反復できる回数
ベンチプレス	スミスプレスマシン(1RM [※])
レッグプレス	スクワットプレスマシン(1RM [※])
握力	握力計



※ 1RM :
1回持ち上げるこ
の
できる最大負荷量
(one repetition
maximum)

飛行前後の身体機能・運動能力

項目	飛行前	飛行後
長座位体前屈(インチ)*	17.29 ± 3.53	15.88 ± 3.49
コーンアジリティ(秒)*	12.87 ± 1.02	14.23 ± 1.37
腕立て伏せ(回/2分)	48.35 ± 17.19	46.21 ± 16.7
懸垂(回)	9.13 ± 5.35	8.27 ± 4.35
腹筋(回/2分)	102.8 ± 30.8	100.0 ± 26.9
ベンチプレス (kg)	76.9 ± 22.3	76.8 ± 21.6
レッグプレス(kg)	169.6 ± 49.1	169.5 ± 47.6
握力(ポンド)	102.3 ± 19.7	96.7 ± 18.0

Laughlin MS, et al. Aerospace Medicine and Human Performance 86(Sup. 1):A87-91, 2015

N=24-34
*p < 0.01

飛行前後の身体機能・運動能力



あるESA飛行士の
長座位体前屈

飛行前 37 cm
飛行後 31 cm

Petersen N, et al.
Musculoskeletal Science and Practice
27(1), 2017, S23-S31

<https://www.institutpewee.com/best-sit-and-reach-boxes/>

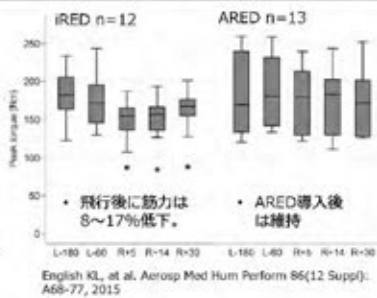
飛行前後の身体機能・運動能力

筋力 (等速性収縮)

体幹伸展
60°/sec

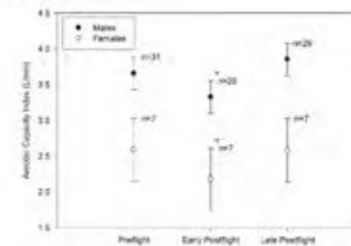


<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26080000>



飛行前後の身体機能・運動能力

有酸素能力



• 飛行後の有酸素能力の低下は1か月程度で飛行前の水準まで回復



Moore et al. *Aerosp Med Hum Perform* 2015 Dec;86(12 Suppl):A78-A86

飛行前後の身体機能・運動能力

骨密度



NIH. *JAMA* 14;285(6):785-95, 2001

	iRED (Sibonga 2015)	ARED (Sibonga 2015)	ARED (English 2020)
腰椎	-3.7%	-2.6%	-1.7%
大腿骨頸部	-6.1%	-4.1%	-1.7%

Sibonga JD, et al. *Aerosp. Med. Hum. Perform.* 2015;86:A38-A44.
Sibonga JD, et al. *Clin. Rev. Bone Miner. Metab.* 2008;5:249-261.
English KL, NPJ Microgravity. 2020 Aug 18;6:21

ISSでの20年

ISSにおける6ヶ月の滞在 (近年では1年滞在も)

- 軌道上運動機器の進歩
メジャーな筋力は概ね維持
骨量低下も抑
体幹柔軟性、敏捷性が課題



- 飛行中運動プログラム
現状は週6日で運用中
- 帰還後リハビリ (45日)



次のミッションへ向けて

Artemis計画とGateway to Mars



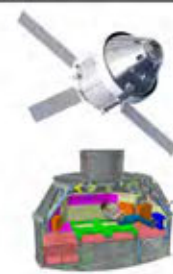
次のミッションへ向けて

- T2、AREDにより高強度の運動が可能
⇒骨密度、筋力、持久力の維持に貢献
⇒帰還後の歩行、走行にも影響

- 設置にスペースが必要
⇒往還宇宙機には搭載が困難
(月面基地には設置が可能)

機器とプロトコル開発

- 軽量小型
- 頻度 (3~6回/週)
- 継続性、効率性
- 耐久性
- 消費カロリー



Gatewayへ向けた運動機器の開発



Resistive Overload Combined with Kinetic Yo-Yo (ROCKY)



European Enhanced Exploration Exercise Device (E4D)

<https://danishaerospace.com/>

JAXA-HIAT

高強度インターバルトレーニング

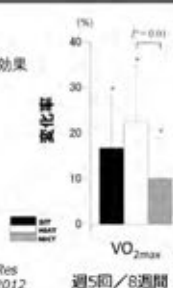
(High-Intensity Interval Training: HIIT)

短時間で有酸素運動能力と無酸素運動能力の両方に効果

	Contents	Time	Energy Expenditure including Indirect
SIT	30 sec (100%VO _{2max}) 10 sec (rest)	Repeat 7 times 5 min	109 kcal
HIAT	3 min (80%VO _{2max}) 2 min (60%VO _{2max}) 3 min (80%VO _{2max}) 2 min (60%VO _{2max}) 3 min (80%VO _{2max})	13 min	182 kcal
MCT	40 min (60~80%VO _{2max})	40 min	363 kcal

SIT: sprint interval training
MCT: moderate-intensity continuous training

Matsuo et al. *BMC Res Notes* 21: 5:6-46, 2012



NASA Sprint Study

運動時間を短縮できないか？

	SPRINT	CONTROL
Aerobic Exercise	High intensity 3 d/wk Continuous 3 d/wk	6 d/wk
Resistance Training	3 d/wk (high/moderate/low)	6 d/wk
Duration	6 h/wk	9-10 h/wk

English KL, NPJ Microgravity. 2020 Aug 18;6:21



©JAXA/NASA

NASA Sprint Study

Table 5. Subject characteristics.

	CON (n = 17; 14M/3F)	SPRINT (n = 9; 8M/1F)	All (N = 26)
Age (y)	46 ± 6	48 ± 7	47 ± 6
Height (cm)	176 ± 6	178 ± 5	176 ± 6
Weight (kg)	80.6 ± 10.5	77.7 ± 12.0	79.6 ± 11.4
Mission duration (d) ^a	165 ± 42	152 ± 24	160 ± 36

- 筋力、持久力に両群に大きな差なし
(一部の膝伸展、屈曲などではSprintが優れる)
- 時間の短縮、機器の寿命延長に効果あり

将来のミッションへ向けて

より遠くへ、より安全に

- 運動機器
- 処方 (種目、頻度、強度)
- リハビリテーション
- 薬理学、栄養学



©NASA

将来のミッションへ向けて

より遠くへ、より安全に

- 運動機器
- 処方 (種目、頻度、強度)
- リハビリテーション
- 薬理学、栄養学

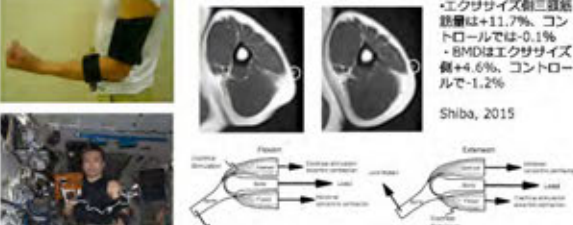


©NASA

運動機器の開発

Hybrid Training

電気刺激で筋肉を鍛える。小型軽量・高効率



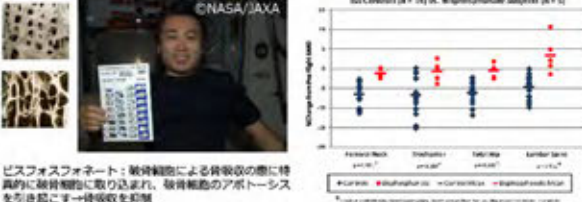
・エクササイズ側三頭筋筋量は+11.7%、コントロールでは-0.1%
・BMDはエクササイズ側+4.6%、コントロールで-1.2%

Shiba, 2015

©NASA/JAXA

Bisphosphonates as a Countermeasure to Space Flight Induced Bone Loss (Bisphosphonate)

PT: Adrien LeBlanc (USRA), Toshio Matsumoto (Tokushima Univ.)

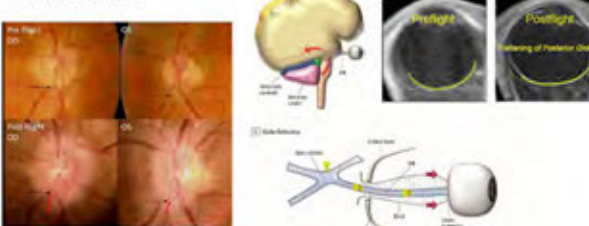


ビスフォスフォネート：破骨細胞による骨吸収の抑制に特異的に破骨細胞に取り込まれ、破骨細胞のアポトーシスを引き起こす骨吸収を抑制

(Le Blanc AD, Matsumoto T, et al. The Annual Meeting of the ASBMR, San Diego, 2011)

Spaceflight Associated Neuro-Ocular Syndrome

SANS: 飛行士4人に3人が視力障害の訴え



Shinojima, et al. JAMA Ophthalmol 136(9):1075-1076, 2018

Stenger, et al. NASA Evidence Report, 2018

NASA Sprint Study

Table 2. Isometric muscle strength and endurance before and after long-duration spaceflight with standard of care exercise or Sprint exercise prescription.

	CON				SPRINT			
	Preflight	8 ± 5	8 ± 14	8 ± 30	Preflight	8 ± 5	8 ± 14	8 ± 30
Knee ext, 60° s ⁻¹	208 ± 11	194 ± 11*	191 ± 11*	185 ± 11*	191 ± 15	177 ± 12*	186 ± 11*	188 ± 13*
Knee flex, 60° s ⁻¹	113 ± 6	102 ± 6***	103 ± 6**	107 ± 6**	100 ± 7	106 ± 7*	102 ± 7*	103 ± 7*
Knee ext, 180° s ⁻¹	2657 ± 121	2466 ± 121***	2509 ± 121*	2599 ± 121	2500 ± 161	2267 ± 161*	2381 ± 161*	2406 ± 161
Knee flex, 180° s ⁻¹	1573 ± 77	1463 ± 77*	1470 ± 77*	1480 ± 77*	1518 ± 101*	1394 ± 101*	1461 ± 101*	1515 ± 101*
Ankle ext, 90° s ⁻¹	134 ± 6	129 ± 6*	123 ± 6*	132 ± 6	131 ± 8	116 ± 8*	120 ± 8*	123 ± 8
Ankle ext, 90° s ⁻¹	191 ± 11	172 ± 11*	180 ± 11	189 ± 11	193 ± 15	161 ± 15*	174 ± 15	188 ± 15
Trunk ext, 60° s ⁻¹	446 ± 26	—	406 ± 27**	423 ± 27	400 ± 35	—	429 ± 36*	389 ± 35
Trunk flex, 60° s ⁻¹	225 ± 10	—	196 ± 12*	210 ± 11	190 ± 14	—	172 ± 14*	181 ± 14

Data are mean ± SE and represent peak torque for the single highest repetition (R1) or total work for an entire set of repetitions (Σ) knee extension and flexion at 180° s⁻¹ during isokinetic dynamometry conducted approximately 50 days preflight (8, 14, and 30 days preflight (8 ± 5, 8 ± 14, and 8 ± 30). For previous trunk strength is not assessed at 8 ± 5 being. CON control group that performed the ISS standard of care exercise prescription, SPRINT experimental group that performed a high intensity/low volume exercise prescription, ext extension, flex flexion, conc concurrent, plantarflexion, ext PF eccentric (plantarflexion).

*Simple main effect for time relative to preflight (P < 0.05).
**Simple group × time interaction effect relative to preflight (P < 0.05).

NASA Sprint Study

Table 4. Cardiorespiratory parameters before and after long-duration spaceflight with standard of care exercise or Sprint exercise prescription.

	CON			SPRINT		
	Preflight	R + 3	R + 30	Preflight	R + 1	R + 30
VO _{2peak} (L·min ⁻¹)	3.36 ± 0.19	3.12 ± 0.19*	3.32 ± 0.19	3.22 ± 0.23	2.91 ± 0.23*	3.23 ± 0.23
VO _{2peak} (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	41.8 ± 1.6	39.7 ± 1.6*	41.8 ± 1.6	41.6 ± 1.9	38.2 ± 1.9*	42.0 ± 1.9
Ventilatory threshold (L·min ⁻¹)	2.22 ± 0.15	1.97 ± 0.15*	2.25 ± 0.15	2.08 ± 0.16	1.79 ± 0.18*	2.00 ± 0.18
Peak workload (W)	302 ± 14	281 ± 14*	304 ± 14	269 ± 17	256 ± 17*	288 ± 17
Peak heart rate (beats·min ⁻¹)	173 ± 3	174 ± 3	174 ± 3	178 ± 4	176 ± 4	176 ± 4

Data are mean ± SE and were collected approximately 50 days preflight (R = 0) and 1 (Sprint) or 3 (CON) days and 30 days postflight (R = 1/R = 3 and R = 30). No group × time interaction effects were detected (*P* > 0.05). CON control group that performed the ISS standard of care exercise prescription, SPRINT experimental group that performed a high intensity/low volume exercise prescription.
*Single main effect for time relative to preflight (*P* < 0.05).

- 筋力、持久力に両群に大きな差なし
(一部の膝伸展、屈曲などではSprintが優れる)
- 時間の短縮、機器の寿命延長に効果あり

4.1.6. 第6回宇宙医学講義 宇宙歯学研究会資料

日本宇宙歯学研究会

日本宇宙歯学研究会では、重力がない宇宙環境での挑戦に直面する宇宙飛行士の口腔ケアから歯科疾患予防・治療・研究など、あらゆる取り組みを展開していきます。

特に、宇宙空間特有の環境に適応した歯科治療技術の開発、微重力が口腔内の微生物に与える影響の解明、そして、宇宙滞在者の日常生活を支える口腔衛生管理システムの開発に力を入れていきます。このような先端的な研究は、宇宙での生活をより快適にし、地球における歯科医療技術の革新にも寄与します。

また、日本宇宙歯学研究会は、多彩な背景を持つメンバーで構成されています。歯学や医学の専門家、熱意を持つ医療従事者、そして研究に情熱を傾ける学生たちが、日本各地の歯学部から集結しています。国際的な視野で研究を進め、宇宙医療の進歩に寄与していきます。

私たちの研究は、宇宙航行士だけでなく、未来の宇宙への旅を夢見るすべての人にとって魅力的な研究を展開していきます。日本宇宙歯学研究会は、革新的な発想と実践で、宇宙歯学の新しい地平を開きます。



日本宇宙歯学研究会

代表 前田初彦

(愛知学院大学歯学部口腔病理・歯科法医学講座教授、愛知学院大学大学院歯学研究科長、未来口腔医療研究センター 宇宙歯学研究部門長)

〒464-8650 名古屋市千種区楠元町 1-100

愛知学院大学歯学部口腔病理学・歯科法医学講座内

電話：052-757-6736、Fax：052-751-2568

メール：hatsu@dpc.agu.ac.jp