

4.1.7. 第7回宇宙医学講義スライド集

本スライドはこの講義のみ用

有人宇宙医学「フライトサージャンの役割」



2024年9月12日
Polaris Dawnミッション
初の民間人船外活動
ドラゴン船外に出てくる二
人目Gill氏。船内服改
造の宇宙服。カプセルに
手すりを追加。
(出典: SpaceXライブ配信)
<https://x.com/spacex/status/1835259>

嶋田 和人 kazuhito.shimada@gmail.com
2024年11月13日 4曜15:00-16:30 京都大学 総合生命学館大講義室(2F)

呈示内容

目標:
宇宙医学運用(予防医学)と宇宙医学研究
の関係の理解

- 最近の有人宇宙機の状況
- Flight Surgeonの実務(産業医)

タカラトミーの月面ローバーSORA-Q



販売品 月面仕様

SORA-Q タカラトミー + ソニー + 同志社大学

ispace用のSORA-Qは2023年4月26日未明、月着陸船が月
面着陸を試みるも通信が着陸直前で途絶。

2023年9月7日に打ち上げられたSLIMでは大活躍!!
去年この授業に昨年持ってきたらバグで作動せず!




<https://www.ispace.jp/a/home/sora-q/01/gallery/index.html>

嶋田 和人 しまだ かずひと です。

千葉県 旭市出身。




筑波大学

茨城県立中央病院
友部町(笠間市)

佐久総合病院
長野県臼田町

耳鼻咽喉科を10年間

AXA 筑波宇宙センター

筑波山 876m → 877m

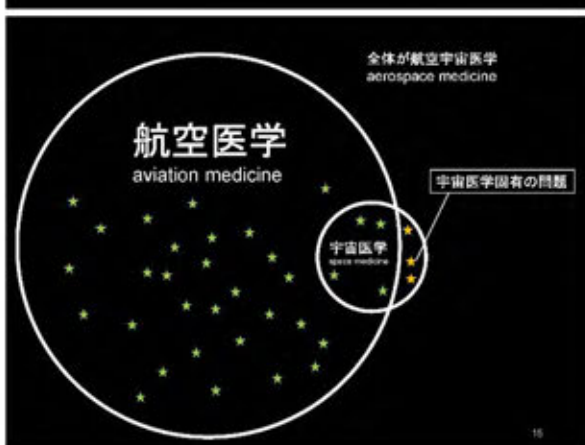
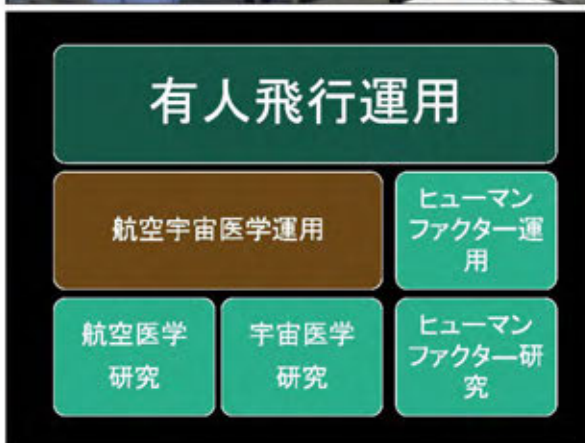



サバイバル訓練(レジデント、オハイオ州)

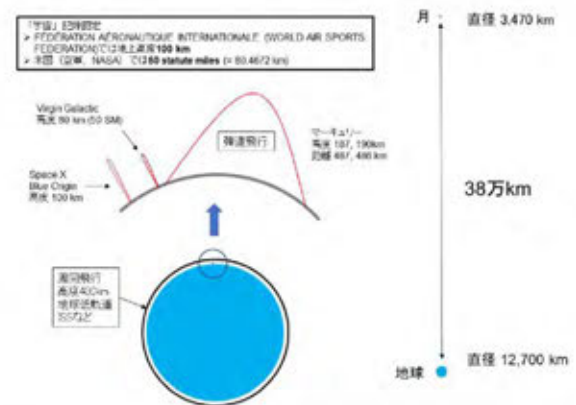




ライト州立大学航空宇宙医学レジデントコース



まず宇宙飛行はどんなものか。



有人宇宙飛行

- 今まで宇宙へ行った人間は、～700名
- 2024年2月で 周回610名、高度100km 644名、高度80km 681名
- 最長滞在期間は満437日 (露ボリャコフ医師)
- 眼や宇宙酔い、骨粗鬆症など、ちょっと変わった問題あり



現在の乗り物は

地球周回機(LEO, Low Earth Orbit)

- ◆SpaceX ドラゴンカプセル
- ◆ロシア ソユーズカプセル
- ◆中国 神舟カプセル
- ◆Boeing Starlinerカプセル(開発困難中)

弾道飛行機(suborbital)

- ◆ブルーオリジン New Shepardカプセル(高度100km)
- ◆ヴァージン・ギャラクティックSpaceShipTwoスペースプレーン(飛行停止中、高度80km)



63周年

Юрий Алексеевич Гагарин
1934年3月9日 - 1968年3月27日
1961年4月12日 有人宇宙飛行
1時間50分
Кедр

Yuri's Night 毎年4月12日

無人衛星は(スプートニク1957年10月4日)




2024年10月13日
紫金山・アトラス彗星
つくば市 船田

Aug 2020 Hurley and Behnken, Gulf of Mexico




SpaceX Crew Dragon (Dragon)




2024年3月12日 古川飛行士らCrew-7回収



<https://astro-mission.jaxa.jp/funukawa/report-news/240312-003816.html>

2009年7月31日帰還翌日8月1日
One day after landing




NASA Exp 36/38

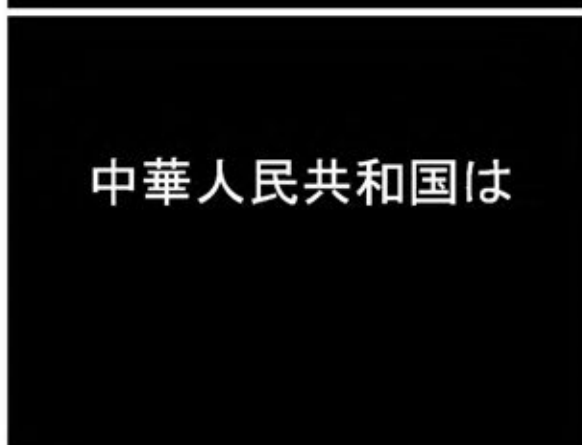
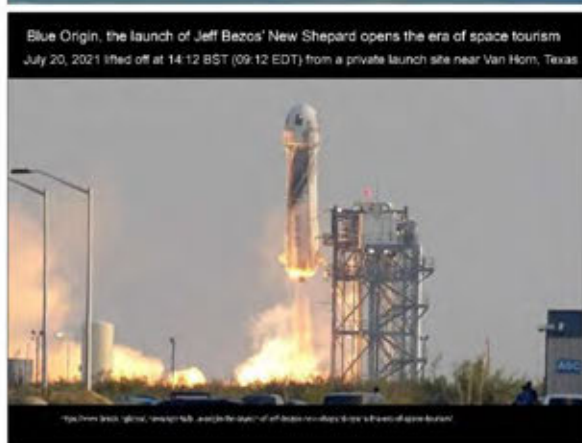
若田ミッション 2022年10月7日～2023年3月12日
Crew5(ドラゴンカプセル) Expedition 68(交代日程)

AXA



現在の有人用宇宙船(弾道)







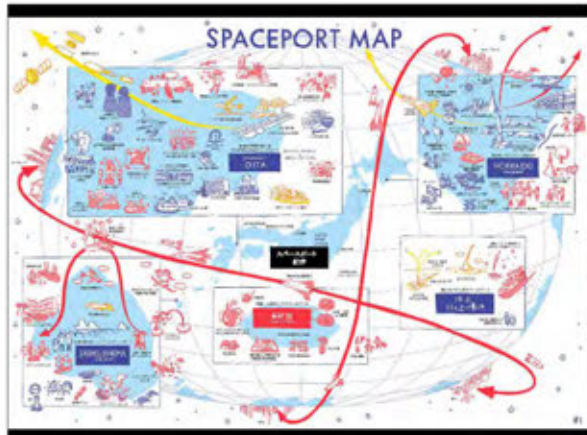
天舟七号完成全区合练 各系统准备就绪

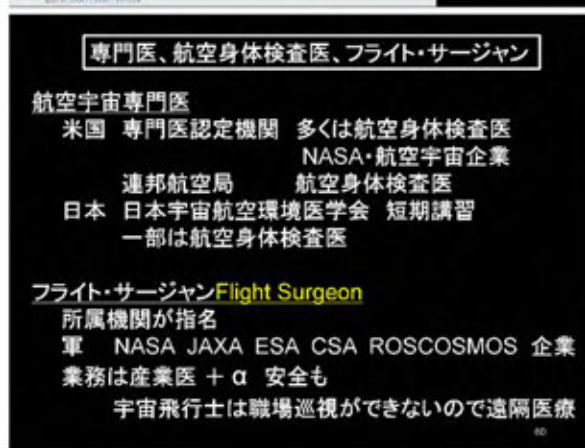
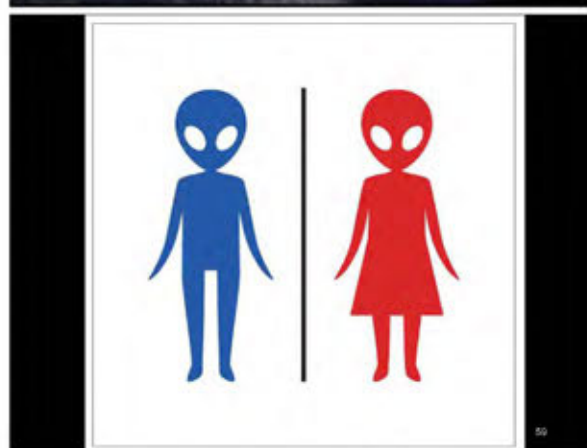
日本人は？

ソノーズでミールに往復
1990年12月2日～10日

- 1986年TBSへ入社
- 2003年日本開催の第18回世界宇宙飛行士会議に「宇宙飛行士、ジャーナリスト」の両書きで実行委員会委員 <https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2024-11-11>
- 東日本大震災当時、福島県田村市滝根町に住みシタケ屋を営んでいた。自宅は福島第一原発から約32キロ離れた場所にあったため三里黒へ転居。
- 2016年 京都造形芸術大学を退任

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





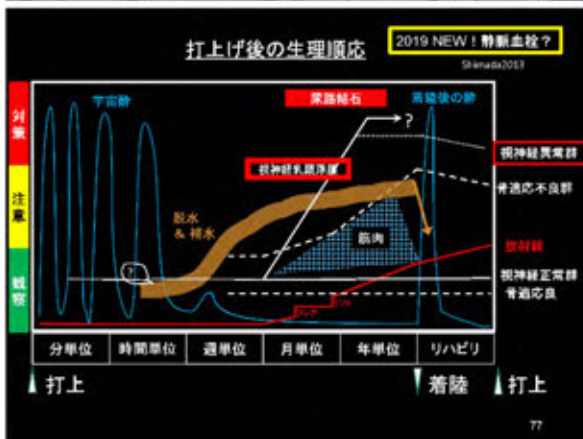




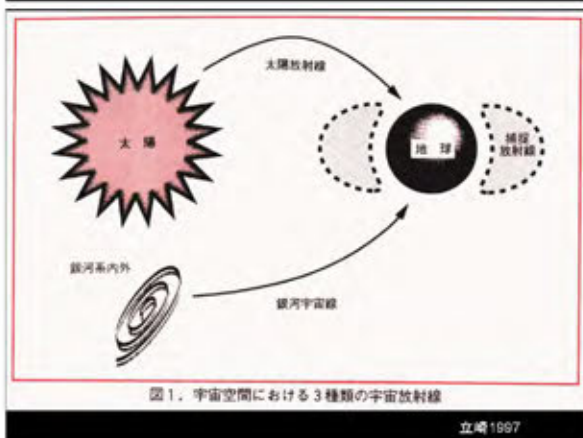
(船内環境)
宇宙環境はどう地上と違うのか？

微小重力
社会的閉鎖 + 大気の閉鎖
放射線

微小重力と放射線が
地上と宇宙船内で異なる



宇宙放射線



Observing extensive air showers with Subaru Hyper Suprime-Cam

12 October 2023 Scientific Reports volume 13, Article number: 16091 (2023)

The high density of aligned tracks, indicative of an EAS "extensive air showers", is clearly visible in the upper right portion of the image.



月面の総被ばく量推定値

	地球上	月表面	溶岩洞トンネル内
GCR (mSv/y)		416 (Solar min.) 161 (Solar max.)	43 (Solar min.)
SEP (mSv/event)		2190	
Radioactive elements (mSv/y)	0.48 (external exposure)	~0.3	
合計 (mSv/y)	0.39 (宇宙放射線のみ) 他の線源も合計すると2.1		

(地球上: UNSCEAR, 2008)

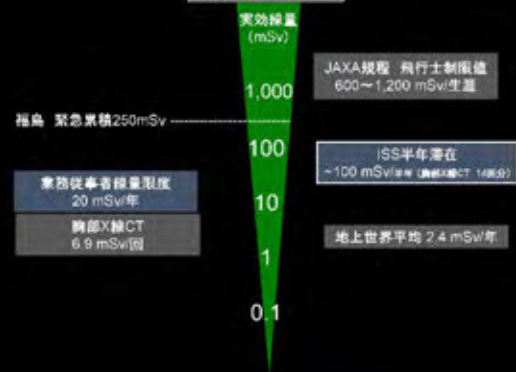
2022 立崎 宇宙航空環境医学 59(2)

月面: Naikō M. et al., Radiation dose and its protection in the Moon from galactic cosmic rays and solar energetic particles: at the lunar surface and in a lava tube, J. Radiol. Prot. 40:947-961, 2020)

生理対策

- Microgravity
 - Partial Gravity
- 月面・火星面

放射線被曝量



エベレストで一週に八名死亡

登山者死傷の大半は高山病、登山者による雪・氷・岩の落下による。Project Possible 提供 (2019年5月22日撮影)。(JAFPHOTO / PROJECT POSSIBLE)

宇宙船内

0

重力の違い

地表

1

火星

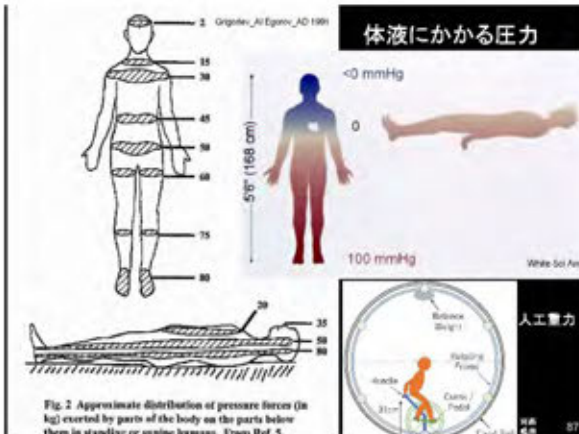
1/3

月面

1/6



体液にかかる圧力



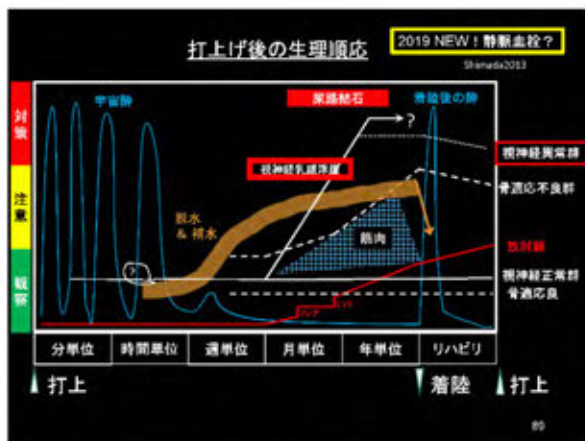
地上では微小重力の環境はジェットで20秒間ほどしかできない。ベッドレストやimmersion(水中かゴムのみとのドライ)では一部の感覚について模擬できるのみ。



人工重力!



NASA KC-135
ISS ChieCS Crew
Medical Restraint
Systemの使用試験
1995
嶋田



コラム ～宇宙のハイブリッドトレーニング～ 運動+電気刺激

久留米大学による宇宙実験のコンセプト (代表研究者 志波教授)
下記の実験を計12回実施 (週3回を4週間) (2010)

①サボーターを前に巻く (周波数100Hzの電流を流す)
②腕の屈伸運動をする (2秒の屈伸10回を1セット)
③1分間の休憩を入れながら10セット

×10セット

実験を行った宇宙飛行士
アーション
Shimada2013



宇宙医学の宿題

20世紀 宇宙酔い

21世紀 眼の異常 (後述) 静脈血栓?

宇宙酔い Phenergan for SMS*
* Space Motion Sickness

2020年現在、ISSでは殆ど使われなくなっています。

- 一般名 promethazine (プロメタジン) PMZ
- 商品名 ビレチア、ヒベルナ、Phenergan
- 医師の飛行士による用法の開発
- 抗ヒスタミン作用
- アレルギー、動揺病、宇宙酔い(SMS)に効果あり
- 筋肉注射 (効くがすたれた)、経口、座薬
- 健康体での副作用は眠気・めまい・倦怠感・頭痛・耳鳴、他

代替にメトクロプラミド

SCOP-DEX (Scopolamine 0.4 mg, Dextroamphetamine) tablet or patch
intranasal scopolamine 試験
METCLOPRAMIDE (プリンペラン)

3分間のパラボラでは宇宙酔いにならない!!!

2024 ICAMリスボン
「Virgin Galacticのフライトでは一例もでていない。」

ISSの感染防止策 (quarantine)

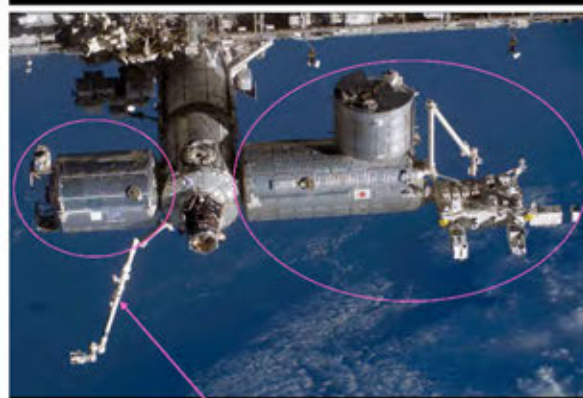


国際宇宙ステーションの「検疫」 (quarantine)

- ✓打上前は10日間隔離
- ✓宇宙機内はふき取り清掃と大気フィルター
- ✓定期で内部表面、水、大気の細菌検査

ISSのカビ問題

Microbial growth on an ISS panel
during ISS Expedition 9
SP-2010-3407



コロンバス (ヨーロッパ) カナダアーム2 きぼう JEM 100

国際宇宙ステーション (International Space Station)

日本は12.8%の三番目のパートナーです。



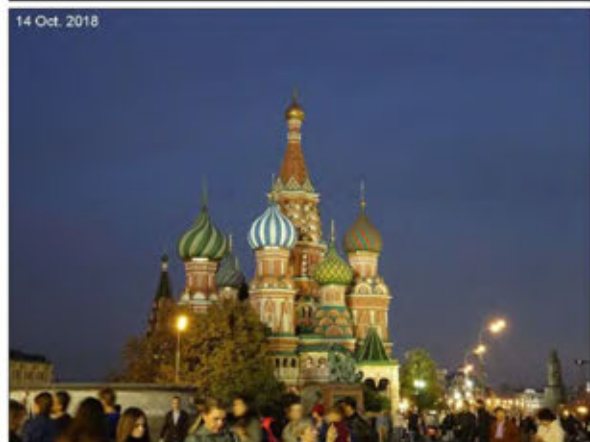
101

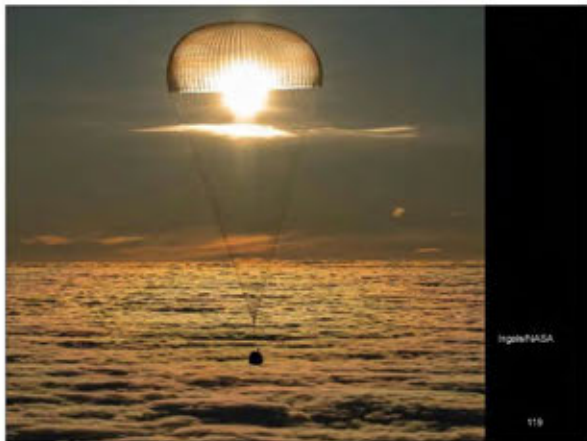


ISS
14 October 2008
ヒューストン
嶋田撮影



104







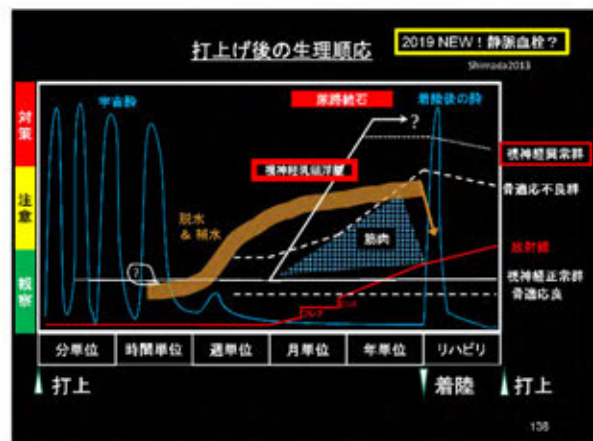


宇宙医学の宿題

21世紀 眼の異常



静脈血栓？



Optic Disc Edema, Globe Flattening, Choroidal Folds, and Hyperopic Shifts Observed in Astronauts after Long-duration Space Flight

長期宇宙飛行で飛行士に認められた視神経乳頭浮腫、眼球扁平化、脈絡膜皺襞、遠視化

大問題！

視神経乳頭浮腫

右目 左目

飛行前 飛行後

Optical Coherence Tomography (OCT)

1990 年山形大学教授丹野直弘教授、特許庁に出願
MIT 1991 年米国出願、1996 年に発売開始
日本の製品化2004 年

日本語アブストラクト

NEJM November 3, 2017 Vol. 377 No. 18

Changes to the Brain in Astronauts after Spaceflight

Video 1

図：長期飛行を終えた帰還後の宇宙飛行士に、眼球後部平坦化（青矢印）や視神経縮小（赤矢印）が、MRI画像で報告

2018



NASA飛行士 Scott & Mark Kelly 1964年生 双子で医学研究

1年間の飛行 地上の人（元飛行士）

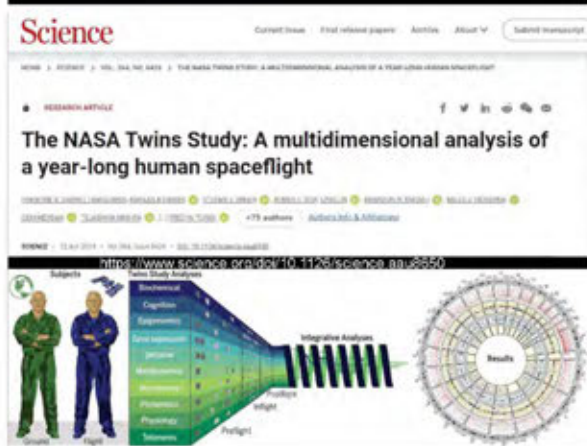
TWINS STUDY



ISSの1年間滞在での変化

染色体の末端について、年を取ると共に短くなる「**テロメア**」という構造は、スコットが宇宙に在る間に著しく**伸びて**いた。しかしこのテロメアのほとんどはスコットが地球に戻って48時間のうちに**短くなり**、その後は地球を発つ前の状態で安定した。

<https://www.discoverychannel.jp/0000007511/>



宇宙飛行士の医学選抜



健康管理のサイクルとしては

- 医学選抜 selection
- 維持 retention (定期健診、必要になれば治療)
- 検疫隔離 quarantine (～10日間)
- 飛行中管理 telemedicine
- 着陸前管理 rehydration
- 着陸支援・救急対応・搬送 medical evacuation
- リハビリテーション
- 次のフライトへ



150

JAXA 2011 募集

以下の医学的特性を有すること。
 身長 149.5-190.5cm
 視力 遠距離視力 両眼とも矯正視力1.0以上
 色覚 正常(石原式による)
 聴力 正常(背後2mの距離で普通の会話可能)



152



NASA選抜はプロの飛行士以外は理系修士を新しく義務付けた

- must be a U.S. citizen
- master's degrees in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) fields
- two years of relevant professional experience OR at least 1,000 hours of pilot-in-command time in jet aircraft
- Teaching experience, including experience at the K - 12 levels with degree in Science, Engineering, or Mathematics
- A completed doctor of medicine or doctor of osteopathic medicine degree;
- a nationally recognized test pilot school program

だめな学位は
Technology, (一般) psychology, nursing, exercise physiology, social sciences (geography, anthropology, archaeology, etc.), aviation, aviation management, etc.

過去の選抜の年齢範囲は26~46歳、平均34歳。年齢制限なし。

<https://www.nasa.gov/feature/frequently-asked-questions-0/>

2023年4月

John McFall
ESA/パラアスリート 42歳 英国人医師
19歳自動二輪で足切断 パラオリンピック出場

2022年 ESA飛行士募集
一般枠22,000名から
キャリア 5名
リザーブ 11名
障害枠257名から1名

航空身体検査
航空身体検査証明制度
指定航空身体検査医

パイロットでは薬の制限が厳しい

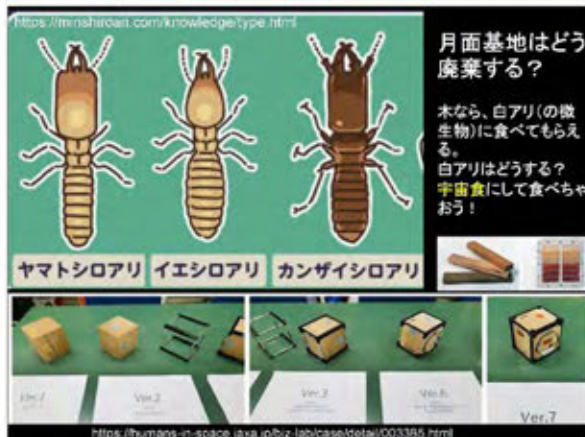


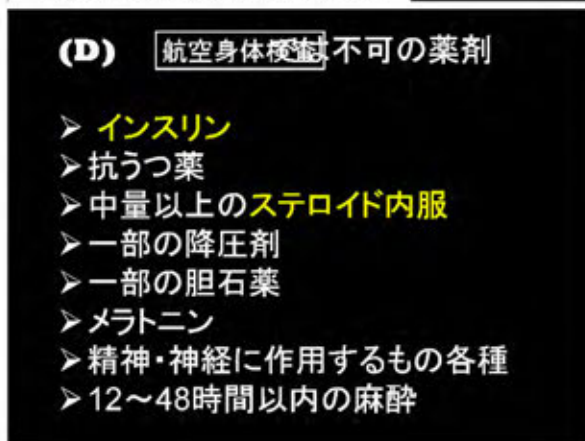
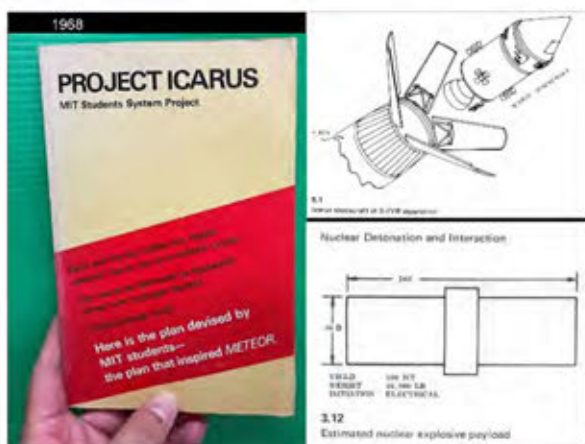
これから？

Axiom Station

June 15 July, 2021 Thales Alenia Space, joint venture between Thales and Leonardo, and Axiom Space of Houston, Texas (USA), have signed the final contract for the development of two key pressurized elements of Axiom Station - the world's first commercial space station. Scheduled for

2024年10月28日NASA発表「Artemis III」着陸候補地9か所(黄色の四角)。緑色の★印は月の南極(Credit: NASA)





4.1.8. 第8回宇宙医学講義スライド集

微小重力が循環機能，自律神経機能に及ぼす影響と対抗措置

慶知医科大学生理学 岩瀬 敏

国際宇宙ステーション時代の飛行士のストレス

- 筋・骨格器系の減少
- 心・肺機能の低下
- 精神心理的ストレス
- 放射線被曝
- 船内環境(空気、水、微生物、騒音など)
- 栄養(メニューの固定、食材の制限)
- 疾病や怪我への対処

宇宙飛行の問題点

- ▶ 微小重力
 - ▶ 神経・前庭系
 - ▶ 心血管系
 - ▶ 筋骨格系
 - ▶ 骨代謝系
 - ▶ 血液・免疫系
 - ▶ 自律神経系
- ▶ 電磁放射線
- ▶ 閉鎖環境
- ▶ 疾患，傷病

微小・低重力曝露の問題点

- ▶ 1 G → μ G
- ▶ μ Gへの長期間曝露
- ▶ μ Gおよび hypogravity
- ▶ μ G → 1 G

帰還後の問題点

- 飛行後起立不耐性
- 飛行後に起立試験を15分
- 症状：ふわふわとした感覚
 - 心拍数の増加
 - 血圧低下
 - 失神

歴史的に見ると

- Mercury 8帰還後に心拍数増加
 - 9時間持続
- Mercury 9 帰還後に立位時心拍増加
 - 34時間持続
- Gemini後は，失神のエピソード
- Apollo時には，不整脈がみられた

起立不耐性は

- 2/3の帰還後にみられる
- Space shuttle mission時にはより強く認められた。この時に大気圏再突入時には立位で作業していたためか。
- 帰還後に起立不耐性を経験した宇宙飛行士：86%

ところでロシアのSalyutやMirでは

- 戻ってきた時に，抱きかかえられるようにして運ばれる。6ヶ月のリハ



ISSでは

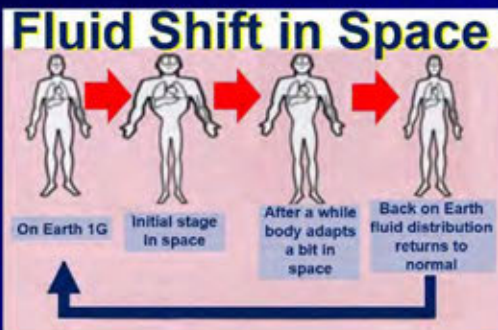
- かなりの時間を対抗措置としての運動に費やす。



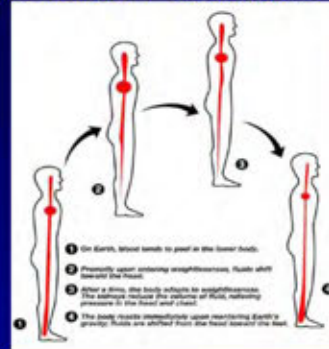
微小重力時における変化

1. 体液シフト（末梢から中心へ、頭部へ）
2. 顔面浮腫、胸腔内血液量増加
3. 循環血液量移動
 1. 血管内→組織内→細胞内
 2. 血管内→体外→Hypovolemia
4. Hypovolemiaで1G帰還、起立性低血圧

宇宙における体液移動



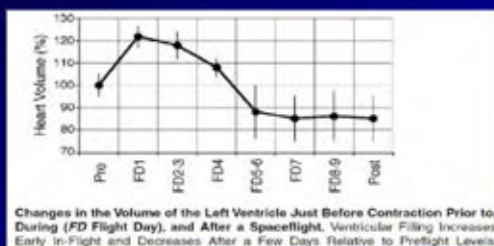
微小重力下の体液シフト



顔面浮腫



心臓容量の変化



循環血漿量の変化

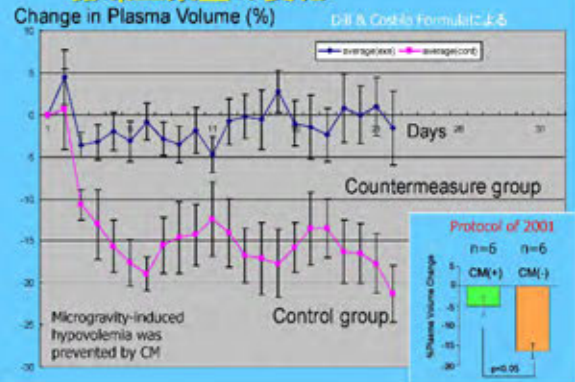
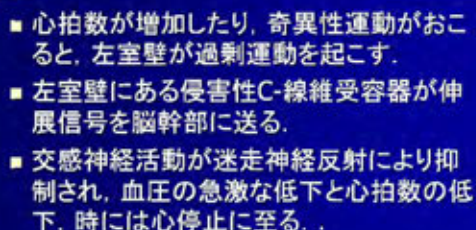


Figure 1 is a line graph showing the relationship between Occlusion pressure (mmHg) on the x-axis and $\Delta V_{\max-r}$ (%) on the y-axis. The x-axis ranges from 0 to 80 mmHg, and the y-axis ranges from 0 to 12%. Two data series are plotted: '飛行前' (Before flight) represented by open circles and '飛行後' (After flight) represented by filled squares. Both series show a positive linear relationship. The '飛行後' series has a steeper slope and higher values than the '飛行前' series. Regression equations are provided for each: $y = 0.1201x + 2.782$ for '飛行後' and $y = 0.0803x - 0.278$ for '飛行前'. A legend indicates that open circles represent $B > 2$ and filled squares represent $F < 3$.

Occlusion pressure (mmHg)	$\Delta V_{\max-r}$ (%) - 飛行前 ($B > 2$)	$\Delta V_{\max-r}$ (%) - 飛行後 ($F < 3$)
20	1.2	5.1
30	2.1	6.5
40	2.8	7.4
50	3.8	8.7
60	4.5	10.0

```

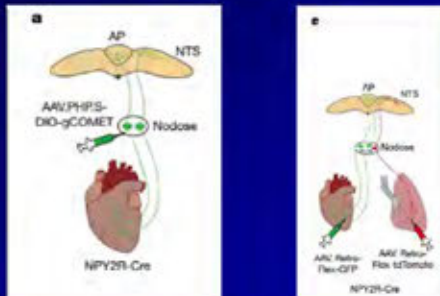
graph TD
    A[Exaggerated Sympathetic Activation] --> D[Activation Ventricular Afferents]
    B[Circulating Hypovolemia] --> D
    D --> C[BRADYSTEM]
    C --> E[Sympathetic Withdrawal]
    E --> F[Vasodilation]
    F --> G[Hypotension]
    G --> H[Syncope]
    C --> I[Vagal Tone ↑]
    I --> J[Bradycardia]
    J --> H
  
```



The diagram illustrates the autonomic nervous system (ANS) pathways. It is divided into two main branches: the sympathetic nervous system (fight or flight) and the parasympathetic nervous system (rest and digest). The sympathetic system originates from the thoracic and lumbar regions of the spinal cord, while the parasympathetic system originates from the brainstem and sacral regions. Key organs shown include the heart, lungs, stomach, intestines, and bladder. The diagram uses color-coding: red for sympathetic and blue for parasympathetic pathways. Arrows indicate the direction of signal transmission from the central nervous system to the effector organs.

Submitted online 1 November 2012
 Open access
 DOI:10.1017/S0007122613000001
 © 2013 Cambridge University Press
 Printed in the United Kingdom
 This is an Open Access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution licence (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>), which permits unrestricted re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

BJ反射の経路



飛行後起立耐性低下の原因

- 頭部方向への体液移動（曝露すぐ）
- その後の血管内→体外、血管内→細胞内への体液移動（1週間程度）
- 末梢血管のコンプライアンス増加
- 圧受容器反射の低下
- 心拍数の著明増加
- 神経調節性失神の発症

起立不耐性の原因



微小重力曝露により交感神経活動はどのように変化するか

- パラボリックフライト実験
- 20日間ヘッドダウンベッドレスト実験
- Neurolab計画：スペースシャトルによる14日間微小重力曝露

Microneurography

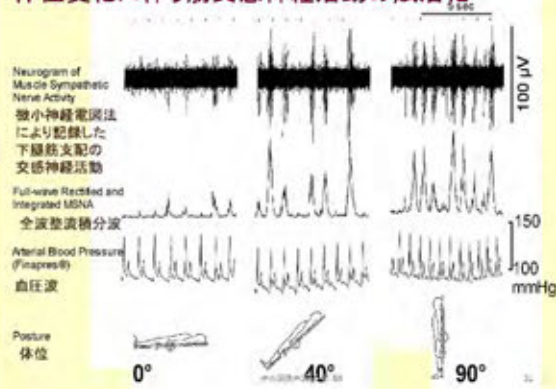


- Recording
 - MSNA
 - Governed by circulatory system
 - Important for blood pressure change
 - SSNA
 - Governed by thermoregulatory system
 - Important for body temperature change

模擬微小重力曝露時の筋交感神経活動の変化

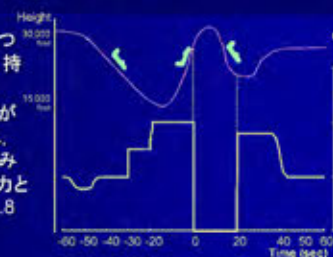
- パラボリックフライト：抑制
- 頸下水浸：抑制ののち、亢進
- 乾性水浸：3日後、亢進
- ベッドレスト：7日間、亢進傾向
14日間、非失神者は亢進、失神者は不変
120日間、亢進（全員非失神）

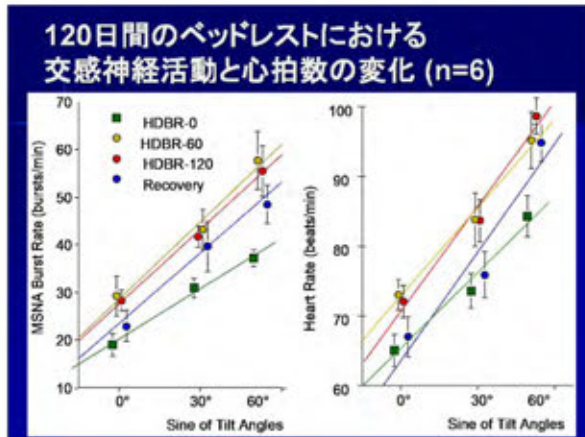
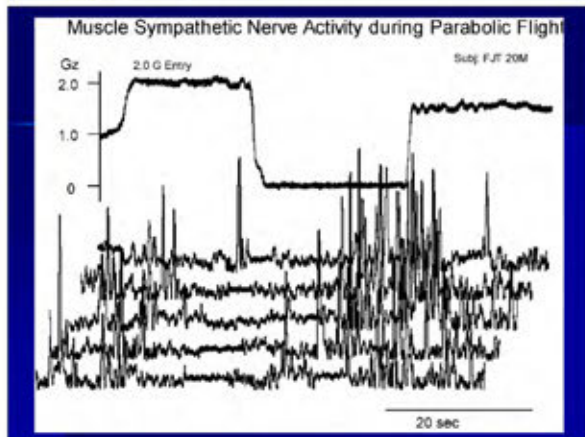
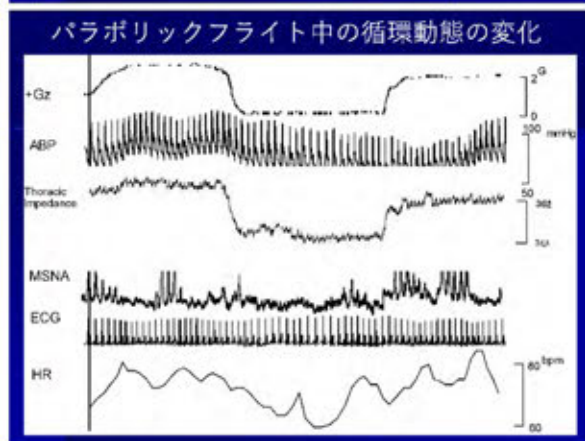
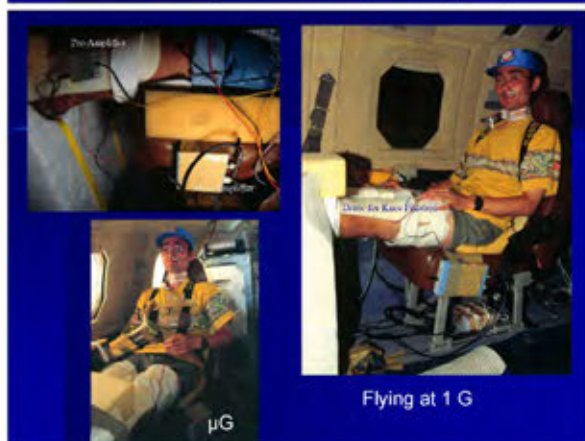
体位変化に伴う筋交感神経活動の賦活化



Parabolic Flight

- 地上で得られるただ1つの微小重力であるが、持続時間は20秒
- 45° 上方にジェット機が投げ出されるのに対し、自由落下の20秒間のみジェット機中で微小重力となる 2 G → μ G → 1.8 G





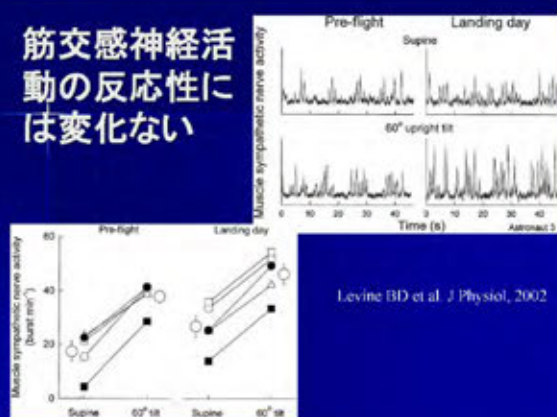
1998年ニューロラブ実験



←ニューロラブ実験のセットアップ

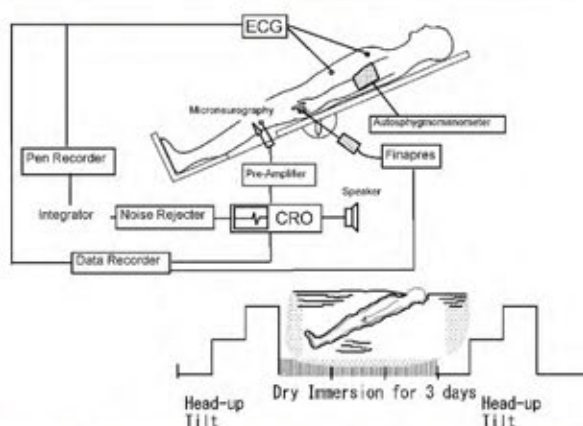
腓骨神経からの筋交感神経活動記録→

筋交感神経活動の反応性には変化する



ロシアで行った乾水浸実験

- 34℃のぬるま湯の上にゴム引き布を敷いてその中に沈み込む

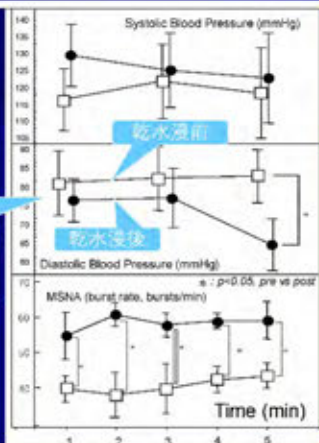


乾水浸前後に行った60°ヘッドアップティルト時の血圧と筋交感神経活動の変化

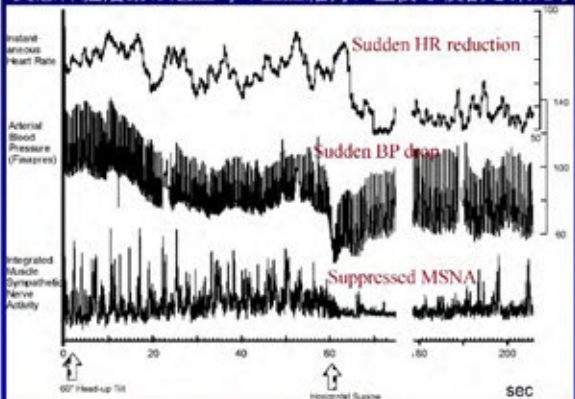
筋交感神経活動の亢進にもかかわらず、血圧の低下がみられる

血管反応性の低下によるものか?

□ Pre-immersion
● Post-immersion



交感神経活動は起立時の血圧維持に重要な役割を果たす



ベッドレスト実験



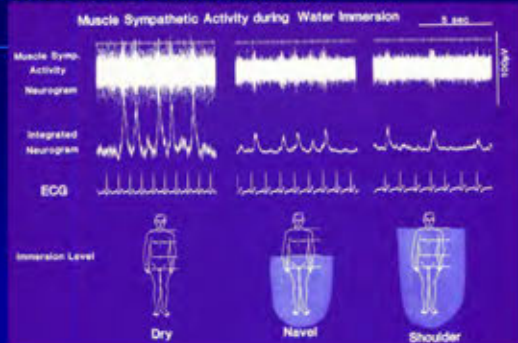
頸下水浸実験

34℃の中立温水を水浸タンクに注水することにより、静水圧による浮力と体液移動により無重量状態を模倣する。



名古屋大学環境医学研究所の無重量実験装置

交感神経活動の抑制



水浸中の心ディメンション



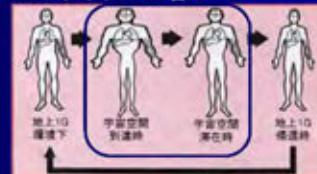
心臓の大きさの測定



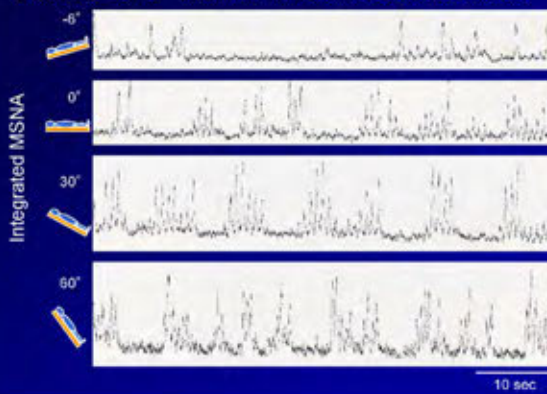
■ 心エコーで心臓の大きさを測定する

むくみ状態から無重力状態に適応する

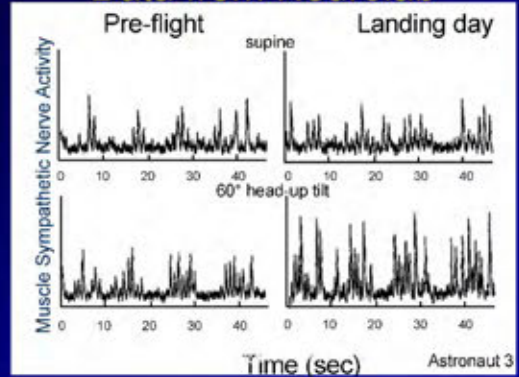
- 尿として水分を排泄
- 間質から血管内に水分を移動
- ヘマトクリットの増加



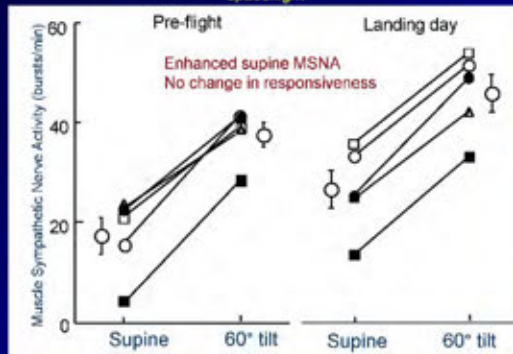
ティルト角度 -6°、0° supine、30° 60° における筋交感神経活動の変化



Data from Neurolab



Changes in MSNA in supine and 60° tilt position before and after spaceflight

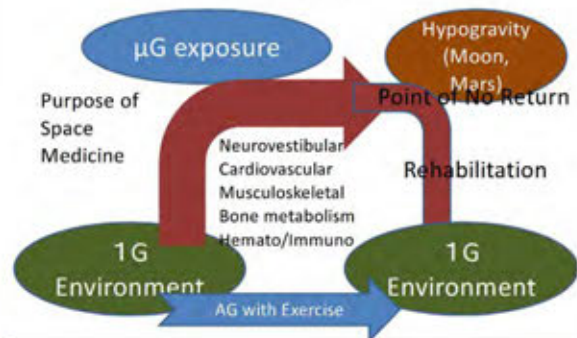


Space Medicine on the Moon Surface

Satoshi Iwase, MD & PhD
Department of Neurology, Aichi Medical University
Department of Neurology, Konan Kosei Hospital

- After the Moon surface stay, do you want to return to 1G gravity environment on the Earth?

Spaceflight deconditioning followed by microgravity exposure



What is Space Medicine?

- Space Medicine keeps your capability of your physical conditions until your return to 1G environment on the Earth.

Special environment as space

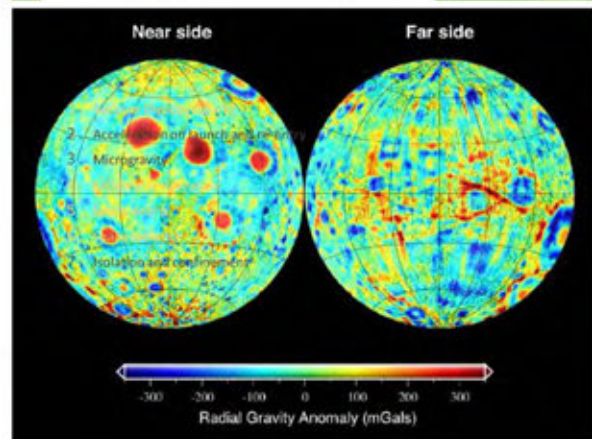
Definitive by pressure and humidity

1. Vacuum (hypopressure)
2. Acceleration on launch and re-entry
3. Microgravity
4. Extreme temperature
5. Space debris
6. Space radiation
7. Isolation and confinement

And on the Moon surface
Lunar Regolith is the problem.

Gravity on the Moon

Gravity on the moon
1.62 m/sec²
Gravity on the Earth
9.807 m/sec²
0.167 G, 1/6 G



Today, HYPOGRAVITY is focused Problems on the Lunar Hypogravity

1. Fluid shift
2. Somatosensory maladaptation
3. Musculoskeletal weakness
4. Bone metabolism
5. Hematological and Immunological problems

Short stay in microgravity to long stay in hypogravity

Fluid Shift



Problems on the Moon

- Developing the conditions of FRAIL
- 1. Physical frail
- 2. Mental frail
- 3. Psychosocial frail
- Space is an analogue of ageing

Physical Frail

- 1) Orthostatic intolerance
- 2) Myatrophy
- 3) Osteoporosis
- 4) Dizziness

Mental Frail

- Cognition
- Mood
- Motivation
- Depression
- Dementia

Psychosocial Frail

- Hyponutrition, malnutrition
- Poor association
- Poor participation to regional festival
- Loneliness
- Decease of the partner
- Psychosocial distress in community

Countermeasures for Deconditioning

- Artificial Gravity for all modes of



Short Radius Centrifuge vs Long Radius Centrifuge



Our Previous Centrifuge



This centrifuge device consists of a rotating rod with a radius of 2 m, and a maximum rotating capacity of



Body fluid shift the leg

Centrifuge in rotation



Ergometric exercise



Short Radius Centrifuge

Aichi Medical University and Gifu University of Medical Science

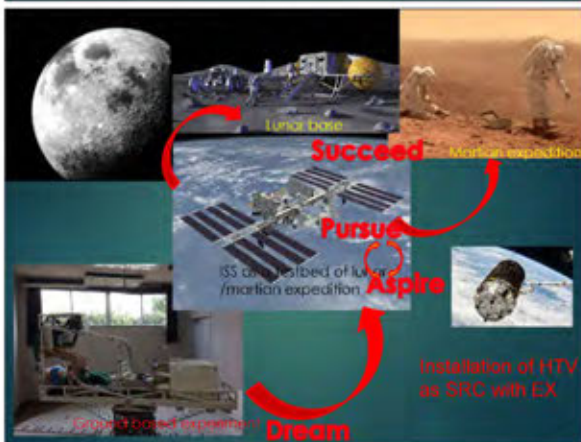
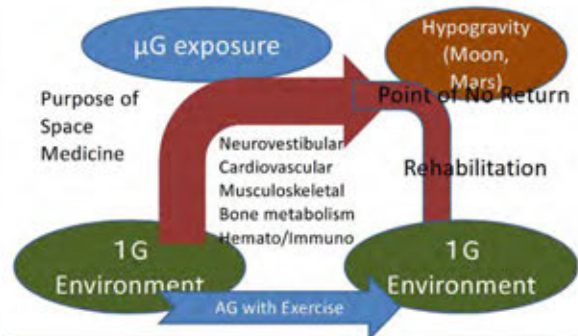


Max 2G at Head

Centrifuge at Envihab, DLR in Köln



Spaceflight deconditioning followed by microgravity exposure

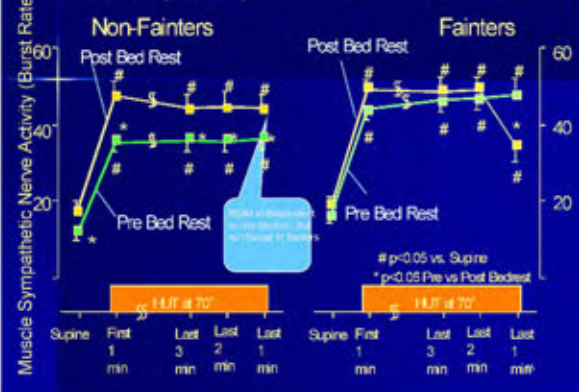


Question:

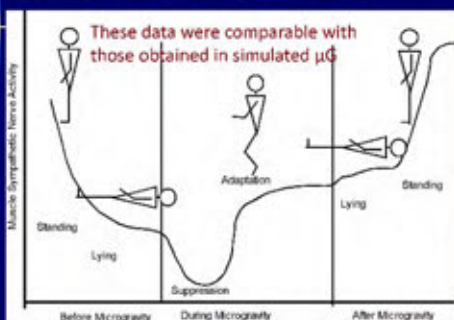
- ▶ Do you want to return to 1G environment on the Earth?
- ▶ Yes. AG as CM is necessary
- ▶ No. Please adapt to lunar hypogravity environment.

▶ Thank you for your attention.

MSNA Change during HUT in Non-Fainters and Fainters



筋交感神経活動の変化



筋交感神経活動はどのように起立耐性に寄与するか

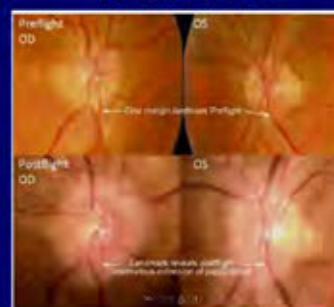
- 圧受容器反射で十分に筋交感神経活動が賦活化する被験者は非失神者
- 圧受容器反射で十分に筋交感神経活動を賦活化できない被験者は失神者

体液移動に伴う問題点(1)

■微小重力誘発性眼内圧亢進



Alexander et al. 2012 眼底の変化



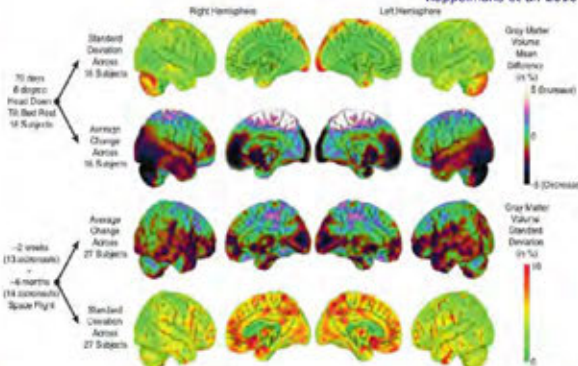
体液移動に伴う問題点(2)

■微小重力誘発性神経可塑性



Gray Matter Changes from Pre to Post Flight in 27 astronauts and from Pre to Post Bed Rest in 18 subjects

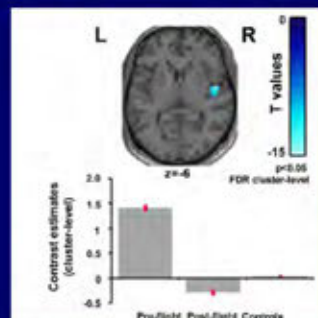
Koppelmans et al. 2016



微小重力誘発性神経可塑性



微小重力誘発性神経可塑性



対抗措置(人工重力+運動)

- 短腕式人工重力負荷装置
- 運動として、エルゴメーター、スクワット、ティン



ヘッドダウンベッドレスト に対する対抗措置の効果

- 20日間のヘッドダウンベッドレスト
- 対抗措置群とコントロール群
- 毎日30分の1.4Gの人工重力負荷+60Wのエルゴメーターによる運動負荷



20 days of -6° head-down bedrest

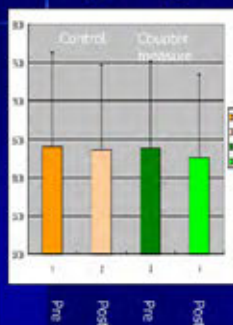


Countermeasure: centrifuge-induced artificial gravity with ergometric exercise for cumulative 30 min per day using G. Ex step-up method

- 12 subjects (Countermeasure group 6, Control group 6)
- Age: 24 ± 5 yrs old
- Height: 168.7 ± 3.6 cm
- 20 days of -6° head down bedrest
- 2300 kcal/day
- Water drinking was encouraged as much as the urine in the previous day

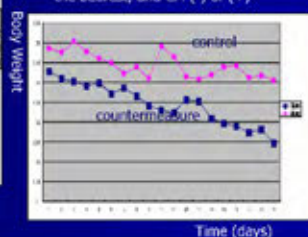


Bodyweight

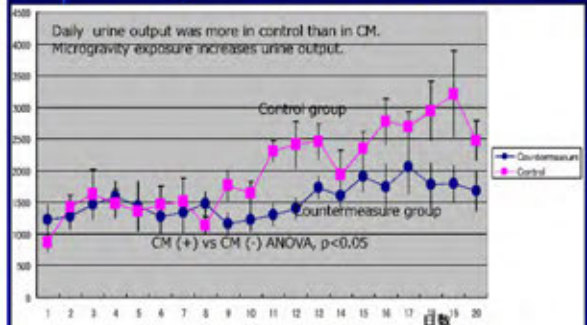


BW	Pre BR	Post BR
Control	64.1 ± 12.3	63.6 ± 11.1
Countermeasure	63.8 ± 11.4	62.7 ± 10.8

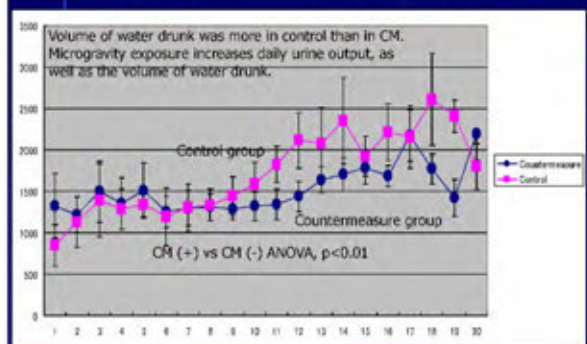
No bodyweight change before and after the bedrest, and CM (-) or (+)



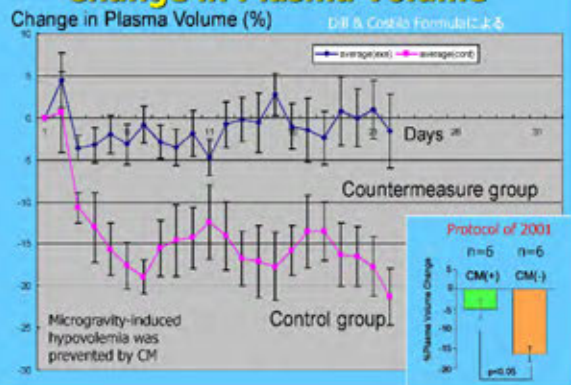
Change in Urine Volume



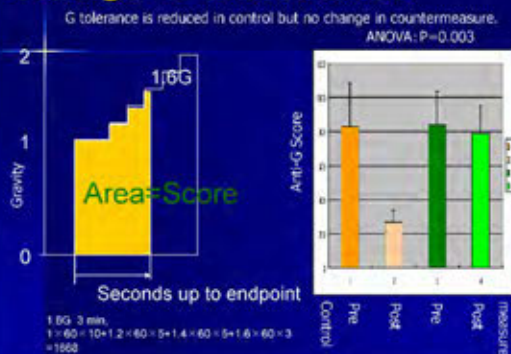
Change in Volume of Water Drunk



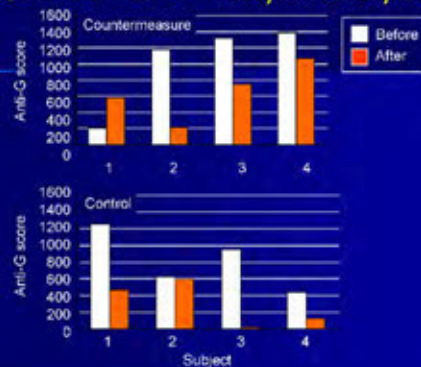
Change in Plasma Volume



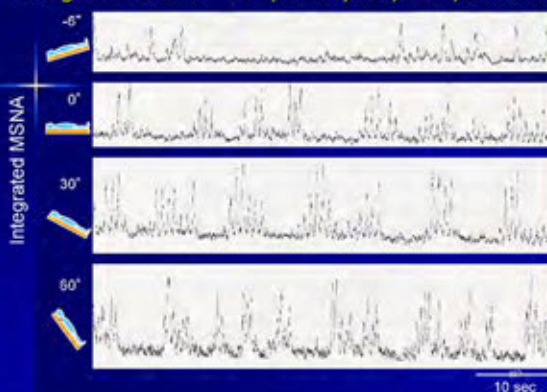
Change in G-tolerance



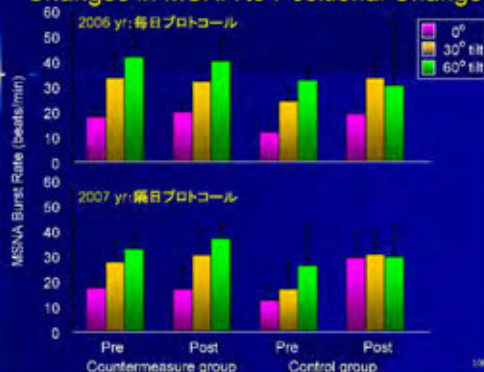
Change in Anti-G score Every other day Protocol



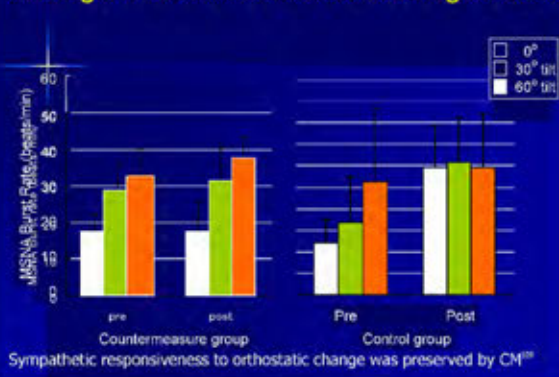
Changes in MSNA at -6°, 0° supine, 30°, and 60°



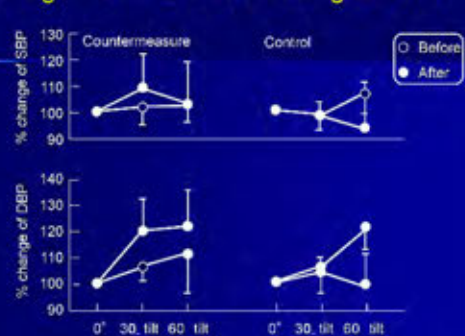
Changes in MSNA to Positional Change



Change in MSNA burst rate during tilt test

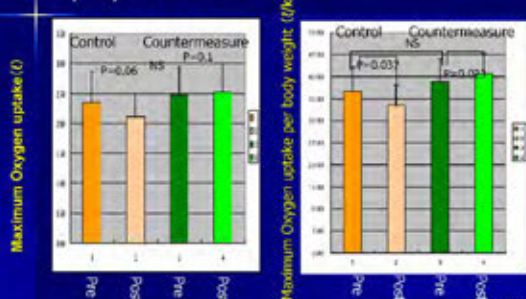


Change in SBP and DBP during Tilt Test



Change in Maximum Oxygen uptake

Everyday Protocol

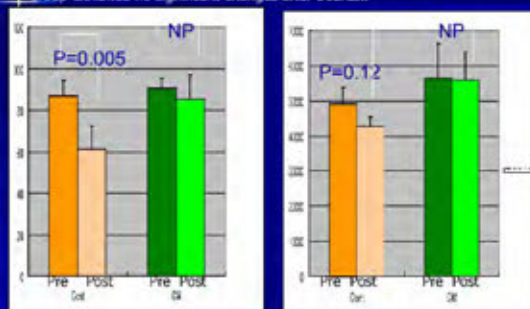


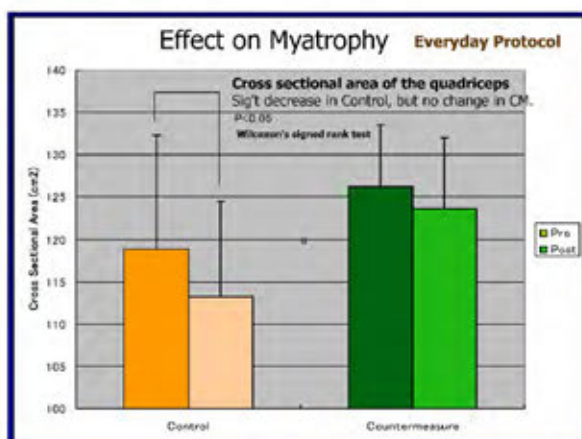
Max O₂ uptake is reduced in Control but no change in countermeasure group.

Echo-Doppler Cardiography

Everyday Protocol

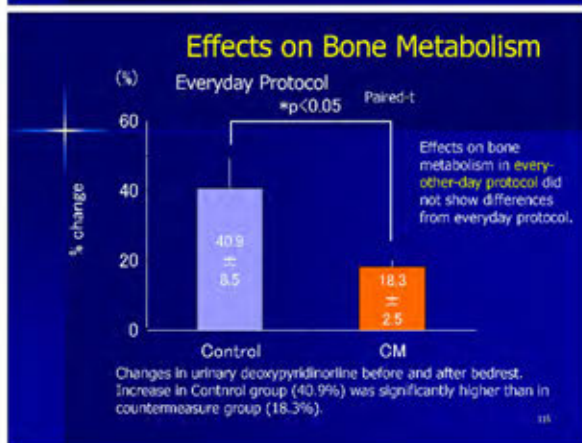
Control group significantly decreased in SV and CO whereas countermeasure group exhibited no significant changes after bedrest.



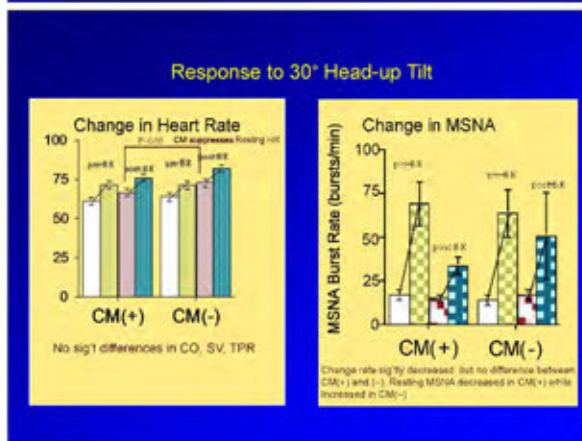
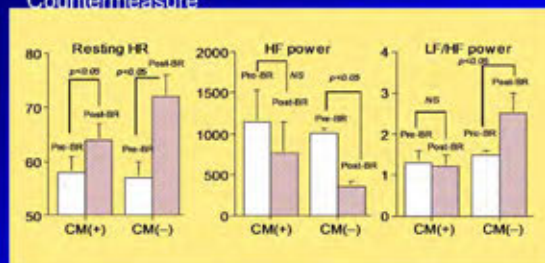


Effect of CM on Myatrophy

- Effect of CM on myatrophy both in the quadriceps femoris and the gastrocnemius-soleus muscles did not show the differences between countermeasure and control groups when compared the pre- and post-bedrest measurements



Changes in Heart Rate, HF Power, and LF/HF Power before and after Bed Rest with and without Countermeasure



Everyday step-up protocol with AG+EX for 30 min

deconditioning	Symptoms	Effective-ness
Cardiovascular	Orthostatic intolerance, cardiac hypofunction	Suppress
Musculoskeletal	myatrophy	Partially
Bone-metabolism	osteoporosis	Suppress
Thermoregulation	thermodyregulation, dehydration	Suppress
Endocrinology	s-NE, PRA ↑	Suppress
Autonomic	MSNA ↑	Suppress

国際宇宙ステーション内に搭載可能な短腕式遠心器

- 直径3.6m
- 電動式
- 2種類の運動, エルゴメーターとスクワット
- 心臓位置の負荷Gが最大2G
- 前庭器官への影響を最小に

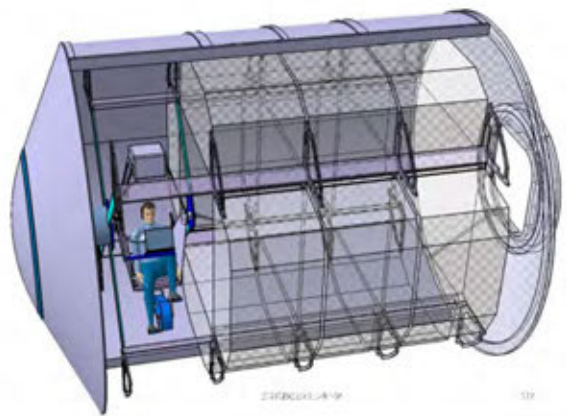
Artificial Gravity on International Space Station Investigator Team

Principal Investigator: Prof Satoshi Iwase, MD, PhD (Japan)
Triateral undertaking - JAXA, NASA, ESA

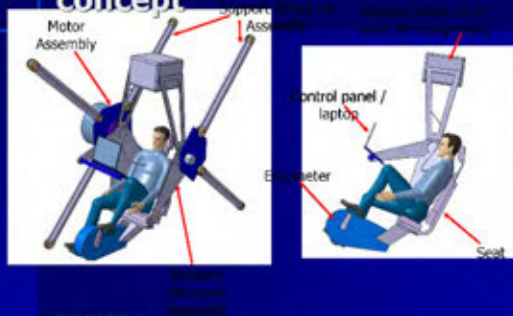
Co-Investigator:
USA:
James LaFrance, PhD
William H. Paloutz, PhD
Laurence R. Young, ScD
Japan:
Hiroshi Akima, PhD
Keiichi Katayama, PhD
Naoki Shimizu, PhD
Junichi Sugeno, MD, PhD
Europe:
Gilles Clément, PhD
Rupert Gerzer MD, PhD
Jörn Rittweger, MD, PhD
J.W.A. van Loon, PhD

2009年「国際宇宙ステーション (ISS) 利用 ライフサイエンス及び宇宙医学分野国際公募」

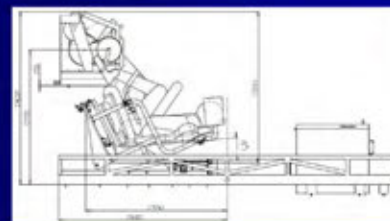
募集 項目	テーマ名	代表研究員	提案概要	備考
#1	Effect of the Hybrid Training Method on the deconditioning of the musculoskeletal system of the astronaut staying in the International Space Station for a long term (長期宇宙滞在による筋骨系機能低下へのハイブリッド訓練法の効果)	田澤 寛人 (大阪大学)	宇宙滞在がもたらした筋骨系機能低下を軽減するためのハイブリッドトレーニングにより、筋骨系機能低下の抑制効果を確認する。	・セト対策(運動) ・研究費確保 ・機器の確保
#2	Visual and Neck Proprioceptive Contributions to increased Head and Body tilt during Long-term Space Life (長期宇宙滞在による視覚・体性感覚の増強による頭部・体幹の傾斜)	船橋 達朗 (徳島大学)	宇宙での視覚・体性感覚の増強による頭部・体幹の傾斜を軽減するための、宇宙滞在の前後・傾斜に合わせた運動プログラム、視覚的・体感的な刺激の提供、宇宙での視覚・体性感覚の増強効果を確認する。	・セト対策(平衡感覚) ・研究費確保 ・機器の確保
#3	Human central autonomic regulation during long-duration spaceflight (長期宇宙滞在中の自律神経調節機能に及ぼす影響)	船橋 達朗 (徳島大学)	宇宙での視覚・体性感覚の増強による自律神経調節機能の低下を確認するための、宇宙滞在の前後・傾斜に合わせた運動プログラム、視覚的・体感的な刺激の提供、自律神経調節機能の低下効果を確認する。	・セト対策(自律神経) ・研究費確保 ・機器の確保
#4	Plastic alteration of vestibulo-cardiovascular reflex and its countermeasures (前庭・心血管系反射の可塑性とその対策)	船橋 達朗 (徳島大学)	宇宙での視覚・体性感覚の増強による前庭・心血管系反射の可塑性を確認するための、宇宙滞在の前後・傾斜に合わせた運動プログラム、視覚的・体感的な刺激の提供、前庭・心血管系反射の可塑性効果を確認する。	・セト対策(前庭・心血管系) ・研究費確保 ・機器の確保
#5	Artificial gravity with ergometric exercise as the countermeasure for space deconditioning in humans (人工重力による宇宙滞在による筋骨系機能低下の軽減効果を確認する)	船橋 達朗 (徳島大学)	宇宙での視覚・体性感覚の増強による筋骨系機能低下を軽減するための、人工重力による運動プログラム、人工重力による筋骨系機能低下の軽減効果を確認する。	・セト対策(運動) ・研究費確保 ・機器の確保



Preliminary design: Baseline concept



New position for centrifuge

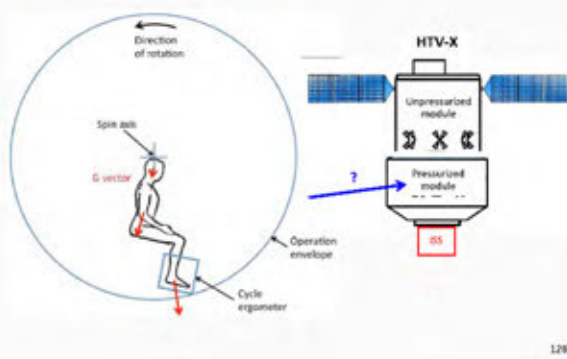


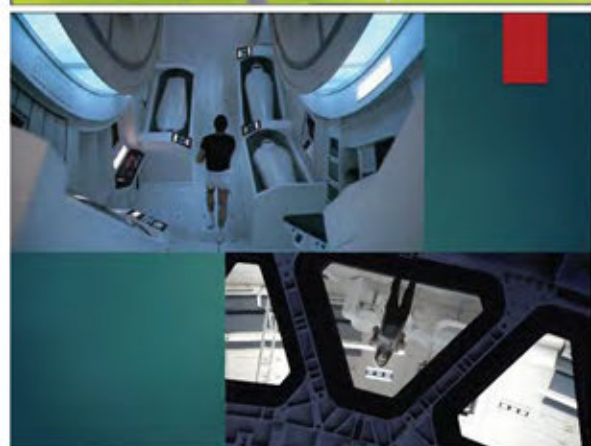
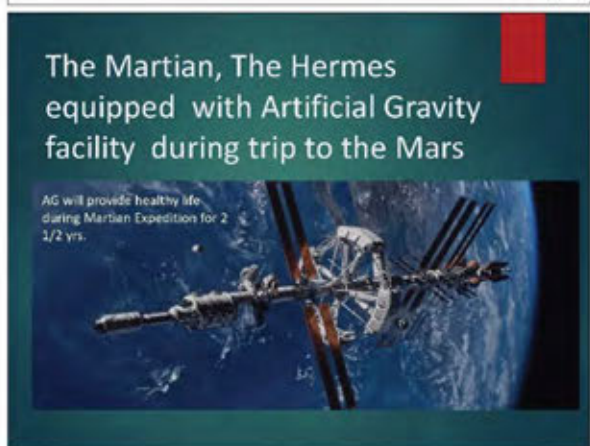
Short Radius Centrifuge

Aichi Medical University and Gifu University of Medical Sciences



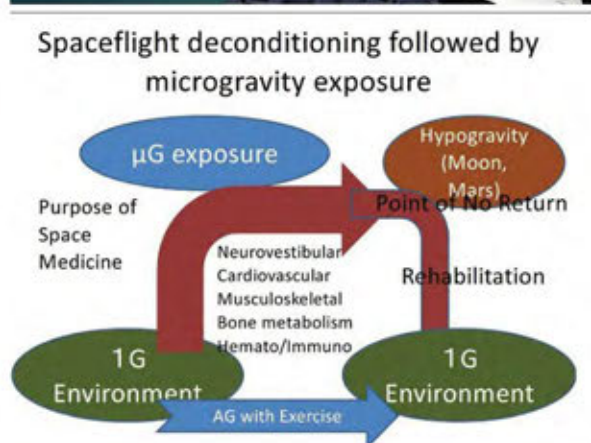
Preliminary Design





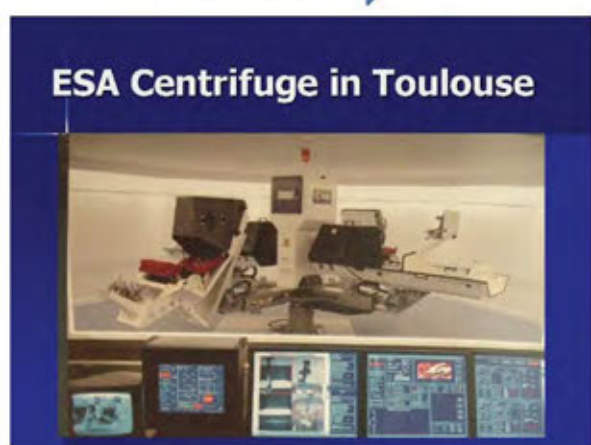
まとめ

- 宇宙飛行後失神は、神経調節性失神であり、それに寄与する要因は、循環血液量減少、下腿血液貯留量、心拍数増加に対するBezold-Jarisch反射の閾値低下、圧受容器反射の低下である。
- 微小重力曝露による交感神経活動の変化は、起立耐性維持に寄与している。
- 頭部方向体液移動が、緑内障、脳萎縮を起こすリスクがある。
- 対抗措置として人工重力を推奨しており、ベッドレスト実験により効果が実証されている。



解決しなければならない問題点

- ▶ 心血管系、自律神経系は、μG曝露に順応し、帰還後は1Gに順応する。
- ▶ 元の状態に順応しきれなくなる限界(point of no return)は、はっきりしない。
- ▶ 火星探査の往復2.5年ではその限界を突破するのは不明である。
- ▶ 月基地の1/6G状態での心血管系の順応は、不明であるし、火星探査の1/3G状態もわからない。
- ▶ 不明ならば、現在の心血管系、筋骨格系、骨代謝系を人工重力により維持する必要がある。

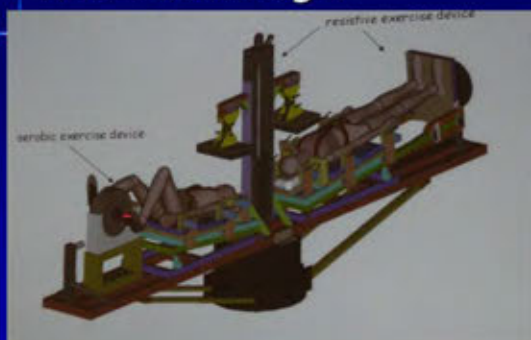




**NASA centrifuge in
University of Texas, Galveston**



NASA Centrifuge



MIT Centrifuge



Another NASA Centrifuge



Chinese Centrifuge



Chinese Centrifuge



340

4.1.9. 第 9・10 回宇宙医学講義スライド集

EVALUATION OF IONIZING RADIATION DOSE INDUCED BY COSMIC RAYS AND SOLAR PROTON EVENTS

Yoko Yamashiki, Dr. Eng. Professor
Graduate School of Advanced Integrated Studies in Human Survivability
Chairperson, SIC Human Spaceology Center
Vice Chairperson, Kyoto University Unit of Synergetic Studies for Space

Types of Ionizing Radiation

Alpha (α) radiation consists of a fast-moving helium-4 (^4He) nucleus and is stopped by a sheet of paper.

Beta (β) radiation, consisting of electrons, is halted by an aluminum plate.

Gamma (γ) radiation, consisting of energetic photons, is eventually absorbed as it penetrates a dense material.

Neutron (n) radiation consists of free neutrons that are blocked by light elements, like hydrogen, which slow and/or capture them.

galactic cosmic rays that consist of energetic charged nuclei such as protons, helium nuclei, and high-charged nuclei called HZE ions.

Radiation Weighting Factor (α -particles: 20; β -particles and γ -rays: 1).

Becquerel & Sievert

Units of Radiation

Becquerel (Bq)
Unit indicating the amount of radioactivity.
One nucleus decays per second = 1 becquerel (Bq)

Sievert (Sv)
Unit of radiation exposure dose that a person receives.
Associated with **biological effects**

Radioactive materials

1 mSv from outside the body
1 mSv from within the body

Nearly equal effects on the human body

Ministry of Environment

Gray to Sievert

Units of Radiation

Conversion from Gray to Sievert

Absorbed dose (Gy) $\times$ Radiation weighting factor w_R = Equivalent dose (Sv)

Equivalent dose (Sv) $\times$ Tissue weighting factor w_T = Effective dose (Sv)

Dose that each organ receives (Equivalent dose)

Dose that the whole body receives

Effective dose (Sv)

Ministry of Environment

Gray to Sievert

国際放射線防護委員会 (ICRP)

放射線防護の基本的な枠組みと防護基準を勧告することを目的とする。主要委員会と5つの専門委員会（放射線影響、線量概念、医療被ばくに対する防護、勧告の適用、環境の放射線防護）で構成されている。

(参考) ICRPの勧告より、線量限度について抜粋

	1977年勧告	1990年勧告	2007年勧告
線量限度 (職業人)	50mSv/年	100mSv/5年 かつ 50mSv/年	100mSv/5年 かつ 50mSv/年
線量限度 (一般公衆)	5mSv/年	1mSv/年	1mSv/年

Ministry of Environment

Gray to Sievert

国際放射線防護委員会 (ICRP) は、放射線防護の目的上、単純かつ合理的な仮定として、直線しきい値なし (LNT) モデルを採用

支持：
全米科学アカデミー (2006)
放射線被ばくには「これ以下なら安全」と考える量はない

批判的：
フランス医学・科学アカデミー (2005)
一定の線量より低い放射線被ばくでは、がん、白血病等は実際には生じず。LNTモデルは現実には合わない過大評価

Ministry of Environment

Researchers pin down risks of low-dose radiation

Large study of nuclear workers shows that even tiny doses slightly boost risk of leukaemia.

BY ALISON ABBOY

For decades, researchers have been trying to quantify the risks of very low doses of ionizing radiation – the kind that might be encountered in a medical scan or from living within a few tens of kilometres of the damaged Fukushima nuclear reactor in Japan. So small are the effects on health – if they exist at all – that they seem barely possible to detect. A landmark international study has now provided the strongest support yet for the idea that long-term exposure to low-dose radiation increases the risk of leukaemia, although the rise is only minuscule (K. Lornet et al. *Lancet Haematology* (2015)).

The finding will not change existing guidelines on exposure limits for workers in the nuclear and medical industries, because these policies already assume that each additional exposure to low-dose radiation brings with it a slight increase in risk of cancer. But it supports the popular idea that there might be a threshold dose below which radiation is harmless – and provides scientists with some hard numbers to quantify the risks of everyday exposures.

"The health risk of low-dose radiation is really very tiny, but the public is very concerned," says Dr. Lornet.

RISING BACKGROUND

A rise in radiation levels over the past few decades has doubled the amount of radiation that the average person receives each year.

Source: UNSCEAR 2008

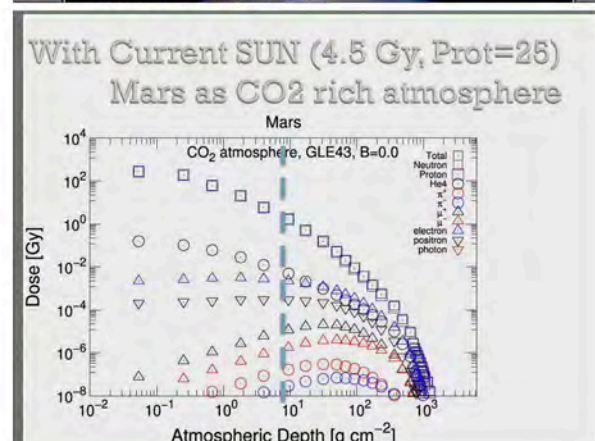
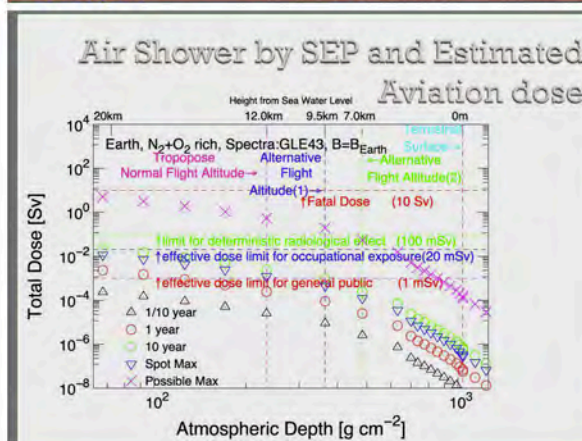
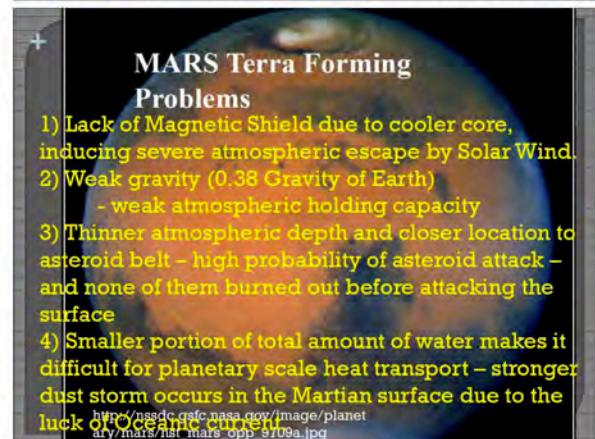
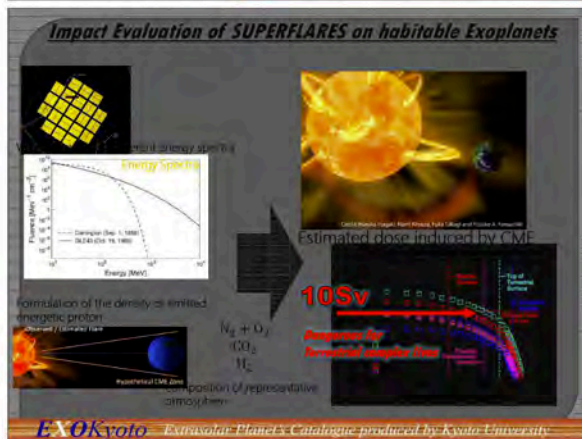
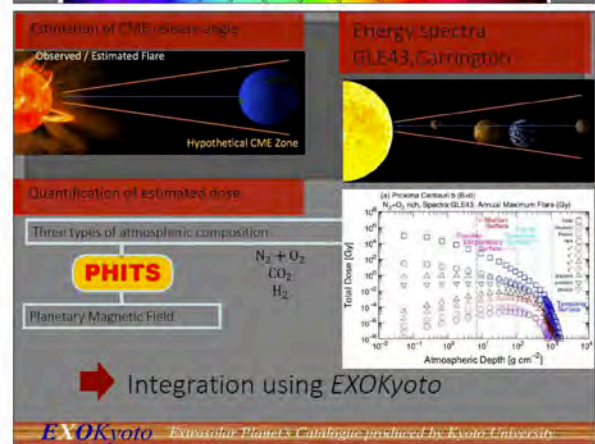
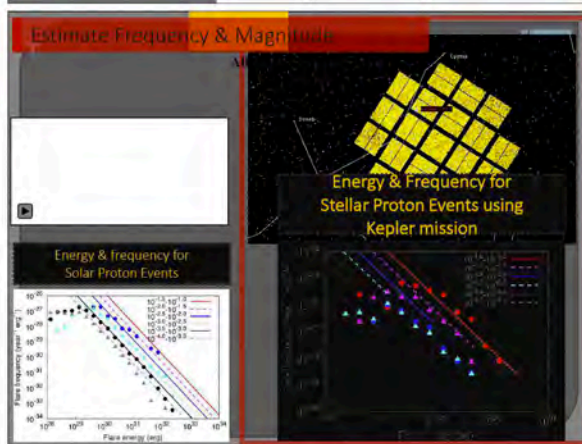
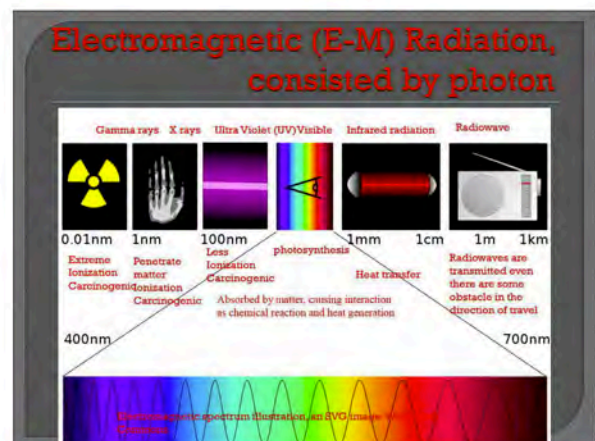
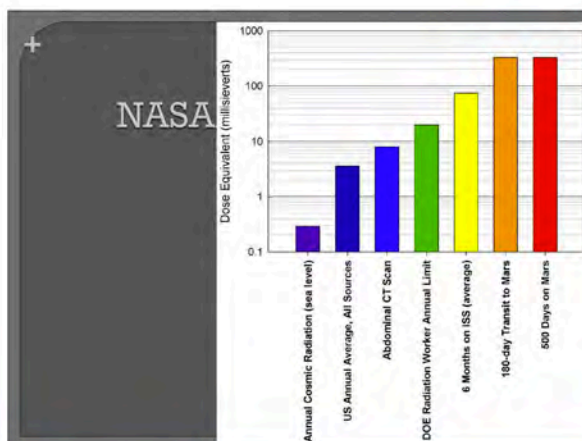
Ministry of Environment

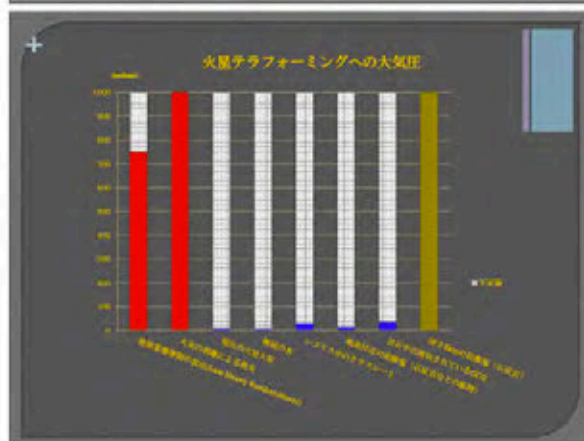
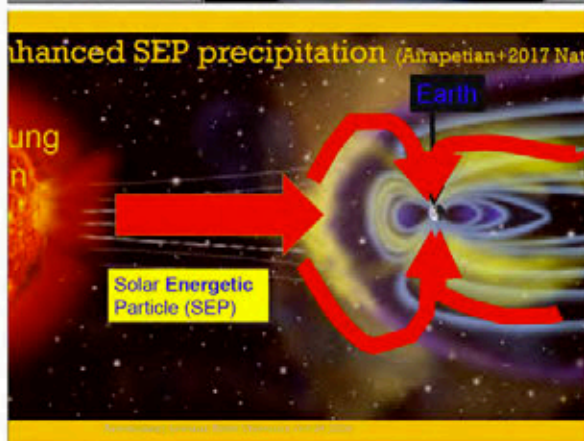
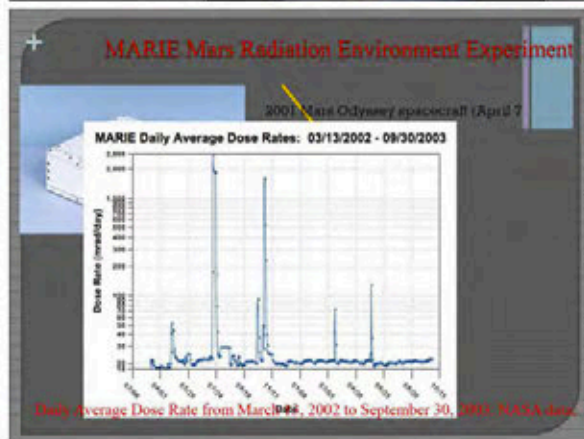
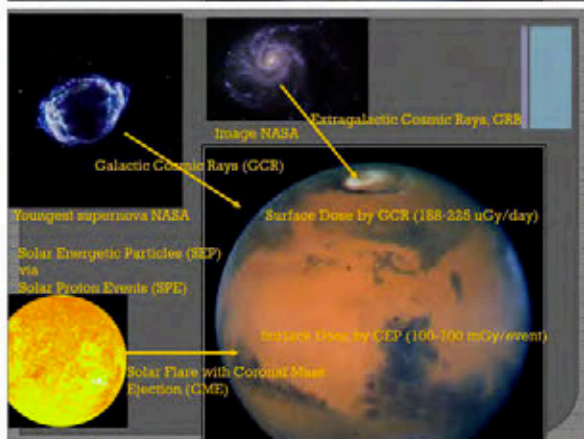
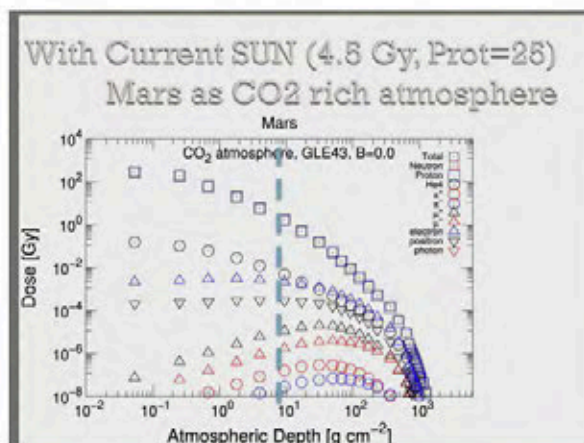
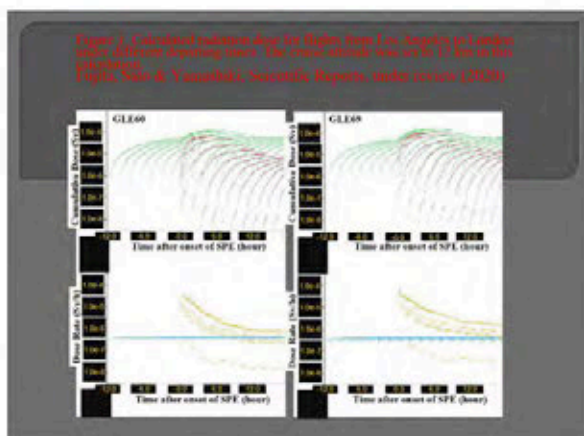
原爆傷害調査委員会 (ABCC)

Atomic Bomb Casualty Commission

1945年8月に広島と長崎に原子爆弾が投下された。この原爆放射線被ばく者における放射線の医学的・生物学的晩発影響の長期的調査を米国学士院-学術会議 (NAS-NRC) が行うべきであるとするハリー・トルーマン米大統領令を受けて、米国学士院が1946年に原爆の被爆者の調査研究機関として設立した。当初、運営資金は米原子力委員会 (AEC) が提供したが、その後、米国民衆衛生総局、国立がん研究所、国立心臓・肺研究所からも資金提供があった。1948年には、日本の厚生省国立予防衛生研究所が正式に調査プログラムに参加した。ABCCは、1975年4月に充足した(財)放射線影響研究所の前身である。

Ministry of Environment





+

- +

+

+

+

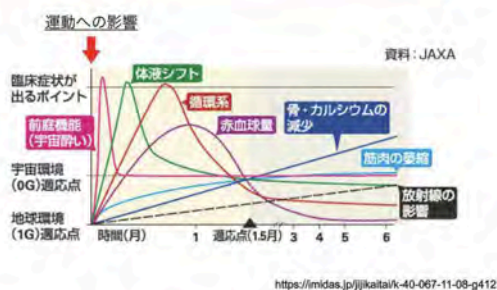
4.1.10. 第 11 回宇宙医学講義スライド集

2020年度後期 有人宇宙医学講義
担当：萩生 翔大（京都大学）

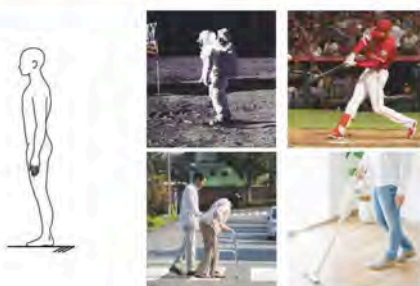
宇宙での姿勢制御

- 宇宙環境で運動できるのか？
- 身体運動における重力の影響とは？
- 長期間の宇宙滞在によって運動の仕方が変わる？

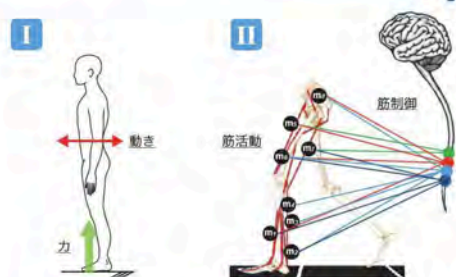
宇宙環境が人体に及ぼす影響



立位姿勢制御



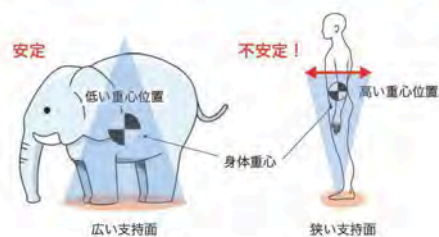
本講義の進め方



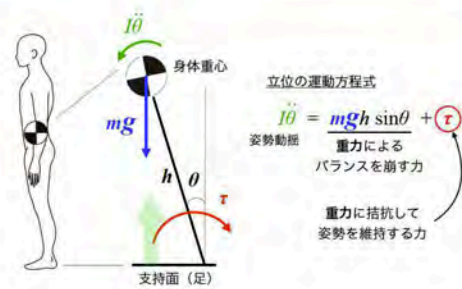
講義のアウトライン

- I 宇宙での運動を考えるための姿勢制御
宇宙滞在によって生じるバランス制御能力の変化
- II 宇宙滞在のために考えるべき筋制御問題
長期宇宙滞在によって生じる筋制御の変化
惑星探査ミッションを目指した今後の研究

ヒトの静止立位は非常に不安定



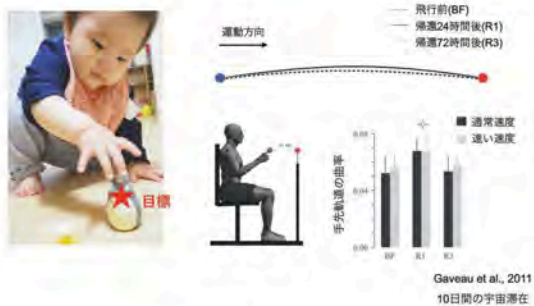
バランスを崩す力



宇宙環境が運動を変える



宇宙滞在前後のリーチング運動軌道の変化

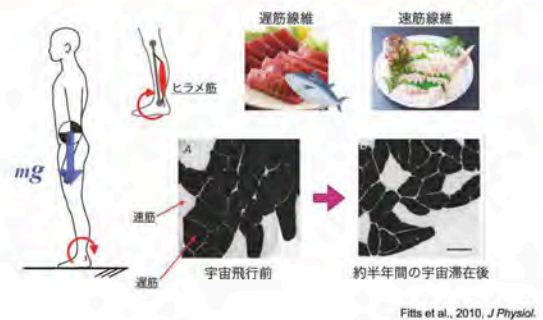


講義のアウトライン



宇宙飛行士の金井さん帰還 ISSに168日滞在

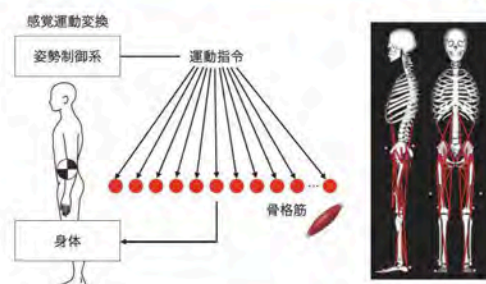
抗重力筋の萎縮



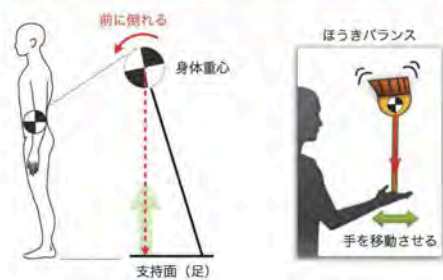
筋萎縮を抑えるための筋力トレーニング



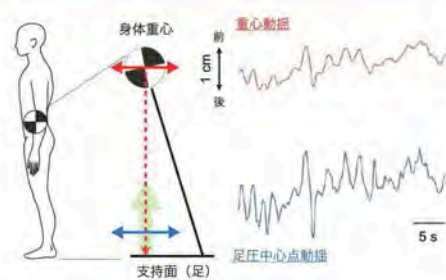
多くの筋活動が運動を生み出す



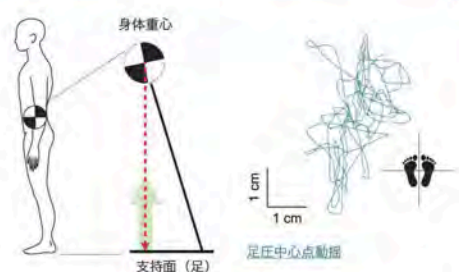
絶え間のないバランス制御



揺れながらバランスをとっている



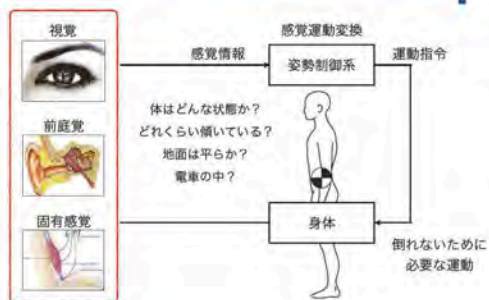
揺れながらバランスをとっている



立位を維持するための感覚運動制御



姿勢制御に関わる感覚センサー



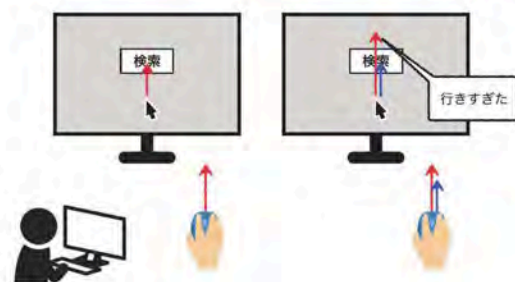
感覚運動変換はあらゆる運動制御の基礎



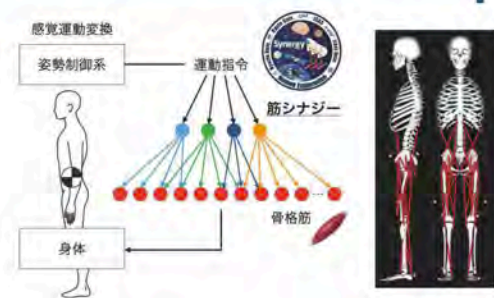
知識があるから運動できる



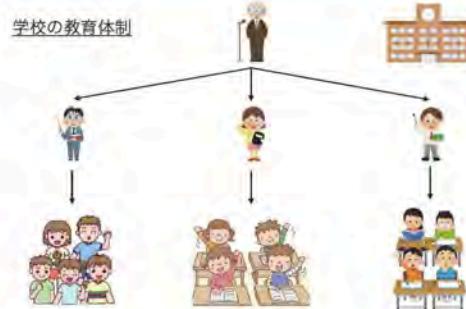
運動の知識は日々蓄えられている



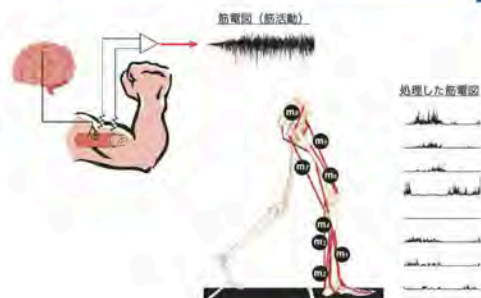
膨大な数の筋を制御するための仕組み



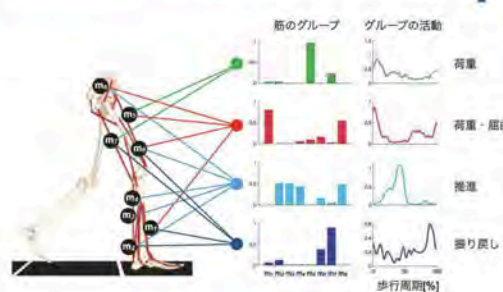
シナジーによる制御の簡略化



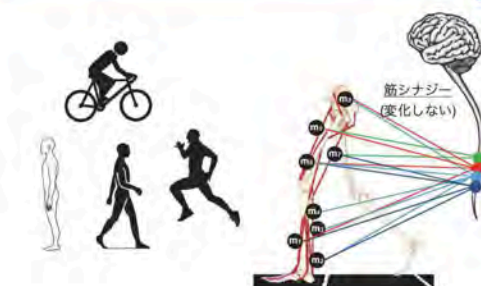
筋シナジーを定量する



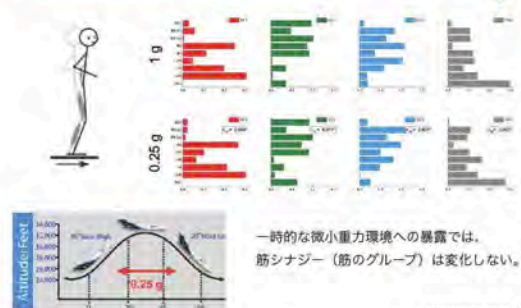
筋シナジーを定量する



筋シナジーはあらゆる運動の基礎

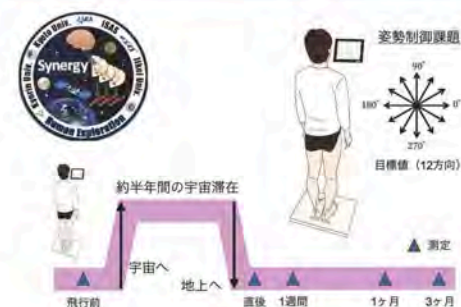


微小重力環境での筋シナジー



Holubarsch et al., 2019

長期宇宙滞在前後の立位筋シナジーの定量



本日のまとめ

- ヒトは重力に抗して姿勢を制御している。
- 宇宙の新たな重力環境では、運動の知識を更新する必要がある。
- 長期宇宙滞在によって、筋シナジー（筋のグループ）が変化する。
- 筋シナジーが変化することで、帰還後、姿勢の安定性が低下する。

※授業後質問のある方は下記の共生e-mailへお願いします。

hagio.shota.3r@kyoto-u.ac.jp

4.1.11. 第 12 回宇宙医学講義スライド集

宇宙服

田中邦彦

岐阜医療科学大学
大学院保健医療学研究科
ktanaka@u-gifu-ms.ac.jp

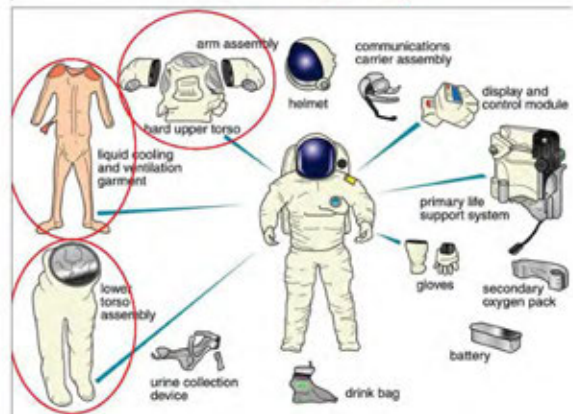


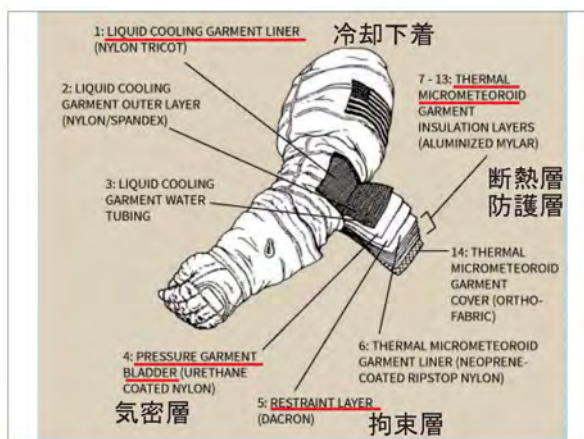
船外活動用宇宙服
= Extravehicular Activity Suit



アメリカ製
Extravehicular Mobility Unit

1. 宇宙服の構造
2. 減圧症の病態生理
3. 宇宙服メイドインジャパンを目指して

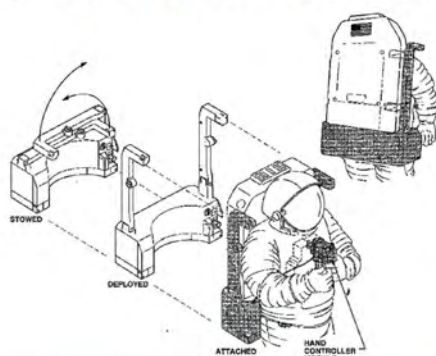




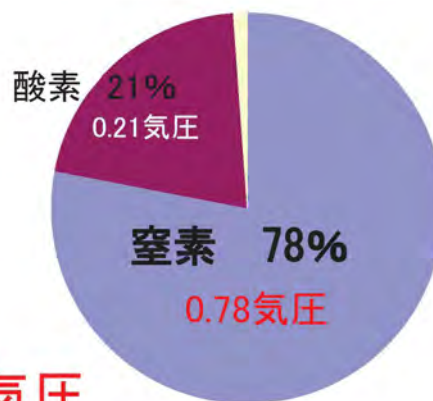
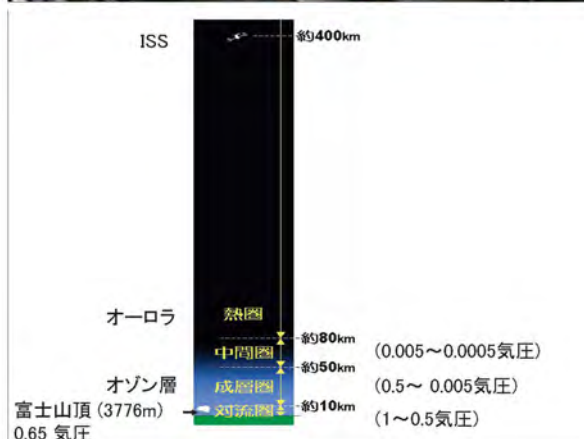
Simplified Aid for EVA Rescue : SAFER



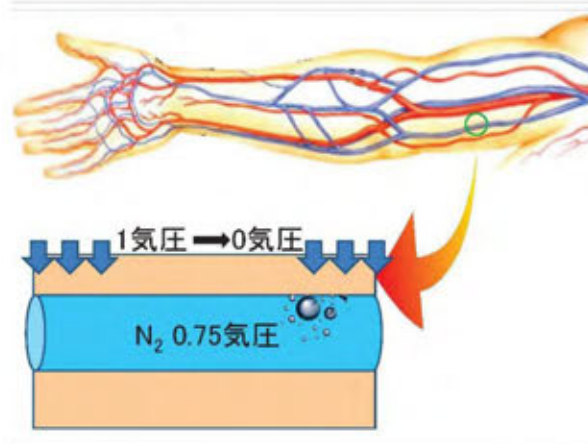
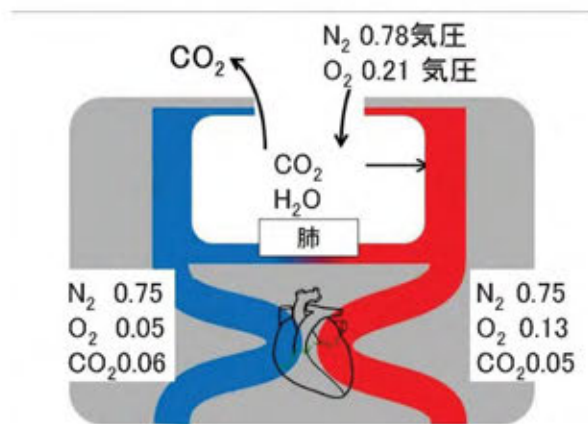
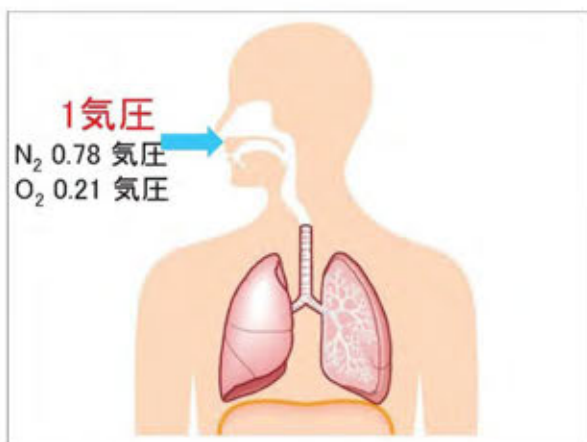
Simplified Aid for EVA Rescue : SAFER

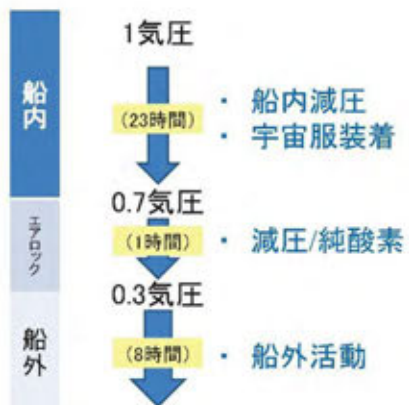


減圧症



1気圧





	高与圧	低与圧
減圧症リスク	低	高
可動性	低	高



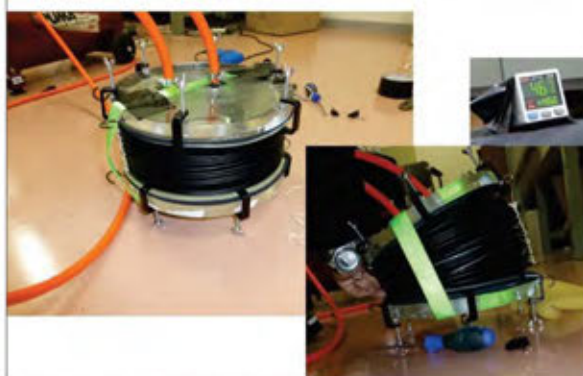
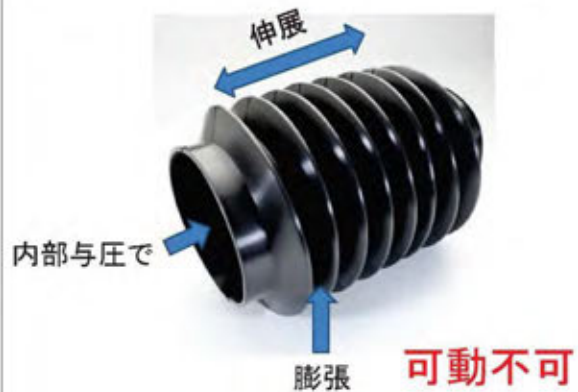
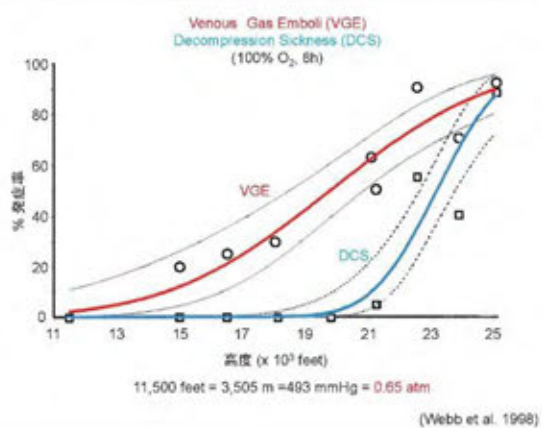
Hard Suit



AX-5

Mechanical Counter Pressure Suit 弾性与圧スーツ





- ・ (船外活動用)宇宙服は純酸素**0.3**気圧
- ・ 急激な気圧低下は**減圧症**を引き起こす
- ・ 呼吸には気圧が必要、でも活動には邪魔
- ・ **接触圧**でも気圧の代用可
- ・ 次世代の宇宙服**メイドインジャパン**は？



文部科学省 令和4年度宇宙航空科学技術推進委託費 採択課題

課題名	機関及び代表者名	終了予定年度
(1) 宇宙航空人材育成プログラム		
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	京都大学 寺田昌弘 (岐阜医療科学大学 田中邦彦)	令和8年度
(2) 宇宙航空脱炭素技術等創出プログラム		
CFRPの真空対応ケミカルリサイクルシステム	京都府立大学 宮藤久士	令和8年度
宇宙木材産業の創出をめざした宇宙材料としての木材利用の探究	京都大学 土井隆雄	令和8年度

(3) 宇宙探査基盤技術高度化プログラム

・
・
・



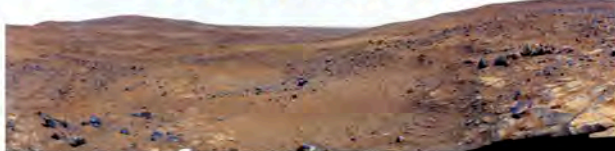
おつかれさまでした。

4.1.12. 第 14 回宇宙医学講義スライド集

「衰えない筋肉をつくる」ための骨格筋研究

河野 史倫

松本大学・大学院健康科学研究科



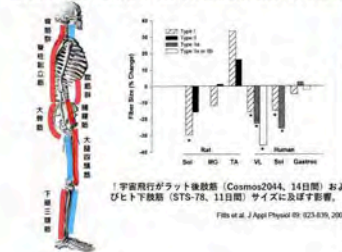
宇宙開発の展望と宇宙医学



宇宙滞在中の骨格筋変化と対処法

抗重力筋

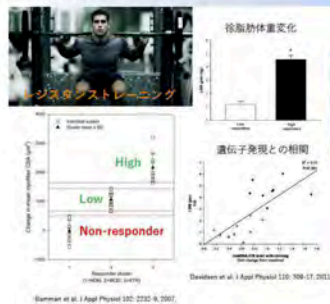
重力下において姿勢保持のために持続的に活動する骨格筋



宇宙滞在中の骨格筋変化と対処法



運動効果の個体差



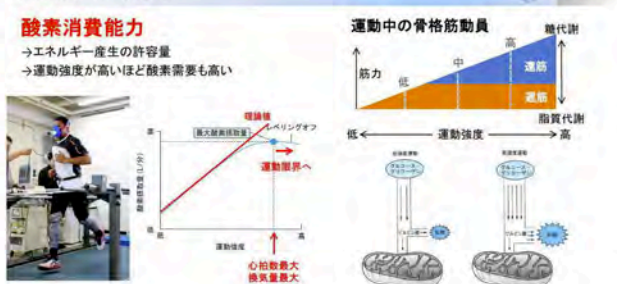
骨格筋の種類



骨格筋の種類



骨格筋と運動能力

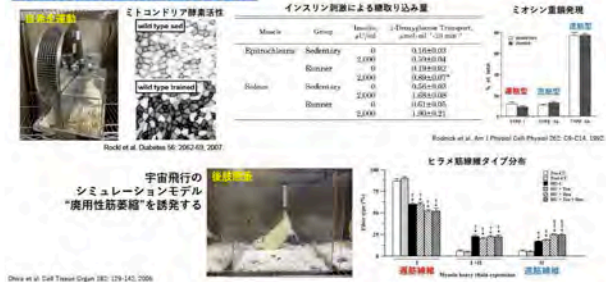


骨格筋の特徴と運動限界



骨格筋の“変わりにくさ”

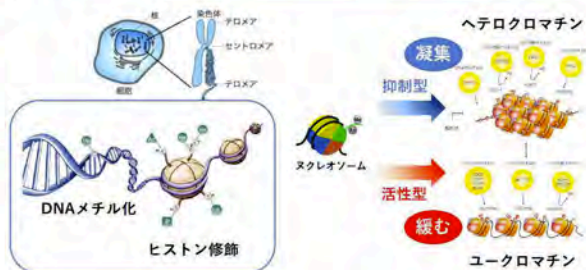
適応変化の限界を示唆する実験結果



骨格筋の種類

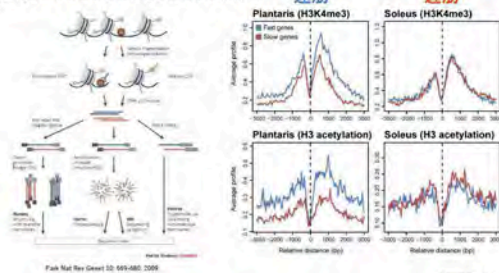


エピジェネティクス



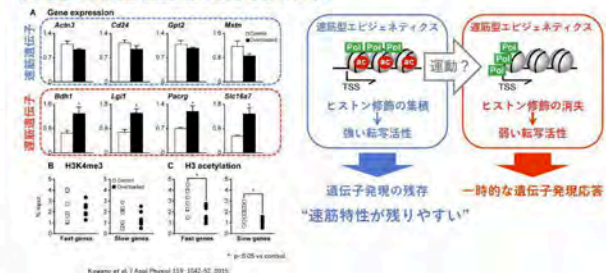
骨格筋に発生するエピジェネティクス

次世代シーケンシングによるクロマチン解析



エピジェネティクスによる骨格筋の制御

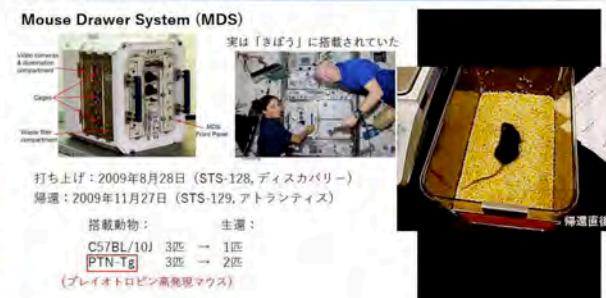
なぜ遅筋には完全な遅筋化が起こらないのか?



運動による“ヒストンターンオーバー”の発見と応用



マウスを用いた長期間の宇宙実験



国際的な共同研究チーム

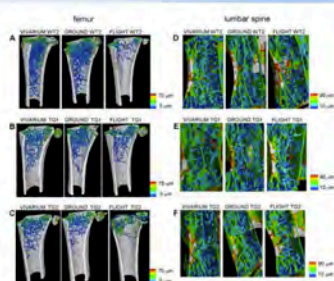
日本での地上実験実施



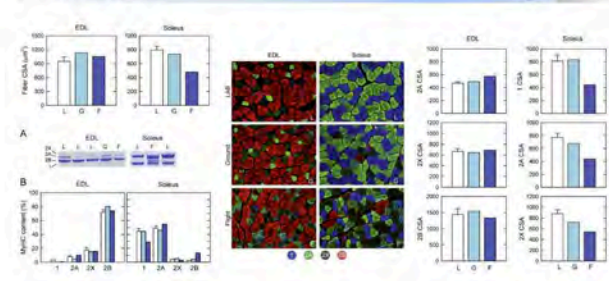
科学論文の発表



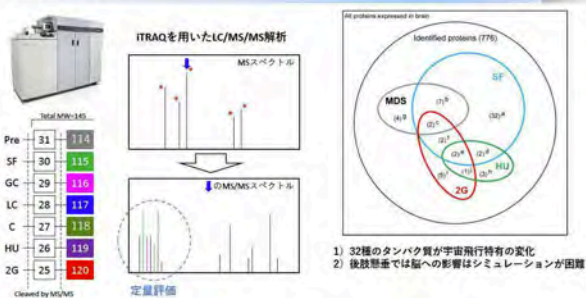
骨構造への影響



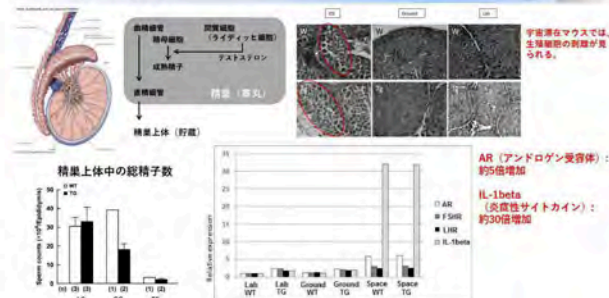
骨格筋への影響



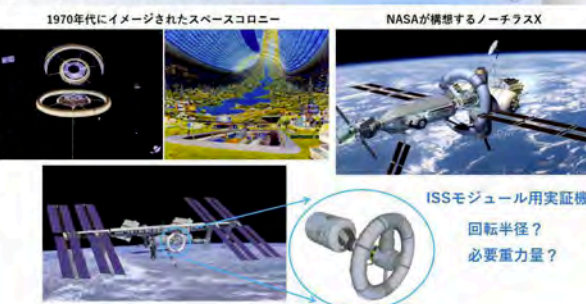
脳への影響



精子形成への影響



人工重力 (Artificial Gravity)

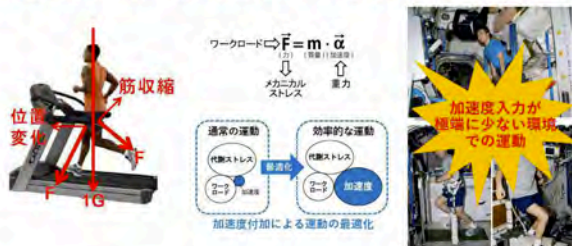


MDSを使用した過重力実験

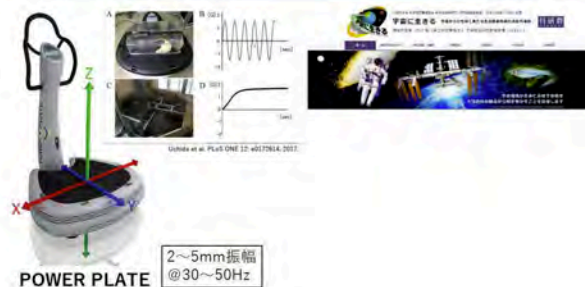


“加速度”という生理刺激パラメータ

仮説：運動効果の一部は“加速度”によって獲得されているのでは？

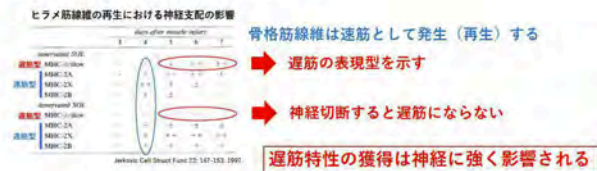


全身振動による加速度刺激

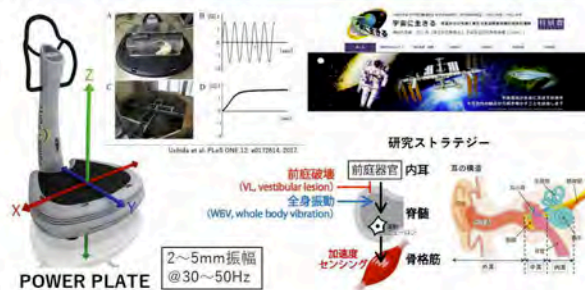


骨格筋の神経支配

運動しても完全な遅筋にはならないのに・・・
遅筋は発生的に遅筋になれるのは何故？



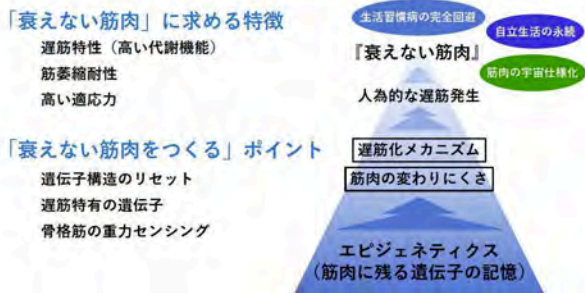
全身振動による加速度刺激



最適な運動



まとめ



Thank you
for
your attention.

