

4.1.7. 第7回宇宙医学講義スライド集



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学 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)の病気と外傷

日本整形外科学会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HP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)失調や無重力状態が原因となり得るもの

廃用性筋萎縮 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

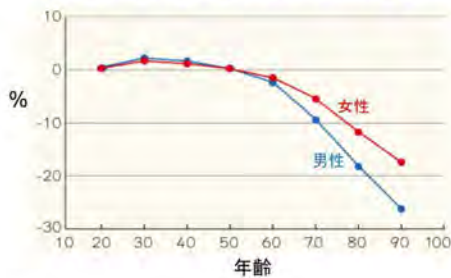
栄養に関連するサルコペニア 吸収不良、消化管疾患、および食欲不振を起こす薬剤使用などに伴う、摂取エネルギーおよび/またはタンパク質の摂取量不足に起因するもの

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。

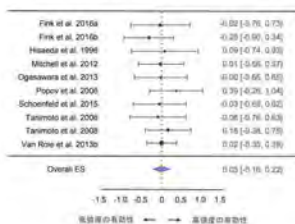


谷本芳美他:日本老年医学 2010 (47) 52-57. より改編

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, Jesse Grgic, Dan Ogborn, 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(高齢科学研究事業) 高齢研究報告書 後期高齢者の保健事業のあり方に関する研究

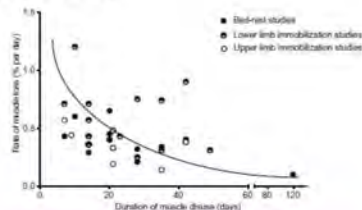


老年医学会誌より改編

12

廃用(臥床)が筋量に及ぼす影響

筋量減少率 (% per day)

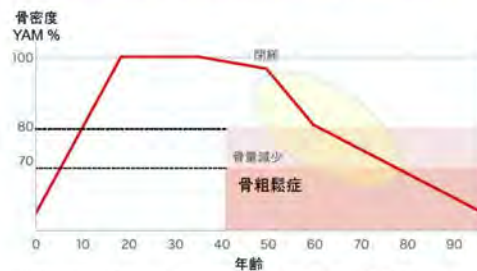


廃用早期の10日の筋萎縮は0.5~1%/day
1~2日の臥床で加齢の1年分の筋肉を失う

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。

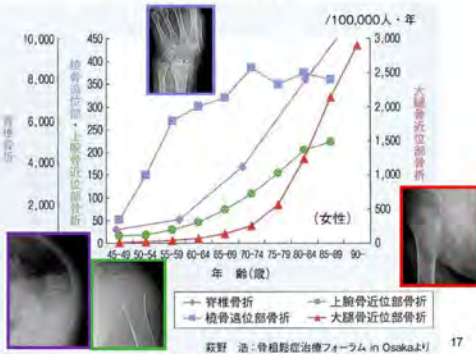


YAM: young adult mean 若年成人平均値、20-40歳健康成人骨密度を100%

WHO Technical report series 843, 1994 より改編

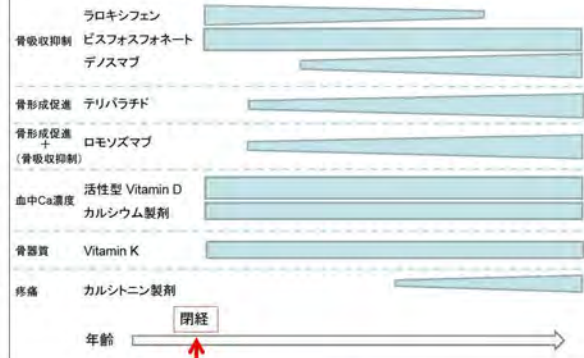
16

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

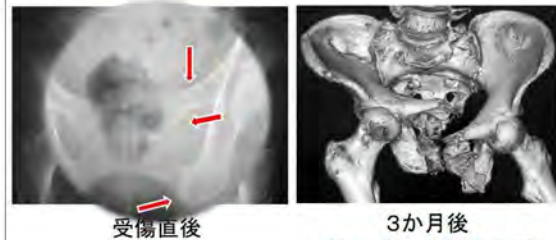


日本整形外科学会 骨粗鬆症委員会

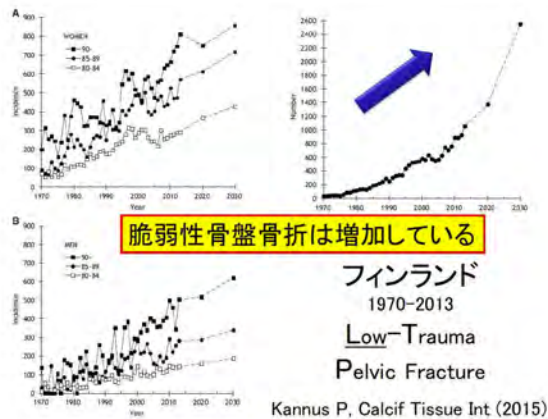
高齢者の骨盤骨折

脆弱性骨盤骨折

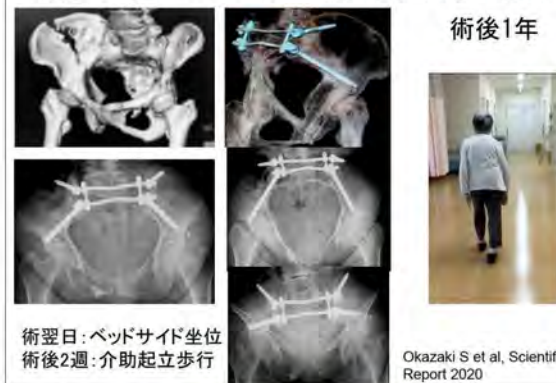
81歳 女性 転倒して左股関節部痛出現するも歩行可能。その後、歩行不能となる。



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

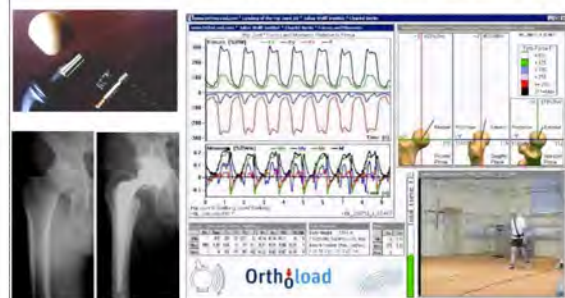
部位	120日間後の骨量変化(%)	120日間後の骨量変化率(%)	120日間後の骨量変化率(%)
腰椎	-5.8	-1.08%/月	-2.4
大腿骨 頭部	-3.6	-0.84%/月	-3.6
大転子部	-4.6	-0.92%/月	-3.4

臥床1か月で加齢1年分の骨を失う

LeBlanc et al. J. Bone Miner Res. 1990.

股関節荷重生体計測

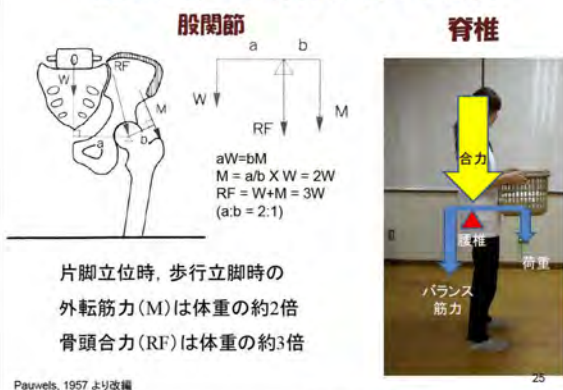
OrthoLoad <http://www.orthoload.com/>



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

24

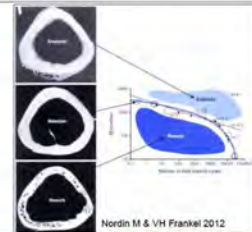
抗重力姿勢で身体に加わる負荷



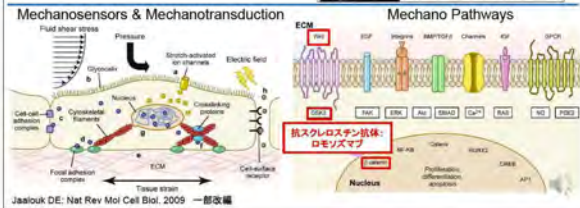
骨とメカニカルストレス

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



Nordin M & V.H. Frankel 2012



講義内容

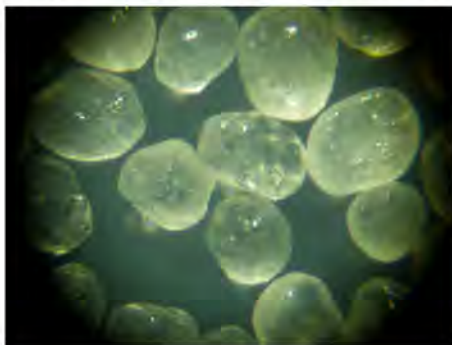
- 研究の背景
- 筋骨格系の廃用
(ロコモティブシンドローム、サルコペニア、フレイル)
- 宇宙医学研究
- 産学共同研究と装置の市販化
- 運動の全身効果について



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. 重篤な靱帯・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.

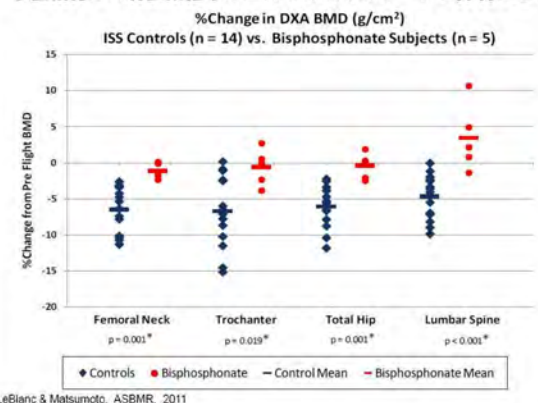
30

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

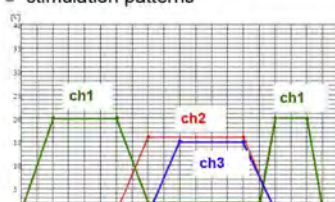


宇宙飛行士の骨密度低下はビスフォスフォネートで抑制できる



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
- stimulation patterns




装置作製:九州工業大学

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

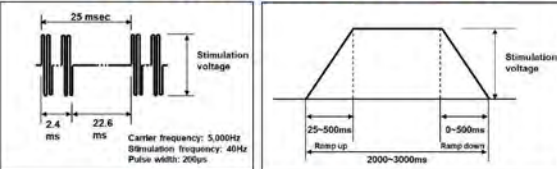
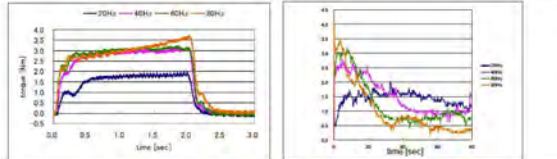
- 様々な動作で使用可能
- 筋トレ後の疲労感
- 動作困難などは起こらず

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小さい

志渡直人, 梅津祐一, Monthly Book of Medical Rehabilitation 2004

HTSのバリエーション



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

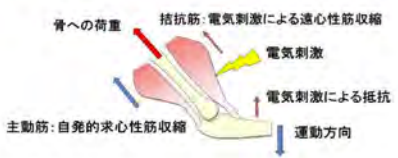
手関節
肘関節
肩関節
膝関節
足関節
自転車こぎ運動
歩行

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 @ISS)
- 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 (walk aged)
- 22 HTS (walk OA)
- 23 HTS (walk @Kansas)
- 24 HTS (cycle, 40% VO2max)
- 25 HTS (cycle, interval)
- 26 HTS (cycle aged)
- 27 HTS (cycle aged)
- 28 HTS (cycle Kidney)
- 29 HTS (thigh)
- 30 HTS (thigh aged)
- 31 HTS (thigh loco)
- 32 HTS (walk metabo)
- 33 HTS (walk Abdomen)
- 34 HTS (walk trunk)
- 35 HTS (jogging)
- 36 HTS (twist exercise)
- 37 HTS (walk abdomen)
- 38 HTS (jogging)
- 39 HTS (twist)
- 40 HTS (twist)

HTS>局所効果検証

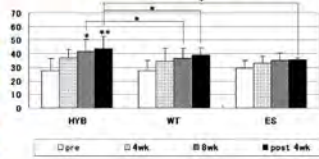
上肢実験: 長期肘屈伸実験

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

Matsumae H, Shiba H: Aviat Space Environ Med 2006.

HTS>効果>高齢者

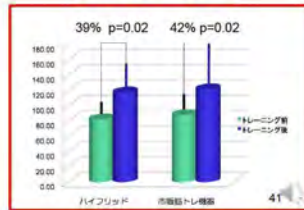
高齢者での週2回、3か月間 膝屈伸トレーニングの膝伸展筋力

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

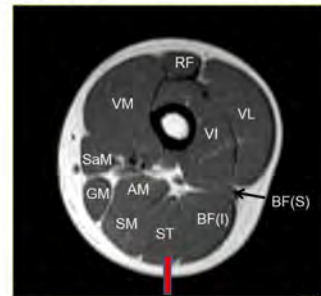


Takano Y, Shiba N: Tohoku J of Exp Med, 2010.

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semitendinous muscleを用いた



Matsugaki T: Kurume Medical Journal, 2011.

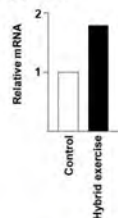
HTS>局所効果検証

筋生検

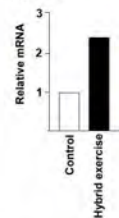
Expression of genes by real-time RT-PCR

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

(A) EIF5A



(B) PEX6



筋再生に關与する
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關与

PEX6: peroxisome biogenesis
筋損傷後の筋再生に強い關与

Matsugaki T: Kurume Medical Journal, 2011.

HTS + トレーニングスーツ+VR

2007年

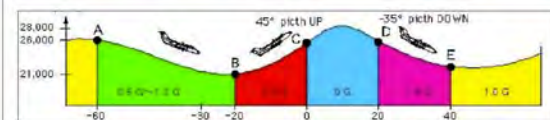
Jpn PAT No 5122188, 4840926
Korea Pat No 10-113387
China PAT No 200880022005.7
EU PAT No 2165733

by 吉光一浩, M.D., Ph.D.



HTS>動作検証>下肢>無重力実験

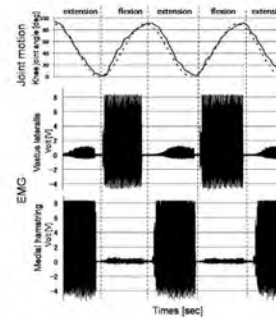
航空機を用いた無重力実験パラボリックフライト 2007.11.19 ~ 28



Yoshimitsu K, TJEM, 2010.

Results of parabolic flight μG

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



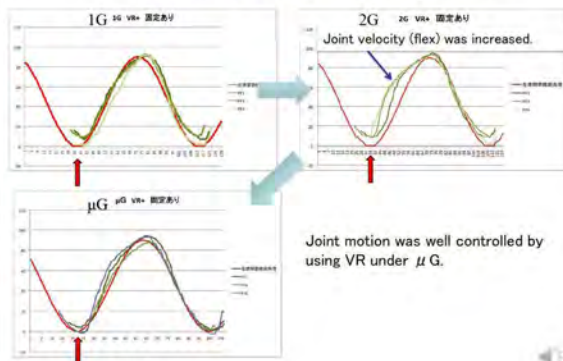
- Hybrid exercise was able to be performed in micro gravity.
- EMG data showed reciprocal stimulation on the quadriceps during knee flexion as the resistance of voluntary contraction of the hamstring, and activity of quadriceps during knee extension.



Yoshimitsu K, TJEM, 2010.

Results

comparison among varied Gs



Joint motion was well controlled by
using VR under μG .

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

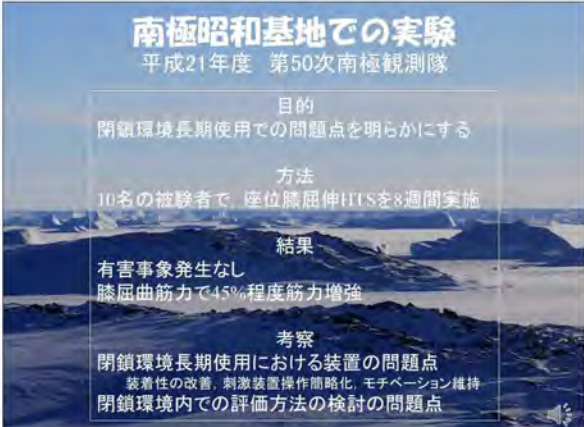
平成21年度 第50次南極観測隊

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、座位屈伸HTSを8週間実施

結果
有害事象発生なし
膝屈筋力で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, 1 set: 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

トレーニング器具



評価測定器具

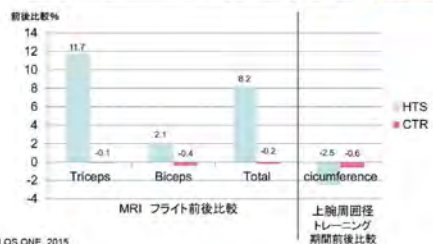


画像提供: JAXA

HTS>ISS実験

結果 MRIによる上腕筋容量（地上）と上腕周径（軌道上）

	S1-3	HTS		CTR		HTS	CTR
		Pre	Post	Pre	Post	Post/Pre (%)	Post/Pre (%)
Ground Based Evaluation	Triceps muscle (mm3)	60504	67559	64599	64520	111.7	99.9
	Biceps muscle (mm3)	34320	35034	37829	37677	102.1	99.6
	Total (mm3)	94824	102594	102428	102197	108.2	99.8
Inflight Evaluation	Circumference of arm (cm)	31.5	30.7	31.4	31.2	97.5	99.4



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」



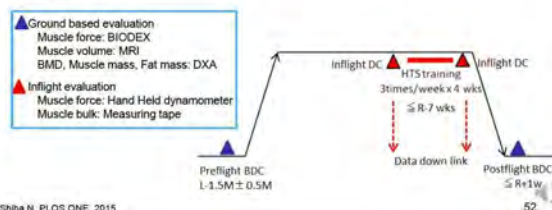
Courtesy NASA, JAXA

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

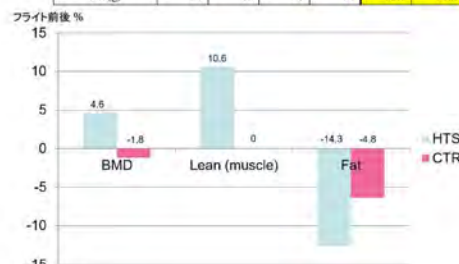
Shiba N. PLOS ONE. 2015

54

HTS>ISS実験

結果 DXA フライト前後

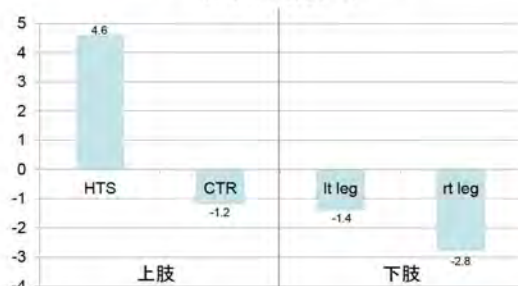
	HTS		CTR		HTS	CTR
	Pre	Post	Pre	Post	Post/Pre (%)	Post/Pre (%)
BMD (g/cm2)	0.786	0.822	0.848	0.833	104.6	98.2
Lean (muscle) (g)	2979	3294	3087	3087	110.6	100.0
Fat (g)	21	18	21	20	85.7	95.2



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, JSF: 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応用予防効果検証

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などとのデータ共用

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て長期間実施
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



2013.9.8-12, 2014.5.24 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。

PLOS ONE

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



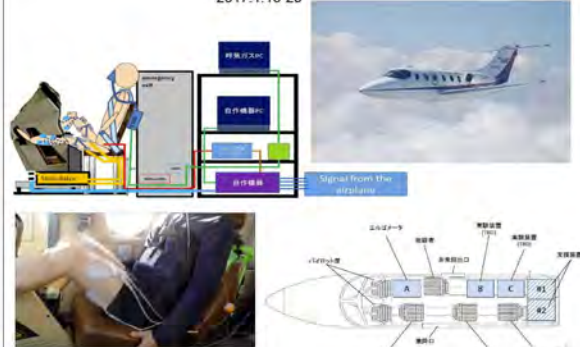
HTS 特許取得日
2000.1.28

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

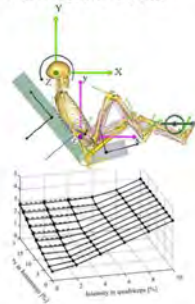
HTS>効果>エルゴ実験>無重力実験

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



側臥位HTSエルゴ駆動実験



大本邦之:宇宙航空環境医学, 2019

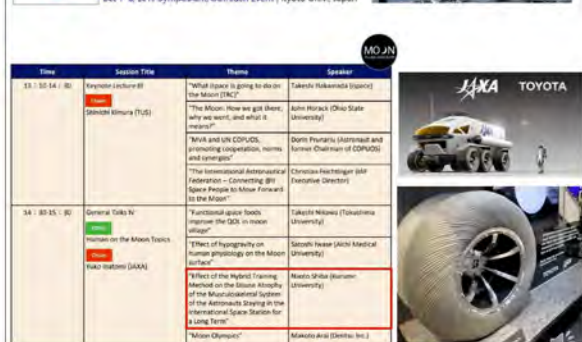
田川義彦:宇宙航空環境医学, 2017
2018年度最優秀論文賞

71



The 3rd International Moon Village Workshop & Symposium

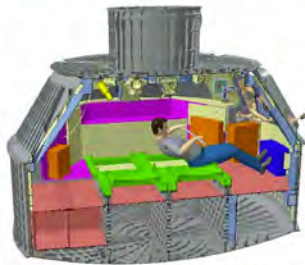
Dec. 5-8, 2019
Dec. 5-6, 2019 Workshop (Tokyo Univ. of Sci. & Keio Univ., Japan)
Dec. 7-8, 2019 Symposium/Outreach Event (Kyoto Univ., Japan)



火星探査機 ORION で使用されるトレーニング装置

Rowing machine by NASA
Resistive Overload Combined with Kinetic Yo-Yo (ROCKY)

HTSとの併用により、より効果的・効率的なトレーニングが可能



Courtesy / NASA

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



装置の市販化 Panasonic社

Panasonic
久留米大学
産学共同研究



2015.8.21 release
Ca 10,000 units marketed



PLOS ONE | DOI:10.1371/journal.pone.0134736 August 21, 2015

Panasonicとの共同研究 歩行で使用できるHTS



電気刺激のタイミング: 大腿四頭筋群: 踵接地する直前から刺激を開始し、踵離地まで。
ハムストリングス: 踵離地から刺激を開始し、踵接地まで。

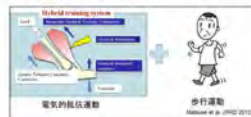


高齢者の変形性膝関節症への効果

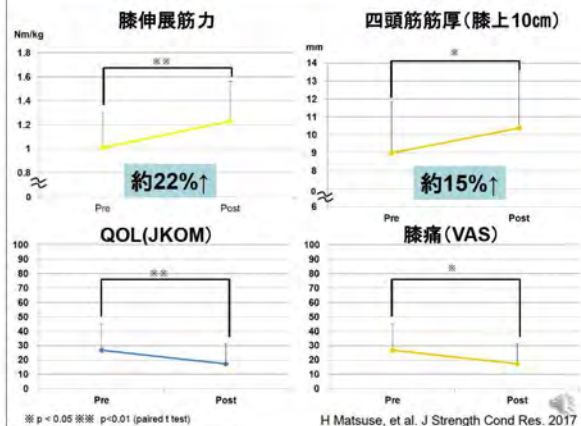
対象: 変形性膝関節症患者11名(女性10名, 男性1名), 平均年齢72.6±8.2歳
独歩可能, 筋力や運動能力に影響する神経筋疾患の既往なし
現在通院加療中の運動器疾患なし (KL1から3)

運動: 30分間歩行, 週3回, 12週間

評価: 等速性膝伸筋力(角速度60度)
大腿直筋筋厚(膝上10cm, 15cm)
10m歩行時間(最大)(10m)
6分間歩行距離
Timed up & go test (TUG)
開眼片脚起立時間
ファンクショナルリーチテスト
QOL評価(ロコモ25, JKOM)
膝痛(visual analog scale, VAS)



H Matsuse, et al. J Strength Cond Res. 2017



産学共同研究 2015年8月市販開始 2018年2月改良型



いつもの散歩で楽々なくひざトレ。
ひざトレナー、誕生。

EU-JS 09105



Panasonic



読書やテレビを楽しみながら
座った姿勢でトレーニングできる

椅子に座って使うコースです。
読書やテレビを見ながらのトレーニング
が可能です。立って使う場合よりもラクに
トレーニングできるので、運動に慣れてい
ない方にも適しています。



たとえばこんな
"ながら"
シチュエーション



79

下肢用HTS装置市販化 「ひざトレナー」



2015.6.12 テレビ東京「ワールドビジネスサテライト」トレンドたまご

80

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。



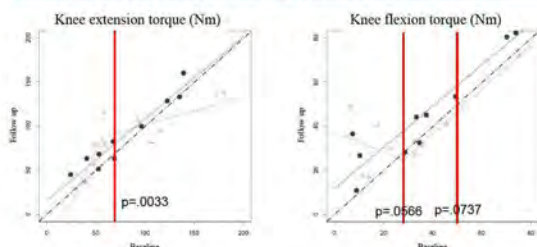
方法



- 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・屈曲筋力(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



● HTSW group; △ control group; solid line, relation of the HTSW group based on the regression model.
dashed line, relation of the control group based on the regression model.

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

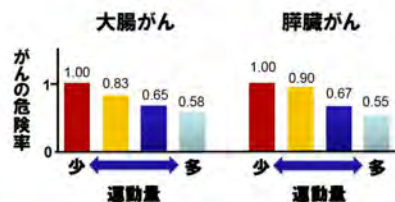
Hiroo Matsuse, MD, PhD, Associate Professor, Div of Rehab Kurume University Hospital

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.

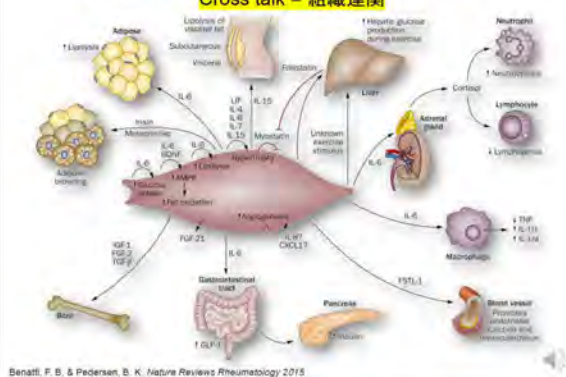
日本人のためのがん予防法

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分程の早歩きや30分程のランニングなど)**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



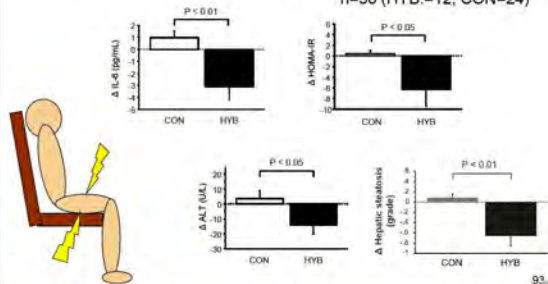
Benatti, F. B. & Pedersen, B. K. *Nature Reviews Rheumatology* 2015

HTS>効果>メタボ

メタボリックシンドローム(NAFD)への応用

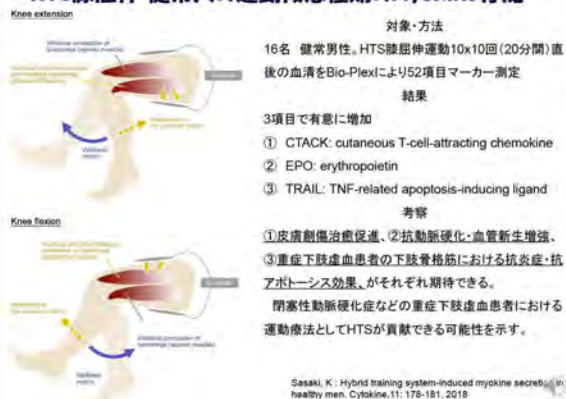
週2回 12週間の膝屈伸トレーニング

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



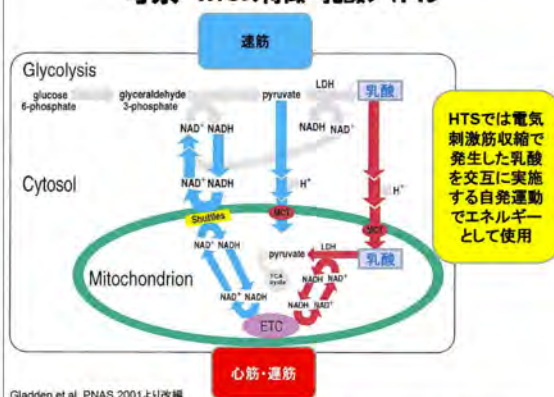
マイオカイン オリジナル文献

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。

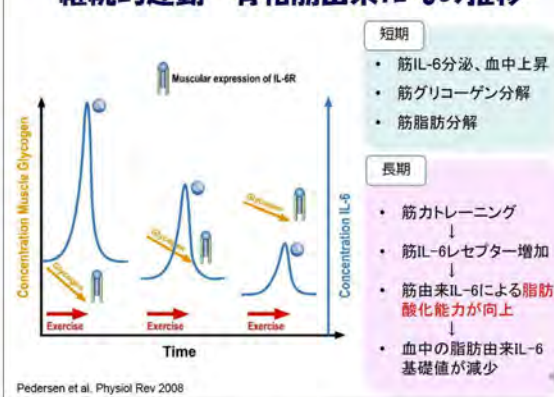


考察 HTSの特徴 乳酸シャトル



Gladden et al. PNAS 2001より改題

継続的運動 骨格筋由来IL-6の推移

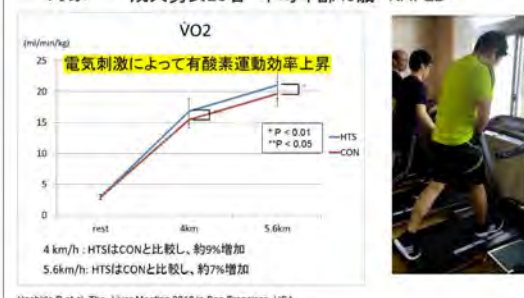


HTS>効果>歩行実験>トレッドミル実験

トレッドミルでのHTS歩行

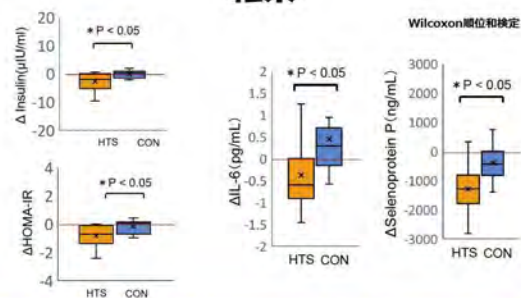
訓練内容 30分間の歩行訓練(時速4.8km/時)を、3回/週、6週間
※全て監視下でリハビリテーション室で行い、毎日、食事、体重管理を日誌にて管理

対象 成人男女20名 平均年齢45歳 NAFD



HTS>効果>歩行実験>トレッドミル実験

結果



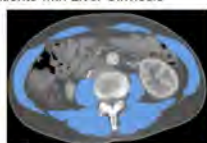
メタボ患者 6週間HTS歩行で、インスリン抵抗性、IL-6、Selenoprotein P改善

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	-1.889424-1.7978657	0.9599
Cathepsin B	0.0151027	-0.068423-0.0986281	0.7148
Myostatin	-0.000696	-0.001615-0.0002227	0.1325
Irisin	-0.081161	-0.396381-0.2360594	0.6055
Decorin	0.0010772	8.4233e-6-0.002146	0.6483

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



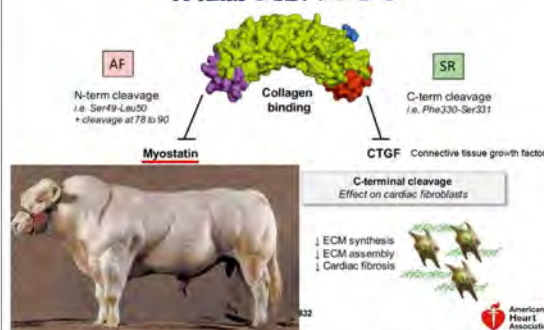
Selenoprotein Pは受容体LRP1を介して運動抵抗性を誘発する



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: 佐野美佳 (博士), 柳東次郎 (博士・非常勤講師), 梅津祐一 (元准教授), 岩崎健策, 松瀬博夫 (博士・講師), 名護健 (博士・講師), 若光一治 (博士), 松野亨 (博士・講師), 大木将之 (博士), 橋田竜騎 (博士), 戸次将史 (博士・大学院), 原光司 (博士・大学院), 若永杜平 (博士・大学院), 田川善彦 (工学博士・客員教授), 山本直輔 (工学助教)

他教員: 川口巧 (消化器内科・講師), 桑野剛一 (歯学部・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: 田嶋久美, 前田貴司 (修士), 今石善成 (修士), 岩佐聖彦, 中島龍博, 広田桂介 (修士・博士学生), 成田新 (修士), 五嶋佳子 (修士・博士), 高野吉朗 (修士・博士), 佐藤孝二 (修士・博士), 早倉義治 (修士・博士), 羽田圭史 (修士), 佐々木健二 (修士), 神川達郎 (修士), 政所和也 (修士・博士), 本山浩司 (修士), 合田大地 (修士), 山本千晶, 風川由貴, 天本美奈子, 神谷俊次 (修士・博士・大学院), 渡田裕也 (修士・博士・大学院), 福島竜也, 天本亮, 岸本達也 (修士), 小池秀和 (修士), 谷口清紀 (修士), 山添貴弘, 緒方悠太 (修士・大学院), 工藤芽衣

作業療法士: 岩佐聖彦 (修士), 山口仁美 (修士), 長橋子, 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

JSF, 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

4.1.8. 第9回宇宙医学講義スライド集

2020.11.4 (水) 京都大学
有人宇宙医学講義 (Web)

宇宙酔い

ヒトの平衡バランス機能と重力変化

野村泰之
日本大学 医学部 耳鼻咽喉・頭頸部外科学分野



OCI: 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科




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



地球の歩き方



地球の歩き方




NASAジョンソン宇宙センター



野口総一 宇宙飛行士

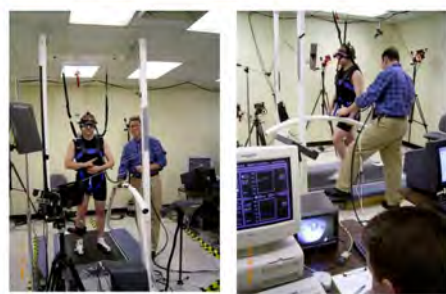


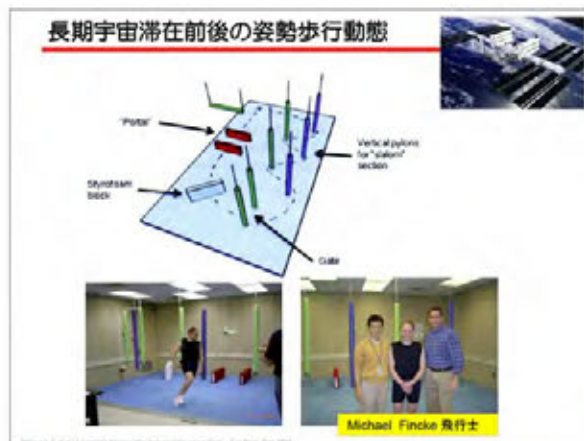
3 回目飛行へ参見
野口さん 50代に夢を

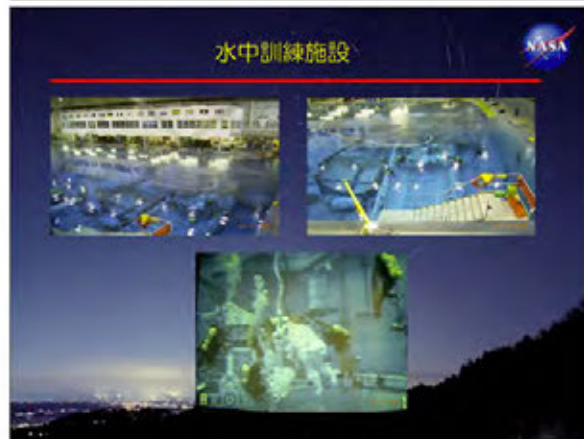


© JAXA、産経新聞

宇宙飛行士たちの平衡バランス失調対策







内耳の前庭平衡器 = 三半規管・耳石器



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

ノーベル賞：本庶先生



耳鼻科医はこれまで2名

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)

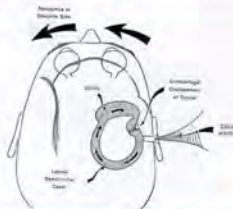
ウィーン大学に勤務
耳垢洗浄中に眼振に気付いた



Figures. Illustration from Barany's 1907 book showing his hydrostatic test (a) Caloric test (b) method for infusing the water; and (c) inflatable rubber bag for injecting the water.

Barany R et al. Hestenberg 67: 1009-1019, 1907

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

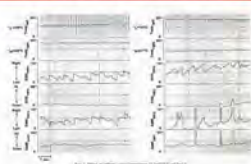


1915年 ノーベル
医学生理学賞

H.F. Schuknecht: Pathology of the Ear p136

が、しかし！

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！

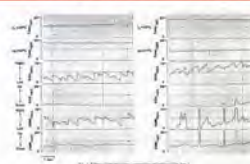


1980年代ESAスペースシャトル内での
カロリックテストで眼振が記録された

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？

Stenborg et al. J. of Science 255: 209-215, 1984

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 ⇒ 新事実説明

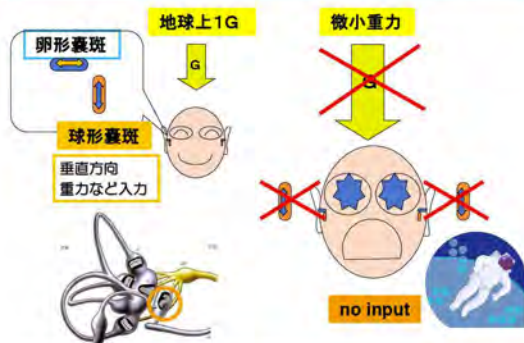
Stenborg et al. J. of Science 255: 209-215, 1984

重力を受容する内耳

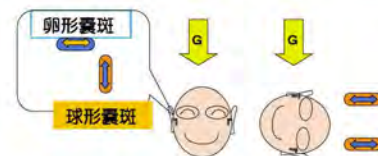
三半規管（前・水平・後半規管）と耳石器（球形嚢と卵形嚢）



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



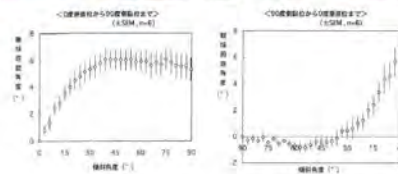
重力方向の変換に対して内耳前庭系は適応するのか？

地上研究としての「傾斜実験」や「ベッドレスト」

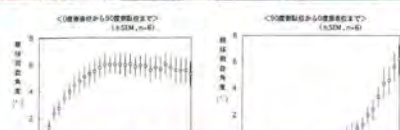
地上での模擬微小重力研究 JAXA筑波宇宙センター 以前は「NASDA：宇宙開発事業団」



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



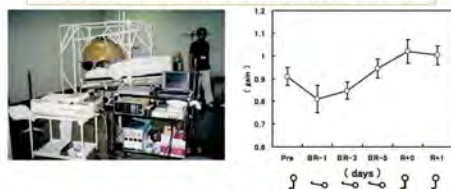
内耳への重力方向を変えた実験研究、
耳石器の話：ベッドレスト研究

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



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

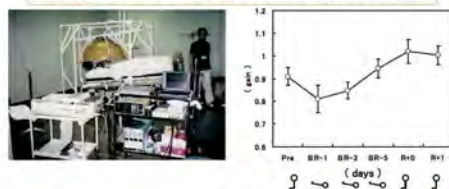
7日間ベッドレスト実験による視運動性眼振反射の計測



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



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. 空間適応失調
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





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邁進し始めている



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

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：

- 1G**

 - 地球上の1G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

月・火星の重力下を作る弾道飛行



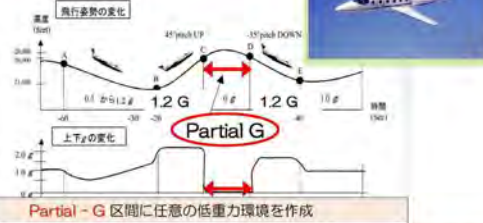
パラボリックフライト（弾道飛行）

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。



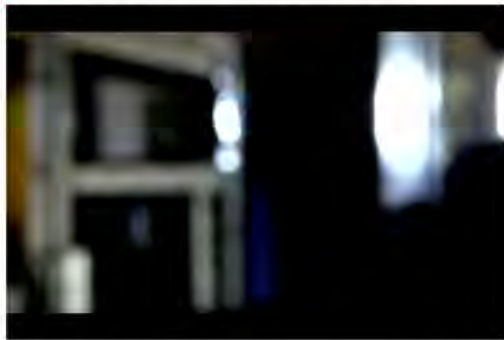
- ・小型機（MU-300）と中型機（G-2）があるが、作成できる無重力時間は同じ（約25秒間）。
- ・NASAではジャンボ機やエアバス機等大型機を用いているが約30秒間という条件は変わらない（物質の自由落下時間は同じなので）

飛行条件



過重力 ~ 1 G ~ 火星 0.38 G ~ 月 0.17 G ~ 微小重力 ~ 0 G

パラボリック・フライト（弾道飛行）実験



月・火星重力環境での前庭機能測定

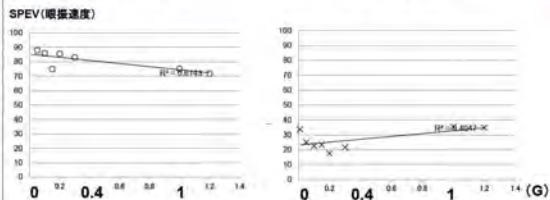
重力変化への球形囊反応を垂直視運動性眼振で測定



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

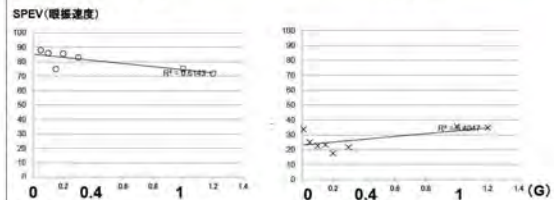


0.1 G 以下で身体が浮く ⇒ どこかに重力閾値がある？
⇒ 視運動性眼振の応答に閾値変化は認めず、相関していた。

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



重力入力が減弱すれば本来は耳石器入力低下 = 視運動性眼振低下が順当だが、逆の異常亢進は感覚混乱や酔いににつながる？
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. 空間識失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、掃達症候群
7. 地上医学へのスピノフ



重力下での空間識失調

（過重力・加速度刺激と適応障害）



図解：座席方向をY軸、左右方向をX軸、前後方向をZ軸とする
（航空医学実験室と航空医学研究所）
Fig. 1 加速度 (G) の影響

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）

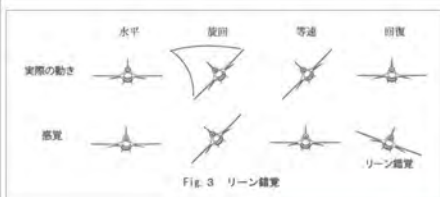


Fig. 3 リーン錯覚



Fig. 4 体重力錯覚



Fig. 1 空間識失調



Fig. 2 水平線誤認



Fig. 5 コリオリ錯覚



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



JAXA バーチャルシミュレーション



ヒトはどこで重力を受容するか？

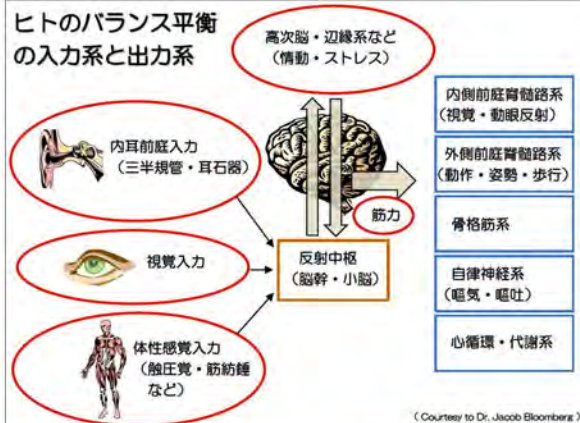


ヒトはどこでバランスを保つか？

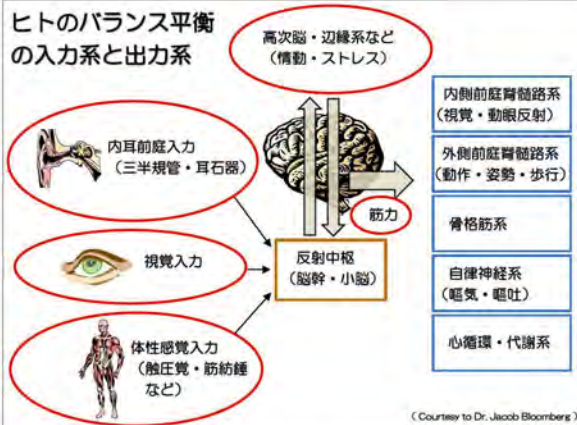
1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間認知失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



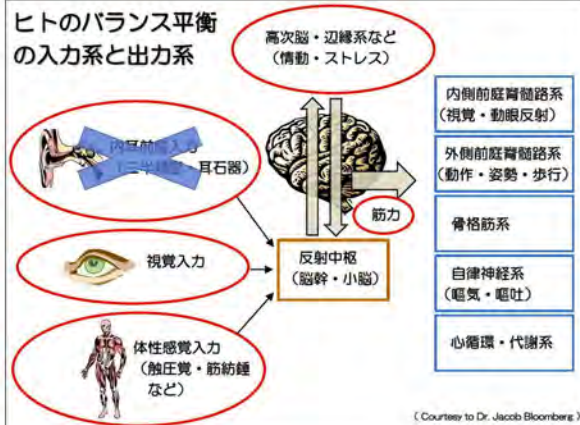
ヒトのバランス平衡の入力系と出力系



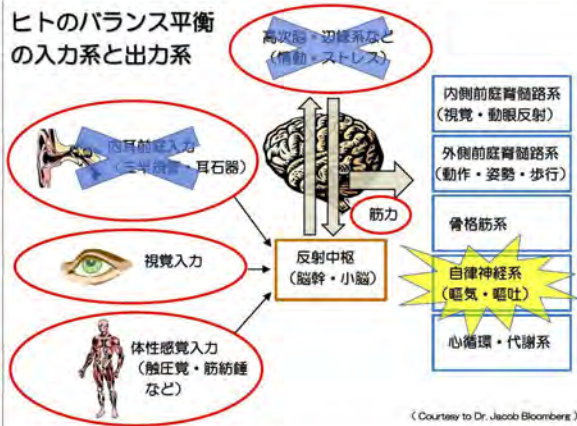
ヒトのバランス平衡の入力系と出力系



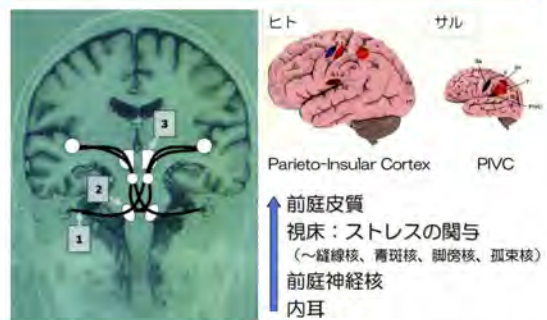
ヒトのバランス平衡の入力系と出力系



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



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

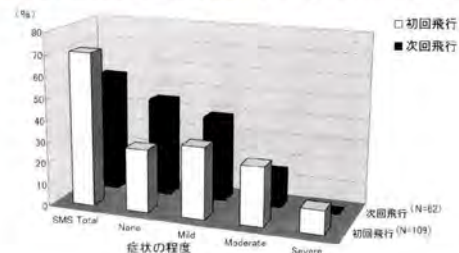


宇宙酔いの特徴・その1「初回罹患率が高い！」

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%



(5月21日、1983)

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！



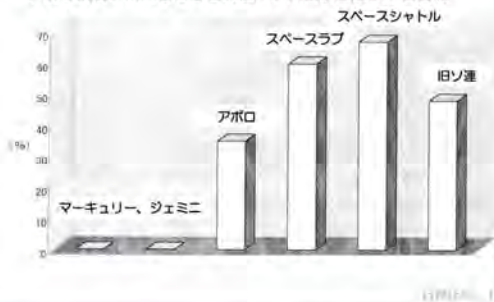
主観的に。宇宙酔いしました。特に頭を急に動かすとウゲー、気持ち悪くて吐き気がする。頭の芯も重い。何とかしてください。

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・ポストーク2号）

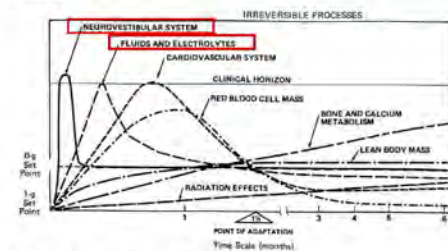
アメリカはアポロ3号から発症：アポロ計画全体で35%



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。



1 G ⇒ 0 G (微小重力環境曝露時)

宇宙酔いの特徴・その2「宇宙滞在初期に発症！」

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く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。

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1G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、耳石器諸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。



微小重力環境への対応策

Williams D. et al. CMAJ 2009.

宇宙酔い、前庭機能低下への対応策

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

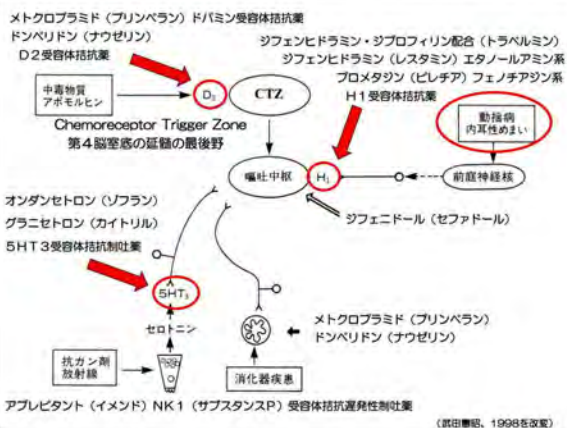
宇宙滞在中

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
(脳血液関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

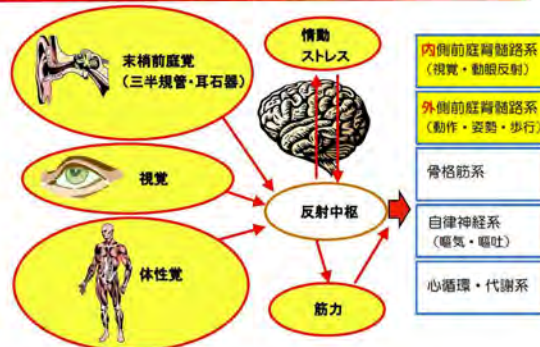
カテコラミン遊離薬：カテコラミン神経系

本邦の乗り物酔い止め市販薬（合剤が多い）

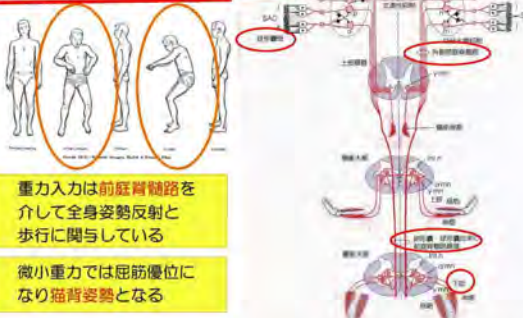
センバア各種	適応：3歳～成人 剤型：錠、液、速溶錠、チュアブル錠など 成分：塩酸メクリジン、臭化水素酸スコポラミン、マレイン酸クロロフェニラミンなどの組み合わせによる
トラベルミン各種	適応：5歳～成人 剤型：錠、液など 成分：塩酸ジフェニドール、サリチル酸ジフェンヒドラミン、サリチル酸メクリジン、臭化水素酸スコポラミン、マレイン酸クロロフェニラミン、無水カフェイン、ジプロフィリン、塩酸ピリドキシンなどの組み合わせによる
こどもクールスカイ	適応：3～14歳 剤型：液 成分：マレイン酸クロロフェニラミン、臭化水素酸スコポラミン、無水カフェイン
トリブラソフト	適応：7歳以上 剤型：錠 成分：塩酸ジフェンヒドラミン、無水カフェイン
トリブラサイム	適応：15歳以上 剤型：錠 成分：プロモバルレリル塩基、マレイン酸クロロフェニラミン
ノイロンムーン	適応：7歳以上 剤型：錠 成分：プロモバルレリル塩基、マレイン酸クロロフェニラミン

(野村孝之, 2016)

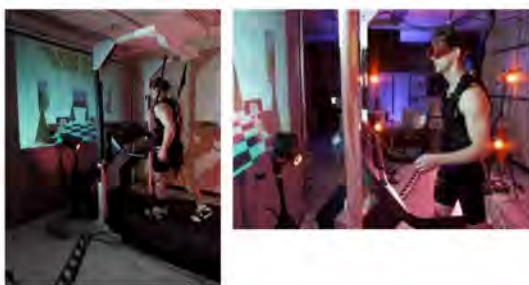
内耳前庭は姿勢・歩行もつかさどる



微小重力では全身の姿勢等にも変化



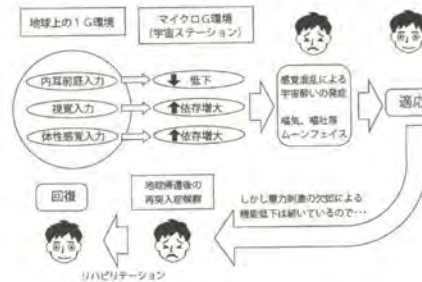
NASAでのVR、免荷を用いた宇宙酔い対策



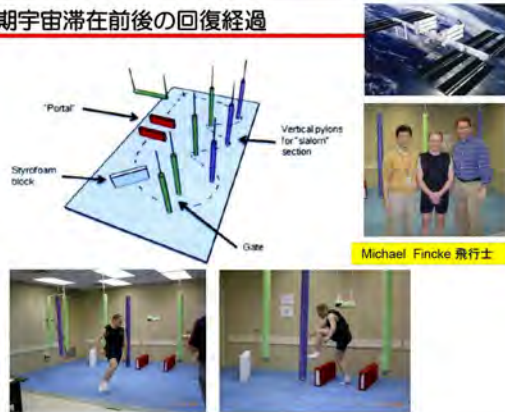
帰還後（再突入、再適応）症候群



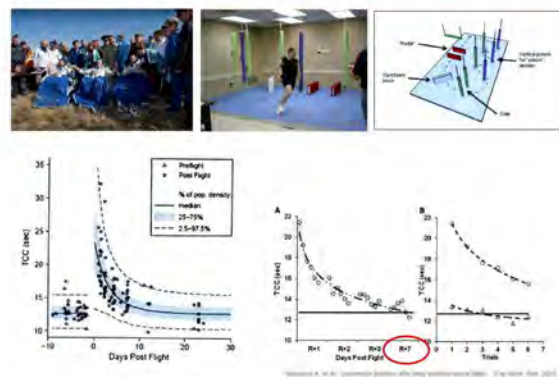
帰還後（再突入、再適応）症候群



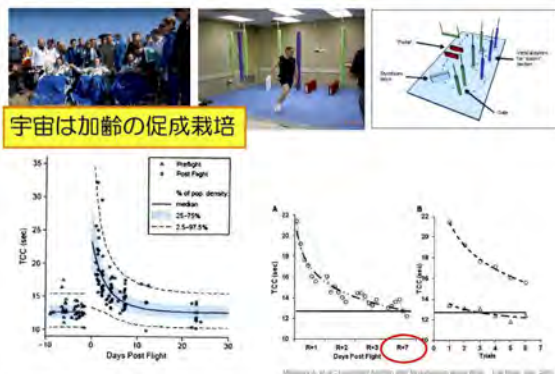
長期宇宙滞在前後の回復経過



長期宇宙滞在前後の回復経過



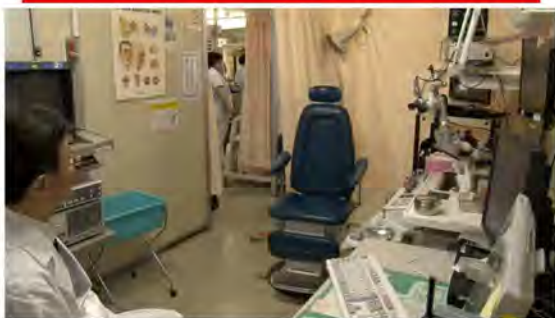
長期宇宙滞在前後の回復経過



おわりに：

では、宇宙医学をどう地上医学に活かすか？
スピノフの話：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



患者さんの承諾を得て撮影、公開しています

高齢者のめまいバランス障害
(加齢性平衡障害)

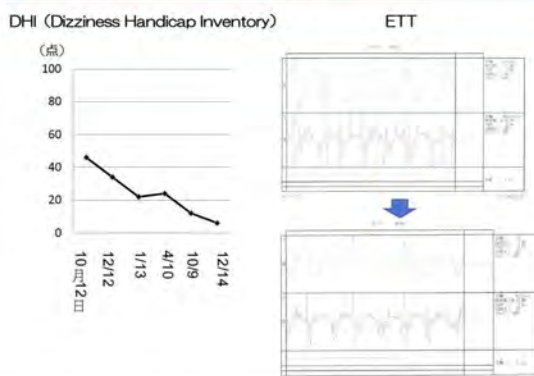


進行増悪するだけのこの病態に
前庭脊髄路から介入できないか？

頸部3方向による内耳（内側前庭神経路）の運動療法



症例：74歳女性、加齢性平衡障害

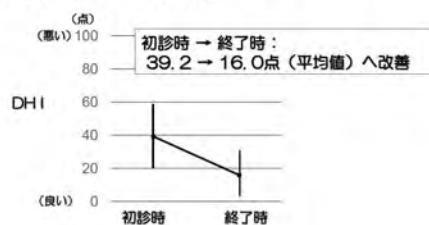


静的運動による外側前庭神経路の運動療法

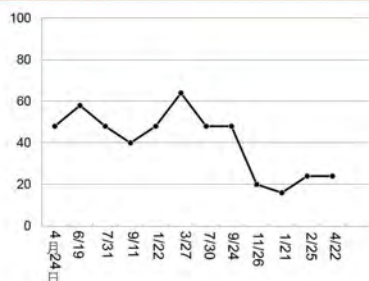
ウトゥカターサナ（ヨガの「椅子のポーズ」） ：下肢筋力、感覚入力



- ・内訳：男2例、女9例 平均年齢73.1歳
- ・検討期間：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認めた



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 現在90歳を越えました



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」



お姫様だっこ、は誰にも快適

ご清聴ありがとうございました



4.1.9. 第 10 回宇宙医学講義スライド集

宇宙医学に基づいた 宇宙服開発

田中邦彦

岐阜医療科学大学
大学院保健医療学研究科

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

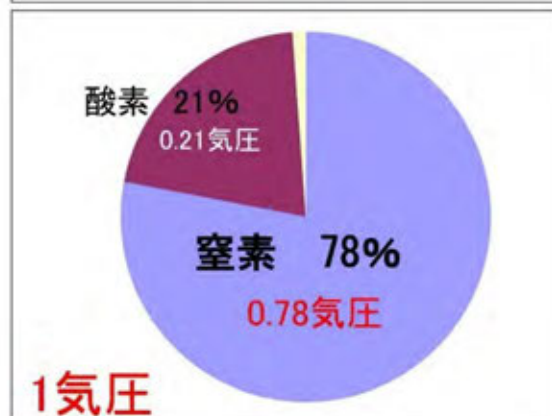
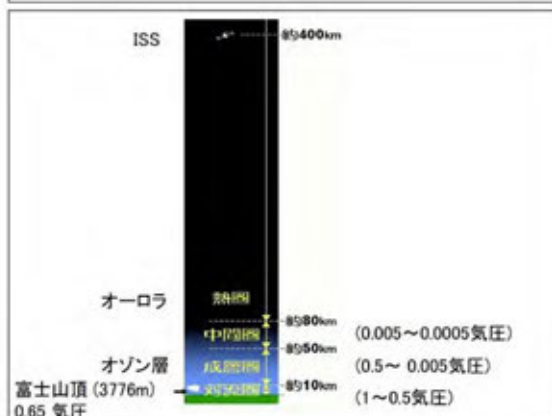


船外活動用宇宙服
= Extravehicular Activity Suit

アメリカ製
Extravehicular Mobility Unit

冷却下着
気密層
拘束層
断熱層
防護層

減圧症

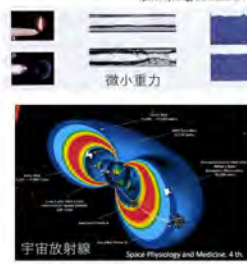


宇宙環境の特徴：閉鎖空間



- ISSなどの宇宙環境は、地上と隔絶されている。
- 事故や障害のリスク、対人関係などのストレスが非常に高まる。
- 閉鎖環境における微生物汚染・感染症の問題もある。

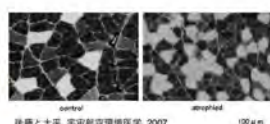
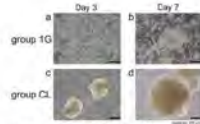
宇宙で生命科学研究する意義



- ・ 宇宙空間は物理的・心理的に大きく地上と異なる環境にある。
- ・ 宇宙に滞在している宇宙飛行士の健康管理のために、基礎的知見となる基礎医学研究が必要。
- ・ 宇宙空間へのアクセスが非常にハードルが高く、研究の絶対的な数が少ないため未知の部分が多い。
→ **新天地を開拓したい人々に向いた領域**である。

宇宙医学を社会に還元する

- ・現在の宇宙医学は、宇宙飛行士の健康管理・作業環境管理を主眼に置いている。
- ・現実的には**宇宙に滞在可能な人が宇宙飛行士のみに限られている**ため、宇宙医学は地上で生きる（大勢の）人々に直接には役立たず、産業への波及効果も小さい。
- ・微小重力で起こる現象や生理変化を、再生医療へ応用したり、老化管理と比較し介入することで社会への貢献が試みられている。



例1：
地上よりも微小重力環境で胚性幹細胞が効率よく細胞塊を形成できることに注目し、人工臓器形成法を開発することで再生医療に役立たせる。

例2：
宇宙滞在による微小重力環境への曝露と、加齢による骨格筋の廃用性萎縮[サルコペニア]の類似性に注目し、宇宙での筋萎縮分子メカニズムを検討して**サルコペニア防止**に役立たせる。

なぜ今、宇宙医学の推進が必要か



現在の日本の宇宙政策



技を盡して
在る位に
滞大にら
人が自ける
有術増付い

宇宙産業の歴史

	宇宙開発の主たる潮流	世界各國の動き	世界産業界の動き	日本の動き
宇宙科学の宇宙開発研究	NASAの宇宙開発研究 ・メッセンジャー探査機(1998) ・カッセル(1994) ・ランドサット計画(1972) ・スカイラック計画(1975) ・GSP計画(1973)	欧：社会インフラとしての開発 ・ESAのESRO設立(1962) ・ESA設立(1975) ・ESA計画打ち上げ(1979)	欧：地域産業の創生 ・イギリスロケット計画(1964) ・ユネーブル計画(1977)	宇宙開発体制構築 ・日本ロケット開発(1960) ・宇宙開発事業団(1969) ・東京大学宇宙研究所設立(1964) ・NASA設立(1969)
宇宙利用の国際プロジェクト	欧：商業化の推進 ・スペースシャトル打ち上げ(1981) ・国際宇宙ステーション計画発表(1984) ・米露スペースシャトルとロシア・ソユーズ共同打ち上げ・ミール計画(1991)	欧：商業化の推進 ・ESAスペースバス設立(1982) ・ESA計画打ち上げ(1982) ・ESA設立(1985)	巨大企業グループの躍進 ・ボーイング・マーチン・マリエッタ(1995) ・ボーイングとワズダール・ダグラス合併(1997) ・IADS設立(2000)	ロシア・産業界の躍進と有人宇宙 ・ソユーズ打ち上げ(1979) ・ロシア計画(1981) ・米ソ打ち上げ(1981) ・宇宙計画(1992) ・ロシア計画(1994)
政府の商業化加速	欧：商業化の推進 ・ESAスペースバス打ち上げ(1981) ・ESA計画打ち上げ(1982) ・ESA設立(1985)	欧：商業化の推進 ・ESAスペースバス設立(1982) ・ESA計画打ち上げ(1982) ・ESA設立(1985)	巨大企業グループの躍進 ・ボーイング・マーチン・マリエッタ(1995) ・ボーイングとワズダール・ダグラス合併(1997) ・IADS設立(2000)	ロシア・産業界の躍進と有人宇宙 ・ソユーズ打ち上げ(1979) ・ロシア計画(1981) ・米ソ打ち上げ(1981) ・宇宙計画(1992) ・ロシア計画(1994)
新興国参加による多様化	欧：商業化の推進 ・ESAスペースバス打ち上げ(1981) ・ESA計画打ち上げ(1982) ・ESA設立(1985)	欧：商業化の推進 ・ESAスペースバス設立(1982) ・ESA計画打ち上げ(1982) ・ESA設立(1985)	巨大企業グループの躍進 ・ボーイング・マーチン・マリエッタ(1995) ・ボーイングとワズダール・ダグラス合併(1997) ・IADS設立(2000)	ロシア・産業界の躍進と有人宇宙 ・ソユーズ打ち上げ(1979) ・ロシア計画(1981) ・米ソ打ち上げ(1981) ・宇宙計画(1992) ・ロシア計画(1994)
政府の商業化加速	欧：商業化の推進 ・ESAスペースバス打ち上げ(1981) ・ESA計画打ち上げ(1982) ・ESA設立(1985)	欧：商業化の推進 ・ESAスペースバス設立(1982) ・ESA計画打ち上げ(1982) ・ESA設立(1985)	巨大企業グループの躍進 ・ボーイング・マーチン・マリエッタ(1995) ・ボーイングとワズダール・ダグラス合併(1997) ・IADS設立(2000)	ロシア・産業界の躍進と有人宇宙 ・ソユーズ打ち上げ(1979) ・ロシア計画(1981) ・米ソ打ち上げ(1981) ・宇宙計画(1992) ・ロシア計画(1994)
新興国参加による多様化	欧：商業化の推進 ・ESAスペースバス打ち上げ(1981) ・ESA計画打ち上げ(1982) ・ESA設立(1985)	欧：商業化の推進 ・ESAスペースバス設立(1982) ・ESA計画打ち上げ(1982) ・ESA設立(1985)	巨大企業グループの躍進 ・ボーイング・マーチン・マリエッタ(1995) ・ボーイングとワズダール・ダグラス合併(1997) ・IADS設立(2000)	ロシア・産業界の躍進と有人宇宙 ・ソユーズ打ち上げ(1979) ・ロシア計画(1981) ・米ソ打ち上げ(1981) ・宇宙計画(1992) ・ロシア計画(1994)

内田, 2017より加筆・改定

- ・宇宙産業の構造は約60年間で大幅に変化している。

宇宙産業の加速：New Space



(2017 SIA State of Satellite Industry Report より)

- 2017年の世界宇宙産業市場規模は約37兆円で、10年間で倍増している。
- 2030年頃までに70兆円に到達する予測となっている。
- 宇宙産業における消費者向けサービスが近年台頭している。

宇宙産業の加速：New Space

	企業向け	消費者向け
深宇宙 (月・火星・小惑星)	深宇宙探査・開発	宇宙旅行や 宇宙ホテルなど
地球近傍 宇宙	衛星インフラの構築 軌道上サービス (微小宇宙および地上) 小重力実験など	
地上から 宇宙へ	宇宙へのアクセス (ロケットや宇宙機の開発・製造・打ち上げ)	
地上	衛星および衛星データ活用 (IoTを通じた産業デジタル化への貢献)	

- ・2017年の世界宇宙産業市場規模は約37兆円で、10年間で倍増している（内訳は宇宙へのアクセスと衛星活用が多い）。
- ・宇宙産業における消費者向けサービスが近年台頭している。



宇宙産業における医学の位置付け



Space Medicine in the Era
of Civilian Spaceflight
N Engl J Med. 2019;
380: 1053-60.

*既に7名の民間人宇宙
旅行者が存在すること
が明記されている。

民間人宇宙飛行における宇宙医学上の留意点：

- ・事前の既往歴把握
- ・打ち上げ時の宇宙酔い
- ・食欲・栄養状態の変化
- ・腰痛の増悪
- ・尿閉
- ・骨密度低下
- ・宇宙飛行関連神経眼症候群（SANS）
- ・フライト中の心理的ストレス
- ・フライト中の限られた医療資源
- ・インフォームドコンセントを含む法的課題

宇宙医学は、宇宙飛行士に限定された領域から一般社会に直接貢献する領域へ進化途上にある。



今後、宇宙医学に求められること

1. 宇宙飛行士の作業環境管理・健康管理。
2. 宇宙環境が生体細胞に与える影響の基礎研究成果を地上の医学に還元・応用する。
3. 宇宙に滞在・活動する**民間人の診療・保健**。

宇宙医学は、地上の医学と同様に、一般人に直接的に必要な医学へと進化すると考えられる。



本日のまとめ

1. 将来的に、宇宙医学・生命科学領域の社会的重要性が増し、領域も拡大することが予想される。
2. 自身の専門技術や独自性を身につける。
3. 様々な分野の人との出会いを大切に、チャンスをつかむ。

4.1.10. 第 11 回宇宙医学講義スライド集

宇宙での心循環系への影響②

東京慈恵会医科大学細胞生理学講座
南沢享

宇宙に行くと寿命が短くなる？

長くなる？

変わらない？

本日の目次

- 1: イントロダクション
- 2: 宇宙における体への影響—NASA Twin Study
- 3: 宇宙における心血管系への影響
- 4: 宇宙での心肺蘇生
- 5: 理解度テスト

Anti-aging effects of long-term space missions, estimated by heart rate variability

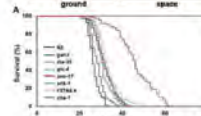
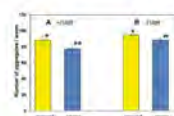
Kuniki Otsuka^{1,2}, Germaine Cornelissen², Yutaka Kubo³, Koichi Shibata⁴, Koh Mizuno^{4,5}, Hiroshi Ohshima⁶, Satoshi Furukawa⁶ & Chiaki Mukai¹

Scientific Reports 2019

Genes down-regulated in spaceflight are involved in the control of longevity in *Caenorhabditis elegans*

Yoko Honda¹, Akiko Higashikawa², Yohel Martinez³, Yoko Yamamoto⁴, Tetsuki Kawanishi⁵, Atsuki Higashimura⁶, Kenta Kurogami⁷, Taro Okamoto⁸, Masaki Tanaka⁹, Hiroyuki I. Sawaguchi¹⁰, Yoko Honda¹¹ & Shoji Honda¹²

Scientific Reports 2012

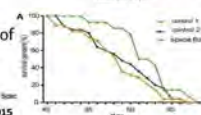


Effect of Spaceflight on the Circadian Rhythm, Lifespan and Gene Expression of *Drosophila melanogaster*

Lingling Ma¹, Jun Ma², Kangen Xu³

Laboratory of Space Microbiology, Shenyang Space Biotechnology Group, China Academy of Space Technology, Beijing, China

PloS One 2015



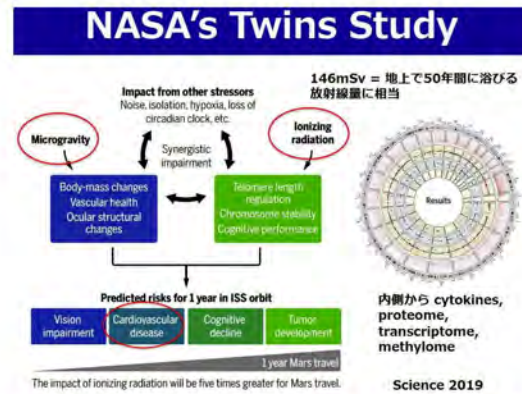
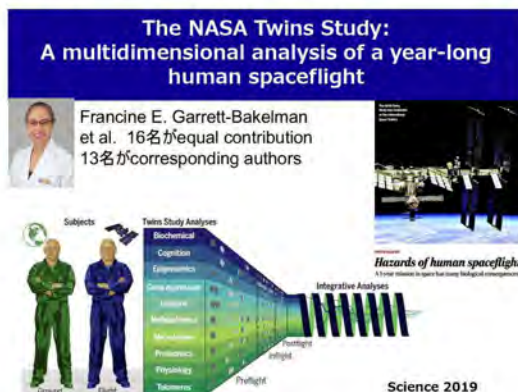
TED Ed
LESSONS WORTH SHARING

宇宙で物体が動く速度が速いほど、動いていない観測者より 時間がゆっくり進む

本日の目次

アインシュタインの双子のパラドックス

- 1: イントロダクション
- 2: 宇宙における体への影響—NASA Twin Study
- 3: 宇宙における心血管系への影響
- 4: 宇宙での心肺蘇生
- 5: 理解度テスト



1年間のISS生活で生じた変化

- 1: テロメア長が伸長
- 2: DNA 損傷：染色体の一部で逆位や転座
- 3: 網膜と頸動脈の肥厚
- 4: 腸内細菌叢の変化
- 5: 認知能力の低下（滞在中は正常、帰還後に低下）
- 6: ワクチンへの応答は正常

本日の目次

- 1: イントロダクション
- 2: 宇宙における体への影響—NASA Twin Study
- 3: 宇宙における心血管系への影響
- 4: 宇宙での心肺蘇生
- 5: 理解度テスト

宇宙における生体への影響因子

- 1: 微小重力
- 2: 宇宙放射線
- 3: サーカディアンリズムの乱れ
- 4: 閉鎖空間
- 5: 騒音
- 6: 温度変化

長期宇宙滞在によって心血管系疾患のリスクが増加する!?

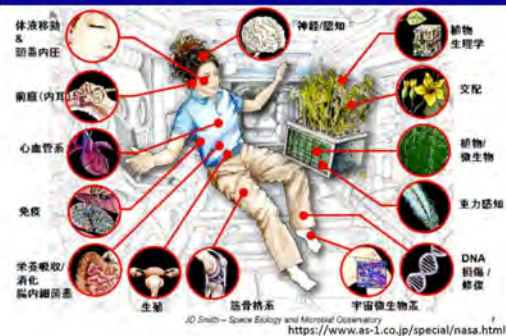
放射線誘発性心血管病変

高線量による急性障害—心膜炎、心筋炎
晩発性障害—低線量でも起こり得る
特に虚血性心疾患

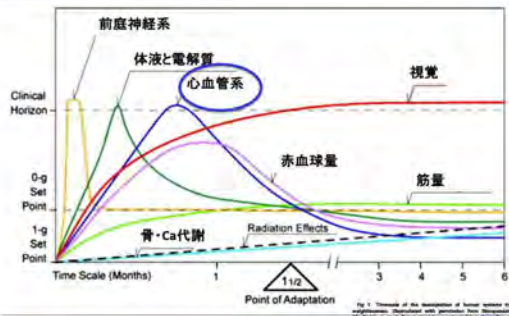
微小重力

閉鎖性ストレス—運動不足etc
食事の変化—インスリン抵抗性
社会的ストレス

宇宙における生体への影響



宇宙での生体適応の時間経過



重力に対する循環応答

臥位から立位に体位変換すると以下の応答が働く。

下肢に静脈血が貯溜 → 静脈還流量の減少。
心拍出量低下、動脈圧低下。
圧受容体を介して、交感神経活動亢進、副交感抑制。

代償的に心拍数と総末梢血管抵抗の増加
動脈圧が元のレベルに復帰する。

圧受容体機能の低下している人では、**起立性低血圧**を起こす。

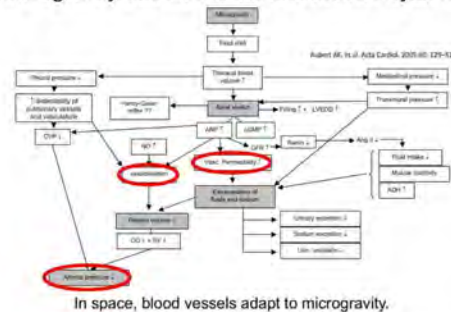
微小重力による循環変化

急性期

体液の移動—末梢から中心部へ
中心静脈圧：地上で臥位時とよりも低下
血圧調節機構の活動が低下
平均血圧には大きな変化がない
心臓の仕事量が減少
循環血液量の減少

- 1) レニン-アンギオテンシン-アルドステロン系活性抑制
- 2) 心房利尿ホルモン増加
- 3) 水分摂取の低下

Microgravity affects the cardiovascular system.



In space, blood vessels adapt to microgravity.

微小重力による循環変化

慢性期

体液の移動—末梢から中心部へ
中心静脈圧：地上で臥位時とよりも低下
自律神経活動が地上の座位時に比べ低下
平均血圧には大きな変化がない
心臓の拍出量・心機能については異なる結果が出ている
循環血液量の減少

- 1) レニン-アンギオテンシン-アルドステロン系活性亢進（女性＞男性）
- 2) ナトリウム保持、カリウム排泄
- 3) 心房性ナトリウム利尿ペプチドの低下

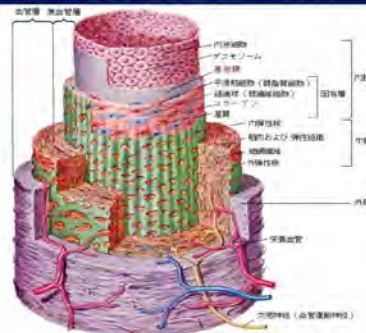
微小重力下での運動耐容能の低下と順応

運動耐容能の低下—特に初期に顕著
最高有酸素運動時の心拍数がより高い傾向

ISSでは宇宙飛行士は2.5時間までの運動を行う
しかし、実際には有酸素運動は30分程度で、残りの時間は無酸素運動

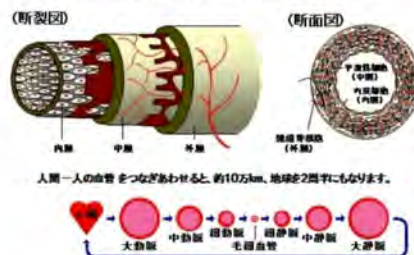
運動耐容能は地球に帰還後、約30日で飛行前に戻る

血管の構造



血管の構造

動脈の血管壁は内層・中層・外層の3層構造からなります。

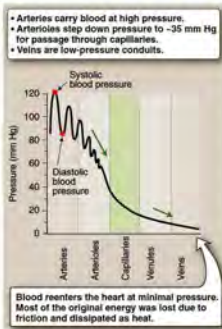


人間一人の血管をつなぐと約10万km、地球を2周半にもなります。



心臓財団ホームページ

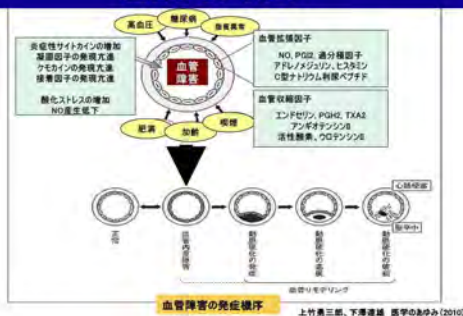
血管と灌流圧の関係



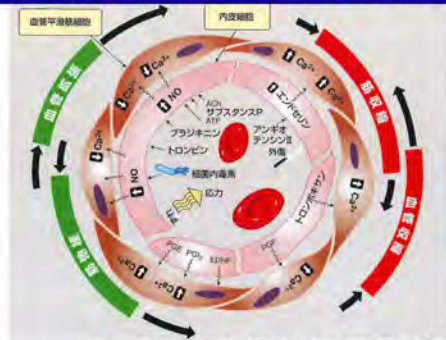
大動脈から小動脈へと灌流圧は急速に低下する。
毛細血管にかかる灌流圧は約30~35mmHg

リップンコットシリーズ
イラストレイテッド生理学 (丸善出版社)

血管リモデリング



Endothelial control 内皮細胞による調節



リップンコットシリーズ イラストレイテッド生理学 (丸善出版社)

宇宙での血管内皮機能への影響

宇宙空間で血管内皮の機能が体内でどう変化するのかは、実はまだ良く解っていない

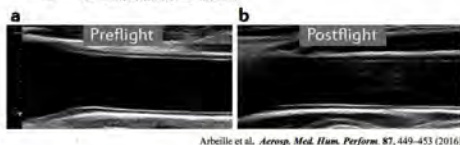
ベットレストの結果からの類推

- 男性は機能が良くなる
- 女性、動物実験では悪くなる

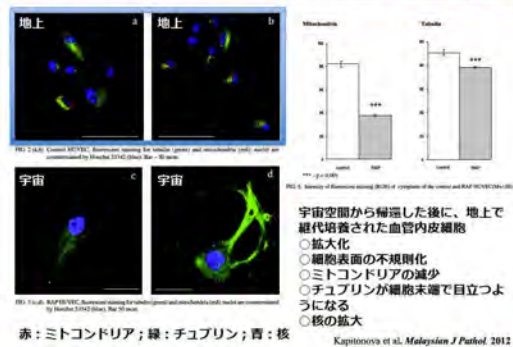
宇宙での血管への影響

血管の構造と機能に変化が生じる
---血管壁の肥厚と硬化

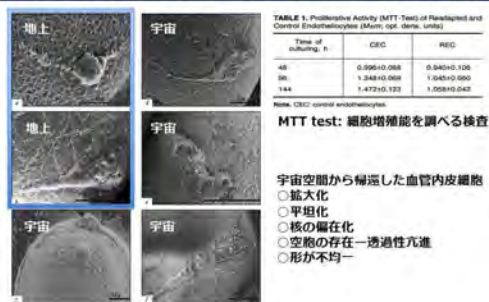
- 血流など機械的刺激の変化
- 神経系・ホルモン系の変化
- 宇宙放射線の影響



宇宙では血管内皮細胞の細胞内小器官が変化する



宇宙では血管内皮細胞の形態が変化する



微小重力による血管内皮細胞への影響

微小重力	ヒト臍帯静脈内皮細胞 (HUVEC)	EA.hy.926	ウシ大動脈内皮細胞	ヒト皮膚微小血管内皮細胞	ブタ大動脈内皮細胞
細胞遊走	→/↑	↑	ND	→	↓
細胞増殖	↑	ND	↑	↓	↓
アポトーシス	→	↑	→	→	↑
NO産生	↑	↑	↑	↑	ND
細胞骨格再構築	+++	+++	+++	+++	+++

Mair et al. *BioMed Research International.* 2015 (一部修正)

過重力による血管内皮細胞への影響

過重力	ヒト臍帯静脈内皮細胞 (HUVEC)	EA.hy.926	ウシ大動脈内皮細胞	ウシ冠状静脈内皮細胞
細胞遊走	↑	ND	↑	ND
細胞増殖	→	ND (→/↑)	↑	ND
アポトーシス	→	→/↓	→	→
NO産生	↑	ND	ND	ND
細胞骨格再構築	++	+++	+++	+++

Maier et al. *BioMed Research International*. 2015

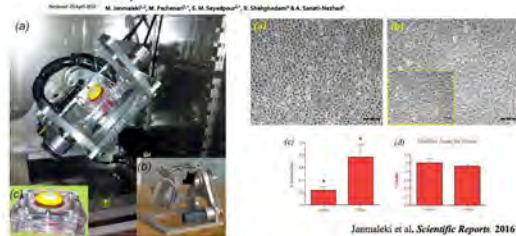
Graviteによる微小重力実験



微小重力による血管内皮細胞への影響

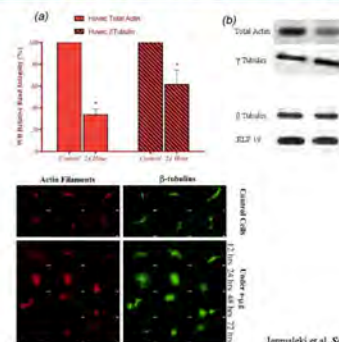
SCIENTIFIC REPORTS

Impact of Simulated Microgravity on Cytoskeleton and Viscoelastic Properties of Endothelial Cell



Jamali et al. *Scientific Reports*. 2016

微小重力による血管内皮細胞への影響



Jamali et al. *Scientific Reports*. 2016

宇宙放射線の性質

宇宙放射線には地球上での放射線とは異なる

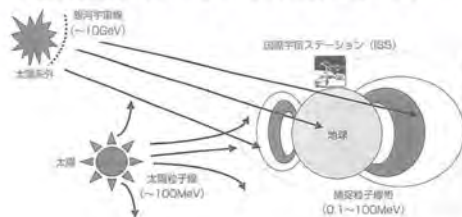
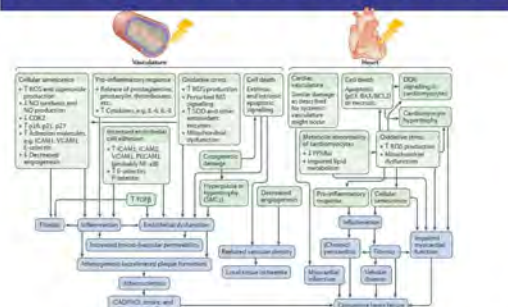


図 1-8 様々な種類の宇宙放射線が地球に飛んでくる様子

石岡義昭 宇宙生命科学入門 (共立出版)

宇宙放射線の血管と心臓への影響



Hughson et al. *Nature Reviews Cardiology* 2018

本日の目次

- 1: イントロダクション
- 2: 宇宙における体への影響—NASA Twin Study
- 3: 宇宙における心血管系への影響
- 4: 宇宙での心肺蘇生
- 5: 理解度テスト

宇宙飛行中の心肺蘇生

Guidelines for CPR during spaceflight - a guideline for CPR in microgravity from the German Society of Aerospace Medicine (DGLRM) and the European Society of Aerospace Medicine Space Medicine Group (ESAM-SMG)

Guideline for CPR during spaceflight - a guideline for CPR in microgravity from the German Society of Aerospace Medicine (DGLRM) and the European Society of Aerospace Medicine Space Medicine Group (ESAM-SMG)

Cardiopulmonary resuscitation (CPR) during spaceflight - a guideline for CPR in microgravity from the German Society of Aerospace Medicine (DGLRM) and the European Society of Aerospace Medicine Space Medicine Group (ESAM-SMG)

88の原著論文から

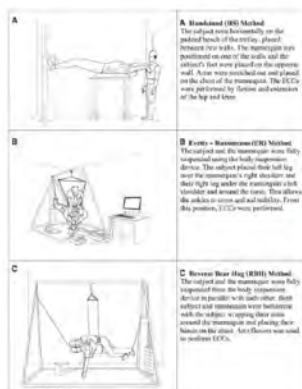
basic life support 一次救命処置—胸骨圧迫、気道確保、人工呼吸
advanced life support 二次救命処置

興味のある人は次のサイトも参照してみてください <https://slideplayer.com/slide/12409663/>

宇宙飛行中の心肺蘇生

Recommendations

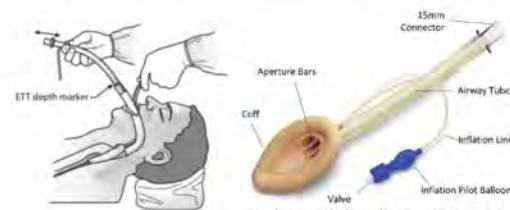
1. 一連の処置に分けて対応すること：まず、一次救命処置、その後二次救命処置
2. 一次救命処置での胸骨圧迫は、まず Evetts-Russomano 法 (ER) 法で上手くいかない場合、Reverse-Bear-Hug 法 (RBH)。
3. その後、Crew Medical Restraint System に移動して、二次救命処置
その際の胸骨圧迫は、Handstand-法 (HS)
HS法で上手くいかない場合、restrained CPR 法
4. 気管内挿管のトレーニングを受けていない場合は、
supraglottic airway deviceを使用する。



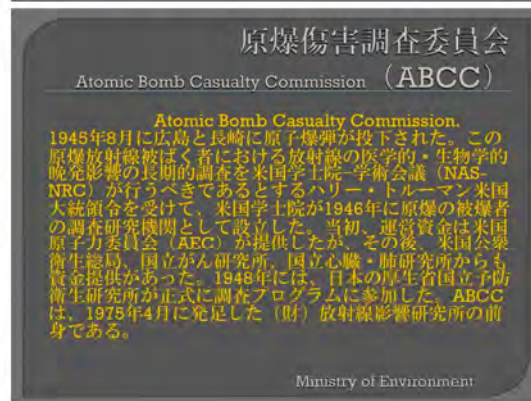
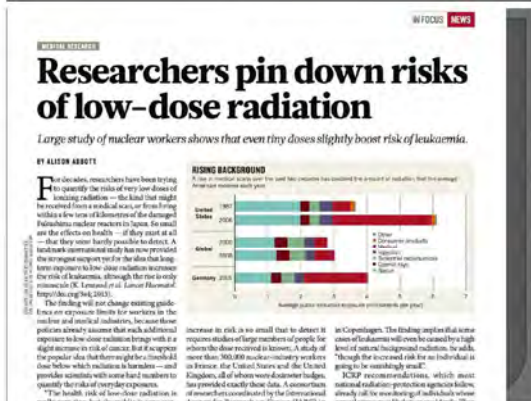
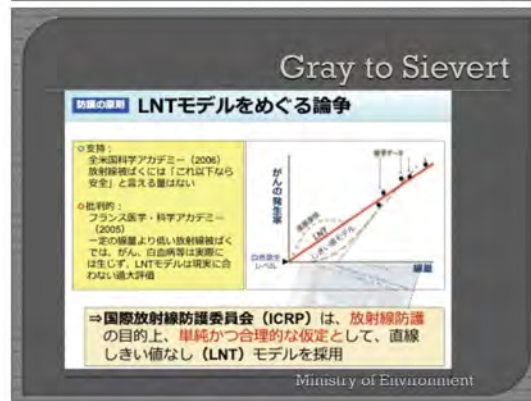
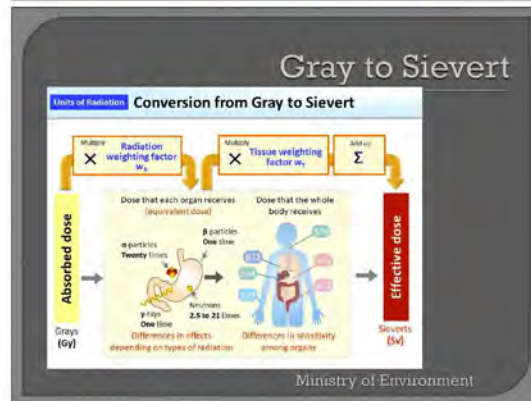
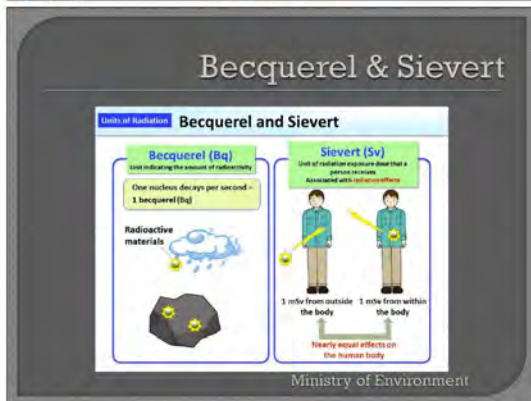
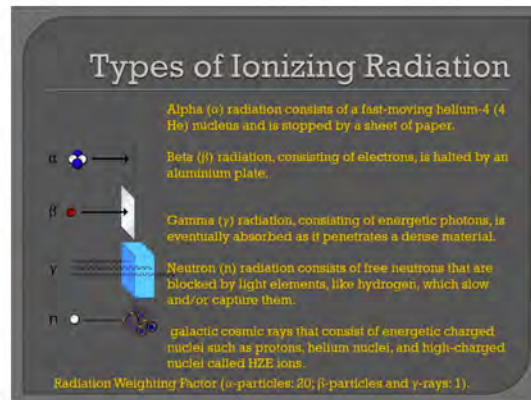
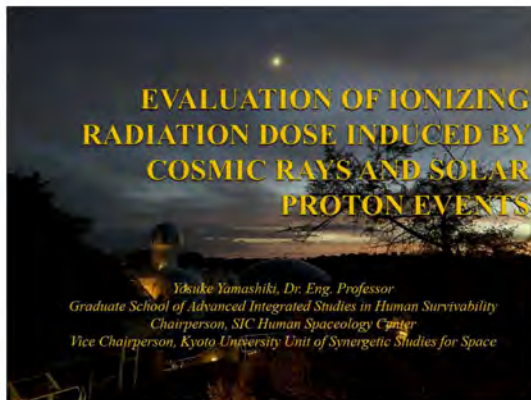
Handstand法

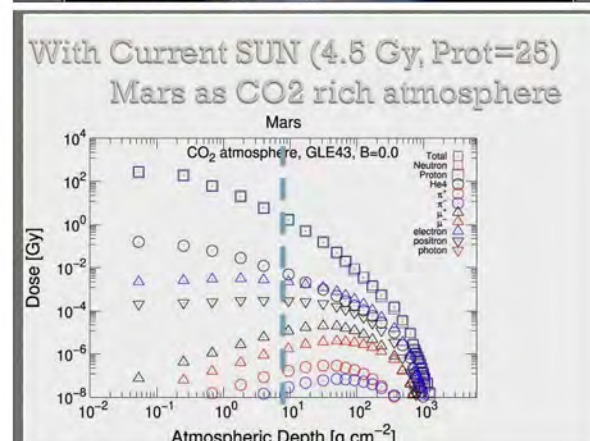
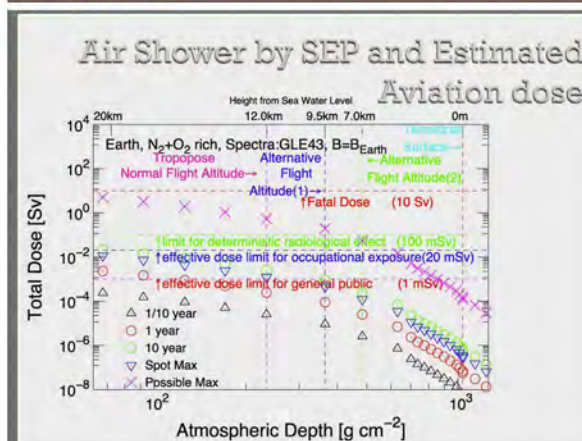
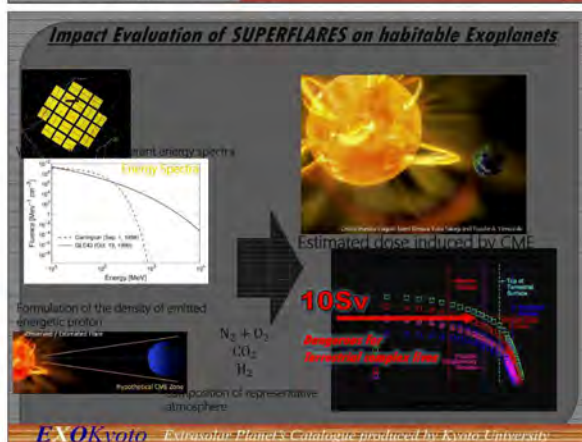
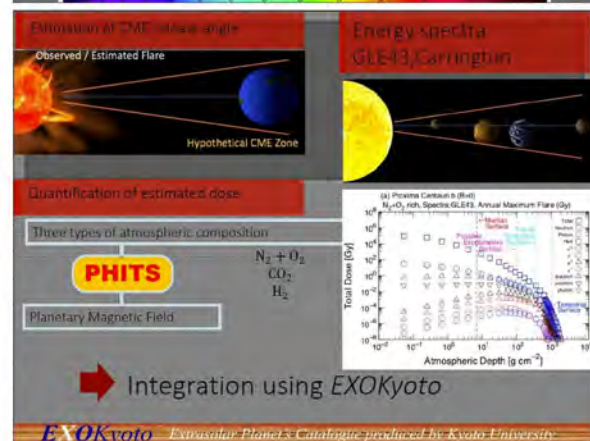
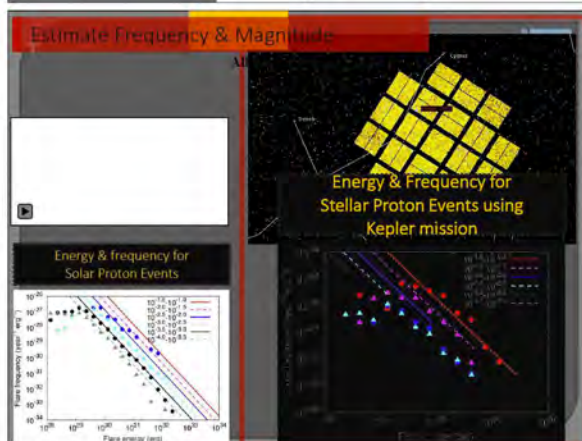
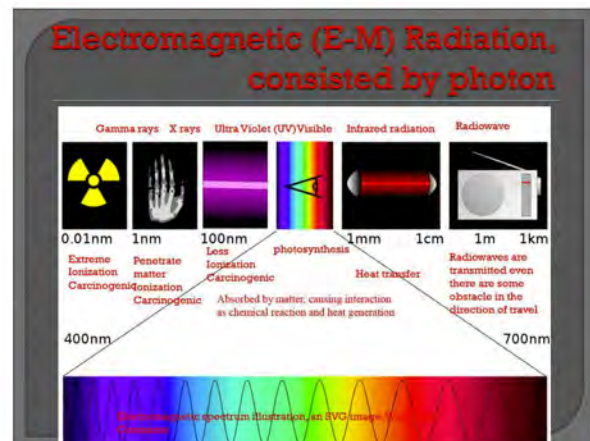
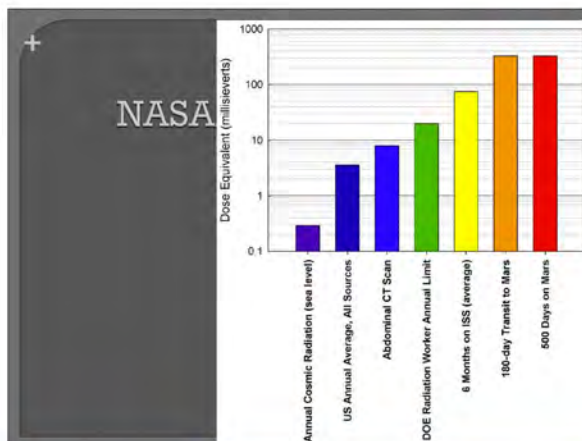


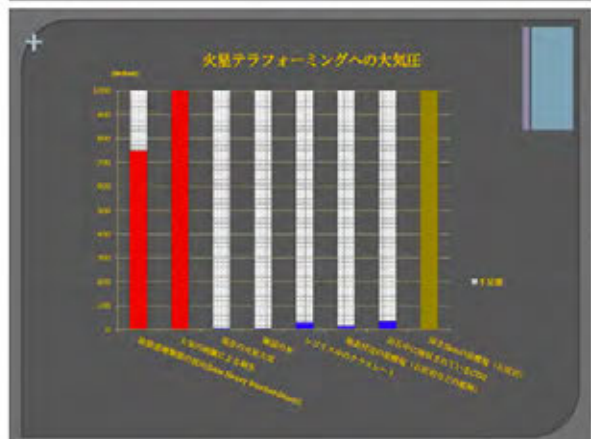
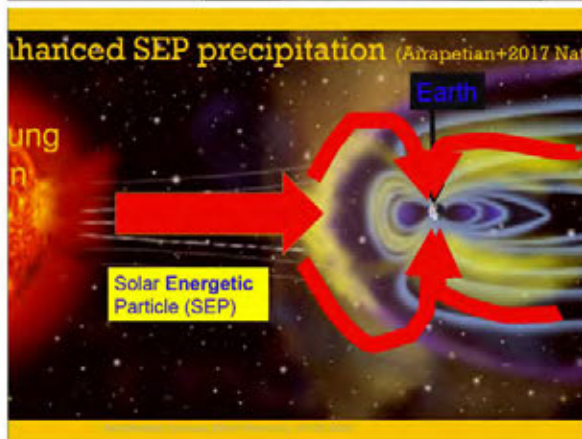
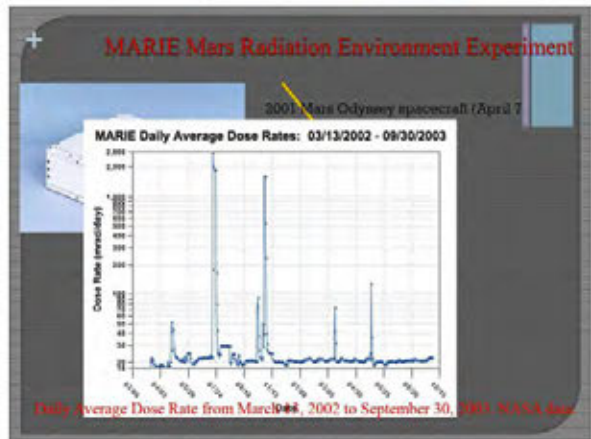
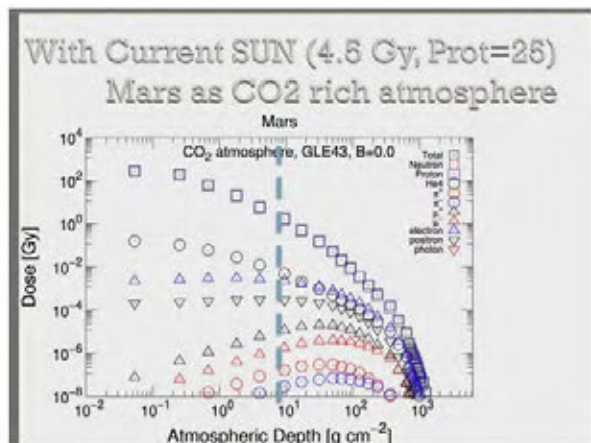
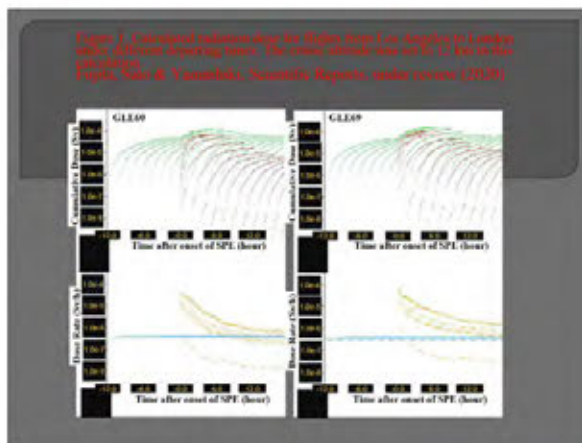
supraglottic airway device



4.1.11. 第 13・14 回宇宙医学講義スライド集







放射線被ばく

- 年間1 mSv のリスクは、およそ 1 万人に1人が健康被害により死亡するリスク
- クリアランスレベルで考えると、年間10 マイクロシーベルトで100万人に1人のリスクとなる。
- 自然放射線で年間1 mSv以上被ばくするので、年間10 マイクロシーベルトと設定することにはほとんど意味がない。

航空機被ばく

- 航空機一回の搭乗で、銀河宇宙線(GCR)による被ばくで、だいたい30-80 uSv被ばくする。
- フレア発生時は、それが上昇し、200-300 uSv被ばくする。
- 1回の飛行で1 ミリシーベルトに達する確率は50-70年に一度(Fujita et al. 2021 under revision)。
- しかし、パイロットやCAなどは、回数を飛ぶので、健康に影響がある可能性は否定できない。

宇宙飛行士の被ばく

- 宇宙飛行士は、例えばISSであれば、80-800 mSv被ばくするとされる。
- 宇宙空間での滞在日数によるが、しかしながら、それ以上に、宇宙中に高エネルギー粒子にさらされたかどうかで被ばく量は決まる。
- 本来500 mSv被ばくすると、大ごと(確定的影響の閾値(100 mSv)よりも相当大きいレベル)
- しかし、例えば、現在宇宙に600人弱の人間しか飛び立っておらず、医学的影響を調査するには少なすぎる。(万人に1人のリスクであったとしても、たった6人)。また、有人宇宙飛行の他のリスク(ロケットの爆発等)に比較して小さい。
- ただし、だからといって、影響がないわけではない。これから民間人がたくさん中に飛立つ時代がくると、その影響を確定的に評価する必要がある。

惑星空間の被ばく

- 地球の磁気圏を抜けると、直接荷電粒子にさらされるため、高エネルギーの陽子などの直撃を受けるため、被ばく量は著しく上がる。そのため、ISSよりも月へのミッション、火星へのミッションのほうが被ばく量が多くなる。
- 惑星空間において、銀河宇宙線(GCR)はバックグラウンド値としてあまり変わらないとするが、実際は変動周期がある。
- 一方、磁気圏での放射線被ばく量の予測は、磁場のダイナミクスを考慮しなければならないため困難である。
- 月・火星およびそのミッションでの被ばく計算では、太陽嵐、すなわちCMEがどちら向きに放出されるかによって全く異なる結果となる。

Cancer prevalence among flight attendants compared to the general population
Eileen McNeely¹, Irina Mordukhovich¹, Steven Staffat², Samuel Tidwell³, Sara Guler⁴ and Beem Cooze⁵

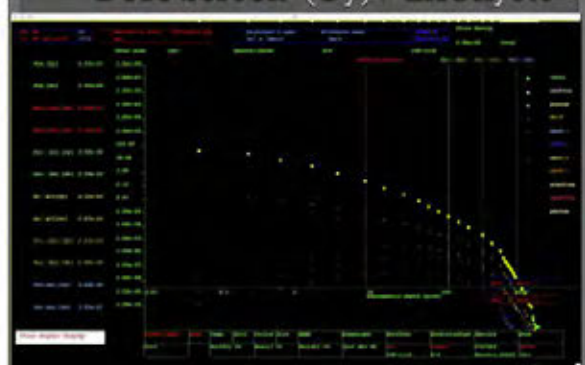
Table 1. Comparative age-adjusted cancer prevalence in the US and MKNES.

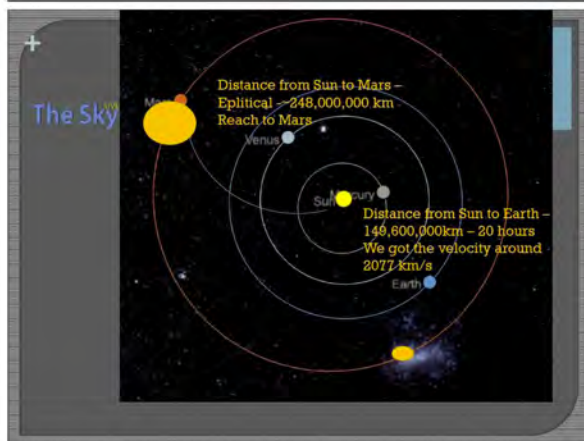
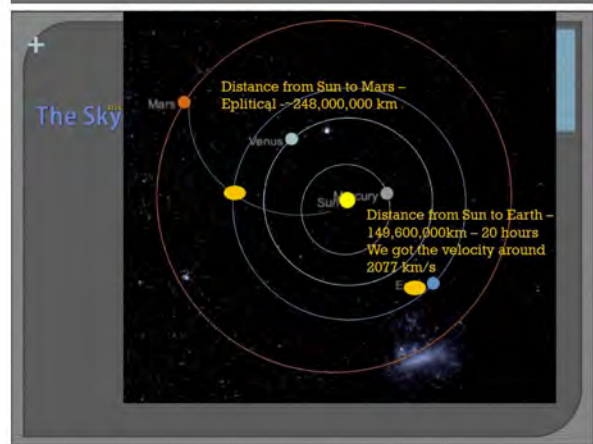
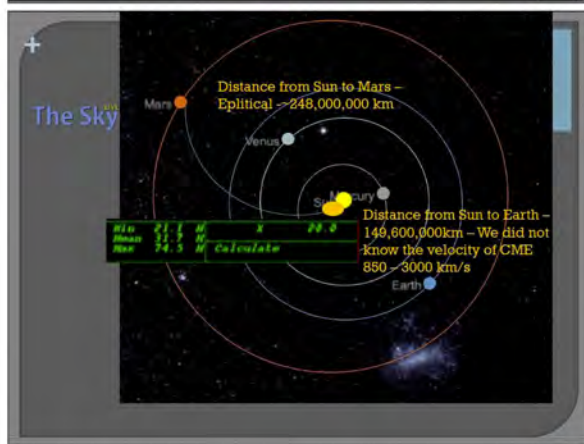
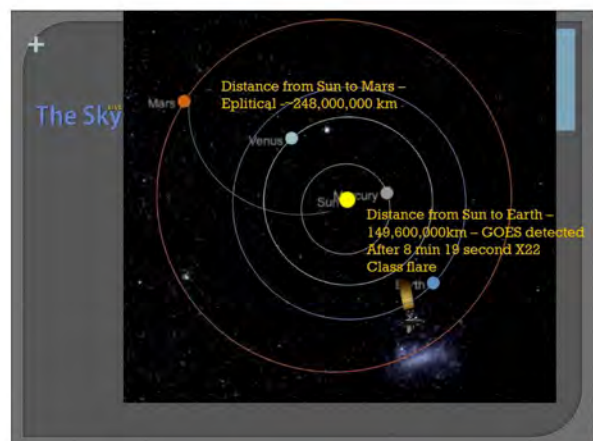
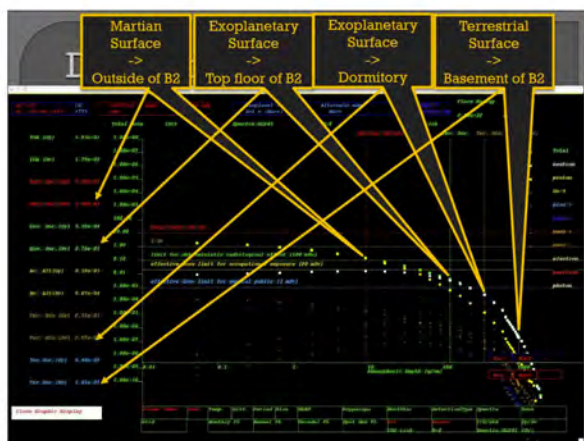
Cancer	Gender	US cases (unadjusted)	MKNES cases (unadjusted)	Prevalence (US, %)	Prevalence (MKNES, %)	95% CI (US, %)
Bladder Cancer	Female	141	24	1.4	1.1	1.01-1.61 (1.04)
Breast Cancer	Female	27	2	2.01	0.13	0.00-1.08 (1.0)
Colon Cancer	Female	33	3	1.8	0.70	1.00-3.75 (3.00)
Gastrointestinal Cancer ^a	Female	36	4	2.40	0.27	1.75-3.29 (3.29)
Leukemia	Female	136	13	2.7	0.98	2.01-3.71 (4.00)
Stomach Cancer	Male	24	10	1.2	0.80	1.01-1.01 (1.01)
Non-Melanoma Skin Cancer	Female	416	20	1.8	1.8	0.99-3.26 (3.26)
Prostate Cancer	Male	41	42	1.2	1.0	1.01-1.01 (1.01)
Thyroid Cancer	Female	11	7	0.67	0.76	1.01-1.01 (1.01)

^a Includes all gastrointestinal cancers except for pancreatic cancer.



Dose Screen (Gy) / EXOKyoto





4.2. 宇宙医学実習@東京慈恵会医科大学での実習参加学生らの発表スライド集

宇宙医学実習プレゼン@慈恵医大
(2023/13-17)
後援校：大阪大学 医学部 保健士学科14期 通称：6.5班
発表大学：東京医歯薬学総合大学 薬学部12期

1

[illegible]

2

目的

宇宙飛行後に動脈硬化のリスクが高まる原因を調べる

HUVEC (Human Umbilical Vein Endothelial Cell 臍帯静脈内細胞) の特徴

- 血管疾患に関する研究によく使用されるモデル細胞
- 正常な状態のヒトのDNA情報で増殖できる
(不死化などの遺伝子変異なし)
- 宇宙医学生分野でも使用
- NASAの公的データベース

宇宙飛行後群 (FLY) コントロール群 (GC)

1 2 3 4 5 6

サンプル別

遺伝子別

3

実験

GRAVITE

48 時間 クリーンルーム
HUVEC (骨芽細胞内細胞 4 well)

コントロール群
0° 刺激

VS

SMG 系
免疫微小力
GRAVITE 刺激 目標

qPCR

① 準備

- RNA 抽出
- 免疫促進 mRNA 濃度測定
- mRNA = cDNA 変換等

② qPCR 解析

③ 遺伝子の発現の解析

細胞免疫染色

① 培養細胞の免疫染色

② レーザー光量検出機で観察

③ 細胞内遺伝子分子の発現と免疫細胞の形態

4

実験

GRAVITE

48 時間 クリーンルーム
HUVEC (清潔静穏的細胞 6well)

コントロール群
0° 静置

VS

qPCR

① 準備

- ① DNA 抽出
- ② 遺伝子発現の qPCR 反応設定
(method: real-time PCR 法参照)

② qPCR 解析

細胞発色染色

① 培養細胞の培養観察

② 遺伝子発現の発色観察

5

GRAVITEを用いた模擬微小重力実験

今回の実験では重力制御装置 **Gravite** を用いた
超微小重力環境下 (SMG) でのコントロール (GC) 群 (48時間16面)

ヒトの血管内皮細胞が宇宙の微小重力環境下でどのように応答するのかを検討



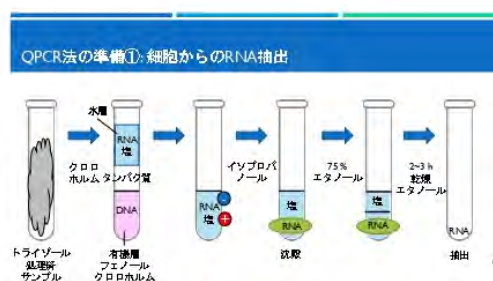
直径240±40° 回転
重力ペダトルの傾斜
→超微小重力



IG

6

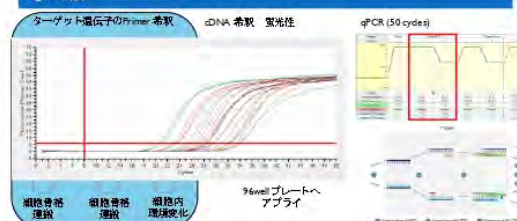
8



QPCR法の準備②: 吸光度法によるMRNA濃度測定とCDNAへ逆転写



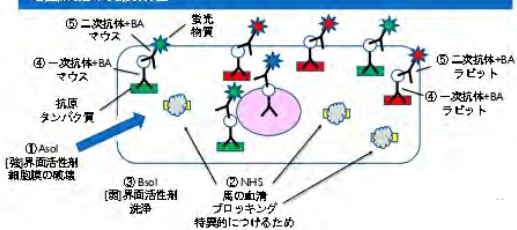
QPCR法

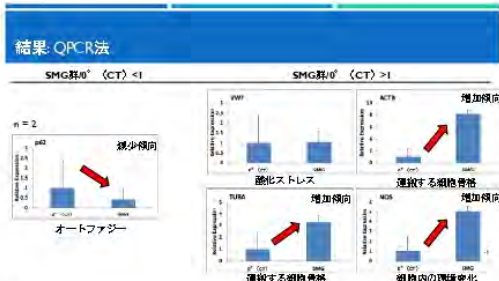


実験

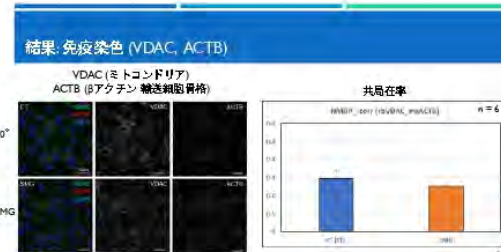


培養細胞の免疫染色





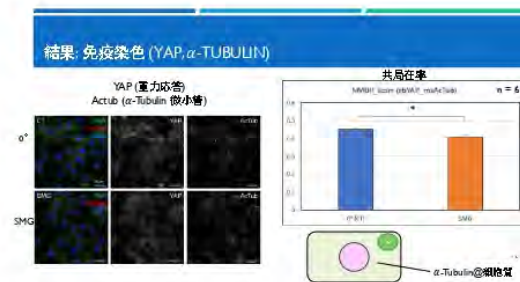
13



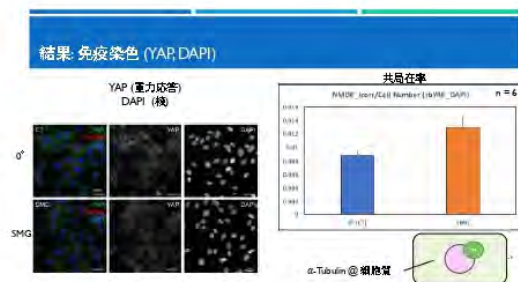
14



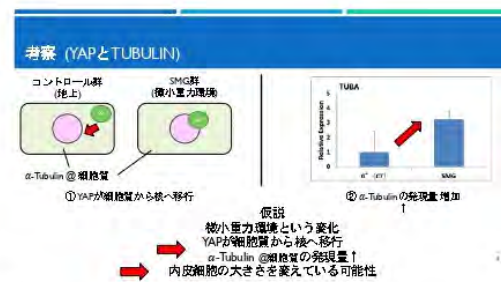
15



16



17



18

YAPとTUBULINの関係

- SMGで血管内皮細胞の増殖能はYAP/ α -Tubulinに関連して亢進する文献
- ・細胞密度が低いとYAPが核内に蓄積し細胞増殖を維持
- (C. Yildirim et al., 2011)
- ・YAPは直接 α -Tubulinに結合し、 α -Tubulinの安定化に寄与
- (Shen et al., 2012)



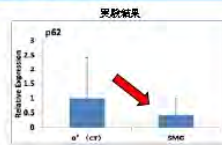
19

まとめ

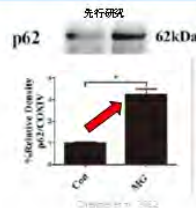
- 模擬微小重力下(SMG)でYap/ α -Tubulinによる血管内皮細胞の増大 or 増殖の可能性
- 動脈硬化の主因である、血管内皮細胞の損傷と本結果の関係は不明

20

実験結果の妥当性

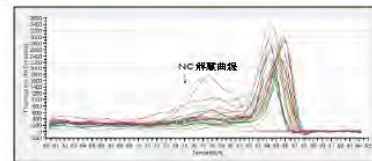


P62の発現の定量解析に相反あり
—なぜ違いができたのか



22

実験結果の妥当性



GAPDH 発現曲線
—実験条件によって発現する条件はほとんど変わらないはず
—曲線のピークが複数ある—Primer or 水 or cDNA作製に問題あるのでは？

23

実験結果の妥当性

実験結果 vs 先行研究	原因	改善策
CT群とSMG群のP62発現量の違い	コンタミネーション 等濃度・等量 mRNA作製ミス	Primer/水/cDNAを 1つずつ変更して実験 手技(ピペット) 向上
GAPDH解離曲線 複数のピーク	等濃度・等量 mRNA作製ミス	手技(ピペット) 向上

24

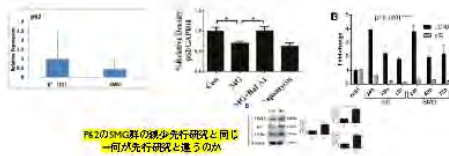
感想（実習のまとめ）

1. 宇宙医学の分野でも基礎研究で用いられる手技が使われている
2. 実習で学んだ解析方法が参考にした文献でも使用されている
3. 仮説と結果が異なった場合に、原因とその追求方法を考察する
4. 得られた結果から仮説をたて、次の実験計画を立てる



25

実験結果の妥当性



33

Spatial representation of colocalization

In course of the analysis, according to the equation below, the spatial colocalization coefficient (also denoted) computed as nMDP, with its mathematical representation, correlation between intensities of corresponding pixels, is used as a simple form of 1 to 1.

$$nMDP = \frac{(A_i - \bar{A})(B_i - \bar{B})}{(A_{max} - \bar{A})(B_{max} - \bar{B})}$$

A_i intensity for the given pixel in the image A

$\bar{A}$ average intensity of the image A

A_{max} maximum intensity of the image A

B_i intensity for the given pixel in the image B

$\bar{B}$ average intensity of the image B

B_{max} maximum intensity of the image B

34

4.3. 宇宙医学実習@東京慈恵会医科大学での招へい講師講義スライド集



宇宙の商業化: みんなで宇宙へ行こう



カプセルとロケット、宇宙飛行士、宇宙船、宇宙ステーション



宇宙ステーションに立ち寄り、月に行くコースや、さらに火星へと、そんなこんな夢物語を具体化するべく、実際、日本でも(株)クラブブルーリッジ・スペースツアーズ社や(株)PQエアロスペース社(2016年10月にHIS、ANAとともに宇宙旅行をはじめ宇宙輸送の事業化に向け資本提携した)では、宇宙旅行を「宇宙ビジネス」の一環として検討している。

2023年、SpaceXのSpaceX Dragon 2が、宇宙ステーションに到着する様子

ついに始まった宇宙旅行! 「宇宙旅行ビジネス」の現状とその費用、企業紹介 | 宙畑 (sorabatake.jp)

<https://sorabatake.jp/12241/>

2020年5月30日: NASA・スペースX ISSへ
2021年7月11日: ヴァージン・ギャラクティック、リチャード・ブランソン氏を載せた有人宇宙飛行を成功!
2021年7月20日: ブルーオリジン、ジェフ・ベゾス氏を載せた有人宇宙飛行を成功!

以下は予定

2021年: スペース・アドベンチャーズとスペースX、民間人に宇宙旅行を提供開始
2021年: アクシム・スペースとスペースX、民間人名ISSへ
2023年: スペースX、ZOCO創業者・前澤友作氏を載せて月周回飛行へ
2024年: スペース・バースペクティブが惑星圏への旅行提供開始
2024年: NASA、有人月面着陸
2030年代: 中国、有人月面着陸
2033年: NASA、火星有人探査



ついに始まった宇宙旅行! 「宇宙旅行ビジネス」

米ヴァージンの宇宙旅行、価格は約5000万円・商業運航は2022年後半から

Yahoo!ニュース

<https://news.yahoo.co.jp/articles/2548a2bb1d08db3f8f0f6ec388b677424d96>

2021年7月11日に行われた4回目の宇宙飛行試験では、ブランソン氏ら6人を載せて飛行。

- 実際の宇宙飛行と同じ作業や飛行手順を確認。安全性や快適性をアピール。
- 商業運航に向けた準備を急々と進めつつある。
- 専用航空機で高度約14キロまで運ばれ、切り離された後に約89キロまでロケットエンジンで上昇した。

米国の宇宙旅行会社ヴァージン・ギャラクティックは2021年8月5日、宇宙旅行のチケットの販売を再開すると発表した。



<https://www.jp.com/jp/article?%20210712001368gnt>



<https://news.yahoo.co.jp/byline/kyantaayano/20210712-00047513>



<https://www.starhuber.com/tr/virgin-galactic-uzay-cikis-bilet-satmay-a-bas-bdi-haber-1835424.htm>

アマゾン創業者ベゾス氏 宇宙旅行に成功 10分後に無事帰還

NHKニュース

<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210720/k10013151071000.html>

2021年7月20日、テキサス州西部にあるブルーオリジンのロケット打ち上げ拠点から打ち上げ、初めての有人宇宙飛行となる。

宇宙船にはベゾス氏と妻のマレーズ、およそ40年前に宇宙飛行士を目指していた32歳の女性ウァーナー・ファンクさん、カークソンと懇意する確り30歳の男性オリバー・デーモンさんの4人が搭乗。

宇宙船は打ち上げからおよそ2分半後にロケットから切り離され、高度100キロメートル以上の宇宙空間に到達。

搭乗した4人は宇宙船内でおよそ3分間の無重力状態を楽しんだ。

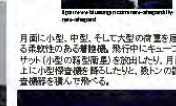
宇宙船はこのあと地上に帰還を始め、打ち上げからおよそ10分後に無事、降着。



<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210720/k10013151071000.html>



<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210720/k10013151071000.html>



<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210720/k10013151071000.html>

月面着陸船BLUE MOON! Amazon CEOベゾスの宇宙事業Blue Originが発表。2024年までに月面の有人探査も2030年代、中国、有人月面着陸

2019年12月 日経工業新聞 <https://www.nikkei.com/jpn/article/20191206>



<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210720/k10013151071000.html>

スペースXが「クルードラゴン」打ち上げ、民間人4人搭乗 9日間の地球周回飛行

2021.9.15-18



世界で初めて民間人4人が「宇宙旅行」をするスペースXのクルードラゴンが、打上げから約9日間の地球周回飛行を終え、大西洋に帰還。

● 宇宙船がクルードラゴンと呼ばれる宇宙船で、打上げから約9日間の地球周回飛行を終え、大西洋に帰還。

● 宇宙船がクルードラゴンと呼ばれる宇宙船で、打上げから約9日間の地球周回飛行を終え、大西洋に帰還。

● 宇宙船がクルードラゴンと呼ばれる宇宙船で、打上げから約9日間の地球周回飛行を終え、大西洋に帰還。

カーク船長宇宙へ

2021.10.13

米航空宇宙局(NASA)の「クルードラゴン」宇宙船が、民間人4人を乗せた状態で打ち上げられ、地球を9日間の周回飛行後に帰還した。



米人4人が「クルードラゴン」宇宙船で、カーク船長と3人の民間人を乗せた状態で打ち上げられ、地球を9日間の周回飛行後に帰還した。

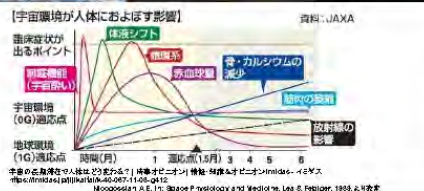
● 宇宙船がクルードラゴンと呼ばれる宇宙船で、打上げから約9日間の地球周回飛行を終え、大西洋に帰還。

● 宇宙船がクルードラゴンと呼ばれる宇宙船で、打上げから約9日間の地球周回飛行を終え、大西洋に帰還。

● 宇宙船がクルードラゴンと呼ばれる宇宙船で、打上げから約9日間の地球周回飛行を終え、大西洋に帰還。

宇宙開発の初期、宇宙環境に対する人の適応が重要な課題的に調べられ、臨床医学的課題が明らかになった。

- 水
 - 空気
 - 宇宙船内、居住区の化学物質
- 閉鎖環境における環境システム



医学的課題(リスク)を抽出

- NASA Human Research Roadmap

地球軌道を越えて有人宇宙探査を成功させるためには、クルーの健康とパフォーマンスが重要。



- 人間研究プログラム(HRP)は、人間の健康とパフォーマンスに対する最大のリスクを調査するべく発足し、有人宇宙探査に不可欠な対策と技術を提供する。
- リスクには、放射線、重力変化、狭い環境などの危険要素による生理およびパフォーマンスへの影響や、医療支援、ヒューマンファクタ、行動上の健康要素など固有の課題が含まれる。
- HRPでは、総合研究計画(HRP)を用いて、これらのリスクに対処するために計画されたプログラムと健康モニタリングプログラム内の特定の要素に割り当てている。
- HRS(Human Research Roadmap)は、JRPの内容、エビデンスレポート、HRP研究の外部レビュー、HRPの一般的な相関関係などを伝えるためのウェブ上のツールである。

[illegible]

宇宙食の役割

- 宇宙飛行士の健康と安全
 - ・ 食生活・行動生活の改善
 - ・ 骨密度の減少の抑制・補償
 - ・ 骨密度の減少の抑制・補償
- 食への楽しみ・食生活の改善
 - ・ ストレスの軽減
 - ・ 食生活の改善
 - ・ 食生活の改善
 - ・ 食生活の改善

「食生活の改善」は、宇宙飛行士の健康と安全に大きく関係しています。食生活の改善は、骨密度の減少の抑制・補償、ストレスの軽減、食生活の改善、食生活の改善など、多くの効果があります。

機能性食品の利用

ストレスの改善
宇宙での楽しみ



「宇宙で食べる楽しみ」は、宇宙飛行士の健康と安全に大きく関係しています。食生活の改善は、骨密度の減少の抑制・補償、ストレスの軽減、食生活の改善、食生活の改善など、多くの効果があります。

宇宙食の今後の課題

宇宙食の今後の課題は、食生活の改善、食生活の改善、食生活の改善など、多くの課題があります。食生活の改善は、骨密度の減少の抑制・補償、ストレスの軽減、食生活の改善、食生活の改善など、多くの効果があります。

2018年のNASAのワークショップとスペースワーク者の冬眠技術に関する報告書

[illegible]

これがワープ実現の宇宙船——NASAが画像公開

2014年6月13日 CNN <http://www.cnn.com/2014/06/12/science/space/warp-drive/index.html>



写真解説：これがワープ実現の宇宙船
「ワームホール」方式である。目標地点に
向かわず、時空の歪みを利用して瞬間に
着くという



米航空宇宙局 (NASA) は、光年を超えて宇宙空間を移動する「ワープ」航法の実現に向けた宇宙船の設計図を公開した。

ワープ航法を実現する「宇宙船の母体」は、NASAの先進推進技術開発チームを率いる物理学者のチームロド・ホーク博士 (Rodolfo A. LaSerna) が発表した。ホーク博士は昨年 (2013年) 1月にカリフォルニア州パサディナで開かれた国際宇宙会議で、この宇宙船のデザインコンセプトと、現状設計を発表していた。

簡単に言えば、「ワープワープ」は一般相対性理論に基づく重力方程式の波動を利用して宇宙空間を歪曲させ、何千光年かけて移動するよりも速く進むことができるという概念。この概念はホーク博士が光速を超えられると想定し、実際に計算されている。

ワームホール (wormhole) は、時空移動の仕組み
何年と上り下りする構造の一方で、時空の異なる一点から別の離れた一点へと直交する空間領域で時空のより短き経路である。

ブラックホール



出口なし

ワームホール



出口あり
内部を通過可能

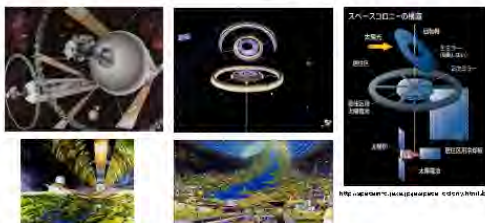
ワームホールは実現したとしても暗黒の穴を通過する事は出来ず、宇宙船がワープ航法を一度で移動したとしても、何らかのよりには万が一の懸念は存在する。公表されている事になるか?

NASAによれば、ワープ航法は宇宙をほぼ瞬間に移動させているものの、その原理は物理学の法則に反していないが、実現できるという保証はないとしている。

人間が乗る「ワームホール」実現は、宇宙船が乗る「虫食い」ではない
© 2014 CNN. All rights reserved. Reproduction in whole or in part without permission is prohibited.

宇宙空間にコロニーをつくって住もう

月と地球の引力のつり合った領域にスペースコロニーをつくる。
内部は人工重力を利用して地球と同じ環境(空気、水、自然)をつくる。



1974年、プリンスン大学のオズワルド博士考案のシリンダー型コロニーの想像図(上図:外観、下図:内観)

<https://www.nasa.gov/feature/2019/04/24/2019042401>

NASAは1970年代にいろいろなスペースコロニーを構想していた。

2019年4月24日、NASAは「オズワルド博士」の想像図を公開した。

<https://www.nasa.gov/feature/2019/04/24/2019042401>

火星移住計画



火星移住計画のイメージ図。火星の表面に建設されるコロニーのイメージ。

<https://www.nasa.gov/feature/2019/04/24/2019042401>

2012年マーズワン(オランダの民間非営利団体)は、2025年までに、人類の火星移住をしようとしている。オランダの企業家、ピーター・ファン・デル・フトが代表、その計画は、片道飛行で火星に行き、定住しようとしている。

2013年4月〜6月に火星への移住希望者募集、世界中から20万人の希望者。

2013年12月に、1000人に絞った。

2015年2月、100人に絞られた。

2016年8月に、24人が選ばれた。

2018年には、数人で火星に打ち上げ予定、(2年毎に4回)連続して2018年に火星に到着する予定に、...

2023年に、約1000人を火星に送り出す予定。

その後、2年ごとに、4人ずつ増やしていく予定。



火星移住計画のイメージ図。火星の表面に建設されるコロニーのイメージ。

<https://www.nasa.gov/feature/2019/04/24/2019042401>



火星移住計画のイメージ図。火星の表面に建設されるコロニーのイメージ。

<https://www.nasa.gov/feature/2019/04/24/2019042401>



火星移住計画のイメージ図。火星の表面に建設されるコロニーのイメージ。

<https://www.nasa.gov/feature/2019/04/24/2019042401>

惑星の環境を改造して地球のように住もう (テラフォーミング)



火星を暖めるキュリオシティ(想像図)

火星の土壌に水が含まれる(2013年発見)

火星の気温を太陽熱や温室効果を利用して上げる。

植物による二酸化炭素の吸収と酸素の生産。

<https://www.nasa.gov/feature/2019/04/24/2019042401>



火星移住計画のイメージ図。火星の表面に建設されるコロニーのイメージ。

<https://www.nasa.gov/feature/2019/04/24/2019042401>

シアノバクテリア(らん藻)の利用

らん藻は、光を吸収して酸素を生成する。地球の初期には、光合成を助けた。地球の初期には、光合成を助けた。

300年〜1000年後?

300年〜1000年後?

地球外生命を求めて



2013年に発見された、プロキシマ・ケンタウルスは、太陽系から最も近い恒星で、赤い矮星プロキシマ・ケンタウルスのハビタブルゾーン内にあり、地球から約4.2光年離れており、プロキシマ・ケンタウルスとともに太陽系から最も近い恒星系である。

プロキシマ・ケンタウルスは太陽系から最も近い恒星系である。

地球の半径より約1.3倍大きい。最小質量が1.17地球質量の地球のような恒星である可能性がある。

地球が生命が存在できる可能性の一つである。

太陽系から最も近い恒星系である。太陽系から最も近い恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

2013年に発見された恒星系である。2013年に発見された恒星系である。

NASAが地球に似た惑星を発見

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)



水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

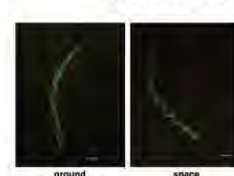
水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

水が存在する可能性あり—地球外生命はいるのか？(2018年2月)

宇宙では線虫の寿命が延びる



宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

宇宙では線虫の寿命が延びる

時間の進み方⇒時計の針が無む時間の進み方は、場所の違いで速くなったり、ゆっくり遅れたりしている。

場所によって時間が伸び縮みしている現象を説明したのは、アルベルト・アインシュタイン(1879～1955年)。100年余前に発表した「特殊相対性理論」と「一般相対性理論」で、時間の流れについてそれぞれ、「高速で移動すればするほど、時間の進みが遅くなる」「重力が強いと、時間は遅く進む」と予測。

速く動いたり、遅く動いたりする時間の流れ

地球の中心部から見ると、最大時速 17000km で回転する地球の表面に比べ、国際宇宙ステーション(ISS)は最大時速 28000km と高速で移動している⇒ISSで滞在する宇宙飛行士からの時間は、地球よりも遅く流れる。

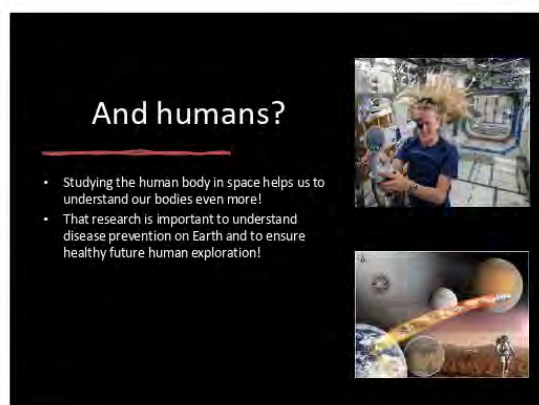
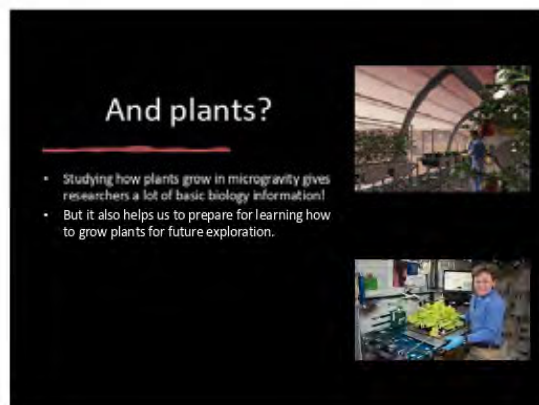
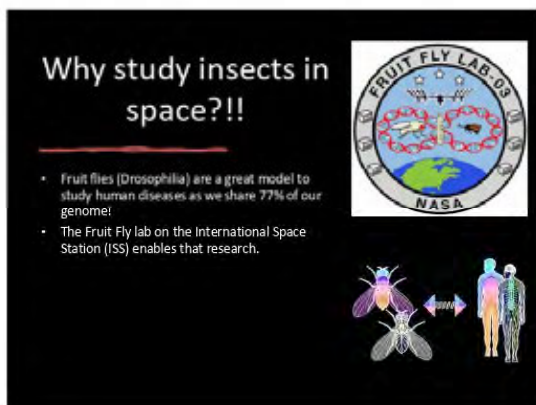
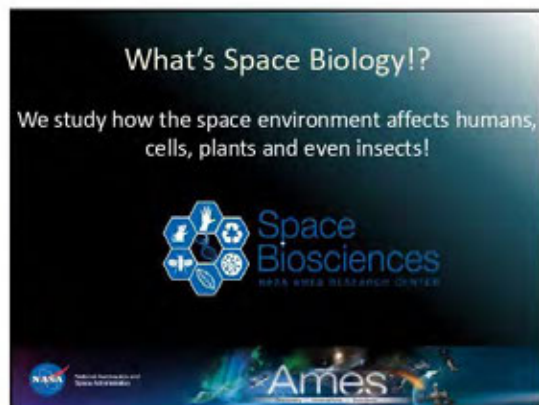
ISSでは、約半年間の滞在中、体重を落とす地球の人たちとは、宇宙飛行士よりも0.005秒だけ年をとる

宇宙が膨張の勢いで、地球人の「老い」を遅く、「宇宙人」は「若さ」を維持する

宇宙が膨張の勢いで、地球人の「老い」を遅く、「宇宙人」は「若さ」を維持する

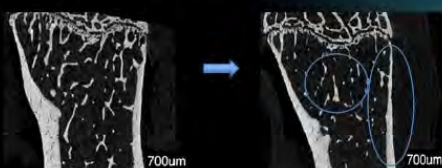


4.4. 招へい外国人キャリアセミナー



My research:

- When astronauts go to the ISS they can be at risk for bone loss due to microgravity and space radiation
- This resembles osteoporosis and aging



- Determine the cellular and molecular mechanisms involved
- Identify potential countermeasures (diet or drug) to prevent bone loss



How did I get to NASA?

- I came to do post-doctoral research in April 2012



- but before that I had to complete a journey

Background life story

- Belgian citizen, daughter of expats, so mostly lived abroad
- Born in Dubai, lived in Cameroon, Zaire, Mauritius, Poland, France, UK and USA
- Studied at the French schools and got my Scientific Baccalaureate in 2002



Bachelor in Biology

- B.Sc in Life Sciences, speciality genetics in 2006 at University Pierre and Marie Curie (UPMC) in Paris, France (now Sorbonne University)
- Studied plant biology, marine biology, and geology. Submitted a report about Life on Mars
- Internships at INSERM in Paris (Fondation Jean Dausset and Hopital Saint Louis)
 - Role: Worked on Colorectal Cancer (HNPCC) and the DNA repair mechanism as well as finding new target oncogenes.
 - Methods used: RNA and DNA extraction, PCR, qPCR, sequencing, plasmid cloning, human cell culture.
 - Notes: Mentored younger students, presented at conferences and published.



Master in Molecular and Cellular Biology

- M.Sc in Molecular and Cellular, speciality genetics in 2008 at the University Pierre and Marie Curie (UPMC) in Paris, France
- Continued my internships working on hereditary cancer



PhD in Biochemistry

US
University of Sussex

- EU Marie Curie Fellowship DNA Damage at the Genome Damage and Stability Center within the University of Sussex Brighton, UK (2008-2012)
 - Role: Determine the role and structure of an enzyme (RNR) in yeast using advanced microscopy
 - Methods used: Cloning, PCR mutagenesis, qPCR, Western Blot, yeast and bacteria cells work, Protein purification, and microscopy (Confocal, AFM, FCS, Single molecules...)
 - Notes: Brought in novel technology and methods (live cell microfluidics), got a lot of training, mentored students, presented and published.




Meanwhile Space wasn't far...

"Life in Space" course by European Space Agency (ESA)

- An opportunity that opened my eyes, I was expecting exobiology and here we were talking about humans in space!
- Proposed a project about using a terraforming Mars
- Heard about the ESA contest and thought to give it a try




ESA SUCCESS contest

- European Space Agency Student contest
- Submitted an idea about the effects of Space Radiation Effects on Gene Expression (SREGE)
- Won first place and gave me strength to follow my dreams!



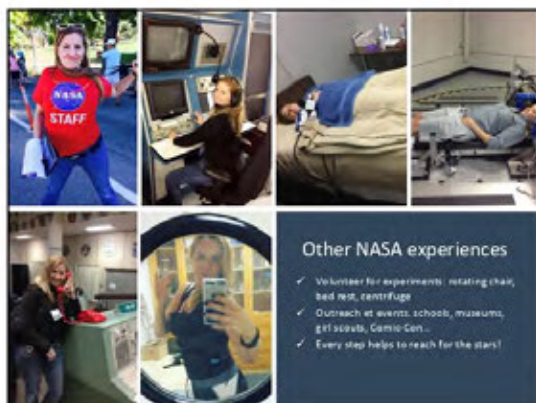

Follow your dreams...

- I told my-self "if I win that ESA contest, I follow my dream for NASA"
- Moved halfway the globe to pursue that dream




NASA Positions and research

- Post-Doctoral Scientist
NASA Ames Research Center, USA. April. 2012 – Sept. 2016
My role as a NASA Post-Doctoral (NPP) fellow was to determine the role of oxidative stress and damage in bone loss due to spaceflight, as well as searching for countermeasures to reduce the bone loss.
- Scientist
NASA Ames Research Center, USA. Nov. 2016 – May. 2017
My role as a Scientist was to develop the Biosentinel Payload, a free flying payload with yeast cells with the aim to be a biosensor for space radiation.
- Principal Investigator Scientist
NASA Ames Research Center, USA. Oct. 2016 – Sept. 2018
My role as a Scientist in the Bone and Signaling laboratory was to determine the effects of spaceflight on tissue degeneration, in particular bone loss, and preventing the damage with countermeasures.
- Senior Staff Scientist in the Office of the Chief Scientist
NASA Ames Research Center, USA. Sept. 2018 – January 2021
My role was to assist the Chief Scientist in reviewing research proposals, organizing workshops and seminars, as well as writing papers and reports.



Skydiving!

Great sport and training but especially fun!



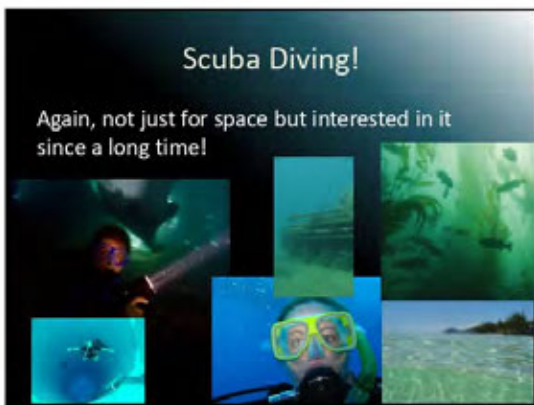
Piloting!

Flying planes has been a long dream of mine, and it's so much fun!



Scuba Diving!

Again, not just for space but interested in it since a long time!



Travel!

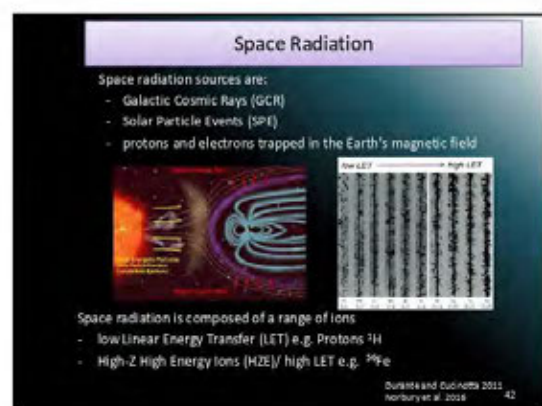
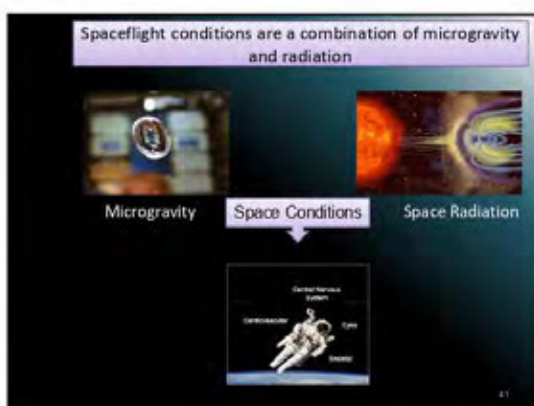
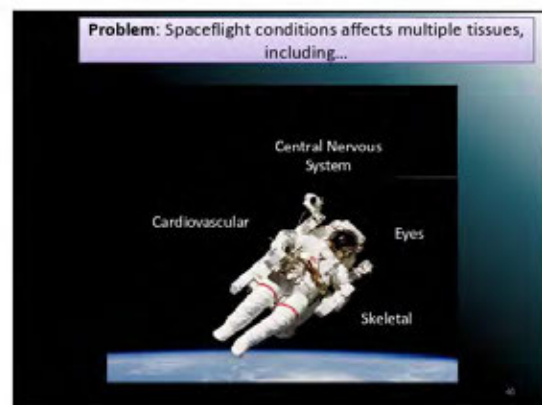
Lived in 9 countries and visited close to 40

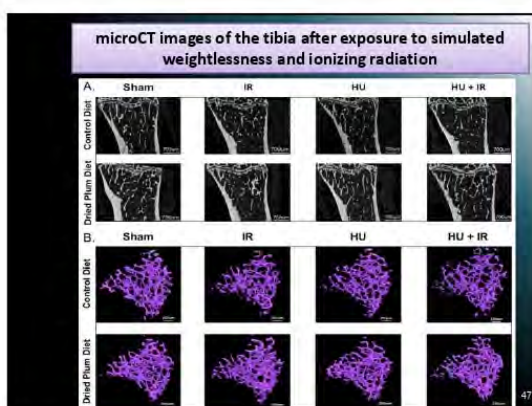
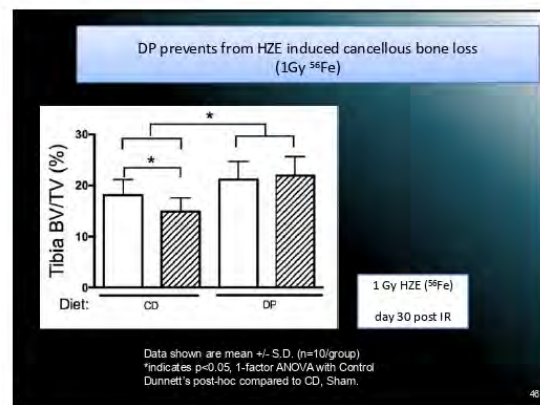
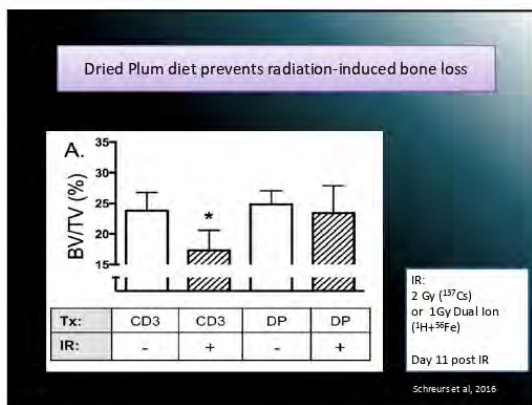
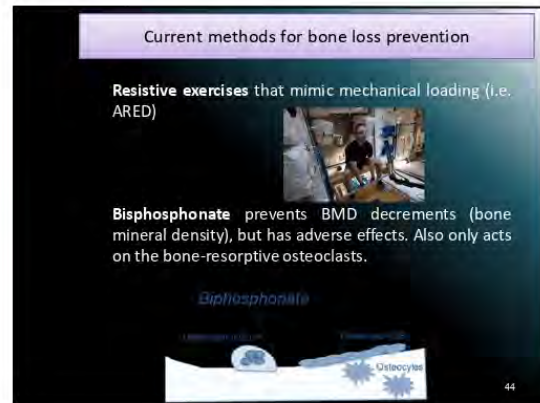
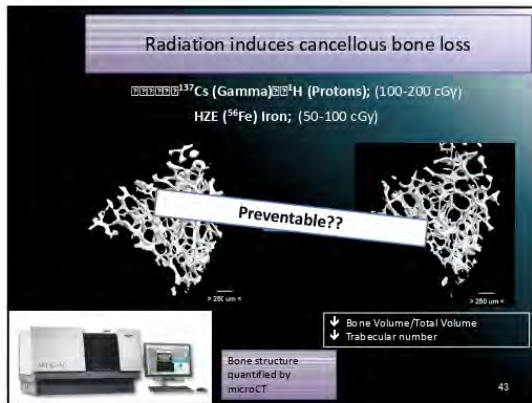



...and beyond

- International Space Station
- Moon (Lunar Research Park, Moon Village)
- Mars and our Solar System





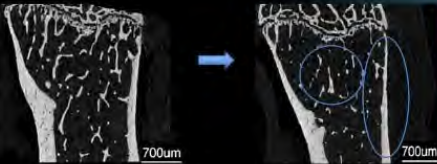




4.5. 招へい外国人(Ann-Sofie Schreurs, Ph.D.)スライド集

My research:

- When astronauts go to the ISS they can be at risk for bone loss due to microgravity and space radiation
- This resembles osteoporosis and aging



- Determine the cellular and molecular mechanisms involved
- Identify potential countermeasures (diet or drug) to prevent bone loss



How did I get to NASA?

- I came to do post-doctoral research in April 2012




- but before that I had to complete a journey

Background life story

- Belgian citizen, daughter of expats, so mostly lived abroad
- Born in Dubai, lived in Cameroon, Zaire, Mauritius, Poland, France, UK and USA
- Studied at the French schools and got my Scientific Baccalaureate in 2002




Bachelor in Biology




- B.Sc in Life Sciences, speciality genetics in 2006 at University Pierre and Marie Curie (UPMC) in Paris, France (now Sorbonne University)
- Studied plant biology, marine biology, and geology. Submitted a report about Life on Mars
- Internships at INSERM in Paris (Fondation Jean Dausset and Hopital Saint Louis)
 - Role: Worked on Colorectal Cancer (HNPCC) and the DNA repair mechanism as well as finding new target oncogenes.
 - Methods used: RNA and DNA extraction, PCR, qPCR, sequencing, plasmid cloning, human cell culture.
 - Notes: Mentored younger students, presented at conferences and published.

Master in Molecular and Cellular Biology

- M.Sc in Molecular and Cellular, speciality genetics in 2008 at the University Pierre and Marie Curie (UPMC) in Paris, France
- Continued my internships working on hereditary cancer




PhD in Biochemistry

US
University of Sussex

- EU Marie Curie Fellowship DNA Damage at the Genome Damage and Stability Center within the University of Sussex Brighton, UK (2008-2012)
 - Role: Determine the role and structure of an enzyme (RNR) in yeast using advanced microscopy
 - Methods used: Cloning, PCR mutagenesis, qPCR, Western Blot, yeast and bacteria cells work, Protein purification, and microscopy (Confocal, AFM, FCS, Single molecules...)
 - Notes: Brought in novel technology and methods (live cell microfluidics), got a lot of training, mentored students, presented and published.




Meanwhile Space wasn't far...

"Life in Space" course by European Space Agency (ESA)

- An opportunity that opened my eyes, I was expecting exobiology and here we were talking about humans in space!
- Proposed a project about using a terraforming Mars
- Heard about the ESA contest and thought to give it a try




ESA SUCCESS contest

- European Space Agency Student contest
- Submitted an idea about the effects of Space Radiation Effects on Gene Expression (SREGE)
- Won first place and gave me strength to follow my dreams!





European Space Agency

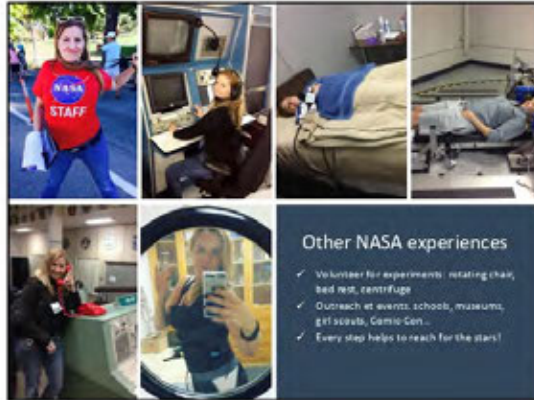
Follow your dreams...

- I told my-self "if I win that ESA contest, I follow my dream for NASA"
- Moved halfway the globe to pursue that dream

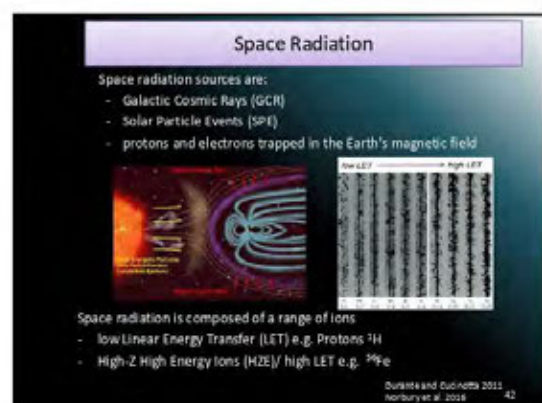
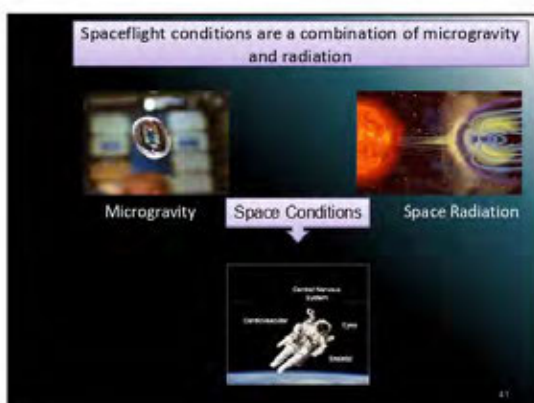
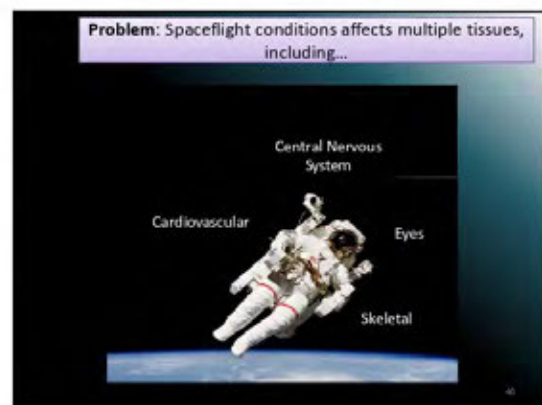


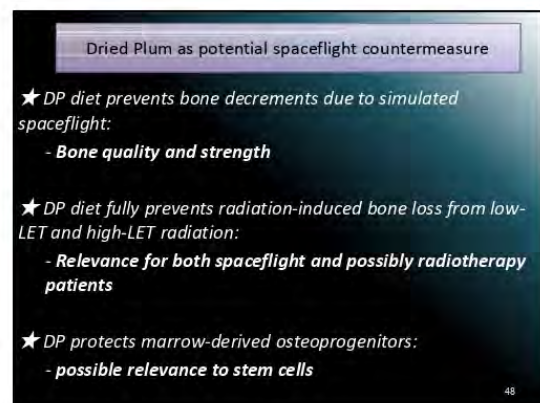
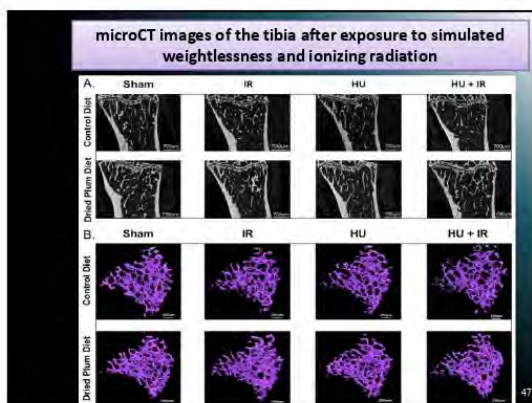
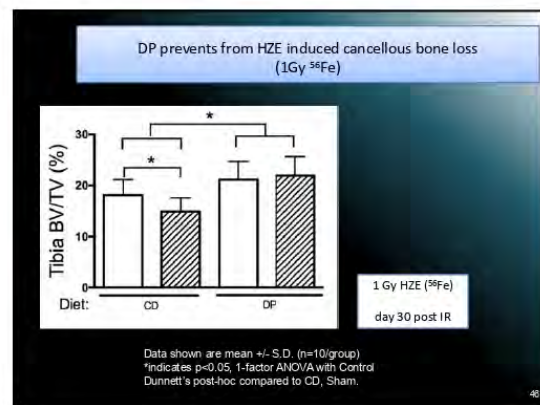
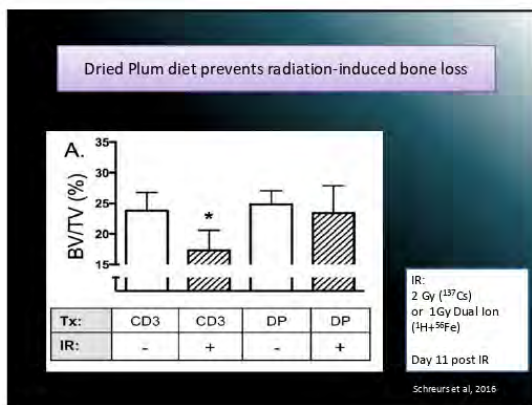
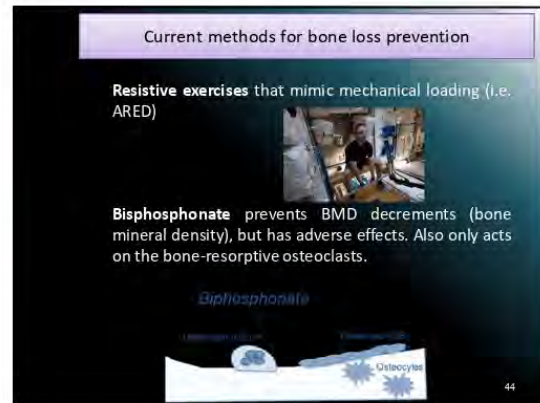
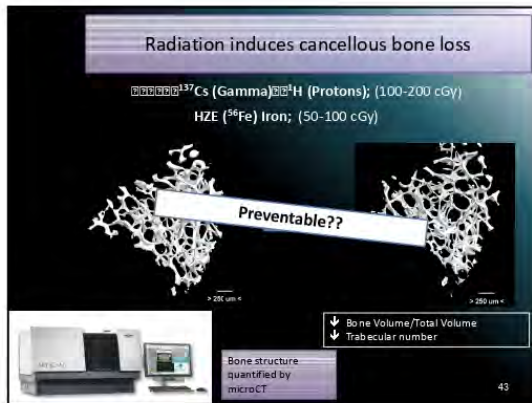

NASA Positions and research

- Post-Doctoral Scientist
NASA Ames Research Center, USA. April. 2012 – Sept. 2016
My role as a NASA Post-Doctoral (NPP) fellow was to determine the role of oxidative stress and damage in bone loss due to spaceflight, as well as searching for countermeasures to reduce the bone loss.
- Scientist
NASA Ames Research Center, USA. Nov. 2016 – May. 2017
My role as a Scientist was to develop the Biosentinel Payload, a free flying payload with yeast cells with the aim to be a biosensor for space radiation.
- Principal Investigator Scientist
NASA Ames Research Center, USA. Oct. 2016 – Sept. 2018
My role as a Scientist in the Bone and Signaling laboratory was to determine the effects of spaceflight on tissue degeneration, in particular bone loss, and preventing the damage with countermeasures.
- Senior Staff Scientist in the Office of the Chief Scientist
NASA Ames Research Center, USA. Sept. 2018 – January 2021
My role was to assist the Chief Scientist in reviewing research proposals, organizing workshops and seminars, as well as writing papers and reports.









"Ground control to major Tom..."
<https://www.nature.com/articles/srep21343>



Dried plum diet protects from bone loss caused by ionizing radiation
Bone loss caused by ionizing radiation is a potential health concern for radiotherapy patients, radiation workers and astronauts. In animal studies...

NATURE.COM

20

4.6. 招へい外国人(Ravikumar Hosamani, Ph.D.)スライド集

UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES
DHARWAD, KARNATAKA, INDIA

Kyoto University, Japan
Unit of Synergetic Studies for Space
March 13, 2023

"Fruit fly model for Astronaut's health"

Ravikumar Hosamani, Ph.D.
Assistant Professor
University of Agricultural Sciences,
Dharwad, 580 005 India

UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES
DHARWAD, KARNATAKA, INDIA

Gravity v/s evolution of life on Earth

- CO₂
- O₂
- Temperature
- RH

GRAVITY- constant factor

Copyright © 2000 Pearson Education, Inc.

UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES
DHARWAD, KARNATAKA, INDIA

The International Space Stations (ISS)

UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES
DHARWAD, KARNATAKA, INDIA

Why study microgravity and space environment ?

Curiosity & Perseverance
landing on MARS

Possible colonization

UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES
DHARWAD, KARNATAKA, INDIA

Spaceflight effect on astronaut's health

Defining our Complex mission

UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES
DHARWAD, KARNATAKA, INDIA

Model organisms

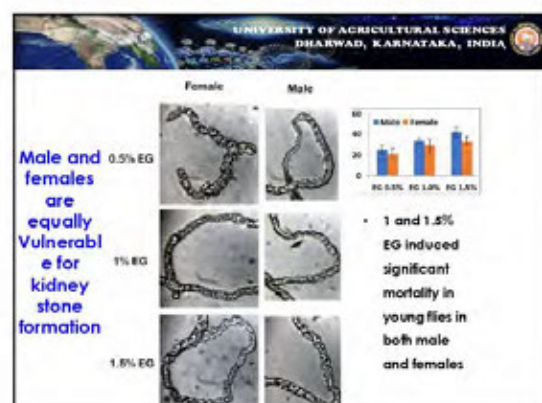
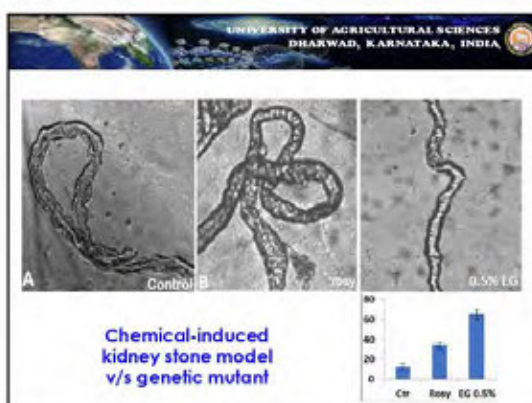
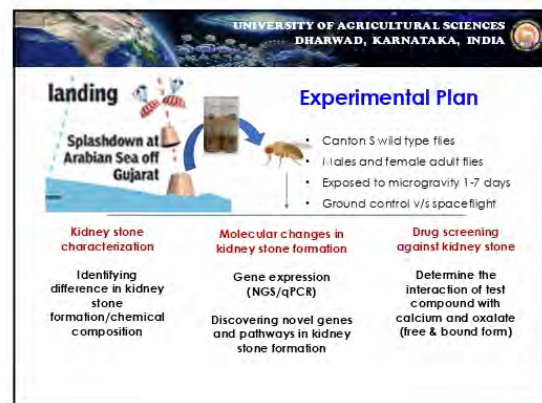
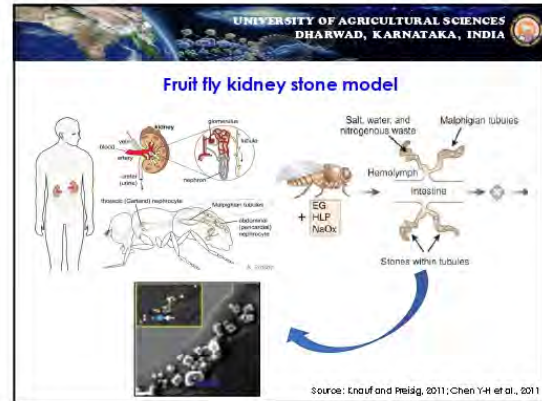
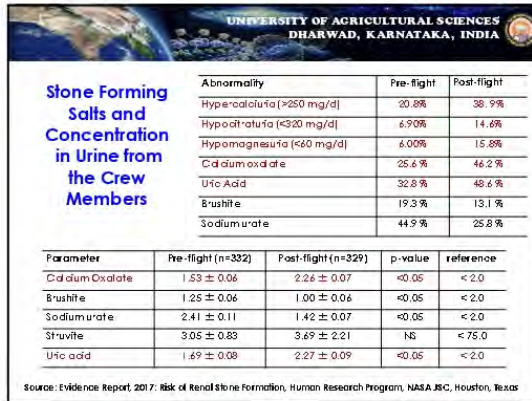
Microbes C. elegans D. melanogaster Rodents

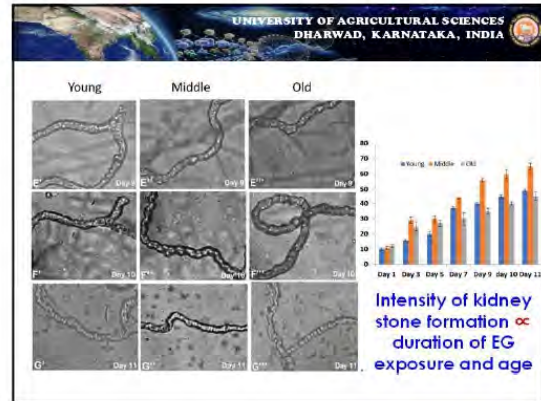
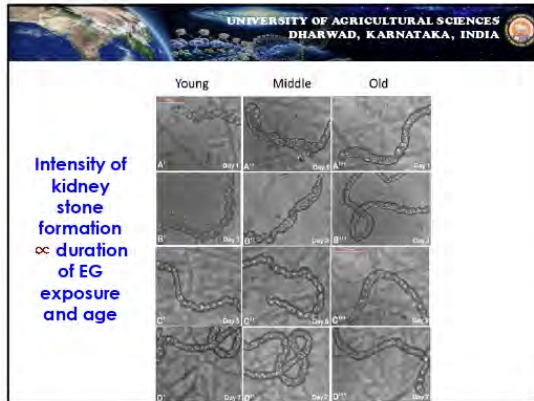
Year-long twin Astronaut's Studies

- Genetically identical twins

Scot Kelly - Onboard the ISS
Mark Kelly - On Ground







UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES
DHARWAD, KARNATAKA, INDIA

"Utility of hypergravity as a novel tool in inducing reliable phenotype/s for improving crop plants – A relevance to terrestrial agriculture"

Ravikumar Hosamani, Ph.D.
Assistant Professor
Department of Biotechnology
University of Agricultural Sciences
Dharwad, Karnataka, 580 005, India

UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES
DHARWAD, KARNATAKA, INDIA

Review of literature

RESTRICTED TO

1. Seedling stage in laboratory
2. Comprehend microgravity effects

Seedling Phenotypes
Structural changes
Salt tolerance

Hypergravity Exposure

Looking through the prism of terrestrial agriculture

UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES
DHARWAD, KARNATAKA, INDIA

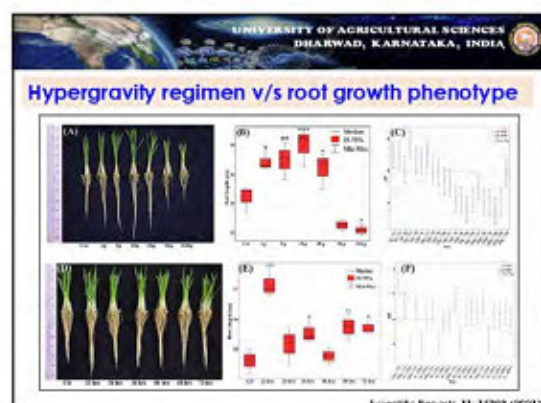
Methodology

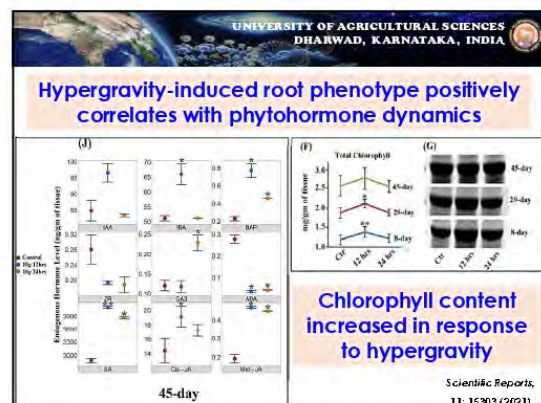
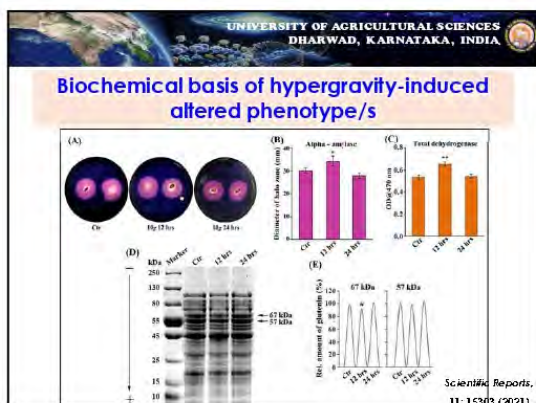
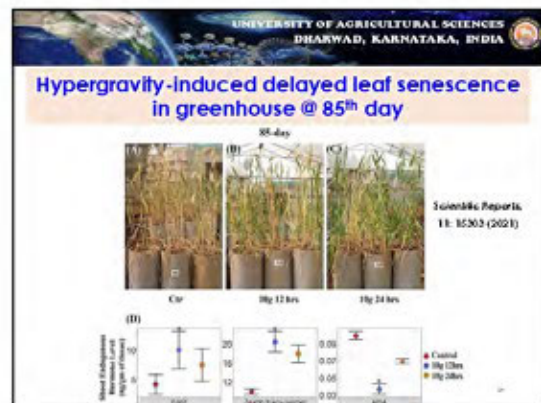
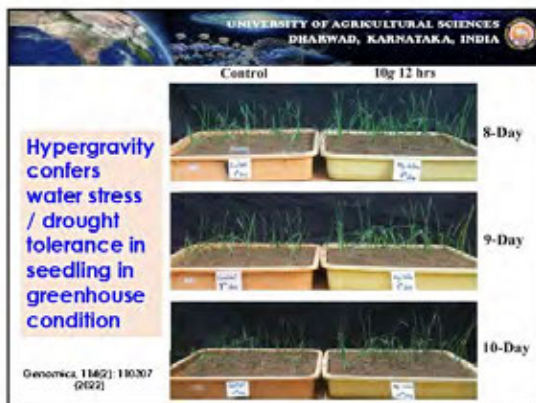
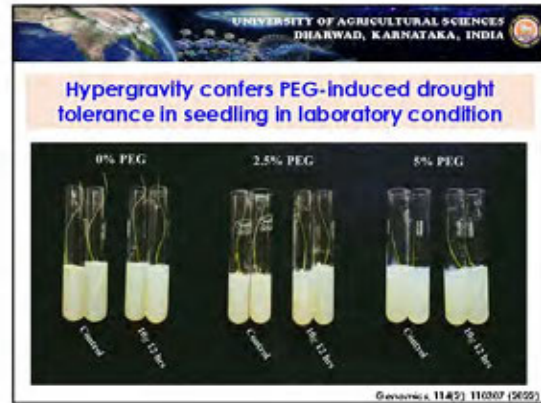
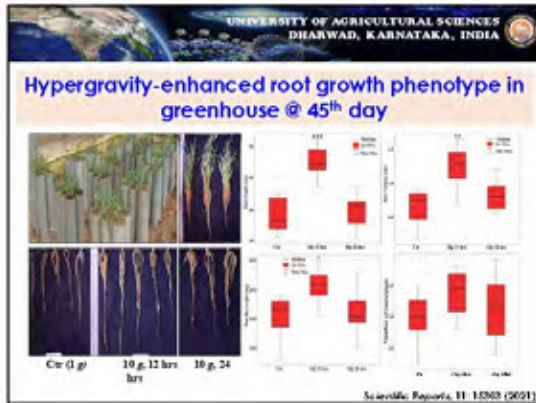
Hypergravity exposure
Wheat seeds @ 2, 5, 10, 20, 50, & 100g for 12 & 24 hrs

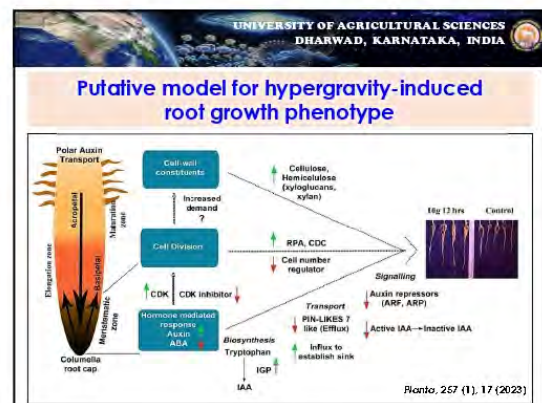
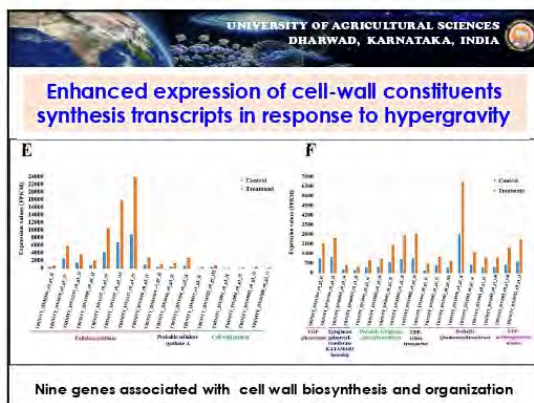
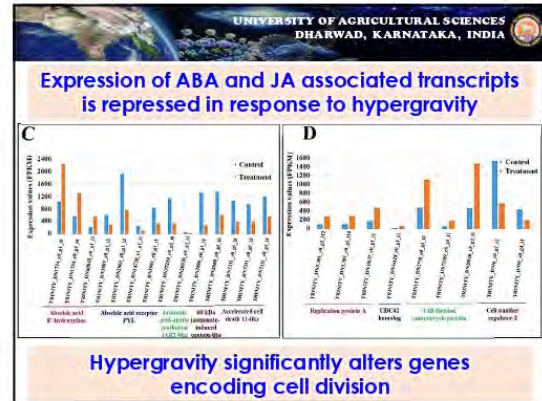
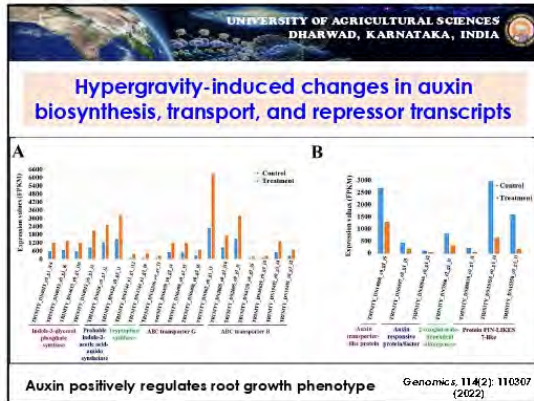
Centrifugation

✓ Root growth parameters
✓ Biochemical
✓ Transcriptome
✓ Protein profile changes

Laboratory & Greenhouse







NASA National Aeronautics and Space Administration

Ames

Spaceflight-induced bone loss: molecular mechanisms and countermeasures

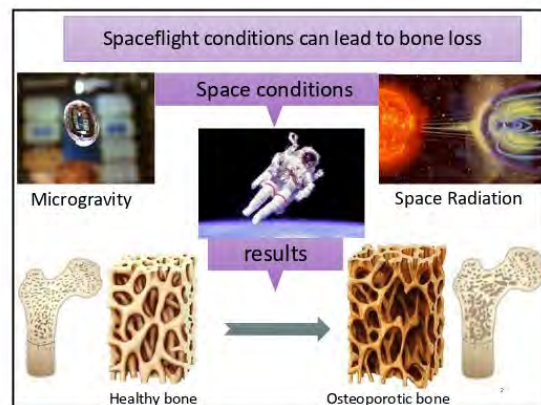
Ann-Sofie Schreurs

March 2023

NASA POSTDOCTORAL PROGRAM

Space Biosciences

NASA



Space radiation

- Space radiation sources are
 - Galactic Cosmic Rays (GCR)
 - Solar Particle Events (SPE)
 - protons and electrons trapped in the earth's magnetic field
- Space radiations are composed of low LET and high LET

low LET → high LET

Cucinotta, Desrosiers, 2005

Morabito, [...] Schreurs, [...] Bullin et al 2016

Spaceflight simulation models

Space: Weightlessness and Radiation

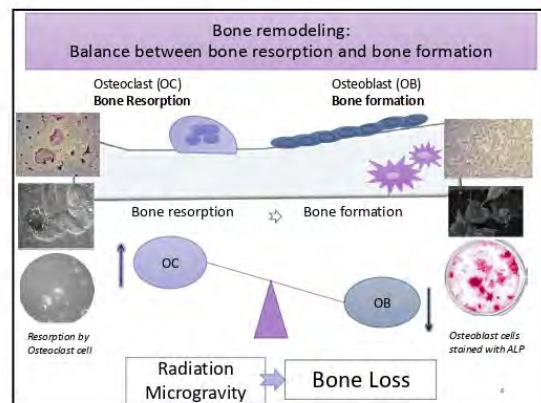
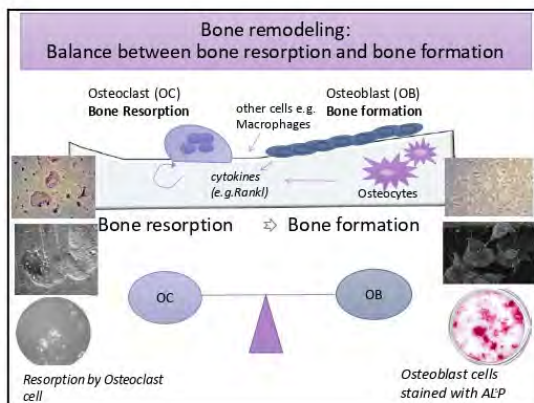
Simulated Spaceflight: Ground based Analogs

Head tilted bed rest

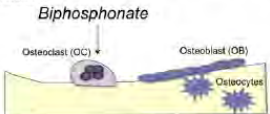
Hindlimb Unloading

Space radiation simulations

NASA Space Radiation Laboratory, BNL



Current countermeasures against microgravity and bone loss

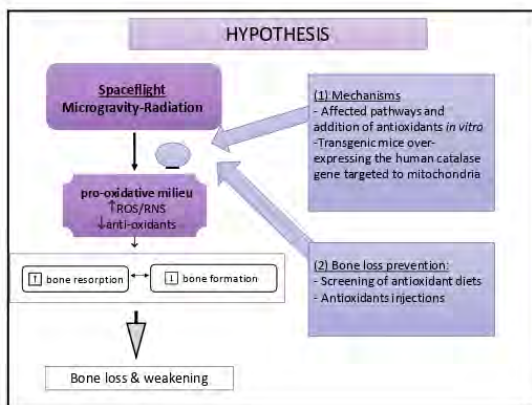
- Resistive exercises** that mimic mechanical loading (i.e. ARED)
 
- Bisphosphonate** prevents BMD decrements (bone mineral density), but has adverse effects. Also only acts on the bone-resorptive osteoclasts.
 

Ground-based simulation of spaceflight causes bone loss in mice

simulated microgravity ± irradiation

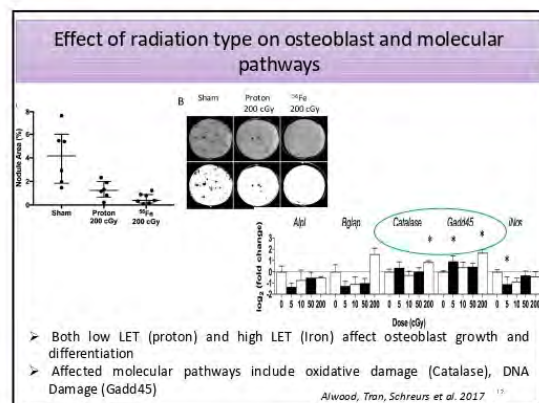
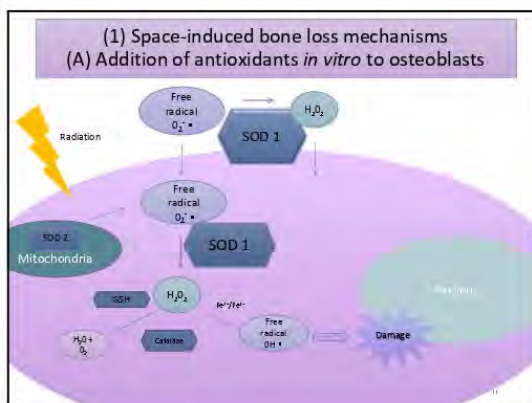
- ↑ acute bone resorption via osteoclasts
- ↓ bone formation via osteoblasts
- ↑ acute oxidative damage in bone and bone marrow
- ↑ bone loss

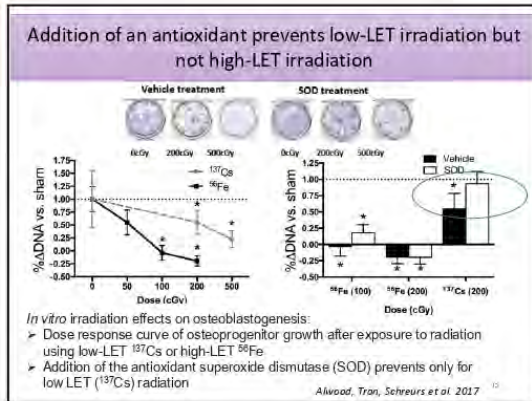
Kondo, et al. RadRes 2009
Yumoto, et al. RadRes 2010
Kondo, et al. J Appl Physiol 2010
Alwood, et al. J Aging Res 2012



(1) Space-induced bone loss mechanisms

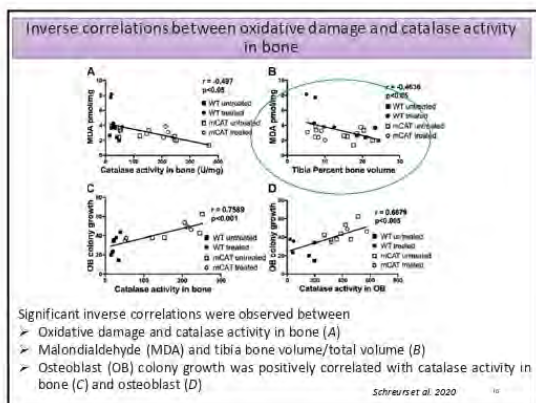
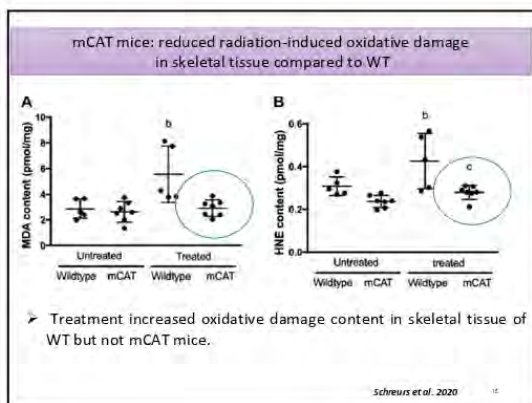
- Objective:** Determine the role of oxidative damage and DNA damage mechanisms in bone loss caused by spaceflight
- Hypothesis:** microgravity decreases Antioxidants response and DNA damage repair (DDR) capacities thus exacerbating the radiation effects
- Approaches:**
 - Use of transgenic mice model with increased antioxidant response
 - Addition of antioxidant to osteoblasts *in vitro*
 - Analysis of oxidative stress and DNA repair pathways in simulated spaceflight samples





(1) Space-induced bone loss mechanisms (B) Transgenic mice

- **Main goal:** establish the importance of mitochondrial redox defense for adaptation in the space environment
- **Approach:** Use a genetically-engineered animal model, the mCAT mice show:
 - ✓ Extended lifespan via quenching mitochondrial ROS (Schriner et al. 2005)
 - ✓ Reduction of various aging diseases including cardiovascular (Dai et al. 2009)
 - ✓ Brain radioresistance (Liao et al. 2013)

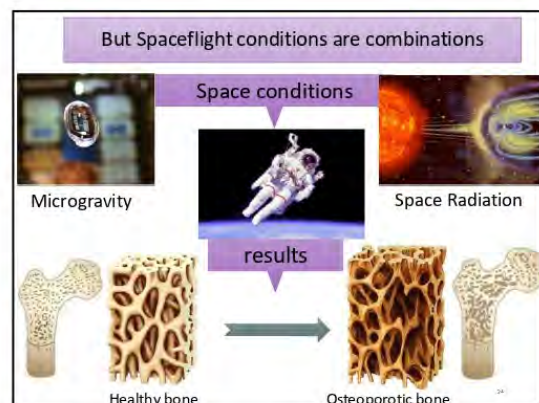
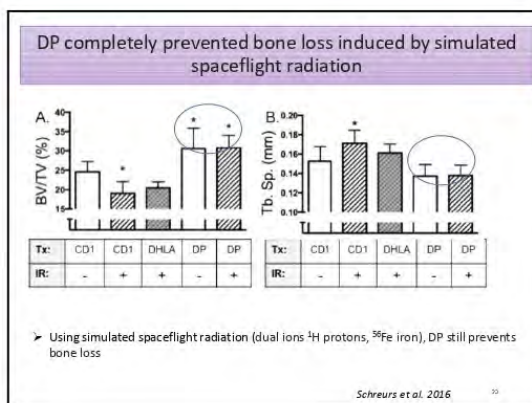
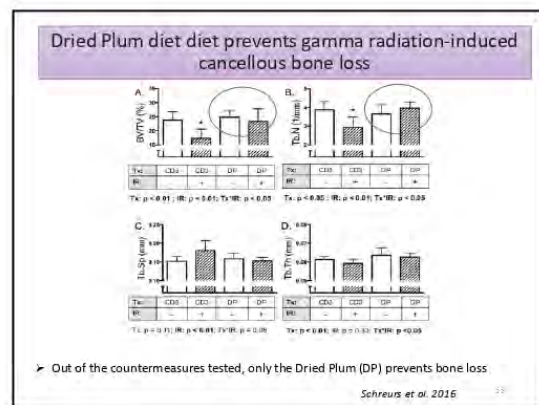
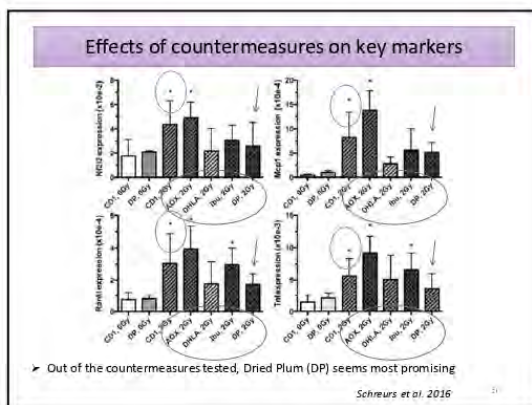
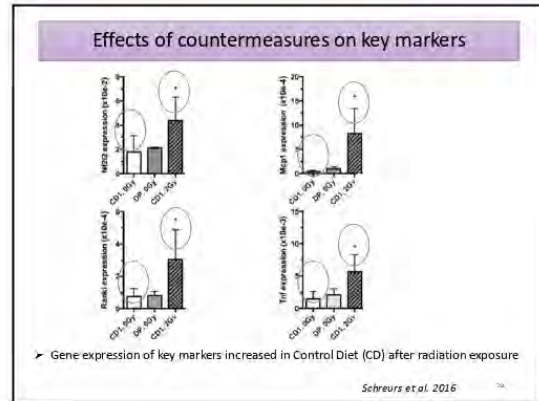
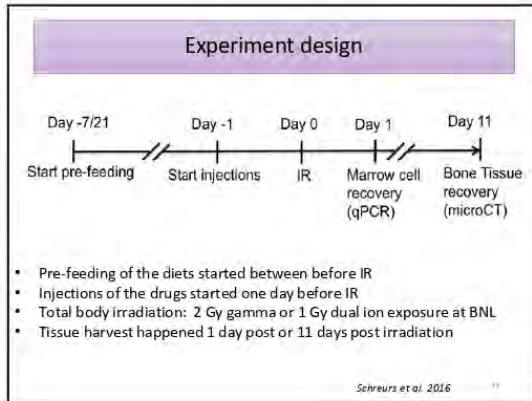


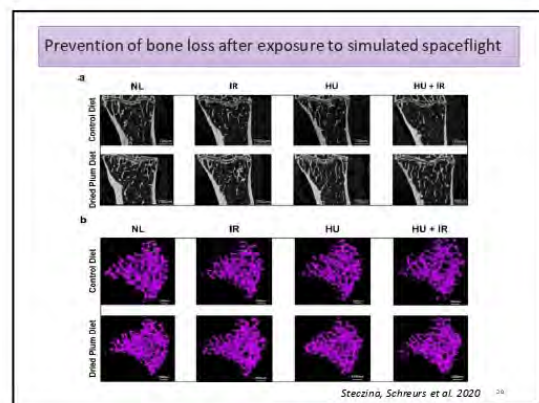
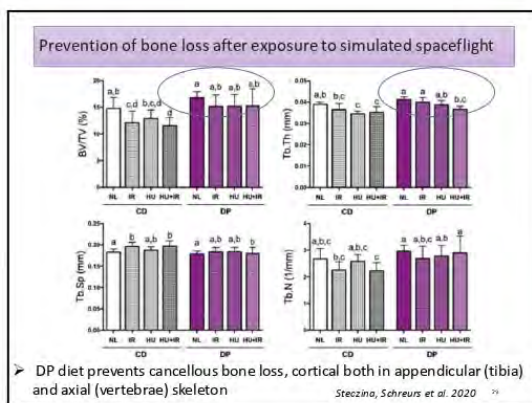
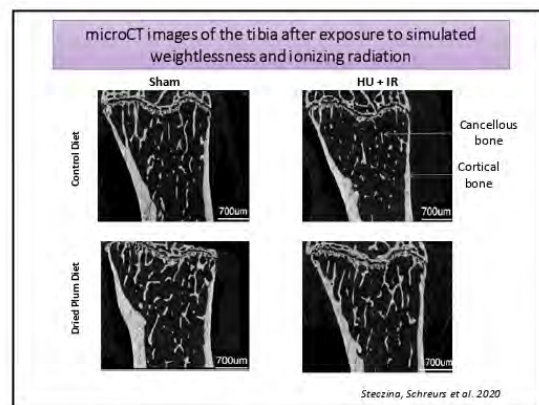
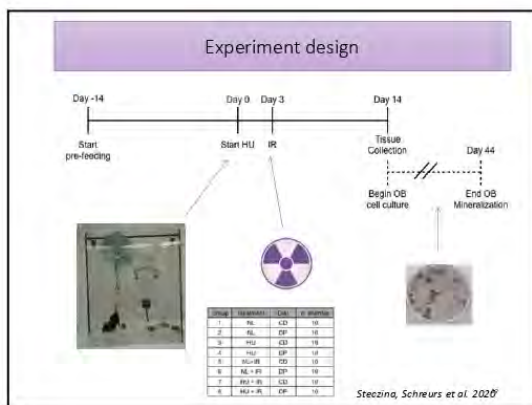
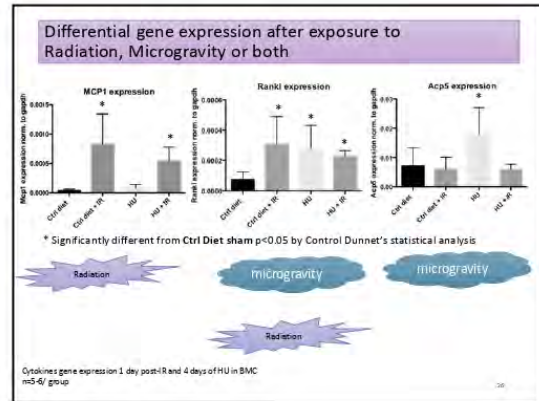
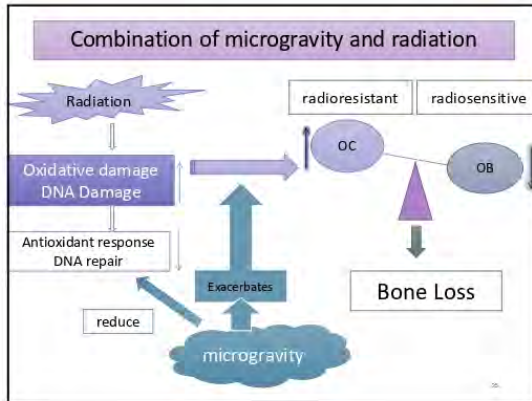
Summary part I

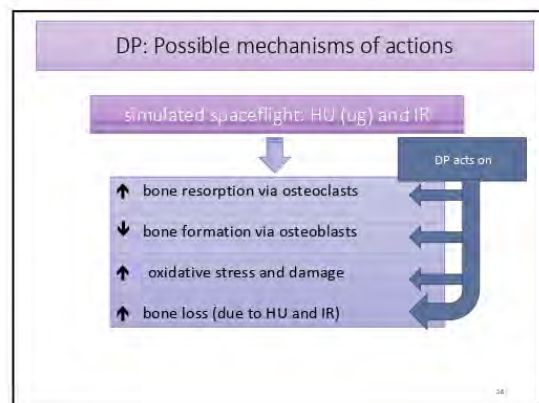
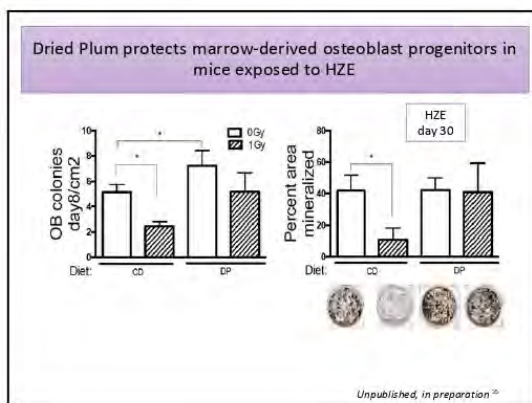
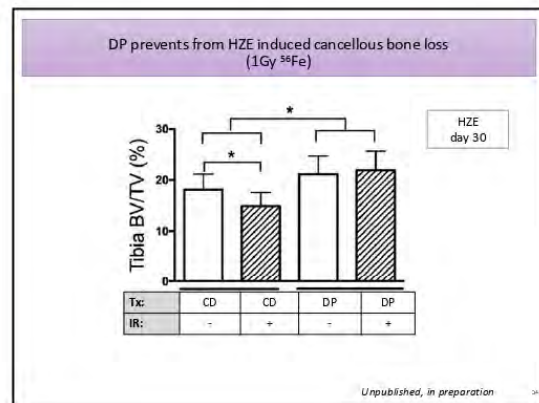
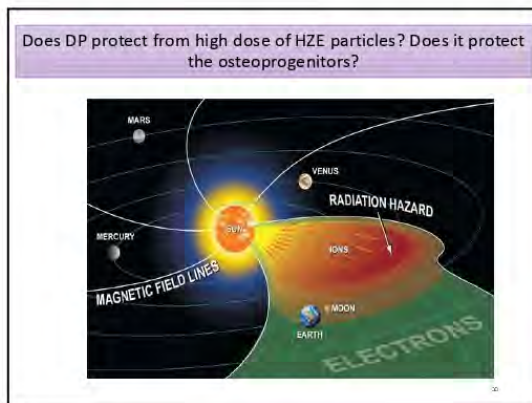
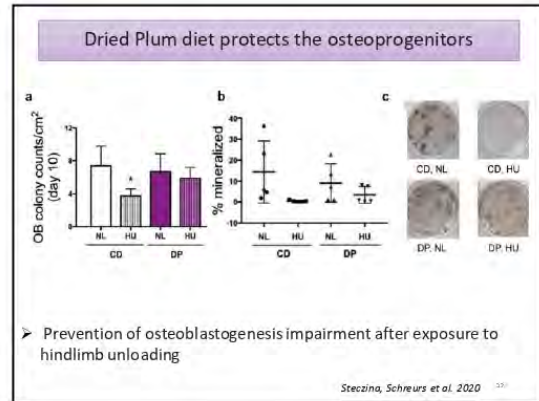
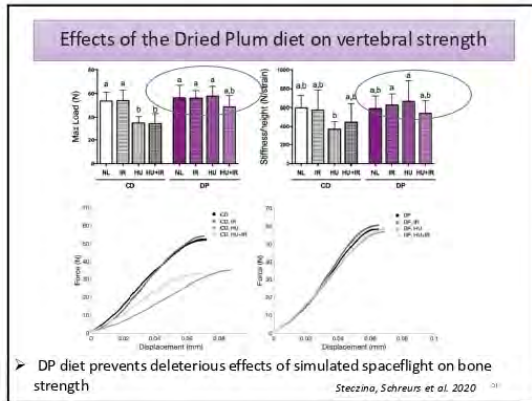
- SOD protects Osteoblasts from low-LET but not high-LET
- Low-LET and High-Let probably have different mechanisms of action and pathways
- mCAT mice has reduced oxidative damage in skeletal tissue
- mCAT mice response to treatment different compared to WT

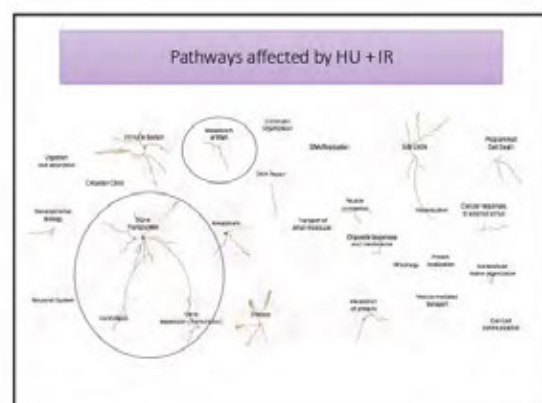
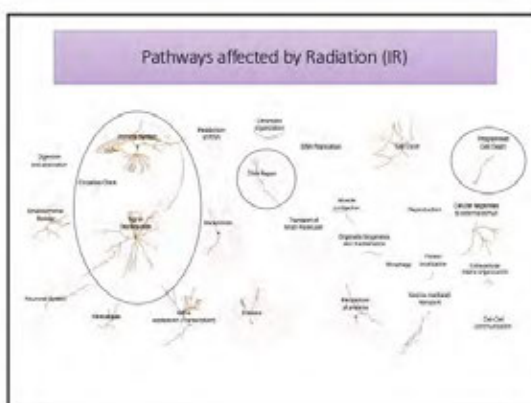
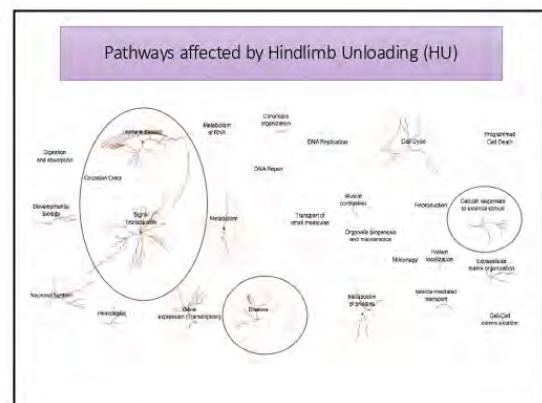
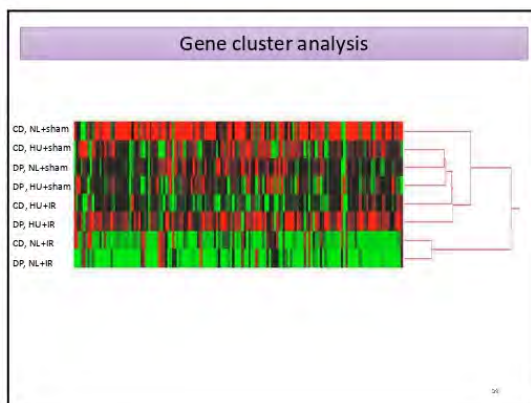
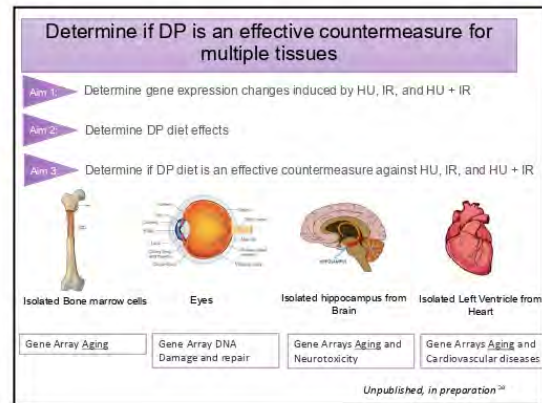
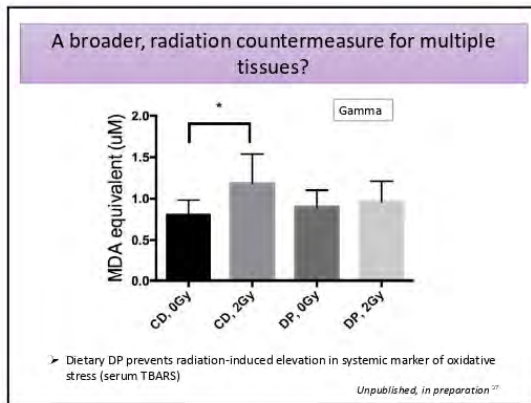
(2) Bone loss prevention

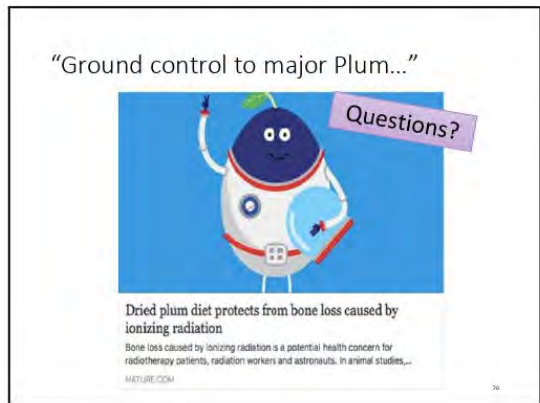
- **Objective:** find countermeasures against radiation-induced bone loss
- **Hypothesis:** increased ROS and oxidative damage was shown post-irradiation, thus **interventions** were selected based on their **antioxidant and ROS scavenging capacity**
- **Approaches:**
 - a) Diets with antioxidant capacities
 - AOX cocktail diet
 - Dried Plum diet
 - b) Antioxidant injections
 - c) Anti-inflammatory injections











8

4.7. インタビュー記事

4.7.1. 京都大学宇宙総合学研究ユニット寺田特定准教授へのインタビュー(宇宙医学 HP より抜粋)

今回は宇宙総合学研究ユニット 特定准教授の寺田昌弘先生にお話を伺いました。寺田先生は宇宙医学の教育や研究に携われ、京大では有人宇宙医学講義や有人宇宙学実習などを担当されています。宇宙医学に進まれたきっかけや NASA への留学経験についてお話を伺いました。最後には学生へのメッセージもあるので、宇宙医学・有人宇宙に進みたい学生の皆さんは必見です！

本日はありがとうございます。まずは、宇宙医学とは何なのか教えてください。

宇宙飛行士の健康管理がメインの学問です。

しかしやがては民間旅行も始まるので、一般人の健康管理も考えなければなりませんし、長期滞在も考える必要があると個人的には思っています。また、宇宙医学を地上にどう還元するかも大事になってきます。

先生が宇宙医学に進まれたきっかけは何なのでしょう？

実は、最初は宇宙には全く興味がなかったんですが、院生の時に入ったのが大平先生(※大平充宣先生。現同志社大学宇宙医科学研究センター・センター長)のラボでした。NASAに行けるというのが面白くて入りました。その後、向井先生(※向井千秋宇宙飛行士)の研究室が立ち上がったので、JAXAにポスドクとして入りました。そこでは毛髪を用いて宇宙の健康影響を調べる研究の責任者をしていました。研究のためにジョンソン宇宙センターを訪れていたのですが、サターンロケットを見たときに、感動しました。アメリカは戦後すぐにこんな凄いものを！と思ったんですね。

それで宇宙をやるならアメリカにと思い、NASAにトライしました。まず、国際学会に参加した時にAmes(Ames Research Center。NASAの生物医学研究施設)の日本人留学生がいたので、入り方を聞きました。そして彼に聞いた通り、CV(履歴書)を持って、別の学会で、研究者に手当たり次第アタックしていたら、なんとかNASAのAmesにポスドクとして入れることになりました。ちなみに、一年目の夏に自分の研究室に遊びにきたのが、以前会ったその日本人でした。まさかのラボのOBだったんですよ。ラボのボスからすれば同じような日本人がまた現れた、という感じだったんでしょうね。笑

ずっと面白いこと、変わったことで、競争が少なそうなところに行きたいと思っていました。



写真: ジョンソン宇宙センターのサターンロケット



写真: 留学中のラボの様子

宇宙医学の先生方は幼少期から宇宙好きな方がほとんどだと思っていたので、意外です！
そんな先生が考える宇宙医学の魅力とは何ですか？

まだまだ発展途上な分野ですから、自分で広げていけるのは面白いと思います。新しい価値観を取り入れていけるという面白さですね。夢がありますし、未知のことに取り組みます。

それに、宇宙医学を地上に結びつけていけば、いろんな人の理解が得られ、大切にされると思います。
ただし、実際にやっていることは一般の医学と変わらない、オーソドックスな実験や研究であって、宇宙だから特別ということはありません。そこはわかってほしいと思います。自分自身、長くやって初めて基礎の重要性がわかりました。

なるほど。

先生が今取り組んでおられるのが「宇宙医学教育」ということですが、どういうことをされているのでしょうか？

一つには、長く宇宙医学に携わってきた講師陣がリレーで講義する有人宇宙医学講義を京大で立ち上げました。また、宇宙医学実習として、各地の研究室や施設で学生さんに実習してもらっています。
何故教育が必要かという、宇宙医学は今以上に広がる必要があると思っているからです。そのためには、医学系のみならず工学系・人文も一緒になってやらないといけないし、若い人の柔らかい頭が必要だと思います。
また、宇宙は興味を惹く言葉なので、宇宙をきっかけに、医学など分野の勉強のモチベーションを掴んでもらえたらと思います。



写真:宇宙医学実習の様子

宇宙からも医学からも宇宙医学に入れるのはいいところですね。

そうですね。ただ、医学部限定だと思われるのはナンセンスですね。誰でも入れますから。医学系という言葉は狭すぎますし、宇宙は高度なところという勝手なイメージがあります。そんな壁を取り払うのに一番良いのが教育だと思っています。

最近に興味を持ってくれる人も多く、小学生から大学生まで、いろんな年代のいろんな人が相談に来ます。ただ、少し学んで離れてしまう人は多いですね。ただ、また興味を持って帰ってきてくれたら歓迎します。やる気がある子には何かしら提供できるようにと心がけています。

宇宙医学を京大で学ぶ良さはありますか？

学問同士の垣根が低く、他分野との融合がしやすいと思います。面白ければやるという、関西のノリがあるからですかね。人と違うことをやってやろう、わからないことを形にしていこう、という京大の精神は宇宙をやる上での利点だと思います。

実際に他学部の人参加しているんですか？

はい。確か、法学や人間・環境学研究科の人が宇宙医学講義を聴いています。

凄い、文系の人も聴講しているんですね！異分野からの新しい視点はありましたか？

お坊さんが聴きにきていて、死んだらどうする？死ぬ間際はどうする？という話になりました。確かに、宇宙には宗教観が違う人たちが来ていますから、医学のみならず宗教的な視点からも議論しなければなりません。また、宇宙放射線の防護の話がありますが、工学的な遮蔽のみならず、遺伝子改変で放射線に強い体を作ればいいのかという話もあります。倫理的な話ですよ。

先生は現在教育という学生の将来について考えるお仕事をされていますが、先生ご自身はこれから何をされるのですか？

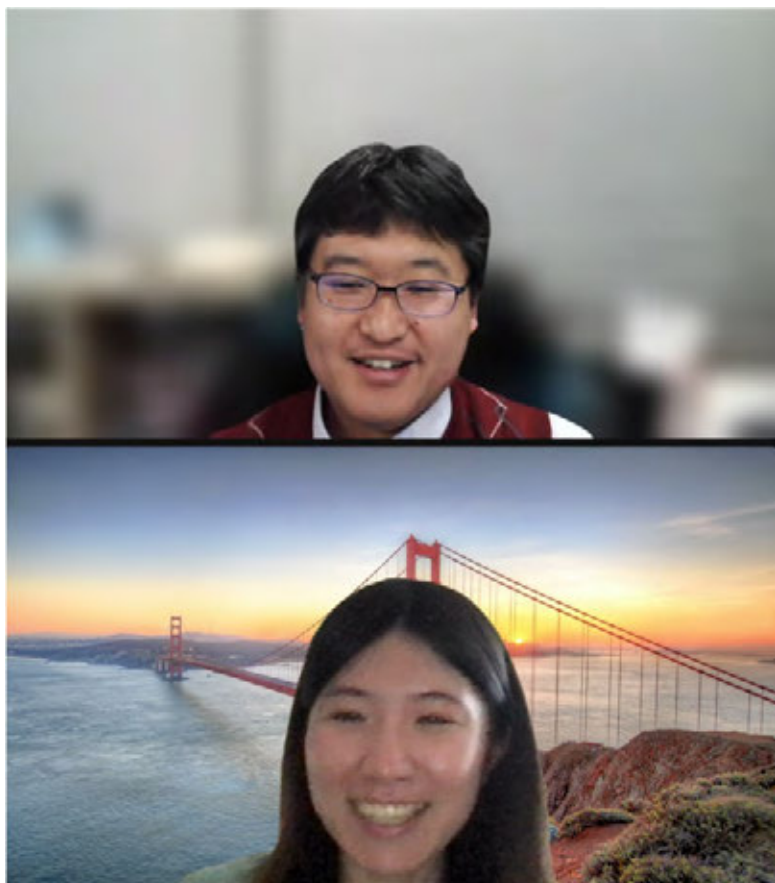
面白いことをやっていきたいと思っています。そうじゃないと続いていきませんから。具体的には、宇宙生物・医療の中で何か柱のようなものを立てたい。場所のようなものです。宇宙医学を地上に応用していけるような所を作りたいと思っています。

では、最後に宇宙や宇宙医学を学びたい学生にメッセージをお願いします。

宇宙医学は限られた分野なので、医学や自分の専攻をしっかりと学んでから入って来てほしいと思っています。「宇宙」は実験条件の一つに過ぎません。いつでもどこからでも入れますから、自分の興味のある分野を見つけて、それを宇宙でやったらどうなるんだろう？と考えてみてほしいです。それで、さらに興味を持ったら、宇宙医学とは何か？を歴史から学んでください。JAXAのHPを見れば大体のイメージは掴めますし。

また、視野は広く持ってください。真面目な学生が多いので、突っ走りがちですが、疲れたらちょっと休んで、細く長く続けてほしいなと思っています。

貴重なお言葉をありがとうございます！これからもよろしくお願いします！



写真：取材の様子。ありがとうございました！

略歴：

インタビュイー：寺田昌弘先生

岐阜県生まれ、岐阜薬科大学、大阪大学大学院、日本学術振興会特別研究員 DC2 を経て、2009 年 4 月より JAXA、2014 年 4 月より東京慈恵会医科大学、2014 年 10 月より NASA Ames Research Center、2018 年 4 月より現職である京都大学宇宙総合学研究ユニットに着任。博士（生命機能学）。専門は、宇宙医学。宇宙環境における人体影響に関する研究や、宇宙分野での人材育成に従事。

インタビュアー：齊藤良佳

京都大学医学部 5 年。2021 年度京都大学久能賞受賞。宇宙医学の学生団体 Space Medicine Japan Youth Community の運営として、セミナーや教科書勉強会を主催。全国の学生に宇宙医学を広め、自分なりの宇宙医学を見つける手助けをしている。また、宇宙ビジネスや様々な宇宙コミュニティでの活動を通じて、日々宇宙に関する学びを深めている。

4.7.2. 岐阜医療科学大学田中教授へのインタビュー(宇宙医学 HP より抜粋)

はじめに

私は今回、京都大学の宇宙医学人材育成プログラムの一環として、岐阜医療科学大学の田中邦彦先生にインタビューをさせていただきました。田中先生は、主に宇宙服の研究を行っている方で、今年の宇宙航空環境医学会の大会長をされます。お忙しい中インタビューに答えてくださった田中先生ありがとうございました。また、引率してくださった京都大学の寺田先生、出口先生にもお礼申し上げます。

田中先生の略歴

香川大学大学院を卒業後、外科として勤務。アメリカに留学し、宇宙服の研究を開始。現在は帰国し、岐阜医療科学大学薬学部で教鞭をとりつつ、宇宙服の研究を継続している。



写真は岐阜医療科学大学の様子
インタビュー当日は、雪が少し降っていました。

研究内容について

宇宙服開発の前提として、宇宙服内の気圧と可動性は相反する関係にあります。本来は宇宙服内の気圧が高ければ高いほど、減圧症と言って血管に含まれる窒素が血管に詰まる症状が起きにくくなるので優れているのですが、現在の宇宙服の構造だと内部の気圧が高いほど、宇宙服が風船のように膨らんでしまい動きづらくなってしまいます。これは、服の外つまり宇宙空間の気圧が0であるため気圧の差が生じてしまうからです。

そこで、現在主流となっている宇宙服は、気圧と可動性のバランスをとって酸素のみで約 0.3 気圧に与圧されています。これは、エベレストの山頂付近と同じ気圧です。しかし、普段生活している 1 気圧の状態から急に 0.3 気圧の状態に入ってしまうと減圧症に陥るリスクがあるため、宇宙飛行士は宇宙服を着る前に 24 時間ほどかけて気圧の低さに慣らしていく予備呼吸を行う必要があり、これが現在の宇宙服の課題となっています。

そこで、田中先生は以下の写真のように宇宙服を自作し、中に圧縮した気体を入れ、実際の気圧の差を再現して実験し、宇宙服の改良を目指しています。



今後、民間人が宇宙に旅行などで行く場合、仕事をこなす必要がないため宇宙服に機動性は現在ほど重要ではなく、着心地などが重視される可能性があり、田中先生の研究はその方面でもとても重要だと感じました。

田中先生インタビュー

堀内: ご出身はどちらですか？

田中先生: 兵庫県明石市

堀内: ご出身大学はどちらですか？

田中先生: 香川医科大(現在の香川大学医学部)です。

堀内: その後研修はどちらでされましたか？

田中先生: 大学院を卒業した後、神戸大学の関連病院で 4 年ほど研修しました。

堀内: 何科にされましたか？

田中先生: 外科。

堀内: それからアメリカに留学されていますね。

田中先生: はい。大学院で生理学を研究して、やはり研究をしている方が幸せであることに気づいたんですよ。研究なんてって学生の時は思っていたんですけどね。研究を一つ仕上げて卒業記念にアメリカの学会に行ったんだよね。ポスターを持って行ったんだけど、そこにとても有名な先生がやってきて、握手してくれたんですよ。こんな世界があるのかって思いました。当時、肝臓腎臓の研究していたんだけど、その道の勉強をしていると誰も

が知っている有名な先生が 7000 演題くらいあるアメリカで一番大きな学会で、自分のポスターを探し出して質問に来てくれたんです。その時に握手したんですが、感動しました。それで研究の道に進もうと思うようになりました。大学院時代の恩師が岐阜大にいて、そこに行ったら早く留学してこいということになって、当時は宇宙医学の研究がちょうど始まった頃で、宇宙医学で留学するか、普通に外科の方でするかどっちの道もあったんだけど、当時はそうやって臨床もしていて、回り道していたので、ちょっとまわりと違うことやった方がいいかなと考えて、宇宙医学の方で留学先探して、でそこからって感じです。

堀内: いくつかの時に留学なさったんですか

田中先生: 34 だね。

堀内: 大学院を卒業なさって一度臨床に戻られて、そのあとやはり研究に戻りたいという感じで、留学したんですね。

田中先生: そうそう。病院やめて研究室に戻って、留学。留学先探すのにも 1 年かかった。

堀内: アメリカ留学中に大変だったことは何ですか？

田中先生: 留学行って、研究室から宇宙服の研究をするように言われたんだけど、宇宙服がどんなものかそもそも知らない。研究費をとるための計画書みたいなのが一冊だけあるだけで、計測装置とかも何もなかった。メーカーがついていたので、大きなチャンバーがあったが、それしかなかった。

堀内: チャンバーって何ですか？

田中先生: 密閉した箱。箱の中に宇宙服の手の部分とか入れて、中の空気を抜いて圧力の差を作って実験するもの。ラボのメンバーに、この実験道具どこにあるって聞くと、計測するプログラムも自分で作成、メーカーが作ってくれる実験道具は、工学系の人で作ったものだったので、医学の面から実験する際にはあまり使えないものが多く、自分でアレンジしたり、一から作るなどの実験のセットアップが一番大変だった。前例がないので。一旦できだすと、あとは順調に実験が進んでいった。

堀内: 宇宙服の研究は、研究室から与えられた課題だったということですね。

田中先生: そうそう。

堀内: アメリカの留学先はどちらでしたか？

田中先生: カリフォルニア大学サンディエゴ校。

出口先生: 研究員としてテーマを与えられたということなんですけども、いつまでにこういう風にしなさいとかいう指示はあったんですか。

田中先生: 三年計画だったので初年度は手袋について研究してこういうデータを取りましょうというのは、あったのでその結果を出していきました。

堀内: 話題が変わるのですが、子供のころに宇宙に興味を持ったきっかけはなんでしたか？

田中先生: ありがちだけどガンダムとか、スターウォーズとかかな。でも自分がちょっと人と違っていたなと思うのは、ガンダムを見たときに、ガンダムに乗りたいというよりも、ガンダム作りたいと思ったことですね。結構工学部だとかこういう人が多いんだけどね。本当に宇宙関連で何かしようと思ったのは、病院を辞めて岐阜で研究して留学するとき。

堀内: 宇宙関係の仕事ではなく、医者としての進路を選択した理由は何ですか？

田中先生: もともと宇宙関連の仕事をするつもりはなかった。医者か先生か船乗りになりたいと思っていた。バラバラやないかってよく言われたんだけど w。最初は影響を受けた先生がいて学校の先生になりたいと思っていた。

だけど、中二の時にブラックジャック読んで、教員よりもお医者さんのほうがその人の人生に深く関われるんだなと思って医学部に進学しようと考えようになった。対象とする年齢も幅広いし。

出口先生：最近、最初から宇宙医学目指している学生さんがとても多い印象を受けるんですけども、はじめから宇宙医学を目指していくことについてどのように思いますか。

田中先生：目指していると思うよ。目指したとしても、日々定期試験は来るし、国家試験は受けないといけないし、やること決まっている。でも大半の学生は、日々忙しくて医師免許を取った後にどんな医者になりたいのかということとはなかなか考えられない。自分の場合は、留年ギリギリで卒業して国試浪人して、ようやくなったけど、そのあとも外科医になりたいと思っていたけど、具体的にどんな外科医になりたいのか、どうすれば自分のオリジナリティーを出せるのか、テストに受かるのが必死で考えられなかったけど、その先に宇宙医学っていうのがあれば、なにかしら宇宙関係で働ける募集があるとか、チャンスがあったときに、それを見逃さないと思う。思っていないと素通りしちゃう。だから、少なくとも目標、夢を持っていることが大事。

堀内：宇宙医学の道に進んで良かったことはありますか

田中先生：やっぱり楽しいね。自分のやっていることは見てもらったとおり地味なことばかりだけど、宇宙服も手作りだし、でもこれが宇宙への入り口になっていると思うと楽しい。自分の考えた宇宙服を着て将来宇宙飛行士が活躍するかもしれないし、自分の考えた治療法で宇宙での症状が治るかもしれない、人類の健康増進と宇宙進出になにかしら役に立つかもしれないことができて、夢を持つことができてるのは幸せなことだと思う。

堀内：宇宙医学の道に進むうえで学生のうちにしておくべきことはありますか

田中先生：英語は最低限出来るようにしないとね。宇宙医学に限らず。日常会話レベルまでできれば、専門分野の単語とかも自然と身につくようになる。

堀内：ちなみに最近大学生は、学部生のうちに留学できる機会が多くあるのですが、どう思いますか。

田中先生：ぜひ行った方がいいと思う。自分も行って価値観が変わったからね、34 で価値観は普通変わらないけどね。外の世界から見られるので日本人と日本に対する見方が変わる。それは良い経験だと思うので若いうちに行くべきだと思う。あと、年を取るにつれて職場でも重要な役職についていたり、家族ができたりして、だんだん留学に行けなくなってくるから、学生のうちにしておくのはいいと思う。

出口先生：留学時代に一緒に切磋琢磨できるような仲間はいたんですか？

田中先生：もう一人オーストラリア人がいて、その人は邪魔ばかりしてきた。

一同：（苦笑）

田中先生：英語が上手だから、俺がやったことを、さも自分がやったかのように言ったり、ひたすら邪魔ばかりだったから、切磋琢磨っていう感じにはならなかったかな。自分は、給料も出ないで来ていて必死だったから土日働くのに対して、その人はフェアじゃないと文句を言ってきていた。もともと外科医だったので土日に働くのは慣れていて、それでもパーティーにも週一くらいで参加していたので、友達はたくさんいてサンディエゴにいただけで楽しかった。

堀内：研究と臨床を両立しているお医者さんも少なからずいると思うのですが、それは可能なんですか？

田中先生：すごいよね。自分も大学院を卒業して研究をしたいと思いながら、臨床にいった、臨床しながら研究もしたいと思っていたけど、できなかった。特に外科だったから。いずれできると思っていたがやはり無理でどちらかに絞らざるを得なかった。

堀内：今後の目標は何ですか

田中先生：やっぱり宇宙服を一つ完成させたい。明確なのはそれだけ。宇宙医学に関して実験していてデータが出ると、一つ当たり大抵 2 つくらい新しい疑問が出てくるから、やりたいことが次々と出てくるから、目標っていう感じなものはない。ただ、宇宙服に関しては、明確に完成させたくて、少し焦ってしまう部分もある。

出口先生：でも今のところほかに宇宙服の研究をしていらっしゃるライバルはいないんですよね

田中先生：今のところはいないけれども、やり始める人がいたら、あっという間に追い越されてしまうのではないかという危機感はある。いろんなアイデアや技術を持っている人もいるからね。ただ、今のところほかに宇宙服の研究をしている人がいないから、いろんな人が話を聞きに来てくれる。だからこそ、最終的には一つ仕上げたい。

堀内：最後に学生に対するメッセージをお願いします。

田中先生：何をしたいかわからなくて焦ることもあるだろうけど、最低限自分は宇宙にかかわりたいという気持ちと、好奇心を持ち続けることが大事。それが潜在意識の中にあれば、チャンス逃さない。これは宇宙とか医学とかに限った話ではなく、様々な専門領域を目指している人にも当てはまると思う。ずっと思い続けているとチャンスはくるので。

4.7.3. 東京慈恵会医科大学インタビュー(宇宙医学 HP より抜粋)

今回は東京慈恵会医科大学 細胞生理学講座 宇宙航空医学の南沢 享教授、暮地本 宙己講師、谷端 淳講師にインタビューをさせていただきました。国内大学で数少ない、宇宙医学・宇宙生命科学の研究を行っている研究室です。

このインタビューでは、宇宙航空医学研究室のご紹介、先生方の宇宙医学研究について、これからの宇宙医学に求められるもの、宇宙医学を目指す方々に伝えたいことをお聞き致しました。

宇宙航空医学研究室の先生方、この度はご多忙中お時間を割いて下さり誠にありがとうございました。

南沢 享 教授

・これからの宇宙医学に求められるものとは？

これまでの宇宙医学は、極限環境の中での人間の生理機能の変化を見る研究が主でした。例えば、微小重力下における体の変化のデータを長寿社会での長期間のベッドレスト等の老年医学に応用したり、宇宙放射線の研究から医療放射線暴露を考えるなど、宇宙での研究を地上の課題に還元する方向です。

これからは、これまでのような研究に加え、宇宙に行くことでより有利に病気を治す等、地上でできないことを宇宙を利用して行う方向の研究も進んでいくと思います。

・宇宙医学を目指す方々へ一言お願い致します。

ぜひ宇宙航空環境医学会をのっとってください！

今宇宙医学に関わっていらっしゃる学生さんにはそのくらいの勢いがあると思います。

期待しております。

暮地本 宙己 講師

・宇宙航空医学研究室について教えてください。

現在、学部生 4 名が所属しています。学部生の中には日本宇宙環境医学会の表彰者もあり、東京慈恵会医科大学の医学部の中でも特に学生の研究意識が高い研究室だと感じています。

今まさに「民間人の宇宙飛行」がトレンドであるので、宇宙航空医学研究室への所属を志望する学生が増えています。

・先生の研究内容を教えてください。

In vivo 研究では、JAXA から委託を受け、ISS に 35 日間滞在したマウスの胃と肝臓のサンプルをトランスクリプトミクスで解析したり、電子顕微鏡を用いた観察を行っています。

In vitro 研究では、Gravite という装置を用いて、模擬微小重力下での血管内皮細胞の培養を行っています。これは、宇宙に行くと動脈硬化が起こるという過去の報告から、地上で模擬的に微小重力をかけて実験を行っています。

・宇宙医学研究を始められたきっかけについて教えてください。

小さいときから漠然と研究者になりたいと思っていました。

大学で学部2年生から所属した組織学講座での研究が非常に楽しく、最初は臨床の医局に入って働きながら研究を行いたいと考えていました。しかし、研修後、基礎系の大学院へ進学した際に、自分が一生をかけて携わりたいものは何なのかを始めて考えました。その時、「今わかっていないことを知りたい」と感じ、研究の道に進むことを決めました。

宇宙医学研究のきっかけは、研究者としての興味で細胞の重力需要メカニズムに注目したことです。

学部6年生の時に心臓の研究をしており、特に心房性ナトリウム利尿ペプチド ANP を産生する細胞を見ていました。研究の中で一般的なホルモンは上流のホルモンの存在に依って分泌されるのに、ANP は機械的刺激で分泌されるという点に疑問を感じており、物理的な力に興味を持ちました。物理的な力について本で調べた際、強い力、弱い力、電磁力、重力の4種類に大別されるとありました。その中で重力だけは機構がよくわかっていないと書かれており、そこに魅力を感じたのが最初です。

・これからの宇宙医学に求められるものとは？

現在の宇宙医学は宇宙飛行士の健康管理に限定していますが、これからは民間人が対象になっていきます。

現在、宇宙に滞在する宇宙飛行士は少人数ですが、民間人を対象にすると人数が増えるため、地上の臨床医学と同様に集団を対象とする目を持つ必要が出てきます。

また、宇宙飛行士は基本的に健康な人間が選ばれていますが、一般の民間人には多くの既往歴があり、そのような人々が宇宙に行くことを意識する必要があります。何かしらの病気に罹患されている方が宇宙に行くことで劇症化する可能性も考えられるため、保健衛生面を地上と同様に考え、医療的側面を充実させることが重要です。

・宇宙医学を目指す方々へ一言お願い致します。

宇宙医学に取り組むためには、まず自分の専門分野を極め、他の人には負けない技術の一つでも持つことが重要だと思います。私の場合は電子顕微鏡が武器です。

自分の専門に取り組みながら、自分が宇宙に携わる上で何をやりたいかという最終的な目標を見失わないようにすることが大切です。

谷端 淳 講師

・先生の研究内容を教えて下さい。

骨格筋萎縮の抑制方法の開発を目標に、筋萎縮が起こる環境である微小重力に注目して研究を行っています。

・宇宙医学研究を始められたきっかけを教えてください。

元々、筋ジストロフィーなど筋疾患の治療法開発の研究に携わっていました。現代日本の高齢社会で問題となっているサルコペニアに興味を持ち、筋萎縮が起こる環境として宇宙の微小重力に注目しました。宇宙を筋萎縮の解明のための一つの方法として捉えています。

サルコペニアと微小重力下での筋萎縮では重力を受けているか否かの条件が異なるため、骨格筋がどのように重力をセンシングしているのかを常に頭に入れながら研究を進めています。

・これからの宇宙医学に求められるものとは？

これからは「宇宙で得られたことがどのように地上に還元できるのか」という点で、よりジェネラルな応用が可能な研究が必要だと思います。

そのために、宇宙医学を研究する上での自身の得意分野や専門領域を確立していただきたいです。

・宇宙医学を目指す方々へ一言お願い致します。

宇宙は一昔前よりも身近になり、皆さんが宇宙に携わるチャンスが増えてきています。是非、研究機関や大学の関係者とコンタクトを取り、ネットワークを増やしていただきたいです。

ただ、宇宙だけを見ていると、視野が狭くなってしまう可能性があります。そこで、自身の根幹となる専門領域を作ることによって、そこから宇宙にどう携わるのかを考えるのが良いと思います。

また、宇宙分野は幅が広いので、多くの情報や知識を得ることができますが、それゆえに何かから手を付けていいかわからなくなることもあるかもしれません。そんな時、自分の根幹となる分野があると元の場所に立ち返り、目標を見直すことができます。また、得た知識をうのみにせず、そこから発展させて想像したり、疑問を持って自分で検討・解決しようとする姿勢が大切だと思います。

インタビュアー:宮本 汐里

日本獣医生命科学大学 獣医学部獣医学科 6 年。2021 年度より東京慈恵会医科大 宇宙航空医学研究室に研究実習生として通う。

文科省委託費事業 宇宙医学教育プログラム 宇宙医学実習 2020 年度・2022 年度参加学生。JAXA 開催アジアントライゼロ G2022 日本チームメンバー。宇宙に関する学生団体やコミュニティに所属して宇宙の学びを深め、獣医学の宇宙への貢献について日々模索している。

4.8. 学会等発表実績

委託業務題目「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」

機関名 国立大学法人京都大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表した場所(学会等名)	発表した時期	国内・外の別
The establish of the educational programs for space medicine in Japan	Masahiro Terada	ASGSR (American Society for Gravitational and Space Research) 2022 Conference	November 10, 2022	国外 (Houston, USA)

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文(発表題目)	発表者氏名	発表した場所(学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別

(注)発表者氏名は、連名による発表の場合には、筆頭者を先頭にして全員を記載すること。