

第71回

日本宇宙航空 環境医学会大会

プログラム・抄録集

新たな一歩！次の世代へ！

2025年 **11/20** 日(木)～**22** 日(土)

会 場

ピアザ淡海 滋賀県立県民交流センター

大会長

寺田 昌弘 京都大学 理学研究科 特定准教授



BTS Bioengineering

株式会社メソン



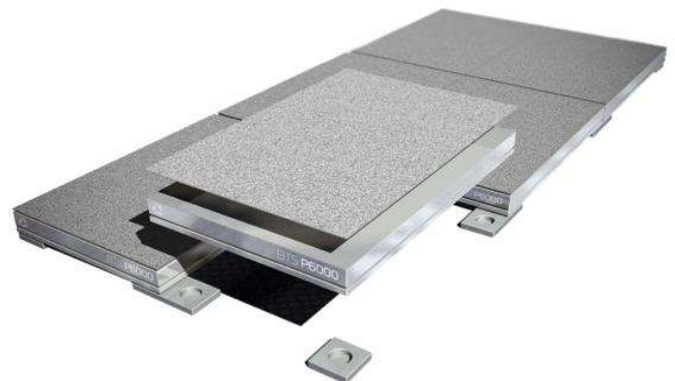
INTEGRATION



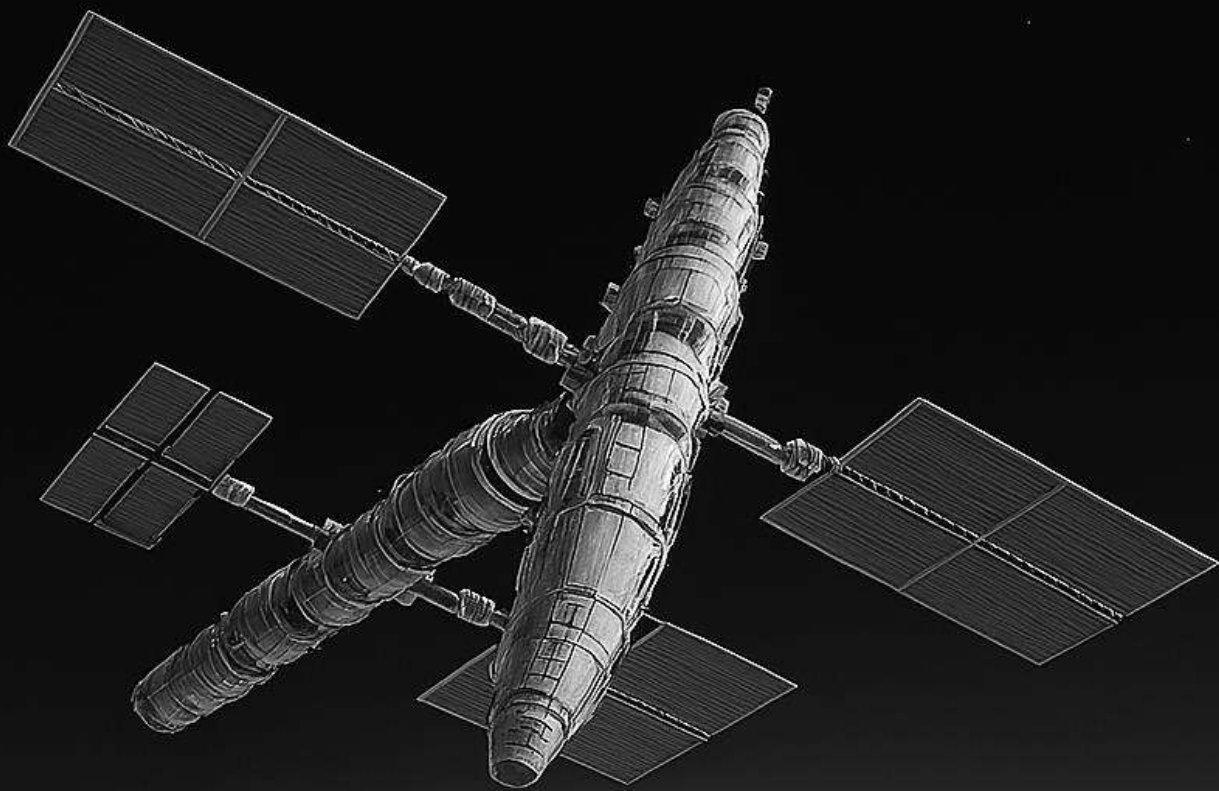
MotionCapture

Markerless ready

ForcePlate



Wireless EMG



AstraMedical

INNOVATIONS

地球でも、宇宙でも、命を守る技術を創る。



URL:<https://sites.google.com/astramedicalinnovations.com/info>
E-Mail:info@astramedicalinnovations.com

第 71 回日本宇宙航空環境医学会大会 プログラム抄録集

「 新たな一歩！次の世代へ！ 」

会期：2025 年 11 月 20 日（木）～11 月 22 日（土）

会場：ピアザ淡海

（〒520-0801 滋賀県大津市におの浜 1 丁目 1-20）

大会長：寺田 昌弘

京都大学 理学研究科 サイエンス連携探索センター

（SACRA）宇宙学際研究グループ 特定准教授

【大会事務局】

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 理学研究科 1 号館 024 号室

TEL：(075)753-3936

E-mail：jsasem-2025conference@usss.kyoto-u.ac.jp

大会ホームページ：<https://71jsasem.com>

大会長挨拶

このたび、「日本宇宙航空環境医学会 第71回大会」を滋賀県大津市にて開催いたします。

本大会のテーマは「新たな一歩！次の世代へ！」です。宇宙医学・航空医学の分野は、近年ますます注目を集めています。人類の活動領域が地球低軌道から月・火星へと広がる中で、極限環境における人体の適応や安全管理、健康維持のための研究はますます重要になってきています。本大会では、こうした最先端の研究成果を共有するだけでなく、次世代を担う若手研究者や学生の皆さんが、自由に交流し、刺激を受け、未来への一歩を踏み出せるような場を目指しています。会場では、学術発表に加え、一般の方々や学生の参加を歓迎する展示・企画ブースも予定しております。宇宙や航空に興味を持つすべての方にとって、学びと発見のある機会となることを願っています。歴史ある日本宇宙航空環境医学会が、これからの世代とともに歩む「新たな一歩」となるよう、多くの皆さまのご参加を心よりお待ちしております。

第71回日本宇宙航空環境医学会大会

大会長 寺田 昌弘

京都大学 理学研究科 サイエンス連携探索センター(SACRA)

宇宙学際研究グループ 特定准教授

開催概要

- 会議名称： 和名：日本宇宙航空環境医学会 第 71 回大会
英名：The 71st Annual Meeting of the Japan Society of Aerospace and Environmental Medicine (JSASEM2025)
- 主催： 日本宇宙航空環境医学会 (JSASEM)
- 共催： 学術変革領域研究 (A)「宇宙が映す生命」
- 大会長： 寺田 昌弘 (京都大学 理学研究科 サイエンス連携探索センター (SACRA) 宇宙学際研究グループ 特定准教授)
- 会期： 2025 年 11 月 20 日 (木) ～11 月 22 日 (土)
- 開催場所： ピアザ淡海 (滋賀県立県民交流センター)
〒520-0801 滋賀県大津市におの浜 1 丁目 1-20
- テーマ： 「新たな一歩！次の世代へ！」
- 大会事務局： 日本宇宙航空環境医学会 第 71 回大会 実行委員会
増澤 諒 (松本大学地域総合研究センター)
斉藤 良佳 (仙台厚生病院)
〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 理学研究科 1 号館 024 号室
Tel & Fax : (075)753-3936
E-mail : jsasem-2025conference@usss.kyoto-u.ac.jp
大会公式ホームページ : <https://71jsasem.com>

開催場所・アクセス

ピアザ淡海（滋賀県立県民交流センター）

〒520-0801 滋賀県大津市におの浜1丁目1-20 2階

TEL：0775273315

<http://www.piazza-omi.jp/>

【アクセス】

- ・地下駐車場 77 台（有料）
- ・JR 大津駅から京阪・近江バス
「草津駅西口行」または「石山駅行」
「大津署前」下車 約 10 分
- ・JR 大津駅からタクシー約 5 分
- ・JR 膳所駅から徒歩約 12 分
- ・京阪電車石場駅から徒歩約 5 分
- ・名神大津インターから約 7 分

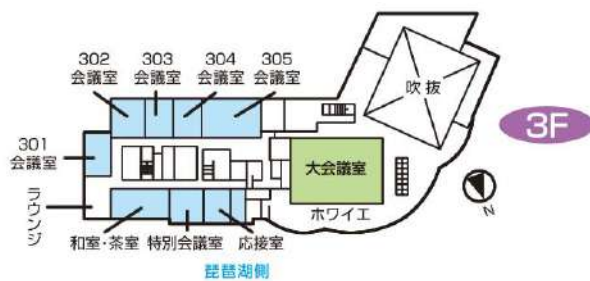


会場案内図

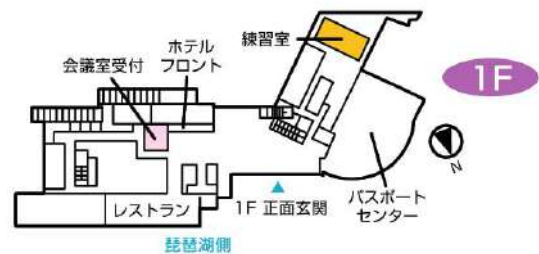
【フロア断面図】

10F 6F	ホテル			
5F	自治研修センター			
4F	自治研修センター			
3F	中小会議室 応接室	特別会議室 和室・茶室	大会議室	ピアザホール
2F	中小会議室	淡海ネットワークセンター (公財)滋賀県国際協会	エントランス ホール	
1F	会議室受付	フロント レストラン		パスポートセンター
B1	地下駐車場 77台(有料)			

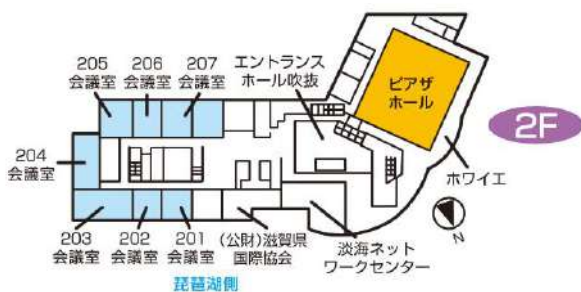
【3F フロア平面図】



【1F フロア平面図】



【2F フロア平面図】



大会日程表

	11月19日(水)	11月20日(木)		11月21日(金)		11月22日(土)
会場	203会議室	ピアザホール	大会議室	ピアザホール	大会議室	ピアザホール
8:00						
8:30		8:30~ 受付開始		8:30~ 受付開始		
9:00		9:00~ 大会長挨拶		9:00~9:50 一般演題2 (OB-1~5)	9:00~9:50 一般演題3 (OC-1~5)	
9:30		9:05~10:35 心循環器 セッション (C-1~4)				9:30~ 受付開始
10:00				9:55~10:55 学生 セッション1 (SA-1~6)		
10:30					ポスター展示 企業展示・体験 研究者交流サロン	
11:00		10:40~11:40 特別講演 東北宇宙生命 科学研究会		11:00~12:00 若手の会 シンポジウム1 (YS-1~3)		10:00~12:00 市民公開講座
11:30		11:40~12:30 昼休み				
12:00				12:00~13:00 昼休み	12:00~12:50 ランチイベント	
12:30		12:30~13:30 総会・評議会				
13:00				13:00~13:50 学生 セッション2 (SB-1~5)		
13:30		13:30~14:00 受賞講演	13:00~ ポスター展示 企業展示・体験			
14:00	13:30~15:00 各種委員会			14:00~15:30 若手の会 シンポジウム2		
14:30		14:05~15:35 宇宙×漢方 シンポジウム (CS-1~4)				
15:00					ポスター展示 企業展示・体験 研究者交流サロン	
15:30				15:40~16:40 SMJYC セッション (SS-1~3)		13:00~18:00 エクスカーショ (大津市内観光)
16:00	15:00~17:00 理事会	15:40~17:10 一般演題1 (OA-1~9)	15:00~ 研究交流会 準備	16:50~17:30 JAXA セッション		
16:30				17:30~18:00 各賞発表・閉会		
17:00		17:15~17:50 ポスター発表 ショートプレゼン (PS-1~10) (PG-1~12)				
17:30						
18:00						
18:30			18:00~20:00 研究交流会 ポスター発表		18:00~ イブニング イベント	
19:00						
19:30						

参加者へのご案内

1. 開催時間

会場となるピアザ淡海（滋賀県立県民交流センター）の開場時間は8:00～となります。

2. 参加受付

- (1) 受付時間： 11月20日（木）、21日（金） 両日とも 8:30～16:00
- (2) 受付方法： 受付にてネームカード（領収書付）、抄録集をお渡し致します。
ネームカードに所属・氏名をご記入の上、必ずご着用ください。

【当日受付の場合】

- ・受付にて氏名、所属、住所をご記入頂きます。
- ・参加費、懇親会費をお支払いください。
- ・一般会員（若手研究者）の方は卒後3年以内を証明する書類（学位記、卒業証書、最終学歴証明書など）を、学生（院生）は学生証を受付の際に提示してください。

(3) 参加費：

	事前登録 (※10月20日まで)	参加登録 (※10月21日以降)
一般会員 ※1	11,000 円	13,000 円
一般会員（若手研究者：卒業・学位 取得後3年以内） ※2	5,000 円	5,000 円
非会員	13,000 円	13,000 円
非会員シンポジスト	無料	無料
学生会員ならびに学生（小学生～大 学院生） ※3	無料	無料
学生の保護者・引率者	無料	無料

※1 宇宙惑星居住科学連合の所属団体は一般会員と同じ扱いとなります。

※2 一般会員（若手研究者）の方は卒後3年以内を証明する書類（学位記、卒業証書、最終学歴証明書など）をご提示ください。

※3 学生（院生）の方は学生証をご提示ください。

(4) 懇親会費： 11月20日(木) 18:00～20:00 ピアザ淡海 大会議室

一般会員・非会員・シンポジスト・学生の保護者	3,000 円
一般会員（若手）・学生会員ならびに学生	1,000 円

(5) 支払い方法： 銀行振込、クレジットカード払い、現金払い

※銀行振込の場合、振込手数料は参加者のご負担となります。クレジットカード払いの場合、振込手数料は不要です。

※領収証は、現地にて「参加証兼領収証」をお渡しいたします。

【当日受付の場合】

クレジットカード払い、現金払いのみとなります。

【クレジットカード払い】

大会公式ホームページ (<https://71jsasem.com>) の“参加登録”にありますクレジットカードリンクよりお支払いください。

※お支払いの際は、参加区分（会員種別・登録時期など）および研究交流会への参加有無を必ずご確認ください。区分の誤りによる返金・変更には対応できない場合がありますので、ご注意ください。

大会公式ホームページ
【クレジットカードリンク】



3. 市民公開講座

2025 年 11 月 22 日（土） 10:00～12:00 に市民公開講座を開催致します。宇宙飛行士として活躍された土井隆雄氏（龍谷大学客員教授・京都大学研究員）をお迎えし、一般市民の方にもご参加いただけます。子どもから大人まで、宇宙に関心のあるすべての方に楽しんでいただける内容です。参加費無料でご参加いただけます。

日時：2025 年 11 月 22 日（土） 10:00～12:00

会場：ピアザ淡海（滋賀県立県民交流センター）

対象：年少（3 歳）以上（ご家族・一般の方歓迎）

参加費：無料

申込方法：事前申し込み、当日受付

※空席があれば当日現地に直接お越しいただいても受け付け致しますが、できるだけ事前申し込みをお願いいたします。

大会公式ホームページ

【市民公開講座】



4. エクスカーション（学会見学ツアー）

11 月 22 日（土） 13:00 からエクスカーションを開催致します。貸切バスにて大津周辺の歴史的名所を巡り、学会参加者同士の交流を深めながら、地域の文化に触れる機会としてご活用ください。以下の観光スポットの中から、当日の状況に応じて 2～3 か所の見学を予定しております。

比叡山延暦寺（世界文化遺産、天台宗総本山）

石山寺（紫式部ゆかりの古刹、花の名所）

三井寺（園城寺）（天台寺門宗総本山、国宝・重要文化財多数）

定員：約 50 名（先着順）

移動手段：貸切バス

参加費：無料（ただし、拝観料等は各自ご負担ください）

日時：11 月 22 日（土） 13:00～

大会公式ホームページ

【エクスカーション】



座長・演者へのご案内

1. 口頭発表について

(1) 座長の先生へ

- ・座長の先生方は、担当セッションが始まる 15 分前までに所定の場所（次座長席）で待機してください。
- ・シンポジウムならびに特別セッションの発表方法・時間配分（発表・質問）につきましては座長の先生に一任致しますが、セッション時間の厳守に努めて頂けるようにご協力をお願い致します。

(2) 演者の先生へ

- ・御発表には御自身の PC をお持ちください。接続は HDMI です。
- ・御発表の 2 時間前までに「演題受付」をお済ませください。
その際、接続トラブルに備えて、USB メモリーにて発表ファイルを御提出ください。
- ・御発表の 15 分前までに、次演者席にお着きください。
- ・「一般演題」の発表時間は 7 分以内、質疑応答 2 分、交代 1 分です。
- ・すべての発表者に、発表の際に利益相反の開示を行うことを義務付けております。

2. ポスター発表について

(1) ポスター掲示について

- ・ポスターは 11 月 20 日（木）13:30 以降（大会議場） に指定エリアへ掲示してください。
- ・ポスターは 11 月 21 日（金）18:00 まで 掲示できます。撤去は各自の責任にて実施願います。撤去漏れがあった場合、ポスターは事務局にて処分する場合があります。
- ・あらかじめ付与された演題番号と一致するボードに掲示してください。
- ・掲示用ボード寸法：W 1170 mm × H 1680 mm
- ・ポスター内に利益相反の開示を明記していただくことを義務付けております。

(2) ショートプレゼンテーションについて

- ・ショートプレゼンテーションは 11 月 20 日（木）17:00～18:00（ピアザホール） にて実施します。
- ・各演者はスライド 1 枚を用いて 1 分以内でポスターの内容をご紹介ください。
- ・御発表の 2 時間前までに「演題受付」にて発表ファイルを御提出ください。

学会誌用抄録作成について

第 71 回大会で発表された内容について、例年のごとく学会誌「宇宙航空環境医学」に発表後の抄録として掲載させていただきたく、後日、発表者に対して学会誌の編集事務局よりご連絡させていただきます。 つきましては、連絡用メールアドレスを学会誌編集事務局と共有させていただきますのでご了承ください。

表題【和文 40 字以内と英文 80 字以内】

氏名【和文と英文】

所属【和文と英文】

本文【和文 48 文字×30 行】

事後抄録掲載についてのお問合せ先：

「宇宙航空環境医学」編集事務局 担当：島袋（しまたい）

E-mail : jsasem-edi@sasappa.co.jp

大会プログラム

11月19日（水） 203 会議室

● 13：30～15：00（90分） 各種委員会

● 15：00～17：00（120分） 理事会

11月20日（木） ピアザホール

● 8：30～ 受付開始

● 9：00～ 大会長挨拶

● 9：05～10：35（90分） 心循環器セッション

座 長：木田 圭亮（聖マリアンナ医科大学 薬理学）
後藤 正幸（Space Medical Accelerator）

ASTRA-Cardiology の紹介

(C-1) 「重力と循環動態：見えてきた前庭系と循環器系との関係」

安部 力（福井大学）

(C-2) 「重力への適応、重力との再会」

朔 啓太（国立研究開発法人国立循環器病研究センター 研究所 循環動態制御部）

(C-3) 「宇宙における心筋・心機能の変化」

松本 新吾（東邦大学 循環器内科）

(C-4) 「総合討論：もし、心不全患者が宇宙に行ったらどうなるか？」

木田 圭亮（聖マリアンナ医科大学 薬理学）

● 10：40～11：40（60分） 特別講演 東北宇宙生命科学研究会

座 長：吉岡 利忠（三良会村上新町病院）

「宇宙放射線による生体影響：発がんリスクと放射線特異的なゲノム変異」

柿沼 志津子（公財 環境科学技術研究所／QST 放射線医学研究所）

● 11：40～12：30（50分） 昼休み

● 12：30～13：30（60分） 日本宇宙航空環境医学会 総会・評議員会

● 13：30～14：00（30分） 受賞講演（各10分）

座 長：寺田 昌弘（京都大学 理学研究科 サイエンス連携探索センター）

研究奨励賞

「Learning capabilities to resolve tilt-translation ambiguity in goldfish.」

（掲載誌）Front Neurol 15: 1304496, 2024

田所 慎（航空自衛隊 航空医学安全研究隊）

「宇宙での出産シナリオによる周産期リスクマネジメントの検討」

（掲載誌）宇宙航空環境医学 61 巻 2 号, 77-82, 2024

中村 枝利香（慶應義塾大学 医学部 小児科）

最優秀論文賞

「Upregulation of Amy1 in the salivary glands of mice exposed to a lunar gravity environment using the multiple artificial gravity research system.」

（掲載誌）Front Physiol 15: 1417719, 2024

黄地 健仁（東京歯科大学 生理学講座）

● 14：05～15：35（90分） 宇宙×漢方シンポジウム

座 長：徳丸 治（大分大学 福祉健康科学部）

寺田 昌弘（京都大学 理学研究科 サイエンス連携探索センター）

基調講演

「宇宙飛行と漢方薬：宇宙での健康問題への対策」

高山 真（東北大学大学院医学系研究科 漢方・統合医療学共同研究講座 特命教授）

(CS-1) 「Oncology×Aging 研究から考えられる宇宙環境での漢方薬の応用（人参養栄湯）」

平岩 茉奈美（株式会社ツムラ 研究開発本部 ツムラ漢方研究所）

(CS-2) 「微小重力環境における消化管内容物の停滞に対する漢方の可能性（大建中湯）」

久保田 訓世（株式会社ツムラ 研究開発本部 ツムラ漢方研究所）

(CS-3) 「微小重力の嘔気と上半身浮腫に挑む：五苓散の運用可能性」

勝田 光明（医療法人杏仁会 御所野ひかりクリニック 理事長）

(CS-4) 「宇宙×漢方：ミッション・インポッシブルな健康課題に挑む」

加藤 果林（京都大学医学部附属病院 医療安全管理部 病院講師）

● 15：40～17：10（90分） 一般演題 1

座 長：田中 邦彦（岐阜医療科学大学大学院 保健医療学研究科）

(OA-1) 「微小重力環境における心停止患者への心肺蘇生に関する包括的総括」

柴田 泰佑（鉄蕉会亀田総合病院 救命救急科）

(OA-2) 「微小重力環境における熱傷の診断・治療に関する包括的総括」

堀野 雅祥（杏林大学 医学部 救急医学）

(OA-3) 「JAXA フライトサージャン業務支援医師の現状と展望 ～客員医師の立場から～」

有屋田 健一（筑波大学 医学医療系）

(OA-4) 「口腔内スキャナーを活用した宇宙環境に適した歯科治療術式（印象採得法）の検討」

大黒 英莉（愛知学院大学 歯学部冠橋義歯・口腔インプラント学講座）

(OA-5) 「エルゴメーター運動におけるペダル回転数が左室拡張末期容積および心仕事量に及ぼす影響」

高野 大地（杏林大学大学院 保健学研究科）

- (OA-6) 「2 時間の 6 度 Head-Down Tilt 曝露が脳循環動態に及ぼす影響」
櫻井 歩夢 (杏林大学大学院 保健学研究科 保健学専攻)
- (OA-7) 「非接触モーションキャプチャを用いた加速度誘発性意識消失(G-LOC)の検出」
溝端 裕亮 (航空自衛隊 航空医学安全研究隊)
- (OA-8) 「Getting Sea Legs の検討―第 3 報」
長谷川 達央 (明石市立市民病院 耳鼻咽喉科)
- (OA-9) 「短距離多頻度運航に従事するエアラインパイロットの疲労についての量的調査」
澤本 尚哉 (ALPA Japan)

● 17:15～17:50 (35 分) ポスター発表・ショートプレゼンテーション (各 1 分)

司 会: 増澤 諒 (松本大学 地域総合研究センター)

ポスター発表 (学生)

- (PS-1) 「骨芽細胞様細胞株 MC3T3-E1 の時計遺伝子日内変動への模擬微小重力の影響」
野坂 実里 (愛知学院大学 短期大学部 歯科衛生学科)
- (PS-2) 「模擬微小重力環境下におけるマウスマクロファージ様細胞 RAW264.7 の細胞数および炎症性サイトカイン発現動態の解析」
川瀬 瑞貴 (愛知学院大学 短期大学部 歯科衛生学科)
- (PS-3) 「模擬微小重力環境下で培養したラット骨髄由来細胞の生物学的応答について」
平野 光起 (愛知学院大学 歯学部 歯科矯正学講座)
- (PS-4) 「マイクロフィジオリジカルシステムを用いた微小重力が平滑筋細胞に与える影響の検討」
高嶋 英寿 (慶應義塾大学 医学部)
- (PS-5) 「複合現実空間での脳構造情報マッピングを用いた医療支援基盤技術の開発」
新沼 拓豊 (東京大学)
- (PS-6) 「ドイツ宇宙機関 DLR へ研究留学」
平嶺 和佳菜 (東北大学 医学系研究科)
- (PS-7) 「月面基地に必要な医療システム」
大河原 寧々 (SMJYC)
- (PS-8) 「宇宙医学と工学の融合: 「宇宙医療」における医療技術の重要性」
川崎 隆弘 (東京農工大学 工学部 生体医用システム工学科/SMJYC 共同代表)

(PS-9) 「宇宙医学の未来を担う学生コミュニティ「SMJYC」」

川崎 隆弘（東京農工大学工学部生体医用システム工学科）

(PS-10) 「昆虫と自由落下～自由落下で作る小さな無重力を体験すると、昆虫に変化はあるのか？～」

岡井 雛子（京都産業大学附属中学校）

ポスター発表（一般）

(PG-1) 「月に行くための燃料費を抑えるには？—シミュレーションストーリー」

武石 宗一（総合犬山中央病院 内科）

(PG-2) 「宇宙船の加速度が宇宙飛行士の身体負荷に与える影響を考慮した加速の検討方法の近似シミュレーション」

武石 宗一（総合犬山中央病院 内科）

(PG-3) 「月、火星模擬環境による染色体異常誘導」

高橋 昭久（群馬大学）

(PG-4) 「宇宙環境対策を考慮した次世代型放射線遮蔽素材の開発」

船水 博文（未来科学ホールディングス株式会社）

(PG-5) 「減圧障害初期対処教育/訓練の新たな挑戦」

高田 邦夫（防衛医学研究センター 特殊環境衛生研究部門）

(PG-6) 「連日の内耳前庭系電気刺激は模擬微小重力による姿勢調節機能変化を抑制する」

田中 邦彦（岐阜医療科学大学 大学院保健医療学研究科）

(PG-7) 「非心原性失神再発リスクの簡易予測スコア開発：救急外来患者の後ろ向きコホート研究」

平吹 一訓（杏林大学）

(PG-8) 「夜勤労働者におけるコルチゾール覚醒反応と気分状態の関連」

村田 裕康（杏林大学 保健学部 リハビリテーション学科 理学療法学専攻）

(PG-9) 「肉眼解剖学的アプローチによるヒトの頸部静脈弁に関する研究（中間報告）」

加藤 智一（日本大学医学部 社会医学系衛生学分野／日本大学大学院医学研究科 宇宙航空環境医学専攻）

(PG-10) 「軌道上等の微小重力環境下での利用を想定した無電源点滴装置の試作と動作評価」

瀧澤 玲央（国際医療福祉大学 宇宙医学研究会／牛久愛和総合病院／東京慈恵会医科大学 細胞生理学講座・宇宙医学研究室）

(PG-11) 「宇宙環境における自死予防とガバナンス：民間有人宇宙飛行の規模拡大を見据えて」

村上 龍（明治国際医療大学 保健医療学部 救急救命学講座／千葉科学大学大学院 危機管理学研究科）

(PG-12) 「代謝的負荷が鍵を握るマイオカイン分泌：宇宙での運動戦略への示唆」

牧 悠之（久留米大学 リハビリテーションセンター／久留米大学 医学部 整形外科）

11 月 20 日（木）	大会議室
--------------	------

● 13：00～ ポスター展示／企業展示・体験

● 15：00～ 研究交流会準備

● 18：00～20：00（120 分） 研究交流会 ポスター発表

11 月 21 日（金）	ピアザホール
--------------	--------

● 8：30～ 受付開始

● 9：00～9：50（50 分） 一般演題 2

座 長：近藤 久貴（愛知学院大学短期大学部）

(OB-1) 「長期間宇宙滞在後の骨密度減少を報告した論文のデータ解析」

武石 宗一（総合犬山中央病院 内科）

(OB-2) 「免疫システムに対する宇宙環境影響のメカニズム解明」

秋山 泰身（理化学研究所 生命医科学研究センター／横浜市立大学 生命医科学研究科）

(OB-3) 「睡眠関連 MRI 指標による脳老廃物排泄系・間質液動態評価の試み ― 微小重力下評価への応用可能性」

田岡 俊昭（名古屋大学 革新的生体可視化技術開発産学協同開発講座／放射線医学教室）

(OB-4) 「南極昭和基地におけるセラピーロボットの有用性」

小田 有哉 (小山記念病院 救急科／第 65 次南極地域観測隊 医療隊員)

(OB-5) 「商業宇宙飛行の宇宙医学：特殊宇宙医学から一般宇宙医学へ」

徳丸 治 (大分大学 福祉健康科学部)

● 9：55～10：55 (60 分) 学生セッション 1

座 長：村谷 匡史 (筑波大学 医学医療系)

(SA-1) 「宇宙有人探査に向けた放射線防御クリームの試作と遮蔽効果の評価」

折原 準也 (国際医療福祉大学 宇宙医学研究会)

(SA-2) 「宇宙医学における超音波検査の有用性とポータブル診断技術の応用」

粕本 亜美 (国際医療福祉大学 宇宙医学研究会)

(SA-3) 「遠隔診療支援に向けた三次元仮想身体による半自律型心臓超音波検査システムの開発」

松本 幸翼 (東京大学)

(SA-4) 「中心循環血液量減少に対する呼吸・循環調節および脳循環応答と漸増運動負荷試験による個体差の検討」

フィーリー 真利奈 (大阪産業大学大学院 人間環境学研究科)

(SA-5) 「宇宙渡航者の COVID-19 感染持込みリスクシミュレーション：データ駆動型隔離・検査プロトコルの定量的評価と最適化」

小塚 昌弘 (京都大学大学院 総合生存学館)

(SA-6) 「極限環境 (宇宙空間・極地・深海) における作業者の健康管理制度の比較調査」

山内 梨湖 (慶應義塾大学 法学部 法律学科)

● 11：00～12：00 (60 分) 若手の会シンポジウム 1

「宇宙航空医学研究者・医師からの若手に向けたメッセージ」

座 長：暮地本 宙己 (国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)

大本 将之 (久留米大学 整形外科 リハビリテーション部)

(YS-1) 「宇宙航空医学研究者：医師からの若手に向けたメッセージ」

五味 秀穂（一財 航空医学研究センター）

(YS-2) 「宇宙航空医学分野に関わる医師から若手へ向けたメッセージ
～JAXA フライトサージャンから伝えられること～」

速水 聡（国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構）

(YS-3) 「「宇宙が映す」キャリアパスと未来」

村谷 匡史（筑波大学 医学医療系 ゲノム生物学研究室）

● 12：00～13：00（60分） 昼休み

● 13：00～13：50（50分） 学生セッション2

座 長：松本 暁子（東京慈恵会医科大学 宇宙航空医学）

(SB-1) 「宇宙旅行での良質な睡眠と心理的安定に資する寝具に関する考察」

竹花 賢人（Jikei Aerospace Medicine Envision Team (JASMET)／東京慈恵会医科大学 医学部医学科3年）

(SB-2) 「無人航空機事故調査に基づく操縦者の医学的・身体的適正について」

武内 健人（Jikei Aerospace Medicine Envision Team (JASMET)／東京慈恵会医科大学 医学部医学科3年）

(SB-3) 「宇宙での人工臓器・オルガノイド生成の現状と将来の医療応用への期待と課題」

稲山 翔太（Jikei Aerospace Medicine Envision Team (JASMET)／東京慈恵会医科大学 医学部医学科3年）

(SB-4) 「宇宙空間での薬物治療や心肺蘇生は今後どのようにすべきなのか？」

和田 治大（Jikei Aerospace Medicine Envision Team (JASMET)／国際医療福祉大学医学部3年）

(SB-5) 「ゼログラビティの世界における道筋」

若松 拓弥（岡山理科大学附属中学校）

● 14：00～15：30（90分） 若手の会シンポジウム2

「宇宙×周産期 ― 宇宙で“いのち”が生まれるとき」

司 会： 中村 枝利香（慶應義塾大学 医学部 小児科）

登壇者（五十音順）：

大野 琢也（鹿島建設）

清水 強（医療法人登誠会 諏訪マタニティークリニック産科・婦人科・小児科病院）

根津 八紘（医療法人登誠会 諏訪マタニティークリニック産科・婦人科・小児科病院）

清水 雄也（京都大学理学研究科）

杉村 航大（日本大学 医学部 産婦人科学系 産婦人科分野）

本間 由美子（弁護士法人 GVA 法律事務所）

山崎 直子（一般社団法人 Space Port Japan 代表理事）

若山 照彦（山梨大学 発生工学研究センター）

● 15：40～16：40（60分） SMJYC セッション

「学生が描く宇宙医学の未来へのロードマップ」

司 会： 高嶋 英寿（慶應義塾大学 医学部 医学科）

（SS-1） 「学生が宇宙医学分野に携わるには」

服部 真奈（名古屋市立大学 薬学部 生命薬科学科）

（SS-2） 「米国の宇宙実験にみる学生の創造性―医学版アジアントライゼロ G の提案」

村川 諒太郎（京都大学 医学部 医学科）

（SS-3） 「宇宙旅行保険の構想と社会実装への提言」

高嶋 英寿（慶應義塾大学 医学部 医学科）

● 16：50～17：30（40分） JAXA セッション

座 長： 芝 大（宇宙航空研究開発機構）

「宇宙医学の時代：疾患研究への宇宙空間活用に向けて」

山本 雅之（宇宙航空研究開発機構 宇宙医学研究ディレクター）

● 17：30～18：00 各賞発表・閉会

11月21日（金） 大会議室

● 9：00～9：50（50分） 一般演題3

座 長：河野 史倫（松本大学 大学院 健康科学研究科）

（OC-1）「宇宙空間における快眠環境への一考察 ～寝具企業の観点から～」

櫻井 光康（西川株式会社 日本睡眠科学研究所）

（OC-2）「模擬微小重力下における血管 Organ-on-a-chip を利用した血管内皮細胞の遊走および管腔網の形態評価」

西方 洸太郎（芝浦工業大学 工学部）

（OC-3）「体液頭側変位と高二酸化炭素血症の複合曝露が動的脳血流自動調節能に与える影響の男女差」

杉村 航大（日本大学大学院 医学研究科 宇宙航空環境医学）

（OC-4）「軽度過重力負荷(1.5Gz)によって生じる脳血流量変化の男女差－静的脳血流自動調節 autoregulation curve における考察－」

三宅 和恵（日本大学大学院 医学研究科 宇宙航空環境医学）

（OC-5）「人体・動物の酸素運搬機構に関する一考察、その5」

吉田 泰行（威風会栗山中央病院 耳鼻咽喉科・頭頸部外科／民医連 二和ふれあいクリニック）

● 9：50～12：00 ポスター展示・企業展示体験・研究者交流サロン

● 12：00～12：50 ランチイベント

● 12：50～18：00 ポスター展示・企業展示体験・研究者交流サロン

● 18：00～ イブニングイベント

11月22日（土） ピアザホール

● 9：30～ 受付開始

● 10：00～12：00 市民公開講座 土井隆雄宇宙飛行士

座 長： 齊藤 良佳（仙台厚生病院）

「有人宇宙活動と有人宇宙学 一木造人工衛星の開発一」

土井 隆雄（龍谷大学 客員教授／京都大学 研究員）

● 12：30～17：30 エクスカーション（大津市内観光）

市民公開講座

市民公開講座

71 日本宇宙航空
環境医学会大会

市民公開講座

有人宇宙活動と有人宇宙学
- 木造人工衛星の開発 -

講演者

土井 隆雄氏

龍谷大学客員教授・京都大学研究員

2025年 11月22日 土 10:00▶12:00

会 場：ピアザ淡海

(滋賀県立県民交流センター)

対 象：年少(3歳)以上～

ご家族・一般の方歓迎

参加費：無料



土井隆雄

© 京都大学

プロフィール

1954年東京都生まれ。1997年、スペースシャトル「コロンビア号」に搭乗し、日本人として初めての船外活動を行う。2008年、スペースシャトル「エンデバー号」によるSTS-123ミッションに参加。「きぼう」船内保管室をISSに取り付け、日本が開発した最初の有人宇宙施設に乗り込んだ初の日本人となる。



© 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

■お問い合わせ■

第71回日本宇宙航空環境医学会大会事務局
〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 理学研究科1号館024号室
Tel&Fax: (075)753-3936 E-mail: jsasem-2025conference@ussf.kyoto-u.ac.jp

お申し込みはこちらから
<https://71jsasem.com/>



心循環器セッション

【質問フォーム】

セッション中に回答できなかった質問はこちらから！
運営より演者へ共有し後日メールにて回答いたします。



重力と循環動態：見てきた前庭系と循環器系との関係

○安部 力

福井大学

ヒトを含むあらゆる地球上の生物は、常に 1G という一定の重力環境のもとで進化してきた。しかし、近年の宇宙探査の進展により、ヒトが微小重力や部分重力といった異なる重力環境に長期間さらされる時代が現実のものとなっている。こうした重力環境の変化は、単に骨や筋の萎縮をもたらすだけでなく、自律神経系や循環機能にも大きな影響を及ぼす。実際、宇宙飛行士が地球帰還後に起立性低血圧を呈することはよく知られており、その背景の一部には前庭機能の変化が関与していると考えられる。

地上において、ヒトが臥位から立位へと姿勢を変化させる際には、体軸方向の静水圧勾配が急激に増し、血液が下肢へ移動することで心拍出量が一時的に低下し、動脈血圧も減少する。これに対しては、圧受容器反射による自律神経系の制御により、血圧恒常性が保たれている。一方で、我々の研究により、姿勢変化時に内耳の前庭器へ入力される加速度情報、すなわち重力の方向変化が、平衡感覚だけでなく循環調節にも深く関与していることが明らかにしてきた。具体的には、重力の変化に応じて交感神経活動が一過性に亢進し、動脈血圧を上昇させる「前庭－動脈血圧反射 (vestibulo-sympathetic reflex)」が惹起される。またこの反射は、姿勢変化後の受動的応答にとどまらず、立位移行の直前に交感神経活動を能動的に高め、起立性低血圧を予防する「フィードフォワード制御機構」としても働く可能性がある。

本シンポジウムでは、こうした前庭系の循環調節機能に加え、宇宙飛行や長期臥床といった重力負荷の減少が、前庭系の感受性や機能に及ぼす神経可塑的变化について紹介する。さらに、これらの機能低下に対する新たな介入手段として、前庭電気刺激 (GVS: galvanic vestibular stimulation) を用いた神経リハビリ技術の有用性についても議論する予定である。GVS による対策は、宇宙飛行士の地上復帰後の起立性調節障害への対策にとどまらず、高齢者や長期臥床患者への応用も期待される。

心循環器セッション C-2

重力への適応、重力との再会

○朔 啓太

国立研究開発法人国立循環器病研究センター研究所循環動態制御部

地球へ帰還した宇宙飛行士が起立性低血圧や神経調節性失神を呈することはよく知られている。その背景には、重力環境の変化による体液再分布と、それに対する神経調節系の適応と破綻が深く関わっている。本講演では、動脈圧反射（baroreflex）を「重力に抗う神経制御システム」として位置づけ、微小重力環境を模倣したラットモデルによる解析結果を紹介する。神経だけではなく、神経に応答する心血管系も反射弓の一部である。開ループ解析により明らかとなった、微小重力環境後 baroreflex ゲインの著明減少について考察を深め、地球で「立つ」ことの生理的意義を、宇宙という視点から聴講者とともに再考したい。

心循環器セッション C-3

宇宙における心筋・心機能の変化

○松本 新吾

東邦大学循環器内科

本演題では、宇宙に行った際変化する血行動態とともに我々の心筋・心機能がどのように変化するか、地上における心筋や心機能とは何が異なってくるかを循環器内科専門医が解説する。特に、心臓超音波や心臓 MRI などの画像所見に関する知見も踏まえ、短期的・長期的影響に関して考察する。

心循環器セッション C-4

総合討論：もし、心不全患者が宇宙に行ったらどうなるか？

○木田 圭亮

聖マリアンナ医科大学薬理学

近年、民間宇宙旅行の発展により、従来は想定されなかった基礎疾患を有する人々の宇宙滞在の可能性が現実的になってきている。本セッションの総合討論では、「心不全患者が宇宙（無重力）空間に行った場合、循環動態はどのように変化するのか」をテーマに、多角的視点から検討する。仮想症例を元に現時点での知見の限界と今後の研究課題を明確化し、「どの条件なら宇宙に行けるのか」「宇宙（無重力）誘発性心不全、略して宇宙心不全はあり得るか」といった問いに各分野の専門医が挑む。

20 分間のセッションを通じて、臨床現場と宇宙医学研究の接点を探索し、新たな医療課題を考える場を目指す。

特別講演

東北宇宙生命科学研究会

【質問フォーム】

セッション中に回答できなかった質問はこちらから！
運営より演者へ共有し後日メールにて回答いたします。



特別講演 東北宇宙生命科学研究会

宇宙放射線による生体影響：発がんリスクと放射線特異的なゲノム変異

○柿沼 志津子^{1,2}、鶴岡 千鶴²、尚奕²、石川 敦子²、臺野 和広²、砂押 正章²、飯塚 大輔²、森岡 孝満²、中山 貴文^{1,3}、橘 拓孝^{1,4}、天野 健太^{1,5}、今岡 達彦²、島田 義也^{1,2}

¹ (公財) 環境科学技術研究所、² QST 放射線医学研究所、³ 長崎大学、⁴ 電力中央研究所、⁵ 千葉大学

原爆被爆者の疫学調査より、発がんリスクを増加させることが示されている。がんは、放射線被ばく無しでも発症するため、放射線被ばくの真のリスクを明らかにするには、放射線被ばくで発生したがんと自然発生したがんを見分けることが必要である。さらに、宇宙では、重粒子線を含む宇宙放射線に被ばくすることや微小重力との複合的な影響が想定されるため、長期宇宙滞在での宇宙放射線被ばくリスクについて検討が必要である。講演では、我々の研究で明らかになってきた放射線被ばくに起因するゲノム変異と宇宙放射線の発がんリスクの成果について紹介する。

放射線被ばくに起因するゲノム変異は、がん抑制遺伝子のヘテロ欠損マウスまたはラットの自然発生がんと被ばく後に発生したがん(髄芽腫、腎がん、腸管腫瘍など)のゲノム比較解析により探索した。放射線被ばく後に発生したがんには、変異したがん抑制遺伝子を含むゲノム領域に染色体中間欠失が特異的に生じており、放射線被ばくに起因するゲノム変異として報告した(1,2,3)。さらに、野生型マウスの放射線照射後に発生した T リンパ腫と B リンパ腫の解析においても、発がんの原因となるがん抑制遺伝子を含むゲノム領域に特異的な中間欠失が生じた(4,5)。これらの結果より、放射線被ばく後に発生した一部のがんでは、被ばくによって生じた DNA の二重鎖切断とその後の DNA 修復による再結合により生じた中間欠失ががん化に関与することが示唆された。

宇宙放射線発がんリスクを検討するため、放射線被ばくと微小重力の発がんへの複合影響を解析した。腸管腫瘍を自然発症するがん抑制遺伝子ヘテロ変異マウスに、2 週齢で放射線照射後、4 週齢から 11 週間微小重力を模擬した尾部懸垂を行ったところ、尾部懸垂によりがんの悪性化が促進された(6)。宇宙環境における微小重力と放射線照射の複合影響の可能性が示唆された。さらに、実際の宇宙放射線の影響実験として、ISS 搭載凍結胚から発生したマウスを用いた宇宙放射線の生物影響研究「Embryo Rad」の PI としてマウスの凍結胚(2 細胞期胚)を ISS の MELFIE (-95° C) で 393 日間保管し、帰還後マウスを作出して 7 匹のマウスを得ることができた。これらのマウスの解析データを含む ISS 実験についても紹介したい。

- 1) Tsuruoka et al. Radiat Res 2016; 186:407. 2) Inoue et al. Cancer Sci 2020; 111:840.
3) Yanagihara et al. J Radiat Res 2023; 64:622. 4) Sunaoshi et al. Mutat Res 2015; 779:58.
5) Tachibana et al. Carcinogenesis 2022; 43:693. 6) Suzuki et al. Life Sci Space Res 2024; 41:20

宇宙×漢方シンポジウム

【質問フォーム】

セッション中に回答できなかった質問はこちらから！
運営より演者へ共有し後日メールにて回答いたします。



宇宙飛行と漢方薬：宇宙での健康問題への対策

○高山 真^{1,2}、寺田 昌弘³

¹ 東北大学病院総合地域医療教育支援部（総合診療科・漢方内科）、

² 東北大学大学院医学系研究科漢方・統合医療学共同研究講座、³ 京都大学サイエンス連携探索センター

【緒言】宇宙飛行は、微小重力、宇宙放射線、狭い空間での隔離、環境変化、物資供給の制約といった複雑な要因により、全身の自律神経・代謝・内分泌系に影響を及ぼし、様々な健康上の課題を引き起こす。宇宙飛行では一般的に、骨密度の低下や筋萎縮といった筋骨格系の退化、免疫系の機能不全、腸内細菌叢の変化、消化器系の不調、睡眠障害、精神的な苦痛などが少なからず起こる。健康管理は、運動や栄養補助食品、医薬品に依存するが、物流の問題、個々の体質への対応の難しさ、効果・副作用といった課題がある。本発表では、これらの課題に対する補完的な対策として、伝統的な漢方薬の可能性を提案する。漢方薬は、1500年以上にもわたる使用実績があり、多標的性・多機能性を特徴とする複合処方で、個人の体質や健康状態に応じた総合的な健康支援を提供する。

【提案】筋骨格系と漢方薬：宇宙飛行における骨量減少と筋萎縮の原因には、微小重力下でのカルシウム恒常性の変化と骨芽細胞・破骨細胞の機能不全、および筋タンパク質合成の低下などが挙げられる。人參養榮湯や牛車腎気丸はサルコペニアを抑制し、フレイルを予防することが期待される。

体液調整と漢方薬：宇宙空間の微小重力環境では、体液が上半身や頭部へ移動し、顔面浮腫、味覚異常、平衡障害、時には視覚変化を引き起こすことがある。五苓散は水分バランスを調節し、微小重力環境で生じやすい体液貯留や浮腫の管理に役立つ。

免疫・消化器系と漢方薬：宇宙飛行は、リンパ球数の変化、サイトカインバランスの乱れを引き起こし、免疫機能の低下を招く。補中益気湯は、T細胞サブセットやサイトカインバランスを調節し、免疫機能を回復させる可能性を有する。これにより感染症予防に貢献する他、補中益気湯はミトコンドリア機能の改善にも関与する可能性が報告されている。また、大建中湯は消化管運動を亢進し、腸内細菌叢のバランスを改善することで、便秘や腹痛といった消化器症状の緩和に寄与する。

精神神経系と漢方薬：長期にわたる宇宙滞在は、ストレス、不眠、うつ病といった精神神経系の問題を引き起こす。加味帰脾湯や半夏厚朴湯は、オキシトシンやドーパミン系の調節を介して、不安や不眠、精神的ストレスの軽減に役立つ。

【展望】漢方薬は、その多標的性から、宇宙飛行士の様々な健康問題に対して、総合的かつ個別にカスタマイズされた解決策を提供する可能性を秘めている。一方、漢方薬を宇宙での医療に導入するには、品質管理、処方箋の簡素化、そして微小重力下での薬物動態学・薬力学の変化に関する詳細な研究が必要となる。

【結論】漢方薬は、宇宙飛行が引き起こす様々な健康問題に対する効果的な予防・治療策となり得る。将来的には、科学的検証をさらに進め、宇宙での漢方薬の有効性と安全性を確立することで、宇宙飛行士の健康管理に新たな道を開くことが期待される。

Oncology×Aging 研究から考えられる宇宙環境での漢方薬の応用（人参養栄湯）

○平岩 茉奈美¹、鈴木 聡子²、最上 祥子¹、沼崎 宗夫³、
有田 龍太郎²、菊地 章子²、高山真^{2,4}

¹株式会社ツムラ研究開発本部ツムラ漢方研究所、

²東北大学大学院医学系研究科漢方・統合医療学共同研究講座、³東北文化学園大学医療福祉学部看護学科、

⁴東北大学病院総合地域医療教育支援部（総合診療科・漢方内科）

宇宙環境は、微小重力や環境ストレス等により、筋肉の消耗や萎縮、骨量の減少、免疫機能の低下等、身体的健康に大きな影響を及ぼし、進行速度は異なるものの老化により認められる所見に類似していることが知られている。一方、癌悪液質は、癌の進行に伴い、慢性炎症による持続的な骨格筋の減少・萎縮や、体重減少を呈する複合的な代謝異常疾患である。これらのことから、宇宙環境における骨格筋減少・萎縮を克服する治療法を見出すには、Aging 研究に加え、癌悪液質に着目した Oncology 研究も有用といえる。さらに、医療用漢方製剤の一つである人参養栄湯は、高齢患者や癌患者に対する有用性が報告されている。そこで、加齢マウスや癌悪液質病態を呈する担癌モデルマウスを使用し、加齢・老化や癌悪液質による骨格筋減少に対する人参養栄湯の研究可能性について検討した。

癌悪液質に対する加齢の影響を評価するため、C57BL/6J 雄性マウス（若齢；9 週齢、加齢；19 ヶ月齢）に、マウス肺癌細胞株 Lewis lung carcinoma (LLC) を皮下移植し、担癌モデルマウスを作製した。移植後、経時的に徐腫瘍体重を測定し、人道的エンドポイント（腫瘍重量>体重の 10 %）に達した時点における骨格筋・精巣上体脂肪の重量を測定した。次に、加齢に対する人参養栄湯の作用を検討するため、C57BL/6J 雄性マウス（若齢；9 週齢、加齢；22 ヶ月齢）に人参養栄湯を 2 週間、3%で混餌投与した後、後肢骨格筋における骨格筋特異的幹細胞（衛星細胞）の存在割合を評価した。さらに、衛星細胞の初代培養を行い、増殖能を評価した。最後に、癌悪液質に対する人参養栄湯の作用を評価するため、LLC を皮下移植した若齢マウスに、移植日から解剖日まで人参養栄湯を 3% 混餌投与した。移植後 24 日目に腓腹筋を摘出し、重量測定と筋萎縮評価を行った。

Sham 群と比較し担癌モデルマウスでは、若齢は一部の骨格筋重量が、加齢は徐腫瘍体重や骨格筋・精巣上体脂肪の組織重量が有意に減少し、加齢による癌悪液質病態の増悪が認められた。若齢と比較し、加齢マウスの後肢骨格筋では衛星細胞の存在割合が有意に低下したが、人参養栄湯による変化は認められなかった。一方で、若齢と比較し、加齢マウス由来衛星細胞の増殖能は有意に減弱し、人参養栄湯により有意に増強した。さらに、人参養栄湯は、若齢・担癌モデルマウスで認められた腓腹筋の重量減少・萎縮を有意に改善した。

以上の結果から、加齢による癌悪液質病態の進行には、衛星細胞の減少や細胞機能の低下が関与していると考えられた。さらに、癌悪液質による骨格筋萎縮、ならびに加齢による衛星細胞の機能低下が、人参養栄湯によって改善されることが明らかとなった。すなわち、宇宙医学に応用可能な加齢・老化、癌悪液質による骨格筋萎縮に対して、人参養栄湯が有用である可能性が示された。

微小重力環境における消化管内容物の停滞に対する漢方の可能性（大建中湯）

○久保田 訓世¹、佐藤 和子²、最上 祥子¹

¹株式会社ツムラ研究開発本部ツムラ漢方研究所、²株式会社ツムラ研究開発本部国際研究部

微小重力環境である宇宙空間では食欲不振や便秘、消化不良などの消化器症状を引き起こすことが示されており、消化管の機能性変化が関連している可能性がある。また Thornton らの報告では嘔吐を伴う宇宙乗り物酔いでは腹鳴が消失していたことから、消化管運動低下による消化管内容物の停滞が示唆される。

大建中湯（DKT）は乾姜、人参および山椒から熱水抽出した乾燥エキスと膠飴（麦芽糖）で構成される漢方薬で、効能又は効果は「腹が冷えて痛み、腹部膨満感のあるもの」である。プラセボ対照二重盲検比較試験において、DKT には術後麻痺性イレウス（POI）からの早期離脱効果、健常人における結腸輸送能の亢進作用、慢性便秘患者における便性状や下部消化管症状の改善効果が確認されており、DKT の腸管運動亢進作用によるものと考えられている。

我々はこれまで様々な DKT の腸管運動亢進作用の機序について *in vitro* および *in vivo* にて検討を行ってきたのでその一部を紹介したい。

In vitro の検討：ラットの結腸を管状のまま Krebs 液中に固定し、管腔内には口側より saline を持続注入し、排液側である肛門側には 4 cmH₂O の負荷をかけた。管腔内圧変化およびビデオ画像より作成した時空間マップを基に腸管運動を観察した。被験薬物は全て漿膜側（Krebs 液中）に投与した。DKT エキス末 200μg/mL は、neural peristalsis (NP) という順行性の推進運動を増加させ、管腔内に挿入した樹脂製ビーズの移動時間を有意に短縮させた。この NP は神経遮断薬である tetrodotoxin によって消失した。また、DKT の主要構成成分である乾姜由来の 6-shogaol (6S) および 6-gingerol (6G)、山椒由来の hydroxy- α -sanshool (HAS) でも NP 数は増加し、その増加の程度は 6G \leq 6S \leq HAS の順であった。一方、Transient Receptor Potential Ankyrin 1 (TRPA1) チャネル特異的阻害薬である AP-18 存在下では、DKT エキス末、6S および 6G による NP 数は有意に減少または減少傾向となったが、HAS にはみられなかった。

In vivo の検討：麻酔下のラットを腹部正中線で切開し、腸管を 1 時間腹腔外に露出後に閉腹することで、覚醒後の糞便数が減少する POI モデルを作製した。この閉腹後 3 時間にムスカリン受容体作動薬である bethanechol 0.5 mg/kg を腹腔内投与、DKT エキス末 3 g/kg または HAS 50 mg/kg を経口投与したところ、いずれも投与後 2-4 時間までの間に糞便数が増加した。

以上より、DKT の腸管運動亢進作用は微小重力環境においても消化管運動低下による消化管内容物の停滞を解き消化器症状の改善に寄与できる可能性がある。

微小重力の嘔気と上半身浮腫に挑む：五苓散の運用可能性

○勝田 光明

医療法人杏仁会御所野ひかりクリニック

目的：既存の臨床・基礎研究と宇宙医学の知見を統合し、五苓散が宇宙酔い（Space Motion Sickness：SMS）および微小重力下の頭側体液シフトに伴う上半身・眼周囲浮腫へ与える潜在的効果を考察する。

背景：SMS は微小重力移行初期に高頻度で発症し、悪心・嘔吐・自律神経症状により任務遂行を妨げうる。一方、頭側体液シフトは頸静脈うっ血、眼循環変化、視神経周囲の体液貯留を経て宇宙飛行関連神経眼症候群（Spaceflight-Associated Neuro-ocular Syndrome：SANS）に関連する所見を示す。五苓散は実地臨床および無作為化試験で術後嘔気・嘔吐の抑制が報告され、鎮静性が乏しく運用上の利点がある。また基礎研究ではアクアポリン4（AQP4）発現抑制と脳浮腫軽減が示唆され、利尿作用と合わせて浮腫制御への関与が期待される。

仮説：①嘔気・嘔吐の閾値上昇と前庭・自律系の過活動緩和により SMS 症状を軽減する。②AQP4 経路や血管透過性の調整を介し、頭側体液シフトに伴う眼・中枢の軽度浮腫を緩和し、SANS 関連指標の悪化を抑制する。検討方法（既存データ統合）：乗り物酔い・術後嘔気に関する五苓散の効果、脳浮腫モデルでの AQP4 抑制、および頭低位傾斜（head-down tilt：HDT）/ドライイマージョン等の宇宙類似環境で明らかな体液シフト・眼底断層（Optical Coherence Tomography：OCT）変化・頸静脈径変化の知見を総合し、機序的整合性と運用妥当性を評価した。

考察：五苓散は無鎮静で頓用可能という特性から、航法・監視・作業課題を保持しつつ SMS 対策に併用しやすい。体液再分布に対しては、下半身陰圧（Lower Body Negative Pressure：LBPN）や大腿カフ等の機械的カウンターメジャーと補完関係を形成しうる。眼科的には OCT の乳頭高・網膜神経線維層厚、脈絡膜厚などの微細変化をアウトカムとして、安全域内の電解質・腎機能監視とともに段階的に評価が可能である。

実装上の論点：現在五苓散は粉末製剤である。そのため携行性と服用容易性を高めるためフィルム／ゼリー製剤、保管環境下の安定性試験、水分管理との整合、薬剤相互作用・業務影響（鎮静なしの利点）を踏まえた製品を作成する必要がある。

限界：宇宙飛行での直接エビデンスは未確立であり、地上アナログやパラボリックフライトによる前向き検証が必要である。

結論：五苓散は SMS 症状と頭側体液シフト由来の軽度浮腫に対する低鎮静・多機序の補完的対策候補であり、既存知見の機序的整合性は高い。今後は、適正使用量・投与タイミング・併用最適化を定める探索的試験を経、宇宙運用に資する実装可能性を検討すべきである。

宇宙×漢方シンポジウム CS-4

宇宙×漢方：ミッション・インポッシブルな健康課題に挑む

○加藤 果林

京都大学医学部附属病院医療安全管理部/漢方診療ユニット

有人宇宙飛行においては、微小重力、閉鎖環境、放射線曝露、概日リズム障害など複合的因子が身体機能に影響を及ぼすことが広く報告されている。NASA や JAXA の研究成果によれば、宇宙飛行士に頻発する症状として、睡眠障害、消化器機能不全、骨格筋萎縮、循環動態変化、さらに心理的ストレスや気分障害が主要課題に位置づけられている。これらは単独の病態としてのみならず、相互に関連し慢性化しやすい点が特徴であり、従来の西洋医学的治療のみでは十分な対応が困難な状況も想定される。そのため補完代替医療の導入可能性が模索されており、とくに漢方薬の応用が注目されつつある。

近年、漢方薬の有効性を示唆する報告が複数蓄積されている。例えば、酸棗仁湯による不眠改善効果が報告されており、宇宙飛行士に高頻度で生じる睡眠障害への適応が期待される。さらに、微小重力に伴う筋力低下や骨格筋萎縮に対しては、十全大補湯や人参養栄湯といった補剤の予防的投与が筋萎縮抑制に寄与する可能性が報告されている。

精神心理領域においても漢方薬は有望である。閉鎖環境や長期滞在に伴うストレス関連症状や抑うつ傾向に対し、抑肝散、加味帰脾湯、香蘇散などが有効であるとの報告があり、心理的負担軽減に資する可能性が示されている。循環器系の課題に関しては、桂枝茯苓丸、当帰芍薬散、五苓散などが自律神経系の調節作用を介して循環動態安定化に寄与し得ることが示唆されており、微小重力下における血行動態の変化に対する応用が考えられる。また、放射線障害に関しては、補中益気湯の投与により放射線誘発性障害の軽減効果を認めた研究が報告されており、宇宙放射線対策の一助となる可能性がある。

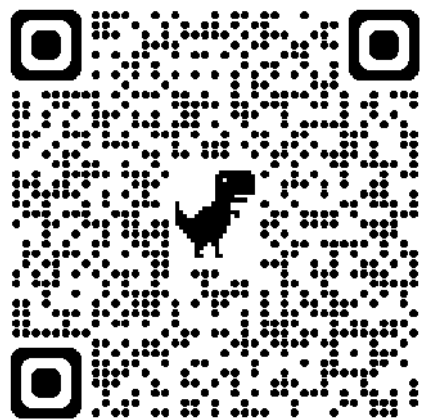
これらの知見はいずれも地上での研究段階にとどまり、宇宙環境下での直接的な検証は行われていない。しかし、病態生理に基づいた適応の可能性を示すものであり、宇宙特有の健康課題に対する漢方薬の有用性を裏付ける根拠とみなし得る。今後は宇宙環境下での薬物動態、投与経路の検討、安全性の検証を含めた系統的研究が必須であり、国際的な臨床試験の設計が望まれる。本発表では、既存文献を整理し、宇宙飛行士が直面する健康課題に対する漢方薬応用の可能性を概説する。

若手の会シンポジウム 1

若手の会シンポジウム

(宇宙航空医学研究者・医師からの若手に向けたメッセージ)

質問QRコード



若手の会シンポジウム 1 YS-1

宇宙航空医学研究者：医師からの若手に向けたメッセージ

○五味 秀穂

(一財) 航空医学研究センター

航空医学というジャンルは医学の中でも狭い専門的な領域と思われる。しかし航空の技術の進歩と共に、新しい医学の関与も絶え間なく必要となっている。

航空と医学の結びつきが特に強いと思われるのは、①航空機、特にジェット旅客機における機内環境との関係、また感染症などの影響の問題、②航空機乗組員の健康管理・身体検査基準の問題（安全な運航のための）の2つの大きな領域と言える。

①において航空機の進歩に伴い機内環境は快適な方向に向いてきているが、例えば進歩とともに長時間のフライトが増え、機内での病人への対処、また感染症対策は大きな検討課題である。

②においては、航空機乗組員の需要の増大と共に、年齢の高齢化、長時間乗務での問題、将来1人乗務への対策などが、医学的な面でも大きな検討課題となっている。

世界がグローバルに展開していく中で、航空という移動手段はますます必要不可欠なものとなり、その分野に興味を抱いて参加して頂ける若き医師・研究者に期待をしている。

若手の会シンポジウム 1 YS-2

宇宙航空医学分野に関わる医師から若手へ向けたメッセージ ～JAXA フライトサージャンから伝えられること～

○速水 聡

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）のフライトサージャン（FS）は、前身である宇宙開発事業団（NASDA）の時代より有人宇宙飛行ミッションに関わる日本人宇宙飛行士の健康管理を担ってきた。FS は、豊富な地上での臨床経験に加えて、航空宇宙医学や潜水医学に関する専門性が求められ、かつ産業医学的なアプローチも要求される。本シンポジウムでは、自身のキャリアを踏まえた上で、現在の JAXA FS という職種について述べるとともに若手キャリア形成の一助となるようメッセージを伝えたい。

【略歴】1975 年、東京都生まれ。リハビリテーション科専門医・指導医、公衆衛生学修士（MPH）、認定産業医、宇宙航空医学認定医、防衛省陸上自衛隊予備自衛官（二等陸佐）、海上自衛隊潜水医学実験隊名誉潜水医官、筑波大学医学群臨床教授。1999 年、慶應義塾大学医学部卒業、同大学医学部リハビリテーション医学教室入局。12 年以上地域・在宅リハビリテーション医療に従事後、2017 年より現職。2019 年～2022 年まで JAXA 星出彰彦宇宙飛行士の専任フライトサージャンとして米国ヒューストンに赴任し、ISS 第 65 次/第 66 次長期滞在ミッションを医学支援した。現在は、JAXA 筑波宇宙センター産業医を兼務しながら JAXA 油井亀美也宇宙飛行士の ISS 第 73 次長期滞在ミッションを医学支援中。

「宇宙が映す」キャリアパスと未来

○村谷 匡史

筑波大学医学医療系ゲノム生物学研究室

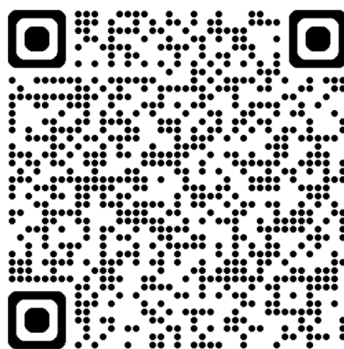
人類の宇宙進出は、単に新しいフロンティアを切り拓くだけでなく、外からの視点を私たちに与え、地球観や生命観を大きく揺さぶってきました。国際宇宙ステーションでの生物実験からは、重力や放射線といった特殊環境がもたらす影響が次々と明らかになり、私たちが当然と思っていた「地球での当たり前」が、実はきわめて特殊な条件に支えられていることが分かってきています。

同じことはキャリア形成にも当てはまります。自分が慣れ親しんだ環境から一歩外に出ることで、これまで見えなかった可能性や選択肢に気づくことができます。研究分野の転換や異なる文化圏での経験は、時に宇宙から地球を俯瞰するような新しい視野を与えてくれます。

この発表では、生命科学の研究現場で得られた経験や、国際的な研究活動の中で直面した気づきを紹介しながら、中学生・高校生、そして大学で学ぶ皆さんに向けて、「外に出ることの意味」と「未来につながるキャリアの広がり」について一緒に考えてみたいと思います。

若手の会シンポジウム 2

周産期シンポジウム 会場進行アンケート



シンポジウム進行に合わせてご回答ください。回答はリアルタイムに集計されます。

若手の会シンポジウム 2

宇宙×周産期 ― 宇宙で“いのち”が生まれるとき

○中村 枝利香¹、大野 琢也²、清水 強³、根津 八紘³、清水 雄也⁴、
杉村 航大⁵、本間 由美子⁶、山崎 直子⁷、若山 照彦⁸

¹慶應義塾大学医学部小児科、²鹿島建設、³医療法人登誠会諏訪マタニティークリニック産科・婦人科・小児科病院、⁴京都大学理学研究科、⁵日本大学医学部産婦人科学系産婦人科分野、⁶弁護士法人 GVA 法律事務所、⁷一般社団法人 Space Port Japan 代表理事、⁸山梨大学発生工学研究センター

人類が宇宙に長期滞在し、やがて月や火星での居住が実現する可能性が技術的に視野に入りつつある今、宇宙での妊娠・出産に関する問い掛けは、避けて通れない重要な検討課題として明確に浮かび上がってきたと言えよう。

本シンポジウムでは、「もし宇宙で妊娠が判明したら?」、「もし月面での出産を望むカップルが現れたら?」という2つの仮想シナリオをベースに、医学・工学・倫理・法学・生殖研究など多様な専門分野を背景に持つ7名の登壇者が、未来に起こりうる「宇宙での“いのち”の誕生」について、その解決すべき問題や可能性を多角的に検討し、今後の更なる研究推進の足掛かりを築きたい。

清水強(生理学者)・根津八紘(産婦人科医)は彼らが20年前から提言してきた宇宙での生活課題を概説し、杉村航大(産婦人科医)は宇宙環境における妊娠・分娩で医学的に問題となる論点(分娩進行上のリスク、合併症のリスク、分娩に関する評価の限界など)を検討提示する。

若山照彦(宇宙生殖研究者)は受精卵の着床や分割が宇宙環境下でも可能か、次世代に影響は出ないのか、という根源的な問いを基礎研究の観点から解説し、清水雄也(科学哲学者)は人類が初めて直面する「宇宙での“いのち”の誕生」についての倫理的論点を紐解いていく。さらに、本間由美子(弁護士)は出生地が宇宙空間であった場合の国籍など法的観点での問題を問い直し、大野琢也(人工重力技術開発者)は月面での出産や育児に必要な重力環境とその工学的実現性について現状の取り組みを提示する。

締めくくりとして、山崎直子(元 JAXA 宇宙飛行士)は閉鎖空間・遠隔環境における人間の活動の限界と可能性について、実際の宇宙滞在の経験と地上での出産育児経験を交えながら当事者視点で議論の具体化を試みる。

「宇宙で“いのち”を授かるとはどういうことか」、「生まれたその子どもは健やかに成長・発達できるのか」、「出産を保証する法や制度は必要なのか」、こうした問いに現時点で明確な答えは存在しない。だからこそ、宇宙での“いのち”の始まりにどのように向き合うかが問われている。その向き合い方次第で、人類が宇宙で生きる未来のかたちは大きく変わっていくであろう。科学と技術、制度、そして価値観が交錯するこの未知の領域に私たちは多職種の対話と協働の力で挑み、未来の宇宙社会における「“いのち”の誕生」にどう備えるべきかを共に探りたい。

SMJYC セッション

【質問フォーム】

セッション中に回答できなかった質問はこちらから！
運営より演者へ共有し後日メールにて回答いたします。



SMJYC セッション

学生が描く宇宙医学の未来へのロードマップ

大河原 寧々¹、岡田 佳之²、○川崎 隆弘³、○高嶋 英寿⁴、
坂本 智佳子⁵、○服部 真奈⁶、○村川 諒太郎⁷

¹ 浜松医科大学医学部医学科、² 徳島文理大学香川薬学部、

³ 東京農工大学工学部生体医用システム工学科、⁴ 慶應義塾大学医学部医学科、

⁵ 筑波大学医学群医学類、⁶ 名古屋市立大学薬学部生命薬科学科、⁷ 京都大学医学部医学科

近年の民間宇宙開発の進展は、宇宙医学が担うべき役割の多様化を促しており、次世代を担う人材の育成と、新たな学術領域の開拓が喫緊の課題となっている。本セッションでは、宇宙医学に関心を持つ学生のための団体、Space Medicine Japan Youth Community (SMJYC) の運営を通じて得られた知見に基づき、これらの課題に対する三つの具体的な行動計画を提言する。

まず、人材育成の基盤として「宇宙医学×教育」の重要性を論じる。学生動向の分析やアンケート調査の結果から、若年層が当該分野へ参入する際の障壁を明らかにし、その解消に向けた教育・広報戦略を提案する。次に、教育によって喚起された探究心に応える具体的な機会創出策として、「医学版アジアントライゼロ G」の創設を提言する。現在、JAXA の「アジアントライゼロ G」では学生提案の物理実験のみが対象であり、医学・生物学分野の学生が宇宙実験へ参画する機会は極めて限定的である。1970 年代の Skylab 計画など米国の先行事例を分析し、本邦における学生主導の医生物学実験プログラムの実現に向けた制度設計を提示する。

さらに、近年 SMJYC に多様な専門分野の学生が参画している動向は、異分野連携による社会実装の必要性が高まっていることを示唆している。その先駆的な具体例として、民間宇宙旅行時代に必須となる「宇宙旅行保険」の構想を提案する。独自のアンケート調査に加え、保険会社へのヒアリングや地上における既存の高リスク保険制度との比較分析に基づき、保険制度の課題を多角的に検討し、予防医学的介入の可能性についても言及する。

学生が宇宙医学分野に携わるには

○服部 真奈

名古屋市立大学薬学部生命薬科学科

近年、宇宙開発の民間化により宇宙における医学・生物学研究や医療ニーズへの関心が高まっている。だが、宇宙医学という専門分野に携わる道筋は限定的であり、学生にとってキャリアパスが想像しにくい。

Space Medicine Japan Youth Community (SMJYC)は、宇宙医学に関心のある学生のための学生団体である。SMJYC メンバー登録の際に聞いている「SMJYC に期待すること」の記入欄には、「宇宙医学について学びたい」「宇宙医学仲間を作りたい」というコメントが多く寄せられている。また、最近では医学部以外の学部学生からも関心を集め、メンバー登録が増えている。これは宇宙医学分野が、学生に広く門戸を開く絶好の機会であると考えられる。しかし、宇宙医学分野を自身のキャリアパスに結びつけることができる学生は稀である。

このような背景から、宇宙医学分野でのキャリアパスを考える機会を得るために、SMJYC では有識者や各機関のご協力のもと、ウェビナーや研究室訪問、企業訪問を開催している。そこで宇宙医学について知見を深め、様々な方面から宇宙医学にアプローチされている先生方のお話を参考にし、自身のキャリア像を模索している。

本発表では、SMJYC メンバーをターゲットにした、宇宙医学教育へのアクセスや目指すキャリア像に関するオンラインアンケート調査の結果を報告する。その結果をもとに、学生が宇宙医学分野に参入するハードルを下げるために必要な支援の在り方を考察する。特に、学生が宇宙医学に関わる上で障壁となっている事項を明確にし、それに対する具体的な提案を行う。本発表が、今後の宇宙医学分野への学生の参加を促進し、宇宙医学分野に携わる人の裾野を広げることに繋がるのではないかと考える。

米国の宇宙実験にみる学生の創造性—医学版アジアントライゼロ G の提案

○村川 諒太郎¹、岡田 佳之²、高嶋 英寿³

¹京都大学医学部医学科、²徳島文理大学香川薬学部、³慶應義塾大学医学部医学科

2011 年から 2025 年までに計 8 回、JAXA では「アジアントライゼロ G」と呼ばれる枠組みで、学生が提案した物理実験が ISS にて実施されている。しかし、医学・生物学に関してはそうした枠組みが存在せず、同分野の宇宙実験に関心を持つ学生は、良いアイデアを持っていてもそれを表出する機会がほとんどない。一方米国では、1970 年代の Skylab をはじめ、学生提案による医生物学の宇宙実験の機会が提供されてきており、大きな教育的・科学的役割を果たしている。

そこで本発表では、まず、米国で行われてきた学生提案による宇宙実験のうち、医学・生物学に関するものについて事例を紹介し、その意義について検討する。次に、物理実験と比較した場合に、宇宙での医生物学実験に特有の難点・課題を挙げ、対策を論じた上で、米国の例や現行のアジアントライゼロ G を参考にしつつ、「医学版アジアントライゼロ G」の枠組み・制度設計について提案を行う。

宇宙旅行保険の構想と社会実装への提言

大河原 寧々¹、○高嶋 英寿²、坂本 智佳子³

¹ 浜松医科大学医学部医学科、² 慶應義塾大学医学部医学科、³ 筑波大学医学群医学類

近年の民間宇宙開発の進展は、宇宙医学が担うべき役割の多様化を促している。私たち Space Medicine Japan Youth Community (SMJYC) は、こうした動向の中で異分野連携による社会実装の重要性を認識しており、その具体的な実践例として、民間宇宙旅行時代に必須となる宇宙旅行保険の構想を提案する。

この構想を具体化するため、我々はまず宇宙旅行保険に関する独自の意識調査を実施し、その必要性和旅行意欲への影響を定量的に評価した。次に、保険の実現可能性を探るため、地上における既存の高リスク保険との比較分析を行い、制度設計上の課題を抽出。さらに、保険会社へのヒアリングで得られた専門的知見と、仮想シナリオに基づく保険料の試算を組み合わせ、構想の具体性と妥当性を深めた。

これらの検討を通じて、実効性ある宇宙旅行保険の実現には、医学的評価に基づく適切な準備や連携が不可欠であることが示唆された。結論として、搭乗前の健康評価基準の明確化や、滞在中の健康リスクを低減する予防医学・歯科医療分野との連携体制の構築を提言する。

JAXA セッション

宇宙医学の時代：疾患研究への宇宙空間活用に向けて

○山本 雅之

宇宙航空研究開発機構

宇宙環境を利用したモデルマウス研究は、宇宙ストレス下の身体変化の詳細な検討を可能とする。宇宙では地上の高齢者が罹患するものと類似した身体変化が短期間で起こるので、宇宙環境は地上における加齢性疾患の研究に役立つことが期待される。また、月面探査に向けて現在開発が進められている有人圧ローバーは、私たちの大きな夢を与えているが、搭乗する宇宙飛行士の月面での高いパフォーマンス発揮に向けては、宇宙医学研究が取り組むべき多くの課題が存在する。

学生セッション 1

【質問フォーム】

セッション中に回答できなかった質問はこちらから！
運営より演者へ共有し後日メールにて回答いたします。



宇宙有人探査に向けた放射線防御クリームの試作と遮蔽効果の評価

○折原 準也¹、中山 陽斗¹、廣谷 らいら¹、粕本 亜美¹、竹山 えりな¹、山口 修平¹、
星昂 太郎¹、塩屋 沙季¹、清水 凜佳¹、茅原 武尊¹、西村 京将¹、井原 千鶴¹、
竹田 奈央¹、三宅 飛鳥¹、石原 洋¹、山添 真治²、田中 達也¹、黒住 献¹、
木下 翔太郎³、田島 寛之⁴、堀口 淳¹、中原 公宏¹、瀧澤 玲央^{1,2,5}

¹国際医療福祉大学医学部、²Jikei Aerospace Medicine Envision Team (JASMET)、

³国際医療福祉大学医学部 循環器内科 市川病院、⁴東京慈恵会医科大学 宇宙航空医学

¹国際医療福祉大学宇宙医学研究会、²牛久愛和総合病院、

³慶應義塾大学医学部ヒルズ未来予防医療・ウェルネス共同研究講座、

⁴千葉大学大学院医学研究院医学教育学、⁵東京慈恵会医科大学細胞生理学講座・宇宙医学研究室

背景: これまでの有人宇宙飛行は主に地球低軌道 (Low Earth Orbit : LEO) に限定されており、宇宙放射線影響に関する研究・データも LEO 滞在に基づくものが中心であった。しかし、NASA が進める Artemis 計画など、月面基地での 1~2 か月規模の滞在を想定した深宇宙探査の実現が近づくにつれ、ヴァン・アレン帯以遠の放射線環境が新たな医学的課題として浮上している。2016 年に Nature 誌で報告された疫学研究では、アポロ計画に参加した宇宙飛行士群は LEO ミッション群や非飛行群と比較して循環器系疾患による死亡率が有意に高く、深宇宙放射線が心血管系リスクを増大させる可能性が指摘されている。深宇宙探査時の放射線対策としては宇宙船や基地のシェルター設計・遮蔽材開発が進められているものの、個人レベルで簡便に利用できる補助的防御手法の確立も重要である。

目的: 宇宙飛行士が日常的に使用でき、かつ医療現場や災害現場など地上応用も見込める皮膚塗布型放射線防御製剤の可能性を検討するため、X 線遮蔽効果を有する造影剤を応用した簡易クリームを試作し、遮蔽率を定量的に評価した。

方法: 市販保湿クリーム (アトリックス®) を基剤に、硫酸バリウム (BaSO_4) 粉末あるいはヨード系造影剤イオパミロンをそれぞれ 15 g 混和した試作品を調製した。試験条件は①硫酸バリウム単独、②イオパミロン単独、③両者混合の 3 群とし、X 線照射後の透過率を測定して遮蔽率を算出した。バリウムは医療用胃 X 線検査にも使用される高 X 線吸収性元素であり、簡易的に調製可能かつ安全性が比較的高い点から採用した。

結果: 遮蔽率は硫酸バリウム単独配合群で 28%、イオパミロン単独で 14%、両者混合で 16%を示した。短時間かつ家庭レベルで調製可能な方法で一定の X 線防御効果を確認でき、特に硫酸バリウムの有効性が際立った。調製後の物理的安定性も短期的には保持され、塗布操作性も良好であった。

結語: 硫酸バリウムを含有する皮膚塗布用クリームは、簡易調製で X 線に対する一定の遮蔽効果を示した。深宇宙ミッションでの宇宙飛行士個人防護手段として、また地上での医療・災害対応への展開も期待される。本研究は今後の深宇宙探査における放射線防御戦略の一助となると考えられる。

宇宙医学における超音波検査の有用性とポータブル診断技術の応用

○粕本 亜美¹、石原 洋^{1,2,3,4}、折原 準也¹、中山 陽斗¹、廣谷 らいら¹、竹山 えりな¹、
山口 修平¹、星昂 太郎¹、塩屋 沙季¹、清水 凜佳¹、茅原 武尊¹、西村 京将¹、
井原 千鶴¹、竹田 奈央¹、三宅 飛鳥¹、小幡 七菜^{5,6}、太田 義人⁵、曾我井 大地²、
高橋 宏太^{2,3,4}、結束 貴臣^{3,4}、篠原 靖志⁵、山添 真治⁷、田中 達也¹、黒住 献¹、
木下 翔太郎^{1,3}、田島 寛之^{1,4}、堀口 淳¹、中原 公宏¹、瀧澤 玲央^{1,7,10}

¹ 国際医療福祉大学宇宙医学研究会、² さんむ医療センター内科、³ 国際医療福祉大学成田病院緩和医療科、⁴ 国際医療福祉大学医学部消化器内科学、⁵ さんむ医療センター外科、⁶ 東邦大学医療センター大橋病院、⁷ 牛久愛和総合病院、⁸ 慶應義塾大学医学部ヒルズ未来予防医療・ウェルネス共同研究講座、⁹ 千葉大学大学院医学研究院医学教育学、¹⁰ 東京慈恵会医科大学細胞生理学講座・宇宙医学研究室

背景・目的：宇宙環境では重量制約により大型画像診断装置（CT：700kg、輸送費 7 億円）の搭載が実質不可能であり、国際宇宙ステーション（ISS）において小型超音波診断装置「Ultrasound-2」（GE ヘルスケア社 Vivid-q™改良型）がほぼ唯一の画像診断手段として運用されている。本研究では、宇宙医学における POCUS の有用性を検証し、地上での症例経験を踏まえた診断技術の応用可能性を検討する。

方法：ISS での超音波運用実績と 2020 年 NEJM に報告されたクルー血栓症例（11 名中 6 名で静脈血液うっ滞、1 名で内頸静脈血栓）の解析に加え、地上症例として食餌性小腸閉塞に対するポータブル超音波診断装置（iViz air）の診断的有用性を評価した。

結果：宇宙環境において、POCUS は心臓・肺・血管・腹部・眼球・泌尿器・筋骨格系の多岐にわたる病態評価が可能であり、6～8 時間の訓練で宇宙飛行士による基本的操作が習得できる。ISS 実例では血栓検出・経過観察・治療効果判定において不可欠な役割を果たした。地上症例では、60 代男性の食餌性小腸閉塞において、液体貯留を伴う拡張小腸、to-and-fro サイン、さらに後方低エコー層を伴うドーム型線状高エコーとして原因食物（焼きシイタケ）の部分的描出が可能であった。立体再構築画像解析により世界初のシイタケ小腸閉塞の超音波所見を報告した。

考察：宇宙環境の制約（微小重力・放射線・閉鎖隔離・専門医不在・通信遅延）下において、POCUS は迅速な病態把握とトリアージを可能にする。AI 補助技術や AR（拡張現実）、遠隔・自律ロボット診断の導入により、将来的には専門医不在環境での自律的検査・診断・治療評価が実現可能となる。地上での食餌性腸閉塞症例は、限られた診断資源下での超音波の有用性を示すモデルケースとして、宇宙医学への応用可能性を示唆する。

結語：POCUS は宇宙環境における主要画像診断手段として不可欠であり、技術革新により診断精度と自律性の向上が期待される。地上での症例蓄積と技術開発が、将来の宇宙医学の発展に直結する重要な基盤となる。

遠隔診療支援に向けた三次元仮想身体による 半自律型心臓超音波検査システムの開発

○松本 幸翼¹、土基 夏輝¹、石井 浩樹¹、Maxwell Volkan¹、杉野 正和¹、
山本 裕子¹、仙波 宏章²、榛葉 健太¹、小谷 潔¹

¹ 東京大学、² 自治医科大学

宇宙空間および、航空環境といった特殊な環境で活動する人に対しては定期的な健康管理が必要である。他の検査技術に比べ、超音波検査は非侵襲かつ簡便であり、さらに小型軽量化が進んでいることから、宇宙空間における健康管理への活用が期待される。一方で、超音波検査はプローブを手動で操作して診断に使用可能な断面図を撮像するため、プローブ操作を担う専門医の技能に大きく依存し、遠隔環境での定期的な診断は困難である。また、宇宙空間と地上との通信の場合、送受信に時間がかかるため、専門医の操作と患者環境でのプローブの操作に時間的な相違が発生する。そのため、専門医が操作をリアルタイムに行うシステムでは遠隔での超音波画像の取得が困難である。

そこで、本研究では、遠隔環境において専門医の技能を効率的に活用することを目的として、①ロボットアームによる物理的操作を代替、認知的役割の要求を低減、②通信遅延のある環境下でも対応可能な非同期型の操作系、③三次元仮想身体を用いた直感的な GUI(Graphical User Interface)による操作支援、の三要素を統合した半自律的超音波画像取得システムを開発した。本システムにより、専門医の認知的負担を軽減しつつ、遠隔地における診断精度の向上と操作効率の両立を図ることを目指した。

具体的には、本システムでは、専門医の物理的操作をアーム型ロボットが代替し、所定の位置の複数の断面を把握するために、プローブの各軸での回転探索動作、呼吸探索動作を導入した。

まず、所定の位置・姿勢に対して x 軸および y 軸まわりの回転を付加し、9 通りのプローブ位置・姿勢を設定する。次に、医師側の環境において、各位置・姿勢に対応する超音波画像を取得し、その画像に基づいて位置・姿勢の修正を行う。これらの操作を反復することで、x 軸および y 軸まわりの最適な回転を探索する。続いて、x,y 回転探索により得られた最終的な位置に対し、z 軸まわりの回転を付加し、z 軸方向に関する最適な姿勢を決定する。加えて、超音波動画と同時に呼吸深さを提示し、専門医が各呼吸深さにおける画像の解像度を評価することによって、最も高画質な画像が得られる呼吸深さを選択し、最適な呼吸深さを決定する。

構築したシステムを用いて健常成人男性を被験者に心エコーを遠隔取得する実験を行った。実験において、複数の試行を通して目標位置に近づいていく変遷が見られ、回転探索動作の有用性が示された。

中心循環血液量減少に対する呼吸・循環調節および
脳循環応答と漸増運動負荷試験による個体差の検討

○フィーリー 真利奈¹、嶋田 愛¹、和多田 智樹¹、田中 心大²、
伊藤 剛³、澤井 亨²、仲田 秀臣^{1,2}、大槻 伸吾^{1,2}、宮本 忠吉^{1,2}

¹大阪産業大学大学院人間環境学研究科、²大阪産業大学スポーツ健康学部、³森ノ宮医療大学

起立時には上半身の血液が下半身に移行し、起立性調節障害の患者は起立性低血圧による失神を引き起こす。地球に帰還後の宇宙飛行士の約 60% が起立性低血圧を引き起こすことが知られており、中心循環血液量(CBV)の減少に対して脳血流を維持することは重要である。これまでに、定常状態にて CBV 減少が循環調節および呼吸調節に影響を及ぼすことが明らかとなっているが、CBV 減少初期にどのような統合的な生理応答を示すかは明らかでない。本研究では、CBV 減少に対する呼吸・循環・脳血流の統合的な応答を検討することを目的とした。

男性健常者 11 名を対象に、漸増運動負荷試験と-45mmHg の下半身陰圧 (LBNP) による CBV 減少に対する生体応答を調べた。漸増運動負荷試験では自転車エルゴメータを用い、3 分間の 20watt/分の一定強度ウォーミングアップの後、30watt/分で漸増負荷し、回転数が 50 回転/分を維持できなくなるまで運動を継続させ、最大運動時の呼吸循環機能を測定した。LBNP 実験では 2 分間の LBNP を 3 セット行い、呼吸・心血管・脳血流を連続測定した。呼気ガス諸量は breath-by-breath 法を使用し質量分析装置で測定し、心拍数はテレメータ心電図計を用いて 1 拍毎に継続的にモニタリングした。脳血流は経頭蓋超音波ドップラー法を用いて連続的に記録した。血圧は自動血圧計を使用して 30 秒毎に測定し、胸部アドミタンスを CBV の指標とした。各被験者の 3 試行の結果を加算平均してデータ分析に用いた。

漸増運動負荷試験の結果、最大酸素摂取量は 2486 ± 349 mL/min を示し、最大運動パフォーマンスは 264 ± 36 watt を示した。LBNP 実験では CBV の指標である胸部アドミタンスは 90-120 秒で 13.4% 減少し ($p < 0.001$)、CBV の有意な減少が確認された。平均血圧 (MBP) は最初の 30 秒間で一時的に低下した後、心拍数 (HR) は 90-120 秒で 16.4% 増加した ($p < 0.001$)。呼気終末二酸化炭素分圧 (P_{ETCO_2}) は 5.9% 減少し ($p < 0.001$)、分時換気量は 9.3% 減少した ($p = 0.041$)。LBNP 中、MBP は初期 30 秒で一回換気量と負の相関を示した ($r = -0.78$, $p = 0.004$)。相互相関解析の結果、一回換気量の変化が中大脳動脈平均血流速度の変化よりも 10~20 秒先行することが示された。また、最大運動時の $P_{ETCO_{2MAX}}$ は LBNP 中の 30-59 秒の P_{ETCO_2} と正の相関を示し ($r = 0.80$, $p < 0.01$)、最大酸素摂取量は LBNP 中 60-89 秒の呼吸数と負の相関を示した ($r = -0.79$, $p < 0.01$)。

CBV 減少に対して、呼吸・循環・脳血流の統合的な代償応答が観察された。一回換気量の変化が脳血流変化に 10~20 秒先行することから、呼吸調節が血圧および脳血流維持に重要な役割を果たすことが示された。また、高い呼吸循環機能を有する者ほど、CBV 減少に対する代償機構がより効果的に作動する可能性が示唆された。

宇宙渡航者の COVID-19 感染持込みリスクシミュレーション： データ駆動型隔離・検査プロトコルの定量的評価と最適化

○小塚 昌弘¹、寺田 昌弘¹、高山 義浩^{3,4}、水本 憲治¹

¹ 京都大学大学院総合生存学館、² 京都大学理学研究科、

³ 沖縄県立中部病院、⁴ 長崎大学大学院医歯薬学総合研究科

【目的】 宇宙ミッションにおける感染症の水際対策は、Health Stabilization Program による 2 週間の隔離やワクチン接種、厳格な健康監視などにより行われてきた。COVID-19 パンデミック期においては、PCR 検査陰性確認を必須とし、クルーと接触する可能性のある全ての関係者への頻回の検査と厳格な健康監視、さらに、マスクや個人防護具の徹底、接触者管理等の多層的な対策を組み合わせ、より感染持込みリスクを軽減する方法へと改良された。このアプローチは、これまで宇宙における感染症のアウトブレイクの防止に貢献してきた一方で、その妥当性は経験則に依存してきた側面がある。本研究では、COVID-19 パンデミックで得られた医学的知見を統合した確率論的シミュレーションモデルを構築し、様々な隔離・検査戦略を定量的に評価する。感染性保有者を見逃すリスクと、非感染者を偽陽性と判定するリスクを分析し、科学的根拠に基づいた水際対策プロトコルを提案することを目的とした。

【方法】 4 名のクルーを対象とした個体ベース・モンテカルロ法を用い、100 万回のシミュレーションを実行し、COVID-19 の感染性を有するクルーが少なくとも 1 人含まれる確率（感染リスク）を推定した。NASA ジョンソン宇宙センターが位置する地域の COVID-19 の有病率、文献データに基づいたウイルスの潜伏期間、無症候性割合、発症後日数に応じた各種検査（PCR、抗原、抗体）の感度、ウイルス培養陽性率（感染性の代理指標）などをパラメータとした。NASA の Probabilistic Risk Assessment を参考に、感染リスクの許容閾値を 0.01%、偽陽性リスクを 0.1% と設定した。隔離期間（0-21 日）と検査タイミングを組み合わせた計 27 戦略を評価し、さらに感度分析を通じて重要パラメータを特定し、安全運用範囲を特定した。

【結果】 COVID-19 野生株の流行ピーク期を想定した解析では、14 日間隔離のみの戦略においても感染リスクを 0.006% に抑制可能であった。隔離期間を 10 日間に短縮する場合、PCR と抗体検査を 4 回組合せた戦略のみが感染リスクが 0.007% と閾値を達成した。感度分析により、ウイルスの潜伏期間、地域の有病率、無症候性割合が感染リスクに強く影響されることを明らかにした。これらのパラメータを組合せた多変量解析から安全運用範囲を導出した。長い潜伏期間または無症候割合が高いウイルスに対しては 14 日間隔離と 4 回検査の厳格な戦略でも、有病率が 0.1% を超えると感染リスクの許容閾値を逸脱する可能性が示された。

【結論】 本研究は、データ駆動型アプローチにより、COVID-19 にとどまらず将来の新興感染症に対し、宇宙ミッションにおける感染症水際対策の有効性を定量的に評価し、最適化するための科学的基盤を提供する。

極限環境（宇宙空間・極地・深海）における作業者の健康管理制度の比較調査

○山内 梨湖¹、永井 精一郎²、池尻 達紀³

¹ 慶應義塾大学法学部法律学科、² 医学研究所北野病院、³ 彦根市立病院

【背景】極限環境とは、人間や生物の一般的な生活環境から大きく逸脱した過酷な環境のことを指し、宇宙、深海、南極等が該当する。一方で、極限環境は日常との近接性も有しており、近年では例えば、新型コロナウイルス感染症は社会に極限環境に近い状況を局地的にもたらし、有事の際の健康管理上の課題を顕在化させた。また、近年の宇宙開発の進展を見据えると、特に民間の宇宙旅行者等の健康を保証する仕組みの整備も課題となる。我が国では南極地域観測隊の経験を宇宙活動に応用する研究等が行われているが、複数の極限環境における健康リスクと健康管理体制に注目し、それらを網羅的に把握し、より広範囲の領域に活かそうとした研究はすくない。

【目的】本研究では、各環境下の健康リスクと健康管理体制を整理、横断的に比較検討し、感染症流行時、災害時、宇宙旅行時など、より広範囲の領域への応用可能性を検証することを目的とした。

【方法】極限環境を「宇宙」「深海」「南極」に区分し、それぞれの健康リスクに関する国内外の医学文献をレビューした。さらに、「宇宙」は文部科学省ホームページ（以下 HP）記載の宇宙開発利用関連機関、「深海」「南極」は科学技術振興機構 HP 記載の国立研究機関の公開情報を基に健康管理体制を抽出し、共通点、相違点と応用可能性を検討した。

【結果】文献調査では、20 件の文献をレビューした。これらの結果と、各機関の HP 情報を基に以下のことが分かった。①宇宙空間では、微小重力・低圧・放射線曝露に加え、約 6 カ月に及ぶ閉鎖環境下による睡眠障害や心理的負担が生じる。管理制度は「国際宇宙基地搭乗員についての行動規範」に加えて、施設固有の規則に基づき、専属のフライトサーजनや生物医学工学者、心理士ら多職種による支援体制が整えられている。②深海では高圧に伴う減圧症・窒素酔い・酸素中毒が中心であり、飽和潜水員はヘリウム 98%の加压室で約 1 カ月過ごすため、呼吸や体感温度の変化、極端な運動不足が生じる。潜水士は免許制で、労働安全衛生法の一規則に基づき、特に潜水前の健康管理が徹底されている。③南極では、低温や昼夜リズムの変容により、免疫系の変化や不眠、抑うつがみられる。文部科学省の定める南極地域観測隊行動実施計画に則り、医師が常駐し診療・健康指導を行い、遠隔医療相談も活用している。

【考察】各環境では固有のリスクに応じた体制が構築されており、いずれにおいても制度面からの医療へのアプローチが重要と考えられた。さらに、3つの環境における健康管理体制を相互に参照し、極限環境に近い状況が発生し得る災害時、感染症流行時、民間宇宙旅行時などに関連する制度構築に活用できる可能性も示唆された。極限環境下における健康管理体制については、日常との近接性も考慮し、より広範囲に知見を応用すべく医療・法律両者の視点から社会的議論を深めていくことが期待される。

学生セッション 2

【質問フォーム】

セッション中に回答できなかった質問はこちらから！
運営より演者へ共有し後日メールにて回答いたします。



宇宙旅行での良質な睡眠と心理的安定に資する寝具に関する考察

○竹花 賢人^{1,2}、稲山 翔太^{1,2}、武内 健人^{1,2}、松本 暁子³

¹ Jikei Aerospace Medicine Envision Team (JASMET)、² 東京慈恵会医科大学医学部医学科、

³ 東京慈恵会医科大学宇宙航空医学

【背景】近年、民間企業による宇宙飛行が計画され、今後は一般人による宇宙旅行が増えていくことが予想される。宇宙旅行においては「快適な睡眠」が重要なテーマの1つになる。一方、地上では睡眠障害や不眠症状を抱える人は多く、その改善が重要な課題となっているが、Weighted Blanket (WB) 等の使用により、体表に小さい圧を加えることで睡眠の質や不安感が改善するという研究報告もあり、非薬物的な介入法として注目されている。

【目的】本研究では、地上における WB 及び類似デバイスの睡眠及び心理面への効果を文献レビューにより明らかにし、宇宙旅行での応用可能性を検討することを目的とした。

【方法】過去 15 年間に報告された学術誌や公開情報を用いて研究のレビューを行い検討した。

【結果】今回のレビューの範囲では、①WB を用いた研究(18 件)と、②WB 同様に身体を圧迫する類似デバイスを用いた研究(8 件)に大別した。①では、不眠症や ADHD 等の疾患がある成人に対して、WB を使用することで、睡眠の質や不安感に関する主観的指標の改善が報告された。健常者においては、就寝 1 時間前から WB を使用することで、唾液メラトニン濃度が増加するという報告があった。②では、自閉スペクトラム症等の患者に対して、WB 類似デバイスの使用により心理面の改善が報告された。

【考察】これらの効果は、抱きしめる、包む、圧迫するなどにより提供される触覚刺激の一種である Deep Touch Pressure (DTP) によるものであると考えられている。WB は、睡眠調節と不安感の軽減への寄与が期待され市販されているが、微小重力環境では WB のような重みによる効果を期待できない。しかしながら、薬物療法による課題(安全性や依存性など)への対策の一環として、加重ベストのような加圧機構を備えたデバイスを用いることで、宇宙環境においても一定の DTP を再現できる可能性がある。

【結論】適切な DTP を身体に与える寝具は、宇宙旅行中の良質な睡眠と心理的安定に寄与する可能性があり、今後の研究開発が期待される。

無人航空機事故調査に基づく操縦者の医学的・身体的適正について

○武内 健人^{1,2}、竹花 賢人^{1,2}、稲山 翔太^{1,2}、松本 暁子³、阿部 聡⁴

¹ Jikei Aerospace Medicine Envision Team (JASMET)、² 東京慈恵会医科大学医学部医学科、

³ 東京慈恵会医科大学宇宙航空医学、⁴ 阿部メディカルクリニック

【背景】

近年、無人航空機（Unmanned Aerial System, UAS）（通称ドローン）の社会活用が本格化しドローンの産業活用が推進されている。本邦においても 2022 年施行の航空法改正より無人航空機操縦者技能証明制度が開始され、無人航空機関連の法整備が進むとともに無人航空機操縦者（以下、オペレーター）の技能のおよび身体的要件が定められた。しかしながら、その規制内容はドローン操縦の特性を十分に反映したものとはいえず、更なる検討が必要になると考えられる。

【目的】

無人航空機に関する運用例や法整備が充実している米国での過去の事故事例を解析し、その要因を整理することでオペレーターの医学的・身体的適正について検討することを目的とした。

【対象・方法】

対象:米国運輸省国家運輸安全委員会（National Transportation Safety Board, NTSB）により記録、公開されている米国内での 2024 年 12 月 31 日以前に生じた、当該機に無人航空機（UAS）を含む全てのアクシデント・インシデント。

方法:上記に対する事故事例報告書をもとに無人航空機の事故の原因について、特にヒューマンファクター・パイロットファクター（PF）に関する部分に注目し分析した。

【結果】

上記期間において米国内で 41 件の事故が報告された。このうち、4 件で重症、1 件で軽傷の事例があり、うち 3 件がオペレーター要因によりオペレーターが受傷した事例であった。また、PF が影響すると考えられる事例が 22 件報告された。これらの事故に対し飲酒や薬物の影響に対する言及はなかった。従来の有人航空機のコクピットと無人航空機の操縦席との差異による状況把握への影響が原因と考えられる事例が 6 件存在した。

【結論】

現在、無人航空機操縦者技能証明の身体検査は、日米ともに 25kg 以下の機体においては普通自動車の運転免許証にて代替としているが、今回の調査を通じ、オペレーターの医学的・身体的適正について掘り下げた議論が必要と考えられた。

学生セッション 2 SB-3

宇宙での人工臓器・オルガノイド生成の現状と将来の医療応用への期待と課題

○稲山 翔太^{1,2}、武内 健人^{1,2}、竹花 賢人^{1,2}、松本 暁子³

¹Jikei Aerospace Medicine Envision Team (JASMET)、²東京慈恵会医科大学医学部医学科3年、

³東京慈恵会医科大学 宇宙航空医学

【背景】

オルガノイドや人工臓器など、再生医療は目覚ましい進歩を遂げており、その臨床応用が期待されている。この研究開発を加速する手段として、宇宙の微小重力環境が注目されている。微小重力は細胞の三次元培養や機能維持に好影響を与える可能性を秘める一方、その細胞挙動に関する知見はまだ少なく、再生医療への具体的な応用には、今後の展望を明確にし、課題を整理していく必要がある。

【目的】

本研究では、文献調査により、微小重力環境が細胞の増殖や構造化に与える影響を包括的に理解し、将来の医療応用への有用性と課題を検討することを目的とした。

【方法】

微小重力環境でのオルガノイド生成および人工臓器に関する研究につき、2025年6月までに学術誌等に報告された文献を調査分析・考察した。

【結果】

上記テーマに関する研究は、宇宙実験と模擬微小重力下での実験に大別された。

微小重力環境下における再生医学研究は、オルガノイド生成への微小重力の影響を解明し、将来的な臓器創出に向けた課題解決を目指す段階にある。宇宙実験例では、ヒトiPS細胞由来の肝臓オルガノイド形成において、微小重力がその構造的成熟に影響を与える可能性が示唆された。模擬微小重力実験例では、模擬微小重力下で培養された心筋前駆細胞の増殖能・生存率が増加した。なお、模擬微小重力は、宇宙の微小重力と完全に同一でない点には注意が必要である。微小重力下での人工臓器創出の具体的な課題として、人工臓器への血管や神経ネットワークの構築や宇宙ステーションにおける空間的制約、微小重力下で培養したオルガノイド・人工臓器を臨床応用することへの安全性などが挙げられる。

【結論】

今後の短期的な展望として、宇宙でオルガノイドを安定し生産できる仕組みを構築し再生医療や薬物臨床試験に利用することが挙げられる。長期的な展望として、宇宙での人工臓器創出技術の確立と宇宙で作成した人工臓器の臨床応用が期待される。また、将来の医療応用に向けた課題の解決には、医学的観点からのアプローチのみならず、複数の研究分野の研究者連携による多面的アプローチが不可欠である。

学生セッション 2 SB-4

宇宙空間での薬物治療や心肺蘇生は今後どのようにすべきなのか？

○和田 治大^{1,2}、船橋 伸禎³、松本 暁子⁴

¹国際医療福祉大学医学部、²Jikei Aerospace Medicine Envision Team (JASMET)、

³国際医療福祉大学医学部 循環器内科 市川病院、⁴東京慈恵会医科大学 宇宙航空医学

【はじめに】

発表者は、現在、国際医療福祉大学医学部生として自主的に学内循環器内科勉強会とJASMET(Jikei Aerospace Medicine Envision Team)に所属し、宇宙医学について学んでいる。

【背景】

国際宇宙ステーションは2030年で運用終了となり、以後は民間主導による新たな宇宙ステーションが計画され、民間人の宇宙飛行も増加することが想定される。また、今後はNASAを中心に月や火星への有人宇宙計画が検討されている。従って、これまで以上に長期間の宇宙空間での放射線被ばくや滞在中の薬物治療や心肺停止が起こった場合の対処が問題となる。

【方法】

今回、循環器領域を中心に、宇宙空間での薬物治療や心肺停止が起こった際の心肺蘇生はどのようなのかを中心に、旧ソ連の初期研究成果(1966年)から最近のデータまで調査した。

【結果と考察】

薬物治療については、微小重力環境では、①長時間滞在すると、体内水分量の減少が生じ、有効薬物濃度が高くなる、②一部の肝酵素に変化が生じ薬物の代謝に変化を及ぼすことがあるなど、長期間の有人宇宙計画において薬物動態は地上のそれとは異なることが示唆される。そのため、宇宙における長期間の薬物の使用について、循環器薬に限らず、体内分布、代謝、排泄を個別の薬物毎に再検討することが必要である。

心肺停止例については、Basic Life Support (BLS)では Evetts-Russomano method (ER)、Advanced Cardiovascular Life Support (ACLS)では Crew Medical Restraint Systemで固定された逆立ち方法が適応される。微小重力下での心肺蘇生に対してもAHA(アメリカ心臓協会)/ERC(ヨーロッパ蘇生協議会)の地上ガイドラインに基づくべきであるが、微小重力下では救助者の位置、胸部圧迫、気道確保、除細動の方法などを考慮する必要がある。また、宇宙飛行士だけでなく、将来的には宇宙旅行者について、飛行可否に関する医学的判断が必要になるケースが生じると思われるが、心臓CTが正常所見で数年は急性冠症候群を起こさないと想定される例、心筋症や致死的不整脈の無い例を選抜するなど、循環器系の方針を検討すべきと考えられる。

ゼログラビティの世界における道筋

○若松 拓弥

岡山理科大学附属中学校

地球上の物流倉庫や工場内において、自律走行搬送ロボット等が導入され、床面に設置されたラインを光学センサーで追従するライントレース技術が広く利用されている。このシンプルかつ信頼性の高い技術は、複雑な環境認識や高精度の測位システムを必要とせず、効率的な物資搬送を実現する点で優れており今回の発表では、これらの技術を宇宙環境、とりわけ将来的に建設が見込まれる月面基地等に応用する可能性を提案する。具体的には、月のクレーター内部など閉鎖的かつ複雑な地形に築かれる拠点内において、特殊塗料や反射特性を持つガイドラインを床面や屋外に設置し、それを走行経路として利用する搬送ロボットの運用を想定する。この手法は、月面環境下においても視認性と耐久性を確保しやすく、インフラ整備の初期段階から段階的に導入できる柔軟性を持つと予想される。

さらに、有人活動へとシフトした際には、ライントレース式搬送ロボットは生活必需品の供給路としての「ライフライン」として機能するだけでなく、医療面での応用も期待される。例えば、医療資材や検体輸送、さらには負傷者の搬送を担うことで、医療スタッフの人的リソースを患者対応や診療行為に集中させることが可能となり、地球上における救急車や搬送補助システムに相当する役割を、宇宙基地内で果たすことができると考えられる。

以上により、ライントレース技術を基盤とした搬送ロボットは、低コストかつ高信頼性を備えた月面基地のインフラ要素となり得るとともに、宇宙開発における次のステップへと移行した際に生活支援・医療支援の両面で重要な役割を担う可能性を提案したいと思います。

一般演題 1

【質問フォーム】

セッション中に回答できなかった質問はこちらから！
運営より演者へ共有し後日メールにて回答いたします。



一般演題 1 OA-1

微小重力環境における心停止患者への心肺蘇生に関する包括的総括

○柴田 泰佑¹、堀野 雅祥²、石橋 拓真³、斉藤 良佳⁴、中沼 寛明^{5,6}、瀧澤 玲央^{7,8}

¹ 鉄蕉会亀田総合病院救命救急科、² 杏林大学医学部救急医学、³ 東京大学医学部附属病院、

⁴ 仙台厚生病院、⁵ 大分大学医学部消化器小児外科学講座、⁶ 利光会五反田病院、

⁷ 牛久愛和総合病院血管内治療科、⁸ 東京慈恵会医科大学細胞生理学講座宇宙医学研究室

背景 国際宇宙ステーション（ISS）での長期滞在、月・火星探査ミッション、商業宇宙旅行の拡大に伴い、宇宙医学は急速に発展している。JAXA が宇宙医学における技術ギャップを臨床医に対して提示している現状において、微小重力環境での心停止対応は極めて重要な課題である。地上標準の心肺蘇生法（CPR）の多くが微小重力環境では適用困難であり、患者固定方法や医療資機材の有無に応じた新たなアプローチが必要となる。本報告は、臨床医の立場からこの技術ギャップに応え、無重力・低重力環境での心停止患者蘇生に関する知見を整理し、包括的総括を提示することを目的とした。

方法 臨床医として JAXA の提示する技術ギャップに応える形で本発表を行った。胸骨圧迫、気道管理、除細動、原因検索の各観点から、既存の実験的研究、シミュレーション試験、国際ガイドラインを体系的にレビューした。特に乗員医療拘束システム（CMRS）、自動胸骨圧迫装置（ACCDs）の有無による胸骨圧迫手技の違い、声門上デバイスと気管挿管の比較、除細動施行条件を中心に検討した。

結果 胸骨圧迫では、CMRS・ACCDs ともにない状況では Evetts-Russomano（ER）法が圧迫の質で優れ国際ガイドライン推奨となっている。CMRS 使用可能時は Handstand（HS）法が最も効率が良いとされているが、狭隘空間や体格制約下では Waist straddling maneuver（SM）法や Standard side straddle（STD）法が代替となる。ACCDs 使用時は用手圧迫より高効率で、特に LUCAS3®が優秀だが、装着に伴う胸骨圧迫開始の遅延は避けるべきである。気道管理では複数救助者かつ患者と手技者の相互固定が前提で、声門上デバイスが成功率・時間で気管挿管に優越し、挿管時はビデオ喉頭鏡が推奨される。除細動は患者絶縁・固定下で粘着パッド使用が望ましい。原因検索は 5H5T に基づき超音波・血ガス・病歴を活用するが、微小重力環境により超音波検査での出血診断が困難となり得る。

考察 微小重力下では患者固定、救助者姿勢、利用可能資機材に応じた手技選択が必須である。限られた医療資源、通信遅延、専門家不在という制約下での迅速かつ効果的な蘇生処置実現に向け、非専門家対応を想定した教育・訓練プログラムや標準化プロトコルの整備が急務である。

結論 本報告は、臨床医の立場から JAXA が提示する技術ギャップに応え、無重力・低重力環境での心停止患者蘇生に関する知見を整理し、包括的総括を提示した。微小・低重力環境下の心停止対応は、胸骨圧迫法、気道管理、除細動条件、原因検索を包括的に理解し、状況に応じた最適解選択が必要である。本総括は将来の宇宙探査および商業宇宙旅行における実践的な宇宙医学体制確立の重要な基盤となり得る。

一般演題 1 OA-2

微小重力環境における熱傷の診断・治療に関する包括的総括

○堀野 雅祥¹、柴田 泰佑²、石橋 拓真³、斉藤 良佳⁴、中沼 寛明^{5,6}、瀧澤 玲央^{7,8}

¹ 杏林大学医学部救急医学、² 鉄蕉会亀田総合病院救命救急科、³ 東京大学医学部附属病院、

⁴ 仙台厚生病院、⁵ 大分大学医学部消化器小児外科学講座、⁶ 利光会五反田病院、

⁷ 牛久愛和総合病院血管内治療科、⁸ 東京慈恵会医科大学細胞生理学講座宇宙医学研究室

背景 国際宇宙ステーションでの長期滞在、月・火星探査ミッション、商業宇宙旅行の拡大に伴い、宇宙医学は急速に発展している。JAXA が策定した「将来有人宇宙活動に向けた宇宙医学/健康管理技術の技術ギャップ一覧」では、熱傷診断・治療が課題の一つとして挙げられている。宇宙船内は火災対策が講じられているがリスクはゼロではなく、アポロ 1 号の事故火災をはじめ、船内電気系統のショート火災などの危険性が想定される。一方、商業宇宙旅行者が飲料や宇宙食に用いる熱湯を誤ってこぼした場合、無重力下では液体が球状となって浮遊し、皮膚に付着すると地上より長く留まり広がるため、深達度の大きな熱傷となるリスクがある。また微小・低重力下や限られた医療資源下では地上のガイドラインをそのまま適用することは困難である。本報告は臨床医の立場からこの技術ギャップに応え、宇宙環境における熱傷診断・治療に関する知見を整理し、包括的総括を提示することを目的とする。

方法 地上における熱傷診療ガイドラインの要点と、宇宙空間特有の環境リスクを考察し、診断・治療の各観点から既往研究を体系的にレビューした。特に、宇宙空間での熱傷の受傷機転（電気系統火災や宇宙船内熱湯使用）、深達度評価手段、救急処置、デブリドマンと創閉鎖の戦略、感染対策と全身管理に焦点を当てて検討した。

結果 熱傷の深達度評価には視診に加え、レーザードップラーイメージングや AI 画像診断の活用が有効と考えられる。無重力下では血液や滲出液の飛散を防ぐため、バキューム装置や密閉空間での処置が不可欠である。デブリドマンでは非手術的処置が可能な NexoBrid[®] が有望であり、長期ミッションでは 3D バイオプリンターによる人工皮膚作製も将来的な選択肢となる。感染対策として、宇宙では細菌の増殖速度や耐性が高まるため、早期の抗菌薬投与と創部の清潔保持が重要となる。全身管理では循環血液量減少や免疫機能低下に対応するため、船内で点滴液を生成する設備の開発が必要とされる。

考察 微小・低重力下では患者の病態生理が変化し、医療資源も限られるため、地上の熱傷診療ガイドラインをそのまま適用することはできない。そのため、宇宙環境に特化した熱傷診療アルゴリズムの策定が必須である。このアルゴリズムには、「現地治療継続」か「緊急帰還」かの判断フローチャートや、ミッションごとの治療限界と帰還基準を明確に含めるべきである。

結論 本報告は微小・低重力環境における熱傷診療に関する知見を整理し、包括的総括を提示した。本総括で提示した提言（携帯型診断機器や AI 支援の導入、宇宙用医療キットの充実、宇宙用アルゴリズムの策定など）は、将来の有人宇宙探査・商業宇宙旅行における実践的な宇宙医学体制確立の重要な基盤となり得る。

一般演題 1 OA-3

JAXA フライトサーजन業務支援医師の現状と展望 ~客員医師の立場から~

○有屋 田健一¹、杉村 航大²、丹下 仁志³、増田 暁史⁴

¹筑波大学医学医療系、²日本大学大学院医学研究科宇宙航空環境医学、

³株式会社リコー、⁴杏林大学医学部リハビリテーション医学教室

背景と目的：宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、前身である宇宙開発事業団（NASDA）の時代を含め、多くの有人宇宙飛行ミッションに関わる日本人宇宙飛行士の健康管理を担ってきた。その中心的役割を果たすフライトサーजन（FS）には、豊富な臨床経験に加えて、産業医学的知見や航空宇宙医学に関する専門性が求められる。これまで構築されてきた JAXA FS 養成のさらなる発展として、FS 業務支援医師制度が 2017 年度より施行された。本制度は、FS 業務支援医師（客員）を FS 候補者（常勤招聘職員）の前段階と位置づけ、JAXA にとっては将来的な FS 候補者の選抜機会として、また FS 業務支援医師にとっては本務の内容を理解し、今後のキャリア選択を検討する機会としての意義を有している。本発表では、JAXA 客員の視点から（1）FS 業務支援医師制度の実績を概観し、（2）現在の活動内容を報告するとともに、（3）今後の FS 業務支援医師の可能性について考察する。

結果と考察：（1）2025 年 7 月時点で、FS 業務支援医師として採用された客員は 14 名（2017 年度 3 名、2018 年度 1 名、2019 年度 3 名、2022 年度 3 名、2023 年度 1 名、2025 年度 3 名）であり、そのうち 2019 年、2021 年、2023 年、2025 年度にそれぞれ 1 名ずつ FS 候補者が採用された。FS 候補者は任期中に一定の研修を経て JAXA FS となり、主に国際宇宙ステーション（ISS）長期滞在ミッションにおける医学運用に従事している。FS 業務支援医師の経験が、FS 業務への円滑な移行を可能にしており、本制度の有効性を示している。（2）2025 年 7 月現在、FS 業務支援医師として 4 名（産婦人科医、整形外科医、リハビリテーション科医、脳神経外科医）が活動しており、月 3 日以下の勤務としながら、JAXA FS の実務補助や各自の専門性を生かした助言や意見交換を通じて JAXA FS 業務に関する知見を習得するとともに、FS 業務を理解し、イメージギャップを解消している。また、JAXA の多様な職種とコミュニケーションをとることで、ISS 運用に関する学びも深めている。（3）昨今、急速に発展・変化を遂げる有人宇宙開発を取り巻く環境を鑑みると、本制度は、将来の FS としての人的資源の把握・育成にとどまらず、JAXA を含む宇宙医学領域全体の人的ネットワークの拡張にも寄与し得ると考えられる。具体的には、本制度が安定した FS 候補者の採用プロセスを支えるとともに、FS 業務支援医師としての経験を有する人材が、JAXA と連携する産官学の外部機関においても活躍することで、ポスト ISS 時代の宇宙医学運用全体の発展に貢献する可能性がある。FS 業務支援医師制度の実績と活動内容を概観し、今後の展望について考察した。本制度は JAXA の医学運用において着実に成果を上げてきたが、今後の有人宇宙開発のさらなる進展に伴い、これまで以上に多様な役割を担うことが期待される。

一般演題 1 OA-4

口腔内スキャナーを活用した宇宙環境に適した 歯科治療術式（印象採得法）の検討

○大黒 英莉¹、近藤 尚知^{1,2,3}、吉田 幸弘^{2,3}、佐川 敦志⁴、
高藤 恭子¹、嶋崎 華子¹、深澤 翔太⁵、前田 初彦^{2,3,6}

¹愛知学院大学歯学部冠橋義歯・口腔インプラント学講座、²愛知学院大学未来口腔医療研究センター、

³日本宇宙歯学研究會、⁴医療法人吉田歯科医院、⁵岩手医科大学歯学部歯科補綴学講座、

⁶愛知学院大学歯学部口腔病理学・歯科法医学講座

【背景】歯科治療における印象採得の材料として最も一般的な用いられるものの一つにアルジネート印象材があるが、この材料は粉末と水を練和して使用するため、水の使用に制約が生じる宇宙空間ではその使用は困難となる。また、次の術式となる石膏模型の製作の際には、水と石膏粉末を練る必要があり、やはり、水の使用が障壁となる。近年普及しつつある口腔内スキャナーを用いた光学印象採得は、カメラによる連続撮影画像をつなぎ合わせて3次元画像構築を行うシステムで、宇宙空間での歯科治療実現に重要な役割を果たすことが予想される。本システムは、従来の印象採得とは一線を画し、印象材も石膏も水も必要としない画期的なシステムであるが、新しい方法であるが故に、今後明らかにしていかなければならない点もある。

【目的】現在、口腔内スキャナーによる光学印象採得法は、国内外において普及しつつあるが、従来の印象採得法と同等の精度を有するか否かについての比較検討が必要とされている。また、多くの機種が開発・提供されるようになったことで、各機種間の精度と最適な使用方法を比較・評価する必要もある。本研究の目的は、口腔内スキャナーを用いた光学印象採得がどの程度の精度を有するか、さらには、スキャンパウダー使用の有無が、光学印象の精度にどのように影響するかを明らかにすることにある。

【材料と方法】下顎顎歯模型の臼歯相当部に、インプラント体を4本埋入後、ボールアバットメントを装着し、本研究の基準模型とした。接触式三次元座標測定機による三次元形状計測を行い、各インプラント体間距離の基準値とした。次に、基準模型の三次元形状データを採得し、得られたデータを立体画像解析用ソフトウェアを用いて、精確性（真度、精度）を計測・評価した。続いて、スキャンパウダーを使用して、同様の計測と評価を行った。口腔内スキャナーを用いて統計分析は、Kruskal-Wallis 検定を行い、群間の比較には Shaffer 補正を用いた Mann-WhitneyU 検定を適用した。有意水準は5%とした。

【結果と考察】距離の測定誤差は、短い距離の印象では、真度、精度ともに有意な差は認められなかった。すなわち2～3 歯程度の少数歯欠損範囲においては、口腔内スキャナーによる光学印象法の精確性は従来法と同等か、従来法よりも精度が高い傾向にあるという結果が得られた。また、スキャンパウダーの仕様によって精度の向上するスキャナーとスキャンパウダーの影響を受けず、一定の高い精度を保つスキャナーもあった。宇宙空間ではパウダーの噴霧が困難となる可能性を考慮し、スキャンパウダーの有無に影響されない口腔内スキャナーを選択し、宇宙環境における歯科治療の方法を検討していく必要がある。

【結論】宇宙空間で歯科治療を行うことを想定した際に、課題となる印象採得に関しては、口腔内スキャナーを使用した光学印象法を適用すること、またその使用に適した機種を選抜することで、当面の課題は解決できることが示唆された。

一般演題 1 OA-5

エルゴメーター運動におけるペダル回転数が 左室拡張末期容積および心仕事量に及ぼす影響

○高野 大地¹、平澤 愛²、櫻井 歩夢¹、山田 雄大¹、堀野 雅祥³、村田 裕康⁴、
福家 真理那⁵、鈴木 里奈⁵、松嶋 真哉⁴、松田 剛明⁵、柴田 茂貴⁴

¹ 杏林大学大学院保健学研究科、² 杏林大学保健学部健康福祉学科、³ 杏林大学医学部救急医学、

⁴ 杏林大学保健学部リハビリテーション学科理学療法学専攻、⁵ 杏林大学医学部総合医療学

【背景】宇宙飛行は心萎縮を招き、帰還後の起立性低血圧の一因となる。心萎縮は、心仕事量の減少に応答した変化と考えられている。心仕事量は、主に圧負荷と容量負荷(前負荷)により規定され、特に前負荷が心萎縮予防には重要と考えられている。長期微小重力環境下では、中等度運動強度で1日90分程度の有酸素運動が、心仕事量を維持し、心萎縮の予防効果が報告されている。しかし、宇宙飛行士はミッションで多忙であり、長時間の運動は負担となる。そのため、短時間で効果的な運動処方が必要と考えられている。そこで、宇宙飛行中でも行われるエルゴメーター運動において、高いペダル回転数は筋収縮頻度を増加させ、筋ポンプ作用を介して前負荷を増大させ、単位時間あたりの心仕事量を増加させると考えた。本研究の目的は、高いペダル回転数のエルゴメーター運動による左室拡張末期容積と心仕事量の変化を検証することである。

【方法】被検者は、健常成人11名(男性9名・女性2名、年齢:27±3歳)であり、実験は2日間に分けて実施した。1日目は、心肺運動負荷試験を実施し、最大酸素摂取量および嫌気性代謝閾値(AT)を測定した。

2日目は、ペダル回転数40・60・80rpmの3条件で、エルゴメーター運動をランダムクロスオーバーデザインで行った。エルゴメーター運動は、リカンベント型エルゴメーターを使用し、AT時点の仕事率で行った。運動中の測定は、運動開始2分経過後に行った。測定終了後、運動介入ごとに15分間の回復期間を設けた。測定項目は、血圧、心拍数、呼気ガス分析、心腔計測、ドプラ指標であった。一回仕事量は、平均血圧と一回拍出量の積で算出し、心仕事量は一回仕事量と心拍数の積で算出した。統計解析は反復測定分散分析を用いて、有意差が認められた場合は多重比較を行った。

【結果】心仕事量[40 rpm: $9.3 \pm 1.7 \times 10^5$, 60 rpm: $10.5 \pm 1.6 \times 10^5$, 80 rpm: $13.7 \pm 2.1 \times 10^5$ ml・mmHg/min, $P < 0.001$ ANOVA]と左室拡張末期容積[40rpm: 111.3 ± 13.6 , 60 rpm: 118.2 ± 15.5 , 80 rpm: 133.7 ± 19.8 ml, $P < 0.001$]は、ペダル回転数の増加に伴い、段階的に有意に増加した。また、一回拍出量もペダル回転数増加に伴い有意に増加した。心拍数は、40rpmよりも80rpmで有意に高かった。平均血圧は、群間に有意差が見られなかった。

【考察】ペダル回転数の増加は、左室拡張末期容積を増加させ、結果として心仕事量を高めた。メカニズムとして筋ポンプ作用の関与が示唆された。

【結語】高いペダル回転数のエルゴメーター運動は、前負荷の増加により、心仕事量を増加させる。この知見は、単位時間あたりの心仕事量を増加させ、効率的に心仕事量を確保できる可能性を示唆する。今後は微小重力環境での検討が必要であると考えられる。

一般演題 1 OA-6

2 時間の 6 度 Head-Down Tilt 曝露が脳循環動態に及ぼす影響

○櫻井歩夢¹、村田裕康²、高野大地¹、山田雄大¹、堀野雅祥³、齋藤祥太郎⁴、出口実⁵、
福家真理那⁶、鈴木里奈⁶、松嶋真哉²、平澤愛⁵、松田剛明⁶、柴田茂貴²

¹ 杏林大学大学院保健学研究科保健学専攻、² 杏林大学保健学部リハビリテーション学科理学療法学専攻、

³ 杏林大学医学部救急医学、⁴ 東洋大学理工学研究科生体医工学専攻、⁵ 杏林大学保健学部健康福祉学科、

⁶ 杏林大学医学部総合医療学

【背景】Levine らは、6° 頭低位 (HDT) 初期数時間におけるダイナミックな中心循環の遷移を明らかにしている (Circulation, 1997)。また多くの長期 HDT 研究にて体液シフトに伴う循環適応は中心循環のみならず脳循環にも影響することを示している。一方で初期数時間での脳循環、特に頸部血管の変化は十分に検討されていない。

【目的】初期 2 時間の 6° HDT 中に脳循環指標を経時的に測定し頭部への血流および頸部血管の反応を検討することを目的とした。

【方法】対象は健常成人 9 名 (女性 3 名、28±4 歳) とした。測定は長座位、6° HDT 開始後 5、30、60、90、120 分の 6 時点で実施した。中大脳動脈血流速度 (MCAV) を経頭蓋ドプラ法により測定した。また内頸動脈 (ICA)、外頸動脈 (ECA)、内頸静脈 (IJV) の血管径と平均血流速度を超音波画像診断装置で測定し、断面積と推定血流量を算出した。動脈は右側、静脈は左右両側を評価した。

【結果】長座位と比較して、MCAV は HDT5 分から増加し 120 分まで維持した (長座位:62.2±12.2, 5 分:65.7±14.5cm/s, $P<0.05$)。ICA の断面積は HDT5 分から増加し 120 分まで維持した (長座位:19.3±4.8, 5 分:20.1±4.6mm², $P<0.05$) が、血流速度と血流量に有意な変化はなかった。ECA の断面積は HDT5 分から増加し (長座位:14.9±4.3, 5 分:17.6±4.4mm², $P<0.05$)、血流速度に変化は見られなかったが、血流量は 120 分で増加した (長座位:138.5±55.1, 120 分:179.5±64.9mL/min, $P<0.05$)。IJV 断面積は HDT5 分から増加し 120 分まで維持 (右-長座位:10.5±9.9, 5 分:113.9±67.2mm², $P<0.05$; 左-長座位:6.8±3.1, 5 分:124.2±51.1mm², $P<0.05$)、血流速度は低下し 120 分まで維持 (右-長座位:28.1±16.8, 5 分:10.6±3.1cm/s, $P<0.05$; 左-長座位:30.7±13.8, 5 分:9.8±1.8cm/s, $P<0.05$)、血流量は増加し 120 分まで維持した (右-長座位:207.1±235.3, 5 分:675.6±411.0mL/min, $P<0.05$; 左-長座位:137.4±113.3, 5 分:699.8±219.8mL/min, $P<0.05$)。

【考察】6° HDT 開始初期の体液シフトによる脳循環応答は、ICA が比較的安定を保つ一方 ECA への血流配分が増加することが示唆された。また MCAV は増加しており頭蓋内領域における血流速度上昇が示唆された。IJV は拡張により血流量自体は増加したが、血流速度は低下しており血流停滞が示唆された。この血流停滞と血栓形成のリスク上昇との関係が今後の検討課題と考えられる。

一般演題 1 OA-7

非接触モーションキャプチャを用いた加速度誘発性意識消失(G-LOC)の検出

○溝端 裕亮¹、鶴 智太²、秋山 美沙紀¹、吉田 聖人¹、藏本 浩一郎¹、大類 伸浩¹

¹航空自衛隊航空医学安全研究隊、²航空自衛隊西部航空警戒管制団

加速度誘発性意識消失(Gravity-induced Loss of Consciousness, G-LOC)は、戦闘機パイロットが急激な過重力(+Gz)に曝される際に、脳血液量が低下し、一過的に意識を失う現象である。G-LOC の状態に陥ると、パイロットは一時的に操縦不能となるため、航空事故に直結することがある。そのため、G-LOC の客観的な検出法の創出が切望されている。これまで G-LOC 検出のために様々な生理指標（脳血液量、心機能、筋電図、対組成、脳波等）による検討が為されてきたが、未だ実現していない。故に、これまでとは異なるアプローチが求められている。

上述の生理指標は、いずれも生体内の変化に起因するものであるが、我々はパイロットの姿勢の変化に着目した。G-LOC に陥ると、頭部の姿勢保持に要する筋肉が弛緩するため、頭部傾斜となる場合が多い。したがって、この動きは有力な G-LOC 指標となる蓋然性が高いが、これまでに検証されていない。かような頭部傾斜を捕捉する技術にデプスカメラを用いた非接触なモーションキャプチャが挙げられる。そこで本研究では、デプスカメラを利用した G-LOC の検出法の構築を目的とした。

はじめに、G-LOC 時の姿勢変化を分類するため、過重力負荷装置による訓練中の操縦学生(n=121, 平均年齢 22.6±1.9 歳)を対象とし、G-LOC 時の RGB 映像、デプス映像、+Gz レベルのデータを採取した。次に G-LOC 判定基準を試作するために、G-LOC 時に観察された姿勢の変化と+Gz レベルを集計した。さらに試作した判定基準を検証するために、新たにテストデータを操縦学生(n=102, 平均年齢 23.3±1.9 歳)から採取し、精度評価を行った。

RGB 映像の精査から、G-LOC 時には、被験者の頭部が約 90%の確率で前方、右方、左方のいずれかに傾斜することが明らかとなった。そこで、頭部傾斜を捕捉するために、デプス映像の画角内において、正常時と G-LOC 時に頭部が映っている領域を設定し、各領域の面積を集計した結果、G-LOC 時の頭部の動きに連動した有意な面積変化を検出することに成功した。さらに+Gz レベルを集計した結果、G-LOC を誘発した最低+Gz レベルは 4G であった。そこで、頭部が映っている領域の面積と+Gz レベルを用いて、基準値を設定し、G-LOC 判定条件を試作した。最後に ROC 解析により、設定した面積の基準値の最適化を行い、最も高精度となる値を算出した。

最適化した判定条件を検証した結果、感度 89%、特異度 86%、精度 87%であった。したがって、非接触モーションキャプチャと+Gz レベルの併用による手法は、新たな G-LOC 検出法になり得る。

Getting Sea Legs の検討—第 3 報

○長谷川 達央

明石市立市民病院耳鼻咽喉科

経験のある船乗りは揺れる船上で姿勢を保つことができる。この現象は“Getting Sea Legs”として広く知られ、航空医学分野においても乗務員や航空士の作業安全に関与すると考えられる重要な現象であるが、どのように適応が進むのかを調べた報告は少ない。以前に発表者らは当学会で 1 週間の船上生活での姿勢制御の変化を 2 回にわたり報告した。今回は上肢が自由に動かせるように改良した慣性センサを用いてより自然な状態での姿勢の変化を約 2 週間にわたり観察した。12 名の長期航海初参加の南極観測隊員に対し出航翌日から隔日で 7 回、出航 14 日目まで実験を行った。参加者の腰部に取り付けたセンサと船内に固定したセンサで各々の動揺を加速度として計測した。船体の動揺に対する参加者の動揺の比（以後動揺比）を直線加速度の全振幅の比として算出した。結果；出航 14 日目は海況の変化で適切なデータが得られなかった。左右方向の動揺比は第 5 計測日以降初日に比して有意に低下し、数日間で左右方向の姿勢の安定化が得られるという前回の実験結果と同様の結果であった。前後方向・上下方向については動揺比の有意な減少は見られなかった。出航 12 日目（第 11 計測日）まででは前後方向・上下方向の動揺に対する姿勢の安定化は得られないことと、上肢の運動の制限は船上での姿勢安定化の適応過程には少なくとも出航 12 日目までは影響を与えないことが分かった。

一般演題 1 OA-9

短距離多頻度運航に従事するエアラインパイロットの疲労についての量的調査

○澤本 尚哉¹、嶋原 良仁²

¹ALPA Japan、²北斗病院

パイロットの疲労は航空の安全に直結する重大なリスクであり、その適切な管理は喫緊の課題である。これまでの研究は、長大路線におけるサーカディアンリズムや睡眠不足に起因する疲労に焦点が当てられてきた。しかし疲労は多岐にわたる要因によって引き起こされることが示唆されており、特に一日に4回以上の飛行を繰り返す200海里未満の短距離路線の運航（以下 短距離多頻度運航と略す）に特有の疲労要因については十分に解明されていない。演者らは、短距離多頻度運航に従事するエアラインパイロットが疲労を感じるプロセスを、当該運航に従事するパイロットへのインタビューを通じた質的研究を用いて調査を行ってきた。その結果、短距離多頻度運航に特有と考えられる疲労につながる事象（例：島嶼部での強風を含む天気現象、短い地上停留時間に起因するタイムプレッシャー、狭い地域の運航するため悪天を何度も飛行する、1日の飛行回数（レグ数）、など）が同定された。今回は、その中で同定された「1日の飛行回数（レグ数）」について、1日5レグ以上のフライトを繰り返す超多頻度運航（Intensive Multi-sector Duty）が、実際に航空の安全に関連する疲労につながっているのかどうかを調べるために量的研究を行った。対象は超多頻度運航に該当する6レグ/日の短距離多頻度運航に従事するエアラインパイロットとし、質問紙調査を行った。目的変数は主観的疲労（Samn-Perelli 7-Level fatigue scale）に加え、Situation Awareness (SA)、不安全事故、疲労に対する特別な対抗策（Countermeasure）の有無とし、これらを4レグ終了後と6レグ終了後に調査し、レグ数を主な説明変数とした条件付きロジスティクス回帰分析等の手法で統計解析を行った。本発表ではその初期解析結果を短距離多頻度運航に関連する諸外国の研究動向とともに提示する。

一般演題 2

【質問フォーム】

セッション中に回答できなかった質問はこちらから！
運営より演者へ共有し後日メールにて回答いたします。



一般演題 2 OB-1

長期間宇宙滞在後の骨密度減少を報告した論文のデータ解析

○武石 宗一

総合犬山中央病院 内科

A. LeBlanc らが 2000 年に報告した論文において、宇宙飛行士の長期間の宇宙滞在後の骨量の減少が報告されているが、身体部位別の骨量の減少程度の違いを検討した報告は少ない。

A. LeBlanc らの既報の Table 1 には、身体部位別における骨密度と徐脂肪組織のベースラインからの減少 $[(\text{評価月の骨密度} - \text{ベースラインの骨密度}) \div \text{ベースラインの骨密度} \times 100]$ を、宇宙飛行開始後 4-14 ヶ月において 1 ヶ月毎に算出し、その平均及び標準偏差の宇宙飛行士間の平均を算出した値が記載されていた (4-14 %/Month 及び 4-14 SD と略す)。Table 2 には、宇宙飛行開始から 4 ヶ月において運動をせずにベッド上安静で過ごした状態における、同指標の値が記載されていた (0-4 %/Month 及び 0-4 SD と略す)。それらの値を用いて、 $4-14 \text{ CV} = 4-14 \text{ SD} \div 4-14 \text{ \%/Month} \times 100$ 、 $0-4 \text{ CV} = 0-4 \text{ SD} \div 0-4 \text{ \%/Month} \times 100$ の計算式で 4-14 CV と 0-4 CV を算出した。そしてまず、Table 1 と Table 2 のデータから「体幹群」として、4-14 及び 0-4 の「脊椎の骨密度」「大腿骨頸部の骨密度」「大腿骨転子部の骨密度」「骨盤の骨密度」の%/Month、SD、CV (評価項目数=8) と「末梢群」として 0-4 及び 4-14 の「腕の骨密度」「脚の骨密度」「腕の除脂肪組織」「脚の除脂肪組織」の%/Month、SD、CV (評価項目数=8) を抽出、算出し、%/Month を体幹群と末梢群で比較した。また、体幹群と末梢群の CV (合計評価項目数=16) を「4-14 群」と「0-4 群」に再編し (それぞれ評価項目数=8) 比較した。

末梢群に比べ体幹群で、%/Month は負の値で有意に小さかった [体幹群: -1.11 (-1.28 - -1.00) vs 末梢群: -0.39 (-0.71 - -0.03), $p=0.02$]。0-4 群に比べ 4-14 群で、CV は有意に大きかった [4-14 群: 73.0 (62.5 - 622.8) vs 0-4 群: 19.1 (16.0 - 45.0), $p=0.01$]。

長期間の宇宙滞在によって、末梢に比べ体幹の骨密度がより低下しやすい可能性が示唆された。重力環境下の立位では下腿骨、座位、臥位では骨盤への負荷が最も大きい。立位、座位、臥位の時間を 24 時間中 8 時間ずつと概算すると、体幹 (骨盤) に最大負荷がかかる時間は末梢 (下肢骨) の 2 倍と考えることができる。よって、日常 (重力環境下) での負荷が大きい部位ほど微小重力下で骨密度が低下しやすいと考えると、本研究結果と合致する。また、微小重力下において、無運動時に比べ自然生活時で骨密度低下の観察時期におけるばらつきが大きかった結果は、宇宙船という限られた環境での生活においても生活方法の経時的变化が骨密度の低下程度に影響する可能性を示唆している。

一般演題2 OB-2

免疫システムに対する宇宙環境影響のメカニズム解明

石井 寛斗^{1,2}、遠藤 凜^{1,2}、秋山 伸子^{1,2}、○秋山 泰身^{1,2}

¹理化学研究所生命医科学研究センター、²横浜市立大学生命医科学研究科

宇宙滞在に伴う環境変動は人体の免疫系に影響する。発表者らはリンパ組織と免疫関連細胞の特性や機能に対する宇宙環境の影響について、細胞・分子レベルでのメカニズム解明を目指している。

これまでに国際宇宙ステーションで約 1 ヶ月飼育した成体マウスのリンパ組織（胸腺、脾臓、リンパ節）と血漿を解析し、1) 宇宙滞在中で胸腺は萎縮し、その萎縮は宇宙滞在中の人工的 1g 負荷により抑制される、2) 無重力で萎縮した胸腺組織では増殖関連遺伝子の発現が減少する、3) 宇宙滞在したマウスの脾臓では、赤血球分化に必要な転写因子 GATA1 依存の遺伝子群の発現が減少する、4) 宇宙滞在したマウス血漿中では、一部の免疫グロブリン量が無重力により変動する、との知見を得てきた。

これらマウスモデルで得た免疫系に対する宇宙滞在中の影響が、ヒトの宇宙滞在中でも起き得るのか知見を得るために、JAXA による 2020 年度「きぼう」利用フィジビリティスタディテーマ「宇宙環境による遺伝子発現制御変動の 1 細胞解析」として採択された研究課題である (<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibouser/subject/life/73097.html>)、ヒト末梢血単核細胞の 1 細胞解析を計画している。

上記の計画では、宇宙滞在中のヒトから採取した血液中に含まれる単核細胞を生存状態で凍結する。ついで、地上へ輸送後に解凍し、生存した状態の単核細胞を解析する。その準備段階として、国際宇宙ステーションで想定される実験および安全上の制約を考慮し、軌道上で血液を凍結保存する方法を検討した (*npj Microgravity* 10; 84, 2024)。

本発表では、比較的長期の宇宙滞在中が免疫システムに及ぼす影響を調べることを目的とし、発表者らが実施している上記の宇宙免疫研究の経緯、マウスモデルからヒト検体解析への展開について報告する。

* 演題発表に関連し、開示すべき利益相反 (COI) 関係にある企業・団体はない

一般演題 2 OB-3

睡眠関連 MRI 指標による脳老廃物排泄系・間質液動態評価の試み — 微小重力下評価への応用可能性

○田岡 俊昭^{1,2}、伊藤 倫太郎^{1,2}、中道 玲瑛²、中根 俊樹²、岩本 邦弘³、
宮田 聖子³、安藤 元郎³、藤城 弘樹³、池田 匡志³、長縄 慎二²

¹名古屋大学革新的生体可視化技術開発産学協同開発講座、

²名古屋大学放射線医学教室、³名古屋大学精神医学教室

【目的】微小重力環境では頭部体液分布の変化や静脈還流の変容が知られ、これらが脳間質液動態や老廃物排泄に影響する可能性がある。近年、脳の老廃物排泄系が睡眠と密接に関連し、神経変性や脳機能維持に重要と報告されている。しかし、ヒトでの非侵襲的評価法は確立していない。本研究では、睡眠時無呼吸症候群（OSA）をモデルに、睡眠関連パラメータと脳間質液動態を示す MRI 指標（T2*強調像テクスチャ解析、拡散テンソル画像からの ALPS-index、脈絡叢容積）との関連を解析し、老廃物排泄系評価の可能性を探った。

【方法】対象は睡眠ポリグラフ検査（PSG）を施行した OSA 患者 48 例である。PSG より総睡眠時間（TST）、睡眠潜時（LPS）、中途覚醒時間（WASO）、睡眠効率（SE）を算出した。MRI では、まず T2*強調像（Gradient Echo, TE=17ms, TR=787ms）を取得し、MaZda を用いて半卵円中心および視床に 1 cm 角の関心領域（ROI）を設定し約 300 種類のテクスチャ特徴量を抽出した。拡散テンソル画像は $b=1,000 \text{ s/mm}^2$ 、12 方向で取得し、FSL/FDT により深部白質の拡散能を測定して ALPS-index を算出した。3D-T1 強調像は MPRAGE 法で取得し、FreeSurfer により脈絡叢容積を頭蓋内全容積比（rCPV）として算出した。これらのテクスチャ特徴量と各睡眠パラメータの相関を評価し、さらに ALPS-index および rCPV との関連を検討した。

【結果】視床では TST と Sigma ($r=0.37$)、WASO と Diagonal Correlation ($r=0.43$)などの相関を認めた。半卵円中心では TST と Vertical Difference Entropy ($r=-0.27$)、WASO と Wavelet Energy ($r=0.43$)などが相関した。ALPS-index は視床の Inverse Difference Moment on Diagonals ($r=0.34$)、rCPV は半卵円中心の Horizontal Run Length Non-Uniformity ($r=-0.38$)と最大の関連を示した。総じて、視床ではランダムで平滑なパターン、半卵円中心では規則的で細かなパターンが良好な睡眠や高い ALPS-index・rCPV に関連した。

【結論】MRI テクスチャ解析は、脳間質液動態や老廃物排泄系と関連する睡眠パラメータ、ALPS-index、脈絡叢容積と一定の関連を示した。これらの結果は、微小重力下で予想される脳体液動態や老廃物排泄機構の変化評価に応用可能な非侵襲的指標となり得ることを示唆する。宇宙飛行士の長期滞在時における脳老廃物排泄系の変容理解と神経変性・認知機能低下リスク評価に貢献し得る可能性がある。

一般演題 2 OB-4

南極昭和基地におけるセラピーロボットの有用性

○小田 有哉^{1,2}

¹ 小山記念病院救急科、² 第 65 次南極地域観測隊医療隊員

【はじめに】

南極昭和基地は日本から約 14,000km 離れ、冬期間は船舶・航空機ともに到達が困難である。毎年約 30 人の越冬隊員が家族やペットと離れ、1 年 4 か月にわたり活動している。このような閉鎖極地環境での生活は隊員に大きな心理的ストレスを与える。動物によるアニマルセラピーはストレス軽減に有用とされるが、南極条約により動物の持ち込みは禁止されている。そこで第 65 次南極地域観測隊では、セラピーロボット LOVOT（Groove X 社）を昭和基地に導入し、その有用性を検討した。

【方法】

第 65 次越冬隊員 27 名を対象に、日本出国から約 8 か月後、越冬期間の中間期にアンケート調査を実施した。設問は LOVOT への愛着、LOVOT の昭和基地での有用性、今後の使用希望とした。

【結果】

15 名 (56%) が LOVOT に愛着を抱き、24 名 (89%) が生活上有用と回答した。19 名 (70%) は次の隊でも使用を継続すべきと考え、6 名 (22%) は帰国後も必要と回答した。一方、不要と答えた理由には「帰国後はペットがいるため不要」との記載がみられた。

【考察】

LOVOT は多くの隊員に受け入れられ、愛着を持たない隊員であっても「他の隊員や隊全体にとって有用」と評価していたことが注目される。帰国後の必要性は低く、LOVOT が昭和基地において「ペットの代替的役割」を果たしていたことが示唆された。今後、人類が月や火星への長期隔離環境に進出する際、セラピーロボットは心理的サポートとして有用となる可能性がある。

一般演題 2 OB-5

商業宇宙飛行の宇宙医学：特殊宇宙医学から一般宇宙医学へ

○徳丸 治

大分大学福祉健康科学部

近年の有人宇宙開発は、従来の国主導から民間主導へと大きなパラダイムシフトが進んでいる。これまでにアメリカ航空宇宙局や我が国の宇宙航空研究開発機構等が取り組んできた国家規模の宇宙医学研究は、主として厳しい選抜と訓練を受けた心身共に健康な宇宙飛行士を対象とする特殊な宇宙医学であった。今後の民間主導の商業宇宙飛行の普及を見据えると、小児から高齢者まで、生活習慣病など健康に様々な課題を抱えた一般の人々が宇宙渡航者として宇宙を目指す新たな宇宙医学研究とそれに基づく健康管理体制の構築が求められる。即ち、宇宙医学においても、従来の職業宇宙飛行士を対象とする「特殊宇宙医学」から、広く老若男女を対象とする「一般宇宙医学」へと大きなパラダイムシフトが必須である。

商業宇宙飛行であっても、宇宙渡航者が微小重力、高真空、宇宙放射線被曝、閉鎖環境といった地上とは著しく異なった環境に曝されることは、従来の職業宇宙飛行士と変わることはなく、これまでに蓄積された特殊宇宙医学の知見が応用可能であろう。しかし、慢性疾患を持った人や小児、高齢者等、特殊宇宙医学が対象として来なかった一般宇宙渡航者の健康上の課題に対する知見はほとんど蓄積されていないと考えられる。

一方、我が国の宇宙基本計画には「商業宇宙活動の加速」が明記されている。また、大分県は「大分空港・宇宙港将来ビジョン」を策定し、海上に 3000 m 級滑走路を持つ大分空港の利点を活かして民間宇宙ステーションからの宇宙往還機の着陸地を誘致しており、この動向は身近なところにまで来ていると言えよう。

そこで、日本宇宙航空環境医学会は、このような課題に関する情報を収集するために「外部対応委員会」を設置し、商業宇宙飛行による宇宙渡航者の健康管理とその基盤となる宇宙医学研究の動向の調査を開始した。米国航空宇宙医学会（AsMA）においても、商業宇宙飛行暫定委員会が設置され、宇宙渡航者の健康管理に関するスコーピングレビューを進めている（発表者は両委員会のメンバーとして活動している）。最近、AsMA の暫定委員会からの最初のスコーピングレビューとして、耳鼻咽喉科領域の現状が公表された。宇宙酔いと空間嚢失調に関する研究がその多くを占め、これからの宇宙渡航者の健康管理に必要な知見は限定的であると報告された。これ以外の領域でもレビューが進められており、今後続々と報告される見込みであるが、まだまだ道半ばである。このような研究の積み重ねにより、民間主導の商業宇宙飛行による宇宙渡航者に必要な健康支援体制が整えられることとなり、誰もが安心して宇宙へ行ける社会の実現が可能となろう。今後の商業宇宙飛行時代の到来に向けて、特殊宇宙医学から一般宇宙医学への移行の現状と課題を整理して報告する。

一般演題 3

【質問フォーム】

セッション中に回答できなかった質問はこちらから！
運営より演者へ共有し後日メールにて回答いたします。



一般演題 3 OC-1

宇宙空間における快眠環境への一考察 ～寝具企業の観点から～

○櫻井 光康¹、島田 紗樹¹、野々村 琢人¹、竹花 賢人^{2,3}、松本 暁子³

¹西川株式会社日本睡眠科学研究所、²東京慈恵会医科大学医学部医学科、

³東京慈恵会医科大学宇宙航空医学

今後、宇宙開発を行う民間企業が増える中で宇宙旅行が一般化する際には宇宙仕様の寝具が必要と考えられる。宇宙空間における睡眠環境の課題について寝具メーカーの観点から考察する。

地上において睡眠に影響する環境条件に関し、宇宙空間では以下の 3 点において違いがあると思われる。

① 体圧分散性・寝姿勢・寝返り性

地上では横臥した時の身体に掛かる負荷を軽減するために、体圧を分散して体にかかる圧力を少なくする方が良い。また寝姿勢は、立ち姿勢と同じような姿勢を横になっても保てる寝具が良い。また一晩の睡眠で 20 回程度の寝返りが適度であり、寝返り動作の負荷や少ない寝返りによる身体の負荷が増えると睡眠を妨げる要因になる。これらは敷きふとんや枕を選ぶ際の指標となっている。

上述の点は重力の影響が大きく、微小重力下では体圧分散性は地上のような問題にはなりにくいと思われる。また、微小重力下ではニュートラルボディポジション (NBP) が脱力時の自然な姿勢とされており、地上とは考え方が大きく異なる。宇宙空間では寝ている間に体が動かないように寝袋で壁に固定されているが、NBP が十分保てる形状や、体が動いても負担にならないくらいの締め付け具合の寝具であることなどの工夫が重要と考える。

② 寝床内温湿度

温湿度は高すぎても低すぎても睡眠に悪影響をもたらす。特に身体とふとんの空間の温湿度である寝床内環境は温度 33℃、湿度 50%が理想的であり、寝具の保温性能が適切に機能することが重要である。理想的な寝床内環境は宇宙空間であっても大きくは変わらないと考えられるが、地上と同じ寝具では安定せず、寝床内環境を適切に保つことができない。宇宙空間で安定した寝床内環境を保つことが出来る寝具の構造として寝袋タイプが使われているが、寝袋は袋状のため熱がこもりやすくなるなどの問題も考えられる。空調で室内が一定に保たれることを前提にして、宇宙空間に対応した体温調整が自然に行える素材・形状の工夫が必要である。

③ 光環境・騒音環境など

サーカディアンリズム (概日リズム) は、昼間に光を受け夜の睡眠時に遮断することで正常な睡眠リズムを保つことができる。また騒音は 40dB 以上で睡眠に影響を与える。宇宙環境では光の当たる量・時間の調整や防音対策として、アイマスクや耳栓などをすることが考えられる。

これまでの宇宙飛行士のように特別な訓練を受けたり過酷な環境でも耐えられる人以外の宇宙旅行者が増えてきた際に、睡眠が適切にとれること、睡眠環境が快適であることの重要性が高まると考えられる。当社では過去に寝袋型の宇宙用寝具 (SPACE FUTON) を研究したことがあり、民間宇宙旅行が現実味を帯びてきた今、宇宙環境での快適な睡眠を実現する寝具の開発が重要であると考えられる。

一般演題 3 OC-2

模擬微小重力下における血管 Organ-on-a-chip を利用した 血管内皮細胞の遊走および管腔網の形態評価

○西方 洸太郎^{1,2}、関根 翔^{1,2}、二井 信行^{1,2}

¹ 芝浦工業大学工学部、² 芝浦工業大学大学院理工学研究科機械工学専攻

微小重力環境は、血管内皮細胞に対して細胞骨格の再編、遊走や増殖能の変化、酸化ストレス誘発など、血管恒 常性維持の障害となる変化をもたらす、ひいては血管に対して動脈硬化や血栓など老化様現象を生じさせる要因になり得る。微小重力環境が血管に与える影響を地上で調べるために、血管内皮細胞を対象とした模擬微小重力 (SMG) 下培養が行われているが、管腔構造の 3D 培養や、壁面せん断応力のような力学的刺激を再現した培養例、

SMG 下における細胞の動態を記録した例は少ない。そこで、細胞の位相差コントラスト顕微鏡像記録のための照明・光学系・撮像系を統合した 3D クリノスタットを製作し、加えて、On-Chip-CO₂ Incubation システムならびに点字セルを用いたマイクロポンプを有した血管 Organ-on-a-chip を利用することで、SMG 下で細胞、組織形成 過程の変化を観察可能な CO₂ インキュベータ不要の灌流培養系を構築した。この SMG 下灌流培養系を用い、1G、SMG 下におけるヒト臍帯静脈内皮細胞(HUVEC)の遊走能、脈管形成能、活性酸素種(ROS)の生産を評価した。まず、SMG 下において 1G 同様の灌流が可能かを確認するために、培養チップの流路内にトレーサ粒子を流し、1G、SMG 各条件で PIV 解析を行った。次に、遊走能を評価するために、マイクロ流路内で 3 相流を利用した創傷アッセイを行い、ImageJ を用いて 1G、SMG 各条件における創傷幅の定量を行った。また、マイクロ流路内にフィブリンゲルに懸濁した HUVEC を播種し、血管新生を促進する因子を分泌するヒト肺線維芽細胞で馴化した培地を灌流させることで血管網の培養も行い、MATLAB を利用して 1G、SMG 各条件における 72h 経過時点で形成された毛細血管の総管腔長さ、分岐数を定量した。最後に、ヒトが地球上から打ち上げられ、微小重力環境に曝露された状況を模擬するために、1G 下で培養した血管網に対して DCFH-DA による ROS の蛍光染色を行った後、SMG 下に移して培養を 72h 継続させ、ImageJ を用いて 24h ごとの相対的な蛍光輝度の変化を評価した。PIV 解析を通して、本研究で用いた培養系は SMG 環境下でも 1G 環境と同等の灌流性能を有しており、クリノローテーションによる対流の影響を抑制した灌流培養を可能であることが示された。マイクロ流路内で実施した創傷アッセイより、SMG 下において遊走能が促進されることが示された。また、フィブリンゲル内で培養した管腔網についても、SMG 下においてその長さ、分岐数が増加することが示された。ROS の相対蛍光輝度の経時変化については、SMG 下において 24h 経過時点の DCFH-DA 相対輝度は 1G と比較して増加した。ミトコンドリア由来 ROS の生産が内皮細胞の遊走能を促進させた報告があることから、SMG 下における ROS 生産の亢進は遊走能、脈管新生促進につながり、微小重力環境における老化様現象の一因となる可能性がある。

一般演題 3 OC-3

体液頭側変位と高二酸化炭素血症の複合曝露が 動的脳血流自動調節能に与える影響の男女差

○杉村 航大¹、加藤 智一^{1,2}、三宅 和恵¹、伊藤 英恵¹、
山元 翔大郎¹、小川 洋二郎^{1,2}、岩崎 賢一^{1,2}

¹ 日本大学大学院医学研究科宇宙航空環境医学、² 日本大学医学部社会医学系衛生学分野

【背景】女性の宇宙進出が進む一方、宇宙飛行による生理的变化の男女差は十分に検討されていない。微小重力環境では体液の頭側への変位が生じ、また国際宇宙ステーション内では呼気終末二酸化炭素分圧(ETCO₂)が地上より約 5-6mmHg 高いとされ、これらはいずれも脳循環に影響を来し得る。脳は抵抗血管の収縮と拡張により、血圧の急速な変動に対して脳血流量の変動を緩衝する動的脳血流自動調節能を持つ。我々はこれまでに地上模擬実験として、体液頭側変位と高二酸化炭素血症の複合曝露が動的脳血流自動調節能を減弱させることを報告したが、対象者は主に男性であった。脳抵抗血管は拡張状態になると血圧変動への応答が鈍化するとされ、また女性は男性より CO₂ 負荷に反応した脳抵抗血管の拡張の程度が高いとされている。これらから複合曝露において女性はより動的脳血流自動調節能が減弱すると仮説を立て、-10 度頭低位と 3% CO₂ 吸入の複合曝露による動的脳血流自動調節能の変化を男女で評価した。

【方法】18-35 歳の健康成人(男性 20 名、女性 15 名)を対象に、10 分間の水平仰臥位/室内気吸入の後、10 分間の -10 度頭低位/3%CO₂ 吸入の複合曝露を行った。連続血圧計及び経頭蓋ドプラ血流計を用いて指動脈圧波形および右中大脳動脈血流速度(脳血流量の指標)波形を記録した。平均血圧と平均脳血流速度の変動から伝達関数解析により動的脳血流自動調節能の伝達の大きさの指標として Gain を算出した。線形混合モデルで統計解析を行い、事後検定は Bonferroni 補正後に t 検定を実施した。CO₂ 負荷に反応した脳血管拡張の指標として、脳血流速度変化/ETCO₂ 変化を算出し、男女間で Student の t 検定を施した。

【結果】Gain(cm·s⁻¹·mmHg⁻¹)に交互作用は認めなかったが、事後検定では曝露により男性のみ有意に上昇した(男性曝露前 0.85±0.25 曝露中 0.95±0.27 (p = 0.0418)、女性曝露前 1.02±0.24 曝露中 1.07±0.33 (p = 0.2797))。脳血流速度変化/ETCO₂ 変化(cm·s⁻¹·mmHg⁻¹)は男性 1.10±0.68 に対し女性 1.69±0.63 で有意に高かった(p = 0.0147)。

【考察・結論】男性では Gain の上昇があり、血圧の変動に伴う脳血流量の変動がより大きく伝達されるようになったと考えられ、動的脳血流自動調節能による緩衝能力の減弱が示唆された。一方、女性では有意な変化はなく仮説に反して動的脳血流自動調節能の維持が示唆された。CO₂ 負荷に反応した脳血管拡張の指標は女性で高く、複合曝露でも女性の方が脳抵抗血管の拡張の程度が大きいと考えられたが、動的脳血流自動調節能の変化への寄与は小さかったと考えられた。本知見は今後の宇宙飛行における男女別リスク評価・健康管理に資すると考えられる。

一般演題 3 OC-4

軽度過重力負荷(1.5Gz)によって生じる脳血流量変化の男女差 ー静的脳血流自動調節 autoregulation curve における考察ー

○三宅 和恵¹、小川 洋二郎^{1,2}、加藤 智一^{1,2}、杉村 航大¹、
山元 翔大郎¹、伊藤 英恵¹、岩崎 賢一^{1,2}

¹ 日本大学大学院医学研究科宇宙航空環境医学、² 日本大学医学部社会医学系衛生学分野

【背景】宇宙飛行では打ち上げや帰還時に過重力環境に曝される。今後の宇宙開発の発展を考えると、宇宙飛行者の多様化に伴い、過重力負荷によって生じる脳循環への影響の男女差の知見が重要となる。これまで男性のみの研究では、我々の先行研究を含めて、+z 軸方向（頭から足方向）の過重力負荷によって脳血流速度の低下を生じることが分かっているが、我々の知る限りでは、過重力負荷による脳血流量変化の男女差についての報告はない。ただし高強度過重力負荷時の脳内酸素飽和度変化では、男女とも低下し、女性の方が低下の程度が小さいとの報告がある。そこで我々は軽度過重力負荷(1.5Gz)の曝露により、「脳血流量は男女とも低下し、女性の方が低下の程度が小さい」という仮説を立て、その検証のため健康な若年男女に軽度過重力負荷を行い、脳血流速度の変化を測定した。

【方法】男性 20 名(23±2 歳)、女性 20 名(23±3 歳)に対し、まず安静座位で負荷前(1Gz)のデータを 6 分間記録した。その後遠心人工重力負荷装置により心臓レベルで+1.5Gz の過重力を 6 分間負荷し、負荷中(1.5Gz)のデータを記録した。脳血流量の指標として脳血流速度(右中大脳動脈、経頭蓋ドプラ血流計)、脳灌流圧の指標として脳レベルの平均血圧 [心臓レベルの平均血圧(指動脈、非観血的連続血圧計)から静水圧較差を引いた値] について 6 分間の平均値を算出し、男女で比較した。

【結果】統計解析上で脳血流速度に交互作用($P=0.026$)を認め、1.5Gz の過重力負荷により男性は有意に低下したが [$46 \pm 8 \rightarrow 43 \pm 8$ cm/s (-6.5%), $P<0.001$], 女性には有意な変化は示さなかった [$61 \pm 10 \rightarrow 60 \pm 10$ cm/s (-1.6%), $P=0.148$]。また脳レベルの平均血圧は、負荷により男性女性とも有意に低下した [男性: $51 \pm 6 \rightarrow 46 \pm 6$ mmHg (-10.7%), $P<0.001$, 女性: $55 \pm 8 \rightarrow 51 \pm 7$ mmHg (-5.5%), $P=0.002$]。

【考察】6 分間の軽度過重力負荷(1.5Gz)により、脳血流速度は男性で有意に低下するのに対し、女性ではほぼ維持されるという結果が捉えられた。脳灌流圧の変化に対して脳血流量を維持しようとする生理学的特徴を描いた反応曲線（静的脳血流自動調節 autoregulation curve）において、本結果では脳灌流圧の変化が、男性では傾斜が急峻な（脳灌流圧依存性が高い）部分であったのに対し、女性では傾斜が緩やかあるいはプラトーな（脳灌流圧依存性が低い、自動調節範囲）部分であったことが、脳血流変化の男女差の主要因と考えられた。さらに、そもそも反応曲線が男女で異なる可能性も考えられた。

【結語】短時間(6 分)かつ低強度(1.5Gz)の過重力負荷でさえも脳血流量への影響において若年の男女で差が認められることが示唆された。

一般演題 3 OC-5

人体・動物の酸素運搬機構に関する一考察、その 5

○吉田 泰行^{1,2}、山川 博毅³

¹ 威風会栗山中央病院耳鼻咽喉科・頭頸部外科、² 民医連二和ふれあいクリニック、

³ 国立病院機構 埼玉医療センター

【緒言】 地球の酸素濃度の変遷を見ると、金星・火星の岩石型内惑星や大型外惑星の衛星に見られる様に窒素と二酸化炭素を主とする還元型の大気として始まったとする見解が主流であると思われる。その後二酸化炭素は海水中に生物由来の炭酸カルシウムとして固定され、またシアノバクテリアの酸素放出による「酸素汚染」により他の惑星と異なり酸化型の大気を持つ様になった。それに伴い既に発生し存在していた地球上の生物は増加する酸素を如何にうまく利用するかを競い合う様に進化して行き、現今の生命に溢る星へと地球は進化したと考えられる。

【背景】 筆頭演者吉田は耳鼻咽喉科医として突発性難聴の高気圧酸素療法を長年行って来た他、宇宙航空医・産業医、スポーツ医として低酸素環境の人体への影響に取り組んで来た事を利用し、動物の進化の歴史の中で環境中の酸素を如何にして取り込み組織へと運搬するかに興味を持ちそのメカニズムの究明に努めて来た。

【考察】

水中よりの脱出: 水中で発生した地球生命は、次いで既に酸素濃度の高まっていた大気を直に取り入れるべく陸への上陸を目指しまたそれに成功した。これは昆虫を主とする無脊椎動物と我々人類に繋がる脊椎動物の両方で別々に行われている所を見ると此れが如何に魅力的なものであったかが想像に難く無い。

酸素運搬システム: またその方法も昆虫の局所毎の酸素運搬システムと脊椎動物の体全体に亙る大規模な運搬システムの構築に別れ、その効率・維持運営等の違いに興味あるものである。

これらの点について、今までの考察を踏まえた上、更に考えを押し広げて検討した点を発表する。

【結語】 地球上の生物の進化を、酸素取り込み・運搬の立場からその効率と得失について検討した。

ポスター発表（学生）

骨芽細胞様細胞株 MC3T3-E1 の時計遺伝子日内変動への模擬微小重力の影響

○野坂 実里、増田 麻里、内海 倫也、杉田 好彦、前田 初彦、近藤 久貴

愛知学院大学短期大学部歯科衛生学科

本研究は、模擬微小重力環境がマウス骨芽細胞様細胞株 MC3T3-E1 における時計遺伝子の発現リズムに与える影響を明らかにすることを目的として実施された。概日リズムは、睡眠・覚醒、ホルモン分泌、代謝など多くの生理機能に関与しており、骨代謝もその例外ではない。骨芽細胞や破骨細胞においても、*mPeriod1*、*mPeriod2*、*mBMAL1* といった時計遺伝子の発現が確認されており、これらが骨代謝の時間的制御に関与している可能性を私たちは明らかにしてきた。一方で、宇宙空間のような微小重力環境では概日リズムが乱れることが報告されているが、時計遺伝子の発現にどのような影響を及ぼすかは十分に解明されていない。

本研究では、時計遺伝子の同期化を目的として、MC3T3-E1 にグルココルチコイドであるデキサメタゾンを2時間処理した。その後、細胞を三次元クリノスタット（Zeromo CL-1000）による模擬微小重力環境（模擬微小重力群）および通常重力環境（静置群）に分けて培養した。デキサメタゾン処理前、処理直後、さらに4時間ごとに32時間まで mRNA を回収し、リアルタイム PCR により *mPeriod1*、*mPeriod2* および *mBMAL1* の発現を定量した。

静置群では、デキサメタゾン処理直後に *mPeriod1* の発現が 36.5 倍に増加し、28 時間後にピークを示した。*mBMAL1* は 16 時間後にピークを示し、これらの結果は先行研究と一致しており、MC3T3-E1 細胞においても時計遺伝子の同期化が可能であることが確認された。一方、模擬微小重力群では、*mPeriod1* の発現は処理直後に一時的な増加を示したものの、その後のピークは消失し、発現は著しく抑制された。*mBMAL1* については、静置群と同様に 16 時間後にピークが観察されたが、発現レベルは静置群よりも低下傾向を示した。

これらの結果から、模擬微小重力環境が時計遺伝子の発現リズム、特に *mPeriod1* に対して特異的な抑制効果を持つことが示唆された。*mPeriod1* は概日リズムの形成において中心的な役割を果たす遺伝子であり、その発現抑制は骨芽細胞の時間的機能制御に影響を及ぼす可能性がある。骨形成は時間依存的なプロセスであり、時計遺伝子の乱れは骨代謝異常の一因となり得る。したがって、宇宙空間で観察される骨量減少の背景には、時計遺伝子の発現異常が関与している可能性がある。

結論として、本研究は模擬微小重力環境がマウス骨芽細胞の時計遺伝子発現に与える影響を初めて明確に示したものであり、宇宙医学や骨代謝研究における新たな知見を提供する重要な成果である。

ポスター発表（学生） PS-2

模擬微小重力環境下におけるマウスマクロファージ様細胞 RAW264.7 の細胞数 および炎症性サイトカイン発現動態の解析

○川瀬 瑞貴、増田 麻里、内海 倫也、杉田 好彦、前田 初彦、近藤 久貴

愛知学院大学短期大学部歯科衛生学科

宇宙空間における微小重力環境は、筋萎縮、骨量減少、循環系の変化に加え、免疫系にも顕著な影響を及ぼすことが報告されており、宇宙飛行士の免疫機能低下は長期宇宙滞在における健康管理上の重大な課題である。本研究では、自然免疫の中心的役割を担うマクロファージに着目し、マウスマクロファージ様細胞株 RAW264.7 を用いて、Zeromo (CL-1000)（ヤマト科学株式会社）による三次元クリノスタットによる模擬微小重力環境下での細胞数および炎症性サイトカイン発現の変化を詳細に解析した。

実験開始時に細胞数は1フラスコ(12.5cm²)あたり 5.0x10⁵ で播種した後、24 時間後に模擬微小重力もしくは静置環境下で24時間培養しトリプシン処理を行い、細胞数をカウントした。結果、静置群では実験開始時と比較して細胞数が2.88倍に増加したのに対し、微小重力群では1.89倍の増加にとどまった。この結果は、模擬微小重力が細胞増殖に対して抑制的に作用する可能性を示している。この細胞数の減少は、細胞周期の進行遅延、接着性の低下による細胞脱離、さらには微小重力誘導性のアポトーシス活性化など、複数の細胞内応答が複合的に関与している可能性がある。特に、細胞骨格の再構成や接着分子の発現変化が微小重力下で顕著に生じることが知られており、これらが細胞の生存および増殖能に影響を与えていると考えられる。

リアルタイム PCR による炎症性サイトカインの mRNA 発現解析は、*mTNF-α* および *mIL-1β* の mRNA 発現は培養時間の延長（24 時間→48 時間）に伴い増加したが、微小重力環境による有意な抑制効果は認められなかった。一方、酸化ストレス応答に関与する *miNOS* の発現は、48 時間の模擬微小重力曝露により静置群と比較して有意に増加しており、微小重力が細胞内の酸化ストレス経路を活性化する可能性が示唆された。マクロファージ分極に関しては、M1 マーカー (*mTNF-α*, *mIL-1β*, *miNOS*) および M2 マーカー (*mCD206*) の発現を指標として解析を行った。模擬微小重力環境下では、*miNOS* の発現増加が顕著であった一方、他のマーカーにおいては有意な変化は認められず、分極状態に対する微小重力の影響は限定的であることが示唆された。

本研究は、模擬微小重力環境がマクロファージの増殖および酸化ストレス応答に影響を及ぼすことを示しており、宇宙空間における免疫機能の変化を理解するための基礎的知見を提供するものである。

模擬微小重力環境下で培養したラット骨髄由来細胞の生物学的応答について

○平野 光起¹、永谷 理恵¹、川口 美須津¹、吉田 幸弘³、伊藤 由有希²、河合 遼子^{2,3}、
吉田 和加^{2,3}、杉田 好彦^{2,3}、久保 勝俊^{2,3}、田淵 雅子^{2,3}、宮澤 健^{2,3}、前田 初彦^{2,3}

¹ 愛知学院大学歯学部歯科矯正学講座、² 愛知学院大学歯学部口腔病理学・歯科法医学講座、

³ 愛知学院大学大学院歯学研究科未来口腔医療研究センター

【目的】近年、宇宙空間への関心が高まっているが、重力環境の変化が生体を与える影響については未知な部分が多い。中でも国際宇宙ステーションに代表される微小重力環境では骨組織の形成が抑制されることが報告されているが、その詳細については不明な点が多い。そこで本研究では微小重力環境下でラット骨髄由来細胞を培養し、代謝活性、分化能および細胞形態の変化について検討した。【方法】本研究ではラット骨髄由来細胞を用いて実験を行った。まずラットの大腿骨から骨髄細胞を採取して骨芽細胞分化誘導培地で培養し、2回継代した後に T12.5 フラスコ内に細胞を播種した。細胞播種の 24 時間後にフラスコの底面に細胞が接着したことを確認して実験を開始した。模擬微小重力環境（ $10^{-3}G$ ）の再現には微小重力環境細胞培養装置（Zeromo®(CL-1000) ヤマト科学、東京）を用いた。対照群は微小重力環境細胞培養装置を使用せずに細胞培養を行った。細胞形態の測定のために位相差顕微鏡で実験開始 3、6、24 時間後の顕微鏡写真を撮影し、Image J(NIH, Bethesda, USA)を用いて細胞面積、細胞周長、Feret 径の計測を行った。細胞代謝活性の測定には Cell Counting Kit-8（富士フイルム和光純薬、大阪）を用い、実験開始 3、6、24、72 時間後の細胞の代謝活性を測定した。細胞分化能の測定は、実験開始 72 時間後にラボアッセイ ALP（富士フイルム和光純薬、大阪）を用いて行った。この ALP 活性の測定には 35 mm 細胞培養ディッシュに播種した細胞を用いた。【結果】本実験の培養環境において、骨髄由来骨芽細胞様細胞の代謝活性は模擬微小重力環境下では対照群と比較して実験開始 3 時間後では有意に高かった。また、6 時間後では有意な差は認められなかったが低下傾向を示し、24 時間後では有意に低く、72 時間後では低下傾向を示した。細胞分化能は対照群に比べて模擬微小重力群で有意に低くなっていた。細胞形態は実験開始 3 時間後および 6 時間後では対照群に比べて模擬微小重力群では Feret 径が有意に小さくなっていた。【結論】本実験での模擬微小重力環境下における骨髄由来細胞の代謝活性は培養初期には高かったが、その後は低下傾向を示すことが明らかとなった。また、細胞の形態については培養初期では形態的計測値に差が見られたが、実験開始 24 時間後では差は見られなかった。またさらに、実験開始 72 時間後における細胞分化能は模擬微小重力環境下では低下することが明らかとなった。このことから、微小重力環境は培養骨芽細胞様細胞の細胞代謝活性、細胞分化能に影響を与えることが示唆された。

ポスター発表（学生） PS-4

マイクロフィジオリジカルシステムを用いた微小重力が
平滑筋細胞に与える影響の検討

○高嶋 英寿

慶應義塾大学医学部

微小重力が血管平滑筋細胞（VSMC）に与える影響は広範囲にわたり研究されてきましたが、その大半はその応用性に限界のある 2 次元の培養系や動物モデルに依存しています。これらの限界は、微小重力下における血管リモデリングの根底にあるメカニズムの包括的な理解を妨げています。本研究では、ランダムポジショニングマシン（RPM）による模擬微小重力下での VSMC の応答を調査するため、3 次元の「artery-on-a chip」デバイスを利用しました。その結果、細胞サイズに変化はなかったものの、細胞形態において円形度の増加と配向の乱れという有意な変化が認められました。

複合現実空間での脳構造情報マッピングを用いた医療支援基盤技術の開発

○新沼 拓豊、杉野 正和、榛葉 健太、小谷 潔

東京大学

2021 年にスペース X が初の民間人のみの宇宙旅行プロジェクトを成功させ、今後も有人宇宙飛行の民間利用が広がることが予想される。有人宇宙飛行において、宇宙飛行士の健康管理は一つの重要な課題である。健康管理に関して、脳の血流異常を検知する経頭蓋ドップラー計測をはじめとした多くの生体信号計測は欠かせない技術である。しかし、生体計測においては専門医の熟練した手技が必要であり、専門医の常駐が難しい宇宙環境や遠隔医療においては障害となる。生体計測を行う際には受診者の生体構造の個人差を考慮して計測を行う必要があるが、非専門医が生体計測を行う際に障害となる事項の一つに、大脳皮質・骨の位置などの生体構造の直感的な把握できない点がある。本研究では、現実空間に立体的なオブジェクト投影を行うことが可能な複合現実技術を用いて受診者の脳構造を可視化することで、個人差を考慮した計測の補助を担うシステム基盤の開発を行う。複合現実を用いた頭部構造のマッピングについて、AR グラスから二次元バーコード等マーカをキャプチャして、頭部の位置を取得する方法があるが、観察者が動いた際に自己位置推定の精度に依存して構造データの投影位置のずれが生じ得る点が課題として存在する。本研究ではモーションキャプチャと AR グラスを組み合わせたシステムを構築することにより、AR グラスの自己位置推定の精度に依存しない支援システムを開発する。

本研究では、モーションキャプチャを用いて被験者と観察者の AR グラスそれぞれの位置を取得し、被験者の頭部座標系から大脳皮質の位置を計算し、算出された座標に MRI (Magnetic Resonance Imaging) で取得した被験者の頭部構造データを重畳するシステムを開発した。完成したシステムでは、自己位置推定の精度に依存したずれの問題を解消し、観察者、被験者の位置関係ごとに一定の画像を投影することに成功した。

本研究で開発したシステムは宇宙環境に限らず遠隔医療などの専門医が不在の環境において生体構造を把握し個人差を考慮した脳計測を行う支援が可能であると考えられる。また、本研究で開発したシステムは被験者の頭部に MRI の基準座標系を構築するため、MRI で取得可能な様々な構造データの可視化へ応用や計測位置の表示といった支援への応用が期待される。

宇宙環境での経頭蓋ドップラー計測については、宇宙での fluid shift の影響を考慮してエコー撮像時の手技による微調整あるいは擬似的な微小重力シミュレーションによる大脳皮質の移動量を補正し描画を行うことで撮像支援ができる。一方で、脳波電極設置については位置決め誤差の影響が少ないため、構築した AR 画像に基づき、電極配置の支援が可能である。

ドイツ宇宙機関 DLR へ研究留学

○平嶺 和佳菜

東北大学医学系研究科

日本では骨や筋肉など組織に注目することが多い。しかし、宇宙での生体反応における分子メカニズムを解明するような研究室が日本には少なく、この分野の研究をするには海外で研究をする必要があると感じ、研究留学をすることを決意した。ドイツの国立宇宙研究機関である DLR は Institute of Space Medicine があり、宇宙医学における基礎研究を行っている。この分野における知識と技術を深めたいと思い DLR で研究することとした。期間は 2024 年 1 月から 3 月の 3 カ月間、場所 DLR の本拠地であるケルンでの研究を行った。研究内容は、培養中の酸素状態を変えることで免疫細胞に放射線を当てた際に細胞死がどのように変化するのかという研究である。

この留学にはプログラムがあったわけではなく、自分で計画を立てた。Space Medicine の放射線グループ長の先生のメールアドレスが HP に記載されていたため、そこから直接メールを送り面接をしていただいた。その結果 DLR での研究を叶えることができた。留学資金面に関しては、文部科学省が主催する「トビタテ!留学 JAPAN」の支援をいただいている。

研究の中で最も困難だったのは、実験系の樹立である。研究室で誰も行ったことがない実験系を樹立することが非常に困難であった。週に一度の Meeting で次にどのような実験をすべきかといったことを聞かれるが、実験手法を知らなければ提案をすることができない。このような経験から、まずは自分の研究の基礎となる実験手法を一通り学ぶ必要があると感じた。

研究をしていた同じ敷地内にヨーロッパ宇宙機関 ESA の宇宙飛行士訓練施設があり、見学させていただく機会を得た。ここは実際に宇宙飛行士が ESA モジュール columbus の訓練に使用する施設であり、細胞実験で使用するクリーンベンチや Columbus の構造などを学ぶことができた。また、留学後 2025 年 9 月に月面を再現した施設がオープンした。この施設では月面が再現されているため、宇宙飛行士の月面訓練に使われるだけでなく、月面で用いられる機器の実験にも用いることが考えられる。

今回の留学を通して感じたことは、実験の進み具合に関して文化の違いが出てくるということである。働き方が日本と異なるため、共同研究をする際には相手の文化を理解することがよりスムーズなコミュニケーションをとるうえで重要になる。

留学で得た一番大きなものは同じ薬学出身で宇宙における薬物動態に興味を持っている研究者との出会いである。このようなつながりは留学により得られたものであり、今後研究をする上で重要になると感じる。今回の経験を自分だけにとどめるのではなく、今後宇宙医学を目指す学生や研究者へ選択肢を広げる一助となることを願い、発表させていただく。

月面基地に必要な医療システム

○大河原 寧々

SMJYC

近年、アルテミス計画をはじめとする月探査の進展により、人類が月面に滞在する時代が現実味を帯びている。人間が安全に生活するためには医療が必要であり、月面基地においても例外ではない。

国際宇宙ステーション(ISS)においては、骨量減少、筋肉委縮、放射線被ばく、メンタルヘルス、宇宙酔いなどが課題とされている。現在は、宇宙飛行士に対する健康管理が行われていたり、宇宙飛行士が毎日2時間の運動をしたりなどの取り組みがなされている。また、宇宙医学分野での観察や実験が行われたのちに地上での医療に応用されていて、宇宙医学という分野が発展してきている。

宇宙医学は「究極の予防医学」と呼ばれているように、宇宙環境での医学的リスクの中でできる範囲で病気になることを防ぐ必要がある。宇宙環境で病気になってしまったら、現在は必ずしもISSに医師が含まれるわけではなく、搭乗員の中からCMOという医療担当が選ばれ、その方が医療行為を行っている。ISSでは緊急時に数時間以内に地球への帰還が可能となっているが、月面探査や火星探査においては帰還に時間を要する。今後、月探査は1年間、火星探査は3年間途中で地球に帰還することはできないため、現在よりも予防に焦点を当てる必要がある。宇宙環境における医療の問題として、薬剤や医療物資の供給の制限、地球との通信遅延や通信障害、宇宙飛行士自身の1次対応能力の向上に努めることなどがあり、宇宙環境に適した医療システムが求められる。

本発表では、これらの課題を整理し、月面基地に求められる医療体制の在り方について考える。

宇宙医学と工学の融合:「宇宙医療」における医療技術の重要性

○川崎 隆弘^{1,2}

¹東京農工大学工学部生体医用システム工学科、²SMJYC 共同代表

1. はじめに：宇宙医学における工学の役割

長期の宇宙滞在が現実味を帯びる中、微小重力や宇宙放射線、閉鎖環境下での精神ストレスといった特有のリスクに対する自律的な医療提供システムの構築は急務である。現在の国際宇宙ステーション(ISS)における医療は、地上からの支援に大きく依存しているが、月面基地や火星探査といった地球との通信遅延・途絶が避けられないミッションにおいては、高度な自己完結型ヘルスケア技術が不可欠となる。本発表では、工学系の視点から、宇宙医学の課題解決に向けた工学・IT 技術の重要性と、分野間の「懸け橋」となる人材の必要性を提言する。

2. 現在の宇宙医療技術の課題

現在の医療機器・技術には、以下の複数の課題が存在する。

- a) 環境適応性: 微小重力下での体液挙動や、放射線環境下での電子機器の信頼性担保が困難。
- b) リソース制約とロジスティクス: 輸送コストの高さから、機器の小型化・軽量化・多機能化が必要不可欠。故障時の修理・メンテナンスの難しさ。
- c) 医学的知見と技術のギャップ: 宇宙特有の病態に対する診断アルゴリズムや治療プロトコルが不足しており、地上で開発された機器の単純な転用には限界がある。

3. 課題解決のための工学的な手法

これらの課題を解決し、持続可能な宇宙医療を実現するためには、以下のような技術が求められる。

a) 自律型診断・治療システム:

- o AI を活用した、宇宙飛行士のバイタルサインや画像データをリアルタイムで解析し、地上からの指示なしに迅速に診断・治療法を提案するシステム。
- o ウェアラブルセンサーや統合型ヘルスケアアプリによる、予防的・継続的な健康管理の実現。

b) オンデマンド生産技術:

- o 3D プリンター技術を用いた、故障部品、医薬品、将来的には代替臓器の現場生産。

c) 「懸け橋」人材の育成:

- o バイオメディカルエンジニアとして、医学的なニーズ(Needs)を理解し、それを工学的なシーズ(Seeds)に変換できる人材、すなわち両分野の共通言語を話せる人材の育成が不可欠

4. まとめ

宇宙医学の発展は、工学技術の発展が必要不可欠である。本提言が、宇宙医学と工学の連携強化に向けた議論を深める一助となり、宇宙医療の実現に貢献できることを期待する。

宇宙医学の未来を担う学生コミュニティ「SMJYC」

高嶋 英寿¹、○川崎 隆弘²

¹慶応義塾大学医学部医学科、²東京農工大学工学部生体医用システム工学科

1. はじめに：宇宙医学における学生コミュニティの役割

有人宇宙活動の長期化・多様化に伴い、宇宙環境下での微小重力、放射線、閉鎖隔離環境といった特異な要因が人体に及ぼす影響を理解し、対策を講じる宇宙医学の重要性が増している。この学際領域の担い手を育成するためには、学生時代からの教育が不可欠である。本発表では、全国の学生が主体となって運営する宇宙医学コミュニティ SMJYC (Space Medicine Japan Youth Community) の活動を報告し、その教育的・学術的意義を考察する。

2. SMJYC の概要と活動の枠組み

SMJYC は、医学を核としつつ、理工学、薬学など多岐にわたる専門分野を持つ学生や社会人 400 名以上が所属している。設立以来、「自分色の宇宙医学を見つけよう」をテーマに、知の習得と実践的な体験を通じたキャリア形成を支援している。活動は、主に 5 つの柱で構成されています。

3. 主要な活動内容

1. スタディツアー

宇宙実験を行う研究室や JAXA、ベンチャー企業を訪問。今年度は名古屋市立大学を訪問するなど、宇宙医学に関わる研究開発の最前線を直接見学し、専門家から直接講義を受ける機会を提供している。

2. オンラインウェビナー

月に一度程度、宇宙医学に関する専門家を講師として招き、オンラインでの講演会を実施。最新の研究動向や基礎知識を継続的に学習し、学生間の知識共有を促進する。

3. 論文抄読会（継続的な学習）

宇宙医学やそれに類する論文を持ち寄り、抄読会を行う。

4. 教科書翻訳（学術的挑戦）

アメリカで書かれた宇宙医学のバイブルである教科書「SPACE PHYSIOLOGY AND MEDICINE」の日本語訳を学生主導で進めている

5. 学会発表

日本宇宙航空環境医学会の年次大会などにおいて、学生セッションでの発表を実施。学生が自らテーマを設定し、研究成果や活動報告をアウトプットする場を設けることで、学生自身の成長につなげる。

4. 異分野連携が創出する宇宙医学の未来

SMJYC の活動は、通常の大学におけるカリキュラムだけでは得られない宇宙医学に関する実践的な知識とネットワークを構築する場を提供している。特に教科書翻訳や学会発表のような活動は、学生が単なる「学び手」から「未来の宇宙医学の担い手」へと成長するための貴重な機会となっている。今後も、異分野の知を結集し、日本の宇宙医学研究・産業に貢献する若手人材を育成するため、活動を拡大していきたい。

昆虫と自由落下

～自由落下で作る小さな無重力を体験すると、昆虫に変化はあるのか？～

○岡井 雛子¹、清水 美穂²、早崎 沙彩³

¹ 京都産業大学附属中学校、² 帝京大学、³ 元帝京大-元農工大

今後予想される長期宇宙生活の課題として、地球の動植物のいのちあふれる環境と異なり、宇宙飛行士の身の回りに触れ合える「生命」が存在しないことがストレスになるのではと考えた。現在、ISS に持ち込まれている生きたものとして、玉ねぎくらいだと聞いた。一方、植物工場では、いちごなどの受粉に昆虫が使われている。そこで、宇宙飛行士の長期滞在時に予想されるメンタルと食糧生産の両者の問題に対する解決法として、昆虫の利用を考えた。本研究では、自由落下実験により昆虫が無重力環境に適応できるかを調査することにした。

ポスター発表（一般）

月に行くための燃料費を抑えるには？—シミュレーションスタディー—

○武石 宗一

総合犬山中央病院内科

宇宙船が地球から月に移動する方法は、地球の楕円周回軌道を利用する方法と、地球の重力圏を脱出する速度で直接月へ向かう方法がある。後者において、地球の円軌道周回時の第一宇宙速度（秒速約 7.9km）から重力圏脱出に必要な第二宇宙速度（秒速約 11.2km）へ持続的に加速する場合、宇宙飛行士が臥位で耐えられる 7G で 48 秒間の加速が必要であるため、宇宙飛行士の身体に多大な負荷がかかる。また、ロケットの再利用が実用化されている現代において、地球から月への移動時の主要な費用である燃料費の削減は重要な課題である。第一宇宙速度到達以降の楕円周回軌道においては、燃料を要するのは月に対する地球の裏側の空間点で重力の抵抗を受けない水平方向に加速する時のみであり、ケプラーの法則に伴い慣性で楕円周回し、月に近づくにつれ自然に減速する。対し重力圏脱出の方法では、重力の影響下での加速や軌道修正、そして減速にも燃料を要する。そこで今回、地球の楕円周回軌道を利用する方法での月の到達に関するシミュレーションを行った。

月に対する地球の裏側の高度 100km を楕円周回時の唯一の加速空間点とし、加速空間点と地球の中心の距離を楕円周回軌道における近点距離と考えた。高度 100km における円軌道周回に必要な速度を本研究における第一宇宙速度とし、加速空間点における、地球の重力圏を脱するのに必要な水平方向の速度を本研究における第二宇宙速度とした。加速空間点における速度は、加速前の速度+加速度×1 秒で近似算出した。加速前の速度が第一宇宙速度である時の加速を初回の加速とし、その後楕円軌道 1 周毎に加速空間点において同じ加速度で加速し、月に概ね到達する最終軌道をもたらし加速を最終加速とするシミュレーションを行った。ケプラーの第 2 法則と力学的エネルギー保存の法則を用いて各楕円軌道における遠点距離を算出した際、最終軌道の遠点距離が 38 万 km 前後になるような加速度を、宇宙飛行士が臥位で耐えられる 7G 前後の値を用いた計算で検討した。さらに、ケプラーの第 3 法則を用いて公転周期を算出し、最終軌道までの累積日数（最終軌道のみ半周分の周期）を算出した。

加速度が 7.16G の時、最終軌道における遠点距離が 38 万 km 前後となった。同加速度におけるシミュレーションにおいて、最終軌道の遠点距離空間点に到達するのに 44.5 周、約 23.5 日間の日数を要し、最終軌道における加速空間点での速度は秒速約 11km であった。最終軌道到達に必要な周回数の半分である 22 週の周回に必要な日数は約 2.02 日であった。

宇宙飛行士にとっての現実的な飛行時間と燃料コストの可及的な削減を考慮した一案として、楕円周回のみで月に到達するのに必要な周回数の半分（前半）を楕円周回軌道で行い、その後地球の重力圏を脱する加速を行うという方法は、検討の余地がある。

宇宙船の加速度が宇宙飛行士の身体負荷に与える影響を考慮した 加速の検討方法の近似シミュレーション

○武石 宗一

総合犬山中央病院内科

宇宙船が地球から月に移動する方法の一つとして、地球の重力圏を脱出する速度で直接月へ向かう方法がある。この場合、重力圏脱出に必要な第二宇宙速度(11200m/s)を超える速度まで加速する必要がある。第二宇宙速度を超えるまでの加速方法として、低加速度で長時間加速を持続するのと、高加速度で間欠的に加速するのと、どちらが宇宙飛行士への身体負荷が少ないかを検討する意義はあるため、今回その加速の検討方法のシミュレーションを行った。

シミュレーションにおいて 9.8m/s(1Gv と略す)と 9.8m(1Gd と略す)をそれぞれ一つの単位とした。下記統一条件の基に、加速度(G と略す)が 1G、2G、3G、4G、5G、6G それぞれの時の加速間隔を算出した。1.評価期間は「加速間隔×総加速回数=360 秒」；2.重力圏脱出のために加速された結果の最高速度は、1,2,3,4,5,6 の公倍数である 360Gv を第一宇宙速度(7900m/s)に足した 11428m/s；3.評価期間中は等間隔で段階的に加速し、総加速回数は「360÷G の数値」；4.“(1 秒間に進んだ距離 - 7900m)×360 秒”「累積距離」は $(1+360) \times 360 \div 2 = 64980\text{Gd}$ 。下記計算において評価期間[x]を極限に延長した場合及び x に 360 を代入した場合において、G が 1G、2G、3G、4G、5G、6G の時の“加速間隔の極限值”及び“加速間隔”を算出した。

“累積加速単位”：定義された G での 1 回の加速を 1 単位とした場合の総単位数

$$\frac{(1+x) \times x \times \frac{1}{2} [\text{累積距離}]}{\left(1+\frac{x}{G}\right) \times \frac{x}{G} \times \frac{1}{2} \times G [“累積加速単位” \times G]} = \frac{(1+x)}{\left(1+\frac{x}{G}\right)} = \frac{(1+x)}{\left(\frac{G+x}{G}\right)}$$

$$= G \times \frac{(1+x)}{(G+x)} = G \times \frac{\left(\frac{1}{x}+1\right)}{\left(\frac{G}{x}+1\right)} = G$$

“加速間隔の極限值”はそれぞれ G の数値 (1、2、3、4、5、6) と同一であった。評価期間は「“G の数値”×“360÷G の数値”」の計算によりすべて 360 秒であり、上記統一条件に合致した。“加速間隔”もそれぞれ 1、2、3、4、5、6 に近似した値であった。評価期間も「G の数値の近似値×360÷G の数値」の計算によりすべて 360 秒の近似値であり、上記統一条件に概ね合致した。

本研究結果は、評価期間を極限的に延ばせば“「1G で 1 秒毎の加速」vs.「2G で 2 秒毎の加速」vs.「3G で 3 秒毎の加速」vs.「4G で 4 秒毎の加速」vs.「5G で 5 秒毎の加速」vs.「6G で 6 秒毎の加速」”(“6 条件”) で「同一の評価時間で同一の進行距離」になることを示しており、評価期間が 360 秒でも「概ね同一の評価時間で同一の進行距離」になることを示している。宇宙飛行士の身体負荷に与える影響を上記“6 条件”で比較するという方法は、宇宙飛行士の身体負荷を軽減するための研究にとって有用な可能性がある。

月，火星模擬環境による染色体異常誘導

○高橋 昭久¹、福井 竜士¹、池田 裕子²、秦 恵³

¹群馬大学、²近畿大学、³Prairie View A&M University

【背景】：再び月へ，火星へ，そしてさらにその先への旅の計画により，深宇宙への有人探査はより現実的になってきた．低線量率の宇宙放射線は，宇宙旅行者にとって常にリスクとなる．さらに，月や火星のような低重力環境と宇宙放射線の複合的な生物影響は未解明である．

【目的】：月・火星を模擬した低重力と低線量率中性子線による染色体異常に及ぼす複合影響を明らかにする．

【方法】：月・火星環境シミュレータ (SwiNG) [1]は，3次元クリノスタット内に遠心機を組込むことで低重力環境を模擬し，遠心機の中心に Cf-252 を組込むことで低線量率 (0.5 mGy/日) の中性子線照射ができる．この SwiNG を用いて，ヒト 1BR-hTERT 線維芽細胞を模擬宇宙 (μ G)，月 (1/6G)，火星 (3/8G) の模擬重力環境下で5日間中性子線照射し，FISH 染色法を用いて染色体異常 (CA) を解析した．

【結果】：模擬重力が減少するにつれて，放射線の同時曝露した細胞では，1G で放射線を照射した細胞と比較して，CA 頻度が上昇することが観察された．

【考察】：本研究は，従来の 1G 環境で得られた放射線のためのデータによるリスク評価は，宇宙飛行士のがんを含む健康悪化を過小評価している可能性があることを示している．なお，同条件での遺伝子発現解析と CO₂ インキュベータ内でも使用できる装置の開発を進行中である．

【引用文献】 [1] Takahashi A, et al (2020) Life 10, 274

宇宙環境対策を考慮した次世代型放射線遮蔽素材の開発

○船水 博文¹、保田 浩志²

¹未来科学ホールディングス株式会社、²広島大学原爆放射線医科学研究所

宇宙環境では宇宙ステーションや月面での有人長期滞在などにおいて、放射線遮蔽技術の開発が求められている。本研究では、宇宙船の素材や医療施設（CT室）などに直接スプレー成膜することで、簡便に放射線遮蔽能力を付与する技術開発を目的に、高速反応性成膜と無機微粒子混合による放射線遮蔽素材の開発を行った。具体的には、(1)ジアミンとイソシアネートの高速重付加反応の検討、(2)タングステンカーバイド(WC)微粒子の分散に関して実験的研究を実施し、2液混合型反応性原料の最適化を行った。加えて、反応性有機膜と無機微粒子の混合素材における放射線遮蔽能力を検証した。フーリエ変換赤外分光法(FTIR)法にて分析した結果、WC微粒子を添加しても重付加反応は阻害されることなく進行し、またWC微粒子は反応性有機膜中で沈降することなく、膜内にほぼ均一分散できることを確認した。放射線遮蔽能力を解析するため、広島大学原爆放射線医科学研究所において医療用X線照射し、開発素材のX線に対する遮蔽性能を測定した。その結果、今回開発したWC含有ポリ尿素膜は厚みに依存したX線遮蔽能力をもち、また放射線遮蔽材として標準使用される鉛と同程度の阻止能力を発現可能であることを確認した。また走査型電子顕微鏡(SEM)による解析も行った。

本研究で得られた成果をさらに広島大学原爆放射線医科学研究所(保田浩志先生)にて研究を進めている。本研究は宇宙ステーションや月面基地における有人滞在や火星探査などを考慮した近未来を想定した次世代の研究であり、将来的には人類が宇宙環境で生存するためには放射線遮蔽は重要な課題であり、この研究の成果の先進技術開発は社会的にも意義深いと思われる。

減圧障害初期対処教育/訓練の新たな挑戦

○高田 邦夫¹、黒川 貴幸²、清住 哲郎³、白石 安永¹、
石神 徳郎²、佐藤 貴子²、古屋 真里²

¹ 防衛医学研究センター特殊環境衛生研究部門、² 防衛医科大学校防衛医学講座、

³ 防衛医科大学校病院救急部

初めに、筆頭演者が所属する防衛医学研究センター特殊環境研究部門における陸海空自衛隊への貢献について解説する。この貢献は自衛隊から日本国民への貢献への拡大の可能性を秘めていることも併せて解説する。

本発表では、減圧症、圧外傷、動脈ガス塞栓症及び浸漬性肺水腫を併せて「減圧障害」と呼ぶ。減圧障害の発症者に対しては、適切な救急処置、水平仰臥位（意識障害時は昏睡体位）、高濃度酸素投与、水分補給や輸液等の「初期対処」を行う必要があり、最も有効とされるものは酸素再圧治療を実施できる減圧障害を専門とする医療機関（以下「医療機関」）における治療である。但し、実際の減圧障害が発症する現場は、医療機関が近くに存在することは極めてまれである。減圧障害を極限化するには、発症現場にいる広く専門性を持たない「初期対処要員」による初期対処が重要となってくるが、減圧障害初期対処教育/訓練（以下「減圧教育/訓練」）は不十分である。防衛医科大学校の特長は、減圧障害に関連する研究部隊（航空医学安全研究隊及び潜水医学安全研究隊：以下「研究部隊」）出身者も研究活動を行っているが、これらのメンバーによる「減圧障害初期対処教育/訓練の新たな挑戦」について解説したい。

今回、2つの研究部隊出身者等が航空領域及び潜函/潜水領域の両面の減圧教育/訓練の検討を行い、これらの領域を体系的に検討した上で基準となる減圧教育/訓練教材を作成していく。また、既にメンバーらが救急領域にて教育等の効果を検討しているバーチャルリアリティ（VR）も有効となる可能性についても検討を行う。

連日の内耳前庭系電気刺激は模擬微小重力による姿勢調節機能変化を抑制する

○田中 邦彦¹、杉浦 明弘¹、榎田 雄大¹、丹羽 政美¹、
渡邊 恒夫¹、萩生 翔大²、寺田 昌弘²

¹ 岐阜医療科学大学大学院保健医療学研究科、² 京都大学宇宙総合学研究ユニット

微小重力環境への曝露は心血管系、運動系、前庭系などの機能変化を引き起こす。前庭系は順応性が高いため、短期間の曝露であっても、変化することが知られている。これまでに我々は、体感閾値以下の内耳前庭系電気刺激（Galvanic Vestibular Stimulation; GVS）を1日10分間、7日間行くと姿勢調節機能を改善させることを報告した。本研究では、模擬微小重力曝露による、姿勢調節機能変化に対するGVSの効果を検証した。

12名の健康若年被験者を10日間、模擬微小重力環境（6度ヘッドダウンベッドレスト）に曝露した。6名に対し、振幅一定・白色ノイズ波形のGVSを1日10分間、毎日行った（Stim）。強度は体性感覚閾値より0.1 mA低い値に設定した。残りの6名には閾値を測定し、刺激手技を行ったが通電しなかった（Cont）。ベッドレストの前後に重心動揺計測を実施した。被験者は、体性感覚入力を遮断するために重心計上に置いたフォームラバーの上に裸足で立ち、視覚入力を遮断するために閉眼とした。足を揃えて直立姿勢を維持させ、重心軌跡を20サンプル/秒で60秒間連続的に測定・記録した。重心軌跡の長さ（Length）と外周面積（Area）を解析した。

開眼ではStim, ContともにLength, Areaともに変化が認められなかったことから、視覚を介した姿勢調節は変化していないこと、筋力は低下していないと考えられた。しかし、閉眼状態ではContにおいてベッドレスト後、Lengthがベッドレスト前と比較して有意に増加した。しかし、Stimでは有意な変化は見られなかった。このことから、内耳前庭系を介した姿勢調節機能は模擬微小重力曝露で低下するが、毎日のGVSはこの低下を防止したと考えられた。連日のGVSは微小重力環境による前庭機能低下に対する対抗策と成り得ることが示唆された。

非心原性失神再発リスクの簡易予測スコア開発：
救急外来患者の後ろ向きコホート研究

○平吹 一訓、櫻井 歩夢、高野 大地、村田 裕康、堀野 雅祥、
福家 真理那、鈴木 里奈、フィンガー 真由美、須田 智也、
畑 典孝、植地 貴弘、平澤 愛、松田 剛明、柴田 茂貴
杏林大学

【背景】宇宙飛行士は無重力空間に一定期間暴露されることによって起立耐性能力が低下し、地球に帰還した直後の立位を取った時に起立性低血圧による失神発作を発症するリスクがあることが知られている。また職業パイロットでは失神の再発予測は産業医学的に重要である。一方、失神は救急外来の診療においても頻度の高い症候である。その中でも非心原性失神（反射性失神と起立性低血圧による失神）が最も多く、その再発率は30%と非常に高い。しかしながら、現在明らかとなっている失神の再発リスク因子は失神の既往のみである。そこで本研究では救急外来を受診した非心原性失神患者の再発リスク因子を病歴や生理学的検査所見から検討した。

【方法】後ろ向きコホート研究である。2015年から2024年に当院救急外来を受診し、非心原性失神と診断された145名を失神初回群（失神回数2回以下）と失神再発群（失神回数3回以上）に分類し、年齢、性別、BMI、既往歴、内服薬、嗜好歴、発症体位、前駆症状の有無、遅発性症状の有無、頸動脈超音波、心臓超音波、24時間ホルター心電図、脈波伝播速度、経頭蓋超音波ドプラを比較した。次に多変量ロジスティック解析を用いて各因子と失神再発の関連性について検討した。また、回帰モデルから失神再発の簡易予測式を作成し、その妥当性をROC曲線で確認した。

【結果】失神初回群は98名、失神再発群は47名であった。多変量解析の結果、年齢〔(2=<40歳、1=40~75歳、0=>75歳)：Odds比(OR)=6.27, 95% CI 2.12-18.49, $p<0.001$ 〕、自律神経指標 pNN50>20% (OR=5.61, 95% CI 1.47-21.42, $p=0.012$)、左室心筋重量係数<70g/m² (OR=6.36, 95% CI 1.86-21.73, $p=0.003$)、中大脳動脈平均血流速度<50cm/sec (OR=5.69, 95% CI 1.31-24.81, $p=0.021$) が独立して失神再発と関連した。モデルの適合度は良好で、Hosmer-Lemeshow 検定 $p=0.304$ 、Nagelkerke $R^2=0.508$ 、分類正解率 81.1% であった。簡易予測式 (40歳未満：2点、40~75歳：1点、75歳以上：0、pNN50>20%：1点、左室心筋重量係数<70g/m²：1点、中大脳動脈平均血流速度<50cm/sec：1点) はROC解析ではAUC=0.824で、最適カットオフ (2点以上) で感度80%、特異度71%であった。簡易失神再発リスクスコアを3群に層別化したところ、低リスク群 (0-1点)、中リスク群 (2-3点)、高リスク群 (4-5点) における再発率はそれぞれ13.2%、54.8%、100%であり、群間に有意差が認められた ($\chi^2=27.56$, $p<0.001$, Cramer's $V=0.525$)。

【結論】失神再発を予測する因子として若年、左室心筋重量が70g/m²未満、自律神経指標 pNN50で副交感神経優位、中大脳動脈平均血流速度 50cm/sec 未満が挙げられた。今回作成した簡易予測式は良好な性能を有し、救急外来での非心原性失神患者の再発リスク層別に有用である。また、本研究の結果は宇宙飛行士や職業パイロットの健康管理にも応用可能であると考えられる。今後、本スコアを用いた前向き研究によりエビデンスを確立するとともに、その後は早期介入や訓練プログラムの適応評価への活用が期待される。

夜勤労働者におけるコルチゾール覚醒反応と気分状態の関連

○村田 裕康¹、櫻井 歩夢²、高野 大地²、鈴木 里奈³、
堀野 雅祥⁴、松嶋 真哉¹、平澤 愛⁵、松田 剛明³、柴田 茂貴^{1,3}

¹ 杏林大学保健学部リハビリテーション学科理学療法専攻、

² 杏林大学大学院保健学専攻リハビリテーション科学分野、³ 杏林大学医学部総合医療学、

⁴ 杏林大学医学部救急医学、⁵ 杏林大学保健学部健康福祉学科

【背景】夜勤労働は航空・宇宙関連産業をはじめ、多様な分野で不可欠な勤務形態である。しかし、交代勤務や夜勤労働による概日リズムの乱れは、心血管疾患や精神疾患などの健康リスクの増加と関連している。特に心理的健康への影響は深刻であり、夜勤労働者は不安や抑うつなどの気分障害を呈する割合が高いことが報告されている。こうした心理的健康リスクには、ストレス応答を担う視床下部-下垂体-副腎 (HPA) 軸の反応性を反映するコルチゾール覚醒反応 (cortisol awakening response: CAR) が関連することが報告されている。しかし、その CAR が実際に気分状態とどのように関連するのかは十分に検討されていない。

【目的】本研究の目的は、夜勤労働者と非夜勤労働者における CAR の違いを明らかにし、さらに CAR と Profile of Mood States 2 (POMS2) を用いた気分状態との関連が勤務形態によって異なるかを検討することである。

【方法】健康成人 40 名 (夜勤群 20 名、非夜勤群 20 名) を対象とした横断研究を実施した。唾液コルチゾールは起床時、起床 30 分後、起床 60 分後、昼食前、夕方 (17 時頃)、就寝前の 6 時点で測定した。CAR は起床後 60 分までの最初の 3 時点を用いて、総分泌量を表す AUCg (area under the curve with respect to ground) を算出した。気分状態は POMS2 を用いて評価し、総合的な気分状態 (Total Mood Disturbance: TMD) を主要アウトカムとし、各尺度も副次アウトカムとして検討した。群間比較には Mann-Whitney の U 検定、相関分析にはピアソンの相関係数を用いた。

【結果】2 群間比較では、夜勤群は非夜勤群に比べて CAR-AUCg が低値を示し ($p < 0.05$)、起床時コルチゾール値も低値であった ($p < 0.05$)。TMD に有意差は認められなかった。相関分析では、夜勤群において CAR-AUCg は TMD と負の相関を認め ($\rho = -0.49, p < 0.05$)、さらに怒り - 敵意 (AH) と負の相関を認めた ($\rho = -0.52, p < 0.05$)。一方、非夜勤群においては CAR-AUCg と TMD に正の相関を認め ($\rho = 0.46, p < 0.05$)、さらに活気 (VA) および友好 (F) と負の相関を認めた (VA: $\rho = -0.53, p < 0.05$; F: $\rho = -0.52, p < 0.05$)。

【結論】夜勤労働者では HPA 軸の低反応性を反映する CAR 低下が認められ、これが気分状態と関連することが示された。本研究は、夜勤労働に伴う心理的健康リスクの一部が HPA 軸応答の変容によって説明できる可能性を示唆するものであり、航空・宇宙関連産業を含む不規則勤務者の健康管理において重要な知見を提供する。

肉眼解剖学的アプローチによるヒトの頸部静脈弁に関する研究（中間報告）

○加藤 智一^{1,2}、伊藤 英恵¹、杉村 航大²、三宅 和恵²、山元 翔太郎²、
藤井 陽介³、原田 智紀³、原 弘之³、平井 宗一³、岩崎 賢一

¹ 日本大学医学部社会医学系衛生学分野、² 日本大学大学院医学研究科宇宙航空環境医学専攻、

³ 日本大学医学部機能形態学系生体構造医学分野

【背景】微小重力環境では頭側への体液分布の偏位、すなわち体液シフト現象が生じる。体液シフト現象が生じる状況では、頸部静脈において、脳側への静脈血逆流が生じやすくなる可能性が考えられる。実際、宇宙頭痛や内頸静脈血栓症など、静脈血逆流との関連が示唆される病態が報告されている。静脈系には逆流防止機構として静脈弁が存在するが、ヒトの頸部静脈については、古典的解剖書に静脈弁の存在について記載があるものの、その存在割合や弁の形状、位置については十分に明らかにされていない。そこで本研究では、解剖学的アプローチを用いて、頸部静脈（内頸静脈、椎骨静脈、外頸静脈）の内腔を観察し、静脈弁の有無や形状を調査することを目的とした。

【方法】日本大学医学部に献体として提供された成人解剖体4体を対象（女性3体、男性1体、年齢78-100歳）とし、頭頸部に損傷や手術歴がないものを選択した（日本大学医学部倫理委員会承認：医倫承2023-17-02）。左右の内頸静脈、椎骨静脈、外頸静脈、鎖骨下静脈、腕頭静脈、上大静脈を剖出し、一つの静脈塊として摘出した。その後、顕微鏡下で、各静脈について末梢側から切開し内腔を観察し、弁の有無、形状（一尖弁・二尖弁・三尖弁）を調査した。内頸静脈は鎖骨下静脈合流部から乳様突起下端レベル（合流部から約10cm末梢）まで、椎骨静脈は腕頭静脈合流部から横突孔出口付近まで、外頸静脈は鎖骨下静脈合流部から技術的に剖出可能な末梢範囲を検索した。

【結果】内頸静脈は、全例で左右1本ずつ、計8本を観察した。8本中7本に合流部に静脈弁が存在し、1本で欠損を認めた。弁形状は7本すべてが二尖弁であった。椎骨静脈も、全例で左右1本ずつ、計8本を観察した。8本中7本に合流部に静脈弁が存在した。椎骨静脈弁が欠損していた個体は内頸静脈弁が欠損していた個体と同一だった。弁形状は7本中6本が二尖弁、1本が一尖弁であった。外頸静脈は、計13本を観察し、静脈本数は個体により2-4本と多様であった。13本すべてに合流部に静脈弁が存在した。弁形状は13本中、三尖弁1本、二尖弁8本、一尖弁4本であった。

【考察】本研究により、ヒトの頸部静脈（内頸静脈、椎骨静脈、外頸静脈）の合流部において高頻度で静脈弁が存在し、さらにその多くは二尖弁であった。このことから、ヒトの頸部静脈弁が生理学的に重要な役割を担っている可能性が考えられる。また、頸部静脈弁の存在や弁形状に個体差がみられ、特に1個体においては、片側の内頸静脈弁および椎骨静脈弁が合流部で欠損していた。今後例数を増やし、頸部静脈弁の個体差について詳細に明らかにしていく。さらに、頸部静脈弁が解剖学的に存在していても実際に静脈血の逆流防止機能として働くかについては未検討であり、今後は超音波検査等による機能評価が重要な課題である。（本研究はJSPS科研費22K15194の助成を受けたものである）

軌道上等の微小重力環境下での利用を想定した無電源点滴装置の試作と動作評価

○瀧澤 玲央^{1,2,3}、赤澤 聡⁴

¹国際医療福祉大学宇宙医学研究会、²牛久愛和総合病院、

³東京慈恵会医科大学細胞生理学講座・宇宙医学研究室、⁴AstroMedical Innovation 合同会社

背景：国際宇宙ステーション(ISS)に長期滞在する宇宙飛行士の健康管理は、フライトサーजनをはじめとする支援体制に依存しており、医療行為が必要となる場合には、可能な限り地球への帰還を前提として対応してきた。しかし、商用宇宙ステーションの建設やArtemis 計画、火星探査ミッションの進展により、宇宙飛行士以外の人間による長期滞在が想定されるため、宇宙空間における様々な体調変化に対応した緊急処置の検討が必要となっている。このような背景のもと、体液補充や薬剤投与の手段として微小重力環境下における点滴の利用が挙げられるが、液体の流動制御が非常に困難であり、重力に依存した従来の装置は使用できない。したがって、宇宙空間における安定的な薬液投与技術の確立が急務となっている。

目的：微小重力環境下での静脈内投与を可能とする簡易点滴装置の試作と、流量制御・操作性の評価を通じてその実用性を検証することを目的とする。本装置は宇宙飛行士ではなく、訓練を受けていない人間でも自律的に操作可能であることを前提とし、AI 支援や遠隔モニタリングとの連携も視野に入れた設計とする。さらに、地上における災害医療や遠隔地医療への応用可能性についても探る。

方法：市販のシリンジポンプを改良し、加圧式バッグと閉鎖型チューブ系を組み合わせた試作装置を構築した。手動による油圧ポンプにて無電源での動作による流量制御を可能とし、安定的な流量調整を実現する。地上重力下において、流量安定性と操作性を評価し、逆流防止についても検証を行った。

結果：加圧式バッグによる初期流動の確保と、バルブによる流量調整は有効に機能し、片手操作を想定した設計においても操作性は良好であった。逆流防止も有効に機能することが確認され、流量制御の精度向上にも一定の可能性が示された。

結語：本試作装置は、加圧を一定時間において保持することで、微小重力環境下でも安定した静脈内投与を可能とする点滴機構を備えており、長期宇宙滞在における医療行為の実現に寄与する技術基盤としての有用性が示された。今後は、無電源の動作が可能である特性を生かし、災害対応・在宅医療、遠隔医療への展開を含めた多領域での応用が期待される。本研究は、宇宙医療インフラの次世代化に向けた重要なステップである。

宇宙環境における自死予防とガバナンス：
民間有人宇宙飛行の規模拡大を見据えて

○村上 龍^{1,2}、三垣 和歌子^{3,4}、氏原 将奈⁵

¹ 明治国際医療大学保健医療学部救急救命学講座、² 千葉科学大学大学院危機管理学研究科、

³ 香川大学医学部臨床心理学科、⁴ 筑波大学大学院人間総合科学学術院、⁵ 淑徳大学看護栄養学部

【背景】

近年、宇宙経済は急速に拡大し、国家主導から民間主体へと移行している。2024年には世界の宇宙経済規模が6,000億ドルを超え、欧州宇宙機関の報告でも民間投資の増加が指摘されている。これにより、宇宙探査は職業宇宙飛行士に限られた領域から、より幅広い市民へ開かれつつある。しかし、この拡張には新たなリスクが伴う。自死は依然として予防可能な主要死因であり、公衆衛生上の大きな課題である。宇宙環境下では、そのリスクが地上とは異なる形で顕在化する可能性があり、自死の予防は人類の宇宙進出において看過できない課題である。

【課題】

微小重力環境下では、地上でみられる自死手段の多くは実行困難であり、銃器や薬物といった危険物も飛行前のスクリーニングで排除される可能性が高い。一方、宇宙特有の環境要因に起因する新たなリスクとして、生命維持装置や与圧区画の損傷、密閉空間での有害物質拡散などが想定され、乗員全体やミッション遂行に深刻な影響を及ぼし得る。これらは個人の健康問題にとどまらず、国際的な連携体制にも波及し得るリスクである。閉鎖隔離環境実験等に関する先行研究(三垣ら、2025 他)では、滞在初期から人間関係の緊張や心理的負荷が観察され、専門家の介入が集団の安定化に寄与したと報告されている。宇宙飛行においても心理社会的支援の重要性が示唆され、特に今後の商業有人飛行では多様な参加者を想定し、従来の体制を補完・拡張する新たなガバナンスの検討が必要である。

【提案】

我々は、Duty of Care(安全配慮義務)の観点から、宇宙での自殺予防のために以下の枠組みを提案する。第一に、多様な文化的・言語的背景を持つ人々に対応可能なリアルタイム心理支援体制を整備すること。第二に、予防的かつ慎重な閾値に基づく精神科的緊急対応プロトコルを事前に策定し、適切な段階で発動できる仕組みを確立すること。第三に、民間宇宙飛行士の選抜や訓練過程において、メンタルヘルス専門知識を組み込み、飛行前から精神的リスクを軽減する準備を行うこと。第四に、商業事業者に対する法的・倫理的責任を明確化することである。これには、メンタルヘルスリスク評価の実施、船内での危機対応能力の備え、遠隔地からの専門家による介入体制の確立などが含まれる。

【結論】

宇宙における自死予防は、単に個人の命を守るための課題ではなく、国際協力の基盤を維持し、膨大な社会的投資を保護し、地球規模で依存する宇宙インフラの安全を確保するために不可欠である。Duty of Careの観点からは、枠組みの整備にとどまらず、自死対策を含む包括的なケア体制を早期に検討・導入することが求められる。これは、人類が新たなフロンティアに進出するにあたり、公衆衛生分野における新しい挑戦になると同時に、国際的な議論を深めるべき重要なテーマである。

代謝的負荷が鍵を握るマイオカイン分泌：宇宙での運動戦略への示唆

○牧 悠之^{1,2}、橋田 竜騎^{1,2}、大本 将之^{1,2}、田島 裕之^{1,2}、
緒方 悠樹¹、松尾 重明³、高野 吉朗⁴、松瀬 博夫^{1,2}

¹久留米大学リハビリテーションセンター、²久留米大学医学部整形外科、

³久留米工業大学工学部機械システム工学科、⁴大阪芸術大学短期大学部

【はじめに】骨格筋は運動時にマイオカインを分泌し、筋骨格系だけでなく全身の健康維持に寄与する人体最大の内分泌器官である。代表的なマイオカインである IL-6 と BDNF の運動後の分泌は運動強度に依存すると報告されているが、機械的負荷の違いが運動後のマイオカイン分泌に与える影響については明らかでない。特に国際宇宙ステーションなど微小重力環境では、機械的負荷が低下するため、この問題は重要である。【目的】本研究は、健康成人男性 10 名（中央値 21 歳）を対象に、代謝的負荷を統一した条件下で異なる機械的負荷による急性マイオカイン分泌への影響を検討することを目的とした。【方法】最大酸素摂取量(Peak VO₂)の 60%で 30 分間のエルゴメータを用いた有酸素運動を、半仰臥位(Semi-Recumbent Ergometer : SRE)、または、側臥位 (Side-Lying ergometer : SLE) の姿勢で実施し、ランダム化クロスオーバー試験を行った。SLE では、重力によって下肢に加わる機械的負荷を低減する為にエルゴメータ本体を床面に対して水平方向に倒して実施した。血液サンプルを運動前、直後、30 分後、60 分後に採取し、IL-6、BDNF、乳酸を測定した。全被験者の実験は、朝食を午前 7 時に 500 kcal 摂取するよう統一し、午前 9 時に開始した。運動中は Peak VO₂ の 60%相当の強度を心拍数で管理し、必要時にペダルのワット数で負荷を調整した。統計解析は、運動後変化については、対応のある t 検定後に Bonferroni 修正を実施した。また、姿勢間比較は線形混合モデルを用いた。有意水準は $p < 0.05$ とした。

【倫理的配慮】久留米大学倫理委員会の承認を受け、本研究を実施した。【結果】SRE および SLE の両群において、運動直後には BDNF (SRE, $p=0.0024$; SLE, $p=0.024$) と乳酸 (SRE, $p=0.0072$; SLE, $p=0.0009$) が有意に増加し、さらに運動 30 分後には IL-6 が有意に増加した (SRE, $p=0.0132$; SLE, $p=0.006$)。これらの結果は、両群に共通して認められる応答であることを示している。一方で、いずれの指標においても姿勢間での有意差はなかった。【考察】姿勢に関わらず運動後に IL-6 と BDNF の分泌を認めたことから、IL-6 や BDNF の分泌は機械的負荷よりも代謝的負荷に関連している可能性がある。しかしながら、宇宙環境では筋萎縮や骨量減少が生じるため、骨格筋の構造維持には荷重刺激が不可欠であると先行研究で示されている。したがって、低重力環境における運動戦略を立案する際には、代謝的負荷を維持するだけでなく、運動目的によって機械的刺激とどのように組み合わせるかが重要であると思われる。

【結論】運動姿勢にかかわらず、代謝的負荷が同等であれば、運動後の IL-6 や BDNF の分泌も同等である可能性が示唆された。

謝 辞

第 71 回日本宇宙航空環境医学会大会開催にあたり、企業様よりご賛同、ご支援賜りました。厚く御礼申し上げます。

【スポンサー企業】

株式会社メソン

AstraMedical Innovations 合同会社

【参加企業】

株式会社ツムラ

鹿島建設株式会社

【広告】

株式会社メソン

AstraMedical Innovations 合同会社

以上、順不同

第 71 回日本宇宙航空環境医学会大会

大会長 寺田 昌弘

京都大学 理学研究科 サイエンス連携探索センター(SACRA)

宇宙学際研究グループ 特定准教授

2025 年 11 月 1 日発行
第 71 回日本宇宙航空環境医学会大会 プログラム抄録集

発行人 寺田 昌弘、増澤 諒、斉藤 良佳

発行所 日本宇宙航空環境医学会 第 71 回大会実行委員会
〒606-8502

京都市左京区北白川追分町 理学研究科 1 号館 024 号室

Tel & Fax : (075)753-3936

E-mail : jsasem-2025conference@usss.kyoto-u.ac.jp

大会公式ホームページ : <https://71jsasem.com>

MEMO

MEMO