

体力研究

体力医学研究所報告

BULLETIN OF THE PHYSICAL FITNESS RESEARCH INSTITUTE

資 料

オンラインで繋ぐ通いの場「Slow Online FiTness : SOFT」の運営実態

高橋淳太, 野田隆行, 大西真衣, 兵頭和樹, 川上諒子, 山口大輔,
西田純世, 甲斐裕子, 荒尾 孝 1

二次出版

日本の成人におけるスポーツ観戦とその後の健康・ウェルビーイングの関連性：アウトカムワイド・アプローチを用いた縦断研究— Preventive Medicineに掲載された英語論文の日本語による二次出版—

川上諒子, 北濃成樹, 藤井悠也, 神藤隆志, 甲斐裕子,
荒尾 孝 8

日本人ホワイトカラー勤労者における在宅勤務頻度と加速度計で測定した身体活動および座位行動との関連性：明治安田ライフスタイル研究の横断的分析— Journal of Physical Activity and Healthに掲載された英語論文の日本語による二次出版—

北濃成樹, 藤井悠也, 和田 彩, 川上諒子, 吉葉かおり,
山口大輔, 甲斐裕子, 荒尾 孝 30

高齢者の作業記憶と有酸素能力の関連における神経基盤：fNIRSを用いた検討— Imaging Neuroscienceに掲載された英語論文の日本語による二次出版—

兵頭和樹, 檀一平太, 神藤隆志, 新岡陽光, 長縄 尚, 向山絢子,
征矢英昭, 荒尾 孝 52

アウトリーチ型の官民連携による中小企業における健康経営の推進：横浜リンクワーカープロジェクト— Frontiers in Public Healthに掲載された英語論文の日本語による二次出版—

甲斐裕子, 藤井悠也, 高士直己, 吉葉かおり, 村松(野口) 祐子,
野田隆行, 神藤隆志, 城所哲宏, 矢島陽子, 春日潤子,
荒尾 孝 86

論文紹介 100

海外研修レポート 104

2024 年度 体力医学研究所活動報告 107

2025
MAY
No.
123

〔資 料〕

オンラインで繋ぐ通いの場 「Slow Online FiTness : SOFT」の運営実態

高橋淳太¹⁾, 野田隆行¹⁾, 大西真衣¹⁾, 兵頭和樹¹⁾, 川上諒子¹⁾,
山口大輔¹⁾, 西田純世¹⁾, 甲斐裕子¹⁾, 荒尾 孝¹⁾

Current state of the “community gathering space” implemented online for exercise programs and the issues associated with its introduction

Junta Takahashi, Takayuki Noda, Mai Onishi, Kazuki Hyodo, Ryoko Kawakami,
Daisuke Yamaguchi, Sumiyo Nishida, Yuko Kai, and Takashi Arai

要 旨

目的：体力医学研究所では、オンラインを活用した新たな通いの場の形である『Slow Online FiTness: SOFT』を開発した。SOFT は多要素の運動を含む“SOFT プログラム”を、オンラインで運動指導者と地域の通いの場を繋いで配信する“SOFT システム”を介して実施する効率的かつ効果的な通いの場である。SOFT は各通いの場で指導者を用意する必要がないため、“指導者不足”や“運営者への過度な負担”などの課題を解消できる長所を有する。これらの特徴からこの SOFT は全国の自治体の健康づくり事業、特に通いの場において活用されることが期待される。そこで本稿は、SOFT を軸とした通いの場(SOFT の場)の運営実態について調査し、実際に SOFT が地域でどのように活用されているのか、また SOFT 導入における課題は何かについて明らかにすることを目的とした。

方法：2025年2月時点において東京都八王子市内で運営されている SOFT の場を対象に、運営実態(団体の特徴、実施環境、使用機器)について活動開始時に調査票と聞き取りによる調査を行った。

結果：SOFT の場は、市内に50か所確認された。SOFT の場は多様な主体や活動場所で運営されていることが確認された。一方で、通信環境や投影機器については、活動場所の環境による影響が大きいという課題も明らかになった。

結論：SOFT は多様な運営主体によりさまざまな場所で実施されており、高齢者の新たな健康づくりの場としての意義が大きいことが確認された。今後は地域での普及拡大に向けた通信環境面などの整備を進めることが課題である。

Key words : SOFT, 通いの場, オンライン運動教室, 地域在住高齢者, 介護予防

背 景

日本では、2024年9月時点で65歳以上の人口割合が29.3%と世界最高水準に達している。この高

齢化に伴い、要介護者の増加、QOL の低下、家族の介護負担増大、医療費や介護費用の増大といった社会問題が深刻化している。そのため、我が国では健康寿命の延伸を目指した「介護予防」が

1) 公益財団法人 明治安田厚生事業団 体力医学研究所 Physical Fitness Research Institute, Meiji Yasuda Life Foundation of Health and Welfare, Tokyo, Japan.

重要視され、2014年度の介護保険法改正を契機に、「通いの場」を軸とした介護予防事業が推進されるようになった。通いの場は「高齢者が他者と繋がりながら主体的に取り組む、介護予防やフレイル予防に資する活動を行う場」などと定義され、参加率も年々上昇している¹⁾。しかし、「担い手や運動などの指導者が不足している」「運営者の負担が大きい」「活動内容がマンネリ化している」などの理由から多くの自治体が通いの場の普及拡大に苦戦しており、厚生労働省の目標である「2025年度までに通いの場の参加率を8%へ」の達成は難しい状況にある²⁾。そこで、体力医学研究所はこれらの課題を解決する新たな試みとして、オンラインを活用した新たな通いの場の形である「Slow Online FiTness: SOFT」を開発し、自治体と連携して地域への実装を進めている。本稿ではこのSOFTを軸とした通いの場(SOFTの場)の運営実態について調査し、実際にSOFTが地域でどのように活用されているのか、またSOFT導入における課題は何かについて明らかにすることを目的とした。

SOFT システムの概要

A. SOFT の構成

SOFTは多要素の運動を含む“SOFTプログラム”を、オンラインで運動指導者と地域の通いの場を繋いで配信する“SOFTシステム”を介して実施する仕組みとなっている。

1. SOFT プログラム

SOFTプログラムは準備/整理体操、脳トレ、スロートレーニング(筋力トレーニング)、スローエアロビック®(バランス運動)で構成されており、高齢者の介護予防に適した多要素の運動となっている。SOFTプログラムの指導は日本エアロビク連盟のプロの講師が担当し、会場の様子や反応を見ながら指導を行う。

※スローエアロビックは公益社団法人エアロビク連盟の登録商標です。

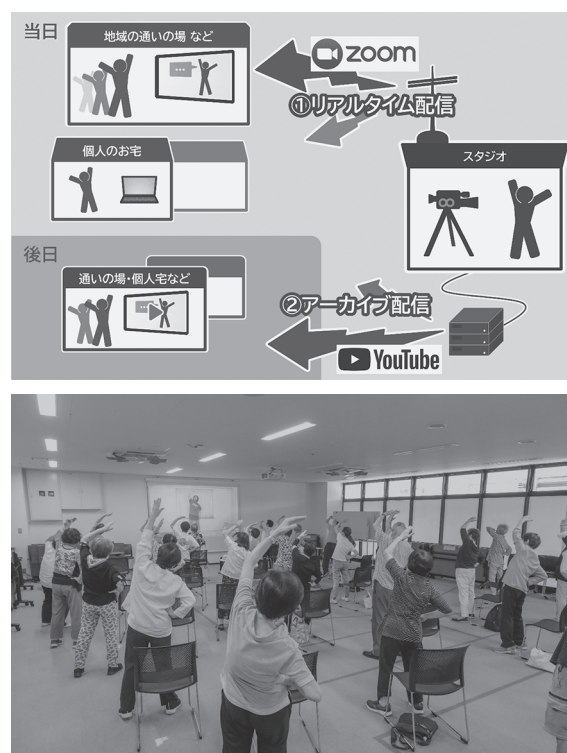


図1. SOFT 配信システムの概略図(上)と SOFT の実際の様子(下)

2. SOFT システム

SOFTシステムではリアルタイムに講師と会場を繋ぐ「①リアルタイム配信形式」と、録画したリアルタイム配信の映像をオンデマンドで配信する「②アーカイブ配信形式」がある。リアルタイム配信形式ではWeb会議サービスのZoom(Zoom Video Communications Inc., USA)を、アーカイブ配信形式ではオンライン動画共有プラットフォームのYouTube(Google LLC., USA)を活用して通いの場と講師を繋ぎ、地域の会場や自宅からプロの講師によるSOFTプログラムを受けることが可能なシステムとなっている(図1)。また、どうしてもオンライン環境を準備するのが難しい団体では、SOFTプログラムの指導映像を記録したDVDを活用し、通いの場の活動を行っている。

なお、COVID-19流行下において、高齢者(平均77.6歳)に自宅でSOFTを実施してもらった結果、高い遵守率(97.4%)や楽しさ、安全性があることを検証した³⁾。現在、SOFTによる健康アウトカムへの効果も検討中である。

B. SOFT の使用機器

通いの場で SOFT を実施するためには、オンラインに接続する通信環境(Wi-Fi など)や再生機器(スマートフォンやパソコンなど)、投影機材(プロジェクターやテレビなど)などが必要となる。

C. SOFT の運営上の利点

SOFT を用いた通いの場の運営における利点として、以下の点が挙げられる。

1. 運営者への負担軽減

運営者にとって、自ら運動を指導する、もしくは毎回講師を準備する必要がないため、通いの場の運営にかかわる負担が軽減される。

2. 行政の負担軽減

行政にとっては、運動指導ができる住民リーダーを養成する必要がないことから、「担い手や運動などの指導者が不足している」といった課題が解決される。

3. プログラムの可変性

講師に変更点を伝えるだけで運動プログラムや指導の内容を変更することができる(可変性がある)ため、定期的に運動種目などを入れ替えたりすることで「活動内容のマンネリ化」への対策を講じることができる。また、介入を行った結果や地域の課題を踏まえた運動プログラムや指導方法の修正が可能のため、より効果的な内容に常にアップデートしていくことが可能である。

4. 多様なコンテンツ

現状では SOFT システムで配信しているコンテンツは運動に関するプログラムのみであるが、将来的には栄養や口腔のプログラム、ご当地体操などの多様なコンテンツを、本システムを介して配信することが可能である。多様なコンテンツを用意することで、介護予防の効果向上や多くの参加者の取り込みなどに繋がることが期待できる。

5. オンラインでの地域基盤

SOFT システムではオンラインで地域の通いの場と行政が繋がることができるため、オンラインでの新たな地域基盤を構築することが可能である。このオンラインでの地域基盤はさまざまな活用方法が考えられ、例えば行政からのお知らせを各通

いの場に効率的に配信することや通い場同士の交流・情報交換を行うなどの活用方法が考えられる。

調査方法

A. 調査の対象と方法

1. 調査対象

2025年2月時点で、東京都八王子市内で活動している SOFT の場およびその運営者を対象とした。なお、本稿では SOFT の場の運営実態を調査するため、行政関連機関や民間法人が主体の団体についても住民主体の団体と並列的に扱った。

2. 調査方法

体力医学研究所の実装担当者2名が通いの場の立ち上げの支援を行っており、担当者が各通いの場の活動開始時に調査票と聞き取りにより情報を取得した。なお、情報に欠損があった団体については、後日団体の運営者に電話や対面で情報を聴取した。

B. 調査項目

1. SOFT の場を運営している団体の特徴

- 1) 通いの場の運営主体(高齢者サロン、自治会/町会、行政関連機関、介護関連施設・事業所、民間法人)
- 2) 活動頻度(週2回、週1回、月2～3回、月1回)
- 3) 参加費の有無

2. SOFT の実施環境および配信形式

- 1) 活動場所(地域集会所、集合住宅集会所、行政関連機関、民間施設、高齢者施設、その他)
- 2) 通信環境(個人のスマートフォン、団体が契約した Wi-Fi、行政関連機関が契約した Wi-Fi、活動している施設の Wi-Fi、未使用)
- 3) 配信形式(アーカイブ配信、リアルタイム配信、DVD)

3. SOFT の使用機器とその所有元

- 1) 再生機器(パソコン/タブレット、スマートフォン、DVD プレーヤー)
- 2) 再生機器の所有元(個人、団体、行政関連機関、施設、体力医学研究所からの貸与)
- 3) 投影機材(プロジェクター、テレビ、その他)

- 4) 投影機材の所有元(個人, 団体, 行政関連機関, 施設)
- 5) 音響機器(テレビ, プロジェクター, スピーカー, その他)
- 6) 音響機器の所有元(個人, 団体, 行政関連機関, 施設)

結果と考察

A. SOFT の場を運営する団体の特徴

2022年10月からの2年5か月間で、介入地域においてSOFTを導入した通いの場が新たに50か所開設された。この結果は、全国自治体の通いの場の数(中央値17か所)と比較すると、介入地域で通いの場が急速に増加したことを示している。また、SOFTの場の運営主体は、高齢者サロンと自治会/町会で60%、行政関連機関が32%、介護関連施設・事業所と民間法人がそれぞれ4%であった(図2A)。厚生労働省の資料¹⁾では、従来の通いの場の運営主体は住民個人と住民団体に88.5%、行政関連機関が8.4%、介護関連施設・事業所が0.8%、民間企業が0.4%となっており、それと比較するとSOFTの場は住民主体の団体だけでなく、

多様な主体によって運営されていることが明らかになった。活動頻度は週2回が2%、週1回が38%、月2～3回が34%、月1回が26%であった(図2B)。厚生労働省の資料¹⁾と比較すると、週1回以上では本結果(40%)は全国(38.9%)と同程度であったが、月に2～3回(34%)では全国(23.7%)よりも多く、SOFTを実施する団体では比較的高頻度に活動を行っていることが明らかとなった。また、参加費の有無については、ほとんどが徴収していなかった(図2C)。

これらの結果は、SOFTでは毎回運動の指導者を準備する必要がないことから、多様な運営主体が通いの場を運営可能となったことや従来の通いの場の課題(運営者の負担や担い手不足)を克服できたことにより、通いの場の運営がしやすくなったことを反映していると考えられる。

B. SOFTの実施環境と使用機器

活動場所：地域集会場が42%と最も多く、次いで集合住宅集会場、行政関連施設、民間施設、高齢者施設、その他の順で多かった(図3A)。民間施設ではスーパーのイートインコーナーや斎場などで実施されている例が確認された。また、その

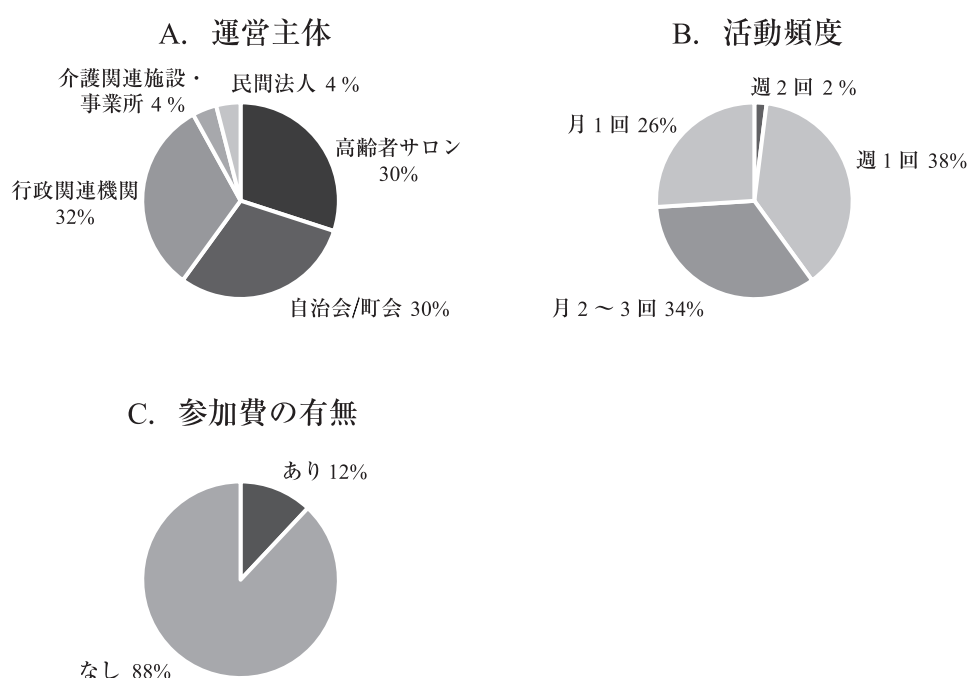


図2. SOFT実施団体の特徴

A. 運営主体, B. 活動頻度, C. 参加費の有無

他の場所としては個人宅や病院の集会場などで活動している団体が確認された。このように、SOFT の活動場所は地域の集会場だけでなく、さまざまな場所で行われている実態が明らかとなった。SOFT では実施環境さえ整えば比較的負担の少ない通いの場の運営が可能であるため、多様な運営主体がさまざまな場所で行っていたものと考えられる。多様な場所で行えることは、通いの場数や参加者数の更なる増加に繋がることが期待できる。

通信環境：活動施設に設置されている施設 Wi-Fi が64%と大半を占めており、行政関連機関以外の団体が自ら準備している割合は12%のみであった(図 3 B)。このことから、SOFT が実施できるかどうかは活動場所の通信環境に依存しているという課題が明らかとなった。

配信形式：最も利用されているのはアーカイブ配信で全体の72%を占めていた(図 3 C)。アーカイブ配信は時間を問わず指導映像を見ることができ、通いの場の活動時間がリアルタイム配信時間と一致しない場合に多く利用されていた。一方で、リアルタイム配信を利用している団体は22%程度であり我々の想定よりも少ない割合で

あった。リアルタイム配信は週2.5回(月曜 AM, 火曜 AM, 隔週木曜 AM)行われていたが、このような固定された時間帯での配信では運営者や参加者にとって利用や参加が困難であった可能性が考えられる。これらより、SOFT を多くの通いの場で導入していくためには、リアルタイム配信だけでなくアーカイブ配信も組み合わせた運用が必要と思われる。

使用機器：再生機器は PC やタブレットが多く、個人や団体、行政関連機関が所有するものがほとんどであった(図 4 A, B)。投影機器と音響機器は施設の備品であるプロジェクターやテレビが主に使用されていた(図 4 C, D, E, F)。このことから、SOFT の使用機器のうち、投影機器と音響機器は活動場所の施設環境に依存しているという課題が明らかとなった。

以上より、SOFT の利点として多様な場所で行えることやニーズに合わせた配信形式が選べることが示されたものの、通信環境や一部の使用機器が活動場所の環境に依存しているといった課題が明らかとなった。地域に SOFT を普及・拡大させるには、自治体による地域資源の把握や情報提供、SOFT の実施に活用できる補助金の整備な

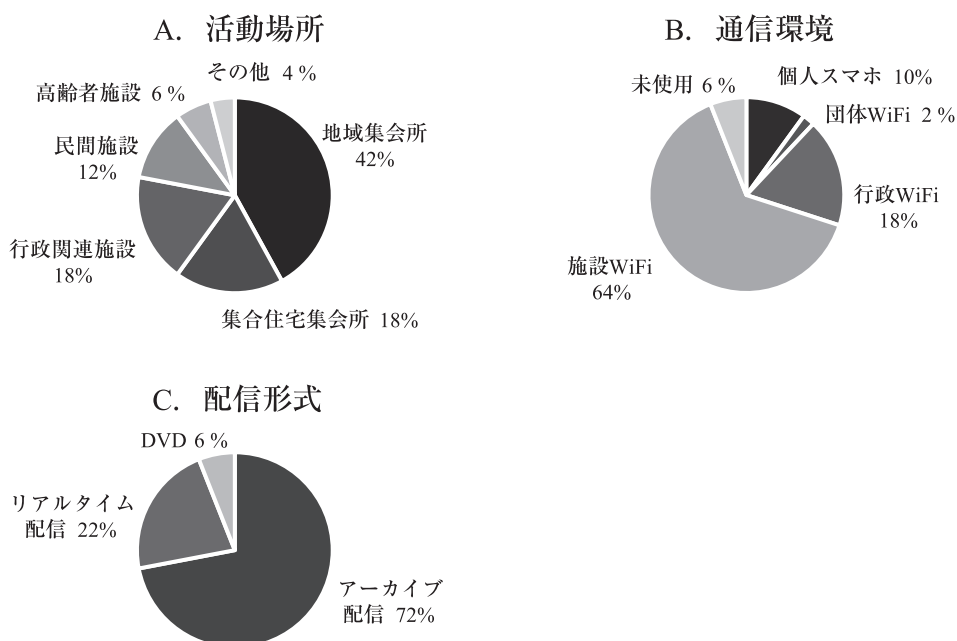


図 3. SOFT の実施環境および配信形式
A. 活動場所, B. 通信環境, C. 配信形式

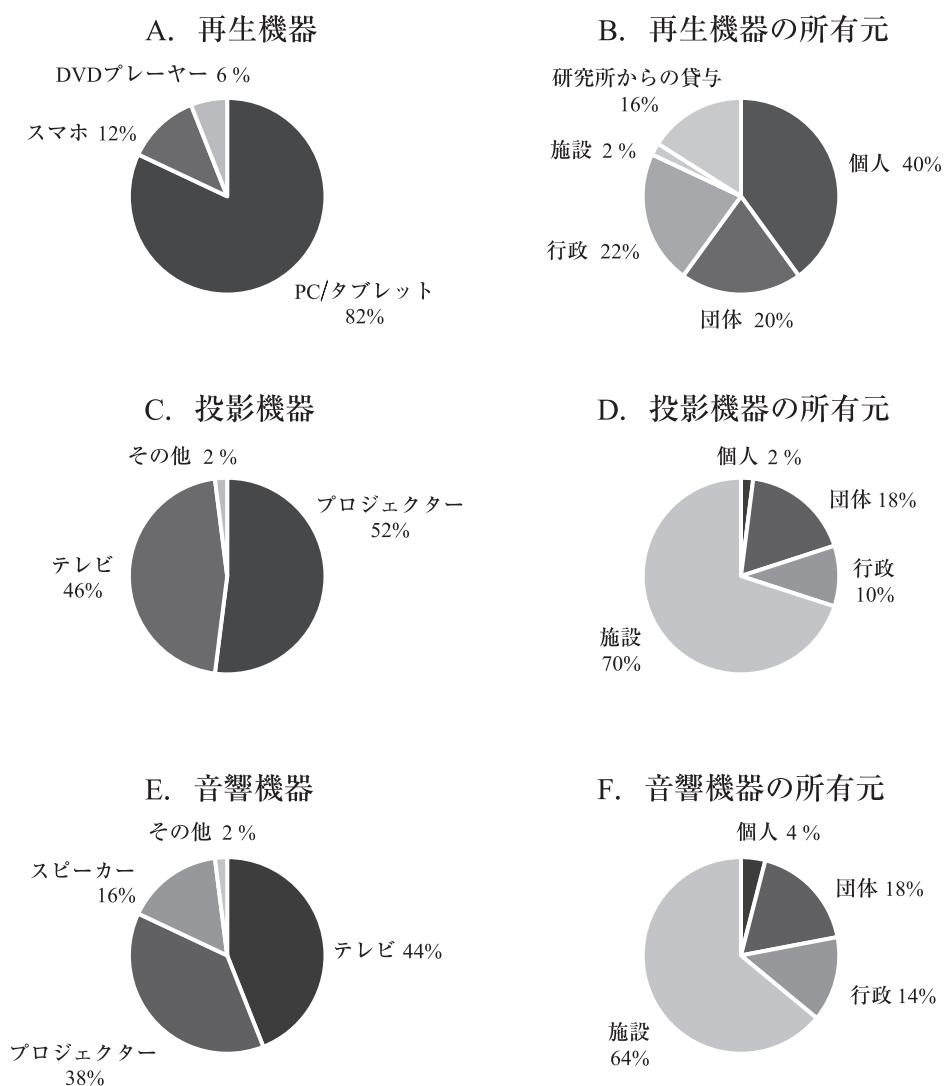


図4. SOFTの使用機器と所有元

A. 再生機器, B. 再生機器の所有元, C. 投影機器, D. 投影機器の所有元, E. 音響機器, F. 音響機器の所有元

が必要になると思われる。

総 括

本稿ではオンラインを活用した新たな通いの場であるSOFTについて、実際にSOFTを実施している団体を調査し、その運営実態を報告した。SOFTは地域で受け入れられやすく、さまざまな場所で多様な主体による運営が可能であることが明らかとなった。しかしその一方で、通信環境や投影・音響機器が活動場所の環境に依存しているといった課題も明らかとなった。今後、このSOFTの更なる拡大を図るためには、地域資源の

把握や情報の見える化、SOFTへの使用を前提とした補助金の準備、更には公共施設等の通信環境の整備などを自治体と協力しながら進めていく必要があると思われる。

参 考 文 献

- 1) 厚生労働省. 介護予防・日常生活支援総合事業(地域支援事業)の実施状況(令和4年度実施分)に関する調査結果. 2022. URL: https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000141576_00011.html (アクセス日: 2025年3月12日)
- 2) 厚生労働省. 通いの場の課題解決に向けたマニュアル Ver.1. 2023. URL: <https://www.mhlw.go.jp/content>

- /001244024.pdf (アクセス日 : 2025年 3 月12日)
- 3) Hyodo K, Kidokoro T, Yamaguchi D, Iida M, Watanabe Y,
Ueno A, Noda T, Kawahara K, Nishida S, Kai Y, Arao T.

Feasibility, safety, enjoyment, and system usability of web-based aerobic dance exercise program in older adults: single-arm pilot study. JMIR Aging. 2023; 6: e39898.

〔二次出版〕

日本の成人におけるスポーツ観戦とその後の健康・ウェルビーイングの 関連性：アウトカムワイド・アプローチを用いた縦断研究 —Preventive Medicine に掲載された 英語論文の日本語による二次出版—

川上諒子¹⁾，北濃成樹¹⁾，藤井悠也¹⁾，神藤隆志^{1,2)}，甲斐裕子¹⁾，荒尾 孝¹⁾

SUMMARY

目的：スポーツをすることの健康効果についてはよく知られているが，スポーツ観戦と健康の関連についてはよくわかっていない。我々は，スポーツ観戦と20種類の健康・ウェルビーイングに関するアウトカムとの関連性を縦断的に検討した。

方法：明治安田ライフスタイル研究に参加した成人6327人(勤労者4851人)の3時点コホートデータを用いて因果関係を推定した。2018年に，メディアまたは現地でのスポーツ観戦頻度を自記式質問票で評価した。2019年に，健康行動指標，身体的指標，精神的指標，仕事関連指標などのアウトカムを評価した。2017年における社会人口学的因子，スポーツ観戦頻度，アウトカム指標を評価し，共変量として用いた。各アウトカム変数に対応する3種類の統計モデル(ロジスティック回帰，修正ポアソン回帰，線形回帰)を用いて解析した。

結果：メディアでのスポーツ観戦頻度が多い人ほど，身体活動不足や朝食欠食になるリスクが低く，幸福感が高かった(トレンド検定 $P < 0.05$)。その一方で，高BMI，高血圧や糖尿病になるリスクは高かった(トレンド検定 $P < 0.05$)。また，現地でのスポーツ観戦頻度が多い人ほど，生活習慣の改善に対して無関心になるリスクが低く，心理的高ストレス状態や脂質異常症になるリスクが低かった(トレンド検定 $P < 0.05$)。

結論：スポーツ観戦と心代謝性疾患の間で好ましくない関連が認められたことについては慎重な解釈や更なる研究が必要であるが，本研究結果はスポーツ観戦が健康的な生活習慣の獲得や精神的なウェルビーイングを向上させるための新しい修正可能な因子となり得ることを示唆している。

Key words: コホート研究，疫学，幸福，メンタルヘルス，観客，観賞

背 景

スポーツ観戦は我々の生活に大きな影響を与えている。オリンピックやパラリンピック，ワールド

ドカップなどの数多くのスポーツイベントが世界中で定期的に行われている。2019年のナショナル・フットボール・リーグのレギュラーシーズンにおける総入場者数は約1700万人であった¹⁾。ま

1) 公益財団法人 明治安田厚生事業団 体力医学研究所 Physical Fitness Research Institute, Meiji Yasuda Life Foundation of Health and Welfare, Tokyo, Japan.

2) 大阪教育大学 表現活動教育系 Division of Art, Music, and Physical Education, Osaka Kyoiku University, Osaka, Japan.

本論文は以下の論文を忠実に日本語翻訳した二次出版です。引用を行う場合には原典を確認のうえ，下記を引用してください。

Kawakami R, Kitano N, Fujii Y, Jindo T, Kai Y, Arai T. Association of watching sports games with subsequent health and well-being among adults in Japan: an outcome-wide longitudinal approach. Preventive Medicine. 2024; 189: 108154.

た、2016年のリオ・オリンピックの少なくとも一部の放送を世界人口のおおむね半数が視聴した²⁾。

スポーツをすることを含めた身体活動の健康への有効性については十分に実証されている^{3,4)}。しかしながら、アスリートの卓越したスキルや情熱的なプレーに興奮・感動した経験がある人は多いにもかかわらず、スポーツ観戦が健康に与える影響についてはほとんど知られていない。横断研究や短期間の実験研究ではあるものの、これまでにいくつかの研究において、スポーツ観戦と健康・ウェルビーイング指標との間に良好な関連があることが報告されている。例えば、スポーツ観戦は一般成人における主観的健康⁵⁾および生活充実感⁶⁾が高いことや、高齢者における抑うつ症状の低い有病率⁷⁾と関連することが報告されている。特定のスポーツ観戦を対象とした研究によると、プロ野球観戦が抑うつ症状の低下⁸⁾や主観的幸福感の向上⁹⁾と関連したことが報告されている。特定のスポーツイベントの有益な側面についてはあまり知られていないが、最近の研究によると、人気のないスポーツ(テニスやゴルフなど)に比べて、人気のあるスポーツ(野球やサッカーなど)では観戦による楽しみや活力への潜在的な効果がより顕著である可能性が示されている⁶⁾。反対に、観戦による悪影響についての研究も報告されている。具体的には、メタ解析においてフットボール試合後の心血管イベントの増加が認められている¹⁰⁾。これらの先行研究は、スポーツ観戦が健康・ウェルビーイングの広範囲に影響を及ぼし、その影響はアウトカム領域によって異なる可能性があることを示唆している。しかしながら、スポーツ観戦の影響に関するエビデンスは限られており、先行研究の多くは横断的デザインであり、健康・ウェルビーイングの1つまたは少ない領域のみに焦点が当てられている。

1つの曝露が複数のアウトカムに与える因果効果を同時に検討するアウトカムワイド・アプローチと呼ばれる新しい因果推論手法^{11,12)}は、スポーツ観戦と健康の関連を検討するのに適している。このアプローチでは、同一研究内で多種多様なア

ウトカムに対する効果量を直接比較することができ、いくつかのアウトカムには有益な影響を及ぼすが、他のアウトカムには有害な影響を及ぼす可能性のある曝露の健康影響を理解するうえで特に有用である。我々は、複数領域にわたる20種類のアウトカムによるアウトカムワイド・アプローチを用いて、メディアや現地でのスポーツ観戦とその後の健康・ウェルビーイングの縦断的な関連を包括的に検討した。本研究によって、スポーツ観戦が健康・ウェルビーイングに与える潜在的な影響を明らかにできれば、健康増進の戦略というスポーツ観戦の新たな価値を加えられるだろう。

方 法

A. 参加者

本縦断研究は、明治安田ライフスタイル研究(MYLS スタディ[®])と呼ばれる前向きコホート研究の一部であり^{13,14)}、健康診断の二次データを用いたものである。研究参加者は、明治安田新宿健診センターで定期健康診断を受けた成人である。多くは首都圏とその周辺在住の勤労者であった。

我々はMYLS スタディ[®]の3時点データ、すなわち2017年、2018年、2019年に収集されたデータを使用した。2017年(プレ・ベースライン時点)に、我々は11870人(勤労者8309人)から、社会人口学的因子や生活習慣因子(スポーツ観戦習慣に関する情報を含む)、心代謝系の健康状態、労働関連指標、主観的幸福感に関するプレ・ベースラインデータを収集した。2018年(ベースライン時点)に、プレ・ベースラインと同じ情報のベースラインデータを収集したところ、8296人(勤労者6092人)が1年後調査を完了した。そして2019年(追跡時点)に、6701人(勤労者5123人)からアウトカムに関する追跡データを収集した。最終的に、参加辞退者を除いた6327人(追跡率53.3%) [勤労者4851人(追跡率58.4%)]が分析対象となった。図1には本研究の参加者リクルートのフローチャートを示した。

B. 測定

参加者は健康診断の受診日までに、社会人口学

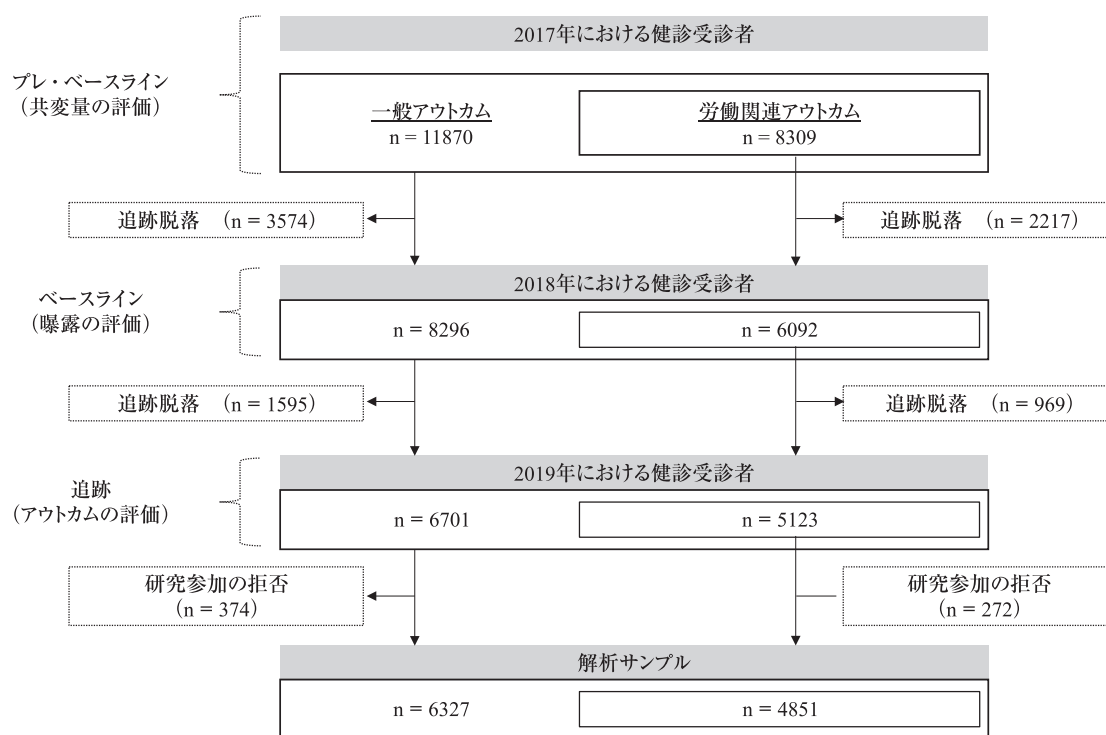


図1. 2017年から2019年における参加者リクルートのフローチャート

的因子、健康行動、メンタルヘルス、主観的幸福感、労働関連指標に関する自記式質問票に回答した。Body mass index (BMI) や心代謝系の健康状態の評価には参加者の健康診断の結果を用いた。分析に使用した項目の時間的流れに関する図を補足図1に示した。

1. スポーツ観戦習慣

参加者はスポーツ観戦習慣についての2つの質問に回答した。1つ目の質問は、メディアでのスポーツ観戦についてであり、「最近1か月間にテレビ、ラジオ、インターネットで試合を観戦しましたか？（ニュースで映像を少し見た等は除く）」という内容であった。参加者は5つの選択肢から該当するものを1つ回答した（観戦しなかった、月に1～3日、週に1日、週に2日、週3日以上）。2つ目の質問は、スタジアムやアリーナなどの会場でのスポーツ観戦についてであり、「ここ1年間に直接現地で試合を観戦しましたか？」という内容であった。参加者は5つの選択肢から該当するものを1つ回答した（観戦しなかった、年に1日、年に2～3日、年に4～5日、年に6日以上）。スポーツ観戦の例として、Jリー

グ、プロ野球、大相撲、ゴルフ、オリンピック、甲子園野球などが挙げられた。分析において統計的な検出力を確保するために、スポーツ観戦の頻度をメディア（観戦しなかった、月に1～3日、週に1日以上）または現地（観戦しなかった、年に1日、年に2日以上）で3群に再分類した。

2. アウトカム

健康・ウェルビーイングに関する20種類のアウトカムを用いて追跡時点（2019年）に収集したデータを分析した。アウトカムには、健康行動（主観的睡眠の質、食習慣や運動習慣の行動変容ステージ、歩行速度、運動習慣、身体活動、遅い食事、早食い、朝食欠食、喫煙、飲酒）、身体的健康（BMI、高血圧、糖尿病、脂質異常症、主観的健康感）、精神的健康（中等度および重度の心理的ストレス）、主観的ウェルビーイング（幸福感）、労働関連ウェルビーイング（仕事のパフォーマンス、ワーク・エンゲイジメント）が含まれた。アウトカムワイド・アプローチを用いて、身体的・精神的な健康や、健康行動、ウェルビーイングに対する曝露の影響を検討するためにこれらのアウトカムが選定された¹²⁾。補足表1に各アウトカム評価

の詳細を記載した。

3. 共変量

すべての共変量はプレ・ベースライン時点(2017年)に評価された(曝露の1年前でアウトカム評価の2年前)。共変量には、年齢(連続変数)、性別(男性/女性)、婚姻状況(既婚/未婚)、世帯構成(独居/群居)、教育歴(13年未満/以上)、暮らし向き(不良/良好)、仕事(有/無)、服薬数(高血圧、糖尿病、脂質異常症、高尿酸血症、睡眠障害; 連続変数)が含まれた。因果の逆転の可能性を弱めるために、プレ・ベースライン時点(2017年)におけるスポーツ観戦習慣とアウトカム値も調整した¹²⁾。

C. 統計解析

縦断的なアウトカムワイド・アプローチを用いて、1つの曝露が複数のアウトカムに及ぼす影響を包括的に評価した。このアプローチの利点や3時点データの活用に関する詳細な説明は解説論文が参照できる¹²⁾。

スポーツ観戦習慣(2018年)と各アウトカム(2019年)との関連を明らかにするために、各アウトカム変数に対応する3種類の回帰モデルを使用した。1)まれな該当率(10%未満)の二値アウトカムについてはロジスティック回帰を、2)該当率が多い(10%以上)二値アウトカムについてはロバスト標準誤差を用いた修正ポアソン回帰を、3)連続値アウトカムについては線形回帰を用いた。例えば、重度の心理的ストレス(該当率<10%)にはロジスティック回帰を用い、身体活動不足(該当率>10%)には修正ポアソン回帰を用いた。二値アウトカムに対してオッズ比およびリスク比を推定した。すべての連続値アウトカムは標準偏差変化として効果量を解釈するために標準化した。各モデルではプレ・ベースライン時点のすべての共変量を含めた(労働関連アウトカムについては解析対象者の全員が勤労者であるため仕事の共変量をモデルから除外して解析した)。スポーツ観戦習慣を順序尺度(0:観戦しなかった, 1:中頻度観戦, 2:高頻度観戦)としてモデルに投入することで傾向性の検定も行った。

効果推定値の統計学的有意性をボンフェローニの補正前($P < 0.05$)と補正後($P = 0.05/20$ アウトカム: $P < 0.0025$)の両方で報告した。有意な所見を検出し損ねるリスクや多様で常に進化する多重検定に関する慣行のため¹⁵⁾、結果を解釈するための主要な尺度にはボンフェローニ補正を用いなかった。すべての解析にはRバージョン4.2.2を用いた。

1. 欠損値の処理

曝露やアウトカム、共変量のすべての欠損値を代入するため、miceパッケージを用いて連鎖方程式による多重代入を行った¹⁶⁾。代入した20個の各データセットを用いて解析した後、Rubinの法則を用いて結果が統合された。プレ・ベースライン時点と解析サンプルの回答者特性の比較を補足表2に示した。

2. 感度解析

いくつかの追加解析を行った。1つ目に、未知や未測定の交絡因子に対する効果推定値の頑健性を評価するためスポーツ観戦習慣と各アウトカム間のE-valueを算出した¹⁷⁾。2つ目に、運動習慣はスポーツ観戦習慣とアウトカムの関連における重要な交絡因子であるため⁷⁾、運動習慣を追加で調整した分析を行った。3つ目に、完全ケースに基づく解析を行った。

結 果

A. 参加者特性

プレ・ベースライン時点における参加者特性を表1に示した。研究参加者の平均年齢は50.7歳、女性が48.9%、既婚者が71.8%、教育歴が大学レベル以上の者は81.7%、勤労者が76.7%であった。週1日以上メディアでスポーツ観戦をしている人は27.8%で、年に2日以上現地でスポーツ観戦をしている人は21.7%であった。

B. スポーツ観戦とアウトカムの関連

スポーツ観戦と20種類の健康・ウェルビーイングとの縦断的な関連性について、共変量で調整後の結果を、メディア観戦は表2に、現地観戦は表3に示した。

テレビやインターネットなど、メディアでのス

表1. スポーツ観戦状況別にみたブレ・ベースライン時点(2017年)における参加者特性

特性	全体 (n = 6327)	メディアでのスポーツ観戦			P 値	現地でのスポーツ観戦			P 値
		観戦しない (n = 2360)	1～3日/月 (n = 1736)	1日/週以上 (n = 1580)		観戦しない (n = 3706)	1日/年 (n = 724)	2日/年以上 (n = 1230)	
社会人口学的因子									
年齢, 平均(SD), 歳	50.7 (10.9)	50.6 (9.2)	52.1 (9.1)	55.3 (9.8)	<0.001	52.9 (9.8)	51.8 (9.3)	50.9 (8.7)	<0.001
女性, n(%)	3097/6327 (48.9)	1392/2360 (59.0)	835/1736 (48.1)	561/1580 (35.5)	<0.001	1959/3706 (52.9)	351/724 (48.5)	465/1230 (37.8)	<0.001
既婚, n(%)	4045/5633 (71.8)	1530/2309 (66.3)	1247/1704 (73.2)	1217/1547 (78.7)	<0.001	2546/3629 (70.2)	530/714 (74.2)	907/1203 (75.4)	0.001
独居, n(%)	893/5540 (16.1)	433/2259 (19.2)	242/1682 (14.4)	203/1530 (13.3)	<0.001	582/3569 (16.3)	109/704 (15.5)	189/1184 (16.0)	0.850
教育歴<13年, n(%)	1018/5556 (18.3)	433/2275 (19.0)	301/1679 (17.9)	260/1533 (17.0)	0.258	723/3580 (20.2)	118/700 (16.9)	152/1193 (12.7)	<0.001
苦しい暮らし向き, n(%)	1345/5603 (24.0)	598/2294 (26.1)	399/1692 (23.6)	325/1545 (21.0)	0.002	906/3606 (25.1)	152/709 (21.4)	266/1202 (22.1)	0.025
勤労者, n(%)	4851/6327 (76.7)	2019/2360 (85.6)	1479/1736 (85.2)	1290/1580 (81.6)	0.002	3028/3706 (81.7)	641/724 (88.5)	1104/1230 (89.8)	<0.001
服薬数, 平均(SD)	0.5 (0.8)	0.5 (0.8)	0.5 (0.9)	0.7 (0.9)	<0.001	0.5 (0.9)	0.5 (0.9)	0.5 (0.9)	0.405
健康行動									
不良な睡眠の質, n(%)	2400/5751 (41.7)	1055/2360 (44.7)	738/1735 (42.5)	576/1578 (36.5)	<0.001	1542/3703 (41.6)	317/723 (43.8)	505/1230 (41.1)	0.458
行動変容ステージが無関心期, n(%)	1224/6323 (19.4)	525/2360 (22.2)	292/1736 (16.8)	293/1580 (18.5)	<0.001	776/3706 (20.9)	140/724 (19.3)	188/1230 (15.3)	<0.001
遅い歩行速度, n(%)	2802/6324 (44.3)	1129/2360 (47.8)	764/1736 (44.0)	625/1580 (39.6)	<0.001	1666/3706 (45.0)	305/724 (42.1)	540/1230 (43.9)	0.350
運動習慣なし, n(%)	4859/6323 (76.8)	1909/2360 (80.9)	1340/1736 (77.2)	1064/1579 (67.4)	<0.001	2872/3706 (77.5)	538/724 (74.3)	888/1229 (72.3)	0.001
身体活動不足, n(%)	3561/6324 (56.3)	1408/2360 (59.7)	976/1736 (56.2)	831/1580 (52.6)	<0.001	2120/3706 (57.2)	408/724 (56.4)	670/1230 (54.5)	0.245
遅い食事, n(%)	2076/6324 (32.8)	771/2360 (32.7)	582/1736 (33.5)	460/1580 (29.1)	0.015	1098/3706 (29.6)	258/724 (35.6)	448/1230 (36.4)	<0.001

早食い, n (%)	1948/6324 (30.8)	746/2360 (31.6)	520/1736 (30.0)	476/1580 (30.1)	0.445	1106/3706 (29.8)	238/724 (32.9)	394/1230 (32)	0.142
朝食欠食, n (%)	1282/6324 (20.3)	453/2360 (19.2)	329/1736 (19.0)	261/1580 (16.5)	0.079	655/3706 (17.7)	160/724 (22.1)	228/1230 (18.5)	0.019
喫煙者, n (%)	1188/6324 (18.8)	403/2360 (17.1)	326/1736 (18.8)	327/1580 (20.7)	0.016	668/3706 (18.0)	124/724 (17.1)	262/1230 (21.3)	0.021
飲酒, 平均(SD), g/日	12.8 (17.6)	10.6 (16.2)	14.5 (18.4)	15.2 (18.9)	<0.001	11.5 (16.8)	15.2 (19.4)	16.7 (19.1)	<0.001
身体的健康									
BMI, 平均(SD), kg/m ²	22.9 (3.7)	22.6 (3.7)	23.0 (3.5)	23.4 (3.6)	<0.001	22.7 (3.6)	23.2 (3.7)	23.5 (3.6)	<0.001
高血圧, n (%)	1946/6327 (30.8)	605/2360 (25.6)	585/1736 (33.7)	645/1580 (40.8)	<0.001	1142/3706 (30.8)	251/724 (34.7)	437/1230 (35.5)	0.003
糖尿病, n (%)	1166/5876 (19.8)	425/2342 (18.1)	311/1727 (18.0)	396/1575 (25.1)	<0.001	748/3683 (20.3)	141/719 (19.6)	240/1226 (19.6)	0.814
脂質異常症, n (%)	1596/6179 (25.8)	536/2360 (22.7)	459/1736 (26.4)	507/1580 (32.1)	<0.001	939/3706 (25.3)	204/724 (28.2)	356/1230 (28.9)	0.025
不良な主観的健康感, n (%)	1587/5611 (28.3)	742/2314 (32.1)	456/1689 (27.0)	372/1538 (24.2)	<0.001	1062/3616 (29.4)	182/705 (25.8)	319/1204 (26.5)	0.047
メンタルヘルス・ウェルビーイング									
中等度の心理的ストレス, n (%)	1463/6327 (23.1)	668/2360 (28.3)	438/1736 (25.2)	341/1580 (21.6)	<0.001	978/3706 (26.4)	184/724 (25.4)	276/1230 (22.4)	0.022
重度の心理的ストレス, n (%)	124/6327 (2.0)	75/2360 (3.2)	25/1736 (1.4)	23/1580 (1.5)	<0.001	87/3706 (2.3)	15/724 (2.1)	21/1230 (1.7)	0.402
高い幸福感, n (%)	2770/5734 (48.3)	1067/2354 (45.3)	865/1734 (49.9)	807/1575 (51.2)	<0.001	1761/3699 (47.6)	361/720 (50.1)	612/1228 (49.8)	0.245
労働関連アウトカム									
仕事のパフォーマンス, 平均(SD)	5.8 (1.7)	5.7 (1.8)	5.9 (1.6)	6.0 (1.6)	<0.001	5.8 (1.7)	5.7 (1.7)	6.0 (1.6)	0.027
ワーク・エンゲイジメント, 平均(SD)	2.9 (1.4)	2.7 (1.4)	3.0 (1.3)	3.1 (1.3)	<0.001	2.9 (1.4)	3.0 (1.3)	3.1 (1.3)	<0.001

BMI : body mass index, SD : standard deviation (標準偏差)

非代入データに基づき作成。連続変数は平均(SD), カテゴリーデータは人数(%)で示す。

P値について, 連続変数はクラスカル・ウォリス検定, カテゴリーデータはPearsonのカイ2乗検定を用いて算出

表2. メディアでのスポーツ観戦(2018年)とその後の健康・ウェルビーイング(2019年)の関連性

アウトカム	メディアでのスポーツ観戦					トレンド
	観戦しない	1 ～ 3 日/月		1 日/週以上		検定 P 値
		RR/OR/β	(95% 信頼区間)	RR/OR/β	(95% 信頼区間)	
一般アウトカム						
健康行動						
不良な睡眠の質	1 [Reference]	1.04	(0.98 – 1.11)	1.04	(0.96 – 1.13)	0.260
行動変容ステージが無関心期	1 [Reference]	0.87	(0.77 – 0.99)	0.90	(0.77 – 1.05)	0.130
遅い歩行速度	1 [Reference]	0.96	(0.91 – 1.01)	0.98	(0.92 – 1.05)	0.479
運動習慣なし	1 [Reference]	0.98	(0.95 – 1.01)	0.97	(0.93 – 1.00)	0.073
身体活動不足	1 [Reference]	0.93	(0.88 – 0.99)	0.94	(0.88 – 1.00)	0.038
遅い食事	1 [Reference]	0.96	(0.89 – 1.04)	0.97	(0.88 – 1.06)	0.450
早食い	1 [Reference]	1.02	(0.96 – 1.09)	0.96	(0.89 – 1.05)	0.439
朝食欠食	1 [Reference]	0.88	(0.80 – 0.98)	0.85	(0.75 – 0.96)	0.008
喫煙	1 [Reference]	0.99	(0.93 – 1.05)	1.00	(0.94 – 1.07)	0.934
飲酒	0 [Reference]	0.01	(– 0.03 – 0.04)	– 0.02	(– 0.06 – 0.02)	0.380
身体的健康						
BMI	0 [Reference]	0.01	(– 0.01 – 0.03)	0.03	(0.00 – 0.05)	0.025
高血圧	1 [Reference]	1.05	(0.97 – 1.13)	1.09	(1.01 – 1.19)	0.026
糖尿病	1 [Reference]	1.17	(1.05 – 1.31)	1.16	(1.02 – 1.31)	0.018
脂質異常症	1 [Reference]	0.99	(0.91 – 1.09)	1.01	(0.92 – 1.11)	0.844
不良な主観的健康感	1 [Reference]	1.03	(0.93 – 1.13)	0.89	(0.78 – 1.01)	0.142
メンタルヘルス・ウェルビーイング						
中等度の心理的ストレス	1 [Reference]	0.96	(0.87 – 1.06)	0.88	(0.78 – 1.00)	0.064
重度の心理的ストレス	1 [Reference]	0.71	(0.46 – 1.11)	0.76	(0.44 – 1.31)	0.213
高い幸福感	1 [Reference]	1.06	(0.99 – 1.13)	1.08	(1.00 – 1.17)	0.048
労働関連アウトカム						
仕事のパフォーマンス	0 [Reference]	0.03	(– 0.04 – 0.09)	0.04	(– 0.04 – 0.12)	0.343
ワーク・エンゲイジメント	0 [Reference]	0.06	(0.00 – 0.11)	0.03	(– 0.04 – 0.10)	0.314

BMI：body mass index, OR：odds ratio(オッズ比), RR：risk ratio(リスク比)

Reference 値が1 の場合の効果推定値はリスク比(重度の心理的ストレスはオッズ比)であり, Reference 値が0 の場合の効果推定値はβ

調整変数：ブレ・ベースライン時点における社会人口学的因子(年齢, 性別, 婚姻状況, 世帯構成, 教育歴, 暮らし向き, 仕事, 服薬数), 曝露とアウトカム値

スポーツ観戦頻度が多い人ほど, 身体活動不足(トレンド検定 $P = 0.038$)や朝食欠食(トレンド検定 $P = 0.008$)になるリスクが低く, 幸福感が高い(トレンド検定 $P = 0.048$)という好ましい量反応関係が示された。更に, メディアでスポーツを観戦しなかった人と比較して, 月に1～3日観戦した人では, 食習慣や運動習慣の行動変容ステージが無関心期になる可能性が低いこと(リスク比: 0.87, 95%信頼区間: 0.77～0.99)や, ワーク・エンゲイジメントが高いこと(β : 0.06, 95%信頼区

間: 0.00～0.11)が示された。しかしながら, メディアでのスポーツ観戦は, BMI が高く(トレンド検定 $P = 0.025$), 高血圧罹患(トレンド検定 $P = 0.026$)や糖尿病罹患(トレンド検定 $P = 0.018$)のリスクが高いという好ましくない量反応関係が認められた。メディアでのスポーツ観戦で認められたいずれの関連においてもボンフェローニ補正後の有意水準には達しなかった。

スタジアムやアリーナなど, 現地でのスポーツ観戦頻度が多い人ほど, 食習慣や運動習慣の行動

表3. 現地でのスポーツ観戦(2018年)とその後の健康・ウェルビーイング(2019年)の関連性

アウトカム	現地でのスポーツ観戦					トレンド
	観戦しない	1 日/年		2 日/年以上		検定
		RR/OR/ β	(95% 信頼区間)	RR/OR/ β	(95% 信頼区間)	<i>P</i> 値
一般アウトカム						
健康行動						
不良な睡眠の質	1 [Reference]	1.02	(0.93 – 1.11)	0.99	(0.91 – 1.08)	0.764
行動変容ステージが無関心期	1 [Reference]	0.81	(0.67 – 0.98)	0.77	(0.64 – 0.93)	0.005
遅い歩行速度	1 [Reference]	0.99	(0.93 – 1.07)	1.00	(0.93 – 1.08)	0.887
運動習慣なし	1 [Reference]	0.97	(0.93 – 1.01)	0.98	(0.94 – 1.02)	0.274
身体活動不足	1 [Reference]	0.97	(0.90 – 1.04)	0.93	(0.86 – 1.01)	0.120
遅い食事	1 [Reference]	1.05	(0.95 – 1.16)	1.07	(0.97 – 1.18)	0.173
早食い	1 [Reference]	1.02	(0.94 – 1.11)	1.02	(0.93 – 1.11)	0.716
朝食欠食	1 [Reference]	0.93	(0.81 – 1.06)	0.99	(0.87 – 1.12)	0.732
喫煙	1 [Reference]	1.01	(0.93 – 1.10)	0.97	(0.90 – 1.05)	0.561
飲酒	0 [Reference]	0.02	(– 0.03 – 0.06)	0.01	(– 0.04 – 0.05)	0.664
身体的健康						
BMI	0 [Reference]	0.00	(– 0.03 – 0.02)	0.00	(– 0.03 – 0.03)	0.931
高血圧	1 [Reference]	1.04	(0.95 – 1.14)	1.07	(0.97 – 1.18)	0.175
糖尿病	1 [Reference]	1.03	(0.89 – 1.18)	1.02	(0.89 – 1.17)	0.663
脂質異常症	1 [Reference]	0.91	(0.81 – 1.01)	0.89	(0.79 – 1.00)	0.049
不良な主観的健康感	1 [Reference]	0.97	(0.84 – 1.11)	0.90	(0.78 – 1.03)	0.127
メンタルヘルス・ウェルビーイング						
中等度の心理的ストレス	1 [Reference]	0.99	(0.88 – 1.11)	0.83	(0.72 – 0.95)	0.011
重度の心理的ストレス	1 [Reference]	1.03	(0.57 – 1.85)	0.43	(0.23 – 0.79)	0.016
高い幸福感	1 [Reference]	1.03	(0.96 – 1.12)	1.05	(0.97 – 1.13)	0.209
労働関連アウトカム						
仕事のパフォーマンス	0 [Reference]	– 0.05	(– 0.14 – 0.03)	0.02	(– 0.07 – 0.10)	0.790
ワーク・エンゲイジメント	0 [Reference]	0.00	(– 0.08 – 0.07)	0.07	(0.00 – 0.14)	0.074

BMI: body mass index, OR: odds ratio(オッズ比), RR: risk ratio(リスク比)

Reference 値が1の場合の効果推定値はリスク比(重度の心理的ストレスはオッズ比)であり, Reference 値が0の場合の効果推定値は β

調整変数: プレ・ベースライン時点における社会人口学的因子(年齢, 性別, 婚姻状況, 世帯構成, 教育歴, 暮らし向き, 仕事, 服薬数), 曝露とアウトカム値

変容ステージが無関心期になる可能性が低く(トレンド検定 $P = 0.005$), 中程度(トレンド検定 $P = 0.011$)ならびに重度(トレンド検定 $P = 0.016$)の心理的ストレスや脂質異常症罹患(トレンド検定 $P = 0.049$)のリスクが低いという好ましい量反応関係が認められた。そして, 現地でスポーツ観戦をしなかった人と比較して, 年に2日以上観戦した人では, ワーク・エンゲイジメントが高いことが示された($\beta: 0.07$, 95%信頼区間: 0.00~0.14)。現地でのスポーツ観戦で認められたいず

れの関連においてもボンフェローニ補正後の有意水準には達しなかった。

C. 感度解析

スポーツ観戦と健康・ウェルビーイングとの関連性において, E-value は測定されていない交絡因子に対して中程度の頑健性を示していた(補足表3)。例えば, 現地でのスポーツ観戦と食習慣や運動習慣の行動変容ステージが無関心期になるリスクとの関連において(リスク比: 0.77, 95%信頼区間: 0.64~0.93), もし未測定の交絡因子が

曝露とアウトカムの両方に関連している場合に、本研究で観察された関連性を完全に説明するには、既に調整済みの共変量に加えてそれぞれのリスク比が1.92以上である必要がある。

完全ケース分析の結果と、運動習慣による調整を追加した解析の結果は、メイン解析の結果と類似したが、一部の関連性においては統計学的有意性が認められなかった(ボンフェローニ補正なし、補足表4～7)。

考 察

本研究は、成人を対象としてメディアや現地でのスポーツ観戦とその後のさまざまな健康・ウェルビーイング指標との縦断的な関連性を検討した初めての研究である。スポーツ観戦は、1年後の生活習慣やメンタルヘルス、ウェルビーイング、ワーク・エンゲイジメントに対して好ましい関連があることが示された。一方で、特にメディアでのスポーツ観戦は、その後の心代謝系の健康に好ましくない関連があることがわかった。これらの結果は、スポーツ観戦が生活習慣や身体的・精神的な健康・ウェルビーイングに多面的な影響を及ぼす可能性があることを示唆している。

スポーツ観戦が健康に与える影響を検討したこれまでの研究ではメンタルヘルスやウェルビーイングに焦点が当てられているものが多いが、横断的な研究デザイン⁷⁾による因果の逆転のリスクや急性または短期間の実験的な研究^{8, 9)}という限界点があった。この点において、本縦断研究では分析モデルにプレ・ベースラインの曝露やアウトカムの状況を考慮することで逆因果の可能性を減弱させたうえで、スポーツ観戦が心理的ストレスの低減や幸福感の上昇と関連していることを確認した。本研究の知見は、スポーツ観戦とメンタルヘルスとの関連が逆因果によるものではないことを示唆しており、スポーツ観戦による好ましい効果が期待できる可能性を示している。我々の結果に対する潜在的な説明として、次のようなものが推測される：選手の卓越したプレーや全力を尽くす姿勢に影響される感情¹⁸⁾、日常や仕事からの心理

的な脱離¹⁹⁾、チームへの所属意識²⁰⁾、他者との交流(例：一緒に応援すること)²¹⁾。

これまでのスポーツ観戦の効果に関する研究は、主にメンタルヘルスや幸福感、心代謝系の健康に焦点が当てられてきた。今回初めて、スポーツ観戦が好ましい健康的な行動や行動改善への意欲、ワーク・エンゲイジメントに関連することが明らかになった。選手の卓越したプレーやスポーツに対する熱意を観ることが、人々が活動的になるための動機付けになるという仮説は、次の知見によって裏付けられている：他者の運動を頻繁に観ることは身体活動への参加と正の関連があること²²⁾、運動習慣は伝染すること²³⁾、ソーシャルメディアでの運動インフルエンサーはフォロワーの身体活動への参加意向に影響を与えること²⁴⁾。また、スポーツ観戦とワーク・エンゲイジメントとの好ましい関連性については、心理的ストレスがワーク・エンゲイジメントと相関すること²⁵⁾、我々が観察したスポーツ観戦と心理的ストレスの関連性によって説明できるかもしれない。本研究におけるスポーツ観戦とワーク・エンゲイジメントの弱い関連性については、ワーク・エンゲイジメントは職場環境(例：仕事の要請や上司のサポート)や個人的資質(例：レジリエンスやセルフエフィカシー)などの余暇の過ごし方以外の要因と強く関連していること²⁵⁾によって説明できるかもしれない。

本研究において、スポーツ観戦がBMI、高血圧、糖尿病などの心代謝性の健康に有害な影響を及ぼす可能性が示唆された。注目すべきは、この有害な関連はメディアでの観戦特有のものであり、対照的に、現地でのスポーツ観戦は脂質異常症の低いリスクと関連が示された。我々の結果は、フットボールの試合後に観客の心血管疾患イベントのリスクが高まることを報告したメタ解析の結果や¹⁰⁾、テレビでのスポーツ観戦と肥満との関係を報告した横断研究の結果²⁶⁾と一致している。これらの心代謝性疾患への悪影響についての潜在的な説明として、観戦によるネガティブな感情(例：怒り、緊張、不安)が原因で高血圧発症が誘発さ

れる可能性が考えられる²⁷⁾。また、観戦中の長時間の座位²⁸⁾や間食²⁹⁾も心代謝系の健康に悪影響を及ぼす可能性がある。今後、心代謝性疾患に与える影響を解明するためには、観客の身体活動や食行動を評価した更なる研究が必要である。

本研究の主な強みは、成人を対象としてスポーツ観戦とさまざまな健康・ウェルビーイング指標との縦断的な関連性を初めて明らかにした点である。本研究は、スポーツ観戦がもたらす潜在的な影響に関する知識に大きく貢献したといえる。更に、3時点の縦断的な研究デザインにより、共変量、曝露、アウトカムの時間的順序を明確にし、曝露とアウトカムのプレ・ベースライン時点の状況を調整している。これらの特徴により、逆因果のリスクを減弱することを可能にしている¹²⁾。本研究にはいくつかの限界点がある。1つ目に、スポーツ観戦の頻度や一部のアウトカム指標は参加者の自己申告であったため、測定誤差や情報バイアスが含まれている可能性がある。曝露情報が収集された2018年において、6～7月のFIFAワールドカップや8月の甲子園野球などのメガイイベントが開催された。これらの試合は、普段はスポーツをあまり見ない人々も含めて、幅広い観客を惹きつけている。したがって、特にこのようなメガイイベント期間中の回答には、曝露の誤分類が含まれている可能性がある。しかしながら、年間を通して調査を実施していることから、特定の季節やスポーツイベントの影響が軽減されている可能性がある。2つ目に、本観察研究において、未知・未測定の交絡因子が存在している可能性がある。しかしながら、本研究における共変量調整の範囲はこのような懸念を軽減するだろう。更に、E-valueはいくつかの観察された関連性の頑健性を示した。3つ目に、スポーツ観戦に関する詳細な情報を評価することができなかった。今後、健康・ウェルビーイングに対して効果的/非効果的なスポーツ観戦の状況を解明するための更なる研究が必要である。これには、試合の規模、観客の居住地やその文化、誰と観戦するか、観戦の目的や熱意などが含まれる。4つ目に、アウトカムは、

短期間で変化が表れやすい生活習慣やメンタルヘルスなどの指標に焦点を当てるために選択されたが、1年間という追跡期間はスポーツ観戦の影響を特定するには短すぎた可能性がある。このことが、スポーツ観戦とアウトカムとの関連性が限定的あるいはゼロであった理由を説明するかもしれない。最後に、研究参加者は主に首都圏在住の勤労者とその配偶者であった。都市部と地方では、スポーツイベントの規模や種類、スタジアム環境などが異なる可能性があり、スポーツ観戦と健康・ウェルビーイングの関連性が異なる可能性がある。したがって、特に地方など、他の集団への一般化は限定的である可能性がある。

結 論

本研究は、スポーツ観戦とさまざまな健康・ウェルビーイングとの縦断的な関連性を同時に提示した初めての研究である。メディアや現地でのスポーツ観戦は、健康的な生活習慣や、良好なメンタルヘルス・ウェルビーイング、ワーク・エンゲイジメントと関連することが示唆された。しかしながら、特にメディアでのスポーツ観戦は心代謝系の健康に悪影響を及ぼす可能性があることも示された。心代謝系の健康への悪影響には注意が必要であるが、スポーツ観戦は、健康的な生活習慣や良好なメンタル・ウェルビーイングを維持・促進するための新たな修正可能な要因となり得るだろう。今後、本知見を再現・拡張し、根本的なメカニズムを解明するための更なる研究が必要である。

資 金

本研究は日本学術振興会の科学研究費助成である若手研究(助成番号:JP17K13238, JP20K19701)および基盤研究(助成番号:JP19K11569)の支援を受けて実施された。

著者の貢献

RK:概念化, 方法論, 原稿作成, 可視化。NK:概念化, 方法論, ソフトウェア, 分析, 調査, データ整理, 原稿作成, 可視化, 資金獲得。YF:概念化, 調査, 原稿編集。TJ:概念化, 調査, 原稿編集。YK:概念化, 調査, 原稿編集, 指導, プロジェクト管理, 資金獲得。TA:概念化,

原稿作成，可視化，指導，プロジェクト管理。

利益相反

著者らは，本研究に影響を及ぼす可能性のある金銭的利益や個人的関係はないことを宣言する。

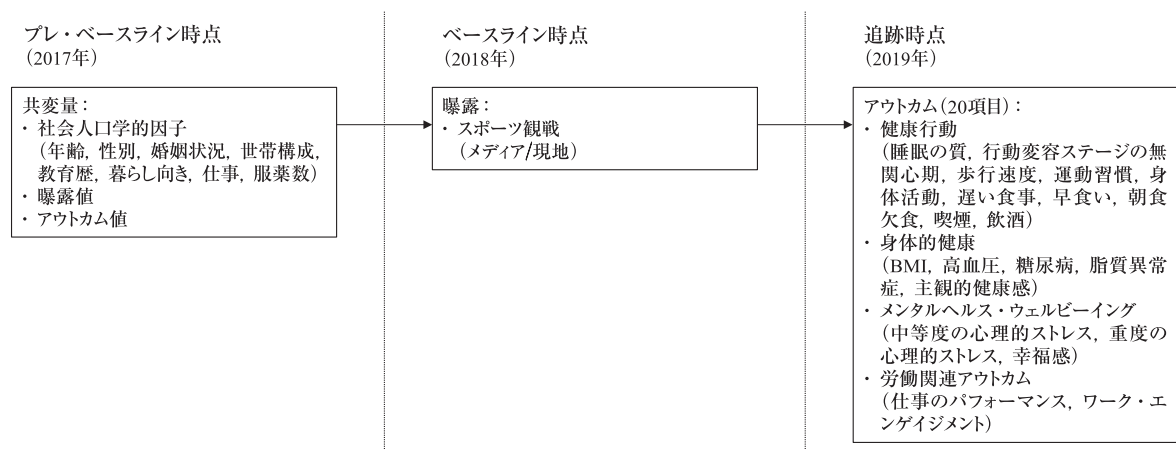
謝辞

本プロジェクトにおける運営面や実務面で多大なる支援をいただいた明治安田新宿健診センターの皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) Sporting Intelligence. Global sports salaries survey 2019. 2019. <http://www.globalsportssalaries.com/GSSS%202019.pdf> (アクセス日：2024年9月11日)
- 2) International Olympic Committee. Marketing report Rio 2016. 2017. https://library.olympics.com/Default/doc/SYRACUSE/166381/marketing-report-rio-2016-international-olympic-committee?_lg=en-GB (アクセス日：2024年9月11日)
- 3) Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, Carty C, Chaput JP, Chastin S, Chou R, Dempsey PC, DiPietro L, Ekelund U, Firth J, Friedenreich CM, Garcia L, Gichu M, Jago R, Katzmarzyk PT, Lambert E, Leitzmann M, Milton K, Ortega FB, Ranasinghe C, Stamatakis E, Tiedemann A, Troiano RP, van der Ploeg HP, Wari V, Willumsen JF. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British Journal of Sports Medicine*. 2020; 54: 1451-62.
- 4) Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, Carlson SA, Fulton JE, Galuska DA, George SM, Olson RD. The physical activity guidelines for Americans. *JAMA*. 2018; 320: 2020-8.
- 5) Inoue Y, Sato M, Nakazawa M. Association between sporting event attendance and self-rated health: an analysis of multiyear cross-sectional national data in Japan. *Global Health Research and Policy*. 2018; 3: 13.
- 6) Kinoshita K, Nakagawa K, Sato S. Watching sport enhances well-being: evidence from a multi-method approach. *Sport Management Review*. 2024; 27: 595-619.
- 7) Tsuji T, Kanamori S, Watanabe R, Yokoyama M, Miyaguni Y, Saito M, Kondo K. Watching sports and depressive symptoms among older adults: a cross-sectional study from the JAGES 2019 survey. *Scientific Reports*. 2021; 11: 10612.
- 8) Kawakami R, Sawada SS, Ito T, Gando Y, Fukushima T, Yoshino A, Kurita S, Oka K, Sakamoto S, Higuchi M. Effect of watching professional baseball at a stadium on health-related outcomes among Japanese older adults: a randomized controlled trial. *Geriatrics & Gerontology International*. 2019; 19: 717-22.
- 9) Kawakami R, Sawada SS, Ito T, Gando Y, Fukushima T, Fujie R, Oka K, Sakamoto S, Higuchi M. Influence of watching professional baseball on Japanese elders' affect and subjective happiness. *Gerontology & Geriatric Medicine*. 2017; 3: 2333721417721401.
- 10) Lin LL, Gu HY, Yao YY, Zhu J, Niu YM, Luo J, Zhang C. The association between watching football matches and the risk of cardiovascular events: a meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*. 2019; 37: 2826-34.
- 11) VanderWeele TJ. Outcome-wide epidemiology. *Epidemiology*. 2017; 28: 399-402.
- 12) VanderWeele TJ, Mathur MB, Chen Y. Outcome-wide longitudinal designs for causal inference: a new template for empirical studies. *Statistical Science*. 2020; 35: 437-66.
- 13) Kitano N, Kai Y, Jindo T, Fujii Y, Tsunoda K, Arao T. Association of domain-specific physical activity and sedentary behavior with cardiometabolic health among office workers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2022; 32: 1224-35.
- 14) Tsunoda K, Kai Y, Kitano N, Uchida K, Kuchiki T, Nagamatsu T. Impact of physical activity on nonalcoholic steatohepatitis in people with nonalcoholic simple fatty liver: a prospective cohort study. *Preventive Medicine*. 2016; 88: 237-40.
- 15) VanderWeele TJ, Mathur MB. Some desirable properties of the Bonferroni correction: is the Bonferroni correction really so bad? *American Journal of Epidemiology*. 2019; 188: 617-8.
- 16) van Buuren S, Groothuis-Oudshoorn K. mice: multivariate imputation by chained equations in R. *Journal of Statistical Software*. 2011; 45: 1-67.
- 17) VanderWeele TJ, Ding P. Sensitivity analysis in observational research: introducing the E-value. *Annals of Internal Medicine*. 2017; 167: 268-74.
- 18) Foroughi B, Nikbin D, Hyun SS, Iranmanesh M. Impact of core product quality on sport fans' emotions and behavioral intentions. *International Journal of Sports Marketing and Sponsorship*. 2016; 17: 110-29.
- 19) Sonnentag S, Binnewies C, Mojza EJ. Staying well and engaged when demands are high: the role of psychological detachment. *The Journal of Applied Psychology*. 2010; 95: 965-76.
- 20) Wann DL. Understanding the positive social psychological benefits of sport team identification: the team identification-

- social psychological health model. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*. 2006; 10: 272-96.
- 21) Mastromartino B, Zhang JJ. Affective outcomes of membership in a sport fan community. *Frontiers in Psychology*. 2020; 11: 881.
 - 22) Trost SG, Owen N, Bauman AE, Sallis JF, Brown W. Correlates of adults' participation in physical activity: review and update. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2002; 34: 1996-2001.
 - 23) Aral S, Nicolaides C. Exercise contagion in a global social network. *Nature Communications*. 2017; 8: 14753.
 - 24) Durau J, Diehl S, Terlutter R. Motivate me to exercise with you: the effects of social media fitness influencers on users' intentions to engage in physical activity and the role of user gender. *Digital Health*. 2022; 8: 20552076221102769.
 - 25) Mazzetti G, Robledo E, Vignoli M, Topa G, Guglielmi D, Schaufeli WB. Work engagement: a meta-analysis using the job demands-resources model. *Psychological Reports*. 2023; 126: 1069-107.
 - 26) Hamer M, Weiler R, Stamatakis E. Watching sport on television, physical activity, and risk of obesity in older adults. *BMC Public Health*. 2014; 14: 10.
 - 27) Everson SA, Goldberg DE, Kaplan GA, Julkunen J, Salonen JT. Anger expression and incident hypertension. *Psychosomatic Medicine*. 1998; 60: 730-5.
 - 28) Bailey DP, Hewson DJ, Champion RB, Sayegh SM. Sitting time and risk of cardiovascular disease and diabetes: a systematic review and meta-analysis. *American Journal of Preventive Medicine*. 2019; 57: 408-16.
 - 29) Pimenta AM, Bes-Rastrollo M, Gea A, Sayón-Orea C, Zazpe I, Lopez-Iracheta R, Martinez-Gonzalez MA. Snacking between main meals is associated with a higher risk of metabolic syndrome in a Mediterranean cohort: the SUN Project (Seguimiento Universidad de Navarra). *Public Health Nutrition*. 2016; 19: 658-66.



補足図 1. 解析に含まれるデータや変数の時間的順序

補足表 1. アウトカムや共変量の評価の詳細

変数	質問内容や選択肢など	定義
婚姻状況	質問：配偶者はいますか？ 選択肢：1. はい 2. いいえ	2 値変数 ・既婚 ・未婚
世帯構成	質問：同居人は、何人いますか？（あなたを除きます） 回答：連続変数（人）	2 値変数 ・独居 ・群居
教育歴	質問：あなたが受けた学校教育は何年でしたか？ 回答：連続変数（年）	2 値変数 ・13年未満 ・13年以上
主観的な暮らし向き	質問：あなたのお宅の経済的な暮らし向きを、次の4つに分けるとしたらどれにあたりますか？ 選択肢：1. 大変ゆとりがある 2. ややゆとりがある 3. やや苦しい 4. 大変苦しい	2 値変数 ・苦しい（3 やや苦しい，4 大変苦しい） ・ゆとりがある（1 大変ゆとりがある，2 ややゆとりがある）
仕事	質問：あなたは仕事をしていますか？勤労者には，自営業，農業，ボランティアを含む有給・無給の仕事が含まれる。 選択肢：1. はい 2. いいえ	2 値変数 ・勤労者 ・非勤労者
服薬数	質問：以下の項目について，現在継続して使用している薬がありますか？ ※複数選択 （血圧を下げる薬，インスリン注射または血糖を下げる薬，コレステロールまたは中性脂肪を下げる薬，尿酸を下げる薬，睡眠薬，その他） 回答：連続変数	連続変数
主観的睡眠の質	主観的な睡眠の質は，ピッツバーグ睡眠質問票日本語版の1問（問6）を用いて評価した ^{1,2)} 。 質問：過去1か月において，ご自分の睡眠の質を全体として，どのように評価しますか？ 選択肢：1. 非常に良い 2. やや良い 3. やや悪い 4. 非常に悪い	2 値変数 ・良い（1 非常に良い，2 やや良い） ・悪い（3 やや悪い，4 非常に悪い）
運動習慣や食習慣の行動変容ステージ	日本では2008年より特定健診・特定保健指導が全国的に推進されている ³⁾ 。 この質問は特定健診の標準的な質問票の項目である。 質問：運動や食習慣等の生活習慣を改善してみようと思いますか？ 選択肢：1. 改善するつもりはない 2. 改善するつもりである（概ね6か月以内） 3. 近いうちに（概ね1か月以内）改善するつもりであり，少しずつ始めている 4. 既に改善に取り組んでいる（6か月未満） 5. 既に改善に取り組んでいる（6か月以上） 回答1～5は，運動と食習慣等の改善における，無関心期・前熟考期，関心期・熟考期，準備期，実行期，維持期に相当する。	2 値変数 ・無関心期・前熟考期（1） ・上記以外（2～5）

歩行速度	日本では2008年より特定健診・特定保健指導が全国的に推進されている ³⁾ 。 この質問は特定健診の標準的な質問票の項目である。 質問：ほぼ同じ年齢の同性と比較して歩く速度が速い。 選択肢：1. はい 2. いいえ	2 値変数 ・遅い歩行速度 ・速い歩行速度
運動習慣	日本では2008年より特定健診・特定保健指導が全国的に推進されている ³⁾ 。 この質問は特定健診の標準的な質問票の項目である。 質問：1 回30分以上の軽く汗をかく運動を週2日以上、1年以上実施している。 選択肢：1. はい 2. いいえ	2 値変数 ・運動習慣なし ・運動習慣あり
身体活動	日本では2008年より特定健診・特定保健指導が全国的に推進されている ³⁾ 。 この質問は特定健診の標準的な質問票の項目である。 質問：日常生活において歩行または同等の身体活動を1日1時間以上実施している。 選択肢：1. はい 2. いいえ	2 値変数 ・身体活動充足 ・身体活動不足
遅い食事	日本では2008年より特定健診・特定保健指導が全国的に推進されている ³⁾ 。 この質問は特定健診の標準的な質問票の項目である。 質問：就寝前の2時間以内に夕食をとることが週に3回以上ある。 選択肢：1. はい 2. いいえ	2 値変数 ・遅い食事 ・標準
早食い	日本では2008年より特定健診・特定保健指導が全国的に推進されている ³⁾ 。 この質問は特定健診の標準的な質問票の項目である。 質問：人と比べて食べる速度が速い。 選択肢：1. 速い 2. 普通 3. 遅い	2 値変数 ・早食い(1 速い) ・標準(2 普通, 3 遅い)
朝食欠食	日本では2008年より特定健診・特定保健指導が全国的に推進されている ³⁾ 。 この質問は特定健診の標準的な質問票の項目である。 質問：朝食を抜くことが週に3回以上ある。 選択肢：1. はい 2. いいえ	2 値変数 ・朝食欠食 ・朝食非欠食
喫煙	日本では2008年より特定健診・特定保健指導が全国的に推進されている ³⁾ 。 この質問は特定健診の標準的な質問票の項目である。 質問：現在、たばこを習慣的に吸っている(※「合計100本以上、または6か月以上吸っている」方で、かつ「最近1か月間も吸っている」方は「はい」をチェックしてください)。 選択肢：1. はい 2. いいえ	2 値変数 ・喫煙 ・非喫煙
飲酒	飲酒量(g/日)は、質問票の飲酒の頻度と量の回答から算出された ⁴⁾ 。	連続変数(g/日)
Body mass index (BMI)	Body mass index (BMI) は身長と体重から算出された。(身長計と体重計を用いてそれぞれ測定)	連続変数(kg/m ²)
高血圧	高血圧の定義は、収縮期血圧が140 mmHg 以上、拡張期血圧が90 mmHg 以上、高血圧の服薬治療中のいずれかに該当した場合とした ⁵⁾ 。	2 値変数 ・患者 ・正常

糖尿病	糖尿病の定義は、血糖値が126 mg/dL 以上、ヘモグロビン A1c が6.5%以上、糖尿病の服薬治療中のいずれかに該当した場合とした ⁶⁾ 。	2 値変数 ・患者 ・正常
脂質異常症	脂質異常症の定義は、中性脂肪が150 mg/dL 以上、HDL コレステロールが40 mg/dL 未満、脂質異常症の服薬治療中のいずれかに該当した場合とした ⁷⁾ 。	2 値変数 ・患者 ・正常
主観的健康感	質問：全体的にみて、最近 1 か月のあなたの健康状態はいかがでしたか？ 選択肢：1. 最高に良い 2. とても良い 3. 良い 4. あまり良くない 5. 良くない 6. 全然良くない	2 値変数 ・良い(1 最高に良い, 2 とても良い, 3 良い) ・良くない(4 あまり良くない, 5 良くない, 6 全然良くない)
心理的 ストレス	心理的ストレスは、6 項目の Kessler Psychological Distress Scale(K6) の日本語版を用いて評価された ⁸⁾ 。K6は、過去 1 か月間の心理的ストレスを評価する質問票で、神経過敏、絶望、落ち着きのなさ、無価値観、抑うつ、無気力などが含まれる。Nishi らの研究に基づくカットオフ値によって心理的ストレスを評価した ⁹⁾ 。 回答：全くない(0 ポイント) ～いつも(4 ポイント)	2 値変数 重度の心理的ストレス ・高い(13ポイント以上) ・低い(13ポイント未満) 中等度の心理的ストレス ・高い(5 ポイント以上) ・低い(5 ポイント未満)
幸福感	質問：最近 1 か月において、幸せだと感じた頻度はどれくらいですか？ 選択肢：1. いつも 2. たいてい 3. ときどき 4. 少しだけ 5. 全くない	2 値変数 ・幸せ(1～2) ・上記以外(3～5)
仕事の パフォーマンス	仕事のパフォーマンスの評価には世界保健機関(WHO)の健康と労働パフォーマンスに関する質問紙の日本語短縮版(WHO-HPQ)における全体的プレゼンティーズムの項目を使用した ^{10,11)} 。 質問：最近 1 か月の、あなたの全般的な仕事の出来は何点くらいになるでしょうか。 回答：最悪の出来(0 ポイント) ～最高の出来(10ポイント)	連続変数
ワーク・エン ゲイジメント	ワーク・エンゲイジメントは 3 つの下位概念(活力、熱意、没頭)からなるユトレヒト・ワーク・エンゲイジメント尺度の日本語短縮版を用いて評価した。本研究では活力の下位概念に関する 3 つの質問項目を用い、全くない(0 ポイント) ～いつも感じる(6 ポイント)で回答を収集した。本尺度は、3 つの下位概念が相互に強く相関しているため、活力の下位概念は全体的なワーク・エンゲイジメントを反映していると考えられる ^{12,13)} 。	連続変数

補足表 2. プレ・ベースライン時点と解析サンプルの回答者特性の比較

特性	プレ・ベースラインの回答者 (n = 11870)	解析サンプル (n = 6327)	P 値
社会人口学的因子			
年齢, 平均(SD), 歳	49.5(12.0)	50.7(10.9)	< 0.001
女性, n(%)	6172/11870(52.0)	3097/6327(48.9)	< 0.001
既婚, n(%)	7299/10035(72.7)	4045/5633(71.8)	0.220
独居, n(%)	1642/ 9860(16.7)	893/5540(16.1)	0.404
教育歴 < 13年, n(%)	1784/ 9889(18.0)	1018/5556(18.3)	0.678
苦しい暮らし向き, n(%)	2350/ 9952(23.6)	1345/5603(24.0)	0.595
勤労者, n(%)	8309/11870(70.0)	4851/6327(76.7)	< 0.001
服薬数, 平均(SD)	0.5(0.8)	0.5(0.8)	0.001
メディアでのスポーツ観戦			
観戦しない, n(%)	4401/10121(43.5)	2360/5676(41.6)	0.067
1 ~ 3 日/月, n(%)	3002/10121(29.7)	1736/5676(30.6)	
1 日/週以上, n(%)	2718/10121(26.9)	1580/5676(27.8)	
現地でのスポーツ観戦			
観戦しない, n(%)	6759/10096(66.9)	3706/5660(65.5)	0.170
1 日/年, n(%)	1229/10096(12.2)	724/5660(12.8)	
2 日/年以上, n(%)	2108/10096(20.9)	1230/5660(21.7)	
健康行動			
不良な睡眠の質, n(%)	4340/10249(42.3)	2400/5751(41.7)	0.461
行動変容ステージが無関心期, n(%)	2153/11772(18.3)	1224/6323(19.4)	0.082
遅い歩行速度, n(%)	5283/11774(44.9)	2802/6324(44.3)	0.478
運動習慣なし, n(%)	9033/11773(76.7)	4859/6323(76.8)	0.870
身体活動不足, n(%)	6505/11773(55.3)	3561/6324(56.3)	0.178
遅い食事, n(%)	3879/11773(32.9)	2076/6324(32.8)	0.882
早食い, n(%)	3589/11773(30.5)	1948/6324(30.8)	0.670
朝食欠食, n(%)	2589/11773(22.0)	1282/6324(20.3)	0.008
喫煙者, n(%)	2135/11773(18.1)	1188/6324(18.8)	0.290
飲酒, 平均(SD), g/日	12.2(17.3)	12.8(17.6)	0.038
身体的健康			
BMI, 平均(SD), kg/m ²	22.7(3.7)	22.9(3.7)	0.001
高血圧, n(%)	3386/11854(28.6)	1946/6327(30.8)	0.002
糖尿病, n(%)	2027/10664(19.0)	1166/5876(19.8)	0.200
脂質異常症, n(%)	2816/11564(24.4)	1596/6179(25.8)	0.031
不良な主観的健康感, n(%)	2914/ 9971(29.2)	1587/5611(28.3)	0.220
メンタルヘルス・ウェルビーイング			
中等度の心理的ストレス, n(%)	2702/11870(22.8)	1463/6327(23.1)	0.595
重度の心理的ストレス, n(%)	241/11870(2.0)	124/6327(2.0)	0.789
高い幸福感, n(%)	5038/10219(49.3)	2770/5734(48.3)	0.236
労働関連アウトカム			
仕事のパフォーマンス, 平均(SD)	5.8(1.7)	5.8(1.7)	0.217
ワーク・エンゲイジメント, 平均(SD)	2.9(1.4)	2.9(1.4)	0.678

BMI : body mass index, SD : standard deviation (標準偏差)

連続変数は平均(SD), カテゴリーデータは人数(%)で示す。

P 値について, 連続変数はクラスカル・ウォリス検定, カテゴリーデータは Pearson のカイ 2 乗検定を用いて算出

補足表 3. スポーツ観戦(最低頻度群 vs 最高頻度群)とその後の健康・ウェルビーイングの関連性における E-value

アウトカム	メディアでのスポーツ観戦		現地でのスポーツ観戦	
	点推定	信頼限界	点推定	信頼限界
一般アウトカム				
健康行動				
不良な睡眠の質	1.26	1.00	1.12	1.00
行動変容ステージが無関心期	1.47	1.00	1.92	1.36
遅い歩行速度	1.15	1.00	1.07	1.00
運動習慣なし	1.23	1.00	1.17	1.00
身体活動不足	1.32	1.00	1.35	1.00
遅い食事	1.23	1.00	1.34	1.00
早食い	1.24	1.00	1.14	1.00
朝食欠食	1.63	1.23	1.13	1.00
喫煙	1.06	1.00	1.20	1.00
飲酒	1.24	1.00	1.13	1.00
身体的健康				
BMI	1.42	1.12	1.06	1.00
高血圧	1.42	1.10	1.34	1.00
糖尿病	1.58	1.18	1.16	1.00
脂質異常症	1.11	1.00	1.49	1.00
不良な主観的健康感	1.51	1.00	1.48	1.00
メンタルヘルス・ウェルビーイング				
中等度の心理的ストレス	1.52	1.00	1.71	1.29
重度の心理的ストレス	1.97	1.00	4.09	1.85
高い幸福感	1.38	1.03	1.27	1.00
労働関連アウトカム				
仕事のパフォーマンス	1.25	1.00	1.16	1.00
ワーク・エンゲイジメント	1.25	1.00	1.42	1.00

点推定の E-value は、未測定の交絡因子が観察された関連性を完全に説明するために、曝露とアウトカムの両方に関連している場合における調整済みの共変量に加えてそれぞれのリスク比の最小の強さを示す。

信頼限界の E-value は、調整済みの共変量を考慮したうえで信頼区間を null 値(リスク比 = 1)が含まれるように変化させるために、未測定の交絡因子が曝露とアウトカムの両方でリスク比に及ぼす可能性のある最小の強さを示す。

補足表 4. 完全ケースにおけるメディアでのスポーツ観戦と健康・ウェルビーイングの関連性 (n = 3895)

アウトカム	メディアでのスポーツ観戦					トレンド
	観戦しない	1 ～ 3 日/月		1 日/週以上		検定
		RR/OR/β	(95% 信頼区間)	RR/OR/β	(95% 信頼区間)	P 値
一般アウトカム						
健康行動						
不良な睡眠の質	1 [Reference]	1.05	(0.97 – 1.13)	1.03	(0.94 – 1.13)	0.455
行動変容ステージが無関心期	1 [Reference]	0.84	(0.72 – 0.99)	0.91	(0.76 – 1.10)	0.288
遅い歩行速度	1 [Reference]	0.94	(0.89 – 1.01)	0.97	(0.89 – 1.05)	0.332
運動習慣なし	1 [Reference]	0.99	(0.95 – 1.03)	0.97	(0.93 – 1.02)	0.255
身体活動不足	1 [Reference]	0.91	(0.85 – 0.97)	0.91	(0.85 – 0.99)	0.011
遅い食事	1 [Reference]	0.96	(0.88 – 1.05)	0.97	(0.88 – 1.08)	0.590
早食い	1 [Reference]	1.04	(0.97 – 1.13)	0.99	(0.90 – 1.09)	0.912
朝食欠食	1 [Reference]	0.87	(0.78 – 0.98)	0.84	(0.73 – 0.97)	0.011
喫煙	1 [Reference]	0.98	(0.92 – 1.05)	1.01	(0.94 – 1.09)	0.718
飲酒	0 [Reference]	0.02	(– 0.02 – 0.06)	– 0.02	(– 0.07 – 0.03)	0.520
身体的健康						
BMI	0 [Reference]	0.02	(0.00 – 0.04)	0.02	(– 0.01 – 0.05)	0.127
高血圧	1 [Reference]	1.03	(0.93 – 1.12)	1.08	(0.98 – 1.20)	0.091
糖尿病	1 [Reference]	1.20	(1.05 – 1.37)	1.21	(1.05 – 1.39)	0.009
脂質異常症	1 [Reference]	1.03	(0.92 – 1.15)	0.99	(0.88 – 1.12)	0.902
不良な主観的健康感	1 [Reference]	1.01	(0.90 – 1.14)	0.90	(0.77 – 1.05)	0.269
メンタルヘルス・ウェルビーイング						
中等度の心理的ストレス	1 [Reference]	0.95	(0.85 – 1.07)	0.84	(0.73 – 0.98)	0.026
重度の心理的ストレス	1 [Reference]	0.78	(0.46 – 1.33)	0.78	(0.39 – 1.51)	0.396
高い幸福感	1 [Reference]	1.06	(0.98 – 1.15)	1.07	(0.98 – 1.18)	0.140
労働関連アウトカム (n = 3889)						
仕事のパフォーマンス	0 [Reference]	0.04	(– 0.03 – 0.11)	0.02	(– 0.06 – 0.11)	0.543
ワーク・エンゲイジメント	0 [Reference]	0.06	(0.00 – 0.12)	0.02	(– 0.05 – 0.09)	0.543

BMI : body mass index, OR : odds ratio(オッズ比), RR : risk ratio(リスク比)

Reference 値が 1 の場合の効果推定値はリスク比(重度の心理的ストレスはオッズ比)であり, Reference 値が 0 の場合の効果推定値はβ

調整変数: プレ・ベースライン時点における社会人口学的因子(年齢, 性別, 婚姻状況, 世帯構成, 教育歴, 暮らし向き, 仕事, 服薬数), 曝露とアウトカム値

補足表 5. 完全ケースにおける現地でのスポーツ観戦とその後の健康・ウェルビーイングの関連性 (n = 3882)

アウトカム	現地でのスポーツ観戦					トレンド
	観戦しない	1 日/年		2 日/年以上		検定 P 値
		RR/OR/β	(95% 信頼区間)	RR/OR/β	(95% 信頼区間)	
一般アウトカム						
健康行動						
不良な睡眠の質	1 [Reference]	1.05	(0.96 – 1.16)	1.02	(0.93 – 1.12)	0.667
行動変容ステージが無関心期	1 [Reference]	0.70	(0.55 – 0.88)	0.77	(0.62 – 0.97)	0.010
遅い歩行速度	1 [Reference]	1.00	(0.92 – 1.09)	1.02	(0.94 – 1.12)	0.536
運動習慣なし	1 [Reference]	0.96	(0.92 – 1.01)	0.98	(0.93 – 1.03)	0.324
身体活動不足	1 [Reference]	0.99	(0.91 – 1.08)	0.91	(0.83 – 1.00)	0.085
遅い食事	1 [Reference]	1.07	(0.96 – 1.20)	1.11	(0.99 – 1.23)	0.062
早食い	1 [Reference]	1.05	(0.96 – 1.16)	1.00	(0.91 – 1.11)	0.888
朝食欠食	1 [Reference]	0.93	(0.81 – 1.07)	1.02	(0.89 – 1.17)	0.889
喫煙	1 [Reference]	1.00	(0.91 – 1.10)	0.96	(0.87 – 1.06)	0.462
飲酒	0 [Reference]	0.04	(– 0.02 – 0.09)	0.00	(– 0.05 – 0.06)	0.833
身体的健康						
BMI	0 [Reference]	– 0.01	(– 0.04 – 0.01)	– 0.01	(– 0.04 – 0.02)	0.501
高血圧	1 [Reference]	1.08	(0.97 – 1.20)	1.16	(1.04 – 1.30)	0.007
糖尿病	1 [Reference]	1.07	(0.92 – 1.24)	1.04	(0.88 – 1.22)	0.542
脂質異常症	1 [Reference]	0.89	(0.78 – 1.02)	0.86	(0.75 – 0.99)	0.035
不良な主観的健康感	1 [Reference]	1.00	(0.85 – 1.17)	0.91	(0.77 – 1.07)	0.259
メンタルヘルス・ウェルビーイング						
中等度の心理的ストレス	1 [Reference]	0.93	(0.81 – 1.08)	0.77	(0.65 – 0.91)	0.002
重度の心理的ストレス	1 [Reference]	1.05	(0.53 – 1.99)	0.45	(0.21 – 0.91)	0.048
高い幸福感	1 [Reference]	1.05	(0.95 – 1.15)	1.05	(0.95 – 1.16)	0.256
労働関連アウトカム						
仕事のパフォーマンス	0 [Reference]	– 0.11	(– 0.20 – – 0.02)	– 0.02	(– 0.11 – 0.07)	0.486
ワーク・エンゲイジメント	0 [Reference]	0.00	(– 0.07 – 0.08)	0.05	(– 0.03 – 0.12)	0.204

BMI：body mass index, OR：odds ratio(オッズ比), RR：risk ratio(リスク比)

Reference 値が 1 の場合の効果推定値はリスク比(重度の心理的ストレスはオッズ比)であり, Reference 値が 0 の場合の効果推定値はβ

調整変数：プレ・ベースライン時点における社会人口学的因子(年齢, 性別, 婚姻状況, 世帯構成, 教育歴, 暮らし向き, 仕事, 服薬数), 曝露とアウトカム値

補足表 6. プレ・ベースラインの運動習慣を調整に追加したメディアでのスポーツ観戦とその後の健康・ウェルビーイングの関連性

アウトカム		メディアでのスポーツ観戦				トレンド 検定 P 値
		観戦しない	1 ～ 3 日/月		1 日/週以上	
			RR/OR/β	(95% 信頼区間)	RR/OR/β	(95% 信頼区間)
一般アウトカム						
健康行動						
不良な睡眠の質	1 [Reference]	1.05	(0.98 – 1.12)	1.05	(0.97 – 1.14)	0.205
行動変容ステージが無関心期	1 [Reference]	0.88	(0.77 – 1.00)	0.90	(0.77 – 1.06)	0.161
遅い歩行速度	1 [Reference]	0.96	(0.91 – 1.01)	0.99	(0.92 – 1.06)	0.613
身体活動不足	1 [Reference]	0.94	(0.89 – 0.99)	0.95	(0.89 – 1.02)	0.092
遅い食事	1 [Reference]	0.97	(0.89 – 1.04)	0.97	(0.89 – 1.06)	0.531
早食い	1 [Reference]	1.02	(0.96 – 1.09)	0.97	(0.89 – 1.05)	0.474
朝食欠食	1 [Reference]	0.89	(0.80 – 0.98)	0.86	(0.75 – 0.97)	0.011
喫煙	1 [Reference]	0.99	(0.93 – 1.05)	1.00	(0.94 – 1.07)	0.936
飲酒	0 [Reference]	0.01	(– 0.03 – 0.04)	– 0.02	(– 0.06 – 0.02)	0.386
身体的健康						
BMI	0 [Reference]	0.01	(– 0.01 – 0.03)	0.03	(0.00 – 0.05)	0.025
高血圧	1 [Reference]	1.05	(0.97 – 1.13)	1.10	(1.01 – 1.20)	0.018
糖尿病	1 [Reference]	1.17	(1.05 – 1.31)	1.17	(1.03 – 1.32)	0.013
脂質異常症	1 [Reference]	1.00	(0.91 – 1.09)	1.01	(0.92 – 1.12)	0.783
不良な主観的健康感	1 [Reference]	1.03	(0.93 – 1.14)	0.90	(0.79 – 1.03)	0.210
メンタルヘルス・ウェルビーイング						
中等度の心理的ストレス	1 [Reference]	0.97	(0.88 – 1.06)	0.89	(0.78 – 1.01)	0.075
重度の心理的ストレス	1 [Reference]	0.72	(0.46 – 1.11)	0.78	(0.45 – 1.35)	0.245
高い幸福感	1 [Reference]	1.05	(0.98 – 1.13)	1.08	(0.99 – 1.16)	0.069
労働関連アウトカム (n = 3889)						
仕事のパフォーマンス	0 [Reference]	0.03	(– 0.04 – 0.09)	0.03	(– 0.05 – 0.11)	0.368
ワーク・エンゲイジメント	0 [Reference]	0.06	(0.00 – 0.11)	0.03	(– 0.04 – 0.10)	0.338

BMI : body mass index, OR : odds ratio(オッズ比), RR : risk ratio(リスク比)

Reference 値が 1 の場合の効果推定値はリスク比(重度の心理的ストレスはオッズ比)であり, Reference 値が 0 の場合の効果推定値はβ

調整変数: プレ・ベースライン時点における社会人口学的因子(年齢, 性別, 婚姻状況, 世帯構成, 教育歴, 暮らし向き, 仕事, 服薬数), 運動習慣, 曝露とアウトカム値

補足表 7. プレ・ベースラインの運動習慣を調整に追加した現地でのスポーツ観戦とその後の健康・ウェルビーイングの関連性

アウトカム	現地でのスポーツ観戦					トレンド
	観戦しない	1 日/年		2 日/年以上		検定 <i>P</i> 値
		RR/OR/β	(95% 信頼区間)	RR/OR/β	(95% 信頼区間)	
一般アウトカム						
健康行動						
不良な睡眠の質	1 [Reference]	1.02	(0.94 – 1.11)	0.99	(0.91 – 1.08)	0.761
行動変容ステージが無関心期	1 [Reference]	0.82	(0.67 – 0.99)	0.77	(0.64 – 0.93)	0.004
遅い歩行速度	1 [Reference]	1.00	(0.93 – 1.07)	1.01	(0.94 – 1.08)	0.821
身体活動不足	1 [Reference]	0.98	(0.91 – 1.05)	0.94	(0.86 – 1.01)	0.144
遅い食事	1 [Reference]	1.06	(0.96 – 1.17)	1.07	(0.97 – 1.18)	0.169
早食い	1 [Reference]	1.02	(0.94 – 1.11)	1.02	(0.93 – 1.11)	0.721
朝食欠食	1 [Reference]	0.93	(0.82 – 1.07)	0.99	(0.87 – 1.12)	0.757
喫煙	1 [Reference]	1.01	(0.93 – 1.10)	0.97	(0.90 – 1.05)	0.561
飲酒	0 [Reference]	0.02	(– 0.03 – 0.06)	0.01	(– 0.04 – 0.06)	0.663
身体的健康						
BMI	0 [Reference]	0.00	(– 0.03 – 0.02)	0.00	(– 0.03 – 0.03)	0.931
高血圧	1 [Reference]	1.04	(0.95 – 1.14)	1.07	(0.97 – 1.18)	0.165
糖尿病	1 [Reference]	1.03	(0.90 – 1.19)	1.02	(0.89 – 1.18)	0.622
脂質異常症	1 [Reference]	0.91	(0.81 – 1.02)	0.89	(0.79 – 1.01)	0.052
不良な主観的健康感	1 [Reference]	0.97	(0.84 – 1.11)	0.89	(0.78 – 1.03)	0.113
メンタルヘルス・ウェルビーイング						
中等度の心理的ストレス	1 [Reference]	0.99	(0.88 – 1.11)	0.83	(0.72 – 0.95)	0.010
重度の心理的ストレス	1 [Reference]	1.02	(0.57 – 1.84)	0.42	(0.23 – 0.77)	0.013
高い幸福感	1 [Reference]	1.03	(0.96 – 1.11)	1.05	(0.97 – 1.13)	0.222
労働関連アウトカム						
仕事のパフォーマンス	0 [Reference]	– 0.05	(– 0.14 – 0.03)	0.02	(– 0.07 – 0.10)	0.796
ワーク・エンゲイジメント	0 [Reference]	0.00	(– 0.08 – 0.07)	0.07	(0.00 – 0.14)	0.075

BMI：body mass index, OR：odds ratio(オッズ比), RR：risk ratio(リスク比)

Reference 値が 1 の場合の効果推定値はリスク比(重度の心理的ストレスはオッズ比)であり, Reference 値が 0 の場合の効果推定値はβ

調整変数：プレ・ベースライン時点における社会人口学的因子(年齢, 性別, 婚姻状況, 世帯構成, 教育歴, 暮らし向き, 仕事, 服薬数), 運動習慣, 曝露とアウトカム値

補足資料の参考文献

- 1) Buysse DJ, Reynolds CF 3rd, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*. 1989; 28: 193-213.
- 2) Doi Y, Minowa M, Uchiyama M, Okawa M, Kim K, Shibui K, Kamei Y. Psychometric assessment of subjective sleep quality using the Japanese version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI-J) in psychiatric disordered and control subjects. *Psychiatry Research*. 2000; 97: 165-72.
- 3) Kohro T, Furui Y, Mitsutake N, Fujii R, Morita H, Oku S, Ohe K, Nagai R. The Japanese national health screening and intervention program aimed at preventing worsening of the metabolic syndrome. *International Heart Journal*. 2008; 49: 193-203.
- 4) Tsunoda K, Kai Y, Uchida K, Kuchiki T, Nagamatsu T. Physical activity and risk of fatty liver in people with different levels of alcohol consumption: a prospective cohort study. *BMJ Open*. 2014; 4: e005824.
- 5) James PA, Oparil S, Carter BL, Cushman WC, Dennison-Himmelfarb C, Handler J, Lackland DT, LeFevre ML, MacKenzie TD, Ogedegbe O, Smith SC Jr, Svetkey LP, Taler SJ, Townsend RR, Wright JT Jr, Narva AS, Ortiz E. 2014 evidence-based guideline for the management of high blood pressure in adults: report from the panel members appointed to the Eighth Joint National Committee (JNC 8). *JAMA*. 2014; 311: 507-20.
- 6) American Diabetes Association Professional Practice Committee. 2. Classification and diagnosis of diabetes: standards of medical care in diabetes-2022. *Diabetes Care*. 2022; 45(Suppl 1): S17-S38.
- 7) Arai H, Yamamoto A, Matsuzawa Y, Saito Y, Yamada N, Oikawa S, Mabuchi H, Teramoto T, Sasaki J, Nakaya N, Itakura H, Ishikawa Y, Ouchi Y, Horibe H, Kita T. Prevalence of the metabolic syndrome in elderly and middle-aged Japanese. *Journal of Clinical Gerontology and Geriatrics*. 2010; 1: 42-7.
- 8) Furukawa TA, Kawakami N, Saitoh M, Ono Y, Nakane Y, Nakamura Y, Tachimori H, Iwata N, Uda H, Nakane H, Watanabe M, Naganuma Y, Hata Y, Kobayashi M, Miyake Y, Takeshima T, Kikkawa T. The performance of the Japanese version of the K6 and K10 in the World Mental Health Survey Japan. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*. 2008; 17: 152-8.
- 9) Nishi D, Susukida R, Usuda K, Mojtabai R, Yamanouchi Y. Trends in the prevalence of psychological distress and the use of mental health services from 2007 to 2016 in Japan. *Journal of Affective Disorders*. 2018; 239: 208-13.
- 10) Kessler RC, Ames M, Hymel PA, Loeppke R, McKenas DK, Richling DE, Stang PE, Ustun TB. Using the World Health Organization Health and Work Performance Questionnaire (HPQ) to evaluate the indirect workplace costs of illness. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2004; 46(6 Suppl): S23-37.
- 11) Kessler RC, Barber C, Beck A, Berglund P, Cleary PD, McKenas D, Pronk N, Simon G, Stang P, Ustun TB, Wang P. The World Health Organization Health and Work Performance Questionnaire (HPQ). *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2003; 45: 156-74.
- 12) Schaufeli WB, Bakker AB, Salanova M. The measurement of work engagement with a short questionnaire: a cross-national study. *Educational and Psychological Measurement*. 2006; 66: 701-16.
- 13) Shimazu A, Schaufeli WB, Kosugi S, Suzuki A, Nashiwa H, Kato A, Sakamoto M, Irimajiri H, Amano S, Hirohata K, Goto R, Kitaoka-Higashiguchi K. Work engagement in Japan: validation of the Japanese version of the Utrecht Work Engagement Scale. *Applied Psychology*. 2008; 57: 510-23.

〔二次出版〕

日本人ホワイトカラー勤労者における在宅勤務頻度と加速度計で測定した身体活動および座位行動との関連性： 明治安田ライフスタイル研究の横断的分析 —Journal of Physical Activity and Health に 掲載された英語論文の日本語による二次出版—

北濃成樹¹⁾，藤井悠也¹⁾，和田 彩¹⁾，川上諒子¹⁾，吉葉かおり¹⁾，
山口大輔¹⁾，甲斐裕子¹⁾，荒尾 孝¹⁾

SUMMARY

背景：これまでに在宅勤務と身体活動および座位行動との関連性は検討されてきたが、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)に対する厳格な対策がない期間におけるこの関連性は十分に明らかにされていない。特に、その関連性に対する潜在的な効果修飾を評価した研究はほとんどない。そこで本研究では、パンデミック後期の日本人ホワイトカラー勤労者を対象に、在宅勤務頻度と加速度計で測定した身体活動や座位行動の関連性、およびその効果修飾因子を検討することを目的とした。

方法：2022年4月から2023年3月にかけて、首都圏在住のホワイトカラー1133名を対象とした横断研究を実施した。在宅勤務頻度は自己報告式の質問票により評価し、平日の身体活動と座位行動を3軸加速度計により測定した。潜在的交絡因子を調整した線形回帰モデルを用いて、在宅勤務頻度と身体活動や座位行動との関連性を検討した。

結果：活動強度にかかわらず、週1～2日でも在宅勤務を行う者は、そうでない者と比較して、身体活動が少なく、座位行動が多いことが示された($P < 0.05$)。例えば、週5日以上在宅勤務を行う者と全く行わない者とは、総身体活動に約70分/日、歩数に約4000歩/日の差があった。在宅勤務に関連した身体活動の低下は、高齢者、女性、低学歴者、営業・サービス業、非正規スタッフ、運動習慣や食習慣の改善に対する関心のない者でより顕著であった。

結論：在宅勤務は日本人ホワイトカラー勤労者の身体活動の低下や座位行動の増加と関連し、こうした関連性はいくつかのサブグループでより顕著であった。

Key words: テレワーク, 産業衛生, COVID-19, 効果修飾, 異質性

1) 公益財団法人 明治安田厚生事業団 体力医学研究所 Physical Fitness Research Institute, Meiji Yasuda Life Foundation of Health and Welfare, Tokyo, Japan.

本論文は以下の論文を忠実に日本語翻訳した二次出版です。引用を行う場合には原典を確認のうえ、下記を引用してください。

Kitano N, Fujii Y, Wada A, Kawakami R, Yoshida K, Yamaguchi D, Kai Y, Arai T. Associations of working from home frequency with accelerometer-measured physical activity and sedentary behavior in Japanese white-collar workers: a cross-sectional analysis of the Meiji Yasuda LifeStyle study. *Journal of Physical Activity and Health*. 2024; 21 (11): 1150-7.

キーポイント

- ・在宅勤務が多い勤労者は、身体活動量が少なく、座位行動が多かった。
- ・例えば、週5日以上在宅勤務を行う者は、全く行わないものに比べて歩数が55.7%少なかった。
- ・いくつかのサブグループ(例：女性、低学歴)では、在宅勤務に関連した身体活動の減少が大きかった。

在宅勤務という新しいワークスタイルは、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)により世界中で急速に増加している^{1,2)}。いくつかの知見が、このワークスタイルが社会、特に先進国と発展途上国双方のオフィスワーカーの間で定着する可能性を示唆している。個々の勤労者の観点からは、在宅勤務は通勤時間の短縮、ワークライフバランスの改善、生産性の向上などの利点がある³⁾。更に、企業や雇用主は、パンデミック初期段階に在宅勤務を促進するシステムに既に投資している⁴⁾。したがって、この急速に拡大する勤務形態が、勤労者のライフスタイルや健康にどのような影響を与えるかを理解することが重要である。

近年、身体活動や座位行動に対する在宅勤務の影響を明らかにすることを目的とした研究が増えている。在宅勤務は、通勤や勤務時間中のオフィス内やオフィス間の移動の機会を減らす。不明瞭な関連性を報告した研究もあるが⁵⁾、系統的レビューではCOVID-19への対策としての在宅勤務と身体活動量の低下や座位行動の増加の関連性を示している^{6,7)}。

しかし、これらの先行研究には2つの大きな限界がある。まず、そのほとんどは2020年のパンデミック急性期に実施されたものである⁷⁾。この時期に実施された研究の結果には、パンデミック対策(ロックダウン、ソーシャルディスタンスの推奨、運動施設の閉鎖など)の影響に加え、外出や他者との交流に消極的になるといった心理的影響も組み込まれている可能性が高い。パンデミック後の在宅勤務の影響を更に理解するためには、対策や規制が緩やかな時期に実施される研究が必要であるが、その数は不足している⁸⁾。

第二に、これまでの研究では、身体活動や座位行動が在宅勤務の影響を受けやすい特定の集団について、ほとんど検討されてこなかった。在宅勤

務による身体活動の変化は、人口統計学的要因や利用可能な資源(例：年齢、性別、社会的経済状態、職場や家庭環境、健康意識など)によって異なる可能性が高い。しかし、これまでのところ、在宅勤務と身体活動や座位行動の関連性における異質性を検討した研究は2つしかない^{9,10)}。これらは潜在的な効果修飾因子として年齢、性別、学歴、子どもの数にのみ焦点を当てており、いずれも修正可能な因子ではない。優先的に介入すべき集団や介入戦略を明らかにするためには、在宅勤務と身体活動や座位行動の関連性に対する効果修飾因子について、より包括的に検討する必要がある。こうした研究のギャップを解決するために、本研究では、日本人ホワイトカラー勤労者を対象に、加速度計で測定した身体活動や座位行動と在宅勤務頻度の横断的関連と、その効果修飾因子を検討することを目的とした。

方 法

本研究は、疫学における観察研究の報告の強化(Strengthening the Reporting of Observational studies in Epidemiology)ガイドラインに従った(補足表1)。

A. 研究対象者

この横断研究では、東京都の明治安田新宿健診センターで実施されたコホート研究である明治安田ライフスタイル研究のデータを用いた¹¹⁾。このコホートのデータの大部分は、東京都に住む勤労者における年次健康診断のデータで構成されている。このコホートの参加者の大部分は、日本や東京都の主要な職業であるホワイトカラー勤労者(オフィスワーカーや営業職員など)である。研究を実施した地域における勤労者の一般的な生活習慣の一部を補足資料に示した。2017年以降この健診センターでは、顧客データベースに記載されて

いる特定の健康保険組合(すなわち、一部の健診受診者)に、日々の身体活動と座位行動を評価するための、加速度計を用いたオプション検査を提供している。検査に同意した参加者に対しては、加速度計を郵送した。なお、研究者は、検査を実施する参加者の選択には関与していない。

本研究では、2022年4月から2023年3月までに健診を受けた18443人の受診者のうち、加速度計を用いた任意検査を受けた1662人を対象とした。組み入れ基準は以下のとおりである：(1)有給のホワイトカラー勤労者、(2)定期健診で加速度計を用いた検査を完了した者、(3)研究への参加に同意した者。同じ受診者が1年間に複数回の検査を実施した場合は、最初のデータを用いた。合計1408人の勤労者が組み入れ基準を満たした。このうち、加速度計($n = 272$)、在宅勤務頻度($n = 1$)、1週間の就労時間($n = 2$)における非有効データを除外し、1133人の勤労者を分析対象とした。本研究は明治安田厚生事業団倫理審査委員会の承認を受け実施した(承認番号：28006)。

B. 調査期間中の日本における COVID-19感染対策および人流の変化

本研究の参加者登録期間中、日本政府による緊急事態宣言発出、COVID-19感染予防のための厳格な対策(例：不必要な外出を最小限に抑えるための勧告やレストラン営業時間の短縮など)を実施することはなかった。つまり、国民・市民に自宅待機や在宅勤務を強制するような厳格な対策は実施されておらず、事業運営(例：レストラン、運動施設、大勢の人々を集めるようなイベントなど)への制限もなかった。研究期間中、参加者を募集した東京都ではパンデミックによる外出の減少が、感染症流行前のレベルに戻り始めたところであった(補足図1参照)。これらのデータは、本研究が、パンデミックに関連した心理的影響(例：人との接触を避けるために外出を制限する)や対策(例：運動施設や商業施設の閉鎖または短縮時間)が、パンデミック初期段階よりも厳格ではない時期に実施されたことを示している。

C. 測定項目

参加者は、予定された健康診断受診日の約4週間前に加速度計と質問票を郵送で受け取った。参加者は、測定を完了させ、受診日に健診センターのスタッフに機器と質問票を提出するよう指示された。

1. 在宅勤務の頻度

参加者は、“過去1か月の間に、週に何日在宅勤務をしましたか?”という問いに対して、0～7日までの連続値で回答した。

2. 身体活動と座位行動の評価

身体活動と座位行動の測定には、3軸加速度計(Active style Pro HJA750-C、オムロンヘルスケア株式会社)を使用した。参加者は、機器に損傷を与える可能性のある場面(例：水中活動や激しいスポーツ)を除いて、少なくとも10日間、起床後から就床まで加速度計を腰部に装着するように指示された。この加速度計の測定精度は既に検証されており、消費エネルギー量と座位行動に対する測定精度は、欧米諸国で広く使用されている他の機器と同等かそれ以上である^{12,13})。エポック長は60秒とし、開発者提供のソフトウェアを用いて推定代謝当量(metabolic equivalents: METs)を求めた¹⁴)。活動カウントが検出閾値以下となった時間が60分連続した場合を非装着時間と定義し、1日10時間以上装着した日を有効日と定義した¹⁵)。平日4日以上の有効装着日を有する対象者のデータを分析に使用した¹⁶)。各60秒エポックは、推定METs値に基づいて、座位行動(≤ 1.5 METs)、低強度身体活動(1.6～2.9 METs)、中高強度身体活動(≥ 3.0 METs)に分類され^{17,18})、各行動に費やされた時間が計算された(分/日)。また、総身体活動時間(低強度身体活動と中高強度身体活動の合計)と1日の歩数も評価した。感度分析のために、消費エネルギー量(METs-h)も計算した。更に、継続した座位行動(30分以上連続した座位行動)の時間(分/日)、回数(回/日)、1回当たりの平均持続時間(分/時間)を評価した。これらの変数は日ごとに集計され、有効日のデータを用いて平均化された。本研究では、在宅勤務の影響が大きいと

予想される平日のデータを用いて分析を行った。

3. 潜在的な交絡因子と効果修飾因子

潜在的な交絡因子と効果修飾因子は、先行研究と専門知識に基づいて事前に選択された^{8,19)}。これらには、年齢、性別、自己評価による経済状態、教育年数、子どもの数、職種、雇用形態、週当たりの労働時間、body mass index、自己評価による健康状態、心理的ストレス、運動と食習慣の改善に対する行動変容ステージ、加速度計の装着時間が含まれる。BMIを算出するための身長と体重は、健康診断の際に身長計と体重計を用いて計測した。その他の情報については、自己報告式の質問票を用いて評価した。これらの変数の詳細な説明は、補足表2に記載されている。加速度計の装着時間と1週間の労働時間を除いたこれらの変数は、潜在的な効果修飾因子として分析に使用した。

D. 統計解析

すべての統計解析はR(バージョン4.2.2, R Foundation for Statistical Computing)を用いて行った。重回帰分析により、在宅勤務頻度と身体活動および座位行動との関連を検討した。モデルには、従属変数として身体行動、独立変数として全くない(基準レベル)、週1～2日、週3～4日、週5日以上に分類した在宅勤務頻度を用いた。共変量には、年齢(連続値)、性別(男性または女性)、学歴(13年未満または13年以上)、子どもの数(なしまたは1人以上)、職種(オフィスワーカーまたは営業・サービス業)、雇用形態(正規スタッフまたはその他)、週当たりの労働時間(連続値)、BMI(連続値)、自己評価による健康状態(あまり良くない/良くない/全然良くない、良い/とても良い/最高に良い)、心理的ストレス(連続値)、運動や食習慣の改善に対する行動変容ステージ(前熟考期またはその他)、加速度計の装着時間(連続値)を用いた。このモデルを用いて、共変量で調整した場合の各在宅勤務頻度における身体活動と座位行動を示す推定周辺平均(最小二乗平均)を算出した。在宅勤務に関連した身体活動の変化を更に理解するために、同じ共変量を用いて1時間ごとの身体活動の推定周辺平均も計算した。統計的有意

性は $P < 0.05$ とした。

在宅勤務頻度と総身体活動時間との関連における効果修飾を検討するために、積項(在宅勤務頻度×潜在的効果修飾因子)を組み込んだモデルを再分析した。潜在的効果修飾因子以外のすべての共変量が同時にモデルへ入力された。この分析では、統計的検出力と結果の解釈可能性を維持するために、以下の変数を二分した：在宅勤務(全くない vs 1日以上)、年齢(39歳以下 vs 40歳以上)、過体重(BMIが 25 kg/m^2 未満 vs 25 kg/m^2 以上)、中程度の心理的ストレス(K6スコアが4点以下 vs 5点以上)²⁰⁾。交互作用(効果修飾)の検定は一般に検出力が低いため、統計的有意水準を0.05に設定すると、有意な効果修飾因子を見落とす可能性がある。したがって、本研究で交互作用の P 値が < 0.20 であった場合、その変数は効果修飾因子と見なされた²¹⁾。

我々は、Rパッケージmiceを用いて連鎖方程式に基づく多重代入法を実施し、在宅勤務頻度と交絡因子に関する欠損データを代入した²²⁾。20の代入データセットが生成され、個別に解析された。各データセットの結果は、Rubinのルールに基づいてプールされた。感度分析として、(1)完全ケース($n = 875$)を用いた分析、および潜在的な効果修飾の検討におけるアウトカムに(2)身体活動によるエネルギー消費量(METs-h)と(3)座位行動時間を用いた分析を実施した。職種と身体活動との関連は性別によって異なる可能性があるため、更なる効果修飾(在宅勤務頻度×性別×職種)を評価した。

結 果

表1に在宅勤務頻度に基づく分析対象サンプル($n = 1133$)の特徴を示す。全サンプルの平均年齢は42.5歳(標準偏差 = 11.8)で、男性が57.7%、短大卒以上が84.5%、オフィスワーカーが89.4%であった。平均して、参加者は加速度計を10.2日間装着した。参加者の1週間の在宅勤務頻度の分布は以下のとおりであった：在宅勤務なし41.0%、1～2日17.4%、3～4日16.8%、5日以上

表 1. 在宅勤務頻度ごとの研究対象者の特性

特性	全体 (n = 1133)	1 週間の在宅勤務の頻度				P-value
		なし (n = 437)	1 ～ 2 日 (n = 186)	3 ～ 4 日 (n = 179)	5 日以上 (n = 265)	
平均年齢(標準偏差), 歳	42.5 (11.8)	44.6 (12.2)	43.2 (11.3)	40.4 (11.9)	39.6 (10.9)	< 0.01
性別						0.051
男性	654 (57.7%)	233 (53.3%)	113 (60.8%)	101 (56.4%)	168 (63.4%)	
女性	479 (42.3%)	204 (46.7%)	73 (39.2%)	78 (43.6%)	97 (36.6%)	
平均 BMI(標準偏差), kg/m ²	23.3 (4.4)	23.1 (4.3)	23.4 (4.6)	23.1 (4.1)	23.5 (4.9)	0.849
教育歴						< 0.01
13 年未満	165 (15.5%)	96 (22.8%)	16 (8.8%)	17 (9.9%)	31 (12.5%)	
13 年以上	900 (84.5%)	325 (77.2%)	165 (91.2%)	154 (90.1%)	217 (87.5%)	
主観的経済観						0.003
やや苦しい/大変苦しい	376 (34.1%)	175 (40.4%)	54 (29.7%)	46 (26.0%)	89 (34.5%)	
ややゆとりがある/ 大変ゆとりがある	727 (65.9%)	258 (59.6%)	128 (70.3%)	131 (74.0%)	169 (65.5%)	
子どもの数						0.003
なし	864 (77.8%)	346 (79.9%)	124 (68.1%)	148 (83.1%)	200 (76.6%)	
1 人以上	246 (22.2%)	87 (20.1%)	58 (31.9%)	30 (16.9%)	61 (23.4%)	
雇用形態						0.002
正規スタッフ	870 (78.6%)	317 (74.4%)	161 (88.0%)	143 (80.8%)	201 (77.0%)	
その他	237 (21.4%)	109 (25.6%)	22 (12.0%)	34 (19.2%)	60 (23.0%)	
職種						< 0.01
営業・サービス職	118 (10.6%)	74 (17.2%)	14 (7.6%)	11 (6.1%)	11 (4.2%)	
オフィスワーカー	997 (89.4%)	357 (82.8%)	170 (92.4%)	168 (93.9%)	248 (95.8%)	
1 週間の平均勤務時間 (標準偏差), 時間	40.3 (12.2)	40.4 (11.8)	39.1 (14.0)	39.8 (12.3)	41.4 (11.7)	
主観的健康観						0.071
あまり良くない/良くない/ 全然良くない	317 (28.8%)	133 (31.7%)	56 (30.8%)	37 (21.1%)	76 (29.1%)	
良い/とても良い/最高に良い	784 (71.2%)	286 (68.3%)	126 (69.2%)	138 (78.9%)	185 (70.9%)	
中程度の心理的ストレス						0.06
なし	749 (66.1%)	280 (64.1%)	130 (69.9%)	131 (73.2%)	166 (62.6%)	
あり	384 (33.9%)	157 (35.9%)	56 (30.1%)	48 (26.8%)	99 (37.4%)	
生活習慣改善の行動変容ステージ						0.046
前熟考期	193 (17.0%)	90 (20.6%)	33 (17.7%)	20 (11.2%)	44 (16.6%)	
それ以外	940 (83.0%)	347 (79.4%)	153 (82.3%)	159 (88.8%)	221 (83.4%)	
加速度計に関する情報						
平均装着日数(標準偏差), 日	10.2 (4.6)	10.5 (4.5)	10.4 (4.7)	10.0 (4.8)	9.6 (4.4)	0.061
平均装着時間(標準偏差), 時間	890.1 (115.8)	892.9 (120.9)	901.1 (107.8)	879.6 (100.0)	889.0 (121.4)	0.511

表は欠測代入前のデータを用いて作成した。欠損値があるため、在宅勤務頻度の各層における各変数の対象者数の合計は、全体のサンプルサイズ(n = 1133)には一致しない。連続変数は平均(標準偏差)、カテゴリー変数は人数(%)で示した。連続変数については Kruskal-Wallis 順位和検定で、カテゴリー変数については Pearson カイ 2 乗検定で P 値を計算した。

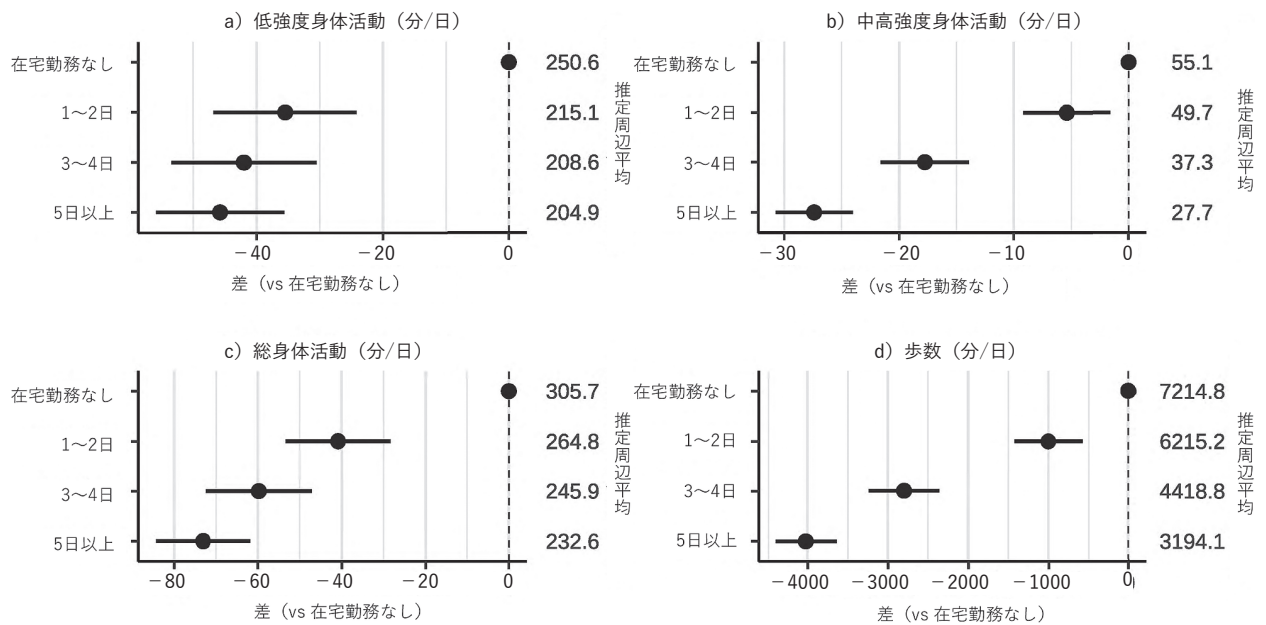


図1. 在宅勤務頻度と身体活動の関連性

フォレストプロットの横の数値は推定周辺平均(共変量で調整した際の各在宅勤務頻度における身体活動の平均値)を示している。すべてのモデルは、年齢、性別、教育歴、子どもの数、職種、雇用形態、1週間の労働時間、body mass index、主観的健康観、心理的ストレス、運動や食習慣の改善に対する行動変容ステージ、加速度計の装着時間で調整した。

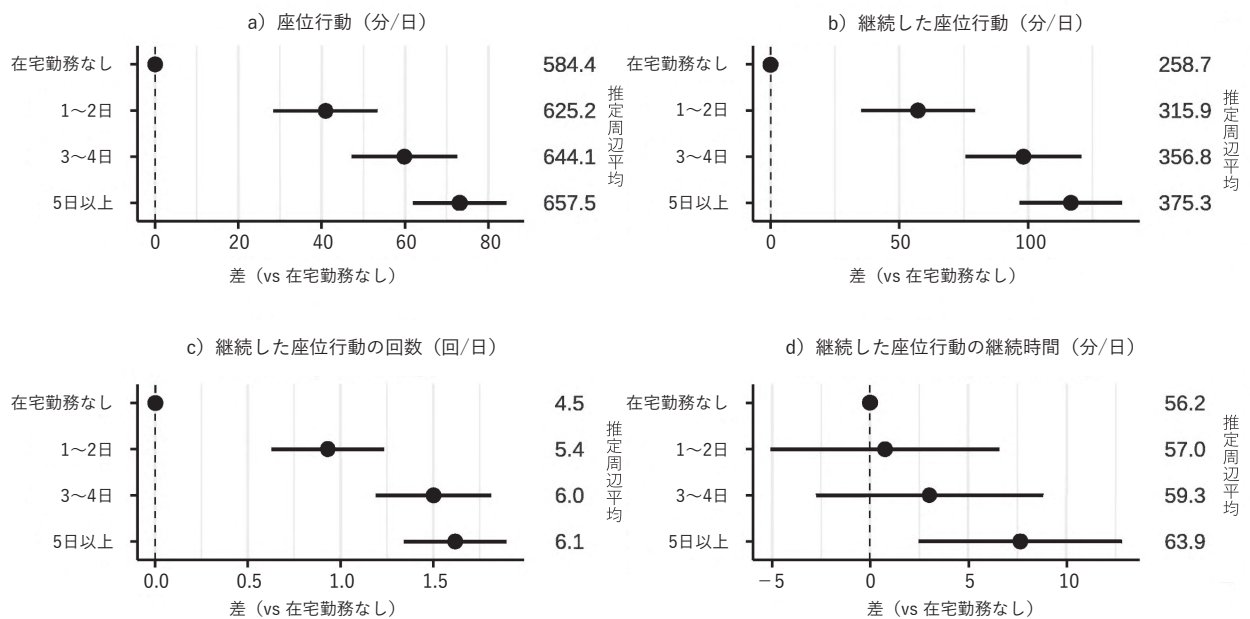


図2. 在宅勤務頻度と座位行動の関連性

フォレストプロットの横の数値は推定周辺平均(共変量で調整した際の各在宅勤務頻度における座位行動の平均値)を示している。すべてのモデルは、年齢、性別、教育歴、子どもの数、職種、雇用形態、1週間の労働時間、body mass index、主観的健康観、心理的ストレス、運動や食習慣の改善に対する行動変容ステージ、加速度計の装着時間で調整した。

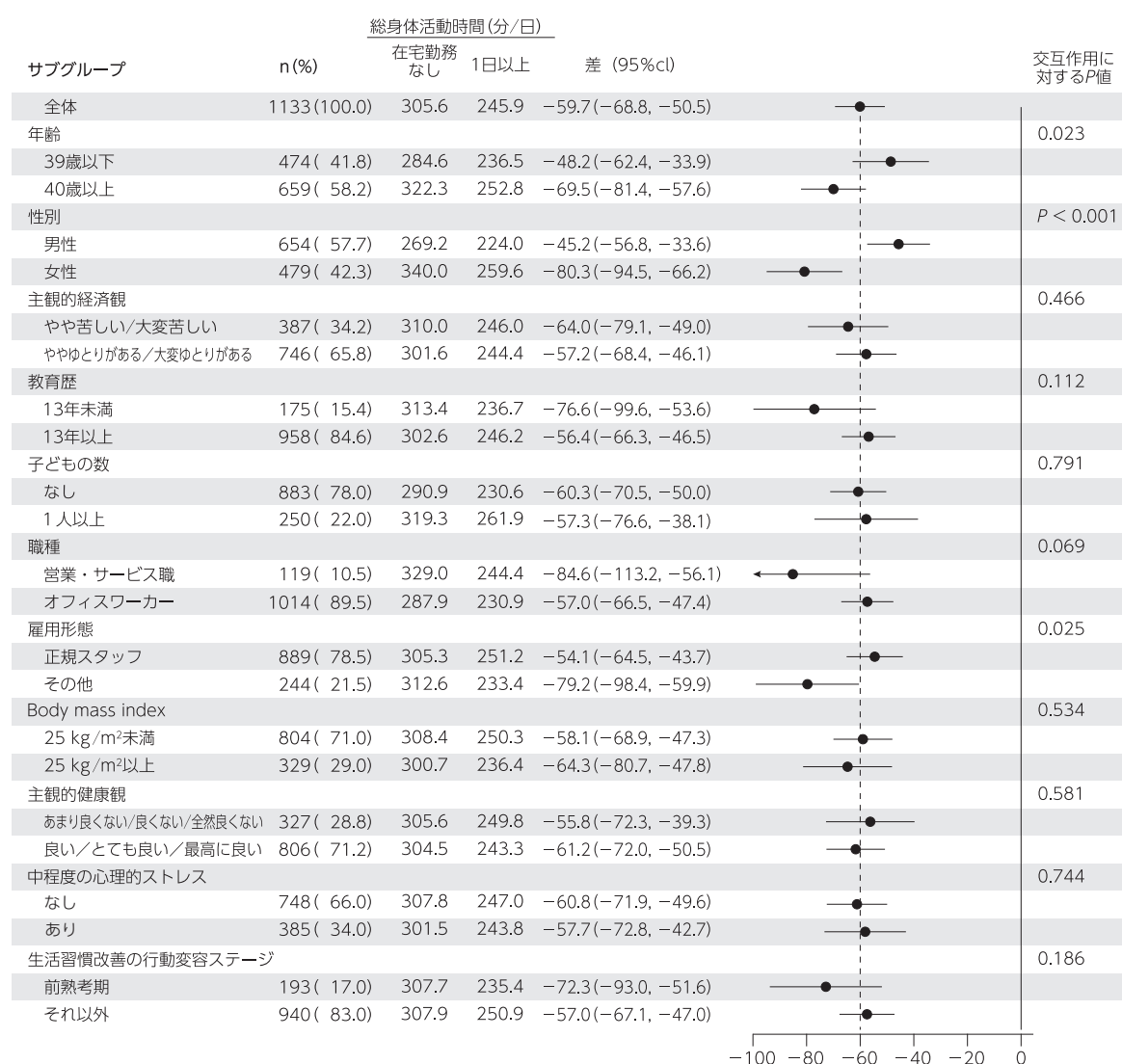


図3. 在宅勤務頻度と総身体活動時間の関連性における異質性

グラフでは、在宅勤務の有無における総身体活動時間の差を集団全体(破線)および潜在的な効果修飾因子の各層で比較している。グラフにおいて破線から離れた点ほど、その層での在宅勤務に関連した身体活動の減少が、集団全体のそれと比べて大きい/小さいことを示す。各在宅勤務頻度における身体活動の値とその差は、推定周辺平均(共変量で調整した場合の各在宅勤務頻度における総身体活動時間)とその95%信頼区間を表す。モデルには共変量として、年齢、性別、教育歴、子どもの数、職種、雇用形態、1週間の労働時間、body mass index、主観的健康観、心理的ストレス、運動や食習慣の改善に対する行動変容ステージ、加速度計の装着時間で調整した(標的となる効果修飾因子は除く)。

24.8%。在宅勤務日数が多い勤労者は、若く、男性で、高学歴である傾向があり、経済的地位が高く、正規スタッフ、オフィスワーカー、運動習慣や食習慣の改善に対する意識が高かった。

図1は、在宅勤務頻度と身体活動との関連を示したものである。活動強度にかかわらず、週1～2日でも在宅勤務する者は、しない者よりも身体活動が少なかった($P < 0.05$)。中高強度身体活動

に費やした時間、総身体活動時間、歩数は、在宅勤務の週ごとの頻度が高くなるにつれて減少した。例えば、1日の総身体活動時間は、在宅勤務なしが305.7分、1～2日が264.8分、3～4日が245.9分、5日以上が232.6分であった(vs 在宅勤務なし： $P < 0.05$)。1日の歩数は、在宅勤務なしで7214.8歩、1～2日で6215.2歩、3～4日で4418.8歩、5日以上で3194.1歩であった(vs 在宅

勤務なし： $P < 0.05$)。つまり、在宅勤務しない者と5日以上する者の差は、総身体活動で約70分/日、歩数で約4000歩/日であった。補足図2のとおりに、在宅勤務の頻度が高い者は、在宅勤務の頻度が低い者に比べて、特定の時間帯ではなく1日を通して身体活動が少ない傾向があることが明らかになった。

図2は、在宅勤務と座位行動の関連性を示したものである。在宅勤務の頻度が高いほど、座位行動に費やす時間、継続した座位行動、1日当たりの継続した座位行動回数が多いことと関連していた($P < 0.05$)。例えば、1日の座位行動時間は、在宅勤務なしで584.4分、1～2日で625.2分、3～4日で644.1分、5日以上で657.5分であった(vs 在宅勤務なし： $P < 0.05$)。在宅勤務しない者と5日以上する者の差は、座位行動時間で約70分、1日当たりの継続した座位行動の回数で約1.5回であった。すべての頻度の在宅勤務が、継続した座位行動の1日の回数と関連していたことに対して、1回当たりの継続時間とは週5日以上在宅勤務のみが有意に関連していた(vs 在宅勤務なし： $P < 0.05$)。

図3は、在宅勤務と総身体活動との関連における効果修飾の検定結果である。全サンプルにおいて、週1日以上在宅勤務する者は、しない者に比べて、総身体活動時間が平均で59.7分短かった。しかし、この関連は、勤労者の年齢、性別、学歴、職種、雇用形態、ライフスタイルにおける行動変容の段階によって異なっていた($P < 0.20$)。例えば、在宅勤務と身体活動低下との関連は、若年層(48.2分)、男性(45.2分)、高学歴者(56.4分)、運動や食習慣の改善に対して前熟考期より進んだステージの者(57.0分)と比較して、高齢層(69.5分)、女性(80.3分)、低学歴者(76.6分)、前熟考期の者(72.3分)で顕著であった。更に、感度分析の結果、在宅勤務に関連した身体活動低下の効果量は、性別と職種の組み合わせによって異なることが明らかになった($P = 0.12$, 補足図3参照)。

完全症例ケース(補足図4～6参照)、身体活動エネルギー消費量(補足図7, 8参照)、座位行動

(補足図9参照)を用いた解析でも、推定値の効果量と信頼区間において主解析と比較して若干の違いはあるものの、同様の結果が得られた。

考 察

本研究では、COVID-19に対する強力な感染対策が実施されず、人流の減少が回復した時期に、日本人ホワイトカラー勤労者を対象に、在宅勤務頻度と加速度計で測定した身体活動および座位行動との関連を検討した。このような社会的背景においても、活動強度に関係なく、在宅勤務者は身体活動が少なく、座位行動が多いことが観察された。身体行動のいくつかの指標は用量反応関係を示し、在宅勤務の頻度が高いほど活動レベルが低いことと関連した。また、年齢、性別、学歴、職種、雇用形態、運動習慣や食習慣の行動変容ステージなどに基づく関連性の異質性も観察された。感度分析の結果、在宅勤務頻度と身体活動および座位行動との関連、およびその効果修飾は、欠測や使用したアウトカム指標(例えば、分 vs METs-h)に対して頑健であることが示唆された。

我々の知見は、パンデミック初期(2020～2021年)に実施された研究を要約したシステマティックレビューの結果と概ね一致しており、在宅勤務に起因する身体活動の減少と座位行動の増加が示唆された⁷⁾。効果の大きさは研究によって異なるが、このレビューでは、在宅勤務が総身体活動を減少させ、座位行動を平均16%増加させたと報告している⁷⁾。2022年1月に実施されたこの分野の最新研究では、在宅勤務の日の1日の歩数は、オフィス勤務の日よりも約20%少ないと報告されている¹⁰⁾。一方、本研究では、週5日以上在宅勤務する者は、在宅勤務をしない者に比べて、総身体活動量が23.9%、歩数が55.7%少なかった。在宅勤務による裁量時間の増加は、特に一部の健康志向の勤労者において、余暇時間の身体活動(例えば運動)を増加させた可能性がある。しかし、我々の結果は、集団レベルでは、余暇時間の身体活動の潜在的な増加は、在宅勤務に関連した不活動の補償にはならない可能性があることを示して

いる。これらの結果は、既存の知見を拡張するものであり、在宅勤務がパンデミック後期においても、身体活動と座位行動に大きな影響を与える可能性を示唆するものである。

先行研究と比較して、本研究では、在宅勤務と身体活動および座位行動との関連において、より大きな効果量が確認された。この差は、研究対象者の特徴に起因している可能性がある。本研究が実施された日本の大都市圏は、公共交通システムが発達しており、ほとんどの勤労者が電車やバスを利用して出勤している。そのため、通勤に伴う身体活動はかなり多く、在宅勤務ではこうした活動量が失われてしまう。この仮定は、日本の首都圏で実施された過去の研究で観察された在宅勤務による身体活動の減少が、他の国で報告されたものよりも大きいという事実によって部分的に支持されている^{7,19)}。他に考えられる理由としては、身体行動の評価方法(質問票かデバイスか)、研究デザイン(参加者内比較か参加者間比較か)、参加者の特徴(活動レベルなど)といったものが考えられる。本研究では、週に数日しか在宅勤務しなかった場合でも、臨床的に重要な身体活動の減少が確認されたことも特筆すべき結果である。最近のメタアナリシスでは、1日5000歩歩く成人に比べて、より歩数の少ない成人のほうが、死亡リスクが高いことが報告されている²³⁾。これらの知見は、長期的な在宅勤務による健康への悪影響を軽減するために、身体活動促進戦略を開発する必要性を示唆している。

本研究では、活動強度にかかわらず、在宅勤務が身体活動の減少と関連することが確認された。在宅勤務と強度別身体活動との関連を検討した研究は4件のみであり、一貫性のない結果が報告されている^{5,8,19,24)}。これらの研究のなかで、我々の結果は、在宅勤務の頻度が高いほど仕事上の主観的な低強度身体活動と中高強度身体活動が少ないことを示した、東京都で行われた研究の結果と一致している¹⁹⁾。

本研究では、在宅勤務の頻度は継続した座位行動の回数増加と関連していたが、1回当たりの継

続時間との関連は弱かった。これらの結果は、在宅勤務による継続した座位行動増加は、1回の座位行動時間ではなく、回数の増加に起因する可能性を示唆している。在宅勤務中の座位行動パターンを調べた研究は3件のみであり、我々を含むすべての結果は一貫していないため、先行研究との比較を通じて我々の知見を完全に解釈することはできない^{8,9,19)}。この不一致は、在宅勤務が行われる環境と座位行動の測定方法(調査票とデバイス)の違いに起因している可能性があると考えられる。特に、質問票を用いた座位行動の中断や継続時間の評価は、その妥当性が高くないことが知られている^{25,26)}。在宅勤務中の座位行動パターンをよりよく理解するためには、本研究で使用したような機器を用いた今後の研究が望まれる。

これまでのところ、在宅勤務と身体活動および座位行動との関連における異質性を検討した研究は2件のみである^{9,10)}。これらの研究では、年齢、性別、学歴、子どもの有無を潜在的な効果修飾因子として用いているが、これらの因子によって関連が異なるという明確なエビデンスは得られていない。我々は、これらの潜在的な効果修飾因子を7つの追加因子で補強し、異質性に関する包括的な知見を示した。つまり、在宅勤務に関連した身体活動の減少は、高齢者、女性、低学歴者、営業・サービス業従事者、非正規スタッフ、運動や食習慣の変化について前熟考期にある勤労者においてより顕著であることを示した。また、在宅勤務に関連した身体活動の減少は、男性であったとしても営業・サービス業従事者でより顕著であり、またオフィスワーカーであったとしても女性でより顕著であった。これらの結果は、在宅勤務が身体活動と座位行動に及ぼす潜在的な影響を理解するには、多次元的な効果修飾の評価が必要であることを示唆している。在宅勤務に関連した身体活動の減少を補うためには、余暇時間と家庭での身体活動を増やすことが重要である。しかし、これらの特徴をもつ人は余暇の身体活動やヘルスリテラシーが低い傾向があり²⁷⁻²⁹⁾、こうした先行研究の知見から本研究で観察された効果修飾を説明で

きる可能性がある。

我々の結果は、在宅勤務に関連した不活動への対策は、これらの潜在的な効果修飾因子をもつ勤労者に対して優先されるべきであることを示唆している。注目すべきは、行動変容ステージが、この関連性に対して最初に同定された修正可能な因子であったことである。在宅勤務を実施する前にこの因子を標的とした介入を行うことで、在宅勤務が身体活動や座位行動に及ぼす潜在的な負の影響を軽減できる可能性がある。同時に、在宅勤務に関連する身体活動の減少は比較的小さかったが、本研究で身体活動総量が少なかった若年成人、男性、オフィスワーカーに対する介入の必要性を忘れてはならない。本研究で同定された効果修飾因子の1つを除くすべてが、本質的に修正が困難であった(例えば、年齢、性別、職種)。この知見だけでは、在宅勤務による身体活動の減少に対抗するための有意義な戦略の開発に完全に貢献することはできない。今後の研究では修正困難な前述の要因と修正可能な要因(例えば、仕事環境や活動量計の利用)を組み合わせることによって、多次元的な効果修飾を検討すべきである。このアプローチは、在宅勤務による活動量低下の傾向が強い勤労者(例えば女性)であっても、他の修正可能な要因(例えば仕事環境)に介入することで、この負の影響を軽減できるという臨床的に価値のある洞察を提供する可能性がある。

本研究の長所は、比較的大きなサンプルサイズに基づき、在宅勤務頻度とデバイスで測定された身体活動および座位行動との関連を検討したことにある。更に本研究では、公衆衛生戦略の開発に役立つ可能性のあるいくつかの効果修飾因子を同定した。しかし、本研究にはいくつかの限界がある。まず、参加者が在宅勤務日に加速度計を装着しているかどうかを確認することができなかった。それにもかかわらず、我々の知見は、在宅勤務頻度と活動レベルとの間に用量反応関係があることを示しており、我々の評価が在宅勤務日の身体活動と座位行動を一定レベルまでとらえていることを示唆している。今後の研究では、加速度計の

データを参加者の実際の勤務スケジュールと統合し、分析することを目指すべきである。第二に、本研究の横断的な性質は、因果関係の推論を妨げている。第三に、観察研究であるため未知・未測定の変数因子の影響を取り除くことはできない。しかし、我々の研究は、分析モデルに幅広い変数因子を投入しており、これらの潜在的なバイアスは軽減されている可能性がある。第四に、実際の姿勢変化を評価できない腰部装着型加速度計を使用したため、座位行動と低強度身体活動の誤分類が懸念される¹³⁾。更に、本研究では身体活動のドメインを評価できなかった。したがって、さまざまな身体活動のなかで健康やウェルビーイングと強く関連している余暇の身体活動に対する在宅勤務の効果を評価することはできなかった。今後の研究では、在宅勤務に関連する日常生活の変化を更に特徴づけるために、ドメイン評価のために加速度計と質問票を組み合わせるべきである。第五に、参加者は主に首都圏に居住するホワイトカラー勤労者であったため、サンプリングバイアスが生じた可能性がある。参加者のなかには、自分で料金を負担して定期健診の内容をアップグレードした者もいた。したがって、本研究の参加者は、一般的なホワイトカラー勤労者よりも健康意識や社会経済的地位が高い可能性がある。更に、在宅勤務の導入、家庭環境、近隣環境(例：運動施設の利用可能性)、交通手段(例：自動車や公共交通機関)における都市部と農村部間の格差は、在宅勤務が身体活動や座位行動に及ぼす影響を修正する可能性があり、農村部の勤労者に対する我々の知見の一般化可能性を制限している。更に、ホワイトカラー勤労者とは異なる職場での身体活動や座位行動のパターンをもつブルーカラー勤労者を含む他の職業への結果の一般化可能性についても、更なる調査が必要である。

結論として、本研究では、COVID-19の厳格な感染対策が実施されず、人流が流行前のレベルに戻った期間において、在宅勤務頻度とデバイスで測定された身体活動および座位行動との関連を検討した。このような社会的背景においても、在宅

勤務は活動強度に関係なく、勤労者の身体活動の減少および座位行動の増加と関連していることが観察された。更に、高齢者、女性、低学歴者、営業・サービス業、非正規スタッフ、運動や食習慣の改善について前熟考期にある勤労者は、在宅勤務による身体活動の減少の影響を受けやすいことが示された。これらの知見は、特に影響を受けやすい勤労者に対して、彼ら/彼女らの健康を守りながら長期的な在宅勤務の実施を支援するために、身体活動の促進を意図した介入の開発が必要であることを強調している。

謝 辞

本研究の実施に多大なる尽力をいただいた明治安田新宿健診センターのスタッフと、研究参加者の皆さまに感謝いたします。

資 金

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金若手研究(17K13238, 18K17930, 20K19701)、科学研究費補助金(19K11569)、厚生労働科学研究費補助金(22JA0501)の助成を受けて行われた。

参 考 文 献

- 1) International Labour Organization. Teleworking arrangements during the COVID-19 Crisis and beyond, 2021. http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/how-the-ilo-works/multilateral-system/g20/reports/WCMS_791858/lang-en/index.htm (アクセス日：2024年2月26日)
- 2) 東京都. テレワーク実施率調査結果. 2024. <https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2023/11/15/13.html> (アクセス日：2024年2月26日)
- 3) Tavares AI. Telework and health effects review. *International Journal of Healthcare*. 2017; 3: 30-6.
- 4) Chen Z. Influence of Working from home during the COVID-19 crisis and HR practitioner response. *Frontiers in Psychology*. 2021; 12: 710517.
- 5) Hallman DM, Januario LB, Mathiassen SE, Heiden M, Svensson S, Bergström G. Working from home during the COVID-19 outbreak in Sweden: effects on 24-h time-use in office workers. *BMC Public Health*. 2021; 21: 528.
- 6) Ráthonyi G, Kósa K, Bács Z, Ráthonyi-Ódor K, Füzési I, Lengyel P, Bácsné Bába É. Changes in workers' physical activity and sedentary behavior during the COVID-19 pandemic. *Sustainability*. 2021; 13: 9524.
- 7) Wilms P, Schröder J, Reer R, Scheit L. The impact of "home office" work on physical activity and sedentary behavior during the COVID-19 pandemic: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19: 12344.
- 8) Sers S, Timm I, de Vries EA, Wäsche H, Woll A, Bender O, Giurgiu M. Insights on physical behavior while working from home: an ecological momentary assessment study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2023; 33: 2273-85.
- 9) Wahlström V, Januario LB, Mathiassen SE, Heiden M, Hallman DM. Hybrid office work in women and men: do directly measured physical behaviors differ between days working from home and days working at the office? *Annals of Work Exposures and Health*. 2023; 67: 1043-55.
- 10) Massar SAA, Ong JL, Lau T, Ng BKL, Chan LF, Koek D, Cheong K, Chee MWL. Working-from-home persistently influences sleep and physical activity 2 years after the Covid-19 pandemic onset: a longitudinal sleep tracker and electronic diary-based study. *Frontiers in Psychology*. 2023; 14: 1145893.
- 11) Kitano N, Kai Y, Jindo T, Fujii Y, Tsunoda K, Arai T. Association of domain-specific physical activity and sedentary behavior with cardiometabolic health among office workers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2022; 32: 1224-35.
- 12) Murakami H, Kawakami R, Nakae S, Nakata Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Miyachi M. Accuracy of wearable devices for estimating total energy expenditure: comparison with metabolic chamber and doubly labeled water method. *Journal of the American Medical Association Internal Medicine*. 2016; 176: 702-3.
- 13) Kurita S, Yano S, Ishii K, Shibata A, Sasai H, Nakata Y, Fukushima N, Inoue S, Tanaka S, Sugiyama T, Owen N, Oka K. Comparability of activity monitors used in Asian and Western-country studies for assessing free-living sedentary behaviour. *PloS One*. 2017; 12: e0186523.
- 14) Ohkawara K, Oshima Y, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Tabata I, Tanaka S. Real-time estimation of daily physical activity intensity by a triaxial accelerometer and a gravity-removal classification algorithm. *The British Journal of Nutrition*. 2011; 105: 1681-91.
- 15) Tudor-Locke C, Camhi SM, Troiano RP. A catalog of rules, variables, and definitions applied to accelerometer data in the National Health and Nutrition Examination Survey, 2003-2006. *Preventing Chronic Disease*. 2012; 9: E113.
- 16) Mäse LC, Fuemmeler BF, Anderson CB, Matthews CE,

- Trost SG, Catellier DJ, Treuth M. Accelerometer data reduction: a comparison of four reduction algorithms on select outcome variables. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2005; 37: S544-54.
- 17) Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, Macera CA, Heath GW, Thompson PD, Bauman A. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*. 2007; 116: 1081-93.
- 18) Pate RR, O'Neill JR, Lobelo F. The evolving definition of "sedentary." *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2008; 36: 173-8.
- 19) Fukushima N, Machida M, Kikuchi H, Amagasa S, Hayashi T, Odagiri Y, Takamiya T, Inoue S. Associations of working from home with occupational physical activity and sedentary behavior under the COVID-19 pandemic. *Journal of Occupational Health*. 2021; 63: e12212.
- 20) Furukawa TA, Kawakami N, Saitoh M, Ono Y, Nakane Y, Nakamura Y, Tachimori H, Iwata N, Uda H, Nakane H, Watanabe M, Naganuma Y, Hata Y, Kobayashi M, Miyake Y, Takeshima T, Kikkawa T. The performance of the Japanese version of the K6 and K10 in the World Mental Health Survey Japan. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*. 2008; 17: 152-8.
- 21) Marshall SW. Power for tests of interaction: effect of raising the Type I error rate. *Epidemiologic Perspectives & Innovations*. 2007; 4: 4.
- 22) van Buuren S, Groothuis-Oudshoorn K. Mice: multivariate imputation by chained equations in R. *Journal of Statistical Software*. 2011; 45: 3.
- 23) Paluch AE, Bajpai S, Bassett DR, Carnethon MR, Ekelund U, Evenson KR, Galuska DA, Jefferis BJ, Kraus WE, Lee IM, Matthews CE, Omura JD, Patel AV, Pieper CF, Rees-Punia E, Dallmeier D, Klenk J, Whincup PH, Dooley EE, Pettee Gabriel K, Palta P, Pompeii LA, Chernofsky A, Larson MG, Vasan RS, Spartano N, Ballin M, Nordström P, Nordström A, Anderssen SA, Hansen BH, Cochrane JA, Dwyer T, Wang J, Ferrucci L, Liu F, Schrack J, Urbanek J, Saint-Maurice PF, Yamamoto N, Yoshitake Y, Newton RL Jr, Yang S, Shiroma EJ, Fulton JE; Steps for Health Collaborative. Daily steps and all-cause mortality: a meta-analysis of 15 international cohorts. *The Lancet, Public Health*. 2022; 7: e219-28.
- 24) Brusaca LA, Januario LB, Mathiassen SE, Barbieri DF, Oliveira RV, Heiden M, Oliveira AB, Hallman DM. Sedentary behaviour, physical activity, and sleep among office workers during the COVID-19 pandemic: a comparison of Brazil and Sweden. *BMC Public Health*. 2022; 22: 2196.
- 25) Fukushima N, Amagasa S, Kikuchi H, Takamiya T, Odagiri Y, Hayashi T, Kitabayashi M, Inoue S. Validity and reliability of the work-related physical activity questionnaire for assessing intensity-specific physical activity and sedentary behavior in the workplace. *Sangyo Eiseigaku Zasshi*. 2020; 62: 61-71.
- 26) Pedisic Z, Bennie JA, Timperio AF, Crawford DA, Dunstan DW, Bauman AE, Salmon J. Workplace Sitting Breaks Questionnaire (SITBRQ): an assessment of concurrent validity and test-retest reliability. *BMC Public Health*. 2014; 14: 1249.
- 27) Craike M, Bourke M, Hilland TA, Wiesner G, Pascoe MC, Bengoechea EG, Parker AG. Correlates of physical activity among disadvantaged groups: a systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*. 2019; 57: 700-15.
- 28) Vandelandotte C, Short C, Rockloff M, Di Millia L, Ronan K, Happell B, Duncan MJ. How do different occupational factors influence total, occupational, and leisure-time physical activity? *Journal of Physical Activity & Health*. 2015; 12: 200-7.
- 29) Sørensen K, Pelikan JM, Röthlin F, Ganahl K, Slonska Z, Doyle G, Fullam J, Kondilis B, Agraftiotis D, Uiters E, Falcon M, Mensing M, Tchamov K, van den Broucke S, Brand H; HLS-EU Consortium. Health literacy in Europe: comparative results of the European health literacy survey (HLS-EU). *European Journal of Public Health*. 2015; 25: 1053-8.

補足表 1. STROBE 声明：観察研究の報告において記載すべき項目のチェックリスト

項目	No	推奨	報告ページ
タイトル・抄録	1	(a) タイトルまたは抄録のなかで、試験デザインを一般に用いられる用語で明示する。 (b) 抄録では、研究で行われたことと明らかにされたことについて、十分な情報を含み、かつバランスのよい要約を記載する。	1, 2 2
はじめに			
背景/論拠	2	研究の科学的な背景と論拠を説明する。	3, 4
目的	3	特定の仮説を含む目的を明記する。	4
方法			
研究デザイン	4	研究デザインの重要な要素を論文のはじめの部分で示す。	4
セッティング	5	セッティング、実施場所のほか、基準となる日付については、登録、曝露、追跡、データ収集の期間を含めて明記する。	4
参加者	6	(a) 適格基準、参加者の母集団、選定方法を明記する。追跡の方法についても記述する。 (b) マッチング研究の場合、マッチングの基準、曝露群と非曝露群の各人数を記載する。	4 NA
変数	7	すべてのアウトカム、曝露、予測因子、潜在的交絡因子、潜在的な効果修飾因子を明確に定義する。該当する場合は、診断方法を示す。	5, 6
データ源/測定方法	8*	関連する各因子に対して、データ源、測定・評価方法の詳細を示す。2つ以上の群がある場合は、測定方法の比較可能性を明記する。	5, 6, 補足表 2
バイアス	9	潜在的なバイアス源に対応するためにとられた措置があればすべて示す。	5～7, 11,12
研究サイズ	10	研究サイズがどのように算出されたかを説明する。	4
量的変数	11	量的変数の分析方法を説明する。該当する場合は、どのグルーピングがなぜ選ばれたかを記載する。	5～7, 補足表 2
分析方法	12	(a) 交絡因子の調整に用いた方法を含め、すべての統計学的方法を示す。 (b) サブグループと相互作用の検証に用いたすべての方法を示す。 (c) 欠損データをどのように扱ったかを説明する。 (d) 該当する場合は、サンプリング方式を考慮した分析法について記述する。 (e) あらゆる感度分析の方法を示す。	6, 7 6, 7 7 NA 7
結果			
参加者	13*	(a) 研究の各段階における人数を示す(例：潜在的な適格者数、適格性が調査された数、適格と確認された数、研究に組み入れられた数、フォローアップを完了した数、分析された数)。 (b) 各段階での非参加者の理由を示す。 (c) フローチャートによる記載を考慮する。	4 4 NA
記述的データ	14*	(a) 参加者の特徴(例：人口統計学的、臨床的、社会的特徴)と曝露や潜在的交絡因子の情報を示す。 (b) それぞれの変数について、データが欠損した参加者数を記載する。 (c) 追跡期間を要約する(平均および合計)。	4, 7, 8, 表 1 NA NA
アウトカムデータ	15*	アウトカム事象の発生数または集約尺度を示す。	図 1, 2

主な結果	16	(a) 調整前の推定値と、該当する場合は交絡因子での調整後の推定値、そしてそれらの精度(例:95%信頼区間)を記述する。どの交絡因子が、なぜ調整されたかを明確にする。 (b) 連続変数を分類した場合のカテゴリー境界を報告する。 (c) 意味のある場合は、相対リスクを、意味をもつ期間の絶対リスクに換算すること を考慮する。	8,9,図1, 2,補足図2~ 7 6,7,補足図2 8,9,図2,補 足図2~7
他の分析	17	その他に行われたすべての分析(例:サブグループと相互作用の解析や感度分析)の結果を報告する。	8,9,図3, 補足図4,6, 7
考察			
鍵となる結果	18	研究目的に関しての鍵となる結果を要約する。	9
限界	19	潜在的なバイアスや精度の問題を考慮して、研究の限界を議論する。潜在的バイアスの方向性と大きさを議論する。	11,12
解釈	20	目的、限界、解析の多重性[multiplicity]、同様の研究で得られた結果やその他の関連するエビデンスを考慮し、慎重で総合的な結果の解釈を記載する。	9~12
一般化可能性	21	研究結果の一般化可能性(外的妥当性)を議論する。	12
その他の情報			
研究の財源	22	研究の資金源、本研究における資金提供者の役割を示す。該当する場合には、現在の研究の元となる研究についても同様に示す。	13

* 曝露群と非曝露群に分けて記述する。

補足資料. 研究が行われた地域の一般的な勤労者の生活習慣に関する補足情報

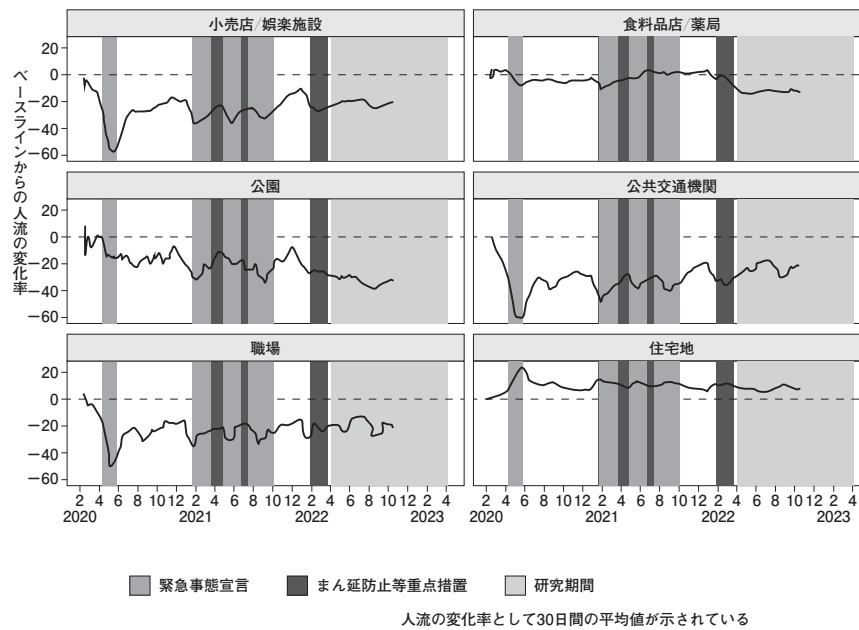
- ・日本における就業人口のうちホワイトカラー労働者の割合は40.1%、東京都では54.9%と報告されており(統計局, 2020)、現代の労働力において主要な職業であると考えられている。
- ・日本における1日の平均的な所定労働時間は7時間48分であり、企業の83.5%が何らかの形で週休2日制を導入している(厚生労働省, 2023)。多くの企業では、始業時刻を午前8時から9時30分の間に、終業時刻を午後4時30分から6時の間に設定している(東京都産業労働局, 2017)。フレックスタイム制を導入している企業は8.2%にとどまっている(厚生労働省, 2023)。
- ・首都圏の労働者の84.9%がアクティブ・通勤者(徒歩、自転車、または公共交通機関で通勤する者)であると報告されており、これは日本の他地域と比較して最も高い割合である(福西ら, 2024)。
- ・日本の20~60歳の成人において、運動習慣がある者の割合は男性で23.7%、女性で14.9%である(厚生労働省, 2019)。

参考文献

- ・統計局. 令和2年度国勢調査. 2021. URL: <https://www.stat.go.jp/english/data/kokusei/2020/summary.html> (アクセス日: 2024年7月4日)
- ・厚生労働省. 令和4年就労条件総合調査. 2023. URL: <https://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/jikan/syurou/22/index.html> (アクセス日: 2024年7月4日)
- ・東京都産業労働局. 労働時間管理に関する実態調査. 2017. URL: https://www.sangyo-rodo.metro.tokyo.lg.jp/documents/d/sangyo-rodo/jiccho28_all (アクセス日: 2024年7月4日)
- ・福西厚子, 町田征己, 菊池宏幸, 小田切優子, 高宮朋子, 福島教照, 天笠志保, 中谷友樹, 樋野公宏, 井上 茂. 産業衛生学雑誌. 2024; 66(2): 90-7.
- ・厚生労働省. 令和元年国民健康・栄養調査報告. 2020. URL: https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoku/kenkou/eiyoru/r1-houkoku_00002.html (アクセス日: 2024年7月4日)

補足表 2. 潜在的交絡因子および効果修飾因子の評価の詳細

項目	質問と回答
過当たりの労働時間	質問：実際に働いていた時間は残業含め 1 週間当たり何時間でしたか
自己評価による健康状態	質問：全体的にみて、最近 1 か月間のあなたの健康状態はいかがでしたか？ 回答： 1. 最高に良い 2. とても良い 3. 良い 4. あまり良くない 5. 良くない 6. 全然良くない 回答は、良い(最高に良い、とても良い、良い)と悪い(あまり良くない、良くない、全然良くない)に分類し分析に使用した。
心理的ストレス	心理的ストレスは、日本語版 K6 を用いて評価した(Furukawa et al., 2008)。K6 は、過去 1 か月間における心理的ストレスを評価するものであり、その内容には、緊張感、絶望感、落ち着きのなさ、そわそわ感、自分には価値がないと感じること、抑うつ気分、すべてが努力を要すると感じる事が含まれる。各項目について、回答者は「全くない(0 点)」から「いつも(4 点)」の 5 段階で回答した。本研究では、6 項目の合計得点を共変量として用い、また、中程度の心理的ストレスのカットオフ値である 5 点(Nishi et al., 2018)に基づく二値変数を、効果修飾因子の候補として使用した。 ■ Furukawa TA, Kawakami N, Saitoh M, Ono Y, Nakane Y, Nakamura Y, Tachimori H, Iwata N, Uda H, Nakane H, Watanabe M, Naganuma Y, Hata Y, Kobayashi M, Miyake Y, Takeshima T, Kikkawa T. The performance of the Japanese version of the K6 and K10 in the World Mental Health Survey Japan. International Journal of Methods in Psychiatric Research. 2008; 17(3):152-8. ■ Nishi D, Susukida R, Usuda K, Mojtabai R, Yamanouchi Y. Trends in the prevalence of psychological distress and the use of mental health services from 2007 to 2016 in Japan. Journal of Affective Disorders. 2018; 239: 208-13.
運動や食習慣の行動変容ステージ	質問：運動や食生活等の生活習慣を改善してみようと思いますか 回答： 1. 改善するつもりはない 2. 改善するつもりである(概ね 6 か月以内) 3. 近いうちに改善するつもりである(概ね 1 か月以内) 4. 既に改善に取り組んでいる(6 か月未満) 5. 既に改善に取り組んでいる(6 か月以上) 1～5 の選択肢はそれぞれ運動や食習慣の改善に対する、前熟考期、熟考期、準備期、実行期、維持期に相当する。我々はこれらの回答を前熟考期かそれ以上かの二値に分類して、共変量や潜在的効果修飾因子として使用した。

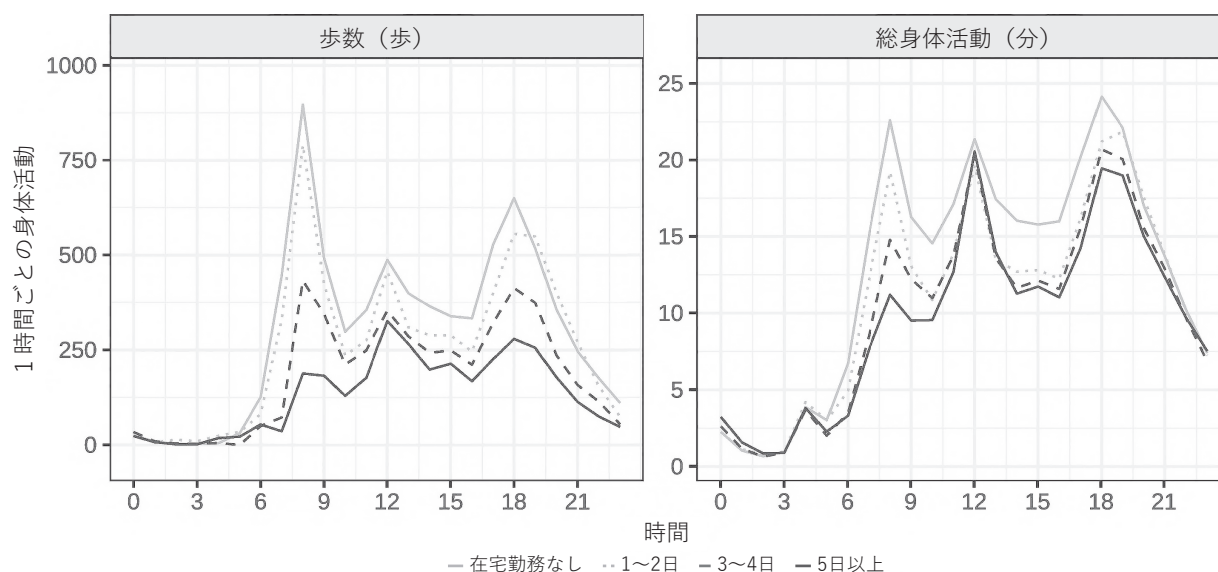


補足図1. COVID-19の発生から本研究の参加者登録期間までの東京都における人流の変化

本グラフは Google Community Mobility Reports のデータを用いて作成された (Google, 2021; Gibbs et al., 2023)。人流データは、2020年2月15日から2022年10月15日(この日以降、データの更新は停止されている)までの期間において、Google に位置情報の履歴共有を許可した Google Maps のユーザーから収集された。各環境(例：職場)における人流は、データセット公開前の4週間、すなわち2020年1月3日から2月6日までの期間を基準とし、そこからの相対的な変化として報告されている。COVID-19感染拡大防止のために実施された緊急事態宣言およびまん延防止等重点措置には、以下の感染対策が含まれていた：1)住民に対する不要不急の外出自粛の要請、2)学校の閉鎖、3)飲食店やスポーツ施設などの事業者に対する休業または営業時間短縮の命令または要請、4)多数の人が集まるイベントの制限。

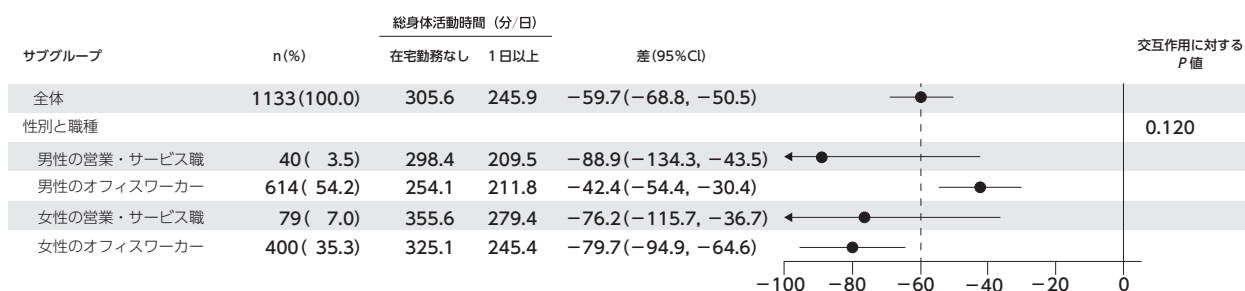
補足図1 参考文献

- Google. Overview - Community Mobility Reports Help. 2021. <https://support.google.com/covid19-mobility/answer/9824897?hl=en>. (アクセス日：2024年2月26日)
- Gibbs H, Ballantyne P, Cheshire J, Singleton A, Green MA. Harnessing mobility data to capture changing work from home behaviours between censuses. *The Geographical Journal*. 2024; 190: e12555.



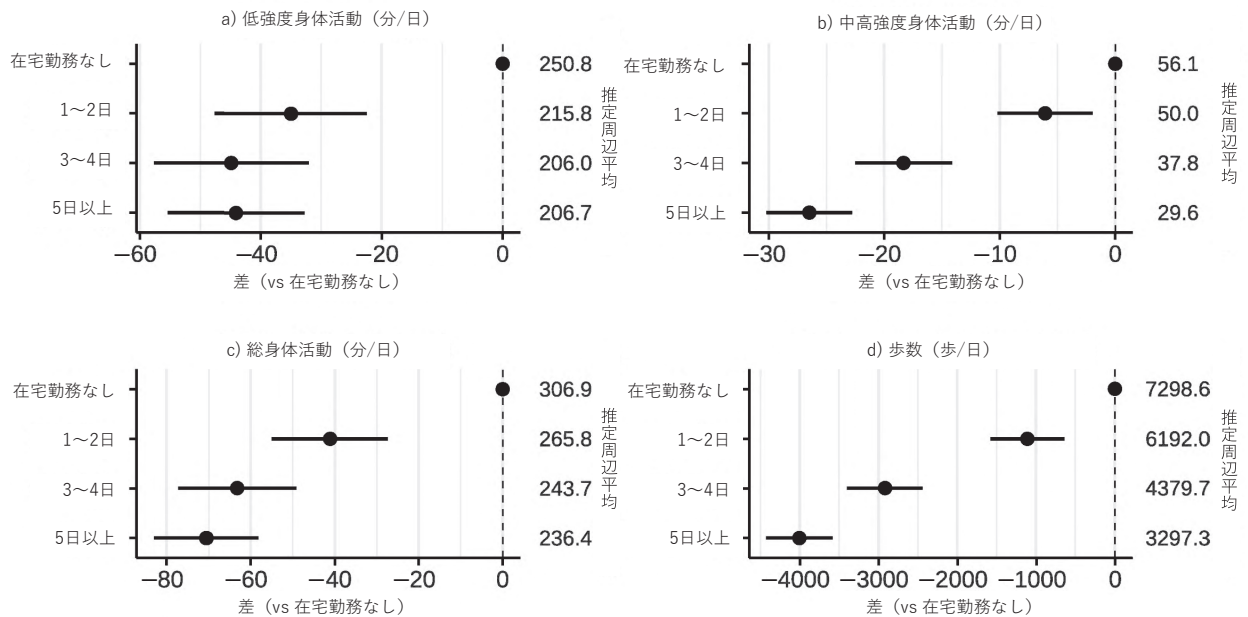
補足図 2. 在宅勤務頻度による身体活動の日内変動の違い

グラフ中の値(線)は、年齢、性別、教育歴、子どもの人数、職種、雇用形態、週当たりの勤務時間、body mass index、主観的健康観、心理的ストレス、運動および食習慣の変容ステージ、加速度計の装着時間で調整した1時間ごとの身体活動量である。



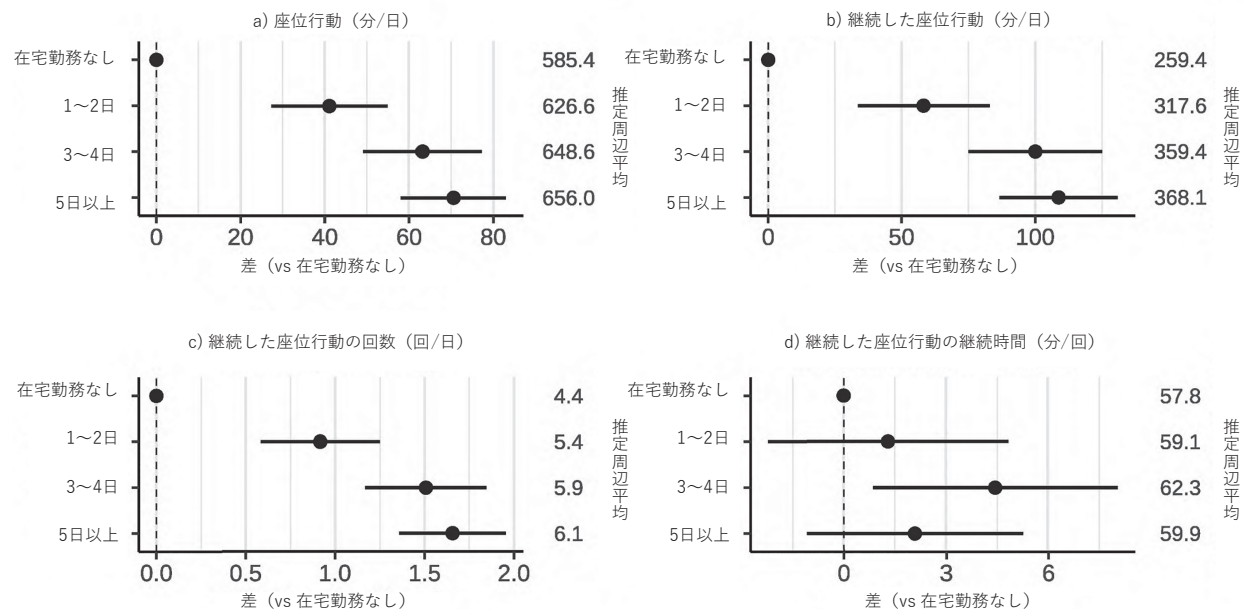
補足図 3. 在宅勤務と総身体活動時間との関連性に対する性別および職種による複合的な効果修飾

グラフは、集団全体(破線)と、効果修飾因子の各層における在宅勤務の有無による総身体活動の差を比較している。破線から離れた点ほど、その層において、集団全体と比較して在宅勤務に関連した身体活動の減少が大きい/小さいことを示す。各在宅勤務頻度およびその差に示されている値は、推定周辺平均(すなわち、共変量で調整した際の各在宅勤務頻度における総身体活動量)およびその95%信頼区間である。モデルは、年齢、教育歴、子どもの人数、雇用形態、週当たりの勤務時間、body mass index、主観的健康観、心理的ストレス、運動および食習慣の変容ステージ、加速度計の装着時間で調整している。



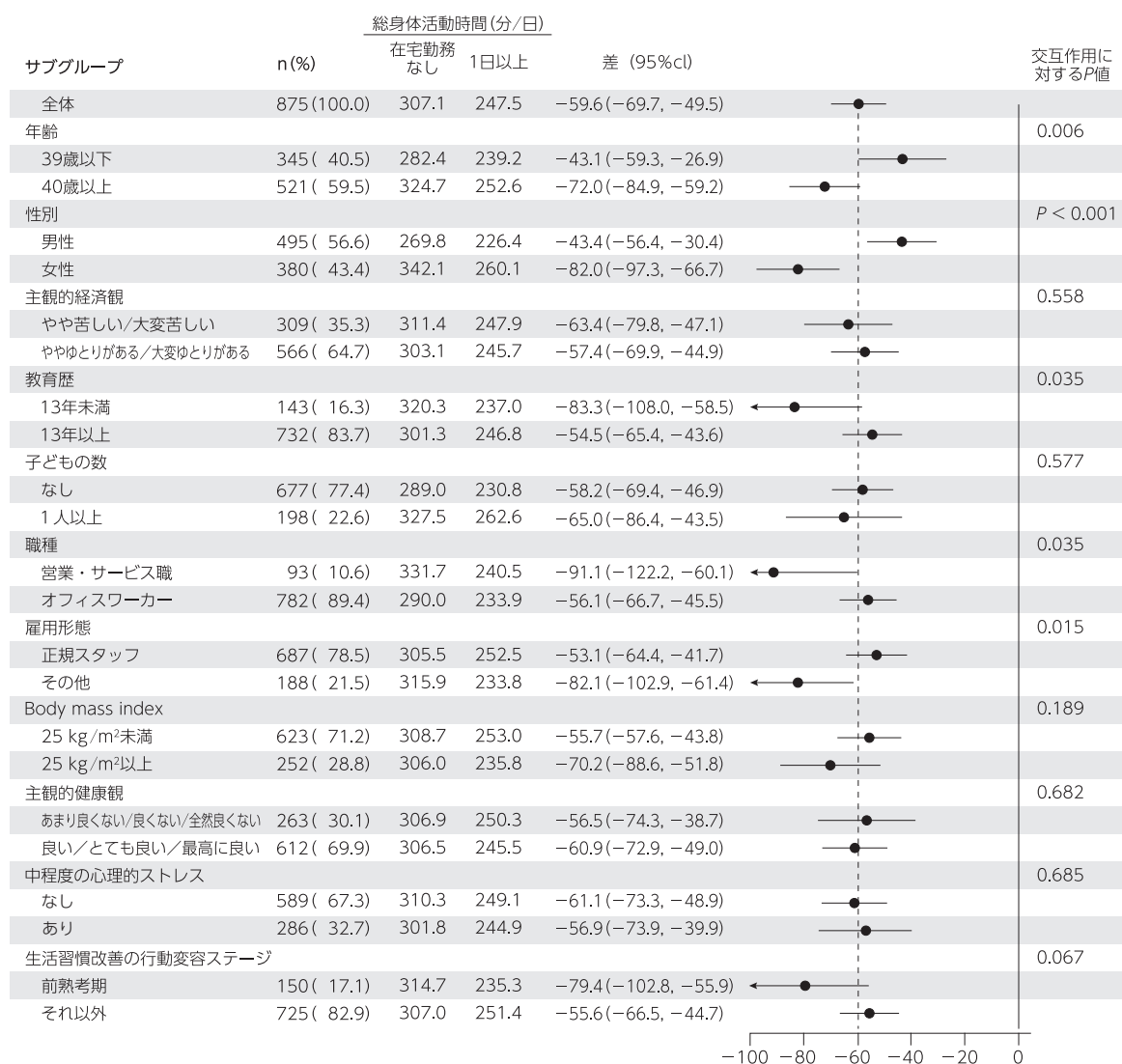
補足図4. 完全症例ケース (n = 875)における在宅勤務頻度と身体活動との関連性

フォレストプロットの横に示されている数値は、推定周辺平均(すなわち、共変量で調整した際の各在宅勤務頻度における身体活動量)を表している。すべてのモデルは、年齢、性別、教育歴、子どもの人数、雇用形態、週当たりの勤務時間、body mass index、主観的健康観、心理的ストレス、運動および食習慣の変容ステージ、加速度計の装着時間で調整している。



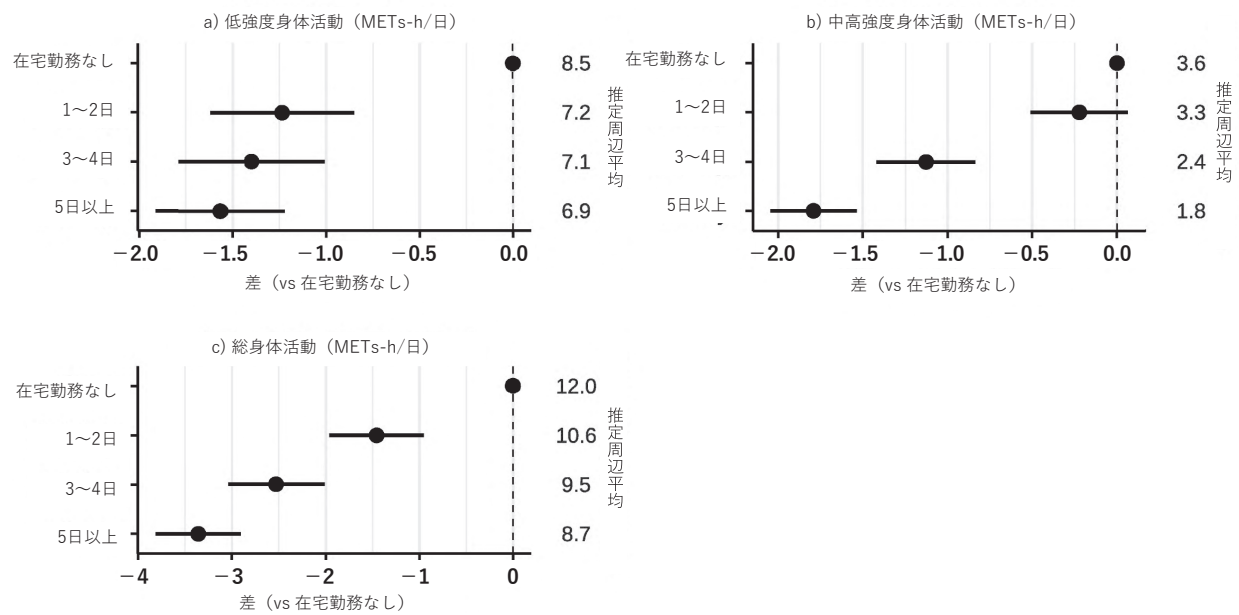
補足図5. 完全症例ケース (n = 875)における在宅勤務頻度と座位行動との関連性

フォレストプロットの横に示されている数値は、推定周辺平均(すなわち、共変量で調整した際の各在宅勤務頻度における座位行動)を表している。すべてのモデルは、年齢、性別、教育歴、子どもの人数、雇用形態、週当たりの勤務時間、body mass index、主観的健康観、心理的ストレス、運動および食習慣の変容ステージ、加速度計の装着時間で調整している。



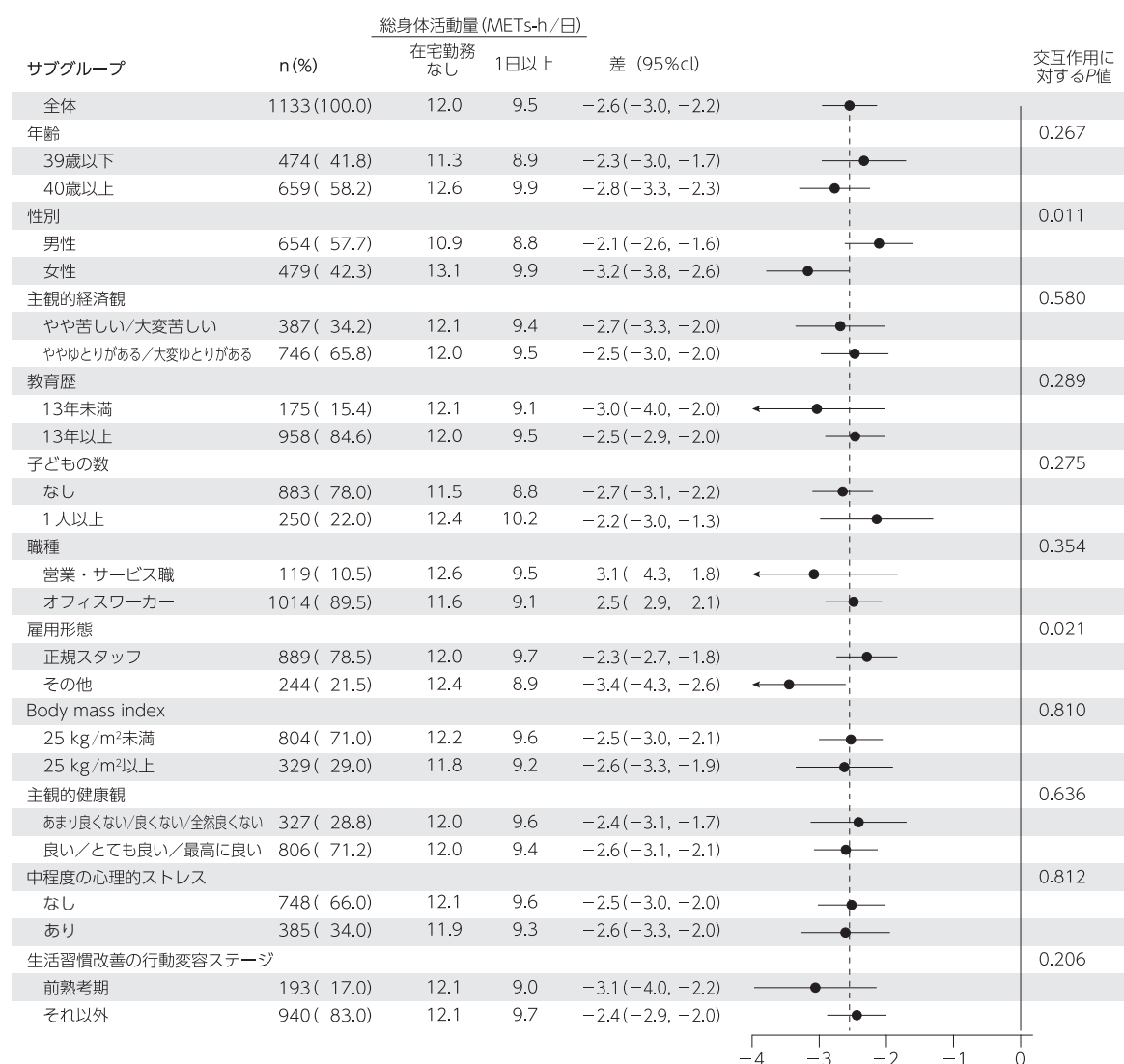
補足図 6. 完全症例ケース(n = 875)における在宅勤務と総身体活動時間との関連性の異質性

グラフは、集団全体(破線)と、効果修飾因子の各層における在宅勤務の有無による総身体活動の差を比較している。破線から離れた点ほど、その層において、集団全体と比較して在宅勤務に関連した身体活動の減少が大きい/小さいことを示す。各在宅勤務頻度およびその差に示されている値は、推定周辺平均(すなわち、共変量で調整した際の各在宅勤務頻度における総身体活動量)およびその95%信頼区間である。モデルは、年齢、性別、教育歴、子どもの人数、雇用形態、週当たりの勤務時間、body mass index、主観的健康観、心理的ストレス、運動および食習慣の変容ステージ、加速度計の装着時間で調整している(効果修飾因子として使用された変数を除く)。



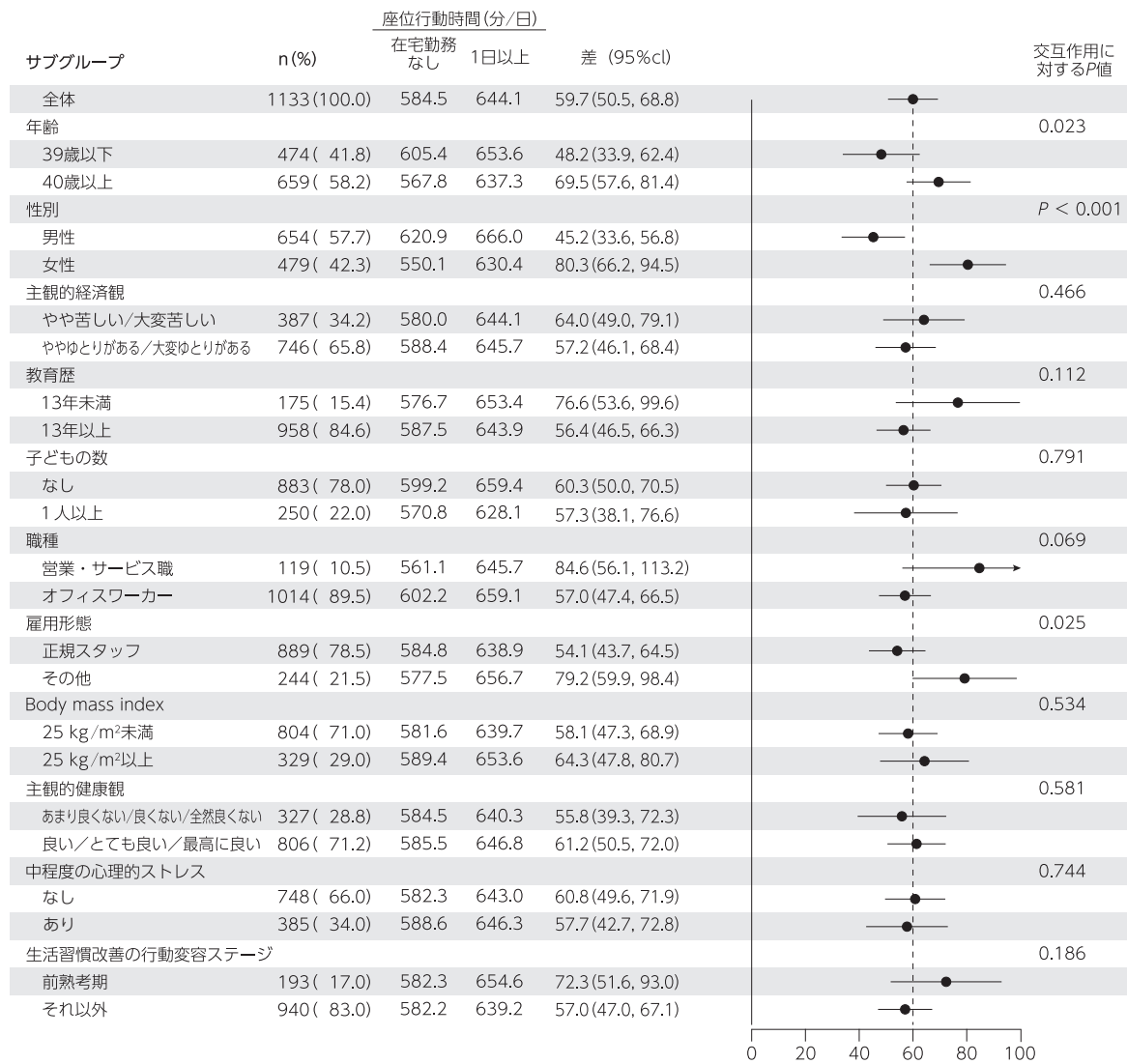
補足図 7. 在宅勤務頻度と身体活動による消費エネルギー量との関連性

フォレストプロットの横に示されている数値は、推定周辺平均(すなわち、共変量で調整した際の各在宅勤務頻度における身体活動量)を表している。すべてのモデルは、年齢、性別、教育歴、子どもの人数、雇用形態、週当たりの勤務時間、body mass index、主観的健康観、心理的ストレス、運動および食習慣の変容ステージ、加速度計の装着時間で調整している。



補足図 8. 在宅勤務と身体活動による消費エネルギー量との関連性の異質性

グラフは、集団全体(破線)と、効果修飾因子の各層における在宅勤務の有無による総身体活動の差を比較している。破線から離れた点ほど、その層において、集団全体と比較して在宅勤務に関連した身体活動の減少が大きい/小さいことを示す。各在宅勤務頻度およびその差に示されている値は、推定周辺平均(すなわち、共変量で調整した際の各在宅勤務頻度における総身体活動量)およびその95%信頼区間である。モデルは、年齢、性別、教育歴、子どもの人数、雇用形態、週当たりの勤務時間、body mass index、主観的健康観、心理的ストレス、運動および食習慣の変容ステージ、加速度計の装着時間で調整している(効果修飾因子として使用された変数を除く)。



補足図 9. 在宅勤務と座位行動時間との関連性の異質性

グラフは、集団全体(破線)と、効果修飾因子の各層における在宅勤務の有無による座位行動時間の差を比較している。破線から離れた点ほど、その層において、集団全体と比較して在宅勤務に関連した座位行動時間の減少が大きい/小さいことを示す。各在宅勤務頻度およびその差に示されている値は、推定周辺平均(すなわち、共変量で調整した際の各在宅勤務頻度における座位行動時間)およびその95%信頼区間である。モデルは、年齢、性別、教育歴、子どもの人数、雇用形態、週当たりの勤務時間、body mass index、主観的健康観、心理的ストレス、運動および食習慣の変容ステージ、加速度計の装着時間で調整している(効果修飾因子として使用された変数を除く)。

〔二次出版〕

高齢者の作業記憶と有酸素能力の関連における神経基盤： fNIRS を用いた検討 —Imaging Neuroscience に掲載された 英語論文の日本語による二次出版—

兵頭和樹¹⁾、檀一平太²⁾、神藤隆志^{1,3)}、新岡陽光^{2,4)}、長縄 尚²⁾、
向山絢子²⁾、征矢英昭^{5,6)}、荒尾 孝¹⁾

SUMMARY

近年、多くの研究により、有酸素能力が高齢者の作業記憶(working memory: WM)パフォーマンスと関連していることが明らかになってきた。しかし、この関連性をつなぐ脳内メカニズムについては、いまだ議論が続いている。先行研究では、加齢に伴い認知課題中の前頭前野(prefrontal cortex: PFC)の活動が増加し、それが代償的な役割を果たすことで課題成績と関連する可能性が示唆されている。そこで本研究では、高齢者における有酸素能力と WM パフォーマンスの関連にかかわる前頭前野の活動パターンを、加齢に伴う前頭前野の代償的活動に着目して明らかにすることを目的とした。

本研究には、65~74歳の高齢者47人(女性29人)および18~24歳の若年成人49人(女性23人)が参加し、0-back, 1-back, 2-back 条件を含む言語および空間性 n-back 課題を実施した。課題パフォーマンスの指標として、反応時間(reaction time: RT)と正答率(accuracy: ACC)を測定した。実験課題中の前頭前野の活動は、機能的近赤外分光法(functional near-infrared spectroscopy: fNIRS)を用いて計測し、Adaptive GLM 法により解析を行った。年齢群間の課題成績および前頭前野の活動パターンを比較し、加齢に伴う前頭前野の活動パターンを明らかにした。また、高齢者に対しては、有酸素能力の指標として換気閾値(ventilatory threshold: VT)を測定する漸増運動負荷試験(graded exercise test: GXT)を実施し、n-back 課題の成績および前頭前野の活動との関連を、共変量を調整した相関分析および媒介分析により検討した。

年齢群間の課題成績を比較した結果、高齢者は若年成人に比べ、特に WM 負荷の高い2-back 条件において、RT が遅く、ACC が低いことが示された。前頭前野の活動の群間比較では、高齢者は若年成人に比べ、言語および空間性2-back 条件において、腹外側前頭前野(ventrolateral PFC: VLPFC)および前頭極(front polar area: FPA)を中心に、広い範囲、またはより強い活動を示した。相関分析の結果、

- | | |
|---|---|
| 1) 公益財団法人 明治安田厚生事業団 体力医学研究所 | Physical Fitness Research Institute, Meiji Yasuda Life Foundation of Health and Welfare, Tokyo, Japan. |
| 2) 中央大学 理工学部 人間総合理工学応用認知脳科学研究室 | Applied Cognitive Neuroscience Lab., Research and Development Initiatives, Chuo University, Tokyo, Japan. |
| 3) 大阪教育大学 表現活動教育系 | Division of Art, Music, and Physical Education, Osaka Kyoiku University, Osaka, Japan. |
| 4) 人間環境大学 総合心理学部 | Department of Physiological Science, The University of Human Environments, Ehime, Japan. |
| 5) 筑波大学 体育系 運動生化学研究室 | Laboratory of Exercise Biochemistry and Neuroendocrinology, Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan. |
| 6) 筑波大学 体育系 ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センター (ARIHHP) | Sport Neuroscience Division, Advanced Research Initiative for Human High Performance (ARIHHP), Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan. |

本論文は以下の論文を忠実に日本語翻訳した二次出版です。引用を行う場合には原典を確認のうえ、下記を引用してください。

Hyodo K, Dan I, Jindo T, Niioka K, Naganawa S, Mukoyama A, Soya H, Arai T. Neural mechanisms of the relationship between aerobic fitness and working memory in older adults: an fNIRS study. *Imaging Neuroscience*. 2024; 2: 1-19.

高齢者において、高い VT は言語性2-back 条件での短い RT、および言語・空間性2-back 条件での両側 FPA および右 VLPFC の強い活動と関連していた。更に、媒介分析の結果、VT と言語性2-back 条件の RT との関係において、前頭前野の活動が媒介効果をもつ可能性が示された。

以上の結果から、高い有酸素能力を有する高齢者は、高いパフォーマンスを発揮するために広範な前頭前野領域を代償的に動員している可能性が示唆される。本研究は、高齢者における有酸素能力と認知機能の関係を支える脳内機構の解明に貢献するものである。

Key words: 有酸素能力, 加齢, ワーキングメモリ, n-back 課題, 前頭前野, 機能的近赤外分光法

緒 言

正常な加齢に伴い、長期記憶、処理速度、問題解決能力など、複数の認知機能の低下がみられる。そのなかでも、前頭前野(PFC)と主に関連する高次の認知制御プロセスである実行機能は、加齢の影響を特に受けやすい¹⁻³⁾。実行機能には作業記憶(WM)、抑制、切り替えの3つの主要な構成要素がある⁴⁾。実行機能は日常生活において重要な役割を果たすため、加齢に伴う低下を防ぐことは、高齢者の生活の質(QOL)の維持に寄与すると考えられる。

実行機能の加齢による低下には個人差が大きいことが報告されており⁵⁾、この差異に影響を及ぼす要因の1つとして身体活動が注目されている。多くの研究が、身体活動や運動が、高齢期における実行機能の維持・向上に有益であることを示している^{6,7)}。最近のメタ分析では、運動介入が実行機能の3つの主要構成要素に対して肯定的な影響をもたらすことが報告されている⁸⁻¹⁰⁾。これは、運動が神経栄養因子の増加、シナプス可塑性の促進、灰白質および白質の体積増加といった脳の分子・細胞・構造レベルの変化を引き起こすという先行研究の知見とも一致する¹¹⁾。また、横断研究では、有酸素能力が実行機能とその神経基盤と関連していることが示されており、特に抑制機能に焦点を当てた研究が多い¹²⁻¹⁸⁾。一方で、実行機能の一要素である WM と有酸素能力の関連については、いくつか報告があるものの¹⁷⁻²⁰⁾、この関係の脳内機構は不明である。

このメカニズムを解明するためには、WM 課題中の脳活動パターンの加齢変化を理解することが重要である。脳機能イメージング研究によると、

WM には前頭前野を中心として、後頭頂皮質、島皮質、帯状皮質などいくつかの脳領域が関与している²¹⁻²⁴⁾。WM は、言語情報を処理する音韻ループと、空間・視覚情報を処理する視空間スケッチパッドという2つのサブプロセスからなり²⁵⁾、言語性 WM 課題では主に左前頭前野が、空間性 WM 課題では主に右前頭前野または両側前頭前野が活動することが報告されている^{23,26,27)}。

興味深いことに、加齢に伴う WM 課題中の脳活動変化を調べた研究では、高齢者はしばしば両側前頭前野を含むより広範な脳領域を動員することが報告されている。これは過活動(overactivation)と呼ばれ、一部の研究では神経効率の低下を反映するものと考えられている^{28,29)}。しかし、多くの研究では、この過活動が課題成績と正の関連をし、代償的な役割を果たしている可能性が示唆されており、さまざまな理論モデルで説明されている^{30,31)}。例えば HAROLD(Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults)モデル^{32,33)}は、若年者では前頭前野の活動に半球優位性がみられるが、高齢者では両側の前頭前野で同様に活動が増大することを示している。PASA(Posterior-Anterior Shift in Aging)モデルは、加齢に伴い、後部脳領域の活動が減少し、前頭領域の活動が増加することを表している。CRUNCH(Compensation-Related Utilization of Neural Circuits Hypothesis)モデル^{34,35)}は、高齢者は若年者よりも広範な脳領域を動員するが、タスク負荷が限界に達すると、代償的な活動が機能しなくなることを提唱している。先行研究では高齢者が WM 課題中に若者に比べて多くの前頭前野の領域を動員し、それが高い WM パフォーマンスと関連することが報告されている^{36,37)}。このことから、加齢に伴うタスク関

連脳領域の追加的な活動は、代償的役割をもつ可能性が高い。

最近、自然な環境下で脳活動の測定が可能な機能的近赤外分光法 (fNIRS) を使用して (方法の「fNIRS 装置」を参照)、有酸素能力の高い高齢者は、有酸素能力の低い高齢者に比べて、認知負荷の高い言語性 WM 課題における正答率 (ACC) が高く、両側前頭前野の活動が大きいことが報告された³⁸⁾。これらの知見は、有酸素能力の高い高齢者は、WM 関連の課題遂行時に脳の代償的な活動がより高まることで、WM のパフォーマンスが向上することを示唆している。しかし、有酸素運動能力と抑制課題中の脳の活動の関係を調べた過去の研究では、有酸素運動能力の高い高齢者は、より若年層に近い活動パターンを示すことが報告されている^{12,14,17)}。したがって、高齢者の有酸素能力と WM のパフォーマンスに関連する前頭前野の活動 (若年層のような課題特異的な活動または加齢に伴う過活動) について結論を下すことはできない。したがって、本研究では、fNIRS 神経画像法を用いた言語および空間性 n-back 課題により、この問題を検証した。前頭前野の活動パターンは、言語性 WM 課題と空間性 WM 課題で異なることが報告されているため^{23,26,27)}、2つの異なる課題を使用することで、高齢者の有酸素能力と WM 課題におけるパフォーマンスを媒介する前頭前野の活動パターンをより包括的に明らかにできると仮定した。まず、若年成人と高齢者の n-back 課題遂行中の前頭前野の活動を比較した。特に、若年成人で想定される言語性 WM 課題の優位性が消失するのか、あるいは高齢者では新たな皮質領域が関与するのかを検討した。次に、有酸素能力と関連する n-back 課題遂行能力を特定し、両者に関連する前頭前野の活動を明らかにした。これらの結果を総合すると、高齢者の有酸素運動能力と WM 課題遂行能力の関係の脳内機構が明らかになる。

方 法

A. 参加者

本研究では、高齢者61人および若年成人51人をリクルートした。高齢者は地域の雑誌広告を通じて、若年成人は中央大学の学内メール広告を通じて募集した。参加基準は、(a) 高齢者は65～74歳、若年成人は18～24歳であること、(b) 右利きであること、(c) 視力が正常または矯正視力が正常範囲であること、(d) 神経精神疾患、神経疾患、脳梗塞の既往歴がないこと、(e) 運動によって悪化する可能性のある身体的障害がないこととした。

属性および臨床情報は、自己申告による質問票を用いて取得した。スクリーニング質問票および実験過程を通じて、14人の高齢者および2人の若年成人が除外された。除外の理由は、喫煙歴があること (高齢者1人)、睡眠薬を服用していること (高齢者1人)、中枢神経系に影響を及ぼす可能性のある薬を服用していること (高齢者4人)、脳梗塞の既往歴があること (高齢者1人)、抑うつ傾向があること (老年期うつ尺度 (GDS) スコア7点超の高齢者2人、Kessler 心理的苦痛尺度 (K6) スコア12点超の若年成人2人)、自転車エルゴメータ運動の実施が困難であったこと (高齢者1人)、n-back 課題の ACC がチャンスレベル以下 (50% 未満) であったこと (高齢者4人) であった。

最終的に、47人の高齢者と49人の若年成人のデータを解析対象とした。参加者の基本特性は表1に示している。すべての参加者から実験前に書面による同意を取得した。本研究は、明治安田厚生事業団および中央大学の倫理審査委員会の承認を受け、ヘルシンキ宣言のガイドラインに準拠して実施された。

サンプルサイズの決定のため、G*Power ソフトウェアを用いて相関分析のための検出力分析を実施した。先行研究¹⁴⁾に基づき、効果量 (r) を0.4と設定し、 α 水準0.05、検出力0.8の条件下で最低必要サンプル数は44人と算出された。

B. 実験手順

高齢者は東京都内の体力医学研究所で、若年成

表 1. 参加者特性

	高齢者 (n = 47)				若年成人 (n = 49)			
	女性 (n = 29)		男性 (n = 18)		女性 (n = 23)		男性 (n = 26)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
年齢[年]	69	3.0	70	2.2	22	1.2	22	1.3
身長[cm]	153	5.8	165	6.0	158	5.4	173	5.9
体重[kg]	50	7.0	61	7.0	52	8.8	61	8.8
教育年数[年]	13	1.8	14	2.2	15	1.0	15	1.4
GDS[スコア]	1.5	1.4	1.3	1.4				
K6[スコア]					4.9	3.5	4.2	3.1
VT[ml/kg/min]	12	1.9	13	3.0				

GDS：Geriatric Depression Scale(老年期うつ尺度)，K6：Kessler Psychological Distress Scale(Kessler 心理的苦痛尺度)，VT：ventilatory threshold(換気閾値)

人は東京都内の中央大学の研究室で実験を実施した。研究室到着後、まず属性および臨床情報に関する質問票に回答した。その後、言語および空間性 n-back 課題を実施し、高齢者のみ n-back 課題終了後に漸増運動負荷試験(GXT)を実施した。若年成人は、n-back 課題中の高齢者特異的な前頭前野の活動パターンを確認するための対照群として参加していたため、GXT は実施しなかった。実験は2017年1月から2018年5月にかけて実施された。

C. 漸増運動負荷試験 (GXT)

高齢者の換気閾値(VT)を測定するために、直立型サイクルエルゴメータ(Corival cpet, Lode, オランダ)を用いた GXT を実施した。試験は、3 分間のウォームアップ(負荷 0 W)から開始し、その後 6 秒ごとに 1 W ずつ負荷を増加させた。参加者は、ペダル回転数を55回転/分(rpm)に維持するように指示され、メトロノーム(55 bpm)と同期させた。回転数が50 rpm 未満または60 rpm 超になった場合は、指示により調整した。心拍数(heart rate: HR)および主観的運動強度(rate of perceived exertion: RPE)³⁹⁾を 1 分ごとに記録した。最大運動負荷は RPE 17(非常にきつい)に到達するまでとし、最大負荷到達後は 1 分間のクールダウンを行い、負荷を徐々に減少させた。酸素摂取量($\dot{V}_{O_2}$)および二酸化炭素排出量($\dot{V}_{CO_2}$)は、呼吸ごと(breath-by-breath)に測定され、10秒ごとの平均

値を算出した⁴⁰⁾。VT は V-slope 法⁴¹⁾を用いて、 $\dot{V}_{CO_2}$ と負荷の関係が直線から非線形に変化する点として決定した。

D. n-back 課題

参加者は、言語性 n-back 課題および空間性 n-back 課題をランダムな順序で実施した。n-back 課題は、0-back(WM 負荷なし)、1-back(低 WM 負荷)、2-back(高 WM 負荷)の 3 条件で構成され、各条件は昇順(0 → 1 → 2-back)で提示された。それぞれ 2 ブロック(各20試行、うち 5 試行はターゲット)で構成された。各刺激の提示時間は2500 ミリ秒、刺激間間隔としての十字マークは500 ミリ秒で、各ブロックの長さは60秒であった。ブロック間間隔は30秒であり、その内訳は、空白画面が15秒、次ブロックの指示が10秒、十字マーク画面が 5 秒であった。参加者は、ターゲットが提示されたら、右手の人差し指でキーボードを押すよう指示された。課題成績の指標として、反応時間(RT)および ACC を測定した。言語性 n-back 課題では、単一のひらがな文字が疑似ランダム順で提示された。0-back 条件ではターゲット文字は「あ」とし、1-back および2-back 条件では、それぞれ 1 つ前または 2 つ前の試行と同じ文字がターゲットとなった。空間性 n-back 課題では、円形に配置された 8 つの四角のうち、1 つが赤(ターゲット)、残りが黒で表示された。0-back 条件では、赤の四角が円の上部に出現したときがター

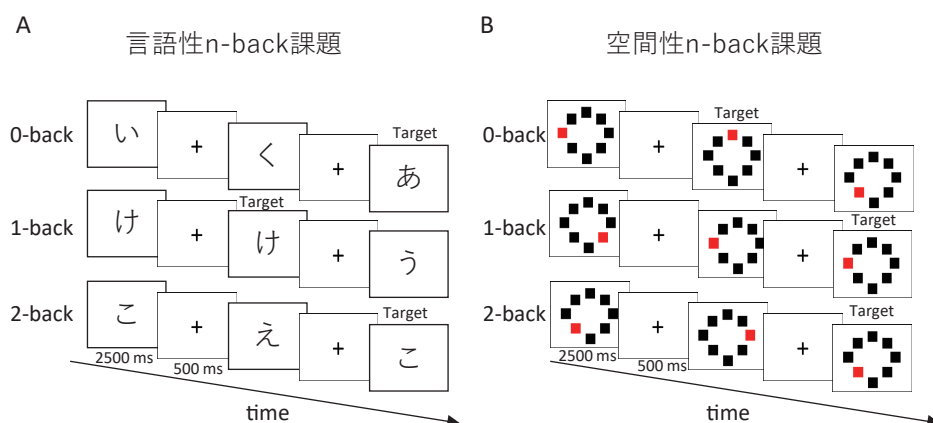


図1. 2つの n-back 課題の概略図

(A) 言語性 n-back 課題。刺激は2500ミリ秒間提示され、十字マークによる刺激間隔は500ミリ秒間提示された。0-back 条件のターゲット刺激は「あ」であった。(B) 空間性 n-back 課題。タイミングは (A) と同じ。0-back 条件のターゲット刺激は、円の上の赤い正方形であった。

ゲットであり、1-back および2-back 条件では、それぞれ1つ前または2つ前の試行と同じ位置に赤い四角が出現したときがターゲットとされた。すべての参加者は、課題実施前に練習版のタスクを、各条件1セットずつ行った。

E. fNIRS

1. fNIRS 装置

本研究では、WMに関連する前頭前野の活動を測定するためにfNIRSを使用した。fNIRSは、近赤外光が組織を通過する際の吸収の変化を測定することで、酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)および脱酸素化ヘモグロビン(deoxy-Hb)の脳血流動態を非侵襲的にモニタリングする光学的手法である^{42,43)}。fNIRSは、狭い空間に閉じ込められることなく課題を遂行できるため、より自然な環境下で測定を行うことが可能である。また、fMRIなどの他の脳機能イメージング手法と比較して、認知課題への外部的な影響を最小限に抑えることができる。先行研究では、n-back 課題において作業記憶負荷の増加に伴い前頭前野の活動が増加することがfNIRSを用いた測定で確認されている⁴⁴⁻⁴⁶⁾。更に、高齢者における作業記憶課題を含むさまざまな認知課題中の前頭前野の加齢変化がfNIRSによって観察されている⁴⁷⁻⁴⁹⁾。

本研究では、高齢者にはFOIRE-3000(島津製作所、京都、日本)、若年成人にはOMM-2000(島

津製作所)の2つのマルチチャンネルfNIRSシステムを使用した。これらの装置は、いずれも780 nm, 805 nm, 830 nmの3波長の近赤外光を用いているため、両装置のデータは同等であり、2群間の比較が可能である。

2. fNIRS プローブの配置

fNIRS プローブは、先行研究^{14,48,50,51)}に基づき、前頭前野を覆うように装着した(図2A)。左側のプローブホルダーは、プローブ5(CH4とCH11の間)がFT7上に配置されるように固定し、プローブ列の内側端が正中線に平行となるように調整した。右側のプローブホルダーも対称的に配置した。その後、仮想レジストレーション⁵²⁾を用いて、fNIRS データをモントリオール神経研究所(MNI)の標準脳空間に登録した^{53,54)}。この手法では、MRI データベース内の参照脳に対してプローブとチャンネルの位置を登録することで、仮想的にスカルプ上のプローブホルダーを再現することができる^{55,56)}。その後、MNI 座標値に基づく統計解析を行い、各チャンネルの推定位置およびその空間的変動を求めた⁵⁷⁾。最後に、得られた推定位置をマクロ解剖学的脳アトラス⁵⁸⁾を用いて解剖学的にラベル付けした。計測した48チャンネルのうち、前頭前野外に位置するチャンネル(CH1, 4, 28, 31)は解析から除外した。また、不十分な光信号による高周波ノイズが多発したチャンネルや、

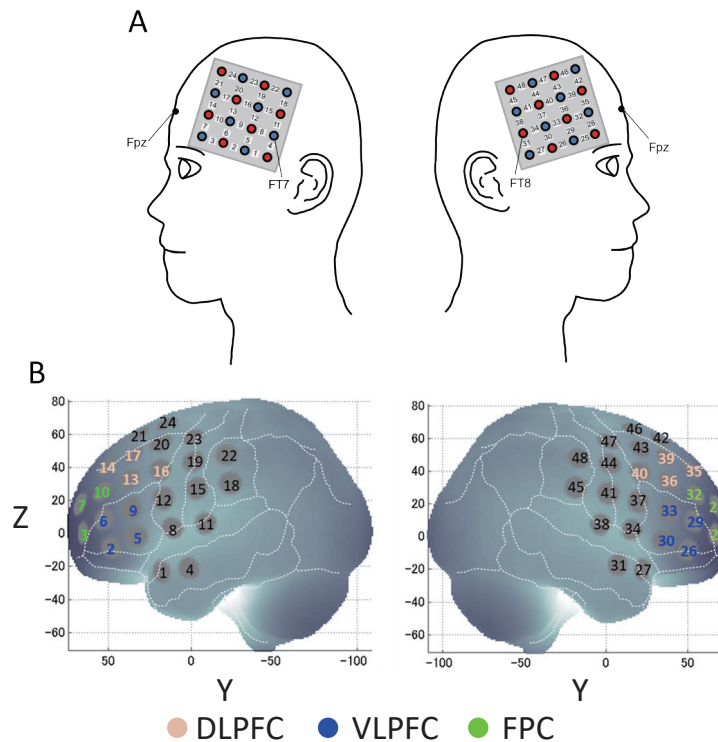


図2. fNIRS チャンネルの空間プロファイル

(A) プローブ配置の側面図。国際標準10-10 EEG 電極位置の FT7および FT8とチャンネル番号は、対応する位置の上に示されている。(B) 仮想レジストレーションにより推定されたチャンネルの位置を、モンリオール神経研究所 (MNI) 空間で示した。ページュ、青、緑で示されたチャンネル番号は、それぞれ左または右の背外側前頭前野 (DLPFC)、腹外側前頭前野 (VLPFC)、および前頭極皮質 (FPC) に位置していた。これらはデータ分析に使用された。

身体運動による急激な信号変動が観察されたチャンネル (CH 5, 8, 11, 18, 21, 24, 29, 32, 35, 42, 45, 48) も解析対象から除外し、最終的に22チャンネルを解析対象とした(図2B)。

3. fNIRS データ解析

光学データは、修正版 Beer-Lambert Law⁵⁹⁾に基づき解析を行った⁶⁰⁾。この方法により、oxy-Hb, deoxy-Hb, および総ヘモグロビン (total-Hb) の濃度変化をマイクロモル・ミリメートル ($\mu\text{M}\cdot\text{mm}$) 単位で算出することができる。サンプリングレートは10 Hz とした。

まず、測定全体で oxy-Hb または deoxy-Hb の変動が10%以下であったチャンネルを不良測定とみなし、解析対象から除外した。次に、呼吸や心拍などのノイズを除去するために、Wavelet 最小記述長 (Wavelet-MDL) 法を適用した⁶¹⁾。次に、各参加者の各チャンネルにおける前処理済みの oxy-Hb の時系列データを、Matlab 2007b(The

MathWorks, Inc., Natick, MA, USA)を用いて解析した。解析には adaptive GLM のツール⁶²⁾を使用し、説明変数(すなわち、回帰変数および誤差項)の線形結合による回帰分析を行った。GLM 解析に用いる基底関数は、Equation 1に示すヘモダイナミック応答関数 (HRF)⁶³⁾をボックスカー関数 $N(\tau_p, t)$ と畳み込む (Equation 2) ことで作成した。

$$h(\tau_p, t) = \frac{t^{\tau_p} e^{-t}}{(\tau_p)!} - \frac{t^{\tau_p + \tau_d} e^{-t}}{A(\tau_p + \tau_d)!} \quad (1)$$

ここで、 t は時系列データ上の時間点を表し、 τ_p は最初のピーク遅延 (first peak delay), τ_d は第二ピーク遅延 (second peak delay) を表す。A は第一ピークと第二ピークの振幅比を示し、典型的な fMRI 研究と同様に 6 に設定した。 τ_p は、後述する adaptive GLM⁶²⁾に基づいて調整され、 τ_d は通常の fMRI 研究と同様に τ_p の10秒後に設定した。基底関数 $f(\tau_p, t)$ は、HRF $h(\tau_p, t)$ をボックスカー関数 $u(t)$ と畳み込むことで生成された。

$$f(\tau_p, t) = h(\tau_p, t) \otimes u(t) \quad (2)$$

ここで、記号 $\otimes$ は畳み込み積分を表す。これらの基底関数は、以下に示すように、各回帰変数 (regressor) を構成するために使用された。

最初のピーク遅延 τ_p は、最適な HRF を得るために 6 秒から 60 秒の間で変化する変数として設定された。すべての被験者とすべての分析チャンネルにおける平均 β 値 (タスク関連振幅) は、若年成人と高齢者の各 n-back 条件で計算され、各条件における平均 β 値の最大値が、それぞれの最適な τ_p として決定された。個々のデータのノイズの影響を排除するために、1 次および 2 次の導関数が含まれた。回帰には、各条件 (0-/1-/2-back) における 60 秒のタスク期間が含まれた。言語および空間性 n-back 課題の両方におけるデザイン行列 X の例は、補足図 1 に示されている。 β 値は、oxy-Hb および deoxy-Hb 信号の HRF 予測値として使用された。言語および空間性 n-back 課題それぞれについて、合計 3 つの β 値が算出された ($\beta_{0\text{-back}}$, $\beta_{1\text{-back}}$, $\beta_{2\text{-back}}$)。 $\beta_{0\text{-back}}$ は 0-back 条件の課題期間における β 値, $\beta_{1\text{-back}}$ は 1-back 条件, $\beta_{2\text{-back}}$ は 2-back 条件における β 値である。

F. 統計処理

まず、年齢群間の RT および脳活動を比較する際に調整する変数を決定するため、また、有酸素能力 (VT), 課題成績 (RT および ACC), および脳活動の関係を評価する際の交絡因子を特定するために、相関分析を実施した。先行研究では、年齢、性別、教育年数が潜在的な交絡因子として指摘されている^{14,18,64,65})。本研究では、多くの相関係数が小さいながらも効果量 ($r > 0.1$) をもっていたため、これらをすべての統計解析の共変量として用いることにした (補足表 1)。

年齢群間の n-back 課題成績に対する年齢の影響を明らかにするため、2 要因共分散分析 (ANCOVA) を実施した。年齢群 (若年/高齢) を被験者間要因、作業記憶負荷 (0-/1-/2-back) を被験者内要因とし、共変量として性別および教育年数を調整した。RT および ACC を従属変数として用

いた。それぞれの ANCOVA の後、交互作用効果がありであった場合には事後検定を行った。事後検定では、年齢群ごとの 3 つの n-back 条件間の比較、および 3 つの n-back 条件における年齢群間の比較を行い、それぞれ 9 つの比較が行われた。多重比較の補正には Holm 法を適用した。更に、本実験において速度-正確性のトレードオフが発生しているかどうかを検証するため、各 n-back 条件における RT と ACC の相関分析を実施した。

次に、n-back 課題中の前頭前野活動パターンを明らかにするため、adaptive GLM 解析によって算出された各チャンネルの oxy-Hb および deoxy-Hb 値について、それぞれ 1 標本 t 検定 (片側検定) を実施し、各条件ごとに 0 との差を検定した。更に、言語および空間性 n-back 課題のそれぞれに対し、各チャンネルの oxy-Hb および deoxy-Hb 値を従属変数とし、年齢群 (若年/高齢) を被験者間要因、作業記憶負荷 (0-/1-/2-back) を被験者内要因とした 2 要因 ANCOVA を実施した。共変量として性別および教育年数を調整し、多重比較補正には Holm 法⁶⁶) を適用した。更に、過去の研究と同様に、言語および空間 WM 課題における前頭前野の活動の左右差を確認するため、有意な活動を示したチャンネルを左半球および右半球で平均し、年齢群ごとに左右半球の活動を比較する対応のある t 検定を実施した。

その後、高齢者における VT, 課題成績, および前頭前野の活動の関係を検討するため、更なる解析を実施した。

まず、VT と課題成績 (RT および ACC) との関係を調べるため、性別、年齢、教育年数を調整したピアソン偏相関分析を実施した。n-back 課題のいずれかの条件において RT または ACC が VT と関連している場合、その課題条件における oxy-Hb および deoxy-Hb の値, VT, および課題成績の関係について、ピアソン偏相関分析を用いて検討した。

更に、oxy-Hb または deoxy-Hb の値が VT と課題成績の両方と関連していた場合、R mediation package を用いた因果媒介分析 (causal mediation

analysis)を実施し、VTと課題成績の関係における前頭前野活動の媒介効果を検討した。

媒介効果の推定には、Bias corrected accelerated bootstrap法(5000回のリサンプリング)を適用し、95%信頼区間(CI)を算出した。推定された指標には、平均因果媒介効果(Average Causal Mediation Effect: ACME)、平均直接効果(Average Direct Effect: ADE)、および平均総効果(Average Total Effect: ATE)が含まれる。ACMEは、媒介変数であるoxy-Hbまたはdeoxy-Hbの値を介したVTの課題成績への間接的な影響を表す。一方、ADEは、媒介変数を固定した際のVTの課題成績に対する直接的な影響を示す。ATEは、ACMEとADEの合計を示す。

統計解析は、R 4.0.2(R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)を用いて実施した⁶⁷⁾。

結 果

A. n-back 課題成績

各n-back課題の成績に関するヒストグラムは補足図2に示されている。図3は各群のn-back課題の成績およびANCOVAの結果を示し、補足表2は事後検定の結果を示している。2要因ANCOVAの結果、言語および空間性n-back課題のACCにおいて年齢群および記憶負荷の主効果が有意であり、年齢群と記憶負荷の交互作用も有意であった。また、言語性n-back課題のRTにおいても年齢群と記憶負荷の交互作用が有意であった。言語および空間性n-back課題のACCおよび言語性n-back課題のRTに関して、各課題条件における年齢群間の比較および各年齢群内での記憶負荷条件間の比較を行うため、事後検定を実施した。年齢群間の比較において、すべての条件で若年成人のRTは高齢者よりも短かった。また、若

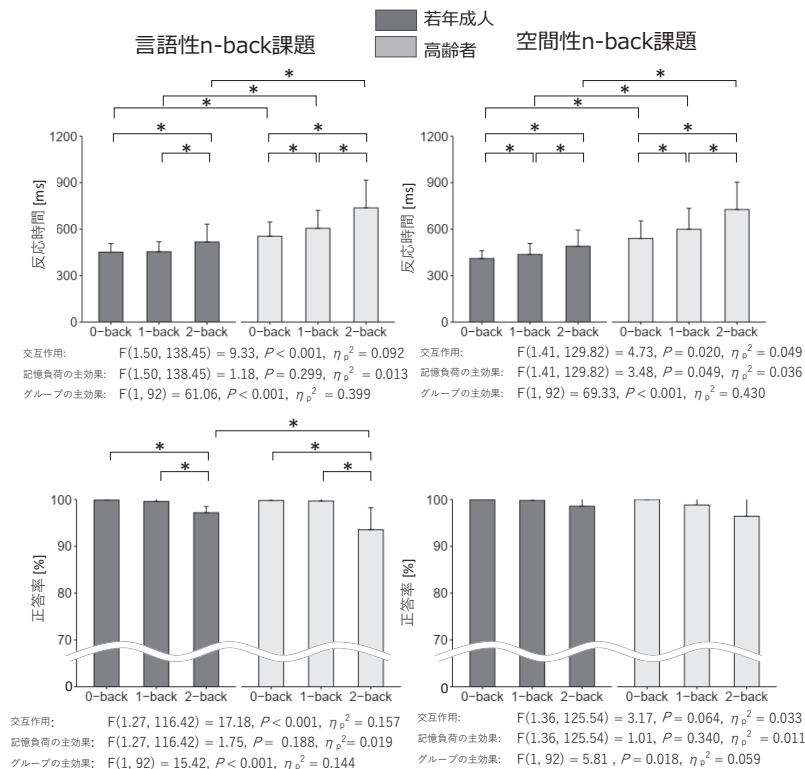


図3. 若年成人と高齢者の n-back 課題の成績

左と右の図は、それぞれ言語および空間性 n-back 課題の反応時間と正確さの平均値と標準偏差を示している。年齢(若年/高齢)と記憶負荷(0-/1-/2-back)の2要因ANCOVAの結果は、教育年数と性別で調整され、各図の下に示されている*はANCOVA事後分析における $P < 0.05$ を示す。

年成人の ACC は言語性2-back 条件のみで高齢者よりも高かった。記憶負荷条件間の比較において、若年成人では言語性2-back 条件の RT が0-back および1-back 条件よりも長かった。空間性 n-back 課題においては、若年成人の RT は2-back 条件が0-back および1-back 条件よりも長く、また1-back 条件が0-back 条件よりも長かった。この傾向は、高齢者の言語および空間性 n-back 課題の RT においても同様であった。更に、ACC に関しては、言語性2-back 条件の ACC が若年成人および高齢者のいずれにおいても0-back および1-back 条件よりも低かった。空間性 n-back 課題の ACC に関しては、記憶負荷の主効果のみが有意であった。記憶負荷の主効果に関する事後検定の結果、言語性2-back 条件の ACC は0-back 条件よりも低かった。RT と ACC の相関分析の結果、RT - ACC のトレードオフ関係は認められなかった(補足図3)。

B. fNIRS の結果

1. Adaptive GLM

n-back 課題中の oxy-Hb および deoxy-Hb の変化を最も適切に表現する適応型 HRF の探索結果を補足図4に示す。Oxy-Hb において、最適な τ_p は、言語性 n-back 課題の0-back, 1-back, 2-back 条件において、若年成人ではそれぞれ6秒, 6秒, 6秒, 高齢者では6秒, 6秒, 16秒であった。空間性 n-back 課題の0-back, 1-back, 2-back 条件では、若年成人では6秒, 6秒, 7秒, 高齢者では6秒, 6秒, 15秒であった。Deoxy-Hb において、言語性 n-back 課題の0-back, 1-back, 2-back 条件の最適な τ_p は、若年成人では6秒, 7秒, 28秒, 高齢者では30秒, 8秒, 18秒であった。空間性 n-back 課題の0-back, 1-back, 2-back 条件では、若年成人では6秒, 8秒, 21秒, 高齢者では6秒, 6秒, 19秒であった。

したがって、これらの最適な τ_p を用いて adaptive GLM を実施した。全参加者および全チャンネルで平均した oxy-Hb および deoxy-Hb のタイムラインデータ、および若年群および高齢群の言語および空間性 n-back 課題における最適化された HRF を補足図5に示す。

2. 各年齢層における n-back 課題中の前頭前野の活動パターン

t 検定による群ごとの oxy-Hb および deoxy-Hb 活動マップのサンプルを図4および補足図6に、統計結果を補足表3および4に示す。Oxy-Hb 活動マップについて、言語性 n-back 課題では、若年成人では、2-back 条件でのみ左前頭前野の7チャンネルと右前頭前野の5チャンネルに有意な活動がみられた。同様に、高齢者では、言語性2-back 条件のみが、左前頭前野の10チャンネルと右前頭前野の12チャンネルに有意な活動を示した。空間性 n-back 課題では、若年成人では、1-back 条件では右前頭前野の4チャンネルに、2-back 条件では左前頭前野の4チャンネルと右前頭前野の5チャンネルに有意な活動がみられた。高齢者では、1-back 条件は右前頭前野の1チャンネルに有意な活動を生じ、2-back 条件は左前頭前野の8チャンネルと右前頭前野の8チャンネルが活動した。

Deoxy-Hb 活動マップに関して、若年成人は、言語性2-back 条件では左前頭前野の2チャンネル、空間性2-back 条件では右前頭前野の2チャンネルで有意な活動を示した。高齢者では、言語性 n-back 課題では、0-back 条件では左前頭前野の1チャンネルに、2-back 条件では右前頭前野の5チャンネルと左前頭前野の1チャンネルに有意な活動がみられた。空間性 n-back 課題では、1-back 条件では左前頭前野の3チャンネル、2-back 条件では右前頭前野の5チャンネルと左前頭前野の3チャンネルが活動した。

これらの結果は、高齢者は若年者よりも、特に言語および空間性2-back 条件下で、前頭前野、特に両側腹外側前頭前野(VLPFC)と前頭極皮質(FPC)をより多く動員していることを示唆している。

側性化された活動パターンを確認するために、言語性2-back 条件と空間性2-back 条件の両方で有意な oxy-Hb 活動を示したチャンネルを、それぞれ左半球と右半球について平均した。半球間の活動を比較したところ、若年成人の言語性2-back 条

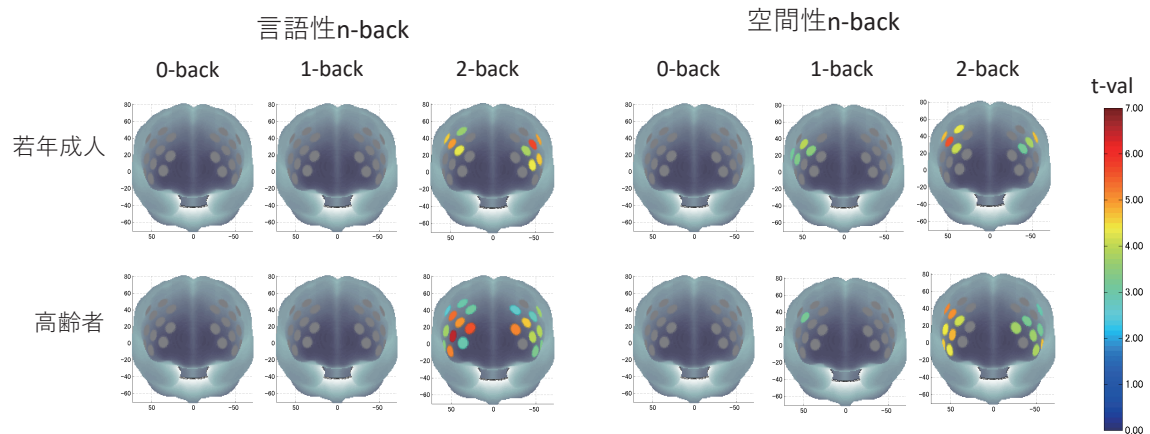


図4. 若年成人（上段）と高齢者（下段）における各 n-back 課題条件（言語および空間性）中の大脳皮質の活動パターン

有意な活動があったチャンネルは、右の t 値スケールに従って色分けされている。

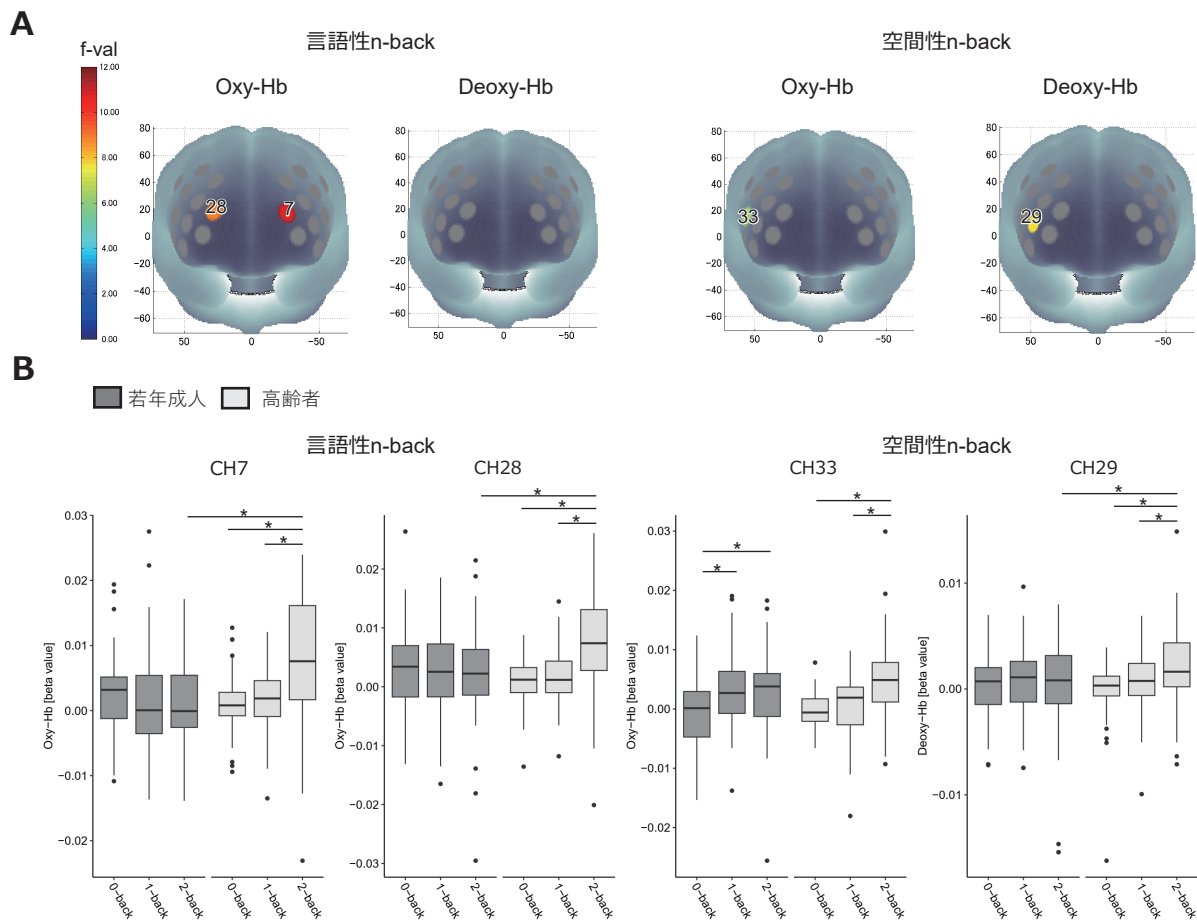


図5. (A) グループ（若年/高齢）*と記憶負荷（0-/1-/2-back）の有意な交互作用を反映した、oxy-Hb および deoxy-Hb の F-マップ, (B) 交互作用がみられたチャンネルにおける、各グループの各条件中の oxy-Hb および deoxy-Hb の値（2 要因 ANCOVA）

* $P < 0.05$.

表 2. 高齢者における VT と n-back 課題成績の相関

高齢者 (n = 47)		反応時間						正答率					
		言語性 n-back			空間性 n-back			言語性 n-back			空間性 n-back		
		0-back	1-back	2-back	0-back	1-back	2-back	0-back	1-back	2-back	0-back	1-back	2-back
VT	r	-0.16	-0.144	-0.32	-0.224	-0.112	-0.007	-0.143	0.177	0.121	-	-0.257	0.051
	P	0.302	0.352	0.034*	0.144	0.471	0.965	0.353	0.251	0.435	-	0.092	0.744

VT : ventilatory threshold (換気閾値)

件では、左前頭前野の oxy-Hb 変化量が右側の活動よりも有意に高かった ($t(48) = 2.06, P = 0.045, d = 0.29$)。しかし、若年成人の空間性 2-back 条件 ($t(48) = -0.24, P = 0.813, d = -0.03$)、高齢者の言語性 2-back 条件 ($t(46) = 0.90, P = 0.373, d = 0.13$)、高齢者の空間性 2-back 条件 ($t(46) = 1.11, P = 0.274, d = 0.16$) では、左右半球間の oxy-Hb に有意差はみられなかった (補足図 7)。

3. 前頭前野の活動の年齢比較

年齢層間の前頭前野の活動パターンを直接比較するために、言語および空間性 n-back 課題における各チャンネルの oxy-Hb および deoxy-Hb について、性別および教育年数を調整した 2 要因混合 ANCOVA を実施した。ANCOVA の統計結果は補足表 5 に示されている。ANCOVA の結果、ホルム補正後の言語性 n-back 課題中の CH 7 および 28 の oxy-Hb、および空間性 n-back 課題中の CH33 の oxy-Hb と CH29 の deoxy-Hb に、有意な交互作用が認められた (図 5)。グループまたは記憶負荷による有意な主効果は認められなかった。事後解析の結果は図 5 および補足表 6 に示されている。年齢別比較では、言語性 2-back 条件における CHs7 および 28 の oxy-Hb、および空間性 2-back 条件における CH29 の deoxy-Hb は、高齢者のほうが若年成人よりも有意に高かった。グループごとに負荷で比較すると、高齢者では、2-back 条件における oxy-Hb は、すべてのチャンネル (CH 7, 28, 29, 33) において、1-back および 0-back 条件よりも高かった。若年成人では、空間性 1-back および 2-back 条件における CH33 の oxy-Hb は、0-back 条件よりも高かった。

C. VT, 課題成績, 前頭前野の活動の関係

1. 相関分析

高齢者における性別、年齢、教育年数を調整した、VT と n-back 課題の成績の間の偏相関分析では、言語性 2-back 条件における VT と RT の間には有意な負の相関があった (表 2, 補足図 8)。

次に、言語性 2-back 課題中の VT と oxy-Hb および deoxy-Hb との間の偏相関分析を行った。Oxy-Hb については、左前頭前野 (CH7, 10, 14, 17) および右前頭前野 (CH28, 29, 36, 39) の各チャンネルにおける oxy-Hb 信号値と VT との間には有意な正の相関がみられた (図 6)。更に、言語性 2-back 課題の RT は、左前頭前野 (CH7, 13, 16, 17) および右前頭前野 (CH26, 28, 29) の oxy-Hb 信号値と有意な負の相関を示した (図 5)。Deoxy-Hb に関しては、空間性 2-back 条件における RT は、左前頭前野 (CH10, 14) の 2 つのチャンネルの deoxy-Hb と正の相関関係にあり、言語性 2-back 条件における RT は、左前頭前野 (CH 3, 13) の 2 つのチャンネルの deoxy-Hb と負の相関関係にあることがわかった。これらの相関分析のまとめとして、左 FPC (CH 7)、右 FPC (CH28)、および右 VLPFC (CH29) に位置する 3 つのチャンネルにおける oxy-Hb の増加は、言語性 2-back 条件におけるより高い VT とより短い RT の両方に関連していた。偏相関分析の統計結果は補足表 7 に示されている。

2. 媒介分析

チャンネル 7, 28, 29 における言語性 2-back 条件の oxy-Hb 信号値については、課題成績 (2-back RT) と VT の両方と相関関係にあったため、年齢、性別、教育年数を調整した媒介分析が実施された。

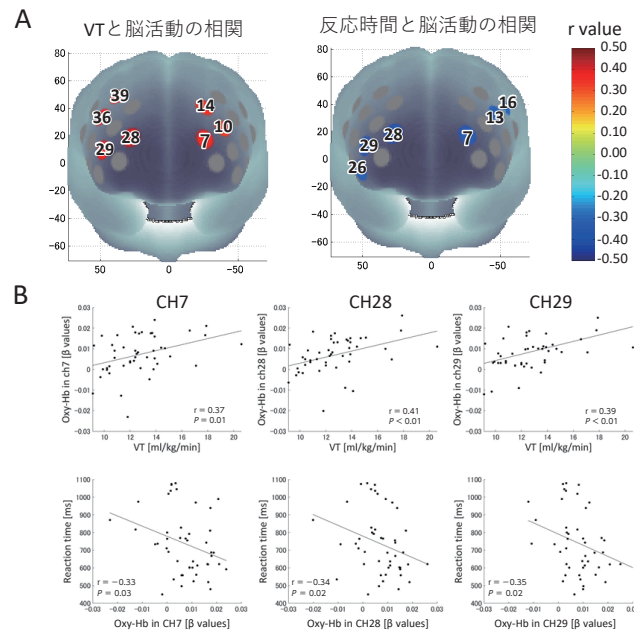


図6. 言語性2-back条件におけるoxy-Hb活動と換気閾値(VT)および言語性2-back条件における反応時間(RT)との相関(A) VT(左)およびRT(右)と有意な相関関係にあるチャンネルは、r値カラー・スケールに従って色分けされている。CH7, CH28, およびCH29は、VTおよびRTの両方と有意な相関関係にある。(B) CH7, CH28, およびCH29のoxy-HbとVT(上段)およびRT(下段)の関係。

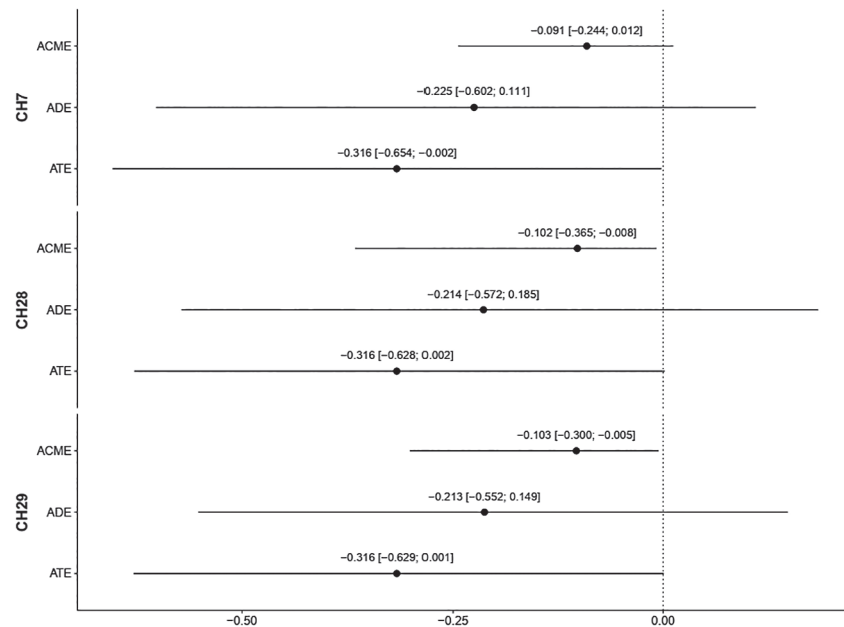


図7. 媒介分析の結果

点線と実線は、標準化効果の点推定値と95%信頼区間(CI)を表す。点推定値と95%CIの値は、各線の上に示されている。ACME: Average Causal Mediation Effect (平均因果媒介効果), ADE: Average Direct Effect (平均直接効果), ATE: Average Total Effect (平均総効果)

図7は、媒介分析の結果を示している。CH28(-0.365~-0.008)およびCH29(-0.300~-0.005)のoxy-Hb信号値のACMEの95%CIはゼロを含んでいなかった。これらの結果は、右FPA

(CH28)および右VLPFC(CH29)のoxy-Hb活動が、言語性2-back RTにおけるVTとRTの関係を媒介していることを示唆している。

考 察

本研究では、高齢者の有酸素運動能力と WM の関係に関連する前頭前野の活動パターンを、加齢による代償的な脳活動に焦点を当てて明らかにすることを目的とした。加齢による n-back 課題の成績の低下と、言語および空間性 2-back 課題条件下におけるより多くの前頭前野領域の活動を、若年成人との比較により確認した。更に、高齢者の言語性 2-back 課題において、右 FPC および VLPFC の追加的な活動は、VT と RT の関係に媒介効果を示した。これらの知見は、有酸素運動能力の高い高齢者における WM のパフォーマンス向上を支える脳内メカニズムの 1 つとして、代償的な前頭前野の活動が考えられることを示唆している。

A. 課題成績と前頭前野の活動における年齢差

本研究では、若年成人と比較して、高齢者の n-back 課題における成績が低いことが確認された。これは、RT の遅延と ACC の減少によって確認された。特に、より高い記憶負荷を必要とする 2-back 条件で顕著であり、その結果、より多くの前頭前野領域、特に左右の VLPFC および FPC に位置するチャンネルの動員を伴う 2-back 条件において顕著である。この研究で観察された年齢に伴う n-back 課題成績の低下は、n-back 課題における n の値が 2 を超えると、年齢による大きな有意差が観察されるという最近のメタ分析の結果と一致している⁶⁸⁾。

言語性 WM 課題では主に左半球が活動し、空間性 WM 課題では両側が活動するという、若年成人を対象とした先行研究^{23,26,27)}と同様に、我々は、若年成人の言語性 2-back 条件では左前頭前野の優位な活動、空間性 2-back 条件では両側の活動を見いだした。更に、高齢者では、2-back 条件における言語処理時の優位半球の活動が消失した。これは、HAROLD モデル³²⁾と一致する。更に、若年成人と比較して、高齢者の場合は、WM 負荷の高い 2-back 課題において、主に VLPFC と FPC で追加またはより大きな活動がみられた。こ

の加齢に伴う過活動は、主に、信号強度の高い oxy-Hb に基づいて検討されたが⁶⁹⁾、全体的な傾向は deoxy-Hb でも確認された。過去の研究では、2-back 条件と同様の認知課題において、加齢に伴う前頭前野の活性化が示されている^{32,33,37)}。Saliasi ら³⁷⁾は、若年成人と比較して、n が 2 以上の n-back 課題において、高齢者の両 VLPFC の神経活動がより活発であることを発見した。一方、本研究の結果とは異なり、WM 負荷が高い課題中の前頭前野の活動は、高齢者では若年成人と比較して低下することが報告されている³⁴⁾。しかし、この場合、CRUNCH モデルを考慮する必要がある³⁵⁾。CRUNCH モデルは、脳活動が課題の認知負荷とともに、あらゆる年齢で増加することを示している。高齢者は、神経の非効率性を補うために、低負荷または中程度の負荷では若年成人よりも多くの神経資源を動員するが、WM 負荷が WM 容量を超えると、代償メカニズムは効果的に機能できなくなり、活動が低下する。この観点から、高齢者の 1-back 条件における前頭前野の活動が若年成人と比較して大きくないことは、この研究における高齢者の 1-back 条件の WM 負荷が、高齢者の前頭前野の活動を増大させるほど大きくなかったことを示している可能性がある。更に、この研究における 2-back 条件では、前頭前野における活動領域の拡大と活動の増加が見られたことは、2-back 条件が若い被験者にとってはまだ容易であり、高齢の被験者にとっても WM 容量の範囲内であったためである可能性がある。

B. 高齢者の有酸素能力と課題成績の関連性

高齢者において有酸素能力と課題成績を媒介する脳活動パターンを明らかにするため、まず有酸素能力に関連する課題成績を検証した。相関分析の結果、高齢者における言語性 2-back 課題では、RT と VT に負の相関があることが示された。これは、認知負荷の高い条件下において有酸素能力が認知機能と関連しているという過去の研究結果^{16,18)}と一致している。しかし、本研究における n-back 課題では、VT と ACC の間には有意な関係は認められなかった。この結果の理由の 1 つと

して、参加した高齢者の85%以上においてACCが90%以上であり、ACCに天井効果が認められたことが考えられる。もう1つの理由は、有酸素能力がRT(WMから情報を取り出す速度)に関連するWM処理と関係している可能性である⁷⁰⁾。n-back課題のRTはIQと関係していることが報告されていることから^{71,72)}、本研究の結果は、全体的な知能が有酸素能力と関係していることを反映している可能性がある。

言語性n-back課題とは異なり、VTと空間性n-back課題成績の間には有意な関係は認められなかった。これは、空間性WM課題中の $\dot{V}_{O_{2peak}}$ とRTまたはACCの間に正の関係があることを報告した過去の研究^{18-20,64)}と一致しない。空間性WM課題の種類による違いが、過去の研究と我々の研究との間にみられる違いを説明できる可能性がある。過去の研究で使用された空間性WM課題は、参加者が保存された情報を操作して更新する必要のない短期記憶課題であった。これらの短期空間記憶課題は、海馬体積と関連していることが報告されている^{20,64)}。高齢者では、運動が海馬の構造と機能的結合にプラスの効果をもたらすことがわかっているため^{73,74)}、海馬に依存する空間性WM課題は、有酸素能力とより密接に関連している可能性がある。最近の研究では、有酸素能力は高齢者のobject n-back課題の成績⁷⁵⁾や、forward digit span-backward digit span, letter-number sequencing課題の複合スコア⁷⁶⁾とは関連性がないことが報告されている。有酸素能力とWMの包括的な関係を解明するには、さまざまなWM課題を用いた更なる研究が必要である。

C. 高齢者における前頭前野の活動と有酸素能力および課題成績との関連

言語性2-back条件において、VTとRTの間に相関関係が認められたため、高齢者の言語性2-back条件における前頭前野の活動とRTおよびVTとの関係について考察する。言語性2-back条件では、左右のFPCおよび右VLPFCに位置するチャンネルの脳活動が、高齢者のVTおよびRTと相関した。更に、媒介分析により、これらの脳

活動は、VTとRTの関係性を媒介する効果がある可能性が示された。これらのチャンネルは、若年成人では有意な活動を示さず、高齢者でのみ活動がみられた。これらの結果は、有酸素運動能力の高い高齢者は、有酸素運動能力の低い高齢者よりも代償的な前頭前野領域をより多く動員し、それが高いWM課題成績につながることを示唆している。本研究でみられた加齢に伴う前頭前野の追加的な動員とWM能力との間の正の関係は、先行研究とも一致している。Sala-Llonchら³⁶⁾は、言語性3-back条件におけるACCが高い高齢者は、成績が低い高齢者よりも右の下前頭回(VLPFCに相当)の活動が大きいことを発見した。Saliassiら³⁷⁾も、言語性n-back課題のACCはVLPFCの活動と関連しており、高齢者は若年成人よりも活動が大きいことを報告している。我々の結果は、言語性3-back条件において、有酸素能力が高い高齢者は、有酸素能力が低い高齢者よりも両側でより大きな活動がみられることを報告したAgbanglaら³⁸⁾の結果とも一致している。本研究では、Agbanglaら³⁸⁾の知見に加え、多チャンネルfNIRSデータの解析により脳内機構を更に検討し、高齢者の有酸素能力とWM課題成績の関係をVLPFCとFPCが関与している可能性を見いだした。VLPFCとFPCはWM処理において重要な役割を果たしている。VLPFCはWM課題中に言語情報を維持していることが確認されており^{23,33)}、FPAは複雑なマルチタスク処理に関連していることが確認されている⁷⁷⁾。したがって、これらの知見は、有酸素能力の高い高齢者は、n-back課題中にマルチタスクの神経プロセスをより効率的に維持し適用することで、WM課題をより短いRTで処理したという仮説を裏付けるものである。

有酸素能力と脳活動の関係には、脳の構造と分子レベルのメカニズムが関与していると考えられる。動物実験では、定期的な運動により、脳由来神経栄養因子やインスリン様成長因子1などの神経成長因子の産生を通じて、神経新生や血管新生を含む神経およびシナプスの可塑性が向上することが明らかになっている⁷⁸⁻⁸¹⁾。また、ヒトを対象

とした研究でも、有酸素能力と脳の構造、特に高齢者の灰白質および白質の容積^{18,82)}や白質統合性^{19,83)}との間に正の関係があることが報告されている。神経資源の高い高齢者は、認知能力の要求を満たすのに十分な脳活動を動員できる可能性がある⁸⁴⁾。したがって、有酸素能力の高い高齢者は、神経資源が高いことから、より高い認知能力を必要とする WM 課題を実行するために、より多くの前頭前野領域を動員する能力が高い可能性がある。

リミテーション

本研究にはいくつかの限界がある。まず、横断的デザインであるため、有酸素能力、脳活動、WM 課題成績の間の因果関係は依然として不明である。したがって、更なる研究のためには、運動介入によって向上した有酸素能力が、代償的な脳の活動の増加と認知課題成績の向上につながるかどうかを調べる必要がある。この点については、運動介入が脳内ネットワークの神経効率を改善し、その結果、代償的な前頭前野の活動の必要性が低下する可能性も考慮すべきである⁸⁵⁾。第2に、異なる fNIRS 装置を使用して、若年成人と高齢者の前頭前野の活動を測定した。これらの装置は、oxy-Hb と deoxy-Hb のデータを算出する際に同じ原理を利用しており、比較可能だが、わずかな違いが検出に影響を及ぼし、その結果、グループ間の前頭前野の活動の比較に影響を及ぼす可能性がある。第3に、これらの fNIRS 装置には短距離のチャンネルがなかった。Wavelet-MDL などの事前処理によって、いくつかの全身性効果(呼吸や心拍など)は低減されたが、皮膚血流は fNIRS データに影響を及ぼす可能性がある。しかし、若年成人における言語性2-back 条件中に、左右非対称の活性化パターンが観察された(補足図7)。全身性の影響があれば、チャンネル間で均一な活動が示されると予想されるが⁸⁶⁾、課題関連の皮質活性が検出されたと考えられる。第4に、高齢者と若年成人ではリクルート方法が異なっていたため、サンプリングバイアスが生じ、グループ間の比較

可能性が制限された可能性がある。第5に、本研究のサンプルサイズは限られており、特に、決定的な媒介分析を行うには十分な大きさではなかった可能性がある⁸⁷⁾。結果の頑健性と一般性を高めるためには、より大規模なサンプルを用いた更なる研究が必要である。第6に、認知課題は疲労を考慮して設計されたが、n-back 課題の試行回数が限られていたため(各条件につき10回のターゲット試行)、課題成績の信頼性に問題が生じる可能性がある。第7に、n-back 課題は、混乱を避け、特に高齢者の切り替えコストを低減するために、ランダムな順序ではなく昇順(0-back→1-back→2-back)で提示された⁸⁸⁾。したがって、セッションが進行し、WM 負荷が増加するにつれて、疲労や慣れによる影響が生じ、課題遂行と前頭前野の活動に影響を与えた可能性がある。最後に、高齢者の有酸素能力と WM のパフォーマンスには、前頭前野以外の脳領域が関連している可能性がある。過去の研究では、前頭前野と頭頂葉皮質の結合が WM パフォーマンスにとって重要であることが報告されている²²⁾。また、n-back 課題中には、この結合における加齢に伴う増加が観察されている³⁶⁾。興味深いことに、若年成人を対象とした最近の研究では、有酸素能力が前頭頭頂ネットワークと関連していることが示されている⁸⁹⁾。神経メカニズムのより深い理解を得るためには、前頭前野と頭頂葉皮質間の機能的結合に焦点を当てた更なる研究が必要である。

結 論

本研究では、先行研究と同様に、作業記憶(WM)課題成績の加齢に伴う低下と、言語および空間性 n-back 課題における高い WM 負荷条件での両側性の前頭前野の広範な動員を確認した。更に、有酸素能力が高齢者の言語性2-back 条件における反応時間(RT)と関連し、この関係が右前頭極(FPA)および下前頭回(VLPFC)の加齢に伴う追加的な活動によって媒介されることを明らかにした。これらの結果は、有酸素能力と WM 能力の関連が WM 課題の種類によって異なることを示

唆しており、有酸素能力が高い高齢者は、前頭前野の代償的な活性化をより多く動員できることで、言語性 WM の成績が向上する可能性を示している。本研究は、有酸素能力と WM の関係についての脳内機構の理解を深める知見を提供するものである。

謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費助成(16H07483 & 19K20138 :K.H., 22H00681 :I.D., 18H04081 & 21H04858 :H.S.), 文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究「意志動力学」(17H06065: K.H. & H.S.)の助成を受けて実施されました。本論文の英文校正は ELCS English Language Consultation Services のメリッサ・ノグチ氏に依頼しました。

参 考 文 献

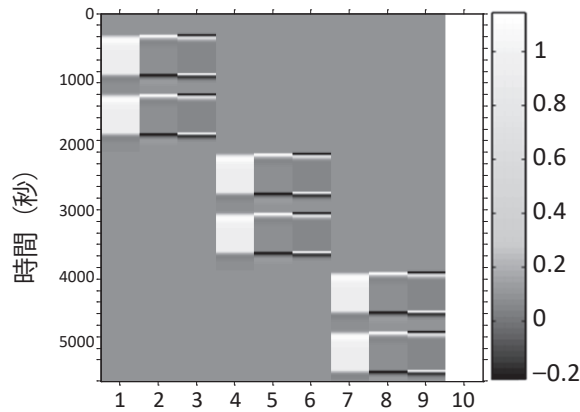
- 1) Idowu MI, Szameitat AJ. Executive function abilities in cognitively healthy young and older adults - a cross-sectional study. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2023; 15: 976915.
- 2) Kumar N, Priyadarshi B. Differential effect of aging on verbal and visuo-spatial working memory. *Aging and Disease*. 2013; 4: 170-7.
- 3) Park DC, Lautenschlager G, Hedden T, Davidson NS, Smith AD, Smith PK. Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging*. 2002; 17: 299-320.
- 4) Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'Frontal Lobe' tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*. 2000; 41: 49-100.
- 5) Ardila A. On the evolutionary origins of executive functions. *Brain and Cognition*. 2008; 68: 92-9.
- 6) Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews, Neuroscience*. 2008; 9: 58-65.
- 7) Kramer AF, Colcombe S. Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study-revisited. *Perspectives on Psychological Science: a Journal of the Association for Psychological Science*. 2018; 13: 213-7.
- 8) Chen FT, Etnier JL, Chan KH, Chiu PK, Hung TM, Chang YK. Effects of exercise training interventions on executive function in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 2020; 50: 1451-67.
- 9) Hoffmann CM, Petrov ME, Lee RE. Aerobic physical activity to improve memory and executive function in sedentary adults without cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis. *Preventive Medicine Reports*. 2021; 23: 101496.
- 10) Zhidong C, Wang X, Yin J, Song D, Chen Z. Effects of physical exercise on working memory in older adults: a systematic and meta-analytic review. *European Review of Aging and Physical Activity: Official Journal of the European Group for Research into Elderly and Physical Activity*. 2021; 18: 18.
- 11) El-Sayes J, Harasym D, Turco CV, Locke MB, Nelson AJ. Exercise-induced neuroplasticity: a mechanistic model and prospects for promoting plasticity. *The Neuroscientist: a Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*. 2019; 25: 65-85.
- 12) Colcombe SJ, Kramer AF, Erickson KI, Scalf P, McAuley E, Cohen NJ, Webb A, Jerome GJ, Marquez DX, Elavsky S. Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2004; 101: 3316-21.
- 13) Goenarjo R, Dupuy O, Fraser S, Berryman N, Perrochon A, Bosquet L. Cardiorespiratory fitness and prefrontal cortex oxygenation during Stroop task in older males. *Physiology & Behavior*. 2021; 242: 113621.
- 14) Hyodo K, Dan I, Kyutoku Y, Suwabe K, Byun K, Ochi G, Kato M, Soya H. The association between aerobic fitness and cognitive function in older men mediated by frontal lateralization. *NeuroImage*. 2016; 125: 291-300.
- 15) Mekari S, Dupuy O, Martins R, Evans K, Kimmerly DS, Fraser S, Neyedli HF. The effects of cardiorespiratory fitness on executive function and prefrontal oxygenation in older adults. *GeroScience*. 2019; 41: 681-90.
- 16) Prakash RS, Voss MW, Erickson KI, Lewis JM, Chaddock L, Malkowski E, Alves H, Kim J, Szabo A, White SM, Wojcicki TR, Klamm EL, McAuley E, Kramer AF. Cardiorespiratory fitness and attentional control in the aging brain. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2011; 4: 229.
- 17) Voelcker-Rehage C, Godde B, Staudinger UM. Physical and motor fitness are both related to cognition in old age. *The European Journal of Neuroscience*. 2010; 31: 167-76.
- 18) Weinstein AM, Voss MW, Prakash RS, Chaddock L, Szabo A, White SM, Wojcicki TR, Mailey E, McAuley E, Kramer AF, Erickson KI. The association between aerobic fitness and executive function is mediated by prefrontal cortex volume. *Brain, Behavior, and Immunity*. 2012; 26: 811-9.
- 19) Oberlin LE, Verstynen TD, Burzynska AZ, Voss MW,

- Prakash RS, Chaddock-Heyman L, Wong C, Fanning J, Awick E, Gothe N, Phillips SM, Mailey E, Ehlers D, Olson E, Wojcicki T, McAuley E, Kramer AF, Erickson KI. White matter microstructure mediates the relationship between cardiorespiratory fitness and spatial working memory in older adults. *NeuroImage*. 2016; 131: 91-101.
- 20) Szabo AN, McAuley E, Erickson KI, Voss M, Prakash RS, Mailey EL, Wójcicki TR, White SM, Gothe N, Olson EA, Kramer AF. Cardiorespiratory fitness, hippocampal volume, and frequency of forgetting in older adults. *Neuropsychology*. 2011; 25: 545-53.
- 21) Carlson S, Martinkauppi S, Rämä P, Salli E, Korvenoja A, Aronen HJ. Distribution of cortical activation during visuospatial n-back tasks as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Cerebral Cortex*. 1998; 8: 743-52.
- 22) Nagel IE, Preuschhof C, Li SC, Nyberg L, Bäckman L, Lindenberger U, Heekeren HR. Load modulation of BOLD response and connectivity predicts working memory performance in younger and older adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2011; 23: 2030-45.
- 23) Owen AM, McMillan KM, Laird AR, Bullmore E. N-back working memory paradigm: a meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*. 2005; 25: 46-59.
- 24) Yaple ZA, Stevens WD, Arsalidou M. Meta-analyses of the n-back working memory task: fMRI evidence of age-related changes in prefrontal cortex involvement across the adult lifespan. *NeuroImage*. 2019; 196: 16-31.
- 25) Baddeley A. Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*. 2012; 63: 1-29.
- 26) Cona G, Scarpazza C. Where is the “where” in the brain? A meta-analysis of neuroimaging studies on spatial cognition. *Human Brain Mapping*. 2019; 40: 1867-86.
- 27) Thomason ME, Race E, Burrows B, Whitfield-Gabrieli S, Glover GH, Gabrieli JD. Development of spatial and verbal working memory capacity in the human brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2009; 21: 316-32.
- 28) Dennis NA, Cabeza R. Age-related dedifferentiation of learning systems: an fMRI study of implicit and explicit learning. *Neurobiology of Aging*. 2011; 32: 2318.e17-30.
- 29) Park J, Carp J, Hebrank A, Park DC, Polk TA. Neural specificity predicts fluid processing ability in older adults. *The Journal of Neuroscience: the official Journal of the Society for Neuroscience*. 2010; 30: 9253-9.
- 30) Festini SB, Zahodne L, Reuter-Lorenz PA. Theoretical perspectives on age differences in brain activation: HAROLD, PASA, CRUNCH - how do they STAC up? *Oxford Research Encyclopedia of Psychology*, Oxford University Press, Oxford. 2018.
- 31) Reuter-Lorenz PA, Festini SB, Jantz TK. Executive functions and neurocognitive aging. *Handbook of the Psychology of Aging*, ninth edition, Academic Press, New York, 2021; 67-81.
- 32) Cabeza R. Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychology and Aging*. 2002; 17: 85-100.
- 33) Reuter-Lorenz PA, Jonides J, Smith EE, Hartley A, Miller A, Marshuetz C, Koeppel RA. Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2000; 12: 174-87.
- 34) Mattay VS, Fera F, Tessitore A, Hariri AR, Berman KF, Das S, Meyer-Lindenberg A, Goldberg TE, Callicott JH, Weinberger DR. Neurophysiological correlates of age-related changes in working memory capacity. *Neuroscience Letters*. 2006; 392: 32-7.
- 35) Reuter-Lorenz PA, Cappell KA. Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*. 2008; 17: 177-82.
- 36) Sala-Llloch R, Arenaza-Urquijo EM, Valls-Pedret C, Vidal-Piñeiro D, Bargalló N, Junqué C, Bartrés-Faz D. Dynamic functional reorganizations and relationship with working memory performance in healthy aging. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012; 6: 152.
- 37) Saliassi E, Geerligs L, Lorist MM, Maurits NM. Neural correlates associated with successful working memory performance in older adults as revealed by spatial ICA. *PloS One*. 2014; 9: e99250.
- 38) Agbangla NF, Audiffren M, Pylouster J, Albinet CT. Working memory, cognitive load and cardiorespiratory fitness: testing the CRUNCH model with near-infrared spectroscopy. *Brain Sciences*. 2019; 9: 38.
- 39) Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*. 1970; 2: 92-8.
- 40) Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, Pegelow DF, Nickle GA, Nelson WB, Hanson P, Dempsey JA. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*. 1998; 85: 609-18.
- 41) Itoh K, Osada N, Inoue K, Samejima H, Seki A, Omiya K, Miyake F. Relationship between exercise intolerance and levels of neurohormonal factors and proinflammatory cytokines in patients with stable chronic heart failure.

- International Heart Journal. 2005; 46: 1049-59.
- 42) Koizumi H, Yamamoto T, Maki A, Yamashita Y, Sato H, Kawaguchi H, Ichikawa N. Optical topography: practical problems and new applications. *Applied Optics*. 2003; 42: 3054-62.
- 43) Obrig H, Villringer A. Beyond the visible - imaging the human brain with light. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism: Official Journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*. 2003; 23: 1-18.
- 44) Herff C, Heger D, Fortmann O, Hennrich J, Putze F, Schultz T. Mental workload during n-back task-quantified in the prefrontal cortex using fNIRS. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014; 7: 935.
- 45) Koike S, Nishimura Y, Takizawa R, Yahata N, Kasai K. Near-infrared spectroscopy in schizophrenia: a possible biomarker for predicting clinical outcome and treatment response. *Frontiers in Psychiatry*. 2013; 4: 145.
- 46) Vermeij A, van Beek AHEA, Reijs BLR, Claassen JAHR, Kessels RPC. An exploratory study of the effects of spatial working-memory load on prefrontal activation in low- and high-performing elderly. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2014; 6: 303.
- 47) Heinzel S, Metzger FG, Ehli AC, Korell R, Alboji A, Haeussinger FB, Hagen K, Maetzler W, Eschweiler GW, Berg D, Fallgatter AJ, TREND Study Consortium. Aging-related cortical reorganization of verbal fluency processing: a functional near-infrared spectroscopy study. *Neurobiology of Aging*. 2013; 34: 439-50.
- 48) Hyodo K, Dan I, Suwabe K, Kyutoku Y, Yamada Y, Akahori M, Byun K, Kato M, Soya H. Acute moderate exercise enhances compensatory brain activation in older adults. *Neurobiology of Aging*. 2012; 33: 2621-32.
- 49) Tsujii T, Okada M, Watanabe S. Effects of aging on hemispheric asymmetry in inferior frontal cortex activity during belief-bias syllogistic reasoning: a near-infrared spectroscopy study. *Behavioural Brain Research*. 2010; 210: 178-83.
- 50) Byun K, Hyodo K, Suwabe K, Ochi G, Sakairi Y, Kato M, Dan I, Soya H. Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study. *NeuroImage*. 2014; 98: 336-45.
- 51) Suwabe K, Hyodo K, Fukuie T, Ochi G, Inagaki K, Sakairi Y, Soya H. Positive mood while exercising influences beneficial effects of exercise with music on prefrontal executive function: a functional NIRS study. *Neuroscience*. 2021; 454: 61-71.
- 52) Tsuzuki D, Jurcak V, Singh AK, Okamoto M, Watanabe E, Dan I. Virtual spatial registration of stand-alone fNIRS data to MNI space. *NeuroImage*. 2007; 34: 1506-18.
- 53) Brett M, Johnsrude IS, Owen AM. The problem of functional localization in the human brain. *Nature Reviews. Neuroscience*. 2002; 3: 243-9.
- 54) Tsuzuki D, Dan I. Spatial registration for functional near-infrared spectroscopy: from channel position on the scalp to cortical location in individual and group analyses. *NeuroImage*. 2014; 85: 92-103.
- 55) Okamoto M, Dan H, Sakamoto K, Takeo K, Shimizu K, Kohno S, Oda I, Isobe S, Suzuki T, Kohyama K, Dan I. Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping. *NeuroImage*. 2004; 21: 99-111.
- 56) Okamoto M, Dan I. Automated cortical projection of head-surface locations for transcranial functional brain mapping. *NeuroImage*. 2005; 26: 18-28.
- 57) Singh AK, Okamoto M, Dan H, Jurcak V, Dan I. Spatial registration of multichannel multi-subject fNIRS data to MNI space without MRI. *NeuroImage*. 2005; 27: 842-51.
- 58) Shattuck DW, Mirza M, Adisetiyo V, Hojatkashani C, Salamon G, Narr KL, Poldrack RA, Bilder RM, Toga AW. Construction of a 3D probabilistic atlas of human cortical structures. *NeuroImage*. 2008; 39: 1064-80.
- 59) Cope M, Delpy DT, Reynolds EO, Wray S, Wyatt J, van der Zee P. Methods of quantitating cerebral near infrared spectroscopy data. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 1988; 222: 183-9.
- 60) Maki A, Yamashita Y, Ito Y, Watanabe E, Mayanagi Y, Koizumi H. Spatial and temporal analysis of human motor activity using noninvasive NIR topography. *Medical Physics*. 1995; 22: 1997-2005.
- 61) Jang KE, Tak S, Jung J, Jang J, Jeong Y, Ye JC. Wavelet minimum description length detrending for near-infrared spectroscopy. *Journal of Biomedical Optics*. 2009; 14: 034004.
- 62) Uga M, Dan I, Sano T, Dan H, Watanabe E. Optimizing the general linear model for functional near-infrared spectroscopy: an adaptive hemodynamic response function approach. *Neurophotonics*. 2014; 1: 015004.
- 63) Friston KJ, Fletcher P, Josephs O, Holmes A, Rugg MD, Turner R. Event-related fMRI: characterizing differential responses. *NeuroImage*. 1998; 7: 30-40.
- 64) Erickson KI, Prakash RS, Voss MW, Chaddock L, Hu L, Morris KS, White SM, Wójcicki TR, McAuley E, Kramer AF. Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus*. 2009; 19: 1030-9.
- 65) Pliatsikas C, Verissimo J, Babcock L, Pullman MY, Gleib

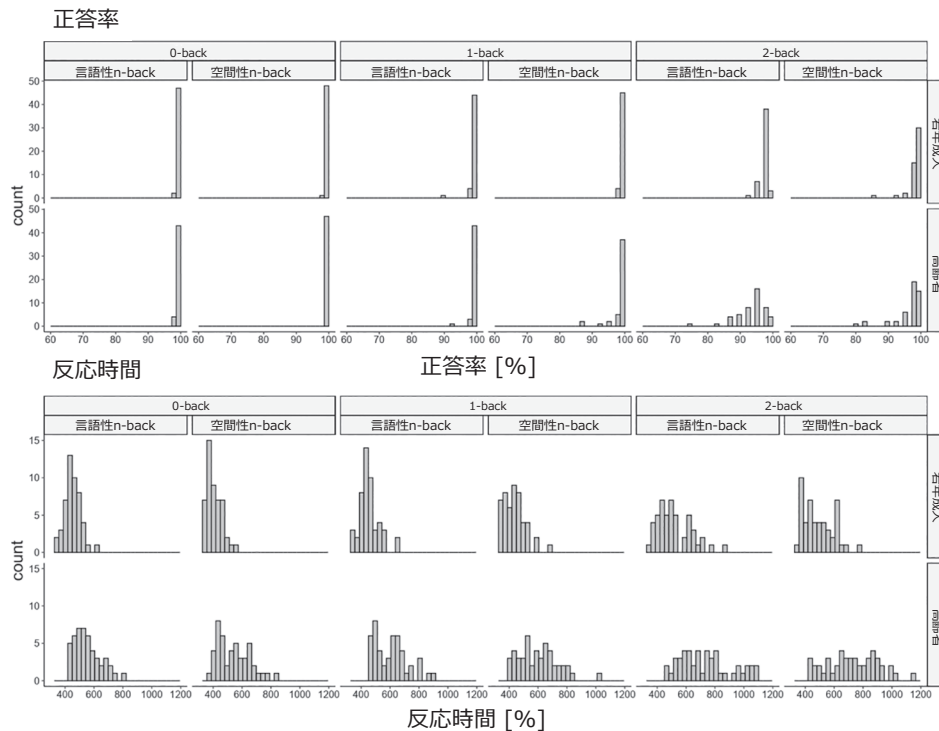
- DA, Weinstein M, Goldman N, Ullman MT. Working memory in older adults declines with age, but is modulated by sex and education. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2019; 72: 1308-27.
- 66) Holm S. A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*. 1979; 6: 65-70.
- 67) Team RC. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2020.
- 68) Bopp KL, Verhaeghen P. Aging and n-back performance: a meta-analysis. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*. 2020; 75: 229-40.
- 69) Strangman G, Boas DA, Sutton JP. Non-invasive neuroimaging using near-infrared light. *Biological Psychiatry*. 2002; 52: 679-93.
- 70) Jensen AR. Why is reaction time correlated with psychometric g? *Current Directions in Psychological Science*. 1993; 2: 53-6.
- 71) Gevins A, Smith ME. Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral Cortex*. 2000; 10: 829-39.
- 72) Hockey A, Geffen G. The concurrent validity and test-retest reliability of a visuospatial working memory task. *Intelligence*. 2004; 32: 591-605.
- 73) Wilckens KA, Stillman CM, Waiwood AM, Kang C, Leckie RL, Peven JC, Foust JE, Fraundorf SH, Erickson KI. Exercise interventions preserve hippocampal volume: a meta-analysis. *Hippocampus*. 2021; 31: 335-47.
- 74) Won J, Callow DD, Pena GS, Jordan LS, Arnold-Nedimala NA, Nielson KA, Smith JC. Hippocampal functional connectivity and memory performance after exercise intervention in older adults with mild cognitive impairment. *Journal of Alzheimer's Disease*. 2021; 82: 1015-31.
- 75) Predovan D, Berryman N, Lussier M, Comte F, Vu TTM, Villalpando JM, Bherer L. Assessment of the relationship between executive function and cardiorespiratory fitness in healthy older adults. *Frontiers in Psychology*. 2021; 12: 742184.
- 76) España-Irla G, Gomes-Osman J, Cattaneo G, Albu S, Cabello-Toscano M, Solana-Sánchez J, Redondo-Camós M, Delgado-Gallén S, Alvarez-Schulze V, Pachón-García C, Tormos JM, Bartrés-Faz D, Morris TP, Pascual-Leone Á. Associations between cardiorespiratory fitness, cardiovascular risk, and cognition are mediated by structural brain health in midlife. *Journal of the American Heart Association*. 2021; 10: e020688.
- 77) Koechlin E, Basso G, Pietrini P, Panzer S, Grafman J. The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition. *Nature*. 1999; 399: 148-51.
- 78) Ding YH, Li J, Zhou Y, Rafols JA, Clark JC, Ding Y. Cerebral angiogenesis and expression of angiogenic factors in aging rats after exercise. *Current Neurovascular Research*. 2006; 3: 15-23.
- 79) Inoue K, Hanaoka Y, Nishijima T, Okamoto M, Chang H, Saito T, Soya H. Long-term mild exercise training enhances hippocampus-dependent memory in rats. *International Journal of Sports Medicine*. 2015; 36: 280-5.
- 80) Okamoto M, Hojo Y, Inoue K, Matsui T, Kawato S, McEwen BS, Soya H. Mild exercise increases dihydrotestosterone in hippocampus providing evidence for androgenic mediation of neurogenesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012; 109: 13100-5.
- 81) van Praag H, Christie BR, Sejnowski TJ, Gage FH. Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1999; 96: 13427-31.
- 82) Colcombe SJ, Erickson KI, Scalf PE, Kim JS, Prakash R, McAuley E, Elavsky S, Marquez DX, Hu L, Kramer AF. Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*. 2006; 61: 1166-70.
- 83) Johnson NF, Kim C, Clasey JL, Bailey A, Gold BT. Cardiorespiratory fitness is positively correlated with cerebral white matter integrity in healthy seniors. *NeuroImage*. 2012; 59: 1514-23.
- 84) Cabeza R, Albert M, Belleville S, Craik FIM, Duarte A, Grady CL, Lindenberger U, Nyberg L, Park DC, Reuter-Lorenz PA, Rugg MD, Steffener J, Rajah MN. Maintenance, reserve and compensation: the cognitive neuroscience of healthy ageing. *Nature Reviews. Neuroscience*. 2018; 19: 701-10.
- 85) Byun K, Hyodo K, Suwabe K, Fukuie T, Ha MS, Damrongthai C, Kuwamizu R, Koizumi H, Yassa MA, Soya H. Mild exercise improves executive function with increasing neural efficiency in the prefrontal cortex of older adults. *GeroScience*. 2024; 46: 309-25.
- 86) Noah JA, Zhang X, Dravida S, DiCocco C, Suzuki T, Aslin RN, Tachtsidis I, Hirsch J. Comparison of short-channel separation and spatial domain filtering for removal of non-neural components in functional near-infrared spectroscopy signals. *Neurophotonics*. 2021; 8: 015004.

- 87) Fritz MS, Mackinnon DP. Required sample size to detect the mediated effect. Psychological Science. 2007; 18: 233-9.
- 88) Kray J, Lindenberger U. Adult age differences in task switching. Psychology and Aging. 2000; 15: 126-47.
- 89) Ishihara T, Miyazaki A, Tanaka H, Matsuda T. Identification of the brain networks that contribute to the interaction between physical function and working memory: an fMRI investigation with over 1,000 healthy adults. NeuroImage. 2020; 221: 117152.

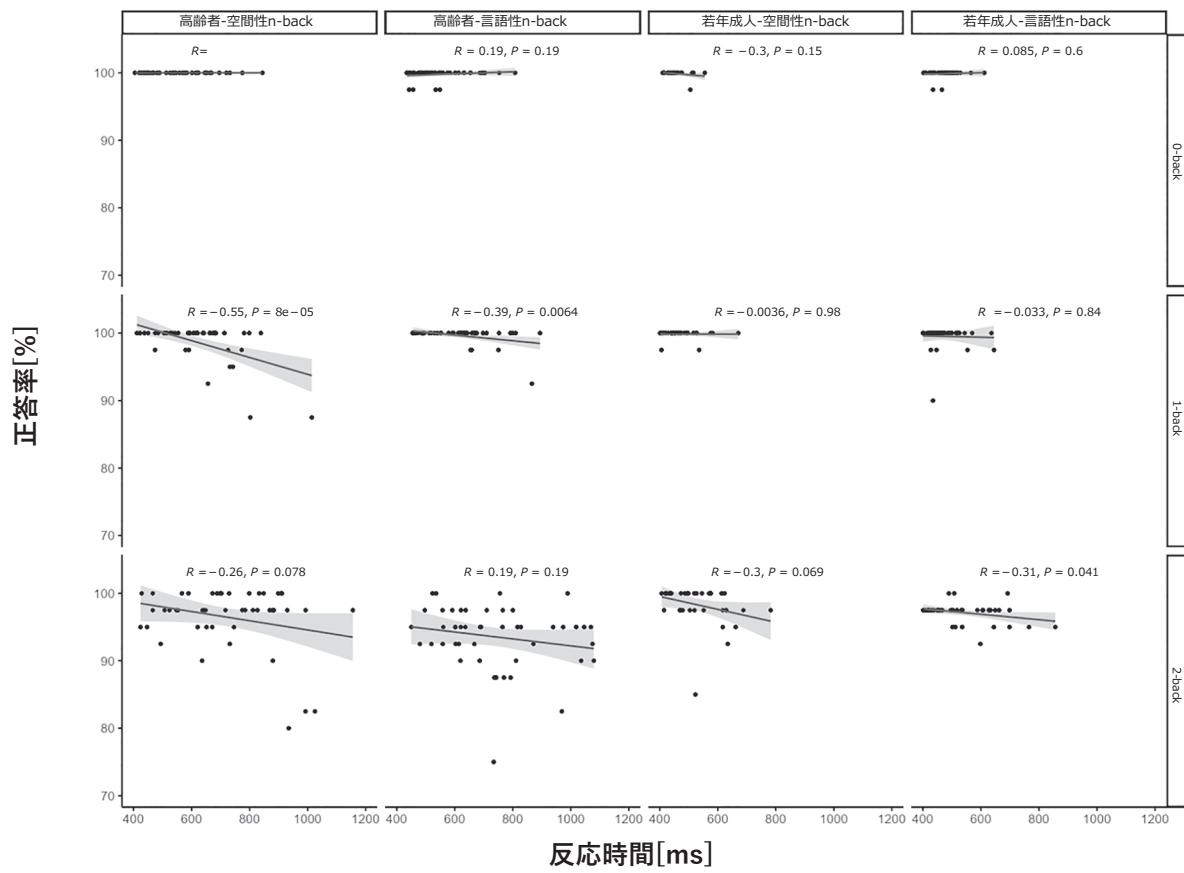


補足図1. デザイン行列 X の例

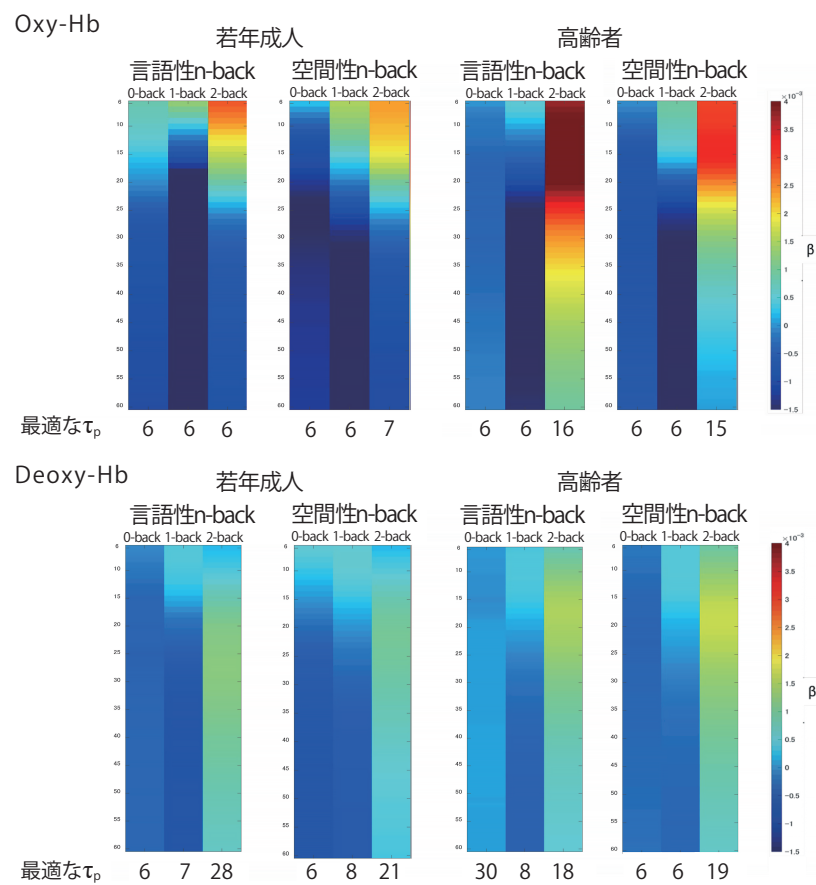
「fNIRS データ解析」で述べたように、ピーク遅延は $\tau_p = 6$ s に設定した。行番号は時間 (秒) を表す。列 1, 2, 3 はそれぞれ、0-back 条件におけるタスク期間の HRF と、一次および二次微分を表す。列 4, 5, 6 はそれぞれ、1-back 条件のタスク期間の HRF と、1 次および 2 次微分を表す。列 7, 8, 9 はそれぞれ、2-back 条件のタスク期間の HRF と、1 次および 2 次微分を表す。列 10 は定数を表す。



補足図2. 若年成人と高齢者の n-back 課題成績のヒストグラム

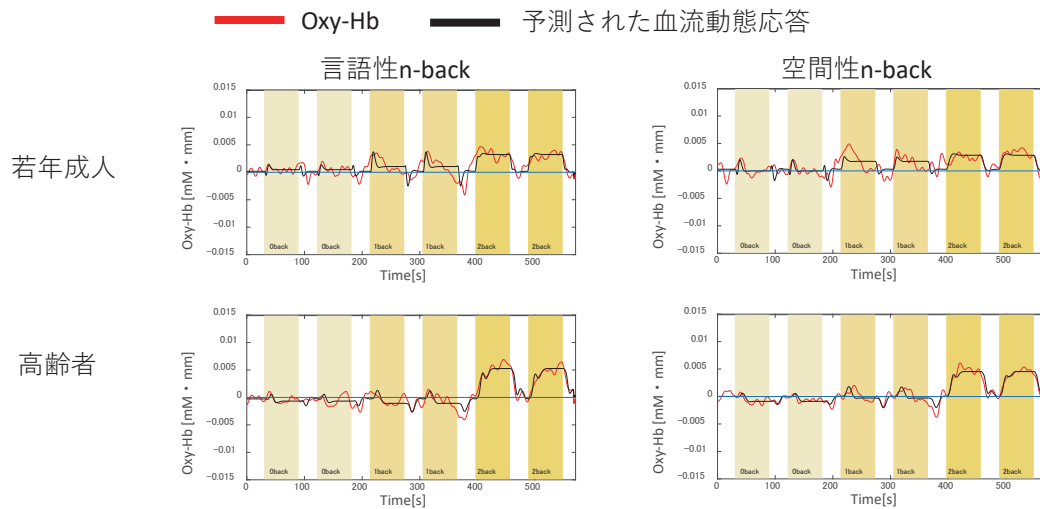


補足図3. 若年成人と高齢者の各 n-back 課題条件における反応時間と正答率の関係
各図には、ピアソンの相関係数と P 値が示されている。

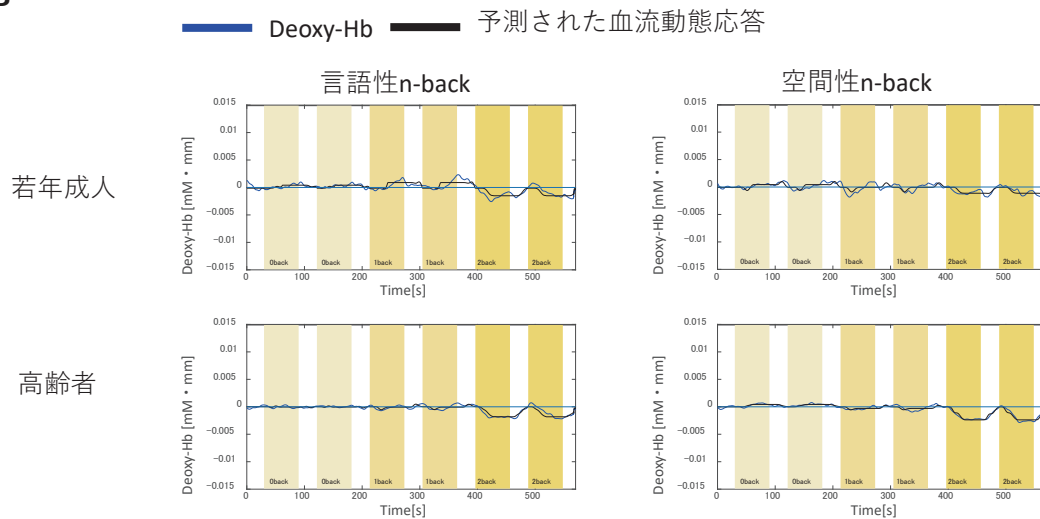


補足図 4. 若年成人および高齢者の言語および空間性 n-back 課題の各条件について、さまざまな τ_p 値に対して計算した、すべての参加者およびチャンネルの平均 β 値
 β 値の大きさは色調で示されている。最大の β 値を示した最適な τ_p 値は、各列の下に示されている。

A

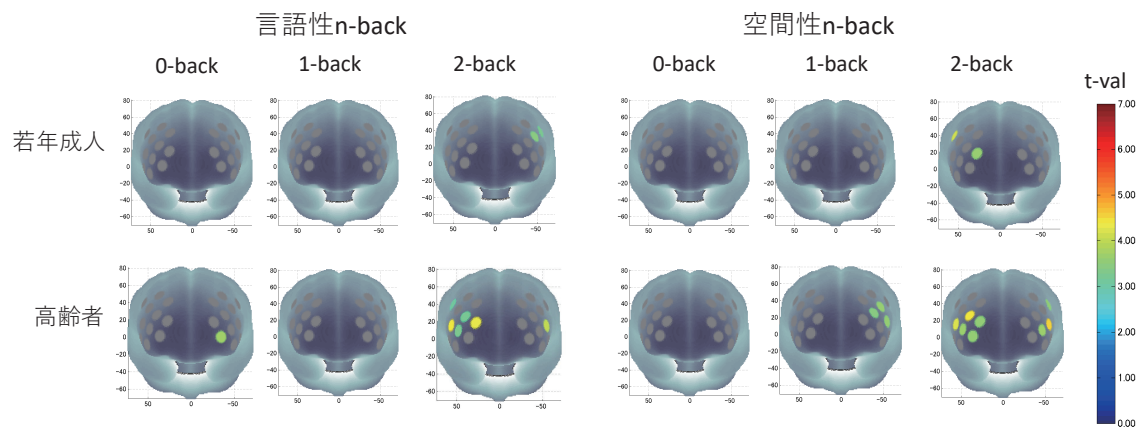


B

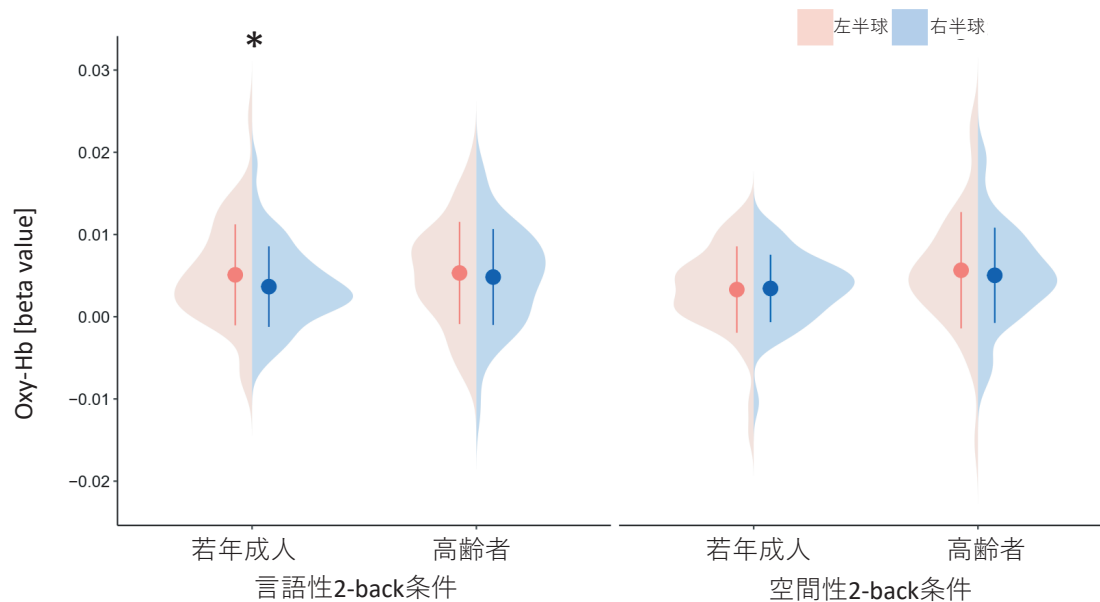


補足図 5. 両グループにおける 2 つの n-back 課題の (A) oxy-Hb および (B) deoxy-Hb 信号の観測されたタイムラインデータと、最適化された回帰変数により予測された血流動態応答

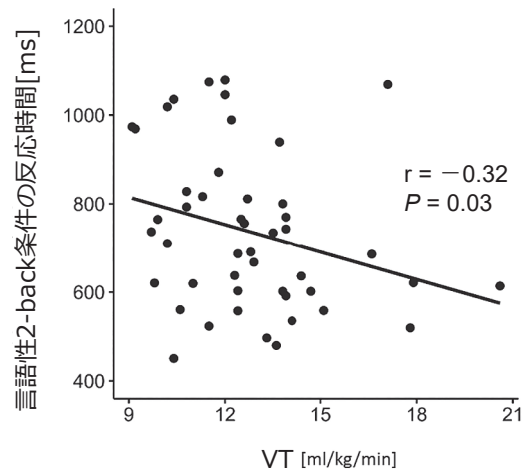
赤線と青線は oxy-Hb 信号の観測されたタイムラインを示し、黒線は 2-back 条件における最適な τ_p 値を用いて計算された、最適化された回帰変数による予測応答を示す。観測されたタイムラインデータは、すべての参加者および ROI チャンネルの平均データ。



補足図6. 若年成人（上段）と高齢者（下段）における言語および空間性 n-back 課題の各条件における deoxy-Hb 活性化パターン
有意に活性化されたチャンネルは、右の t 値スケールに従って色分けされている。



補足図7. 言語および空間性2-back 条件における左半球と右半球のオキシヘモグロビン活性化パターン
有意な活性化が認められたチャンネルのみを半球ごとに平均化した。ハーフバイオリンプロットは、両半球の脳活性化分布を示す（赤：左側，青：右側）。円とエラーバーはそれぞれ，平均値と標準誤差を示す。* $P < 0.05$.



補足図 8. 高齢者 (n = 47) における言語性2-back 条件での換気閾値 (VT) と反応時間 (RT) の散布図

補足表 1. 高齢者における VT と n-back 課題の成績と、考えられる共変量の関係

n = 47	共変量	VT	言語性						空間性					
			正答率			反応時間			正答率			反応時間		
			0-back	1-back	2-back	0-back	1-back	2-back	0-back	1-back	2-back	0-back	1-back	2-back
年齢		0.12	0.19	0.01	-0.42	0.00	0.18	0.26	-	-0.17	-0.39	0.02	0.22	0.41
性別		0.22	0.08	0.03	-0.11	0.13	0.11	0.05	-	0.17	0.06	0.00	-0.10	0.12
教育年数		-0.07	0.02	0.22	0.02	0.07	0.16	0.10	-	0.26	-0.02	0.15	0.00	-0.05

値はピアソンの相関分析から得られた相関係数である。

VT: ventilatory threshold (換気閾値)

補足表 2. n-back 課題成績に対する ANCOVA 後の事後比較

記憶負荷 (0 -/ 1 -/2-back) の単純主効果

グループ	課題	変数	0-back - 1-back			0-back - 2-back			1-back - 2-back		
			t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
若年成人	言語性 n-back	正答率	1.669	0.394	0.238	5.181	< 0.001	0.740	4.014	0.001	0.573
		反応時間	-0.097	0.923	-0.014	-3.166	0.004	-0.452	-3.395	0.003	-0.485
	空間性 n-back	正答率	1.160	0.748	0.166	2.497	0.086	0.357	1.633	0.424	0.233
		反応時間	-2.652	0.009	-0.379	-3.869	0.001	-0.553	-2.698	0.017	-0.385
高齢者	言語性 n-back	正答率	0.088	0.930	0.013	11.386	< 0.001	1.661	10.290	< 0.001	1.501
		反応時間	-4.412	< 0.001	-0.644	-8.470	< 0.001	-1.235	-6.531	< 0.001	-0.953
	空間性 n-back	正答率	2.824	0.041	0.412	5.777	< 0.001	0.843	3.709	0.003	0.541
		反応時間	-4.288	< 0.001	-0.625	-7.417	< 0.001	-1.082	-5.604	< 0.001	-0.817

グループ (若年成人/高齢者) の単純主効果

課題	変数	若年成人 - 高齢者								
		0-back			1-back			2-back		
		t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
言語性 n-back	正答率	0.479	1.000	0.098	-0.954	1.000	-0.195	4.449	< 0.001	0.908
	反応時間	-5.950	< 0.001	-1.215	-7.290	< 0.001	-1.488	-6.330	< 0.001	-1.292
空間性 n-back	正答率	-0.891	0.375	-0.182	1.050	0.593	0.214	2.222	0.144	0.454
	反応時間	-6.729	< 0.001	-1.374	-6.347	< 0.001	-1.296	-6.640	< 0.001	-1.356

補足表 3. Oxy-Hb に関する 1 標本 t 検定

若年成人 (n = 49) を対象とした言語性 n-back 課題

CH	0-back			1-back			2-back		
	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
2	0.407	1	0.058	-0.636	1	-0.091	0.373	1	0.053
3	0.694	1	0.099	0.493	0.624	0.07	0.788	1	0.113
5	-0.895	1	-0.128	-1.199	1	-0.171	0.921	1	0.132
6	2.192	0.566	0.313	2.083	0.724	0.298	4.41	0.001	0.63
7	2.71	0.205	0.387	0.982	1	0.14	1.142	1	0.163
9	0.558	1	0.08	1.475	1	0.211	4.672	< 0.001	0.667
10	2.263	0.508	0.323	3.132	0.065	0.447	3.862	0.005	0.552
13	0.569	1	0.081	1.978	0.752	0.283	5.751	0	0.822
14	2.346	0.462	0.335	2.916	0.113	0.417	1.577	0.968	0.225
16	-0.154	1	-0.022	2.142	0.671	0.306	4.942	0	0.706
17	1.24	1	0.177	1.739	1	0.248	2.524	0.195	0.361
25	-0.411	1	-0.059	-0.793	1	-0.113	0.343	1	0.049
26	-0.338	1	-0.048	-1.439	1	-0.206	-0.261	0.795	-0.037
28	2.384	0.443	0.341	2.567	0.268	0.367	1.82	0.75	0.26
29	0.247	1	0.035	1.507	1	0.215	2.335	0.262	0.334
30	-1.102	1	-0.157	-0.978	1	-0.14	0.726	1	0.104
32	2.317	0.471	0.331	2.494	0.306	0.356	4.355	0.001	0.622
33	-0.397	1	-0.057	1.46	1	0.209	1.678	0.898	0.24
35	1.59	1	0.227	1.581	1	0.226	2.405	0.241	0.344
36	0.448	1	0.064	1.98	0.801	0.283	5.004	0	0.715
39	0.121	1	0.017	2.001	0.818	0.286	3.71	0.008	0.53
40	-0.042	0.967	-0.006	1.862	0.893	0.266	4.63	0	0.661

若年成人 (n = 49) における空間性 n-back 課題

CH	0-back			1-back			2-back		
	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
2	-1.605	1	-0.229	-0.331	1	-0.047	0.294	1	0.042
3	-0.872	1	-0.125	-0.166	1	-0.024	-0.114	0.909	-0.016
5	-1.291	1	-0.184	0.084	0.933	0.012	0.828	1	0.118
6	0.158	1	0.023	1.399	1	0.2	1.972	0.489	0.282
7	0.459	1	0.066	0.465	1	0.066	0.913	1	0.13
9	0.04	0.968	0.006	0.523	1	0.075	2.153	0.399	0.308
10	1.499	1	0.214	1.956	0.788	0.279	3.23	0.036	0.461
13	1.375	1	0.196	2.275	0.411	0.325	3.835	0.006	0.548
14	2.015	1	0.288	1.829	0.883	0.261	1.389	1	0.198
16	0.106	1	0.015	1.218	1	0.174	4.723	< 0.001	0.675
17	0.97	1	0.139	1.894	0.835	0.271	2.559	0.164	0.366
25	0.288	1	0.041	1.055	1	0.151	1.537	1	0.22
26	0.505	1	0.072	0.654	1	0.093	0.896	1	0.128
28	0.358	1	0.051	2.347	0.37	0.335	2.046	0.462	0.292
29	0.934	1	0.133	2.82	0.118	0.403	3.011	0.062	0.43
30	-1.105	1	-0.158	0.871	1	0.124	1.507	0.966	0.215
32	1.329	1	0.19	3.564	0.018	0.509	4.146	0.002	0.592
33	-0.898	1	-0.128	3.4	0.027	0.486	2.658	0.138	0.38
35	0.962	1	0.137	3.118	0.058	0.445	2.879	0.083	0.411
36	0.27	1	0.039	4.021	0.004	0.574	5.635	< 0.001	0.805
39	-0.15	1	-0.021	3.036	0.07	0.434	4.38	0.001	0.626
40	-0.144	1	-0.021	1.823	0.82	0.26	4.743	< 0.001	0.678

太字は統計的な有意差を示す。

(continued)

高齢者(n = 47)における言語性 n-back 課題

CH	0-back			1-back			2-back		
	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
2	0.893	1	0.13	0.229	1	0.033	3.337	0.015	0.487
3	-0.244	1	-0.036	-0.436	1	-0.064	2.024	0.098	0.295
5	0.093	1	0.014	0.558	1	0.081	3.378	0.015	0.493
6	0.48	1	0.07	2.761	0.182	0.403	4.015	0.003	0.586
7	1.479	1	0.216	2.176	0.625	0.317	5.191	< 0.001	0.757
9	-1.004	1	-0.146	-0.287	1	-0.042	3.955	0.004	0.577
10	-0.486	1	-0.071	1.494	1	0.218	4.663	< 0.001	0.68
13	-1.131	1	-0.165	-0.599	1	-0.087	2.846	0.033	0.415
14	-1.109	1	-0.162	-0.372	1	-0.054	2.702	0.038	0.394
16	-0.676	1	-0.099	-0.493	1	-0.072	3.796	0.005	0.554
17	-1.985	1	-0.29	-1.424	1	-0.208	1.53	0.133	0.223
25	-0.017	0.986	-0.003	0.47	1	0.068	2.988	0.027	0.436
26	-0.273	1	-0.04	1.351	1	0.197	5.219	< 0.001	0.761
28	1.47	1	0.214	2.583	0.262	0.377	5.644	< 0.001	0.823
29	2.278	0.603	0.332	2.511	0.296	0.366	6.496	< 0.001	0.948
30	-0.645	1	-0.094	1.119	1	0.163	3.497	0.012	0.51
32	0.612	1	0.089	2.17	0.598	0.317	5.052	0	0.737
33	-0.162	1	-0.024	0.933	1	0.136	3.803	0.005	0.555
35	-0.512	1	-0.075	0.279	1	0.041	3.158	0.022	0.461
36	1.362	1	0.199	2.603	0.26	0.38	5.399	0	0.788
39	-1.655	1	-0.241	0.185	1	0.027	3.038	0.027	0.443
40	-0.85	1	-0.124	-0.127	0.9	-0.018	2.613	0.036	0.381

高齢者(n = 47)における空間性 n-back 課題

CH	0-back			1-back			2-back		
	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
2	0.743	1	0.108	1.198	1	0.175	3.876	0.005	0.565
3	0.775	1	0.113	1.471	1	0.215	1.161	0.756	0.169
5	-0.77	1	-0.112	-0.114	1	-0.017	4.711	< 0.001	0.687
6	0.766	1	0.112	1.133	1	0.165	3.762	0.006	0.549
7	0.632	1	0.092	1.896	1	0.277	3.804	0.005	0.555
9	-2	0.927	-0.292	-0.367	1	-0.054	3.265	0.021	0.476
10	-0.109	1	-0.016	1.862	1	0.272	3.301	0.021	0.481
13	-2.54	0.29	-0.37	1.194	1	0.174	2.863	0.05	0.418
14	0.087	0.931	0.013	0.433	1	0.063	1.665	0.515	0.243
16	-2.801	0.164	-0.408	-0.173	1	-0.025	3.009	0.038	0.439
17	-2.659	0.225	-0.388	-0.016	0.987	-0.002	0.565	0.575	0.082
25	2.052	0.872	0.299	1.652	1	0.241	0.984	0.66	0.144
26	0.465	1	0.068	1.396	1	0.204	4.395	0.001	0.641
28	0.463	1	0.067	1.17	1	0.171	2.075	0.305	0.303
29	1.242	1	0.181	2.714	0.196	0.396	4.808	< 0.001	0.701
30	-0.202	1	-0.029	0.158	1	0.023	4.644	< 0.001	0.677
32	0.968	1	0.141	2.426	0.384	0.354	4.185	0.002	0.61
33	-0.554	1	-0.081	0.412	1	0.06	4.449	0.001	0.649
35	-0.257	1	-0.038	1.273	1	0.186	1.807	0.463	0.264
36	-0.359	1	-0.052	3.267	0.045	0.477	5.09	< 0.001	0.742
39	-0.461	1	-0.067	1.794	1	0.262	1.415	0.656	0.206
40	-0.375	1	-0.055	1.316	1	0.192	5.203	< 0.001	0.759

太字は統計的な有意差を示す。

補足表 4. Deoxy-Hb に関する1標本 t 検定
若年成人 (n = 49) における言語性 n-back 課題

CH	0-back			1-back			2-back		
	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
2	0.406	1	0.058	-0.016	1	-0.002	1.21	1	0.173
3	0.903	1	0.129	-0.397	1	-0.057	0.217	1	0.031
5	0.287	1	0.041	-1.131	1	-0.162	0.886	1	0.127
6	-0.013	0.989	-0.002	0.181	1	0.026	2.589	0.254	0.37
7	-1.509	1	-0.216	0.139	1	0.02	0.63	1	0.09
9	-1.108	1	-0.158	-0.014	1	-0.002	2.155	0.615	0.308
10	0.515	1	0.074	0.548	1	0.078	1.949	0.857	0.278
13	1.271	1	0.182	1.902	1	0.272	3.494	0.023	0.499
14	-1.626	1	-0.232	-0.075	1	-0.011	0.192	0.848	0.027
16	1.226	1	0.175	2.403	0.404	0.343	3.316	0.036	0.474
17	-0.407	1	-0.058	0.833	1	0.119	1.037	1	0.148
25	-0.054	1	-0.008	0.594	1	0.085	0.567	1	0.081
26	-0.597	1	-0.085	-0.284	1	-0.041	0.437	1	0.062
28	-2.004	1	-0.286	0.758	1	0.108	1.155	1	0.165
29	1.023	1	0.146	0.857	1	0.122	2.004	0.811	0.286
30	-0.411	1	-0.059	-0.155	1	-0.022	0.328	1	0.047
32	1.007	1	0.144	2.659	0.223	0.38	1.813	1	0.259
33	0.045	1	0.006	-0.107	1	-0.015	0.772	1	0.11
35	-0.724	1	-0.103	0.747	1	0.107	1.085	1	0.155
36	0.798	1	0.114	2.697	0.212	0.385	2.289	0.477	0.327
39	-0.148	1	-0.021	2.188	0.638	0.313	0.79	1	0.113
40	2.132	0.84	0.305	0.012	0.99	0.002	2.542	0.272	0.363

若年成人 (n = 49) における空間性 n-back 課題

CH	0-back			1-back			2-back		
	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
2	2.452	0.358	0.35	1.929	1	0.276	0.838	1	0.12
3	2.317	0.471	0.331	2.596	0.262	0.371	2.256	0.488	0.322
5	-0.153	1	-0.022	1.144	1	0.163	1.318	1	0.188
6	2.752	0.175	0.393	2.452	0.34	0.35	1.986	0.739	0.284
7	3.077	0.076	0.44	2.16	0.644	0.309	2.193	0.531	0.313
9	1.509	1	0.216	0.831	1	0.119	0.662	1	0.095
10	0.724	1	0.103	1.385	1	0.198	1.485	1	0.212
13	0.634	1	0.091	1.134	1	0.162	2.539	0.259	0.363
14	-0.423	1	-0.06	0.037	0.971	0.005	0.348	1	0.05
16	1.132	1	0.162	1.292	1	0.185	3.055	0.07	0.436
17	-0.018	0.986	-0.003	0.074	1	0.011	1.397	1	0.2
25	-0.425	1	-0.061	-1.232	1	-0.176	0.578	1	0.083
26	1.895	1	0.271	-1.831	1	-0.262	-0.036	0.971	-0.005
28	1.724	1	0.246	0.551	1	0.079	3.67	0.013	0.524
29	0.642	1	0.092	1.439	1	0.206	0.102	1	0.015
30	2.045	0.835	0.292	0.643	1	0.092	1.261	1	0.18
32	0.642	1	0.092	2.717	0.201	0.388	2.093	0.624	0.299
33	1.218	1	0.174	1.801	1	0.257	0.531	1	0.076
35	-0.701	1	-0.1	0.875	1	0.125	1.283	1	0.183
36	1.403	1	0.2	2.53	0.294	0.361	3.179	0.052	0.454
39	-1.14	1	-0.163	1.217	1	0.174	0.756	1	0.108
40	0.972	1	0.139	1.911	0.992	0.273	4.205	0.002	0.601

太字は統計的な有意差を示す。

(continued)

高齢者(n=47)における言語性 n-back 課題

CH	0-back			1-back			2-back		
	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
2	2.18	0.619	0.318	1.074	1	0.157	1.52	0.945	0.222
3	3.764	0.01	0.549	2.659	0.214	0.388	1.565	1	0.228
5	0.424	1	0.062	-0.289	1	-0.042	1.357	0.905	0.198
6	0.845	1	0.123	1.742	1	0.254	2.444	0.239	0.357
7	0.823	1	0.12	-0.834	1	-0.122	1.819	0.755	0.265
9	2.8	0.156	0.408	0.926	1	0.135	4.091	0.003	0.597
10	-1.702	1	-0.248	0.723	1	0.105	1.585	1	0.231
13	-0.381	1	-0.056	-0.544	1	-0.079	1.25	0.872	0.182
14	-1.812	1	-0.264	-0.073	0.942	-0.011	0.76	0.902	0.111
16	-0.898	1	-0.131	-0.194	1	-0.028	1.928	0.661	0.281
17	-1.579	1	-0.23	-0.748	1	-0.109	-1.066	0.876	-0.156
25	2.538	0.292	0.37	1.45	1	0.212	2.909	0.089	0.424
26	0.199	1	0.029	1.318	1	0.192	1.47	0.888	0.214
28	0.85	1	0.124	1.524	1	0.222	4.355	0.002	0.635
29	0.38	1	0.055	2.71	0.198	0.395	3.329	0.033	0.486
30	0.91	1	0.133	-0.147	1	-0.021	2.414	0.238	0.352
32	0.159	0.875	0.023	3.085	0.076	0.45	3.269	0.037	0.477
33	2.473	0.325	0.361	2.583	0.247	0.377	4.458	0.001	0.65
35	-1.827	1	-0.267	-0.565	1	-0.082	0.643	0.524	0.094
36	-0.2	1	-0.029	1.886	1	0.275	2.853	0.097	0.416
39	-1.721	1	-0.251	1.035	1	0.151	2.631	0.161	0.384
40	0.544	1	0.079	2.358	0.409	0.344	3.187	0.044	0.465

高齢者(n=47)における空間性 n-back 課題

CH	0-back			1-back			2-back		
	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
2	0.996	1	0.145	0.221	1	0.032	2.615	0.132	0.381
3	-0.873	1	-0.127	-0.715	1	-0.104	2.869	0.081	0.418
5	0.649	1	0.095	0.766	1	0.112	2.913	0.077	0.425
6	-1.343	1	-0.196	0.483	1	0.07	3.728	0.01	0.544
7	-1.179	1	-0.172	0.229	1	0.033	1.466	0.75	0.214
9	0.965	1	0.141	3.642	0.014	0.531	4.602	0.001	0.671
10	-0.574	1	-0.084	3.48	0.022	0.508	2.166	0.285	0.316
13	-2.001	1	-0.292	3.656	0.015	0.533	1.846	0.428	0.269
14	-0.975	1	-0.142	0.098	0.923	0.014	-0.111	1	-0.016
16	-0.762	1	-0.111	3.263	0.04	0.476	3.609	0.011	0.526
17	-1.987	1	-0.29	1.497	1	0.218	-0.495	1	-0.072
25	-0.956	1	-0.139	0.928	1	0.135	3.627	0.012	0.529
26	0.594	1	0.087	-0.593	1	-0.087	1.981	0.375	0.289
28	1.222	1	0.178	1.858	1	0.271	3.62	0.012	0.528
29	-0.722	1	-0.105	1.27	1	0.185	3.713	0.01	0.542
30	0.445	1	0.065	0.418	1	0.061	2.664	0.127	0.389
32	1.437	1	0.21	2.102	0.697	0.307	4.48	0.001	0.654
33	-0.983	1	-0.143	2.517	0.277	0.367	4.268	0.002	0.623
35	0.159	0.875	0.023	-0.266	1	-0.039	0.042	0.966	0.006
36	-0.995	1	-0.145	1.814	1	0.265	2.481	0.151	0.362
39	-1.42	1	-0.207	1.353	1	0.197	0.359	1	0.052
40	-0.911	1	-0.133	2.046	0.744	0.298	2.594	0.127	0.378

太字は統計的な有意差を示す。

補足表 5. 各 n-back 課題中の各 CH の oxy-Hb および deoxy-Hb に関する 2 要因 ANCOVA の結果

Oxy-Hb

課題	CH	主効果						相互作用		
		グループ			記憶負荷			グループ×記憶負荷		
		F	P_{holm}	η_p^2	F	P_{holm}	η_p^2	F	P_{holm}	η_p^2
言語性 n-back	2	0.84	1	0.009	1.95	1	0.02	2.42	1	0.03
	3	0.01	0.92	< 0.001	1.58	1	0.02	3.23	0.775	0.03
	5	5.84	0.42	0.06	0.29	1	0.003	1.42	1	0.02
	6	0.11	1	< 0.001	0.14	1	0.002	1.88	1	0.02
	7	2.42	1	0.03	0.08	1	< 0.001	10.81	0.002	0.11
	9	0.12	1	< 0.001	0.07	1	< 0.001	2.09	1	0.02
	10	0.09	1	< 0.001	1.18	1	0.01	5.75	0.12	0.06
	13	2.09	1	0.02	0.15	1	0.002	0.28	1	0.003
	14	1.59	1	0.02	0.47	1	0.005	5.05	0.148	0.05
	16	0.12	1	< 0.001	0.49	1	0.005	1.18	1	0.01
	17	2.22	1	0.02	0.78	1	0.008	1.17	1	0.01
	25	2.96	1	0.03	0.45	1	0.005	3.12	0.775	0.03
	26	7.66	0.154	0.08	2.47	1	0.03	3.58	0.51	0.04
	28	0.59	1	0.006	0.11	1	< 0.001	8.98	0.011	0.09
	29	4.94	0.6	0.05	0.52	1	0.006	5.07	0.148	0.05
	30	3.44	1	0.04	0.34	1	0.004	0.44	1	0.005
	32	0.07	1	< 0.001	0.01	0.99	< 0.001	2.8	0.98	0.03
	33	0.91	1	0.01	0.1	1	< 0.001	1.79	1	0.02
	35	0.07	1	< 0.001	0.21	1	0.002	1.4	1	0.01
	36	1.09	1	0.01	0.45	1	0.005	1.59	1	0.02
	39	0.2	1	0.002	0.03	1	< 0.001	0.25	0.77	0.003
	40	0.72	1	0.008	0.78	1	0.008	0.46	1	0.005
空間性 n-back	2	2.32	1	0.02	1.37	1	0.01	2.57	1	0.03
	3	2.15	1	0.02	3.57	0.84	0.04	1.28	1	0.01
	5	1.85	1	0.02	0.29	1	0.003	5.86	0.105	0.06
	6	0.24	1	0.003	1.53	1	0.02	2.98	0.9	0.03
	7	2.65	1	0.03	1.33	1	0.01	4.25	0.39	0.04
	9	0.39	1	0.004	0.46	1	0.005	3.12	0.8	0.03
	10	0.07	1	< 0.001	1.6	1	0.02	1.66	1	0.02
	13	2.9	1	0.03	0.31	1	0.003	0.82	1	0.009
	14	1.01	1	0.01	0.1	1	< 0.001	0.64	1	0.007
	16	1.27	1	0.01	0.54	1	0.006	0.25	1	0.003
	17	5.43	0.44	0.06	0.8	1	0.009	0.05	0.94	< 0.001
	25	0.01	0.93	< 0.001	1.36	1	0.01	0.61	1	0.007
	26	0.33	1	0.004	0.1	1	< 0.001	4.19	0.39	0.04
	28	0.04	1	< 0.001	0.24	1	0.003	1.41	1	0.02
	29	0.08	1	< 0.001	0.26	1	0.003	3.7	0.525	0.04
	30	0.72	1	0.008	0.1	1	< 0.001	3.51	0.525	0.04
	32	0.13	1	< 0.001	0.79	1	0.009	1.39	1	0.01
	33	0.27	1	0.003	0.39	1	0.004	6.51	0.044	0.07
	35	0.49	1	0.005	1.54	1	0.02	0.76	1	0.008
	36	0.17	1	0.002	0.19	1	0.002	0.18	1	0.002
	39	1.55	1	0.02	3.58	0.66	0.04	1.58	1	0.02
	40	0.01	1	< 0.001	0.01	0.99	< 0.001	0.29	1	0.003

太字は統計的な有意差を示す。

(continued)

Deoxy-Hb

		主効果						相互作用		
課題	CH	グループ			記憶負荷			グループ×記憶負荷		
		F	P_{holm}	η_p^2	F	P_{holm}	η_p^2	F	P_{holm}	η_p^2
言語性 n-back	2	4.56	0.76	0.05	1.82	1	0.02	0.5	1	0.005
	3	5.69	0.44	0.06	3.05	1	0.03	2.33	1	0.02
	5	2.1	1	0.02	1.68	1	0.02	0.69	1	0.007
	6	1.65	1	0.02	1.04	1	0.01	0.32	1	0.003
	7	3.21	1	0.03	0.77	1	0.008	1.36	1	0.01
	9	4.64	0.615	0.05	1.31	1	0.01	1.64	1	0.02
	10	0.21	1	0.002	1.27	1	0.01	0.37	1	0.004
	13	1.71	1	0.02	0.41	1	0.004	0.58	1	0.006
	14	0.47	1	0.005	0.96	1	0.01	0.25	1	0.003
	16	1.03	1	0.01	1.07	1	0.01	0.36	1	0.004
	17	0.59	1	0.006	1.35	1	0.01	0.61	1	0.007
	25	3.1	1	0.03	0.07	0.93	< 0.001	1.24	1	0.01
	26	1.07	1	0.01	1.22	1	0.01	0.13	0.86	< 0.001
	28	5.05	0.615	0.05	2.01	1	0.02	2.27	1	0.02
	29	0.81	1	0.009	0.5	1	0.005	1.33	1	0.01
	30	1.17	1	0.01	0.13	1	< 0.001	0.2	1	0.002
	32	0.02	0.89	< 0.001	0.34	1	0.004	1.6	1	0.02
	33	4	0.9	0.04	1.12	1	0.01	1.52	1	0.02
	35	0.32	1	0.003	1.61	1	0.02	0.56	1	0.006
	36	0.04	1	< 0.001	1.6	1	0.02	1.97	1	0.02
	39	0.02	1	< 0.001	0.09	1	< 0.001	1.84	1	0.02
	40	1.54	1	0.02	3.31	0.88	0.03	3.65	0.66	0.04
空間性 n-back	2	0.08	1	< 0.001	0.5	1	0.005	3.13	1	0.03
	3	3.53	1	0.04	1.81	1	0.02	1.93	1	0.02
	5	0.33	1	0.004	0.02	0.97	< 0.001	1.06	1	0.01
	6	0.3	1	0.003	0.32	1	0.003	6.47	0.082	0.07
	7	4.44	0.86	0.05	0.51	1	0.005	1.73	1	0.02
	9	4.31	0.86	0.04	1.54	1	0.02	6.21	0.082	0.06
	10	0.15	1	0.002	0.35	1	0.004	0.32	1	0.003
	13	0.64	1	0.007	0.84	1	0.009	0.87	1	0.009
	14	0.02	1	< 0.001	0.97	1	0.01	0.21	0.78	0.002
	16	0.2	1	0.002	1.34	1	0.01	2.55	1	0.03
	17	0.38	1	0.004	2.33	1	0.02	0.42	1	0.005
	25	1.46	1	0.02	2.66	1	0.03	2.21	1	0.02
	26	0.47	1	0.005	0.8	1	0.009	1.74	1	0.02
	28	0	0.98	< 0.001	0.17	1	0.002	0.71	1	0.008
	29	0.84	1	0.009	2.58	1	0.03	7.75	0.015	0.08
	30	0.11	1	< 0.001	1.85	1	0.02	1.08	1	0.01
	32	0.09	1	< 0.001	0.82	1	0.009	2.69	1	0.03
	33	0.26	1	0.003	0.93	1	0.01	5.28	0.133	0.05
	35	0.03	1	< 0.001	0.43	1	0.005	0.33	1	0.004
	36	2.05	1	0.02	1.39	1	0.01	0.3	1	0.003
	39	0.2	1	0.002	3.53	0.88	0.04	0.98	1	0.01
	40	0.28	1	0.003	0.44	1	0.005	0.77	1	0.008

太字は統計的な有意差を示す。

補足表 6. Oxy-Hb および deoxy-Hb 活性化に関する ANCOVA 後の事後比較
単純な主効果の記憶負荷 (0-back/1-back/2-back)

グループ	課題	Oxy/Deoxy	CH	0-back vs 1-back			0-back vs 2-back			1-back vs 2-back		
				t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
若年成人	言語性	Oxy-Hb	7	1.507	0.135	0.222	1.295	0.199	0.184	0.274	0.785	0.044
			28	-0.465	0.643	-0.063	0.280	0.781	0.041	0.652	0.516	0.095
	空間性	Oxy-Hb	33	-4.186	0.000	-0.614	-2.889	0.005	-0.416	0.948	0.346	0.131
		Deoxy-Hb	29	-0.831	0.408	-0.119	0.981	0.329	0.143	1.670	0.098	0.245
高齢者	言語性	Oxy-Hb	7	-0.502	0.617	-0.073	-4.540	0.000	-0.667	-4.497	0.000	-0.662
			28	-0.671	0.504	-0.097	-4.460	0.000	-0.667	-4.506	0.000	-0.640
	空間性	Oxy-Hb	33	-0.297	0.767	-0.040	-4.561	0.000	-0.690	-3.923	0.000	-0.583
		Deoxy-Hb	29	-1.233	0.221	-0.194	-3.993	0.000	-0.625	-2.955	0.004	-0.458

グループの単純主効果 (若年成人 vs 高齢者)

課題	Oxy/Deoxy	CH	0-back			1-back			2-back		
			t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d	t	P_{holm}	d
言語性	Oxy-Hb	7	1.082	0.282	0.219	-0.288	0.774	-0.064	-3.535	0.001	-0.720
		28	0.989	0.325	0.204	0.806	0.422	0.175	-2.697	0.008	-0.551
空間性	Oxy-Hb	33	-1.095	0.277	-0.223	1.980	0.051	0.408	-1.961	0.053	-0.408
	Deoxy-Hb	29	1.099	0.275	0.233	0.639	0.525	0.128	-2.788	0.006	-0.538

太字は統計的な有意差を示す。

補足表 7. 言語性2-back 条件における oxy-Hb および deoxy-Hb 活性化の VT および RT との相関

	VT		反応時間		
	CH	r_p	P	r_p	P
Oxy-Hb					
	2	0.266	0.081	-0.101	0.515
	3	0.155	0.315	0.04	0.796
	5	0.087	0.576	-0.17	0.271
	6	0.164	0.287	-0.09	0.56
	7	0.368	0.014	-0.334	0.026
	9	0.268	0.078	-0.279	0.067
	10	0.339	0.024	-0.206	0.18
	13	0.248	0.105	-0.315	0.038
	14	0.356	0.018	-0.266	0.081
	16	0.136	0.38	-0.305	0.044
	17	0.328	0.03	-0.31	0.041
	25	0.23	0.134	-0.082	0.595
	26	0.241	0.115	-0.315	0.038
	28	0.408	0.006	-0.342	0.023
	29	0.39	0.009	-0.353	0.019
	30	0.08	0.604	-0.166	0.28
	32	0.152	0.325	-0.081	0.602
	33	0.132	0.395	-0.17	0.269
	35	0.276	0.069	-0.112	0.47
	36	0.387	0.009	-0.217	0.157
	39	0.363	0.015	-0.258	0.09
	40	0.275	0.071	-0.086	0.577
Deoxy-Hb					
	2	0.047	0.764	-0.298	0.05
	3	0.153	0.321	-0.356	0.018
	5	-0.073	0.637	0.091	0.555
	6	0.19	0.216	-0.215	0.162
	7	0.13	0.4	0.03	0.848
	9	0.062	0.689	0.061	0.695
	10	0.312	0.039	-0.278	0.067
	13	0.031	0.839	-0.299	0.049
	14	0.31	0.04	-0.088	0.57
	16	0.004	0.981	-0.052	0.737
	17	0.073	0.64	-0.328	0.03
	25	0.161	0.295	-0.22	0.152
	26	0.007	0.966	0.15	0.33
	28	0.209	0.173	-0.064	0.681
	29	0.092	0.555	0.082	0.597
	30	0.171	0.266	0.034	0.825
	32	0.144	0.351	-0.195	0.205
	33	0.236	0.124	-0.127	0.411
	35	0.158	0.305	0.012	0.939
	36	0.108	0.486	-0.13	0.4
	39	0.238	0.119	-0.179	0.244
	40	0.092	0.554	-0.008	0.958

年齢, 性別, 教育年数を調整したピアソン部分相関分析を実施した。太字は統計的な有意差を示す。

VT : ventilatory threshold (換気閾値)

〔二次出版〕

アウトリーチ型の官民連携による中小企業における健康経営の推進： 横浜リンクワーカープロジェクト —Frontiers in Public Health に掲載された 英語論文の日本語による二次出版—

甲斐裕子¹⁾, 藤井悠也¹⁾, 高士直己^{1,2)}, 吉葉かおり¹⁾, 村松(野口)祐子¹⁾, 野田隆行¹⁾,
神藤隆志^{1,3)}, 城所哲宏^{1,4)}, 矢島陽子⁵⁾, 春日潤子⁶⁾, 荒尾 孝¹⁾

SUMMARY

緒言：中小企業における健康増進の取り組みは大企業に比べて遅れており、革新的な戦略を通じて中小企業の健康経営を強化することが急務である。我々は、官民連携によるアウトリーチ戦略がこの目的に有益であると仮説を立てた。本研究は、日本の横浜市における官民連携戦略の実施状況を検証し、実施成果に着目して、中小企業における健康経営への影響を評価することを目的とした。

方法：本研究は横浜リンクワーカープロジェクト(Y-Link プロジェクト)の一環として、日本の横浜市における官民連携プログラムを記述し、検証する。このプログラムには横浜市と民間の生命保険会社ที่เกี่ยวข้องしている。訓練を受けた保険営業担当者がプログラムの「リンクワーカー」として活動し、市内の小規模企業にアプローチした。リンクワーカーは、横浜市が認定する「横浜健康経営認証」の取得を支援し、外部機関と協力して従業員向けの健康増進プログラムを提供するなど、企業のニーズに合わせた支援を行った。介入は2020年8月から9月にかけて実施された。プロジェクトの評価にはRE-AIMフレームワークを用いた。データは、リンクワーカーの活動記録、認証記録、リンクワーカーへの調査、および介入6か月後と18か月後に参加企業を対象とした追跡調査から抽出した。

結果：2か月以内に71人のリンクワーカーが500社(50%が従業員50人未満の中小企業)を訪問した。そのうち224社(45%)が認証を取得し、地域の認証率向上に貢献した。リンクワーカーが支援した企業は、有意に規模が小さい傾向にあった。認証取得企業における職場健康増進プログラム実施のオッズ比(非認証取得企業と比較)は、6か月後で4.09(95% CI: 1.79-9.35), 18か月後で2.31(95% CI: 1.04-5.11)であった。中小企業の場合、オッズ比は6か月後で6.87(95% CI: 1.74-27.06), 18か月後で3.42(95% CI: 1.17-10.03)であった。24か月後の認証維持率は、企業規模にかかわらず60%であった。リンクワーカーは、アウトリー

- | | |
|---|--|
| 1) 公益財団法人 明治安田厚生事業団 体力医学研究所 | Physical Fitness Research Institute, Meiji Yasuda Life Foundation of Health and Welfare, Tokyo, Japan. |
| 2) 国立研究開発法人 国立長寿医療研究センター 老年学・社会科学研究センター 医療経済研究部 | Department of Health Economics, Center for Gerontology and Social Science, National Center for Geriatrics and Gerontology, Aichi, Japan. |
| 3) 大阪教育大学 表現活動教育系 | Division of Art, Music, and Physical Education, Osaka Kyoiku University, Osaka, Japan. |
| 4) 日本体育大学 体育学部 | Faculty of Sport Science, Nippon Sport Science University, Tokyo, Japan. |
| 5) 横浜市役所 健康福祉局 健康推進部 | Health Promotion Division, Health and Social Welfare Bureau, Yokohama City Hall, Kanagawa, Japan. |
| 6) 厚生労働省 保険局 | Health Insurance Bureau, Ministry of Health, Labour and Welfare, Tokyo, Japan. |

本論文は以下の論文を忠実に日本語翻訳した二次出版です。引用を行う場合には原典を確認のうえ、下記を引用してください。

Kai Y, Fujii Y, Takashi N, Yoshida K, Muramatsu-Noguchi Y, Noda T, Jindo T, Kidokoro T, Yajima Y, Kasuga J, Arao T. Promoting health and productivity management in small companies through outreach-based public-private partnership: the Yokohama Linkworker Project. *Frontiers in Public Health*. 2024; 12: 1345771.

チ戦略が自身の主業務に好影響を与えていると認識していた。

結論：Y-Link プロジェクトのアウトリーチ戦略は、横浜市の中小企業における健康経営を強化し、企業規模に関連するプログラム利用可能性の格差に対処する長期的な健康増進プログラムの実施を可能にした。

Key words: 産業保健, 健康格差, 中小企業, 職場における健康増進, 健康経営, 官民連携

緒 言

職場は健康増進のための重要な場であるが、その取り組みは企業規模によって格差がある。従業員の健康と生産性を促進する職場健康増進プログラム¹⁾は、大企業と比べて中小企業では実施されていない²⁻⁵⁾。中小企業の従業員は社会経済的不利益に加え、健康状態が不良であり⁶⁾、高齢期の死亡リスクが高くなる⁷⁾。従業員の健康と生産性における企業規模に関連した健康格差を是正するためには、中小企業において健康増進を推進する必要がある。

従業員の健康増進は、医療費の削減や株価の上昇を通じて雇用主にも利益をもたらす^{8,9)}。雇用主による従業員の健康への投資は、健康経営と呼ばれる¹⁰⁾。健康経営は、少子高齢化が進む社会において重要である¹¹⁾。米国¹²⁾やウェールズ¹³⁾などにおける国家的な表彰制度は、健康経営の推進を支援している。日本は、急速な少子化と人口高齢化が進む国であり、生産性の高い労働力を確保しつつ医療費を削減することが重要な目標であると認識されている^{14,15)}。

健康経営を実施している企業では、従業員の健康状態の改善¹⁶⁾や株価の上昇¹⁷⁾が報告されている。しかし、健康経営の導入状況は企業規模によって異なっている。例えば、健康経営を実施する大企業数は増加しているものの、中小企業では限定的である。これは主に、これらの中小企業がこの種の職場介入に投資する能力が限られているためである¹¹⁾。中小企業における健康経営は、企業規模によって生じる健康格差の縮小を可能にする可能性がある。しかし、我々の知る限り、これらの中小企業で健康経営を推進するための具体的な方法やプログラム戦略は確立されていない。

健康経営の推進を目指す公的機関は、認証プログラムを作成したり¹⁵⁾、表彰したり¹³⁾、健康経営

介入に関するメディアキャンペーンを実施している。しかし、通常、このようなキャンペーンに反応するのは大企業のみであり、これらの公的機関の取り組みだけでは、中小企業における健康経営の推進と実施促進には不十分である。地方自治体のような公的機関は、民間企業との協力により特に中小企業に届けやすいメッセージや情報を提供できる可能性がある¹⁸⁾。

近年、保健分野における公的機関と民間企業の協力は一般的になり、民間/商業セクターの事業体を効果的に関与させることは官民連携戦略と呼ばれている^{19,20)}。例えば、プライマリヘルスケアにおける多くの官民連携は、予防および保健サービスへのアクセスを向上させてきた²¹⁾。中小企業の顧客をもつ保険会社は、中小企業の経営者/企業と外部のウェルネスプログラムとの間の潜在的な架け橋となる可能性が報告されている¹⁸⁾。このように、地方自治体と民間保険会社が関与する官民連携に基づくアウトリーチ戦略は、中小企業における健康経営を推進するための新規かつ影響力のあるアプローチとなり得る。これが本プログラム評価の主要な仮説である。

本研究は、日本の横浜市で健康経営を推進するために用いられた新たな官民連携戦略の実施状況と影響を評価することを目的とした。この戦略とプログラム介入は、従業員49人以下の零細・中小企業を主な対象とした。日本の法律では、このような中小企業は産業医の選任や衛生委員会の開催が法的に免除されている。我々はこの革新的な戦略を、RE-AIM フレームワーク (Reach: 到達度, Effectiveness: 有効性, Adoption: 採用, Implementation: 実施, Maintenance: 維持)²²⁾を用いて評価し、実社会の中小企業における健康経営推進のための、本介入の実現可能性と実施経過を体系的に評価した。

方 法

A. 研究デザインと設定

横浜リンクワーカープロジェクト(Y-Link プロジェクト)の一環として実施された本研究は、日本の横浜市における官民連携戦略を記述し、検証するものである。このプログラムには、自治体(横浜市)と民間の生命保険会社(M社)が参加している。横浜市は、人口約376万人の大商業都市であり、横浜健康経営認証を積極的に推進している。M社の従業員は約47000人で全国に支社を持ち、横浜市では41の営業所と約2000人の従業員を有する相互会社である。Y-Link プロジェクトの主な目的は、横浜市内の企業において健康経営と市民の健康増進を推進することである。本プロジェクトは、横浜市とM社が2020年3月に連携協定を締結した後、2020年8月に開始され、現在も継続中である。2020年8月から9月までの介入期間(図1)において、M社の営業担当者が「リンクワーカー」として選ばれ、企業ごとに介入を提供するための研修を受けた。研修を受けたリンクワーカーは、顧客企業を訪問し、健康経営を推奨した。介入企業に関するデータ収集は2023年2月まで継続された。リンクワーカーの活動は介入期間中に体系的に実施されたが、介入後のフォローアップの必要性は各リンクワーカーの判断に委ねられた。

B. 介入戦略

リンクワーカーは、健康経営推進のための介入方法として、横浜市が認証する制度である「横浜

健康経営認証」の取得を顧客企業に推奨した。この認証制度は2017年に開始され、横浜市内で健康経営に取り組む企業を認定するものである。認定を希望する企業は、前年の9月に横浜市に申請する必要がある、審査結果は2月に発表される。審査基準は、体系的な健康経営実施の宣言、推進体制の確立、従業員の健康課題の把握、および職場健康増進プログラムの実施と評価が含まれる。横浜健康経営認証には3つのレベルがあり、最も容易なレベルは健康経営の実施へのコミットメントを宣言する企業が取得できる。認証されると、企業は認証マークの使用、市のウェブサイトでの公表、および健康経営への取り組みに対する支援や補助金を受ける資格を得る。財政的な利点には、有利な融資条件や保証料助成が含まれる。更に、認証取得企業は横浜市の公共調達において優遇措置を受けることが可能である。すなわち、認証取得企業は横浜健康経営認証を通じて、社会的な認知、健康増進への支援、および経済的な利益を得ることができる。認証の有効期間は2年間であるため、企業は認証を維持するために2年ごとに再申請し、審査を受ける必要がある。

訪問対象となった企業は、主にリンクワーカーが既存の顧客企業のなかから選定した。一部の訪問には、保険契約の見直しなどのフォローアップ活動が含まれていたが、単なる季節の挨拶である場合もあった。更に、企業の代表者と自発的にアポイントメントを取って訪問する場合もあった。訪問の際、リンクワーカーはまず健康経営と横浜健康経営認証について説明を行った。次に、関心

		2020						2021												2022												2023	
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
介入期間																																	
リンクワーカー研修		○	○	○			○			○																							
追跡調査										○												○											
横浜健康経営認証 ¹	申請			○																								○					
	認証結果公表								○																								○

¹ 横浜市内で健康経営に取り組む企業を認定する制度

図1. 研究スケジュール

を示した企業に対して、認証申請の支援を申し出た。加えて、従業員のために特定の職場健康増進プログラムを実施したい企業に対しては、職場健康増進プログラムを支援する外部の公的機関を紹介し、必要に応じて申し込みを手伝った。これらの介入は、各企業のニーズに合わせて調整された。

リンクワーカーの活動は M 社の勤務時間内に行われ、追加の給与は支給されなかった。リンクワーカー活動の適切な利用を確保し、営業活動への不適切な利用を防ぐため、横浜市と M 社は「リンクワーカー活動ガイドライン」を策定した。

C. リンクワーカー養成プログラム

横浜市と M 社は協力してリンクワーカーの研修を行った。集合研修は、介入前に 1 回、介入中に 2 回の計 3 回開催された。更に、介入期間後に 2 回のオンラインフォローアップセッションが実施された。横浜市内の M 社 41 営業所から、計 71 名の法人営業担当者および営業所長がプログラムに参加した。研修では、健康経営の重要性に関する議論、横浜健康経営認証申請プロセスに関する情報、職場健康増進プログラムを支援するさまざまな外部組織の紹介、および意見交換ワークショップが含まれた。フォローアップセッションでは、成功事例が報告され、横浜健康経営認証の結果が発表された。初回のセッションは 180 分間、その後のセッションは各 90 分間であった。

D. 評価方法

本研究では、公衆衛生および実装科学において、約 20 年間適応されてきた RE-AIM フレームワークを用いて評価を行った。このフレームワークは、研究から実践へのギャップを埋め、健康格差に対処するために、報告の透明性を高め、エビデンスに基づいた介入を普及させるための戦略的計画において貴重なツールとして機能する²²⁾。RE-AIM フレームワークは、Reach(到達度)、Effectiveness(有効性)、Adoption(採用)、Implementation(実施)、および Maintenance(維持)の 5 つの次元で構成される。本介入では、以下の方法を通じて評価された。

Reach(到達度)：介入期間中にリンクワーカー

が訪問した企業の数と特性を分析することによって調査した。

Effectiveness(有効性)：介入レベルとコミュニティレベルの 2 つのレベルで評価した。介入レベルでは、リンクワーカーが介入した企業のうち、横浜健康経営認証の取得に成功した企業の割合を評価した。コミュニティレベルでは、横浜市全体で横浜健康経営認証を取得した企業数の変化を介入の影響指標とした。

Adoption(採用)：M 社の横浜市内営業所におけるプロジェクトへの参加率を評価することで測定した。更に、介入企業からのリンクワーカーに関するフィードバックを横浜市職員から収集した。

Implementation(実施)：リンクワーカーが訪問した企業のうち、介入を実施した割合を調査することで評価した。更に、提供された介入の具体的な内容を調査した。

Maintenance(維持)：介入後 6 か月および 18 か月時点での従業員向けの健康増進プログラムの実施状況を評価することで決定した。横浜健康経営認証の維持状況を測るため、初回認証から 24 か月後の企業の再認証状況を調査した。更に、この革新的な戦略が民間企業によって持続可能であるかを確認するため、リンクワーカーの主業務への影響に関する認識を調査した。

E. 企業カテゴリーの定義

企業規模は従業員数によって、「零細」(5 人未満)、「小規模」(5～49 人)、「中規模」(50～299 人)、「大規模」(300 人以上)に分類した²³⁾。日本では、従業員 50 人以上の企業は産業医を選任し、衛生委員会を開催することが法的に義務付けられているが、従業員 49 人以下の企業はこの規則から免除されている。そのため、後者の企業における健康管理は不十分になりがちである。したがって、我々は零細企業および小規模企業の評価に焦点を当てた。

F. データソースと収集

リンクワーカーの活動記録から詳細を抽出した。これには、訪問した企業に関する情報(企業規模、業種、認証状況、介入の詳細)が含まれていた。

コミュニティレベルで横浜健康経営認証を取得した企業数とその規模に関しては、横浜市から集計済みデータが提供された。

加えて、介入企業に対し、初回介入後の2つの時点、すなわち6か月後(2021年3月)と18か月後(2022年3月)に、郵送による追跡調査を実施した。調査では、生活習慣改善に関連する職場健康増進プログラムの実施状況(「実施している」「実施を検討している」「実施していない」)、リンクワーカー介入時の健康経営の認知度、および新型コロナウイルス感染症(COVID-19)パンデミックの業績への影響について測定した。これらの各変数は、「貴社では、従業員の運動習慣や食習慣を改善するための取り組み(例：ウォーキングキャンペーン、食事キャンペーン、生活習慣改善セミナー、アプリ導入など)を実施する予定はありますか?」、「『健康経営』という言葉を知っていましたか?」、「COVID-19の流行は貴社の業績に影響を与えましたか?」という質問を用いて、それぞれ特定した。この追跡調査は、訪問された全企業を対象とすることを旨とし、回答は理想的には企業の社長または健康管理担当者から得ることとした。しかし、事前にリンクワーカーを通じて調査を辞退した企業には調査票を送付しなかった。追跡調査の回答率は、介入6か月後で56%、18か月後で51%であった。回答した企業と回答しなかった企業の特徴の違いは、補足表1、2に詳述されている。

リンクワーカー研修の全セッション(初回セッションを除く)において、リンクワーカー活動が主業務に与える影響を評価するため、リンクワーカーを対象とした無記名調査を実施した。質問は、「リンクワーカー活動は主業務にどのような影響を与えますか?」とし、回答選択肢は「好影響」「やや好影響」「中立」「やや悪影響」「悪影響」とした。更に、第3回および第4回のセッション中に行われた調査では、リンクワーカーに選択理由を自由記述形式で提供するように求めた。リンクワーカー調査の回答率は48%から87%の範囲で、平均は70%であった。

G. データ分析

χ^2 検定および残差分析を用いて、横浜健康経営認証取得企業と非認証取得企業の特徴の違い、認証取得企業の規模の違い、およびリンクワーカー調査の回答の分布を評価した。横浜健康経営認証が職場健康増進プログラム導入に与える影響を評価する追跡調査への回答のうち、「実施している」および「実施を検討している」を「健康増進プログラム実施」として再分類した。「健康増進プログラム実施」を従属変数、企業規模、業種、雇用状況、およびCOVID-19の影響を調整変数とした多重ロジスティック回帰分析を実施した。企業規模で層化したサブ分析は、中規模および大規模企業のサンプルサイズが不十分であったため、零細企業および小規模企業のみで実施した。統計的有意水準は5%未満に設定し、すべての分析はSPSS Statistics 26(IBM社)を使用して実行した。リンクワーカー調査における自由記述回答からカテゴリーを抽出するために、内容分析を用いた。

H. 倫理に関する声明

本研究は、明治安田厚生事業団倫理審査委員会の承認を得た(承認番号：2020-0002)。横浜市と体力医学研究所は、研究協力について覚書を作成しており、体力医学研究所がY-Linkプロジェクトに対する学術的支援と科学的評価を実施することが規定されている。

結 果

A. Reach (到達度)

横浜市内のM社の顧客企業2862社のうち、介入期間中にリンクワーカーが500社を訪問し、2か月間の到達率は18%であった(図2)。これらのうち、50%が零細企業および小規模企業であった。訪問された500社から規模不明の企業を除くと、零細企業および小規模企業の割合は全体の69%に増加する(表1)。訪問先の企業の業種について本研究では統制しなかったが、訪問企業には顕著な偏りはなく多様な業種が含まれていた。企業の大部分は正規雇用の従業員を抱えていた。多くの企業は、リンクワーカーの介入時点で健康経営につ

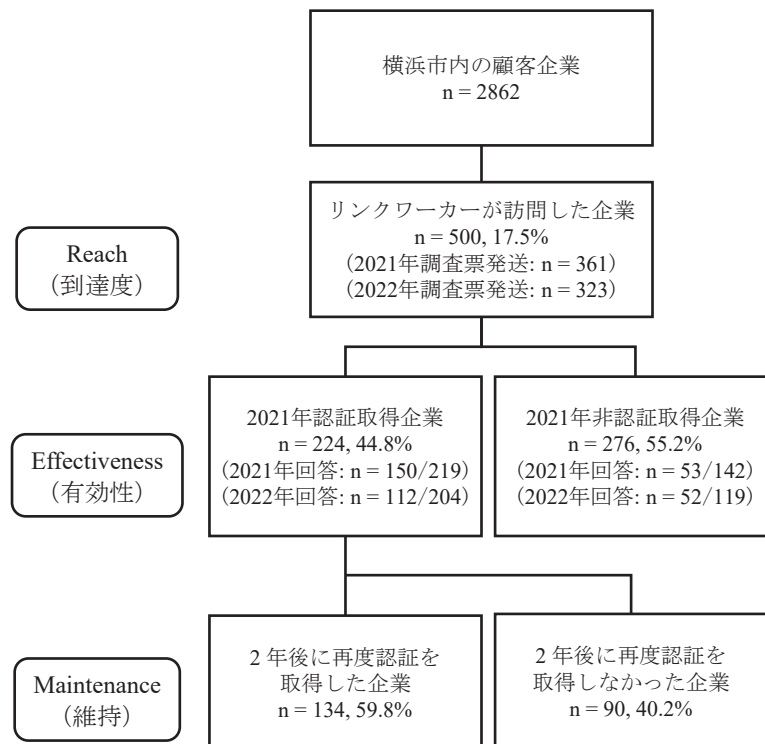


図2. 介入企業選定過程のフローチャート

いて認識していなかった。

B. Effectiveness: intervention level (有効性：介入レベル)

リンクワーカーが訪問した500社のうち、224社が横浜健康経営認証を取得し、介入の成功率は45%であった。認証取得企業は、非認証取得企業よりも有意に規模が小さかった(表1)。業種、雇用形態、健康経営の認知度においては有意な差はみられなかった。

C. Effectiveness: community level (有効性：コミュニティレベル)

図3は、2017年の開始から5年間にわたる横浜健康経営認証取得企業数の推移を示している。本プロジェクトにおける介入の影響は、リンクワーカーによる企業への支援が前年の2020年に実施されたため、2021年にのみ観察される。2021年には、認証取得企業数は過去最高の308社に達した(図3A)。企業規模の割合の推移には有意な差が観察された。残差分析の結果、2021年は他の年と比較して、大企業および中規模企業の割合が有意に低く、小規模および零細企業の割合が有意に高

かった。小規模および零細企業の割合は18.2ポイント増加した(57%→75%)。リンクワーカーによって支援された224社と、支援されなかった84社との間には、有意な規模の違いがあった(図3B)。残差分析では、非支援企業群と比較して、大企業および中規模企業の割合が有意に低く、小規模および零細企業の割合が有意に高かった。小規模および零細企業の割合(84%)は、非支援企業群(52%)と比較して30.1ポイント高かった。

D. Adoption (採用)

M社の横浜市内41の全営業所で、リンクワーカープログラムが導入された(導入率100%)。介入企業からは、リンクワーカーに関する苦情はなかった。

E. Implementation (実施)

リンクワーカーは、訪問した500社のうち317社で規定の健康経営支援活動を実施した(実施率63%)。活動には、健康経営の説明(100%)、情報提供/助言・認証取得(51%)、申請書の作成支援(42%)、申請提出(42%)が含まれた。

表 1. 介入企業の特徴

	全体 n = 500	認証取得企業 n = 224	非認証取得企業 n = 276	P^1
企業規模				0.02
零細(従業員 5 人未満)	62(12.4)	40(17.9)	22(8.0)	
小規模(従業員 5 ～49人)	187(37.4)	119(53.1)	68(24.6)	
中規模(従業員50～299人)	95(19.0)	46(20.5)	49(17.8)	
大規模(従業員300人以上)	16(3.2)	6(2.7)	10(3.6)	
不明	140(28.0)	13(5.8)	127(46.0)	
業種				0.41
製造業	58(11.6)	29(12.9)	29(10.5)	
サービス業	55(11.0)	38(17.0)	17(6.2)	
建築業	54(10.8)	33(14.7)	21(7.6)	
運輸・郵便業	38(7.6)	22(9.8)	16(5.8)	
その他	149(29.8)	88(39.3)	61(22.1)	
不明	146(29.2)	14(6.3)	132(47.8)	
雇用状況				0.35
主に正規雇用	306(61.2)	173(77.2)	133(48.2)	
半分は非正規雇用	46(9.2)	29(12.9)	17(6.2)	
主に非正規雇用	9(1.8)	7(3.1)	2(0.7)	
不明	139(27.8)	15(6.7)	124(44.9)	
健康経営の認知度				0.62
内容を知っていた	51(10.2)	38(17.0)	13(4.7)	
聞いたことはあるが内容を知らなかった	55(11.0)	38(17.0)	17(6.2)	
知らなかった	97(19.4)	74(33.0)	23(8.3)	
不明	297(59.4)	74(33.0)	223(80.8)	

¹ χ^2 検定を用いた認証取得企業と非認証取得企業の比較(不明な企業は除く)

F. Maintenance (維持)

横浜健康経営認証が従業員の生活習慣改善のための健康増進プログラム実施に与える影響を評価した。認証取得企業は、非認証取得企業と比較して健康増進プログラムを実施するオッズ比が有意に高かった(2.31～4.09) (表 2)。零細および小規模企業(従業員49人以下)のサブ分析では、オッズ比は更に高かった(3.24～6.87)。2021年に認証された224社のうち、134社が24か月後に再認証された(維持率60%, 図 2)。企業規模による維持率に有意な差はみられなかった($P = 0.51$) (従業員49人以下: 61%, 従業員50人以上: 54%)。

表 3 には、リンクワーカーが自己評価したリンクワーカー活動の主業務への影響を示した。リンクワーカーの大多数は、主業務に対して(やや)好影響があると報告し、いずれの調査でも「悪影

響」を選択したリンクワーカーはいなかった。内容分析によって抽出された、(やや)好影響を選択した主な理由には、「顧客への貢献」「事業活動の推進」「顧客との関係強化」「顧客サービスの質の向上」「会社の社会的評価の向上」「顧客満足度の向上」が含まれた。やや悪影響を選択した理由には、「主業務への負担」「顧客の需要不足」「COVID-19パンデミックによる時間不足」が含まれた。

考 察

中小企業における健康経営を推進するため、我々は官民連携を通じたアウトリーチ型の支援戦略を開発し、実社会での実施成果に着目してその影響を評価した。リンクワーカーは小規模企業へのアウトリーチに成功した。横浜健康経営認証の取得企業は、介入レベルおよびコミュニティレベ

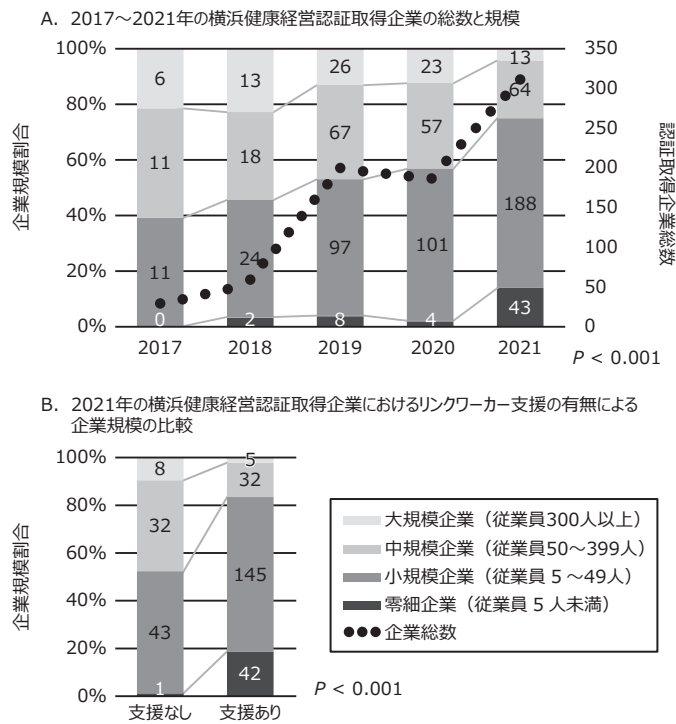


図3. コミュニティレベルでの認証取得企業数の推移

表2. 多重ロジスティック回帰分析：
Y-Link プロジェクトが職場の健康増進プログラム実施に与える影響

	全体企業数	プログラム 実施企業数	%	オッズ比	95% CI	P ¹
6か月						
全企業						
非認証取得企業	53	16	30.2	1.00		
認証取得企業	148	89	60.1	4.09	(1.79–9.35)	< 0.01
従業員49人以下の企業						
非認証取得企業	23	5	21.7	1.00		
認証取得企業	102	56	54.9	6.87	(1.74–27.06)	< 0.01
18か月						
全企業						
非認証取得企業	51	23	45.1	1.00		
認証取得企業	111	65	58.6	2.31	(1.04–5.11)	0.04
従業員49人以下の企業						
非認証取得企業	30	11	36.7	1.00		
認証取得企業	81	42	51.9	3.42	(1.17–10.03)	0.03

¹ 企業規模, 業種, 雇用状況, COVID-19の影響で調整

ルの両方において、大企業と比較して中小企業で有意に増加した。横浜健康経営認証を取得した企業は、非認証取得企業と比較して職場健康増進プログラムを2～4倍多く実施しており、特に中小企業においてその効果が顕著であった。中小企業

の横浜健康経営認証の維持率は、24か月後においても大企業と同等であった。更に、民間企業の従業員であるリンクワーカー自身も、この戦略が自身の業務に肯定的な影響を与えると評価した。

以上の結果から、Y-Link プロジェクトのアウ

表3. リンクワーカー活動が主業務に与える影響に対するリンクワーカーによる自己評価

	2 回目のセッション n = 51	3 回目のセッション n = 62	4 回目のセッション n = 52	5 回目のセッション n = 34	<i>P</i> ¹
好影響	12(23.5)	13(21.0)	14(26.9)	7(20.6)	0.34
やや好影響	14(27.5)	30(48.4)	26(50.0)	21(61.8)	
中立	9(17.6)	7(11.3)	8(15.4)	4(11.8)	
やや悪影響	6(11.8)	5(8.1)	2(3.8)	1(2.9)	
悪影響	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	
不明	10(19.6)	7(11.3)	2(3.8)	1(2.9)	

¹ χ^2 検定を用いた比較(不明分は除く)

トリーチ戦略は、横浜市の中小企業における健康経営の強化に成功し、長期的な健康増進プログラムの実施を可能にした。加えて、この戦略は経営上の利益とも合致し、介入に対する企業の支持を得ることができた。

我々の知る限り、これは官民連携フレームワークの社会実装が中小企業における健康経営を促進し、職場健康増進プログラムの長期的な実施を改善できることを示した最初の研究である。特に注目すべきは、リンクワーカーの介入効果が、大企業よりも中小企業においてより顕著であったことである。より広範な規模で、より長期間にわたって実施されれば、この戦略は企業規模に基づく健康格差の縮小に貢献し、公衆衛生に大きなインパクトを与える可能性がある。

先行研究では、中小企業における産業保健サービスの推進を目的とした実践的な介入が、限られた範囲ではあるが検証されてきた。例えば、Al-Khudairy L らは、クラスターランダム化比較試験を通じて、組織レベルでの金銭的インセンティブの提供が、中小企業における健康とウェルビーイング活動への関与増加と関連していることを明らかにした²⁴⁾。しかし、雇用主の意識や行動は変化したものの、従業員の行動は期待どおりには変化せず、金銭的インセンティブと並行して組織的な支援が必要であることを示唆している。更に、金銭的インセンティブには相当な資金が必要であり、そのような介入の持続可能性についての懸念が生じる。

Ahonen G らは、複数の中小企業を仮想的な共

同企業として位置づけることで、大企業と同様の産業保健サービスへのアクセスを提供できる可能性があると報告した²⁵⁾。しかし、日本の中小企業に対する産業保健サービスへのアクセスは、ほとんどの中小企業が加入している全国健康保険協会(協会けんぽ)を通じて既に可能になっている。それにもかかわらず、企業規模に基づく健康アクセスにおける格差は依然として存在する。

Saito J らは、綿密なインタビュー調査を通じて、中小企業における健康増進活動の推進において、雇用主のリーダーシップと動機付けが極めて重要な役割を果たすことを強調した²⁶⁾。したがって、産業保健サービスを準備することに加えて、これらのサービスと中小企業、特に雇用主との間の「連携」を促進するための社会的な枠組みを確立する必要性が生じる。

我々の研究では、リンクワーカーによる介入は、中規模または大規模企業と比較して、小規模企業においてより顕著な影響を与えた。彼らが小規模企業における健康増進を推進するうえで効果的であったのは、保険の販売やカウンセリングにおける定期的な関与を通じて培ってきた、小規模企業の経営者との信頼関係によって説明できるかもしれない。

新しい枠組みの成功裏な実施と持続可能性を確保するためには、利害関係者がそこからメリットを得られることが不可欠である。本研究は官民連携に基づいているため、この枠組みが公共セクターと民間セクターの両方にメリットを提供することが必要である。この官民連携フレームワーク

においては、地域住民および顧客の健康状態の改善を通じて、公共セクターの医療費支出および保険会社の保険金支払コストの削減に貢献する可能性が特定された。したがって、この戦略は、官民連携においてしばしば問題となる利害の対立を回避し、フレームワークから得られる利益の共有を可能にした。

加えて、リンクワーカー自身も、自分の活動が業務にもたらすメリットを認識していた。この認識が、2か月以内にリンクワーカー1人当たり平均7社への到達、4.5社での介入実施、3.2件での認証取得成功といった、彼らの積極的な関与に貢献した可能性が高い。近年、「共有価値の創造 (Creating Shared Value: CSV)」という、経済的価値と社会的価値の両立を目指す経営コンセプトが、健康増進分野の注目を集めている²⁷⁾。将来的に、公共および民間の主体によるこの経営コンセプトへの相互理解が、持続可能な官民連携フレームワークの開発につながる可能性があると推測される。

一方、本研究は考案された戦略に関連するいくつかの課題を明らかにした。第一に、リンクワーカーによる支援の有効性の持続可能性が懸念事項として特定された。介入後6か月の時点で、認証取得企業は非認証取得企業と比較して4倍高い職場健康増進プログラム実施率を示したが、この増加は18か月後には低下していた。介入企業に対する介入後のフォローアップ支援の体系的な実施が欠如していたことが、プロジェクトの肯定的な影響の持続性に関する懸念を引き起こしたと推察された。リンクワーカーに対する研修実施のみに依存することは、長期的な有効性を維持するには不十分であり、組織レベルでの管理方針の必要性を強調している。

第二に、運用レベルで認識される負担が別の課題として浮上した。リンクワーカーは、「主業務への負担」、「時間不足」、および「顧客ニーズの不十分な理解」を主要な問題点として挙げた。したがって、電子申請プロセスの合理化や、顧客の理解を高めるための使いやすいツールの開発など、

運用レベルでの負担を軽減するための改善策を実施する必要がある。

本研究にはいくつかの限界がある。第一に、介入企業を事前に設定できなかったため、介入前の調査を実施することができなかった。結果として、認証取得企業が介入前から既に積極的に健康増進を実施していた可能性を排除することはできない。しかし、健康経営の認知度に差がなかったことを考慮すると、介入前の健康増進状況の差異は最小限であった可能性がある。

第二に、追跡調査の回答率が低かった。回答企業と非回答企業の特性に有意な差はみられなかったものの、非回答群にはかなりの数の非認証取得企業が含まれていた(補足表1, 2)。したがって、非回答企業は職場での健康増進に対して受容性が低く、認証取得企業と非認証取得企業との職場健康増進プログラム実施率における見かけ上の差を過小評価する可能性があった。いい換えれば、介入の影響が過小評価された可能性がある。

最後に、我々はこの研究で企業の特性に焦点を当てたため、従業員に関連する要因には対処しなかった。しかし、従業員の特性は、理想的には調整されるべき重要な交絡因子である。加えて、従業員の健康状態への影響は重要なアウトカムである。したがって、将来の研究では、人口統計学的特性、職種、労働条件などの従業員に関連する要因を調整し、個人の健康状態に対するこの介入の効果を評価すべきである。

結論として、我々の調査結果は、Y-Link プロジェクトのアウトリーチ戦略が横浜市の中小企業における健康経営を成功裏に強化し、長期的な健康増進プログラムの実施を可能にしたことを示した。加えて、この戦略は経営上の利益とも合致し、介入に対する企業の支持を得て、企業規模に関連するプログラム利用可能性の格差縮小に貢献することが示唆された。

倫理に関する声明

ヒトを対象として含む本研究は、明治安田厚生事業団の倫理審査委員会の承認を得た。研究は、地域の法律お

よび施設要件に従って実施された。本研究への参加に関する書面によるインフォームド・コンセントは、国の法律および施設要件に従い、不要であった。

著者貢献

YK：概念化，データ収集，資金獲得，調査，方法論，プロジェクト管理，監督，可視化，原稿執筆－原文，執筆－レビュー・編集。YF：執筆－レビュー・編集，データ収集，調査，方法論。NT：データ収集，正式分析，調査，方法論，執筆－レビュー・編集。KY：概念化，調査，方法論，プロジェクト管理，可視化，執筆－レビュー・編集。YM-N：データ収集，正式分析，調査，方法論，プロジェクト管理，可視化，執筆－レビュー・編集。TN：概念化，データ収集，調査，プロジェクト管理，監督，執筆－レビュー・編集。TJ：概念化，データ収集，調査，方法論，プロジェクト管理，執筆－レビュー・編集。TK：概念化，データ収集，正式分析，調査，方法論，執筆－レビュー・編集。YY：データ収集，方法論，プロジェクト管理，監督，執筆－レビュー・編集。JK：概念化，データ収集，調査，プロジェクト管理，監督，執筆－レビュー・編集。TA：概念化，資金獲得，監督，執筆－レビュー・編集。

資金提供

著者らは，本研究，執筆，および/または出版に対して財政的支援を受けたことを宣言する。本研究は，公益財団法人 明治安田厚生事業団からのプロジェクト研究資金（研究代表者：YK）を用いて実施された。

謝辞

貴重なデータを提供してくださった横浜市，および M 社のリンクワーカーの皆様のご協力に感謝いたします。彼らの貢献はこの研究にとって非常に貴重でした。また，ご協力いただいた参加企業の皆様にも感謝いたします。M 社は，研究のデザインおよび実施，データの分析および解釈，原稿の作成，レビュー，または承認，および出版のための原稿提出の決定には関与していません。

利益相反

YK, YF, KY, YM-N, TN, および TA が所属する公益財団法人 明治安田厚生事業団は，M 社から寄付を受けている。しかし，この組織は日本政府内閣府所管の公益財団法人であり，公益のための研究活動を行う義務を負っている。残りの著者らは，本研究が，潜在的な利益相反と解釈されうる商業的または金銭的關係が存在しない状況で実施されたことを宣言する。

参考文献

- 1) Rongen A, Robroek SJW, van Lenthe FJ, Burdorf A. Workplace health promotion: a meta-analysis of effectiveness. *American Journal of Preventive Medicine*. 2013; 44(4): 406-15.
- 2) Hannon PA, Garson G, Harris JR, Hammerback K, Sopher CJ, Clegg-Thorp C. Workplace health promotion implementation, readiness, and capacity among midsize employers in low-wage industries: a national survey. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2012; 54(11): 1337-43.
- 3) Linnan LA, Cluff L, Lang JE, Penne M, Leff MS. Results of the workplace health in America survey. *American Journal of Health Promotion*. 2019; 33(5): 652-65.
- 4) McCoy K, Stinson K, Scott K, Tenney L, Newman LS. Health promotion in small business: a systematic review of factors influencing adoption and effectiveness of worksite wellness programs. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2014; 56(6): 579-87.
- 5) Weinstein M, Cheddie K. Adoption and implementation barriers for worksite health programs in the United States. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(22): 12030.
- 6) Hoshuyama T, Hino Y, Kayashima K, Morita T, Goto H, Minami M, Sakuragi S, Tanaka C, Takahashi K. Inequality in the health status of workers in small-scale enterprises. *Occupational Medicine*. 2007; 57(2): 126-30.
- 7) Kanamori S, Tsuji T, Takamiya T, Kikuchi H, Inoue S, Takagi D, Kai Y, Yamakita M, Kameda Y, Kondo K. Size of company of the longest-held job and mortality in older Japanese adults: a 6-year follow-up study from the Japan Gerontological Evaluation Study. *Journal of Occupational Health*. 2020; 62(1): e12115.
- 8) Goetzel RZ, Fabius R, Roemer EC, Kent KB, Berko J, Head MA, Henke RM. The stock performance of American companies investing in a culture of health. *American Journal of Health Promotion*. 2019; 33(3): 439-47.
- 9) Fabius R, Loepke RR, Hohn T, Fabius D, Eisenberg B, Konicki DL, Larson P. Tracking the market performance of companies that integrate a culture of health and safety: an assessment of Corporate Health Achievement Award applicants. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2016; 58(1): 3-8.
- 10) Goetzel RZ, Ozminkowski RJ, Pelletier KR, Metz RD, Chapman LS. Emerging trends in health and productivity management. *American Journal of Health Promotion*. 2007; 22(1): suppl 1-7, iii.

- 11) Mori K, Nagata T, Nagata M, Okahara S, Odagami K, Takahashi H, Mori T. Development, success factors, and challenges of government-led health and productivity management initiatives in Japan. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2021; 63(1): 18-26.
- 12) American College of Occupational and Environmental Medicine. Excellence in corporate health achievement award. <https://acoem.org/About-ACOEM/Excellence-in-Corporate-Health-Achievement-Award>. 2023. (アクセス日: 2023年4月19日)
- 13) Corporate Health Standards. <https://nwssp.nhs.wales/a-wp/governance-e-manual/living-public-service-values/corporate-health-standards/>. 2023. (アクセス日: 2023年4月19日)
- 14) United Nations. World Population Prospects 2022: summary of results. <https://www.un.org/development/desa/pd/content/World-Population-Prospects-2022>. 2022. (アクセス日: 2023年4月19日)
- 15) 経済産業省. Announcement of organizations selected under the 2022 certified health & productivity management outstanding organizations recognition program. https://www.meti.go.jp/english/press/2022/0309_002.html. 2022. (アクセス日: 2023年4月19日)
- 16) Takahashi H, Nagata M, Nagata T, Mori K. Association of organizational factors with knowledge of effectiveness indicators and participation in corporate health and productivity management programs. *Journal of Occupational Health*. 2021; 63(1): e12205.
- 17) Wada H, Yasuda Y. Value effect of health and productivity management: an event study of the HPM Award in Japan. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2022; 64(6): 465-9.
- 18) Thornton M, Hammerback K, Abraham JM, Brosseau L, Harris JR, Linnan LA. Using a social capital framework to explore a broker's role in small employer wellness program uptake and implementation. *American Journal of Health Promotion*. 2021; 35(2): 214-25.
- 19) Parker LA, Zaragoza GA, Hernandez-Aguado I. Promoting population health with public-private partnerships: where's the evidence? *BMC Public Health*. 2019; 19(1): 1438.
- 20) Hernandez-Aguado I, Zaragoza GA. Support of public-private partnerships in health promotion and conflicts of interest. *BMJ Open*. 2016; 6(4): e009342.
- 21) Joudyian N, Doshmangir L, Mahdavi M, Tabrizi JS, Gordeev VS. Public-private partnerships in primary health care: a scoping review. *BMC Health Services Research*. 2021; 21(1): 4.
- 22) Shelton RC, Chambers DA, Glasgow RE. An extension of RE-AIM to enhance sustainability: addressing dynamic context and promoting health equity over time. *Frontiers in Public Health*. 2020; 8: 134.
- 23) Ishimaru T, Nagata M, Hino A, Yamashita S, Tateishi S, Tsuji M, Ogami A, Matsuda S, Fujino Y; CORoNaWork Project. Workplace measures against COVID-19 during the winter third wave in Japan: company size-based differences. *Journal of Occupational Health*. 2021; 63(1): e12224.
- 24) Al-Khudairy L, Akram Y, Watson SI, Kudrna L, Hofman J, Nightingale M, Alidu L, Rudge A, Rawdin C, Ghosh I, Mason F, Perera C, Wright J, Boachie J, Hemming K, Vlaev I, Russell S, Lilford RJ. Evaluation of an organisational-level monetary incentive to promote the health and wellbeing of workers in small and medium-sized enterprises: a mixed-methods cluster randomised controlled trial. *PLOS Global Public Health*. 2023; 3(7): e0001381.
- 25) Ahonen G, Näsman O, Aboagye E. Virtual joint companies as a means of incentivizing SMEs to use occupational health services - a trial in two municipalities in Finland from 2009 to 2011. *Frontiers in Sustainability*. 2022; 3: 926016.
- 26) Saito J, Odawara M, Takahashi H, Fujimori M, Yaguchi-Saito A, Inoue M, Uchitomi Y, Shimazu T. Barriers and facilitative factors in the implementation of workplace health promotion activities in small and medium-sized enterprises: a qualitative study. *Implementation Science Communications*. 2022; 3(1): 23.
- 27) Smith D, Kramer M, Bumb N, Silten B. Creating shared value to advance health equity. *American Journal of Health Promotion*. 2022; 36(6): 1047-50.

補足表 1. 6 か月後の追跡調査における回答企業と非回答企業の特徴比較

	回答企業 n = 203	非回答企業 n = 158	P^1
企業規模			0.22
零細(従業員 5 人未満)	25 (12.3)	34 (21.5)	
小規模(従業員 5 ～49人)	101 (49.8)	69 (43.7)	
中規模(従業員50～299人)	49 (24.1)	34 (21.5)	
大規模(従業員300人以上)	8 (3.9)	7 (4.4)	
不明	20 (9.9)	14 (8.9)	
業種			0.55
製造業	28 (13.8)	25 (15.8)	
サービス業	27 (13.3)	26 (16.5)	
建築業	28 (13.8)	24 (15.2)	
運輸・郵便業	25 (12.3)	11 (7.0)	
その他	79 (38.9)	57 (36.1)	
不明	16 (7.9)	15 (9.5)	
雇用状況			0.40
主に正規雇用	153 (75.4)	120 (75.9)	
半分は非正規雇用	25 (12.3)	20 (12.7)	
主に非正規雇用	3 (1.5)	6 (3.8)	
不明	22 (10.8)	12 (7.6)	
横浜健康経営認証2021			< 0.01
認証企業	150 (73.9)	69 (43.7)	
非認証企業	53 (26.1)	89 (56.3)	

¹ χ^2 検定を用いた認証企業と非認証企業の比較

補足表 2. 18か月後の追跡調査における回答企業と非回答企業の特性比較

	回答企業 n = 164	非回答企業 n = 159	P^1
企業規模			0.36
零細(従業員 5 人未満)	23 (14.0)	27 (17.0)	
小規模(従業員 5 ～49人)	89 (54.3)	68 (42.8)	
中規模(従業員50～299人)	35 (21.3)	42 (26.4)	
大規模(従業員300人以上)	6 (3.7)	8 (5.0)	
不明	11 (6.7)	14 (8.8)	
業種			0.08
製造業	18 (11.0)	32 (20.1)	
サービス業	21 (12.8)	29 (18.2)	
建築業	25 (15.2)	19 (11.9)	
運輸・郵便業	23 (14.0)	13 (8.2)	
その他	66 (40.2)	54 (34.0)	
不明	11 (6.7)	12 (7.5)	
雇用状況			0.91
主に正規雇用	126 (76.8)	123 (77.4)	
半分は非正規雇用	21 (12.8)	22 (13.8)	
主に非正規雇用	5 (3.0)	3 (1.9)	
不明	12 (7.3)	11 (6.9)	
横浜健康経営認証2021			0.07
認証企業	112 (68.3)	92 (57.9)	
非認証企業	52 (31.7)	67 (42.1)	

¹ χ^2 検定を用いた認証企業と非認証企業の比較

論文紹介

協調性運動は高齢者の良好な認知機能と関連する：横断研究

Nagata K, Shibuya K, Fujii Y, Seol J, Jindo T, Okura T. Cross-sectional study of the optimal types of physical exercise for cognitive function in older Japanese adults. *Geriatrics & Gerontology International*. 2024; 24 (11): 1173-80.

藤井悠也

背景 定期的な運動実施が高齢者の認知機能に与える効果は注目されており、なかでも協調性運動（例：体操、ゴルフ、ダンス、卓球など）は、他の運動タイプと比べ認知機能への効果が高い可能性が報告されている。しかしこれらの報告はすべて介入研究や実験室レベルの研究に基づいており、疫学調査による知見は限られている。そこで本研究では、地域在住高齢者を対象とした疫学調査により、運動のタイプと認知機能との横断的関連を明らかにすることを目的とした。

方法 茨城県笠間市在住高齢者を対象とした健診事業のデータを用い、2015年から2019年までに参加した569人（平均年齢：74.0±5.4歳、女性：53.8%）を分析対象とした。過去7日間で実施した運動種目を記述により調査し、先行研究に従い、協調性運動、持久性運動（ハイキング、ジョギング、サイクリングなど）、筋力トレーニング、ストレッチに分類した。認知機能の評価には、Five-CogテストとTrail Makingテストを用いた。運動タイプごとに実施の有無と認知機能との関連を検証するため、分散分析を実施した。また、各運動タイプにおいて、実施時間の中央値を用いて、実施時間ごとに群分けした解析も実施した。

結果 すべての運動タイプにおいて、実施有無と認知機能の間に有意な関連はみられなかった。しかし、実施時間別に群分けした解析では、協調性運動を週140分以上実施している群では、協調性運動を実施していない群と比較してFive-Cogスコアが有意に高いことが示された（表）。一方で、他の運動タイプにおいては、実施時間別の解析においても、有意な関連は確認されなかった。

結論 高齢者を対象とした疫学調査の結果から、協調性運動を一定量以上行うことで高齢者の認知機能向上が期待できることが示唆された。今後は、認知機能低下予防のための運動ガイドライン策定にむけて、協調性運動の効果に関する、更なるエビデンスの蓄積が必要である。

表 協調性運動とFive-Cogスコアの関連

	平均値	95%信頼区間	P	事後検定※
協調性運動			0.046	1 < 3
1) 実施していない	69.1	(67.3-70.8)		
2) 週140分未満	69.8	(66.9-72.7)		
3) 週140分以上	73.3	(70.5-76.2)		

年齢、性、教育歴、世帯構成、body mass index、喫煙歴、既往歴、抑うつ度、睡眠障害、歩行速度、家庭内および仕事での身体活動量、他の運動タイプの実施有無を調整

※Bonferroni調整後に有意だった群間差

Nagata et al.(2024)を参考に作成

執筆者によるコメント

本研究は、実際に高齢者が実施している運動種目を調査し、そのデータから協調性運動の認知機能への効果（関連性）を示した貴重な論文です。これまで、実験研究や介入研究により証明されてきた協調性運動の効果を下支えするような成果であるといえるでしょう。今後は、認知症発生などをアウトカムとした長期縦断研究を実施し、協調性運動の効果をより厳密かつ詳細に明らかにしていくことが期待されます。

論文紹介

電気刺激 vs 随意運動 — 認知課題への反応時間改善に関与する生理学的メカニズムの比較

Sudo M, Kitajima D, Takagi Y, Mochizuki K, Fujibayashi M, Costello JT, Ando S. Effects of voluntary exercise and electrical muscle stimulation on reaction time in the Go/No-Go task. *European Journal of Applied Physiology*. 2024; 124: 3571-81.

須藤みず紀

背景 一過性の運動は、認知機能を向上させることが知られているが、その要因は明らかにされていない。本研究では、電気による骨格筋への刺激 (EMS) と低・中強度の随意運動が、認知課題 (Go/No-Go課題) の反応時間 (RT) に与える影響を比較し、RT改善に関与する生理学的メカニズムを明らかにすることを目的とした。特に、EMSによる末梢の筋収縮が認知機能に及ぼす影響と随意運動時の中枢神経活動の寄与を検討した。

方法 24人の健康な男性 (22.5±1.5歳) を対象に、以下の3条件でGo/No-Go課題を実施した。

EMS条件：下肢の主要筋群にEMSを負荷させた (4 Hz, 0.25 msのパルス, 最大許容範囲の強度)。

低強度運動条件：心拍数がEMS条件と同等となるようにエルゴメータで低強度運動を実施した。

中強度運動条件：主観的運動強度 (RPE) 13 (「ややきつい」) に設定したエルゴメータ運動を実施。

各条件で運動前後にGo/No-Go課題を実施し、RTと副交感神経HR調節を主に反映する、隣接する心拍間 (R-R) 間隔の連続差の自然対数変換ルート平均二乗 (LnRMSSD) を測定した。

結果 RTは、中強度運動後に有意に短縮 ($P = 0.002$, Cohen's $d = 0.694$) したが、EMS ($P = 0.107$, Cohen's $d = 0.342$) および低強度運動 ($P = 0.076$, Cohen's $d = 0.380$) では改善がみられなかった。

LnRMSSDの変化とRTの相関解析では、中強度運動条件においてRTの短縮と自律神経活動の変化が関連 ($r = 0.599$, $P = 0.002$) していた。

結論 本研究の結果から、RT改善には中枢神経活動と運動による圧受容器反射が重要である可

能性が示唆された。特に、中強度運動後のRT改善は、交感神経活動の亢進と関連しており、ノルアドレナリンやドーパミンの関与が推察される。一方、EMSのみでは、RT改善がみられず、随意運動時の中枢神経活動の寄与がRT短縮に不可欠であることが示唆された。

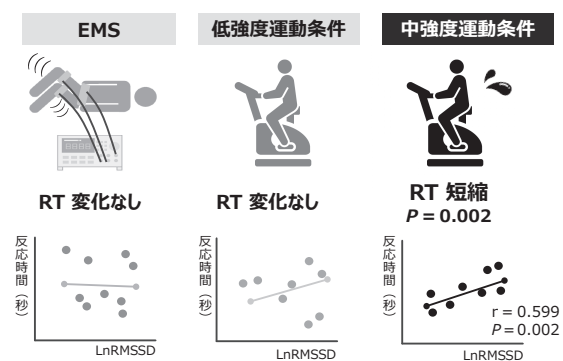


図 本研究の概略図

GO/NO-GO課題に対する反応時間 (RT) は、中強度運動でのみ短縮し、交感神経活動と正の相関関係を示した。

執筆者によるコメント

本研究では、EMSと随意運動の違いが認知機能に与える影響について検証しました。特に、反応時間の改善には、随意運動であること、更に、その強度が重要であることが示唆されました。今後の研究では、EMSと随意運動の組み合わせや、神経伝達物質の影響を更に検討することで、運動と認知機能の関係についての理解が深まることが期待されます。

論文紹介

骨格筋への電気刺激とエルゴメータ運動の併用は認知機能を向上させるのか？

Ando S, Ishioka Y, Kambayashi S, Kano K, Fujibayashi M, Costello JT, Sudo M. Combined effects of electrical muscle stimulation and cycling exercise on cognitive performance. *Frontiers in Physiology*. 2024; 15: 1408963.

須藤みず紀

背景 一過性の運動は、認知機能を向上させることが示唆されているが、認知機能改善のメカニズムはいまだ未解明な点が多い。随意運動は、中枢神経の活性化を伴うが、電気による骨格筋への刺激(EMS)は中枢神経活動の関与なしに筋収縮を引き起こす。本研究では、EMSとエルゴメータ運動(EX)の組み合わせが認知機能に及ぼす影響を検討し、随意運動に伴う中枢神経活動の役割を明らかにすることを目的とした。

方法 健康な成人18人(21.5±1.2歳)を対象に、以下の3条件でGo/No-Go課題を実施した。

EX条件：エルゴメータを用いた20分間の自転車運動(心拍数120拍/分を維持)。

EMS+EX条件：EX条件にEMSを組み合わせた運動(EMSは大腿・下腿の主要筋群に負荷)。

Control条件：エルゴメータに着座したまま20分間安静。

認知機能はGo/No-Go課題の反応時間(RT)と正答率により評価し、心拍数(HR)を測定した。

結果 Go/No-Go課題におけるRTは、EX条件で短縮傾向を示した($P = 0.054$, 相関係数 = 0.520)。

EMS+EX条件ではRTの変化がみられなかった($P = 0.243$, Cohen's $d = 0.285$)。Control条件ではRTが増加した($P = 0.038$, Cohen's $d = -0.529$)。EX条件とEMS+EX条件の間で心拍数に有意な差はなく($P = 0.551$)、EMSの併用による心拍数の変化はみられなかった。

結論 本研究の結果から、EMSとEXの組み合わせは、心拍数が適度に上昇するにもかかわらず、認知機能(RT)の改善には寄与しなかった。これは、

EMSによる筋収縮では中枢神経活動が十分に活性化されないためと考えられる。過去の研究では、EMSと腕漕ぎ運動(arm cranking)の組み合わせによる認知機能の向上が示されている。したがって、本結果は、随意運動による運動時の中枢神経活動の程度が認知機能の改善に重要であることを支持するものである。

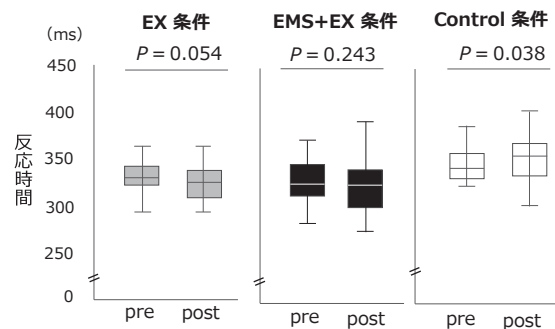


図 条件ごとのGo/No-Go課題における反応時間
条件前後で比較し、Control条件以外に差異はみられなかった。

執筆者によるコメント

本研究の運動条件では、認知機能の向上は示されなかったが、運動強度や運動様式について更なる検証が必要です。EMSとエルゴメータ運動の併用は、運動負荷を軽減しながら身体活動を促進することが期待されます。本研究の結果は、電気刺激による骨格筋収縮を生活現場に応用することを考えるうえで重要な知見であると考えています。

論文紹介

日本におけるテレワーカーの在宅勤務環境と身体症状の関連

Kanamori S, Tabuchi T, Kai Y. Association between the telecommuting environment and somatic symptoms among teleworkers in Japan. Journal of Occupational Health. 2024; 66(1): uia014.

甲斐裕子

背景 新型コロナウイルス感染症のパンデミックにより、テレワークが急速に普及したが、適切でない在宅勤務環境が身体症状（筋骨格系の痛みや心理的ストレスなど）を引き起こす可能性が指摘されている。しかし、在宅勤務環境と身体症状の関連について十分な検討はなされていない。本研究の目的は、日本のテレワーカーにおいて在宅勤務環境と身体症状との関連を明らかにすることである。

方法 本研究は、Japan COVID-19 and Society Internet Survey (JACSIS study) のデータを用いた横断研究である。2021年9月27日から10月29日にかけて、日本国内在住の15～79歳の男女31000人を対象に調査を実施し、テレワークを行っている4569人を分析対象とした。身体症状の評価にはSomatic Symptom Scale-8 (SSS-8) を用い、カットオフ値として4点、8点、12点、16点の4段階を設定した。在宅勤務環境は先行研究や厚生労働省のテレワークに関するガイドラインを参考に14項目を評価した。身体症状との関連を検討するために、在宅勤務環境を説明変数としたポアソン回帰分析を行った。

結果 在宅勤務環境が整備されていない項目数が多いほど、いずれのカットオフ値でも身体症状の有病率比 (prevalence ratio : PR) が有意に高いことが示された。特に以下の6項目において身体症状のリスクが高かった：集中できる作業スペースの欠如、足元スペースの不十分さ、コミュニケーション環境の不適切さ、リラックスできる空間の不足、騒音、温度および湿度の不適切さ。また、テレワークが週3回以下でも、不十分な在宅勤務環境は身体症状のPRを増加させた。

結論 在宅勤務環境が不十分であるほど身体症状の発生リスクが高まることが示唆された。特に集中できる作業環境や快適な温度・湿度環境の整備、十分な足元スペースの確保、リフレッシュできる空間の提供などが重要である。これらの環境改善は、在宅勤務者における身体症状の予防に有効である可能性がある。

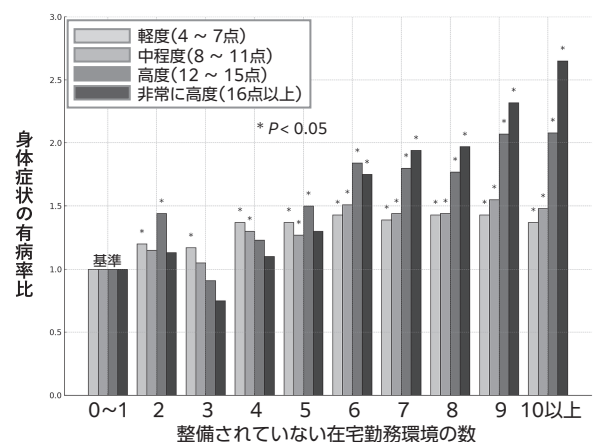


図 身体症状と在宅勤務環境との関連

調整変数：年齢、性別、BMI、喫煙習慣、飲酒習慣、身体活動、精神健康状態、年収、学歴、産業分類、労働時間、企業規模、在宅勤務頻度

執筆者によるコメント

厚生労働科学研究費「テレワークの常態化による労働者の筋骨格系への影響や生活習慣病との関連性を踏まえた具体的方策に資する研究（代表：甲斐裕子）」の研究成果です。テレワークは、ワークライフバランスや仕事満足度の向上など多くのメリットがありますが、運動不足や腰痛など新たな健康課題も生じています。対策の難しさを感じている企業も多いようです。健康と生産性を両立するテレワーク実現には、自宅環境の整備が鍵であることが、本研究から明らかになりました。

海外研修レポート

10th International Society for Physical Activity and Health Congress in Paris に参加して

北濃成樹¹⁾

■はじめに

2024年10月28日～31日にフランス・パリで開催された10th International Society for Physical Activity and Health Congress (ISPAH 2024)に参加し、研究成果を発表した。本レポートでは、本学会への参加を通じて得られた知見や学びについて報告する。

■大会概要

ISPAH 2024は、同年夏にオリンピックが開催された都市・パリにて行われた。大会テーマは「すべての人が身体活動を確保するための政策と実践の加速」であり、世界各国から研究者、実務者、政策決定者が集まり、身体活動へのアクセスや参加の不平等に対応するための方策や、関連する最新の研究について議論が交わされた。発表内容は、ランダム化比較試験による実験研究、観察研究、研究成果の普及や実装に関する研究など、幅広いトピックを含んでいた。

■大会の雰囲気

本大会は身体活動の公衆衛生に関する国際会議としては規模が大きく、700名以上が参加したと記録されている。国内の類似した学会と比べて、いくつかの違いを感じることができた。なかでも印象的だったのは、女性研究者の参加が男性よりも



会場入り口で荒尾名誉所長、藤井研究員と



会場に設置された「運動できるベンチ」



WHO のブース

1) 公益財団法人 明治安田厚生事業団 体力医学研究所 Physical Fitness Research Institute, Meiji Yasuda Life Foundation of Health and Welfare, Tokyo, Japan.

多かった点である。また、日本では高齢者を対象とした研究が多い一方で、本大会では子どもを対象にした研究発表が多く見られたことも印象的であった。

更に、世界保健機関（WHO）が公開している「身体活動および座位行動ガイドライン」の策定に携わる研究者も多く参加しており、身体活動政策に関する研究発表が多数見受けられた。なかでも、次期ガイドラインの方向性に関する議論（例：デバイスで評価された身体活動に関するエビデンスを中心に策定されるかどうか）を直接聞くことができたのは、自身の今後の研究計画を考えるうえで非常に有意義であった。

■研究発表

本大会では、「Gender differences in the longitudinal associations of 24-hour movement behaviors with psychological distress in workers（勤労者における24時間の行動と心理的ストレスの縦断的関連性における性差）」というテーマでポスター発表を行った。ホワイトカラー勤労者を対象に、24時間の身体行動と1年後の心理的ストレスとの関連性を検討した本研究では、望ましい行動バランスには性差があることを明らかにした。具体的には、座位行動を減らしたうえで、男性では睡眠時間の増加が、女性では中高強度身体活動の増加が、1年後の心理的ストレスの低さと関連していた。

発表時には、行動を24時間のバランスでとらえる点や、性差に着目している点に関心をもってもらい、参加者からは「興味深い」とのフィードバックを得ることができた。また、海外の参加者からは、本研究で用いた健診コホートのデータに強い関心が寄せられた。特に、定期健診という枠組みを活用して長期的な追跡が可能であるという点に新しさを感じてもらえ、本コホートの強みや独自性を再認識する機会となった。

■おわりに

久しぶりの国際学会参加となったが、世界中の多様な研究者や研究発表に直接ふれることで、大いに刺激を受け、研究へのモチベーションも高まった。所属研究所が取り組む研究プロジェクトの方向性が、国際的な潮流と合致していることを実感する一方で、海外の研究者たちの研究推進力—ひとつのテーマを長年かけて深め、組織的に連携しながら、新たな研究潮流やコンソーシアムを立ち上げる力—には大きな敬意を抱いた。こうした姿勢は、ぜひ今後見習っていきたいと感じている。得られた学びや気づきを、今後の研究活動や国際的な発信に活かしていきたい。

なお、次回の ISPAH は2026年にメキシコで開催される予定である。



ポスター発表の様子



発表ポスター

2024年度

体力医学研究所活動報告

I 研究活動

1 研究課題

- (1) 職域プロジェクト研究：働く世代の健康づくりに関する研究
 - ・身体活動と座位行動の健康影響の解明
 - ・勤労者の身体活動促進および健康支援法の開発
 - ・健康で安全なテレワークの社会への普及を目指した包括的研究
 - ・見るスポーツの健康効果の解明
- (2) 地域プロジェクト研究：社会的成果をもたらす集団戦略的健康づくり方法の開発
 - ・アウトリーチ型の社会的処方による健康づくり方法の開発
 - ・高齢者を対象としたオンライン・コミュニティによる健康づくり方法の開発
 - ・全国の身体活動・座位行動の実態調査研究
- (3) 基礎的研究：身体活動による脳・筋における健康効果のメカニズム解明
 - ・身体活動による脳の健康を保つための要因の解明
 - ・脳の健康を保つための運動機構の解明
 - ・身体活動・運動が高齢者の認知機能に与える影響とその脳内機構の解明

2 その他の活動

- (1) 「体力研究」122号刊行（令和6年5月31日）
- (2) ホームページ運営

II 研究啓発活動

1 講演および講義

対象：自治体、非営利法人、民間企業、大学等

2 学術成果に基づいた健康情報の発信

メディア掲載、ウェブサイト

III 研究助成

1 公募

第40回若手研究者のための健康科学研究助成公募
（令和6年7月1日～9月26日）

2 贈呈式開催

第40回若手研究者のための健康科学研究助成 贈呈式開催
（令和7年1月23日）

Appendix

Appendix I	研究業績一覧
Appendix II	健康啓発活動業績一覧
Appendix III	第40回（2024年度）若手研究者のための健康科学研究助成受贈者一覧
Appendix IV	研究助成受贈者の論文紹介
Appendix V	第41回（2025年度）若手研究者のための健康科学研究助成応募要項

Appendix I

研究業績一覧

1 原著論文

- (1) Hyodo K, Dan I, Jindo T, Niioka K, Naganawa S, Mukoyama A, Soya H, Arao T. Neural mechanisms of the relationship between aerobic fitness and working memory in older adults: an fNIRS study. *Imaging Neuroscience*. 2024 Apr; 2: 1-19.
- (2) Ando S, Ishioka Y, Kambayashi S, Kano K, Fujibayashi M, Costello JT, Sudo M. Combined effects of electrical muscle stimulation and cycling exercise on cognitive performance. *Frontiers in Physiology*. 2024 May; 15: 1408963.
- (3) Kawamura T, Higuchi M, Ito T, Kawakami R, Usui C, McGreevy KM, Horvath S, Zsolt R, Torii S, Suzuki K, Ishii K, Sakamoto S, Oka K, Muraoka I, Tanisawa K. Healthy Japanese dietary pattern is associated with slower biological aging in older men: WASEDA'S Health Study. *Frontiers in Nutrition*. 2024 May; 11: 1373806.
- (4) Kishihara M, Kawakami R, Fukushima N, Abe T, Takada T, Shirotani S, Yoshida A, Hata T, Watanabe S, Kawamoto T, Hasegawa S, Yamaguchi J, Jujo K. Prognostically optimal heart rate at discharge in hospitalized patients with heart failure and atrial fibrillation. *JACC: Advances*. 2024 Jul; 3(8): 101120.
- (5) Kai Y, Fujii Y, Takashi N, Yoshiba K, Muramatsu-Noguchi Y, Noda T, Jindo T, Kidokoro T, Yajima Y, Kasuga J, Arao T. Promoting health and productivity management in small companies through outreach-based public-private partnership: the Yokohama Linkworker Project. *Frontiers in Public Health*. 2024 Jul; 12: 1345771.
- (6) Tanisawa K, Tabata H, Nakamura N, Kawakami R, Usui C, Ito T, Kawamura T, Torii S, Ishii K, Muraoka I, Suzuki K, Sakamoto S, Higuchi M, Oka K. Polygenic risk score, cardiorespiratory fitness, and cardiometabolic risk factors: WASEDA'S Health Study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2024 Oct; 56(10): 2026-2038.
- (7) Kitano N, Fujii Y, Wada A, Kawakami R, Yoshiba K, Yamaguchi D, Kai Y, Arao T. Associations of working from home frequency with accelerometer-measured physical activity and sedentary behavior in Japanese white-collar workers: a cross-sectional analysis of the Meiji Yasuda Life-Style study. *Journal of Physical Activity and Health*. 2024 Oct; 21(11): 1150-1157.
- (8) Kumagai H, Kim SJ, Miller B, Zempo H, Tanisawa K, Natsume T, Lee SH, Wan J, Leelaprachakul N, Kumagai ME, Ramirez R 2nd, Mehta HH, Cao K, Oh TJ, Wohlschlegel JA, Sha J, Nishida Y, Fuku N, Dobashi S, Miyamoto-Mikami E, Takaragawa M, Fuku M, Yoshihara T, Naito H, Kawakami R, Torii S, Midorikawa T, Oka K, Hara M, Iwasaka C, Yamada Y, Higaki Y, Tanaka K, Yen K, Cohen P. MOTS-c modulates skeletal muscle function by directly binding and activating CK2. *iScience*. 2024 Oct; 27(11): 111212.
- (9) Nagata K, Shibuya K, Fujii Y, Seol J, Jindo T, Okura T. Cross-sectional study of the optimal types of physical exercise for cognitive function in older Japanese adults. *Geriatrics & Gerontology International*. 2024 Nov; 24(11): 1173-1180.
- (10) Kanamori S, Kawaguchi K, Tsuji T, Ide K, Kikuchi H, Shirai K, Yamakita M, Kai Y, Kawachi I, Kondo K. Tai so practice and risk of functional disability and dementia among older adults in Japan: the JAGES cohort study. *SSM - Population Health*. 2024 Nov; 28: 101731.
- (11) Sudo M, Kitajima D, Takagi Y, Mochizuki K, Fujibayashi M, Costello JT, Ando S. Effects of voluntary exercise and electrical muscle stimulation on reaction time in the Go/No-Go task. *European Journal of Applied Physiology*. 2024 Dec; 124: 3571-3581.

- (12) Kawakami R, Kitano N, Fujii Y, Jindo T, Kai Y, Arao T. Association of watching sports games with subsequent health and well-being among adults in Japan: an outcome-wide longitudinal approach. *Preventive Medicine*. 2024 Dec; 189: 108154.
- (13) Wada A, Kim J, Kanamori S, Yoshimoto T, Tsukinoki R, Kagi N, Umishio W, Asaoka R, Shiomitsu T, Kawamata K, Yoshioka N, Yoshida K, Goshima M, Nakata Y, Kai Y. Multicomponent occupational lifestyle intervention to improve physical activity, musculoskeletal health, and work environment among Japanese teleworkers (TELEWORK study): protocol for a cluster randomized controlled trial. *Journal of Occupational Health*. 2025 Jan; 67(1): uiaf014.
- (14) Tsunoda K, Nagata K, Jindo T, Soma Y, Kitano N, Fujii Y, Okura T. Changes in cycling and incidences of functional disability and mortality among older Japanese adults. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2025; 111: 296-305.
- (15) Kitano N, Jindo T, Yoshida K, Yamaguchi D, Fujii Y, Wakaba K, Maruo K, Kai Y, Arao T. Effectiveness of short active breaks for reducing sedentary behavior and increasing physical activity among Japanese office workers: one-year quasi-experimental study. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* (in press).
- (16) Shibahashi E, Kawakami R, Fukushima N, Ishida I, Otsuki H, Hata T, Kamishima K, Shimazaki K, Yamada T, Shiozaki N, Kataoka S, Morioka Y, Oka T, Terajima Y, Ota Y, Saito K, Honda A, Tanaka H, Yamaguchi J, Jujo K. Prognostic significance of time between balloon and peak CK-MB in AMI patients undergoing primary PCI. *JACC: Asia* (in press).

2 その他の学術論文

- (1) 長井美樹, 中村康香, 和田 彩, 川尻舞衣子, 武石陽子, 吉田美香子, 吉沢豊予子. 妊婦の職務・身体症状の実態と職務調整行動との関連性. *日本母性看護学会誌*. 2024 Sep; 25(1): 43-49.
- (2) 藤井悠也, 和田 彩, 甲斐裕子. 職場内運動室を設置して従業員の体力アップ! 最新の事例紹介. *産業保健と看護*. 2024 Nov; 16(6): 70-74.
- (3) 川上諒子. 「みる」スポーツを促す疫学研究からみえてきた効果. *体育の科学*. 2025 Jan; 75(1): 9-13.
- (4) 甲斐裕子. 運動療法. みんなで診る更年期からの女性の健康—多彩なアプローチを知ろう. *臨床婦人科産科*. 2025 Jan; 79(1): 124-129.

3 著書

- (1) 本田貴紀, 天笠志保, 川上諒子, 陳 三妹, 門間陽樹(監訳). 天笠志保, 本田貴紀, 菊池宏幸, 桑原恵介, 福井敬祐, 大須賀洋祐, 田島敬之, 清原康介, 清野 諭, 辻 大士, 北濃成樹(翻訳). *保健・医療におけるシステムティックレビューとメタアナリシス*. 大修館書店. 2024.
- (2) 甲斐裕子. 職場におけるスポーツ・運動支援の2年間の変化とスポーツ実施との関連. *スポーツライフ・データ2024—スポーツライフに関する調査報告書—*. 笹川スポーツ財団. 2024; 49-53.

4 報告書等

- (1) 甲斐裕子, 和田 彩, 吉葉かおり, 村松祐子. テレワークの常態化による労働者の筋骨格系への影響や生活習慣病との関連性を踏まえた具体的方策に資する研究. 令和5年度厚生労働科学研究費(労働安全衛生総合研究事業)「テレワークの常態化による労働者の筋骨格系への影響や生活習慣病との関連性を踏まえた具体的方策に資する研究(研究代表者: 甲斐裕子)」総括研究報告書. 2024
- (2) 甲斐裕子, 金森 悟, 和田 彩, 吉葉かおり, 村松祐子. 全国上場企業におけるテレワークの実施状況と健

健康管理状況～研究成果の普及啓発に向けて～. 令和5年度厚生労働科学研究費(労働安全衛生総合研究事業)「テレワークの常態化による労働者の筋骨格系への影響や生活習慣病との関連性を踏まえた具体的方策に資する研究(研究代表者: 甲斐裕子)」分担研究報告書. 2024

- (3) 金森 悟, 田淵貴大, 甲斐裕子. 在宅テレワーカーの在宅勤務環境と身体症状の関連: 第2報. 令和5年度厚生労働科学研究費(労働安全衛生総合研究事業)「テレワークの常態化による労働者の筋骨格系への影響や生活習慣病との関連性を踏まえた具体的方策に資する研究(研究代表者: 甲斐裕子)」分担研究報告書. 2024
- (4) 北濃成樹, 藤井悠也, 甲斐裕子. 在宅勤務の頻度と身体活動・座位行動の関連性: MYLSスタディ®のデータを用いた横断研究. 令和5年度厚生労働科学研究費(労働安全衛生総合研究事業)「テレワークの常態化による労働者の筋骨格系への影響や生活習慣病との関連性を踏まえた具体的方策に資する研究(研究代表者: 甲斐裕子)」分担研究報告書. 2024
- (5) 渡邊裕也, 菊池宏幸, 町田征己, 野田隆行, 吉葉かおり, 甲斐裕子. 勤労者のテレワーク頻度と身体組成, 体力, 関節の痛みの関連. 令和5年度厚生労働科学研究費(労働安全衛生総合研究事業)「テレワークの常態化による労働者の筋骨格系への影響や生活習慣病との関連性を踏まえた具体的方策に資する研究(研究代表者: 甲斐裕子)」分担研究報告書. 2024
- (6) 菊池宏幸, 渡邊裕也, 町田征己, 野田隆行, 吉葉かおり, 甲斐裕子. 在宅勤務と職場勤務時の身体活動の個人内差に関する研究. 令和5年度厚生労働科学研究費(労働安全衛生総合研究事業)「テレワークの常態化による労働者の筋骨格系への影響や生活習慣病との関連性を踏まえた具体的方策に資する研究(研究代表者: 甲斐裕子)」分担研究報告書. 2024
- (7) 福田 洋, 金森 悟, 甲斐裕子. 5類移行後の企業のコロナ出口戦略と在宅テレワーカーの身体活動促進・作業環境改善. 令和5年度厚生労働科学研究費(労働安全衛生総合研究事業)「テレワークの常態化による労働者の筋骨格系への影響や生活習慣病との関連性を踏まえた具体的方策に資する研究(研究代表者: 甲斐裕子)」分担研究報告書. 2024
- (8) 甲斐裕子, 北濃成樹, 吉葉かおり, 村松祐子. 行動変容ステージ別の健康づくりのための身体活動・運動ガイド2023の達成状況—若年女性の前熟考期に着目して—. 令和5年度厚生労働科学研究費(循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業)「健康無関心層のセグメント化と効果的介入手法の検討: ライフステージに着目して(研究代表者: 福田吉治)」分担研究報告書. 2024

5 学会発表(招待講演)

- (1) 北濃成樹. 勤労者に広がる座りすぎの健康被害とその対策. 第36回日本体力医学会北陸地方会大会, 福井. 2024年6月
- (2) 須藤みず紀. 身体活動は認知機能と情動に何をもたらすのか?: 動物モデルを用いた検証から. シンポジウム3「身体活動が健康増進を導く生理学的エビデンスの検証」. 第32回日本運動生理学会大会, 石川. 2024年8月
- (3) 安藤創一, 須藤みず紀. ランチョンセミナー2「骨格筋への電気刺激を用いた研究の新展開」. 第32回日本運動生理学会大会, 石川. 2024年8月
- (4) 安藤創一, 藤本敏彦, 須藤みず紀, 田代 学. 一過性の運動による脳内ドーパミンの遊離と認知パフォーマンス. シンポジウム1「運動ベネフィットを生み出す脳機構: 動物—ヒトのスポーツニューロサイエンス最前線」. 第78回日本体力医学会大会, 佐賀. 2024年9月
- (5) 甲斐裕子. 研究を「仕事」にするには?—研究所のリアル—. キャリアアップセミナー「若手研究者のキャリアパスを考える」. 第78回日本体力医学会大会, 佐賀. 2024年9月
- (6) 川上諒子. フレイル予防の運動疫学と現場で使える筋量簡易評価法. シンポジウム3「男性活力; メンズヘルス・スポーツ・フレイルとの戦い」. 第24回日本メンズヘルス医学会, 北海道. 2024年9月
- (7) 甲斐裕子. ナッジを活用した身体活動促進支援の可能性と限界. シンポジウム8「ナッジ研究・実践の未

- 来を考える」. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (8) 兵頭和樹. fNIRSを用いた高齢期における運動と前頭前野機能の関連性. 第26回日本光脳機能イメージング学会学術集会, 東京. 2025年 3 月
- (9) 北濃成樹. 研究所ならではの研究の進め方. 第26回日本健康支援学会年次学術大会, 神奈川. 2025年 3 月

6 学会発表(一般発表)

- (1) 和田 彩, 甲斐裕子, 金森 悟, 川又華代, 楠本真理, 吉葉かおり, 村松祐子, 藤井悠也, 荒尾 孝. 全国上場企業におけるテレワーク従業員に対する労務・健康管理の実態とその関連要因. 第97回日本産業衛生学会, 広島. 2024年 5 月
- (2) Sudo M, Tomiga R, Anjiki K, Kano K, Kose Y, Yamada Y, Ebine N, Higaki Y, Tanaka H, Ando S, Hatamoto Y. Physical activity level measured by doubly labelled water method is associated with brain volume and cognitive function, but not with muscle size in the older adults. 2024 American College of Sports Medicine Annual Meeting, Boston. 2024 May
- (3) Ando S, Tomiga R, Sudo M, Anjiki K, Kano K, Kose Y, Higaki Y, Tanaka H, Hatamoto Y. Brain volume and muscle mass reductions were not prevented by once-a-week exercise in the older people. 2024 American College of Sports Medicine Annual Meeting, Boston. 2024 May
- (4) 前田東子, 和田 彩, 吉田美香子, 吉沢豊予子, 中村康香. 就業中の妊婦における時期・職務別の職務状況および身体症状の実態調査. 第26回日本母性看護学会学術集会, 兵庫. 2024年 6 月
- (5) 北濃成樹, 川上諒子, 藤井悠也, 山口大輔, 村松祐子, 甲斐裕子, 松下由季, 水野陽介, 宮本幸子, 吉田智彦, 荒尾 孝. 活動量計を用いたpopulation-based surveyへの参加者と参加要因に関する記述疫学. 第26回日本運動疫学会学術総会, 長野. 2024年 6 月
- (6) 井上 茂, 天笠志保, 岡浩一郎, 小熊祐子, 甲斐裕子, 岸本裕歩, 田中茂穂, 中田由夫, 石井香織, 原田和弘, 前田清司, 柴田 愛, 北濃成樹, 西田裕一郎, 福島教照, 笹井浩行. 加速度計で評価した日本人成人の身体活動ガイドライン充足率〜プロジェクト研究で募集した統計資料のデータを活用した記述疫学研究〜. 第26回日本運動疫学会学術総会, 長野. 2024年 6 月
- (7) 岡浩一郎, 澤田 亨, 石井香織, 柴田 愛, 川上諒子, 細川佳能, 間野義之. まちなかへのスタジアム・アリーナの誕生は, 住民の行動変容を促し, ウェルビーイングを高めるのか?—自然実験の概要—. 第26回日本運動疫学会学術総会, 長野. 2024年 6 月
- (8) 大西真衣, 野田隆行, 川上諒子, 兵頭和樹, 山口大輔, 西田純世, 甲斐裕子, 荒尾 孝. シニア向けオンライン運動プログラムの社会実装に向けた段階的な取り組みの報告. 日本地域看護学会第27回学術集会, 宮城. 2024年 6 月
- (9) Terada H, Ninomiya W, Kano K, Sudo M, Ando S. Does acute electrical muscle stimulation induce stress responses? XXV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, Aichi. 2024 June
- (10) Kano K, Ando S, Tomiga R, Sudo M, Kose Y, Higaki Y, Tanaka H, Hatamoto Y. Changes in mid-thigh muscle and adipose tissue cross sectional areas in older people: a seven years study. XXV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, Aichi. 2024 June
- (11) Sudo M, Ando S. Physical activity reduces corticosterone level and anxiety-like behaviors in environmental enrichment. 29th Annual Congress of the European College of Sport Science, Glasgow. 2024 July
- (12) Ando S, Hashimoto Y, Kanno I, Kano K, Anjiki K, Ogawa M, Fujibayashi M, Sudo M, Okamoto T. Effects of electrical muscle stimulation and resistance exercise trainings on muscle strength and hypertrophy. 29th Annual Congress of the European College of Sport Science, Glasgow. 2024

July

- (13) Kidokoro T, Kitano N, Klug M, Magnussen CG, Tomkinson GR. Utility of field-based physical fitness tests for predicting blood lipids among Japanese children. 29th Annual Congress of the European College of Sport Science, Glasgow. 2024 July
- (14) 安井賢佑, 庄子博人, 川上諒子, 岩間圭祐. スポーツ観戦が大学生の活力や主観的な健康に与える影響. 日本スポーツ産業学会第33回大会, 東京. 2024年 7 月
- (15) Tanisawa K, Tabata H, Nakamura N, Kawakami R, Usui C, Ito T, Kawamura T, Torii S, Ishii K, Muraoka I, Suzuki K, Sakamoto S, Higuchi M, Oka K. Polygenic risk score, cardiorespiratory fitness, and cardiometabolic risk factors: WASEDA'S Health Study. International Biochemistry of Exercise Conference 2024, Limerick. 2024 July
- (16) 須藤みず紀, 竹田怜央, 草野達哉, 星野太佑, 安藤創一, 狩野 豊. 豊かな環境における自発性身体活動量と海馬における発現変動遺伝子の関係. 第32回日本運動生理学会大会, 石川. 2024年 8 月
- (17) 馬場浩平, 田淵絢香, 須藤みず紀, 星野太祐, 狩野 豊. 伸張性収縮モデルの骨格筋再生プロセスにおけるリアノジン受容体阻害の筋線維径への影響. 第32回日本運動生理学会大会, 石川. 2024年 8 月
- (18) 加納康裕, 安藤創一, 富賀理恵, 須藤みず紀, 古瀬裕次郎, 檜垣靖樹, 田中宏暁, 畑本陽一. 高齢者における大腿筋横断面積および筋内脂肪の経年変化. 第32回日本運動生理学会大会, 石川. 2024年 8 月
- (19) 寺田紘基, 二宮 渉, 加納康裕, 今井大輝, 須藤みず紀, 安藤創一. 骨格筋への電気刺激に対する順応時の生理的応答. 第32回日本運動生理学会大会, 石川. 2024年 8 月
- (20) 今井大輝, 安藤創一, 富賀理恵, 須藤みず紀, 古瀬裕次郎, 加納康裕, 檜垣靖樹, 田中宏暁, 畑本陽一. 加齢による脳容積の変化は領域によって異なるか? 第36回呼吸研究会, 石川. 2024年 8 月
- (21) 角田憲治, 北濃成樹, 甲斐裕子, 神藤隆志. 非アルコール性脂肪肝有所見者におけるインスリン抵抗性指標 TyG index と加速度計で計測された行動指標との関連. 日本体育・スポーツ・健康学会第74回大会, 福岡. 2024年 8 月
- (22) 須藤みず紀. 身体運動の何が脳の健康に資するのか? 第 1 回身体運動研究会, 福岡. 2024年 8 月
- (23) 須藤みず紀, 狩野 豊, 安藤創一. 豊かな環境によるヒラメ筋の肥大と脳機能の関係性. 第78回日本体力医学会大会, 佐賀. 2024年 9 月
- (24) 兵頭和樹, 山口大輔, 渡邊裕也, 野田隆行, 西田純世, 甲斐裕子, 荒尾 孝. 短時間高頻度の自宅で行う 3 カ月のオンライン軽運動が高齢者の実行機能に与える影響—ランダム化比較試験. 第78回日本体力医学会大会, 佐賀. 2024年 9 月
- (25) 馬場浩平, 田淵絢香, 須藤みず紀, 星野佑太, 狩野 豊. 伸張性収縮モデルの骨格筋再生プロセスにおけるリアノジン受容体阻害の影響. 第78回日本体力医学会大会, 佐賀. 2024年 9 月
- (26) 河村拓史, 田端宏樹, 中村宣博, 川上諒子, 伊藤智子, 薄井澄誉子, 宮地元彦, 鳥居 俊, 鈴木克彦, 石井香織, 坂本静男, 岡浩一郎, 樋口 満, 村岡 功, 谷澤薫平. 高齢男性における心肺体力および生活習慣関連因子と生物学的老化との関連: WASEDA'S Health Study. 第78回日本体力医学会大会, 佐賀. 2024年 9 月
- (27) 門間陽樹, Ziheng Wang, 川上諒子, 高橋祐美子, 田島敬之, 西島 壮, 沼尾成晴, 山北満哉, 井上 茂, 中田由夫, 永富良一. 近年の日本体力医学会ではどの領域の研究が発表されているか?: BERTopic modelを用いた記述研究. 第78回日本体力医学会大会, 佐賀. 2024年 9 月
- (28) 鍾 奕成, 谷澤薫平, 田端宏樹, 中村宣博, 川上諒子, 薄井澄誉子, 伊藤智子, 石井香織, 鈴木克彦, 鳥居俊, 宮地元彦, 樋口 満, 坂本静男, 岡浩一郎, 前田清司. 中高齢者のクロノタイプと全身持久力が動脈硬化度に及ぼす影響. 第78回日本体力医学会大会, 佐賀. 2024年 9 月
- (29) Yasui K, Shoji H, Kawakami R, Iwama K. Effects of watching professional baseball games on mental health among university students - focusing on the difference between watching the games on site and via media. 32nd European Sport Management Conference, Paris. 2024 September

- (30) Hyodo K, Dan I, Jindo T, Niioka K, Soya H, Arai T. Mediating role of the age-specific prefrontal activation in the relationship between aerobic fitness and working memory in the elderly. VIII Biennial Meeting of the Society for functional near-infrared spectroscopy, Birmingham. 2024 September
- (31) 古瀬裕次郎, 富賀理恵, 安藤創一, 須藤みず紀, 加納康裕, 安方 惇, 小見山高明, 富賀裕貴, 檜垣靖樹, 畑本陽一. 地域高齢者の嗅覚機能と脳容積の関連—FreeSurferによる定量化—. 第63回日本鼻科学会総会・学術講演会, 東京. 2024年9月
- (32) Kitano N, Fujii Y, Kawakami R, Wada A, Kai Y, Arai T. Gender differences in the longitudinal associations of 24-hour movement behaviors with psychological distress in workers. 10th International Society for Physical Activity and Health Congress, Paris. 2024 October
- (33) Fujii Y, Kitano N, Kawakami R, Kai Y, Arai T. The intention-behaviour gap in muscle-strengthening exercise by socio-demographic status among Japanese adults. 10th International Society for Physical Activity and Health Congress, Paris. 2024 October
- (34) 甲斐裕子. 官民連携によるアウトリーチ型の社会的処方. 自由集会「多様な実施主体による社会的処方を考える」. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (35) 甲斐裕子, 藤井悠也, 吉葉かおり, 村松(野口)祐子, 野田隆行, 高士直己, 矢島陽子, 岩松美樹, 秋田 萌, 春日潤子, 荒尾 孝. 第1報 官民連携によるアウトリーチ型の社会的処方: Y-Linkプロジェクト. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (36) 吉葉かおり, 甲斐裕子, 藤井悠也, 村松(野口)祐子, 野田隆行, 高士直己, 矢島陽子, 岩松美樹, 秋田 萌, 春日潤子, 荒尾 孝. 第2報 行政サービスの利用と地域のつながりとの関連: Y-Linkプロジェクト. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (37) 高橋淳太, 野田隆行, 川上諒子, 山口大輔, 甲斐裕子, 荒尾 孝. オンライン運動教室を活用した通いの場の実装戦略: SOFTプロジェクト. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (38) 野田隆行, 高橋淳太, 川上諒子, 山口大輔, 甲斐裕子, 荒尾 孝. オンライン運動教室を活用した新たな通いの場の展開: SOFTプロジェクトの紹介. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (39) 中田由夫, 金森 悟, 吉本隆彦, 月野木ルミ, 鍵 直樹, 海塩 渉, 塩満智子, 和田 彩, 吉葉かおり, 甲斐裕子. テレワーカーの身体活動, 筋骨格系健康, 職場環境改善に向けた介入試験: 研究デザイン. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (40) 金森 悟, 河川謙二郎, 辻 大士, 井出一茂, 菊池宏幸, 白井こころ, 山北満哉, 甲斐裕子, 近藤克則. 高齢者におけるラジオ体操と要介護および認知症との関連: JAGESコホート研究. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (41) 大塚文恵, 小澤初美, 天野奥津江, 山田卓也, 植田拓也, 武田典子, 佐藤慎一郎, 北畠義典, 荒尾 孝, 根本裕太. 高齢者における就労と暮らし向きの組み合わせと健康状態との関連: 2年間の縦断研究. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (42) 山田卓也, 根本裕太, 植田拓也, 佐藤慎一郎, 武田典子, 小澤初美, 北畠義典, 福田吉治, 荒尾 孝. 地域在住高齢者における健康無関心とフレイルの関連. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (43) 小澤初美, 天野奥津江, 山田卓也, 植田拓也, 武田典子, 佐藤慎一郎, 北畠義典, 荒尾 孝, 根本裕太. 地域の通いの場への参加状況の変化と社会的つながりの関連: 2年間の縦断研究. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (44) 北畠義典, 佐藤慎一郎, 根本裕太, 山田卓也, 武田典子, 中村睦美, 早川洋子, 小澤初美, 福田吉治, 荒尾 孝. 地域高齢者のクロノタイプと不眠との関連(3年間の縦断研究). 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (45) 西村 生, 藤井悠也, 大藏倫博. 高齢期の「声の出しづらさ」は外出頻度の低下につながるか?: 1年間の縦断研究. 第83回日本公衆衛生学会総会, 北海道. 2024年10月
- (46) 高橋淳太, 兵頭和樹, 川上諒子, 野田隆行, 大西真衣, 山口大輔, 西田純世, 甲斐裕子, 荒尾 孝. オンラ

イン運動教室を活用した通いの場の社会実装研究：SOFTプロジェクトの紹介。第11回日本予防理学療法学会学術大会，宮城。2024年11月

- (47) Nagata K, Tsunoda K, Fujii Y, Seol JH, Okura T. Association between type of exercise and risk of developing dementia in older Japanese adults: a prospective study. 4th Asia-Pacific Society for Physical Activity Conference, Perth. 2024 November
- (48) 安藤創一，富賀理恵，須藤みず紀，古瀬裕次郎，今井大輝，檜垣靖樹，田中宏暁，畑本陽一。週1回の運動習慣を持つ地域在住高齢者における脳容積と認知機能の加齢変化。第12回日本介護予防・健康づくり学会大会，茨城。2024年12月
- (49) 林 涌勲，角田憲治，薛 載勲，浅野優次郎，永田康喜，辻 大士，藤井啓介，藤井悠也，神藤隆志，寺岡かおり，大藏倫博。高齢者における手指作業能力と要介護化との量反応関係：かさまスタディによる長期追跡研究。第12回日本介護予防・健康づくり学会大会，茨城。2024年12月
- (50) 大西真衣。シニア向けオンライン運動プログラムの社会実装に向けた教室立ち上げ支援の取り組みの報告—SOFTプロジェクト—。第13回日本公衆衛生看護学会学術集会，愛知。2025年1月
- (51) 澤田 亨，平山怜央，川上諒子，吉葉かおり，吉岡菜津美，甲斐裕子，荒尾 孝。Jリーグ応援経験の有無と主観的幸福感および主観的活力感：横断的研究。第35回日本疫学会学術総会，高知。2025年2月
- (52) Hyodo K, Kawai W, Dan I, Okamoto M, Soya H. Relationship between aerobic fitness, working memory, and prefrontal functional connectivity in older adults: an fNIRS study. ARIHHP Human High Performance Forum 2025, Ibaraki. 2025 February

7 その他の業績(研究費の取得)

- (1) 須藤みず紀。脳の健康を守るために鍛えるべき骨格筋はどこか？身体動作—脳—骨格筋連環に着目して(科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)挑戦的研究(萌芽))。令和6～8年度
- (2) 甲斐裕子。官民連携によるアウトリーチ型の社会的処方の実証研究：社会的つながりは向上するか？(科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)基盤研究(C))。令和7～9年度
- (3) 兵頭和樹。運動に対する潜在的態度を好転させる認知トレーニングの開発：没入型VRの応用(科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)基盤研究(C))。令和7～9年度

Appendix II

健康啓発活動業績一覧

1 講演および講義

- (1) 運動習慣化のコツややる気に頼らず生涯健康に一. 運動に関する基調講話. 税務大学校東京研修所. 2024年4月(対象:税務大学校研修生)
- (2) 職域における身体活動推進と座りすぎ解消—運動・スポーツを活用した健康経営のススメ—. 第45回健康スポーツ医学研修会. 東京都医師会. 2024年5月(対象:日本医師会認定健康スポーツ医)
- (3) 運動指導における社会的つながりの重要性. 令和6年度健康運動指導士更新必修講座. 公益財団法人健康・体力づくり事業財団. 2024年7月(対象:健康運動指導士)
- (4) 行動科学理論を活かした健康支援. 第1回健康づくり推進スタッフ養成研修. 中央労働災害防止協会. 2024年8月(対象:保健師, 看護師, 管理栄養士)
- (5) 痛みとの上手なつき合い方. 第67回さくら保健室. 2024年9月(対象:一般住民)
- (6) 脳機能の向上をもたらす身体運動とメカニズム. 第28回運動と脳の勉強会(月例会). 2024年9月(対象:研究者, 専門職)
- (7) 行動科学理論を活かした健康支援. 第2回健康づくり推進スタッフ養成研修. 中央労働災害防止協会. 2024年10月(対象:保健師, 看護師, 管理栄養士)
- (8) 運動指導における社会的つながりの重要性. 令和6年度健康運動指導士更新必修講座. 公益財団法人健康・体力づくり事業財団. 2024年12月(対象:健康運動指導士)
- (9) 行動科学理論を活かした健康支援. 第3回健康づくり推進スタッフ養成研修. 中央労働災害防止協会. 2025年2月(対象:保健師, 看護師, 管理栄養士)
- (10) スポーツ観戦の長期的な健康効果. 令和6年度Sport in Lifeコンソーシアム総会. スポーツ庁. 2025年3月(対象:一般住民)
- (11) 行動変容理論やナッジを用いた効果的な健康支援. JR東日本2024年度研修会. JR東日本. 2025年3月(対象:保健師, 看護師)

2 メディア掲載

- (1) Response, NewsPicksほか:プレスリリース「持久力の高い高齢者は作業記憶も優れる:新たな脳内メカニズムを解明」に関する内容. 2024年5月
- (2) 法研「へるすあっぷ21」:職域における身体活動促進に関する研究成果. 2024年6月
- (3) 八重山毎日新聞, 十勝毎日新聞, 岩手日日新聞:高齢者の有酸素能力と認知機能の関連性についての研究成果. 2024年9月
- (4) Yahoo!ニュース, Livedoorほか:プレスリリース「在宅勤務で歩数が4,000歩減少, 座位時間が70分増加—活動量計を用いた国内初の研究結果まとまる—」に関する内容. 2024年10月
- (5) MSNニュース, @niftyニュースほか:プレスリリース「国内初!“国民の身体活動量の実態”を把握する大規模調査の報告書を発刊—厚労省が推奨する身体活動量の達成率は運動・スポーツ実施者が69.1%で非実施者を上回る—」. 2024年11月
- (6) Livedoor, MSNニュースほか:プレスリリース「スポーツを観るところが元気に!現地観戦はもちろんメディア観戦でも—世界初!スポーツ観戦の長期的な健康効果を解明—」に関する内容. 2024年11月
- (7) スポーツ産業新報:スポーツ観戦の健康影響に関する研究成果. 2024年12月
- (8) 時事メディカル:高齢者の有酸素能力と認知機能の関連性についての研究成果. 2024年12月
- (9) HealthDay Japan:スポーツ観戦の健康影響に関する研究成果. 2024年12月
- (10) 株式会社プレジデント社「ヨガジャーナル日本版」vol. 95:就寝前のストレッチが更年期症状と抑うつ度に与える影響に関する研究成果. 2024年12月

- (11) 毎日新聞：スポーツ観戦の健康影響に関する研究成果. 2025年 1 月
- (12) 中国新聞：第40回若手研究者のための健康科学研究助成に関する内容. 2025年 1 月
- (13) 北國新聞：第40回若手研究者のための健康科学研究助成に関する内容. 2025年 1 月
- (14) 保陰毎日新聞：第40回若手研究者のための健康科学研究助成に関する内容. 2025年 2 月
- (15) 千葉新報：第40回若手研究者のための健康科学研究助成に関する内容. 2025年 2 月
- (16) 八重山毎日新聞, 十勝毎日新聞：日本国内における身体活動の実態調査に関する研究成果. 2025年 3 月
- (17) 日刊ゲンダイ：スポーツ観戦の健康影響に関する研究成果. 2025年 3 月
- (18) Yahoo!ニュース：スポーツ観戦の健康影響に関する研究成果. 2025年 3 月
- (19) デイリースポーツ：スポーツ観戦の健康影響に関する研究成果. 2025年 3 月
- (20) MSNニュース, Livedoorほか：プレスリリース「私たちはどのくらい動いているのか？客観的データがない課題の解決へ 計測機器を用いた国内初の全国調査 厚労省が推奨する身体活動量の達成率は47.9% (速報値)」に関する内容. 2025年 3 月

Appendix III

第40回(2024年度)若手研究者のための健康科学研究助成受贈者一覧

a. 指定課題 (1件, 300万円を助成)

(五十音順・敬称略, 所属は応募時のものを記載)

氏 名	所 属	研究テーマ
中込 敦士	千葉大学 予防医学センター	ピアサポートアプリによる高齢者の身体活動促進によるフレイル予防事業の社会実装研究

b. 一般課題 (12件, 一律100万円を助成)

氏 名	所 属	研究テーマ
和泉 優奈	徳島大学大学院 医歯薬学研究部	運動時における骨格筋アミノ酸代謝動態の意義と栄養学的介入法の検討
荻野 龍平	広島大学大学院 医系科学研究科	肥満と運動が脂肪由来間葉系幹細胞の有する免疫調節作用に与える影響の解明
川間 羅聖	同志社大学 研究開発推進機構	ディトレニングによって生じる筋萎縮の個人差を予測する新たな試み—筋線維組成を捉える非侵襲的手法を活用して—
Koustav Roy	筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構	覚醒と行動調節におけるドーパミンD3受容体を発現するユニークな神経細胞集団の役割の解明
酒井 洸典	東海大学 医学部	運動習慣獲得のための行動変容モデルの開発—テキストマイニングで探索する促進要因と阻害要因—
高田 泰史	金沢大学附属病院 リハビリテーション部	変形性膝関節症の「痛み」を骨格筋活動からひも解く—PETを用いた歩行時の骨格筋活動評価—
土田 竜貴	東京都立大学 人間健康科学研究科	運動中の空間認知は海馬に対する運動効果を媒介するか?
土橋 祥平	筑波大学 体育系	若年期の運動不足が将来の脳機能低下を引き起こす“脳神経肥満”機構の解明
中村 美幸	順天堂大学 スポーツ健康科学部	うつ病の発症に影響するネガティブ記憶は運動で予防できるのか?—記憶の忘却効果をもつ指示忘却に対する運動の有用性の検証とその神経基盤の解明—
朴 寅成	筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構	運動習慣が深睡眠に及ぼす影響— δ 波の安定性に基づく機能的な睡眠脳波の解析—
方 凌艶	東京大学大学院 薬学系研究科	糖嗜好形成の分子・神経回路基盤の解明
森 裕樹	東京都健康長寿医療センター研究所 社会参加とヘルシーエイジング研究チーム	社会参加に消極的な高齢者の運動や栄養に関する健康行動がフレイルに及ぼす影響—追跡研究による実態解明—

Appendix IV 研究助成受贈者の論文紹介

運動イメージを併用した運動練習は運動の学習効率を向上させる

Fukumoto Y, Todo M, Suzuki M, Kimura D, Suzuki T. Changes in spinal motoneuron excitability during the improvement of fingertip dexterity by actual execution combined with motor imagery practice. *Heliyon*. 2024; 10: e30016.

福本悠樹（関西医療大学大学院 保健医療学研究科、第38回受贈者）

何らかの疾病により運動技能が失われた場合、運動練習を繰り返し、適切な運動の再学習を図っていく必要がある。一方で反復した運動練習効果には天井効果も存在し、一挙に得られる即時効果には制限がかかることも知られている。そこで、各運動練習後に訪れる休息時間には、直前に行った運動遂行時の記憶から誤差を考慮して、運動プログラムの修正が行われている点に着目し、ここに心的な記憶の再生とされる運動イメージを挿入することで、より高い運動練習効果を導けるのではないかと着想した。このような手法は、過去にも検討されていたが一定の結果は得られておらず、その一因として、神経基盤（特に脊髄運動神経機能の興奮性）の検討の不十分さが挙げられる。そこで、脊髄運動神経機能の興奮性変化とともに運動練習と運動イメージの併用効果を検討したところ、運動技能習熟過程では脊髄運動神経機能の興奮性増大は抑える必要があることが示された。更に運動練習と運動イメージの反復により運動技能は向上し、これは運動練習単独実施の場合よりも技能向上の度合いが大きくなることも明らかとなった。したがって、運動練習の反復実施時に、その間を単に休息期間とするのではなく、運動イメージを実施させることの有用性が示唆された。

高齢者の睡眠の質改善と関連するのは、運動強度か頻度か実施時間帯か

Kamiya K, Hayashi E, Saito M, Nukui Y, Nakayama S, Kanazawa T, Tamaki J. Effects of intensity, frequency, and time window of exercise on sleep quality among community-dwelling adults aged 65–86 years. *Sleep Medicine*. 2024; 119: 173–8.

神谷訓康（神戸市看護大学、第36回受贈者）

地域在住高齢者を対象に、早歩きによる運動トレーニング（exercise training：ET）が睡眠の質に及ぼす影響を、運動の強度、頻度、実施時間帯に着目して分析した。対象は65歳以上で、ベースライン時にピッツバーグ睡眠質問票（PSQI）のスコアが6点以上であった128名である。対象者をET群63名とコントロール群（CON群）65名に割り付けた。ET群には、5か月間、専用の加速度計を装着して早歩き運動を実施してもらった。運動強度は、ベースライン時に測定した最大歩行速度の70%以上とし、この速度で歩行するよう指導した。運動の頻度や時間帯は対象者の自由とし、専用の加速度計を用いて運動強度・頻度・時間帯を記録した。その結果、PSQIで評価した睡眠の質の変化について、ET群とCON群の間に有意差は認められなかった。サブグループ解析の結果、女性では就寝3～8時間前にETを実施した場合、男性では就寝8時間以上前かつ起床1時間以上後にETを実施した場合、および週5.05日以上頻度でETを実施した場合に、他のET群の対象者よりも睡眠の質の改善が大きい傾向がみられた。以上の結果から、本研究では早歩きによる睡眠の質の改善は認められなかったが、運動の実施時間帯や頻度によっては、睡眠の質を向上させる可能性が示唆された。

労働者の身体活動促進のためのスマホアプリ：単群の実現可能性試験

Watanabe K, Okusa S, Sato M, Miura H, Morimoto M, Tsutsumi A. mHealth intervention to promote physical activity among employees using a deep learning model for passive monitoring of depression and anxiety: single-arm feasibility trial. JMIR Formative Research. 2023; 7: e51334.

渡辺和広（北里大学 医学部 公衆衛生学，第38回受贈者）

スマートフォンなどの端末を通じて介入を提供するモバイルヘルス（mHealth）は身体活動の促進に有効だが、メンタルヘルスの改善に対するエビデンスは十分でなく、労働者の継続利用にも課題がある。本研究では、労働者の身体活動促進と抑うつ・不安の低減を目的としたスマートフォンアプリ「ASHARE」の有効性と導入の実現可能性を検討した。2023年3～4月に、18歳以上の労働者24名を対象に1か月間の単群介入試験を実施した。「ASHARE」は、セルフモニタリングなどの基本的な行動変容技法のほか、深層学習を活用し、身体活動データから抑うつ・不安の状態を受動的にモニタリングする機能を備える。試験の結果、労働者の身体活動量や心理的苦痛の平均値に有意な変化はなかったが、重度の心理的苦痛を示す参加者の割合は有意に減少した。一方で、アプリの利用日数は12.5日（44.8%）にとどまり、アプリの受容性や満足度は既存のmHealth研究と比較して低かった。アプリの有効性を高めるためには、アプリの受容性、適切性、満足度を向上させ、継続利用率を高めることが重要である。

運動強度および情動におけるフェイスマスク着用の影響

Hidaka K, Sonoda S, Yamaguchi T, Kose Y, Hyodo K, Oda K, Eshima H. The effects of wearing face masks on the perception and mood of male healthy male adults during treadmill running: a pilot study. Physiological Reports. 2024; 12(10): e16036.

江島弘晃（長崎国際大学 人間社会学部 国際観光学科，第39回受贈者）

過去数年、他人を新型コロナウイルス感染症にさらさないためにマスクの着用が推奨されてきた。運動中にマスクを着用すると、呼吸困難や不快感が増す可能性があるが、運動中にマスクを着用することがランナーの主観的運動強度、気分に影響を及ぼすかどうかについては議論がある。本研究は、異なる強度で運動しながら長距離走を経験した健康な成人男性の生理学的および情動反応を調査した。外科用フェイスマスクを着用した長距離ランナーである9人の健康な若年成人が、漸進的なトレッドミルプロトコルを実施した。プロトコルは、6分間の3つのステージ（各最大心拍数の20%（低）、40%（中）、および60%（高））であった。主観的運動強度（Rating of Perceived Exertion: RPE）と感情スケール（Feeling Scale: FS）を測定した。RPEはマスク着用時のほうが非着用時よりも高かった（マスクなしvsフェイスマスク、低: 8.22 vs 8.78, $P = 0.615$, 中: 10.00 vs 10.78, $P = 0.345$, 高: 12.33 vs 13.67, $P = 0.044$ ）が、FSは条件間で差がなかった。本研究では、長距離走を経験した健康な成人男性の場合、運動強度が一定の閾値を超えると、マスク着用により主観的運動強度の評価が増加する一方で、心理的な影響はわずかである可能性が示唆された。

Appendix V

公益財団法人 明治安田厚生事業団
第41回 若手研究者のための健康科学研究助成

研究テーマ

- a. 指定課題：健康増進のための実装研究
エビデンスに基づく健康増進策を社会に普及・定着させる方法の開発と評価を行う「社会実装型」の研究
- b. 一般課題：健康増進に寄与する学術研究
※いずれか1件のみ応募可

助成の金額

- 総額1,500万円
- a. 指定課題（1件以内）：1件につき300万円
- b. 一般課題（12件以内）：1件につき100万円

助成の期間

2年間

応募資格

- ・健康科学研究に従事し、修士以上の学位を有する方（医学・歯学・薬学の学士などを含む）、かつ所属長または指導教官の推薦を受けた方
- ・指定課題：50歳未満の方※、ただし第38回以降の指定課題受贈者および応募開始時点で当該研究助成を受贈中の方は除く
- ・一般課題：40歳未満の方※、ただし当該研究助成の既受贈者は除く（第40回までの受贈者は応募不可）

※2025年7月1日（応募開始）時点の年齢

応募締切

2025年9月25日（木）必着

主 催：公益財団法人 明治安田厚生事業団

後 援：日本体力医学会
明治安田生命保険相互会社

選 考 委 員：委員長 井澤鉄也（同志社大学大学院 スポーツ健康科学研究科 教授）

a. 指定課題

- （敬称略・五十音順）
- 委 員 荒尾 孝（公益財団法人 明治安田厚生事業団 体力医学研究所 名誉所長）
- 委 員 小熊祐子（慶應義塾大学 スポーツ医学研究センター 教授）
- 委 員 川上憲人（東京大学大学院 医学系研究科 特任教授・一般財団法人 涼風会 代表理事 理事長）
- 委 員 島津太一（国立がん研究センター がん対策研究所 行動科学研究部 室長）
- 委 員 中村陽一（立教大学 名誉教授・東京大学大学院 情報学環 特任教授）

b. 一般課題

- （敬称略・五十音順）
- 委 員 井澤鉄也（同志社大学大学院 スポーツ健康科学研究科 教授）
- 委 員 井上 茂（東京医科大学 公衆衛生学分野 主任教授）
- 委 員 北 一郎（東京都立大学 人間健康科学研究科 教授）
- 委 員 永松俊哉（山野美容芸術短期大学 美容総合学科 教授）
- 委 員 村岡慈歩（明星大学 教育学部 教授）

- 応募方法：申請書を研究助成ホームページからダウンロードして作成してください。
作成した「申請者情報ファイル（エクセル形式）」と「研究計画ファイル（ワード形式）」を事務局宛にメールでお送りください。
※パスワードが設定されたファイルや圧縮されたファイルは受理できません。
※応募申請書は、事前に当事業団ホームページ掲載の動画の内容を確認のうえ作成してください。

○申請書ダウンロード：<https://www.my-zaidan.or.jp/josei/entry/>○申請書送付先メールアドレス：josei@my-zaidan.or.jp

○お問合せ：公益財団法人 明治安田厚生事業団 体力医学研究所 研究助成事務局

〒192-0001 東京都八王子市戸吹町150 TEL: 042-691-1163 FAX: 042-691-5559

Bulletin of the Physical Fitness Research Institute
published by
Meiji Yasuda Life Foundation of Health and Welfare,
150, Tobuki, Hachioji, Tokyo

2025年 5 月31日

発行者	生井俊夫
編集者	甲斐裕子
発行所	公益財団法人 明治安田厚生事業団 体力医学研究所 〒192-0001 東京都八王子市戸吹町150 電話 (042) 691-1163番 (代表)
編集協力	編集室かわかみ
印刷製本	亜細亜印刷株式会社

Bulletin of the Physical Fitness Research Institute

Number 123 May 2025

Report

Current state of the "community gathering space" implemented online for exercise programs and the issues associated with its introduction

Junta Takahashi, Takayuki Noda, Mai Onishi, Kazuki Hyodo,
Ryoko Kawakami, Daisuke Yamaguchi, Sumiyo Nishida, Yuko Kai,
and Arai T 1

Secondary Publication

Association of watching sports games with subsequent health and well-being among adults in Japan: an outcome-wide longitudinal approach —secondary publication in Japanese language of an original English article published in the Preventive Medicine

Kawakami R, Kitano N, Fujii Y, Jindo T, Kai Y, and Arai T 8

Associations of working from home frequency with accelerometer-measured physical activity and sedentary behavior in Japanese white-collar workers: a cross-sectional analysis of the Meiji Yasuda LifeStyle study —secondary publication in Japanese language of an original English article published in the Journal of Physical Activity and Health

Kitano N, Fujii Y, Wada A, Kawakami R, Yoshida K, Yamaguchi D, Kai Y,
and Arai T 30

Neural mechanisms of the relationship between aerobic fitness and working memory in older adults: an fNIRS study —secondary publication in Japanese language of an original English article published in the Imaging Neuroscience

Hyodo K, Dan I, Jindo T, Niioka K, Naganawa S, Mukoyama A, Soya H,
and Arai T 52

Promoting health and productivity management in small companies through outreach-based public-private partnership: the Yokohama Linkworker Project —secondary publication in Japanese language of an original English article published in the Frontiers in Public Health

Kai Y, Fujii Y, Takashi N, Yoshida K, Muramatsu-Noguchi Y, Noda T, Jindo T,
Kidokoro T, Yajima Y, Kasuga J, and Arai T 86