

〔二次出版〕

高頻度・短時間のウェブベースで行う低強度エアロビックダンス運動が高齢者の体組成, 身体機能および身体活動量に及ぼす影響： 無作為化対照試験

—BMC Geriatrics に掲載された英語論文の
日本語による二次出版—

渡邊裕也^{1,2)†}, 兵頭和樹^{1)†}, 山口大輔¹⁾, 野田隆行¹⁾, 西田純世¹⁾,
上野愛子¹⁾, 甲斐裕子¹⁾, 荒尾 孝¹⁾

SUMMARY

背景：身体不活動は世界中の高齢者にとって心身の機能低下や健康リスクの増大に関連する重要な問題である。従来の運動プログラムは、アクセス性やモチベーション維持といったバリアがある。オンラインの在宅運動プログラムは、スケーラブルかつアクセスしやすい解決策を提供する。本研究は、12週間にわたってオンラインで行う高頻度・短時間の低強度エアロビックダンス運動プログラムが、高齢者の体組成, 身体機能および身体活動量に及ぼす効果を検討した。

方法：81名の高齢者を運動群(n = 41)または対照群(n = 40)に無作為に割り付けた。運動群は平日の午前中に実施される20分間の低強度エアロビックダンスセッションからなる12週間の在宅オンラインプログラムに参加した。対照群は通常の生活を維持した。介入前後に体組成, 身体機能および身体活動量を評価した。

結果：71名(運動群36名, 対照群35名)が試験を完了した。運動群は対照群と比較して最大歩行速度が0.10 m/s 有意に改善し, 体組成, 身体活動量, その他の身体機能指標には群間に有意差は認められなかった。参加率は94.5% であり, 介入の高い実施可能性が示された。

結論：12週間のオンラインエアロビックダンス運動プログラムは歩行速度を選択的に改善し, 高齢者の特定の運動機能を向上させる可能性が示唆された。オンライン介入はアクセス性とスケーラビリティに優れており, 高齢者の機能的自立と健康的な加齢の促進に寄与する。今後の研究では長期的効果を検討するとともに, その効果を最大化するためのプログラムの最適化が求められる。

Key words: 低強度運動, 低強度身体活動, オンライン運動, オンライン介入,
無作為化対照試験, 歩行速度, COVID-19

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) びわこ成蹊スポーツ大学 スポーツ学部 Faculty of Sport Study, Biwako Seikei Sport College, Otsu, Japan.

† 渡邊裕也・兵頭和樹は本研究に等しく貢献した。

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。

Watanabe Y, Hyodo K, Yamaguchi D, Noda T, Nishida S, Ueno A, Kai Y, Arai T. Effects of frequent, short-duration web-based light-intensity aerobic dance exercise on body composition, physical function, and physical activity in older adults: a randomized controlled trial. BMC Geriatrics. 2025; 25(1): 831. doi: 10.1186/s12877-025-06495-3

原著論文は Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0) の下で公開されており, 本翻訳は当該ライセンスの条件に従って作成されています。原著論文の著者と本論文の著者は同一です。また原典に付随する補足資料は翻訳・掲載していませんので, 原典をご参照ください。

背 景

身体活動は、身体・精神・社会機能など、高齢者のさまざまな健康アウトカムに好影響をもたらすことが知られている^{1,2)}。一方、座位行動はこれらのアウトカムに悪影響を及ぼすことも示されている³⁾。こうした知見を踏まえ、世界保健機関(WHO)は、座位行動の削減と合わせて、定期的な中高強度の有酸素運動および筋力増強運動を実施するよう推奨している⁴⁾。しかし、身体的な制限・疼痛・モチベーションの低さ・環境上のバリアなどにより、多くの高齢者はこれらの基準を満たすことに困難を感じている^{5,6)}。低強度身体活動(LPA)は、身体的・心理的ストレスが低く、受傷リスクが低減されており、日常生活に組み込みやすいため、多くの高齢者にとって実施可能かつ安全な代替手段となりうる⁷⁾。介入研究および観察研究からの新たなエビデンスは、LPAが移動能力・バランス・筋力などの身体機能、更には心血管および代謝の健康を改善しうることを示唆している⁷⁻⁹⁾。

更に、インターネットを介して運動プログラムを届けるオンライン運動教室が、交通手段の困難や施設へのアクセス不足といった環境上のバリアを克服する手段として注目されている¹⁰⁾。こうしたオンラインプログラムの普及は、対面活動が制限されたCOVID-19パンデミックによって大幅に加速した¹⁰⁾。近年、筋力トレーニング・有酸素運動・ヨガなどの在宅オンライン運動プログラムの実施可能性に関する研究が行われている¹¹⁻¹⁴⁾。Granetら¹⁴⁾は、高齢者をライブ・インタラクティブ運動群と録画運動群に無作為に割り付ける12週間の介入を実施した。両群とも歩行速度や5回椅子立ち上がりテストなどの体力指標において有意な改善を示した。特筆すべきは、ライブ・インタラクティブ群がより大きな改善と低い脱落率(16%)を示したのに対し、録画群の脱落率は46%であったことである。この結果は、インストラクターや他の参加者とのリアルタイムの相互交流が、運動プログラムのモチベーション維持と参加継続

において重要であることを示唆している。

そこで、高齢者にとって実施可能かつアクセスしやすい運動プログラムを構築するため、我々はZoomアプリケーションなどのビデオ会議プラットフォームを介して提供される、オンライン・短時間(20分)・低強度のエアロビックダンス運動プログラムを開発した。我々の先行研究では、本プログラムの実施可能性・安全性・楽しさ・使いやすさが確認されており¹⁵⁾、高齢者の健康増進とフレイル予防への貢献が示唆された。しかし、体組成・身体機能・身体活動量に対する効果は依然として明らかではない。本研究は、短時間(20分)・高頻度・低強度のインタラクティブオンライン運動プログラムを高齢者に対して初めて無作為化対照試験で評価することにより、既存の文献におけるギャップに対処するものである。評価指標には体組成・身体機能・客観的に測定された身体活動量が含まれる。中高強度身体活動(MVPA)を行うことにさまざまなバリアを抱える高齢者に対する、このような低強度オンラインプログラムの有効性に関するエビデンスはいまだ限られている。

したがって本研究は、平日午前中に実施される短時間・高頻度の12週間オンラインエアロビックダンス運動プログラムへの参加が、地域在住高齢者の体組成・身体機能・日常身体活動量の改善につながるかどうかを検証することを目的とした。本試験はプログラムの有効性を検討することを主目的としたため、技術的バリアを最小にすべく、運動群の全参加者には必要な情報通信技術(ICT)システム(デバイスおよびインターネット接続環境)が提供された。我々は、本プログラムへの参加によって、(1)朝の運動が活力を高めて日常の身体活動量が増加し、(2)除脂肪体重の増加と脂肪量の減少により体組成に良好な影響が生じ、(3)より機能的な身体動作を促進することからバランスや移動能力などの身体機能が向上するという仮説を立てた。

研究デザインと方法

A. 参加者

東京都八王子市の60歳以上の地域在住高齢者を対象にチラシを用いて参加者を募集した。認知機能については、日本語版ミニメンタルステート検査(MMSE-J)を用いてスクリーニングを行い、カットオフスコアを24点以上とした¹⁶⁾。MMSE-Jは認定販売業者から入手した公式用紙を用いて実施した。認知症や脳卒中の既往歴を含む病歴および服薬状況については、自記式質問紙により調査した。除外基準は以下のとおりとした：(1)かかりつけ医からの運動制限がある者、(2)立位での運動が不可能な者、(3)脳卒中・認知症・重篤な疾患の既往歴がある者、(4)MMSE-Jスコアが23点以下の者、(5)精神安定剤またはホルモン剤を使用している者、(6)コントロール不良の高血圧(収縮期血圧 ≥ 160 mmHg および/または拡張期血圧 ≥ 95 mmHg)を有する者。参加者は、群間のバランスを確保するため、性別と年齢カテゴリー(75歳未満または75歳以上)に基づく層化無作為化によって割り付けた。

すべての参加者は本研究の目的・手順・リスクについて十分な説明を受け、参加前に書面による同意を提供した。明治安田厚生事業団倫理審査委員会が研究プロトコルを承認した(承認番号：2022-0001)。本研究は UMIN 臨床試験登録データベース(UMIN000044758)に登録されている。

B. 研究手順

12週間のオンライン運動介入の無作為化対照試験は、2021年9～11月および2022年1～4月の2コホートに分けて実施された。介入前の測定後、参加者を運動群または対照群に無作為に割り付けた。運動群は12週間にわたり平日午前中に実施されるオンライン運動セッションに参加した。対照群には12週間、通常の生活を維持するよう指示した。介入後の測定は12週間の介入期間終了後に実施した。

C. 介入プログラム

本介入プログラムの詳細は先行研究で報告され

ている¹⁵⁾。概要を述べると、オンライン運動プログラムはZoomを介して提供され、5名のプロのインストラクターのうちの1名が日ごとに交代で指導した。各セッションは20分間で構成され、5分間のウォームアップ、10分間の低強度エアロビックダンス(「スローエアロビック[®]」)、および5分間のクールダウンを含んだ。プログラムは12週間にわたり週5日(月～金曜日)実施された。参加者は2回の朝のセッション(午前8時30分または9時30分開始)のどちらかを選択することができた。5名のプロのエアロビックダンス運動インストラクター(男性1名・女性4名)のうちの1名がZoomを使用して運動プログラムを指導した。

スローエアロビックは、高齢者向けに特別に設計された低強度のリズミカルなエアロビックダンス運動である。3つの主要な動作パターンが組み込まれている：(1)体幹の側方伸展、(2)胸郭を開く腕の動作、(3)体幹の回旋。詳細な動作説明は文献¹⁷⁾を参照されたい。これらの動作は、高齢者が安全かつ快適に参加できるよう選定された、ビート毎分(bpm)90～120の音楽に合わせて実施される^{17,18)}。本プログラムは、柔軟性・姿勢制御・全身の身体活動を促進するため、体幹と胸郭の動的な可動性を重視している。運動は立位で行われ、専用器具や広いスペースを必要としないため、自宅での実施が容易である。参加者の関心を維持するため、2週間ごとに動きを一部変更した。

D. オンライン運動提供と安全管理システム

各参加者にはオンライン運動教室参加に必要なデバイス(ZoomとLINE WORKSアプリが事前インストールされたタブレット、心拍数モニター、心拍数測定用スマートフォン、Wi-Fiルーター)が貸与された¹⁵⁾。すべてのデバイスは無償で貸し出され、参加者には機器の使用方法について説明した。毎朝、セッションのリンクを含んだリマインダーがLINE WORKSを通じて送信され、運動セッションへの参加手続きが簡略化された。

安全管理のため、参加者は各セッション前にLINE WORKSを介した簡易な健康状態チェックリストを記入するよう求められた。これには自己

申告による血圧と全般的な健康状態に関する質問が含まれた。収縮期血圧180 mmHg 以上または拡張期血圧110 mmHg 以上の参加者には、安全上の理由から当日の参加を控えるよう指示した。セッション中は、心拍数モニター (OH1, Polar 社, フィンランド)を用いて参加者の心拍数をリアルタイムでモニタリングし、データはオンラインシステムを通じて研究チームに送信された。研究スタッフは Zoom を通じて参加者の動作を継続的に観察し、適切な運動フォームを確保するとともに、懸念事項が生じた際には速やかに対応した。

E. 測定項目

身体計測指標・体組成・身体機能・身体活動量を、12週間の介入前後にコミュニティセンターまたは我々の研究所において測定した。6名の訓練された研究所メンバーが測定を実施した。身長はアナログ身長計を用いて足底から頭頂部まで0.1 cm 単位で測定した。体重・除脂肪体重・体脂肪率は、参加者が裸足の状態で、生体電気インピーダンス測定装置(InBody 430, Biospace 社, 韓国)を用いて測定した。体格指数(BMI)は体重を身長²の二乗で除して算出した。

握力・椅子立ち上がり・開眼片脚立ち・通常歩行速度・最大歩行速度を含む、一連の身体機能テストを実施した。握力はスメドレー式ハンドダイナモメーター (TKK5401, 竹井機器工業株式会社, 日本)を用いて測定した^{19,20)}。左右の手それぞれについて、短い休憩を挟み最大努力で2回ずつ測定した。4試行(左右各2試行)の最大値を解析に使用した。5回椅子立ち上がりテストおよび30秒椅子立ち上がりテストを実施した^{19,20)}。参加者には、肘掛けのない堅固な背もたれ付き椅子から可能な限り素早く立ち座りを繰り返すよう指示した。5回椅子立ち上がりのパフォーマンスはストップウォッチを用いて測定し、30秒以内の反復回数をカウントした。各テストは1回ずつ実施した。開眼片脚立ち時間はストップウォッチで測定した¹⁹⁾。参加者は手を腰に当て、どちらか一方の足で立つよう指示された。支持脚が開始位置からずれた場合、挙上した脚が床または支持脚に触れた場合、

または腰に当てた手が離れた場合に測定を中止することが参加者に説明された。測定の最大時間は180秒とした。短い休憩を挟み2試行を実施し、高い値を解析に使用した。10 m 歩行テストを通常歩行速度と最大歩行速度の両方で実施し、最初と最後の各2 mを除いた6 mの歩行時間を光電管システム(Witty, Microgate 社, イタリア)を用いて測定した。本研究では、4対の光電管を出発ライン、そこから2 m・8 m・10 mの位置に設置した。通常歩行テストでは習慣的な歩行を評価するため普段のペースで歩くよう指示し、最大歩行テストでは可能な限り速く歩くよう指示した。いずれの場合も短い休憩を挟み2試行を実施し、短い歩行時間を解析に使用した。歩行速度(m/s)は6 mを2試行の短い歩行時間で除して算出した^{19,20)}。

3軸加速度計(Active Style Pro HJA750-C, オムロンヘルスケア株式会社, 日本)を用いて、身体活動(PA)および座位行動(SB)を評価した^{21,22)}。参加者には少なくとも10日間、起床中に腰部に装置を装着するよう指示した。エポック長は60秒に設定し、メーカー提供ソフトウェアを使用して推定代謝当量(METs)値を算出した。非装着時間は、活動量が検出限界以下の連続60分間として定義した²³⁾。1日の有効日は参加者が加速度計を少なくとも10時間装着した日と定義した²⁴⁾、4日以上の有効日をもつ参加者のみを解析に含めた。各60秒エポックはSB(≤ 1.5 METs)・LPA(1.6~2.9 METs)・MVPA(≥ 3.0 METs)に分類した^{25,26)}。各活動に費やした時間は1日当たりで集計し、すべての有効日の平均を算出した。

F. 統計解析

統計解析はR 4.4.1(R Foundation for Statistical Computing, オーストリア)を使用して実施した。介入効果を検討するため、すべての変数について共分散分析(ANCOVA)を実施した。従属変数は介入後スコア、独立変数は群(運動群対対照群)とした。ベースラインの差を統制するため、ベースライン(介入前)スコアを共変量として含めた。主解析は完全ケースに基づく modified intention-to-

treat (mITT) アプローチを用いて ANCOVA を実施した。感度分析として、3つの追加解析を実施した：(1) 選択バイアスの影響を評価するための多重代入法による欠損値補完を用いた ITT 解析(詳細は補足表 1 参照)、(2) 群間差による交絡の可能性に対処するため、主解析のベースライン共変量に加えて歩数を調整した mITT 解析、および(3) per-protocol 解析。統計的有意水準は $P < 0.05$ とした。

結 果

本研究の CONSORT ダイアグラムを図 1 に示す。12週間のオンライン運動介入のベースライン評価(事前測定)に参加した高齢者は合計102名であった。そのうち21名が、適格基準を満たさなかった($n = 16$)または参加を辞退した($n = 5$)ため除外された。その結果、81名が運動群($n = 41$)または対照群($n = 40$)に無作為に割り付けられた。割り付け時点で、5名(運動群2名・対照群3名)が割り当てられた介入を辞退したが、事後測定には参加した。更に、6名(運動群3名・対照群3名)が

介入期間中に試験から脱落し、事後測定に参加しなかった。脱落の理由は、運動群では介入と無関係な怪我($n = 1$)、ICT 機器の使用困難($n = 1$)、スケジュールの都合($n = 1$)であり、対照群では測定の負担($n = 3$)であった。介入に起因する脱落は認められなかった。CONSORT ダイアグラムには記載されていないが、運動群の1名が介入途中に介入と無関係な膝の怪我を経験し、参加率が著しく低下したため、per-protocol 解析から除外した。したがって、主 ITT 解析には事後介入評価に参加した運動群38名・対照群37名のデータが含まれた。per-protocol 解析には運動群35名・対照群34名が含まれた。更に、多重代入法解析では欠損値がすべての参加者について補完され、運動群41名・対照群40名のデータを解析に含めた。多重代入法解析を除き、各解析に含まれる参加者数は特定項目の欠損データにより若干異なった。介入前の両群の人口統計学的特性を表 1 に示す。

運動群の継続率は92.3%であり、当初の割り付けを受け入れた39名のうち3名が脱落した。運動群39名の平均参加率は $94.5 \pm 6.4\%$ であった。また、

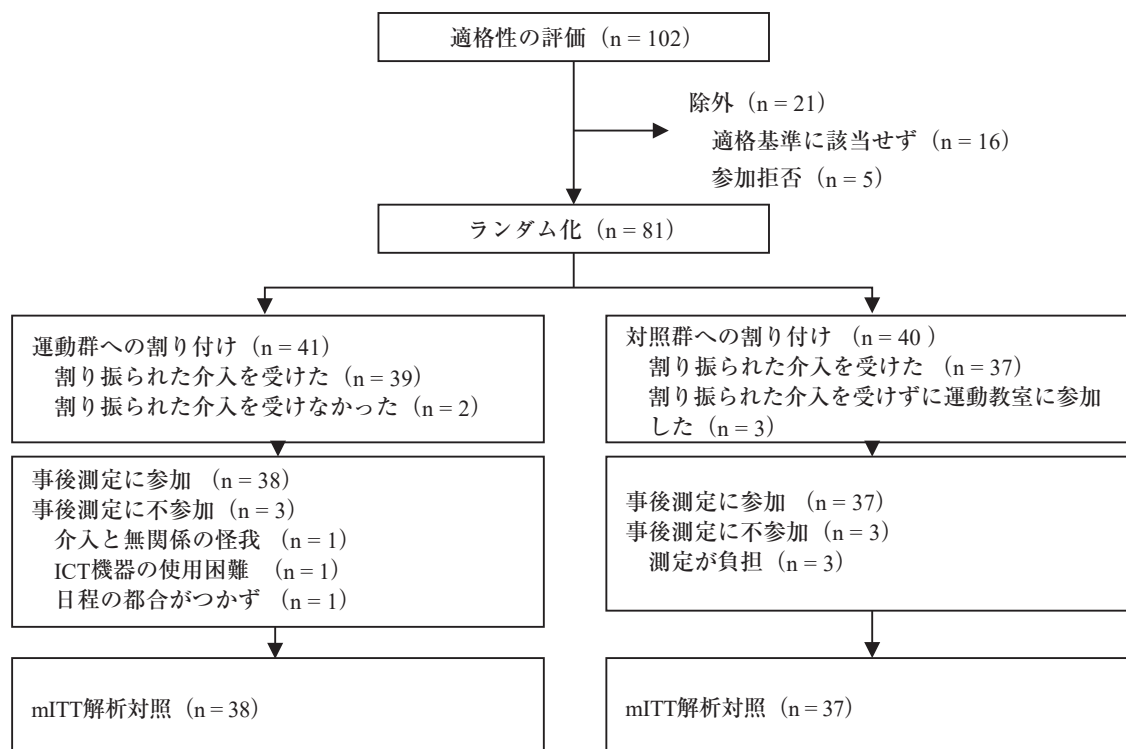


図 1. CONSORT ダイアグラム

表 1. 参加者のベースライン特性

特性	全体 (n = 81)	運動群 (n = 41)	対照群 (n = 40)
年齢(歳)	75.9(5.2)	76.0(5.2)	75.8(5.4)
性別(男性)	13(16.0%)	6(14.6%)	7(17.5%)
教育年数(年)	13.0(2.1)	12.9(2.0)	13.2(2.2)
MMSE(点)	28.4(1.7)	28.5(1.5)	28.4(1.9)
自己評価健康感(良好以上)	65(80.2%)	36(87.8%)	29(72.5%)
身長(cm)	153.6(7.9)	153.4(7.3)	153.8(8.6)
体重(kg)	53.4(9.1)	52.6(8.2)	54.3(10.0)
BMI(kg/m ²)	22.6(3.4)	22.3(2.8)	23.0(4.0)
筋肉量(kg)	19.1(3.4)	18.8(3.0)	19.4(3.9)
脂肪量(kg)	17.2(6.5)	16.9(5.4)	17.5(7.6)
体脂肪率(%)	31.6(8.1)	31.7(6.9)	31.5(9.3)
握力(kg)	23.3(6.1)	22.7(5.6)	24.0(6.5)
通常歩行速度(m/s)	1.37(0.23)	1.37(0.20)	1.38(0.25)
最大歩行速度(m/s)	1.82(0.32)	1.83(0.30)	1.82(0.34)
日常歩数(歩/日)	4543(2197)	5203(2400)	3847(1735)
座位行動(%)	59.2(9.8)	57.5(11.4)	61.0(7.5)
低強度身体活動(%)	36.6(8.6)	37.7(10.1)	35.5(6.7)
中高強度身体活動(%)	4.1(2.7)	4.8(3.1)	3.4(2.1)

MMSE: ミニメンタルステート検査

表 2. 介入後アウトカム (ITT 解析による ANCOVA 結果)

項目	運動群 調整後平均(SE)	対照群 調整後平均(SE)	群間差 (95% CI)	P 値	Cohen's d
体重(kg)	52.6(0.2)	53.1(0.2)	-0.5(-1.2, 0.1)	0.102	-0.4
筋肉量(kg)	19.4(0.1)	19.4(0.2)	-0.1(-0.5, 0.3)	0.693	-0.1
脂肪量(kg)	16(0.3)	16.5(0.3)	-0.5(-1.3, 0.3)	0.214	-0.3
握力(kg)	23.9(0.5)	23.6(0.5)	0.3(-1.1, 1.7)	0.695	0.1
開眼片脚立ち(秒)	70.5(7.4)	58.5(7.7)	11.9(-9.5, 33.3)	0.27	0.27
通常歩行速度(m/s)	1.32(0.02)	1.27(0.02)	0.05(-0.01, 0.12)	0.115	0.38
最大歩行速度(m/s)	1.93(0.03)	1.83(0.03)	0.1(0.01, 0.2)	0.033*	0.52
日常歩数(歩/日)	4906(195)	4743(195)	163.1(-399, 725)	0.565	0.14
座位行動(%)	55.5(0.9)	57.6(0.9)	-2.1(-4.7, 0.4)	0.104	-0.39
低強度身体活動(%)	40.5(0.8)	38.3(0.8)	2.2(-0.2, 4.5)	0.067	0.44
中高強度身体活動(%)	3.9(0.2)	4.2(0.2)	-0.2(-0.9, 0.4)	0.477	-0.17

* $P < 0.05$, 連続変数は平均(標準偏差)で示した。

ITT: intention-to-treat, ANCOVA: 共分散分析, SE: 標準誤差, CI: 信頼区間

運動プログラム中の平均心拍数は 90.6 ± 10.5 bpm, 心拍予備量(HRR)は $22.2 \pm 11.5\%$ であった。HRR に基づき, 先行研究と同様に, スローエアロビッ クが米国スポーツ医学会(ACSM)定義による低強度の範囲(運動中の HRR 40%未満)の運動であることを確認した¹⁵⁾。本研究では介入に関連した有

害事象は認められなかった。

補足図 1 ~ 3 に, 運動群および対照群における各測定項目の調整前の個人別介入前後の値を示す。表 2 に, 調整後の介入後値と統計結果を含む mITT ベースの ANCOVA 結果を示す。補足表 1 ~ 3 に, 多重代入 ITT・per-protocol 解析・歩数調

整モデルを含む感度分析結果を示す。

3 か月の介入後、運動群は対照群よりも最大歩行速度が有意に高かった($\beta = 0.10$, 95% 信頼区間 (CI) [0.01, 0.2], $P = 0.033$, $d = 0.52$)。統計的有意水準には達しなかったが、LPA の点推定値は運動群が高い傾向を示した($\beta = 2.2$, 95% CI [-0.2, 4.5], $P = 0.067$, $d = 0.44$)。これらの傾向はすべての感度分析において一貫していた。その他の変数については群間に有意差は認められなかった。

考 察

本研究は、12週間のオンライン・短時間・低強度エアロビックダンス運動プログラムが地域在住高齢者の体組成・身体機能・身体活動量に及ぼす効果を検討した。プログラムが週5日実施されたにもかかわらず、参加率は平均94.5%と著しく高い水準を維持した。また、ICT 機器の使用困難による脱落者は最小限にとどまり、ICT 機器に関するサポートが参加を効果的に促進したことが示唆された。介入が測定アウトカムに及ぼした効果については、その他の身体機能指標・身体活動量・体組成に有意な変化は認められなかった一方、最大歩行速度は運動群において対照群と比較して臨床的に意義のある0.10 m/sの有意な改善を示した^{27,28)}。これらの結果は、このようなプログラムが実施可能であり、かつ高齢者の特定の運動機能を向上させるうえで有効である可能性を示唆している。

本研究では、介入による日常身体活動量の有意な増加は、加速度計による測定では認められなかった。この結果は、平日朝の短時間(20分)の運動が日常生活における身体活動の全体的な量を有意に増加させるには不十分である可能性を示唆している。しかし、群間の調整後平均差は、運動群においてLPAが約2.1%(95% CI [-0.2, 4.5])高く、SBが約2.1%(95% CI [-4.7, 0.4])低かったことを示しており、これはLPAの約20分間の増加およびSBの約20分間の減少に相当する。感度分析でも同様のパターンが観察され、結果の頑健性を更に支持した。介入内容が毎朝20分間のLPAであっ

たことを考えると、この介入が観察された身体活動の変化に直接寄与した可能性がある。注目すべきは、先行研究が構造化された運動介入により、日中の残りの時間における自発的な日常活動が代償的に減少するという懸念を示している²⁹⁾にもかかわらず、本研究ではそのような代償が認められなかった点である。LPAは、身体^{7,30)}・認知機能の改善^{31,32)}や、代謝・心血管疾患リスクの低減^{8,9)}と関連していることが示されている。したがって、運動群におけるLPAの増加とSBの減少傾向は、長期的に意義ある健康上の恩恵をもたらす可能性がある。

身体的特性および体組成指標については、群間に有意差は認められなかった。介入の期間が限定的であり強度が低いことから、当該運動プログラムは体組成に有意な変化をもたらすには不十分であった可能性が高い。しかし、per-protocol解析では、運動群は対照群と比較して、筋肉量の減少を伴わずに(0 kg, 95% CI [-0.5, 0.4])、体重がわずかに低く(-0.6 kg, 95% CI [-1.3, 0.1])、脂肪量もわずかに少なかった(-0.6 kg, 95% CI [-1.4, 0.2])。これらの変化は小さいものの、高い参加率の参加者における初期の生理学的適応を反映している可能性がある。筋肉量を維持しながら脂肪量を減少させることは、この年齢層においてサルコペニアを予防し機能的自立を維持するうえで重要な役割を果たすため、特に高齢者においては重要な意義をもつ^{33,34)}。今後の研究では、より長期の介入がより実質的な効果をもたらさうのか検討すべきである。

運動群は対照群と比較して最大歩行速度の有意な増加を示し、調整後の介入後群間差は0.10 m/s (95% CI [0.01, 0.20])であった。また、通常歩行速度の差は統計的有意水準には達しなかったが、同様の傾向が認められ、調整後の介入後群間差は0.05 m/s (95% CI [-0.01, 0.12])であった。感度分析でも同等の推定値が得られ、これらの知見の頑健性を更に支持した。これらの結果は、オンラインエアロビックダンスプログラム(スローエアロビック)が高齢者の運動機能を改善しうることを

示している。歩行速度は高齢者の身体機能および死亡率の予測因子であることを考えると、歩行速度の改善は臨床的に意義がある^{35,36)}。歩行速度の ≥ 0.10 m/sの増加は、高齢者にとって臨床的に意義ある差として広く認められている^{27,28)}。このような改善は、全死因死亡率の低下、障害の減少、医療利用/入院の低減と関連していることが示されている³⁷⁻³⁹⁾。したがって、この閾値レベルの改善は健康上の利益につながる可能性がある。日本人高齢者の最大歩行速度の平均は70歳代で1.77 m/s、80歳代で1.63 m/sであり、10年間で0.14 m/s低下することが示されている⁴⁰⁾。したがって、本研究で観察された0.10 m/sの改善は、約7.1年分の若返りに相当すると解釈できる。本研究で観察された最大歩行速度の改善は、体幹柔軟性と姿勢制御の向上に部分的に起因する可能性がある。スローエアロビックは脊椎と胸郭の動的な動きを重視していた。胸郭の可動性は、高齢者において特にストライド長と歩行速度にかかわる効率的な歩行パターンを維持するうえで重要である^{41,42)}。更に、音楽に合わせた全身協調運動の繰り返しの練習は、バランスと運動制御の改善につながった可能性があり、これらはいずれも安全で効果的な歩行パフォーマンスの重要な決定因子である^{43,44)}。これらの適応は、筋力に有意な変化がない状況においても、最大歩行速度の改善に寄与した可能性がある。

一方、筋力や静的バランスには有意な変化は認められなかった。このことは、筋力とパワーを向上させるためには、レジスタンス運動や高強度トレーニングを組み込んだプログラムが必要である可能性を示唆している⁴⁵⁾。実際、Liら⁴⁶⁾の最近の知見は、高強度インターバル歩行が高齢者において中強度運動と比較して身体機能を改善できることを示し、生理学的適応を達成するうえでの運動強度の重要な役割を強調している。今後の研究では、筋力と体組成に対してより大きな効果を達成するために、より長期的またはより強度の高いプログラムを検討すべきである。

パイロット研究¹⁵⁾と同様、本研究においても実

施可能性と参加率は高く、平均参加率は94.5%であった。注目すべきは、ICT機器の使用困難を理由に脱落した参加者が1名のみであり、提供された技術的サポートが参加へのバリアを効果的に最小化したことが示唆された。この知見は、特にデジタルツールの使用に困難を抱えると考えられる高齢者においても、オンライン運動プログラムの実施が可能であることを強調している。インストラクターおよび参加者とのリアルタイムの相互交流は、モチベーションと参加継続性を高めることが示されている。一方、録画や非同期プログラムはしばしば高い脱落率を示す¹⁴⁾。本介入の構造化されたインタラクティブな性質が高い参加率に寄与した可能性がある。オンライン運動プログラムのアクセス性とスケーラビリティを考えると、これらの知見は、このような介入が高齢者の機能的自立と全般的な健康を維持するための効果的な戦略となりうることを示唆しており、最終的には健康寿命の延伸に貢献しうるものである。

研究の限界

本研究にはいくつかの限界がある。第1に、研究参加者はオンライン運動プログラムへの参加意欲を自発的に示した高齢者であった。運動群の78%が定期的なインターネット使用を報告しており、2023年の日本人70~79歳の全国平均67%をやや上回っている⁴⁷⁾。これは、我々のサンプルが一般的な高齢者集団よりもデジタルリテラシーが高く、健康意識が高く、動機付けられていた可能性を示している。このような特性は、一般的な高齢者集団において期待されるよりも高い参加率と恩恵をもたらした可能性がある。したがって、特にICTリテラシーやモチベーションが低い者を含む、より広い高齢者集団への知見の一般化は慎重に解釈すべきである。第2に、本研究で高い参加率が観察されたものの、ICT機器とWi-Fiは研究チームから提供された。これにより最小限の技術的バリアが確保され、最適な条件下でプログラムの効果を評価することが可能となったが、そのようなサポートがない実世界での実施においては、適切

なデバイスのコストと入手可能性・安定したインターネット接続・技術的支援の必要性などの課題が生じる可能性がある⁴⁸⁾。より広範な普及を支援するための潜在的な戦略としては、既存のコミュニティセンターを活用した共有デバイスとインターネットアクセスの提供・プログラム開始前の簡単なユーザートレーニングの実施・ICT 経験が少ない人々のためのユーザーインターフェースの簡略化などが挙げられる。実世界でのスケーラビリティを向上させるため、我々は既に地域においてグループで行うオンライン運動教室をパイロット的に実施し、現在本格展開を進めている。このアプローチでは、高齢者が地域の施設に集まり、インストラクターが主導するリアルタイムオンラインセッションに参加する。このモデルは個人の ICT 機器や自宅のインターネット接続を不要とし、デジタルリソースやスキルが限られた人々へのプログラムのアクセシビリティを高める。またグループ参加による社会的交流とモチベーションの促進も期待できる。更に、参加者がテレビとリモコンを介してセッションに参加できるスマートテレビと Chromecast を使用した在宅提供方法のプロトタイプも開発した⁴⁹⁾。このアプローチは機器コストを削減し、使いやすさを向上させる可能性がある。第 3 に、介入の 12 週間という期間と低強度は、筋力や体組成の測定可能な変化を引き起こすには不十分であった可能性がある。今後の試験では、低強度エアロビックスダンスプログラムと、強度の高い運動(例：レジスタンス運動やインターバルトレーニング)を組み合わせることで、高齢者における実施可能性と参加率を維持しながらより大きな効果が得られるかどうかを検討すべきである。第 4 に、12 週間の運動教室効果が長期的に維持されるかは評価していない。今後の研究では、これらの恩恵の長期的な維持を支援するための戦略を探索すべきである。可能なアプローチとしては、定期的なブースターセッション・地域環境での継続的なグループベースプログラム・デジタルプラットフォームで支援された自主的な在宅運動などが挙げられる。最後に、スローエアロ

ビックによる歩行能力の改善の基礎となるメカニズムは依然として不明である。1 つの可能な理由は、柔軟性や動的バランスなどの機能的領域が本研究で直接評価されなかったことである。今後の研究でこのような評価(例：体幹回旋テスト⁵⁰⁾・ファンクショナルリーチテスト⁵¹⁾・2 ステップテスト⁵²⁾・Timed Up and Go テスト⁵³⁾)を含めることで、観察された改善に寄与する生理学的・体力学的要因を解明し、オンライン運動プログラムが全体的な身体機能に及ぼす影響についてのより包括的な理解が得られる可能性がある。

結 論

本研究は、12 週間のオンライン・短時間・低強度エアロビックスダンスプログラムが高齢者の最大歩行速度を有意に改善し、高齢者における運動機能の向上を示したことを実証した。高い実施可能性・アクセス性・スケーラビリティを考えると、本プログラムは高齢者の機能的自立を維持するための実践的なツールとなりうる。本研究の効果を最大化し、機能的自立を支援するためには、実世界における長期的効果の検証と、レジスタンス運動要素の併用が今後の課題として挙げられる。更に、自宅テレビへのストリーミングや地域センターでのグループセッション実施などのスケーラブルな提供戦略の開発により、高齢者向けオンライン運動プログラムのアクセス性を更に向上させ、より広範な普及を促進しうる。

資 金 提 供

本研究は、若手研究者育成のための科学研究費助成事業(JP19K20138, JP22K17846)および公益財団法人健康・体力づくり事業財団(兵頭和樹)により支援された。

倫理的承認

すべての参加者は本研究の目的・手順・リスクについて十分な説明を受け、参加前に書面による同意を提供した。明治安田厚生事業団倫理審査委員会が研究プロトコルを承認し(承認番号：2022-0001)、プロトコルはヘルシンキ宣言のガイドラインに従って実施された。

利 益 相 反

著者らは利益相反が存在しないことを申告する。

参考文献

- 1) Cunningham C, O'Sullivan R, Caserotti P, Tully MA. Consequences of physical inactivity in older adults: a systematic review of reviews and meta-analyses. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2020; 30 (5): 816-27.
- 2) Langhammer B, Bergland A, Rydwik E. The importance of physical activity exercise among older people. *BioMed Research International*. 2018; 2018: 7856823.
- 3) McGowan LJ, Powell R, French DP. Older adults' construal of sedentary behaviour: implications for reducing sedentary behaviour in older adult populations. *Journal of Health Psychology*. 2021; 26(12): 2186-99.
- 4) Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, Carty C, Chaput J-P, 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(24): 1451-62.
- 5) Bethancourt HJ, Rosenberg DE, Beatty T, Arterburn DE. Barriers to and facilitators of physical activity program use among older adults. *Clinical Medicine & Research*. 2014; 12(1-2): 10-20.
- 6) Spiteri K, Broom D, Bekhet AH, de Caro JX, Laventure B, Grafton K. Barriers and motivators of physical activity participation in middle-aged and older adults - a systematic review. *Journal of Aging and Physical Activity*. 2019; 27 (4): 929-44.
- 7) Tse ACY, Wong TWL, Lee PH. Effect of low-intensity exercise on physical and cognitive health in older adults: a systematic review. *Sports Medicine - Open*. 2015; 1(1): 37.
- 8) Tan KHL, Siah CJR. Effects of low-to-moderate physical activities on older adults with chronic diseases: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Nursing*. 2022; 31(15-16): 2072-86.
- 9) Ballin M, Nordström P, Nordström A. Associations of light, moderate to vigorous, and total physical activity with the prevalence of metabolic syndrome in 4, 652 community-dwelling 70-year-olds: a population-based cross-sectional study. *Journal of Aging and Physical Activity*. 2021; 29 (5): 735-43.
- 10) Lee JLC, Lou VWQ, Kwan RYC. The experience of participating in remotely delivered online exercise classes during the COVID-19 pandemic among community-dwelling older adults and its postpandemic implications. *Journal of Aging and Physical Activity*. 2023; 31(4): 642-50.
- 11) Beauchamp MR, Hulteen RM, Ruissen GR, Liu Y, Rhodes RE, Wierst CM, Waldhauser KJ, Harden SH, Puterman E. Online-delivered group and personal exercise programs to support low active older adults' mental health during the COVID-19 pandemic: randomized controlled trial. *Journal of Medical Internet Research*. 2021; 23(7): e30709.
- 12) Schwartz H, Har-Nir I, Wenhoda T, Halperin I. Staying physically active during the COVID-19 quarantine: exploring the feasibility of live, online, group training sessions among older adults. *Translational Behavioral Medicine*. 2021; 11(2): 314-22.
- 13) Oba K, Kagiwada Y, Kamada M, Miki R, Kondo Y, Kamakura T, Yamagami T, Fujita T, Tsuchida Y. Evaluating the feasibility of a remote-based training program supported by information and communications technology in the older adults living at home. *BMC Geriatrics*. 2022; 22(1): 574.
- 14) Granet J, Peyrusqué E, Ruiz F, Buckinx F, Abdelkader LB, Dang-Vu TT, Sirois M-J, Gouin J-P, Pageaux B, Aubertin-Leheudre M. Web-based physical activity interventions are feasible and beneficial solutions to prevent physical and mental health declines in community-dwelling older adults during isolation periods. *The Journals of Gerontology. Series A*. 2023; 78(3): 535-44.
- 15) 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.
- 16) Sugishita M, Koshizuka Y, Sudou S, Sugishita K, Hemmi I, Karasawa H, Ihara M, Asada T, Mihara B. The validity and reliability of the Japanese version of the mini-mental state examination (MMSE-J) with the original procedure of the attention and calculation task (2001). *Japanese Journal of Cognitive Neuroscience*. 2018; 20(2): 91-110.
- 17) Hyodo K, Suwabe K, Yamaguchi D, Soya H, Arao T. Comparison between the effects of continuous and intermittent light-intensity aerobic dance exercise on mood and executive functions in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2021; 13: 723243.
- 18) Hyodo K, Jindo T, Suwabe K, Soya H, Nagamatsu T. Acute effects of light-intensity, slow-tempo aerobic dance exercise on mood and executive function in older adults. *BULLETIN OF THE PHYSICAL FITNESS RESEARCH*

- INSTITUTE. 2019; 117: 8-16.
- 19) Kimura M, Mizuta C, Yamada Y, Okayama Y, Nakamura E. Constructing an index of physical fitness age for Japanese elderly based on 7-year longitudinal data: sex differences in estimated physical fitness age. *Age*. 2012; 34(1): 203-14.
- 20) Watanabe Y, Yamada Y, Yoshida T, Yokoyama K, Miyake M, Yamagata E, Yamada M, Yoshinaka Y, Kimura M, for Kyoto-Kameoka Study Group. Comprehensive geriatric intervention in community-dwelling older adults: a cluster-randomized controlled trial. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2020; 11(1): 26-37.
- 21) 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. *JAMA Internal Medicine*. 2016; 176(5): 702-3.
- 22) 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(10): e0186523.
- 23) Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, Mâsse LC, Tilert T, McDowell M. Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2008; 40(1): 181-8.
- 24) 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.
- 25) Haskell WL, Lee I-M, 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. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007; 39(8): 1423-34.
- 26) Pate RR, O'Neill JR, Lobelo F. The evolving definition of "sedentary". *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2008; 36(4): 173-8.
- 27) Alexander KP. Walking as a window to risk and resiliency. *Circulation*. 2017; 136(7): 644-5.
- 28) Palombaro KM, Craik RL, Mangione KK, Tomlinson JD. Determining meaningful changes in gait speed after hip fracture. *Physical Therapy*. 2006; 86(6): 809-16.
- 29) Fedewa MV, Hathaway ED, Williams TD, Schmidt MD. Effect of exercise training on non-exercise physical activity: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Sports Medicine*. 2017; 47(6): 1171-82.
- 30) Brown M, Sinacore DR, Ehsani AA, Binder EF, Holloszy JO, Kohrt WM. Low-intensity exercise as a modifier of physical frailty in older adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2000; 81(7): 960-5.
- 31) Hyodo K, Kitano N, Ueno A, Yamaguchi D, Watanabe Y, Noda T, Nishida S, Kai Y, Arao T. Association between intensity or accumulating pattern of physical activity and executive function in community-dwelling older adults: a cross-sectional study with compositional data analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2023; 16: 1018087.
- 32) Byun K, Hyodo K, Suwabe K, Fukuie T, Ha M-S, 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(1): 309-25.
- 33) Franzon K, Zethelius B, Cederholm T, Kilander L. The impact of muscle function, muscle mass and sarcopenia on independent ageing in very old Swedish men. *BMC Geriatrics*. 2019; 19(1): 153.
- 34) Evans WJ, Guralnik J, Cawthon P, Appleby J, Landi F, Clarke L, Vellas B, Ferrucci L, Roubenoff R. Sarcopenia: no consensus, no diagnostic criteria, and no approved indication - How did we get here? *GeroScience*. 2024; 46(1): 183-90.
- 35) Chen L-K, Woo J, Assantachai P, Auyeung T-W, Chou M-Y, Iijima K, Jang HC, Kang L, Kim M, Kim S, Kojima T, Kuzuya M, Lee JSW, Lee SY, Lee W-J, Lee Y, Liang C-K, Lim J-Y, Lim WS, Peng L-N, Sugimoto K, Tanaka T, Won CW, Yamada M, Zhang T, Akishita M, Arai H. Asian working group for sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2020; 21(3): 300-7. e2.
- 36) Cooper R, Kuh D, Hardy R, Mortality Review Group; FALCon and HALCyon Study Teams. Objectively measured physical capability levels and mortality: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2010; 341: c4467.
- 37) Studenski S, Perera S, Patel K, Rosano C, Faulkner K, Inzitari M, Brach J, Chandler J, Cawthon P, Connor EB, Nevitt M, Visser M, Kritchevsky S, Badinelli S, Harris T, Newman AB, Cauley J, Ferrucci L, Guralnik J. Gait speed and survival in older adults. *JAMA*. 2011; 305(1): 50-8.
- 38) White DK, Neogi T, Nevitt MC, Peloquin CE, Zhu Y, Boudreau RM, Cauley JA, Ferrucci L, Harris TB, Satterfield SM, Simonsick EM, Strotmeyer ES, Zhang Y. Trajectories of gait speed predict mortality in well-functioning older adults: the Health, Aging and Body Composition

- study. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*. 2013; 68(4): 456-64.
- 39) Hardy SE, Perera S, Roumani YF, Chandler JM, Studenski SA. Improvement in usual gait speed predicts better survival in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2007; 55(11): 1727-34.
- 40) National Center for Geriatrics and Gerontology. National Institute for Longevity Sciences - Longitudinal Study of Aging (NILS-LSA), 7th Wave Monograph. 2012.
- 41) Zhai M, Huang Y, Zhou S, Jin Y, Feng J, Pei C, Wen L, Wen's L. Effects of age-related changes in trunk and lower limb range of motion on gait. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2023; 24(1): 234.
- 42) Cury AC, Pinto RZ, Madaleno FO, Resende RA. Do older adults present altered pelvic and trunk movement pattern during gait? A systematic review with meta-analysis and GRADE recommendations. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. 2021; 25(5): 484-99.
- 43) Mattle M, Chocano-Bedoya PO, Fischbacher M, Meyer U, Abderhalden LA, Lang W, Mansky R, Kressig RW, Steurer J, Orav EJ, Bischoff-Ferrari HA. Association of dance-based mind-motor activities with falls and physical function among healthy older adults: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Network Open*. 2020; 3(9): e2017688.
- 44) Rodrigues-Krause J, Krause M, Reischak-Oliveira A. Dancing for healthy aging: functional and metabolic perspectives. *Alternative Therapies in Health and Medicine*. 2019; 25(1): 44-63.
- 45) Fragala MS, Cadore EL, Dorgo S, Izquierdo M, Kraemer WJ, Peterson MD, Ryan ED. Resistance training for older adults: position statement from the National Strength and Conditioning Association. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2019; 33(8): 2019-52.
- 46) Li X, Seo J-W, Bae J-H, Jiang S, Sung Y, Jamrasi P, Ahn SY, Han S, Kim S, Kim C, Jang I-Y, Zulkifli NAB, Shin H, Choi JY, Park SC, Song W. Effects of high-intensity interval walking on cognitive and physical functions in older adults: a randomized pilot study. *Cureus*. 2024; 16(8): e68165.
- 47) Ministry of Internal Affairs and Communications, Japan: Information and Communications in Japan (White Paper 2023). 2023.
- 48) Nakada T, Kurotani K, Seino S, Kozawa T, Murota S, Eto M, Shimasawa J, Shimizu Y, Tsurugano S, Katsukawa F, Sakamoto K, Washizaki H, Ishigaki Y, Sakamoto M, Takadama K, Yanai K, Matsuo O, Kameue C, Suzuki H, Ohkawara K. Health literacy and internet use among Japanese older adults: a gender-stratified cross-sectional analysis of the moderating effects of neighborhood relationships. *Healthcare*. 2024; 13(1): 56.
- 49) Watanabe Y, Noda T, Nishida S, Nishikawa A, Kudo Y, Hyodo K, Yamaguchi D, Ueno A, Iida M, Kai Y, Arao T. Health support for older adults using smart TVs: an exploratory approach (in Japanese). *BULLETIN OF THE PHYSICAL FITNESS RESEARCH INSTITUTE*. 2022; 120: 9-16.
- 50) Johnson KD, Kim K-M, Yu B-K, Saliba SA, Grindstaff TL. Reliability of thoracic spine rotation range-of-motion measurements in healthy adults. *Journal of Athletic Training*. 2012; 47(1): 52-60.
- 51) Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, Studenski S. Functional reach: a new clinical measure of balance. *Journal of Gerontology*. 1990; 45(6): M192-7.
- 52) Nakamura K, Ogata T. Locomotive syndrome: definition and management. *Clinical Reviews in Bone and Mineral Metabolism*. 2016; 14(2): 56-67.
- 53) Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*. 1991; 39(2): 142-8.