

〔二次出版〕

連続的な様式と間欠的な様式の低強度エアロビックダンス運動が 高齢者の気分と実行機能に与える効果の比較 —Frontiers in Aging 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⁾, 諏訪部和也^{2, 3)}, 山口大輔¹⁾, 征矢英昭^{3, 4)}, 荒尾 孝¹⁾

SUMMARY

一過性の中強度運動が高齢者の実行機能を向上させることを報告するエビデンスが増加している。しかし、安全性、実践可能性、継続性の観点から、高齢者の実行機能を向上させるためには中強度でストレスのかかる運動よりも、負担が少なく、簡単に、楽しく実践できる運動のほうが好ましい。したがって、低強度のエアロビックダンス運動(low intensity aerobic dance exercise: LADE)に実行機能への有益な効果があるならば、高齢者の実行機能向上に適した運動である可能性がある。また、有酸素運動の様式として、間欠運動は連続運動よりも気分や実行機能への効果が大きい可能性があり注目されているが、高齢者における効果は不明である。そこで本研究では、間欠的な LADE (Intermittent LADE: I-LADE) の気分および実行機能に対する一過性効果を、連続的な LADE (Continuous LADE: C-LADE) と比較することを目的とした。15名の健康な高齢者を対象に、10分間の I-LADE と C-LADE を別々の日に実施した。運動の楽しさは身体活動の楽しさ尺度(physical activity enjoyment scale: PACES)を用いて評価した。運動中の快感情、運動後の快適度と覚醒度は、それぞれ Feeling Scale と two-dimensional mood scale を用いて評価した。実行機能は、運動前後でストループ課題を用いて評価した。その結果、運動中の快感情と運動の楽しさは、C-LADE よりも I-LADE で高かった。覚醒度、快適度、ストループ課題成績は両 LADE 後に高まり、両運動条件間で差はなかった。これらの結果から、運動後の気分や実行機能の向上は C-LADE と I-LADE で差がないが、I-LADE は C-LADE より楽しく快適に実践できる可能性があることが示唆された。本研究は、高齢者が楽しく実行機能を高められる運動条件の開発に役立つと考えられる。

Key words: 加齢, エアロビックダンス運動, 軽体操, インターバル, 運動の楽しさ, 情動, ストループ

緒言

これまでの研究で、身体活動や運動が加齢に伴

う認知機能の低下を予防する有益な効果があることが報告されている^{1,2)}。慢性運動(長期間の定期的な運動)の有益な効果に加え、いくつかの研究

1) 公益財団法人 明治安田厚生事業団体力医学研究所

2) 流通経済大学スポーツ健康科学部

3) 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)

4) 筑波大学人間総合科学研究科運動生化学研究室

Physical Fitness Research Institute, Meiji Yasuda Life Foundation of Health and Welfare, Tokyo, Japan.
Faculty of Health and Sport Sciences, Ryutsu Keizai University, Ibaraki, Japan.

Sport Neuroscience Division, Advanced Research Initiative for Human High Performance
(ARIHHP), Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan.

Laboratory of Exercise Biochemistry and Neuroendocrinology, 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, Suwabe K, Yamaguchi D, Soya H, Arai 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.

では、一過性の運動が高齢者の認知機能にプラスの効果をもたらすことが報告されている。これらの研究の多くは、ワーキングメモリ、抑制制御、目標達成に向けた計画を含む高次の認知プロセスである実行機能³⁾に対する運動の効果に着目されており、ランニングや自転車運動などの中高強度の運動^{4,7)}、レジスタンス運動⁶⁾、これらの運動の組み合わせ⁸⁾などが実行機能を高めることが明らかにされている。しかし、自分の身体機能に不安がある高齢者や、運動に対するモチベーションが低い高齢者が、中高強度の運動を実践、継続することは難しい⁹⁾。ここで、運動中や運動後の気分変化は、運動意欲や実行機能への影響という観点から重要な要素である。なぜなら、運動に関連した気分変化(運動中のポジティブな感情や運動の楽しさ)が次の運動につながること¹⁰⁾や、運動による気分変化(覚醒度や快適感など)が認知機能の向上と関連すること^{8,11,12)}が報告されているからである。したがって、高齢者が手軽に楽しく行え、気分や実行機能に効果的な運動の最適な特性を明らかにすることが必要である。

高齢者の運動に関する安全性、実行可能性、楽しさという点では、強度、種類、様式などの運動特性が重要な要素である。運動強度については、低強度の運動は高齢者にとってストレスが少なく、安全に実行しやすい。気分を与える影響については、低強度の運動は中強度の運動よりも運動中の快適度を誘発する可能性がある¹³⁾。実行機能への影響については、高齢者の実行機能の改善に一過性低強度運動が有効かどうかは、まだ議論の余地がある。我々の研究では、10分間の低強度のサイクリング運動が、ストループ課題で評価される若年成人の実行機能を高めることを明らかにしている¹¹⁾。Daweら¹⁴⁾とStonesら¹⁵⁾は、15分間の低強度の身体運動(例えば、歩行や座りながらのゆっくりしたりリズムに合わせた全身運動)が、高齢者の言語流暢性パフォーマンスを向上させることを報告している。また、最近の研究では有酸素運動に加えて、ヨガや仮想現実トレーニングなども実行機能に有益な効果をもたらすことが明らかに

なっている¹⁶⁻¹⁸⁾。一方、Kamijoら⁷⁾は、一過性の低強度の自転車運動は、フランカー課題を用いて評価した高齢者の実行機能が向上しなかったことを報告している。

運動の種類として、ダンスは高齢者に親しみやすく気分や認知機能に有益な効果があるため、高齢者に適していると考えられる。Fanら¹⁹⁾は、National Health and Nutrition Examination Surveys (NHANES)のデータに基づき、アメリカの高齢女性の余暇の身体活動としてのダンスへの参加率は、ウォーキングに次いで第2位であると報告している。また、ダンスは認知的・身体的負荷が大きいことから²⁰⁾、認知機能を効果的に高める運動の一種として注目されている²¹⁾。Kimuraら²²⁾は、一過性の低強度(40% $\dot{V}O_2$ ピーク)エアロビックダンス運動(low intensity aerobic dance exercise; LADE)が高齢者の空間ワーキングメモリ課題の成績を高めることを報告している。更に、我々の最近の研究では、一過性のLADEが心理的活性度と快適度を向上させ、ストループ課題の成績で評価される実行機能を向上させることを明らかにした²³⁾。更に、システマティックレビューにおいて、Predovanら²⁴⁾は、長期的なダンス介入は高齢者の認知機能の改善または維持に役立つ可能性があることを報告している。気分への影響については、これまでの研究で、ADEクラスへの参加は、活力を高め、怒りや抑うつを減少させるなど、一過的に気分を改善させることが明らかになっている²⁵⁻²⁸⁾。

運動を連続的に行うか、休憩を挟んで間欠的(インターバルを置いた短い運動を複数回行う運動)に行うかということも、気分や認知機能への効果に影響を与える重要な特性であると考えられる。連続的な有酸素運動(1回の連続した運動)は、若年者および高齢者の気分や実行機能にプラスの効果をもたらすことが広く報告されている^{5,29,30)}。近年、間欠的運動は時間効率が良く、身体機能だけでなく^{31,32)}、若年成人の気分や認知機能にも有益な効果があるとして注目されている³³⁻³⁶⁾。いくつかの研究は、間欠的な運動が、達成感の増加³⁷⁾、神経効率³⁸⁾または前頭前野の活性化³⁹⁾を介して連

続的な運動よりも楽しさや実行機能に対してよりポジティブな効果をもたらすことを明らかにした。しかし、前述の研究のほとんどは間欠的な高強度運動を用いたものであり、我々の知る限り、高齢者の気分や認知機能に対する間欠的な低強度運動の効果を調べた研究はない。

これまでのエビデンスに基づき、我々は、間欠的 LADE (Intermittent LADE: I-LADE) は高齢者にとって安全で楽しく実践でき、また気分と認知機能の維持・向上に効果的であると仮定した。この仮説を検証する第一歩として、高齢者の気分と実行機能に対する I-LADE の一過性効果を連続的 LADE (Continuous LADE: C-LADE) と比較して検証することを目的とした。

方法

A. 参加者

地元の雑誌の広告で参加者を募り、15名の高齢者(65~74歳)が実験に参加した。本研究への参加基準は、①右利きであること、②視力が正常または矯正されていること、③精神疾患、④中枢神経系の疾患、⑤心血管系疾患の既往がないこと、⑥認知機能が正常であること (Mini-Mental State Examination [MMSE] score > 28)、⑦抑うつ状態ではないこと (Geriatric Depression Scale [GDS] score < 7) とした。参加者は全員、運動習慣があった(週2日以上)の運動、例: ウォーキング、水泳)。参加者特性を表1に示す。

本研究に先立ち、参加者全員から書面によるインフォームド・コンセントを得た。本研究は、公益財団法人 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: 28003)。

B. 実験手順

参加者はそれぞれ日を空けて3回研究室を訪れた。初回には、基本属性のアンケート、MMSEとGDSの質問票を用いて、既往歴、生活習慣、認知的、心理的な状態を確認した。その後、実行機能を評価する心理テストであるストループ課題に慣れるために、ストループ課題の練習を2回行った。また、運動介入として用いたエアロビッ

表1. 参加者特性 (n = 15)

	男性 (n = 7)		女性 (n = 8)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
年齢[歳]	71.1	2.9	70	2.5
身長[cm]	164	4.8	150	4.4
体重[kg]	60.3	5.6	47.8	6.6
BMI[kg/m ²]	22.4	1.4	21.2	2.0
教育歴[年数]	13	2.5	13	1.9
MMSE[得点]	29.3	0.95	28.6	1.2
GDS[得点]	1.7	1.6	1.8	1.9

BMI: ボディマス指数, MMSE: ミニメンタルステート検査, GDS: 高齢者用うつ尺度

クダンスのプログラムを1回練習した。

2回目と3回目の来所時に、C-LADEとI-LADEが気分と実行機能に及ぼす一過性効果を、カウンターバランスをとった被験者内デザインにより評価した。2つの運動条件は、平均5日間(2~12日間)の間隔を空けて実施した。実験手順を図1に示す。まず、参加者はストループ課題の短い練習(20試行)の後、本試行を実施した。次に、二次元気分尺度(two dimensional mental state: TDMS)を用いて気分を評価した。その後、I-LADEまたはC-LADEを10分間実施した。運動前と運動開始2, 4, 6, 8, 10分後に、各参加者から口頭でFeeling Scale (FS)スコアと自覚的運動強度(RPE)を聞き取った。心拍数はPolar H7 (Polar Electro Oy, Kempele, Finland)を用いて運動中にモニターした。運動直後、参加者はTDMSと身体活動の楽しさ尺度(physical activity enjoyment scale: PACES)に回答した。最後、運動終了5分後にストループ課題を実施した。運動条件の順序は、参加者間でカウンターバランスをとった。

C. 運動介入

本研究で行うLADE介入として、「スローエアロビック®」を使用した(図2)。この運動は主に3つの動的な上半身の運動(1. 上体をひねる, 2. 胸を開く, 3. 体側を伸ばす)で構成される。C-LADEは3つの動作を40秒ずつ(合わせて120秒)を5セット行い、運動テンポは90 bpmとした。一方、I-LADEは、3つの動作を30秒ずつ(合わ

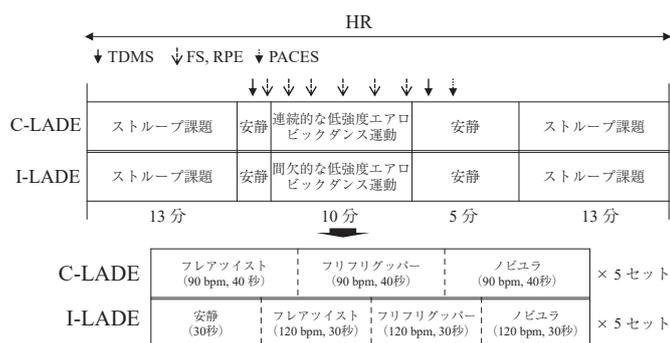


図1. 実験手順

C-LADE: 連続的低強度エアロビクスダンス運動, I-LADE: 間欠的低強度エアロビクスダンス運動, HR: 心拍数, TDMS: 二次元気分尺度, FS: 快感尺度, RPE: 自覚的運動強度, PACES: 身体活動の楽しさ尺度

1. 上体をひねる (フレアツイスト)
2. 胸を開く (フリフリグッパ)
3. 体側を伸ばす (ノビユラ)



図2. スローエアロビクス®の3つの動き

せて90秒)を1セットとし、30秒の休憩を挟んで5セット行い、運動テンポは120 bpmとした。各動作の繰り返し回数は、2つの LADE プログラムで等しくした。各参加者は、オリジナル音楽が流れるチュートリアルビデオを見ながら、各 LADE 動作を一人で実施した⁴⁰⁾。

D. 運動強度

運動が低強度の範囲であることを確認するため、客観的運動強度と主観的運動強度をそれぞれ心拍予備率(heart rate reserve: HRR)と RPE を用いて評価した。各参加者の HRR を以下の式で算出した。

$$HRR = \frac{HR \text{ during exercise} - resting HR}{\text{predicted max HR} - resting HR} * 100(\%)$$

予測最大 HR は、以下の式で算出した⁴¹⁾。

$$208 - 0.7 \times \text{age}$$

主観的な運動強度については、運動中の平均 RPE を使用した。

E. 気分に関連した変数

運動の楽しさを評価するために、PACES^{42,43)}の日本語版を使用した。PACES は18項目からなり、7件法で採点される。総点数の最小値は18点で、最大値は126点である。

運動中の参加者の気分を評価するためには、単項目の FS を用いた⁴⁴⁾。これは、参加者の快感(快・不快)を、-5 (非常に悪い)から+5 (非常に良い)までの11件法で評価するものである。運

動中の FS スコアの平均値を算出し、運動中の気分が快か不快かを評価した。

共通手法の分散を最小限にするため、運動中と運動後の参加者の気分の評価には、異なる質問票を使用した。運動後の気分の評価には TDMS⁴⁵⁾を使用した。参加者は、快適度と覚醒度に関連する 8 つの心理状態(イキイキ, 無気力, 落ち着き, イライラなど)を 0 (全くない)から 5 (非常にある)までの 6 件法で評価し、その点数をもとに快適度, 覚醒度を計算した(-20~20点)。

F. 実行機能

PC を用いた color-word matching stroop 課題^{46,47)}を用いて実行機能を評価した。モニターに 2 列の文字および記号が提示された。参加者は、上段の文字または記号の色が下段に表示された色名と一致するかどうかを判断し、「はい」または「いいえ」に対応する C と N のキーを人差し指でできるだけ速く正確に押すことを求められた。課題は、30 回の中立試行と 30 回の不一致試行が無作為の順序で提示された。中立試行では、上段に“XXXX”という文字列が赤, 緑, 青, 黄のいずれかの色で表示され、下段には“あか”(英語では Red), “みどり”(英語では Green), “あお”(英語では Blue), “きいろ”(英語では Yellow)という単語が黒色で表示された。不一致試行では、上段に“あか”, “みどり”, “あお”, “きいろ”の単語が不一致の色(例えば“あか”は緑色)で表示された。単語刺激はすべて日本語で表示された。視覚的注意を上段から下段に移すため、上段は下段より 350 ミリ秒早く表示された。プロトコルは、「はい」を正解とする試行と「いいえ」を正解とする試行の数を同じにした。試行間は、次の試行のタイミングが予測されないように、9~12 秒の間、十字マークが表示された。正解率と正解の反応時間を測定した。実行機能の指標として、先行研究^{5,11,30,48)}と同様にストループ干渉時間(不一致と中立試行の反応時間の差)を使用した。

G. 統計解析

HRR, RPE, PACES スコアは、対応のある t 検定を用いて 2 つの運動条件間で比較した。FS ス

コア, TDMS スコア, ストループ干渉時間については、運動条件(C-LADE/I-LADE)と時間(運動前/後, または運動前/運動中)の要因の二元配置反復測定分散分析(ANOVA)を行った。有意な交互作用が認められた場合、運動条件間で運動前後の変化量を t 検定を使用して比較した。また、運動条件間で有意差のある変数については、ピアソン相関分析を行い、両者の関係性を検討した。すべての統計解析は R バージョン 3.5.1 (R Core Team 2018)を用いて実施した。有意水準は $P < 0.05$ とした。

結果

A. 運動強度

C-LADE と I-LADE の HRR(平均 ± 標準偏差)は、それぞれ 19.4 ± 6.50 と $22.4 \pm 6.91\%$ であった。C-LADE および I-LADE 時の RPE はそれぞれ 10.3 ± 1.69 および $10.6 \pm 1.9\%$ であった。2 つの運動条件間の HRR ($t(14) = 1.77, P = 0.10, d = 0.46$) および RPE ($t(14) = 1.01, P = 0.31, d = 0.28$) に有意な差はみられなかった。

B. 気分関連指標

図 3 に、PACES, FS, TDMS のスコアを示す。運動前の FS スコアが最大(5 点)の参加者 1 名のデータは、FS スコアの解析から除外した。PACES スコアは、C-LADE 後よりも I-LADE 後のほうが有意に高かった($t(14) = 3.10, P < 0.01, d = 0.80$) (図 3 A)。

FS スコアに関する二元配置分散分析では、有意な交互作用 ($F(1, 13) = 6.24, P = 0.023, \eta^2 = 0.324$) と時間の主効果 ($F(1, 13) = 35.24, P < 0.01, \eta^2 = 0.732$) が認められた。運動プログラムの主効果は有意ではなかった ($F(1, 13) = 0.21, P = 0.66, \eta^2 = 0.016$)。FS スコアの変化は C-LADE よりも I-LADE で有意に高かった ($t(13) = 2.31, P = 0.049, d = 0.80$) (図 3 B)。

TDMS について、快適度の二元配置分散分析では、時間の主効果が有意であった ($F(1, 14) = 14.42, P < 0.01, \eta^2 = 0.507$)。有意な交互作用 ($F(1, 14) = 0.03, P = 0.86, \eta^2 = 0.002$) および運動条

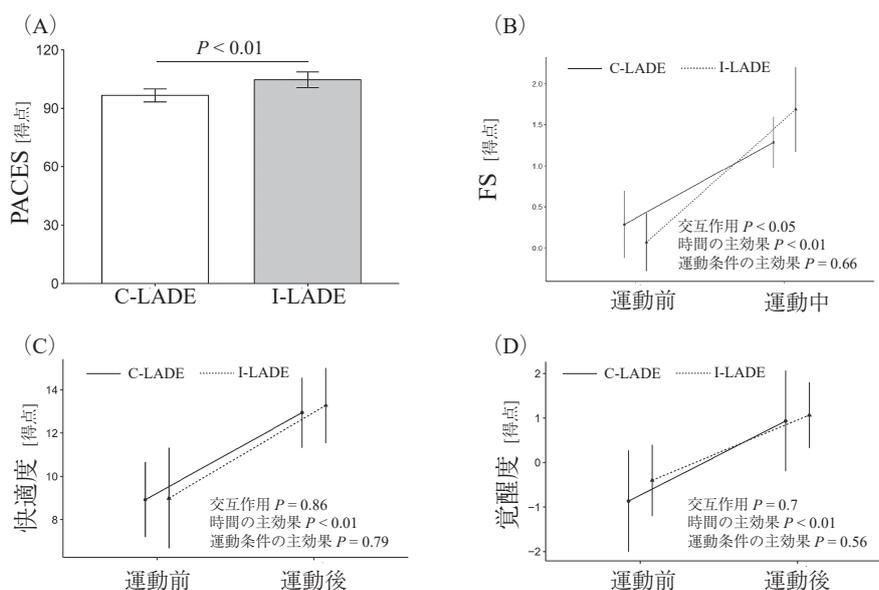


図3. 気分関連変数の結果

グラフは平均と標準偏差を示す。(A)のP値は対応のあるt検定の結果を示す。(B), (C), (D)のP値は時間と運動条件の2要因の分散分析の結果を示す。
 C-LADE: 連続的低強度エアロビックダンス運動, I-LADE: 間欠的低強度エアロビックダンス運動, PACES: 身体活動の楽しさ尺度, FS: 快感情尺度

表2. ストループ課題成績

n = 15	C-LADE				I-LADE			
	運動前		運動後		運動前		運動後	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
正解率[%]								
中立試行	99.3	1.9	99.8	0.9	99.3	1.4	99.1	1.5
不一致試行	96.7	3.6	96.4	3.7	98.0	3.0	96.9	3.9
反応時間[ミリ秒]								
中立試行	744.6	130.6	729.4	96.7	756.3	129.9	716.0	112.4
不一致試行	928.9	219.4	891.8	202.8	927.4	231.2	870.9	177.4

C-LADE: 連続的低強度エアロビックダンス運動, I-LADE: 間欠的低強度エアロビックダンス運動

件の主効果($F(1, 14) = 0.08, P = 0.79, \eta^2 = 0.005$)はみられなかった。快適度に加え、覚醒度も時間の有意な主効果がみられたが($F(1, 14) = 15.05, P < 0.01, \eta^2 = 0.518$), 有意な交互作用($F(1, 14) = 0.15, P = 0.7, \eta^2 = 0.011$)および運動条件の主効果($F(1, 14) = 0.35, P = 0.56, \eta^2 = 0.024$)はみられなかった。

C. 実行機能

表2は、運動前後の中立試行と不一致試行の正解率および反応時間を示す。実行機能に対する運動の一過性効果を調べるために、ストループ干渉

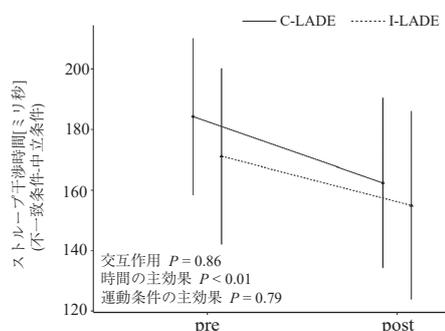


図4. 各運動条件のストループ干渉時間の変化平均と標準偏差を示す。P値は時間と運動条件を要因とする2要因分散分析の結果を示す。

時間(不一致試行と中立試行の反応時間の差)を分析した。二元配置分散分析の結果、時間の主効果は有意であり($F(1, 14) = 4.74, P = 0.05, \eta^2 = 0.253$)、ストロープ干渉時間は運動前に比べて運動後で有意に短かった(図4)。しかし、有意な交互作用($F(1, 14) = 0.03, P = 0.86, \eta^2 = 0.002$)や運動条件の主効果($F(1, 14) = 0.47, P = 0.50, \eta^2 = 0.033$)はみられなかった。

D. 相関分析

運動条件間で PACES および FS スコアに有意差が認められたため、FS スコア変化の差(I-LADE での $\Delta FS - C-LADE$ での ΔFS)と PACES スコアの差(I-LADE での PACES - C-LADE での PACES)の関係を評価するためにピアソンの相関分析を行った。両者の間には有意な相関は認められなかった($r = 0.097, P = 0.74$)。この結果は、運動条件間の FS と PACES の違いに、異なる要因が関与していることを示唆している。

考 察

本研究では、高齢者に対して I-LADE が気分および実行機能に与える一過性の影響を C-LADE と比較することを目的とした。I-LADE は C-LADE と比較して、心理的覚醒度や快適度、楽しさ、実行機能に対する運動の一過性効果が大きいと仮定した。この仮説は本研究で一部確認された。本研究の結果、参加者は C-LADE よりも I-LADE でより運動中に気分が高まり、運動を楽しく感じていた。しかし、運動前後の覚醒度、快適度、実行機能の変化には、運動条件による違いはみられなかった。これらの結果から、高齢者において、I-LADE は C-LADE よりも楽しく運動できるが、運動後の気分や実行機能に対する向上効果は、運動条件間で差がないことが示唆された。

運動強度については、有意差はないものの、運動条件間で小さい効果量が観察された。この点に関して、両運動における HRR は低強度の範囲内であり、両運動間の HRR の平均値の差(3%)は、生理反応(代謝、呼吸系など)⁴⁹⁾や情動反応⁵⁰⁾にほとんど影響のない小さな差であると考えられる。

更に、運動間の HRR の差は、運動間の FS および PACES の差($r = -0.12, r = -0.18$)とは相関がなかった。これらの結果から、FS と PACES の運動間における違いは、運動強度の差ではなく、運動様式の違いによるものであることが示唆される。

本研究における運動の楽しさの結果は、若年成人において間欠的な運動が連続的な運動よりも楽しいと報告した先行研究^{34,37,51)}と一致した。この結果は、高齢者においては、低い強度でも間欠的な運動のほうが連続的な運動よりも楽しい可能性を示唆している。運動の楽しさは、運動の習得や達成感などの認知的評価と関連している^{37,52)}。したがって、短いセッション数を多く含む I-LADE は、1セッションのみの C-LADE と比較して達成感を高め、より楽しさを感じた可能性がある。

I-LADE で FS への効果が大きいことについては、間欠的な高強度運動を用いた先行研究と一致しない。間欠的運動と連続的運動の気分への影響の違いを検討したメタ分析では、間欠的高強度運動中の気分は連続的中強度運動中の気分より低いが、連続的高強度運動中との比較では気分には差がないと報告されている⁵³⁾。本研究と先行研究の結果の違いは、デュアルモード理論(DMT)⁵⁴⁾によって説明できる。この理論によれば、運動中の気分は、自己効力感などの認知的パラメータと、換気やアシドーシスなどの内受容感覚との相互作用によって制御される。例えば、運動強度が換気閾値や乳酸閾値以下であれば、認知パラメータは気分に対する正の影響を与える。しかし、運動強度がこれらの閾値を上回ると、内受容感覚が気分に対する負の影響を与える。DMT に基づくと、中強度以上の運動では強度が運動中の気分に対して強く影響する可能性があるため、運動様式が気分に対して及ぼす影響は小さい可能性がある。一方、本研究の I-LADE と C-LADE はともに低強度のプログラムであるため、運動特性の違い(間欠的か連続的か)が気分に対して影響を与える可能性がある。I-LADE は C-LADE に比べ、運動中の自己効力感や自尊心に大きな影響を与え、運動中の気分をより快適にしたことが考えられる。

I-LADE 中の気分は C-LADE 中よりも快適で

あったが、運動直後の TDMS で測定した快適度は 2 つの運動条件間で差はなかった。この結果は、I-LADE の運動中の快適度が C-LADE に比べて高いことが、運動後に維持されていないことを示している。この運動後の気分に変化がないという結果は、運動強度が運動中の気分に影響を与えるが、運動後にはその効果が消失するという先行研究と一致する^{13,55)}。この結果の説明として、運動中の情動反応は運動による身体感覚が直接的に作用するが、運動後には消失することが指摘されている^{51,55)}。この説明を本研究に当てはめると、運動中、C-LADE に比べ I-LADE ではリズムカルで変化に富んだ動きに伴う多くの身体的感覚により快感が高まった可能性がある。しかし、運動終了後は運動による刺激が消失するため、運動様式による差異が生じなかったと考えられる。運動様式の違いが気分を与える影響は運動直後に消失する可能性があるが、先行研究では運動中の気分変化が将来の身体活動に関係することが報告されている¹⁰⁾。したがって、I-LADE 中の気分がより快適であることは、今後の身体活動や運動の促進という点で意味があると考えられる。

心理的覚醒度については、いずれの LADE も覚醒度を上昇させたが、条件間で有意な差はみられなかった。運動強度は、心理的・生理的覚醒度と強く関連している⁵⁴⁾。本研究では 2 つのプログラム間で運動強度に有意差がなかったことから、運動に対する覚醒反応にも両運動間で有意差がなかったと考えられる。

実行機能に関しては、ストループ干渉時間は両運動後に短縮し、その変化に有意差は認められなかった。これらの結果は、低強度のエアロビクスダンス運動では、運動様式の違い(間欠的か連続的か)によって運動による高齢者の実行機能の変化に違いがないことを示唆している。この結果は、間欠的な運動が連続的な運動と比較してストループ課題^{36,39)}やフランカー課題³⁸⁾などの実行課題パフォーマンスを改善したという先行研究と一致しない。これらの研究では、高強度の間欠的運動と中強度の連続的運動を比較しているが、同じ運動

強度の範囲内で効果を比較した研究はない。したがって、同じ運動強度の範囲内であれば、間欠的運動と連続的運動の実行機能への効果は変わらない可能性がある。本研究とは運動様式や運動強度が異なるが、この仮説は、中強度の有酸素運動とレジスタンス運動の両方が高齢者のストループ課題成績を同程度に高めた先行研究⁶⁾により支持される。更に、先行研究^{8,11,12)}では、実行機能の向上は気分(覚醒度や活力など)の向上と関連していると報告された。これらのことから、本研究で LADE によるストループ干渉の時間変化に差がなかったのは、2 つの運動後で快適度や覚醒度の変化に差がなかったためではないかと考えられる。最後に、本研究のエアロビクスダンス運動は運動強度が低いため、実行機能に対する改善効果が小さく⁷⁾、条件間で差がみられなかった可能性もある。つまり、本研究では対照条件がないため、両条件の短縮が学習/慣れ効果による可能性も否定できない。しかし、この点については、以下の 2 点から学習効果への影響は少なかったと考えられる。①参加者は練習日中にストループ課題に慣れ、1 回目と 2 回目の練習でストループ干渉時間に差がなかった。②同条件の先行研究の結果、安静条件ではストループ干渉時間が変化しないことが繰り返して示されている^{5,11,30,35)}。今後、エアロビクスダンス運動の間欠的・連続的な運動が実行機能に及ぼす効果をより詳細に比較するためには、安静条件を置くこととともに、さまざまな強度で比較することが必要である。

本研究には、いくつかの限界がある。まず、前述のとおり本研究では安静対照条件を設けなかったことから、気分や実行機能の向上は、運動効果によるものだけではない可能性がある。第二に、本研究ではサンプル数が少ないため、統計的検出力が低く、2 つの運動条件間の効果の差を検出できなかった可能性がある。このため、2 つの運動条件間で有意な差がない変数については、明確な結論を出すことは避けるべきである。第三に、この研究の参加者は運動習慣のある高齢者であり、この結果が運動不足の高齢者に適用されるかどうか

かは不明である。最後に、実行機能の評価にはストループ課題のみを用いたため、認知の柔軟性や作業記憶など実行機能の他の側面がエアロビックダンス運動の様式の違いによって異なる影響を受けるかどうかは不明である。

本研究の結果から、LADEを連続または間欠的に行うことは、高齢者の運動後の気分および実行機能への影響に差はみられないが、間欠的な運動は連続的な運動よりも楽しく、快感情を惹起することが示唆された。したがって、間欠的な運動様式は、低強度の運動であっても、高齢者の気分や実行機能を向上し、運動継続率を高める可能性がある。本研究は、気分や実行機能を高めるために、多くの高齢者が実行できる運動プログラムの開発に役立つと考えられる。運動の効果を更に明らかにするために、運動不足の高齢者を含むより大きなサンプルサイズによる更なる研究が必要である。

利益相反

本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

オーサーシップ

兵頭和樹氏は、研究計画立案、データ収集、データ解析、本原稿の初稿執筆に貢献した。諏訪部和也氏は、研究計画立案、方法論開発、データ解析、原稿の修正に貢献した。山口大輔氏は、データ修正と原稿の改訂に貢献した。征矢英昭氏はプロジェクトの資金調達と原稿の修正に貢献した。荒尾孝氏はデータ解析と原稿の修正に貢献した。提出された原稿は全著者によって承認された。

資金

本研究の一部は科学研究費新学術領域研究(「ウィルダイナミクス」16H06401)、科研費(若手研究19K20138)、科学技術振興機構(JST)助成金(JPMJMI19D5)、および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の共同研究助成により実施された。

謝辞

スローエアロビックダンス[®]の開発に貢献された日本エアロビック連盟、本研究で使用した音楽作成にご助言いただいた河瀬諭氏に感謝する。英文校正是エディテージ(www.editage.com)に委託した。

参考文献

- 1) Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews: Neuroscience*. 2008; 9: 58-65.
- 2) Kramer AF, Hahn S, Cohen NJ, Banich MT, McAuley E, Harrison CR, Chason J, Vakil E, Bardell L, Boileau RA, Colcombe A. Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*. 1999; 400: 418-9.
- 3) Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howarter 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.
- 4) Chang YK, Chen FT, Kuan G, Wei GX, Chu CH, Yan J, Chen AG, Hung TM. Effects of acute exercise duration on the inhibition aspect of executive function in late middle-aged adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2019; 11: 227.
- 5) 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.
- 6) Johnson L, Addamo PK, Selva Raj I, Borkoles E, Wyckelsma V, Cyarto E, Polman RC. An acute bout of exercise improves the cognitive performance of older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*. 2016; 24: 591-8.
- 7) Kamijo K, Hayashi Y, Sakai T, Yahiro T, Tanaka K, Nishihira Y. Acute effects of aerobic exercise on cognitive function in older adults. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*. 2009; 64: 356-63.
- 8) Nouchi R, Nouchi H, Kawashima R. A single 30 minutes bout of combination physical exercises improved inhibition and vigor-mood in middle-aged and older females: evidence from a randomized controlled trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2020; 12: 179.
- 9) Schutzer KA, Graves BS. Barriers and motivations to exercise in older adults. *Preventive Medicine*. 2004; 39: 1056-61.
- 10) Rhodes RE, Kates A. Can the affective response to exercise predict future motives and physical activity behavior? A systematic review of published evidence. *Annals of Behavioral Medicine*. 2015; 49: 715-31.
- 11) 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.

- 12) 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.
- 13) Ekkekakis P, Parfitt G, Petruzzello SJ. The pleasure and displeasure people feel when they exercise at different intensities: decennial update and progress towards a tripartite rationale for exercise intensity prescription. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*. 2011; 41: 641-71.
- 14) Dawe D, Moore-Orr R. Low-intensity, range-of-motion exercise: invaluable nursing care for elderly patients. *Journal of Advanced Nursing*. 1995; 21: 675-81.
- 15) Stones MJ, Dawe D. Acute exercise facilitates semantically cued memory in nursing home residents. *Journal of the American Geriatrics Society*. 1993; 41: 531-4.
- 16) Burin D, Kawashima R. Repeated exposure to illusory sense of body ownership and agency over a moving virtual body improves executive functioning and increases prefrontal cortex activity in the elderly. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2021; 15: 674326.
- 17) Burin D, Liu Y, Yamaya N, Kawashima R. Virtual training leads to physical, cognitive and neural benefits in healthy adults. *NeuroImage*. 2020; 222: 117297.
- 18) Wu C, Yi Q, Zheng X, Cui S, Chen B, Lu L, Tang C. Effects of mind-body exercises on cognitive function in older adults: a meta-analysis. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2019; 67: 749-58.
- 19) Fan JX, Kowaleski-Jones L, Wen M. Walking or dancing: patterns of physical activity by cross-sectional age among U.S. women. *Journal of Aging and Health*. 2013; 25: 1182-203.
- 20) Brown S, Martinez MJ, Parsons LM. The neural basis of human dance. *Cerebral Cortex*. 2006; 16: 1157-67.
- 21) Hewston P, Kennedy CC, Borhan S, Merom D, Santaguida P, Ioannidis G, Marr S, Santesso N, Thabane L, Bray S, Papaioannou A. Effects of dance on cognitive function in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Age and Ageing*. 2021; 50: 1084-92.
- 22) Kimura K, Hozumi N. Investigating the acute effect of an aerobic dance exercise program on neuro-cognitive function in the elderly. *Psychology of Sport and Exercise*. 2012; 13: 623-9.
- 23) 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.
- 24) Predovan D, Julien A, Esmail A, Bherer L. Effects of dancing on cognition in healthy older adults: a systematic review. *Journal of Cognitive Enhancement*. 2019; 3: 161-7.
- 25) Lane A, Hewston R, Redding E, Whyte GP. Mood changes following modern-dance classes. *Social Behavior and Personality: An International Journal*. 2003; 31: 453-60.
- 26) Maroulakis E, Zervas Y. Effects of aerobic exercise on mood of adult women. *Perceptual and Motor Skills*. 1993; 76: 795-801.
- 27) McInman AD, Berger BG. Self-concept and mood changes associated with aerobic dance. *Australian Journal of Psychology*. 1993; 45: 134-40.
- 28) Pierce EF, Pate DW. Mood alterations in older adults following acute exercise. *Perceptual and Motor Skills*. 1994; 79: 191-4.
- 29) Hogan CL, Mata J, Carstensen LL. Exercise holds immediate benefits for affect and cognition in younger and older adults. *Psychology and Aging*. 2013; 28: 587-94.
- 30) Yanagisawa H, Dan I, Tsuzuki D, Kato M, Okamoto M, Kyutoku Y, Soya H. Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *NeuroImage*. 2010; 50: 1702-10.
- 31) Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of Physiology*. 2012; 590: 1077-84.
- 32) Tjønnå AE, Leinan IM, Bartnes AT, Jenssen BM, Gibala MJ, Winett RA, Wisløff U. Low- and high-volume of intensive endurance training significantly improves maximal oxygen uptake after 10-weeks of training in healthy men. *PloS One*. 2013; 8: e65382.
- 33) Ai JY, Chen FT, Hsieh SS, Kao SC, Chen AG, Hung TM, Chang YK. The effect of acute high-intensity interval training on executive function: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18: 3593.
- 34) Bartlett JD, Close GL, MacLaren DPM, Gregson W, Drust B, Morton JP. High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence. *Journal of Sports Sciences*. 2011; 29: 547-53.
- 35) Kujach S, Byun K, Hyodo K, Suwabe K, Fukuie T, Laskowski R, Dan I, Soya H. A transferable high-intensity intermittent exercise improves executive performance in association with dorsolateral prefrontal activation in young adults. *NeuroImage*. 2018; 169: 117-25.

- 36) Tsukamoto H, Suga T, Takenaka S, Tanaka D, Takeuchi T, Hamaoka T, Isaka T, Hashimoto T. Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise. *Physiology and Behavior*. 2016; 155: 224-30.
- 37) Hoekstra SP, Bishop NC, Leicht CA. Can intervals enhance the inflammatory response and enjoyment in upper-body exercise? *European Journal of Applied Physiology*. 2017; 117: 1155-63.
- 38) Kao SC, Westfall DR, Soneson J, Gurd B, Hillman CH. Comparison of the acute effects of high-intensity interval training and continuous aerobic walking on inhibitory control. *Psychophysiology*. 2017; 54: 1335-45.
- 39) Lambrick D, Stoner L, Grigg R, Faulkner J. Effects of continuous and intermittent exercise on executive function in children aged 8-10 years. *Psychophysiology*. 2016; 53: 1335-42.
- 40) Witek MA, Clarke EF, Wallentin M, Kringelbach ML, Vuust P. Syncopation, body-movement and pleasure in groove music. *PloS One*. 2014; 9: e94446.
- 41) Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*. 2001; 37: 153-6.
- 42) Kendzierski D, DeCarlo KJ. Physical activity enjoyment scale: two validation studies. *Journal of Sport & Exercise Psychology*. 1991; 13: 50-64.
- 43) Marcus B, Forsyth L. Motivating people to be physically active. *Human Kinetics, Champaign*, 2006.
- 44) Hardy CJ, Rejeski WJ. Not what, but how one feels: the measurement of affect during exercise. *Journal of Sport and Exercise Psychology*. 1989; 11: 304-17.
- 45) Sakairi Y, Nakatsuka K, Shimizu T. Development of the Two-Dimensional Mood Scale for self-monitoring and self-regulation of momentary mood states. *Japanese Psychological Research*. 2013; 55: 338-49.
- 46) 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.
- 47) Zysset S, Müller K, Lohmann G, von Cramon DY. Color-word matching stroop task: separating interference and response conflict. *NeuroImage*. 2001; 13: 29-36.
- 48) Ochi G, Yamada Y, Hyodo K, Suwabe K, Fukuie T, Byun K, Dan I, Soya H. Neural basis for reduced executive performance with hypoxic exercise. *NeuroImage*. 2018; 171: 75-83.
- 49) Sanada K, Kuchiki T, Miyachi M, McGrath K, Higuchi M, Ebashi H. Effects of age on ventilatory threshold and peak oxygen uptake normalised for regional skeletal muscle mass in Japanese men and women aged 20-80 years. *European Journal of Applied Physiology*. 2007; 99: 475-83.
- 50) Ekkekakis P, Hall EE, Petruzzello SJ. Practical markers of the transition from aerobic to anaerobic metabolism during exercise: rationale and a case for affect-based exercise prescription. *Preventive Medicine*. 2004; 38: 149-59.
- 51) Martinez N, Kilpatrick MW, Salomon K, Jung ME, Little JP. Affective and enjoyment responses to high-intensity interval training in overweight-to-obese and insufficiently active adults. *Journal of Sport & Exercise Psychology*. 2015; 37: 138-49.
- 52) Kilpatrick MW, Greeley SJ, Collins LH. The impact of continuous and interval cycle exercise on affect and enjoyment. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2015; 86: 244-51.
- 53) Niven A, Laird Y, Saunders DH, Phillips SM. A systematic review and meta-analysis of affective responses to acute high intensity interval exercise compared with continuous moderate- and high-intensity exercise. *Health Psychology Review*. 2021; 15: 540-73.
- 54) Ekkekakis P. Pleasure and displeasure from the body: perspectives from exercise. *Cognition and Emotion*. 2003; 17: 213-39.
- 55) Kilpatrick M, Kraemer R, Bartholomew J, Acevedo E, Jarreau D. Affective responses to exercise are dependent on intensity rather than total work. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007; 39: 1417-22.