

令和5年度日本フルハップ調査研究助成報告書

手指タッピング運動による身体・認知機能の可視化
: 高年齢労働者の心身機能の維持向上を目的として

中野 英樹

京都橘大学大学院健康科学研究科

京都橘大学健康科学部理学療法学科

要旨

本研究の目的は、高齢労働者の心身機能の維持向上のために、身体・精神心理機能を客観的かつ定量的に可視化する手指タッピング運動を開発することである。具体的には、フレイル高齢者と健常高齢者における身体・精神心理機能および手指タッピング運動の特性を明らかにする。対象は、地域在住高齢者 297 名とし、基本チェックリストを用いたフレイル判定に準じて、ロバスト群 189 名、プレフレイル群 122 名、フレイル群 40 名に分類した。全ての対象者は、握力、膝伸展筋力、30 秒椅子立ち上がりテスト、開眼片足立ち時間、長座体前屈、Timed up and go test (TUG)、5m 通常・最大歩行速度、Mini-mental state examination、高齢者抑うつ尺度の短縮版 (5-item geriatric depression scale : GDS-5) を評価した。また手指タッピング運動のインフェーズ課題とアンチフェーズ課題における手指運動の特徴量を測定した。統計解析の結果、膝伸展筋力、開眼片足立ち時間、5m 通常・最大歩行速度はロバスト群と比較してプレフレイル群・フレイル群で有意に悪く ($p < 0.05$)、TUG はロバスト群と比較してフレイル群で有意に遅延した ($p < 0.05$)。また、GDS-5 はロバスト群と比較してプレフレイル群・フレイル群で有意に増大し、プレフレイル群と比較してフレイル群で有意に増大した ($p < 0.05$)。さらに手指タッピング運動のインフェーズ課題では、左総移動距離はロバスト群と比較してプレフレイル群・フレイル群で有意に低下し ($p < 0.05$)、左オープニング速度の極大点の平均、左オープニング加速度の極大点の平均、左接触時間の平均はロバスト群と比較してフレイル群で有意に悪く ($p < 0.05$)、左速度の最大

振幅，左加速度の最大振幅，右接触時間の平均，左右タップインターバル平均はロバスト群と比較してプレフレイル群で有意に悪かった ($p < 0.05$)。一方，手指タッピング運動のアンチフェーズ課題では，左総移動距離，左タップ回数，左タップ周波数はロバスト群と比較してプレフレイル群で有意に低下し ($p < 0.05$)，左オープニング加速度の極大点の平均はロバスト群と比較してフレイル群で有意に低下した ($p < 0.05$)。本研究により，フレイル高齢者では身体・精神心理機能の低下に加え，手指タッピング運動のパフォーマンスも低下することが明らかにされた。以上のことから，手指タッピング運動はフレイル高齢者の身体・精神心理機能を反映したスクリーニング指標として活用できる可能性が示唆された。

1. 背景

超高齢社会を迎えた日本において，高齢労働者の健康を維持向上させる効果的な対策の構築は重要な課題の一つである。60歳以上の雇用者数は過去10年間で1.5倍に増加し，労働災害による死傷者数では60歳以上の労働者の占める割合が26%と非常に高いことが報告されている（厚生労働省，2023）。さらに，高齢労働者では身体・精神心理機能の低下（フレイル）による労働災害の発生率が高く，休業も長期化しやすいこともわかっている（厚生労働省，2023）。しかし，フレイルは，適切な介入・支援により再び健常な状態に戻るという可逆性があることから（荒井，2018），フレイルの発

生・進行を予防する効果的な評価法の開発は必要不可欠である。そこで本研究では、高齢労働者の心身機能の維持向上のために、身体・精神心理機能を客観的かつ定量的に可視化する手指タッピング運動を開発することを目的とする。具体的には、フレイル高齢者と健常高齢者における身体・精神心理機能および手指タッピング運動の特性を明らかにする。本研究は、高齢労働者の健康増進やゼロ次予防、さらには労働災害の軽減に貢献することが期待される。

2. 方法

2.1. 対象

対象は、地域在住高齢者 297 名とした。なお、測定項目に欠損が生じた者は解析対象から除外した。まず、対象者から厚生労働省作成基本チェックリスト（日常生活関連動作、運動器、低栄養状態、口腔機能、閉じこもり、認知機能、抑うつ気分）などの基本的情報を質問紙にて調査し、その後に以下の身体・精神心理機能および手指タッピング運動の評価を行った。なお本研究では、先行研究（Satake S, et al. 2016）に準じて基本チェックリストで得られた結果から 3 点以下をロバスト（健常）群、4 点から 7 点をプレフレイル群、8 点以上をフレイル群に分類して比較検討を行った。

2.2. 倫理的配慮

本研究は、ヘルシンキ宣言に示された倫理と個人情報に配慮し、口頭での説明と書面にて同意を得て実施した。なお本研究は、京都橘大学研究倫理委員会の承認を得て実施した。

2.3. 身体機能の評価

身体機能は、厚生労働省「運動器の機能向上マニュアル」の体力測定に則り、筋力、バランス能力、柔軟性、歩行能力を評価した。筋力の評価として握力、膝伸展筋力、30秒椅子立ち上がりテスト（30-second chair stand test : CS-30）、バランス能力の評価として開眼片足立ち時間、柔軟性の評価として長座体前屈、歩行能力の評価として Timed up and go test (TUG)、5m 通常・最大歩行速度を測定した。

2.4. 精神心理機能の評価

精神心理機能は、認知機能と抑うつ状態を評価した。認知機能の評価として Mini-mental state examination (MMSE)、抑うつ状態の評価として高齢者抑うつ尺度の短縮版（5-item geriatric depression scale : GDS-5）を測定した。

2.5. 手指タッピング運動の評価

手指タッピング運動の評価は、母指と示指のタッピング運動を左右同時に可能な限り速く実施するインフェーズ課題と左右交互に実施するアンチフェーズ課題

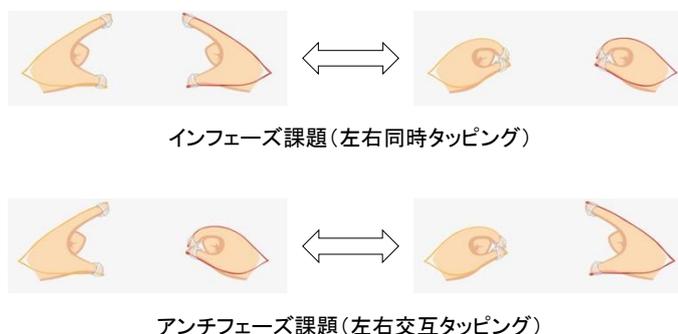


図1：手指タッピング運動

ズ課題で構成された（図1）。各課題は開眼で練習を行った後に、閉眼で15秒間実施し、その際の手指運動の特徴量を計測した。手指運動の特徴量の計測には、磁気センサ型指タッピング装置（UB-2、マクセル社）を使用し、距離、速度、加速度、タップインターバル、位相差に関するパラメータを測定した。

2.6. 統計解析

基本チェックリストを用いたフレイル判定の結果、ロバスト群135名、プレフレイル群122名、フレイル群40名に分類され、これらの群で各評価項目の比較検討を行った。まず、Shapiro-Wilk検定を用いて各評価項目の正規性を確認した。各群における評価項目の比較には一元配置分散分析を使用し、事後検定にはBonferroni法を用いた。統計解析にはIBM SPSS Statistics Version 29.0を用い、有意水準は5%とした。

3. 結果

表 1 にロバスト群，プレフレイル群，フレイル群における身体・精神心理機能の比較を示す．一元配置分散分析の結果，握力，膝伸展筋力，CS-30，開眼片足立ち時間，TUG，5m 通常歩行速度，5m 最大歩行速度，GDS-5 に有意差を認めた ($p < 0.05$)．事後検定の結果，膝伸展筋力は，ロバスト群と比較してプレフレイル群・フレイル群で有意に低下した ($p < 0.05$)．開眼片足立ち時間は，ロバスト群と比較してプレフレイル群・フレイル群で有意に短かった ($p < 0.05$)．TUG は，ロバスト群と比較してフレイル群で有意に延長した ($p < 0.05$)．5m 通常・最大歩行速度は，ロバスト群と比較してプレフレイル群・フレイル群で有意に低下した ($p < 0.05$)．GDS-5 は，ロバスト群と比較してプレフレイル群・フレイル群で有意に高く ($p < 0.05$)，プレフレイル群と比較してフレイル群で有意に高かった ($p < 0.05$)．

表 2 にインフェーズ課題におけるロバスト群，プレフレイル群，フレイル群の手指運動特徴量の比較を示す．一元配置分散分析の結果，左総移動距離，左速度の最大振幅，左オープニング速度の極大点の平均，左クロージング速度の極大点の平均，左加速度の最大振幅，左オープニング加速度の極大点の平均，左クロージング加速度の極大点の平均，左右接触時間の平均，左右タップインターバル平均，左タップ周波数に有意差を認めた ($p < 0.05$)．事後検定の結果，左総移動距離は，ロバスト群と比較してプレフレイル群・フレイル群で有意な低値を示した ($p < 0.05$)．左速度の最大振

幅、左加速度の最大振幅は、ロバスト群と比較してプレフレイル群で有意な低値を示した ($p < 0.05$)。左オープニング速度の極大点の平均、左オープニング加速度の極大点の平均は、ロバスト群と比較してフレイル群で有意な低値を示した ($p < 0.05$)。右接触時間の平均、左右タップインターバル平均は、ロバスト群と比較してプレフレイル群で有意な高値を示し ($p < 0.05$)、左接触時間の平均は、ロバスト群と比較してフレイル群で有意な高値を示した ($p < 0.05$)。

表 3 にアンチフェーズ課題におけるロバスト群、プレフレイル群、フレイル群の手指運動特徴量の比較を示す。一元配置分散分析の結果、左総移動距離、左オープニング加速度の極大点の平均、左タップ回数、左タップ周波数に有意差を認めた ($p < 0.05$)。事後検定の結果、左総移動距離、左タップ回数、左タップ周波数は、ロバスト群と比較してプレフレイル群で有意な低値を示した ($p < 0.05$)。左オープニング加速度の極大点の平均は、ロバスト群と比較してフレイル群で有意な低値を示した ($p < 0.05$)。

4. 考察

本研究では、フレイル高齢者において膝伸展筋力、開眼片足立ち時間、TUG、5m 通常・最大歩行速度が低下し、GDS-5 が増大した。この結果は、フレイル高齢者では下肢筋力、バランス能力、歩行能力が低下し、抑うつ状態であることを意味する。筋力の低下はサルコペニアと関連しており、フレイル高齢者では下肢の筋肉量と筋力が著

しく低下することがわかっている (Batista FS, et al. 2012; Cesari M, et al. 2006). また、下肢筋力の低下は歩行速度の低下や TUG の遅延, バランス能力の低下に繋がり, 日常生活における活動制限が進むことで抑うつ症状が生じやすくなることが報告されている (Chen T, et al. 2017; KvæL LAH, et al. 2017). 以上のように, フレイル高齢者では身体・精神心理機能の低下が生じることが過去の研究で報告されており, 本研究においても先行研究と同様の現象がフレイル高齢者において認められた.

また, フレイル高齢者は手指タッピング運動のインフェーズ課題において, 総移動距離 (左手), オープニング速度の極大点の平均 (左手), オープニング加速度の極大点の平均 (左手), 接触時間の平均 (左手) が低下した. この結果は, フレイル高齢者では左右の手指を同調させたタッピング運動において, 手指の運動量, 手指を開く速さ, 手指を開く速さの変化, 手指を閉じている時間が健常高齢者よりも悪いことを意味する. 一方, 手指タッピング運動のアンチフェーズ課題では, フレイル高齢者はオープニング加速度の極大点の平均 (左手) が低下した. この結果は, フレイル高齢者では左右の手指を非同調させたタッピング運動において, 手指を開く速さの変化が健常高齢者よりも悪いことを意味する. 過去の研究により, 両手運動における正確性の低下, 変動性の増大, 実行時間の延長は加齢に伴い顕著となり (Krehbiel LM et al. 2017), その理由として左右感覚運動領域における抑制性の神経伝達物質 (GABA) の低下が関与することが報告されている (Maes C, et al. 2021). また, 両手協調運動には

脳梁を介した半球間相互作用が重要な役割を担っており (Gerloff C, et al. 2002), 脳梁の構造的・機能的結合性の加齢性変化が両手運動パフォーマンスを低下させることがわかっている (Fling BW, et al. 2012; Fujiyama H, et al. 2016). さらに, このような脳梁繊維の変容はフレイル高齢者において著しいことが明らかにされている (Tian Q, et al. 2020). 以上のことから, 脳梁の加齢変容に伴う半球間相互作用の機能障害によって, フレイル高齢者では手指タッピング運動のインフェーズ課題およびアンチフェーズ課題でパフォーマンスが低下したことが示唆された.

5. 結論

本研究により, 身体・精神心理機能に関してはフレイル高齢者において下肢筋力, バランス能力, 歩行能力が低下し, 抑うつ状態が増大することが明らかにされた. また手指タッピング運動のインフェーズ課題では, フレイル高齢者において手指の運動量, 手指を開く速さ, 手指を開く速さの変化, 手指を閉じている時間が悪く, アンチフェーズ課題では手指を開く速さの変化が悪いことが明らかにされた. 本研究により, フレイル高齢者では身体・精神心理機能の低下に加え, 手指タッピング運動のパフォーマンスも低下することが明らかにされた. 以上のことから, 手指タッピング運動はフレイル高齢者の身体・精神心理機能を反映したスクリーニング指標として活用できる可能性が示唆された.

6. 研究成果

Fujikawa S, Sawai S, Yamamoto R, Nakano H. Assessment of brain inhibitory function in the physical therapy. *Physical Therapy - Towards Evidence-Based Practice*. IntechOpen. 2023, pp.45-66. DOI: 10.5772/intechopen.1003275

表 1：ロバスト群，プレフレイル群，フレイル群における身体・精神心理機能の比較

	ロバスト群 (n = 135)		プレフレイル群 (n = 122)		フレイル群 (n = 40)		F-value	p-value	Post-hoc test
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD			
握力(kg)	24.10	6.89	22.18	6.54	21.56	6.27	3.68	0.03 *	
膝伸展筋力(kg)	25.31	9.54	22.01	6.96	19.98	7.98	8.50	0.00 *	プレフレイル<ロバスト, フレイル<ロバスト
CS-30(回)	22.43	6.23	20.81	5.54	19.90	6.16	3.89	0.02 *	
開眼片足立ち時間(秒)	30.34	28.07	16.10	18.84	20.37	29.61	10.74	0.00 *	プレフレイル<ロバスト, フレイル<ロバスト
長座体前屈(cm)	34.40	9.70	32.68	10.01	34.06	10.80	1.00	0.37	
TUG(秒)	5.99	1.28	6.36	1.28	6.86	1.66	7.16	0.00 *	ロバスト<フレイル
5m通常歩行速度(cm/sec)	131.91	20.70	121.70	22.42	118.76	28.84	8.85	0.00 *	プレフレイル<ロバスト, フレイル<ロバスト
5m最大歩行速度(cm/sec)	180.21	30.50	167.78	27.47	159.28	36.11	9.76	0.00 *	プレフレイル<ロバスト, フレイル<ロバスト
MMSE(点)	28.44	1.85	28.35	1.73	27.75	2.06	2.26	0.11	
GDS-5(点)	0.34	0.66	0.66	1.01	1.60	1.53	26.33	0.00 *	ロバスト<プレフレイル, ロバスト<フレイル, プレフレイル<フレイル

CS-30, 30-second chair stand test; TUG, Timed up and go test; MMSE, Mini-mental state examinator; GDS-5, 5-item geriatric depression scale.

表 2：インフェーズ課題におけるロバスト群，プレフレイル群，フレイル群の手指運動特徴量の比較

		ロバスト群 (n=135)		プレフレイル群 (n=122)		フレイル群 (n=40)		F-value	p-value	Post-hoc test
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD			
距離の最大振幅(mm)	右	62.13	18.01	65.39	18.64	62.48	12.82	1.17	0.31	
	左	66.98	19.85	66.16	19.07	63.38	16.62	0.55	0.58	
総移動距離(mm)	右	4503.81	1530.68	4304.59	1502.26	4071.20	1303.46	1.46	0.23	
	左	4610.19	1682.56	4060.41	1554.51	3880.42	1462.38	5.25	0.01 *	プレフレイル<ロバスト, フレイル<ロバスト
速度の最大振幅(m/sec)	右	2.07	0.56	2.03	0.57	1.99	0.47	0.36	0.70	
	左	2.19	0.65	1.99	0.59	1.94	0.57	4.72	0.01 *	プレフレイル<ロバスト
オープニング速度の極大点の平均(m/sec)	右	0.70	0.21	0.68	0.20	0.64	0.17	1.16	0.31	
	左	0.70	0.22	0.64	0.20	0.60	0.20	3.91	0.02 *	フレイル<ロバスト
クロージング速度の極大点の平均(m/sec)	右	0.93	0.29	0.91	0.29	0.89	0.27	0.22	0.81	
	左	0.93	0.31	0.84	0.29	0.82	0.32	3.58	0.03 *	
加速度の最大振幅(m/sec ²)	右	91.74	28.21	87.77	29.27	86.61	26.22	0.85	0.43	
	左	98.05	34.00	86.19	30.23	85.85	29.03	5.18	0.01 *	プレフレイル<ロバスト
オープニング加速度の極大点の平均(m/sec ²)	右	21.23	7.40	19.73	6.85	18.74	7.30	2.46	0.09	
	左	20.17	7.68	18.44	6.63	16.75	6.40	4.21	0.02 *	フレイル<ロバスト
クロージング加速度の極大点の平均(m/sec ²)	右	37.53	13.55	36.51	13.21	35.65	12.71	0.38	0.68	
	左	36.57	14.43	32.59	12.96	31.64	14.79	3.45	0.03 *	
接触時間の平均(sec)	右	0.12	0.05	0.14	0.06	0.14	0.05	3.43	0.03 *	ロバスト<プレフレイル
	左	0.12	0.06	0.14	0.06	0.14	0.06	3.31	0.04 *	ロバスト<フレイル
タップ回数	右	47.59	13.71	43.81	15.30	42.80	13.36	2.98	0.05	
	左	46.81	13.11	42.89	14.43	42.83	13.70	3.02	0.05	
タップインターバル平均(sec)	右	0.34	0.13	0.39	0.16	0.39	0.15	3.33	0.04 *	ロバスト<プレフレイル
	左	0.35	0.13	0.39	0.16	0.39	0.15	3.43	0.03 *	ロバスト<プレフレイル
タップ周波数(Hz)	右	3.21	0.92	2.96	1.03	2.90	0.89	2.97	0.05	
	左	3.16	0.87	2.90	0.97	2.90	0.91	3.09	0.05 *	
位相差の平均		24.75	23.36	25.00	20.57	21.41	17.32	0.45	0.64	
両手の類似度		0.85	0.18	0.85	0.18	0.88	0.13	0.42	0.66	

表 3：アンチフェーズ課題におけるロバスト群，プレフレイル群，フレイル群の手指運動特徴量の比較

		ロバスト群 (n = 135)		プレフレイル群 (n = 122)		フレイル群 (n = 40)		F-value	p-value	Post-hoc test
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD			
距離の最大振幅 (mm)	右	78.46	18.78	80.18	22.22	74.00	15.46	1.46	0.23	
	左	81.99	19.96	80.22	18.95	78.17	21.18	0.65	0.52	
総移動距離 (mm)	右	3807.58	1250.17	3582.25	1238.25	3462.55	1382.02	1.63	0.20	
	左	3842.37	1302.26	3439.44	1137.84	3371.43	1245.46	4.34	0.01 *	プレフレイル<ロバスト
速度の最大振幅 (m/sec)	右	2.29	0.63	2.27	0.71	2.16	0.56	0.57	0.56	
	左	2.29	0.61	2.16	0.61	2.10	0.60	2.10	0.12	
オープニング速度の極大点の平均 (m/sec)	右	0.68	0.19	0.65	0.19	0.63	0.17	1.07	0.34	
	左	0.66	0.20	0.62	0.19	0.59	0.19	2.74	0.07	
クロージング速度の極大点の平均 (m/sec)	右	1.12	0.35	1.10	0.34	1.06	0.32	0.56	0.57	
	左	1.08	0.31	1.01	0.31	1.00	0.36	1.65	0.19	
加速度の最大振幅 (m/sec ²)	右	102.37	36.26	98.10	37.76	95.19	30.11	0.80	0.45	
	左	100.92	30.42	93.62	28.73	94.91	31.44	2.04	0.13	
オープニング加速度の極大点の平均 (m/sec ²)	右	19.25	6.28	18.29	6.96	17.59	7.19	1.22	0.30	
	左	18.80	7.62	16.73	6.17	15.60	6.22	4.69	0.01 *	フレイル<ロバスト
クロージング加速度の極大点の平均 (m/sec ²)	右	46.10	16.42	43.99	15.59	42.69	15.23	0.96	0.38	
	左	43.00	14.47	39.90	15.18	39.64	17.11	1.61	0.20	
接触時間の平均 (sec)	右	0.22	0.11	0.24	0.09	0.25	0.17	2.01	0.14	
	左	0.22	0.12	0.25	0.09	0.27	0.22	2.86	0.06	
タップ回数	右	30.25	9.52	27.62	7.92	28.33	10.85	2.77	0.06	
	左	29.82	9.19	26.93	7.42	27.65	10.19	3.73	0.03 *	プレフレイル<ロバスト
タップインターバル平均 (sec)	右	0.54	0.23	0.57	0.17	0.59	0.24	1.14	0.32	
	左	0.55	0.22	0.58	0.16	0.60	0.27	1.48	0.23	
タップ周波数 (Hz)	右	2.06	0.64	1.88	0.53	1.93	0.73	2.84	0.06	
	左	2.03	0.61	1.85	0.50	1.90	0.68	3.37	0.04 *	プレフレイル<ロバスト
位相差の平均		180.57	26.84	177.13	25.56	179.57	34.07	0.51	0.60	
両手の類似度		0.20	0.16	0.19	0.15	0.23	0.20	1.10	0.33	