

令和4年度 博士論文

認知機能改善を図る座位運動プログラムの考案
: 課題実施時の脳血流量の変化および地域在住高齢者の認知
機能に対する効果の検討

鹿屋体育大学大学院 体育学研究科
体育学専攻

内田遼太

目次

第 1 章 序論

第1節	社会的背景	1
第2節	文献研究	
	1. 運動処方と認知機能	4
	2. 座位運動と認知機能	9
	3. 介護・認知症予防のための運動プログラム	11
	4. 認知機能と脳機能	14
	5. 脳血液酸素動態および近赤外分光法	14
第3節	研究背景	18
第4節	研究の意義および目的	20
第5節	研究課題の設定	21
第6節	倫理的配慮	21

第 2 章 研究課題 1

認知課題を取り入れた座位で実施可能な運動プログラムである STE の考案

第1節	緒言	23
第2節	STE プログラム概要	23

第 3 章 研究課題 2

STE が地域在住女性高齢者の脳血流に及ぼす影響

第1節	緒言	29
第2節	方法	30
第3節	結果	34
第4節	考察	37

第4章 研究課題3

STEが地域在住女性高齢者の認知機能に及ぼす効果の検討

第1節 緒言	・・・・・・・・・・	41
第2節 方法	・・・・・・・・・・	42
第3節 結果	・・・・・・・・・・	47
第4節 考察	・・・・・・・・・・	50

第5章 総括

第1節 結語	・・・・・・・・・・	53
第2節 今後の研究課題	・・・・・・・・・・	56

謝辞	・・・・・・・・・・	58
----	------------	----

文献	・・・・・・・・・・	59
----	------------	----

関連論文

第 1 節 社会的背景

現在、日本において高齢化が進行し続けている。令和 4 年度高齢社会白書によると、2021 年の我が国の総人口 1 億 2,550 万人のうち 65 歳以上人口は、3,621 万人であり、総人口に占める割合、すなわち高齢化率は 28.9%である（内閣府、2022）。65 歳以上人口のうち、前期高齢者である 65～74 歳の人口は 1,754 万人と、総人口に占める割合は 14.0%である一方、後期高齢者に当たる 75 歳以上の人口は 1,867 万人と、総人口に占める割合は 14.9%であり、65～74 歳人口を上回っている現状である（内閣府、2022）。今後、2065 年には総人口が 8,808 万人にまで減少する一方、高齢化率は 38.4%にまで上昇を続けることが予想されている（内閣府、2022）。さらには総人口に占める 75 歳以上人口の割合は、2065 年には 25.5%となり、約 3.9 人に 1 人が 75 歳以上の者になると推計されている（内閣府、2022）。

日本において高齢化の進行とともに健康寿命延伸の重要性も高まっている。21 世紀における第二次国民健康づくり運動（健康日本 21[第二次]）では、健康寿命を「健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間」（厚生労働省、2012）と定義している。2019 年の健康寿命は、男性および女性はそれぞれ 72.68 年、75.38 年であり、2010 年と比較して、男性では 2.26 年、および女性では 1.76 年延伸している（厚生労働省、2022）。一方で、2019 年の平均寿命は男性 81.41 年、女性 87.45 年であり、平均寿命の伸びは男性 1.86 年、女性 1.15 年と、健康寿命の伸びが平均寿命の伸びを上回っている（厚生労働省、2022）。しかしながら、日常生活に制限のある「不健康な期間」を意味する平均寿命と健康寿命の差は依然 10 年近くあり（男性 8.73 年、女性 12.07 年）、今後さらなる健康寿命の延伸が望まれる。

日本における高齢化の進行は、被介護者の増加および介護者の減少にも拍車をかけている。介護保険制度における要介護又は要支援の認定を受けた者の数は増加しており、2009 年に 469.6 万人であったのが 2019 年には 655.8 万人と、10 年間で 186.2 万人増加している（厚生労働省、2022）。また、65～74 歳の前期高齢者と、75 歳以上の後期高齢者において、それぞれ要支援、要介護の認定を受けた者の割合をみると、65～74 歳では 1.4%、および 2.9%であるのに対して、75 歳以上では 8.8%、および 23.1%であり、75 歳以上において要介護認定者の割合がより高くなっている（厚生労働省、2022）。

また、要介護認定者の増加が見込まれる一方で、介護や医療を提供する側の人材不足が

懸念されている。雇用政策研究会報告書（2019）によると、経済成長と労働参加が進むと仮定した場合、就業者数は2021年に6,713万人であったのが、2040年には6,024万人となると推計されており、減少するものの大幅な人口減少下にあることを鑑みればその減少は相当程度抑えられる可能性が報告されている。その中で、2040年の医療・福祉分野の就業者数は974万人と推計されている。これに対し、医療・介護サービスの需要から推計した必要人員数は1,070万人と、96万人の差が生じる可能性が示されている。

さらに、高齢化の進行および要介護認定者の増加は財政にも影響を及ぼしている。社会保障費用統計（2019）によると、2017年度の社会保障給付費は123兆9,241億円となり過去最高の水準となっている。このうち、高齢者関係給付費（年金保険給付費、高齢者医療給付費など）は82兆444億円と、前年度の80兆8,582億円から1兆1,862億円増加しており、保険財政を圧迫している現状である。以上のことから、今後後期高齢者の増加が予想される日本において、高齢者の増加に伴い要介護認定者が増加する一方で要介護認定者を支援する人材が不足する可能性がある。また、要介護認定者の増加が保険財政を逼迫させることから、要介護認定者の増加を抑制するための対策を講じる必要がある。

2019年の我が国における65歳以上の介護が必要となった主な原因は、認知症が最も多く（18.1%）、次いで、脳血管疾患（15.0%）、高齢による衰弱（13.3%）、骨折・転倒（13.0%）と続いている（厚生労働省、2022）。2009年では、脳血管疾患が最も多く（23.3%）、次いで、認知症（14.0%）、高齢による衰弱（13.6%）、関節疾患（12.2%）であったことをふまえると、要介護の要因はこの10年間で、脳血管疾患や関節疾患といった疾患による原因よりも、認知機能の低下や衰弱、およびそれらに伴う骨折・転倒が多くを占めるようになってきたといえる。よって、高齢者の認知症や衰弱を予防することが要介護認定者の増加抑制につながると考えられる。

2012年の認知症高齢者数は462万人で、65歳以上の高齢者の約7人に1人であった。それが2025年には730万人で、約5人に1人にまで増加すると推計されている（内閣府、2017）。また、認知症は段階的に進行し、その前段階は軽度認知障害（Mild Cognitive Impairment. 以下「MCI」と略す）と診断される。MCIは、物忘れが主たる症状だが、日常生活への影響はほとんどなく、認知症とは診断できない状態である（Petersen, 2004）。MCIの国内有病者数は2012年時点で約400万人と推定され（厚生労働省、2012）、MCI患者のうち、10%が認知症に移行するとされている（Bruscoli and Lovestone, 2004）。一方で、MCI患者に対し適切な介入をすれば、正常な認知機能に回復するという報告

(Shimada et al., 2017) もあり、高齢者の認知症および MCI は予防・改善が期待できる。

衰弱や虚弱などを意味する言葉として、近年、フレイルという概念が普及しつつある。フレイルは、高齢期に生理的予備能が低下することでストレスに対する脆弱性が亢進し、生活機能障害、要介護状態、死亡などの転帰に陥りやすい状態と定義されている (Fried et al., 2001)。一方で、フレイルに対する予防効果に関する Peterson et al. (2009) の報告では、運動と食事療法により、フレイルを予防できることが明らかにされている。また、フレイルは身体的、精神・心理的、および社会的側面といった多面的な要素を有する (日本老年医学会, 2014)。このうち、身体的フレイルは認知機能低下のリスクを高めること (Samper et al., 2008) や、認知機能の低下は更なる身体的フレイルの進行のリスクを高めること (Chong et al., 2015) が報告されており、身体機能の低下と認知機能の低下は双方向に影響しあう。つまり、身体的フレイルおよび認知機能の低下のいずれかもしくは両方を予防することが要介護認定者の増加抑制につながる。健常高齢者の認知症・介護予防のみでなく、身体機能の低下した者の認知機能低下予防や、認知機能の低下した者の身体機能低下予防などあわせた対策が必要であろう。

このような社会情勢を踏まえて、高齢者における介護・認知予防のための取り組みを推進していくことは重要な課題であると考えられる。

第 2 節 文献研究

1. 運動処方と認知機能

高齢者の認知機能低下および認知症発症予防のための一つの方法として運動が挙げられる。Laurin et al. (2001) は、身体活動が認知機能障害、アルツハイマー病、およびあらゆるタイプの認知症リスク低下と関連しており、定期的な運動が重要な保護因子である可能性を報告している。また、運動の種類は問わず、週 3 回以上の 15 分以上の任意の運動（歩行、サイクリング、エアロビクス、水泳、ウェイトトレーニング、およびストレッチなど）を行った者では 1,000 人あたり 13.0 人、週 3 回以下の運動を行った者では 1,000 人あたり 19.7 人であり、定期的な身体活動の実施が高齢者の認知症の発生を予防するようである (Larson et al., 2006)。

認知機能改善に効果的な運動の種類に関する報告もある。Barha et al. (2017) は、認知機能に問題のない健康高齢者を対象にしたシステマティックレビューおよびメタアナリシスを実施し、筋力運動よりも有酸素運動のほうが、認知機能および実行機能に対してより大きな効果があると報告している。一方で、有酸素運動よりも筋力運動のほうが認知機能低下予防に効果的であるといった報告もある。Huang et al. (2022) は、MCI または認知症患者の認知機能に対する運動介入の効果について検討した無作為化対照試験である 73 論文を対象とした、ネットワークメタアナリシスによるシステマティックレビューを報告している。この報告によると、高齢者の認知機能の維持・改善に好影響を及ぼす運動として、有酸素運動、筋力運動、マインド・ボディ・エクササイズ（太極拳、ヨガ、ピラティスなど）、およびそれらを組み合わせた運動、また、上記 4 種類に分類できない全身振動運動および指運動などが挙げられている。これらの運動の中で、認知症患者の認知機能低下の進行を遅らせるためには、筋力運動が最も効果的な運動であるとされている。

このように、これまでに認知機能に対する運動の有効性が数多く報告され、それらの知見をもとに、高齢者に推奨される運動処方が検討されている。本節では、高齢者における健康維持にむけた運動処方の一般原則および認知機能低下および認知症のリスク低減にむけた世界保健機関 (World Health Organization. 以下「WHO」と略す) ガイドラインについて示す。

1-1. 運動処方的一般原則

運動処方の原則として、FITT の原則（American College of Sports Medicine. 以下「ACSM」と略す、2010）がある。FITT の原則とは、効果的に運動を実施するために、実施する運動の頻度（F: frequency）、強度（I: intensity）、持続時間（T: time or duration）、およびタイプ（T: type of exercise）を考慮し、個々の対象者に合わせて運動プログラムを作成することである（ACSM, 2010）。日本においても国民の健康増進の総合的な推進を図るための基本的な方針として定められた 21 世紀における国民健康づくり運動（健康日本 21）（2000）では、高齢者の日常生活動作障害をより効率的かつ効果的に予防するためには、タイプ（種類）、強度、時間および頻度などの条件を適切に設定した上で運動を実施することの重要性が言及されている（厚生労働省、2000）。

ACSM では高齢者の健康を維持し増進するために、有酸素運動および筋力運動において、運動処方的一般原則を設定している（ACSM, 2010）。また、WHO も身体活動や座位行動に関するガイドラインの中で、65 歳以上の高齢者における有酸素運動や筋力運動の推奨運動量を提示している（WHO, 2020）。これらを表 1 に示す。

表1：高齢者における有酸素運動および筋力運動の推奨運動量（ACSM, 2010, WHO, 2020）

	頻度	強度	継続時間	タイプ（種類）
有酸素運動	中強度 5日／週以上 または 高強度 3日／週 または 中・高強度 3~5日／週	0~10の主観的運動強度で 5~6の中強度 7~8の高強度	中強度 1回10分、 少なくとも30~60分／日、 計150~300分／週 または 高強度 20~30分／日、 計75~100分／週 または 同程度の中・高強度の組み合わせ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 歩行 ・ 水中運動 ・ 自転車運動
筋力運動	2日／週以上	0~10の主観的運動強度で 5~6の中強度 7~8の高強度	各筋力運動をそれぞれ10~15回	<ul style="list-style-type: none"> ・ すべての主要筋群を使う ・ 階段昇降 ・ 漸増的荷重トレーニング

このように、健康維持のための一般的な運動処方として、有酸素運動や筋力運動の推奨実施頻度や推奨運動強度等は明確になっている。

1-2. 認知機能低下および認知症のリスク低減にむけた WHO ガイドライン

WHO は 2019 年に、認知機能低下および認知症のリスク低減にむけたガイドラインを公表している。このガイドラインの中で、認知症予防のために推奨される介入として、身体活動による介入、禁煙による介入、栄養的介入、アルコール使用障害への介入、認知的介入、社会活動、体重管理、高血圧の管理、糖尿病の管理、脂質異常症の管理、うつ病への対応、および難聴の管理が挙げられている。これらの 12 項目のうち、ここでは、身体活動による介入および認知的介入に着目する。

1-2-1. 身体活動による介入

身体活動による介入に関して、ガイドライン作成グループ（WHO によるガイドライン作成手引書に準拠し、選出された国際的な専門家集団）は、4 本のシステマティックレビューから（Barha et al., 2017; Barreto et al., 2018; Northey et al., 2018; Song et al., 2018）、以下の①～④について言及している。

- ① 健康な成人において、身体活動による介入は認知機能にポジティブな効果を与える（中のエビデンス）
- ② 身体活動は MCI と認知症のリスクに悪影響を及ぼさない（低～中のエビデンス）
- ③ MCI の人については、身体活動による介入が認知機能にポジティブな効果を及ぼす（低のエビデンス）。ただし、この効果は、すべての認知機能領域で一貫しているわけではない
- ④ 筋力運動よりも有酸素運動の方が認知機能に与える効果の程度は大きく、認知機能正常の人の方が MCI の人よりも効果が強い（特に有酸素運動）（低～中のエビデンス）

以上のように、身体活動は、認知機能正常の成人に対して認知機能低下のリスクを低減するために推奨されている。また、エビデンスは低いものの、MCI の成人に対して認知機能低下のリスクを低減するために推奨してもよいとされている。

1-2-2. 認知的介入

認知的介入について、認知刺激や認知トレーニングによって認知活動を増加させることは、認知的予備能（**cognitive reserve**：神経病理学的変化や神経障害が起きてもうまく対処する、もしくはそれを補うといった脳の持つ機能）（Stern, 2012）を刺激し増加させ、急速な認知機能の低下を和らげる（Stern and Munn, 2010）。また、認知活動レベルが高い者は低い者と比較し、MCIまたはアルツハイマー病診断のリスクが有意に低下する可能性が示されている（Sattler et al., 2012）。なお、認知刺激とは、「認知機能および社会機能の改善を目的とした様々な活動への参加」のことを指し、認知トレーニングとは、「特定の認知機能を高めるために定められた個々の標準化された課題を指針に沿って実践すること」を指す（Clare and Woods, 2004）。健常高齢者に対する認知刺激または認知トレーニングの効果、およびMCIの成人における認知トレーニングの効果に関する4つのシステマティックレビュー（Strout et al., 2016, Chiu et al., 2017, Chandler et al., 2016; Sherman et al., 2017）を基に、ガイドラインでは以下の①～③について言及している。

- ① 健常高齢者において、認知刺激による介入は、実行機能、注意、記憶、言語、処理速度のうち少なくとも一つの認知領域で認知機能の改善に効果的である（低のエビデンス）
- ② 健常高齢者に対する認知トレーニングは、認知機能全般に中程度のポジティブな効果がある（低のエビデンス）
- ③ MCIの成人に対する認知トレーニングは、認知機能にわずかにポジティブな効果を有する（低のエビデンス）

以上のように、全体的にエビデンスが低いものの、ガイドラインでは、認知トレーニングに関して条件付きの推奨を示した一方、認知刺激が認知症のリスクを減らすというエビデンスは不十分であり、推奨されていない。

1-3. 認知機能改善のための運動処方

認知機能低下および認知症のリスク低減にむけた WHO ガイドライン (WHO, 2019) では、身体活動による介入について、ACSM (2010) による高齢者における健康維持のための一般的な運動処方の推奨運動量 (表 1) を引用し、認知機能の低下のリスク低減のために同様の運動量を確保することを推奨している。その他、高齢者における認知機能改善に対する運動の有効性に関するシステマティックレビュー (Northey et al., 2018) において、認知機能改善のために推奨される運動処方が示されている。まず、運動の種類について、認知機能改善に効果的であった運動の種類は、有酸素運動や筋力運動であった。次に、運動時間は、1 回あたり 45~60 分、運動強度は中等度以上が推奨されている。最後に、頻度および期間は、週 3~4 回で 13~26 週間としている研究が多かったが、運動頻度および期間は問わないとされている。

2. 座位運動と認知機能

ここでは、運動の中でも、椅子座位で実施できる運動が認知機能に及ぼす影響について着目し、それらに関する研究を示す。

2-1. 遂行機能に対する手指運動の効果

Abe et al. (2018) は、健康高齢者の遂行機能に対する椅子座位で実施する運動の急性効果を検討している。座位運動の種類は、脚のステップング運動（10 分間）、ストレッチ（頸部、体幹等、10 分間）、および手指運動（指を曲げ伸ばしする対称・非対称の運動および指をくねらせる運動、各 5 分間）とし、運動前後でストロープ課題を実施し、遂行機能を評価している。その結果、3 種類の座位運動はいずれも遂行機能を改善させたが、手指運動が特に実行機能の改善に有効であったことを報告している。

2-2. 二重課題が認知機能に及ぼす影響

菊池ほか（2012）は、デイサービスを利用する要支援から要介護 3 までの虚弱高齢者を対象に、二重課題による長期介入効果を検討している。座位でできる二重課題運動として、上肢と下肢の開閉運動を行う筋力運動と、数字を 50 から 0 まで声を出して数えながら行う認知課題を同時に実施する運動を実施したところ、認知機能やうつ傾向が改善したことを報告している。また、山田（2009）も同様に、二重課題の長期介入効果を報告している。ストレッチ運動や筋力運動に加え、注意機能検査に用いられる Trail Making Test（以下「TMT」と略す）part A および TMT part B、さらに仮名拾い検査を注意機能トレーニングとして実施している。その結果、二重課題による長期介入は、高齢者の注意機能を向上させることが明らかになっている。

2-3. その他、認知機能に好影響を及ぼす要因

運動以外でも読書、ボードゲーム、および楽器演奏などの余暇活動が認知症リスクの低減に関与していることが報告されている（Verghese et al., 2003）。さらに、認知トレーニングの効果も報告されている（Willis et al., 2006）。この報告によると、記憶や処理速度、および推論といった特定の認知機能をターゲットとした認知トレーニングを実施したところ、そのトレーニングした能力に特化した認知機能の改善をもたらし、それは介入開始後 5 年経過しても継続したことが報告されている。

認知トレーニングの一つとして、学習療法がある。学習療法は、計算問題や音読課題を組み合わせたプログラムであり、全国の高齢者施設等に普及されている。このプログラムは、認知症患者でも実行できるように非常に単純な課題で構成されている。Kawashima et al. (2005) は、高齢者において、週に2～6日、6ヶ月、計算問題（数の練習、3桁の割り算など）および音読課題（音節の読み書き、童話の音読など）を合計20分間実施したところ、なにも実施しなかった対照群と比較して、課題を実施した介入群では認知機能の維持が認められるとともに、前頭葉機能が有意に改善したことを報告している。

3. 介護・認知症予防のためのプログラム

我が国において、全国各地域で介護予防や認知症予防のための取り組みが数多く実施されている。以下に、高齢者における介護・認知症予防のためのプログラムとして普及されている3つの運動プログラムの概要を示す。

3-1. シナプソロジー

特定の認知タスクと運動タスクを同時に行う二重課題の要素を含む運動として、Yoon et al. (2010; 2022) は、じゃんけんや3色のボールを使用したボール回しなどの身体動作に、計算や記憶課題、問題解決、および視覚の色認識などの脳活性課題を加えた、ゲーム感覚で実施可能なシナプソロジー（以下、「SYNAP」と略す）という運動プログラムを提案している。SYNAPの優れている点は、日本の伝統的な遊びを取り入れることで、高齢者がより理解しやすく、継続的に参加する動機付けができることである。また、SYNAPは、特別な道具や設備を必要としないため、費用対効果に優れている。さらに、高齢者であっても安全に実施可能である。このプログラムは、60分のセッション（10分間のウォーミングアップ、45分のSYNAP、および5分間のクールダウン）で構成されている。健康高齢者において、週に2回、8週間、計16回のSYNAP実施が、身体機能および認知機能を改善したと報告している（Yoon et al., 2010）。また、週2回、24週間、計48回のSYNAP実施により、老人ホーム入居中の認知機能障害のない虚弱高齢者においても、身体機能および認知機能が改善したことを報告している（Yoon et al., 2022）。

3-2. コグニサイズ

認知症予防のための運動として国立長寿医療研究センターが提唱する運動プログラムに、コグニサイズ（Cognicise）がある。コグニサイズとは、「Cognition（認知）」と「Exercise（運動）」を掛け合わせた造語であり、有酸素運動を主とした運動課題に脳活性を促す認知課題を同時に負荷する運動である。コグニサイズの例として、立位でステップ（足踏み）しながら3の倍数で手をたたくようなコグニステップや、ウォーキングしながらしりとりや計算課題をするコグニウォーク、および椅子に座った状態で足踏みをしながら、その他の運動や認知課題をするコグニサイズなど、様々な課題が設定されている。コグニサイズのみでの介入効果については報告されていないものの、認知課題と運動を組み合わせた多成分介入により、MCI高齢者の認知機能が改善することを報告している（Suzuki et al., 2012;

Suzuki et al., 2013; Shimada et al., 2018). これらのうち, Shimada et al. (2018) の報告では, MCI 高齢者に対し, コグニサイズを含む有酸素運動や筋力運動, およびバランストレーニングなどからなる複合運動プログラム (90 分間のプログラム, 週に 1 回, 40 週間) を実施したところ, 健康に関する講義のみを実施した対照群と比較して, 記憶を中心とした認知機能の維持および改善に効果的であったことを示している.

3-3. スクエアステップエクササイズ

介護・認知症予防の運動の一つとしてスクエアステップエクササイズ (Square-Stepping Exercise. 以下, 「SSE」と略す) がある (Shigematsu and Okura, 2006) (図 1). SSE は, 横幅 100 cm, 奥行き 250 cm の面を 25 cm 四方のマス目で区切ったマット上を前進, 後退, 左右, 斜め方向へ連続移動 (ステップ) する運動である. 参加者は, 指導者が示したステップパターンを正確に記憶した上で, その記憶を頼りに指示されたパターンを正確に模倣しながらステップする (図 2A). ステップパターンは参加者の習熟度に応じて初級, 中級および上級と約 400 パターンが準備されている. なお, ステップパターンは左右対称に, 右足からステップを始めるパターンと左足からステップを始めるパターンがそれぞれある (図 3). また, ステップパターンに上肢の運動を組み合わせた課題 (図 2B) や, ステップパターンに認知課題を組み合わせた課題 (図 2C) など, 二重課題運動も含まれている. 週に 1 回 90 分, 3 ヶ月の SSE 実施が認知機能, 身体機能, および主観的健康感に好影響を及ぼすことが報告されている (中垣内ほか, 2014). また, 野間ほか (2020) は, 後期高齢者を対象に, 週に 1 回 90 分, 6 か月間の SSE 教室を開催し, その効果を検討したところ, 認知機能の中でも記憶および言語流暢性に改善がみられたことを報告している. 中垣内らは, 鹿児島県 K 市の一般介護予防事業として, 高齢者が地域で自主的に集い, SSE に取り組む運動サロンの育成に取り組んでおり, 2022 年 11 月時点で, 77 か所の公民館や施設で SSE が実施されている.



図 1 (上図) : SSE 実施の様子

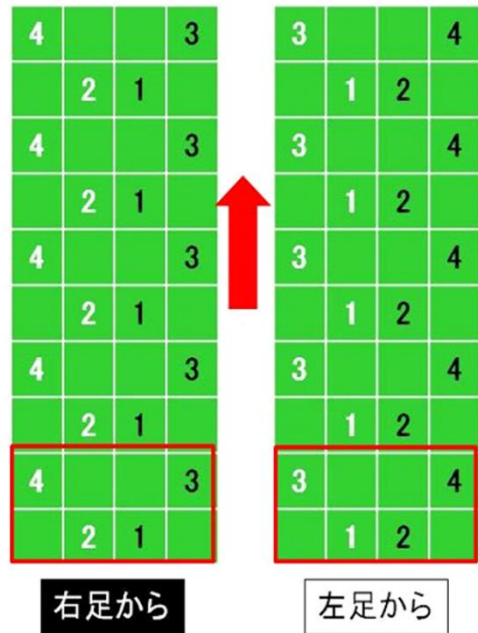


図 3 (右図) SSE のパターン実施例

A

②			①
②			①
②			①
②			①

右足

①			②
①			②
①			②
①			②

左足

マスの真ん中を確実に
音楽のリズムに合わせる
手と足を大きく振る

C

	②	①	
	②	①	
	②	①	
	②	①	

右足

	①	②	
	①	②	
	①	②	
	①	②	

左足

① 指折りて数を数える(20まで)
② 20まで数えながら3の倍数で手をたたく
③ 3の倍数と3のつく数字で手をたたく

B

④	②	①	③
④	②	①	③
④	②	①	③
④	②	①	③

右足

③	①	②	④
③	①	②	④
③	①	②	④
③	①	②	④

左足

① 中中でパチパチ、外外でパーパー
② 中中でパーパー、外外でパチパチ

図 2 : SSE におけるステップパターンの例

4. 認知機能と脳機能

認知機能には前頭前野 (prefrontal cortex. 以下, 「PFC」と略す) の働きが関与している。PFC は, 中心前回より前の領域で, 霊長類, 特にヒトで著しく発達しており, 情報や記憶に基づいて, 思考・計算・判断・計画・意思決定などを行っている。また, 認知機能, 特に目標の設定, 計画の立案, 目標に沿った計画の実行, 効果的な遂行の 4 つのカテゴリーを合わせた能力である遂行機能 (Lezak, 1982) に関わっている。

5. 脳血液酸素動態および近赤外分光法

5-1. 脳賦活化と脳血液酸素動態

脳の賦活化は, その領域の血流増加を伴い, これは神経血管カップリングとよばれている (Roy and Sherrington, 1890)。そのメカニズムの詳細については, まだ十分には解明されていないものの, 脳賦活時に営まれている脳内プロセスに血流増加領域近傍の神経ネットワークが関与しているようである (酒谷, 2012)。つまり, 脳の局所血流量の変化は, 実際に情報を処理している神経活動そのものを反映するわけではないが, 間接的な脳機能の指標となりうる。

5-2. 近赤外分光法

脳賦活化をはじめとした脳機能を計測する方法の一つに, 近赤外光分光法 (Near-Infrared Spectroscopy. 以下, 「NIRS」と略す) (Jöbsis, 1977) がある。以下に, NIRS の原理, NIRS による脳機能測定の特長およびデメリット, NIRS の妥当性, および NIRS における脳賦活化に伴う脳血液酸素動態の変動について示す。

5-2-1. NIRS の原理

近赤外領域の光は波長が約 700~1000 nm の電磁波で, 波長が 350~700 nm の可視光と異なり, 骨や皮下組織などに対して高い透過性を有する (酒谷, 2012)。その一方, 酸素化ヘモグロビン (以下, 「oxyHb」と略す) および脱酸素化ヘモグロビン (以下, 「deoxyHb」と略す) をはじめとした生体内色素によって吸収される (酒谷, 2012)。NIRS は, この特徴を利用して, 非侵襲的に頭蓋内のヘモグロビン (以下, 「Hb」と略す) 濃度変化を検出することができる。

血中の Hb のうち、酸素が結合した oxyHb と結合していない deoxyHb では、光吸収スペクトルが異なる (酒谷, 2012). 2 種類の異なる波長の光の吸収度合いの変化を調べることにより、測定対象とする組織中の oxyHb と deoxyHb, およびそれらの総和である総 Hb 量 (以下, 「totalHb」と略す) の変動を測定することが可能である (鹿嶋, 2011).

Hb の濃度変化は、透明試料中を光が通過するとき、吸光度は吸光物質の濃度と吸光物質内を通過した距離 (光路長) に比例するといった Beer-Lambert Law 則を基礎として算出されている。しかしながら、生体組織のように光錯乱の強い媒体では、光の錯乱を繰り返すために実際の光路長は媒質の厚みより長くなるとされており (酒谷, 2012), Beer-Lambert Law 則は適用できない。そこで、光路長および散乱による減衰が一定であると仮定すれば、吸光度の変化は吸光物質の濃度変化に比例することになるといった modified Beer-Lambert Law 則に基づいて Hb の濃度変化を算出している。

5-2-2. NIRS のメリットおよびデメリット

NIRS 測定のメリットおよびデメリットについて、Herold et al. (2018) がシステマティックレビューを報告している。機能的磁気共鳴画像法 (functional Magnetic Resonance Imaging. 以下, 「fMRI」と略す) および Positron Emission Tomography (以下, 「PET」と略す) など, 他の測定方法と比較した NIRS 測定のメリットおよびデメリットについて, 以下の表 2 にまとめた。

表2 NIRSによる脳機能測定のメリットおよびデメリット

メリット	デメリット
非侵襲的である	測定部位が皮質層に限定される
空間分解能が高い	皮膚血流や心拍数に影響を受ける
時間分解能が高い	データの処理に関する標準化された手順がない
持ち運び可能である	
操作中のノイズレベルが低い	
比較的安価である	
対象者の固定が不要である (動作中の測定が可能である)	
酸素化ヘモグロビンおよび脱酸素化ヘモグロビンの同時計測が可能である	

5-2-3. NIRS の妥当性

NIRS による脳機能計測の研究について、1993 年に 3 つの研究グループが、神経血管カップリングによる Hb 変動の計測により、脳賦活化をとらえることができると報告している (Hoshi and Tamura, 1993; Kato et al., 1993; Villringer et al., 1993). その後、NIRS に関連する研究が数多く実施され、NIRS と fMRI の同時計測による NIRS の妥当性 (Kleinschmidt et al., 1996) や、NIRS による課題実施に伴う脳賦活化の計測可能性など (Sato et al., 1999; Shimada et al., 2004)、NIRS の有用性が報告されている。

一方、NIRS による脳血液酸素動態の測定において、皮膚血流などの頭蓋外血行動態の変化による影響が示唆されている (Kirilina et al., 2012; Kohno et al., 2007; Takahashi et al., 2011; Toronov et al., 2001). Takahashi et al. (2011) は、額において、被験者が測定領域の皮膚の一部を手で押すと、言語流暢性タスクに関連した信号変化が消失したことから、額の NIRS による Hb 信号の変化の大部分は、言語流暢性タスク中の皮膚血流を反映していることを推察している。

この懸念について検討するため、Sato et al. (2013) は、比較的正確な空間情報を持ち、NIRS を用いて測定できる血行動態の変化に比例している BOLD 信号 (Buxton et al., 2004; Toronov et al., 2003) を測定する fMRI と、皮膚血流量を測定するレーザードップラー流量計、および NIRS の同時測定により、PFC の活性時における NIRS の妥当性について検討している。その結果、賦活化領域である PFC における NIRS 信号 (oxyHb) は、レーザードップラー流量計で測定した皮膚血流の信号よりも fMRI で測定した灰白質の BOLD 信号と有意に相関していたことを明らかにしている。このことから、NIRS を用いて前頭前皮質の賦活化に由来する血行動態信号を測定することの妥当性を主張している。

5-2-4. NIRS における脳賦活化に伴う脳血液酸素動態の変動

先述の通り、神経活動が発生すると、その周辺細胞で代謝が起きる。この際、エネルギーを生産するために酸素が消費され、oxyHb の濃度が低下するとともに、deoxyHb の濃度が上昇する (Scholkmann et al., 2014)。また、神経活動は、代謝とともに、賦活化された脳領域への血流増加を誘発する脳血行動態の局所的変化を誘発する (Pinti et al., 2018)。通常、脳活動に伴う脳代謝が 10 %増加すると、脳血流量は 40 %増加するとされており (Feng et al., 2004)、局所的な酸素供給量はその消費量を上回るため、賦活化された脳領域では、oxyHb の濃度が高く、deoxyHb の濃度が低下するとされている (Scholkmann et

al., 2014. Pinti et al., 2018). 結果的に, 脳の賦活化に伴う oxyHb, deoxyHb, およびこれらの総和である totalHb の変動は, oxyHb の増加, deoxyHb の減少, および totalHb の増加が典型的なパターンであるとされている (Villringer et al., 1993).

5-3. 脳賦活化と認知機能

軽度の運動強度である最大酸素摂取量の 30%強度の一過性運動が, 健康成人の PFC を賦活化し, 遂行機能を改善することが報告されている (Byun et al., 2014). また, 山田ほか (2008) は, 能動的な手指運動中の脳賦活について検討したところ, 単純な手指運動よりも, そこに弁別課題を組み込んだ運動のほうが, 脳血流量を増加させ前頭連合野や運動前野の機能を賦活化することが明らかになっている. Miura et al. (2003) は, 音読課題は, 黙読課題と比較して, 両側の前頭葉と側頭葉の領域をより賦活化させることを報告している. また, Burbaud et al. (1995) は, fMRI を用いて, 計算時の PFC の賦活化について検討している. その結果, 素数の連続減算と数字を暗唱する課題を実施した際, 数字の羅列課題では PFC 領域の賦活化が不十分であった一方, 素数の連続減算では PFC で規則的に信号の変化が観察されている.

第3節 研究背景

認知症予防のための運動には、有酸素運動や筋力運動などがあり、多くの研究で認知機能改善および認知症発症予防に対する運動の有効性が報告されている(Laurin et al., 2001; Larson et al., 2006; Barha et al., 2017; Huang et al., 2022; Northey et al., 2018)。また、認知トレーニングも認知機能低下および認知症予防に効果的である(Stern, 2012; Sattler, 2012; Strout et al., 2016, Chiu et al., 2017, Chandler et al., 2016; Sherman et al., 2017)。その他、高齢者の認知機能低下および認知症発症予防にむけた具体的な方法に関する数多くの研究がなされている。しかしながら、高齢者の認知機能低下予防および認知症予防に向けた運動トレーニングについて先行研究より以下の課題が挙げられる。

- ① 認知機能低下および認知症のリスク低減にむけた WHO ガイドラインでは、身体活動による介入について、中強度や高強度の有酸素運動および筋力運動が推奨されている。その他、認知機能改善のための運動処方として、Northey et al. (2018) によるシステマティックレビューでは、運動頻度および期間は問わず、有酸素運動や筋力運動を、1回あたり 45~60 分、中等度の運動強度で実施することが推奨されている。しかしながら、これらの運動ガイドラインは健常高齢者を対象としたものであり、身体機能が低下した虚弱高齢者を対象としたものではない。よって、運動ガイドラインで推奨されている運動は、中強度または高強度の運動と、虚弱高齢者ではこれらの運動を実施するのは難しい可能性がある。また、中等度から高強度の有酸素運動と筋力運動は、認知機能の低下を遅らせることはなく、むしろ認知障害を悪化させる可能性があるといった報告(Lamb et al., 2018)も存在する。このように虚弱高齢者を対象とした認知機能低下や認知症の予防・進行抑制に効果を有する運動の明確な方法が確立されているとはいいがたい。そのため、虚弱高齢者の認知機能低下や認知症の予防・進行抑制を目指した運動方法について検討する必要がある。
- ② 認知機能低下および認知症のリスク低減にむけた WHO ガイドラインでは、エビデンスは低いものの、認知的介入が推奨されている(WHO, 2019)。一方、認知的介入(認知課題)に運動を加えた二重課題の要素を含むプログラムは、認知機能に対する有効性が複数示されている(Yoon et al., 2010; 2022; Suzuki et al., 2012; Suzuki et al., 2013; Shimada et al., 2017; 中垣内ほか, 2014; 野間ほか, 2020)。しかしながら、虚弱高齢

者に焦点を当てた認知的介入（認知課題）に運動を加えた二重課題の要素を含むプログラムに関する報告は少なく，またその効果についても検討されていない。

- ③ 介護・認知症予防が重要視される我が国において，全国各地で認知機能の維持および認知症予防のための運動プログラムを考案し，普及活動を行うなど，対策が講じられている。しかしながら，これらの運動は，立位を伴う運動が大半を占めている。そのため，下肢の筋力低下やバランス能力の低下，その他の疾患などの影響により立位保持が困難な高齢者で実施することは難しい。現場では，そのような高齢者でも実施できる座位での運動プログラムの開発が望まれている。

以上のことから，1) 虚弱高齢者であっても実施可能な認知機能低下や認知症の予防・進行抑制を目指した運動プログラム，2) 認知的介入および認知課題に運動を加えた二重課題の要素を含む運動プログラム，3) 座位でも実施できる運動プログラムを新たに考案することが望まれる。そして考案した運動プログラムが高齢者，特に虚弱な高齢者の認知機能に及ぼす急性的および慢性的効果を検証することが重要である。

第4節 研究意義および目的

今後、高齢化の進行および要介護認定者の増加などに伴う様々な社会問題が発生することが懸念される日本において、介護予防のための活動、特に認知機能の低下および認知症の発症を予防するための取り組みを推進することは重要性が高いと考えられる。また、身体機能の低下と認知機能の低下は双方向に影響しあうことから (Samper et al., 2008; Chong et al., 2015)、健常高齢者の認知症・介護予防のみでなく、身体機能の低下した者の認知機能低下予防も必要である。つまり、要介護化予防、介護の重症化予防、および認知機能低下予防のために、虚弱な高齢者をはじめとした立位の運動実施が難しい高齢者であっても実施可能な、座位で実施する新たな運動プログラムの開発が望まれる。

運動プログラムを考案する上で、効果が検証されている介護・認知症予防のための運動プログラムである SYNAP、コグニサイズ、および SSE を参考にすることとした。また課題内容として、認知機能の改善に効果的な二重課題 (菊池ほか, 2012; 山田, 2009) や、手指運動 (Abe et al., 2018) を含む上肢運動を取り入れることで、認知機能の改善がより期待できると考えられる。さらに、PFC の賦活化は遂行機能を改善する (Byun et al., 2014) と報告されていることから、PFC を賦活化する音読課題 (Miura et al., 2003) や計算課題 (Burbaud et al., 1995)、および弁別課題 (山田ほか, 2008) を含む運動プログラムは認知症予防に有効と考えられる。

脳の賦活化は、NIRS (Jöbsis, 1977) により計測可能である。つまり、考案した運動プログラム課題実施時の脳血流量の変化を NIRS により測定し、課題実施に伴い脳が賦活化していることが明らかになれば、課題設定の妥当性が確認できる。さらに、プログラムによる長期介入が高齢者の認知機能の維持・改善に効果的であることが明らかとなれば、認知症予防のための運動プログラムとして活用可能となる。また、介護・認知症予防に寄与できるため、本研究の社会的意義は高いと考えられる。現状、認知症予防のための運動プログラムは確立されているとは言えず、新たな運動プログラムを考案し、その効果を検証することで、介護・認知症予防のより一層の推進に向けた知見の蓄積は意義があるだろう。

そこで本研究では、認知機能の改善に効果的な運動プログラムを参考に、認知課題を取り入れた座位で実施可能な運動プログラムを考案する。その運動プログラムの有効性について確認するため、地域在住女性高齢者を対象に課題実施時の脳血流量の変化および認知機能に対する長期介入効果を検討することを目的とした。

第 5 節 研究課題の設定

本研究の目的を達成するため、下記の 3 つの課題を設定した。まず研究課題 1 として、認知課題を取り入れた座位で実施可能な運動プログラム：スクエアタッチエクササイズ（Square Touch Exercise：以下、「STE」と略す）を考案することとした。次に、考案した STE プログラムの効果を検証するため、研究課題 2 では、地域在住高齢者を対象として、NIRS により STE 実施時の PFC における脳血液酸素動態を評価し、STE が脳を賦活化させるかを明らかにすることとした。最後に、研究課題 3 では、地域在住高齢者を対象に、3 ヶ月間の STE の実施が認知機能を改善させるかを明らかにすることとした。以上の課題から、STE が急性効果として高齢者の PFC を賦活化させるとともに、継続的な STE の実施が高齢者の認知機能を改善させることを確認することで、STE のプログラム内容の確立を目指した。

研究課題 1：認知課題を取り入れた座位で実施可能な運動プログラムである STE の考案

研究課題 2：STE が地域在住女性高齢者の脳血流に及ぼす影響

研究課題 3：STE が地域在住女性高齢者の認知機能に及ぼす効果の検討

第 6 節 倫理的配慮

本研究は、鹿屋体育大学倫理審査小委員会の承認を得て実施した（第 5 - 53 号および第 4 - 45 号）。研究の実施に際しては、ヘルシンキ宣言および人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針を遵守した。研究目的の説明後、研究協力の任意性と撤回の自由、本研究に参加することによって生ずる可能性のある利益と不利益・危険性等について口頭で説明を行い、文書により参加の同意を得られた個人のみを対象とした。

研究課題 1 :

認知課題を取り入れた座位で実施可能な運動プログラムである STE の考案

第 1 節 緒言

介護・認知症予防のための運動として、様々な運動プログラムが考案され、普及してきている。しかしながら、有酸素運動や筋力運動など、認知機能に好影響を与えることが明らかになっている運動には、立位を伴う運動が多い。そのため、立位での運動実施が困難な高齢者にとって、これらの運動の実施は難しいといった課題がある。高齢者を対象とする運動現場において、座位で実施可能な認知機能を維持・改善させる運動の開発が望まれている。

先行研究 (Byun et al., 2014; Kawashima et al., 2005) から、PFC を賦活化させる課題の実施により、認知機能が改善することが示唆されている。さらに、PFC は軽度の運動強度でも賦活化する (Byun et al., 2014)。つまり、PFC を賦活化するとされている弁別課題や二重課題を含む運動プログラムは、座位で実施する低強度の運動であっても、認知機能の維持改善および認知症予防に効果的なプログラムとなる可能性がある。そこで研究課題 1 では、SSE を参考に、座位で実施可能であり、認知課題を取り入れた運動プログラムである STE を考案することにした。

第 2 節 STE プログラム概要

STE はマットを置いたテーブルの前に設置した椅子に着座し、課題に従ってマット上のマスを用いて、上肢を使ってタッチする運動プログラムである。ここでは、STE で使用するマットや、STE の課題、および STE を主運動とした運動プログラムの概要について示す。

2-1. STE で使用するマット

AIST 人体寸法データベース 1991-92 によると、男性高齢者の手掌長（手首の付根にある 3 本のしわのうち中間のものから第三指付根の近位のしわまでの、手軸に平行な直線距

離)の平均は $110.1 \pm 4.3 \text{ mm}$ 、および女性高齢者の平均が $101.1 \pm 4.2 \text{ mm}$ である。また、手指の中で最長指である第三指長(第三指基節骨近位にあるしわの中央から第三指先端までの直線距離)は男性高齢者の平均が $77.2 \pm 4.6 \text{ mm}$ 、および女性高齢者の平均が $71.6 \pm 3.6 \text{ mm}$ である。STEにおいてマット状のマスを手掌の真ん中または手指でタッチする際に、手掌および手指がマスから大きくはみ出すことがないようにするため、1マスの大きさを1辺 100 mm に設定した。

次に、男性高齢者の最大身体幅(上腕骨外側上顆の高さで矢状面に対して垂直に測った、腕を含む身体最大の横径)の平均は $459.4 \pm 27.2 \text{ mm}$ 、および女性高齢者の平均が $430.8 \pm 29.7 \text{ mm}$ である(産業技術総合研究所, 1991)。最大身体幅を超える範囲で上肢を動かすことで、肩の関節可動域をはじめとした運動機能の維持・向上も期待し、最大身体幅の二倍程度である、横に8マス(計 800 mm)とした。さらに、筆者が公民館等にある一般的な会議用テーブル(長机)のサイズを測定したところ、横 1800 mm 、および奥行 600 mm のものが多かったことから、マットのサイズを横幅 800 mm とすることで、1つの長机にSTEのマットが横に2枚並べて配置可能である。つまり、1つの長机で2人同時にSTEを実施可能であり、STEを普及する際に、限られたスペースおよび机の数でより多くの人数がSTEを実施できるであろう。

さらに、男性高齢者の上肢長(肩峰点から指先点までの直線距離)の平均は $697.3 \pm 25.3 \text{ mm}$ 、および女性高齢者の平均が $640.7 \pm 22.3 \text{ mm}$ である(産業技術総合研究所, 1991)。小柄な女性であっても、すべてのマスをタッチすることが可能となるよう、縦に4マス(計 400 mm)とした。

これらのことを根拠に、STEで使用するマットは、一辺 100 mm のマスを横8マス、縦4マス並べた計32マスのマットとした(図4)。

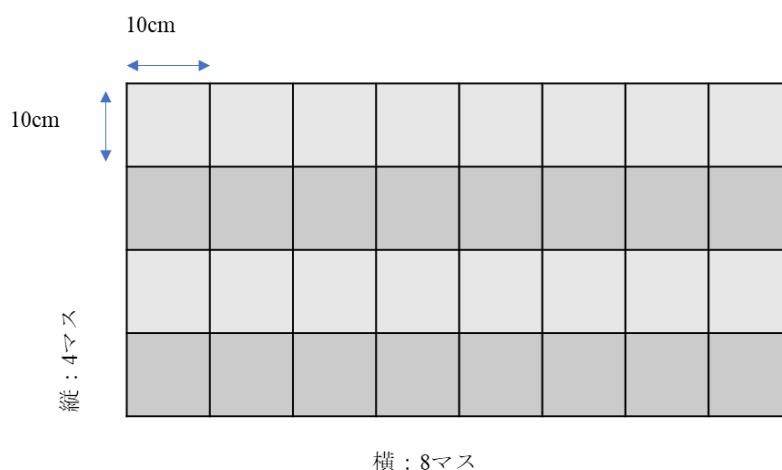


図 4: STE で使用するマット

2-2. STE の課題の設定

SYNAP, コグニサイズ, および SSE の課題に共通する点として, 高齢者にとって理解しやすい課題であることが挙げられる. STE においても, 様々な難易度の課題を設定することで, 認知機能の低下した高齢者から, 比較的認知機能が維持されている高齢者まで, 多くの高齢者が実施可能なプログラムとなることを目指した. また, 遊びの要素を含み, 高齢者が楽しく実施可能で, 継続的に実施のできるプログラムであることも重要視した.

STE で実施する基本の課題として, 認知機能に好影響を与える SSE (中垣内ほか, 2014; 野間ほか, 2020) を参考に, パターンを記憶し, それを正確に模倣するといった短期記憶が必要な課題を取り入れることとした. また, SYNAP, コグニサイズ, および SSE を参考に, PFC を賦活化させる計算課題 (Kawashima et al., 2005; Burbaud et al., 1995), および認知機能に好影響を与える二重課題 (菊池ほか, 2012; 山田, 2009) も取り入れることとした.

以上を踏まえ, 研究課題 1 では, STE における以下の 4 つの課題を設定した (図 5). いずれの課題も左右の手で交互にタッチする課題であった.

① 指導者が指示したマスを覚えて順番にタッチする課題

本課題は, 課題遂行に短期記憶が必要になることを想定して作成した. タッチパターンは, SSE の課題を参考に考案した. この課題では, 対象者は, 指導者が示したタッチパターンを正確に記憶した上で, その記憶を頼りに指示されたパターンを正確に模倣しながらタッチする.

② 数字が書かれたフェルトをマスに置き，順番にタッチする課題

本課題は，課題遂行に注意機能が必要となることを想定して作成した．マット上に「1」～「10」までの数字が記載されたフェルトを無作為に配置する．対象者は，数字が小さい順番または数字の大きい順番など，指導者が指示した順番でフェルトをタッチする．また，応用課題として，「あ」から「そ」までの平仮名が書かれたフェルトを用意し，平仮名の順番にタッチする課題を設定した．数字およびフェルトをタッチする際には，タッチするフェルトの数字または平仮名を発声することを求める課題も設定した．

③ マスを順番にタッチしながら認知課題に回答する課題

本課題は，課題①のうち，比較的難易度の低い課題に認知課題を加えた二重課題の要素を取り入れたものである．対象者が，指示された順番でマットをタッチしながら，同時に認知課題（例：計算問題に答える，野菜の名前を言う，「あ」から始まる単語を答えるなど）を実施する課題である．

④ 上肢の運動をしながら，同時に足踏みをする課題

本課題は，③と同様，二重課題の要素を取り入れた課題であり，課題①のうち，比較的難易度の低い課題に下肢の運動を加えたものである．下肢の運動は，その場で足踏みをする運動や，足の開閉運動などを設定した．

2-3. STE を主運動とした運動プログラム

高齢者における認知機能改善に対する運動の有効性に関するシステマティックレビュー (Northey et al., 2018) では，認知機能の改善のための運動処方として，45分から60分，中等度または強度の運動で，頻度や期間を問わない運動が認知機能に有益であることが報告されている．本運動プログラムは，椅子座位で実施する低強度の運動であることが予想され，これらの基準は満たさない可能性が高い．しかしながら，①虚弱高齢者であっても実施可能な運動プログラムであること，②虚弱高齢者でも継続しやすい実施頻度であること，③先行研究において，認知機能改善に効果的な運動プログラムを参考にすること，以上の3点を考慮し，以下のSTEを主運動とした運動プログラムを考案した．

・運動プログラムの構成

準備運動（10 分間）：上肢，体幹， および下肢のストレッチ

主運動（40 分間）：SSE

整理運動（10 分間）：上肢，体幹， および下肢のストレッチ

<p>課題①</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td>16</td><td>14</td><td>13</td><td>15</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>12</td><td>10</td><td>9</td><td>11</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>8</td><td>6</td><td>5</td><td>7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>4</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td></td><td></td></tr> </table> <p style="text-align: right;">2</p>			16	14	13	15					12	10	9	11					8	6	5	7					4	2	1	3			<p>課題③</p> <p>外外のときに野菜の名前を1つ 目標：10の野菜の名前</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td>2</td><td>1</td><td></td><td></td><td>3</td></tr> </table> <p style="text-align: right;">37</p>																									4			2	1			3
		16	14	13	15																																																												
		12	10	9	11																																																												
		8	6	5	7																																																												
		4	2	1	3																																																												
4			2	1			3																																																										
<p>課題②</p> <p>数字を順番にタッチ 1～10×2周</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td>え</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>う</td> <td>2</td> <td>さ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>せ</td> <td></td> <td>く</td> <td>き</td> <td></td> <td>8</td> <td>お</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>か</td> <td>こ</td> <td></td> <td>10</td> <td>そ</td> <td>あ</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>し</td> <td></td> <td>7</td> <td>い</td> <td></td> <td>6</td> <td>す</td> <td>け</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">15</p>		え	3	9	う	2	さ		5	せ		く	き		8	お	1	か	こ		10	そ	あ	4	し		7	い		6	す	け	<p>課題④</p> <p>手と同時に足も動かす、中中外外 10回</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td>2</td><td>1</td><td></td><td></td><td>3</td></tr> </table> <p style="text-align: right;">4</p>																									4			2	1			3
	え	3	9	う	2	さ																																																											
5	せ		く	き		8	お																																																										
1	か	こ		10	そ	あ	4																																																										
し		7	い		6	す	け																																																										
4			2	1			3																																																										

図 5 : STE の課題①～④の例

研究課題 2

STE が地域在住女性高齢者の脳血流に及ぼす影響

第 1 節 緒言

PFC は、認知機能、特に目標の設定、計画の立案、目標に沿った計画の実行、および効果的な遂行の 4 つのカテゴリーを合わせた能力である遂行機能に寄与している (Lezak, 1982)。先行研究では、PFC の賦活化により、認知機能の改善が示唆されている (Byun et al., 2014)。PFC は音読課題 (Miura et al., 2003) や計算課題 (Burbaud et al., 1995)、および弁別課題 (山田ほか, 2008) の実施により賦活化する。その他、二重課題が認知機能の改善に効果的であること (菊池ほか, 2012 ; 山田, 2009) や、軽度の運動でも PFC を賦活化し、遂行機能を改善すること (Byun et al., 2014) も報告されている。このように弁別課題や二重課題を含む軽運動が PFC を賦活させることができれば、認知機能が改善する可能性がある。

それらの要素を含む認知機能の改善に効果的な運動プログラムを参考 (中垣内ほか, 2014 ; 野間ほか, 2020; Kawashima et al., 2005; Burbaud et al., 1995; 菊池ほか, 2012 ; 山田, 2009) に、研究課題 1 では、座位で実施可能であり、認知課題を取り入れた運動プログラムである STE を考案した。STE の実施により、PFC を賦活化させることができれば、高齢者の認知機能の維持・改善が期待できる。

そこで、研究課題 2 では、高齢者を対象として、STE 実施時の PFC における脳血液酸素動態を評価し、STE が脳の賦活化に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

第 2 節 方法

2-1. 対象者

対象者は、地域活動や運動サロン等に参加する 68～87 歳の女性高齢者 17 名（平均年齢 75.9 ± 5.6 歳）とした。なお、脳血液酸素動態に影響を及ぼす可能性のある以下の者は対象者から除外した。1) うつ状態にある者 (Suto et al., 2004), 2) 喫煙習慣がある者 (Rogers et al., 1983), 認知課題の遂行に影響をきたす恐れのある 3) 脳疾患の既往歴がある者, および 4) 重度の認知機能障害がある者, 5) STE 実施に影響をきたす主に上肢の整形学的疾患を有する者, 6) その他, STE 実施が難しい者。また, 対象者は全員右利きであった。

2-2. STE 課題

本研究では、コントロール課題と 2 つの STE 課題を実施した。コントロール課題は、左右の手で 2 つのマスを交互にタッチするものとした (図 6A)。STE 課題は、研究課題 1 において設定した STE の課題のうち、①指導者が指示したマスを覚えて順番にタッチする (以下、「パターン記憶課題」と略す) (図 6B), および②数字が書かれたフェルトをマスに置き、順番にタッチする (以下、「数字追い課題」と略す) (図 6C), の 2 課題とした。コントロール課題および STE 課題ともに実施時のタッチのリズムは 80 bpm とし、メトロノームでリズムを統制した。また、課題実施状況を明らかにするため、60 秒当たりのマスを正しくタッチできた回数を記録した。その回数に基づき、各課題の 60 秒当たりの課題実施成功率 ($(\text{マスを正しくタッチできた回数}/80) \times 100 (\%)$) を算出した。



図 6 コントロール課題および STE 課題

A: コントロール課題, B: パターン記憶課題, C: 数字追い課題

図中の数字はタッチする順番, 囲み数字は数字が書かれたフェルトを表す。

2-3. 測定手順

測定実施時間は10時～12時または14時～16時の間に設定した。太陽光に含まれる近赤外光の影響を避けるため、測定場所は、遮光カーテンを使用し、直射日光の当たらない部屋とした。測定場所到着後は、皮膚血流の影響 (Kirilina et al., 2012; Kohno et al., 2007; Takahashi et al., 2011; Toronov et al., 2001)を最小限にするため、血液動態に影響を及ぼす可能性のある睡眠や飲食、および運動等は制限した。はじめに、対象者は椅子に着座し生年月日を聴取し、身長および体重を測定した。その後、認知機能およびうつ状態の評価を実施した。認知機能およびうつ状態の評価終了から10分程度安静にした後、レーザー組織血液酸素モニターを頭部に装着し、STE中の脳血液酸素動態測定を実施した。

2-4. 測定項目

2-4-1. 基本属性

対象者の基本属性として、生年月日を聴取し、身長および体重を測定した。身長は身長計 (InBody社製, InLab) を使用し0.1 cm単位で測定した。体重は体重計 (TANITA社製, HD-661) を使用し、着衣量0.5 kgに設定した上で、0.1 kg単位で記録した。また、体重 (kg) を身長 (m) の二乗で除し、body mass index (以下、「BMI」と略す) を算出した。

2-4-2. 認知機能およびうつ状態の評価

認知機能評価には、精神状態短時間検査 (Mini-Mental State Examination. 以下、「MMSE」と略す) (Folstein et al., 1975) の日本語版 (杉下ほか, 2018) を用いた。MMSEは自記および対面口頭による評価であり、検査時間は10分程度である。MMSEの下位項目には、見当識 (計10点)、注意/計算機能 (5点)、記銘 (3点)、再生 (3点)、および言語 (9点) があり、30点満点で点数化される。理学療法士または健康運動指導士が検査実施者となり、椅子座位にて実施した。MMSEにおいて23点以下の者は認知症の疑いがあると判定される (杉下ほか, 2018)。

うつ状態評価には、老年期うつ病評価尺度 (Geriatric depression scale 15. 以下、「GDS」と略す) (Yesavage et al., 1982) の日本語版 (杉下ほか, 2017) を用いた。GDSは、15問の短い質問から成り立っている簡便な評価であり、検査時間は5～7分である。GDSは、うつに関連する質問項目に「はい」または「いいえ」で答える形式であり、15点満点で点

数化される。理学療法士または健康運動指導士が検査実施者となり、椅子座位にて実施した。GDS において 7 点以上の者はうつ状態にあると判定される（杉下ほか，2017）。

2-4-3. 脳血液酸素動態の測定（図 8）

STE 課題遂行時の PFC における脳血液酸素動態について検討するため、NIRS であるレーザー組織血液酸素モニター（オメガウェーブ社製、OMEGAMONITOR BOM-L1W）を使用した。本機器を用いて測定開始時を基準とした oxyHb, deoxyHb, およびこれらの総和である totalHb の変動量を非侵襲的に連続測定した。これらを脳血液酸素動態の指標とした。なお、各指標は組織赤血球密度（ 1×10^4 個/mm³）として示される。レーザー波長は 780 nm と 830 nm，照射プローブと吸収プローブ間の距離は 40 mm に設定した。測定部位は国際 10-20 法（Jasper, 1958）に準拠し、PFC 領域である Fp1（左前頭局部），および Fp2（右前頭局部）とした。

測定プロトコルを図 7 に示す。コントロールおよび STE 課題前にそれぞれ安静時の脳血液酸素動態を 120 秒間測定した。次に、コントロールおよび STE 課題の各課題実施時に脳血液酸素動態を測定した。各課題の実施時間は 60 秒間とし、コントロール課題及び STE 課題の施行順は無作為とした。各課題実施前は、30 秒間の課題説明および 30 秒間の安静とした。課題実施後は、120 秒間の安静の後、次の課題に移行した。

内容	安 静	コントロール課題				パターン記憶課題				数字追い課題			
		説 明	安 静	課 題	安 静	説 明	安 静	課 題	安 静	説 明	安 静	課 題	安 静
時間 (秒)	120	30	30	60	120	30	30	60	120	30	30	60	120

開始

終了

図 7 測定プロトコル



図 8 : NIRS 測定の様子

2-5. データ処理および統計処理

oxyHb, deoxyHb, および totalHb は, 各課題実施時 (60 秒間) の平均値 (平均 oxyHb, deoxyHb, および totalHb) をそれぞれ算出した. 安静時には, 直前の課題実施時の影響を取り除くため, 前半 60 秒間の値を除き後半の 60 秒間の平均値とした. 各課題直前の安静時における平均値を基準に, 各課題実施時の平均値の変化量を算出した.

課題実施前の安静時を基準とした課題実施時の平均 oxyHb, 平均 deoxyHb, および平均 totalHb の変化の差の検定には, 一要因反復測定分散分析を用いた. 一要因反復測定分散分析にて有意差が認められた場合, 事後検定として Bonferroni 法を用いて課題間で多重比較した. また, 効果量を算出した. 一元配置分散分析の効果量 η^2 は 0.01 を効果小 (Small), 0.06 を効果中 (Medium), および 0.14 を効果大 (Large) とした (水本・竹内, 2008). Bonferroni 法による多重比較の効果量 d は 0.20 を効果小 (Small), 0.50 を効果中 (Medium), および 0.80 を効果大 (Large) とした (水本・竹内, 2008). 統計解析には IBM SPSS Statistics 25 (日本 IBM 社製) を用いた. 本研究における統計学的有意水準は 5% とした.

第3節 結果

3-1. 対象者の基本属性（表3）

対象者のうち、MMSEが23点以下の者が2名いたため（22点1名、23点1名）、2名は本研究の分析対象者から除外した。一方、GDSにおいて本研究の対象者に6点以上の者はいなかった。これらの結果、分析対象者は15名（平均年齢75.9 ± 5.6歳）であった。

対象者のMMSEおよびGDSの点数はそれぞれ28.2 ± 1.9点、1.3 ± 1.5点であった。

対象者の身長は、150.4 ± 5.6 cm、体重は54.5 ± 8.5 kg、およびBMIは24.2 ± 4.1であった。

表3. 対象者の基本属性

年齢（歳）	75.9 ± 5.6
MMSE（点）	27.5 ± 2.5
GDS（点）	1.4 ± 1.5
身長（cm）	150.4 ± 5.6
体重（kg）	54.5 ± 8.5
BMI（kg/m ² ）	24.2 ± 4.1

平均値 ± 標準偏差

MMSE：Mini Mental State Examination

GDS：Geriatric depression scale 15

BMI：body mass index

3-2. 課題実施成功率

コントロール課題およびパターン記憶課題の課題実施成功率はいずれの課題においても対象者全員が100%であった。一方、数字追い課題における課題実施成功率は61.6 ± 12.4%であった。

3-3. 脳血液酸素動態 (表 4)

① oxyHb

Fp1 の平均 oxyHb は、コントロール課題、パターン記憶課題、および数字追い課題においてそれぞれ -1.09 ± 1.35 , 0.15 ± 1.07 , および 0.22 ± 1.55 であり、課題間で有意差が認められた ($F(3, 42) = 4.862$, $p = 0.005$, $\eta^2 = 0.26$)。多重比較の結果、コントロール課題実施時の平均 oxyHb は、安静時 ($p = 0.044$, $d = 1.14$) と比較して有意に低値を示した。

Fp2 の平均 oxyHb は、コントロール課題、パターン記憶課題、および数字追い課題においてそれぞれ -0.51 ± 1.25 , 0.09 ± 1.34 , および 1.26 ± 1.73 であり、課題間で有意差が認められた ($F(3, 42) = 7.002$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.33$)。多重比較の結果、数字追い課題実施時の平均 oxyHb はコントロール課題実施時と比較して有意に高値を示した ($p = 0.025$, $d = 1.17$)。

② deoxyHb

Fp1 の平均 deoxyHb は、コントロール課題、パターン記憶課題、および数字追い課題においてそれぞれ 1.33 ± 1.82 , 0.03 ± 1.24 , および 0.74 ± 1.67 であり、課題間で有意差が認められた ($F(3, 42) = 3.909$, $p = 0.015$, $\eta^2 = 0.22$)。多重比較の結果、コントロール課題実施時の平均 deoxyHb は、パターン記憶課題実施時と比較して有意に高値を示した ($p = 0.014$, $d = 0.83$)。

Fp2 の平均 deoxyHb は、コントロール課題、パターン記憶課題、および数字追い課題においてそれぞれ 0.37 ± 1.08 , 0.12 ± 0.83 , および 0.25 ± 1.16 であり、課題間で有意差は認められなかった ($F(3, 42) = 0.633$, $p = 0.530$, $\eta^2 = 0.04$)。

③ totalHb

Fp1 の平均 totalHb は、コントロール課題、パターン記憶課題、および数字追い課題においてそれぞれ 0.24 ± 1.06 , 0.18 ± 0.76 , および 0.95 ± 1.81 であり、課題間で有意差は認められなかった ($F(3, 42) = 2.463$, $p = 0.111$, $\eta^2 = 0.15$)。

Fp2 の平均 totalHb は、コントロール課題、パターン記憶課題、および数字追い課題においてそれぞれ -0.14 ± 1.49 , 0.21 ± 1.44 , および 1.50 ± 1.82 であり、課題間で有意差が認められた ($F(3, 42) = 7.536$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.35$)。多重比較の結果、数字追い課題

実施時の平均 totalHb は、安静時 ($p = 0.038$, $d = 1.17$), コントロール課題実施時 ($p = 0.012$, $d = 0.99$), およびパターン記憶課題実施時 ($p = 0.038$, $d = 0.79$) と比較して有意に高値を示した。

表4. STE課題中の脳血液酸素動態

	安静	コントロール	パターン	数字	事後検定
oxyHb (1×10^4 個/mm ³)					
Fp1	0	-1.09 ± 1.35	0.15 ± 1.07	0.22 ± 1.55	コントロール<安静*
Fp2	0	-0.51 ± 1.25	0.09 ± 1.34	1.26 ± 1.73	コントロール<数字*
deoxyHb (1×10^4 個/mm ³)					
Fp1	0	1.33 ± 1.82	0.03 ± 1.24	0.74 ± 1.67	パターン<コントロール*
Fp2	0	0.37 ± 1.08	0.12 ± 0.83	0.25 ± 1.16	
totalHb (1×10^4 個/mm ³)					
Fp1	0	0.24 ± 1.06	0.18 ± 0.76	0.95 ± 1.81	
Fp2	0	-0.14 ± 1.49	0.21 ± 1.44	1.50 ± 1.82	安静, パターン, コントロール<数字*

平均値 ± 標準偏差, * : $p < 0.05$, Fp : front polar, 安静 : 安静時
 コントロール : コントロール課題, パターン : パターン記憶課題, 数字 : 数字追い課題

第4節 考察

本研究では、高齢者における STE の実施が脳の賦活化に及ぼす影響を検討するため、NIRS を用いて、STE 実施時の PFC の脳血液酸素動態を観察した。その結果、Fp2 において数字追い課題実施時の平均 oxyHb はコントロール課題実施時と比較して有意に高値を示し、数字追い課題実施時の平均 totalHb は、安静時、コントロール課題実施時、およびパターン記憶課題実施時と比較して有意に高値を示した。これらの結果は、STE 実施が脳を賦活化することを示唆している。

通常、脳活動に伴う脳代謝が 10 %増加すると、脳血流量は 40 %増加するとされている (Feng et al., 2004)。NIRS は、近赤外光を用いて脳内の脳血流変化に伴うヘモグロビン濃度の変化をとらえることで、非侵襲的に脳活動を測定可能であり、一般に、脳の賦活化に伴い oxyHb の増加、deoxyHb の減少、および totalHb の増加がみられるとされている (Villringer et al., 1993)。本研究では、数字追い課題実施時に Fp2 において oxyHb および totalHb が増加した。一方、数字追い課題実施時の Fp2 における deoxyHb の減少は認められなかった。先行研究では、言語課題実施時の左 PFC において、脳血流量増加に伴い oxyHb, deoxyHb および totalHb いずれも増加するパターンが存在し、脳賦活化に伴う典型的なパターンにならない場合があること (酒谷ほか, 2011) や、fMRI における脳機能活動の信号と相関が高い指標は oxyHb および totalHb であり、deoxyHb との相関は低いことが報告されている (灰田, 2002)。本研究においても、deoxyHb では脳賦活化に伴う典型的なパターンと異なる結果になった。しかしながら、灰田の報告 (2002) をふまえると、deoxyHb の変動はなかったが、oxyHb と totalHb の増加がみられたことから、STE 実施により脳血流量が増加し、脳の賦活化が生じていたと考えられる。

コントロール課題および STE 課題について、左右対称で規則性のあるパターン記憶課題と比較して、左右非対称で規則性がなく情報量が多い数字追い課題が難易度の高い課題であると想定して課題を設定した。つまり、課題の難易度は、コントロール課題、パターン記憶課題、数字追い課題の順で高くなると想定したが、実際にはコントロール課題とパターン記憶課題はいずれの課題においても対象者全員課題実施成功率が 100%であった。一方、数字追い課題の課題実施成功率は $61.6 \pm 12.4\%$ にとどまっていた。右 PFC において、数字追い課題実施時の平均 oxyHb はコントロール課題実施時と比較して有意に高値を示し、平均 totalHb においても数字追い課題実施時はその他の課題実施時より有意に高

値であった。このことは、比較的難易度の高い STE の課題を実施することが脳を賦活化させることを示唆している。単純な運動よりも、そこに弁別課題を組み込んだ運動のほうが、脳血流量を増加させ前頭連合野や運動前野の機能を賦活化させることが明らかにされており（山田ほか、2008）、本研究の結果はそれを支持するものである。このことから、上肢の運動に認知課題を加えた STE の実施は、脳を賦活化させ、認知機能の維持・改善のための有効な運動になる可能性がある。一方、左 PFC におけるコントロール課題実施時の平均 oxyHb は、安静時と比較して有意に低値を示した。また、有意差は認められなかったものの、右 PFC におけるコントロール課題実施時の平均 oxyHb においても、安静時と比較して中程度の効果量 ($d=0.58$) で低値を示した。先行研究において、単純な課題の実施が、運動の慣れに伴い PFC や頭頂葉などの領域における脳活動を直線的に減少させる可能性が報告されている（Goodyear et al., 2009）。本研究におけるコントロール課題は、左右の手で 2 つのマスを 80 bpm のリズムに合わせて交互にタッチする、単純な運動課題であった。そのため、左右の PFC において安静時の平均 oxyHb よりも低値を示したと推察される。

Fp2（右 PFC）において数字追い課題実施時に有意な oxyHb および totalHb の増加がみられた一方で Fp1（左 PFC）において数字追い課題実施時の有意な oxyHb および totalHb の増加は認められず、oxyHb および totalHb の変動に左右差が生じた。先行研究では、健康成人を対象に、言語性課題（単語に対する反応課題）および非言語性課題（人の顔写真に対する反応課題）実施時の PFC 賦活化を fMRI により検討している。その結果、言語性課題実施時は右 PFC と比較し左 PFC がより賦活化する一方、非言語性課題実施時は左 PFC よりも右 PFC がより賦活化することが明らかになっている（Haut and Barch, 2006）。本研究における数字追い課題は、視覚で数字の位置を把握し、その数字を手でタッチするといった視空間認知が要求される非言語的な課題であったと考えられる。このため、先行研究と同様 PFC の賦活化に左右差が生じた可能性がある。

本研究では STE の課題の内容により、課題実施中の脳賦活化に違いが生じることが示唆された。つまり、課題の難易度が脳賦活化の違いに影響を及ぼす可能性がある。このことから、脳の賦活化を目的として STE を実施する際には、対象者にとって適切な難易度の課題を設定する必要があるかもしれない。比較的難易度の優しいものから難しいものまで様々な難易度の課題を考案することで、様々な認知機能水準の高齢者が実施可能な運動プログラムとしての普及が可能となるであろう。

本研究の限界として、まず、対象者が女性のみであり、高齢者全体に一般化することができない点があげられる。また、対象者は地域活動や運動サロン等に参加する高齢者としたため、認知機能や身体機能が比較的高い高齢者であった。今後は、男性を対象とした測定や、認知機能の低い者、および立位保持が困難な高齢者や施設入所中の高齢者などを対象とし、STE 実施時の脳血液酸素動態についてさらなる検討が必要である。次に、測定機器が 2 チャンネル同時計測装置であり、測定対象が PFC 領域のみであった。今後は運動に関連する頭頂部や視覚に関連する後頭部における脳賦活化の検討も重要であろう。

研究課題 3 : STE が女性高齢者の認知機能に及ぼす効果の検討

第 1 節 緒言

我が国において介護・認知症予防のための取り組みが重要視されている。身体的フレイルは認知機能低下のリスクを高めることや、認知機能の低下は更なる身体的フレイルの進行のリスクを高めることが報告されており (Samper et al., 2008; Chong et al., 2015), 身体機能の低下と認知機能の低下は双方向に影響しあう。つまり、健常高齢者の認知症・介護予防のみでなく、身体機能の低下した者の認知機能低下予防や、認知機能の低下した者の身体機能低下予防などあわせた対策が必要であろう。そこで、本論文では、立位を伴う運動や高強度運動の実施が難しい虚弱高齢者であっても実施可能な運動プログラムの考案を目指した。研究課題 1 において、SSE をはじめとした、認知機能の改善に効果的な運動プログラムを参考に、座位で実施可能であり、認知課題を取り入れた運動プログラムである STE を考案した。また、研究課題 2 では、高齢者を対象として、STE 実施時の PFC における脳血液酸素動態を評価し、STE の実施が脳を賦活化することを明らかにした。今後、STE を高齢者の認知機能維持・改善運動プログラムとして確立し、虚弱高齢者も含まれる地域の運動サロンや高齢者施設等に広く普及する上で、STE 実施の長期的効果を確認することは意義がある。

そこで研究課題 3 では、地域在住高齢者を対象に、3 ヶ月間の STE の実施が認知機能に及ぼす影響について検討することを目的とした。

第 2 節 方法

2-1. 対象者

対象者は、A、B、および C 地域のサロン活動に参加する高齢者 42 名であった。それらの対象者を、STE を中心とした運動プログラムを実施する介入群（以下、「STE 群」と略す）および対照群（以下、「Con 群」と略す）のいずれかに割り当て、A 地域の高齢者サロンに参加する者 19 名を STE 群、B 地域（13 名）および C 地域（10 名）の高齢者サロンに参加する者計 23 名を Con 群に割り当てた（図 9）。

対象者に、1) 要介護認定者、2) 重度の認知機能障害を有し、運動や測定の理解が難しい者、3) 測定に影響をきたす脳疾患や整形外科的疾患を有する者、および 4) STE 実施が困難な者は含まれていなかった。

介入後の測定を欠席した者は STE 群 2 名、および Con 群 5 名であった。また、介入前後の測定項目に欠損のあった者は STE 群および Con 群においてそれぞれ 2 名であった。これらの者を対象者から除外した結果、最終的な分析対象者は、STE 群 15 名、および Con 群 16 名であった（図 9）。

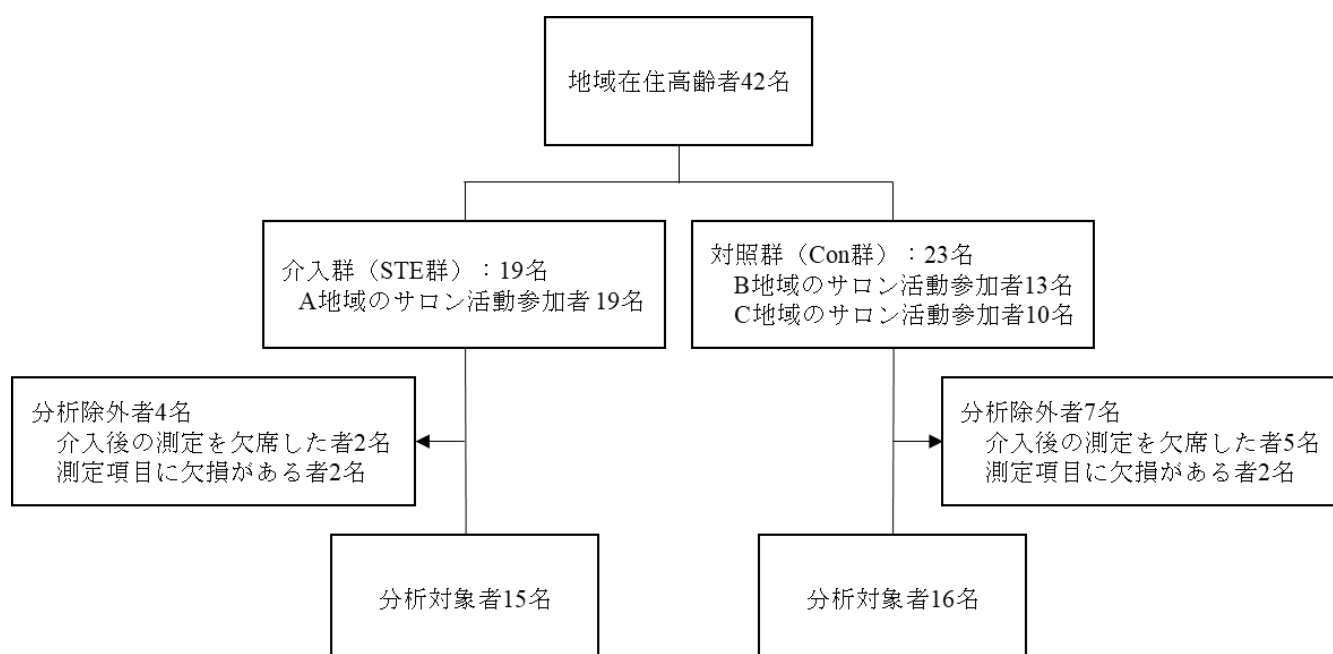


図9：分析対象者の選定

2-2. 介入内容および測定時期

本研究において、STE 群は STE を中心としたプログラムを週に 1 回、3 ヶ月（計 12 回）実施した。介入および測定は、地域の公民館や公共施設等で実施した。本プログラムは、ストレッチを中心とした 10 分間の準備運動、40 分間の主運動（STE、図 12）、および 10 分間の整理運動から構成される 60 分間の運動プログラムであった（図 10）。準備運動および整理運動は座位にて、上肢、体幹、および下肢のストレッチを実施した。

本研究では、STE における 4 種類の課題（研究課題 1 を参照）を実施したが、3 ヶ月の介入期間のうち、介入前半は、課題①～④において、難易度が低いと想定される課題から実施し、介入後半にかけて、徐々に難易度が高いと想定される課題を取り入れて実施した（図 11）。

一方、Con 群は STE 群と同時期に同頻度（週 1 回、3 ヶ月）で、レクリエーション（お絵かきなど）やストレッチを中心としたプログラムを実施した（図 10）。C 群で実施するレクリエーションおよびストレッチも、椅子座位で実施した（図 13）。介入の効果を検証するため、STE 群および Con 群ともに、介入前後に認知機能および身体機能を測定した。測定時期は、介入前の測定を 2022 年 3 月、介入後の測定を 2022 年 6 月に実施した。

	STE群	C群
開始	準備運動 10分間	準備運動 10分間
	STE 40分間	レクリエーション や ストレッチ等 40分間
終了	整理運動 10分間	整理運動 10分間

図10 STE群およびC群のプログラム構成

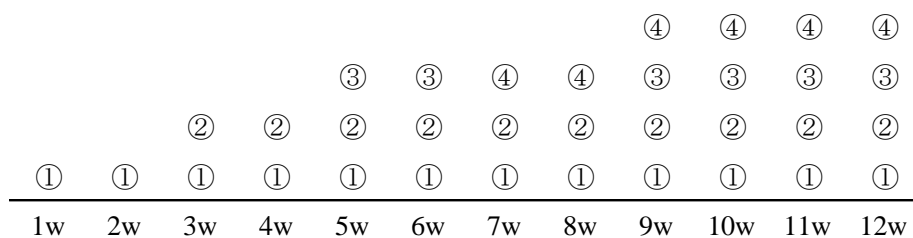


図11 STE介入時の実施課題

①：課題①，②：課題②，③：課題③，④：課題④，w：週目



図 12 : STE 群における介入の様子 (STE)



図 13 : Con 群における介入の様子 (新聞ちぎり絵)

2-3. 測定項目

2-3-1. 基本属性

対象者の基本属性として、生年月日を聴取し、身長および体重を測定した。身長は身長計（InBody社製、InLab）を使用し0.1 cm単位で測定した。体重は体重計（TANITA社製、HD-661）を使用し、着衣量0.5 kgに設定した上で、0.1 kg単位で記録した。また、体重（kg）を身長（m）の二乗で除し、BMIを算出した。

2-3-2. 認知機能評価

認知機能評価には、研究1と同様、MMSEの日本語版（杉下ら，2018）を用いた。

MMSEは自記および対面口頭による評価であり、検査時間は10分程度である。MMSEの下位項目には、見当識（計10点）、注意／計算機能（5点）、記銘（3点）、再生（3点）、言語（9点）があり、30点満点で点数化される。理学療法士または健康運動指導士が検査実施者となり、椅子座位にて実施した。MMSEにおいて23点以下の者は認知症の疑いがあると判定される（杉下ら，2018）。本研究では、MMSEの総点および各下位項目の得点を評価項目とした。

2-3-3. 注意機能評価

注意機能評価には、TMT（Reitan, 1958）の日本版（日本高次脳機能障害学会，2019）を用いた。TMTは、幅広い注意、遂行機能・ワーキングメモリ、空間的探索、処理速度、保続、衝動性などを総合的に測定できる標準化された検査法である。TMTは、数字を1から25まで順番に結んでいくPart A（TMT-A）と数字と五十音を交互に「1-あ-2-い...」のように「...し-13」まで結んでいくPart B（TMT-B）から構成されており、特にTMT-Bは遂行機能・ワーキングメモリを測定可能である。TMTの測定は、MMSEと同様に、理学療法士または健康運動指導士が検査実施者となり、椅子座位にてTMT-AからTMT-Bの順に実施した。TMT-AおよびTMT-Bの開始から終了までの所要時間はストップウォッチにて0.1秒単位で記録し、それらを実験項目とした。なお、正しい順で結べなかった場合もしくは途中で課題継続が困難となった場合、測定不可として記録した。

2-4. 統計処理

介入前後の身体機能および認知機能変化の群間比較には、二元配置反復測定分散分析を用いた。有意な交互作用が認められた場合、Bonferoni法を用いて単純主効果を検定した。また、効果量 (η^2) を算出した。 η^2 は 0.01 を効果小 (Small), 0.06 を効果中 (Medium), および 0.14 (Large) を効果大と判断した (水本ら, 2008)。統計解析には IBM SPSS Statistics 25 (日本 IBM 社製) を用いた。本研究における統計学的有意水準は 5% とした。

第3節 結果

3-1. 基本属性（表5）

年齢および身長は，介入前において STE 群および Con 群間で，有意差は認められなかった．体重は，STE 群と Con 群で有意な群の主効果のみ認められた ($F(1, 29) = 4.683$, $p = 0.039$, $\eta^2 = 0.14$)．BMI には，有意な交互作用や群および時間の主効果は認められなかった．

表5：対象者の基本属性

	介入前	介入後	交互作用 p	群の主効果 p	時間の主効果 p
年齢 (歳)					
STE群	78.1 ± 5.9				
Con群	81.7 ± 6.3				
身長 (cm)					
STE群	146.1 ± 3.8				
Con群	144.2 ± 4.7				
体重 (kg)					
STE群	56.0 ± 7.1	55.5 ± 7.6	0.075	0.039*	0.252
Con群	49.2 ± 9.1	49.3 ± 9.1			
BMI (kg/m ²)					
STE群	26.2 ± 3.1	26.0 ± 3.3	0.081	0.094	0.228
Con群	23.7 ± 4.4	23.7 ± 4.3			

平均値 ± 標準偏差. * : $p < 0.05$

STE群：スクエアタッチ群，Con群：対照群，BMI: body mass index

3-2. 認知機能測定の結果（表 6）

介入前後の STE 群および C 群における MMSE の得点には、有意な交互作用 ($F(1, 29) = 8.313$, $p = 0.007$, $\eta^2 = 0.02$) が認められ、STE 群では MMSE の得点が介入後有意に向上した。TMT-A ($F(1, 29) = 4.386$, $p = 0.045$, $\eta^2 = 0.02$) において有意な時間の主効果が認められた一方、群の主効果および交互作用は有意ではなかった。TMT-B では、群の主効果、時間の主効果、および交互作用に有意性は認められなかった。

表6：介入前後における認知機能および上肢機能測定の結果

	介入前		介入後		交互作用 p	群の主効果 p	時間の主効果 p
MMSE (点)							
STE群	25.1	± 2.9	26.7	± 3.3 †	0.007*	0.806	0.084
Con群	25.8	± 3.6	25.4	± 4.3			
TMT-A (秒)							
STE群	94.7	± 47.9	78.6	± 39.5	0.492	0.409	0.045*
Con群	104.9	± 59.1	96.8	± 50.0			
TMT-B (秒)							
STE群	135.1	± 107.8	128.9	± 66.4	0.381	0.365	0.159
Con群	176.6	± 94.1	150.7	± 86.7			

平均値 ± 標準偏差. * : $p < 0.05$, † : 介入前 < 介入後

STE群 : スクエアタッチ群, Con群 : 対照群

MMSE: mini-mental state examination, TMT-A: trail-making test part A, TMT-B: trail-making test part B

3-3. MMSE の下位項目別得点の結果 (表 7)

注意／計算において、有意な交互作用が認められ ($F(1, 29) = 7.411$, $p = 0.011$, $\eta^2 = 0.02$)、STE 群では介入後有意に向上した。一方、見当識、記銘、遅延再生、および言語の項目では、有意な群の主効果、時間の主効果、および交互作用は認められなかった。

表7：介入前後におけるMMSEの下位項目別の結果

	介入前		介入後		交互作用 p	群の主効果 p	時間の主効果 p
見当識 (点)							
STE群	8.9	± 1.4	9.3	± 1.7	0.098	0.379	0.835
Con群	8.8	± 1.4	8.4	± 1.8			
注意／計算 (点)							
STE群	2.4	± 1.6	3.2	± 1.7	0.011*	0.820	0.165
Con群	3.1	± 1.8	2.8	± 1.8			
記銘 (点)							
STE群	3.0	± 0.0	3.0	± 0.0	0.341	0.341	0.341
Con群	2.9	± 0.3	3.0	± 0.0			
遅延再生 (点)							
STE群	2.4	± 0.7	2.6	± 0.5	0.353	0.898	0.624
Con群	2.6	± 0.9	2.5	± 0.9			
言語 (点)							
STE群	8.5	± 0.7	8.7	± 0.6	0.749	0.786	0.173
Con群	8.6	± 0.7	8.7	± 0.6			

平均値 ± 標準偏差. * : $p < 0.05$, STE群：スクエアタッチ群, Con群：対照群
MMSE: mini-mental state examination

第4節 考察

本研究では、認知課題を取り入れた座位で実施可能な運動プログラムである STE による 3 ヶ月間の介入が女性高齢者の認知機能に及ぼす影響について検証した。その結果、STE 群において認知機能の指標である MMSE の得点が向上した。また、MMSE の下位項目別に検討したところ、注意／計算が STE 群で向上した。これらの結果は、STE が高齢者の認知機能の維持・改善に有効的なプログラムである可能性を示している。

STE では、記憶能力が必要とされる、指導者が指示したマスを覚えて順番にタッチする課題や、注意機能が必要とされる数字が書かれたフェルトを順番にタッチする課題などを実施した。また、上肢の運動に認知課題を加えた課題や、上肢の運動と同時に下肢の運動を実施する課題などの二重課題を実施した。これらのことが、STE 群の認知機能の改善に貢献したと考えられる。先行研究においても、記憶能力や注意機能が必要とされる課題の実施や、二重課題の実施による認知機能の改善が報告されており（菊池ら、2012；山田、2009）、本研究はそれらの結果を支持するものである。また、STE の認知課題には、計算課題（足し算、引き算、掛け算、割り算、およびそれらを組み合わせたもの）も含まれていた。Kawashima et al (2005) は、計算課題や文章課題の実行が、脳の PFC を賦活化し、認知能力・記憶能力の維持・向上に有効であることを報告している。STE においても、計算課題を課したことが、STE 群の認知機能を向上させ、特に注意・計算機能の維持改善に寄与したと推察される。

本研究では、運動のみ実施する群および認知課題のみ実施する群を設定できていないため、STE 群における認知機能の向上が、運動、認知課題、あるいはそれらの組み合わせによるものなのかは断定できない。Northey et al. (2018) の高齢者における認知機能改善に対する運動の有効性に関するシステマティックレビューでは、認知機能の改善のための運動処方として、頻度や期間は問わず、1 セッション 45～60 分、中等度以上の強度を推奨している。本研究の介入では、椅子座位で実施する低強度の運動かつ、週 1 回、12 週間と少ない介入であっても認知機能に改善がみられたことから、運動と認知課題を組み合わせることが、効果的であった可能性がある。

一方、TMT-A および TMT-B において、STE 群および C 群間で有意差は認められず、TMT-A のみ時間の主効果が認められた。Con 群において、レクリエーションのひとつとして、新聞ちぎり絵を実施した。新聞ちぎり絵には、手先の細かい作業が含まれている。こ

れが遂行機能を改善させる手指運動 (Abe et al., 2018) となった可能性がある。その結果、TMT-A において、STE 群および C 群間で有意差は認められなかった一方で、時間の主効果が認められたとともに、STE で計算課題を取り入れた運動の特異性により、MMSE の注意／計算機能のみ向上したと考えられる。今後は異なる Con 群の設定や、MMSE および TMT 以外の認知機能評価も必要かもしれない。

本研究の限界として、まず対象者が女性高齢者のみであることがあげられる。高齢者全体に対する STE の効果を明らかにするため、男性高齢者も対象者に含めた検討が必要である。次に、本研究の STE 群および C 群の割り当てにおいて、地域サロン別の割り当てであり、無作為割付できていない点があげられる。地域特性が高齢者の認知機能に影響を与えている可能性は否定できない。さらに上述の通り、本研究では運動のみ実施する群および認知課題のみ実施する群を設定できていない。また、食事摂取状況や服薬状況、および活動量の変化など、交絡因子となりうる項目について調査できていない。STE の効果をより明確にするため、これら項目についても検討する必要がある。最後に、本研究の対象者に要介護認定者は含まれていなかった。STE の適応できる対象者の範囲を広げていくためには、今後は虚弱高齢者を対象として STE の効果を検証する必要がある。

第 1 節 結語

高齢化の進行や、要介護認定者および認知症高齢者の増加が危惧されている日本において、認知機能の低下および認知症の発症予防は重要な課題である。しかしながら、虚弱高齢者を対象とした認知機能低下や認知症の予防・進行抑制に効果を有する運動の明確な方法が確立されているとはいえない。また、認知機能低下および認知症のリスク低減のために、認知的介入が推奨されているが、虚弱高齢者に焦点を当てた認知的介入（認知課題）に運動を加えた二重課題の要素を含むプログラムに関する報告は少なく、またその効果についても検討されていない。さらに、認知機能の低下および認知症予防のための運動の多くは立位を伴う運動であり、下肢の筋力低下やバランス能力の低下、その他の疾患などの影響により立位保持が困難な高齢者で実施することは難しいといった課題がある。

そこで本研究では、研究課題 1 として虚弱高齢者の認知機能の維持・改善を目指し、認知課題を取り入れた座位で実施可能な運動プログラムである STE を考案した。プログラム内容は、認知機能の維持改善に効果的であることが報告されている運動プログラムを参考に、短期記憶が必要な課題や、注意機能が必要な課題、および二重課題の要素を取り入れた課題を設定した。

STE の有効性について検討するため、まず研究課題 2 では、地域在住女性高齢者を対象として、NIRS により STE 実施時の PFC における脳血液酸素動態を評価し、STE が脳血流に及ぼす影響を明らかにした。次に、研究課題 3 では、STE の長期介入効果を明らかにするため、地域在住女性高齢者を対象に、3 ヶ月間の STE の実施が認知機能に及ぼす影響について検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- ① 研究課題 2 の結果、STE 課題のうち、数字追い課題実施は右 PFC の脳血流量を増加させ、脳を賦活化させる可能性が明らかになった。
- ② 研究課題 3 の結果、STE 群において認知機能の指標である MMSE の得点が向上した。また、MMSE の下位項目別に検討したところ、注意／計算が STE 群で向上した。
- ③ 研究課題 3 において、椅子座位で実施する低強度の運動かつ、週 1 回、12 週間と少ない介入であっても認知機能に改善がみられたことから、運動と認知課題を組み合わせることが、効果的であった可能性がある。

これらの結果から、STE は、高齢者の PFC を急性的に賦活化させるとともに、継続的な STE の実施は高齢者の認知機能を改善させるプログラムとなる可能性が明らかになった。今後、STE を認知機能改善および認知症予防のための運動プログラムとして普及する上で、他の運動プログラムと比較したメリットについて以下に言及する。

- ① SSE は立位中心の運動プログラムであり、立位困難な虚弱高齢者では実施が難しい。一方、本研究において考案した STE は椅子座位で実施する。STE は SSE と同様に、マスが並ぶマットを使用する運動プログラムであり、SSE と同様の課題（例：マスのタッチ（ステップ）と認知課題を組み合わせた二重課題運動）を座位で実施可能である。つまり、STE は対象者の安全を確保して実施可能でありながら、認知機能の改善が期待できるプログラムである。
- ② SYNAP およびコグニサイズはどちらも運動に認知課題を加えた二重課題の要素を含む運動プログラムである。SYNAP では、じゃんけんや 3 色のボールを使用したボール回しなどの身体動作、およびコグニサイズは立位での足踏みや、ウォーキング、および椅子に座った状態で足踏みをする動作が運動として採用されている。一方 STE では、マット上の合計 32 マスを、上肢を使ってタッチする運動が採用されている。マスが 32 マスあるため、タッチパターンは様々な種類を作成可能である。つまり、STE は SYNAP やコグニサイズにおける身体動作と比較して、より多くの運動のバリエーションが設定できる。また、STE では、多様なタッチパターンと複数種類の認知課題を組み合わせることでより多くの課題が作成できる。つまり、STE は低難易度から高難易度まで、様々な難易度の課題が設定可能であるため、対象者にとって最適な難易度の課題が選択できるとともに、運動プログラムに対する慣れや飽きが起きにくく継続しやすいことが、既存の運動プログラムと比較してメリットがある。
- ③ STE 課題では、数字が記載されたフェルトや、平仮名が書かれたフェルトを使用した。対象者の好みに合わせて、イラストや写真などを使用した課題も考案できる。つまり、SYNAP やコグニサイズ、および SSE と比較して、STE における認知課題は、対象者の特性に合わせて課題内容を調整可能であり、後から課題を考案および追加しやすい。

以上のことから、STE は、既存の運動プログラムと比較して、特に虚弱高齢者の多い高齢者施設等で実施する運動やレクリエーションとしての活用が期待できるだろう。本研究において、座位で実施可能な運動プログラムを考案し、STE の有効性を明らかにしたことは、今後の介護・認知症予防の活動を推進していくうえで有意義であったと考えられる。

第 2 節 今後の研究課題

本研究では、認知課題を取り入れた座位で実施可能な運動プログラムである STE を考案し、その有効性を確認した。また前節では、他の運動プログラムと比較した STE のメリットについて示した。一方で、今後 STE を普及していくうえでいくつかの課題も明らかとなった。その課題を以下に示す。

- ① 研究課題 1 において、STE を考案した。STE は、虚弱高齢者でも実施可能な認知機能改善を目指す運動プログラムであり、座位で実施する低強度の運動であった。そのため、身体機能向上は望めない可能性がある。今後、認知機能および身体機能の低下予防の両立を目指すためには、STE のみでは不十分である。
- ② 研究課題 1 において考案した STE は、複数のマットを準備することで、集団で実施可能である。しかしながら、STE を実施する際、1～2 人に 1 台の机が必要となるため、他の運動プログラムと比較するとより広いスペースが必要となることが想定される。また、集団で実施する場合、指導者が各個人の実施状況を把握することが難しい可能性がある。特に、MCI の高齢者が多く含まれる集団で実施する場合、課題の理解ができない高齢者がいることが想定されるため、より多くの指導者が必要となるであろう。
- ③ 研究課題 2 の結果から、STE の課題の内容により、課題実施中の脳賦活化に違いが生じることが示唆された。つまり、課題の難易度が脳賦活化の違いに影響を及ぼす可能性がある。このことから、脳の賦活化を目的として STE を実施する際には、対象者にとって適切な難易度の課題を設定する必要があるかもしれない。
- ④ 研究課題 2 では、測定機器が 2 チャンネル同時計測装置であり、測定対象が PFC 領域のみであった。今後は運動に関連する頭頂部や視覚に関連する後頭部における脳賦活化など、他の脳領域の賦活化に関する検討も重要であろう。
- ⑤ 研究課題 3 では、運動のみ実施する群および認知課題のみ実施する群を設定できていないため、STE 群における認知機能の向上が、運動、認知課題、あるいはそれらの組み合わせによるものなのかは断定できない。また、食事摂取状況や服薬状況、および活動量の変化など、交絡因子となりうる項目について調査できていない。STE の効果をより明確にするため、これら項目についても検討する必要がある。

- ⑥ 研究課題 3 では、TMT-A および TMT-B において、STE 群および C 群間で有意差は認められず、TMT-A のみ時間の主効果が認められた。Con 群において、レクリエーションのひとつとして、新聞ちぎり絵を実施した。新聞ちぎり絵には、手先の細かい作業が含まれている。これが遂行機能を改善させる手指運動 (Abe et al., 2018) となった可能性がある。今後は異なる Con 群の設定や、MMSE および TMT 以外の認知機能評価も必要かもしれない。
- ⑦ 研究課題 2 および研究課題 3 いずれにおいても、対象者が女性高齢者のみであった。高齢者全体に対する STE の効果を明らかにするため、男性高齢者も対象者に含めた検討が必要である。また、今後は、立位保持が困難な高齢者や施設入所中の高齢者など、実際に虚弱高齢者を対象とし、STE の効果の検討を進める必要がある。

今後は、以上の課題について検討を進めるとともに、STE を運動現場で普及する上で、施設の職員や運動指導に従事する者などが STE を指導できるような指導マニュアルの作成やプログラム内容の構築が必要であろう。また、MCI 患者の認知機能および実行機能の低下予防には複数種類の運動を組み合わせた多成分運動が最も効果的であることが報告されている (Huang et al., 2022)。STE と他の運動プログラムを組み合わせた複合的な運動プログラムを検討することで、認知機能低下および認知症予防のための運動プログラムとしてより効果的なプログラムとなるよう検討を続けていく。

謝辞

博士論文を遂行するにあたり、研究方法全般や論文投稿などに関する基礎的なところから、研究活動全てにおいてご指導いただいた鹿屋体育大学 スポーツ生命科学系 教授 中垣内真樹先生には心から感謝申し上げます。また、研究活動のみにとどまらず、地域での高齢者運動教室での運動指導や体力測定、ならびに測定結果のフィードバックなど、研究を現場に還元していく過程や、その重要性を学ばせていただきました。さらには、介護予防における行政とのかかわりや、地域の高齢者施設等とのかかわりの中で、私が理学療法士として活躍できる場を数多く作ってくださり、今後、介護予防のための活動に携わる上での基礎を数多く学ばせていただきました。研究者として、また社会人としての基礎を教育していただいた中垣内真樹先生に深く感謝しています。また、博士論文作成にあたり、鹿屋体育大学 スポーツ生命科学系 准教授 沼尾成晴先生には多大なご協力とご助言を頂きました。研究を遂行する上で至らぬ点が多々ありましたが、ひとつひとつ丁寧にご指導いただいたことに心から感謝申し上げます。今後ともご指導ご鞭撻のほどよろしくお願いいたします。

本博士論文の測定および介入を実施するにあたり、多大なご協力をいただきました鹿屋体育大学 准教授 中本浩揮先生、オメガウェーブ株式会社 鹿嶋進様、株式会社アプライド オフィス 赤崎房生様、中垣内研究室の大学院生や学部生の皆様、特定非営利活動法人 ウェルスポ鹿屋スタッフの皆様、および測定や運動教室に参加していただいた鹿児島県鹿屋市在住高齢者の皆様には厚く御礼申し上げます。

最後に、私が充実した大学院生活を送ることができたのは、経済的にも精神的にもいつも支えてくれた両親のおかげでした。また、陰ながら応援してくれた弟や、親族の皆様にも感謝しています。さらに、いつも一番近くで私をサポートしてくれた妻やそのご家族には、感謝してもしきれません。これからも、私をサポートしてくださるたくさんの人への感謝の気持ちを忘れることなく、より一層精進していく所存です。

2023年1月 内田遼太

文献

- Abe T, Fujii K, Hyodo K, Kitano N, and Okura T (2018) Effects of acute exercise in the sitting position on executive function evaluated by the Stroop task in healthy older adults. *J Phys Ther Sci*, 30: 609-613.
- Barha CK, Davis JC, Falck RS, Nagamatsu LS, and Liu-Ambrose T (2017). Sex differences in exercise efficacy to improve cognition: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials in older humans. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 46:71–85.
- Barreto PS, Demougeot L, Vellas B, and Rolland Y (2018) Exercise training for preventing dementia, mild cognitive impairment, and clinically meaningful cognitive decline: a systematic review and meta-analysis. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences & Medical Sciences*. 73: 1504-1511.
- Bruscoli M and Lovestone S (2004) Is MCI really just early dementia? A systematic review of conversion studies. *Int Psychogeriatr*, 16: 129-140.
- Burbaud P, Degreze P, Lafon P, Franconi JM, Bouligand B, Bioulac B, Caille JM, and Allard M (1995) Lateralization of prefrontal activation during internal mental calculation: a functional magnetic resonance imaging study. *J Neurophysiol*, 74(5): 2194-2200.
- Buxton RB, Uludag K, Dubowitz DJ, and Liu TT (2004) Modeling the hemodynamic response to brain activation. *NeuroImage*, 23: S220–S233.
- Byun K, Hyodo K, Suwabe K, Ochi G, Sakairi Y, Kato M, Dan I, and Soya H (2014) Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study. *Neuroimage*, 98: 336-345.
- Clare L and Woods RT (2004) Cognitive training and cognitive rehabilitation for people with early-stage Alzheimer's disease: a review. *Neuropsychological Rehabilitation*. 14(4):385–401.
- Chandler MJ, Parks AC, Marsiske M, Rotblatt LJ, and Smith GE (2016) Everyday impact of cognitive interventions in mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis. *Neuropsychology Review*. 26(3):225–251.

- Chiu HL, Chu H, Tsai JC, Liu D, Chen YR, Yang HL, and Chou KR (2017) The effect of cognitive-based training for the healthy older people: a meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One*. 12(5): e0176742.
- Chong MS, Tay L, Chan M, Lim WS, Ye R, Tan EK, and Ding YY (2015) Prospective longitudinal study of frailty transitions in a community-dwelling cohort of older adults with cognitive impairment. *BMC Geriatrics*, 15: 175.
- Feng CM, Narayana S, Lancaster JL, Jerabek PA, Arnow TL, Zhu F, Tan LH, Fox PT, and Gao JH (2004) CBF changes during brain activation: fMRI vs. PET. *Neuroimage*, 22: 443-446.
- Folstein MF, Folstein SE, and McHugh PR (1975) Mini-mental state: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12: 189-198.
- Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, Seeman T, Tracy R, Kop WJ, Burke G, and McBurnie MA (2001) Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 56: M146-156.
- Goodyear BG and Douglas EA (2009) Decreasing task-related brain activity over repeated functional MRI scans and sessions with no change in performance: implications for serial investigations. *Exp Brain Res*, 192: 231-239.
- 灰田宗孝 (2002) 脳機能計測における光トポグラフィ信号の意味. *Medix*, 36 : 17-21.
- Haut KM and Barch DM (2006) Sex influences on material-sensitive functional lateralization in working and episodic memory: men and women are not all that different. *Neuroimage*, 32: 411-422.
- Herold F, Wiegel P, Scholkmann F, and Muller NG (2018) Applications of Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) Neuroimaging in Exercise-Cognition Science: A Systematic, Methodology-Focused Review. *J Clin Med*, 7(12): 466.
- Hoshi Y and Tamura M (1993) Detection of dynamic changes in cerebral oxygenation coupled to neuronal function during mental work in man. *Neurosci Lett*, 150: 5-8.
- Huang X, Zhao X, Li B, Cai Y, Zhang S, Wan Q, and Yu F (2022) Comparative efficacy of various exercise interventions on cognitive function in patients with mild cognitive impairment or dementia: A systematic review and network meta-analysis. *J Sport*

Health Sci, 11: 212-223.

一般社団法人日本高次脳機能障害学会. Trail Making Test 日本語版 : TMT-J. 新興医学出版社, 2019.

一般社団法人日本老年医学会ホームページ フレイルに関する日本老年医学会からのステートメント

https://www.jpn-geriat-soc.or.jp/info/topics/pdf/20140513_01_01.pdf

(2022年12月20日引用)

Jasper HH (1958) The ten-twenty electrode system of the International Federation Electroenceph clin Neurophysiol, 10: 371-375.

人工機能研究センターホームページ AIST 人体寸法データベース 1991-92

<https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/91-92/data/list.html>

(2022年12月20日引用)

Jöbsis FF (1977) Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. Science, 198: 1264-1267.

鹿嶋 進 (2011) 近赤外光による血液動態測定. 日本赤外線学会誌, 18-24.

Kato T, Kamei A, Takashima S, and Ozaki T (1993) Human visual cortical function during photic stimulation monitoring by means of near-infrared spectroscopy. J Cereb Blood Flow Metab, 13: 516-520.

Kawashima R, Okita K, Yamazaki R, Tajima N, Yoshida H, Taira M, Iwata K, Sasaki T, Maeyama K, Nobuo Usui, and Koji Sugimoto (2005) Reading aloud and arithmetic calculation improve frontal function of people with dementia. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 60: 380-384.

菊池有紀, 薬袋淳子, 島内 節, 成順 月 (2012) 要支援から要介護3の後期高齢者の認知機能・うつ傾向・握力に対する二重課題の有効性. 老年社会科学, 33: 555-565.

Kirilina E, Jelzow A, Heine A, Niessing M, Wabnitz H, Bruhl R, Ittermann B, Jacobs AM, and Tachtsidis I (2012) The physiological origin of task-evoked systemic artefacts in functional near infrared spectroscopy. NeuroImage, 61: 70-81.

Kleinschmidt A, Obrig H, Requardt M, Merboldt KD, Dirnagl U, Villringer A, and Frahm J (1996) Simultaneous recording of cerebral blood oxygenation changes during human brain activation by magnetic resonance imaging and near-infrared spectroscopy. J

Cereb Blood Flow Metab, 16: 817-826.

Kohno S, Miyai I, Seiyama A, Oda I, Ishikawa A, Tsuneishi S, Amita T, and Shimizu K (2007) Removal of the skin blood flow artifact in functional near-infrared spectroscopic imaging data through independent component analysis. J. Biomed. Opt, 12: 062111.

厚生労働省ホームページ 健康日本 21

https://www.mhlw.go.jp/www1/topics/kenko21_11/top.html

(2022年12月20日引用)

厚生労働省ホームページ 健康日本 21 (第二次)

https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/kenkounippou21.html

(2022年12月20日引用)

厚生労働省ホームページ 雇用政策研究会報告書

https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000204414_00003.html

(2022年12月20日引用)

厚生労働省ホームページ. 認知症施策の総合的な推進について (参考資料)

<https://www.mhlw.go.jp/content/12300000/000519620.pdf>

(2022年12月20日引用)

国立研究開発法人国立長寿医療研究センターホームページ 認知症予防へ向けた運動 コグニサイズ

<https://www.ncgg.go.jp/ri/lab/cgss/department/gerontology/documents/cogni.pdf>

(2022年12月20日引用)

国立社会保障・人口問題研究所ホームページ 社会保障費用統計

https://www.ipss.go.jp/site-ad/index_Japanese/security.asp

(2022年12月20日引用)

Lamb SE, Sheehan B, Atherton N, Nichols V, Collins H, Mistry D, Dosanjh S, Slowther AM, Khan I, Petrou S, and Lall R (2018) Dementia And Physical Activity (DAPA) trial of moderate to high intensity exercise training for people with dementia: randomised controlled trial. BMJ, 361: k1675.

Larson E, Wang L, Bowen J, McCormick WC, Teri L, Crane P, and Kukull W (2006)

Exercise Is Associated with Reduced Risk for Incident Dementia among Persons 65 Years of Age and Older. *Ann Intern Med*, 144: 73-81.

Laurin D, Verreault R, Lindsay J, MacPherson K, and Rockwood K (2001) Physical activity and risk of cognitive impairment and dementia in elderly persons. *Arch Neurol*, 58: 498-504.

Lezak MD (1982) The problem of assessing executive functions. *Int J Psychol*, 281-297.

Miura N, Iwata K, Watanabe J, Sugiura M, Akitsuki Y, Sassa Y, Ikuta N, Okamoto H, Watanabe Y, Riera J, Maeda Y, Matsue Y, and Kawashima R (2003) Cortical activation during reading aloud of long sentences: fMRI study. *Neuroreport*, 14(12): 1563-1566.

水本 篤・竹内 理 (2008) 研究論文における効果量の報告のために —基礎的概念と注意点—. *英語教育研究*, 31 : 57-66.

内閣府ホームページ 令和4年度版高齢社会白書

https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2022/zenbun/04pdf_index.html

(2022年12月20日引用)

内閣府ホームページ 平成29年度版高齢社会白書

https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/zenbun/29pdf_index.html

(2022年12月20日引用)

中垣内真樹, 濱原健太郎, 谷崎真二, 江頭郁子, 浦谷 創, 阿南祐也 (2014) 地域在住高齢女性に対するスクエアステップエクササイズの効果 —身体機能, 認知機能, 健康感に及ぼす影響—. *保健学研究*, 26 : 1-6.

日本体力医学会体力科学編集委員会監 (2011) 運動処方指針: 運動負荷試験と運動プログラム原書第8版. 南江堂: 東京都.

野間彩花, 内田遼太, 黒崎喬嗣, 沼尾成晴, 中垣内真樹 (2020) スクエアステップエクササイズが身体・認知機能に及ぼす影響 ~後期高齢者への効果検証~. *体力科学*, 69: 393-400.

Northey JM, Cherbuin N, Pumpa KL, Smees DJ, and Rattray B (2018) Exercise interventions for cognitive function in adults older than 50: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 52(3):154-160.

Peterson MJ, Giuliani C, Morey MC, Pieper CF, Evenson KR, Mercer V, Cohen HJ, Visser

- M, Brach JS, Kritchevsky SB, Goodpaster BH, Rubin S, Satterfield S, Newman AB, and Simonsick EM (2009) Physical activity as a preventative factor for frailty: the health, aging, and body composition study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 64: 61-68.
- Petersen RC (2004) Mild cognitive impairment as a diagnostic entity. *Journal of Internal Medicine*, 256: 183-194.
- Pinti P, Tachtsidis I, Hamilton A, Hirsch J, Aichelburg C, Gilbert S, and Burgess PW (2018) The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience. *Ann N Y Acad Sci*, 1464(1): 5-29.
- Reitan R (1958) Validity of the Trail Making Test as an Indicator of Organic Brain Damage. *Perceptual & Motor Skills*, 8: 271-276.
- Rogers RL, Meyer JS, Shaw TG, Mortel KF, Hardenberg JP, and Zaid RR (1983) Cigarette smoking decreases cerebral blood flow suggesting increased risk for stroke. *JAMA*, 250: 2796-2800.
- Roy CS and Sherrington CS (1890) On the regulation of the Blood-supply of the Brain. *J Physiol*, 11: 85 – 108.
- 酒谷 薫, 片桐彰久, 横瀬憲明, 五十嵐崇浩, 星野達哉, 藤原徳生, 村田佳宏, 片山容一, 岡本雅子, 檀 一平太 (2011) 光脳機能イメージングの進歩. *日大医学雑誌*, 70 : 145-149.
- 酒谷 薫監, 岡田英史, 星 詳子, 宮井一郎, 渡辺英寿編 (2012) *NIRS—基礎と臨床—*. 新興医学出版社 : 東京都.
- Samper-Ternent R, Al Snih S, Raji MA, Markides KS, and Ottenbacher KJ (2008) Relationship between frailty and cognitive decline in older Mexican Americans. *J Am Geriatr Soc*, 56: 1845-1852.
- Sato H, Takeuchi T, and Sakai KL (1999) Temporal cortex activation during speech recognition: an optical topography study. *Cognition*, 73: B55–B66.
- Sato H, Yahata, N, Funane, T, Takizawa, R, Katura, T, Atsumori H, Nishimura Y, Kinoshita A, Kiguchi M, Koizumi H, Fukuda M, and Kasai K (2013) A NIRS-fMRI investigation of prefrontal cortex activity during a working memory task. *Neuroimage*, 83: 158-173.
- Sattler C, Toro P, Schönknecht P, and Schröder J (2012) Cognitive activity, education

- and socioeconomic status as preventive factors for mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Psychiatry Research*. 196(1):90-95.
- Scholkmann F, Kleiser S, Metz AJ, Zimmermann R, Mata Pavia J, Wolf U, and Wolf M (2014) A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *NeuroImage*, 85: 6–27.
- Sherman DS, Mauser J, Nuno M, and Sherzai D (2017) The efficacy of cognitive intervention in mild cognitive impairment (MCI): a meta-analysis of outcomes on neuropsychological measures. *Neuropsychology Review*. 27(4):440–484.
- Shigematsu R and Okura T (2006) A novel exercise for improving lower-extremity functional fitness in the elderly. *Aging Clinical and Experimental Research*, 18: 242-248.
- Shimada H, Makizako H, Doi T, Lee S, and Lee S (2017) Conversion and Reversion Rates in Japanese Older People with Mild Cognitive Impairment. *J Am Med Dir Assoc*, 18: 808 e801-808 e806.
- Shimada H, Makizako H, Doi T, Park H, Tsutsumimoto K, Verghese J, and Suzuki T (2018) Effects of Combined Physical and Cognitive Exercises on Cognition and Mobility in Patients with Mild Cognitive Impairment: A Randomized Clinical Trial. *J Am Med Dir Assoc*, 19(7): 584-591.
- Shimada S, Hiraki K, Matsuda G, and Oda I (2004) Decrease in prefrontal hemoglobin oxygenation during reaching tasks with delayed visual feedback: a near-infrared spectroscopy study. *Brain Res Cogn Brain Res*, 20: 480–490.
- Song D, Yu DSF, Li PWC, and Lei Y (2018) The effectiveness of physical exercise on cognitive and psychological outcomes in individuals with mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Nursing Studies*. 79:155-164.
- Stern C and Munn Z (2010) Cognitive leisure activities and their role in preventing dementia: a systematic review. *International Journal of Evidence-based Healthcare*. 8(1):2–17.
- Stern Y (2012) Cognitive reserve in ageing and Alzheimer's disease. *Lancet Neurology*. 11(11): 1006–1012.

Strout KA, David DJ, Dyer EJ, Gray RC, Robnett RH, and Howard EP (2016) Behavioral interventions in six dimensions of wellness that protect the cognitive health of community-dwelling older adults: a systematic review. *Journal of the American Geriatrics Society*. 64(5):944–958.

杉下守弘, 朝田 隆, 杉下和行 (2017) 老年期うつ検査-15-日本版 GDS-15-J. 新興医学出版社 : 東京都.

杉下守弘, 腰塚洋介, 須藤慎治, 杉下和行, 逸見 功, 唐澤秀治, 猪原匡史, 朝田 隆, 美原 盤 (2018) MMSE- J (精神状態短時間検査-日本版) 原法の妥当性と信頼性. *認知神経科学*, 20 : 91-110.

Suto T, Fukuda M, Ito M, Uehara T, and Mikuni M (2004) Multichannel near-infrared spectroscopy in depression and schizophrenia: cognitive brain activation study. *Biol Psychiatry*, 55: 501-511.

Suzuki T, Shimada H, Makizako H, Doi T, Yoshida D, Ito K, Shimokata H, Washimi Y, Endo H, and Kato T (2013) A randomized controlled trial of multicomponent exercise in older adults with mild cognitive impairment. *PLoS One*, 9;8(4): e61483.

Suzuki T, Shimada H, Makizako H, Doi T, Yoshida D, Tsutsumimoto K, Anan Y, Uemura K Lee S, and Park H (2012) Effects of multicomponent exercise on cognitive function in older adults with amnesic mild cognitive impairment: a randomized controlled trial. *BMC Neurol*, 31;12:128.

Takahashi T, Takikawa Y, Kawagoe R, Shibuya S, Iwano T, and Kitazawa S (2011) Influence of skin blood flow on near-infrared spectroscopy signals measured on the forehead during a verbal fluency task. *NeuroImage*, 57: 991–1002.

Toronov V, Walker S, Gupta R, Choi JH, Gratton E, Hueber D, and Webb A (2003) The roles of changes in deoxyhemoglobin concentration and regional cerebral blood volume in the fMRI BOLD signal. *NeuroImage*, 19: 1521–1531.

Toronov V, Webb A, Choi JH, Wolf M, Michalos A, Gratton E, and Hueber D (2001) Investigation of human brain hemodynamics by simultaneous near-infrared spectroscopy and functional magnetic resonance imaging. *Med. Phys*, 28, 521–527.

Vergheze J, Lipton RB, Hall CB, Derby CA, Kuslansky G, Ambronse AF, Sliwinski M, and Buschke H (2003) Leisure activities and the risk of dementia in the elderly. *New*

- England Journal of Medicine, 348: 2508-2516.
- Villringer A, Planck J, Hock C, Schleinkofer L, and Dirnagl U (1993) Near infrared spectroscopy (NIRS): A new tool to study hemodynamic changes during activation of brain function in human adults. *Neuroscience Letters*, 154: 101-104.
- Willis SL, Tennstedt SL, Marsiske M, Ball K, Elias J, Koepke KM, Morris JN, Rebok GW, Unverzagt FW, Stoddard AM, and Wright E (2006) Long-term effects of cognitive training on everyday functional outcomes in older adults. *JAMA*, 296(23): 2805-2814.
- World Health Organization (2019) Risk reduction of cognitive decline and dementia: WHO guidelines. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- World Health Organization (2020) WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour: at a glance. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- 山田 実 (2009) 注意機能トレーニングによる転倒予防効果の検証 —地域在住高齢者における無作為化比較試験—. *理学療法科学*, 24 : 71-76.
- 山田 実, 森岡 周, 杉村修平 (2008) 手指運動による弁別課題が脳血流量に及ぼす影響 —fNIRS を用いて—. *理学療法科学*, 23 : 261-265.
- Yesavage JA, Brink TL, Rose TL, Lum O, Huang V, Adey M, and Leirer VO (1982) Development and validation of a geriatric depression screening scale: a preliminary report. *J Psychiatr Res*, 17: 37-49.
- Yoon j, Isoda H, Ueda T, and Okura T (2022) Cognitive and physical benefits of a game-like dual-task exercise among the oldest nursing home residents in Japan. *Alzheimers Dement*, 26;8(1): e12276.
- Yoon j, Isoda H, and Okura T (2020) Evaluation of beneficial effect of a dual-task exercise based on Japanese transitional games in older adults: a pilot study. *Aging*, 12(19): 18957-18969.