

高齢者の認知・運動機能を向上するための VR 複合ゲームの開発

李 曉 旋* 任 向 実** 権 藤 恭 之*
鈴木 慎 一*** 春日 彩 花****

DESIGNING MULTISENSORY VR GAMES FOR ENHANCING THE HEALTHY OF OLDER ADULTS

Xiaoxuan Li, Xiangshi Ren, Yasuyuki Gondo,
Xin Suzuki, and Ayaka Kasuga

Key words: virtual reality, cognitive function, older adults, dynamic visual acuity, health intervention.

緒 言

高齢者では、視覚機能（例：動体視力）、認知機能（例：認知コントロールやマルチタスク能力）、身体機能（例：バランス能力）などが同時に低下することが、加齢の主要な症状として知られている。動体視力は、動いている物体を明確かつ正確に認識・識別する能力を指し、歩行や運転、スポーツ、バランス維持などの場面において重要な役割を果たす。更に、動体視力、認知機能、身体機能は相互に密接に関連しており、これらの能力を総合的に維持・向上させることは、高齢者の日常生活の自立性維持にとって重要である^{2,3,8)}。

近年、高齢者の認知および身体を健康を維持・向上させる手段として、従来の認知トレーニング、身体トレーニング、ビデオゲームやエクササイズゲーム、更には VR（バーチャルリアリティ）を活用したトレーニングなどが提案されている。しかし、これらの介入の多くは、特定の認知機能や身体機能に注目したものであり、動体視力の向上

や、動体視力・認知機能・身体機能の相互作用を包括的に考慮したゲーム設計は少ない（詳細については筆者らのサーベイ論文⁵⁾を参照）。

没入型 VR は、強いプレゼンス（存在感）をもたらすことで、ユーザーの高いエンゲイジメントを誘発し、長期的なトレーニング介入を継続しやすい手段として注目を集めている。また、実生活で想定される危険な状況も、安全にシミュレートできる点で大きな利点がある。そこで本研究では、動体視力、認知機能、身体機能を統合的に刺激するマルチセンサリー VR ゲームを開発し、高齢者への適用可能性（受容性）と、その健康効果を検証することを目的とした。

本研究ではまず、マルチセンサリーアプローチに基づく VR ゲームシステムを開発し、次の 2 つの実験を行った。1) 高齢者と大学生における VR ゲームの受容性評価。本研究では高齢者を対象とした VR ゲームの設計に焦点を当てているが、大学生と高齢者の比較により、VR ゲームの受容性をより多角的かつ包括的に理解することが可能

* 大阪大学人間科学研究科

** 高知工科大学 Human-Engaged Computing 研究センター

*** GONENGO LLC

**** 立命館大学総合心理学部

Graduate School of Human Sciences, Osaka University, Osaka, Japan.

Center for Human-Engaged Computing (CHEC), Kochi University of Technology, Kochi, Japan.
GONENGO LLC, Osaka, Japan.

College of Comprehensive Psychology, Ritsumeikan University, Osaka, Japan.

となる。2) VR ゲームが高齢者の動体視力、認知機能、および身体機能に与える影響の検証である。

方 法

A. ゲーム設計と開発

本研究で開発した VR ゲームは、高齢者の視覚機能、認知機能、身体機能を同時に刺激するように設計した。プレイヤーは座位または立位の姿勢で、画面上に出現する目標を視認し、素早く反応しながら身体を動かす必要がある。具体的には、「Go」刺激の場合は手足を使って目標を打つ、「No-Go」刺激の場合は身体を動かして目標を回避する、といった一連の動作を求めることで、視覚・認知・身体の機能を総合的に活性化する。

本ゲームは以下の3つの主要要素で構成される(図1)。

1. 動体視力トレーニング

水平方向・垂直方向・前後方向など、さまざまな方向に動く標的を視認し、眼球運動(動体視力)を促進する。これにより、注意力・判断力・情報処理力を活性化する。

2. 認知トレーニング

マルチタスクパラダイム¹⁾や Go/No-Go 課題⁴⁾を組み込み、実行機能や抑制制御を鍛える。

3. 身体運動

腕や足を使った全身運動を取り入れ、バランス能力や下肢・上肢筋力などの身体機能を向上させる。

B. VR ゲームの受容性の評価(実験1)^{6,7)}

1. 参加者

地域コミュニティから的高齢者14名(男性7名、女性7名、平均年齢67.86歳、SD = 2.54、平均教育年数14.5年、SD = 2.03)および大学構内の掲示板で募集した大学生14名(男性7名、女性7名、平均年齢25.64歳、SD = 2.34、平均教育年数17.36年、SD = 0.93)を募集した。すべての参加者は身体的・精神的な障害がなく、自由に移動可能であり、同様の実験への参加経験がないことを確認した。高齢者の参加者全員はゲーム未経験者であった。VR技術の未使用経験者は、高齢者11名、大学生9名であった。

2. 実験デザイン

本実験では、VRゲームの受容性を評価するためにクロスオーバーデザインを採用し、参加者全員がVRゲームとPCタスクの両方を実施した。PCタスクは座位条件で行った。VRゲームは座位条件と立位条件の両方で行った。

3. 受容性の指標の評価

Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) を使用してサイバーシックネスを評価する、National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TLX) を使用して作業負荷を評価する、Intrinsic Motivation Inventory (IMI) を使用して内発的動機づけを評価する。

C. VR ゲームが高齢者の動体視力、認知能力、および身体機能を改善する効果の評価(実験2)

1. 参加者

大阪地域から募集した健康な高齢者14名(男性4名、女性10名、平均年齢75.93歳、SD = 5.37)を対象とし、以下の2群にランダムに分けた。実

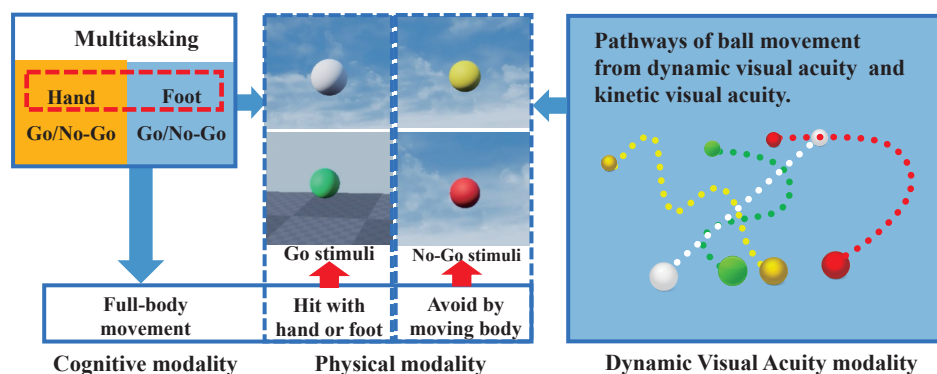


図1. 多感覚 VR ゲームの設計メカニズム

Fig.1. The design mechanism of the multisensory VR game.



図2. VR ゲームをプレイする参加者
Fig.2. Older participants were playing this VR game.

験2の被験者を募集するにあたり、複数の高齢者クラブと連携し、同時に募集を行った。当初は合計46名の参加者を募集する計画であった。しかし、高齢者は日常生活においてさまざまな活動を行っており、特定の曜日や時間に継続的に実験へ参加することが難しかった。そのため、時間的制約を考慮し、まずは募集できた14名の被験者（2群、各群7名）を対象に実験を実施した。今後も研究資金を獲得し、追加の被験者を募集し、同様の実験を継続する予定である。

- 1) VR ゲーム群（7名：男性3名、女性4名、平均年齢76.00歳、SD=4.69）：VRゲームのトレーニングを実施し、視力、認知機能、身体機能テストを受検。
- 2) コントロール群（7名：男性1名、女性6名、平均年齢75.86歳、SD=6.36）：VRゲームのトレーニングは行わず、視力、認知機能、身体機能テストを受検。高齢参加者のスクリーニングには、Mini-Mental State Examination (MMSE) と Geriatric Depression Scale-Short Version Japanese (GDS-S-J) を用い、MMSEスコアが24未満またはGDS-S-Jスコアが6以上の者を除外した。すべての参加者について、身体的・精神的に健康で自由に移動でき、VRゲームの使用経験がないことを確認した。

2. 実験デザイン

VRゲームトレーニングは8週間にわたり実施し、参加者は週3回、1回当たり1時間プレイし、その間に適宜休憩を挟んだ。評価は、VRゲーム開始前、開始1か月後、開始2か月後の3時点で、認知機能・身体機能・動体視力に対して行った（図2）。

3. 評価項目

- 1) 認知機能は以下のような項目で評価した。

① Go/No-Go 課題による反応抑制、② ストループ課題による抑制制御、③ コルシ・ブロックタッピング課題（順唱）による視空間的短期記憶、④ 注意ネットワークテストによる注意機能、⑤ トレイルメイキングテスト（TMT）による認知柔軟性。

- 2) 身体機能は以下のような項目で評価した。

① 片足立ちテストによる静的バランス、② 8フィート・アップ&ゴーテストによる敏捷性・動的バランス、③ バック・スクラッチテストによる上肢柔軟性、④ ファンクショナルリーチテスト（FRT）による下肢柔軟性、⑤ SPPB-5回椅子立ち上がりテストによる下肢筋力。

- 3) 動体視力は動体視力課題を使用して評価した。移動するランドルト環（2，3，4度/秒）を左右10度の位置から提示し、隙間の方向を回答する課題。練習試行後に反応時間と正答率を本試行として記録した。

統 計

A. 実験1

サイバーシックネス（SSQ）のデータ分析には、Repeated-measures ANOVA を用いた。条件（VR前 vs VR後（座位） vs VR後（立位））および群（大学生 vs 高齢者）の比較を行った。NASA-TLX および IMI の分析には、mixed ANOVA を使用し、課題の種類（PC タスク vs VR ゲーム）および群（大学生 vs 高齢者）の比較を行った。

B. 実験2

実験2のデータ分析には、mixed ANOVA を用いた。群（VRゲーム群 vs コントロール群）および測定時点（介入前 vs 1か月後 vs 2か月後）の分析を行った。

結 果

本研究の実験2では有効的な結果が得られたが、わずか14名（各群7名）の被験者のみが参加した。事後的な検定力分析（post hoc power analysis）を行った結果、認知機能、身体機能、および動体視力の向上に関連する効果量を考慮した場合、得られた統計的検定力（ $1 - \beta$ ）は0.47であり、一般的に推奨される0.80の閾値を下回っていた。この低い検定力により、第Ⅱ種の過誤（偽陰性）のリスクが高まり、実際には存在する可能性のある交互作用が統計的に検出されない可能性がある。通常、交互作用が有意でない場合、事後検定は実施しない。しかし、本研究では統計的検定力の不足を考慮し、認知機能、身体機能、および動体視力の改善に関する効果量を踏まえたうえで、交互作用の有無にかかわらず Bonferroni 補正を適用した事後検定を実施した。ただし、一部の条件において交互作用が有意ではなかったため、これらの結果を慎重に解釈する必要がある。中程度の効果量を検出するために必要な統計的検定力を確保するには、合計28名（各群14名）の被験者が必要で

あると推定される。したがって、今後の研究ではサンプルサイズを増加させるとともに、より堅牢な統計手法を適用し、検定力を向上させることが望ましい。

A. 実験1^{6,7)}

1. サイバーシックネス（SSQ）（図3）

SSQの総スコアについて、群の主効果が有意であった（ $F(1,26) = 4.82, P < 0.05, \eta^2 = 0.16$ ）。条件にかかわらず、若者群のSSQのスコアは高齢者群よりも全体的に高かった。一方、条件の主効果および群×条件の交互作用は有意ではなかった。

吐き気（Nausea）について、群×条件の交互作用が有意であった（ $F(1,26) = 6.03, P < 0.05, \eta^2 = 0.19$ ）。一方、条件および群の主効果は有意ではなかった。高齢者においては、VR後（座位）とVR後（立位）の間に有意な差はみられなかった。しかし、若者においては、VR後（立位）の悪心スコア（ $M = 1.43, SD = 1.87$ ）は、VR後（座位）（ $M = 0.93, SD = 1.14$ ）と比較して有意に高かった（ $P < 0.05$ ）。

方向感覚障害（Disorientation）について、群×条件の交互作用（ $F(1,37) = 3.84, P < 0.05, \eta^2 = 0.13$ ）

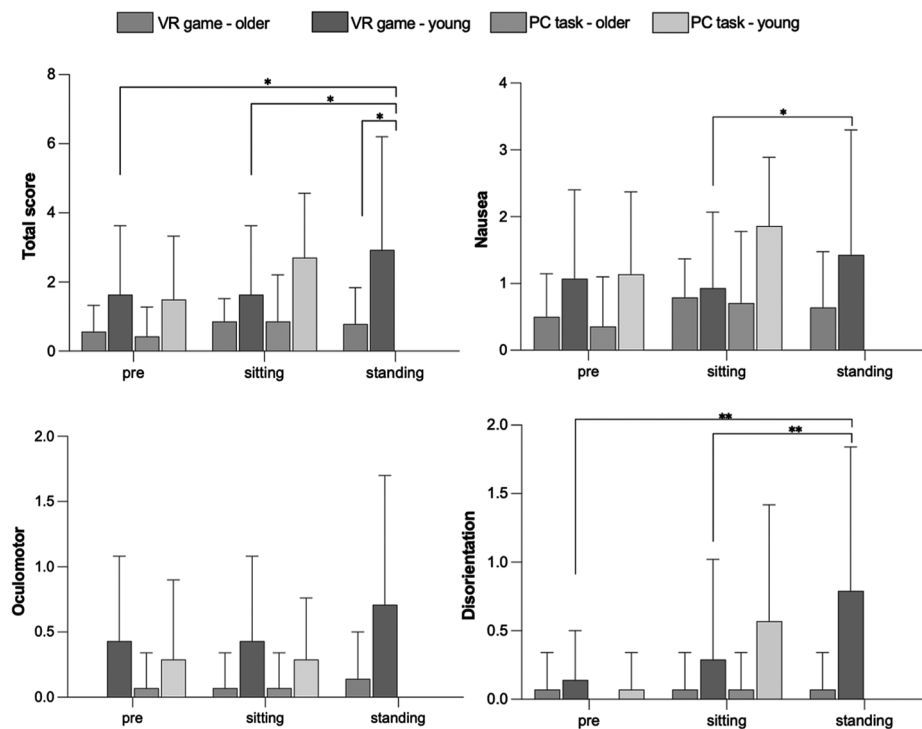


図3. SSQ スコア

Fig.3. The SSQ scores.

SSQ; Simulator Sickness Questionnaire. The error bars indicate $\pm$ SE. The asterisks (*) and (**) indicate a significant difference at a 95% and 99% confidence interval respectively.

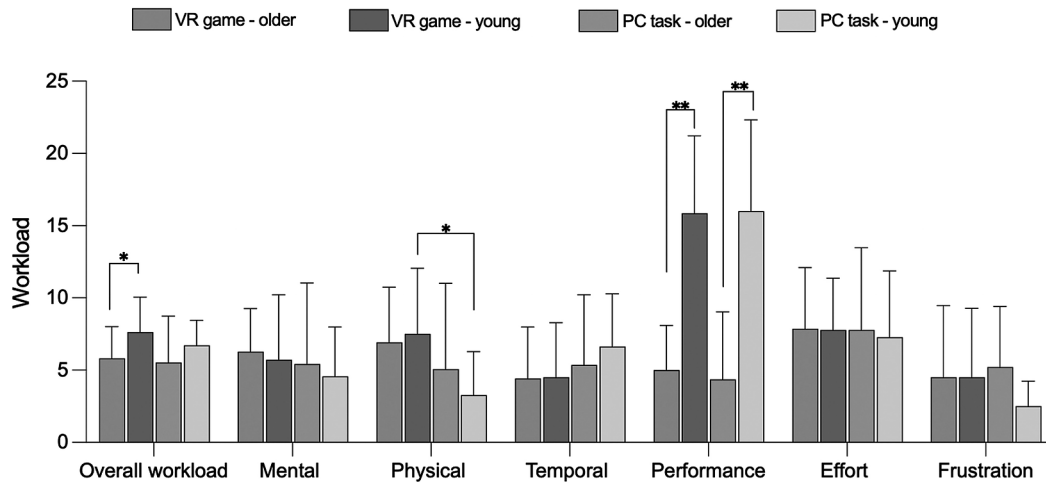


図4. NASA-TLX スコア

Fig.4. The NASA-TLX scores.

NASA-TLX; National Aeronautics and Space Administration Task Load Index. The error bars indicate $\pm$ SE. The asterisks (*) and (**) indicate a significant difference at a 95% and 99% confidence interval respectively.

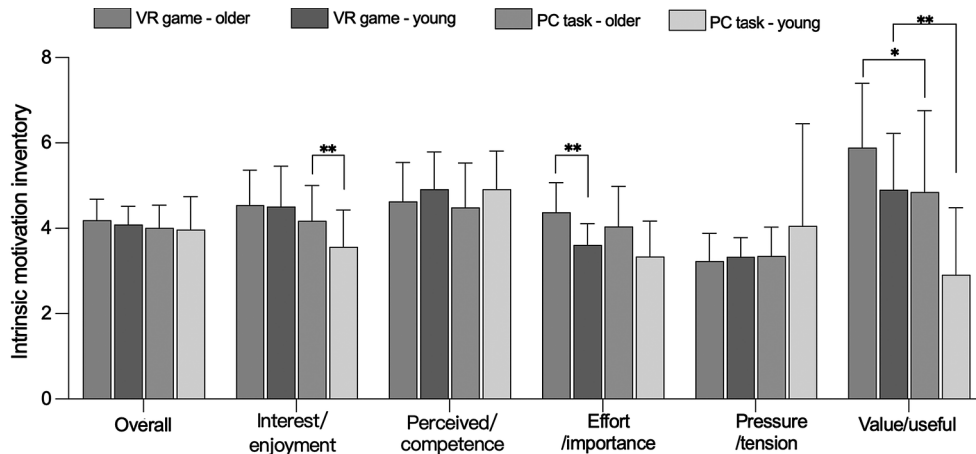


図5. IMI スコア

Fig.5. The IMI scores.

IMI; Intrinsic Motivation Inventory. The error bars indicate $\pm$ SE. The asterisks (*) and (**) indicate a significant difference at a 95% and 99% confidence interval respectively.

および条件の主効果 ($F(1,37) = 3.84, P < 0.05, \eta^2 = 0.13$) が有意であったが、群の主効果は有意ではなかった。高齢者においては、VR ゲーム前、VR 後 (座位)、VR 後 (立位) の間に有意な差はみられなかった。しかし、若者においては、VR 後 (立位) の方向感覚障害スコア ($M = 0.79, SD = 1.05$) は、VR 後 (座位) ($M = 0.29, SD = 0.73$) および VR ゲーム前 ($M = 0.14, SD = 0.36$) と比較して有意に高かった ($P < 0.01$)。

2. Mental workload (NASA-TLX) (図4)

全体の作業負荷スコアについて、群の主効果が有意であった ($F(1,26) = 4.48, P < 0.05, \eta^2 = 0.15$)。課題の種類にかかわらず、若者群の作業負荷は高

齢者群よりも高いことが明らかとなった。一方、課題の種類および課題の種類 $\times$ 群の交互作用は有意ではなかった。

パフォーマンス (Performance) については、群の主効果が有意であった ($F(1,26) = 48.99, P < 0.001, \eta^2 = 0.65$)。課題の種類にかかわらず、若者群のスコアは、高齢者群よりも有意に高かった。一方、課題の種類および課題の種類 $\times$ 群の交互作用は有意ではなかった。

3. Intrinsic Motivation Inventory (IMI) (図5)

興味/楽しさ (Interest/enjoyment) については、課題の種類の主効果が有意であった ($F(1,26) = 13.24, P < 0.005, \eta^2 = 0.34$)。群にかかわらず、VR

ゲームはPCタスクよりも有意に楽しさの評価が高かった。一方、群の主効果および課題の種類×群の交互作用は有意ではなかった。

努力/重要性 (Effort/importance) については、群の主効果が有意であった ($F(1,26)=9.55, P<0.01, \eta^2=0.27$)。課題の種類にかかわらず、高齢者群は若者群よりも高い努力スコアを示した。一方、課題の種類および課題の種類×群の交互作用は有意ではなかった。

価値/有用性 (Value/usefulness) については、群の主効果 ($F(1,26)=8.84, P<0.01, \eta^2=0.25$) および課題の種類の主効果 ($F(1,26)=19.20, P<0.001, \eta^2=0.43$) が有意であったが、課題の種類×群の交互作用は有意ではなかった。課題の種類にかかわらず、高齢者群は若者群よりも有意に高く、群にかかわらず、VRゲームはPCタスクよりも有意に高かった。

B. 実験2

1. 認知機能

Go/No-Go 課題の結果 (図6) : Go/No-Go 課題のGo条件における反応時間について、時間の主効果 ($F(1,24)=6.95, P<0.005, \eta^2=0.37$) および群の主効果 ($F(1,24)=4.80, P<0.05, \eta^2=0.29$) が有意であったが、時間×群の交互作用は有意ではなかった。まず、群にかかわらず、全体的に介入前よりも介入後 (1か月後および2か月後) の反応時間が有意に短縮されていた。これは、VRゲーム群とコントロール群の両群において、時間の経過とともに一定の改善がみられたことを示している。また、時間にかかわらず、VRゲーム群はコントロール群に比べて全体的に反応時間が短かった。特に、1か月後および2か月後の時点では、VRゲーム群のほうがコントロール群よりも有意に短い反応時間を示していた (それぞれ $P=0.05, P<0.05$)。VRゲーム群では、介入前、1か月後、2か月後の間に有意な差が認められたが、1か月後と2か月後の間には有意差はみられなかった。具体的には、Go条件の反応時間は、1か月後 ($M=0.41, SD=0.04$) は介入前 ($M=0.45, SD=0.05$) と比較して有意に短縮していた ($P<0.005$)。また、2か月後 ($M=0.40, SD=0.03$) も介入前より有意に短縮していた ($P<0.05$)。一方、コン

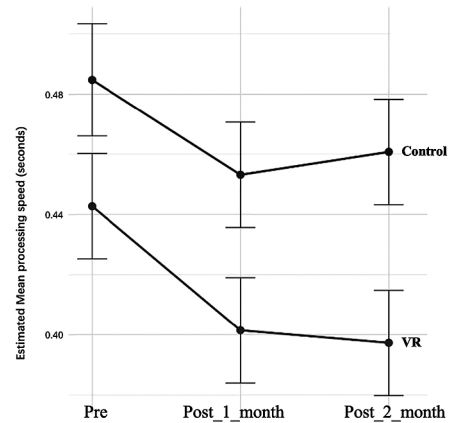


図6. Go/No-Go 課題のGo条件における測定時点 (介入前、1か月後、2か月後) の処理速度 (秒)

Fig.6. The processing speed (seconds) in the Go condition of the Go/No-Go task at the pre, post_1_month test, and post_2_month tests.

Error bars represent standard errors.

トロール群では、介入前と1か月後の間に有意な差が認められたが、介入前と2か月後、または1か月後と2か月後の間には有意差はみられなかった。具体的には、1か月後 ($M=0.46, SD=0.05$) の反応時間は介入前 ($M=0.48, SD=0.06$) より有意に短縮していた ($P<0.05$)。しかし、2か月後 ($M=0.47, SD=0.05$) は介入前および1か月後と比較して有意差は認められなかった。更に、介入前の時点ではVRゲーム群とコントロール群の間に有意差はみられなかったが、1か月後および2か月後では両群の間に有意な差が認められた。1か月後の時点では、VRゲーム群 ($M=0.41, SD=0.04$) の反応時間はコントロール群 ($M=0.46, SD=0.05$) より有意に短縮していた ($P=0.05$)。また、2か月後の時点では、VRゲーム群 ($M=0.40, SD=0.03$) はコントロール群 ($M=0.47, SD=0.05$) より有意に短縮していた ($P<0.05$)。これらの結果は、VRゲーム群が1か月後および2か月後の時点で一貫してコントロール群よりも短い反応時間を示したことを示唆している。

2. 身体機能

脚立ちテスト (目を開けた状態) の結果 (図7) : 開眼条件でのバランス維持時間について、時間の主効果が有意であった ($F(1,24)=4.38, P<0.05, \eta^2=0.27$)。これは、群にかかわらず、時間の経過によってバランス維持時間が全体的に延長したことを示している。一方、群の主効果および時間

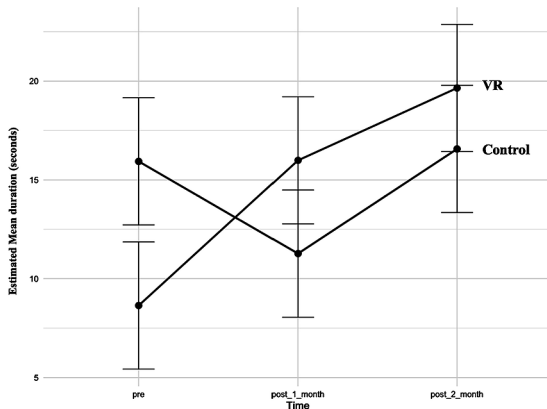


図 7. 片脚立位テスト(開眼条件)における測定時点(介入前, 1 か月後, 2 か月後)の持続時間

Fig.7. The results of duration at pre, post_1_month test, and post_2_month test in the open eyes condition of one-leg balance test.

Error bars represent standard errors.

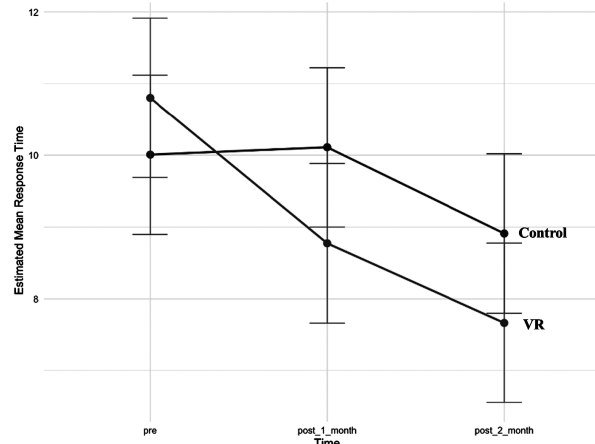
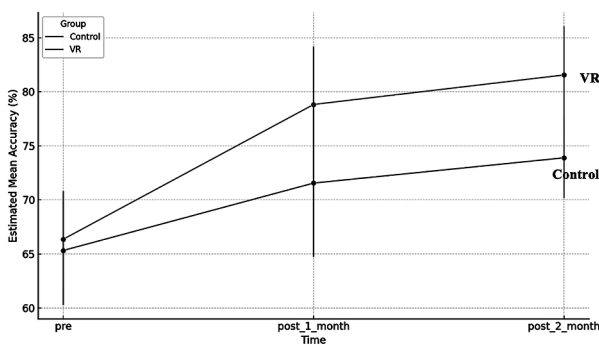


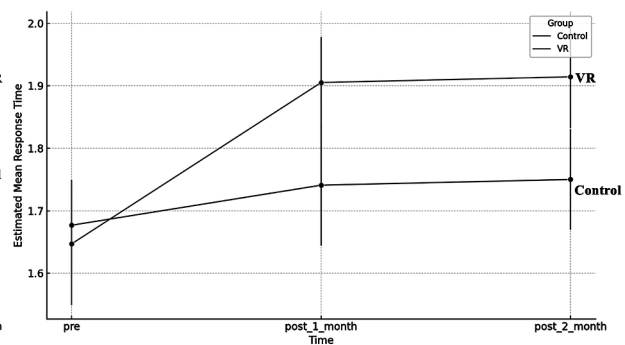
図 8. 5 回椅子立ち上がりテスト測定時点(介入前, 1 か月後, 2 か月後)の速度

Fig.8. The speed of 5 times chair stand test at pre, post_1_month, and post_2_month for VR and Control Groups in the 5 times chair stand test.

Error bars represent standard errors.



(a) Accuracy in the DVA task.



(b) Response time in the DVA task.

図 9. DVA 課題の(a)正答率および(b)反応時間の結果

Fig.9. The results of (a) accuracy and (b) response time in the DVA task.

DVA; dynamic visual acuity.

×群の交互作用は有意ではなかった。VR ゲーム群では、介入前と2か月後の間に有意な差が認められた。具体的には、2か月後のバランス維持時間 ($M = 19.65$, $SD = 10.96$) は介入前 ($M = 8.65$, $SD = 6.20$) と比較して有意に延長していた ($P < 0.05$)。一方、コントロール群では、介入前、1か月後、2か月後の間に有意な差はみられなかった。

5 回椅子立ち上がりテストの結果 (図 8) : 立ち上がり速度について、時間の主効果 ($F(1,24) = 11.08$, $P < 0.005$, $\eta^2 = 0.48$) および時間×群の交互作用 ($F(1,24) = 3.57$, $P < 0.05$, $\eta^2 = 0.23$) が有意であったが、群の主効果は有意ではなかった。VR ゲーム群では、介入前と1か月後、および介入前と2か月後の間に有意な差が認められた。具体的には、1か月後の立ち上がり速度 ($M = 8.77$, SD

$= 3.56$) は介入前 ($M = 10.80$, $SD = 4.58$) より有意に速くなっていた ($P = 0.05$)。また、2か月後の立ち上がり速度 ($M = 7.67$, $SD = 2.33$) も介入前 ($M = 10.80$, $SD = 4.58$) より有意に速くなっていた ($P = 0.05$)。一方、コントロール群では、介入前と1か月後、および介入前と2か月後の間に有意な差はみられなかった。しかし、1か月後と2か月後の間に有意な差が認められた。具体的には、2か月後の立ち上がり速度 ($M = 8.91$, $SD = 1.28$) は1か月後 ($M = 10.11$, $SD = 1.28$) より有意に速くなっていた ($P = 0.05$)。

3. 動体視力 (図 9)

ANOVA の結果、正答率については時間の主効果が有意であった ($F(1,24) = 7.98$, $P < 0.05$, $\eta^2 = 0.40$) が、群の主効果および時間×群の交互作用

表 1. 結果の概要
Table 1. The summary results.

Measures	VR game (n = 7)			Control (n = 7)		
	Pre	Post_1_month	Post_2_month	Pre	Post_1_month	Post_2_month
<i>Cognitive assessment</i>						
Go/No-Go task						
Response time (s)	0.45 ± 0.05	0.41 ± 0.04 ^{†**}	0.4 ± 0.03 ^{*†}	0.48 ± 0.06	0.46 ± 0.05*	0.47 ± 0.05
Discriminability index	6.78 ± 0.82	6.72 ± 0.92	7 ± 0.75	6.24 ± 1.22	6.48 ± 0.92	6.67 ± 0.96
Stroop task						
Response time (s)	1.71 ± 1.09	1.54 ± 1.18	1.16 ± 3.82	2.10 ± 12.62	1.99 ± 1.72	1.33 ± 6.03
Accuracy	0.91 ± 0.08	0.91 ± 0.08	0.90 ± 0.14	0.82 ± 0.16	0.80 ± 0.18	0.87 ± 0.09
Corsi block tapping task						
Block span	6.00 ± 1.16	5.57 ± 0.98	5.57 ± 0.98	4.86 ± 0.90	5.00 ± 0.00	5.00 ± 0.00
Trail making test						
Combined errors	6.00 ± 2.58	3.00 ± 2.45	2.86 ± 3.08	7.14 ± 7.20	3.14 ± 1.86	3.86 ± 5.08
Response time (s)	218.99 ± 94.63	184.71 ± 80.85	177.00 ± 70.56	264.08 ± 76.73	209.64 ± 56.28	219.72 ± 109.14
Attention network test						
Accuracy	0.98 ± 0.02	0.99 ± 0.01	0.94 ± 0.11	0.96 ± 0.04	0.97 ± 0.02	0.97 ± 0.02
Response time (ms)	667.61 ± 62.15	628.62 ± 50.55	607.93 ± 40.72	674.2 ± 109.23	622.08 ± 74.03	602.09 ± 56.71
<i>Dynamic visual acuity assessment</i>						
Dynamic visual acuity task						
Accuracy	66.36 ± 11.84	78.83 ± 14.17	81.56 ± 11.92*	65.32 ± 13.34	71.56 ± 18.09	73.9 ± 9.84
Response time (s)	1.65 ± 0.26	1.91 ± 0.19*	1.91 ± 0.22*	1.68 ± 0.19	1.74 ± 0.26	1.75 ± 0.21
<i>Physical assessment</i>						
Static balance test						
Open eyes	8.65 ± 6.2	15.99 ± 9.5	19.65 ± 10.96*	15.94 ± 7.1	11.27 ± 5.37	16.57 ± 10.32
Closed eyes	3.04 ± 2.4	3.13 ± 1.43	3.57 ± 1.52	3.1 ± 0.71	2.81 ± 2.1	3.95 ± 3.07
8 foot up-and-go test						
Safe condition	7.53 ± 1.62	6.89 ± 1.90	6.23 ± 1.18	8.35 ± 1.85	6.92 ± 1.15	7.56 ± 1.52
Quick condition	5.11 ± 1.66	4.91 ± 1.34	4.92 ± 1.35	5.66 ± 1.19	5.56 ± 1.11	5.77 ± 0.99
Back scratch test (cm)	-14.95 ± 15.84	-18.29 ± 13.88	-16.0 ± 15.34	-13.46 ± 12.09	-14.5 ± 15.13	-13.96 ± 12.76
Functional reach test (cm)	32.68 ± 5.46	35.51 ± 7.07	31.81 ± 5.51	31.75 ± 6.86	30.53 ± 3.94	28.68 ± 5.09
5 times chair stand test (s)	10.8 ± 4.58	8.77 ± 3.56*	7.67 ± 2.33*	10.11 ± 2.44	10.11 ± 2.28	8.91 ± 1.28 [#]

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$: Statistically significant difference within the group between the pre and post-test.

[†]: Statistically significant difference ($P < 0.05$) between the VR exergame and control groups in the post-test.

[#]: Statistically significant difference ($P < 0.05$) between the post_1_month and post_2_month in the control group.

は有意ではなかった。この結果は、群にかかわらず全体として正答率が時間とともに有意に向上したことを示している。Post hoc の検定として Bonferroni 検定を実施した結果、VR ゲーム群では、介入前と 2 か月後の間に有意な差が認められた。具体的には、2 か月後の正答率 ($M = 81.56$, $SD = 11.92$) は、介入前 ($M = 66.36$, $SD = 11.84$) と比較して有意に向上していた ($P < 0.05$)。一方、コントロール群では、介入前、1 か月後、2 か月後の間に有意な差はみられなかった。また、反応時間についても時間の主効果が有意であった (F

(1,24) = 5.82, $P < 0.05$, $\eta^2 = 0.33$) が、群の主効果および時間×群の交互作用は有意ではなかった。この結果は、群にかかわらず反応時間が時間の経過とともに変化したことを意味している。VR ゲーム群では、介入前と 1 か月後、および介入前と 2 か月後の間に有意な差が認められた。具体的には、1 か月後の反応時間 ($M = 1.91$, $SD = 0.19$) は介入前 ($M = 1.65$, $SD = 0.26$) と比較して有意に延長していた ($P < 0.05$)。更に、2 か月後の反応時間 ($M = 1.91$, $SD = 0.22$) も介入前 ($M = 1.65$, $SD = 0.26$) と比較して有意に延長していた ($P <$

0.05)。一方、コントロール群では、介入前、1 か月後、2 か月後の間に有意な差はみられなかった。実験2の結果は表1にまとめる。

考 察

本研究は、高齢者集団を対象に、多感覚要素を統合したVRゲームの受容性と健康増進への有効性を検討するために2つの実験を行った。

A. VRゲームの受容性(実験1)

高齢者に対し、本VRゲームがサイバーシックスネスを引き起こしにくいこと、既存のPCタスクと比較して作業負荷が有意に増加しないこと、更に高齢者のモチベーションやエンゲイジメントが向上し得ることを示唆する結果が得られた。特に、高齢者はVR環境における存在感や自律感を強く感じており、今後更なるゲーミフィケーション要素や難易度設定を導入することで、長期的な継続意欲を高められる可能性がある。作業負荷の結果について、インタビュー結果によると、若者はVRゲームをプレイする際、立位よりも座位を選択する傾向が強かった。その主な理由として、立位でのプレイは身体運動の負担が大きく、若者の多くは運動への意欲が低いため、できるだけ身体的負担の少ない座位を好んだことが挙げられる。一方、高齢者はVRゲームを通じた身体活動の向上を重視し、立位でのプレイを好む傾向があった。そのため、若者においては、立位でのVRゲームが身体的負荷を伴うことで課題負荷スコアが高くなった可能性がある。

B. 高齢者へのVRゲームの効果評価(実験2)

マルチセンサリーVRゲームトレーニングを8週間実施した結果、動体視力、抑制制御能力、静的バランス、下肢筋力において有益な効果が確認された。動体視力の結果について、VRゲーム群において動体視力タスクの正答率が向上したが、反応時間の延長も確認された。これは「速さ-正確さのトレードオフ(speed-accuracy trade-off)」の影響によるものであり、トレーニング後、被験者が正確性を優先する方法を採用した可能性が示唆される。このような方法変更は、加齢による認知・視覚機能の変化を反映している可能性があり、今後の研究では、トレードオフの影響を定量的に

評価し、動体視力の改善が実生活にどのような影響を及ぼすのかを検討する必要がある。

本研究のサンプルサイズは小さく($n=14$)、統計検定の検出力(power)が低い可能性がある。そのため、統計的有意性だけでなく、効果量(η^2)を考慮して結果を解釈することが重要である。Go/No-Go課題の反応時間に関して、群間差(VR群 vs コントロール群)は中程度から大きな効果($\eta^2=0.40$)を示し、VRトレーニングが課題パフォーマンスの向上に寄与した可能性が示唆された。身体機能に関しては、片脚立ちテスト(開眼条件)の効果量($\eta^2=0.27$)が中程度の影響を示し、VRゲームを用いたトレーニングが時間の経過とともにバランス能力に一定の影響を与えた可能性がある。更に、5回椅子立ち上がりテストの結果では、時間の主効果に対する効果量($\eta^2=0.48$)が大きな効果を示し、交互作用効果($\eta^2=0.23$)も中程度であった。これらの結果から、VRゲームが速度向上に及ぼす影響は統計的に有意であるだけでなく、実践的にも意味のあることが示唆された。しかし、サンプルサイズの小ささによる第II種の過誤(偽陰性)のリスクを考慮すると、今後の研究ではより大規模なサンプルサイズを用いた実験を行い、結果の一般化可能性を検証する必要がある。動体視力の結果については、サンプルサイズが小さいものの、効果量(η^2)に基づく分析により、VRトレーニングが正答率および反応時間に中程度から大きな影響を与えていることが示唆された。正答率に関して、時間の主効果は有意であり($\eta^2=0.40$)、時間要因が全体の40%の分散を説明している。この結果は、VRトレーニングが正答率の向上に対して比較的大きな影響を与える可能性を示している。群間効果は有意ではなかったものの、VR群では2か月後に正答率が有意に向上した一方で、コントロール群には有意な変化がみられなかった。これにより、VRトレーニングの有効性が一定程度支持されたと考えられる。反応時間に関しても、時間の主効果が有意であり($\eta^2=0.33$)、中程度の効果量が確認された。この結果は、VRトレーニングが反応時間の変化に寄与した可能性を示唆する。ただし、群間効果が有意ではなかったため、この変化がVRトレ

ニングの直接的な効果かどうかについては慎重に解釈する必要がある。以上の結果から、VR トレーニングは認知および身体機能のパフォーマンス向上に一定の影響を及ぼす可能性が示唆された。特に、正答率の向上においては比較的大きな効果 ($\eta^2 = 0.40$) が確認され、運動機能の向上に関しても一定の効果が示された。一方で、本研究のサンプルサイズが小さいため、統計的検定力が不足している点には注意が必要である。今後の研究では、より大規模なサンプルを用いることで、VR トレーニングの効果を更に詳細に検証し、その一般化可能性を高めることが求められる。

総 括

本研究では、多感覚を統合した VR ゲームを開発し、高齢者を対象にしてその有効性を検証した。本ゲームは、高齢者の動体視力、認知機能、身体機能を同時に向上させる可能性を秘めている。実験の結果、高齢者にとって受け入れやすく、積極的な参加意欲を引き出すことが示唆された。また、動体視力を含む認知機能および身体機能の改善に対して大きな潜在力があることも明らかにした。以上より、多感覚統合 VR ゲームは、高齢者の健康維持・増進を目的とした有望な介入方法として期待される。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、多大なる助成を賜りました公益財団法人明治安田厚生事業団ならびに事務局の皆様に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Anguera JA, et al. (2013): Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, **501**, 97-101.
- 2) Cheong A, et al. (2013): Relationship between dynamic vision and balance in older adults. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, **54**, 1526.
- 3) Fan J, et al. (2002): Testing the efficiency and independence of attentional networks. *J Cogn Neurosci*, **14**, 340-347.
- 4) Fillmore MT, et al. (2006): Acute effects of cocaine in two models of inhibitory control: implications of non-linear dose effects. *Addiction*, **101**, 1323-1332.
- 5) Li X, et al. (2025): The design of visual, cognitive, and physical modalities in VR games for older adults: a systematic review. *Int J Hum Comput Interact*, 1-26.
- 6) Li X, et al. (2024): Designing a multisensory VR game prototype for older adults - the acceptability and design implications. *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '24)*. Association for Computing Machinery, Article **20**, 1-18.
- 7) Li X, et al. (2023): The acceptability of a multisensory VR game for older adults. *2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 712-713.
- 8) Zhang C, et al. (2008): Visual function declines during normal aging. *Curr Sci*, **95**, 1544-1550.