

令和 6 年 5 月 7 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11192

研究課題名（和文）Virtual Reality を用いた高齢者の転倒予防練習の効果

研究課題名（英文）The effectiveness of fall prevention training for the elderly using Virtual Reality

研究代表者

浦邊 幸夫（Urabe, Yukio）

広島大学・医系科学研究科（保）・教授

研究者番号：40160337

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、若年者と高齢者を対象に傾くVirtual Reality（VR）映像の視聴が身体重心に与える影響を明らかにし、高齢者に対するVR映像を用いた転倒リスクが低くより効果的なバランストレーニングの開発へ応用することを目的とした。若年健常者を対象とした研究にて傾くVR映像により静止立位時で重心動揺が発生するか確認し、若年健常者と健常高齢者を対象とした研究で高齢者に対するVR映像の重心動揺への効果を確認した。その結果、身体重心の変化は、若年者と比較して高齢者で大きかった。高齢者に対する身体動作を伴わず大きな身体動揺を起こすバランストレーニングとして提供できる手法であることを示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本結果より、傾くVR映像を視聴するだけで身体重心の動揺を発生させることができ、視聴時の重心動揺は若年者より高齢者で大きかった。これはVR映像の視聴が、高齢者の安全かつ効果的なバランストレーニングに応用できる可能性を示唆している。高齢者の転倒は寝たきり状態を誘発する重大な社会的問題であるが、既存の効果的なバランストレーニングは、高齢者ではトレーニング中の転倒リスクが高い。本結果をもとにVR映像を用いたバランストレーニングの安全性や効果を長期的介入によって検証することで、高齢者が安全かつ簡便にバランストレーニングを行えるようになり、転倒の発生予防を通してわが国の医療費削減につながると思われる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to clarify the effects of viewing tilting Virtual Reality (VR) images on body center of gravity in both younger and older adults and to apply this to the development of more effective balance training using VR images for older adults with lower risk of falling. In a study targeting healthy younger individuals, we confirmed whether tilting VR images induce body sway during quiet standing posture, and in a study targeting both healthy younger and older adults, we verified the effect of VR images on body sway in older adults. As a result, the changes in body center of gravity were greater in older adults compared to younger ones. This suggests that it can be a method to provide balance training for older adults that induces significant body sway without requiring physical movements.

研究分野：理学療法，リハビリテーション

キーワード：高齢者 転倒予防 バランストレーニング Virtual Reality

1. 研究開始当初の背景

Virtual reality (VR) は 360° の映像を見せ、視覚的に仮想空間に身を置く。対象は Head Mounted Display (HMD) を装着し、それによって仮想空間内で様々な体験が可能になる。VR はここ 15 年程度でアクションゲームに加え、産業や労働、さらには医療のシミュレーションの分野にも進出している。筆者らが専門としているスポーツリハビリテーション、健康増進、高齢者の介護予防の領域でも、少しずつ汎用できる製品が生まれつつある。本研究では、高齢者の転倒予防練習に VR を用いることの有効性を介入研究で明らかにしたうえで、製品化につなげることを試みた。

高齢者の転倒は「大腿骨近位部骨折」という大事故に直結し、手術とその後の理学療法（リハビリテーション）を行うが、入院期間を短縮し歩行再獲得などの治療成績を向上させることが重視されている。高齢者の転倒の理由は様々であるが、立位や歩行を遂行するには優れたバランス保持能力が必要で、加齢や疾患によりこの能力が低下する。転倒予防練習は立位や歩行で行われるため、エクササイズ中にも転倒事故が起こる可能性があるが、難易度の低いエクササイズは転倒リスクが少ない分、アウトカムも低くなる。筆者らは VR により「バランスが崩れた状態」「バランス保持のためにより多くの努力を必要とする状態」を仮想空間で体験することで、身体の姿勢制御反応が活性化されると期待するが、その真偽を確かめることが学問的な「問い」として現在まだ回答が得られていないところである。我われは予備的実験によって若年者に傾く VR 映像を視聴させることで重心動揺が生じることを発見した（図 1）。しかし、転倒予防に VR を盛り込んだ製品の開発は現在まだ少なく、研究を推進する意義は大きいと考え、本研究を開始した。



図 1. 本研究の目的

2. 研究の目的

本研究では、若年者と高齢者を対象に傾く VR 映像の視聴が身体重心に与える影響を明らかにし、高齢者に対する VR 映像を用いた難易度調整が可能で転倒リスクが低くより効果的なバランストレーニングの開発へ応用することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、研究①として「若年健常者を対象とした VR を用いたバランスエクササイズに向けた姿勢動揺の検証」を実施し、VR 映像を用いた際の姿勢動揺を若年健常者を対象に検証した。研究①の結果をもとに測定環境や設定の再検討を行った後、研究②として「VR を用いたバランスエクササイズに向けた姿勢動揺の検証：若年者と高齢者の比較」を実施し、実際に VR 映像を用いた際の姿勢動揺を若年健常者と健常高齢者で比較することで、VR 映像を用いたバランスエクササイズの開発に向けた検討を行った。

研究①:「若年健常者を対象とした VR を用いたバランスエクササイズに向けた姿勢動揺の検証」

1) 対象

対象は、健常な大学生 10 名（年齢：21.7±0.9 歳，身長 164.9±11.0 cm，58.1±10.2 kg，男性 5 名，女性 5 名）とした。対象の包含基準は、20 歳以上であり、VR を使用した経験がないこととした。除外基準は、下肢の整形外科疾患または VR を使用した後に VR 酔いを起こした場合とした。なお、本研究は広島大学病院疫学研究倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号 E-2299）。研究に先立ち、対象に十分な説明を行い書面にて同意を得た。

2) 研究のプロトコル

対象は、HMD を装着せずに目を開いたままでリラックスした立位姿勢を取る条件（コントロール条件）と、HMD を装着し傾く VR 映像を見ながらリラックスした立位姿勢を取る条件（VR 条件）を実施した（図 2）。VR 条件で用いた VR 映像の傾きについては、事前に 360 度カメラ（KeyMission360, Nikon）で撮影された実験室の風景の映像を使用した。VR 条件では、速度と傾きの違いを調査するために、1 秒に 1°で 10°傾斜する VR 映像（VR1）、1 秒に 1°で 20°傾斜する VR 映像（VR2）、1 秒に 10°で 10°傾斜する VR 映像（VR3）、そして 1 秒に 10°で 20°傾斜する VR 映像（VR4）を用意した（図 3）。また各条件の実施中に、床反力計を使用した姿勢動揺の測定を実施した。

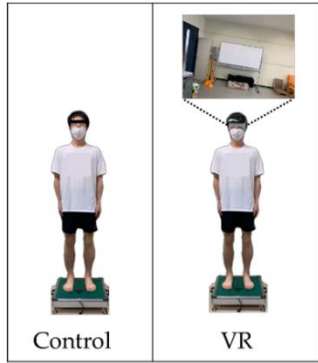


図 2. Control 条件と VR 条件

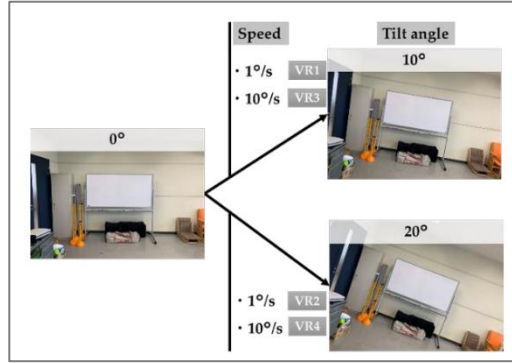


図 3. VR 条件の設定

3) 床反力計を用いた姿勢動揺の測定

対象は、両足を肩幅に広げ、両腕を体側に置き、重心動揺計（T.K.K. 5810、竹井計器）の上でこの姿勢を保持した。コントロール条件では、Center of Pressure (COP) の移動軌跡から 10 秒間の移動距離が計算された（図 4）。COP の移動距離は、VR 映像による傾斜の始点と終点での COP 座標間の直線距離と定義した。VR 映像の速度と傾斜角度の違いによる COP の移動量を調査するために、参加者は VR1 条件では 10 秒間、VR2 条件では 20 秒間、VR3 条件では 1 秒間、そして VR4 条件では 2 秒間、重心動揺計の上で立位姿勢を保持した。各対象に対して、VR 条件は、ランダムな順序で実施した。各条件について 3 回の試行が行われ、その平均値を代表値として採用した。

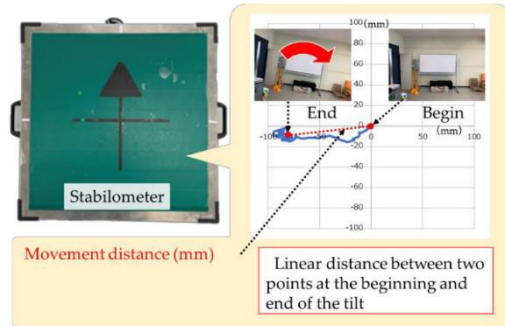


図 4. 重心動揺計の測定

4) 統計学的解析

コントロール条件と VR1 条件を比較するために対応のある t 検定を使用した。その後、VR1、VR2、VR3、および VR4 の 4 条件間で、VR 映像の傾斜速度と傾斜角度に基づく差を比較するために反復測定分散分析を実施した。事後検定として、ボンフェローニ法を使用した。有意水準は 5% とした。

研究②: 「VR を用いたバランスエクササイズに向けた姿勢動揺の検証: 若年者と高齢者の比較」

1) 対象

若年群は健康な大学生 20 名（年齢：23.2 ± 1.0 歳，身長 164.0 ± 6.9 cm，59.0 ± 8.5 kg，女性 10 名），高齢群は健康な 65 歳以上の男女 34 名（年齢：75.6 ± 5.3 歳，身長 157.1 ± 10.8 cm，54.8 ± 11.8 kg，女性 24 名）とした。対象の包含基準は、18~29 歳または 65 歳以上の HMD を使用した経験がない男女とした。若年者の除外基準は、1) 下肢の整形外科疾患を有する、2) 映像酔いを経験したことがある者とした。高齢者の除外基準は、1) 視覚障害（全盲および弱視）、2) 平衡機能に影響を及ぼす可能性のある疾患（パーキンソン病、めまい、メニエール病、三半規管・内耳機能障害）、3) 測定当日の体調不良や身体的苦痛により VR 映像の視聴が困難な者、4) 光刺激に対する過敏症、5) 映像酔いの経験のある者とした。なお、本研究は広島大学病院疫学研究倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号 E-2299）。研究に先立ち、対象に十分な説明を行い書面にて同意を得た。

2) 研究介入のプロトコル

実施条件は研究①と同様に、HMD を装着せずに目を開いたままでリラックスした立位姿勢を取る条件（コントロール条件）と、HMD を装着し傾く VR 映像を見ながらリラックスした立位姿勢を取る条件（VR 条件）の 2 条件を実施した。VR 条件で用いた VR 映像の傾きについては、事前に 360 度カメラ（KeyMission360, Nikon）で撮影した風景の画像を使用した。VR 条件では、1 秒に 3° で 30° 傾斜する VR 映像（VR30°）、1 秒に 6° で 60° 傾斜する VR 映像（VR60°）を用意した（図 5）。また各条件の実施中に、床反力計を使用した姿勢動揺の測定を実施した。

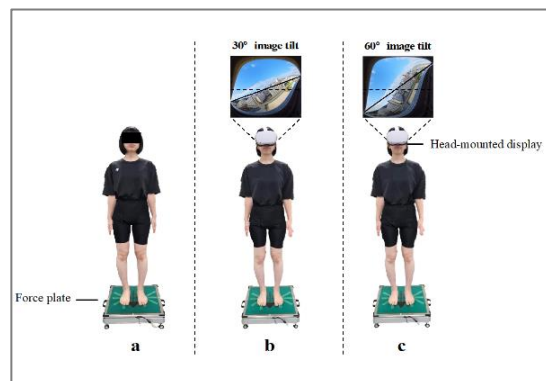


図 5. 研究②の条件と VR 映像設定

3) 床反力計を用いた姿勢動揺の測定

研究①と同様に、重心動揺計 (T.K.K. 5810, 竹井計器) の Center of Pressure (COP) の経時的変化を収集し、重心位置への影響の指標として COP 移動距離、重心動揺の大きさの指標として総軌跡長、外周面積、矩形面積を条件ごとに算出した。各対象に対して、VR 条件は、ランダムな順序で実施した。各条件について 3 回の試行が行われ、その平均値を代表値として採用した。

4) 統計学的解析

COP 移動の相互作用を調査するために、年齢 (若年者と高齢者) を被験者間要因、条件 (コントロール, VR30°, VR60°) を被験者内要因とする 2 要因の反復測定分散分析を実施した。相互作用が観察された場合、年代については対応のない t 検定、条件間についてはボンフェローニ法を用いて事後検定を実施した。各条件について、COP 移動の性差を比較するために、マン・ホイットニーの U 検定を行った。有意水準は 5% とした。

4. 研究成果

研究①: 「若年健常者を対象とした VR を用いたバランスエクササイズに向けた姿勢動揺の検証」
 平均 COP 移動距離は、コントロール条件では 2.2 ± 0.9 mm, VR1 条件では 9.3 ± 3.6 mm であり、VR1 条件の方が有意に高値であった ($p < 0.01$)。異なる VR 映像の平均 COP 移動距離を、表 1 に示す。複数の比較テストの結果、VR1 は VR2, VR3, および VR4 よりも有意に高いことが示された ($p < 0.01$)。

表 1. VR 映像条件ごとの COP 移動距離

Measurement	Condition				F Value	p-Value *
	VR1	VR2	VR3	VR4		
COP movement distance (mm)	9.2 ± 3.4 a,b,c	5.4 ± 2.1	3.4 ± 0.9	4.3 ± 2.3	10.3	<0.001

COP = center of pressure; values are presented as mean \pm standard deviation; * $p < 0.05$, considered significant difference (indicated with **bolded font**); ^a significant difference between the VR1 and VR2 ($p = 0.009$); ^b significant difference between the VR1 and VR3 ($p < 0.001$); ^c significant difference between the VR1 and VR4 ($p = 0.001$); VR2 and VR3, VR2 and VR4, and VR3 and VR4 are not significant difference.

研究②: 「VR を用いたバランスエクササイズに向けた姿勢動揺の検証: 若年者と高齢者の比較」

COP 総軌跡長に条件と年代の間に交互作用を認めた ($F = 7.878$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.132$)。被験者間要因について、すべての条件で高齢者は若年者より有意に高値を示した ($p < 0.001$)。被験者内要因について、高齢者のみ VR30°, VR60° がコントロール条件より有意に高値となった ($p < 0.001$)。

男女別の検討の結果を表 2 に示す。高齢者と若年者の各条件における COP 総軌跡長を性別ごとに比較したところ、男女ともにすべての条件で高齢者は若年者よりも有意に大きな重心動揺を示した ($p < 0.05$)。

表 2. 各条件における COP の男女別の比較

Variables	Condition	Young adults (n=20)				Older adults (n=34)				p-value			
		Men (n=10)		Women (n=10)		Men (n=10)		Women (n=24)		Men vs. Women		Young adults vs. Older adults	
		Men	Women	Men	Women	Men	Women	Men	Women	Young adults	Older adults	Men	Women
X-axis trajectory length (mm)	Control	-0.40 [-1.96 - 0.85]	-1.00 [-3.61 - 0.87]	-1.62 [-2.28 - 0.06]	-0.32 [-1.88 - 2.02]	0.684	0.223	0.436	0.401				
	VR 30°	0.35 [-0.67 - 4.68]	3.75 [1.98 - 7.05]	6.15 [0.51 - 10.68]	-1.40 [-2.94 - 3.56]	0.043	0.001	0.105	0.002				
	VR 60°	-0.15 [-2.11 - 2.45]	4.40 [1.90 - 6.51]	6.33 [1.05 - 8.91]	-1.60 [-3.68 - 1.92]	0.015	0.001	0.052	0.001				
Y-axis trajectory length (mm)	Control	2.45 [-4.53 - 8.92]	0.80 [-5.96 - 5.82]	0.12 [-4.37 - 4.13]	0.85 [-0.62 - 3.55]	0.739	0.539	0.631	0.564				
	VR 30°	-4.15 [-8.48 - -1.33]	-4.32 [-7.67 - 1.94]	-3.60 [-7.24 - 1.19]	0.20 [-4.22 - 3.37]	0.796	0.127	0.912	0.101				
	VR 60°	-6.05 [-8.30 - -1.30]	-4.15 [-6.37 - -0.22]	-4.62 [-10.13 - -1.01]	-0.25 [-3.16 - 7.53]	0.315	0.010	0.912	0.023				
Total trajectory length (mm)	Control	80.78 [68.02 - 102.94]	88.40 [81.85 - 92.41]	113.82 [91.68 - 146.91]	109.43 [90.18 - 142.03]	0.579	0.724	0.035	0.010				
	VR 30°	78.42 [67.18 - 92.94]	86.88 [76.58 - 106.32]	213.70 [127.26 - 257.52]	149.47 [115.21 - 231.66]	0.218	0.341	< 0.001	< 0.001				
	VR 60°	78.45 [61.80 - 116.46]	78.93 [67.17 - 105.98]	186.65 [135.10 - 305.17]	188.85 [110.42 - 270.24]	0.912	0.589	0.002	< 0.001				
Trajectory length per unit time (mm/sec)	Control	8.15 [6.87 - 10.39]	8.92 [8.27 - 9.34]	11.50 [9.27 - 14.83]	11.40 [9.44 - 14.51]	0.579	0.897	0.035	0.006				
	VR 30°	7.93 [6.79 - 9.37]	8.75 [7.76 - 12.21]	21.58 [12.86 - 26.02]	15.08 [11.62 - 23.39]	0.190	0.341	< 0.001	0.004				
	VR 60°	7.93 [6.23 - 11.75]	9.25 [6.99 - 10.69]	18.85 [13.64 - 30.83]	19.08 [11.16 - 27.31]	0.739	0.589	0.002	< 0.001				
Outer peripheral area (mm ²)	Control	86.32 [54.64 - 151.33]	97.43 [74.33 - 111.21]	122.85 [78.07 - 165.11]	106.38 [73.80 - 142.38]	0.684	0.696	0.393	0.564				
	VR 30°	84.17 [44.59 - 120.88]	87.77 [69.32 - 107.84]	201.30 [84.18 - 338.66]	117.83 [90.45 - 157.96]	0.739	0.304	0.052	0.046				
	VR 60°	79.88 [49.79 - 126.79]	66.25 [54.43 - 119.81]	163.35 [108.34 - 380.23]	133.23 [69.94 - 295.14]	0.912	0.445	0.063	0.013				
Rectangular area (mm ²)	Control	139.63 [77.79 - 283.65]	159.65 [120.43 - 226.82]	199.15 [112.05 - 377.66]	161.03 [93.31 - 254.50]	0.684	0.467	0.393	0.838				
	VR 30°	131.70 [55.60 - 248.45]	137.88 [92.88 - 195.44]	325.05 [131.16 - 679.30]	179.70 [126.24 - 347.65]	1.000	0.270	0.075	0.183				
	VR 60°	122.32 [60.49 - 274.91]	95.35 [71.44 - 235.01]	256.40 [184.33 - 658.20]	214.18 [99.24 - 584.26]	1.000	0.515	0.105	0.055				

Medians [interquartile range], η^2 : Partial eta-squared, VR Virtual Reality

本研究結果より、視覚的なフィードバックのみで身体重心の動揺を発生させることができた。これは、より転倒リスクが低い環境下で、意図した方向に対して身体重心を動揺させることができた結果であり、安全性が高いバランストレーニングへとつながる可能性がある。また、VR 空間内で傾く映像を視聴した際の身体重心の変化の程度は、若年者と比較して高齢者で顕著であ

った。これは、HMDによる傾くVR映像の視聴は、高齢者でより大きな身体動揺を起こしつつも身体動作を伴わず、また場所や性別を問わず実施可能な方法であったといえる。高齢者に対して、バランストレーニングを提供する際に、考慮すべき点として転倒リスクの軽減がある。本研究で実施したVR映像を用いた手法は、高齢者に対するより転倒リスクが低く段階的な難易度調整も可能なバランストレーニングとして提供できる可能性を秘めており意義深いと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 原田景太、森川将徳、田城翼、有馬知志、前田慶明、小宮諒、浦辺幸夫	4. 巻 31
2. 論文標題 Virtual reality映像の傾斜と実際の床面の傾斜が安静立位時の足圧中心に与える影響影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 運動器リハビリテーション	6. 最初と最後の頁 49-54
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Urabe Yukio, Fukui Kazuki, Harada Keita, Tashiro Tsubasa, Komiya Makoto, Maeda Noriaki	4. 巻 10
2. 論文標題 The Application of Balance Exercise Using Virtual Reality for Rehabilitation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Healthcare	6. 最初と最後の頁 680 ~ 680
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/healthcare10040680	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tsubasa Tashiro, Noriaki Maeda, Takeru Abekura, Rami Mizuta, Yui Terao, Satoshi Arima, Satoshi Onoue, Yukio Urabe	4. 巻 24
2. 論文標題 Adaptation of postural sway in a standing position during tilted video viewing using virtual reality: A comparison between younger and older adults	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 2718
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s24092718	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡部智也, 土田晃貴, 寺田大輝, 福井一輝, 前田慶明, 小宮 諒, 浦辺幸夫
2. 発表標題 傾くVR映像の視聴により端座位姿勢の重心動揺は変化するか
3. 学会等名 第26回 広島県理学療法士学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Watanabe T, Maeda N, Komiya M, Tashiro T, Fukui K, Tsuchida K, Terada T, Urabe Y
2. 発表標題 Does viewing tilting virtual reality images change the center-of-gravity sway in the sitting position?
3. 学会等名 World Physiotherapy Congress 2023
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	前田 慶明 (Maeda Noriaki) (10536783)	広島大学・医系科学研究科(保)・准教授 (15401)	
研究分担者	栗田 雄一 (Kurita Yuichi) (80403591)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授 (15401)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	福井 一輝 (Fukui Kazuki)	日本パラバドミントン連盟	
研究協力者	渡部 智也 (Watanabe Tomoya)	ライブリッツ株式会社	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	鈴木 雄太 (Suzuki Yuta)	九州栄養福祉大学	
研究協力者	尾上 仁志 (Onoue Satoshi)	広島大学大学院医系科学研究科博士課程後期	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関