



異なる VR 体験が誘発する生理的反応の比較

Comparison of physiological responses elicited by different VR experiences

毛利空広¹⁾, 平手裕市¹⁾, 中井浩司¹⁾, 松井藤五郎¹⁾, 小嶋和恵¹⁾, 和田結佳¹⁾, 平野紗名¹⁾
Takahiro MORI, Yuichi HIRATE, Koji NAKAI, Tohgoroh MATSUI, Kazue KOJIMA,
Yuika WADA, and Sana HIRANO

1) 中部大学大学院 生命健康科学研究科 生命医科学専攻 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

概要: 森林浴とジェットコースター乗車中の 2 種類の VR 映像が生体に及ぼす影響の違いを、呼吸数、動脈血酸素飽和度、心拍数、血圧、脈動率、心係数、心拍変動の低周波・高周波領域/パワー値、LF/HF などを指標として呼吸循環動態および自律神経活動の変化から比較検討した。森林浴視聴では、心係数および血圧の低下、呼吸数の上昇が観察された。一方、ジェットコースター視聴では、心拍数、心係数、血圧の上昇および脈動率の低下、さらに交感神経活動の賦活化が見られ、性質の異なる生体反応を引き起こすことが観察された。

キーワード: Virtual Reality, 生理学的指標, 心拍変動周波数解析, ストレス

1. はじめに

VR(Virtual Reality) は、エンターテインメントや教育に多く採用され、リラクゼーションとマインドフルネスを促進する治療環境にユーザーを没入させるためのツールとしても機能する。VR を利用したストレス軽減システムの研究への関心は高く、その有効性とストレスレベルへの影響について、主観的および客観的な指標を用いて VR システムの評価を実施している[1]。また、ストレス負荷が高いと推定される VR 映像は、生理学的および心理的なストレス反応を誘発することから、精神疾患の治療や研究にも応用が期待されている[2]。

しかし、ストレスの定義、検出、評価が難しく、VR の生体への直接的影響を検出することは容易ではない。

2. 目的

本研究では、リラックス映像とストレス映像の 2 種類の VR 映像を用いて、視聴中の呼吸循環動態および自律神経活動の変化を比較・分析することにより、異なる VR コンテンツによる生体反応の違いを定量的に評価することを目的とする。

3. 実験方法

3.1 対象

中部大学に所属する健常男子学生 20 名、健常女子学生 14 名を対象とした。

本研究は中部大学倫理審査委員会での審査と承認を得て行った（承認番号: 20210006, 承認年月日: 2021 年 4 月 30 日, 承認期間: 2021 年 4 月 30 日-2024 年 3 月 31 日。承認番号: 20240007, 承認年月日: 2024 年 4 月 30 日, 承認期間: 2024 年 4 月 30 日-2028 年 3 月 31 日）。

3.2 使用機器

- ・HMD: Meta 「Meta Quest 2」
- ・ベッドサイドモニター: 日本光電工業株式会社「BSM6701」
- ・esCCO 専用プローブ:
日本光電工業株式会社「TL-281T-IB」
- ・心拍センサ: ユニオンツール株式会社「my Beat WHS-1」
- ・心拍センサ電極パッド: 株式会社メッツ「SP-00-S/50」

3.3 VR コンテンツ

リラックス VR 映像として、YouTube VR に公開されている「天生県立自然公園」の映像を使用した（図 1）。



図 1: リラックス VR 映像（天生県立自然公園）



図 2: ストレス VR 映像 (Epic Roller Coasters)

ストレス VR 映像として, Quest Store で提供されている「Epic Roller Coasters」(B4T GAMES 社製)を使用した(図 2)。

3.4 測定項目

3.4.1 呼吸循環動態の指標

医療用ベッドサイドモニタを用いて, 以下の指標を計測する。

- 呼吸数(Respiratory Rate: RR) [/min]
- 経皮的動脈酸素飽和度(Percutaneous Oxygen Saturation: SpO₂) [%]
- 心拍数(Heart Rate: HR) [/min]
- 非観血血圧(Non-Invasive Blood Pressure: NIBP) [mmHg]
- 脈動率(Pulse-amplitude Index: PI) [%]
- 非侵襲連続推定一回拍出量係数(estimated Stroke Volume Index : esSVI) [mL/m²]
- 非侵襲連続推定心係数(estimated Continuous Cardiac Index: esCCI) [L/min/m²]
- 体血管抵抗係数(Systemic Vascular Resistance Index: SVRI) [dyne*sec/cm⁵/m²]

3.4.2 自律神経活動の指標

RR 間隔の計測値による心拍変動(Heart Rate Variability: HRV)の周波数解析によって以下の指標を算出する。

- 低周波領域のパワー値(Low Frequency power: LF power) [msec²] : 自律神経活動全般の指標とした。
- 高周波領域のパワー値(High Frequency power: HF power) [msec²] : 副交感神経活動の指標とした。
- LF/HF(LF power/HF power) : 交感神経活動の指標とした。

3.5 実験手順

- ①測定機器を装着し, 記録を開始する。
- ②HMD を装着する。
- ③5 分間の安静座位。
- ④リラックス VR 映像を 5 分間視聴。
- ⑤5 分間の安静座位。
- ⑥ストレス VR 映像を 5 分間視聴。

3.6 統計解析

各測定値に対して Shapiro-Wilk の正規性検定を行い, 正規性を認める場合に対応のある t 検定を, 正規性を認めない場合には Wilcoxon の符号付き順位検定を用いた。いずれも $p < 0.05$ を統計学的有意差と判定する。

4. 結果

4.1 呼吸循環動態の指標

リラックス VR 映像視聴前後の SpO₂ [%], 収縮期血圧(BPs) [mmHg], 平均血圧(BPm) [mmHg], esSVI [mL/m²], SVRI [dyne*sec/cm⁵/m²]とストレス VR 映像視聴前後の呼吸数(RR) [/min], SpO₂ [%], 収縮期血圧(BPs) [mmHg], 平均血圧(BPm) [mmHg], 拡張期血圧(BPd) [mmHg], esSVI [mL/m²]は正規性を認め, 平均±標準偏差で表示し, 比較は対応のある t 検定を用いた。リラックス VR 映像視聴前後の呼吸数(RR) [/min], HR [/min], 拡張期血圧(BPd) [mmHg], 脈動率(PI) [%], esCCI [L/min/m²]とストレス VR 映像視聴前後の HR [/min], 脈動率(PI) [%], esCCI [L/min/m²], SVRI [dyne*sec/cm⁵/m²]は, 少なくとも一方で正規性を認めず, 中央値 [四分位範囲]で表示し, 比較は Wilcoxon の符号付き順位検定を用いた。

呼吸数(RR) [/min]は, リラックス VR 映像視聴前後の比較では, 16.5 [15.5-18.8] vs 17.3 [15.8-19.7] ($p = 0.012$)とリラックス VR 視聴で有意に上昇した。ストレス VR 映像視聴前後では, 17.5±2.5 vs 17.9±3.2 ($p = 0.153$)と有意な変化は認めなかった。

SpO₂ [%]は, リラックス VR 映像視聴前後の比較では, 98.3±1.0 vs 98.2±1.0 ($p = 0.509$)と有意な変化を認めなかった。ストレス VR 映像視聴前後では, 98.2±1.0 vs 98.7±0.8 ($p < 0.001$)とストレス VR 視聴で有意に上昇した。

HR [/min]は, リラックス VR 映像視聴前後の比較では, 73.0 [67.7-79.0] vs 71.9 [67.1-77.4] ($p = 0.412$)と有意な変化を認めなかった。ストレス VR 映像視聴前後では, 71.6 [67.4-77.3] vs 74.7 [70.3-82.1] ($p < 0.001$)とストレス VR 視聴で有意に上昇した。

収縮期血圧(BPs) [mmHg]は, リラックス VR 映像視聴前後の比較では 119.0±10.3 vs 117.1±9.2 ($p = 0.095$)と有意な変化を認めなかった。ストレス VR 映像視聴前後では, 117.3±8.8 vs 119.7±7.9 ($p = 0.027$)とストレス VR 視聴で有意に上昇した。

平均血圧(BPm) [mmHg]は, リラックス VR 映像視聴前後の比較では 90.2±8.2 vs 88.4±7.6 ($p = 0.042$)とリラックス VR 視聴で有意に低下した。ストレス VR 映像視聴前後では, 89.0±7.6 vs 91.2±6.8 ($p = 0.007$)とストレス VR 視聴で有意に上昇した。

拡張期血圧(BPd) [mmHg]は, リラックス VR 映像視聴前後の比較で 76.0 [71.0-80.0] vs 74.7 [70.0-79.0] ($p = 0.030$)とリラックス VR 視聴で有意に低下した。ストレス VR 映像視聴前後では, 75.3±7.8 vs 77.4±6.8 ($p = 0.016$)とストレス VR 視聴で有意に上昇した。

脈動率(PI) [%]は, リラックス VR 映像視聴前後の比較では, 3.05 [1.92-5.37] vs 3.29 [1.87-4.66] ($p = 0.263$)と有意な変化を認めなかった。ストレス VR 映像視聴前後では, 2.87 [1.49-3.94] vs 1.76 [1.10-2.27] ($p < 0.001$)とストレス VR 視聴で有意に低下した。

表 1. リラックス VR 視聴およびストレス VR 視聴での計測値の比較

	コントロール	リラックスVR視聴	p 値	コントロール	ストレスVR視聴	p 値
RR	16.5 [15.5 - 18.8]	17.3 [15.8 - 19.7]	0.012	17.5 ± 2.5	17.9 ± 3.2	0.153
SpO ₂	98.3 ± 1.0	98.2 ± 1.0	0.509	98.2 ± 1.0	98.7 ± 0.8	<0.001
HR	73.0 [67.7 - 79.0]	71.9 [67.1 - 77.4]	0.421	71.6 [67.4 - 77.3]	74.7 [70.3 - 82.1]	<0.001
BPs	119.0 ± 10.3	117.1 ± 9.2	0.095	117.3 ± 8.8	119.7 ± 7.9	0.027
BPm	90.2 ± 8.2	88.4 ± 7.6	0.042	89.0 ± 7.6	91.2 ± 6.8	0.007
BPd	76.0 [71.0 - 80.0]	74.7 [70.0 - 79.0]	0.030	75.3 ± 7.8	77.4 ± 6.8	0.016
PI	3.05 [1.92 - 5.37]	3.29 [1.87 - 4.66]	0.263	2.87 [1.49 - 3.94]	1.76 [1.10 - 2.27]	<0.001
esSVI	46.6 ± 5.1	46.2 ± 5.4	0.086	46.4 ± 5.2	47.2 ± 5.5	<0.001
esCCI	3.35 [3.07 - 3.72]	3.29 [3.06 - 3.61]	0.022	3.32 [3.08 - 3.61]	3.49 [3.23 - 3.78]	<0.001
SVRI	1945 ± 261	1926 ± 268	0.550	1929 [1745 - 2067]	1915 [1736 - 2054]	0.021
LF power	447 [260 - 645]	411 [262 - 705]	0.644	583 [328 - 961]	753 [387 - 1257]	0.011
HF power	428 [187 - 710]	369 [168 - 668]	0.165	390 [244 - 736]	450 [226 - 736]	0.926
LF/HF	1.25 [0.76 - 1.95]	1.31 [0.77 - 2.35]	0.202	1.62 [1.03 - 2.25]	2.15 [1.26 - 3.35]	0.001

esSVI [mL/m²]は、リラックス VR 映像視聴前後の比較では 46.6 ± 5.1 vs 46.2 ± 5.4 (p = 0.086)と有意な変化を認めなかった。ストレス VR 映像視聴前後では、46.4 ± 5.2 vs 47.2 ± 5.5 (p < 0.001)とストレス VR 視聴で有意に上昇した。

esCCI [L/min/m²]は、リラックス VR 映像視聴前後の比較では、3.35 [3.07-3.72] vs 3.29 [3.06-3.61] (p = 0.022)とリラックス VR 視聴で有意に低下した。ストレス VR 映像視聴前後では、3.32 [3.05-3.61] vs 3.49 [3.23-3.78] (p < 0.001)とストレス VR 視聴で有意に上昇した。

SVRI [dyne*sec/cm⁵/m²]は、リラックス VR 映像視聴前後の比較では 1945 ± 261 vs 1926 ± 268 (p = 0.550)と有意な変化を認めなかった。ストレス VR 映像視聴前後では、1929 [1745-2067] vs 1915 [1736-2054] (p = 0.021)とストレス VR 視聴で有意に低下した。

4.2 自律神経活動の指標

リラックス VR 映像視聴前後およびストレス VR 映像視聴前後のいずれにおいても LF power [msec²], HF power [msec²], LF/HF は正規性を認めず、中央値 [四分位範囲]で表示し、比較は Wilcoxon の符号付き順位検定を用いた。

LF power [msec²]は、リラックス VR 映像視聴前後の比較では、447 [260-645] vs 411 [262-705] (p = 0.644)と有意な変化を認めなかった。ストレス VR 映像視聴前後では、583 [328-961] vs 753 [387-1257] (p = 0.011)とストレス VR 視聴で有意に上昇した。

HF power [msec²]は、リラックス VR 映像視聴前後の比較では、428 [187-710] vs 369 [168-668] (p = 0.165)と有意な変化を認めなかった。ストレス VR 映像視聴前後では、390 [244-736] vs 450 [226-736] (p = 0.926)と有意な変化を認めなかった。

LF/HF は、リラックス VR 映像視聴前後の比較では、1.25 [0.76-1.95] vs 1.31 [0.77-2.35] (p = 0.202)と有意な変化を認めなかった。ストレス VR 映像視聴前後では、1.62 [1.03-2.25] vs 2.15 [1.26-3.35] (p = 0.001)とストレス VR 視聴で有意に上昇した。

5. 考察

リラックス VR 映像視聴で、BPm, BPd, esCCI の有意な低下が認められた。これらの変化は、森林浴の疑似体験が交感神経活動を抑制したことによる循環動態の変化であると考えられる。

ストレス VR 映像視聴で、SpO₂, HR, BPs, BPm, BPd, esSVI, esCCI, LF power, LF/HF の有意な上昇および PI と SVRI の有意な低下が認められた。これらの変化は、ジェットコースターの疑似体験が交感神経活動を賦活し、全身の酸素需要の増加に備えた反応である可能性が考えられる。

リラックス VR 映像視聴とストレス VR 映像視聴に対する生体の反応を比較すると、循環動態指標 (BPm, BPd, esCCI) において、方向性の異なる変化が示された。リラックス VR 視聴時では、森林浴の疑似体験により視聴覚を通じて安静感や快適感が喚起され、交感神経を抑制することで心拍出量が低下し、それに伴う血圧の低下が生じたと考えられる。一方、ストレス VR 視聴時では、ジェットコースターの疑似体験が視聴覚を通じて緊張感や恐怖感を強め、交感神経の活性化による心拍出量の増加、それに伴う血圧上昇といった自律神経活動の変化に基づく循環動態制御を反映したと考えられる。

自律神経活動指標に着目すると、ストレス VR 視聴時で、LF power および LF/HF が有意に上昇し、自律神経活動全般および交感神経活動の活性化が示された。LF/HF は交感神経活動を表し、今回のようなストレス刺激に対する交感神経優位の生理応答を反映していると考えられ、Marzena M らの報告と一致している[3]。一方、リラックス VR 視聴時で、交感神経活動が抑制され、副交感神経活動が活性化されるという報告もあるが[4]、本研究では、LF power, HF power, LF/HF いずれの指標にも有意な変化は見られなかった。これは、安静座位とリラックス VR 映像視聴の比較が、いずれも安静状態であったことと、リラックス VR の視聴時間が 5 分間と短く、その影響が少なく生理的な差異が小さかったため有意差を認めなかったと考える。

6. 結論

本研究では、呼吸循環動態および自律神経活動の生理学的指標を用いることで、VR映像の違いによる循環動態および自律神経活動への影響を定性的かつ定量的に評価できる可能性が示唆された。

参考文献

- [1] Ladakis L, Filos D, Chouvarda L : Virtual reality environments for stress reduction and management: a scoping review, *Virtual Reality*, 28(50): Article 50, 2024.
- [2] Martens MAG, Antley A, Freeman D, Slater M, Harrison PJ, Tunbridge EM : It feels real: physiological responses to a stressful virtual reality environment and its impact on working memory, *J Psychopharmacol*, 33(10): 1264-1273, 2019.
- [3] Mroz M, Zawadzka K, Biernacka J, Galecki A : Heart rate variability (HRV) during virtual reality immersion, *Int J Occup Saf Ergon*, 21(1): 47-54, 2015.
- [4] Egle M, Raginis V, Dambrauskiene E, Petraitis T, Savickaite J, Urbonas A, Cesnaitis G, Kaliniene D: Effects of Virtual Reality-Based Relaxation Techniques on Psychological, Physiological, and Biochemical Stress Indicators, *Healthcare*, 9(12) : 1729, 2021.