

前庭障害患者を対象に開発した遠隔モニタリング式 在宅眼球運動トレーニング・システムの効果についての検証

筑波大学附属病院リハビリテーション部
理学療法士 椿 拓海

(共同研究者)

筑波大学システム情報系	理学療法士 鈴木 康裕
筑波大学医学医療系 耳鼻咽喉科	医師 岡野 康仁
筑波大学医学医療系 耳鼻咽喉科	医師 渡部 将史
筑波大学医学医療系 耳鼻咽喉科	医師 田淵 経司
筑波大学医学医療系 リハビリテーション医学	医師 羽田 康司

はじめに

一側性前庭機能低下 (Unilateral peripheral vestibular hypofunction; UPVH) は、単一の末梢前庭感覚器官または前庭蝸牛神経の機能が完全あるいは部分的に失われることで生じる^(1, 2)。急性UPVHの原因としては前庭神経炎が最も多く、外傷やメニエール病、外科的手術なども挙げられる。急性期には眼振やめまい、吐き気などの症状を呈し、これらは日常生活を著しく制限し生活の質を低下させる^(3, 4)。さらに、これらの症状は急性期を過ぎても持続することがあり、慢性的な生活機能および生活の質の低下につながる可能性がある。そのため、UPVHに伴うめまい症状は慢性期においても解決すべき重要な課題である。

前庭リハビリテーション (vestibular rehabilitation for peripheral vestibular hypofunction; VR) は、中枢代償を促進することでUPVHの症状改善に有効とされており、姿勢安定性訓練やバランス訓練、慣れの運動を組み合わせた包括的介入が推奨されている⁽⁴⁾。しかし、効果的な運動の種類や頻度、強度に関する根拠は十分でなく、臨床での介入方法にはばらつきがみられる。そのため、最適な運動条件を明らかにすることは機能回復や症状軽減を図るうえで重要な課題である。

本研究では、慢性期UPVH患者に対する眼球トレーニング (Vestibular training; VT) に着目した。VTは前庭動眼反射の適応を促進し、めまい症状の軽減に有効とされており⁽⁵⁾、短時間で安全に実施できることから在宅での継続に適している。先行研究ではVT単独による症状改善が報告されているものの、介入頻度や実施量の最適条件は明らかでなく、実施状況の把握も自己記録に依存しているため客観性に課題が残されている⁽⁶⁾。近年はテクノロジーを用いた遠隔リハビリテーションが注目されており、我々は動画配信と再生時間の記録を可能としたSUKUBARA®を開発した。本システムでは、再生時間と身体指標との間に相関が示されており、運動実施状況を客観的にモニタリングできる可能性が示唆されている⁽⁷⁻⁹⁾。

本研究の目的は、SUKUBARA®を用いて慢性期UPVH患者の在宅VT実施状況を客観的に評価し、その実施頻度とめまい症状との関連を探索的に検討することである。主要評価をめまい症状 (Dizziness Handicap Inventory; DHI)、副次評価を平衡機能 (z-modified index of postural stability; zmIPS)、筋力 (立ち上がりテスト)、身体活動量 (国際標準化身体活動質問票; IPAQ)、認知機能 (Montreal Cognitive Assessment; MoCA) とし、慢性期UPVHに対するVTの効果を含括的に検討した。

結 果

本研究への応募者は20名であり、応募時点でめまい症状を有していなかった2名、スマートフォンを所持していなかった1名、中枢性めまいが疑われた2名を除外した15名を研究対象者とした。さらに、介入期間中に入院した1名、最終評価に参加しなかった1名、介入期間中における1週間あたりの動画再生回数が166回と極端に多く外れ値と判定された1名〔全対象者の中央値13.5回、四分位範囲6.6-18.1：外れ値の定義 ($Q3+1.5\times IQR$) を満たしたため除外〕を除外し、最終的に12名 (追跡率80%) を解析対象とした。

参加者は在宅にて12週間のVTを実施した。対象者の総動画再生時間は 12.5 ± 6.0 時間 (最大20.8時間、最小10.6時間) であり、1週間あたりの平均実施回数は 150.4 ± 71.5 回/週 (最大250回/週、最小37回/週) であった。期間中に自動アラートメールは合計3通発送され、本介入に起因する有害事象は報告されなかった。各評価項目は介入開始日および介入終了日から1週間以内に測定を行い、介入前後の変化を対応のある t 検定または Wilcoxon の符号順位検定を用いて解析した。その結果、DHIは介入前と比較し介入後で有意に改善した (baseline 24.8 ± 13.9 , post 14.0 ± 9.8 , $p=0.001$)。一方で、zmIPS (baseline -0.16 ± 0.76 , post -0.35 ± 0.84 , $p=0.466$)、立ち上がりテスト (baseline 3.5 ± 1.2 , post 3.5 ± 1.2 , $p=1.000$)、IPAQ総スコア (baseline 1863 [726, 4914], post 1248 [612, 2560], $p=0.071$)、MoCA (baseline 26.5, post 27.5, $p=0.058$) では有意な変化を示さなかった (図1)。

次に、介入前後で有意な変化が生じたDHIの変化量とVT実施頻度の関連性について検討するため、DHIの変化量を従属変数とし、1週間当たりの平均実施回数 (Mean number of section: NS) および調整因子 (年齢、性別、ベースライン値) を独立変数とした多変量線形回帰分析を用いた解析を行った。その際、独立変数の設定を段階的に行い、モデル1では NS・年齢・性別を投入し、モデル2ではモデル1にベースライン値をさらに加えた解析を行った。その結果、DHI変化量に影響を及ぼす独立因子として、モデル1では年齢 ($p<0.05$) および NS ($p<0.05$) が選ばれたが、モデル2では何も選ばれなかった (表1)。

図1 介入前後における各指標の変化

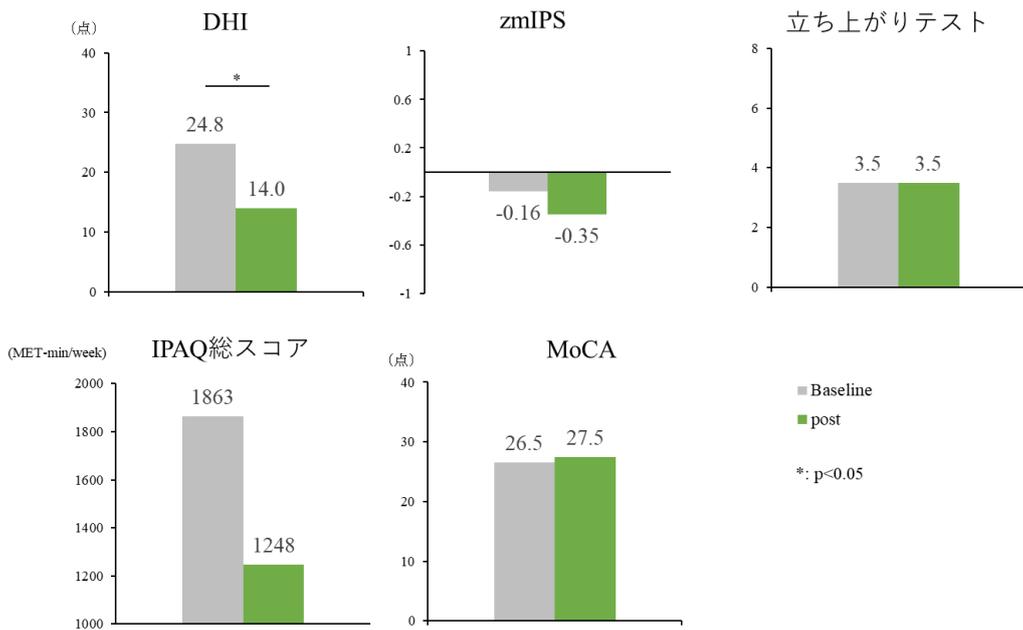


表1 DHIの介入前後変化における多変量線形回帰分析

	Model 1 R2=0.650	Model 2 R2=0.790
年齢	0.553 (0.091-1.015) *	0.393 (-0.037-0.823)
性別	10.109 (-0.386-20.604)	8.878 (-0.145-17.900)
1週間当たりの平均実施回数	-0.732 (-1.441-0.022) *	-0.365 (-1.090-0.361)
DHI Baseline値		-0.282 (-0.591-0.027)

標準化回帰係数 (95%信頼区間), *: p < 0.05.

考察

本研究では、地域在住の慢性UPVH患者を対象にSUKUBARA® (遠隔モニタリングホームトレーニングシステム) を用いた12週間のVTの実行可能性および臨床的指標との関連を探索的に検討した。その結果、介入前後でめまい症状を示すDHIのみ有意な改善が認められ、年齢およびNSが関連因子として示された。

本研究では、VTによる介入によりDHIがベースラインから56%改善した。従来、VRは複数の運動を組み合わせた包括的介入が効果的とされているが⁽⁴⁾、本研究結果からはVT単独でもDHI改善に寄与する可能性が示された。また、DHIの改善には若年であることおよび高頻度のトレーニング実施が関与していた。既報では、VRによるDHIの改善に年齢の影

響は認められないとされているが^(10, 11)、対象の約40%がUPVHであった点で本研究とは構成が異なる。本研究対象は全例UPVH患者であり中枢代償に依存する病態であることから、神経可塑性の高い若年者では代償が効率的に進行しやすい一方で、高齢者では改善が制限された可能性が考えられる。また、NSの関連については介入頻度がDHIの改善に寄与し得ることが既報により示唆されており^(12, 13)、本研究結果もこれらと一致していた。これらの結果は、トレーニング頻度の確保が症状改善に重要であり、継続的な実施によって神経可塑性が促進され、前庭代償がより効果的に進む可能性を示唆する。一方、ベースラインDHI値で補正した解析では、年齢およびNSの影響は統計学的に有意ではなくなった。したがって、介入前の症状重症度がDHI変化量に強く影響していた可能性が示唆されるが、補正前の解析結果からは年齢およびNSが関連因子として抽出されていたことから、両者がDHI改善に一定の寄与を持つ可能性も依然として否定できないと考えられる。

次に、認知機能や平衡機能については有意な変化は認めなかった。既報ではVRによる認知機能改善が報告されているが⁽¹⁴⁾、本研究とは異なる結果であった。認知機能改善の機序として、前庭系と海馬を介した認知経路の直接的活性化、認知関連神経伝達物質の調節、BDNFレベルの増加による神経保護と可塑性促進が挙げられ⁽¹⁵⁾、メタアナリシスでは軽度認知障害や認知症高齢者は健常高齢者に比べて介入効果が得られやすいことが示されている⁽¹⁶⁾。本研究対象のMoCAベースライン値は26.5点であり、軽度認知障害のカットオフ値(25点)を上回っていたことから、認知機能が比較的保たれた対象では改善が限定的であった可能性がある。

さらに、既報ではVRによる平衡機能の改善が多数報告されており^(17, 18)、ガイドラインにおいても歩行安定性や歩行機能の向上は強く推奨されるアウトカムである⁽¹⁹⁾。五島らはVTによる平衡機能向上の機序として、左右前庭機能の不均衡が是正されることで日常生活において前庭動眼反射系を積極的に使用する動作が増加し、結果的に活動性が高まり前庭脊髄反射系を使用する動作が促されることで平衡機能の改善が得られると報告している⁽¹⁷⁾。本研究対象者はベースラインのDHIが比較的軽度であったため、症状の改善も限定的であり、結果的に身体活動量の向上には至らなかった可能性がある。また、本研究で使用したzmIPSは前庭迷路系の機能を反映する評価指標であり、改善が得られなかったことは前庭迷路系の器質的变化が生じていない可能性を示唆している。したがって、本研究におけるDHIの改善は慣れや心理的順応といった要因に起因している可能性も考えられる。

要 約

本研究では、慢性UPVHを対象に遠隔モニタリングを用いた12週間のVTを実施した。その結果、めまい症状の改善を認めた一方で、認知機能や平衡機能の改善効果は得られなかった。さらに、めまい症状の改善には年齢およびトレーニング頻度が関連している可能性が示唆された。今後は大規模無作為化試験によりVTの効果や至適介入条件について検討が必要である。

文 献

1. Grill E, et al: Prevalence, Determinants, and Consequences of Vestibular Hypofunction. Results From the KORA-FF4 Survey. *Front Neurol.* 9: 1076, 2018.
2. McDonnell MN, et al: Vestibular rehabilitation for unilateral peripheral vestibular dysfunction. *Cochrane Database Syst Rev.* 1: 2015.
3. Cohen HS, et al: Increased independence and decreased vertigo after vestibular rehabilitation. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 128: 60-70, 2003.
4. Giray M, et al: Short-term effects of vestibular rehabilitation in patients with chronic unilateral vestibular dysfunction: a randomized controlled study. *Arch Phys Med Rehabil.* 90: 1325-1331, 2009.
5. Gauthier GM, et al: Adaptation of the human vestibuloocular reflex to magnifying lenses. *Brain Res [Internet].* 92: 331-335, 1975.
6. Fumiuyuki Goto: Application of Vestibular Rehabilitation with an Introduction Session in Patients with Chronic Dizziness. *Nippon Jibiinkoka Gakkai Kaiho.* 116: 1016-1023, 2013.
7. Suzuki Y, et al: Verification of the Effects of a YouTube-Based Home-Based (Self-Managed Intervention) Training System Developed for Frailty Prevention: A Pilot Study. *J Allied Health.* 53: 51-57, 2024.
8. Suzuki Y, et al: Effectiveness of a Remote Monitoring-Based Home Training System for Preventing Frailty in Older Adults in Japan: A Preliminary Randomized Controlled Trial. *Geriatrics (Basel).* 9, 2024.
9. Suzuki Y, et al: Evaluation of the Effectiveness of Feedback in a Remote Monitoring Home-Based Training System for Workers: A Medium-Scale Randomized Parallel-Group Controlled Trial. *Healthcare [Internet].* 13: 2069, 2025.
10. Whitney SL, et al: The effect of age on vestibular rehabilitation outcomes. *Laryngoscope.* 112: 1785-1790, 2002.
11. Kim MK, et al: Efficacy of vestibular rehabilitation and its facilitating and hindering factors from real-world clinical data. *Front Neurol.* 15: 1329418, 2024.
12. Kuzu Ö, et al: Comparison of the effectiveness of vestibular rehabilitation on disability and balance in patients with chronic unilateral and bilateral vestibular hypofunction. *Gulhane Medical Journal.* 67: 28-32, 2025.
13. Kao CL, et al: Rehabilitation outcome in home-based versus supervised exercise programs for chronically dizzy patients. *Arch Gerontol Geriatr.* 51: 264-267, 2010.
14. Darwish MH, et al: Effect of vestibular training on cognitive functions in people with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *Mult Scler Relat Disord.* 93: 106239, 2025.
15. Guo J, et al: Vestibular dysfunction leads to cognitive impairments: State of knowledge in the field and clinical perspectives (Review). *Int J Mol Med.* 53: 36, 2024.
16. Reijnders J, et al: Cognitive interventions in healthy older adults and people with mild cognitive impairment: a systematic review. *Ageing Res Rev.* 12: 263-275, 2013.
17. Fumiuyuki Goto: Application of Vestibular Rehabilitation with an Introduction Session in Patients with

Chronic Dizziness. Nippon Jibiinkoka Gakkai Kaiho. 116: 1016-1023, 2013.

18. Wiszomirska I, et al: The impact of a vestibular-stimulating exercise regimen on postural stability in women over 60. J Exerc Sci Fit. 13: 72-78, 2015.
19. Hall CD, et al: Vestibular Rehabilitation for Peripheral Vestibular Hypofunction: An Evidence-Based Clinical Practice Guideline: FROM THE AMERICAN PHYSICAL THERAPY ASSOCIATION NEUROLOGY SECTION. J Neurol Phys Ther. 40: 124-155, 2016.