

シンポジウム2 「超高齢社会におけるめまい対策」

高齢者の末梢前庭障害への対応と難治例に対する
TPAD による感覚代行治療

佐藤 豪

Management of Peripheral Vestibular Dysfunction in Older Adults and
Sensory Substitution Therapy Using TPAD for Intractable Dizziness

Go Sato

*Department of Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery,
Tokushima University Graduate School of Biomedical Science*

Benign paroxysmal positional vertigo (BPPV) is the most commonly encountered peripheral vestibular disorder in clinical practice. The prevalence rate of BPPV has been reported to be higher in older adults than in younger individuals. Although there is evidence for the effectiveness of the canalith repositioning procedure (CRP) for posterior canal BPPV, the success rate of this procedure has been reported to be significantly lower in older patients as compared with younger patients. Since BPPV often improves spontaneously, it is not necessary to perform the CRP in older patients with cervical or lumbar disorders. BPPV should be differentiated from other diseases, including central positional vertigo and vertebrobasilar insufficiency associated with the complaint of [omit?] cervical vertigo.

Meniere's disease is more common in individuals aged 30-50 years and stress has been strongly suggested as being involved in its pathogenesis. The age of onset has been increasing gradually, with a trend towards increased incidence in older adults. Stressors and concerns unique to older adults, such as family caregiving for older adults, anxiety about health loss, and loneliness due to increases in sole-person households have been considered as possible causes. In 2020, the guideline for the treatment of Meniere's disease were revised to add positive pressure therapy for intractable Meniere's disease. Positive pressure therapy is non-invasive and easy to perform in older patients.

Recently, we have developed a wearable device, the Tilt Perception Adjustment Device (TPAD), that transmits vibratory input containing head-tilt information to the mandible to substitute for defective vestibular information in patients with unilateral and bilateral vestibulopathy. We assessed patients using the Dizziness Handicap Inventory (DHI) and performed gait analysis in older patients with unilateral and bilateral vestibulopathy. Three months after sensory substitution therapy using TPAD, the DHI and gait parameters in the patients with unilateral vestibulopathy improved on condition that the patients did even when the patients were not wearing the TPAD. In the patients with bilateral vestibulopathy, on the other hand, the gait parameters improved only on condition that, but only when they wore the TPAD. TPAD had potential applications as a wearable device, improving posture control in patients with unilateral and bilateral vestibulopathy.

Key words: elderly, BPPV, Meniere's disease, sensory substitution, tilt perception adjustment device

緒 言

本邦における65歳以上の総人口に占める割合は、2023年2月推計で29.1%と年々増加している¹⁾。高齢者は、めまいの有訴者率が高く、めまいにより日常生活における活動が制限されている。事実、めまいの専門機関である大学病院でのめまい患者に占める高齢者の割合が増加しており、社会全体の高齢化の影響が指摘されている²⁾。高齢者のめまいに対応する場合、末梢前庭系や中枢神経系の加齢変化のみならず、視力低下、体性感覚低下、筋力低下、フレイル、ポリファーマシー、併存症などさまざまな因子を考慮する必要がある。そのため、高齢者の末梢前庭障害は、非高齢者と比べて治療に難渋することが少なくない。

本稿では、代表的な末梢前庭障害である、良性発作性頭位めまい症 (benign paroxysmal positional vertigo : BPPV) とメニエール病について高齢者の特徴とその対応を紹介する。さらに、我々が行っている高齢の難治性末梢前庭障害に対する感覚代行装置を用いた前庭リハビリテーションについて紹介し、その効果について解説する。

高齢者の BPPV への対応

1. 高齢者の BPPV の疫学

BPPV の好発年齢は50~70歳代である。過去の報告では、18~39歳の若年者の BPPV 発症率が0.5%であるのに対し、60歳以上の高齢者は3.4%と約7倍高いとされ、80歳までに BPPV を経験する割合は約10%になると報告されている³⁾。我々の検討でも、大学病院および市中病院のいずれも70歳代をピークとして高齢者に多く発症していた (図1)²⁾。加齢以外の BPPV 発症のリスクファクターとしては、女性、血清ビタミンD値の低下、骨粗鬆症、片頭痛、頭部外傷、総コレステロール高値が推定されている。

長期の経過観察を行うと、BPPV の再発率は、1年以内は15~18%、3年間では30~50%である^{4,5)}。最近のシステマティックレビューとメタアナリシスによると、65歳以上の高齢者は65歳未満と比べて再発率が高いことが報告されている⁶⁾。高齢者が BPPV を発症しやすく再発もしやすい理由の1つとして、高齢者は若年者と比べて耳石器が障害されやすいことが考えられる。卵形囊の機能検査である oVEMP

を用いた検討では、高齢になるほど oVEMP 異常を示す割合が増加するとされる⁷⁾。その他の BPPV 再発のリスクファクターとして、女性、高血圧、糖尿病、高脂血症、骨粗鬆症、ビタミンD欠乏などが推定されている。

2. 高齢者の BPPV に対する耳石置換法

半規管結石による BPPV に対する治療として、半規管内に存在する半規管結石を卵形囊に戻す目的で耳石置換法が行われる。後半規管型 BPPV に対しては Epley 法、Semont 法、Ganz 法が、外側半規管型 BPPV に対しては Gufoni 法、barbecue rotation 法が広く用いられている。最もよく用いられているのは後半規管型 BPPV に対する Epley 法であり、システマティックレビューにより頭位めまいと頭位眼振の消失を促進するエビデンスがある⁸⁾。我々の過去のランダム化比較試験でも、Epley 法施行群の頭位めまいの残存率は、無治療群と比べて有意に早く低下することを報告している⁹⁾。一方、高齢者は若年者に比べ1回の耳石置換法の成功率が低く、また治癒までに必要な耳石置換法の回数も多いことが報告されている¹⁰⁾。BPPV 患者224名を対象とした過去の我々の検討でも、65歳以上の高齢者は65歳未満の非高齢者と比べて耳石置換法を行った後の頭位めまいの自覚症状の消失率が有意に低かった。高齢者の場合、頸部や腰部に問題があることが多く、スムーズな耳石置換法ができないことが一因である可能性がある。このような頸部や腰部に異常のある症例に対する非特異的な耳石置換法として寝返り運動療法 (rolling-over maneuver) の有用性が報告されている¹¹⁾。患者はベッド上に仰臥位となり、頸部または躯幹ごと右下頭位、左下頭位をとる。各頭位10秒以上保持し、1回につき10往復を1日2回行う。腰部が悪い症例は頭部のみ捻転し、頸部が悪い症例は躯幹ごと寝返りを行うとよい。

3. BPPV の自然経過

BPPV は自然治癒が期待できる疾患である。後半規管型 BPPV は、発症から頭位・頭位変換眼振および頭位めまいが消失するまでの期間は平均39日である¹²⁾。外側半規管型 BPPV (半規管結石症) は、発症から頭位眼振およびめまい症状が消失するまでの期間は平均13日である。外側半規管型 BPPV (クラブ結石症) 発症から頭位眼振および頭位めまいが

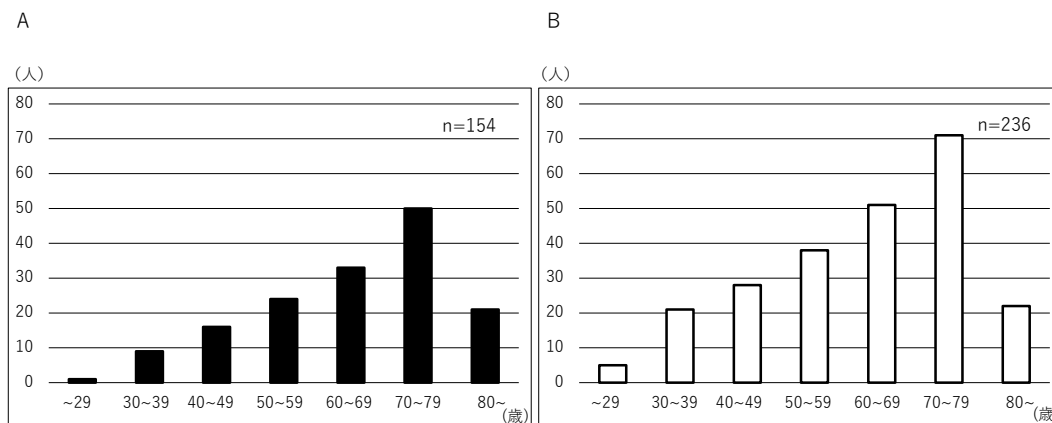


図1 良性発作性頭めまい症 (BPPV) の発症年齢分布
 A：大学病院における発症年齢， B：市中病院における発症年齢

消失するまでの期間は平均9日である¹³⁾。耳石置換法による重大な副作用は報告されていない。しかし、頸椎や腰椎に異常がある症例に対しては、耳石置換法により神経症状が悪化する可能性がある。このことから、頸椎疾患や腰椎疾患のある高齢のBPPV患者に耳石置換法を無理に行わなくてもよい。

4. BPPVと鑑別を要する注意すべき疾患

頭位により誘発されるめまいで注意が必要な疾患が中枢性頭めまい (central paroxysmal positional vertigo : CPPV) である¹⁴⁾。そのため、脳神経学的検査や小脳サイン、体幹失調を見逃さないように心がける。眼振検査では、Stenger法やDix-Hallpike法により下眼瞼向き眼振などの垂直性眼振を認めた場合は、CPPVを疑う¹⁵⁾。また、方向交代性背地性 (上向性) 眼振は、大部分が外側半規管型BPPV (クプラ結石症) で認められるが、まれに脳血管障害による小脳虫部の病変でも認められることがある。CPPVの方向交代性背地性眼振は、クプラ結石による方向交代性背地性眼振と異なり、眼振が不規則、減衰を認める、neutral positionが存在しないといった特徴があると報告されている¹⁶⁾。

頸性めまいは、頸部に原因があり、頸部の捻転または伸展によりめまいが生じる。発症メカニズムとして、椎骨動脈の圧迫、頸部交感神経叢の刺激、頸反射の異常の3つの機序が考えられている。その中でも頸部捻転により誘発される椎骨脳底動脈循環不全 (vertebrobasilar insufficiency : VBI) が重要であ

る。病態は、頭部を捻転させることにより椎骨動脈が頸椎レベルで圧迫されて血流障害を来し、VBIによりめまいが引き起こされる。診断にはMR angiographyや経頭蓋的ドプラー検査が有用であり、確定診断には椎骨動脈造影検査による頸部捻転時の椎骨動脈の圧迫の確認が必要である。頭位眼振検査では、頸性めまいでは仰臥位で頸部を捻転するとめまい、眼振が誘発されるが、頸を動かさないように頭部と躯幹を一緒にして側臥位になるとめまい、眼振が誘発されない¹⁷⁾。一方、BPPVは側臥位でも眼振が誘発され、頸性めまいと鑑別できる。

高齢者のメニエール病への対応

1. 高齢者のメニエール病の疫学

本邦のメニエール病に対する疫学調査は、1970年代に厚生省メニエール病調査研究班により開始され、現在も継続して行われている。近年、高齢で新規発症する患者が増加しており、全年代に対する60歳以上の占める割合は、1970年代が13.5%であるのに対して2000年代は31.1%に著明に増加している¹⁸⁾。めまいの専門機関である大学病院での最近の検討でも、65歳以上の占める割合は40.6%であった²⁾。我が国では人口高齢化のスピードが先進国の中で最も早く、今後、高齢メニエール病患者の増加が予想される。

2. 高齢者のメニエール病のめまいと難聴の予後

メニエール病はめまい疾患であるが、長期的に患者のQOLを障害するのは難聴である。メニエール病患者のめまいと難聴の長期予後に関する我々の検

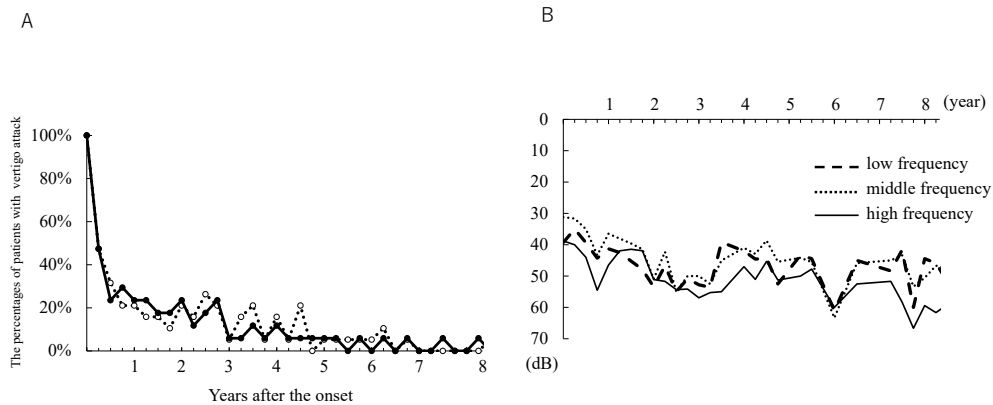


図2 メニエール病のめまいと難聴の長期予後（文献19）より引用

A：めまい発作回数／年の推移，B：コントロール不良のメニエール病患者の聴力推移

討では、めまい発作頻度は時間経過とともに減少していくが、難聴に関してはコントロール不良の場合、中音域から高音域の聴力が悪化することを報告している（図2）¹⁹⁾。罹病期間が長い高齢者のメニエール病では、患側耳の進行した難聴に加えて対側耳にも加齢による難聴を認め、両側耳の高度難聴になる可能性があり、聴覚管理が重要となる。

3. 高齢者のメニエール病の治療

メニエール病の治療の基本は、高齢者であっても生活指導と薬物療法による保存的治療である。メニエール病の発症には、ストレス、肉体的・精神的過労、睡眠不足が関与することが知られている²⁰⁾。また、行動特性としては自己抑制型が多いとされる。生活指導の基本は、ストレスをできるだけ回避し、生活習慣を改善することである。高齢者に対する生活指導を行う場合、特有のストレスを考慮する必要がある。高齢者特有の問題として、老老介護の高齢者が増加していること、健康の喪失に対する不安感が大きいこと、単身世帯の増加により孤独感を抱え込みやすいこと、ストレスの多い社会的責任の重い地位を持つ場合があること、などが挙げられる²¹⁾。いずれも担当医のみでは解決できる問題ではないかもしれないが、患者の悩みを傾聴し、共感し寄り添う姿勢を示すことが大切であると考えられる。

メニエール病の薬物療法の基本は内リンパ水腫の軽減を目的とした浸透圧利尿薬である²⁰⁾。ただし、高齢者の場合は夜間頻尿による睡眠障害に注意する

必要がある。ベタヒスチンはメニエール病を含むめまい疾患に広く用いられており、副作用も少なく高齢者にも使用しやすい。ジフェンヒドラミンおよびジフェニドールも頻用されるが、抗コリン作用を含むため、緑内障や前立腺肥大の既往に注意する必要がある。不安感が大きい高齢者に対しては抗不安薬を併用する必要があるが、せん妄や転倒に特に注意する必要がある。また、高齢者は多くの薬を内服している場合があるため、ポリファーマシーに注意する必要がある。

2020年にメニエール病・遅発性内リンパ水腫診療ガイドラインが改訂され、治療アルゴリズムに難治性メニエール病患者に対する中耳加圧治療が明記された。現在、中耳加圧治療は、中耳加圧装置適正指針に基づき保険診療として実施可能である。対象は、保存的治療に抵抗してめまい発作を繰り返す総合重症度 Stage 4 の症例で、方法は患側耳に1回3分間で1日2回、経鼓膜的に陰圧と陽圧を交互に加える。非侵襲性の治療であり、高齢者のメニエール病に対しても副作用はほとんどなく使用しやすい。

外科的治療には、内リンパ嚢開放術および選択的前庭神経破壊術がある。メニエール病に対する内リンパ嚢開放術の有効性は、術後12か月の短期成績において、めまい抑制、聴力温存に優れているが、長期成績には限界がある²⁰⁾。高齢者のメニエール病に対する内リンパ嚢開放術のまとまった報告はいまだなされていないが、機能温存を目的とした唯一の手

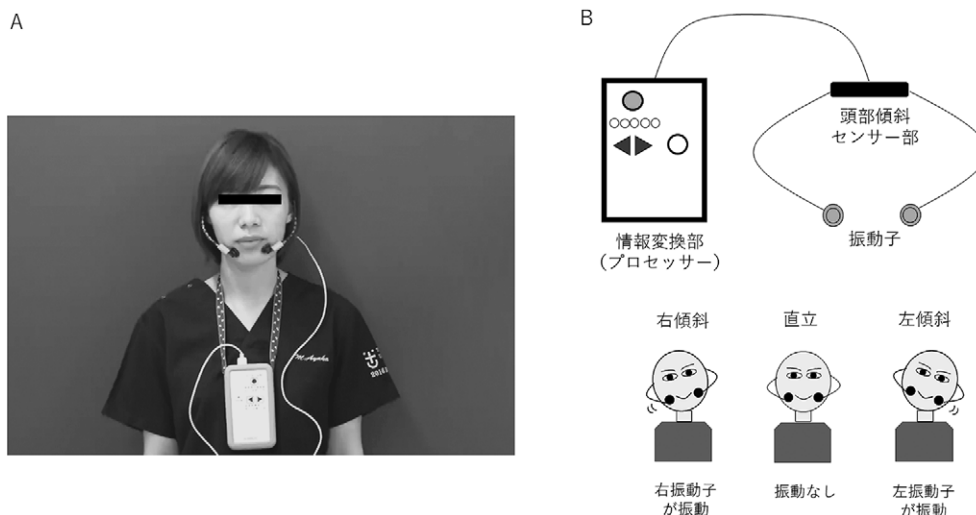


図3 Tilt Perception Adjustment Device (TPAD)

A：TPAD を装着した外観。頭部の傾斜情報を振動刺激として下顎に伝えて感覚代行を行うウェアラブルデバイス
 B：TPAD の構成。頭部傾斜センサー部，情報変換部（プロセッサ），振動子から構成されている。振動子は頭部の傾斜角度に応じて下顎に振動で頭部傾斜情報を伝える。

術治療であるため，難治例に対しては考慮してもよいと考えられる。一方，選択的前庭神経破壊術を行う場合，高齢者は前庭代償不全を来す可能性があるため，適応については慎重に判断する必要がある。

難治例に対する TPAD による感覚代行治療

1. 感覚代行デバイス

視覚情報，前庭情報，体性感覚情報の感覚情報が中枢神経系で統合され，姿勢を制御する。これらの感覚情報は，中枢神経系での感覚統合において均等ではなく，それぞれの感覚情報に対する重み付けが異なる。姿勢制御に関わる感覚情報の重み付けは，環境，身体活動，疾患などにより変化する。これを感覚再重み付けと呼ぶ。平衡訓練により中枢神経系における感覚再重み付けを誘導することができれば，姿勢制御が変化して姿勢や歩行を安定させることができると思われる。

近年，振動刺激，電気刺激，聴覚刺激など様々な方法で前庭情報を感覚代行するデバイスが報告されている^{22)~24)}。身体に装着した加速度計により身体の傾きを検出して腰部に振動刺激として伝えることで，前庭情報を振動刺激で感覚代行を行うデバイスが開発されている。この感覚代行デバイスを用いた

平衡訓練が，ランダム化比較試験により難治性一側性前庭障害患者に対して有効であることが報告されている²⁵⁾。

我々は，頭部の傾きの前庭情報を振動刺激として下顎に伝えて前庭情報を感覚代行するウェアラブル感覚代行デバイスである TPAD (Tilt Perception Adjustment Device) を開発した (図 3 A)²⁶⁾。TPAD は，頭部傾斜センサー部，情報変換部（プロセッサ），振動子から構成されている (図 3 B)。後頭部に設置された頭部傾斜センサー部には加速度計が搭載され，コントローラーの中にあるプロセッサと USB で連結されており，総重量は 205 g と非常に軽量である。頭部傾斜センサーで感知された重力加速度ベクトルから得られた頭部の傾き情報は，プロセッサへ送られ，同部位で記号・符号化されて，下顎とインターフェイスする左右の 2 個の振動子へ電気信号として送られるように設計されている。顔面の中では下顎が最も振動の感受性が高いことから，振動子は左右の下顎に当たるように装着する。振動子は頭部の傾斜角度に応じて下顎に振動で頭部傾斜情報を伝える。センサーで検出した頭部傾斜角度から近似式に基づいて刺激値で算出した振動刺激



図4 光学式三次元動作分析装置 VICON による歩行評価

光学式三次元動作分析装置により、歩行の三次元動作のパラメータである、歩行ピッチ、歩幅、歩行速度を評価した。被験者の全身に赤外線反射マーカを貼付し、force plate と呼ばれる圧センサーの上を3往復させる。歩行中の動作を8台の赤外線カメラで撮影し、動作分析を行う。

強度が負荷される。

2. 高齢の難治性一側性前庭障害に対する TPAD の効果

難治性一側性前庭障害患者では、前庭情報の低下を補うために姿勢制御が視覚依存性になっていることが多く、視覚誘発性めまいを訴えることが多い。姿勢制御の視覚依存性とめまいの自覚症状が関連していることが報告されている²⁷⁾。我々はこれまで、TPAD による感覚代行を用いた平衡訓練が難治性一側性前庭障害患者の姿勢制御における感覚再重み付けを誘導することを明らかとしてきた²⁶⁾。そこで、高齢者の難治性一側性前庭障害患者10名を対象に、TPAD を装用した平衡訓練を1日2回、1回20分以上、3か月間行わせた。その結果、TPAD を用いた平衡訓練後に、TPAD を装用しなくても Dizziness Handicap Inventory (DHI) で評価するめまいの自覚症状が有意に改善する訓練効果を認めた。さらに、ラバー負荷重心動揺検査では、姿勢制御の視覚依存性を示すラバーロンベルグ率が有意に低下したが、姿勢制御の体性感覚依存性を示す閉眼ラバー比は変化しなかった。TPAD の装用による副反応は認められなかった。以上の結果から、難治性一側性前庭障害患者が TPAD を用いた平衡訓練を行うと、前庭情報を含んだ振動刺激による感覚代行により中枢神経系で感覚再重み付けが誘導されて姿勢制御の視覚依存性が低下し、TPAD を装用しなくても姿勢が安定する訓練効果を認めた。

さらに TPAD による感覚代行を用いた平衡訓練が高齢の難治性一側性前庭障害患者の歩行に及ぼす効果についても検討を行った。三次元動作分析検査は、光学式三次元動作分析装置 (VICON 社製) により、歩行の三次元動作のパラメータである、歩行ピッチ、歩幅、歩行速度を評価した (図4)。高齢の難治性一側性前庭障害患者7名に TPAD による感覚代行を用いた平衡訓練を行うと、訓練後に TPAD を装用しなくても歩行パラメータが改善する傾向を認めた。この結果から、TPAD を用いた平衡訓練は、高齢の難治性一側性前庭障害患者の歩行障害も改善できると考えられた。

難治性一側性前庭障害患者に TPAD による感覚代行を用いた平衡訓練を行うと、TPAD を装用しなくても姿勢や歩行が安定する訓練効果を認めたことから、TPAD を用いた平衡訓練が難治性一側性前庭障害患者への新しい平衡訓練に臨床応用できる可能性がある。TPAD による下顎の振動刺激は、三叉神経を介して脳幹の三叉神経脊髄路核に伝わる。三叉神経脊髄路核と前庭神経核との間には相互に神経線維の連絡があることから²⁹⁾、TPAD による下顎の振動刺激は前庭神経核まで伝わりと考えられる。TPAD を用いた平衡訓練を行うと、前庭情報を含んだ振動刺激による感覚代行により中枢神経系で感覚再重み付けが誘導されて姿勢や歩行が安定したと考えられた。しかし、感覚再重み付けを誘導する感覚情報の統合が中枢神経系のどの

部位で行われているかについては、不明な点が多い。

3. 高齢の両側性前庭障害に対するTPADの効果

次に我々は、TPADによる感覚代行を用いた平衡訓練が高齢の両側性前庭障害患者のめまいの自覚症状や姿勢制御に及ぼす効果を検討した。両側性前庭障害患者を7名対象に、TPADを装用した平衡訓練を1日2回、1回20分以上、3か月間行わせた。その結果、DHIの合計スコアが有意に低下した。TPADを用いた平衡訓練は、両側性前庭障害患者に対しめまいの自覚症状を改善させる効果を持つと考えられた。

さらにTPADによる感覚代行を用いた平衡訓練が両側性前庭障害患者の歩行に及ぼす効果を三次元動作分析検査により検討した。両側性前庭障害患者5名は、TPADを装用することにより歩幅と歩行速度が有意に増加し、歩行に対する装用効果を認めた。しかし、TPADを装用した平衡訓練を両側性前庭障害患者に行わせても、訓練後にTPADを装用しない状態での歩行パラメータには変化がなく、歩行に対する訓練効果は認められなかった。

以上の結果から、TPADを常时装用することで、両側性前庭障害患者の平衡障害を改善でき、歩行時の転倒予防が期待できる。また、TPADによる感覚代行を用いた平衡訓練は、両側性前庭障害患者の姿勢を安定させる可能性がある。このことから、TPADによる感覚代行を用いた平衡訓練が両側性前庭障害患者に臨床応用できる可能性がある。

謝 辞

本稿の要旨は第81回日本めまい平衡医学会シンポジウム「超高齢社会におけるめまい対策」において発表した。本研究の一部はJSPS科研費19K09847の助成により行われた。

文 献

- 1) 令和元年国民生活基礎調査 有訴者の状況 第94表 総症状数—平均症状数, 年齢(5歳階級)・症状(複数回答)・性別. <https://www.e-stat.go.jp>
- 2) 松岡百百世, 矢野流美, 福田潤弥, 他: 当科のめまい外来の臨床統計. 耳鼻臨床補158, 180-

185, 2022

- 3) von Brevern M, Radtke A, Lezius F, et al.: Epidemiology of benign paroxysmal positional vertigo: a population based study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 78: 710-715, 2007
- 4) Nunez RA, Cass SP, Furman JM: Short-and long-term outcomes of canalith repositioning for benign paroxysmal positional vertigo. *Otolaryngol Head Neck Surg* 122: 647-652, 2000
- 5) Sakaida M, Takeuchi K, Ishinaga H, et al.: Long-term outcome of benign paroxysmal positional vertigo. *Neurology* 60: 1532-1534, 2003
- 6) Li S, Wang Z, Liu Y, et al.: Risk factors for the recurrence of benign paroxysmal positional vertigo: a systematic review and meta-analysis. *Ear Nose Throat J* 101: NP 112-134, 2022
- 7) Fujimoto C, Kawahara T, Kinoshita M, et al.: Aging is a risk factor for utricular dysfunction in idiopathic benign paroxysmal positional vertigo. *Front Neurol* 3: 1049, 2018
- 8) Hilton MP, Pinder DK: The Epley (canalith repositioning) manoeuvre for benign paroxysmal positional vertigo. *Cochrane Database Syst Rev* 12: CD 003162, 2014
- 9) Sekine K, Imai T, Sato G, et al.: Natural history of benign paroxysmal positional vertigo and efficacy of Epley and Lempert maneuvers. *Otolaryngol Head Neck Surg* 135: 529-533, 2006
- 10) Laurent G, Vereeck L, Verbeque E, et al.: Effect of age on treatment outcomes in benign paroxysmal positional vertigo: A systematic review. *J Am Geriatr Soc* 79: 281-293, 2022
- 11) Sugita-Kitajima A, Sato S, Mikami K, et al.: Does vertigo disappear only by rolling over? Rehabilitation for benign paroxysmal positional vertigo. *Acta Otolaryngol* 130: 84-88, 2010
- 12) Imai T, Ito M, Takeda N, et al.: Natural course of the remission of vertigo in patients with benign paroxysmal positional vertigo. *Neurology* 64: 920-921, 2005
- 13) Imai T, Takeda N, Ito M, et al.: Natural course of positional vertigo in patients with apogeot-

- ropic variant of horizontal canal benign paroxysmal positional vertigo. *Auris Nasus Larynx* 38: 2-5, 2011
- 14) 大森孝一, 武田憲昭: めまい診療ハンドブック—最新の検査・鑑別診断と治療. 28-33頁, 中山書店, 東京, 2022
 - 15) Newman-Toker DE, Eldow JA. TiTrATE: A novel approach to diagnosing acute dizziness and vertigo. *Neurol Clin* 33: 577-599, 2015
 - 16) 今井貴夫. 外側半規管型クプラ結石症と中枢性頭位めまい症との鑑別—外側半規管型クプラ結石症の頭位眼振—. *Equilibrium Res* 77: 592-597, 2018
 - 17) 佐藤 豪, 関根和教, 今井貴夫, 他: 頸性めまいを訴えた Bow hunter's stroke 例. *Equilibrium Res* 67: 301-306, 2008
 - 18) Shojaku H, Watanabe Y, Yagi Y, et al.: Changes in the characteristics of define Meniere's disease over time in Japan: A long-term survey by the Peripheral Vestibular Disorder Research Committee of Japan, formerly the Meniere's Disease Research Committee of Japan. *Acta Otolaryngol* 129: 155-160, 2009
 - 19) Sato G, Sekine K, Matsuda K, et al.: Long-term prognosis of hearing loss in patients with unilateral Meniere's disease. *Acta Otolaryngol* 134: 1005-1010, 2014
 - 20) 日本めまい平衡医学会: メニエール病・遅発性内リンパ水腫診療ガイドライン2020年版, 金原出版, 東京, 2020
 - 21) 武田憲昭: 高齢者のメニエール病. *MB ENT* 87: 63-66, 2008
 - 22) Hegeman J, Honegger F, Kupper M, et al.: The balance control of bilateral peripheral vestibular loss subjects and its improvement with auditory prosthetic feedback. *J Vestib Res* 15: 1-9, 2005
 - 23) Wall C 3rd, Kentala E: Control of sway using vibrotactile feedback of body tilt in patients with moderate and severe postural control deficits. *J Vestib Res* 15: 313-325, 2005
 - 24) Bach-y-Rita P, Kercel SW: Sensory substitution and the human-machine interface. *Trends Cog Sci* 7: 541-546, 2003
 - 25) Basta D, Rossi-Izquierdo M, Soto-Varela A, et al.: Efficacy of a vibrotactile neuro-feedback training in stance and gait conditions for the treatment of balance deficits: a double-blind, placebo-controlled multicenter study. *Otol Neurotol* 32: 1492-1499, 2011
 - 26) 佐藤 豪, 松田和徳, 福田潤弥, 他: 両側前庭障害に対するTPADによる感覚代行を用いた平衡訓練 *Equilibrium Res* 80: 210-215, 2021
 - 27) Cousins S, Cutfield NJ, Kaski D, et al.: Visual dependency and dizziness after vestibular neuritis. *PLoS One* 9: e 105426, 2014
 - 28) 佐藤 豪, 北原 糺: 前庭代償の神経機序と平衡リハビリテーション. *脳* 21 17: 325-329, 2014
 - 29) Buisseret-Delmas C, Compoin C, Delfini C, et al.: Organisation of reciprocal connections between trigeminal and vestibular nuclei in the rat. *J Comp Neurol* 409: 153-168, 1999

利益相反に該当する事項はない。