

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：24601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K11191

研究課題名（和文）重度平衡障害者に対する感覚代行リハビリテーションの持越し効果とその実用化

研究課題名（英文）Long-term effects of electrotactile sensory substitution therapy on intractable balance disorders

研究代表者

山中 敏彰 (Yamanaka, Toshiaki)

奈良県立医科大学・医学部・病院教授

研究者番号：90271204

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：平衡障害に対する前庭覚代行治療の長期効果について調査研究を行った。慢性化した一側前庭障害症例16例を対象に、頭位を感知する加速度計からの情報を舌表面で電気信号に変換して伝達するシステムを使用して、バランストレーニングを8週間行った。治療終了後2年間追跡し効果を判定した。VSDトレーニングにより重心動揺と歩行機能スコアは短期間で改善を示した。治療を終了した後にもこれらの改善は、6-12か月間変化せず12-24か月後に約20%悪化するも、効果は持ち越され維持された。VSDによる感覚代行治療は効果をcarry overさせる有用なリハビリテーションモダリティとして期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、VSDを用いる感覚代行リハビリテーションの至適なトレーニング期間と同治療による長期にわたるcarry-over効果が認められた。この結果より、VSDによる治療の有益性と実用性を示すことができた。この感覚代行治療が実用化できれば、患者の治療アドヒアランスを高めることができ、短い治療期間で平衡障害の改善を長期間キープすることができ、患者のQOLは著しく向上することになる。今後、身体障害者や高齢者に対してモ介助機器としての応用を試みると、医療や福祉分野へ多大に貢献できる可能性を有する。

研究成果の概要（英文）：This clinical research investigated whether a new type of rehabilitation therapy involving the use of a vestibular substitution device (VSD) is effective for severe balance disorders caused by unilateral vestibular loss. 16 subjects with postural imbalances underwent training with VSD. The device's electrode array was placed on the tongue, and subjects were trained to maintain a centered body position by ensuring the electrical signals in the center of their tongue. All subjects completed 10-min training sessions 3 times per day for 8 weeks. Functional gait assessments and the Dizziness Handicap Inventory improved after the 8-week training period. These changes were maintained for up to 2 years after the termination of the training program. Short-term training with VSTD had beneficial carry-over effects. VSTD training might be useful rehabilitation therapy in people with persistent balance disorders and might lead to long-term improvements.

研究分野：耳鼻咽喉科学 めまい平衡科学 リハビリテーション医学

キーワード：めまい 平衡障害 姿勢歩行障害 感覚代行 リハビリテーション 長期効果

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

前庭障害のなかには、中枢の代償回復機構が完全に機能停止し、重度の姿勢保持障害や歩行障害が残存し日常生活や社会生活に多大な支障を引き起こす症例がある。このように、平衡制御が完全に麻痺した“平衡不全”の病態では、現存する薬物、理学、手術療法などの治療選択ではもはや対応不能となる。このような最重度の平衡障害症例に対して、平衡覚とは別の感覚情報を入力する前述の感覚代行の概念を適用し、中枢前庭系の機能を再獲得することを試み、実際に VSD を最重度の平衡障害者に装着すると、姿勢が安定し歩行が可能となることを我々はすでに確かめている。しかし、患者が日常生活で VSD を舌に装着し続けることは、実質上困難である。VSD が高い実用性を得るには、デバイスを脱着した状態でも効果が継続することが求められる。そこで、今回、VSD トレーニングによって得られた改善が、同治療が終了してデバイスを取り外した状態でも、どれだけ維持されるのか、VSD の持ち越し (carry-over) 効果を解明すること目的に、トレーニング後の追跡調査による臨床研究を計画した。

## 2. 研究の目的

平衡感覚器の不可逆な障害後に中枢前庭系の回復 (代償) 機転が不具合を起こすと、めまい・平衡障害がいつまでも存続する。そのなかには、現存のいかなる治療にも抵抗を示し日常生活や社会生活に多大な支障をきたす症例がある。このような最重度の平衡障害者に対して、我々は今までの研究で、舌表面の触覚から平衡情報を脳へ伝える前述の VSD を用いることにより、平衡機能が飛躍的に向上することを明らかにした。しかし、実用化のためにはデバイスを取り外した状態でも効果が持ち越されることが重要な鍵となる。実際のところ、トレーニングが終了しデバイスを装着しない状態でも、その改善がどれだけ維持されるかは不明である。今回、重度平衡障害者に対する VSD トレーニングの持ち越し (carry-over) 効果を調べ、新規の平衡治療法としての感覚代行リハビリテーションの実用化をめざすことを目的にする。

## 3. 研究の方法

### (1) 感覚代行システム

平衡感覚を舌の触覚で代行する理論に基づいて設計されており、センサー部、情報変換部 (プロセッサ) およびインターフェイス部の 3 つの部位から構成されている。口腔内デバイスの先端に設置された、センサー部とインターフェイス部にはそれぞれ触覚ディスプレイと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連結されている。頭部偏位センサーで感知される重力加速度ベクトルから得られた体の偏倚・傾き情報は、プロセッサへ送られ、同部位で記号・符号化されて舌とインターフェイスする触覚ディスプレイへ電気パルス信号として送られるように設計されている。触覚ディスプレイは 100 個 (10×10) の微小電極からなる電極アレイで、電気信号を舌表面に呈示する。このような仕組みにより舌触覚から得られる電気信号情報でバランス方向が認識できるようになっている。

### (2) 本システムを用いたトレーニング方法

舌 2/3 前方の表面に電極アレイを置いて、舌表面で感知された電気信号が常にセンターリングされるようにして姿勢を保持するトレーニングを行う。常時、舌の触覚 (電気信号) に意識を集中させて体平衡を調節するように指導する。個々の平衡能力に応じて、開眼あるいは閉眼の閉脚 (Romberg) あるいは継ぎ足 (Mann) 直立姿勢のうちトレーニングに最も適した立位姿勢を選択して、適宜、習熟度に合わせて難易度の高いトレーニングプログラムへステップアップさせていく。5 - 20 分間のセッションを 1 日 2-3 回行い、合計 8 週間のプログラムでトレーニングを行

う。

### (3) 対象と方法

姿勢・歩行障害が慢性化した難治性の一側前庭障害症例 16 例を対象にした。対象症例の舌表面に電極アレイを置いて、舌の触覚で感知される信号がセンターリングされるように調節する訓練 (VSTD トレーニング) を 1 日 2-3 回 (1 回 10-20 分間) 施行した。日常のバランス支障度を表す Dizziness Handicap Inventory (DHI) と Activities-Specific Balance Confidence (ABC) Scale を自覚評価項目として、静的体平衡機能を調べる重心動揺検査と動的な歩行機能を調べる functional gait assessments (FGA) を他覚評価項目とし、8 週間の治療終了後 2 年間追跡して効果を判定した。

### 4 . 研究成果

VSTD トレーニングにより、DHI と ABC scale のスコアは、それぞれ治療前 65.2 と 43.3 から治療直後 (8 週間後) 39.1 と 69.5 に改善した。その効果は、治療終了後 2 年間持続し、患者の QOL は長期間維持された。

重心動揺検査では、16 例中 6 例は治療前にバランスを失認し、動揺速度を計測できなかったが、治療後には全例が転倒しないで測定可能となった。計測可能であった 10 例の重心動揺速度 (cm/30 s) は治療前 197.0 から治療直後 88.4 に低下した。この改善は、治療終了後の経過とともに徐々に低下したが、2 年間にわたって統計学的に有意な変化はなく保持された。FGA (ベストスコア 30 点) は、治療前 13.1 から治療直後には 23.2 に改善し、歩行機能は著しく改善した。このスコアは徐々に低下して 2 年後には治療前の 80% の値になったが、治療前と有意な差が示され、治療後の改善は 2 年間維持される結果となった。

重症化した難治性の平衡障害に対して、VSTD は短期間トレーニングで著明な改善をもたらし、治療を終了した後も効果を長期間維持させることのできる、有用なりハビリテーションモダリティとして期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yamamoto M, Ishikawa K, Aoki M, Mizuta K, Ito Y, Asai M, Shojaku H, Yamanaka T, Fujimoto C, Murofushi T, Yoshida T.	4. 巻 45
2. 論文標題 Japanese standard for clinical stabilometry assessment: Current status and future directions.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Auris Nasus Larynx	6. 最初と最後の頁 201-206
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 該当する
1. 著者名 山中 敏彰, 大山 寛毅	4. 巻 223
2. 論文標題 小児のめまいをどう診るか 各種検査と治療法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ENTONI	6. 最初と最後の頁 47-56
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 無
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 山中 敏彰, 北原 紘	4. 巻 111
2. 論文標題 鼓膜形成術におけるポリグリコール酸(PGA)シートの応用.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 耳鼻臨床	6. 最初と最後の頁 224-225
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 無
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 山中敏彰	4. 巻 76
2. 論文標題 Human - Machine Interfaceを用いる前庭感覚代行バイオフィードバック療法	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Equilibrium Res	6. 最初と最後の頁 180-189
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 無
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 山中敏彰	4. 巻 110
2. 論文標題 側頭骨・耳科手術におけるドリル選択と操作法	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 耳鼻臨床	6. 最初と最後の頁 492-493
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 無
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 山中敏彰	4. 巻 27
2. 論文標題 悩ましい外側 (水平) 半規管型BPPV (背地性眼振タイプ) .	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 総合診療	6. 最初と最後の頁 1323-1329
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 無
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 山中敏彰	4. 巻 32
2. 論文標題 感覚代行トレーニング . Brain-Machine Interfaceを用いる治療	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 JOHNS	6. 最初と最後の頁 97-102
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 無
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 山中敏彰	4. 巻 75
2. 論文標題 めまいリハビリテーションの段階的治療戦略 . 代償不全の前庭障害	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Equilibrium Res.	6. 最初と最後の頁 219-227
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 山中敏彰.	4. 巻 189
2. 論文標題 めまいふらつきの診かた・治しかた.ーめまいの経過観察 .	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 ENTONI	6. 最初と最後の頁 59-65
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 無
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 山中 敏彰	4. 巻 75
2. 論文標題 TIAの診断基準とVBI	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Equilibrium Res	6. 最初と最後の頁 27-29
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 無
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 Yamanaka T, Sawai Y, Murai T, Nishimura T, Kitahara T	4. 巻 27:
2. 論文標題 Long-term effects of electrotactile sensory substitution therapy on balance disorders.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Neuroreport	6. 最初と最後の頁 744-748
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 山中敏彰、北原紘	4. 巻 200
2. 論文標題 メニエール病 「めまいの頻用薬の選び方、上手な使い方」	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 ENTONI	6. 最初と最後の頁 15-21
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 無
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 Wada Y, Nishiike S, Kitahara T, Yamanaka T, Imai T, Ito T, Sato G, Matsuda K, Kitamura Y, Takeda N	4. 巻 136
2. 論文標題 Effects of repeated snowboard exercise in virtual reality with time lags of visual scene behind body rotation on head stability and subjective slalom run performance in healthy young subjects.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Acta Oto-laryngol	6. 最初と最後の頁 1121-1124
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 -

〔学会発表〕 計11件(うち招待講演 6件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Yamanaka T
2. 発表標題 : Graded treatment strategy of vestibular balance rehabilitation for patients with intractable dizziness caused by vestibular decompensation.
3. 学会等名 Korean balance society spring meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamanaka T
2. 発表標題 Electrotactile vestibular sensory substitution-based biofeedback therapy on balance disorders
3. 学会等名 . Korean balance society spring meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中敏彰
2. 発表標題 医療支援機器を用いためまいのリハビリ・手術治療
3. 学会等名 第77回日本めまい平衡医学会総会・学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中敏彰
2. 発表標題 鼓室空間における神経再生誘導チューブを用いた神経再建
3. 学会等名 日本マイクロサージェリー学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中敏彰, 村井孝行, 澤井八千代, 伊藤妙子, 大山寛毅, 清水直樹, 岡本英之, 藤田信哉, 北原紘
2. 発表標題 重症化した平衡障害に対する前庭代行トレーニングの短期および長期効果
3. 学会等名 第15回姿勢歩行研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中敏彰, 大山寛毅, 伊藤妙子, 松村八千代, 村井孝行, 和田佳郎, 北原紘
2. 発表標題 耳石器めまい疾患と骨粗鬆症の病態の関連性
3. 学会等名 第63回日本宇宙航空環境医学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中敏彰
2. 発表標題 Human-Machine Interfaceを用いる感覚代行めまいリハビリテーション
3. 学会等名 日本めまい平衡医学会夏季セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 山中敏彰
2. 発表標題 テーマセッション：めまい平衡リハビリテーションの選別トレーニングの有用性
3. 学会等名 第76回日本めまい平衡医学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中敏彰
2. 発表標題 ヒューマン・マシーンインターフェイスを用いる感覚代行バイオフィードバック療法：シンポジウム 「めまいリハビリテーションーバイオフィードバックの活用ー」
3. 学会等名 第75回日本めまい平衡医学会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山中敏彰 村井孝行 澤井八千代 伊藤妙子 和田佳郎、藤田信哉、北原紘
2. 発表標題 前庭平衡リハビリテーション治療
3. 学会等名 題16回姿勢歩行研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 ・山中敏彰、村井孝行、澤井八千代 清水直樹 伊藤妙子 岡本英之 和田佳郎、藤田信哉、北原紘：
2. 発表標題 アーチェリーパラリンピック選手の平衡障害と運動機能低下に対する感覚代行治療
3. 学会等名 第117回日本耳鼻咽喉科学会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山中敏彰	4. 発行年 2018年
2. 出版社 めまいと自律神経の検査	5. 総ページ数 2
3. 書名 イラストめまいの検査	

〔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	和田 佳郎  (Wada Yoshiro)  (80240810)	奈良県立医科大学・医学部・特任講師    (24601)	