

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年5月28日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K11184

研究課題名(和文) 姿勢制御に対する視覚依存から体性感覚依存へ重み付けを再調整する平衡訓練法の開発

研究課題名(英文) The development of a new vestibular rehabilitation using sensory re-weighting for posture control

研究代表者

佐藤 豪 (SATO, Go)

徳島大学・病院・講師

研究者番号：30464358

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)：本研究の目的は、振動覚を用いた感覚代行技術により、視覚依存性と体性感覚依存性の重み付けを変化させることにより、安定した姿勢制御を獲得できる新しい前庭リハビリテーションを開発することである。本研究により、頭部の傾斜情報を下顎の振動覚としてフィードバックできるウェアラブルデバイスを開発し、失われた前庭情報を振動覚として感覚代行することが可能となった。健康人に対しては、装用により視覚依存性と体性感覚依存性の低下し、一側前庭障害患者に対しては、視覚依存性と体性感覚依存性が変化することで歩行機能が改善し、めまいのQOLも改善した。両側前庭障害患者に対しては、歩行に対する装用効果を認めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトの姿勢制御に關与する感覚情報は、主に視覚情報、前庭情報、体系感覚情報の3つである。めまいの患者は視覚依存性が高いとされ視界の変化で転倒しやすい。我々は、頭部の傾斜情報(前庭情報)を下顎の振動としてフィードバックできる下顎振動刺激装置を開発し、この装置を装用すると、健康人の感覚依存性が変化することを明らかとした。さらに、めまい患者に下顎振動刺激装置を用いた平衡訓練を長期的に行うことで、めまいのQOLや歩行機能が向上することを明らかとした。下顎神経刺激装置を用いた平衡訓練は、姿勢制御の視覚依存性と体性感覚依存性の重み付けを変化させ、慢性めまい患者の姿勢制御を改善することができると考えられた。

研究成果の概要(英文)：In the present study, an attempt was made to develop a new vestibular rehabilitation for patients with vestibular diseases using a wearable device. For this purpose, we developed a tilt perception adjustment device (TPAD) which was able to feedback the vestibular information to the patient's mandibular using a vibration. Healthy subjects with TPAD showed the decline of Romberg ratio on form and form ratio (posturography with/without form) with eye closed in healthy subjects with TPAD. The new vestibular rehabilitation using TPAD induced the improvement of Dizziness Handicap Inventory and the walking index in patients with the unilateral vestibular loss. The walking index in patients with bilateral vestibular loss was improved by wearing TPAD.

研究分野：耳鼻咽喉科

キーワード：平衡訓練 姿勢制御 視覚依存 体性感覚依存 前庭障害 感覚代行

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

臥位や坐位、立位での頭部や身体の運動から歩行に至る多くの前庭脊髄反射を用いた平衡訓練が一側性末梢前庭機能障害患者の姿勢や歩行を安定させる目的で行われている。一側性末梢前庭機能障害患者に対する平衡訓練の治療効果に関する systematic review and meta-analysis によると、慢性期の一側性末梢前庭機能障害患者には平衡訓練が有効で、Dizziness Handicap Inventory (DHI) のスコアなどで評価する自覚的なめまい平衡障害を改善するとの evidence がある。しかし、重心動揺などの他覚所見の改善効果は十分ではない。

ヒトの姿勢制御に關与する感覚情報は、主に視覚情報、前庭情報、体系感覚情報の3つである。これらの感覚入力が中枢神経系で統合され、姿勢が制御される。これらの感覚情報は、中枢神経系での感覚統合において平等ではなく、それぞれの感覚情報に対する重みづけが存在する。姿勢制御に關わる感覚情報の重みづけは、個人差だけでなく、環境、身体活動、病気などにより変化する。これを sensory re-weighting theory (感覚情報再重みづけ説) と呼ぶ。

我々は、姿勢制御の視覚依存性を評価するシステムを開発した。予期しない突然の全周性の動的視覚外乱を与えると、被験者の身体が動揺する。しかし、弓道選手は、球技選手と比較して有意に身体の動揺の回復が早かった。このことは、弓道選手は球技選手と比較して姿勢制御の視覚依存性が低いと考えられる。弓道の訓練により、姿勢制御における sensory re-weighting 引き起こされ、姿勢制御が体性感覚依存に変化したものと考えられた[引用文献 1]。

一側性末梢前庭機能障害患者では、前庭情報の低下を補うため姿勢制御が視覚依存性になっているため、視覚誘発性めまいを訴える。姿勢制御の視覚依存性とめまいの自覚症状が相関していることが報告されている。このことから、一側性末梢前庭機能障害患者の姿勢制御の視覚依存性と体性感覚依存性を変化させることができれば、慢性期の誘発性めまいを改善することができると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、姿勢制御の視覚依存性と体性感覚依存性を変化させ、安定したバランスが獲得できる平衡訓練を開発することである。

本研究では、まず先行研究で開発した躯幹の傾斜情報を振動刺激としてフィードバックできる平衡訓練器を改良し、軽量でウェアラブルなデバイス(下顎振動刺激装置)の開発を行った。

次に、健常人に対して下顎振動刺激装置を用いた平衡訓練を短時間行うことで、静的姿勢制御の視覚依存性と体性感覚依存性が変化するかを検討し、安全性についても調べた。

さらに、慢性の一側前庭障害患者や平衡障害患者に対して下顎振動刺激装置を用いた平衡訓練を3ヶ月行い、患者のめまいのQOLに対する効果、静的姿勢制御における視覚依存性と体性感覚依存性の変化、歩行機能に対する効果を検討した。

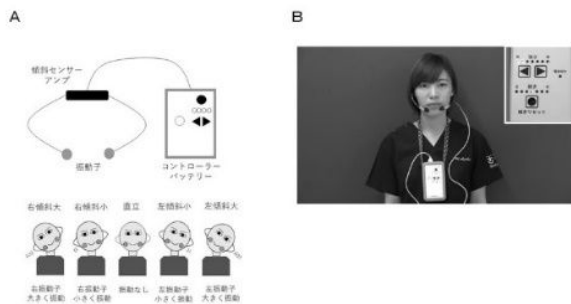
最後に、重症の平衡障害を認めた両側性前庭障害患者に対して下顎振動刺激装置を用いた平衡訓練を行い、歩行に対する装用効果を検討した。

3. 研究の方法

頭部の傾斜情報を下顎の振動刺激としてフィードバックする装置を開発した(図1)。本システムは、平衡感覚を口角部の振動覚で代行する理論に基づいて設計されている。頭部傾斜センサー部、情報変換部(プロセッサ)およびインターフェイス部から構成されている。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で連結されている。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、口角部と

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。我々の先行研究から、顔面の中では口角部が最も振動の感受性が高いことが明らかとなっている。そのため、振動子は被験者の歯肉部に振動が伝わるように左右の口角部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160Hzの振動を与え、正確な頭部傾斜情報を身体にフィードバックする。

図1 下顎振動刺激装置



30人の健常人の重心動揺に対する下顎振動刺激装置の装着効果を検討するために、被験者は下顎振動刺激装置を装着せずに重心動揺検査、ラバー負荷重心動揺検査を行った。下顎振動刺激装置を装着した状態で、20分間、開閉眼座位、立位、開閉眼の横揺れ、開閉眼足踏み、交差立ち、階段の運動を行い、振動覚による頭部傾斜感覚の代行入力を行った。その後、下顎振動刺激装置を装着した状態で重心動揺検査、ラバー負荷重心動揺検査を再度施行した。最後に被験者に副反応がないか調べた。

次に、難治性平衡障害に対する下顎振動刺激装置を用いた平衡訓練の効果を検討するために、6ヶ月以上平衡障害を訴えた一側性前庭障害症例4例と外傷性平衡障害1例を対象に検討した。患者には下顎振動刺激装置を装着した状態で1回20分、1日2回以上の日常動作(開閉眼座位、立位、開閉眼の横揺れ、開閉眼足踏み、交差立ち、階段の運動)を行ってもらった。訓練開始前に、めまいのQOLが評価できるDizziness Handicap Inventory(DHI)、静的姿勢制御における視覚依存性と体性感覚依存性が評価できるラバー負荷重心動揺検査、歩行の自立度を評価できるFunctional Balance Scale(FBS)、歩行機能が客観的に評価できる光学式3次元動作分析装置(VICON)を用いた歩行解析を行った(図2)。その後、1ヶ月毎に通院して有害事象の有無を確認した。平衡訓練3ヶ月目に再度、DHI、ラバー負荷重心動揺検査、FBS、歩行解析を調べた。

図2

光学式三次元動作分析装置 による歩行解析

VICON - MX system (VICON MOTION SYSTEMS LTD - UK)



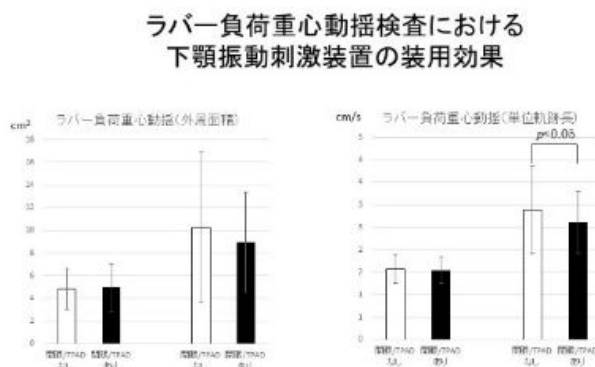
最後に、重度の平衡障害を訴えることが多い両側性前庭障害患者 1 例に対して、姿勢制御に対する下顎振動刺激装置の装用効果について、重心動揺検査および歩行機能を評価した。

本研究は徳島大学病院倫理審査委員会の承認を得た。

4. 研究成果

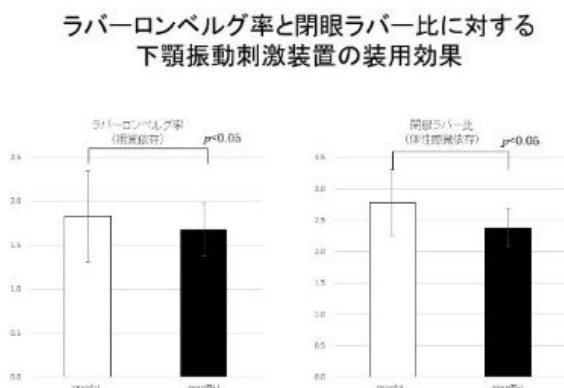
下顎振動刺激装置装用により、開眼および閉眼の単位軌跡長は変化しなかった。下顎振動刺激装置装用により、ラバー負荷開眼の単位軌跡長は変化しなかったが、ラバー負荷閉眼の単位軌跡長は有意に低下した(図3)。つまり、視覚と体性感覚の両者を遮断・低下させた前庭情報のみによる重心動揺が、下顎振動刺激装置を装用すると低下した。下顎振動刺激装置が前庭情報を賦活(sensory augmentation)して、前庭情報のみによる重心動揺が低下したと考えられた。

図 3



さらに下顎振動刺激装置装用により、ラバーロンベルグ率は有意に低下した(図4)。下顎振動刺激装置装用により、閉眼ラバー比も有意に低下した。ラバーロンベルグ率は視覚依存度を表し、閉眼ラバー比は体性感覚依存度を表す。このことから、下顎振動刺激装置装用により、姿勢制御の視覚依存性と体性感覚依存性がともに低下したと考えられた。下顎振動刺激装置装用が前庭情報を賦活(augmentation)すると、姿勢制御に対する感覚依存の再重み付け(sensory re-weighting)が変化することと考えられる。実際、スポーツのトレーニングで姿勢制御の sensory re-weighting が変化すると報告がある。一側前庭障害患者では姿勢制御が視覚依存性になり、姿勢が不安定になる。一側前庭障害患者において、下顎振動刺激装置を装用して平衡訓練を継続すると、姿勢制御の sensory re-weighting が変化し、平衡障害が改善する可能性が示唆された。

図 4

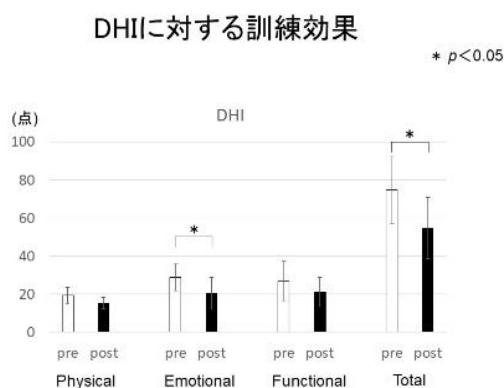


下顎振動刺激装置装用により、開眼および閉眼の単位軌跡長は変化しなかった。下顎振動刺激装置装用により、ラバー負荷開眼の単位軌跡長は変化しなかったが、ラバー負荷閉眼の単位軌跡長は有意に低下した。つまり、視覚と体性感覚の両者を遮断・低下させた前庭情報のみによる重心動揺が、下顎振動刺激装置を装用すると低下した。下顎振動刺激装置が前庭情報を賦活 (sensory augmentation) して、前庭情報のみによる重心動揺が低下したと考えられた。

下顎振動刺激装置装用により、ラバーロンベルグ率は有意に低下した。下顎振動刺激装置装用により、閉眼ラバー比も有意に低下した。ラバーロンベルグ率は視覚依存度を表し、閉眼ラバー比は体性感覚依存度を表す。このことから、下顎振動刺激装置装用により、姿勢制御の視覚依存性と体性感覚依存性がともに低下したと考えられた。下顎振動刺激装置装用が前庭情報を増加 (sensory augmentation) させると、姿勢制御に対する感覚依存の再重み付け (sensory re-weighting) が変化することと考えられる。実際、スポーツのトレーニングで姿勢制御の sensory re-weighting が変化するとの報告がある。一側前庭障害患者では姿勢制御が視覚依存性になり、姿勢が不安定になる。一側前庭障害患者において、下顎振動刺激装置を装用して平衡訓練を継続すると、姿勢制御の sensory re-weighting が変化し、平衡障害が改善する可能性が示唆された。

難治性一側性前庭障害患者 4 例と外傷性平衡障害患者 1 例に対して、下顎振動刺激装置を用いた平衡訓練を 3 ヶ月間行くと、DHI の合計スコアが平均 75 点から 55 点に有意に改善した (図 5)。さらに 5 人中 2 人は FBS が平衡訓練後に大幅に上昇した。この 2 名の歩行解析を行うと、平衡訓練後に歩幅や歩行速度が増加し、さらに質量中心点の左右への動揺が大きく軽減していた。このことから下顎振動刺激装置を用いた平衡訓練は、難治性平衡障害患者の歩行機能を改善することで、患者の QOL が改善すると考えられた。また、ラバー負荷重心動揺検査のラバーロンベルグ率と閉眼ラバー比はともに低下する傾向を認めた。このことから下顎振動刺激装置装用は、難治性平衡障害患者の姿勢制御に対する視覚依存性と体性感覚依存性を変化させる可能性が考えられた。これは、低下した前庭情報を下顎の振動として前庭情報が増加 (sensory augmentation) し、高次中枢において感覚依存の再重み付け (sensory re-weighting) が変化する可能性が考えられる。

図 5



両側前庭障害患者 1 名に対して、下顎振動刺激装置を用いた平衡訓練を行うと、下顎振動刺激装置の装用下の重心動揺検査の閉眼時の総軌跡長が低下し、歩行速度が増加した。下顎振動刺激装置の非装用下では、訓練前後で変化はなかった。両側前庭機能障害患者では、前庭機能が廃絶しているため、下顎振動刺激装置は失われた前庭情報を振動覚として感覚代行 (sensory substitution) して、下顎振動刺激装置の装用下での姿勢制御の改善をもたらしていると考えられる。一方、sensory re-weighting が誘導されにくいいため、下顎振動刺激装置の

非装用時は平衡訓練効果が乏しかったのではないかと考えた。

sensory re-weighting を誘導する感覚情報の統合が脳のどの部位で行われているかについては、不明な点が多いため、今後の解明が期待される。

引用文献

1. 和田佳郎、和田隆弘、塚本一義、武田憲昭：弓道選手における視覚外乱への適応過程．
Equilibrium Res 63:470, 2004.

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

(1) Wada Y, Nishiike S, Kitahara T, Yamanaka T, Imai T, Sato G, Matsuda K, Kitamura Y, Takeda N
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.

Acta Otolaryngol. 136: 1121-1124, 2016.

査読あり

Doi: 10.1080/00016489.2016.1193890

〔学会発表〕(計 3 件)

(1) 佐藤豪、松田和徳、福田潤弥、和田佳郎、山中敏彰、北原紘、武田憲昭
慢性平衡障害の歩行に対する傾斜感覚適正化装置を用いた感覚代行の平衡訓練効果

第 77 回日本めまい平衡医学会、ホテルニュータナカ（山口市）11 月 28~30 日、2018

(2) 佐藤豪、松田和徳、高岡奨、阿部晃治、和田佳郎、山中敏彰、北原紘、武田憲昭

両側前庭機能低下症例の姿勢制御に対する傾斜感覚適正化装置の効果

第 75 回日本めまい平衡医学会、大阪国際会議場（大阪市）10 月 26~28 日、2016

(3) 戸村美紀、松田和徳、佐藤豪、北村嘉章、阿部晃治、和田佳郎、山中敏彰、北原紘、武田憲昭

健康人の姿勢制御に対する傾斜感覚適正化装置の効果 - ラバー負荷重心動揺検査を用いた検討 -

第 75 回日本めまい平衡医学会、大阪国際会議場（大阪市）10 月 26~28 日、2016

〔その他〕

ホームページ等

徳島大学医学部耳鼻咽喉科ホームページ

<http://www.toku-oto.umin.jp>

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：武田 憲昭

ローマ字氏名：TAKEDA, Noriaki

所属研究機関名：徳島大学

部局名：大学院医歯薬学研究部医学域

職名：教授

研究者番号（8 桁）：30206982

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。