

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25462644

研究課題名(和文)バーチャルリアリティー(仮想現実)を用いた平衡訓練法の開発

研究課題名(英文)The development of a new vestibular rehabilitation using virtual reality

研究代表者

武田 憲昭(TAKEDA, Noriaki)

徳島大学・大学院医歯薬学研究部・教授

研究者番号：30206982

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、バーチャルリアリティー(仮想現実、VR)により被験者に視覚情報と前庭・体性感覚情報が不一致の3次元の仮想空間での作業を行わせ、姿勢制御の視覚依存性を低下させ、体性感覚依存性を高めることで安定したバランスが獲得できる平衡訓練の開発を行うことである。本研究の結果から、平衡障害患者に対するVRを用いた平衡訓練では、頭の動きだけではなく、実際に運動を行わせて視覚と前庭・体性感覚不一致を繰り返し刺激し、これに適応させると姿勢制御や運動パフォーマンスが向上すると考えられた。しかし、視覚と前庭・体性感覚不一致刺激中に姿勢が不安体になるため、転倒防止の工夫を行う必要があると考えられた。

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 virtual reality (VR) technology. For this purpose, we developed software to create the VR world with time lags between visual scene and head/body motion to induce visual-vestibulosomatosensory conflict. All findings in the present study suggest that vestibular rehabilitation to adapt repeated visual-vestibulosomatosensory conflict in the VR world decreases the contribution of visual inputs to posture control with reweighing somatosensory inputs to improve postural control and motor performance in patients with vestibular diseases. Therefore, VR can be used as a new vestibular rehabilitation tool for the treatment of dizzy patients. But, during the adaptation in the VR world, falling due to postural instability and motion sickness may be induced. Appropriate preventive measures are needed in the vestibular rehabilitation with VR.

研究分野：耳鼻咽喉科学

キーワード：バーチャルリアリティー 仮想現実 視覚と前庭・体性感覚不一致 姿勢制御 視覚依存性 運動パフォーマンス

1. 研究開始当初の背景

我々の以前の研究で、姿勢制御の動的視覚依存性の評価法を開発した。この方法を用いて評価すると、弓道選手は視覚の外乱によってもバランスを崩すことが少なく、弓道選手は姿勢制御が体性感覚（深部知覚）に依存していると考えられた[1]。一般に体操選手バランスが良いと信じられていて、めまい患者に対する平衡訓練には、体操選手が行うような運動が取り入れられている。しかし、体操選手の姿勢制御は視覚に依存しているため、視覚の外乱によってもバランスを崩しやすい。そこで、本研究では弓道選手のような体性感覚に依存した姿勢制御を獲得する平衡訓練法を開発する。

また我々の以前の研究で、HMD（ヘッドマウントディスプレイ）法によるバーチャルリアリティ（仮想現実）より、仮想空間内で視覚・前庭不一致刺激を負荷したタスクを健常人に行わせると、重心動揺の Romberg 率が低下し、姿勢制御の視覚依存性が低下した。しかし、動揺病は発症しなかった。すなわち、HMD のバーチャルリアリティにより姿勢制御の視覚依存性を低下させることを明らかにした[2]。しかし、CAVE（投影スクリーン）法によるバーチャルリアリティ（仮想現実）により、仮想空間内で視覚・前庭不一致刺激を負荷したタスクを健常人に行わせると、動揺病が発症した[3,4]。以上の結果から、仮想空間内で視覚・前庭不一致刺激に適応すると動揺病が発症せず姿勢制御の視覚依存性を低下するが、視覚・前庭不一致刺激に適応できないと動揺病が発症すると考えられた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、姿勢制御の視覚依存性を低下させ、体性感覚依存を高めることで弓道選手のような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 CAVE(投影スクリーン)

法によるバーチャルリアリティ（仮想現実）により視覚と前庭・体性感覚不一致（visual-vestibulosomatosensory conflict）刺激を健常人に負荷し、静的姿勢制御の視覚依存性を低下させることができるか検討した。

次にバーチャルリアリティ（仮想現実）により健常被験者にスノーボードで旗門を通過する運動を行わせることのできる3次元の仮想空間を作成し、視覚と前庭・体性感覚不一致を健常人に負荷し、頭部の安定や運度パフォーマンスに与える影響を検討した。最後に、HMD（ヘッドマウントディスプレイ）法によるバーチャルリアリティにより、仮想空間内で空間内に浮かぶボールを自分の手でつかみ、足元の箱に入れるタスクを行わせるソフトウェアを開発し、視覚と前庭・体性感覚不一致刺激を健常人に負荷し、刺激後の姿勢制御の静的視覚依存性、動的視覚依存性、体性感覚依存性を検討した。

3. 研究の方法

CAVE 法によるバーチャルリアリティ（産業総合研究所）によりコントロール刺激では、被験者が歩くとそれに一致した背景が移動するが、視覚と前庭・体性感覚不一致刺激では被験者は静止しているが背景が歩行時のように移動するソフトウェアを開発した。11人の健常人にコントロール刺激と視覚と前庭・体性感覚不一致刺激与え、動揺病は Graybiel score により、平衡障害は Hamilton score により評価し、直立姿勢における重心動揺の軌跡長のロンベルグ率により姿勢制御の視覚依存性を評価した。

次に、バーチャルリアリティ装置（VRスポーツ、高松）によりスノーボードで旗門を通過する運動を行わせることのできる3次元の仮想空間を作成した。視覚と前庭・体性感覚不一致を負荷する目的で、この仮想空間で行った運動に伴う仮想空間の視覚情報が0から0.6秒の範囲で遅延する条件を健常人42

人に負荷した。頭部の左右、前後、上下の直線化速度を頭部に取り付けた直線化速度メーター（Kistler Instrumente、スイス）出測定し、sampling rate が 1 kHz で PowerLab system (Castle Hill、オーストラリア)に取り込み、標準偏差を頭部の動揺の指標として解析した。また、スノーボード運動時の自覚的なパフォーマンス評価、すなわちどれくらいスムーズに旗門を通過できたかについて最悪のパフォーマンスを 0、最高のパフォーマンスを 100 として評価してもらった。

さらに、HMD（ヘッドマウントディスプレイ）法によるバーチャルリアリティー（バイオメディカ）により、仮想空間内で空間内に浮かぶボールを自分の手でつかみ、足元の箱に入れるタスクを行わせるソフトウェアを開発した。視覚と前庭・体性感覚不一致を負荷する目的で、健常者にこのタスクを行わせ、頭に動きに伴う仮想空間の視覚情報が 0 から 0.6 秒の範囲で遅延させ、視覚と前庭・体性感覚不一致を引き起こす条件を負荷した。刺激後の姿勢制御の静的視覚依存性は、直立姿勢における重心動揺の軌跡長のロンベルグ率で評価した。動的視覚依存性は我々が開発したランダムドットの箱を前後に揺らせて重心動揺を記録する方法で評価した。姿勢制御の体性感覚依存性を評価する方法を、高橋らが提案した重心動揺の圧中心軌跡の広がり指標として評価した。

4. 研究成果

CAVE 法によるバーチャルリアリティーで視覚と前庭・体性感覚不一致刺激を与えると、Graybiel score が有意に増加し、Hamilton score も有意に増加した（図 1）。このことから、動揺病が発症し、自覚的なめまいと平衡障害が生じたと考えられる。さらに視覚と前庭・体性感覚不一致刺激後に、直立姿勢における重心動揺の軌跡長のロンベルグ率が経度、低下した（図 2）。このことから、視覚と前庭・体性感覚不一致刺激に適応すると、

姿勢制御の視覚依存性が低下し、体性感覚に感覚再重み付け（sensory re-weighting）されたものと考えられた。

図 1

視覚と前庭・体性感覚不一致刺激が
健常人の Graybiel score と Hamilton score に与える影響

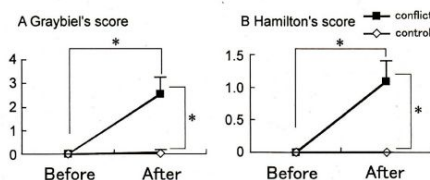
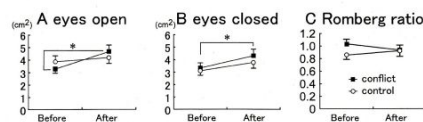


図 2

視覚と前庭・体性感覚不一致刺激が
健常人の姿勢制御に与える影響



バーチャルリアリティー装置によりスノーボードで旗門を通過する運動を行わせ、運動に伴う仮想空間の視覚情報が遅延する視覚と前庭・体性感覚不一致刺激を与えた。その結果、0 から 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 秒と遅延が増加すると、スノーボード運動時の頭部の左右の直線化速度の標準偏差が有意に増加し、頭部の安定性が低下した（図 3）。しかし、遅延負荷後にはスノーボード運動時の頭部の左右の直線化速度の標準偏差が有意に低下し、頭部の安定性が向上した。また、動揺病は発症しなかった。さらに、遅延負荷によりスノーボード運動時の自覚的なパフォーマンス評価、すなわちどれくらいスムーズに旗門を通過できたか、が有意に低下したが、遅延負荷後には負荷前と比較して運動パフォーマンスが向上した（図 4）。このことから、仮想空間内で視覚と前庭・体性感覚不一致刺激を伴う運動を行わせると、刺激後に頭部が安定し、運動パフォーマンスが向上することから、めまい患者の平衡訓練に用いることができると考えられた。しかし、視覚と前庭・体性感覚不一致刺激を伴う運動中は頭

部が不安体になって運動パフォーマンスが低下することから、平衡訓練に用いる場合には転倒防止を図る必要がある。

図3

視覚と前庭・体性感覚不一致刺激が運動中の健康人の頭部運動に与える影響

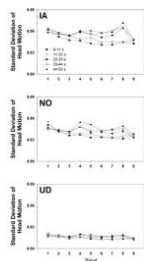
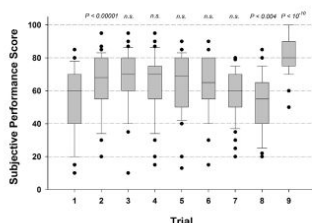


図4

視覚と前庭・体性感覚不一致刺激が健康人の運動パフォーマンスに与える影響



HMD 法によるバーチャルリアリティーにより、仮想空間内で空間内に浮かぶボールを自分の手でつかみ、足元の箱に入れるタスクを行わせ、頭に動きに伴う仮想空間の視覚情報が遅延する視覚と前庭・体性感覚不一致刺激を与えた。しかし、仮想空間の視覚情報が 0 から 0.6 秒の範囲で遅延させて繰り返し刺激を行っても、刺激後の姿勢制御の静的視覚依存性、動的視覚依存性、体性感覚依存性のいずれにも影響を与えなかった。また、動揺病は発症しなかった。

以上の結果から、平衡障害患者に対するバーチャルリアリティーを用いた平衡訓練では、頭の動きだけではなく、実際に運動を行わせて視覚と前庭・体性感覚不一致を繰り返し刺激し、これに適応させると姿勢制御や運動パフォーマンスが向上すると考えられた。しかし、視覚と前庭・体性感覚不一致刺激中に姿勢が不安体になるため、平衡障害患者に適応する場合には、転倒防止の工夫を行う必要があると考えられた。

最近、ゲーム機器用のコンピューター関連機器の開発が促進されて価格が低下した。その結果、以前と比較して低価格でバーチャルリアリティー機器を購入でき、ソフトウェアもパソコンで作成が可能となった。そのため、バーチャルリアリティーを用いた平衡訓練の開発が期待されているが、臨床応用には至っていない。本研究結果により、今まで明確でなかった平衡訓練の理論的根拠を明らかにすることができた。さらにバーチャルリアリティーを用いた平衡訓練は、前庭障害患者だけでなく、寝たきりになる主要な原因の 1 つである高齢者の転倒防止にも有効であると思われる。

引用文献

1. 和田佳郎, 和田隆広, 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.
2. H. Akizuki, A. Uno, K. Arai, S. Morioka, S. Ohyama, S. Nishiike, K. Tamura and N. Takeda: Effects of Immersion in virtual reality on posture control. *Neurosci. Lett.*, 379: 23-26, 2005.
3. H. Akizuki, S. Nishiike, H. Watanabe, K. Matsuoka, T. Kubo and N. Takeda: Visual-vestibular conflict induced by virtual reality in humans. *Neurosci. Lett.* 340: 197-200, 2003.
4. S. Ohyama, S. Nishiike, H. Watanabe, K. Matsuoka, T. Kubo, H. Akizuki and N. Takeda: Autonomic responses during motion sickness induced by virtual reality. *Auris Nasus Larynx* 34: 303-306, 2007.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

S. Okazaki, S. Nishiike, H. Watanabe, T.

Imai, A. Uno, T. Kitahara, A. Horii, T. Kamakura, Y. Takimoto, N. Takeda and H. Inohara H.

Effects of repeated optic flow stimulation on gait termination in humans.

Acta Otolaryngol. 133: 246-252, 2013.

査読あり

Doi: 10.3109/00016489.2012.740163. Epub 2012 Nov 26

S. Nishiike, S. Okazaki, H. Watanabe, H. Akizuki, T. Imai, A. Uno, T. Kitahara, A. Horii, N. Takeda and H. Inohara

The effect of visual-vestibulosomatosensory conflict induced by virtual reality on postural stability in humans

J. Med. Invest. 60: 236-239, 2013.

査読あり

Doi: 10.2152/jmi.60.236

〔学会発表〕(計 1 件)

S. Okazaki, S. Nishiike, H. Watanabe, T. Imai, A. Uno, T. Kitahara, A. Horii, N. Takeda and H. Inohara

The effect of age on the adaptaion process of gait termination under the repeated optic flow stimulation.

2nd Joint World Confress of ISPGR/Gait & Mental Finction, Akita View Hotel (Akita・Akita-shi), June 24-25, 2013.

〔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)研究代表者

武田 憲昭 (TAKEDA, Noriaki)

徳島大学・大学院医歯薬学研究部・教授

研究者番号 : 30206982

(2)研究分担者

北原 紘 (KITAHARA, Tadashi)

奈良県立医科大学・医学部・教授

研究者番号 : 30343255

阿部 晃治 (ABE, Koji)

徳島大学・大学院医歯薬学研究部・准教授

研究者番号 : 20346589