

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K10702

研究課題名（和文）聴覚バイオフィードバックを用いた姿勢バランスの運動学習に関する研究

研究課題名（英文）Learning effects of postural control by auditory biofeedback

研究代表者

浅賀 忠義（Asaka, Tadayoshi）

北海道大学・大学院保健科学研究院・名誉教授

研究者番号：60241387

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：目的：動的姿勢バランスにおいて断続的な視覚と聴覚のバイオフィードバック（BF）練習の学習効果について、随意的な姿勢運動課題を用いて実施し、聴覚FB群の方が視覚FB群と比べて学習効果が高いことが示された。目的：安静立位課題を用いて静的姿勢バランスにおいても断続的なBFの方が連続的なBFに比べて学習効果が高いことが示された。目的：パーキンソン病患者を対象に動的および静的姿勢バランスの練習効果における感度の高い4つの指標を抽出した。本研究の成果によって、姿勢バランスの練習において主流となっている視覚情報に頼らない学習効果に優れた新たな練習方法を提案することが期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リハビリテーション領域において、運動学習を目的に感覚フィードバックを用いた練習方法が一般的である。その中で、従来までは視覚に依存した練習が主流となっているが、姿勢バランスの学習効果において、視覚フィードバック練習の限界と聴覚フィードバック練習の有効性について初めて明らかにした。さらに刺激の提示方法において、連続的よりも断続的の方が動的および静的バランスの双方において有効であることが確認された。本研究成果は、今後高齢者およびバランス障害のある障害者を対象にした基礎的知見を蓄積することによって、視覚フィードバックに依存しない新たなバランス練習機器を開発するための根拠となる。

研究成果の概要（英文）：The first purpose of this study was to clarify the learning effects of dynamic postural balance by the discrete visual and auditory biofeedback (BF) training. The results indicated that the auditory BF training induced the more effective motor learning compared to the visual BF training by the voluntary body sway during standing. The second one was to confirm the learning effects of static postural balance by the discrete BF training. The results indicated that the discrete BF training induced the more effective motor learning compared to the continuous BF training by the static postural standing. The last one was to investigate the effects of discrete auditory BF training in older people and individuals with balance disability. The sensitive parameters of postural control were extracted in patients with Parkinson's disease in the first stage. The conclusion would propose a novel training, which is little dependent on visual BF, to increase learning effects for postural stability.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：姿勢制御 運動学習 姿勢バランス 感覚フィードバック 神経系リハビリテーション

## 1. 研究開始当初の背景

姿勢バランス能力の向上は、リハビリテーション分野における極めて重要な課題である。姿勢安定性向上のために感覚情報を用いたバイオフィードバック (biofeedback: BF) 練習が、広く用いられている。感覚 BF を用いた姿勢制御に関する既往研究の多くは、安静立位時においてリアルタイムの視覚刺激を用いた視覚 BF が用いられてきた。しかしながら、視覚 BF はパフォーマンスを向上させるが、視覚情報がない条件では学習効果が保続されないことが指摘されている (Robin et al., J Mot Behav, 2005; Ranganathan et al., J Mot Behav, 2009; Bonan et al., Arch Phys Med Rehabil, 2004)。一方、聴覚刺激を用いた聴覚 BF では、持続的な学習効果が報告されている (Mirelman et al., J Neuroeng Rehab, 2011; Chiari et al., IEEE Trans Biomed Eng, 2005)。

我々は、動的バランスの向上を目的として連続的な視覚 BF 練習と連続的な聴覚 BF 練習の学習効果の違いについて世界で初めて報告した (Hasegawa et al., Gait and Posture, 2017)。この研究の結果、聴覚 BF 練習によって聴覚情報がない条件における練習効果の保続が検証された。一方、視覚 BF 練習では学習効果が認められなかった。従って、視覚 BF 練習は視覚情報への依存度を助長し、そのために視覚情報がない条件における運動学習が妨げられるのではないかと考察される。

一方、Chiou らは (PLoS One, 2016) 両上肢による協調運動を課題として、連続的な視覚 BF 練習、断続的な視覚 BF 練習および断続的な聴覚 BF 練習の学習効果について比較検討した。その結果、感覚情報がない条件では連続的な視覚 BF 練習には効果が認められなかったが、断続的な視覚と聴覚の BF 練習には同程度の学習効果が認められた。しかしながら、視覚と聴覚の感覚量については考慮されていなかった。従って、姿勢バランス能力において断続的な視覚と聴覚の BF を用いた場合に、しかも感覚量を一致させた時に、どちらが学習効果に有効なのか？という学術的「問い」が導き出される。また、Ronsse らは (Cereb Cortex, 2011) 両手による協調運動を課題として、視覚 BF によって早期から適応効果がみられるが、一方、聴覚 BF による適応効果は保続されるものの顕在化するまでには時間を要することを示した。よって、練習早期には視覚 BF を用い、適応効果が認められてからは聴覚 BF を用いるという新たな練習方法のアイデアが生まれる。さらには、リハビリテーション分野において貢献するために、姿勢バランス能力の低下している高齢者および障害者に対する学習効果について明らかにすることが求められる。

## 2. 研究の目的

以上より、本研究の目的は次の3つであった。

- ① 動的姿勢バランス能力において、断続的な視覚と聴覚のBF練習による学習効果について比較検討する。
- ② 静的姿勢バランス能力において、前述したBF練習の学習効果について比較検討する。主に随意運動を要する動的姿勢バランスに対して、静的姿勢バランスはフィードバック制御とフィードフォワード制御双方による自動的な姿勢制御メカニズムを必要とする。よって、動的姿勢バランスと同様の学習効果が得られるか疑問であるため明らかにする。
- ③ 姿勢バランス能力の低下している高齢者および障害者を対象に、①②で得られた成果に基づいたBF練習の学習効果について検証する。

## 3. 研究の方法

目的①と②を達成するために、健常者を対象に実験を行う。床反力計およびデータ収集ソフト

(共に現有)を用いて動的および静的バランスの実験を順次進め、運動学習に効果的な感覚 BF 方法について分析する。動的バランスでは支持基底面内における前後および左右の周期運動に随意的に COP を一致させる (Body sway 課題)、静的バランスにおいては不安定版上における COP の動揺を一定の水平面内に収める課題とする (安静立位課題)。目的③を達成するために、協力の得られた保健および医療機関において高齢者・障害者を対象に実験を行う。対象疾患は、パーキンソン病および脊髄小脳変性症等を予定している。

#### 4. 研究成果

研究目的①：随意的な Body sway 課題を実施し、足圧中心位置とターゲットとのコヒーレンスの結果から、断続的な聴覚 FB 群の方が視覚 FB 群と比べて学習効果が高いことが示された (Hasegawa et al., PLOS ONE, 2020)。この結果は、前回我々が報告した連続的な視覚と聴覚の FB を用いた結果と同様であった (Hasegawa et al., Gait & Posture, 2017)。研究目的②：安静立位課題においても動的バランスと同様に断続的な BF の方が連続的な BF に比べて学習効果が高いことが示され、現在は論文作成中である。研究目的③：まず、パーキンソン病患者を対象に感覚 BF の練習効果の確認指標を決定することを目的に国際共同研究を行った。静的および動的バランスの課題を実施し、ランダムフォレストアルゴリズムを用いて 57 の指標の中から最も感度の高い 4 つの指標を抽出した (Hasegawa et al., Gait & Posture, 2021)。高齢者および障害者を対象にした実験はコロナ禍のために遅延していた。最近になってデータ収集可能となったが目的を達成するために要する期間が協力機関の状況を鑑みて見通しがつかなかったことから一旦終了とした。

本研究に付随した姿勢バランスに関する研究として、パーキンソン病患者を対象とした足底への体性感覚入力による静的姿勢バランスへの短期学習効果について明らかにした。その結果、つま先挙上の傾斜刺激後の平面立位時において、足圧中心位置と安定性限界の前方位置が有意に拡大することが示された (Hasegawa et al., Physiother Theory Pract, 2019)。また、動的バランスの中でも難易度の高いステップング反応の適応効果について検証し、予め外乱方向を知らせた安心できるステップング練習によっても予期できないスリップ時に対する姿勢安定性が期待できることが示された (Hasegawa et al., Front Hum Neurosci, 2021)。さらに、VR システムを用いて周辺視野、下部視野および視差が静的バランスへ与える影響についてそれぞれ明らかにした (Taneda et al., Gait & Posture, 2021; Mani et al., Gait & Posture, 2022; Ishikawa et al., Sensors, 2023)。

本研究の成果によって、姿勢バランスの練習において主流となっている視覚情報に依存しない学習効果に優れた新たな練習方法を提案することが期待できる。今後、高齢者およびバランス障害のある障害者を対象にした基礎的知見を蓄積することによって、新たなバランス練習機器を開発するための根拠となる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Hasegawa Naoya, Tanaka Shintaro, Mani Hiroki, Inoue Takahiro, Wang Yun, Watanabe Kazuhiko, Asaka Tadayoshi	4. 巻 15
2. 論文標題 Adaptation of the Compensatory Stepping Response Following Predictable and Unpredictable Perturbation Training	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 e674960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnhum.2021.674960	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Hasegawa Naoya, Maas Kas C., Shah Vrutangkumar V., Carlson-Kuhta Patricia, Nutt John G., Horak Fay B., Asaka Tadayoshi, Mancini Martina	4. 巻 87
2. 論文標題 Functional limits of stability and standing balance in people with Parkinson's disease with and without freezing of gait using wearable sensors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Gait & Posture	6. 最初と最後の頁 123 ~ 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gaitpost.2021.04.023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 横山 文音、萬井 太規、長谷川 直哉、唐 申雷、高松 奉行、浅賀 忠義	4. 巻 20
2. 論文標題 立位時の浮き趾が前方への安定性限界に及ぼす影響について	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本健康行動科学会学術雑誌	6. 最初と最後の頁 13 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32269/hbs.20.1_13	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Hasegawa N, Asaka T	4. 巻 8
2. 論文標題 Rethinking physical therapy for motor disorders	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 55-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21820/23987073.2021.8.55	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Taneda Kenji, Mani Hiroki, Kato Norio, Komizunai Shunsuke, Ishikawa Keita, Maruya Takashi, Hasegawa Naoya, Takamatsu Yasuyuki, Asaka Tadayoshi	4. 巻 86
2. 論文標題 Effects of simulated peripheral visual field loss on the static postural control in young healthy adults	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Gait & Posture	6. 最初と最後の頁 233 ~ 239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gaitpost.2021.03.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hasegawa Naoya, Takeda Kenta, Mancini Martina, King Laurie A., Horak Fay B., Asaka Tadayoshi	4. 巻 15
2. 論文標題 Differential effects of visual versus auditory biofeedback training for voluntary postural sway	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0244583
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0244583	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhao Zhuoyue, Watanabe Kazuhiko, Asaka Tadayoshi, Wang Yun	4. 巻 28
2. 論文標題 Postural control in preparation to a step during support surface perturbation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Research in Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 588 ~ 593
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15438627.2020.1745802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Yun, Watanabe Kazuhiko, Asaka Tadayoshi	4. 巻 19
2. 論文標題 Effect of dance on multi-muscle synergies in older adults: a cross-sectional study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BMC Geriatrics	6. 最初と最後の頁 e340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12877-019-1365-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hasegawa Naoya, Ishikawa Keita, Sato Yuki, Nakayama Yasuhide, Asaka Tadayoshi	4. 巻 37
2. 論文標題 Short-term effects of postural control by standing on a tilting board in patients with Parkinson's disease	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physiotherapy Theory and Practice	6. 最初と最後の頁 1306 ~ 1312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09593985.2019.1695302	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 Ishikawa Keita, Hasegawa Naoya, Yokoyama Ayane, Sakaki Yusuke, Akagi Hiromasa, Kawata Ami, Mani Hiroki, Asaka Tadayoshi	4. 巻 23
2. 論文標題 Effects of the Loss of Binocular and Motion Parallax on Static Postural Stability	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 e4139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s23084139	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mani Hiroki, Kato Norio, Hasegawa Naoya, Urano Yuto, Aiko Takumi, Kurogi Takaki, Asaka Tadayoshi	4. 巻 97
2. 論文標題 Visual feedback in the lower visual field affects postural control during static standing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Gait & Posture	6. 最初と最後の頁 1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gaitpost.2022.07.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 萬井太規, 愛甲拓海, 浦野雄飛, 黒木堯稀, 長谷川直哉, 浅賀忠義
2. 発表標題 段差高の変化に伴う昇段時の予測的姿勢調節の制御特性
3. 学会等名 第26回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷川直哉, Laurie A. King, Fay B. Horak, 浅賀忠義, Martina Mancini
2. 発表標題 在宅パーキンソン病患者に対する認知課題を伴うMultiple trainingが姿勢制御能力に与える効果
3. 学会等名 第18回日本神経理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tang S, Hasegawa N, Yokoyama A, Takamatsu Y, Asaka T
2. 発表標題 Diverse compensated postural control for visual deficits during quiet standing
3. 学会等名 The 25th conference of Japanese society of physical therapy fundamentals
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山 文音, 萬井 太規, 長谷川 直哉, 唐 申雷, 高松 泰行, 浅賀 忠義
2. 発表標題 足趾の浮き趾が前方への安定性限界に及ぼす影響について
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷川 直哉, 横山 文音, 唐 申雷, Horak Fay, 浅賀 忠義, Mancini Martina
2. 発表標題 在宅パーキンソン病患者の姿勢制御能力の評価に有効な指標の検討: 加速度計から得られた客観的な指標を用いて
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Hasegawa N, Mancini M, King LA, Horak FB, Asaka T
2 . 発表標題 Learning Effects of Visual and Auditory Feedback Training on Voluntarily Postural Control
3 . 学会等名 Neuroscience 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Taneda K, Mani H, Kato N, Komizunai S, Ishikawa K, Maruya T, Takamatsu Y, Asaka T
2 . 発表標題 Influence of peripheral visual field loss on sensory reweighting system during quiet standing in virtual reality environment
3 . 学会等名 Neuroscience 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Hasegawa N, Maas K, Shah VV, Carlson-Kuhta P, Nutt JG, Horak FB, Asaka T, Mancini M
2 . 発表標題 Functional Limits of Stability and Standing Balance in People with and without Freezing of Gait
3 . 学会等名 2019 International Parkinson and Movement Disorder Society Congress ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Hasegawa N, Shah VV, Ragothaman A, Stuart S, Carlson-Kuhta P, Nutt J, Horak FB, Asaka T
2 . 発表標題 Feature Selection of Mobility Metrics of Balance Dysfunction in Parkinson ' s Disease
3 . 学会等名 2019 ISPGR World Congress ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年



1 . 発表者名 Mani H, Hasegawa N, Takeda K, Asaka T
2 . 発表標題 Interaction between feedforward and feedback postural responses induced by respective perturbations
3 . 学会等名 PCMC 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Hasegawa N, Shah VV, Ragothaman A, Stuart S, Carlson-Kuhta P, Nutt J, Horak F, Asaka T, Mancini M
2 . 発表標題 Feature Selection of Objective Metrics of Balance Dysfunction
3 . 学会等名 International Society of Posture & Gait research 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Hasegawa N, Yokoyama A, Sakaki Y, Okubo Y, Tang S, Mani H, Asaka T
2 . 発表標題 Adaptation effects of continuous and discrete visual feedback training on static postural control: a preliminary study
3 . 学会等名 2022 ISPGR World Congress
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Mancini M, Hasegawa N, Peterson D, Horak F, Nutt J
2 . 発表標題 Freezing of Gait across the spectrum of normal, non-freezers, possible freezers and definite freezers
3 . 学会等名 2022 ISPGR World Congress
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 大久保結羽, 長谷川直哉, 榊悠介, 赤木啓真, 川田亜弥, Tang Shenlei, 萬井太規, 浅賀忠義
2. 発表標題 認知負荷による有効視野の狭窄が姿勢安定性に与える影響について
3. 学会等名 第27回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榊悠介, 長谷川直哉, 大久保結羽, 赤木啓真, 川田亜弥, Tang Shenlei, 萬井太規, 浅賀忠義
2. 発表標題 異なる難易度の認知負荷が予測的姿勢制御の適応効果に与える影響について
3. 学会等名 第27回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 丸谷暁子, 長谷川直哉, Tang Shenlei, 丸谷孝史, 浅賀忠義
2. 発表標題 安静時立位バランスにおける足部への温熱効果に関する研究
3. 学会等名 第27回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 萬井太規, 加藤士雄, 浦野雄飛, 黒木堯稀, 愛甲拓海, 長谷川直哉, 浅賀忠義
2. 発表標題 視野の下部領域のオプティカルフローは非視覚系の立位姿勢制御戦略に変容させる
3. 学会等名 第27回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計6件

1. 著者名 Tadayoshi Asaka, Naoya Hasegawa	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Eliva Press	5. 総ページ数 46
3. 書名 Augmented Sensory Biofeedback for Dynamic Postural Control: Visual vs. Auditory	

1. 著者名 浅賀忠義、長谷川直哉著：中山 恭秀編	4. 発行年 2022年
2. 出版社 メジカルビュー社	5. 総ページ数 432
3. 書名 バランス：理学療法評価学	

1. 著者名 浅賀忠義，吉田直樹	4. 発行年 2020年
2. 出版社 文光堂	5. 総ページ数 256
3. 書名 運動制御と臨床応用：運動・姿勢のメカニズムと協調性の理論と実践	

1. 著者名 浅賀忠義著：斉藤秀之、加藤浩、望月久編	4. 発行年 2022年
2. 出版社 文光堂	5. 総ページ数 280
3. 書名 姿勢反応と予測的姿勢調節：こだわり抜くバランス練習	

1. 著者名 浅賀忠義著：小柳磨毅、山下協子、大西秀明、境隆弘編	4. 発行年 2023年
2. 出版社 金原出版	5. 総ページ数 600
3. 書名 姿勢：PT・OTのための運動学テキスト 第1版補訂2版	

1. 著者名 浅賀忠義、長谷川直哉著：内山靖編	4. 発行年 2023年
2. 出版社 文光堂	5. 総ページ数 1052
3. 書名 協調運動：図解理学療法検査・測定ガイド 第3版	

〔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	長谷川 直哉  (Hasegawa Naoya)  (90824665)	北海道大学・大学院保健科学研究所・准教授   (10101)	
研究分担者	武田 賢太  (Takeda Kenta)  (50824827)	日本医療大学・保健医療学部・助教   (30127)	

	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
研究協力者	萬井 太規  (Mani Hiroki)  (10765514)	大分大学・福祉健康科学部・講師   (17501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	Tianjin University of Sport			
米国	Balance Disorders Lab	Department of Neurology	Oregon Health & Science University	