

# 姿勢バランスにおける適応と短期記憶—視覚と聴覚のフィードバックの比較—

佐久間 萌

## <要約>

感覚フィードバックを用いた練習は臨床場面で広く用いられており、フィードバックのある状態での練習効果として適応、フィードバックのない状態での練習効果として短期記憶を定義する場合、姿勢バランスで視覚・聴覚フィードバックの適応・短期記憶を比較した研究は知る限りなかった。本研究の目的は、姿勢バランスで視覚・聴覚フィードバックを用いたとき、適応・短期記憶の効果を比較することだった。対象は健常若年者 20 名で、視覚・聴覚フィードバック群に 10 名ずつ無作為に割り当てた。荷重移動課題を用いて、各被験でフィードバックのある適応課題とフィードバックのない短期記憶の 2 課題を実施した。適応では群間に有意差がなく、短期記憶では群間に有意差がみられた。適応では、視覚・聴覚ともに断続的フィードバックを用いたときに練習効果に差はなく、短期記憶では聴覚フィードバックを用いたときのほうが練習効果を示す可能性が示唆される。

## I. はじめに

「感覚フィードバック」とは、練習中または練習後の運動の修正に用いられるもの<sup>1)</sup>と定義されており、具体的には視覚・聴覚・体性感覚を用いたフィードバックがある<sup>2)</sup>。例えば、姿勢鏡やビデオ映像を用いた視覚フィードバックや理学療法士の口頭による聴覚フィードバックなどは、臨床場面で広く用いられている<sup>3)</sup>。また、「適応」とは新しい環境にさらされたときに習熟している運動を修正・調節する過程と定義されている<sup>4)</sup>。本研究では、感覚フィードバックのある状態での練習効果を適応、練習前後の感覚フィードバックのない状態での練習効果を短期記憶と定義した。

姿勢バランスにおいて、適応と短期記憶における視覚または聴覚フィードバックそれぞれの効果は少なからず報告されている。適応においては、Pinsault ら<sup>5)</sup>は視覚フィードバックを、Chiari ら<sup>6)</sup>は聴覚フィードバックを用いた練習で、健常者の静止立位時の足圧中心動揺の改善を報告した。また、短期記憶においては、Choi ら<sup>7)</sup>は視覚フィードバックを用いた練習で健常者の荷重移動課題の改善を報告した。一方、Ronsse ら<sup>8)</sup>は上肢運動の協調性において視覚フィードバックと聴覚フィードバックの効果の違いを適応および短期記憶の両方で調べた。その結果、適応では練習早期で視覚フィードバックの効果が得られやすく、練習最終では視覚・

聴覚フィードバックによるパフォーマンスレベルは等しかった。また、短期記憶では、聴覚フィードバック群のみ練習効果が維持されていたと報告した。

しかしながら、それらの効果を姿勢バランスにおいて調べた研究は私が知る限りなかった。従って、本研究の目的を、姿勢バランスにおいて視覚または聴覚フィードバックを用いたときの、1) 適応の効果、2) 短期記憶の効果を比較することとした。本研究により、フィードバック練習を行う際の、選択の一助となりうる。

## II. 方法

### 1. 対象

本実験に同意を得た健常成人 20 名（男性 12 名、女性 8 名、年齢：22.3±1.9 歳、身長：165.9±7.cm、体重：56.6±7.5kg）を対象とし、視覚フィードバック群と聴覚フィードバック群に各 10 名を無作為に割り当てた。なお、神経学的・整形外科的疾患の既往歴がない者を対象とした。

### 2. 使用機器

#### (1) 床反力計

被験者の足圧中心を計測するために床反力計（Kistler 社製）を 1 枚使用し、サンプリング周波数は 1000Hz とした。

(2) モニター

被験者の前方 1.5m, 目の高さにモニターを設置し, 追跡目標 (以下, 目標点とする) と, 視覚フィードバック群のみ適応課題における視覚フィードバック (赤点) を表示した.

3. 実験内容

被験者は床反力計上に裸足で立ち, 胸の前で腕を組み, 足幅が上前腸骨棘-2cm<sup>9)</sup>, 足長の後方 40%<sup>10)</sup> を床反力計の前後中央と一致させるように指示された. モニター上の目標点は周波数 0.23Hz で上下に動き, 振幅は課題開始前に各被験者の足圧中心の前後最大移動距離の計測を行い, 上が最大移動距離の前方 80%, 下が後方 70% になるよう設定した. 目標点は開始位置から上下に 7 往復し, 被験者はこの目標点にあわせた前後方向の荷重移動を行った. 解析には 1 施行 7 周期のうち最初の 1 周期を除外した 6 周期を使用した (図 1). 感覚フィードバックは足圧中心が最大移動距離の前方 70~80%, 後方 60~70% の範囲に到達したときに与えられ, 視覚フィードバック群は赤点が表示され, 聴覚フィードバック群は音が鳴るように設定した (図 2). これらの制御は LabView (National Instruments 社) で作成したプログラムで実行させた.

フィードバックを用いた荷重移動課題を適応課題, フィードバックを用いなかった課題を短期記憶課題とした. 実験手順は, 初めに短期記憶課題を 1 ブロック (以下, pre とする), 次に適応課題を 4 ブロック (以下, Block1~4 とする), 最後に初め同様短期記憶課題を 1 ブロック (以下, post とする), 各被験者で行った (図 3).

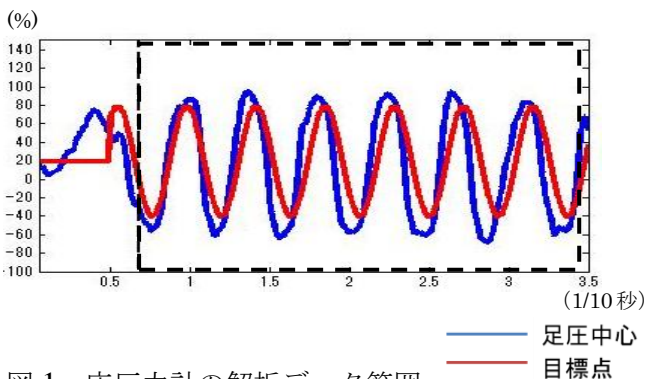


図 1. 床反力計の解析データ範囲

縦軸が被験者の足圧中心(%), 横軸が課題の時間 (秒を 1/10

にしたもの) を示している. 青線が被験者の足圧中心, 赤線がモニター上に映し出される目標点の軌跡である. 全 7 周期のうち点線で囲まれた 6 周期を解析データとして用いた.

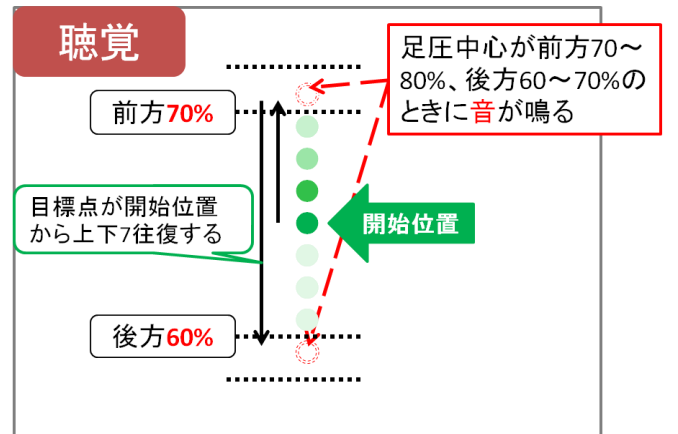
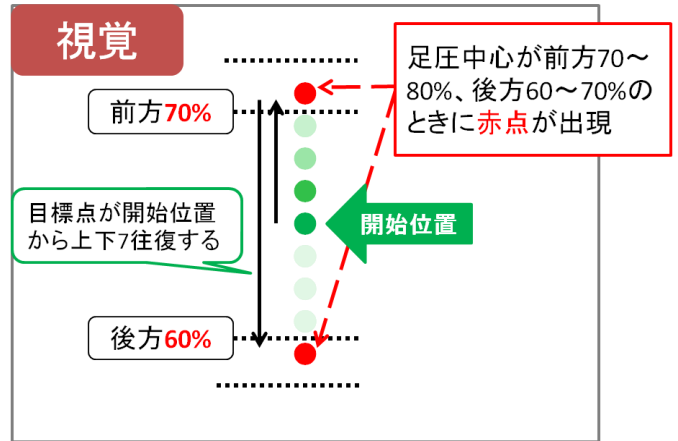


図 2. 視覚・聴覚フィードバック方法

上は視覚フィードバックの方法, 下は聴覚フィードバックの方法について示している. モニター上を目標点 (緑点) が開始位置から上下に 7 往復し, 被験者はその目標点にあわせた荷重移動を行う. 被験者の足圧中心が最大移動距離の前方 70~80%, 後方 60~70% の範囲に到達したときに各群にあわせたフィードバックが与えられる. 図の点線はフィードバックが与えられる範囲を示している. 視覚フィードバックは, 赤点が表示され, 聴覚フィードバックは音が鳴るよう設定した.

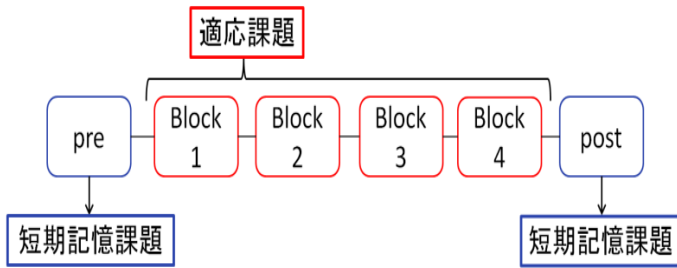


図 3. 実験手順

図は実験手順を示している。初めに短期記憶課題を 1 ブロック (pre)，次に適応課題を 4 ブロック (Block1~4)，最後に初め同様短期記憶課題を 1 ブロック (post)，各被験者で行った。適応課題ではフィードバックを用い，短期記憶課題ではフィードバックを用いなかった。

#### 4. データ処理

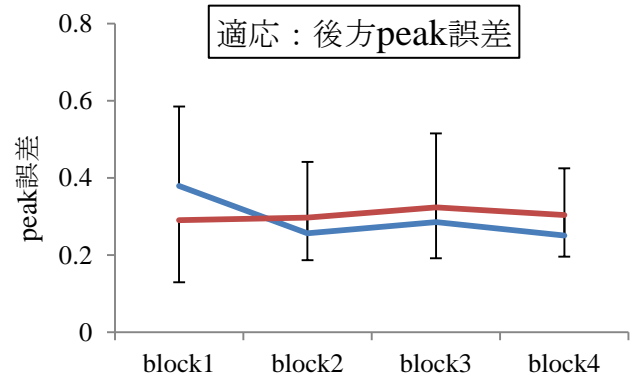
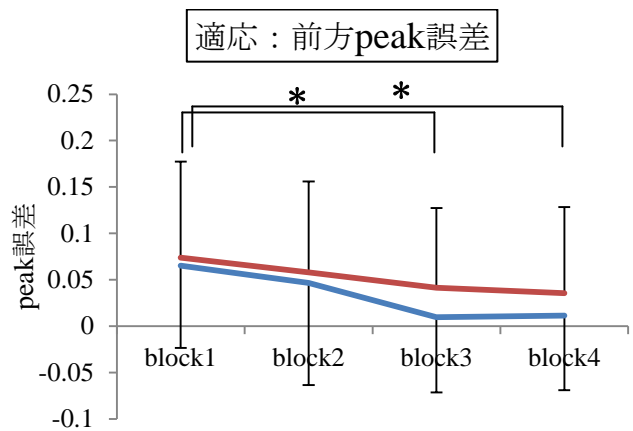
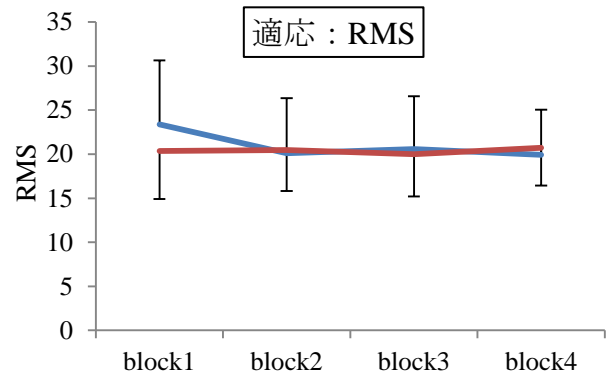
動的バランスの正確性の指標として，足圧中心の軌跡と目標点の軌跡の差の二乗平均平方根（以下，RMS）および足圧中心の最大移動距離の前方 80%，後方 70%と被験者の足圧中心の前後 peak 値との差（以下，peak 誤差とする。）をそれぞれ算出した。

統計解析には SPSS を用いて，適応課題と短期記憶課題それぞれにブロック×感覚フィードバックの二元配置分散分析を行った。適応課題の多重比較には Tukey test，短期記憶課題の多重比較には Bonfferoni test を用いた。短期記憶課題では，pre 同士の比較に対応のない  $t$  検定も行った。有意水準は 5%未満とした

### Ⅲ. 結果

#### 1. 適応

前方 peak 誤差では，群間に有意差はみられなかったが，ブロック間での主効果がみられ，Block1 と 3，Block1 と 4 に有意差がみられた ( $p<0.05$ )。RMS・後方 peak 誤差では，ブロック間および群間に有意差がみられなかった (図 4)。



— 視覚フィードバック群  
— 聴覚フィードバック群

図 4. 実験結果 (適応)

縦軸が RMS・peak 誤差の数値，横軸がブロックを表している。青線が視覚フィードバック群，赤線が聴覚フィードバック群をそれぞれ示している。前方 peak 誤差では，群間に有意差はみられなかったが，ブロック間での主効果がみられ，Block1 と 3，Block1 と 4 に有意差がみられた (\* :  $p<0.05$ )。

## 2. 短期記憶

RMS では、視覚・聴覚フィードバック群ともに pre, post 間での有意差がみられた ( $p < 0.05$ ) が、前方 peak 誤差では聴覚フィードバック群のみ pre, post 間で有意差がみられた ( $p < 0.05$ )。後方 peak 誤差では群間および pre, post 間に有意差はみられなかった (図 5)。

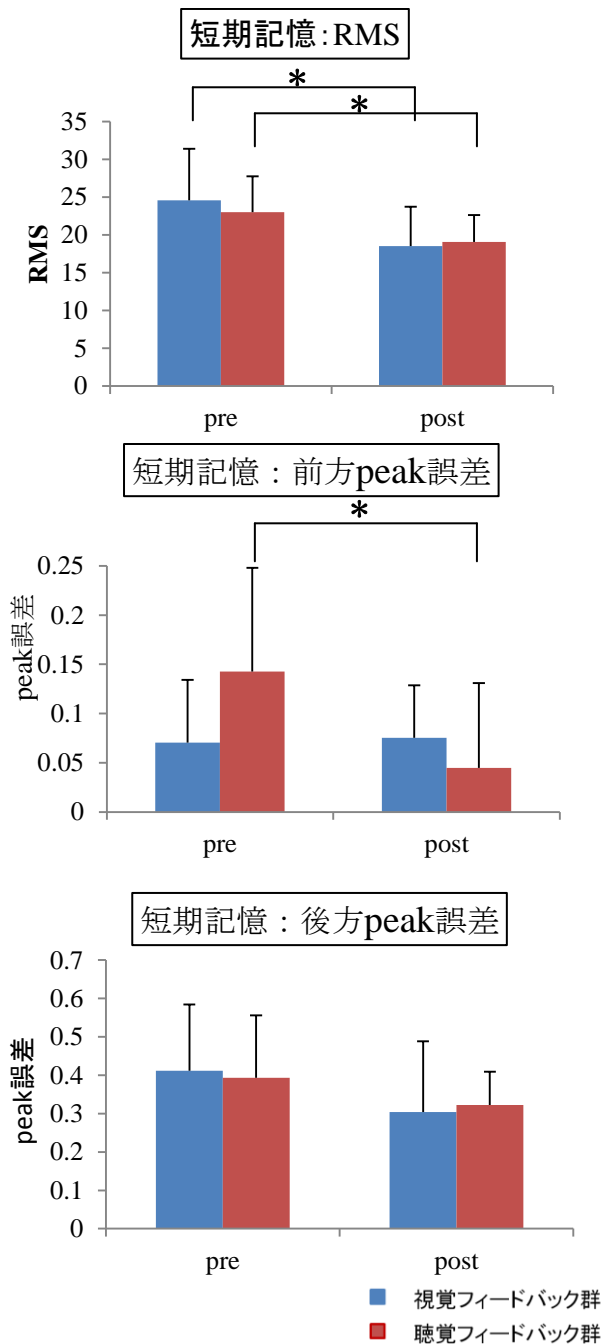


図 5. 実験結果 (短期記憶)

縦軸が RMS・peak 誤差の数値、横軸がブロックを表している。青線が視覚フィードバック群、赤線が聴覚フィードバック群をそれぞれ示している。RMS では、視覚・聴覚フィードバック群ともに pre, post 間での有意差がみられた ( $* : p < 0.05$ ) が、前方 peak 誤差では聴覚フィードバック群のみ pre, post 間で有意差がみられた ( $* : p < 0.05$ )。

## IV. 考察

荷重移動課題での適応、短期記憶における視覚・聴覚フィードバックの効果を示された。

適応では視覚・聴覚フィードバックによる違いはみられなかった。先行研究では、視覚フィードバックは連続的フィードバック、聴覚フィードバックは断続的フィードバックが効果的<sup>11)12)</sup>という報告があり、前述のフィードバック方法を用いて上肢運動での視覚・聴覚フィードバック効果の比較を行った研究では、視覚フィードバック群で練習初期に適応がみられた<sup>7)</sup>。本研究では視覚・聴覚フィードバックともに断続的フィードバックを用いたことにより、適応では視覚・聴覚フィードバックの効果に違いがみられなかったと考えられる。

また、適応において RMS でブロック間に有意差がみられなかったのに対し、前方 peak 誤差でブロック間の主効果がみられたのは、時間的要素が関連していると考えられる。peak 誤差は前方 80%、後方 70%にあわせるという 1 点の練習効果をみているのに対して、RMS は目標点にあわせるという時間的要素も含まれている。目標点にあわせた荷重移動が前方 80%、後方 70%という 1 点にあわせることよりも容易であった可能性が考えられ、これにより RMS では早期から適応が起これ、RMS 値が Block1 から低くなり有意差がみられなかったのではないかと考えられる。

短期記憶では、RMS で視覚・聴覚フィードバック群ともに pre, post 間での有意差がみられ、前方 peak 誤差で聴覚フィードバック群のみ pre, post 間の有意差がみられた。

本研究と同様、目標点にあわせた前後の荷重移動を実験課題として行っている先行研究では、課題の前後で目標点と被験者の足圧中心間の時間のずれに改善がみられた<sup>13)</sup>、という報告がある。また、上肢運動で視覚・聴覚フィードバック効果の比較を行った先行研究によると、フィードバックを除いたときに聴覚フィードバック群のほうがパフォーマンスレベルを維持していた<sup>8)</sup>、という報告がある。RMS では目標点にあわせるという課題が上達したことにより、視覚・聴覚フィードバック群の両方で有意差がみられたことが考えられる。以上より、短期記憶では聴覚フィードバックを用いたときのほうが

練習効果を示す可能性が示唆される。

また、前方 peak 誤差で聴覚フィードバック群に pre, post 間での有意差がみられたのに対し、後方 peak 誤差で有意差がみられなかった。これは、足底の感覚閾値が母趾中央部と比較して踵中央部で高い<sup>14)</sup>、足底部の特に足趾がメカノレセプターの分布密度が高い<sup>15)</sup>、などという報告があることから、前方と比較して後方への荷重移動を記憶することは難しく、従って、後方 peak 誤差では有意差がみられなかったのではないかと考えられる。

視覚・聴覚フィードバックによる脳活動領域の違いについて fMRI を用いて調査した研究<sup>8)</sup>があり、この研究によると両群で感覚運動皮質・補足運動野・小脳が活動を行い、視覚フィードバック群では両側後頭葉、聴覚フィードバック群では視床・側頭葉・rolandic operculum が特異的に活動を行っていた、という報告がある。また、フィードバック練習により、視覚フィードバック群では両側後頭回・小脳小葉IV-VI・小脳虫部IV-Vの活動が向上したのに対し、聴覚フィードバック群では両側感覚運動皮質・補足運動野・弁蓋皮質・側頭葉の活動が低下した、という報告もある。フィードバック練習後の皮質の活動低下は、運動の自動化が行われたことが示唆された。以上の結果は、視覚フィードバックを用いた練習はフィードバックへの依存が大きいこと、一方で、聴覚フィードバックを用いた練習はフィードバックへの依存が小さいことを示した。

以上より、神経学的にも、短期記憶では聴覚フィードバック群のほうが練習効果を示す可能性が示唆される。

従って、本研究結果から、臨床でフィードバック練習を行う場合、視覚フィードバックよりも聴覚フィードバックを用いる方が効果的であることが示唆される。

## V. 結語

健常若年者において、荷重移動課題で、視覚・聴覚フィードバックを用いたとき、1) 適応では、視覚・聴覚ともに断続的フィードバックを用いたときに練習効果に差はない、2) 短期記憶では、聴覚フィードバックを用いたときのほうが、練習効果が期待される。

## 謝辞

本稿を終えるにあたり、ご指導いただきました本学の諸先生方、本学保健科学院大学院生、ならびに快く被験者を引き受けてくださった本学学生の皆様に心より感謝申し上げます。

## 引用文献

- 1) 谷浩明：セラピストによる教示やフィードバックは学習に効果的か、理学療法科学、21 巻 1 号：69-73, 2006.
- 2) Sigrist R, et al. :Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review. *Physchon Bull Rev.*20(1): 21-53, 2013.
- 3) 吉尾雅春：標準理学療法学 各論, 医学書院, 2011
- 4) Martin TA, et al. :Throwing while looking through prisms, II : specificity and storage of multiple gazethrow calibrations. *Brain.* 119: 1199-1211, 1996.
- 5) Pinsault N, et al. :The Effects of Scale Display of Visual Feedback on Postural Control During Quiet Standing in Healthy Elderly Subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* 89: 1772-1774, 2008
- 6) Chiari L, et al. :Audio-Biofeedback for Balance Improvement: An Accelerometry Based System. *IEEE.* 52: 2108-2111, 2005
- 7) Choi JH, et al. :Effect of Mental Training on the Balance Control Ability of Healthy Subjects. *J Phys Ther Sci.* 22: 51-55, 2010.
- 8) Ronsse R, et al. :Motor Learning with Augmented Feedback: Modality Dependent Behavioral and Neural Consequences. *Cerebral Cortex.* 21: 1283-1294, 2010.
- 9) Chen HY, et al. :Independent control of force and timing symmetry in dynamic standing balance: implications for rehabilitation of hemiparetic stroke patients. *Human Movement Science.* 31:

1660-1669, 2012.

- 10) 藤原勝夫・他：姿勢制御の神経生理機構，杏林書院，2011.
- 11) Dozza M, et al. :Effects of Linear versus Sigmoid Coding of Visual or Audio Biofeedback for the Control of Upright Stance. IEEE. 14: 505-512, 2006.
- 12) Bechly KE, et al. :Determining the preferred modality for real-time biofeedback during balance training. Gait&Posture. 37: 391-396, 2013.
- 13) Radhakrishnan SM, et al. :The role of visual cues in the acquisition and transfer of a voluntary postural sway task. Gait&Posture. 32: 650-655, 2010.
- 14) 宮島恵樹・他：モノフィラメント圧痛計による若年者足底感覚測定の色と部位による差の検討，理学療法科学，27 巻 2 号：161-164, 2012.
- 15) Herveou C, et al. :膝・足関節・足部の新しい神経—運動器協調訓練，医歯薬出版，1985.

(指導教員：浅賀 忠義)