HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	練習方法の違いによる立位での目標追跡課題への影響
Author(s)	笠原, 敏史; 斉藤, 優輝; 高橋, 光彦 他
Citation	北海道リハビリテーション学会雑誌, 36, 15-20
Issue Date	2011-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/47041
Type	journal article
File Information	kasahara_Huscup_text.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

投稿区分：研究と報告

表題：練習方法の違いによる立位での目標追跡課題への影響

The effect of different exercises with the visual feed-back on the target-tracking task during standing in healthy youths

著者及び共同著者：

斉藤優輝[1)]、笠原敏史[2)]、高橋光彦[2)]、石川啓太[3)]、水本梓[4)]、宮本顕二[2)]

Yuki Saito[1)]、Satoshi Kasahara[2)]、Mitsuhiko Takahashi[2)]、Keita Ishikawa[3)]、Azusa Mizumoto[4)]、Kenji Miyoamoto[2)]

所属：1）医療法人社団北樹会病院リハビリテーション科

Hokujyukai Hospital, Department of Rehabilitation

2）北海道大学大学院保健科学研究院機能回復学分野

Faculty of Health Sciences, Department of Rehabilitation Sciences, Hokkaido University

3）北海道大学医学部保健学科理学療法学専攻

School of Medicine, Department of Health Sciences, Division of Physical Therapy, Hokkaido University

4）滋賀県立小児保健医療センターリハビリテーション科

Shiga Medical Center for Children, Department of Rehabilitation

連絡先：笠原敏史

〒060-0812 札幌市北区北 12 条西 5 丁目

北海道大学大学院保健科学研究院機能回復学分野

tel：011-706-3391　fax：011-706-3391

e-mail：kasahara@cme.hokudai.ac.jp

Key Words:運動学習、視覚的フィードバック、目標追跡運動

Motor learning, Visual feed-back, Target-tracing task

＜和文要約＞運動障害をもつ患者のリハビリテーションに運動学習の応用は重要である。運動学習の練習方法には一定練習と多様性練習があるが、異なる練習方法がその後の立位時の姿勢制御に与える影響については十分に明らかにされていない。本研究は視覚的フィードバック情報を用いた練習方法の違いが立位での目標追跡課題の成績に与える影響について健常若年者6名を対象に行なった。目標追跡課題は床反力計上で直立位をとり、モニター画面上に表示された自身の足圧中心（COP）と追跡目標を一致させる視覚誘導型の随意的追跡運動とした。練習方法の違いは床反力計の情報からモニター画面上に表示されるフィードバック情報への割合の違いとした。一定練習は床反力計上のCOP移動量をモニター画面上に同じ大きさで表示し、多様性練習は2種類の異なる割合でモニター画面上にCOPの移動量を表示した。多様性練習群の成績は一定練習群に比べ良好であり、その練習効果は1週間後においても維持されていた。
本研究より、練習方法の違いは立位での随意的運動課題の成績及び効果の持続に影響を与え、転倒予防を目的としたバランス訓練への多様性の応用は有効である可能性が示唆される。

＜Abstract＞277 / 300 words
The application of motor learning is important for the rehabilitation of patients with motor disorders. Although the exercise method of motor learning consists of constant exercise, variable exercise or both, these methods have not yet been verified adequately with regard to the postural control during standing. To investigate the effect of different exercises with visual feed-back information on postural control, we examined the motor performance with regard to the center of pressure (COP) during the standing target-tracking task in six healthy young males. The visual feed-back information of COP from the force plate was provided to subjects by the monitor display. Subjects were asked to move their body in a forward or backward direction to fit and track their own projected COP to the target on the display. The constant exercise group had a scale with the same rate between the COP displacement on the force plate and the COP displacement displayed in the monitor, and the variable exercise group had two scales with different rates. The retention tests were performed after completing the exercises, on the following day, and one week later. The COP data acquired during the tracking task in retention tests were measured, and the gain, the root-mean-square error (RMSE) and the phase shift for the tracking target were computed. In comparison to the constant exercise group, the motor performance of the variable exercise group was better and maintained these effects for a week after the exercise. The findings of this study suggest that differences in exercise methods affect motor performance and/or the retention of motor performance, and that the application of variable exercise for balance training may therefore be beneficial for fall prevention.

はじめに

運動障害は日常生活動作（ＡＤＬ）を困難にさせ、患者の家庭復帰や社会復帰を阻害する。障害への順応やＡＤＬ再獲得のための反復練習は学習の考えに則し、特に、運動学習は運動障害を持つ患者のリハビリテーションに非常に重要である。

運動学習は巧みな課題遂行の能力を比較的永続する変化に導くような実践あるいは経験に関する一連の過程である[1)2)]。運動学習の理論では過去の記憶から得られた抽象的な変形された記憶（運動スキーマ）が全く新しい状況においても演繹的に全く正解ではないもののそれに近い運動プログラムを導き出すことが出来ると仮定している。この運動スキーマは練習量と多様性に基づくとされ[2)]、多様性練習は持続的な学習効果を得るのに優れている[3)4)]。しかし、これらの知見を支持する研究の多くは上肢を使った運動課題を用いて検証しており、下肢を含む全身運動課題、特に姿勢制御や運動制御が求められる運動課題

では検証されていない。また、過去の研究では多様性の変数を運動課題の目標としているものが殆どであり[3)4)]、フィードバック情報の割合の大きさを採用している研究は少ない[5)6)]。

転倒予防やバランス能力の向上に足圧中心（COP）に関する情報の視覚的フィードバック（VFB）を用いたバランス訓練が有用であることが報告されている[5)-7)]。過去の研究ではCOPのVFBの与え方が立位の姿勢制御に影響を及ぼすことを報告している[5)-7)]。このことから、VFBの与え方を多様化することが更なる姿勢制御の向上につながる可能性がある。本研究ではVFBを用いた練習方法の違いが随意的な姿勢制御を要求する立位での目標追跡課題の成績に影響を与えるかどうかについて調べた。

対　象

健常若年男子6名（平均年齢25.5±4.4歳、平均身長176.1±6.8cm、平均体重66.1±

8.7kg）で、一定練習群と多様性練習群に各3名を無作為に分けた。なお、本研究は北海道大学大学院保健科学研究院倫理委員会の承認を得ており、被検者に書面をもって十分な説明を行い、同意を得た者が実験に参加した。

方法

被検者は両上肢を胸の前で交差させ、歩隔を肩幅程度、裸足で床反力計（KISTLER社製）の上に立つ。前方1m、目の高さに設置されたモニター画面上に追跡目標と被検者のCOPの位置を同時に表示した。画面上のCOPは実際のCOPが前方に動くとき上方に移動し、実際のCOPが後方に動くとき下方へ移動するよう運動方向を合わせた（図1a）。追跡目標は画面上を0.5Hzで上下に動かし、その制御はLabView（NIインスツルメント社）で作成したプログラムで実行させた。目標追跡課題は追跡目標と自身のCOPを一致させるよう繰り返すこととした。

一定練習でのCOPのVFBは実際のCOP移動

量と画面上に表示されるCOP移動量の割合を一致させ（100%条件：床反力計上50mmに対して画面上は50mm）、繰り返し60試行行わせた。多様性練習では、一定練習と同じ100%条件で20試行を行わせた後、以下の2種類のVFB条件を順に各20試行を行った：①70%条件（床反力計上50mmに対して画面上は35mm）、②40%条件（床反力計上50mmに対して画面上は20mm）。

異なる練習方法の練習効果の持続性を調べるために練習直後、翌日そして1週間後の保持テスト（100%条件で11試行）を行った。

保持テスト時の床反力計のデータはA/D変換され、LabViewで作成したプログラムで記録及び保存した（サンプリングレートは1KHz）。その後、床反力の全データは10Hzでのローパスフィルタの処理を行った。その後の解析は最初の周期を除いた2～11周期までの10周期分を用いた。各被験者の前後方向のCOPの軌跡に最小二乗誤差法を用いて正弦波

形を適合させ（COP適合正弦波形）、COP適合正弦波形の振幅の大きさとその最大前方位の位相（図1bのD2）を測定した。運動成績は追跡目標の振幅（図1bのA1）でCOP適合正弦波形の振幅（図1bのA2）を除した値（つまり、利得＝A2/A1）と追跡目標の最大前方位の位相（図1bのD1）とCOP適合正弦波形の最大前方位の位相（図1bのD2）を引いた値（つまり、位相差＝D2-D1）を算出した。利得は1のとき追跡目標の振幅と完全に一致し、1より大きい場合は過大、1未満の場合は過小を意味する。位相差は1周期を360度に換算し、正と負の値はそれぞれ遅延と先行を意味する。課題遂行中の絶対誤差は二乗平均平方根誤差（RMSE）を用いて算出した。RMSEは0が最も誤差が小さいことを意味する。

統計解析は統計ソフトStat Viewを用いて行った。各群の保持テスト時の利得、位相差とRMSEは各被検者で平均値を求め、全被検者

の平均値と標準偏差を求めた。VFBの与え方と異なる日の保持テストの2×3の二元配置分散分析を行い、有意差が見られたものには多重比較の検定（Boferroniの検定）を行なった。有意水準は0.05以下とした。

結果

一定練習群と多様性練習群の利得は練習直後で1.1±0.2と1.1±0.1、翌日で1.1±0.1と1.1±0.1、一週間後で1.1±0.2と1.0±0.2で、2つの練習間及びその後の成績に有意な差を認めなかった。

一定練習群と多様性練習群のRMSEは練習直後で23.0±8.9mmと14.3±5.8mm、翌日は14.8±5.6mmと12.9±3.8mm、一週間後で19.1±11.7mmと14.4±6.2mmであった（図2a）。2つの練習間とその後の成績に相互作用が認められた（$F_{(2,\ 174)}=3.23$, $p<0.05$）ため、各要因の主効果について検討した。練習方法に有意な主効果が認められ（$F_{(1,\ 174)}=21.14$, $p<0.01$）、直後と1週間後の多様性練習群の

RMSEは一定練習群に比べて有意に小さかった（各$p < 0.05$）。また、一定練習群にその後の成績に有意な差を認め（$p < 0.05$）、多重比較の結果、翌日の値が他の日の値に比べ最も小さい値であった。しかしながら、多様性練習群のその後の成績に有意な差を認めなかった。

一定練習群と多様性練習群の位相差は練習直後で19.5±23.2degと12.1±12.8deg、翌日で-0.7±15.0degと8.9±12.2deg、一週間後で12.9±22.6degと9.7±12.8degであった（図2b）。練習群間とその後の成績に相互作用が認められた（$F_{(2, 174)} = 4.01$, $p < 0.05$）。練習間には有意な主効果は認められなかったが、その後の成績に有意な主効果を認め（$F_{(2, 174)} = 7.15$, $p < 0.01$）、翌日の位相差が他の日に比べて最も小さかった（直後$p < 0.01$、1週間後$p = 0.064$）。さらに、多重比較の結果、翌日の成績のみ多様性練習群に比べて一定練習群時の位相差は有意に小さかった（$p < 0.05$）。

しかしながら、多様性練習群のその後の成績に有意な差を認めなかった。

考察

本研究では、VFBを用いて練習方法の違いが随意的な姿勢制御が要求される立位での目標追跡課題の成績に及ぼす影響について健常若年者を対象にして調べた。その結果、多様性練習群が一定練習群よりも追跡中の誤差は小さく、多様性練習群の練習効果が1週間後も保持されていた。また、多様性練習群の位相差においても一定の値を保持していた。今回の結果から、立位での目標追跡課題のその後の成績に練習方法の違いが影響を与えることが示された。

Schmidt[1)2)]の運動学習の理論では運動スキーマに基づいて、その動作パターンに最適と思われるように力量等を調節し、目標とする運動を導くとしている。この仮説を基にして変数を変える多様性練習が様々な状況の運動スキーマを生み、その練習効果を予測して

いる。しかしながら、多様性練習仮説は今なお議論されている。過去の研究の多くは運動課題の目標を変数としているものが殆どであり、本研究で行ったVFBを変数として行った実験は少ない。Pinsaultら[5]は、一点を見つめる条件と画面に再現される割合の異なるCOPのVFBでの安静立位時の動揺の大きさを比較し、VFBの割合を増幅させた条件での身体動揺が一点をみつめる開眼条件に比べて有意に小さかったと報告し、VFBの与え方が姿勢制御に影響をあたえることを示唆している。Daultら[7]は、割合の条件を1対1にした場合、静的立位の高齢者の姿勢制御の改善はなかったと報告している。本研究でもRMSE（$p < 0.05$）に練習の違いによる影響を明らかにすることが出来たが、1週間後の位相差には練習の違いによる影響を確認することができなかった。Cormaら[8]は、運動のリズムが体性感覚あるいは前庭入力のいずれか、またはその両方によって取り込まれ、記憶された運

動リズムは神経ネットワークによる姿勢動揺に対する自動的な調整の操作に利用されるとしている。今回の実験では、練習間で運動の空間的要素（COPデータのモニターへの変換比）を変化させ、時間的要素（追跡目標の周波数）は変化させなかった。従って、今後は時間的要素を変数とした実験の検証が必要である。

Sheaらは、多様性練習群は他の練習に比べてワーキングメモリーに様々な変数が同時に存在するため習得中の動作獲得は遅延するが、持続的な学習効果はあると推察している[3)4)]。本研究では多様性練習群の追跡運動中の誤差が練習直後と1週間後で一定練習群に比べて小さい値を示し、さらに、その値を1週間後も維持し、多様性練習群の持続的な練習効果が示された。また、過去の研究では運動学習を調べるために変数の変動性（つまり、標準偏差の値）を用いて行い、学習とともにその変動性の減少が報告されている[9)]。被験者の

数が少ないため統計処理を行うことが出来なかったが、本研究の利得、RMSE及び位相差の各被検者の標準偏差の値は一定練習群に比べて多様性練習群で低い値を示していた。本研究のRMSE及び各成績の変動性の違いの結果から、練習方法の違いが運動学習に影響を与える可能性が示される。

結　語

健常若年者を対象にVFBを用いた練習方法の違いが立位でのCOP目標追跡課題の成績に与える影響について調べた。多様性練習群の直後の成績は一定練習群より良好であり、その練習効果は1週間後も維持されていた。練習方法の違いが立位での随意的運動課題の成績及び短期的な効果の持続に影響を与えることが明らかとなった。高齢者や運動障害患者の転倒予防を目的とした立位でのバランス訓練への多様性の応用が有効である可能性が示唆される。

引用文献

1) Schmidt RA. Motor Learning and Performance: From Principles to Practice. Human Kinetic Publishers: Champaign, Illinois. 1991

2) Schmidt RA. A schema theory of discrete motor skill learning. Psychological Review. 82: 225-260; 1975

3) Shea CH, et al. Specificity and variability of practice. Research Quarterly for Exercise and Sport. 61: 169-177; 1990

4) Shea CH, et al. Composition of practice: Influence on the retention of motor skills. Research Quarterly for Exercise and Sport. 62: 187-195; 1991

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: 1772-74; 2008

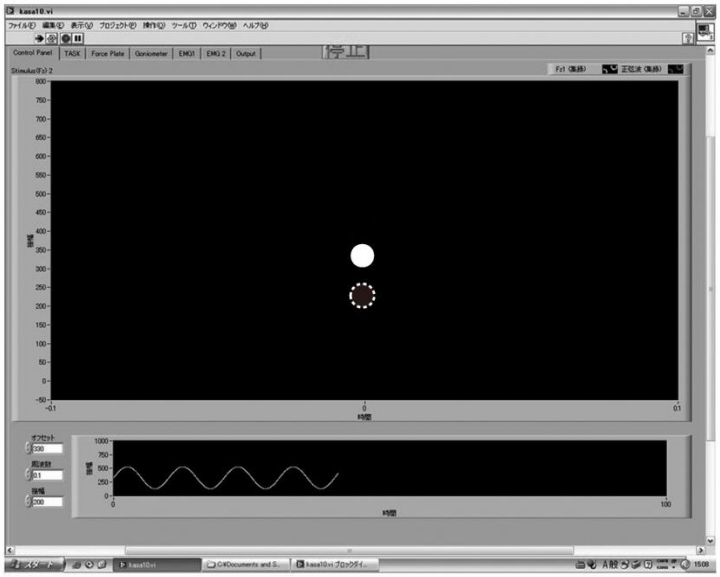
6）Vuillerme N, et al. Postural effects of the scaled display of visual foot center of pressure feedback under different somatosensory conditions at the foot and the ankle. Arch Phys Med Rehabil. 89：2034-2036; 2008

7） Dault MC, et al. Effects of visual center of pressure feedback on postural control in young and elderly healthy adults and in stroke patients. Hum Mov Sci. 22：221-36; 2003

8） Corna S, et al. Standing on a continuously moving platform: is body inertia counteracted or exploited? Exp Brain Res. 124：331-341; 1999

9）Stöggl T, et al. Short and long term adaptation of variability during walking using unstable（Mbt）shoes. Clin Biomech. 2010 [Epub ahead of print]

a.被験者がみている画面



b．追跡運動の一例

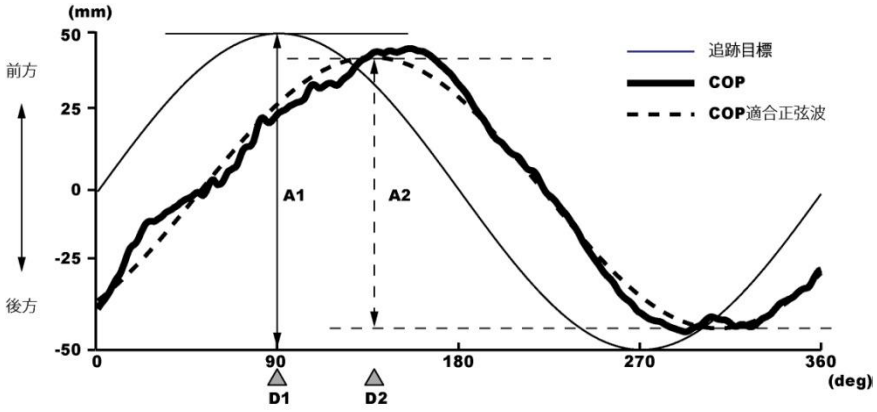


図　1　a．被験者がみている モニター画面　白丸が追跡目標、点線丸が被験者の前後方向の足圧中心の位置。b．追跡運動の一例　縦軸 COPの前後方向、横軸は位相。A1は追跡目標の振幅、A2はCOP適合波形の振幅。D1は追跡目標の最大前方位の位置、D2はCOP適合波形の最大前方位の位置。

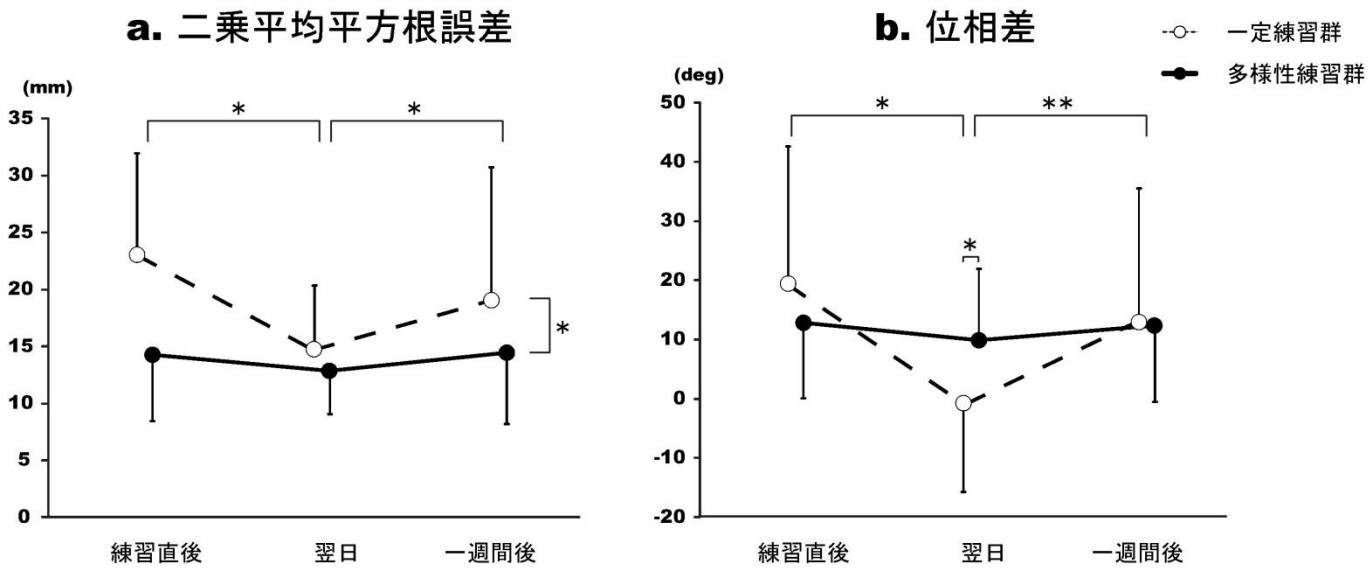


図２　一定練習群と多様性練習群の比較

a．二乗平均平方根誤差、b．位相差。

＊：p＜0．05、＊＊：p＜0．1