

【研究報告】

教示条件が異なる荷重課題における運動学習

矢島 大輔^{1)*} 大城 昌平²⁾

1) コミュニティーホスピタル甲賀病院 リハビリテーション科

2) 聖隷クリストファー大学大学院 リハビリテーション科学研究科

(連絡先) * E-mail : dai-y-suke@hotmail.co.jp

Motor Learning Using Varied Loading Exercises

Daisuke Yajima¹⁾, Shohei Ohgi²⁾

1) Department of Rehabilitation, Kouga Hospital

2) Division of Rehabilitation Science, Seirei Christopher University

要 旨

[目的]本研究の目的は、部分荷重課題に対し、臨床的に汎用されている同時的フィードバックと運動学習理論において学習効果が高いとされている最終的フィードバックの二種類のフィードバックを与えたとき、どちらのフィードバック方法が荷重課題の運動学習に有用かを明らかにすることである。

[対象]利き手は右利きの健常成人24名とした。

[方法]課題は、端坐位にて骨盤側方に設置した体重計に右手掌で荷重する部分荷重とした。課題荷重量は10kgとした。対象者はフィードバックの種類（最終的・同時的）によって2群に分けられ、それぞれ13回の施行後に保持テストと転移テストを受けた。

[結果] 保持テストと転移テストの結果では、同時的フィードバック群に比べて最終的フィードバック群の方が荷重量のばらつきは少なかった。

[考察] 本研究の結果から荷重課題において用いるフィードバック方法は、同時的フィードバックに比べて最終的フィードバックの方が学習に効果的であると示唆された。

キーワード：荷重課題，フィードバック，運動学習

Key word : Weight bearing task, feedback, motor learning

I. はじめに

運動学習の場面において、学習者はフィードバックを手がかりに運動の修正を繰り返すことで誤差検出能力を高めており、フィードバックは運動学習の生起に重要な役割を果たしている¹⁻³⁾。Sidawayら⁴⁾は、健常者の荷重スキル学習において、動作介助を受けて行った群とフィードバックを受けて行った群を比較した結果、その課題の正確性はフィードバックを受けた群のほうが高かったことを報告している。つまり、介助による動作練習では学習者は介助に依存する傾向にあり、動作に伴う多くの内在的な感覚情報（荷重感覚、重心移動、身体各部の動き等）に注意が向きにくく、また外在的なフィードバックも与えられないため学習効果は低くなると考えられる。したがって、学習の生起には、動作に介助を与えるよりも誤差を修正するためのフィードバック情報を与えることが必要である。

フィードバックには多くの種類がある³⁾。フィードバックはまず情報種別により内在的フィードバック（学習者自身が得る視覚および体性感覚の情報）と外在的フィードバック（外部から人為的に与えられる視覚、聴覚、体性感覚や言語の情報）に分けられ、それらはさらに運動の最中にフィードバックを与える同時的フィードバック（以下、同時的FB）と運動の終了後にフィードバックを与える最終的フィードバック（以下、最終的FB）に分けられる。そして、フィードバックの効果は一般的に即時効果と学習効果に分けて整理ができる³⁾。即時効果とは、あるフィードバックが与えられているときのパフォーマンスを改善させる働きは強いが、そのフィードバックが取り去られるとそ

の効果はほとんどなくなる状態、学習効果とは、フィードバックが取り去られてもパフォーマンスの改善が維持または永続する状態をいう。フィードバックの分類において、同時的FBは即時効果が高く、最終的FBは学習効果が高いとされている³⁾理由を学習理論に基づいて考えると、フィードバックを同時的に与える事で学習者は動作中に自己の動作から得られる感覚情報よりも指導者からの外在的フィードバック情報に注意が向きやすいため、結果的にそのフィードバック情報に依存（フィードバック産出依存性）して動作を遂行するようになり^{1) 3)}、そのフィードバック情報がなくなると動作を遂行できなくなる。これに対し、動作終了後に与える最終的FBは、動作遂行中に得られる自己の感覚情報（内在的フィードバック）に注意が向きやすく、また、動作後に与えられた外在的フィードバック情報（最終的FB）と動作中に感じ得た自己の感覚情報を照合し次の動作を能動的にコントロールすることができるため、動作遂行中のフィードバック産出依存性が少なくなり学習効果が高くなると考えられる。

臨床において、骨折整復後などに行う適切な荷重訓練は機能的後療法⁵⁾と呼ばれ、骨折部位の骨の癒合を促進し、偽関節の予防や廃用の予防、早期機能回復をもたらす。そして、部分荷重の時期に荷重量を学習し、訓練時間以外の病棟ADLでの荷重機会を増やすことは病棟ADLにおいて患側肢の活動レベルを高めることにつながり、活動-機能-構造連関の原則（生物の機能と構造はその活動レベルに適応して調整されている）⁶⁾により早期の機能回復をもたらすと考えられる。したがって、荷重訓練は荷重量を適切に学習する必要がある、また荷重量そのものが訓練中の重要な指標となっている。しかし、臨床において体重計などを用いた部分

荷重課題におけるフィードバックは主に荷重課題と同時的に行なっていることが多く、また部分荷重は訓練時間内に行われているが、病棟ADLでは免荷していることもある。このことから、部分荷重量を適切に学習するためには前述した運動学習理論に基づく即時効果の高い同時的FBより学習効果の高い最終的FBの方が有用であると考えられる。しかし、運動学習理論は運動心理学や体育学の分野で多く研究され体系付けられているが、リハビリテーション医療でのその有用性の検証はなされていない現状にある。

そこで、本研究では、リハビリテーション医療において部分荷重という臨床的頻度の高い課題に対し、臨床的に汎用されている同時的FBと運動学習理論において学習効果が高いとされている最終的FBの二種類のフィードバックを与えたとき、同時的FBはフィードバック産出依存性が発生しやすいことから、荷重課題では最終的FBの方が学習効果が高いという仮説を検証し、どちらのフィードバック方法が荷重課題の運動学習に有用であるかを明らかにすることを目的とする。

II. 対象者と方法

II-1.対象者

対象者は健常成人男女24名であった。年齢は、同時的FB群は 26.9 ± 4.8 歳、最終的FB群は 27.3 ± 5.3 歳であり、両群間に有意な差はなかった ($p > 0.05$)。また、対象者の利き手は全員右手であった。

II-2.課題

本研究の課題は片側上肢への部分荷重課題とした。本研究では、フィードバックの種類（与える時期の違い）による運動学習効果の違いを

検証するため、設定したフィードバック以外の教示や介助は行わなかった。したがって、課題施行中に設定した荷重量を超えて荷重する可能性があるため、実際の整形外科疾患を有し荷重制限が設定されている患者を対象者とするにはリスク管理上問題があった。そこで、本研究では骨関節疾患患者への臨床研究のパイロットスタディとして健常者を対象とした仮説を検証することとした。対象者は整形外科疾患や中枢神経疾患などの神経系疾患を有しない健常成人とした。対象者には本研究の趣旨および方法について書面と口頭で説明し、同意を得た。また、本研究の実施については病院管理者の承諾を得て実施した。実施場所はリハビリテーション室とした。

II-3.方法

研究デザインは、同様の運動課題に対し対象者を2群に分けてそれぞれに異なるフィードバックを与え、その2群間において運動学習効果の違いを検証するランダム化比較試験とした。

課題動作は、端坐位において、骨盤側方に設置した体重計への上肢荷重課題とした。上肢荷重課題とした理由は、下肢への荷重は日常的に行われており、対象者によっては自身の体重量から課題荷重量を想定できる可能性がある事が考えられた。また、上肢へ持続的に荷重することは非日常的であり、学習効果の判定には比較的新規な動作の方が有用と判断したためであった。課題動作を行った上肢は全員利き手である右上肢とし、目標荷重量は10kgとした。荷重上肢は前腕回内外中間で肘関節伸展位とし、体重計荷重部は荷重側大腿骨大転子の側方とした。体重計はオムロン製デジタル体組成計（KARADA SCAN）を使用した。体重計は小数点第1位まで表示され、荷重量が一定時間停止すると数値が決定される。本研究では、決定

された数値を荷重量とし小数点第1位までを記録した。

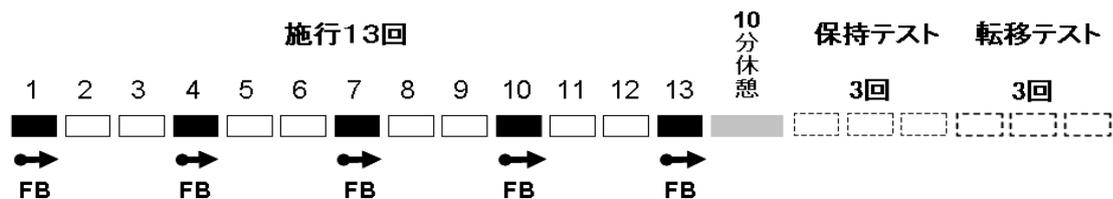
練習中の運動学習の過程を評価する方法として、課題練習中の行動変化を時系列でグラフ化しその推移を観察した。この様に学習の測定や学習過程をグラフ化したものをパフォーマンス曲線という。パフォーマンス曲線を用いて一時的変化なのか学習効果としての変化なのかを判別するために、学習者のパフォーマンスの推移を観察し、あとの運動学習の効果判定と合わせて検討した。運動学習効果の判定は、練習後に時間を置き、学習課題と同様の課題を与えて練習中の行動変化を保持できているかを検証する保持テスト、その運動学習内容があとの類似した運動に与える影響（学習転移）を検証する転移テストを行った¹²⁾。

測定プロトコルを図1（A・B）に示す。荷重施行回数は13回とし、その間に与えるフィードバックは言語的フィードバックを用いて

荷重終了後に結果の知識（KR：knowledge of result）^{*1)}として荷重数値を伝えた。言語的フィードバックを用いた理由は、被験者の目視による自己フィードバックでは誤って荷重中の荷重量を目視する可能性があるためである。フィードバックは初回施行時を1回目としてその後は3回施行ごとにフィードバックを与えた。13回の施行後に10分間の休憩を取った後に保持テスト及び転移テストをそれぞれ3回ずつ行った。

フィードバックは、同時的FBと最終的FBの2種類を用いた。同時的FBは、対象者が荷重すると同時に荷重値を対象者に言語で伝え続けた（図1A）。最終的FBは、対象者が10kgと想定して荷重した数値を荷重終了後に言語で伝えた（図1B）。対象者には体重計の荷重値を目視しないように指示をした。また、同時的FB群と最終的FB群には対象者をそれぞれランダムに振り分けた。

A：同時的FB



B：最終的FB

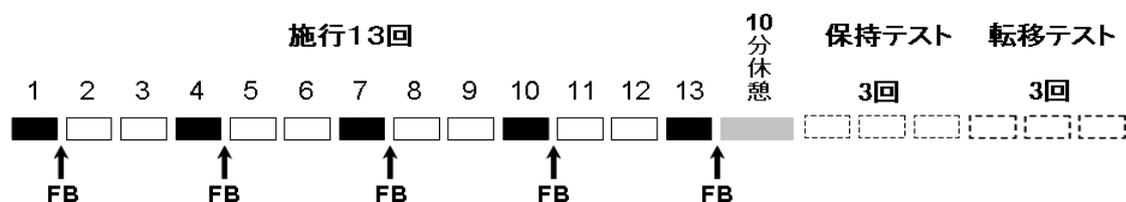


図1：測定プロトコル

A：同時的FBでは、被験者が荷重課題を試行中に、その荷重量を荷重開始時から荷重終了時まで口頭で知らせる。
 B：最終的FBでは、被験者が荷重課題を終了した後に、その荷重量を口頭で知らせる。
 (■はフィードバックあり、□はフィードバックなし、□□□はテストを示す)
 両条件共に、13回の荷重課題施行後に10分間の休憩の後に、保持テスト3回、転移テスト3回の順に行う。

※1) 結果の知識（KR：knowledge of result）：運動が終了した後で与えられる運動の成果や運動による環境の変化についてのフィードバックをいう。

保持テストは、13回施行時と同様の課題動作にて目標荷重量を想定して荷重した数値を記録した。転移テストは、課題動作と対側の上肢を用いて課題動作と同様の方法で目標荷重量を想定して荷重した数値を記録した。

統計処理は、同時的FB群と最終的FB群の2群間の学習過程の比較として、13回施行時の荷重量の推移を比較した。そして、学習効果の比較および転移効果の比較をする為、保持テスト及び転移テストの荷重量のばらつきをそれぞれ同時的FB群と最終的FB群の2群間で比較した。2群間の比較にはWilcoxon符号付順位検定を行った。統計ソフトはSPSS12.0J for Windowsを使用した。

Ⅲ. 結果

Ⅲ-1. 測定値の結果

Ⅲ-1-1. 13回施行時の各荷重量の推移

同時的FB群と最終的FB群における13回試行時のパフォーマンス曲線を図2に示す。本研究の結果、同時的FB群ではフィードバックを与えたときは目標荷重値付近に収束するが、フィードバックを与えていないときはばらつきがみられた。最終的FB群は前半に大きな誤差が生じているが徐々に目標荷重量付近に収束した。

Ⅲ-1-2. 保持テスト

保持テストの結果を図3に示した。保持テストでは、同時的FB群に比べて最終的FB群の方が荷重量のばらつきが少なかった。

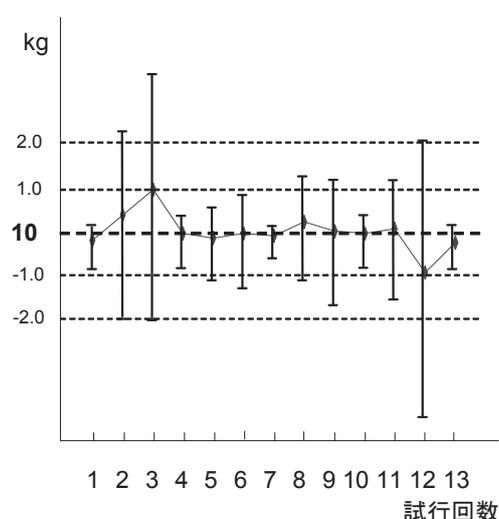
Ⅲ-1-3. 転移テスト

転移テスト(図4)では、保持テストと同様に最終的FB群の方が荷重量のばらつきは少ないが、保持テストに比べて同時的FB群の荷重量のばらつきが大きくなっていった。

Ⅲ-1-4. 統計学的検定の結果

13回施行時のパフォーマンス曲線の分布、保持テストおよび転移テストにおける同時的FB群と最終的FB群との2群間のばらつきを比較した。その結果、13回施行時のパフォーマンス曲

A: 同時的FB群



B: 最終的FB群

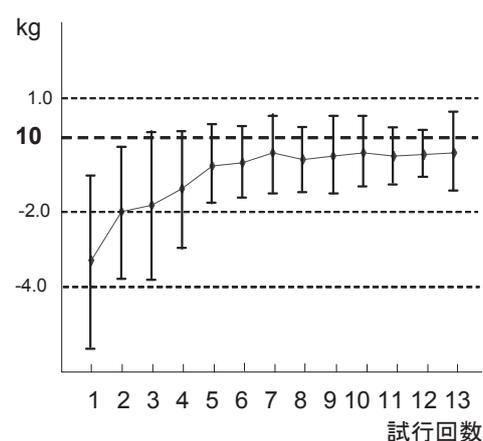


図2：測定結果：13回施行時のパフォーマンス曲線

A：同時的FB群は、フィードバックを与えた回は目標値付近に収束しているが、その他はばらつきがみられる。
B：最終的FB群は前半に大きな誤差が生じているが、徐々に目標荷重量付近に収束している。

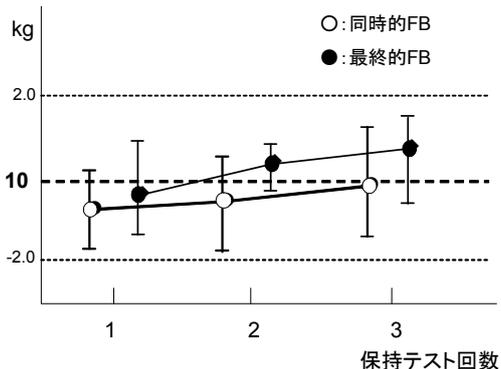


図3：測定結果：保持テストの結果
保持テストでは、同時的FB群（○）に比べて最終的FB群（●）の方がばらつきは少ない。

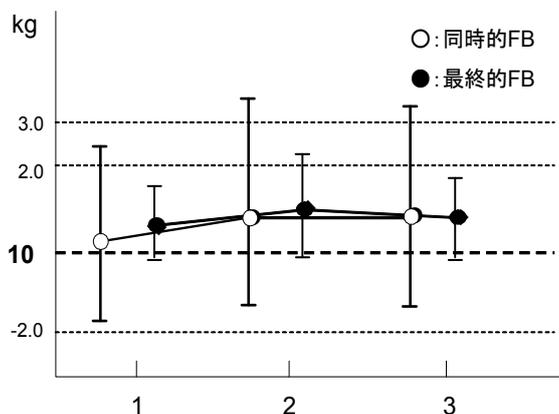


図4：測定結果：転移テストの結果
保持テストと同様に最終的FB群（●）の方がばらつきは少ないが、保持テストに比べて同時的FB群（○）のばらつきが大きくなっている。

線の分布では、同時的FB群に比べると最終的FB群に有意に荷重量のばらつきが大きかった ($p<0.01$)。また、保持テストと転移テストでは、同時的FB群に比べると最終的FB群は有意に荷重量のばらつきが小さかった ($p<0.01$)。

IV. 考察

本研究では、荷重課題の運動学習に対して与える時期の異なるフィードバックにおいて、臨床上よく使用される同時的FBと運動学習理論

に基づいて学習効果が高いとされている最終的FBのどちらに学習を促す効果が高いかを比較し検討した。その結果、最終的FB群はパフォーマンス曲線において課題施行前半から中盤にかけては設定基準値に対してばらつきが大きいが後半では設定基準値付近に収束し、あとの保持テスト、転移テストにおいて、同時的FB群に比べて有意に設定基準に近い荷重動作が可能であった。したがって、本研究の結果から荷重課題において用いるフィードバック方法は最終的FBの方が学習効果は高いことが示された。

フィードバックの効果について、杉原³⁾は、同時的FBは動作改善に対する即時効果が高く、最終的FBはフィードバックが取り去られたあとでもその改善された動作が保持されるため、学習効果が高いとしている。この効果の違いは、同時的FBではフィードバック産出依存性（フィードバックが与えられている時はパフォーマンスが向上するが、取り去られると大きく低下する）が発生しやすく学習効果は低くなると考えられ、最終的FBでは動作後に与えられたフィードバックと動作中に感じた自己の感覚情報を照合することで内在的フィードバックが活性化され、あとの動作を内的にコントロールしやすくなり学習効果は高くなったと考えられる。フィードバックと自己感覚情報の照合において、本研究課題のように安定した環境の中で行われる運動では、平衡感覚を含む身体の姿勢や位置や運動や筋の緊張を感じ取る働きとして体内からの感覚（筋運動感覚 kinesthesia）が重要な働きをする³⁾。また、筋運動感覚のように体内から受ける情報を内的フィードバック³⁾といい、最終的FBでは同時的FBに比べて動作試行中に筋運動感覚へ注意が向けやすくその内的フィードバックと施行後に与えられる最終的FBとの情報の照合が容易

になっていると考えられる。

本研究の結果、同時的FBのパフォーマンス曲線は最終的FBに比べてばらつきが少なく概ね目標荷重付近を推移していた。同時的FBは先行研究と同様に即時効果があることが考えられる。一方で、保持テストの結果では、最終的FBの方が同時的FBに比べて目標荷重付近でばらつきが少なかった。最終的FBは先行研究と同様に学習効果が高いことが考えられる。Winsteinら⁷⁾は、片側下肢への部分荷重動作に対し同時的FBまたは最終的FBを与えた後の保持テストでは、同時的FBより最終的FB群の方が高い学習効果を得たことを示した。したがって、上肢下肢における荷重課題では、最終的FBは同時的FBより目標荷重値の再現性が高く、学習効果も高くなることが示唆された。

臨床では、荷重量の調整やバランス保持などのリスク管理の観点から同時的FBが多用される。しかしながら、セラピストの監視または介助下でリスク管理を行ない、課題難易度を調整することによって最終的FBも適用することが可能であると考えられる。このことは、適切に部分荷重を学習し、病棟ADLにおいても部分荷重で過ごすことが出来れば筋力強化・廃用予防の観点からも有益であり部分荷重の運動学習を行う意義があると考えられる。

V. 今後の課題

本研究において、研究対象を健常者としたが、臨床の患者は荷重痛や筋力低下、運動麻痺など疾患に伴う随伴症状を合併していることが多い。したがって、今後は症例研究を重ね、実際のリハビリテーション場面における適応を検討する必要がある。

VI. まとめ

1. 荷重課題に対し同時的フィードバックと最終的フィードバックを与えてその効果の違いを比較した。
2. 荷重課題においても同時的FBではフィードバック産出依存性が発生しやすく最終的FBの方が効果的という仮説を検証した。
3. 保持テストと転移テストの結果から荷重課題では同時的フィードバックより最終的フィードバックの方が学習効果は高いことが示唆された。
4. 臨床では経験的に同時的フィードバックを行う場面が多いが、セラピストの介助などでリスク管理を行ない、また課題難易度を調整することによって最終的フィードバックは臨床において適用することが可能と考えられる。

【参考文献】

- 1) リチャード・A・シュミット (著), 調枝孝治 (監訳): 運動学習とパフォーマンス, 大修館書院, 1994.
- 2) Richard A.Schmidt, Timothy D.Lee.: Motor control and learning 4th edition.HUMAN KINETICS. 2004.
- 3) 杉原 隆: 運動指導の心理学, 大修館書院, 2004.
- 4) Sidaway.B.,Ahn.S.,Boldeau.P.,Griffn.S.,Noyes.B.,Pelletier.K.: A comparison of manual guidance and knowledge of results in the learning of a weight-bearing skill.J Neurol Phys Ther.Mar;32(1):32-8,2008.
- 5) 片田重彦 他: 整形外科手術後療法ハンドブック (改訂第3版), 南江堂, 1997.
- 6) 才藤栄一, 園田 茂 (編集): FITプログラム,

医学書院, 2003.

- 7) Carolee J Winstein., et al: Learning a Partial-Weight-Bearing Sill: Effectiveness of Two Forms of Feedback. Physical Therapy. Volume 76. Number 9. September, 1996.

Motor Learning Using Varied Loading Exercises

Daisuke Yajima¹⁾, Shohei Ohgi²⁾

1) Department of Rehabilitation, Kouga Hospital

2) Division of Rehabilitation Science, Seirei Christopher University

Key word : Weight bearing task, feedback, motor learning

Abstract

[Purpose] This study compared the effects of practice with either concurrent or postresponse feedback on the learning of partial weight bearing (PWB). [Subject] Twenty four young healthy adults volunteered for the study. [Methods] Subjects practiced bearing 10kg PWB of body weight while supporting the right hand palm on a floor scale. Augmented feedback was provided during each 13 trials for both concurrent and postresponse feedback groups. Subjects were also retested 10 minutes later for a no-feedback retention test. [Results] During practice, variation of the amount of bearing decreased over time in the postresponse feedback group compared to the concurrent feedback group. The postresponse feedback group was also the more accurate than concurrent feedback group during retention. [Conclusion] This study suggested that PWB task with postresponse feedback is beneficial compared with concurrent feedback for the learning of this sensorimotor skill.