ファンクショナル・リーチを用いた 姿勢最適化トレーニング

—言語指示と結果の知識との組合せによる運動学習への効果—

*Postural Optimization Training using Functional Reach
—The Motor Learning Effect of a Combination of Verbal Instructions using
Knowledge of Results—*

鈴木 博人^{1,2)} 石岡 勇樹³⁾ 一戸 広大⁴⁾ 川藤 沙文⁵⁾ 佐藤 菜摘⁶⁾
鳴原 さゆり⁷⁾ 津田 大輝⁸⁾ 梁川 和也²⁾ 藤澤 宏幸¹⁾

HIROTO SUZUKI, RPT^{1,2)}, YUKI ISHIOKA, RPT³⁾, KOUDAI ICHINOHE, RPT⁴⁾, SAFUMI KAWAFUJI, RPT⁵⁾, NATSUMI SATO, RPT⁶⁾,
SAYURI SHIGIHARA, RPT⁷⁾, HIROKI TSUDA, RPT⁸⁾, KAZUYA YANAGAWA, RPT MS¹⁾, HIROYUKI FUJISAWA, RPT PhD²⁾

¹⁾ Graduate School of Health and Environment Science, Tohoku Bunka Gakuen University: 6-45-1 Kunimi, Aoba-ku, Sendai-city, Miyagi 981-8551, Japan. TEL+81 22-233-6113 E-mail: hiroto-s@rehab.tbgu.ac.jp

²⁾ Department of Medical Welfare Tohoku Bunka Gakuen University, ³⁾ Department of Rehabilitation, Tsukuba Memorial Hospital, ⁴⁾ Department of Rehabilitation, Kensei Hospital, ⁵⁾ Department of Rehabilitation, Tokyo Jikei Hospital, ⁶⁾ Department of Rehabilitation, Saito Hospital, ⁷⁾ Department of Rehabilitation, Aida Hospital, ⁸⁾ Department of Rehabilitation, Tohoku Koseinenkin Hospital

Rigakuryoho Kagaku 27(1): 21-29, 2012. Submitted Jun. 17, 2011. Accepted Sep. 7, 2011.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to determine the motor learning effect of a combination of verbal instructions incorporating internal focus of attention (IFA) or external focus of attention (EFA), with knowledge of results (KR), on postural optimization training using functional reach (FR). [Subjects] Twenty-two university students without disability who volunteered to participate in this study were randomly assigned to the IFA group or the EFA group. [Methods] The horizontal distance between the lateral malleolus and the fingertip (FR distance) and the location of the center of gravity were measured at the following times: pre-test, 1st retention test, and 2nd retention test. After the pre-test measurement, participants performed 10 FR trials daily for five consecutive days (practice phase) and received verbal instructions and KR. FR distance was measured in all trials. [Results] The FR distance of the EFA group was significantly larger during the practice phase and the 1st and 2nd retention tests compared to the pre-test measurement; however, no significant difference in the FR distance was observed in the IFA group. [Conclusion] The results of this study suggest that the level of similarity between instructions and extrinsic feedback may influence the learning effect.

Key words: motor learning, posture control, verbal instruction

要旨:〔目的〕本研究では姿勢最適化トレーニングのモデルとして functional reach (FR) を取り上げ、言語指示における internal focus of attention (IFA) と external focus of attention (EFA) の運動学習への効果を結果の知識 (knowledge of results : KR) を与えた場合について明らかにすることを目的とした。〔対象〕健康な大学生 22 名とした。〔方法〕練習前後のテストにて FR における外果から第 3 指末端での水平距離 (FR 距離) および重心位置を測定した。練習前テスト終了後、被験者を無作為に IFA 群と EFA 群との 2 群に振り分け、5 日間連続で練習を実施した。各群へ同一の KR を与えた。〔結果〕EFA 群が運動学習に至ったのに対し、IFA 群は運動学習に至らなかった。〔結語〕EFA と KR の情報は類似性が高く、運動学習へプラスの効果を示した。指示情報と外在的フィードバック情報の類似性によって学習効果に影響を及ぼす可能性が示唆された。

キーワード: 運動学習, 姿勢制御, 言語指示

¹⁾ 東北文化学園大学大学院 健康社会システム研究科:宮城県仙台市青葉区国見 6-45-1 (〒981-8551) TEL 022-233-6113

²⁾ 東北文化学園大学 医療福祉学部 リハビリテーション学科, ³⁾ 筑波記念病院リハビリテーション部, ⁴⁾ 健生病院リハビリテーション科, ⁵⁾ 東京慈恵会医科大学付属病院リハビリテーション科, ⁶⁾ 齋藤病院リハビリテーション部, ⁷⁾ 会田病院リハビリテーション科, ⁸⁾ 東北厚生年金病院リハビリテーション科

I. はじめに

運動パターンおよび姿勢調節の最適化は、理学療法において重要な課題の一つである。理学療法士は障害を有する者や障害予防の観点から健常者に対して、運動学習の過程を通して最適な運動・姿勢調節を指導することを求められる。

運動学習では、強化事象が運動前に与えられる古典的条件付けと、それが運動後に与えられる道具的条件付けがある¹⁾。前者には言語指示やデモンストレーション、後者には外在的フィードバック (extrinsic feed back: 外在的FB) である結果の知識 (knowledge of results: KR) やパフォーマンスの知識 (knowledge of performance: KP) が含まれる¹⁾。理学療法において、説明 (指示) や外在的FBが運動学習に与える影響は大きく、それに対する具体的検証が為されてきている²⁻⁴⁾。

その中で、今回注目したいのは、言語指示において自己の身体へ注意を向けさせる internal focus of attention (IFA)⁴⁾と、身体外へ注意を向けさせる external focus of attention (EFA) の効果の違いである。すなわち、IFAは関節運動や具体的身体部位の運動軌道などに注意を向けさせるものであり、EFAは道具などの軌道に注意を向けさせるものである。Wulfら⁵⁾はゴルフのショットの精度を指標としてスウィングの運動学習過程におけるEFAとIFAの指示効果の差について検討している。指示内容としてはEFAではクラブの動きに注意を向けさせ、IFAではグリップの握り方であるとか上肢の動きに注意を向けさせた。結果として、EFA群の方が有意にショットの精度が高くなったと報告している。このように、多くの報告ではEFAの方がIFAよりも運動学習の効果が高いとしている⁴⁻⁷⁾。

一方、Perkins-Ceccat⁸⁾は、ゴルフのピッチショットを使った研究で、異なる技能をもつゴルファーへの指示効果の差について検討している。指示内容として、EFAではできるだけに近づくように打つことに注意・集中することを、IFAではゴルフスウィングのフォームへ注意・集中することとショット距離によってスウィングの強さを調節することを伝えた。結果として、IFA指示は、高い技能のゴルファーより低い技能のゴルファーにおいて有意にショットの精度が高くなったと報告している。このように、低い技能の対象者に対してはIFAが効果的であるとの見解を示している。

一般に、理学療法において対象者に身体の動かし方を言語指示することが多い。それは何より、対象者に適した運動パターンを理学療法士が知っているからに違いない。我々は、最適な運動パターンや姿勢を十分に知っている場合にはIFAがより効果的であると考えている。ただし、理学療法においては最適な運動パターンや姿勢が数値として明確であることは少ない。そのような中、藤

澤ら⁹⁾は前方へのファンクショナル・リーチ (functional reach: FR) について、体重心の位置をもとに、最も遠くへ手を伸ばすことのできる姿勢 (構え) を推定できるモデル (FRモデル) を開発した。これは、「可能な限り遠くへ手を伸ばす」という運動課題を与えた場合には、重心位置が決まれば最適な姿勢をモデルから推定できるものであり、その推定値と実際の姿勢との比較により姿勢調節能の評価やトレーニングに活用できると報告している。また、姿勢が最適な状態へ導かれる運動学習を含めた一連の過程を、姿勢最適化トレーニングと呼んでいる。このようにFRは単純な動作でありながら一義的には姿勢が決まらず、一方で最も遠くへ手を伸ばすことのできる最適な姿勢を推定できる数少ない動作であり、指示効果を検討するのに適していると思われる。

また、藤澤ら¹⁰⁾はFRを用いてIFAとEFAの指示の差異を検討し報告している。その結果、練習開始初期においてはIFA群の方がEFA群よりもパフォーマンスの向上がみられ、リーチ動作にプラスの影響を与えることを明らかにした。しかし、運動学習という面で、保持テストの結果においては両群に差がみられなかった。これは、両群に外在的FBが一切与えられていなかったことで、内在的フィードバック (intrinsic feedback: 内在的FB) に頼らざるを得ない状況にあったことの影響であるとしている。Shea⁷⁾らは、指示における注意の向け方の違いと外在的FBの有無による運動学習への効果を検証した結果、外在的FBがあった場合の方がより運動技能を高めたと報告している。このような点から、我々も外在的FBを与えることで、指示による運動学習効果を促すと考えている。

そこで今回、外在的FBしてKRを取り上げる。本研究において、指示方法 (IFA・EFA) と外在的FB方法 (KR・KP) の組合せにより4種類の介入方法が想定できる。しかし、KPを与えたEFA群 (EFA × KP群) を設定した場合、IFAとEFAの効果を検討することは困難であると考え、KPは運動パターンについての情報¹¹⁾であるため、明らかにIFAと関係性を有することが予測でき、EFAの指示に対してIFAのFBを与えることになる。したがって、KPを用いてIFAとEFAとによる言語指示の運動学習効果を検討することは困難であると考え、まずはKRの効果を検証することとした。

以上の経緯より、本研究では姿勢最適化トレーニングモデルとしてFRを取り上げ、最適姿勢を学習する過程において外在的FBとしてKRを与えた場合のIFAとEFAの効果を明らかにすることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

被験者はリーチ動作に影響を与える整形外科疾患のな

表1 被験者の形態学的特徴とプレテストにおけるFR距離

	n	男/女	利き手 (右/左)	年齢 (歳)	身長 (cm)	転子果長 (cm)	大転子・ 肩峰間 (cm)	上肢長 ・指尖間 (cm)	床から肩峰 間での高さ (cm)	足長 (cm)	体重 (kg)	プレテスト FR距離 (cm)
IFA群	11	4/7	11/0	19.7 (0.5)	164.8 (7.1)	74.5 (3.8)	53.4 (3.8)	70.7 (3.0)	132 (6.0)	24.2 (1.2)	57.9 (8.8)	105.6 (5.3)
EFA群	11	3/8	11/0	19.4 (0.5)	162.4 (9.3)	72.8 (4.2)	52.5 (2.8)	69.6 (4.3)	130.1 (8.1)	24.7 (1.9)	59 (12.5)	105.4 (7.2)

データは平均値(標準偏差)を表す。

い健康な大学生24名(年齢 19.5 ± 0.5 歳)とした。被験者には「姿勢調節に関する研究であること」、「測定は非侵襲的であること」を説明した後、書面にて参加の同意を得た。また、未成年者に対しては保護者からの同意も得た。

2. 方法

はじめにプレテストにて、形態計測を実施し、さらにFRにおける外果から第3指末端での水平距離(FR距離)および足圧中心の外果からの水平移動距離(重心位置)を測定した。プレテスト終了後、対象者を無作為にIFA群(12名:男性4名,女性8名)とEFA群(12名:男性3名,女性9名)の2群に振り分けた。24名のうち2名は実験途中にて体調不良のため除外し、最終的にはIFA群(11名:男性4名,女性7名),EFA群(11名:男性3名,女性8名)とした(表1)。プレテストを実施した後、2日後から5日間連続で練習期間を設けた。練習期間終了の翌日に第1保持テストを、その1週間後に第2保持テストを実施した。なお、被験者には実験終了まで、教示内容などについて他の被験者と情報交換を一切行わないように注意した。

プレテストにおいて、形態計測として身長、転子果長、大転子―肩峰間距離、上肢長(肩峰―第3指末端)、床面から肩峰までの高さ、足長、体重を測定した。体節長の測定にはマルチン式人体計測器を用いた。身長、足長および床面から肩峰までの高さについては立位にて、その他の体節長については背臥位にて測定した。

プレテスト、第1・第2保持テスト時に測定肢を利き手側とし、FR距離を2回測定した。その際、代表値は最大値とした。また、同時に重心位置を測定した。なお、踵が完全に浮いた場合には再測定とした。また、FR距離における両群の比較のために、プレテストからの変化量を算出した。

FR距離を測定するFR測定器を作製した。なお、ここでは左右の外果を結んだ線をz軸とし、その線の中点へ引いた前額面への垂線をx軸、水平面への垂線をy軸とした。また、この3軸の交点を原点として座標系を設定した。被験者を圧分布測定シート(BPMS, ニッタ製)の上に立たせ、左右の足底内側縁の間隔を15 cmに統一し

た。次に、利き手側上肢を肩峰の高さに保持させた。その後、肩峰から下ろした垂線が外果を通るように姿勢を修正した。最後に、足圧中心が左右の中心に位置するように姿勢を微調整し、開始姿勢を決めた。

プレテストの測定に際し、全被験者に対して、次の内容を音声付映像・映像内テロップとして提示した。①これから実際に行っていただく運動を説明します、②開始姿勢はこの姿勢です、③手を遠くに伸ばす運動です、④注意点を説明します、⑤指先は離さないでください、⑥ゆっくり動かしてください、⑦踵を浮かさないようにしてください、の7項目とした。また、テストにおいては、FR距離などの一切の結果を被験者にフィードバックしなかった。

重心位置はリーチ動作中に連続測定し、前方への最大到達点を計測した。また、後述するFRモデルによる最適姿勢の推定には、FR距離が最大値を示したときの重心位置を用いた。なお、本研究においては、リーチ動作が非常にゆっくりとした動作であることを前提に、足圧中心を重心の指標として用いた。

FR距離および重心位置の測定と同時に、矢状面においてビデオ撮影(iVIS HV30, Canon社製)を行った。肩峰、大転子上縁、大腿骨外側上顆直下、外果最大突出部にビニールテープによるマーカーを貼り付けた。マーカーは肩峰を除き $1.8 \text{ cm} \times 1.8 \text{ cm}$ とした。肩峰に限り安静立位において「肩峰と腋窩後縁を結ぶ線」と「肩峰と肩甲骨下角を結ぶ線」にビニールテープを貼り付け、この2本の線の交点を肩峰とした。角度の算出は、FRにおける最大到達点での肩関節、股関節および足関節の屈曲伸展角度とし、画像解析ソフト(TeamPro, Dartfish社製)にて1名の検者が解析した。なお、ビデオカメラの歪みの影響を避けるため、画面中央に被験者が映るよう、上述したx軸からビデオカメラまでの距離を4.5 mに設定した。また、カメラの高さは床面から0.85 mとした。なお、デジタルビデオカメラによる角度算出においても、検者内・検者間誤差は小さいことが報告されている^{12,13)}。

プレテストで測定した体節長と実測した重心位置から、FRモデル⁹⁾により指尖を最も遠くへ伸ばすことのできる最適な姿勢(構え)を対象者ごとに推定した(図1)。モデル計算に必要な体節の重心位置に関するデータは、

Winter¹⁴⁾によるものを参考にした。

各群は別室で、さらに個別に練習を行わせた。足底間隔及び開始姿勢、代表値は前述したテストと同様とした。練習回数は1日10回とした。練習中、FR距離を全試行記録し、各練習日の代表値は最大値とした。教示は各群とも2回行い、練習を始める前と、5回練習した後に与えた。IFA群においては自己の身体へ注意を向けるように、①股関節を曲げお辞儀をするようにして下さい、②伸ばした腕が耳の高さより上になるようにして下さい、③お尻を後ろへ引かないで下さい、の3点を言語教示した。この教示内容は、FRモデルを用いた藤澤らの研究において、最適な姿勢が概ね肩関節屈曲160度、股関節屈曲60度、足関節底背屈0度である⁹⁾ことを基に決めたものである。一方、EFA群においては、自己の身体外(物体)へ注意を向けるように、①赤いバーをなるべく遠くへ押して下さい、②台車をなるべく遠くへ移動させるようにして下さい、③緑色と青色のテープがなるべく離れるようにして下さい、の3点を言語教示した。この教示内容は、全てFR距離の増大に伴うFR測定器の移動を表現するように決定したものである。また、言語教示を行った後、指先がバーに触れるように肩関節を90度屈曲させた状態で外果と肩峰の位置を合わせた。

今回、外在的FBとしてKRを用いた。また、KRを要約フィードバック(summary feedback: 要約FB)として与えた。KRの内容は、「最大値」と「プレテストの最大値と比較し変化した結果」とし、両群ともに同様の内容とした。ここでの最大値とは外果と指先から降ろした垂直線の距離を測定し、10回のうち最も距離が増大した

値を最大値とした。1, 2回目の外在的FBは「3試行中の結果の最大値」と「プレテストの最大値と比較し変化した結果」を提示した。3回目は「4試行中の結果の最大値」と「プレテストの最大値と比較し変化した結果」を提示した。4回目は「テスト全体での最大値」と「プレテストの最大値と比較し変化した結果」を示した。外在的FBを与えるタイミングは、第3試行目の終了後に1回目、第6試行目の終了後に2回目、10試行目が終了後に3, 4回目のFBを与えた。

方法と注意事項の理解の確認、外在的FBの効果の有無、テストに対するモチベーション、被験者の教示に対する注意の向け方と心理的反応、検者の意図した教示内容がどのように伝わっているかを確認するため、第2保持テスト終了後にアンケートを実施した。アンケートは、8項目で構成され、選択式が6項目、自由記述が2項目とした(表2)。

統計学的解析について、FR距離の変化量に対しては、教示方法(2水準)と計測日(8水準)の2要因による二元配置分散分析を行った。また、多重比較についてはShafferの方法を用いた。重心移動距離に対しては、教示方法(2水準)と計測日(3水準)の2要因による二元配置分散分析を行い、多重比較についてはFR距離同様、Shafferの方法を用いた。一方、アンケート結果に対しては、2×2分割表のみFisherの正確確率検定を適応した。解析には統計ソフトRと表計算ソフトMicrosoft Excelを用いた。統計学的有意水準は危険率5%未満とした。

図1 ファンクショナル・リーチにおける幾何学モデル (FRモデル)。 l_1 : 転子果長, l_2 : 大転子-肩峰間距離, l_3 : 上肢長, r_1 : 足関節から下肢(L/E)の重心(COGL/E)までの距離, r_2 : 大転子から頭部・上肢・体幹(HAT)の重心(COGHAT)までの距離, FL: 足長, COG: 体重心, COG position: 体重心のx座標, α : 垂直軸からの下腿の傾斜角(プラスが前方), β : 垂直軸から体幹の傾斜角(プラスが前方), γ : 垂直軸からの上肢の傾斜角(プラスが前方)。

表2 トレーニングに関するアンケート調査内容

番号	質問内容	選択肢
1-1	ビデオで「前方へのリーチ動作の方法と注意点」を提示しました(測定初日)が、以下の項目の中で、練習期間とその後2回の測定の時点で忘れていた項目はありますか。該当する項目に○をてください。	①手を遠くに伸ばす運動である ②もうこれ以上伸ばせないところまで達したら、元の姿勢に戻る。 ③ゆっくりと動かす。 ④指先は離さない。 ⑤動作中、踵は浮かしてはいけない。
2-1	課題であった「前方へのリーチ動作」を反復練習している際に、うまく前方へリーチできているかどうかを考えましたか。どちらかに○をつけてください。	①考えた ②考えなかった
2-2	2-1で「①はい」と答えた方にお聞きします。どのような情報をもとにうまく前方へリーチできているか判断しようとしたか。(自由記述、複数回答可)	
3-1	練習期間が5日間(9月28日～10月2日)ありましたが、自分の「前方へのリーチの仕方」が良いのかどうか迷った時期がありましたか。どちらかに○をつけてください。	①あった ②なかった
3-2	3-1で「①あった」に○をつけた方にお聞きします。何日目に一番迷いましたか。該当する項目に○をつけてください。	①1日目 ②2日目 ③3日目 ④4日目 ⑤5日目
4-1	「前方へのリーチ動作」を行う際に、「結果の数値」を参考にし、数値を伸ばそうと意識しましたか。どちらかに○をつけてください。	①はい ②いいえ
5-1	5日間の練習期間を終えて、自分は前方へのリーチ動作が上手くなったと感じましたか。どちらかに○をつけてください。	①感じた ②感じなかった
5-2	5-1で答えた理由を何ですか。(自由記載、複数回答可)	

III. 結 果

プレテスト時の比較において、群間で形態計測値に差はなかった。また、FR距離についても両群に差は認められなかった(表1)。

プレテストを基準とした最大FR距離の変化量は、分散分析の結果、測定日にのみ主効果がみられ($F(7,140)=19.54$, $p<0.001$)、教示方法については有意な主効果が認められなかった($F(1,20)=0.11$, NS)。また、交互作用は有意であり($F(7,140)=2.92$, $p<0.01$)、単純主効果を分析した結果、練習4日目($F(1,20)=5.42$, $p<0.05$)と練習5日目($F(1,20)=4.43$, $p<0.05$)のEFA群でIFA群よりも有意に大きかった。また、多重比較の結果、プレテストと比較してEFA群において練習4日目と練習5日目($p<0.001$)、練習1日目、2日目と3日目、第2保持テスト($p<0.01$)、第1保持テスト($p<0.05$)で有意に値が大きかった。しかし、練習5日目と比較した場合、第1保持テスト($p<0.001$)と第2保持テスト($p<0.01$)において有意に値が低下していた。一方、IFA群はプレテストと比較し、研究期間を通して有意な値の変化を示さなかった(表3)。

重心位置はプレテスト、第1および第2保持テストにお

いて、IFA群で各々 12.8 ± 1.5 , 15.2 ± 2.3 , 14.5 ± 2.2 cm, EFA群で各々 14.8 ± 1.1 , 15.4 ± 1.2 , 15.9 ± 1.0 cmであった。群間及び研究期間を通して有意な差は認められなかった。

一方、FRモデルによる最適関節角度は、概ね肩関節屈曲164度、股関節屈曲58度、足関節底屈3度であった。これに対して、両群とも徐々に最適値に近づいた(表4)。

アンケート調査の結果を表3に示す。質問1では、両群ともに多くの被験者が練習期間と保持テストを通して「運動の目的」や「注意点」を覚えていた。質問2-1では「考えた」と回答したものがIFA群で11名、EFA群では10名と有意ではなかった。質問2-2では自由記述(複数回答可)を「身体の状態」、「外部の情報」、「フィードバック」、「その他」に分類した結果、IFA群で「身体の情報」、EFA群では「外部の情報」が最も多かった。質問3-1では「あった」と回答したものがIFA群で9名、EFA群では5名と有意ではなかったが、IFA群で多い傾向を示した。質問3-2では両群ともに練習期間の前半に大きく回答が偏った。質問4では「はい」と回答したものがIFA群で9名、EFA群で11名と有意ではなかった。質問5-1では「感じた」と回答したものがIFA群で5名、EFA群では9名と有意ではなかったが、EFA群で多い傾向を示した。質問5-2では自由記述(複数回答可)を質問2-2同様、「身体の状態

表3 FR距離のプレテストからの変化量の経時的変化

	練習期間					保持テスト	
	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	第1	第2
IFA n=11	3.4 (4.4)	2.9 (4.7)	3.5 (4.6)	3.5 (4.4)	3.4 (5.0)	3.5 (5.4)	2.9 (5.8)
EFA n=11	5.8 ** (3.1)	6.2 ** (3.3)	6.7 ** (3.3)	7.1 *** (2.7)	7.2 *** (3.1)	4.4 * (3.3)	5.4 ** (3.1)

データは平均値(標準偏差)を表す。テスト日・練習日ともに最大値を代表値としている。単位: cm
 教示方法の単純主効果: †(p<0.05), 計測日の単純主効果(プレテストの比較): *(p<0.05), **(p<0.01), *** (p<0.001)

表4 ファンクショナル・リーチにおける姿勢の変化

IFA	プレテスト		第1保持テスト		第2保持テスト	
	実測値	最適値	実測値	最適値	実測値	最適値
肩関節屈曲	131.6 (14.5)	164.0 (0.3)	143.9 (13.6)	164.1 (0.4)	143.9 (13.7)	164.1 (0.4)
股関節屈曲	34.4 (11.9)	58.8 (1.3)	45.2 (12.5)	58.2 (1.4)	43.4 (11.5)	58.2 (1.5)
足関節背屈	4.4 (3.1)	-3.7 (1.3)	1.8 (3.7)	-3.0 (1.7)	1.1 (2.6)	-3.1 (1.7)

EFA	プレテスト		第1保持テスト		第2保持テスト	
	実測値	最適値	実測値	最適値	実測値	最適値
肩関節屈曲	129.4 (9.4)	164.0 (0.3)	140.1 (8.6)	164.1 (0.4)	143.3 (10.0)	164.1 (0.4)
股関節屈曲	32.5 (9.1)	58.8 (1.3)	41.1 (7.8)	57.1 (1.4)	44.0 (9.3)	58.2 (1.5)
足関節背屈	5.5 (3.1)	-3.7 (1.3)	3.6 (3.2)	-3.0 (1.7)	3.7 (3.0)	-3.1 (1.7)

データは平均値(標準偏差)を表す
 単位: °

態」, 「外部の情報」, 「フィードバック」, 「その他」に分類し, さらに「感じた」群と「感じなかった」群で分けた。その結果, 「フィードバック」の回答が最も多く, IFA群では「感じた」群で4名, 「感じなかった」群で4名, EFA群では「感じた」群で8名, 「感じなかった」群では1名となった(表5)。

IV. 考 察

本研究では, 最適姿勢を学習する過程において外在的FBとしてKRを与えた場合の言語教示の効果を検討した。今回, FR距離のプレテスト時からの変化量をパフォーマンスの指標とした。また, 保持テスト時のFR距離の変化量が, プレテストと比較して有意に変化していた場合, 運動学習の効果があったと定義する。その結果, FR距離の変化量としては, 保持テストにおいてEFA群

は運動学習効果がみられたのに対し, IFA群は運動学習に至らなかった。この結果は, 藤澤らの先行研究¹⁰⁾による両群に運動学習の効果がみられなかったという報告と異なる。また, 練習開始初期において確認されたIFA群のプラスの効果¹⁰⁾も, 本研究ではIFA群ではなくEFA群にて確認された。一方, 姿勢としては, 重心位置が有意に変化していなかったにもかかわらず両群ともに最適値に近づいていた。加えて, 両群ともに教示へ意識を向けていた被験者が多かったことがアンケートよりわかった。

本研究により, 教示と外在的FBにおける情報の類似性によって学習効果に影響を及ぼす可能性が示唆された。EFA群では, 教示情報と外在的FB情報の類似性が高かったために自己の姿勢を修正しやすく, パフォーマンスが向上し運動学習に至ったと考えられる。具体的に示すと, 教示一つ一つがFR距離を伸ばすことに繋がったこと, EFA教示にて注意を向けられた測定器の移動距離をKR

表5 トレーニングに関するアンケート結果

	EFA 群 n=11	IFA 群 n=11	有意差
1-1 プレテストでの注意点のうち その後の練習・測定で失念していた内容(延べ回答数)			—
手を遠くに伸ばす運動である	0	0	
これ以上伸ばせないところまで達したら、元の姿勢に戻る	2	0	
ゆっくりと動かす	3	3	
指先は離さない	1	0	
動作中、踵は浮かしてはいけない	1	0	
なし	6	8	
2-1 練習中、うまくできているかを考えたか(被験者数)			ns
Yes	10	11	
No	1	0	
2-2 どのような情報をもとに、 うまくできているかを判断したか(延べ回答数)			—
身体の状態	2	7	
外部の情報	5	2	
フィードバック	2	5	
その他	2	1	
3-1 リーチ動作の仕方がうまくできているかどうか、 迷った時期があったか(被験者数)			ns
Yes	5	9	
No	6	2	
3-2 何日目に迷ったか(延べ回答数)			
1日目	5	7	
2日目	0	1	
3日目	0	3	
4日目	0	1	
5日目	0	1	
4-1 リーチ距離の結果(数値)を参考にし、 数値を伸ばそうと意識しましたか?(被験者数)			ns
Yes	11	9	
No	0	2	
5-1 前方へのリーチ動作がうまくなったと感じたか(被験者数)			ns
Yes	9	5	
No	2	6	
5-2 5-1の回答理由(延べ回答数)			—
Yes 身体の状態	2	2	
外部の情報	0	0	
フィードバック	8	4	
その他	0	0	
No 身体の状態	1	3	
外部の情報	0	0	
フィードバック	1	4	
その他	1	0	

としてフィードバックしたことが挙げられる。これに対して、IFA群はプレテストと比較し、練習期間・保持テストを通して有意な変化がみられなかった。この要因の一つとして、IFA群に対してのKRは、自己の姿勢を修正するための外在的FBにはなりにくかったことが挙げられる。すなわち、教示と外在的FBにおける情報の類似性が低く自己の姿勢を修正しにくかったために、練習期間および保持テストにおいて有意に変化しなかったと考えられる。もう一つの要因として、IFA群はEFA群に比べFR距離変化量と姿勢変化の結果において個人差が大きかったことが挙げられる(表3・4)。今回のIFA群の教示は、3つの教示全てを適切に組み合わせなければFR距離を伸ばすことができない、「身体をどの程度動かすのか」を教示していたいという特徴を有する。したがって、各自が教示を解釈し運動の程度を決定する必要がある。各被験者によって教示内容の解釈が大きく異なる可能性があった。この解釈の差異を軽減する手段として、IFA教示に対してKPを与えることを提案する。KPは運動パターンについての付加的情報¹¹⁾であり、IFA教示の情報と類似性が高いと考えられる。この方法を採用することにより、IFA教示の効果を高めることができるのではないかと推測する。以上のような点で、KRがIFA群の教示よりEFA群の教示の効果を高めるものであったことが、EFA群の運動学習を促したのではないかと考える。

しかし、EFA群は練習5日目と比較し、保持テストにおいて有意にパフォーマンスが低下していた。これは、教示と外在的FBが取り除かれたことによる影響と考える。すなわち、EFA群は教示や外在的FBに依存していた可能性があるかと推察できる。フィードバック(feedback: FB)は、パフォーマンスを促進する一方で、FBが取り除かれた際にパフォーマンスを低下させるという依存性産出効果(以下、依存効果)を生み出す¹¹⁾。この依存効果は、EFA教示の特徴による要因と、要約FBの頻度による要因とが影響していると考えられる。まず前者についてであるが、本研究にて設定したEFA教示はFR測定器の移動へ注意を向けさせるものであった。そのため、EFA群はFR測定器の移動量を知ること、つまり、FRの相対的な位置情報やKRを得ることが自己のパフォーマンスを知る手段であったと考えられる。このことを裏付ける結果がアンケートに表れており、EFA群の多く被験者は外部の環境へ意識を向け、かつ、外在的FBのみを参考として自己のパフォーマンスの程度を判断しているものが多かった。よって、保持テストの測定条件下では自己のパフォーマンスの程度を知る手段が失われ、パフォーマンスが低下したと推察する。この点において、IFA群は身体の情報に参考しているものもあり、教示を上手く解釈できたものはパフォーマンスの程度を知る手段を獲得していた可能性がある。次に後者について述べる。今回、依存効果の増大を考慮して要約FBを採用した。

要約FB¹¹⁾は、試行毎のFBではなく一定の試行数の結果を要約してフィードバックするものであり、頻繁なFBによる依存効果を防ぎ、学習において効果的であるとされている。また、要約する試行数により「指導量(FBの頻度)」と「依存効果」とが相反関係を示すと解釈できる。具体的に示すと、指導量の増加に伴い依存効果が高まってしまうということである。したがって、この相反関係がちょうど均衡を保つように要約FBの最適な試行数を決定する¹¹⁾必要がある。本研究では3試行毎、4試行毎および10試行全体と計4回の要約FBを行った。しかし、Schmidtら¹⁵⁾の要約FBの異なる試行数に関する研究によると、5試行の要約FBが学習という面で最もよかったとしている。これを本研究にあてはめると、要約FBを2回与えることとなり、4回の要約FBは高頻度であった可能性がある。また、要約FBと課題の複雑性について、課題の複雑性が増すほど要約FBを頻繁に与える必要があるとされている¹¹⁾。本研究にて学習課題と設定したFRは比較して単純な動作であるため、要約FBの頻度を低くする必要があったと推察できる。しかし、現段階で本課題の特性を考慮した最適な要約の長さ・FBの頻度を明確に提示することはできない。この点については今後の検討課題であると考えている。加えて、同様のFB方法を用いたIFA群は、依存効果を示すことなくパフォーマンスを保持しているようにも観察できる(表3)。しかし、プレテストと比較した場合、IFA群が研究期間を通して有意に変化していない点やばらつきが大きいという特徴を有している点を加味すると、今回の結果からその点について考察することは困難であると判断する。

一方、姿勢変化としては、両群ともに重心位置に有意な変化が見られなかったにもかかわらず最適値に近づいていた。Jonssonら¹⁶⁾は高齢者を対象とした研究においてFRT測定値と足圧中心の移動量との相関関係が低いことを報告している。また、藤澤ら⁹⁾は、幾何学モデルを用いた重心移動を伴わないFRについて検証しており、前後方向へ重心位置を変化させずに姿勢を変えるだけで前方へのリーチが可能であることを明らかにしている。健常者を対象とした本研究においても、重心位置の有意な変化なしにFR距離が延長している。つまり、このFR距離の延長は、姿勢変化によってもたらされたものであると言える。また、姿勢が最適値に近づいたことを観察できた一方で、さらに姿勢を最適化する余地があることを確認した(表4)。姿勢の最適化が未習熟であった要因の一つとして、具体的な目標を与えていなかったことが挙げられる。すなわち、本研究の課題は「手をできるだけ遠くに伸ばす」という抽象的なものであり、かつ、KRとしてFR距離をプレテストからの変化量として与えたため、課題達成の基準となる目標が提示されていなかった。これにより、自己の姿勢を修正しにくかったと考えられる。目標を設定することは動機づけを生み、パフォー

マンスへより大きな利益をもたらす¹¹⁾とされている。よって、目標を設定することは教示と外在的FBによる運動学習への効果の補助的に促す役割を果たすのではないかと推察する。

臨床場面において、理学療法士は最適な運動・姿勢調節を指導する際に、言語教示や外在的FBを多く用いる。そして、言語教示による注意の向け方は運動学習効果に影響すると言われている^{3-8,10)}。本研究の結果を踏まえると、言語教示による注意の向きだけではなく教示と外在的FBの類似性をも意識した上で指導を実践することは、対象者が効率的に運動・動作を習得するための一助となるのではないかと考える。

本研究の結果は、KRがEFA教示の効果を高める可能性があり、教示情報と外在的FB情報の類似性による影響を示唆するものであった。この結果を踏まえ、教示と外在的FBの情報の類似性の影響について検討していく必要があると考える。しかし、前述したようにEFAとKPとの組み合わせを検討することは難しい。一方、IFA教示とKPは、ともに身体へ注意を向けさせる情報を有している。よって、二つの情報の類似性は高いと推察する。したがって、IFA教示とKPとを組み合わせた条件において、教示と外在的FBにおける情報の類似性が運動学習へ与える影響を検討することは価値があると考え。さらに、教示と外在的FBにおける情報の類似性を考慮した上で目標設定することが、姿勢の更なる最適化を補助するのではないかと推察する。よって、今後はIFA教示に対しKPをフィードバックした場合の効果について、FBの頻度や目標設定をも考慮した上で検討していくことが必要であると考え。

引用文献

- 1) 丸山仁司, 竹井 仁, 黒澤和生: 評価から治療手技の選択〔中枢神経疾患編〕. 文光堂, 東京, 2006, pp336-347.
- 2) Winstein CJ: Knowledge of results and motor learning- Implications for physical therapy. *Phys Ther*, 1991, 71(2): 140-149.
- 3) McNevin NH, Wulf G, Carlson C: Effect of attentional focus, self-control, and Dyad training on motor learning : Implications for physical rehabilitation. *Phys Ther*, 2000, 80(4): 373-385.
- 4) Wulf G, Weight M, Poulter DR, et al.: Attentional focus on supra-postural tasks affects balance learning. *Q J Exp Psychol*, 2003, 56A:1191-1211.
- 5) Wulf G, Lauterbach B, Toole T: The learning advantages of an external focus of attention in golf. *Rec Q Exer Sport*, 1999, 70(2): 120-126.
- 6) Wulf G, Höß M, Prinz W: Instructions for motor learning: Differential effects of internal versus external focus of attention. *J Mot Behav*, 1998, 30(2):169-179.
- 7) Shea CH, Wulf G: Enhancing motor learning through external-focus instructions and feedback. *Human Movement Science*, 1999, 18: 553-571.
- 8) Perkins-Ceccato N, Passmore SR, Lee TD: Effect of focus of attention depend on golfer's skill. *J Sports Sci*, 2003, 21: 593-600.
- 9) 藤澤宏幸, 武田涼子, 有末伊織・他: ファンクショナル・リーチにおける姿勢の最適化に関する研究—幾何学モデルによる検証—. *理学療法学*, 2008, 35(3): 96-103.
- 10) 藤澤宏幸, 武田涼子, 村上賢一・他: ファンクショナル・リーチを用いた姿勢最適化トレーニングにおける internal focus of attention と external focus of attention の教示効果の差異について. *理学療法の手引き*, 2010, 21(1): 23-31.
- 11) Schmidt RA: 運動学習とパフォーマンス. 大修館書店, 東京, 2006, pp175-181.
- 12) 芥川知彰, 西上智彦, 榎 勇人・他: 2次元での簡易的な身体角度計測の信頼性—臨床普及の観点から—. *理学療法科学*, 2007, 22(3): 369-372.
- 13) 佐藤洋一郎, 村上賢一, 藤澤宏幸: デジタル画像における角度測定の測定誤差—画面内区画およびカメラ機種による違い—. *理学療法科学*, 2010, 25(6): 977-981.
- 14) Winter DA: Biomechanics and motor control of human movement 2nd ed, John Wiley & Sons, York, 1990, pp51-74.
- 15) Schmidt RA, Lange CA, Young DE: Optimizing summary knowledge of results for skill learning. *Human Movement Science*, 1990, 9: 325-348.
- 16) Jonsson E, Henriksson M, Hirschfeld H: Does the functional reach test reflect stability limits in elderly people. *J Rehabil Med*, 2002, 35: 26-30.