

描画運動学習における動作対側体軸訓練の 運動性向上効果

鈴木 浩太^{*1}・吉田 茂^{*2}
篠田 晴男^{*3}

Improvement of Mobility by Contralateral Body-axis Training in Ellipse-drawing Tasks

SUZUKI Kota, YOSHIDA Shigeru,
SHINODA Haruo

Abstract

We investigated the effects of a training to make a body-axis opposite to an active hand on ellipse-drawing tasks. The training was 1) adjusting posture, 2) starting to move from the hip, 3) drawing ellipses with a non-dominant hand. Six male right-handed participants were divided into two groups: Training group that practiced the training and Control group that practiced just ellipse-tracing. Drawing speed was significantly improved after the training in Training group, whereas the accuracy of drawing was maintained in both groups. These findings suggest that the training is effective for improving mobility in ellipse-drawing.

[Keywords] drawing, motor learning, degrees of freedom, a contralateral body-axis training

問 題

学習は、身体運動を通して成立される。学校体育やスポーツだけではなく、教室で行われる学習活動（勉強）においても身体運動が関係する。なぜならばこれらの活動において、多くの知識が描画運動（drawing）を媒介として獲得されるからである（例：板書のノートへの視写、漢字や算数のドリル）。また学習困難と運動協調の関係の調査において、学習困難のある8歳児の50%、12歳児の29%が運動協調の問題が併存していることが報告されている（Sugden & Wann, 1987）。すなわち学習困難の原因の1つとして、描画運動の困難さが考えられる。したがって描画運動困難者や描画運動初期の児童のための描画運動学習法が求められている。

描画運動学習は、運動性を高める過程と精度を上げる過程に分類することができる。運動性を高めなければ、精度を上げることができないため、初期の学習においては、運動性を高めることが重要である。しかしながら学習初期において行われる学習方法は、精度を重視するため、過度の緊張を引き起こしてしまう。その結果、運動性を低下させるだけでなく、精度についても低下させ、学習を遅らせる。

運動性の低下は、自由度の凍結として捉えることができる。自由度とは運動時に、制御すべき変数である。人間の運動において、関節や筋の運動方向のように多くの自由度（冗長な自由度）が存在する。Vereijken et al. (1992) は、スキーシミュレータへの適応過程を観察した。学習初期は、腰、膝、踝の自由度を別々に制御することが困難であるため、これらの自由度を固定（自由度の凍結）することで、制御の困難さを解決することが観察された。学習後期では、これらの自由度を部分的に緩め（自由度の解放）、課題に適応した動きに変化させていることが観察された。すなわち運動学習過程には、学習初期の自由度の凍結とその後の解放が観察される。しかしながら、学習初期の自由度の凍結は、参加者が運動性の低い動作で課題に対応してしまうため、協調した動作の獲得を遅らせてしまう（Newell &

* 1 立正大学大学院心理学研究科心理学専攻博士課程

* 2 筑波大学人間総合科学研究体育科学専攻

* 3 立正大学心理学部教授

Vaillancort, 2001)。したがって運動指導者は、学習者が学習初期の自由度の凍結に留まることを避けるため、自由度の解放を促すように指導を行わなければならない。

さらに自由度の解放の過程は、運動課題に特有な形で行われる。ダーツ投げ課題においては、体全体を固定してダーツを投げる動作から、肘や肩を固定した状態で、手首の自由度を解放し、手首で投げる動作に変化することが報告されている (McDonald et al., 1989)。また描画運動については、体幹近位の運動から遠位の運動への発達的な変化が観察される。尾崎 (2000) は、幼児の描画運動の発達の変化を観察した。年少児は体幹近位の肩関節運動が観察されるが、年長になるにつれ、肘関節運動から遠位の手関節運動に移行した後、最終的に遠位の指関節運動に変化することを報告した。描画運動の指導場面においても、体幹近位の運動から遠位の運動への発達的な変化に従い、その変化を促進させるような指導を行っていくことが重要である。

Johnston et al. (2002) は発達性運動協調障害 (Developmental coordination disorder: DCD) 児と定型発達児の到達運動について筋電位を用いて比較した。定型発達児と比較して DCD 児は速度が遅いことが示され、定型発達児は、体幹部の筋活動の後に、肩の筋活動が発生するが、DCD 児は肩の筋活動の後に、体幹部の筋活動が発生した。すなわち、腰部発動の協調した動きができていない DCD 児は速度が遅い結果となった。したがって、運動性の違いは速度によって反映されることが考えられた。

また姿勢の安定性が、描画などの微細運動に影響を与えることが報告されている。Miyahara et al. (2008) は、良筆児と悪筆児の描画の失敗時に観察される体の動きを調査し、頭や肩の動きから推察される体の不安定性が悪筆の原因であることを示唆した。描画以外においても、姿勢の安定性が上肢運動の技能と関係することが報告されている。座ることのできない乳幼児は、体幹部を補助する椅子によって到達運動が改善され (Hopkins & Rönqvist, 2001)、姿勢の安定性が高い外科医ほど外科の練習課題の成績が高いことが報告されている (Lee & Park, 2008)。すなわち姿勢の不安定性は、動作手の不安定性を引き起こし、余分な動作手の制御を必要とさせてしまう。またこのような余分な動作手の制御は、動作手の緊張を高め、描画運動の運動性を低下させてしまうことが推測される。そのため描画運動において、描画動作の学習の前に、姿勢の安定性を改善させる訓練を行うことで、学習が促進されることが考えられた。

姿勢を安定させる動きとして、自発的な運動を開始する前に、その後のバランスの乱れを予測して、先行随伴性姿勢調整が行われる。先行随伴性姿勢調整は、身体の重心と足底部の圧中心を一致させるための動きであると報告されている (Stapley et al., 1999)。また片手の運動をする際には、動作手と対側の腰や足に随伴性姿勢調整が観察される (Shiratori & Aruin, 2004)。すなわち、動作を行う腕と反対側に重心を移動させることによって、体軸を動作の対側に形成し、全身の安定性を保証している。したがって片手動作の安定性を高めるためには、動作手と対側に体軸を形成することが必要である。

以上を踏まえて、本研究では、姿勢の不安定性及び初期の自由度の凍結の解決方法として、描画手の対側に体軸を形成し、体幹部始動の学習を行う動作対側体軸訓練 (対側軸訓練) を設定した。また非利手に対して、対側軸訓練を行うことによって、その学習効果を検証し、描画運動の学習方法としての有効性を検討した。

方 法

1. 対象

右利きの大学院生男性 6 名 (22 - 24 歳) を実験参加者とした。実験に先立ち、訓練及び実験内容について十分に説明を行い、書面にて同意を得た。実験参加者を各 3 名の訓練群と統制群に能力が均等になるように分類した。

2. 楕円描画課題

訓練の開始前と開始後に楕円描画課題を行った。実験参加者に、ペンタブレット (Wacom 社製 CTE-630) 上の用紙に描かれた楕円の線を非利手 (左手) でなぞることを要請した。楕円は、楕円大 (長径 150mm、短径 50mm) 及び楕円小 (長径 30mm、短径 10mm) であり、参加者の描画手から約 30cm の位置に長径が縦となるように配置した。また実験参加者は、頂点を開始点とし、内回り (時計回り) 及び外回り (反時計回り) で、各楕円について連続的に 10 回描画を行った。

3. 装置及び筆跡

ペンタブレットを用いて、実験参加者の筆跡を記録した。筆跡は、サンプリング周波数 50Hz で記録された。各サン

プリング時点について、3点微分法を用いて速度を算出した。また楕円周を局所的に描画した時の誤差の評価のために、法線誤差 (norm error : NE) を算出した。楕円の接線に垂直で接点を通る法線上のサンプリングされた点までの距離を NE とした。楕円周内であれば負、楕円周外であれば正の値とした。これらの値を、時間単位で記録された各サンプリング時点間の勾配から角度単位に変換した。各参加者の各誤差の楕円一周分の平均を法線恒常誤差 (norm constant error : NCE) とし、楕円一周の平均の絶対値を法線絶対恒常誤差 (norm absolute CE : NACE) とした。精度の評価には NACE を用いた。描画動作の運動性の評価のために、楕円一周分の最大速度を用いた。楕円10周分の平均を分析に用いた。

4. 動作対側体軸訓練

訓練群は対側軸訓練 (約40分、週5日、3週間、計15回) を行った。表1に訓練段階表を示す。右利の成人を実験参加者としたため、左非利手を描画手とした訓練を行った。姿勢の不安定性は、体幹部始動の学習を遅らせることが予測されたため、姿勢形成後に体幹部始動の学習を行う訓練を設定した。描画動作を行う座位では、通常、体側軸訓練に重要な腰部が椅子によって制限されているため、対側軸訓練の達成が容易でないと判断した。したがって本訓練は、立位と座位に訓練段階を分けて、立位から訓練を開始し、座位の訓練では、立位で得られた技能の座位における応用を目指した。訓練は立位・姿勢の形成、立位・描画動作、座位・姿勢の形成、座位・描画動作の順に行った。重心を右足の上に移動させるために、右片足立ちの状態でもひもを引っ張ること及び左足を右足の後ろに添えて片足立ちをする動作を行った。20sの安定基準を超えた場合に課題達成とし、次の課題に進んだ。

立位・描画動作では、腰部発動の動きを獲得するために「左腕を振る動作」を行い、腰部発動の動きでの楕円描画を獲得するために「左描画手の大きな楕円の描画」を行い、腰部発動の動きを維持した状態で、小さな楕円を描画することを達成するために「左描画手の大きな楕円から小さな楕円の描画」を行った。「左腕を振る動作」では、腰部発動の動きを意識しやすくするため、右手を引く動作と同時に左手を振る動作から練習を始め、最終的には右手を引かなくても課題が達成できるように練習を行った。「左描画手の大きな楕円の描画」では、筆及び鉛筆で直径約30cmの大きさの円及び楕円を連続して描画した。「左描画手の大きな楕円から小さな楕円の描画」では、筆及び鉛筆で円及び楕円を直径約30cmの大きさから約5cmの大きさになるまで縮小していった。左側面よりビデオ撮影を行い、腰部発動の動きが確認された時点で課題達成とし、次の課題に進んだ。

座位では、座位と立位の比較を行い、参加者が座位と立位の感覚が一致したと判断し、実験者が目標とする動作が獲得されたと判断された時点で課題達成とし、次の段階に進んだ。座位・姿勢形成では、右に体重をかけた状態で足を伸ばしてから膝を上げることで、左骨盤が下った感覚を獲得する訓練を行った。座位・描画動作では、立位・描画動作と同様の訓練を行った。座位においては、「左腕を振る動作」は、訓練前に達成されていたため行わなかった。

5. 従来型訓練

統制群は従来型訓練 (約15分、週5日、3週間、計15回) を行った。長径3cm、短径1cmで長径を縦にした楕円及び直径4cmの円の描画課題を行った。3週間の姿勢形成を除いた描画時間を考えると1日につき約15分であった。したがって描画時間を15分にするために、10週の描画を1日に各形につき12回行った。

6. 分析

行動指標 (NACE 及び最大速度) について、群 (訓練群、統制群) × 訓練前後 (前、後) × 大きさ (楕円大、楕円小) × 方向 (内回り、外回り) の4要因の分散分析を行った。また運動性の向上を質的に捉えるために、実験参加者の内省を記録した。また外部評価として、体育を専攻する大学院生3名が、ランダムに提示される実験参加者の訓練前後の映像によって、参加者の描画動作を評価した。

表 1 訓練段階表

段 階	課 題	チェック項目	訓練内容	課題順序	
				立位	座位
姿勢の形成	閉眼左腿上げ片足立ち (20s)	右に傾いた姿勢を体の中心に持ち上げる	片足でひもを引っ張る		-
		左骨盤を下げる	左足を右足の後ろに添えて片足立ちをする		-
	座位における動作対側体軸姿勢の獲得	左骨盤を下げる	右に体重をかけた状態で足を伸ばしてから膝を上げる	-	
描 画 動 作	左腕を振る動作	腰発動の動き	左腕を振る動作		-
	左描画手の大きな楕円の描画		左描画手の大きな楕円の描画		
	左描画手の大きな楕円から小さな楕円の描画	腰・肩・腕の順に動き始める	左描画手の大きな楕円から小さな楕円の描画		

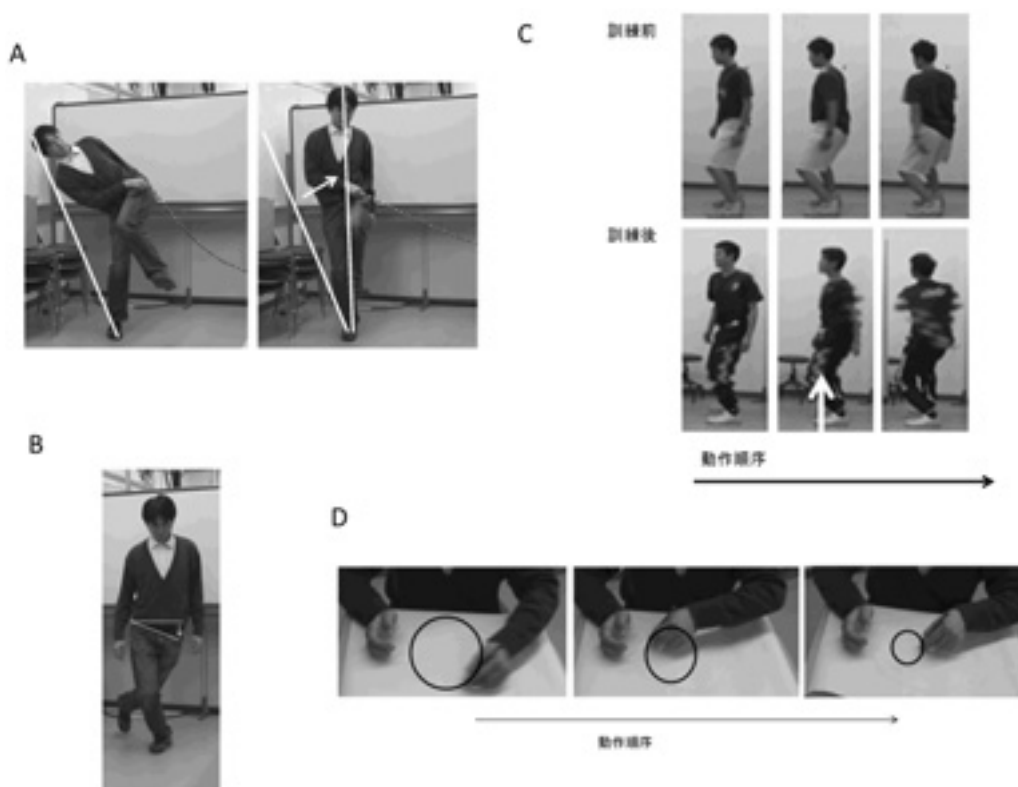


図 1 訓練段階

A : 片足立ちでひもを引っ張る (訓練段階表)、B : 左足を右足の後ろに添えて片足立ちをする (訓練段階表)、C : 左腕を振る動作における訓練前後の腰部発動の動き (訓練段階表)、D : 大きな楕円から小さな楕円の描画 (訓練段階表)

結 果

訓練群の内省では、訓練前、非利手描画は、「力が入っている」、「体を一つにして描画している」、「手首が固い」、「利手では大きい図形を体全体で描画できるが、非利手ではできない」、「描画手がぶれるため、電子ペンを強く握ってしまう」、「上手に線がなぞれない」などの報告があった。訓練後、「楽に描画している」、「力が抜けている」、「1回目は終わったら、疲労感が強かったが、今回は楽に書けた」などの報告を受けた。

評価者 3 名の各参加者の描画動作の評価のまとめを表 2 に示す。統制群においては、訓練前後で「緊張感」などの運動性の低い描画に関する言葉が報告された。訓練群においては、訓練前の運動性の低い描画を示す言葉の報告から、訓練後に「全身の描画」など運動性の高い描画が可能になったことを示す言葉が加えられた。

訓練前後の行動指標の変化を図2に示す。NACEは訓練前後で差が観察されなかった(図2A)。分散分析の結果、訓練前後の効果が認められなかった。最大速度については、統制群において、訓練前後に最大速度の増大が観察された(図2B)。この最大速度の増大は特に楕円大で顕著であった。分散分析の結果、群×訓練前後の交互作用($F(1, 4) = 8.1, p < .05$)、群×訓練前後×大きさの交互作用($F(1, 4) = 10.4, p < .05$)が認められた。多重比較の結果、訓練群において訓練前と比較して訓練後に大きな楕円で最大速度の増大($p < .05$)が観察された。

考 察

内省では、訓練群は、訓練前に描画手の緊張感を報告し、訓練後に緊張感の緩和を報告した。自由度の凍結は、余分な制御を行っているため、緊張として感じられたことが想定され、また自由度の解放は、その緊張感の緩和として現れたことが示唆された。したがって訓練群は、描画運動学習が進行し、自由度の凍結及び解放過程を経験したことが考えられる。

このような運動制御の変化は、外部評価によって、描画動作の変化として確認することができた。この結果は、訓練群において、訓練後に運動性の向上を示すものであった。また対側軸訓練における描画動作獲得過程では、運動性が高い大きな描画の感覚で小さな描画を学習していった。したがって通常は運動性の低下を招く小さな描画においても運動性が高い描画を維持することが可能になったことが示唆された。

行動指標において、質的評価に一致した結果が得られた。運動性の向上は速度に反映されることが報告されている(Johnston et al., 2002)。本研究においても対側軸訓練の速度の改善が観察された。しかしながら対側軸訓練は、描画課題の指標として用いられることが多い精度についての改善は認められなかった。Rabbit & Vyas. (1970)によれば、速度が大きくなるにつれて、精度が保持できなくなる速度精度相反性が観察される。本研究では、精度重視の訓練を行わなかったため、精度に対する効果が認められなかったと考えられる。しかし速度増大による精度の低下が観察されなかったことは、対側軸訓練の精度保持効果を示すものである。

対側軸訓練において、訓練初期に姿勢の安定性を高める訓練を行った。姿勢の安定性が上肢運動と関係することが報告されている(Hopkins & Rönqvist, 2001; Lee & Park, 2008)。本研究においても、対側軸訓練において体幹部の安定性を改善させたことで描画動作の操作性が高まることが確認できた。次に学習初期の凍結の過程を訓練に含めず、体

表2 外部評価における自由記述

参加者	訓練前	訓練後	
訓練	1	<ul style="list-style-type: none"> ・ぎこちなさ ・緊張感 ・腕だけの描画 ・全身を使えていない 	<ul style="list-style-type: none"> ・全身の描画 ・ぎこちなさ
	2	<ul style="list-style-type: none"> ・全身が緊張感 ・肩の緊張 ・ぎこちなさ ・ゆっくりとした描画 	<ul style="list-style-type: none"> ・全身の描画 ・滑らか ・ゆっくりとした描画
	3	<ul style="list-style-type: none"> ・滑らか ・手だけの描画 ・普通 	<ul style="list-style-type: none"> ・滑らか ・すばやい ・手だけの描画
統制	1	<ul style="list-style-type: none"> ・手だけの描画 	<ul style="list-style-type: none"> ・緊張感 ・早い ・手だけの描画 ・姿勢の不安定性
	2	<ul style="list-style-type: none"> ・緊張感 ・ぎこちなさ ・協調性の不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・緊張感 ・協調性の不足 ・手だけの描画
	3	<ul style="list-style-type: none"> ・身体の連動 ・よいリズム感 ・全身を使用 ・安定感 	<ul style="list-style-type: none"> ・安定感 ・全身を使用

訓練後に新しく加わった言葉に下線を付け太字にした。

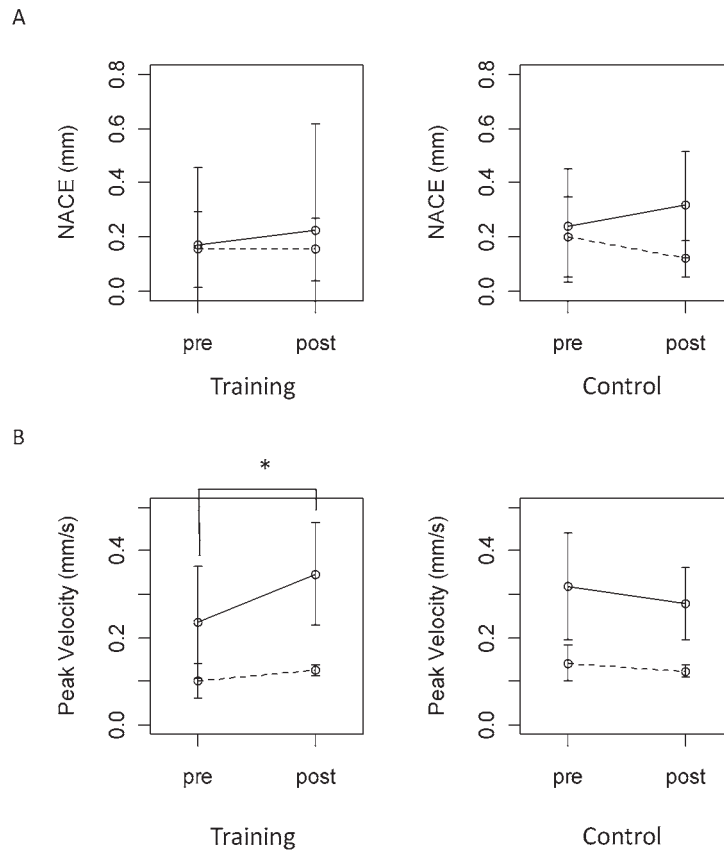


図2 訓練群及び統制群の楕円大・小における訓練の行動指標に対する効果

A : NACE、B : 最大速度、楕円大は実線 (), 楕円小は破線 (- - -)

幹部発動の動きの訓練から学習を始めた。したがって学習初期の自由度の凍結の過程に長期間留まることがなかったため、対側軸訓練の動作改善効果が高かったことが示唆された。

本研究では、訓練群は、姿勢を安定させ、体幹部始動の動作対側体軸訓練を行い、統制群は末梢部始動の学習を行う従来型訓練を行った。内省報告から、訓練群における自由度の凍結から解放への変化が示され、外部評価から訓練群の運動性の向上が確認された。質的評価と一致して、行動指標において、統制群では速度及び精度の変化が観察されなかったが、訓練群では速度の向上が認められ、且つ精度は保持された。したがって、対側軸訓練は運動性を向上させる効果があることが示された。また対側軸訓練は描画動作を改善させるため、訓練後の精度の学習を促進させることが期待される。そのため小学校低学年の国語などに対側軸訓練を導入することによって、描画運動に関わる将来的な学習の困難さを軽減させることが望まれる。

謝 辞

本研究を行うにあたりご助言いただきました立正大学心理学部臨床心理学科中田洋二郎教授に心より感謝いたします。

参考文献

- Hopkins, B., & Rönqvist, L. (2004). Facilitating postural control: Effects on reaching behavior of 6-month-old infants, *Developmental Psychobiology*, 40, 168-182.
- Johnston, L. M., Burns, Y. R., Brauer, S. G., & Richardson, C. A. (2002). Differences in postural control and movement performance during goal directed reaching in children with developmental coordination disorder, *Human Movement Science*, 21, 583-601.
- Lee, G., & Park, A. (2008). Development of a more robust tool for postural stability analysis of laparoscopic

- surgeons. *Surgical Endoscopy*, 22, 1087-1092.
- Newell, K. M., & Valliancourt, D. E. (2001). Dimensional change in motor learning. *Human Movement Science*, 20, 695-715.
- McDonald, P. V., van Emmerik, R. E. A., & Newell, K. M. (1989). The effect of practice on limb kinematics in a throwing task. *Journal of Motor Behavior*, 21, 245-264.
- Miyahara, M., Piek, J. P., & Barrett N. C. (2008). Effect of postural instability on drawing errors in children: a synchronized kinematic analysis of hand drawing and body motion. *Human Movement Science*, 27, 705-13.
- 尾崎康子 (2000). 筆記用具操作における上肢運動機能の発達的变化. *教育心理学研究*, 48, 145-153.
- Shiratori, T., & Aruin, A.S. (2004). Anticipatory postural adjustments associated with rotational perturbations while standing on fixed and free-rotating supports. *Clinical Neurophysiology*, 115, 797-806.
- Stapley, P. J., Pozzo, T., Cheron, G., & Grishin, A. (1999). Does the coordination between posture and movement during human whole-body reaching ensure center of mass stabilization?. *Experimental Brain Research*, 129, 134-146.
- Rabbitt, P. M. A., & Vyas, S.M. (1970). An elementary preliminary taxonomy for some errors in laboratory choice RT tasks. *Acta Psychologica*, 33, 56-76.
- Vereijken, B., van Emmerik, R. E. A., Whiting, H. T. A., & Newell, K.M. (1992). Free (z) ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of Motor Behaviour*, 24, 133-142.