

博 士 論 文

題 目

運動学習理論の理学療法への応用に関する研究

A study on the application of the motor learning theory in physical therapy

健康社会システム研究科

健康福祉 専攻

氏 名 鈴木 博人

— 目次 —

表一覧 1
図一覧 2
要旨 3

第 1 章 序論

1.1 運動学習研究のまとめ 5
1.1.1 学習と記憶 5
1.1.2 運動学習の諸理論 7
1.1.2.1 学習分野における運動学習について 7
1.1.2.2 運動学習過程 8
1.1.2.3 Adams の閉ループ理論 8
1.1.2.4 スキーマ理論 9
1.1.2.5 サイバネ学習論 10
1.1.3 運動学習とフィードバック 11
1.1.4 言語教示 12
1.2. 本研究の背景 13
1.2.1 Functional Reach 13
1.2.1.1 Functional Reach Test 13
1.2.1.2 Functional Reach 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- 13
1.2.2 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 14
1.2.2.1 言語教示における Internal focus of attention と External focus of attention
の教示効果の差異 14
1.2.2.2 KR を組み合わせた場合の Internal focus of attention と External focus of attention の
教示効果の差異 15
1.2.2.3 Internal focus of attention 教示と KP を組合せによる運動学習への影響 17
1.2.2.4 二種類の教示を提示する順序が運動学習に与える影響 20
1.2.3 ハンドリングを取り上げた経緯 23
1.2.3.1 ハンドリング 23
1.2.3.2 潜在学習・顕在学習とハンドリング・言語教示 24
1.2.3.3. 潜在学習と顕在学習の先行研究 24
1.2.4 全体法・部分法を取り上げた経緯 26
1.2.4.1 全体法・部分法 26

第2章：ハンドリングトレーニングにおける運動学習への効果

2.1 倫理的配慮	29
2.2 課題1：サイドステップによるバーをくぐる動作による検証	29
2.2.1 緒言	29
2.2.2 対象	29
2.2.3 説明と同意	30
2.2.4 方法	30
2.2.4.1 研究デザイン	30
2.2.4.2 プレテストと保持テスト	30
2.2.4.3 練習方法	33
2.2.4.4 統計解析	33
2.2.5 結果	34
2.2.5.1 形態計測値の比較	34
2.2.5.2 バー通過距離	34
2.2.6 考察	36
2.2.7 本実験の限界とその課題	36
2.3 課題2：障害物を避けながらのリーチ動作による検証	38
2.3.1 緒言	38
2.3.2 予備実験	38
2.3.2.1 対象	38
2.3.2.2 説明と同意	38
2.3.2.3 方法	39
2.3.2.3.1 測定条件	39
2.3.2.3.2 形態計測	39
2.3.2.3.3 測定方法	39
2.3.2.3.4 データ解析	42
2.3.2.3.4 結果とその解釈	42
2.3.3 本実験	44
2.3.3.2 対象	44
2.3.3.3 説明と同意	44
2.3.3.4 方法	44
2.3.3.4.1 研究デザイン	44
2.3.3.4.2 形態計測	44
2.3.3.4.2 プレテストおよび保持テスト	44
2.3.3.4.3 練習方法	47
2.3.3.4.4 データ解析	48
2.3.3.4.5 アンケート調査	49

<u>2.3.3.4.6. 統計解析</u>	49
2.3.3.5 結果	50
<u>2.3.3.5.1 プレテストの比較</u>	50
<u>2.3.3.5.2 動作所要時間</u>	50
<u>2.3.3.5.3 的指先間距離</u>	51
<u>2.3.3.5.4 指先軌道誤差</u>	51
<u>2.3.3.5.5 アンケート結果</u>	51
2.3.3.6 考察	56

第3章：全体法・部分法における運動学習効果の差異—学習課題の検討—

2.1 緒言	59
2.2 方法	60
2.2.1 対象	60
2.2.2 測定方法	60
2.2.3 データ解析	61
2.2.4. 統計解析	61
2.3. 結果	61
2.3.1 右立脚期の割合	61
2.3.2 一歩行周期中の筋活動パターンの変化	61
2.3.3 一歩行周期における筋活動量の積分値	61
2.3.4 一歩行周期における筋活動のピーク値	62
2.3.5 呼吸循環応答	62
2.4 考察	65

第4章：本研究のまとめと今後の課題

4.1 ハンドリングトレーニングにおける運動学習への効果	68
4.2 全体法・部分法における運動学習効果の差異—学習課題の検討—	69
4.3 今後の課題	69

文献	71
----	----

— 表一覧 —

表 1	学習に関する研究史の年表	6
表 2	種々の学習研究者による二分法	6
表 3	サイバネ学習論における学習の分類	10
表 4	依存性産出効果を考慮した外在的フィードバックの種類	11
表 5	Naylor と Briggs の仮説に基づいた全体法と部分法の適用方法	27
表 6	被験者情報 (課題 1)	30
表 7	分散分析表 (従属変数: バー通過距離)	35
表 8	バー通過距離のバー上下による分類	35
表 9	バーの下を通過した試行の分類	35
表 10	被験者情報 (課題 2: 予備実験)	39
表 11	動作所要時間	42
表 12	予備実験における指先軌道誤差	42
表 13	被験者情報 (課題 2: 本実験)	45
表 14	実験後アンケートとその結果	50
表 15	分散分析表 (的指先間距離)	53
表 16	的指先間距離	53
表 17	分散分析表 (従属変数: 的指先間距離)	54
表 18	的指先間距離	54
表 19	分散分析表 (従属変数: 指先軌道距離)	55
表 20	指先軌道誤差	55
表 21	一歩行周期における筋活動量の積分値	64
表 22	一歩行周期における筋活動のピーク値	64
表 23	運動パターン条件における呼吸循環応答の比較	64

— 図一覧 —

図 1	サイバネ学習論のパラダイム	10
図 2	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)	14
図 3	FR 距離のプレテストからの変化量の経時的变化 (文献 1 より)	15
図 4	研究デザイン (文献 2 より)	16
図 5	プレテストからの FR 距離変化量の経時的变化 (文献 2 より)	16
図 6	ファンクショナル・リーチにおける姿勢の変化 (文献 2 より)	17
図 7	研究デザイン (文献 3 より)	18
図 8	プレテストからの FR 距離変化量の経時的变化 (文献 3 より)	18
図 9	各群における FR 距離最大値の出現パターンに関するグラフ	19
図 10	ファンクショナル・リーチにおける姿勢の変化 (文献 3 より)	19
図 11	研究デザイン (文献 4 より)	21
図 12	プレテストからの FR 距離変化量の経時的变化 (文献 4 より)	21
図 13	プレテストからの FR 距離変化量の経時的变化: 被験者毎 (文献 4 より)	22
図 14	ファンクショナル・リーチにおける姿勢の変化 (文献 3 より)	22
図 15	先行研究で頻繁に用いられているスタビロメーター	25
図 16	全体法・部分法の分類	26
図 17	研究デザイン (課題 1)	31
図 18	測定環境 (課題 1)	31
図 19	プレテスト前に提示した音声付映像・映像内テロップの内容 (課題 1)	32
図 20	バー通過距離	34
図 21	実験環境 (課題 1)	40
図 22	指先軌道のデータ解析手順	41
図 23	指先軌道における条件 1 と条件 2 の比較	43
図 24	研究デザイン (課題 2)	45
図 25	プレテスト前に提示した実験環境や注意点などに関する音声付映像	46
図 26	ハンドリングの様子	47
図 27	結果のシールが貼付された的	48
図 28	フィードバック時の環境	48
図 29	指先軌道誤差	49
図 30	動作所要時間の経時間的变化	53
図 31	的指先間距離の経時間的变化	54
図 32	指先軌道誤差の経時間的变化	55
図 32	実験環境 (UST)	62
図 34	一歩行周期における筋活動パターンの変化	63

－ 要旨 －

本研究では、「ハンドリング」と「全体法・部分法」の2つのテーマを取り上げて研究を行った。

「ハンドリングトレーニングにおける運動学習への効果」

〔目的〕本実験では、2つの動作を学習課題として取り上げ、ハンドリングにおける運動学習への効果と、その言語教示との効果の差異を明らかにするために研究を行った。〔対象〕神経疾患・整形外科疾患のない健康な大学生とした。〔方法〕対象をハンドリング群、言語教示群、コントロール群の3群に無作為に割り付けた。その後、プレテストを行い、その翌日より練習期間を設けた。練習終了の翌日と1週間後に保持テストを行い、測定値を群間比較した。〔結果〕ハンドリング群は、他群と比較した場合に目標により近い運動軌道を示した。〔結語〕ハンドリングは、動作パターンの学習において言語教示よりも優れた効果を有することが示された。

「全体法・部分法の運動学習における学習効果の差異 - 学習課題の検討 -」

〔目的〕全体法と部分法の運動学習効果を検証するにあたり、その学習課題として利用可能な片側ステップを実施した際の、体幹・下肢筋活動と呼吸循環応答への影響をトレッドミル歩行との比較によって明らかにすることとした。〔対象〕健康青年男性10名とした。〔方法〕歩行条件：トレッドミル歩行・片側ステップ、速度条件：30 m/min と 60 /min とし、下肢筋活動と呼吸循環応答のデータを収取した。筋電図データより筋活動パターンやその活動量を算出した。〔結果〕下肢筋活動パターンは、片側ステップにおいてトレッドミル歩行と類似したパターンを取った。また、酸素摂取量は片側ステップにおいてトレッドミル歩行とより有意に低い値を示した。〔結語〕片側ステップを歩行練習における部分法、トレッドミル歩行を全体法として用いることにより、練習量を統一して2つの練習方法の運動学習効果を比較できる可能性が示唆された。

第 1 章

序論

第1章 序論

理学療法士の大きな役割の一つに、姿勢制御や運動パターンの指導が挙げられる。これらを指導する際、理学療法士はその指導内容や練習方法を巧みに操作し、治療を展開していく。

理学療法のアプローチとして、運動学習理論を用いた方法がある。このアプローチでは、これまで心理学、神経生理学、力学などの学際領域における理論を応用し、臨床現場における現象を説明してきた。しかし、実際の理学療法場面で取り上げられる課題や、その指導方法もしくは練習方法などに関する研究は不足している。そのため、これらの課題を一つ一つ取り上げ、その運動学習への影響を明らかにしていくことが必要と考えている。我々はこれまで口頭による説明である言語教示を **Focus of attention** の観点から取り上げ、その運動学習効果と理学療法への応用に関する研究に取り組んできた¹⁻⁴⁾。そこで本研究では、別の課題として指導方法の一つである「ハンドリング」と、練習の組み立て方法として「全体法・部分法」に着目し、実験を行った。緒言では、運動学習の研究史、我々の先行研究の背景とその経過に触れ、ハンドリングや全体法・部分法の位置づけ、および研究背景について整理し、本研究の目的を明確にする。

1.1 運動学習研究のまとめ

運動学習の研究は様々な観点から研究がなされており、主要なアプローチとして一般に行動的アプローチ、生理的アプローチ、認知的アプローチに分けることができる。運動学習の研究は20世紀前半頃、Thorndike E. L.の研究から始まり、行動的アプローチが特徴的である。行動的アプローチでは練習条件とその反応に重きを置き、学習過程は重要視されていなかった。それに対し、生理学者は行動アプローチより発見された事実が関与している神経・身体部位を神経メカニズムの視点から明らかにしようとした。その後、認知的アプローチとして、20世紀後半より認知心理学分野において情報処理理論を運動学習の分析に用いられるようになり、直接的に観察できない過程・メカニズムについて議論されている(表1)。

この項では、行動的アプローチと認知的アプローチにおける運動学習の研究史や主な学習理論についてふれ、運動学習に関する一般的な知識について整理する

1.1.1 学習と記憶

学習は、以前の経験によって生じる行動 (behavior) の永続的な変化であり、生物の適応現象とみなされている⁵⁾。また、学習によって行動が永続的に変化することは、神経系に行動のパターンが記憶されることを示している。そのため、学習と記憶は極めて関係が深い。

最も初期の学習理論としては、Aristoteles (紀元前 350 年頃) の連合の第一次原理が挙げられ、次いで近代において、Thomas Brown (1820) の連合の第二次原理、複雑概念の発達についての James Mill (1829) の仮説が続く。これらは、様々な経験の結果を通して人間がどのように変容するかを説明しようとしたものである。しかし、彼ら連合主義者は、各自の理論を検証するための実験を行わなかった⁶⁾。学習に関する科学的な研究は、19世紀の終わり頃まで行われておらず、心理学の最初の実験室は Wundt W. (1832-1949) により開設された (1879)^{6,7)}。しかし、Wundt は学習に関する研究を行っていなかった。そのため、学習の研究はこれより少し遅れて始められ、そのパイオニアとして、Ebbinghaus H

表 1 学習に関する研究史の年表

	年代	研究者名	研究成果	概要
紀元前	350年頃	Aristoteles	連合の第一次原理を提唱	検証実験が行われていない時代
19世紀	1820年	Thomas Brown	連合の第二次原理を提唱	
	1829年	James Mill	複雑概念の発達についての仮説を提唱	
	1879年	Wundt W	ライプツヒ大学に心理学実験室を創設	
	1885年	Ebbinghaus H	記憶の実験を行う	
	1898年	Thorndike E. L	最初の動物に対する学習実験を行う	
20世紀	前半	Pavlov I. P	条件反射の研究を行う	行動的アプローチ
		Thorndike E. L	最初のひとに対する学習実験をおこなう	
	1932年	Trowbridge M.H.	正確さに関する情報提供が反応に影響することを主張	認知的アプローチ
		Cason H.		
	1964年	Fitts P.M	「運動学習の3段階説」を提唱	
	1967年	Bernstein N	「システム理論」を提唱	
	1971年	Adams J.A	「閉ループ理論」, 「学習2段階説」を提唱	
	1975年	Schmidt R.A	Adamsの理論に対して「スキーマ理論」を提唱	
1989年	十島雅蔵	サイバネ学習を提唱		

表 2 種々の学習研究者による二分法

研究者	Pavlov型条件付け に対する用語	Thorndike条件付け に対する用語
Thorndike ER (1911)	連合移換	試行錯誤
Miller S & Konorski J (1928)	I 型	II 型
	S型	R型
Skinner BF (1937)	または	または
	レスポデント条件付け	オペラント条件付け
Scholberg H (1937)	条件付け	成功学習
Hilgard ER & Marquis DG (1946)	古典的條件付け	道具的條件付け
Mowrer OH (1947)	条件付け	問題解決
Solomon RL (1950)	情動条件付け	骨格筋反応の条件付け

(1850 - 1909), Thorndike E. L. (1874-1949), Pavlov I. P. (1849-1936) の 3 人の名前を挙げられる。

Ebbinghaus は、連合主義者の理論を実験的に検討した最初の研究者であり、記憶に関する研究で知られている⁶⁾。彼の研究(1885)は、彼自身が参加者でもあったため、実験者バイアスが生じている可能性が高かった⁶⁾。しかし、記憶の研究はその後、1960年頃まで Ebbinghaus の研究成果を基にしながから発展していった⁶⁾。この分野の研究は、1950年代後半より行動の変化ではなく新しい情報の習得という点に注目されるようになる⁶⁾。そして、情報処理の用語や概念を利用して記憶モデルを仮定されるよ

うになった⁵⁾。この研究成果として、記憶を情報の保持時間に基づいて短期記憶 (short-term memory) と長期記憶 (long-term memory) に分ける考え方が提唱され始めた (Broadbent, 1958)⁶⁾。また、長期記憶は宣言的記憶 (explicit memory; エピソード記憶と意味記憶を含む) と手続き記憶 (あるいは、非宣言的記憶; implicit memory) に分類される (Tulving, 1983)⁷⁾。本研究のテーマである運動技能の習得や獲得には手続き記憶に該当する⁵⁾。現在では、短期記憶がリハーサルによって長期記憶になると考える二重貯蔵モデル (Waugh N.C., Norman D.A. : 1965, Atkinson R.C., Shiffrin R.M. : 1968) が記憶モデルとして広く知られている⁶⁾。

Thorndike と Pavlov は、条件付け (conditioning) に基づく学習理論を提唱したことで有名である。条件付けは動物や人間の基本的な学習の原型とされており、古典的条件付け (レスポナント条件付け) と道具的条件付け (オペラント条件付け) に大別される¹⁾。また、この名称は種々の研究者により異なる^{5,9)} (表 2)。

Thorndike (1898, 1911) は、動物を対象として学習の実験を始め、問題箱 (puzzle box) を用いた実験は有名である。その実験を通し、学習は試行錯誤 (trial and error) により事態と反応の結合を生じることであるとみなした。満足のいく行動はその後生じやすくなり、不満足な行動は生じにくくなるという効果の法則 (law of effect) を提唱したことで知られている⁶⁾。また、Thorndike の実験はオペラント条件付けの起源であり、その後、20 世紀半ばに Skinner B.F. (1904 - 1990) によって系統的な研究が行われ始めた⁵⁾。オペラントとは、レスポナントに対応する行動のカテゴリーであり、反射ではなく、弁別刺激を手掛かりとして自発的に生じる行動をいう⁵⁾。この種類の条件付けで重要なことは、道具的反応とそれを遂行したことで得られる報酬 (reward) との関係である⁵⁾。すなわち、行動の後に報酬もしくは罰を強化子として与えることで、自発行動の発生頻度が増加もしくは減少する。このように、オペラント条件付けは反応 (行動) 後に強化事象が与えられる。

一方、Pavlov は、20 世紀初頭に古典的条件付けの体系的研究をはじめて行ったことで知られている。古典的条件付けは、無条件刺激 (unconditioned stimulus, US) またはレスポナント (respondent) と無条件反応 (unconditioned response, UR) の生得的な関係を基礎にして、それまで無関連であった条件刺激 (conditioned stimulus, CS) を UR に連合 (association) させる過程である^{5,8)}。また、条件付けを行う際は CS を US と対にして提示する強化 (reinforcement) という手続きをとる⁵⁾。その結果、CS により条件反応 (conditioned reflex, CR) を呈するようになる。このように、古典的条件付けは強化事象が反応前に提示される。

1.1.2 運動学習の諸理論

1.1.2.1 学習分野における運動学習について

学習には2種類の型があり、運動学習 (motor learning) と認知学習 (cognitive learning) が挙げられる。運動学習は、スポーツや楽器の演奏などの運動技能 (motor skill) の学習を意味する。一方、認知学習は、単純なものであれば特定の背景や音楽などの知覚経験の再生を指し、複雑なものであれば各種の学問知識などが含まれる。認知学習は一回の経験が永続的になることもあるが、運動学習では一定レベルの技能を保持するために反復する強化 (reinforcement) が必要である⁵⁾。

心理学分野では、運動学習を「熟練パフォーマンス (skilled performance) の能力に比較的永続的変

化を導く練習や経験に関係した一連の過程」と定義している¹⁰⁾。この定義における重要な側面が3点ある。一つ目として、学習は練習または経験の効果に関係したものであるという点である¹⁰⁾。これは、運動学習から発達 (development) によるパフォーマンスの変化を除くことを意味する。なぜならば、発達は有機体の構造及び機能が分化、多様化、複雑化と定義され、成長や成熟を含む⁵⁾ためである。二つ目は、学習自体を観察することはできないが、学習の成果 (パフォーマンスの変化) は観察できるという点である¹⁰⁾。そのため、運動学習は学習の成果を測定することで確認される。最後に、比較的永続的变化が学習を示すという点である¹⁰⁾。パフォーマンスは多くの異なる要因から影響受け、一時的に変化しやすい。そのため、学習は熟練パフォーマンスの変化が一時的効果によるものではなく、明らかに比較的永続的であることが必要となる¹⁰⁾。

上述したように、運動学習を評価する際はパフォーマンスを測定し、その比較的永続的变化を確認する手続きをとる。その最も一般的な方法がパフォーマンス曲線 (performance curves) である。これは、パフォーマンスを何らかの尺度にあてはめて数値化し、観察可能なものとしている。しかし、パフォーマンス曲線から観察できる変化には、一時的効果と比較的永続的な効果をとともに含んでいる。そこで用いられる方法が保持テスト (retention test, あるいは転移テスト; transfer test) である。これは、一時的効果を消失させるために十分な時間 (休息时间) をとった後に測定を行うものである。このテストの結果には、比較的永続的な効果が反映されている¹⁰⁾。しかし、この休息時間の設定基準については、著者の知る限り明示されていない。

1.1.2.2 運動学習過程

Fitts P.M. (1964) は運動学習の段階を、はじめに「初期相 (認知相: cognitive phase) - 中間相 (連合相: associative phase) - 最終相 (自動化相: autonomous phase)」に区分した¹¹⁾。その後、「言語 - 認知段階 (verbal-cognitive stage), 運動段階 (motor stage), 自動化段階 (autonomous stage)」の3段階¹²⁾とした。認知相は、何を行うのか (what to do) を理解する段階である。そのため、この相で得られるのは、宣言的知識である⁵⁾。この相は「言語 - 運動段階 (verbal-motor stage)」とも呼ばれる¹³⁾。連合相は、何を行うのか (what to do) からどのように行うのか (how to do) へ変化する相であり、宣言的知識から手続き知識へ移行する。そのため、学習内容を言語的に説明することが難しくなる⁵⁾。この時期を「運動段階 (motor stage)」ともいう¹³⁾。自動化相は、基本的に中間相の延長である。手続きが自動化され、運動に対する注意は減少し、言語は運動遂行に不要になる。これらの3段階の間には明らかな境界があるわけではなく、技能は次第に向上していく⁵⁾。

1.1.2.3 Adams の閉ループ理論

前項にて初期相を言語 - 運動段階と、連合相を運動段階と呼ぶことを述べた。これは、Adams J.A. (1971) の2段階理論 (Adams's two-stage theory)¹³⁾である。この理論は、Adams によって提案された閉ループ理論 (closed-loop model) に従う。閉ループ理論は、2つの異なる記憶タイプにより説明され、一つは記憶痕跡 (memory trace) であり、もう一つは知覚痕跡 (perceptual) である。前者は運動の選択や準備に用いられ、運動を開始する働きを持つ。これは運動プログラムに相当する。後者は過去の運動記憶であり、練習や実践に伴う感覚フィードバックによって成長し、正確さを増す。したがっ

て、閉ループ理論における学習過程は次のように進む。言語 - 運動段階では、運動の開始に当たり、記憶痕跡に基づいて運動が再生 (recall) される。練習とフィードバック (feed-back) によって動作が適当なものか知り、練習を続けることにより知覚痕跡が生じる。これにより、適切な運動から生じる内在的フィードバック (intrinsic feed-back) によって知覚痕跡の確立にされ、運動段階に入る。この段階ではフィードバック情報を知覚痕跡に照らして再認 (recognition) される。このようにして誤差が修正され、次第に運動技能が獲得されてゆく^{5,7)}。以上からわかるように、Adams の理論はフィードバックを重視したものである。

運動学習の閉ループ理論は、次のような理由により批判された。一つ目の理由として、単純な繰り返し運動にはよく当てはまるが、複雑な運動を十分説明できない点である。これは、個々の運動プログラムとその遂行結果が脳に貯蔵されることを仮定していたことが理由である。つまり、微妙に変動する運動へ個別に対応するためには、膨大な量の運動プログラムが必要となり、記憶容量に問題が生じると考えられた⁵⁾。二つ目は、感覚フィードバックがなくても運動ができるということが明らかにされたためである¹³⁾。

1.1.2.4 スキーマ理論

Adams の理論の問題点に対して新たに提案されたのが、Schmidt R.A. (1975) のスキーマ理論⁶⁾である。Schmidt はフィードバックを重視した Adams の理論を継承しながら、運動の変動をこの理論によって説明しようとした。スキーマ理論は、開ループ理論 (open-loop control) と総合的な運動プログラムの概念を強調するものである。開ループ理論とは、フィードバックが存在しなくても熟練した行動の遂行には差し支えないとするものである。また、Schmidt が提案した運動プログラムは、運動目標の一般化した抽象的な概念が貯蔵されていると仮定した⁵⁾。すなわち、新しい運動プログラムを獲得する際には、一般化した規則を学ぶと予測したのである。

この運動学習理論の要は、心理学分野にて重要とされてきたスキーマにある。スキーマとは、記憶の研究で知られている Bartlett F.C. (1932) によって提唱された概念であり、「すでに側面に成立している概念枠組み、認知構造や単純化された操作枠組みである」とされている⁸⁾。Schmidt はこの概念を用い、「スキーマは一般化運動プログラム (generalized motor program) であり、運動の一つの枠組みに対応する規則である」とした。この理論におけるスキーマにはタイプが2つある。一つが一般化運動プログラムにしたがって運動を産生する再生スキーマであり、もう一つが実際の運動の正確さを評価する再認スキーマである⁵⁾。各スキーマで特徴があり、開ループ制御 (open-loop control, フィードフォワード制御; feed-forward control) で行われるバリスティック運動 (ballistic movement) は再生スキーマによって開始され、閉ループ制御 (close-loop control, フィードバック制御; feed-back control) で行われるランプ運動 (ramp movement) は再認スキーマによって制御される。この理論における運動学習は、練習を通して新たなスキーマが発展し学習されるとしている。以上のように、Schmidt R.A. (1975) によってスキーマ理論が提唱されたことで、記憶容量の問題が解決し、また、学習の転移についても説明が容易となった⁵⁾。しかし、スキーマ理論は環境や身体構造の変化に伴う動作が変化をうまく説明できないという限界も示されている¹⁴⁾。

1.1.2.5 サイバネ学習論

上述してきたように、心理学分野を中心に学習の研究成果が積み重ねられてきた。しかし、その内容は精緻化され、実際のトレーニング場面や臨床場面における人間の学習形態とは疎遠なものになりつつあった。そこで十島¹⁵⁾は、制御理論の一つであるサイバネティクス理論を応用し、サイバネ学習論を提唱した。サイバネティクス理論¹⁶⁾とは、航空機の操縦に関する制御理論の一つとして第二次世界大戦中に発展し、Wiener N. (1948) によって発表されたものである。この学習理論では、学習過程を諸要因が有機的に結合した1つの相互システムとみなし、フィードフォワード過程とフィードバック過程の統合によって、学習過程の最適化を図ろう¹⁵⁾としている。また、フィードフォワードとフィードバックの概念を拡大し、学習者へ反応前に情報（フィードフォワード情報；F情報）を与えて強化する方法をF型学習、反応後に情報（フィードバック情報；B情報）を返して強化する方法をB型学習と定義した。F情報はその性質から、「動作的F誘導法」、「感覚的F誘導法」、「言語的F誘導法」の3つに分類できる。このうち、言語的F誘導法には、言語教示・言語強化が含まれる。なお、B情報¹⁶⁾には「内在的フィードバック」と「外在的フィードバック（extrinsic feed-back）」が該当する（表3、図1）。

表3 サイバネ学習論における学習の分類

学習の種類	情報の種類	分類	例
F型学習	F情報	動作的F誘導法	受動運動法(ハンドリング)
		感覚的F誘導法	デモンストレーション
		言語的F誘導法	言語教示・言語強化
B型学習	B情報	内在的フィードバック	視覚・聴覚・体性感覚・前庭感覚・自己受容感覚
		外在的フィードバック	結果の知識(KR)・パフォーマンスの知識(KP)

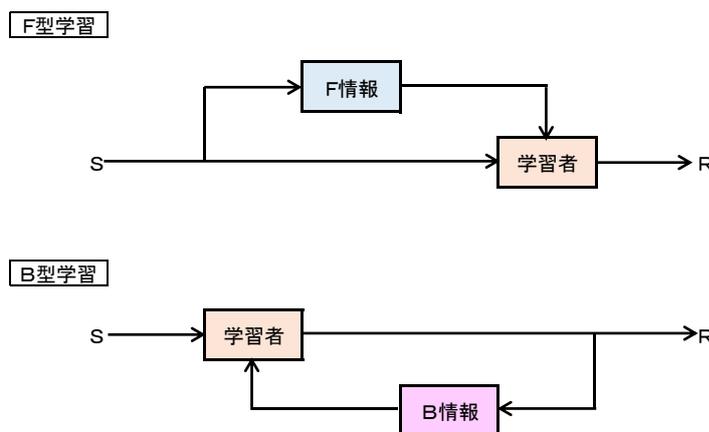


図1 サイバネ学習論のパラダイム（文献15より引用）

S:刺激, R:反応.

表 4 依存性産出効果を考慮した外在的フィードバックの種類

名称	提示方法
漸減的フィードバック ; faded feedback	練習初期に高い相対的頻度(本来100%)でフィードバックを与える。技能の向上につれてフィードバックの相対低頻度を徐々に低下させる。
帯域幅フィードバック ; bandwidth feedback	正しい運動の範囲を設定し、実施した運動がその範囲外の時にフィードバックを与える。副次的に効果として、漸減的フィードバックを生む。
要約フィードバック ; summary feedback	設定した試行分の情報を要約し、フィードバックを与える。
平均フィードバック ; average feedback	要約フィードバックの変形。設定した試行分の情報の平均値をフィードバックとして与える。

1.1.3 運動学習とフィードバック

運動学習の研究は、Thorndike によって 20 世紀前半に始められた。彼は、動物実験より提唱された効果の法則がヒトの運動学習においても重要である⁶⁾と主張したことで知られている。効果の法則は、反応後に強化子を与えるためフィードバックと関連が深いと考える。ただし、効果の法則では満足を与えたことより反応が生じやすくなったと考えていた。これに対し、Trowbridge M.H. と Cason H. (1932)¹⁷⁾は、報酬もしくは罰を与えたことによる変化ではなく、反応の正確さについての情報を与えたこと(フィードバック) ことにより反応が改善したと主張した。

フィードバックは、ある目標値とパフォーマンスとの差についての情報である¹⁰⁾。これは、内在的フィードバックと外在的フィードバックに分類される。

内在的フィードバックは、運動の正常な産出の結果として単に種々の感覚系を通して個別に行われるフィードバックであり¹⁴⁾、生得的フィードバック¹⁰⁾とも呼ばれる。これには、体性感覚系や視覚系、聴覚系などを含んでいる¹⁰⁾。一方、外在的フィードバックは、内在的フィードバックの補足あるいは付加情報であり、増幅フィードバック (enhanced feed-back) あるいは付加的フィードバック (augmented feed-back) とも呼ばれる¹⁰⁾。特徴としては、「動機づけを生み出す」、「強化を与える」、「修正の基準となる誤差情報を提供する」、「依存性を生み出す」の4点が挙げられている¹⁰⁾。また、外在的フィードバックには、結果の知識 (knowledge of result ; KR) やパフォーマンスの知識 (knowledge of performance ; KP) が含まれる。KR は運動 (反応) の結果に関する情報¹⁰⁾である。現在までに KR の効果についてさまざまな観点から研究がなされており、その内容は KR を提示するタイミングや頻度を変えての検証が主である^{10,18)}。一方、KP は運動パターンについての付加的情報である¹⁰⁾。KP に関する研究もなされてきている。具体的には、映像を使用して最良の方法と学習者のパフォーマンスを比較させることによりパフォーマンスが改善すること⁶⁾、映像とともに改善法を指導する方が映像のみの指導よりパフォーマンスの向上に寄与すること¹⁹⁾などが示されている。また、KR と KP の相互作用について、KR のみの提示した場合よりも KR と KP を組合せて提示した場合の方が運動学習に効果的である²⁰⁾ということも報告されている。

外在的フィードバックはパフォーマンス向上を促す反面、外在的フィードバックが取り除かれた際にパフォーマンスを低下させる「依存性産出効果」を生み出す¹⁰⁾という特徴も有している。これは Salmoni A.W.らもガイダンス仮説²¹⁾にて類似した見解を示している。そのため、負の効果を抑えた上で外在的フィードバックを使用することが重要である。この依存性産出過程を減少させる方法として、漸減的フィ

ードバック，帯域幅フィードバック，要約フィードバック，平均フィードバックなどが提案されている（表 4）。これらはすべて外在的フィードバックを提示する相対的頻度（relative frequency）を減少させることで，依存性産出効果を軽減しようとするものである⁹⁾。

1.1.4 言語教示

教示（instruction）は，口頭による説明であり，言語教示とも呼ばれる。また，言語教示はサイバネ学習論における言語的 F 誘導法に該当する。

言語教示による課題説明は，効果的な実施方法を正確に言葉で学習者へ伝えることや，比喩表現や擬態語を用いて直感的に運動をイメージさせることができると言われている²²⁾。注意は運動学習に影響する一要因であり，多くの研究が報告されている²³⁾。今回，その一つである focus of attention に着目する。言語教示は，注意の向け方の違いにより，自己の身体へ注意を向けさせる internal focus of attention（IFA）と，身体外へ注意を向けさせる external focus of attention（EFA）に分類できる²⁴⁾。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²⁵⁾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 の教示効果の差について検討している。教示内容としては 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や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²⁵⁻²⁹⁾。

一方，Perkins-Ceccat ら³⁰⁾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教示効果の差について検討している。教示内容としては，異なる技能のゴルファーに EFA ではできるだけ的に近づけるように打つことに注意・集中し，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した。結果として，IFA 教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。つまり，初心者に対しては IFA が効果的であるとの見解を示している。

1.2. 本研究の背景

上述してきたように、運動学習の研究は行動的アプローチにおける学習の実験的研究から始まり、認知的アプローチによって情報処理過程を用いて学習過程をモデル化し説明しようとしてされてきた。また、最近の運動学習に関する研究はスポーツ心理学分野が中心であり、スポーツ技能が学習課題として取り上げられている。よって、リハビリテーション場面に則した課題を用いた運動学習の研究は少ない。そのため、運動学習理論を応用し、理学療法場面における運動学習の効果を明らかにすることが必要であると考えている。

我々はこれまで、「ファンクショナル・リーチ (Functional reach : FR) を用いた姿勢最適化トレーニング」と題し、FR を学習課題として取り上げ、セラピストが用いる言語教示の運動学習効果について研究を進めてきた。この一連の研究成果より、今回「ハンドリング」と「全体法・部分法」を本研究の主題として取り上げるに至った。

そこで、本項では「FR を用いた姿勢最適化トレーニング¹⁴⁾」の研究背景および成果をまとめることで、「ハンドリング」と「全体法・部分法」を本研究の主題として取り上げるに至った経緯を明確にする。さらに、主題に関する先行研究を整理し、第2章・第3章で述べる2つの研究の背景へ繋げる。

1.2.1 Functional Reach

1.2.1.1 Functional Reach Test

ファンクショナル・リーチ テスト (Functional reach test : FRT) は、Duncan P.W. (1990) によって開発された前方へのリーチ動作を用いた臨床評価指標であり、傾け課題 (lean task) から発展したものである³¹⁾。また、妥当性や信頼性も示されている³²⁻³⁴⁾。現在では動的バランスの指標として定着しており、転倒との関連性も指摘されている³²⁻³⁴⁾。適応としては、脳卒中³⁵⁾、パーキンソン病³⁶⁾、前庭機能不全³⁷⁾、多発性硬化症³⁸⁾、股関節部の骨折³⁹⁾などへ実施したものが報告されている。FRT は、指先の前方移動量から重心の前方移動量を推定し、バランス能力を評価しようとするものである。その一方で、FRT 測定値と足圧中心の移動量との相関関係が低いとも報告されている⁴⁰⁾。

1.2.1.2 Functional Reach 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-⁴¹⁾

藤澤らは、重心移動を伴わないリーチ動作におけるリーチ長、身長と最大リーチ長 (FRmax) の関係、さらに姿勢の最適化について検証することを目的に、FR における幾何学モデル (FR model) を開発した。ここでの最適な姿勢とは、リーチ長を最大にする構えのことであり、そのような構えをとることを姿勢の最適化と定義している。また、FR model の臨床応用について、最適な姿勢が理論的に解析可能であるならば、理論値と実測値との比較によって、障害者及び高齢者における正常からの逸脱の有無、さらには動作再建の状態を評価することが可能になると述べている。

FR model は、4セグメント (上肢長、体幹の長さ、下肢長、足部) の幾何学モデルであり、体重心の位置と股関節角度を設定することにより、リーチ長を最大にする足関節および肩関節の関節角度を一意に決めることができるものである。FR model において、各体節長および体節の重心位置は、Winter の形態学的データを用いて身長より算出している。

FR model によるシミュレーションの結果、前後方向の重心の位置が足関節中心にあつて、姿勢を変

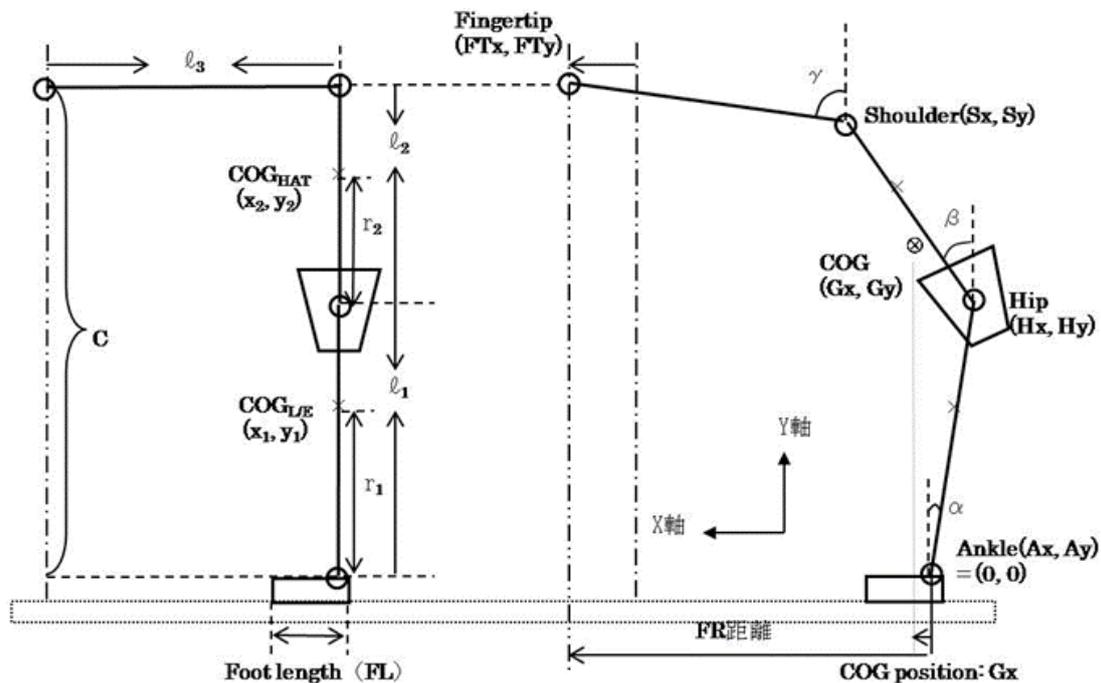


図2 ファンクショナル・リーチにおける幾何学モデル (FRモデル) (文献41より引用)

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).

化させることにより 25cm 前後の前方へのリーチが可能であることが明らかになった。また, FRmax は身長に比例して増大することを示している (図2)。

1.2.2 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

1.2.2.1 言語指示における Internal focus of attention と External focus of attention の指示効果の差異¹⁾

前述したように, Focus of attention の観点から言語指示について多くの研究がなされているものの, その課題の多くはスポーツ課題^{25,29)} やバランス課題^{28,29)}であり, 理学療法場面を想定した研究が不足している。

そのような中, 藤澤らは, 姿勢最適化トレーニングのモデルとして FR を取り上げ, FR model による最適な姿勢を言語指示する場合の IFA と EFA の運動学習への効果を明らかにすることを目的とし, 実験を行った。姿勢最適化トレーニングとは, 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と定義している。また, FR を言語指示の効果の検討課題として選択したことについて, 理由を二つ挙げている。一つは, 藤澤ら⁴¹⁾が開発した FR model を用いることで体重心の位置と体節長をもとに最も前方へ手を伸ばすことのできる最適な姿勢 (構え) を推定できるという点である (図2)。もう一つは, FR が単純な動作でありながら一義的には姿勢が決まらないという点である。この実験では純粋な指示

効果を検討するために教示のみを与え、外在的フィードバックは一切行っていない。IFA 教示としては自己の身体へ注意を向けるように、FRmodel を基に設定した肩関節、股関節、足関節に対して、計 3 つの教示を設定している。一方、EFA 教示としては自己の身体外（物体）へ注意を向けるように、測定器の移動について 1 つの教示を設定している。また、最後のテストが終了した後にアンケート調査を実施している。この実験の結果から、IFA 群では練習開始初期に FR 距離が有意に変化し、リーチ動作にプラスの効果を与えることが明らかになった。しかし、運動学習という面では IFA 群、EFA 群ともに有意な変化は見られなかった。この要因として、外在的フィードバックが両群へ一切与えられていなかったことをあげている。すなわち、結果を一切知らされなかったことで、被験者は大いに混乱した可能性があり、これはアンケート結果にも表れていた。以上より、運動学習を促すためには言語教示へ外在的フィードバックを組み合わせることが必要であると報告している（図 3）。

1.2.2.2 KR を組み合わせた場合の Internal focus of attention と External focus of attention の教示効果の差異²⁾

藤澤らの実験を踏まえ、著者は外在的フィードバックとして KR を与えて言語教示における IFA と EFA の運動学習への効果について実験を行った。藤澤らの実験からの修正点としては、外在的フィードバックとして KR を与えた点と、両群の教示数を統一させるために EFA 教示に対して測定器に関する情報を 2 つ追加し合計 3 つとした点である。この実験の結果として、EFA 群は実験期間を通しパフォーマンスが向上・保持され、運動学習に至ったが、IFA 群は実験期間を通してパフォーマンスの向上が見られず、運動学習に至らなかったことが示された。この要因として教示情報と外在的フィードバック情報の類似性による効果を挙げた。すなわち、EFA 群については、教示情報と外在的フィードバック情

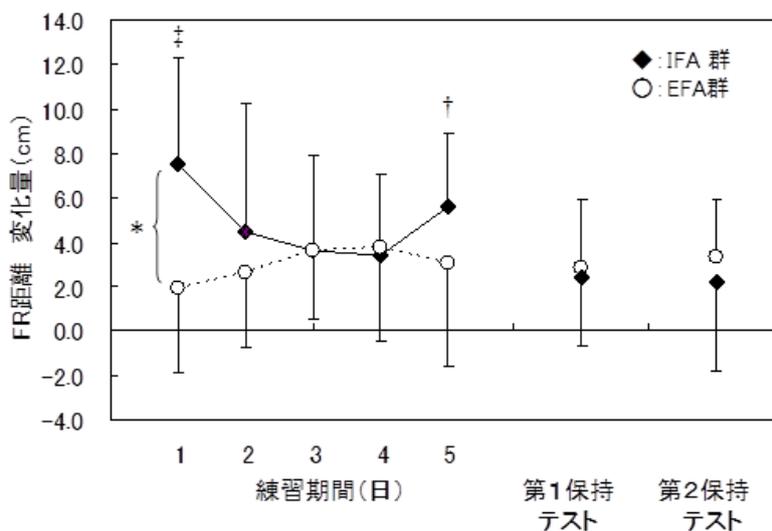


図 3 FR 距離のプレテストからの変化量の経時的変化（文献 1 より引用）

データは平均値±標準偏差を表す。教示方法の単純主効果の結果については、

* ($p < .01$) で示した。計測日の単純主効果についてはプレテストとの比較結果を、

† ($p < .05$), ‡ ($p < .01$) で示した。

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た。一方、IFA群については、教示情報と外在的フィードバックの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察した。以上より、教示情報と外在的フィードバックの情報との類似性を考慮し、IFA教示に対してはKPを用いることにより教示効果を高めるのではないかと推察した（図4・5・6）。

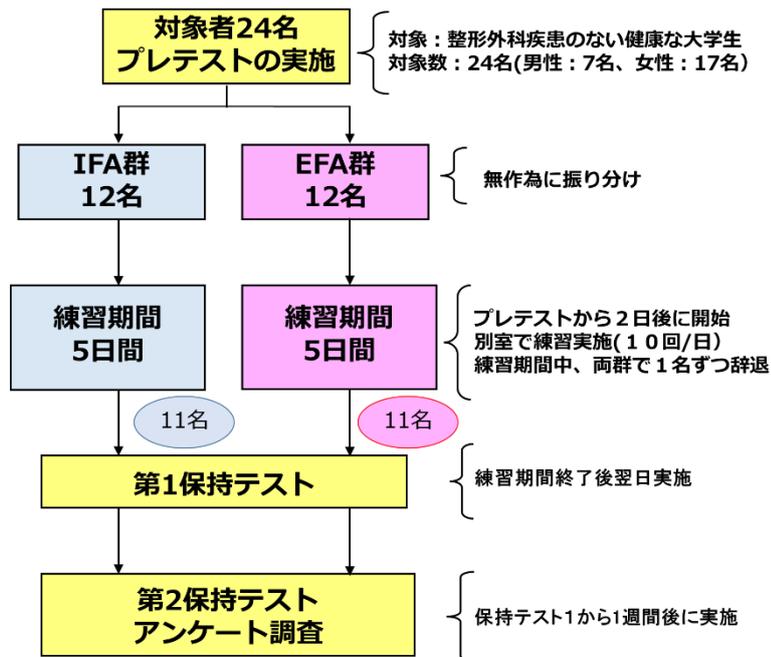


図4 研究デザイン（文献2）

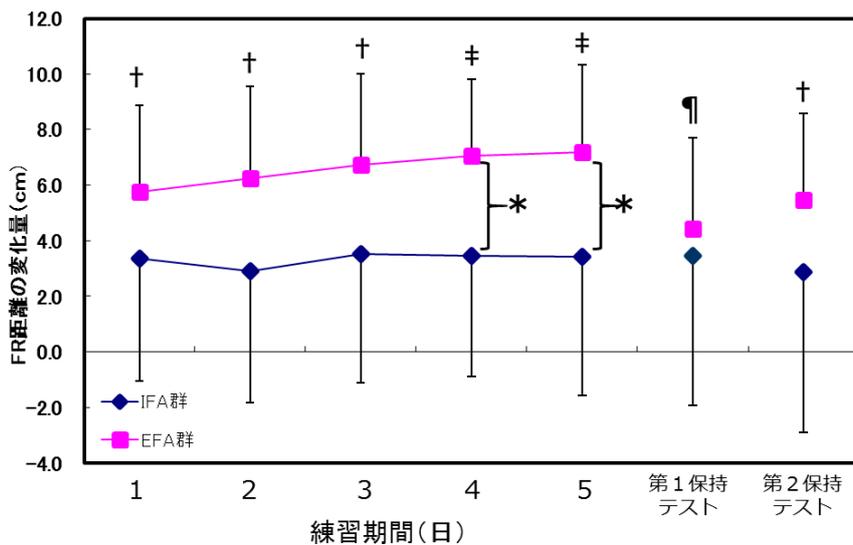


図5 プレテストからのFR距離変化量の経時的変化（文献2より）

データは平均値±標準偏差を表す。教示方法の単純主効果：* (p < .05),

計測日の単純主効果（プレテストとの比較）：¶ (p < .05), † (p < .01), ‡ (p < .001)

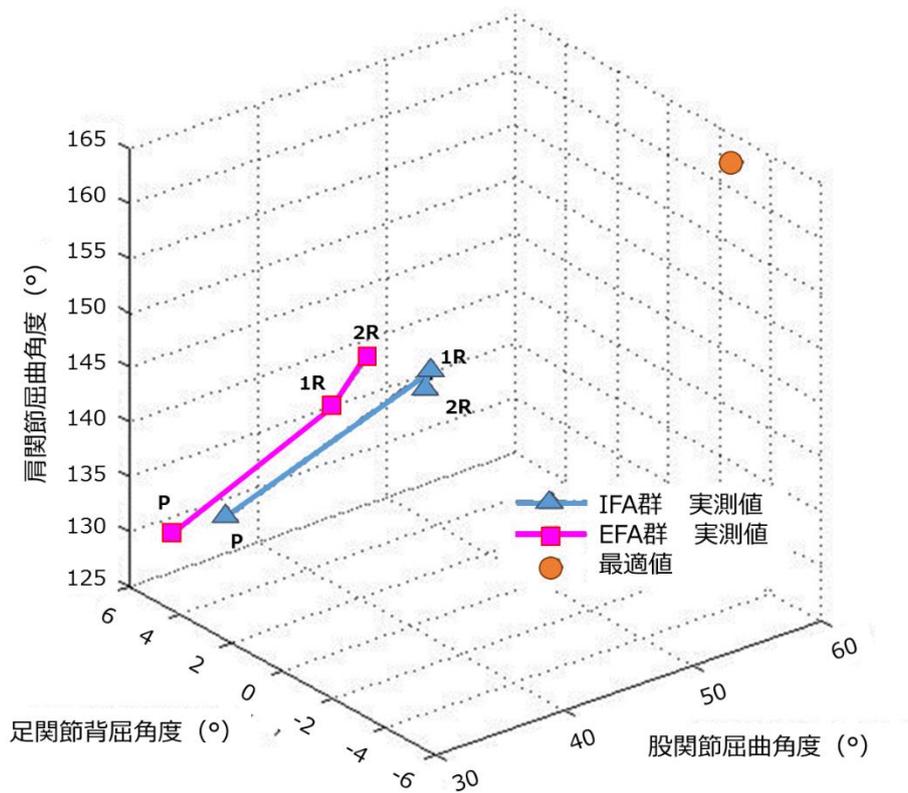


図6 ファンクショナル・リーチにおける姿勢の変化 (文献2より)

データは平均値を表す。P: プレテスト, 1R: 第1保持テスト, 2R: 第2保持テスト。

1.2.2.3 Internal focus of attention 教示と KP を組合せによる運動学習への影響³⁾

FR を用いた姿勢最適化トレーニングにおける2つの研究により、以下の二点が明らかとなった。一つ目として、教示のみを与えて練習を行った場合、IFA 教示は練習初期のパフォーマンスにプラスの効果を与えるが、運動学習という点では IFA 教示・EFA 教示ともに有意な効果を示さない¹⁾ということ。二つ目として、言語教示に KR を組合せて練習を行った場合、EFA 教示は KR と情報の類似性が高く、パフォーマンスの向上・運動学習を促すが、IFA とは情報の類似性が低く、パフォーマンスに有意な効果を示さない²⁾ことである。そのため、著者らは IFA と類似性の高い KP を外在的フィードバックとして組み合わせた場合の運動学習の効果を、先行研究と同様の研究デザインで検証した²⁾。その結果、IFA 教示に対して KP を組み合わせた群において、パフォーマンスの向上が確認され、さらに運動学習に至った。したがって、教示に対して情報類似性の高い外在的フィードバックを組み合わせることによりその教示効果を高めることが明らかとなり、IFA 教示に対しては KP が適していることが示された(図 7・8・9・10)。

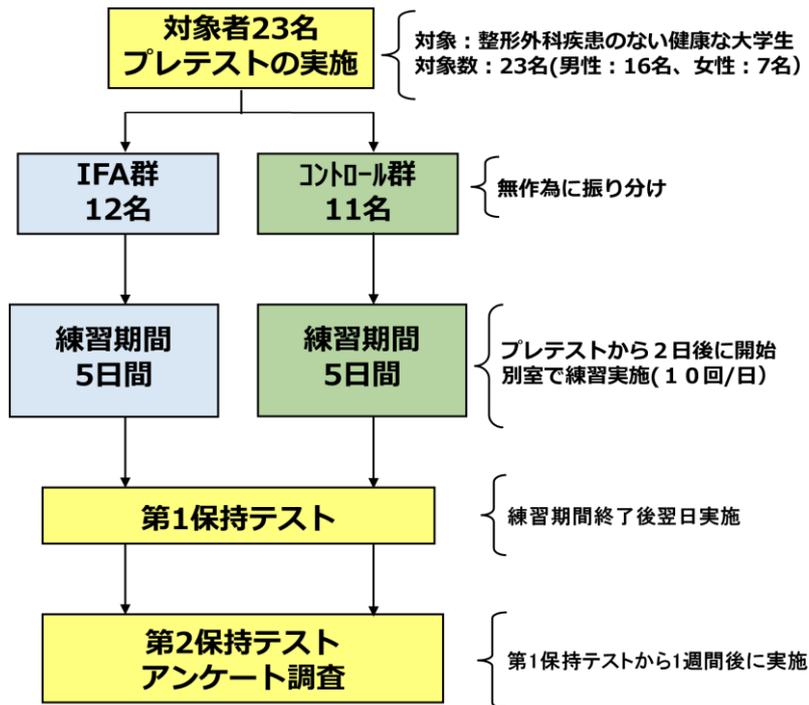


図7 研究デザイン (文献3より)

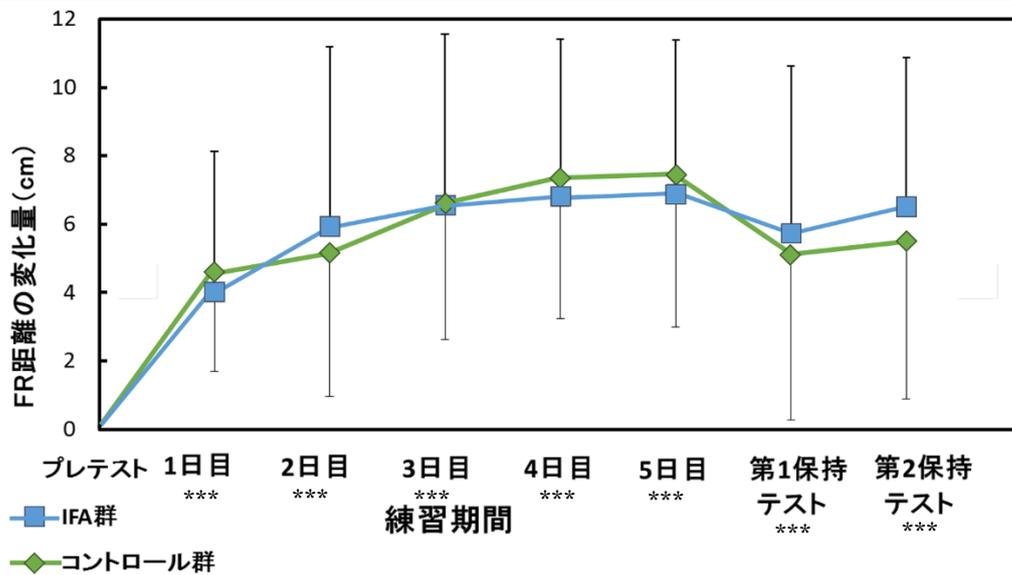


図8 プレテストからのFR距離変化量の経時的変化 (文献3より)

データは平均値±標準偏差を表す。計測日の単純主効果 (プレテストとの比較) : *** ($p < .001$).

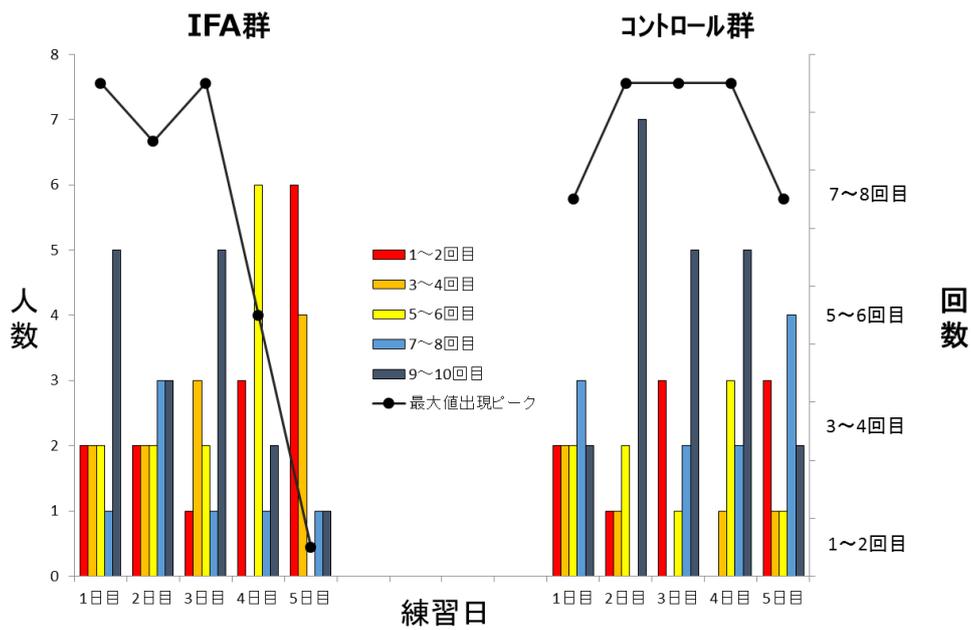


図9 各群におけるFR距離最大値の出現パターンに関するグラフ
 10回の練習の中で最大FR距離を示す時点の傾向（バークラフ、左軸）と
 最大FR距離を出した者が最も多かった時点の推移（ライングラフ、右軸）

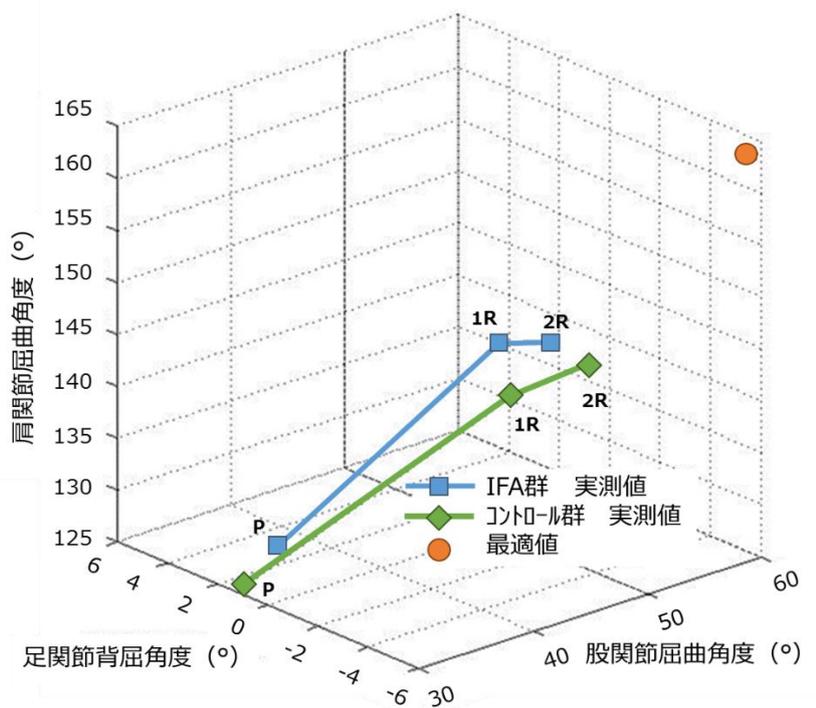


図10 ファンクショナル・リーチにおける姿勢の変化（文献3より）
 データは平均値を表す。P：プレテスト，1R：第1保持テスト，2R：第2保持テスト。

1.2.2.4 二種類の教示を提示する順序が運動学習に与える影響⁴⁾

著者らの実験において、練習期間の後半にパフォーマンスの向上が停滞することが確認された。この理由として、FR が単純な動作であるが故に、練習期間中に被験者が FR 動作に対して習熟したことが挙げられる。Perkins-Ceccat ら³⁰⁾は、IFA 教示と EFA 教示の初心者と熟練者への効果について研究した。その結果として、初心者に対しては IFA 教示、熟練者に対しては EFA 教示が有効であることと IFA 教示後の EFA 教示がパフォーマンスを低下させることを報告している。このように、教示は対象者の技能レベルや提示順序により運動学習に与える影響が異なる可能性がある。よって、この実験では、FR 動作の初心者に対して 2 種類の教示を提示する順序が運動学習に与える影響を明らかにすることを目的とした。これまでの実験と異なる点は介入方法であり、その違いにより 2 つの群を設けた。具体的には、練習期間を前半と後半に分け、前半に IFA 教示と KP (IFA 介入)、後半に EFA 教示と KR (EFA 介入) を与える群 (IFA to EFA:ItE 群) と、その逆順で介入する群 (EFA to IFA : EtI 群) である。その結果、両群ともに近い平均値を示していたにもかかわらず、EtI 群にのみ有意なパフォーマンス向上が確認された。この要因として、ItE 群内におけるパフォーマンスレベルの二分化が考えられた。具体的には、ItE 群をパフォーマンスが高い (High performance : HP) 群と低い (Low performance : LP) 群とに二分化でき、HP 群は身体情報を用いて課題に取り組み、LP 群は外部情報を用いて実施していた。つまり、HP 群は練習初期の IFA 介入を的確に理解したためパフォーマンスが著しく向上し、その後の EFA 介入によって高いパフォーマンスを保持したまま運動学習に至ったと考えられた。それに対して LP 群は、IFA 介入をパフォーマンスへ適切に反映できなかったために著しいパフォーマンスを示さなかったが、EFA 介入によりパフォーマンスを保持したと考えられた。一方、EtI 群では FR 距離変化量のばらつきが小さいという特徴が見られたが、著しいパフォーマンスの向上を示した者もいなかった。よって、EtI は、個人差が少なくパフォーマンスを向上させることのできる方法であると推察された。

以上より、ItE での介入は著しくパフォーマンスを向上させる可能性が示唆された。しかし、教示内容を理解させられなかった場合には LP 群が生じるうるため、IFA 介入を的確に理解させるため別の方策が必要となった。その一つが、漸減的フィードバックの利用である。この方法により、練習初期における KP の頻度を高めて IFA 介入を的確に理解させ、その後に KP を漸減させることで依存性産出効果を防げると考えられた (図 11・12・13・14)。

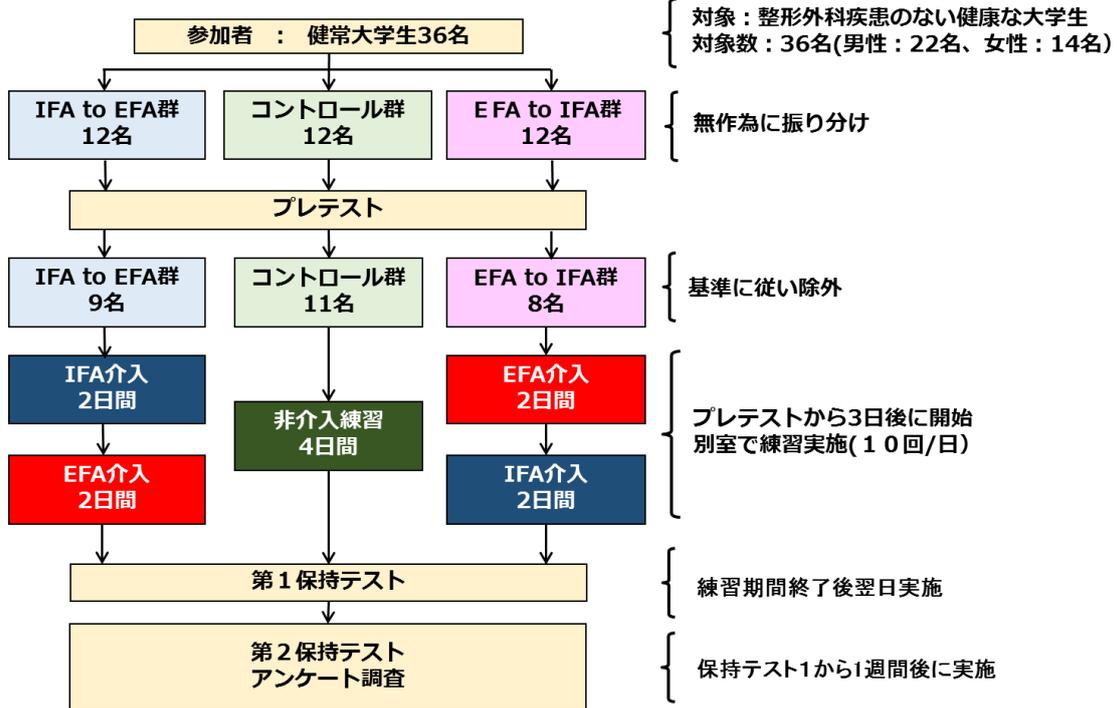


図 11 研究デザイン (文献 4 より)

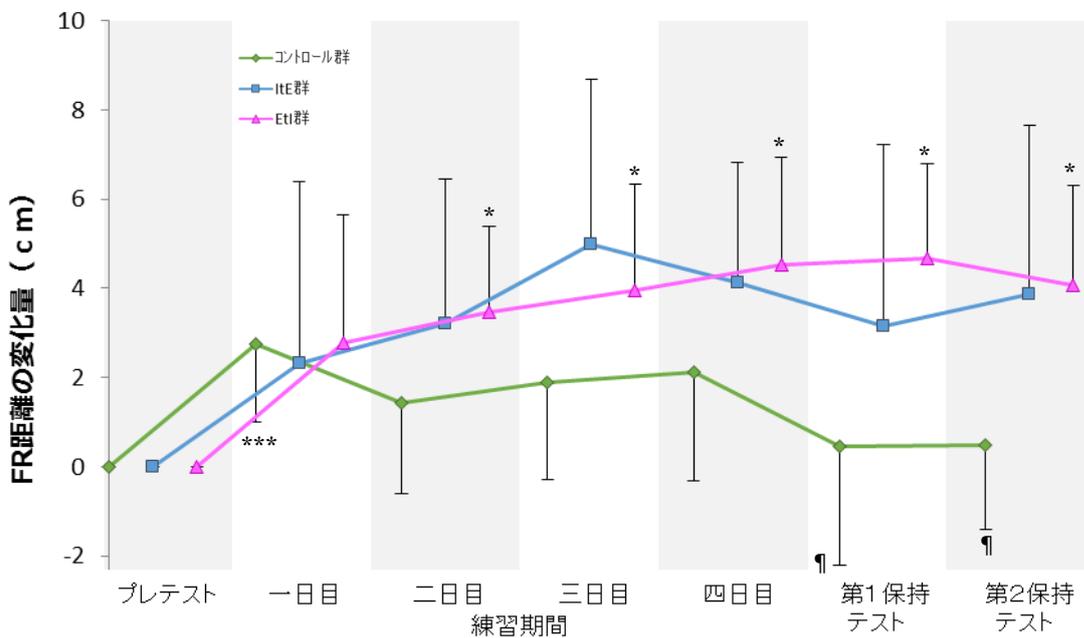


図 12 プレテストからの FR 距離変化量の経時的変化 (文献 4 より)

データは平均値±標準偏差を表す。

計測日の単純主効果 (プレテストとの比較) : * ($p < .05$).

計測日の単純主効果 (練習一日目との比較) : ¶ ($p < .05$).

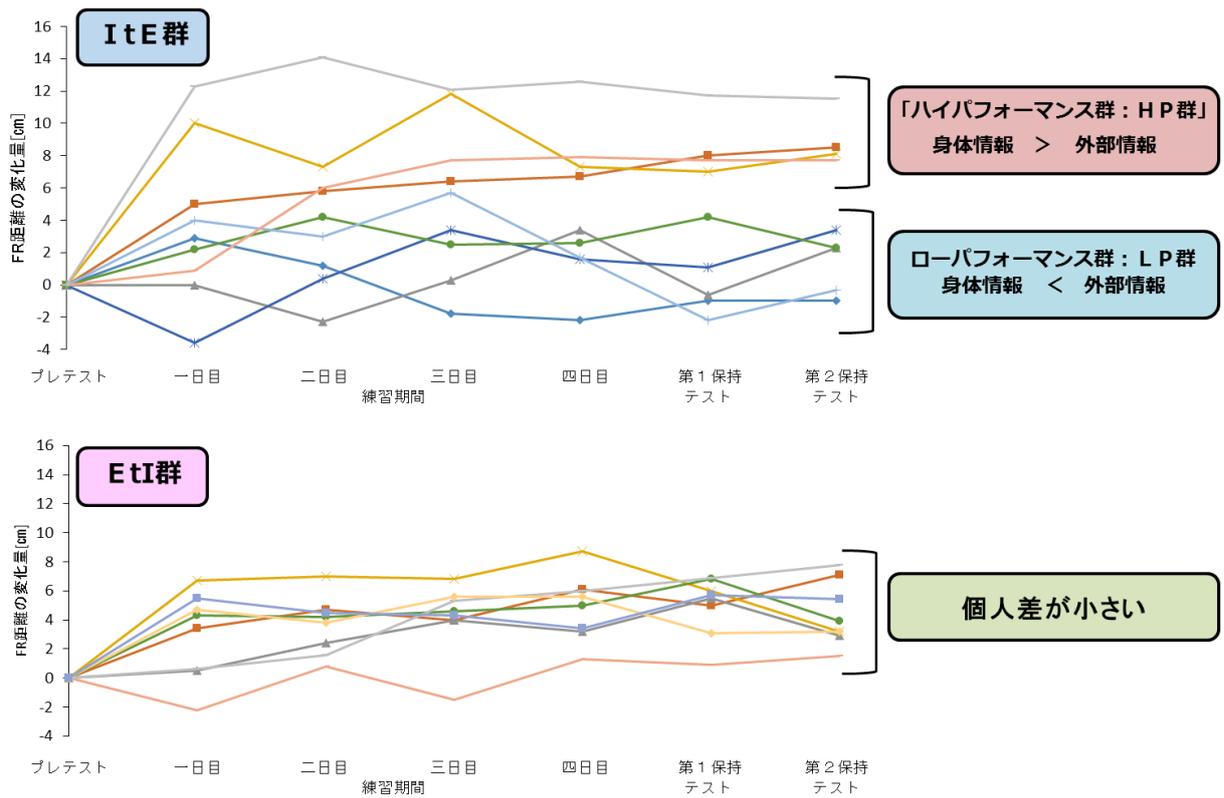


図 13 プレテストからのFR 距離変化量の経時的变化：被験者毎（文献 4 より）

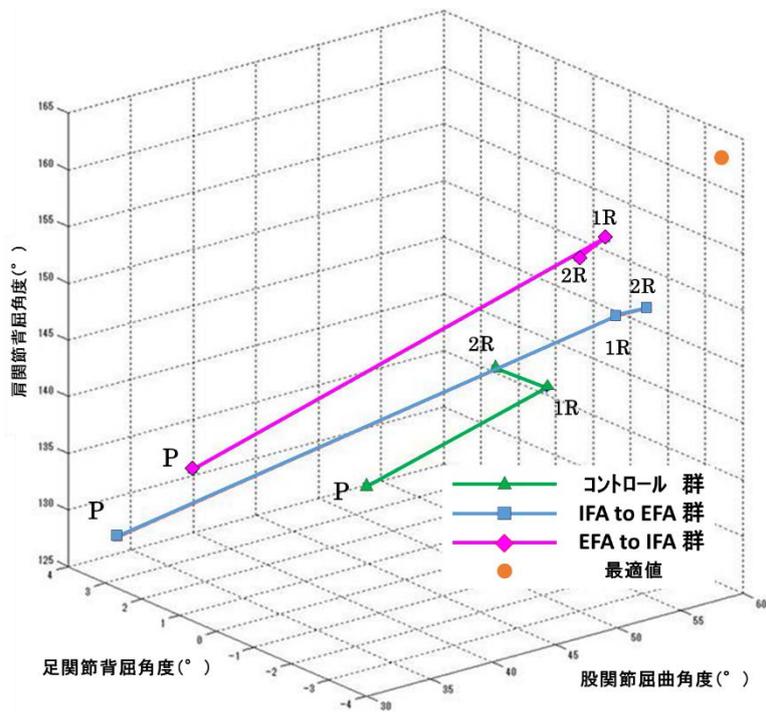


図 14 ファンクショナル・リーチにおける姿勢の変化（文献 3 より）

データは平均値を表す。P：プレテスト，1R：第1保持テスト，2R：第2保持テスト。

1.2.3 ハンドリングを取り上げた経緯

上述してきたように、我々はこれまで言語教示に着目し、Focus of attention の観点から運動学習における効果の差異に関する研究を進めてきた。その成果として、運動パターンを学習させる場合における、効果的な言語教示と外在的フィードバックの組合せやその提示順序を提案した。しかし、当然ながら理学療法場面における運動パターンの指導方法は言語教示のみに留まらない。そのため、運動学習理論を理学療法へ応用することにより、他の指導方法についてもその一つ一つを説明していく必要があると考えている。

今回、本研究ではその指導方法の一つである「ハンドリング」と取り上げた。前述したサイバネ学習論のF情報の中に「動作的F誘導法」がある。これは、手を添えて教える方法を指しており、理学療法におけるハンドリングに類似すると考える。よって、ハンドリングは運動学習へ影響を与える要因として捉えられるが、その運動学習効果に関する研究は見当たらない。さらに、運動パターンの学習において、その効果的な指導方法を明らかにするためには、指導方法の違いにおける学習効果の差異を検証が外せない。しかし、この点についても著者の知る限り報告されていない。そこで、本研究にてハンドリングを取り上げ、その運動学習における効果の特徴や、言語教示との効果の差異を明らかにする。本研究による成果は、運動パターンの指導方法を選択するための一情報をセラピストへ提供できるため、研究を進める意義は高いと考えている。

本項では、主題であるハンドリングについて簡潔にまとめる。また、ハンドリングと言語教示の運動学習効果を比較するにあたり、潜在学習・顕在学習に関する報告が参考になった。そこで、潜在・顕在学習に関する研究について整理した。なお、第2章の緒言では、その観点からハンドリングと言語教示を捉えることで、実験の目的を明確にし、さらにその学習効果の差異に関する作業仮説を立てる。

1.2.3.1 ハンドリング

ハンドリング（身体操作）⁴²⁾は、姿勢制御・運動パターンを指導する手技の一つであり、理学療法場面において頻繁に用いられている。しかし、定量化にそぐわない面からエビデンスが蓄積されていなく、また、運動学習への効果も明らかにされていない⁴³⁾。さらに、その用語も明確に定義されていない⁴³⁾。

ハンドリングは、小児を対象とした理学療法において使用されており、特にBobath夫妻によるボバースアプローチにて紹介されている。具体的には、「脳性麻痺児の治療時に異常要素の抑制し、正常要素の促通する上で必要な身体操作」と紹介されている⁴⁴⁾。しかし、現在ハンドリングという用語はボバースアプローチ以外の場面でも用いられており、また、その対象は小児理学療法に収まらない。そこで、現状を踏まえて用語を操作的に定義するため、本研究では「Guide：誘導」という用語を参考にした。誘導⁴⁵⁾は、「ある動作を行わせる場合に、運動そのものを単に介助（補助）するのではなく、筋の活動の状況や関節の動きを分析し、これらの情報を基に徒手的な操作、および言語的な指示を加え、目的とする運動を引き出すための理学療法的手段」と説明されている。この定義における「徒手的な操作」がまさにハンドリングに一致すると考える。したがって、本研究ではハンドリングを、「ある運動・動作を行わせる場合に、対象者の動作に先行して徒手的に身体の一部を操作し、目的とする運動・動作を引き出す理学療法的手段」と操作的に定義した。

1.2.3.2 潜在学習・顕在学習とハンドリング・言語教示

学習方法の一つに、潜在学習 (Implicit learning) と顕在学習 (explicit learning) という考え方がある。Reber.A.S.⁴⁶⁾は、無意識的な学習過程を潜在学習、意識的な学習過程を顕在学習と定義している。また、関矢⁴⁷⁾は、Berry.D.C と Dienes.Z の先行研究を引用し、言語報告可能な知識を伴う顕在学習と、言語報告は困難であるが行動に反映される知識を伴う潜在学習と翻訳している。この定義は文章完成法を課題とした初期の認知心理学における見解であるが、運動学習領域において学習効果を検討する際も重要な意味を持つ⁴⁸⁾。

この潜在・顕在学習の定義に理学療法場面を想定した場合、潜在学習における指導にハンドリングが、顕在学習における指導に言語教示が該当すると考える。このように、それぞれの指導方法を潜在学習と顕在学習の概念にあてはめて考えることにより、ハンドリングと言語教示の運動学習への効果の差異を推論できると考えた。

1.2.3.3. 潜在学習と顕在学習の先行研究

運動や動作を学習課題として潜在・顕在学習を取り上げた研究報告は多くみられる。Pew⁴⁹⁾は、追跡課題を用いて検討しており、課題の規則性に関する知識を与えなくてもパフォーマンスが向上することを示している。すなわち、運動技能の学習における潜在学習の発現が確認されたことを示している。このことから、この分野の関心は、潜在学習と顕在学習における運動学習への効果の差異に向けられ始める。関矢ら⁴⁷⁾は、この問題に対して追跡課題を用いて研究している。この報告においても、Pew⁴⁹⁾の研究同様に潜在学習におけるパフォーマンスの向上が確認されたものの、潜在学習と顕在学習の学習効果は同程度であったとした。その一方、Greenら⁵⁰⁾の報告では、規則的に移動するターゲットをモニター上で捕える課題において、その規則性を言語教示した顕在学習群よりも教示しなかった潜在学習群の方が優れた学習効果を示したとしている。

追跡課題やその類似課題の他に、スポーツを取り上げた研究も報告されている。それらの研究では、予測スキルの向上を目的とした知覚トレーニング (perceptual training) を課題として取り上げている^{47,51,52)}。具体的には、テニスのサーブにおけるコースと球種を予測しボタンにて解答するものであり、潜在的教示群 (原文では、潜在的知覚トレーニング群)、顕在的教示群 (原文では、顕在的トレーニング群)、統制群の3群で比較している⁵¹⁾。この研究の結果として、正当数は潜在的教示群・顕在的教示群ともに同程度の向上が認められ、さらに、潜在的教示群は顕在的教示群よりも正反応試行の平均反応時間が短縮した。つまり、潜在的教示による無意識的な情報処理の方が学習効果を高めたと説明できる。しかし、投球動作の知覚トレーニングを課題とした研究⁴⁷⁾において、未熟練者では潜在的教示群より顕在的教示群の方が優れた学習効果を示した研究も報告されており、対象者の習熟度によってもその効果に違いがあることが示されている。

このように多くの研究報告がなされおり、また健常高齢者と脳卒中後遺症者とを比較した研究もおこなわれている⁵³⁾が、その課題は理学療法場面を想定し難しいものであった。そのような中、理学療法場面で治療対象となるバランス課題を取り上げた研究が近年報告されている。Sheaらの研究⁵⁴⁾で取り上げられた課題は、これまで実験されてきた追跡課題とバランス課題を組み合わせたものであった。具体的には、規則的に変化するターゲットの動きに合わせてスタビロメーター²⁹⁾のプラットフォームを動かしながら

らバランスを保つというものであった（図 15）。その報告では、複雑な運動課題であっても潜在学習の生起は確認でき、また規則性に関する情報を与えずに練習した方が情報を与えて練習するよりも有益であるというものであった。また、バランス課題のみを取り上げ、潜在学習群（原文では、誤差なし学習）と顕在学習群（原文では、発見学習）の学習効果を比較している報告もある^{55,56)}。この研究の学習課題はスタビロメーターをより水平に保つことであり、潜在学習群は徐々に支点の固定が緩むスタビロメーターで練習を行い、顕在学習群はプラットフォームを水平に保つための基準を指導された。その結果、若年健常者、高齢者、脳卒中後遺症者において 2 群間の学習効果に有意な差は認められなかった。しかし、脳卒中後遺症者に対して数唱課題を付加して実施させた場合に顕在学習群よりも潜在学習群の方がより優れた結果を示した。つまりこれは、脳卒中後遺症者へ明示的情報提供（言語化された情報の獲得）が運動技能の学習・再学習において有害である可能性を示唆している。なお、このような二重課題時における潜在学習群の優位性については、パーキンソン病患者⁵⁷⁾でも確認されている。

以上より、潜在・顕在学習に関する先行研究は、以下の 3 つにまとめられる。

- 1) 運動課題においても潜在学習の効果は確認されている
- 2) 潜在学習による無意識的な情報処理が運動学習効果を高めるが、未熟練者に対しては顕在学習の方がより優れた学習効果を有する可能性がある。
- 3) 理学療法場面を想定した学習課題での検討が不足している。



図 15 先行研究で頻繁に用いられているスタビロメーター
(文献 29 より引用)

1.2.4 全体法・部分法を取り上げた経緯

言語教示の運動学習効果に関する我々の研究において、練習初期の IFA 介入の内容を理解できずに低いパフォーマンスを示した者が見られた⁴⁾。この原因の一つとして、3つの IFA 教示を同時に指導したことが考えられた。つまり、3つの教示を動作へ反映させる際、その組み合わせ方が対象者へ委ねられていたため、被験者毎に理解が異なっていた可能性があった。この問題へ対策を言語教示と外在フィードバックの観点から考察し、IFA 教示と組み合わせた KP を漸減的フィードバックとして提示する方法を提案した。

今回、この問題に対するもう一つの方法を全体法・部分法の観点から提案する。その内容は、3つの教示と KP を練習中に分けて提示する方法である。これは、練習初期に課題のポイントを一つ一つに理解させることでパフォーマンスを高め、LP 群の発生を防ぐという発想である。つまり、練習方法により、教示や外在的フィードバックの効果が異なる可能性を推論した。

本項では、全体法・部分法の定義とその研究背景を示すことで、理学療法場面における全体法・部分法に関する運動学習研究の必要性を明確にする。なお、第3章の緒言では、理学療法における全体法・部分法の運動学習の効果を明らかにするために用いる学習課題を提案する。

1.2.4.1 全体法・部分法

練習方法の分類の一つに、全体法（全習法；Whole method）と部分法（分習法；Part method）^{9,14,58)}がある。全体法とは、課題の始めから終わりまでを行って、それを反復する方法である。一方、部分法とは、あらかじめ課題内容を部分に分けて、それを順次実施してゆく方法であり、その分け方はさらに純部分法、漸進的部分法、反復的部分法の3つに分類されている⁵⁾。理学療法場面では、臨床家の判断により全体法と部分法の練習が使い分けられているが、その使い分け方について明示された研究は見当たらない（図16）。

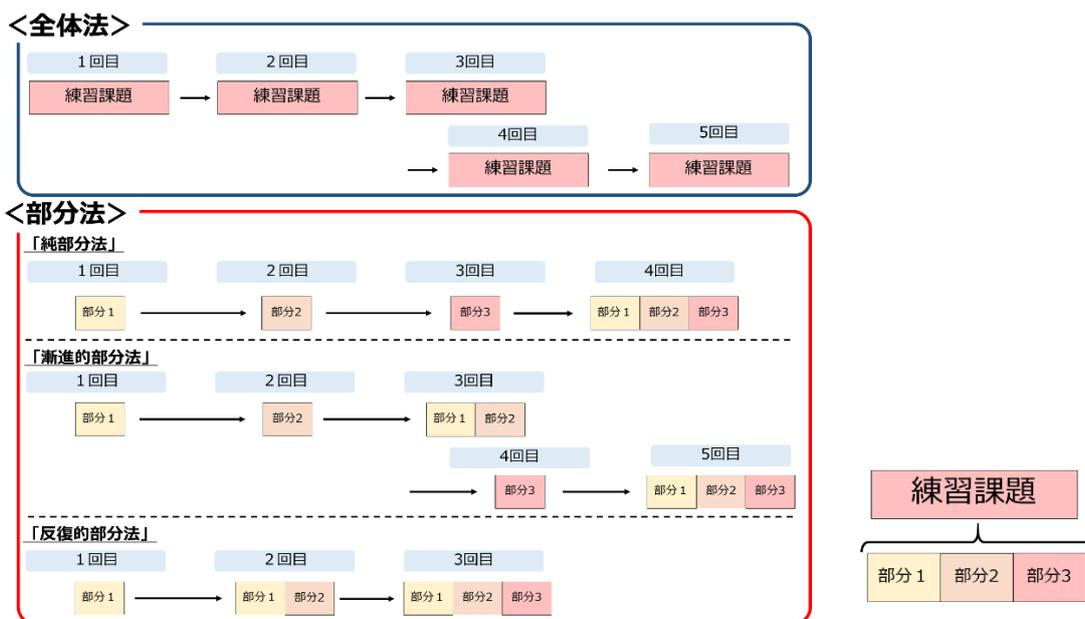


図 16 全体法・部分法の分類

部分法：右図のように、1つの練習課題を三つの構成要素にわけて練習する場合

表 5 Noylor と Briggs の仮説に基づいた全体法と部分法の適用方法

複雑性	組織化		効果的な適用方法
低い	高い	→	全体法
高い	低い	→	部分法

全体法と部分法の学習への効果の差異は、ライフル射撃課題⁵⁹⁾やタイピング課題、柔道等さまざまな課題で研究されている⁶⁰⁾ものの、「whole-part problem」と呼ばれ、古くから議論の対象であり、今なお結論の出ていない課題である⁵⁸⁾。そのような中、Magillは、Noylor と Briggs の仮説を取り上げ、全体法と部分法の使用方法を紹介している⁶¹⁾。Noylor と Briggs の仮説とは、技能を複雑性と組織化という二点から分類し、その特徴に合った練習方法を選択するというものである。複雑性とは、技能の要素の数と情報処理過程の量によって決定される。そのため、複雑性が高い技能とは、より要素が多く、より情報処理過程が多いものを意味する。一方、組織化とは、技能の要素間の関連性のことを指す。したがって、技能の要素間の関連性、すなわち一連の運動パターンで動作が構成されている場合に、組織化が高い技能であるとされる。これらの観点より、複雑性が低く組織化の高い技能については全体法、複雑性が高く組織化が高い技能について部分法による練習が有効とされている⁶⁰⁾。具体的な例を挙げるならば、野球の投球動作やテニスのストロークなどは全体法が、エアロビクスエクササイズやダンスなどは部分が適応になると考えられている。また、この仮説にて理学療法にて治療対象となる技能を分類すると、歩行や立ち上がり動作などは全体法が、トイレ動作や入浴動作などは部分法が適していると説明できる。しかし、実際に理学療法場面を想定した課題にて全体法と部分法における運動学習への影響を調べた研究は少ない⁶²⁾ (表 5)。

第2章

ハンドリングトレーニングにおける 運動学習への効果

第2章：ハンドリングトレーニングにおける運動学習への効果

2.1 倫理的配慮

本研究は、東北文化学園大学研究倫理審査委員会にて承認を受け実施した（承認番号；文大倫第 12-11 号）。

2.2 課題1：サイドステップによるバーをくぐる動作による検証

2.2.1 緒言

潜在・顕在学習の先行研究より、意識的・言語的な知識の提示なく指導した方がより優れた運動学習効果を得られる一方、未熟練者に対しては顕示的情報を与えての指導が有効であると捉えられる。この潜在・顕在学習の観点から理学療法場面を捉えた場合、言語指示は顕在学習に該当し、明示的な情報の付加により学習者のパフォーマンスの向上を狙うものである。一方、ハンドリングは、言語化された情報の提示を抑えながらも動作方法を指導できる方法と言える。

我々はこれまで運動パターンの学習における言語指示の効果を検証し、2つのことを明らかにした。1つが IFA 指示のみで練習を進めた場合に、対象者は自己のパフォーマンスに迷いが生じ、パフォーマンスが低下して運動学習に至らないという点である¹⁾。もう一つが、言語指示は情報の類似性の高い外在的フィードバックと組み合わせることでその効果を高め、IFA 指示には KP との組み合わせが有効という点である。つまり、IFA 指示と KP による指導は、指示にて動作のポイントを指導し、その後 KP にてパフォーマンスを修正するという手続きをとる。一方、ハンドリングでは、目標とする運動パターンを直接的かつ潜在的に指導でき、その手続き少なく練習を進められると可能性がある。また、その動作方法の言語化も抑えられ、潜在学習の観点から高い学習効果が期待できると推察される。したがって、運動パターンの学習においても、顕在的に動作方法を指導する言語指示よりもハンドリングの方が運動パターンの学習において有益であると仮説を立てた。

以上の仮説を検証するため、今回学習課題としてサイドステップによるバーをくぐる動作を取り上げた。これは、視覚的情報を遮断した状態で、サイドステップをしながらバーにより近くをくぐる動作である。この課題において、学習者はバーと頭頂間の距離（バー通過距離）が最も短くなるように通過することを求められる。サイドステップ動作は側方へのステップ長が増加することにより、重心軌道の最下点が低下すると報告されている⁶³⁾。そのため、ステップ長を規定してステップ長増加による戦略を防ぐことで、学習者は制約条件下での運動パターンの学習を要求される。すなわち、その運動パターンを学習することにより、よりバーに近い所をくぐることが可能になると考えた。したがって本研究の目的は、サイドステップによりバーをくぐる動作を学習課題として取り上げ、ハンドリングにおける運動学習への効果と、言語指示との運動学習効果の差異を明らかにすることとした。

本研究にてハンドリングを取り上げ、その運動学習における効果の特徴や言語指示との効果の差異を明らかにすることで、セラピストが運動パターンの指導方法を選択するための一情報を提供できると考えている。

2.2.2 対象

神経疾患・整形外科疾患のない健康な男子大学生 30 名（身長：175.2±5.8 cm，体重：94.2±2.8 kgw）

表 6 被験者情報 (課題 1)

群	n	利き脚 右/左	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (cm)	座高 (cm)	床-肩峰 間長(cm)	棘果長 (cm)
コントロール群	10	9 / 1	19.9 (1.1)	171.1 (5.6)	64.0 (9.4)	92.6 (4.0)	139.2 (4.6)	87.4 (3.3)
ハンドリング群	10	9 / 1	19.9 (1.2)	172.3 (6.8)	60.2 (6.0)	93.0 (3.8)	140.5 (5.2)	87.4 (4.2)
言語教示群	10	10 / 0	19.4 (1.5)	175.2 (5.8)	69.5 (13.3)	94.2 (2.8)	142.4 (5.7)	90.2 (5.0)

平均値 (±標準偏差)

とした。また、ハンドリングによる介入を受ける群 (ハンドリング群) と、IFA 教示による介入を受ける群 (言語教示群)、介入を受けずに練習を行う群 (コントロール群) の 3 群へ 10 名ずつ乱数表にて無作為に割り付けた (表 6)。

2.2.3 説明と同意

対象者には「側方へのステップしながらバーをくぐる動作に関する研究であること」、「測定は非侵襲的であること」などを説明した後、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を得た。

2.2.4 方法

2.2.4.1 研究デザイン

実験を開始する前に、練習前テスト (プレテスト) として、形態計測、バー頭頂間距離 (バー通過距離) を測定した。プレテストの 3 日後から 2 日間連続で課題動作の練習期間を設けた。学習効果を確認するため、練習期間終了の翌日に第 1 保持テストを、さらにその 1 週間後に第 2 保持テストを実施した。なお、対象者には実験終了まで本実験に関する情報交換を一切行わないように注意を促した (図 17)。

2.2.4.2 プレテストと保持テスト

形態の測定項目は、身長、体重、座高、床面 - 肩峰間距離、棘果長の 5 項目とし、体節長の測定にマルチン式人体計測器を使用した。なお、床面-肩峰間距離をバーの高さの設定に、棘果長を動作時のサイドステップ幅 (75%棘果長) の設定に用いた (図 18)。さらに、基本情報として、年齢、利き脚を聴取した。利き脚については「ボールを蹴る方の脚」とし、利き脚側を運動方向とした。

プレテストの測定前に、全対象者に対して音声付映像・映像内テロップとしての概要を提示した。具体的には、①「これから実際に行っていただく運動を説明します。」、②「開始時にはこの姿勢とさせていただきます。」、③「アイマスクを装着していただきます。」、④「こちらの合図にて動作を開始してください。」、⑤「バーをくぐる際、矢印の距離が可能な限り短くなるようにしてください。」、⑥「注意点として、正面を向いたまま行ってください。」、⑦「サイドステップの幅については、実験開始前に練習したものを再現するようにしてください。」、⑧「終了時にはこの姿勢をとってください。」の 8 項目とした (図 19)。

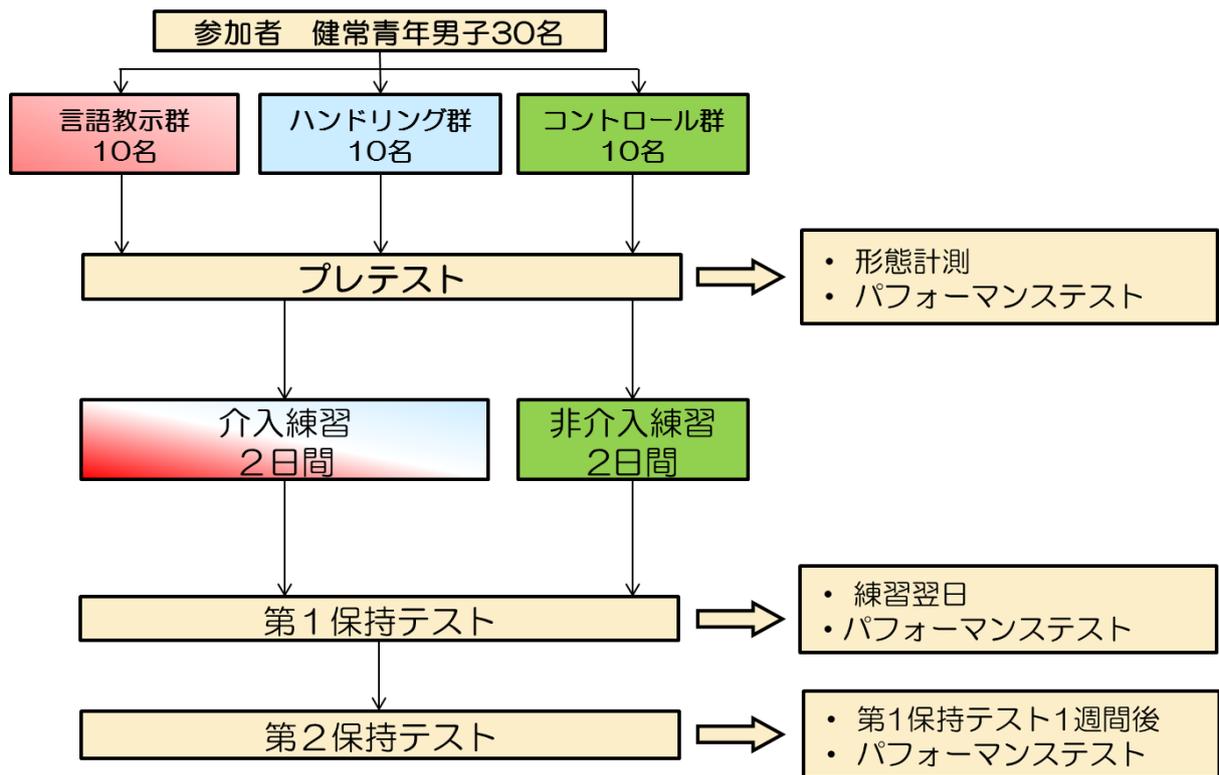


図 17 研究デザイン (課題 1)

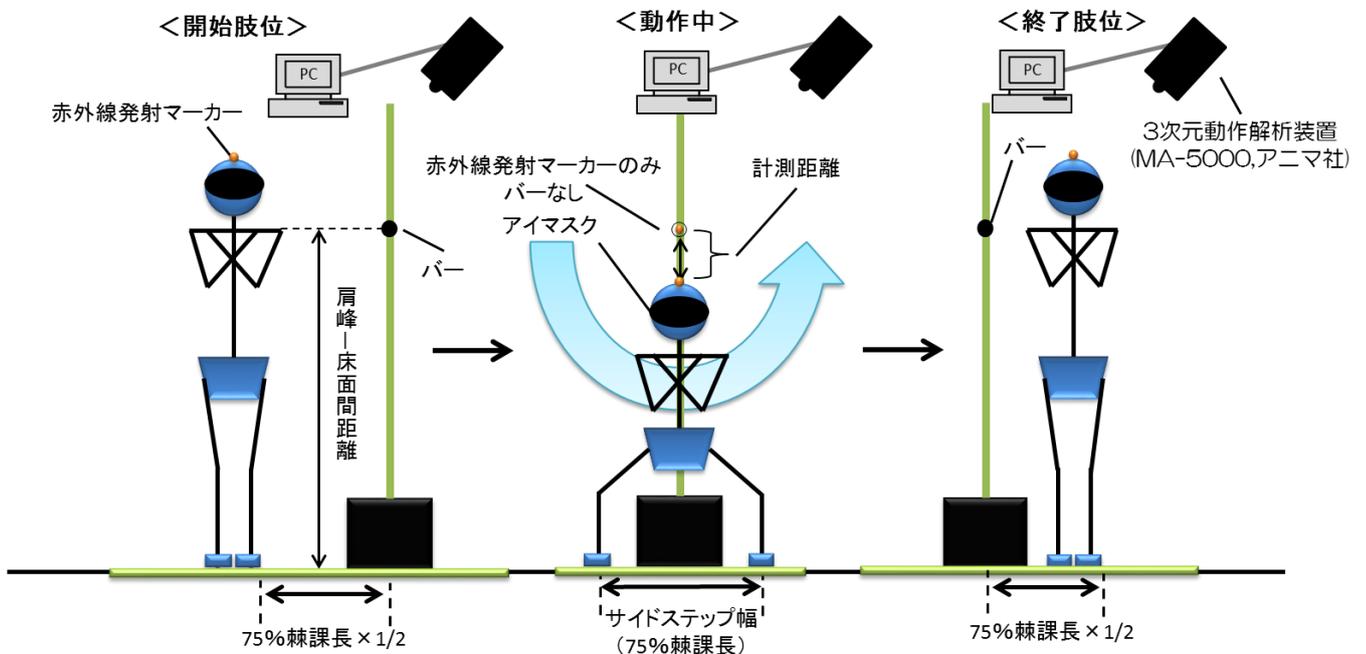
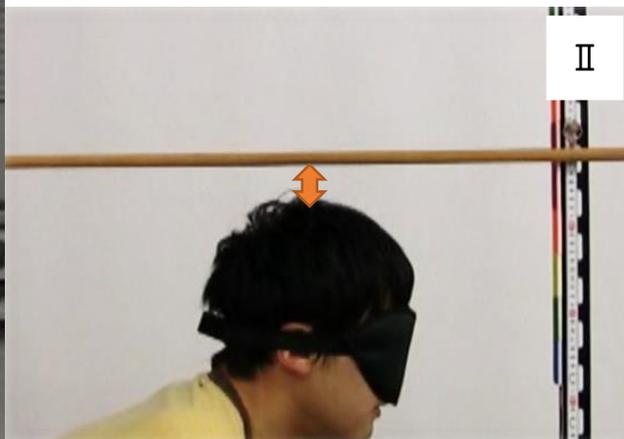
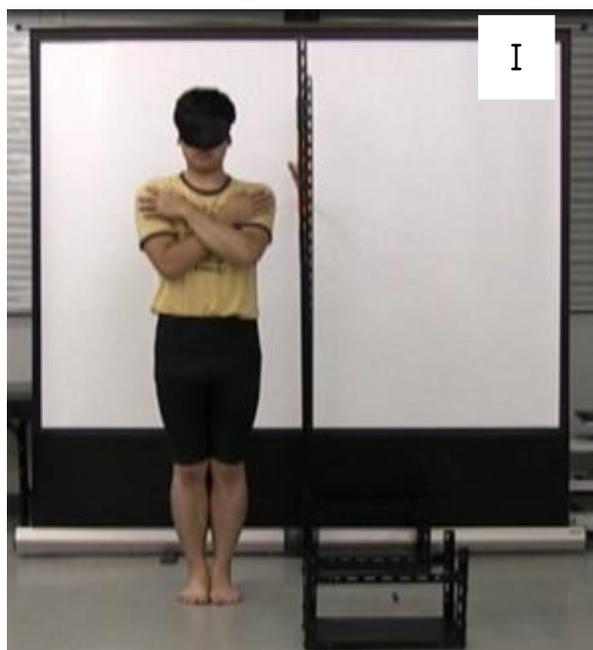


図 18 測定環境 (課題 1)



- ① これから実際に行っていただく運動を説明します。
- ② 開始時にはこの姿勢とっていただきます。
- ③ アイマスクを装着していただきます。
- ④ こちらの合図にて動作を開始してください。

- ⑤ バーをくぐる際、矢印の距離が可能な限り短くなるようにしてください。
- ⑥ 注意点として、正面を向いたまま行ってください。



- ⑦ ステップの幅については、実験開始前に練習したものを再現するようにしてください。



- ⑧ 終了時にはこの姿勢をとってください。

図 19 プレテスト前に提示した音声付映像・映像内テロップの内容（課題 1）

上記内容の映像は DVD プレーヤー・ヘッドホンを用いて視聴させた。 I～IVの順番に提示した。

なお、具体的な動作方法に関する情報の含まない映像を用いて説明を行った。その後、サイドステップ幅の事前確認を行った。開眼時とアイマスク着用時それぞれで、棘果長の $75\pm 5\%$ にサイドステップ幅を再現できるように練習をさせた。プレテストおよび第 1、第 2 保持テスト時に、バー通過距離の測定をそれぞれ 2 回ずつ実施した。バー通過距離の測定には、3 次元動作解析装置 (MS-5000, アニマ社製) を使用した。また、赤外線反射マーカは頭頂とバーに貼付した。バー通過距離の算出には、バー通過時の頭頂とバーのマーカの 3 次元データを使用し、測定 2 回の平均値を代表値とした。開始時には対象者をバーより 75% 棘果長の $1/2$ 分離れた位置に閉脚立位を取らせ、上肢は胸の前で組ませた。動作開始時の合図については、検者による「用意、はじめ」の声がけに統一した。動作中、対象者にはバーをくぐるように伝えているが、リスク管理の観点から実際にはバーを取り除いた状態で測定を行った。そのため、頭頂がバーの上を通過することも起こりうる環境となっている。なお、測定前に確認したサイドステップ幅が棘果長の $75\pm 5\%$ を越えた場合には再測定とした。

2.2.4.3 練習方法

対象者間の情報交換を防ぐため、各群は対象者毎に課題動作の練習を行わせた。また、練習時のバー通過距離の測定について、検者の目測によりバーの上をプラス、下をマイナスとし、上限 25 cm 下限 25 cm の全長 50cm 範囲で 5 cm 間隔で記録し、このデータを基に外在的フィードバックを与えた。これは、解析時間の問題から速やかに 3 次元データを用いたフィードバックを行えず、KR 遅延時間の延長を招く可能性があったためである。開始姿勢・終了姿勢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、ハンドリング群と言語教示群に対して介入を行った。介入頻度は 100% とした。ハンドリング群の介入について、検者が対象者の骨盤を両側より把持し、動作を誘導した。動作を誘導する際には、「バー通過時に最下点をとる U 時型に頭頂が軌道を描くようにすること」、「バー通過距離がバー下 5cm 以内に収まること」に注意し、誘導した。なお、ハンドリングによる介入については、1 名の検者が十分に練習を重ねた上で行った。言語教示群への介入は IFA 教示とし、内容は「バーを通過する際、頭のとっぺんが肩の高さに位置するようにしてください。」に統一した。この教示内容は、バーの高さが床から肩峰の高さに設定されていることから決定した。一方、コントロール群に対してはフィードバックのみ与えて 2 日間の練習を行なわせた。外在的フィードバックは、結果の知識 (knowledge of result; KR) として、バーと頭頂の位置関係 (上もしくは下) とバー通過距離 (5 cm 間隔) を与えた。フィードバック頻度は絶対頻度で与えた。練習中にサイドステップ幅が棘果長の $75\pm 5\%$ を越えた場合には注意を促した。

2.2.4.4 統計解析

プレテスト時における形態計測値について、群間比較を行うために一元配置分散分析を実施した。プレテスト時からのパフォーマンスの変化及び運動学習効果を 3 群間で比較するため、バー通過距離を従属変数、練習方法 (3 水準) と計測日 (3 水準) を独立変数とした、混合計画による二元配置分散分析を行った。また、事後検定として、Shaffer の方法による多重比較検定を行った。解析には統計ソフト R for windows (version 2.13.2) を用い、統計学的有意水準は危険率 5% 未満とした。さらに、バー通過距離の傾向を確認することを目的に、外在的フィードバック時に用いた 5cm 刻みかつ +25cm ~ -25cm の

範囲分類したものを使用し、該当する試行数を数えた。

2.2.5 結果

2.2.5.1 形態計測値の比較

プレテストの形態計測値について、3群間に有意差は認められなかった（表6）。

2.2.5.2 バー通過距離

バー通過距離は、分散分析の結果、教示方法間および測定日については有意な主効果はみられなかった（表7）。しかし、交互作用にのみ主効果が見られ（ $F(4, 54)=4.6121, p<.01$ ）、コントロール群における測定日の単純主効果に有意な差が認められた。そこで、多重比較検定を行ったが、有意な差認められなかった。また、バー通過距離の傾向を確認したところ、第2保持テストにおいて、バーの下を通過した被験者数がコントロール群において多い傾向になった。さらに、バーの下を通過した者のみ、バーの下からの通過位置を確認したところ、5cm以内を通過した試行、10cm以内を通過した試行の数が、言語教示群に比べて2試行分ずつほど多い傾向にあった（表8, 9）。

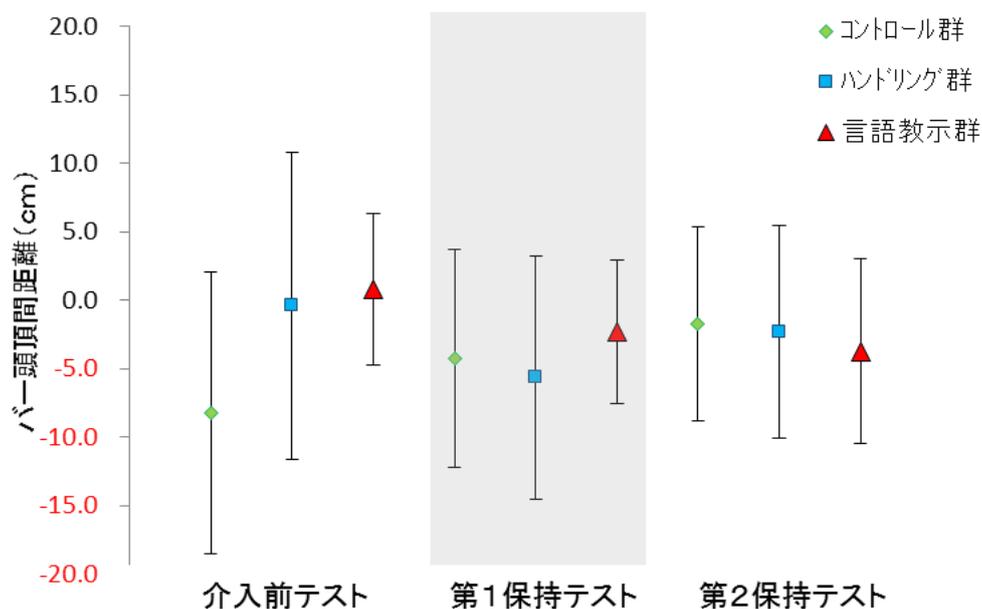


図 20 バー通過距離

データは平均値±標準偏差を表す。

表 7 分散分析表（従属変数：バー通過距離）

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	p値
A	169.42	2	84.7117	0.3893	0.6812
sxA	5874.67	27	217.5804		
B	66.23	2	33.1153	0.7998	0.4547
AxB	554.15	4	138.5366	3.3461	0.0161 **
sxAxB	2235.71	54	41.4021		
Total	8900.18	89			

独立変数) A: 練習方法, B: 計測日

** : p<.01

表 8 バー通過距離のバー上下による分類

テスト	介入方法	バーより下	バーより上
プレテスト	コントロール群	15	5
	ハンドリング群	9	11
	言語教示群	10	10
第1保持テスト	コントロール群	15	5
	ハンドリング群	16	4
	言語教示群	11	9
第2保持テスト	コントロール群	9	11
	ハンドリング群	15	5
	言語教示群	14	6

単位：試行

表 9 バーの下を通過した試行の分類

テスト	介入方法	バー下		
		5cm以内	10cm以内	15cm以内
プレテスト	コントロール群	1	6	10
	ハンドリング群	5	9	10
	言語教示群	2	5	6
第1保持テスト	コントロール群	10	12	12
	ハンドリング群	5	8	10
	言語教示群	3	7	14
第2保持テスト	コントロール群	4	6	7
	ハンドリング群	1	9	14
	言語教示群	3	11	14

単位：試行

2.2.6 考察

本研究では、サイドステップにてバーをくぐる動作を学習課題として取り上げ、ハンドリングにおける運動学習への効果および、言語教示との運動学習効果の差異を検討した。今回、バー通過距離をパフォーマンスの指標とし、プレテスト及び保持テストにおける測定値を比較した。その結果、3群間の値に有意な差は認められなかった。しかし、バー通過位置の傾向を確認したところ、第2保持テストにおける介入群においてバーの下を通過した試行数が多い傾向にあった。さらに、バーの下を頭頂が通過した試行内、5cm以内および10cm以内を通過した試行数がハンドリング群において2試行分多かった。

分散分析の結果より、コントロール群はプレテストの時に比べ第2保持テスト時で有意にバーに近い位置を通過したと言える。すなわち、練習によりバーと頭頂を近づけることができたと考えられる。しかし、第2保持テスト時のコントロール群において、バーの下を通過していた試行は45%（20試行中9試行）であった。それに対して2つの介入群においては、ハンドリング群の75%、言語教示群の70%がバーの下を通過しており、コントロール群より多い傾向を示していた。この傾向は第2保持テストにて強く、第1保持テストについては3群ともに同様の傾向を示していた。この点について、コントロール群はKRを基にした試行錯誤によって頭頂をバーに近づけることが出来たと考えられる。ところが、「バーをくぐる」という点においては、練習中に獲得した方法の保持に劣り、結果として第2保持テストでバーの上を通過する試行が増加した可能性がある。一方、介入群においては、ハンドリングや言語教示によってバーをくぐるための運動パターンやその指標を指導したことにより、「バーをくぐること」を促せたと推察する。さらに、第2保持テストにおいて、言語教示群よりもハンドリング群でよりバーの下かつバーに近い所を通過した試行が多い傾向にあった。すなわち、ハンドリングにより言語教示よりもバーの下かつバーに近い位置を通過する方法を誘導できた可能性がある。しかし、この点については、被験者数が少ないことから、本実験の課題と捉えられる。

潜在学習、顕在学習の観点から本実験の結果を捉えた場合、バー通過距離として統計学的に有意な差は認められなかった。しかし、バーの下を通過できたという点では、ハンドリング群、言語教示群ともにコントロール群より優れた傾向を示した。したがって、顕在学習のように明確な動作方法の知識があたえられず、徒手にて動作を誘導するのみでパフォーマンスに有益な変化を与える可能性が示唆された。潜在・顕在学習に関する研究分野において、これまでは課題の規則性に関する学習課題やバランス保持に関する課題が中心的に取り上げられてきた。そのため、本実験にて動作方法の指導においても潜在学習の生起が確認されたという点は、本実験の成果であると考えられる。

2.2.7 本実験の限界とその課題

本実験において、バー通過距離をパフォーマンスの指標として、運動パターンの学習の程度を捉えてきた。しかし、実際の運動パターンの変化については、本実験にて提示できていない。さらに、本実験ではサイドステップ動作における重心軌道⁶³⁾を参考にハンドリングを行ったが、練習中における重心軌道の再現性についても提示できていない。これは、測定環境や実験時間の都合等により3次元データの欠損が生じてしまい、継時的に運動パターンの変化を追うことが出来なかったことがその要因であった。また、このような欠損データが出た場合には測定環境を調整した上で再測定方法もあるが、運動学習の研究においては、測定を繰り返すことが練習することに繋がる。つまり、被験者毎に異なる練習回数で

実験を進めることになり、再測定自体が実験結果に影響を与える大きな要因と成りうる。その為、再測定を行うことができず、複数マーカーの継時的なデータの収取が困難であった。よって、本実験ではバーと頭頂の2つのマーカーのみで継時的に計測可能なバー通過距離のみをパフォーマンスの指標とし、また、ハンドリングについても十分に練習した1名の検者が介入することでその統一を図った。

本実験により、明確な言語的情報を与えなくてもハンドリングにより動作へ有益な変化を与えることができる可能性が示唆された。しかし、本学習課題は運動自由度が高く、ハンドリングにて各被験者の動作の特徴に対応できず、ハンドリング方法を統一できない場面もあった。よって、本研究をさらに進めるためには、より運動自由度の小さい課題にてその効果を明らかにすることが必要であると考えられる。また、より統一された方法で指導するためにも、課題の選定が必要であると考えた。そこで、課題2の実験へ移った。

2.3 課題 2 : 障害物を避けながらのリーチ動作による検証

2.3.1 緒言

実験 1 において、サイドステップによるバーをくぐる動作を課題として取り上げ、潜在・顕在学習の観点から、ハンドリングにおける運動学習への効果と、言語教示との運動学習効果の差異を検証した。その結果、言語教示のような明確な知識が与えられなくても、ハンドリングにてパフォーマンスへ有益な変化を与えられることが示唆された。しかし、実験環境や運動自由度などの問題から、運動パターン自体の評価・測定に課題を残した。

そこで、課題 2 では障害物を避けながらのリーチ動作を取り上げた。リーチ動作は、リハビリテーション分野において日常動作における重要な基本動作であり、また、単純な動作だけでなく、複雑な運動制御を繙くための実験課題に挑み向きである⁶⁴⁾。今回、いくつかの制約条件を設定したリーチ動作を学習課題として用いた。具体的には、視覚情報の遮断かつ手関節と中指を固定された状況下で、障害物（バー）を避けながら手を伸ばして的の中央に触れるという課題である。よって、本課題では対象者へ障害物の設置、視覚情報の遮断、運動自由度の制限など制約条件下での動作方法を学習することを求めた。なお、手関節や指関節の固定に関して、課題の難易度を高めるのみならず、ハンドリングにて操作する関節数を減らすことで、より介入の統一が図れるという実験上の利点も兼ね備えている。

本実験課題を運動学習研究に取り上げるにあたり、事前に 2 つの条件下での予備実験を行った。条件 1 では、手関節と中指を固定した制限での的の中央に触れる際の指先軌道を確認した。この軌道を参考にバーの設定を決定することで、リーチ動作を妨げる位置に障害物を設置できると考えた。さらに、条件 2 では、条件 1 に加えて障害物を設置した際の指先軌道を測定した。これより健常者が示す本課題のパフォーマンスを明らかにでき、これを本課題の最適な動作と仮定した。すなわち、条件 2 の結果を本実験課題の「学習モデル」に設定し、このデータよりハンドリングでの誘導方法や言語教示の内容を決定できると考えた。以上のような予備実験を踏んだ上で、本実験である運動学習の効果の検証に移った。

以上より、本実験の目的は、バーを避けながらのリーチ動作を学習課題として取り上げ、ハンドリングによる運動学習への効果と、言語教示との運動学習効果の差異を明らかにすることとした。

2.3.2 予備実験

2.3.2.1 対象

神経疾患・整形外科疾患のない健康な大学生 8 名（身長：170.0±7.2 cm、体重：65.8 kgw）とした（表 10）。

2.3.2.2 説明と同意

対象者には課題、「バーを避けながら手を伸ばし、的の中央に触る動作に関する研究であること」、「測定は非侵襲的であること」などを説明した後、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を得た。

表 10 被験者情報 (課題 2 : 予備実験)

性別(名) 男 / 女	非利き手側(名) 右 / 左	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kgw)	上肢長 (cm)	手長 (cm)	大腿長 (cm)	腓骨頭-床 間長(cm)	肩峰-床 間長(cm)
6 / 2	1 / 7	19.8 (0.5)	170.0 (7.2)	65.8 (13.6)	55.4 (3.5)	18.8 (0.9)	37.0 (6.3)	42.8 (2.3)	104.0 (5.1)

平均値 (±標準偏差)

2.3.2.3 方法

2.3.2.3.1 測定条件

予備実験では2つの条件を設定した。1つ目が、視覚情報がある中でバーを設置せずに動作を行せるものとした(条件1)。条件1は、バーの設定位置を決定することを目的としたものである。もう一つが、条件1での測定環境に障害物となるバーを設置して実験を行った(条件2)。その他、視覚条件や試行数、測定手順などは条件1と同様とした。条件2の目的は、開眼時における本課題の指先軌道を明らかにし、ハンドリングの誘導方法や言語教示の内容を決定することとした。なお、バーの設置位置は条件1を基に、肩峰のすぐ外側から前方へ上腕長分水平移動させた位置とした。バーの設定に用いた条件1の指先軌道データは結果にて示す。

2.3.2.3.2 形態計測

被験者の形態にあった実験環境を設定することを目的とし、形態計測を実施した。形態の測定項目は、身長、体重、上肢長、手長、大腿長、床-腓骨頭間距離、床-肩峰間距離の7項目とし、体節長の測定に布メジャー及びマルチン式人体計測器を使用した。身長、体重は立位、床-腓骨頭間距離と床-肩峰間距離は座位にて、その他は背臥位にて計測した。さらに、基本情報として、年齢、利き手を聴取した。利き手については「箸を使用する手」とし、非利き手を用いて実験を行わせた。

2.3.2.3.3 測定方法

課題動作の測定には、3次元動作解析装置(MA-5000, アニマ社製)を使用し、サンプリング周波数250 Hzにてデータ収取を行った。(図21)。測定に先立ち、被験者には赤外線反射マーカを貼付した。貼付位置は、中指末端背側、的中央、バー上端の計3箇所とした。さらに、手関節および手指の運動を制限するため、手関節用プロテクター(PeaceCafe製)と金属プレートを用いて固定した(図21)。これは、実験2を想定し、ハンドリングや言語教示などで指導する上肢の自由度を最小限に抑えるためである。その後、背もたれ付きの椅子に座位を取らせた。椅子の座面高については、各被験者の床-骨頭間距離とし、膝関節屈曲90°、足関節底背屈0°になるように設定した。また、体幹の運動を制限するためにベルトにて体幹を背もたれに固定した。また、両上肢を体側下垂位とし、開始肢位とした。的については、被験者の形態に合わせて設定した。具体的には、的の中央を床-肩峰間距離と同様の高さかつ、外果の直上かつ、身体の正中線から前額面前方へ投影した点に設置した。課題の把握状況を確認することを目的とし、測定開始前に数回の動作練習を行った。その際、「中指の指先で的の中央を触ってください。」とのみ伝え、教示や外在的フィードバックは行わなかった。以上の事前準備を済ませた後、測定を開始した。測定は3試行とし、動作開始の合図は「用意、始め」に統一した。また、動作終了後は合図があるまで静止するように伝えた。

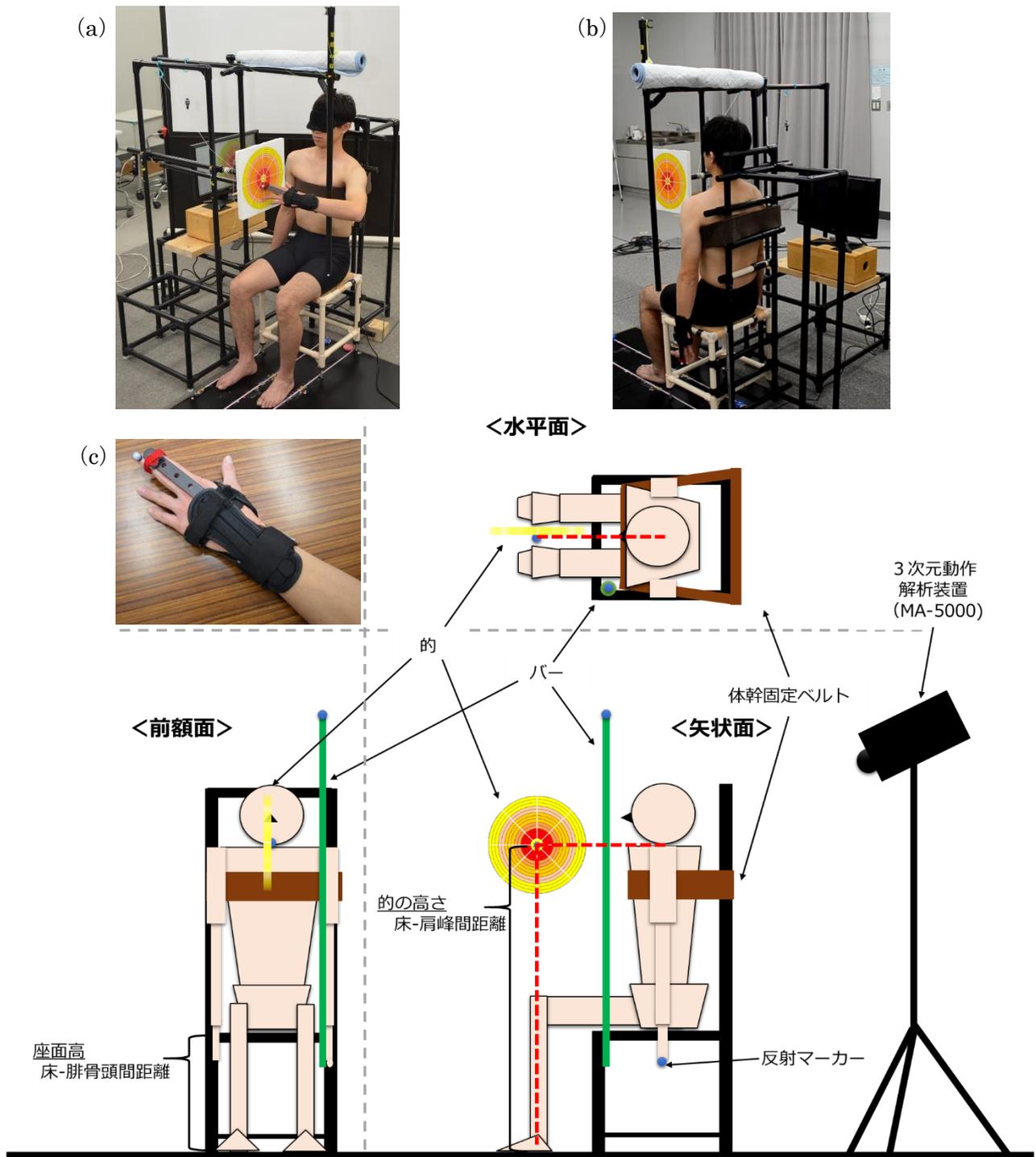


図 21 実験環境 (課題 2)

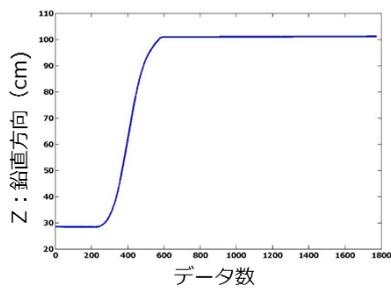
(a)測定環境；前方，(b)測定環境；後方，(c)測定環境の模式図と手部固定

的中央の設置(破線/赤)：床-肩峰間距離と同様の高さかつ，外果の直上かつ，身体の正中線から前額面前方へ投影した点。

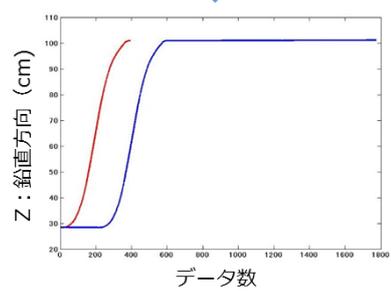
バーの設置(実線/緑)：肩峰のすぐ外側から前方へ上腕長分水平移動させた位置 (条件 1 の結果より)。条件 2 より使用。

反射マーカ'の貼付(円/青)：中指末端背側，中指末端背側，的中央，バー上端。

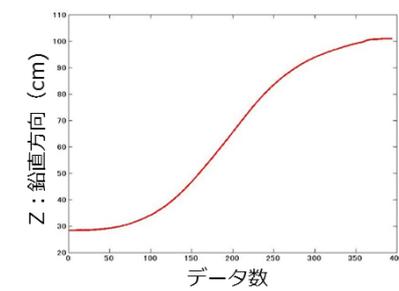
手関節と手指の固定(上段写真)：手関節プロテクターと金属プレートを用いて。



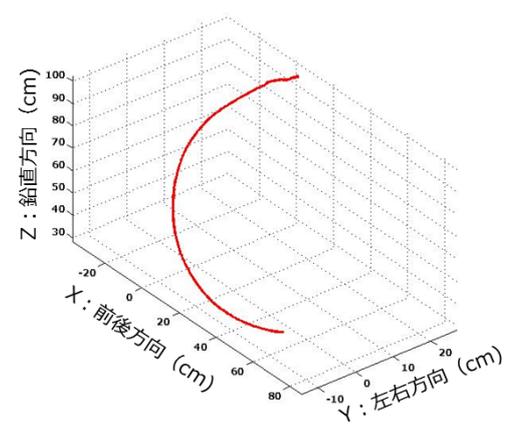
生データ



動作中のデータを抽出

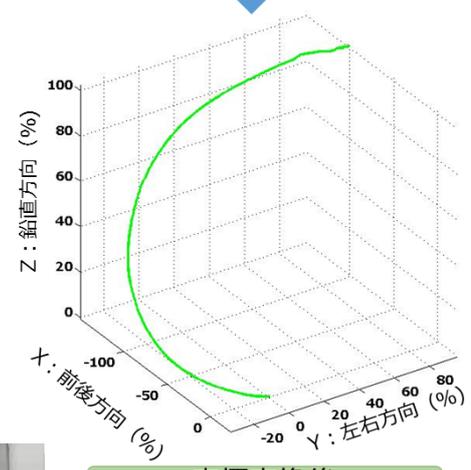


動作中のデータ



3次元表示

以上の条件で、直交座標を変換
 ・原点：開始時指先座標
 ・100%：的座標



座標変換後



図 22 指先軌道のデータ解析手順

左図は、動作中のデータ（所要時間の計測に用いた開始点と終了点より）を生データ抽出する解析.

右図は、今回解析に用いた直交座標系への変換手続き.

写真は、3次元グラフと同じ方向から見た測定環境

表 11 動作所要時間

	条件1:バーなし		条件2:バーあり	
動作所要時間 (s)	1.9	± 1.0	2.4	± 1.3

表 12 予備実験における指先軌道誤差

	条件2代表値 (平均±標準偏差)		各被験者の総指先軌道誤差								条件1と2 の誤差
			1	2	3	4	5	6	7	8	
指先軌道誤差	1244.9	± 421.9	875.8	1647.3	1237.6	1872.6	1418.4	1292.3	1071.0	543.9	12702.4

単位 : Arb.unit

2.3.2.3.4 データ解析

3次元データより、動作所要時間、指先軌道を算出した。所要時間の計測については指先座標を用い、静止時における指先座標の平均値 ± 3 標準偏差の範囲を閾値とした。そして、X, Y, Zのいずれかが閾値範囲内から超えた時点を開始、X, Y, Zの全てが閾値範囲内に収まる時点を終了とした。指先軌道パターンについては、被験者間の比較を行えるように基準化した。具体的には、生データから動作中のデータを抽出した後、開始時の指先座標を原点、的座標を100%とした直交座標系に変換した。さらに、所要時間から spline 関数を用いて100データとなるように補間した。続いて、各条件における平均指先軌道を算出するため、全被験者8名のデータを加算平均した。また、条件1と条件2の平均指先軌道の誤差、および条件2における平均指先軌道と各被験者の指先軌道の誤差の指標として、同時点における2点の直線距離を求め、さらにその総和（指先軌道誤差）を算出し代表値とした。なお、指先軌道誤差の単位は任意単位とした（図22）。

2.3.2.3.4 結果とその解釈

条件1と条件2の指先軌道を図23に示す。条件1の指先軌道について、開始初期には前上方へ移動が認められ、その後に内側へ移動していることが観察された。そこで条件2では、動作初期の指先の前方移動を妨げるよう、肩峰のすぐ外側から前方へ上腕長分水平移動させた位置にバーを設置して実験を行った。その結果として、条件2では、条件1に比して動作開始初期の外側へ移動が増加しているのを観察できる。また、条件1と条件2の指先軌道誤差も12702.4と大きな値を示した。さらに、動作所要時間という点でも、条件1で平均 1.9 ± 1.0 秒、条件2で平均 2.4 ± 1.3 秒と条件2にて延長していた（表11）。これらの結果は、バーの設置により運動パターンが変化したことを示している。また、条件2において8名の平均指先軌道誤差、 1244.9 ± 421.9 （平均値 \pm 標準偏差）であり、最小値543.9、最大値1872.6であった（表12）。よって、条件2の結果を「学習モデル」とし、視覚情報が遮断された条件下でパフォーマンスをこのモデルに近づけることを本課題の目標に設定できる。さらに、これらの結果を基にハンドリングや言語教示の介入方法を決定した。ハンドリングの方法に関しては、条件2の運動パターンを再現するよう、練習を重ねた1名の検者が介入に当たらせる。一方、言語教示の内容については全てIFA教示とし、条件2の結果から①「指先が弧を描くように動作を行ってください。」、②「指先を肩の

高さかつ、外踝の直上かつ、体の中央へ運んでください.」, ③「脇を大きく開き過ぎないように注意して下さい」の3点とした。①については、直線的ではなく指先が弧を描くように的へ到達する指先軌道の特徴を表現した。また、②に関しては、指先の到達目標を視覚情報が遮断された状態でも理解できるように、的の設定位置を伝えた。さらに、③については、視覚情報を遮断した状態で行った条件2のパイロットスタディにおいて、肩関節を大きく外転させて行い、学習モデルと大きく異なる指先軌道を示す者が複数名確認された。したがって、その点に関する注意を促す目的で加えた。なお、今回用いた IFA 教示の内容について、1 度に与える教示の情報量が過度に多くなってしまいうこと避けるため、具体的な関節角度やそのタイミングなどに関する教示の提示を控えた。

以上の予備実験により、学習課題の環境設定、および介入方法が決定された。このデータを用いて本実験を行った。

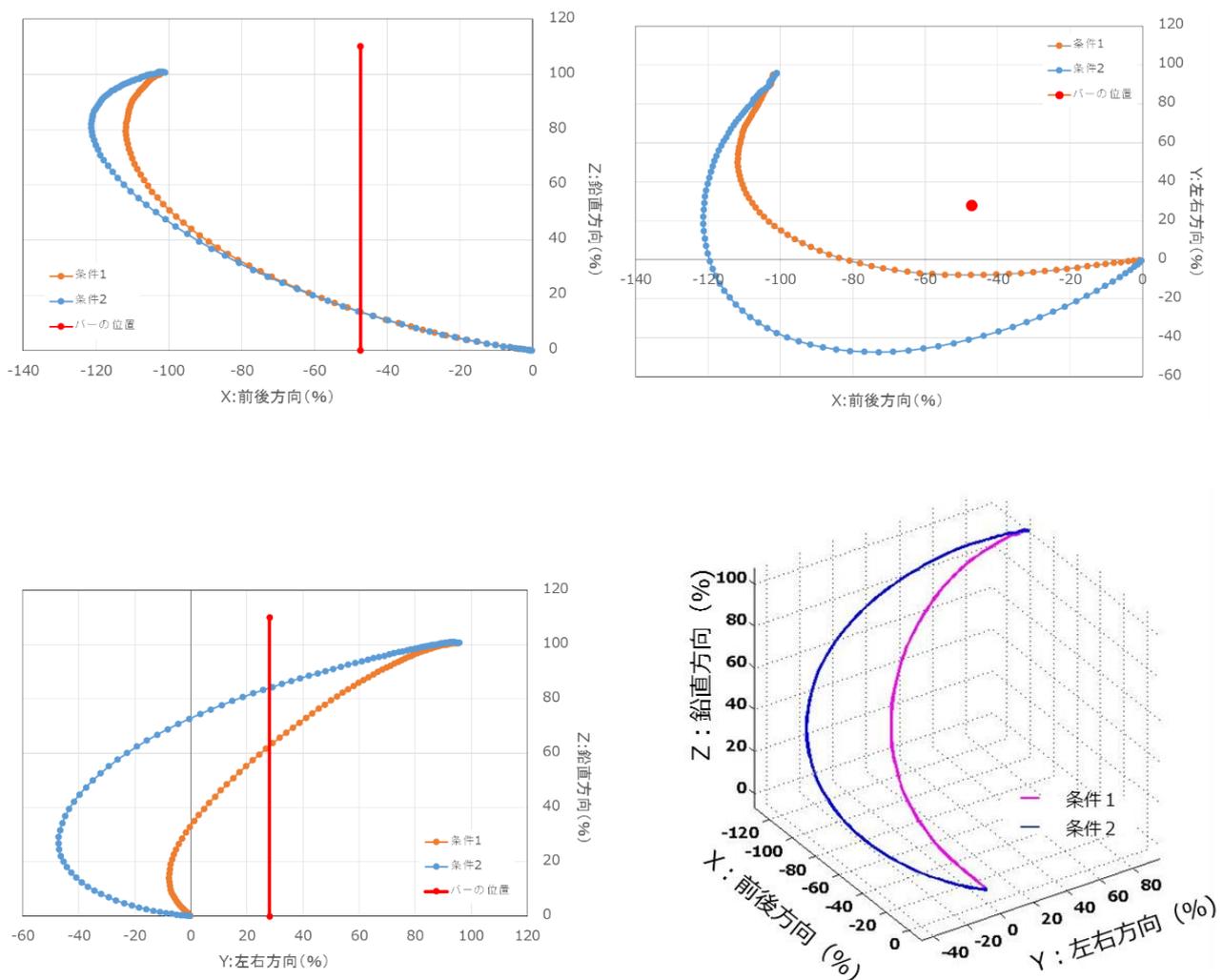


図 23 指先軌道における条件 1 と条件 2 の比較

上段左：矢状面左側，上段右：水平面上方，下段左：前額面後方，下段右：3次元グラフ

2.3.3 本実験

2.3.3.2 対象

神経疾患・整形外科疾患のない健康な大学生 39 名とした。また、ハンドリングによる介入を受ける群（ハンドリング群）と、言語教示による介入を受ける群（言語教示群）、介入を受けずに練習を行う群（コントロール群）の 3 群へ 13 名ずつ乱数表にて無作為に割り付けた。実験期間を通し、以下の除外基準に該当した対象者は解析から除外した。その除外基準については、1) 実験期間中に一度でも測定・練習に参加できなかった者、2) 練習前テスト（プレテスト）前の動画にて課題の内容を理解できずプレテストが出来なかった者、3) 検者のハンドリングに先行して自ら動作を行っている者の 3 つとした。最終的に、コントロール群 9 名（男性 6 名、女性 3 名）、ハンドリング群 10 名（男性 5 名、女性 5 名）、言語教示群 11 名（男性 8 名、女性 3 名）の 3 群とした（表 13）。なお、本実験に参加した対象の中に、予備実験に参加した対象は含んでいない。

2.3.3.3 説明と同意

対象者には課題、「バーを避けながら手を伸ばし、的の中央を触る動作に関する研究であること」、「測定は非侵襲的であること」などを説明した後、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を得た。

2.3.3.4 方法

2.3.3.4.1 研究デザイン

実験に先立ち、被験者の形態計測を行い、被験者の形態値を基に測定環境を設定した。また、練習前のパフォーマンスを確認するため、プレテストを行った。プレテストの翌日から連続 2 日間の練習期間を設定した。さらに、学習効果を確認するため、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。第 2 保持テスト実施後には、実験に関するアンケート調査を行った。なお、対象者には実験期間を通して本研究に関して情報交換を一切行わないように注意を促した（図 24）。

2.3.3.4.2 形態計測

被験者の形態にあった実験環境を設定することを目的とし、形態計測を実施した。形態の測定項目は、身長、体重、上肢長、手長、大腿長、床・腓骨頭間距離、床・肩峰間距離の 7 項目とし、体節長の測定に布メジャー及びマルチン式人体計測器を使用した。身長、体重は立位、床・腓骨頭間距離と床・肩峰間距離は座位にて、その他は背臥位にて計測した。さらに、基本情報として、年齢、利き手を聴取した。利き手については「箸を使用する手」とし、非利き手を用いて実験を行わせた。

2.3.3.4.2 プレテストおよび保持テスト

プレテストの測定に際し、全対象者に対して音声付映像にて測定環境や注意点など実験概要を提示した（図 25）。なお、具体的な動作方法に関する情報の含まない映像を用いて説明を行った。測定回数は、プレテストおよび第 1、第 2 保持テストの各日で 3 回とした。その測定には、3 次元動作解析装置（MS-5000、アニマ社製）を使用し、サンプリング周波数 250 Hz にてデータ取得を行った。なお、赤外線反

表 13 被験者情報 (課題 2 : 本実験)

群	n	性別(名) 男 / 女	非利き手側(名) 右 / 左	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kgw)	上肢長 (cm)	手長 (cm)	大腿長 (cm)	床-腓骨頭 間距離(cm)	床-肩峰 間距離(cm)
コントロール群	9	6 / 3	0 / 9	20.1 (1.5)	165.2 (7.6)	62.3 (6.1)	55.1 (3.1)	17.9 (1.1)	39.8 (3.1)	40.4 (3.1)	99.6 (4.5)
ハンドリング群	10	5 / 5	0 / 11	21.4 (0.8)	165.6 (6.3)	59.6 (13.7)	54.7 (2.2)	18.0 (0.8)	41.0 (2.9)	41.6 (1.4)	100.9 (4.0)
言語教示群	11	8 / 3	2 / 9	20.8 (1.6)	165.6 (7.1)	58.4 (10.4)	53.3 (3.3)	18.2 (1.2)	40.3 (3.1)	41.0 (2.6)	100.4 (5.3)

平均値 (±標準偏差)

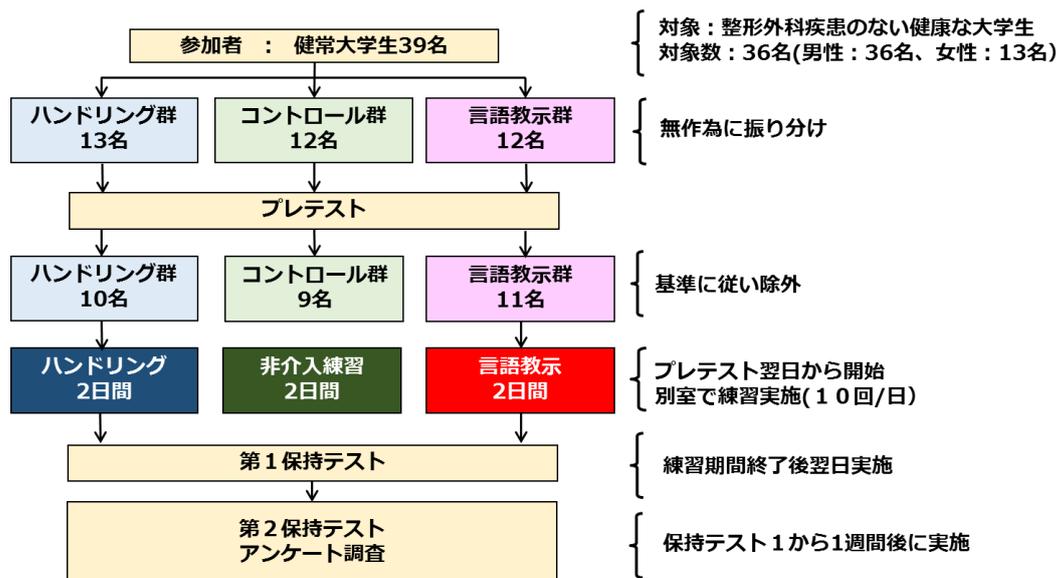
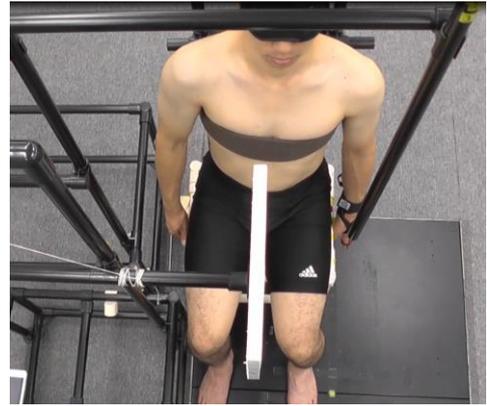
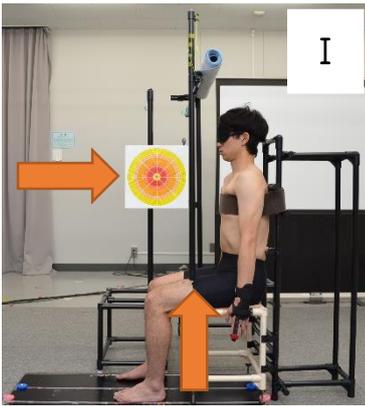


図 24 研究デザイン (課題 2)

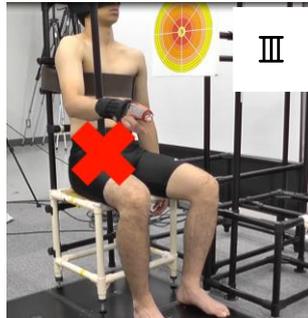
射マーカーは中指末端背側(指先), 的中央, バー上端の計3か所に貼付した。その後, 被験者には背もたれ付きの椅子に座位を取らせた。椅子の座面高については, 各被験者の床-腓骨頭間距離とし, 膝関節屈曲90°, 足関節底背屈0°になるように設定した。また, 体幹の運動を制限するため, 胸部で背もたれに固定した。さらに, 手関節および手指の運動を制限するため, 手関節用プロテクター(PeaceCafe製)と金属プレートを用いて固定した。加えて, 課題の難易度を高めることを目的とし, アイマスクを装着させて視覚情報を遮断した。開始前には, 両上肢とも体側下垂位で静止するよう指示した。以上の準備を済ませた後に的やバーの設置を行った。これは, 対象者へ測定環境を視覚的に提示することなく設定を整えるためである。的は縦横30cmの円で, その中央より1cm刻みに色分けしたものとした(図21)。その設置については, 被験者の形態に合わせて規定した。具体的には, 的の中央を床-肩峰間距離と同様の高さかつ, 外果の直上かつ, 身体の正中線から前額面前方へ投影した点とした。また, バーの位置については, 事前実験の条件1の結果より決定し, 肩峰のすぐ外側から前方へ上腕長分水平移動させた位置とした。動作開始の合図については, 検者による「用意, はじめ」の声がけに統一した。動作終了後, 的の中指尖端が触れている位置に弱粘着シール(丸型, φ9mm)を貼付した。保持テスト時には, 音声付映像による実験概要の提示を除き, プレテストと同様に手続きで測定を行った(図23)。



- ① これから、バーを避けながら手を伸ばす動作の説明を始めます。
- ② この課題の目標は、バーを避けながら手を伸ばし、的の中央に触れることです。
- ③ 測定環境はこのようになっています。

※ ここで矢状面（左：矢印なし）、前額面（中央）、水平面（右）の動画を各 5 秒ずつ映写。

- ④ この環境は被験者の体格に合わせて設定されています。
- ⑤ 開始時はこの姿勢を取っていただきます。
- ⑥ アイマスクを装着していただきます。
- ⑦ 動作開始前は、できる限り動かないようにしてください。
- ⑧ こちらの「用意、始め」の合図で動作を開始してください。



- ⑨ 手はバーの外側から避けるようにして下さい。
- ⑩ 動作を行う際、バーにぶつからないようにして下さい。



- ⑪ よりの中央に触るようにして下さい。
- ⑫ 的に触れた後は、動かないでください。また、的の中央を探るような動作も行わないでください。

図 25 プレテスト前に提示した実験環境や注意点などに関する音声付映像

上記内容の映像は DVD プレーヤー・ヘッドホンを用いて視聴させた。

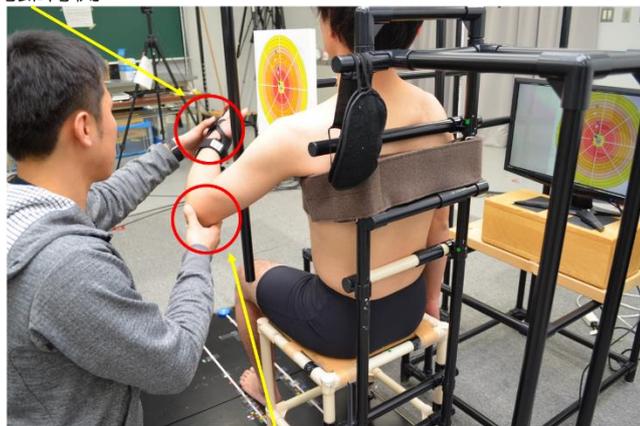
I～IVの順番で提示した

2.3.3.4.3. 練習方法

対象者間の情報交換を防ぐため、対象者毎に課題の練習を行わせた。測定方法はテスト時と同様とした。的に触れた位置の結果については、テスト時同様に丸型シール ($\phi 9$ mm) を使用し、さらに各試行の結果が識別できるように色の異なるシールにて記録した (図 27)。練習回数は 1 日 10 試行とし、5 試行を 1 ブロックとした。さらに、練習 1 日目の前半を 1st ブロック、後半を 2nd ブロック、練習 2 日目の前半を 3rd ブロック、後半を 4th ブロックと規定した。練習期間中、ハンドリング群と言語教示群に対しては、学習モデルを基に介入を行った。介入頻度は 100%とした。ハンドリング群の介入について、検者が対象者の肘関節及び手関節を把持し、予備実験条件 2 で示した指先軌道を再現するように誘導した。なお、ハンドリングによる介入については、1 名の検者が十分に練習を重ねた上で行った (図 26)。言語教示群への介入は IFA 教示とし、内容は①指先軌道に関する教示：「指先が弧を描くように動作を行ってください。」、②指先到達位置に関する教示：「指先を肩の高さかつ、外踝の直上かつ、体の中央へ運んでください。」、③「脇を大きく開き過ぎないように注意して下さい」の 3 点に統一した。この教示内容は、事前実験にて被験者が開眼にて実施した動作を表現するように決定した。一方、コントロール群に対しては外在的フィードバックのみ与えて 2 日間の練習を行わせた。

外在的フィードバックは KR を用いた。KP でなく KR を選択した理由は、ハンドリング群に顕示的な動作情報の提示を防ぐためである。フィードバック頻度としては要約フィードバックを採用し、各日前半ブロックの後と後半のブロックの後に 5 試行分の結果をまとめて伝えた。なお、後半のブロックの後には、練習日の総評として 10 試行分の結果も要約してフィードバックした。KR の内容は、最も中央に近かった試行の的中央中指末端間距離 (的指先間距離) とそのシール位置とした。結果の提示方法について、デジタルビデオカメラ (iVIS HV30, Canon 社製) にて原寸大に映し出した的の映像を対象者の非検査側に置いた液晶モニター (G225HQ, acer 製) で確認させた。その際、対象者へ各試行のシールを示しながら KR を伝えた。また、アイマスクを外した際に、的の位置やバーの位置を確認させないようにするため、ロールカーテンにて隠した。なお、デジタルビデオカメラの設置については、カメラのレンズ中央と的中央とが一致するよう設置した (図 28)。

手関節背側



肘関節後方

図 26 ハンドリング時の様子

被験者の手関節背側面、肘関節後方を検者が把持して上肢を誘導する。

2.3.3.4.4. データ解析

3次元データから動作所要時間、的指先間距離、指先軌道を算出した。その際、バーに接触した試行は解析から除外した。動作所要時間の計測については指先座標を用い、静止時における指先座標の平均値 ± 3 標準偏差の範囲を閾値とした。そして、X、Y、Zのいずれかが閾値範囲内から超えた時点を開始、X、Y、Zの全てが閾値範囲内に収まる時点を終了とした。的指先間距離については、動作開始時の的座標と動作終了時の指先座標の直線距離とした。動作開始時の的座標を算出に用いるのは、的付近に指先が接地した場合に的のマーカが隠れるためである。指先軌道については、被験者間の比較を行えるように基準化した。具体的には、生データから動作中のデータを抽出した後、開始時の指先座標を原点、的座標を100とした直交座標系に変換した。さらに、所要時間からspline関数を用いて100データとなるように補間した。続いて、ブロック毎の平均指先軌道を算出するため、1名の被験者のデータを加算平均した。さらに、ブロック毎の各群における代表値を算出するため、群毎に加算平均を算出した。さらに、学習モデルと各被験者の平均指先軌道誤差の指標として、同時点における2点の直線距離を求め、さらにその総和(指先軌道誤差)を算出し代表値とした。なお、指先軌道誤差の単位は任意単位とした。

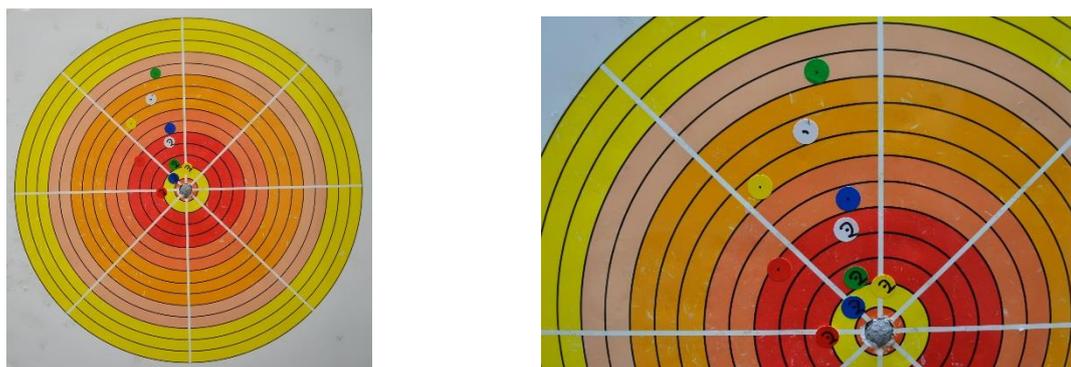


図 27 結果のシールが貼付された的

左図：全体、右図：貼付部の拡大。赤、青、黄、緑、白の順に1~5試行目。黒印付シールの赤、青、黄、緑、白が6~10試行目。

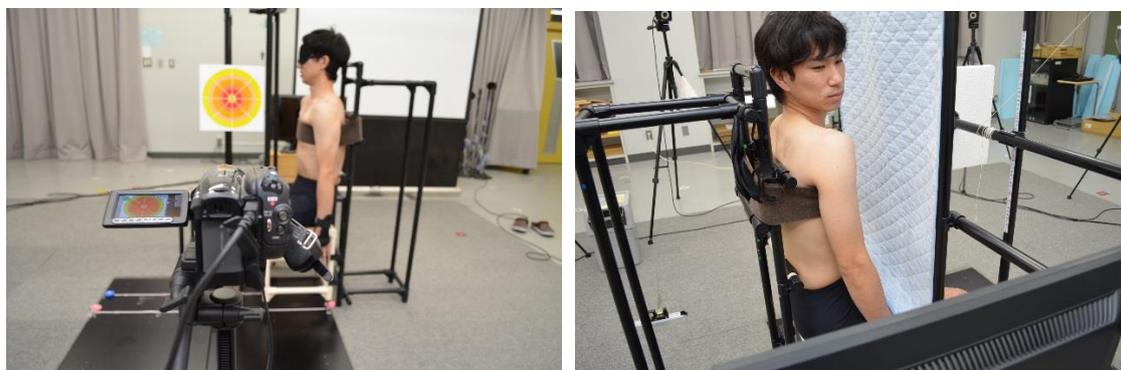


図 28 フィードバック時の環境

デジタルビデオカメラにて撮影した映像を、被験者の非検査側へ設置された液晶モニターへ出力。

対象者の前方へはカーテンが下され、的やその他の実験環境が把握できないようになっている。

2.3.3.4.5 アンケート調査

最後に、課題への取り組み状況の確認、介入内容の言語化の可否（自由記載）、指導内容の受入れ状況、実験期間中に用いた情報の変化（自由記載）、外在的フィードバックの利用の有無、指導とフィードバックの利用状況、実験期間中における心理的状況を確認するため、第2保持テスト終了後にアンケートを実施した（表14）。介入内容の言語化の可否（自由記載）については、指導内容を具体的に説明できているか否かで判断した。実験期間中に用いた情報の変化の回答については、「身体情報」、「ハンドリング」、「環境情報」、「フィードバック」、「なし」に分類した。「ハンドリング」へ分類される回答とは、具体的な身体情報に関する回答がなく、「誘導されるように」や「動かされるままに」などハンドリングの概要を説明する内容の回答とした。

2.3.3.4.6. 統計解析

プレテスト時における形態計測値について、群間比較を行うために被験者内計画による一元配置分散分析を実施した。学習課題における3群間の比較を行うため、動作所要時間、的指先間距離、指先軌道誤差を従属変数、練習方法（3水準）と計測日・ブロック（7水準）を独立変数とした混合計画による二元配置分散分析を行った。また、Shafferの方法による多重比較検定を行った。解析には統計ソフト R for windows (version 2.13.2)を用いた。統計学的有意水準は危険率5%未満とした。

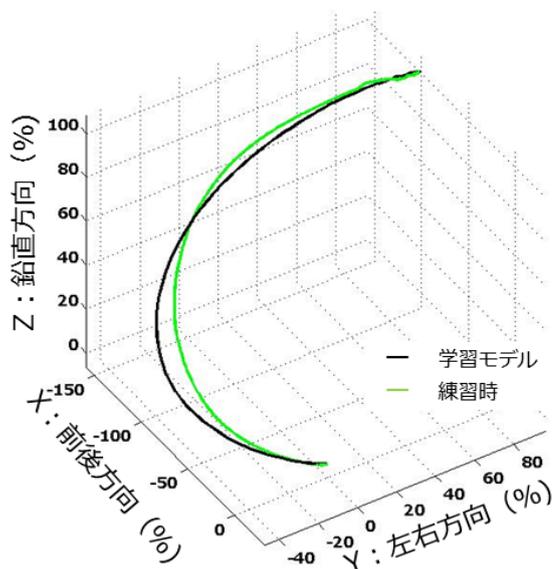


図 29 指先軌道誤差
(学習モデルと被験者実測値の誤差)

表 14 実験後アンケートとその結果

質問1: 課題への取り組み状況の確認 (パフォーマンスの向上に努めたか?) (被験者数, 選択肢)		努力した	努力しなかった								
	コントロール群	9	0								
	ハントリング群	10	0								
	言語指示群	11	0								
質問2: 介入内容の言語化の可否 (指導内容を具体的に説明する) (被験者数, 自由記載)		言語化できた	言語化できない								
	ハントリング群	1	9								
	言語指示群	11	0								
質問3: 指導内容の受け入れ状況 (指導内容は良かったか?) (被験者数, 自由記載)		努力した	努力しなかった								
	コントロール群	9	0								
	ハントリング群	10	0								
	言語指示群	11	0								
質問4: 実験期間中に用いた情報の変化 (どのような情報を基に課題を行ったか?) (延べ回答数, 自由記載)		練習前			練習中			練習後			
		C	H	I	C	H	I	C	H	I	
	身体情報	5	2	3	5	0	6	7	3	6	
	ハントリング	0	0	0	0	10	0	0	7	0	
	環境情報	7	7	7	5	0	5	3	1	6	
	フィードバック	0	0	0	2	0	1	0	0	1	
	なし	0	2	1	0	0	0	0	0	0	
	C:コントロール群, H:ハントリング群, I:言語指示										
	質問5: 外在的フィードバック利用の有無 (練習時の結果提示を利用したか?) (被験者数, 選択肢)		利用した	利用しない							
		コントロール群	9	0							
ハントリング群		7	3								
言語指示群		11	0								
質問6: 指導とフィードバックの利用状況 (練習中の指導と結果提示のどちらを用いたか?) (被験者数, 選択肢)		指導	フィードバック	指導とFB							
	コントロール群	0	2	7							
	ハントリング群	3	0	7							
	言語指示群	0	1	10							
質問7: 実験期間中における心理的状況 (実験期間中, 自己の実施状況に迷いがあったか?) (延べ回答数, 選択肢)		プレ テスト	練習 1日目	練習 2日目	第1保持 テスト	第2保持 テスト	なし				
	コントロール群	5	0	1	0	2	1				
	ハントリング群	8	0	0	1	2	1				
	言語指示群	5	4	0	0	0	4				

2.3.3.5 結果

2.3.3.5.1 プレテストの比較

プレテストの形態計測値について, 3 群間に有意差は認められなかった (表 13).

2.3.3.5.2 動作所要時間

分散分析の結果, 練習方法($p<.05$)とブロック($p<.01$)ともに主効果が認められた. また, 交互作用は有意であり($p<.001$), 練習方法の単純主効果を分析した結果, プレテスト時には有意な差は認められず, 3rd ブロックと 4th ブロック, 第 1 保持テストと第 2 保持テストで群間に有意な差が認められた($p<.05$). そのため, 多重比較検定を行ったところ, 3rd ブロックと 4th ブロック, 第 1 保持テストと第 2 保持テ

ストにおいて、ハンドリング群がコントロール群よりも有意に低い値を示した ($p<.05$)。また、第 2 保持テストでのみ、言語教示群がコントロール群よりも有意に低い値を示した ($p<.05$)。さらに、ハンドリング群とコントロール群において測定日の単純主効果が有意であったが ($p<.01$)、多重比較検定では有意な差は認められなかった (表 15・16, 図 30)。

2.3.3.5.3 的指先間距離

分散分析の結果、練習方法($p<.01$)とブロック($p<.001$)ともに主効果が認められた。また、交互作用は有意であり($p<.001$)、練習方法の単純主効果を分析した結果、プレテスト時には有意な差は認められず、練習日の全ブロックにのみ群間に有意な差が認められた($p<.001$)。そのため、多重比較検定を行ったところ、全てのブロックにおいて、ハンドリング群が他の 2 群に比して有意に低い値を示した($p<.001$)。また、各群において測定日の単純主効果が有意であった ($p<.01$)。そこで多重比較検定を行ったところ、ハンドリング群において練習日の全ブロックとプレテスト、第 1 保持テスト、第 2 保持テストの間に有意な差が認められ、練習日で低い値を示した。更に、プレテストと比べて第 1 保持テスト、第 2 保持テストで有意に低い値を示していた。また、言語教示群においては、2nd ブロック($p<.05$)と 4th ブロック($p<.01$)が 1th ブロックよりも有意に低い値を示した (表 17・18, 図 31)。

2.3.3.5.4 指先軌道誤差

分散分析の結果、練習方法($p<.001$)とブロック($p<.01$)ともに主効果が認められた。また、交互作用は有意であり($p<.001$)、練習方法の単純主効果を分析した結果、プレテスト時には有意な差は認められず、練習日の全ブロック (4th ブロック($p<.01$)、その他($p<.001$)) および第 1 保持テスト、第 2 保持テスト ($p<.01$)の群間に有意な差が認められた。そのため、多重比較検定を行ったところ、全てのブロックと第 1 保持テスト、第 2 保持テストにおいて、ハンドリング群が他の 2 群に比して有意に低い値を示した ($p<.05$)。また、ハンドリング群において測定日の単純主効果が有意であった ($p<.01$)。そこで、多重比較検定を行ったところ、全ブロックおよび第 1 保持テスト、第 2 保持テストにおいて、プレテストと比して有意に低い値を示した。また、4th ブロックと第 1 保持テストの間に有意な差が認められ、第 1 保持テストで大きな値を示した (表 19・20, 図 32)。

2.3.3.5.5 アンケート結果

質問 1 では、全ての被験者において、自己のパフォーマンスを改善するように努めていたことが確認された。質問 2 では、介入した 2 群を対象に指導内容の言語化の状況を確認した。その結果、全ての言語教示群において、教示内容を記述することができていた。一方、ハンドリング群において、1 名を除いて「動かされるように関節を動かした」というような抽象的な表現で説明していた。1 名のみ上肢の具体的な動かし方やその際のポイントを記述していた。質問 3 の回答にて、すべての対象者が自己の受けた指導方法を肯定的に捉えていた。質問 4 の回答において、練習前テストはすべての群において測定環境の情報を基にテストを行っていた。練習期間においては、ハンドリング群は自己の受けた介入情報を基に練習を進めていたが、他の 2 群においては身体情報と環境情報の両方を用いて課題に取り組んでいた。この傾向は、練習後にも継続して確認された。質問 5 において、多くの対象者がフィードバック

も利用して練習に取り組んでいたが、ハンドリング群の中にはフィードバックを利用せずに行っていた者も認められた。そこで、質問 6 において、指導内容とフィードバックの利用状況を確認したところ、多くの対象者が指導とフィードバックの両方を用いていた。しかし、ハンドリング群には指導内容のみを利用している対象者もあり、他の 2 群にはフィードバックの情報のみを利用している者もいた。質問 7 の回答では、多くのものがプレテストにおいて自己の課題遂行への迷いが生じていた。また、言語教示群では、練習期間中に、ハンドリング群では保持テストに、コントロール群においてはその両方で、自己の課題の遂行状況について迷っていた（表 14）。

表 15 分散分析表 (的指先間距離)

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	p値
A	200.87	2	100.4400	3.8884	0.0328 *
sxA	697.40	27	25.8300		
B	27.40	6	4.5665	3.6193	0.0021 **
AxB	47.67	12	3.9723	3.3461	0.0005 ***
sxAxB	204.40	162	1.2617		
Total	1174.39	209			

独立変数) A: 練習方法, B: 計測日・ブロック

* : p<.05, ** : p<.01, *** : p<.001

表 16 的指先間距離

群	プレテスト	練習1日目		練習2日目		第1保持 テスト	第2保持 テスト
		1stブロック	2ndブロック	3rdブロック	4thブロック		
コントロール群	4.6 (2.0)	4.6 (1.7)	4.9 (1.9)	5.4 (2.3)	6.6 (3.5)	6.0 (2.9)	7.1 (4.0)
ハンドリング群	4.0 (2.1)	2.9 (0.8)	2.9 (0.4)	2.9 (0.7)	3.0 (0.6)	3.1 (1.0)	3.2 (1.0)
言語教示群	3.5 (2.0)	4.0 (1.9)	4.1 (2.2)	4.1 (2.1)	4.5 (2.8)	4.1 (2.6)	4.4 (3.1)

単位 : cm

平均値 (±標準偏差)

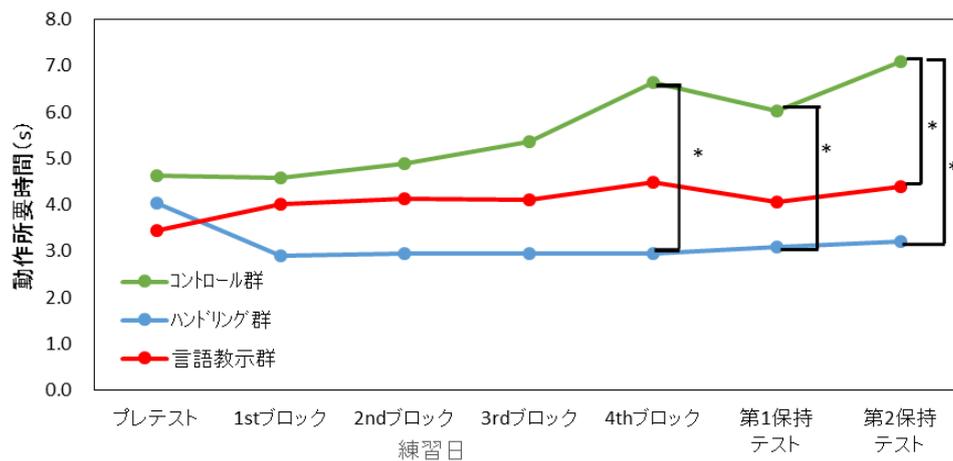


図 30 動作所要時間の経時間的变化

データは平均値を表す. * : p<.05

表 17 分散分析表 (従属変数: 的指先間距離)

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	p値
A	427.41	2	213.7058	8.6903	0.0012 **
sxA	663.97	27	24.5914		
B	1030.26	6	171.7094	27.3100	0.0000 ***
AxB	556.68	12	46.3898	7.3782	0.0000 ***
sxAxB	1018.56	162	6.2874		
Total	3689.38	209			

独立変数) A: 練習方法, B: 計測日・ブロック

*: p<.05, **: p<.01, ***: p<.001

表 18 的指先間距離

群	プレテスト	練習1日目		練習2日目		第1保持 テスト	第2保持 テスト
		1stブロック	2ndブロック	3rdブロック	4thブロック		
コントロール群	12.8 (4.7)	9.9 (3.8)	6.1 (0.8)	6.2 (2.5)	4.4 (1.8)	6.5 (2.9)	6.4 (2.8)
ハンドリング群	14.3 (3.8)	1.2 (0.3)	1.2 (0.2)	1.1 (0.3)	1.1 (0.2)	6.0 (3.5)	5.5 (3.5)
言語教示群	12.0 (5.3)	11.6 (3.3)	5.4 (3.0)	5.9 (2.4)	4.6 (2.4)	5.4 (4.0)	6.0 (3.3)

単位: s

平均値 (±標準偏差)

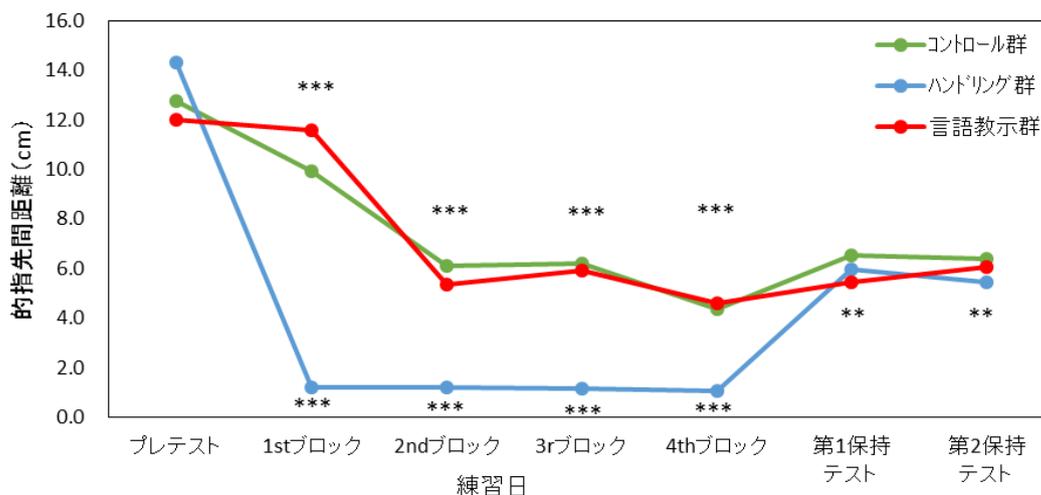


図 31 的指先間距離の経時間的变化

データは平均値を表す. 多重比較検定の結果/**: p<.01, ***: p<.001

記号/グラフ上部: ハンドリング群と他群との比較, グラフ下部: ハンドリング群内におけるプレテスト時との比較

表 19 分散分析表 (従属変数: 指先軌道距離)

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	p値
A	73456260	2	36728130	9.9452	0.0006 ***
sxA	99712259	27	3693047		
B	9091423	6	1515237	3.5051	0.0028 **
AxB	22015109	12	1834592	4.2438	0.0000 ***
sxAxB	70032123	162	432297		
Total	273656461	209			

独立変数) A: 練習方法, B: 計測日・ブロック

*: p<.05, **: p<.01, ***: p<.001

表 20 指先軌道誤差

群	プレテスト	練習1日目		練習2日目		第1保持 テスト	第2保持 テスト
		1stブロック	2ndブロック	3rdブロック	4thブロック		
コントロール群	3271.3 (1061.4)	3131.0 (910.8)	2874.6 (1231.9)	3019.9 (858.1)	3042.3 (1300.6)	3454.8 (1312.7)	3747.3 (1598.9)
ハンドリング群	3240.0 (743.4)	1872.0 (538.4)	1504.2 (451.8)	1639.2 (388.6)	1597.6 (404.6)	2030.2 (444.4)	2145.3 (525.3)
言語教示群	2916.2 (1033.6)	3789.8 (1208.2)	3273.4 (903.1)	3364.1 (919.0)	3220.4 (976.8)	3202.6 (1077.4)	3247.9 (935.4)

単位: Arb.unit

平均値 (±標準偏差)

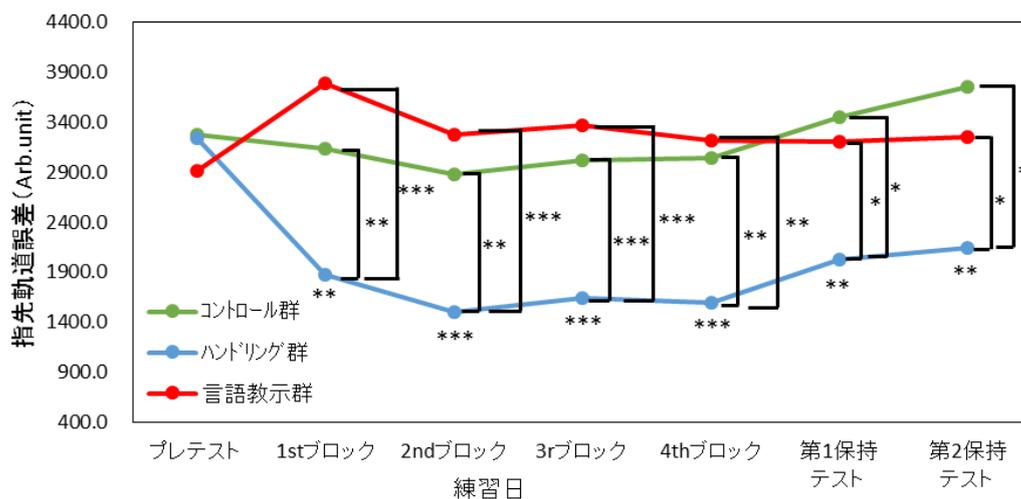


図 32 指先軌道誤差の経時間的变化

データは平均値を表す。多重比較検定の結果/*: p<.05, **: p<.01, ***: p<.001

記号/グラフ下部: ハンドリング群内におけるプレテスト時との比較

2.3.3.6 考察

本実験の目的は、バーを避けながらのリーチ動作を学習課題として取り上げ、ハンドリングによる運動学習への効果と、言語教示との運動学習効果の差異を明らかにすることとした。本実験において、所要時間、的指先間距離、総指先軌道誤差をパフォーマンスの指標とした。また、保持テスト時において、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した。その結果、課題の目標であった的指先間距離において、3群ともに類似した平均値を示し、練習方法の違いによる差は認められなかった。しかし、ハンドリング群でのみ、プレテストに比べて保持テストで有意に低値であった。また、所要時間の結果において、ハンドリング群がコントロール群よりも有意に短い時間で課題を行っていた。その一方で、プレテストと保持テスト時を比較した場合、全ての群において有意な変化は認められなかった。さらに指先軌道誤差では、他の2群よりもハンドリング群が練習日及び保持テストにおいて有意に低い値を示しており、プレテストと比較し保持テスト時にハンドリング群は有意に低値であった。これは、練習期間を通してハンドリング群へ学習モデルに近い指先軌道を指導できていたことを示している。また、それが保持テストにおいても保たれ、指先軌道という点でも運動学習に至ったこと示している。本項では、動作所要時間、的指先間距離、総指先軌道誤差の3つのパラメータとアンケート結果から、ハンドリングの運動学習への効果と言語教示との運動学習効果の差異について考察する。

本実験の結果より、ハンドリングによる動作指導は、運動軌道や動作時間の運動学習において優れた効果を有する可能性が示唆された。本実験では、予備実験にて作成した学習モデルへ近づけることを目標に介入を行った。そのため、指先軌道における学習モデルとの誤差を指先軌道誤差にて確認したところ、練習期間・保持テスト時のハンドリング群において、他群より有意に低い値を示しており、また、プレテストと比較して有意に低値であった。この結果から、2つのことについて説明できる。1つ目は、練習期間中に学習モデルに近い形で指導できていたという点である。ハンドリング群の指先軌道が誤差は1504.2から1872.0であった。また、予備実験における学習モデルと各被験者との指先軌道誤差は、543.9から1872.6の範囲であった。したがって、練習中にハンドリング群が示した誤差は、個人差の範囲内であると考えられ、ハンドリング群に対して的確に指導をすることができていたと推察する。また、アンケート結果より、すべての被験者がハンドリングの情報をを用いて練習に臨んでおり、練習中の自己の課題遂行状況についての迷いも認められなかった。また、その中にはフィードバックを利用せず、ハンドリングの情報のみで練習を行っている者もいた。これらの結果は、ハンドリング群への介入が的確なものであり、またパフォーマンスの変化がその介入効果であることを支持するものとする。2つ目として、ハンドリングが運動軌道の学習において有益であるという点である。ハンドリング群の結果に比して他の2群の指先軌道誤差は、学習モデルと比して高い値を示しており、その値は練習期間や保持テストにおいても変化がみられなかった。これらの結果から、ハンドリングは直接的に運動軌道を指導でき、また、KPなどの具体的かつ言語的なフィードバックなしに練習を進めて運動学習へ導くことができる手段と推察する。

一方、言語教示群は指先軌道誤差に有意な変化が認められなかった。この点について、言語教示の内容の観点から考察する。今回実験で用いたIFA教示では運動軌道を抽象的に表現することに留めた。その理由は、運動軌道を的確に言語教示で表現するには複数の情報を伝える必要があり、理解し難い量の

情報提示することが懸念されたためである。その結果として、抽象的な言語教示で運動軌道を指導したが、その捉え方は被験者毎に異なっていた。言語教示の理解についてフィードバックを用いて修正することも可能であるが、今回使用した KR では情報類似性の観点から運動軌道を修正は困難であったと推察される。これは、アンケート結果にも現れており、4名の被験者が練習中に自己のパフォーマンスに迷いを感じていた。また、身体情報のみならず、環境情報も合わせて使用している傾向にあった。我々の先行研究において、言語教示と外在フィードバックは情報の類似性を考慮して伝える必要があり、KPを IFA 教示に組み合わせることによりその教示効果を高めることを報告している^{2,3)}。つまり、今回の実験においても IFA 教示にて運動軌道を抽象的伝えた後に KP を与えることで、運動軌道の修正を行えたと推察する。なお、本実験の結果は、運動軌道の指導において IFA 教示と KP の組合せによる介入の効果を示唆するものと捉えられる。

動作所要時間の点において、練習 2 日目から保持テストにかけてハンドリング群とコントロール群の間に有意な差があり、ハンドリング群は短い時間で動作を行っていた。また、群内での変化は有意でなかったものの、平均値としてハンドリング群は短縮し、コントロール群は延長していた。ハンドリング群について、これは介入時の動作所要時間についても学習モデルに近い時間でハンドリングしたためと考える。学習モデルとハンドリング群の動作所要時間を比較すると、学習モデルで 2.4 ± 1.3 秒、ハンドリング群で 2.9 ± 0.6 秒と近似した値を示しており、その時間は保持テストでも同様であった。また、本実験において、対象者へ動作時間に対する規定や教示は伝えていない。この結果から、ハンドリングにより運動軌道だけではなく動作時間も潜在的に指導することが可能と推察する。さらに、的指先間距離の結果と合わせて動作時間をみると、保持テストにおいて 3 群は近似した平均値を示していた。すなわち、動作時間と的に触れる精度の観点から、ハンドリングによりより短い時間で他群と近い精度の動作を行えるようになっていたと考えられた。

潜在・顕在学習について、ハンドリングは非言語的な指導である点から潜在学習に該当すると考えてきた。この点を確認するため、介入群においてアンケートにより指導内容の言語化の確認を行った。その結果、言語教示群はその教示内容や手順を具体的に記載しているのに対し、ハンドリング群は「本課題の禁止事項」や「動作の誘導」という概要の記載のみであり、具体的な運動方法に関して回答している者は 1 名だけであった。したがって、ハンドリングにより非言語的な形で動作を学習したことが確認でき、ハンドリングにより潜在学習にて運動学習に至ったと考える。先行研究において、潜在学習は顕在学習に比べて長期の保持⁶⁵⁾や運動スキルの自動化⁶⁶⁾を促進するという特長が報告されている⁴⁶⁾。この結果は、本実験でも指先軌道誤差において確認されており、先行研究を支持する結果となった。また、受けた指導内容や練習中に意識して行っていた点を明確に言語化できないということから、ハンドリング群においても動作の自動化が起きていたと推察される。

まとめとして、ハンドリングにより運動軌道を学習させることができる指導であることが明らかとなった。また、非言語的な介入にて動作時間も同時に学習させる可能性が示唆された。さらに、言語教示との運動学習効果の差異についても運動軌道の学習において確認されており、その差異の特徴としてフィードバックの必要性という点で異なっていた。つまり、ハンドリングは運動軌道に関するフィードバックをすることなく運動軌道を学習させることが出来るのに対し、言語教示についてはその情報類似性の高いフィードバックを組み合わせ使用することが必要であると推察された。

第3章

全体法・部分法における 運動学習効果の差異 —学習課題の検討—

第3章：全体法・部分法における運動学習効果の差異—学習課題の検討—

2.1 緒言

全体法・部分法の観点から言語教示に関する我々の研究を捉えた場合、部分法による練習時に技能の構成要素合わせた IFA 教示・KP を与えることの必要性が推察された。つまり、練習方法にあった言語教示を提示することにより、その教示効果を高めることができるのではないかと考えた。なお、運動学習における練習方法と言語教示の組合せによる影響に関する報告は見当たらない。

全体法・部分法の運動学習効果の差異および、言語教示との組み合わせによる影響を明らかにするにあたり、その学習課題として片側ステップトレーニング (unilateral step training ; UST) ⁶⁷⁾ を取り上げる。UST は、トレッドミル外にて麻痺側下肢を支持に利用し、非麻痺側下肢のみでステップを行うトレーニングである。これは、脳卒中片麻痺患者における非対称的な歩容 (非麻痺側下肢の歩幅の減少) に着目し、この歩容に対する一つの介入法として、Kahn ら提唱したものである。Kahn らの報告によると、このトレーニングを発症 6 か月以上経過している脳卒中後遺症者へ 2 週間適応した際に、非対称的な歩幅の改善が認められたとしている。この課題を全体法・部分法の観点からとらえた場合、トレッドミル上での歩行練習が全体法であるのに対し、UST は歩行練習における部分法と言える。すなわち、トレッドミル歩行 (treadmil walking ; TW) と片側ステップ (unilateral step ; US) の練習効果を比較することにより、歩行練習における全体法と部分法の運動学習効果の差異を比較することが可能である。さらに、この練習に言語教示を付加して研究することにより、練習方法と言語教示の組合せによる影響も明らかにできると考えている。

Naylor と Briggs の仮説 ^{60,61)} に従えば、歩行は複雑性が低く、組織化が高い技能と捉えることができ、全体法が適していると考えられる。しかし、脳卒中後遺症者にとって歩行は、その構成要素間の連続性が機能障害の影響により断たれ、複雑性が高く組織化が低い技能に該当すると推察される。よって、非対称的な歩幅が残存した脳卒中後遺症者に対して、非麻痺側下肢の振り出しのみを部分的に取り出し、連続的な動作の中で繰り返し行わせる部分法での練習が必要であると考えられる。よって、部分法としての UST は、全体法による練習よりも運動学習へプラスの効果をもたらすと予測される。

UST を課題として取り上げるにあたり、US 時の呼吸循環応答や筋活動に関して確認しておく必要がある。具体的に、UST は US を持続的に実施させるものであるため、リスク管理の観点から事前に呼吸循環応答への影響を健常者において明確にしておくべきである。また筋活動については、TW 時との筋活動パターンやその活動電位量の差異を明らかにすることが求められる。これにより、US の筋電図学的な特徴を明らかにでき、また、言語教示を与える実験において、その教示内容を決定するためのデータとしても利用することが可能である。さらに、呼吸循環応答への影響を理解するうえでも重要なデータである。なお、この点については、先行研究においても明らかにされていない。

仮説として、US はトレッドミル外にて片側下肢を支持側として利用するため、持続的に骨盤を固定する必要があり、支持側下肢の股関節周囲筋の筋活動は維持されると推測される。また、呼吸循環応答に関しては、支持側下肢の蹴り出しや振り出しの運動が消失し、股関節周囲筋以外の筋活動が減少するために、酸素摂取量は低下すると考えられる。

そこで、本研究では、学習課題として利用可能な US を実施した際の、体幹・下肢筋活動と呼吸循環応答への影響を TW との比較によって明らかにすることとした。

2.2 方法

2.2.1 対象

対象は、健康青年である男性 4 名、女性 6 名（年齢 21.3 ± 1.1 歳、身長 168.9 ± 6.0 cm、体重 58.8 ± 4.6 kg、BMI 20.9 ± 1.1 ；平均 \pm 標準偏差）とした。ただし、トレッドミル歩行に影響をきたす整形外科的疾患を有する者、呼吸器・循環器に障害を有する者、喫煙歴を有する者を除外した。また、対象者へ研究の目的や方法を十分に説明し、同意書への署名をもって承諾を得た。

2.2.2 測定方法

測定環境は、一般的に生理学的反応に影響をきたさないとされる室温 18~27 度、湿度 30~60 % とし、無風で静かな室内⁶⁸⁾とした。

測定項目は、筋活動量および呼吸循環応答とした。筋活動量の測定は表面筋電図を用い、双極誘導にて導出した（サイナクト MT11, 日本 GE マルケット社製）。被検筋は、左右の脊柱起立筋、大殿筋、中殿筋、大腿二頭筋、大腿直筋、ヒラメ筋の計 12 筋とした。筋活動量を測定するにあたり、電気的皮膚抵抗を最小限にするため、紙やすり（3M 社製）を用いて貼付部周辺の皮膚角質を除去した。その後、筋腹に沿って 2.5 cm の電極間距離にて表面電極（Blue Sensor, メッツ社製）を貼付した。電極貼付後、検者の徒手抵抗により最大随意収縮時の筋活動量（maximum voluntary contraction : MVC）を測定した。測定方法は、ヒラメ筋以外においてダニエルらの方法による徒手筋力テストのグレード 5 の方法⁶⁹⁾に準じて測定した。ヒラメ筋の測定については、腹臥位にて膝関節 90°屈曲位の肢位とし、前足部に抵抗を加えた。また、測定における代償運動を他の検者が可能な限り防いだ。

呼吸循環応答の測定には、呼気ガス分析装置（Aeromonitor AE-300S, ミナト医科学株式会社製）を用いた。Breath-by-Breath 法にて、酸素摂取量、酸素脈、呼吸数、一回換気量、分時換気量を測定した。また、胸部双極誘導にて心電図を導出し、心拍数を測定した。その際、心電図モニタ用電極（ディスプレイ電極 Bs ビトロード, 日本電光社製）および心電計（BSM-720, 日本光電社製）を用いた。さらに、歩行周期を測定するため、フットスイッチ（PH-450A, DKH 社製）を貼付した。貼付部位は、右足底面の踵部中央（外果と内果を結ぶ線の midpoint から 2 cm 遠位）と第 1 中足骨頭部とした。なお、呼吸循環応答ならびに歩行周期の測定に用いる機器は MVC 測定の後に取り付けた（図 33）。

測定条件については、運動パターン条件（TW と US）と歩行速度条件（30 m/min, 60 m/min）の計 4 種類とした。各条件を十分に体験させた後、安静座位を 3 分間とらせた。その後、TW を各歩行速度で 3 分間実施させ、各条件の最後の 1 分間においてステップ数を計測した。また、終了直前の 30 秒間において筋活動量および呼吸循環応答を測定した。TW 終了後、再び 3 分間の安静座位をとらせた後、TW と同様に各歩行速度で US を 3 分間実施させた。US を行う際は、左下肢（以下、支持側下肢）を荷重計（SB-200K12, A&D 社製）の上に乗せ、右下肢（以下、ステップ側下肢）をトレッドミル（Evolve JP, Horizon Fitness 社製）のベルト上に乗せた。ステップ側立脚時に支持側下肢は離地せず、支持側下肢へ体重の 30 % (± 10 kg) を荷重するよう指示した。その際、モニタ（AD-4532B, A&D 社製）にて荷重量を随時確認させた。また、TW 時に計測した各歩行速度でのステップ数をメトロノーム（SQ100-88, Seiko 社製）に入力し、その電子音に合わせてステップを行わせた。筋活動量、荷重量およびフットスイッチデータは、サンプリング周波数 1 kHz にて A/D 変換し、パーソナルコンピュータ

に取り込んだ (Power Lab, ADInstruments 社製)。

2.2.3 データ解析

一歩行周期を右踵の接地から次の右踵の接地までとし、フットスイッチのデータから決定した。また、右立脚期は右 Heel strike から右 Toe off までとし、一歩行周期における割合を求めた。筋電波形に対し、遮断周波数を 10 Hz とした high pass filter をかけ、全波整流した後、移動平均を算出した。MVC 時の筋電波形についても同様に処理した。歩行周期毎に一歩行周期を 100 % として基準化し、30 秒間のデータを加算平均した。さらに、MVC 時の最大値を 100 % として各筋電位を基準化した。その後、積分値とピーク値を算出した。筋電波形およびフットスイッチデータについては、MATLAB (Math work 社製) によるオリジナルプログラムにて解析した。なお、積分値は任意単位とした。また、呼吸循環応答の指標について、代表値を終了直前 30 秒間の平均値とした。

2.2.4. 統計解析

筋活動量の積分値とピーク値および呼吸循環応答の各指標について、運動パターン (2 水準) と歩行速度 (2 水準) の被験者内計画における二元配置分散分析を行った。また、多重比較検定には Schaffer の方法を用いた。統計学的有意水準は、危険率 5 % 未満とし、解析には統計ソフト R (version 2.13.2.) を使用した。

2.3. 結果

2.3.1 右立脚期の割合

一歩行周期に対する右 (ステップ側) 立脚期の割合は、TW において歩行速度 30 m/min で $50.7 \pm 2.8\%$ (mean \pm SD), 60 m/min で $54.0 \pm 4.8\%$ であった。US においては、歩行速度 30 m/min で $58.9 \pm 3.6\%$, 60 m/min で $54.3 \pm 1.7\%$ であった。

2.3.2 一歩行周期中の筋活動パターンの変化

筋活動パターンは、TW と比較し US においてステップ側下肢の全被検筋に変化がみられ、収縮時間が延長していた。特にステップ側大腿直筋において、一歩行周期の 60~100 % 間で顕著に高い筋電波形がみられた (図 34)。

2.3.3 一歩行周期における筋活動量の積分値

支持側下肢全被検筋の積分値を分析した結果、運動パターンに主効果が認められなかった。支持側下肢各被検筋では、脊柱起立筋、大殿筋、中殿筋、大腿二頭筋、ヒラメ筋に運動パターンの主効果が認められなかった (表 1)。支持側大腿直筋に関しては、運動パターンの主効果が認められた ($F(1, 9) = 10.42$, $p < .05$)。また、交互作用が認められ ($F(1, 9) = 10.52$, $p < .05$)、歩行速度 30 m/min ($F(1, 9) = 7.07$, $p < .05$) と 60 m/min ($F(1, 9) = 11.69$, $p < .01$) の両方で US が高値となった。

ステップ側下肢の全被検筋では、運動パターンに主効果が認められなかった。しかし、大殿筋のみに交互作用が認められ ($F(1, 9) = 10.52$, $p < .05$)、歩行速度 30 m/min ($F(1, 9) = 6.29$, $p < .05$) におい

て US で低値となった (表 21).

2.3.4 一歩行周期における筋活動のピーク値

支持側下肢全被検筋の最大値の平均を分析した結果, 運動パターンの主効果が認められ ($F(1, 5) = 14.33, p < .05$), US で低値となった. 支持側下肢各被検筋では, 脊柱起立筋 ($F(1, 9) = 11.82, p < .01$), ヒラメ筋 ($F(1, 9) = 17.85, p < .01$) に運動パターンの主効果が認められ, その他の筋では認められなかった (表 2). また, 交互作用は脊柱起立筋 ($F(1, 9) = 9.63, p < .05$), ヒラメ筋 ($F(1, 9) = 11.41, p < .05$) に認められ, 両速度条件で US が低値となった.

ステップ側下肢全被検筋では, 運動パターンの主効果が認められ ($F(1, 5) = 13.76, p < .05$), US で低値となった. ステップ側下肢各被検筋では, 脊柱起立筋 ($F(1, 9) = 14.95, p < .01$), 大殿筋 ($F(1, 9) = 7.11, p < .05$), 中殿筋 ($F(1, 9) = 14.10, p < .01$), ヒラメ筋 ($F(1, 9) = 5.37, p < .05$) に運動パターンの主効果が認められた. また, 交互作用は脊柱起立筋 ($F(1, 9) = 12.43, p < .01$) に認められ, 歩行速度 60 m/min ($F(1, 9) = 22.42, p < .01$) で US が低値となった (表 22).

2.3.5 呼吸循環応答

酸素摂取量 ($F(1, 9) = 23.24, p < .001$), 酸素脈 ($F(1, 9) = 32.35, p < .001$), 一回換気量 ($F(1, 9) = 17.48, p < .01$), 呼吸数 ($F(1, 9) = 7.73, p < .05$) に運動パターンの主効果が認められた (表 3). 酸素摂取量, 酸素脈, 一回換気量は US で低値となり, 呼吸数は US で高値となった. また, 一回換気量では交互作用が認められ ($F(1, 9) = 5.39, p < .05$), 歩行速度 30 m/min ($F(1, 9) = 12.61, p < .01$) と 60 m/min ($F(1, 9) = 15.32, p < .01$) の両方で US が低値となった. 心拍数, 分時換気量に関しては, 主効果が認められなかった (表 23).

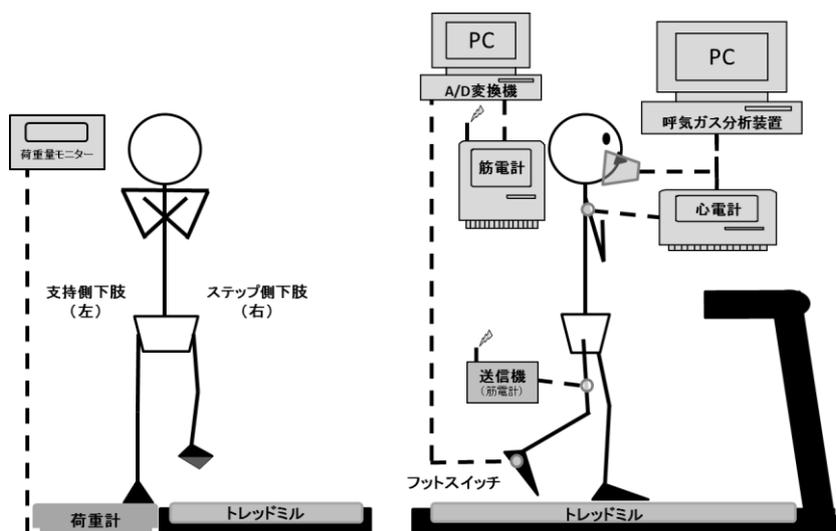


図 33 実験環境 (UST)

支持側下肢 (左下肢) はトレッドミル外の荷重計の上に接地し,
ステップ側下肢 (右下肢) のみでステップを行わせた.

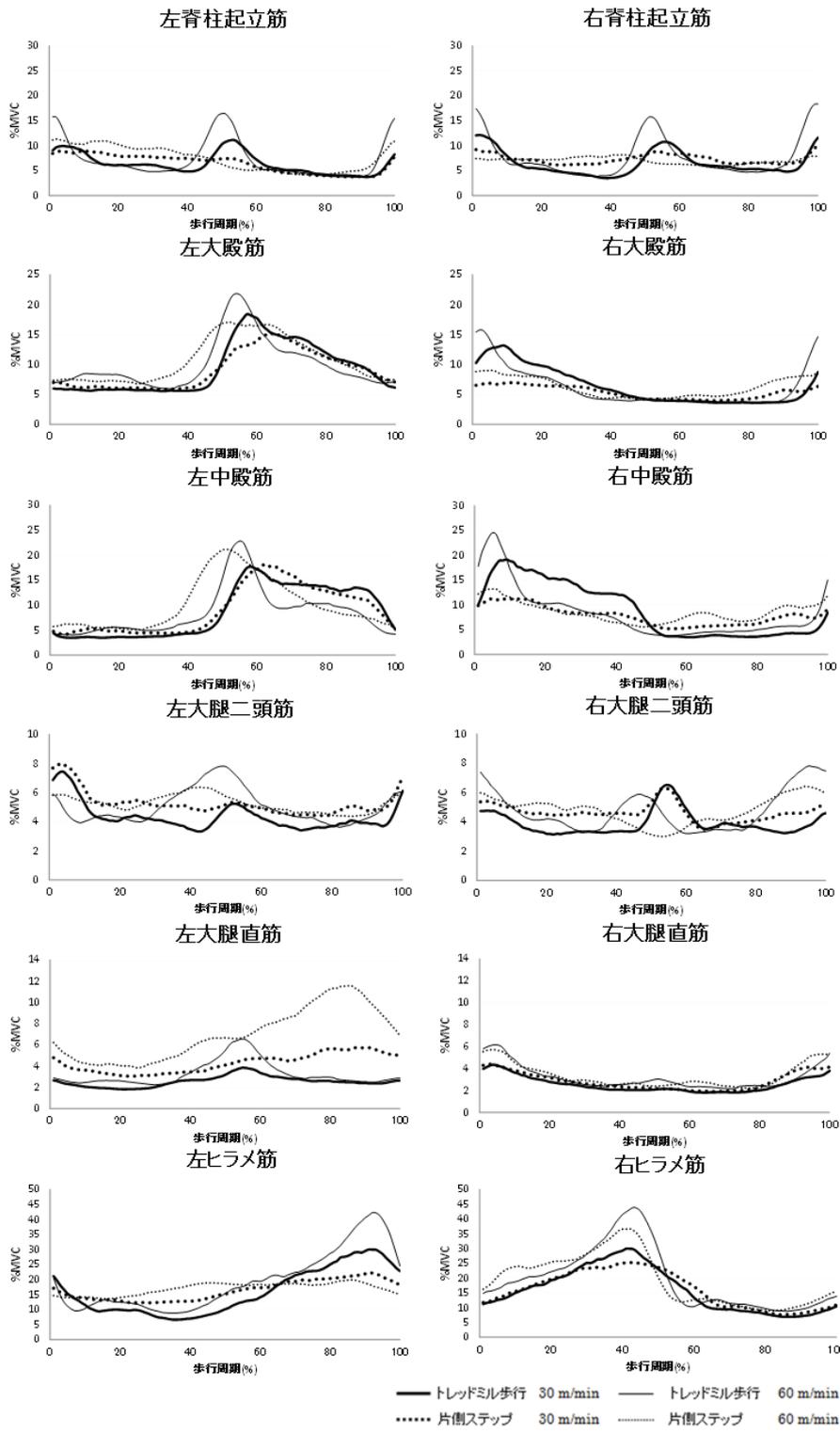


図 34 一歩行周期における筋活動パターンの変化

表 21 一歩行周期における筋活動量の積分値

		TW30		US30		TW60		US60	
支持側 (左)	脊柱起立筋	637.6 ± 241.5	613.2 ± 382.9	654.3 ± 276.9	743.3 ± 464.4				
	大殿筋	933.1 ± 445.4	911.9 ± 456.3	956.1 ± 466.6	1074.1 ± 488.3				
	中殿筋	872.0 ± 421.7	919.7 ± 471.9	813.3 ± 515.5	1016.3 ± 603.9				
	大腿二頭筋	434.3 ± 226.9	379.4 ± 273.3	480.7 ± 241.2	525.1 ± 295.5				
	大腿直筋	257.3 ± 89.6	444.1 ± 270.5 *	306.5 ± 186.0	698.6 ± 445.2 **				
	ヒラメ筋	1589.0 ± 614.0	1295.5 ± 761.5	1756.5 ± 861.3	1699.6 ± 885.7				
ステップ側 (右)	脊柱起立筋	650.0 ± 275.4	688.0 ± 624.8	711.9 ± 377.7	699.5 ± 499.0				
	大殿筋	635.3 ± 343.3	473.2 ± 289.2 *	563.2 ± 318.0	615.1 ± 336.0				
	中殿筋	902.6 ± 303.3	719.9 ± 288.2	796.1 ± 292.4	848.7 ± 336.9				
	大腿二頭筋	389.5 ± 210.8	395.8 ± 232.8	451.1 ± 228.9	476.6 ± 186.3				
	大腿直筋	255.3 ± 54.5	274.2 ± 71.8	301.1 ± 129.6	332.2 ± 99.7				
	ヒラメ筋	1591.5 ± 724.7	1443.2 ± 670.0	1881.2 ± 836.4	1932.0 ± 791.1				

(mean ± SD) 運動パターンの主効果: *p<.05, **p<.01 Arb.unit

表 22 一歩行周期における筋活動のピーク値

		TW30		US30		TW60		US60	
支持側 (左)	脊柱起立筋	12.3 ± 5.0	9.8 ± 6.0 *	18.6 ± 6.9	13.0 ± 7.8 **				
	大殿筋	19.2 ± 10.3	16.2 ± 11.0	22.9 ± 11.3	18.9 ± 12.4				
	中殿筋	19.5 ± 9.0	20.3 ± 9.4	23.9 ± 12.1	22.7 ± 13.7				
	大腿二頭筋	9.5 ± 9.1	6.3 ± 5.2	10.9 ± 5.3	7.7 ± 4.6				
	大腿直筋	4.3 ± 2.0	7.2 ± 5.4	6.7 ± 3.6	12.6 ± 8.7				
	ヒラメ筋	31.6 ± 10.6	21.1 ± 11.0 *	44.0 ± 16.5	22.6 ± 10.1 **				
ステップ側 (右)	脊柱起立筋	14.4 ± 6.6	10.5 ± 10.6	19.5 ± 8.6	10.2 ± 7.7 **				
	大殿筋	14.8 ± 8.5	7.3 ± 3.8 *	17.2 ± 10.8	10.7 ± 5.9 *				
	中殿筋	21.6 ± 10.3	12.1 ± 4.5 **	25.3 ± 11.7	14.7 ± 4.8 **				
	大腿二頭筋	7.9 ± 4.8	7.5 ± 3.9	11.5 ± 5.8	8.5 ± 3.1				
	大腿直筋	4.8 ± 1.5	4.9 ± 1.6	6.6 ± 1.8	6.3 ± 1.8				
	ヒラメ筋	31.6 ± 13.0	26.8 ± 10.1 *	46.5 ± 18.3	40.5 ± 16.0 *				
ステップ側立脚期の割合		50.7 ± 2.8	58.9 ± 3.6	54.3 ± 4.8	54.3 ± 1.7				

(mean ± SD) 運動パターンの主効果: *p<.05, **p<.01 単位: %

表 23 運動パターン条件における呼吸循環応答の比較

	TW30		US30		TW60		US60	
酸素摂取量 (ml / min / kg)	10.4 ± 1.3	9.0 ± 1.4 ***	13.8 ± 1.3	11.8 ± 1.5 ***				
心拍数 (beats / min)	95.5 ± 0.8	93.3 ± 0.5	103.8 ± 1.9	103.8 ± 0.9				
酸素脈 (ml / beats)	6.5 ± 0.7	5.7 ± 0.8 ***	8.0 ± 1.1	6.8 ± 1.3 ***				
一回換気量 (ml / min)	741.1 ± 130.4	639.2 ± 99.5 **	875.7 ± 195.7	683.1 ± 132.9 **				
呼吸数 (breaths / min)	24.5 ± 7.4	27.0 ± 7.0 *	26.4 ± 9.5	32.1 ± 7.1 *				
分時換気量 (l / min)	17.1 ± 3.6	16.8 ± 3.6	21.6 ± 5.0	21.4 ± 3.8				

(mean ± SD) 運動パターンの主効果: *p<.05, **p<.01, ***p<.001

2.4 考察

本研究では、トレッドミル上での US を健常者で実施した際の体幹・下肢筋活動と呼吸循環応答への影響を明らかにすることを目的とした。結果より、TW と US において筋活動と呼吸循環応答の違いが明らかとなった。

US において支持側の股関節周囲筋は骨盤固定のために収縮し、筋活動が維持されると推測していた。本研究より、US 時の股関節周囲筋の筋活動量は TW 時と有意に差がなく、仮説を支持する結果が示された (表 21)。また、筋活動パターンにおいて、ピーク値としては TW より US の方が低値を示しているものの、収縮時間としては延長していた (図 34)。これは、US において支持側下肢へ持続的に荷重させていたことによるものと考えられた。本研究ではステップ側下肢の立脚期に支持側下肢へ体重の 30% を荷重させていた。これは脳卒中片麻痺患者に US を実施させた場合を考慮したためである。すなわち、麻痺側立脚期への移行時に、麻痺側下肢への荷重量が 0% から急激に増加することは危険であると予測されたため、支持側下肢への荷重を常時残した状態に保持させ、支持側下肢立脚期における急激な荷重量の増加を防いだ。なお、荷重量の規定を 30% としたのは、予備実験において荷重コントロールが最も良好であったためである。また、US で支持側大腿直筋の活動が有意に大きくなっていた。これは、大腿直筋を膝関節伸筋群としてみた場合、膝関節の屈伸運動にて荷重量を調節していたためと推測された。

次に呼吸循環応答について、支持側下肢での蹴り出しや振り出しなどの運動が消失するため、股関節周囲筋以外での活動が低下し、酸素摂取量が低下すると推測した。結果より、呼吸循環応答では US で酸素摂取量、一回換気量、酸素脈が低下し、呼吸数では増加していた。また、分時換気量、心拍数では差が見られなかった。酸素摂取量が低下した要因としては、支持側下肢でのステップ運動が消失したことにより、被検筋とした支持側股関節周囲筋以外の筋活動が減少したことが考えられた。すなわち、実験機器の制約により左右合計 12 筋のみを測定したため、被検筋として選択していない筋の活動が酸素摂取量の低下に影響した可能性がある。したがって、被検筋を変えて実験を行う必要があり、この点は今後の課題と捉えている。

また、US では筋の収縮時間が延長したことで、筋ポンプ作用が低下したと推測された。それに伴い静脈環流量も低下し、一回拍出量が低下したと考えられた。これより、一回拍出量の指標である酸素脈の低下が理解できる。

さらに呼吸応答では、US において一回換気量が減少し、呼吸数が増加していた。これは、US 時のバランス保持に体幹筋が関与したためと考えられた。US では常に支持側下肢へ荷重を残しているため、ステップ側下肢の立脚期は常に両脚支持となる。よって、トレッドミル上に載っているステップ側下肢のみが受動的に後方へ引かれるため、バランス保持の戦略として体幹を固定させたと推察される。その際に体幹筋群の静的な収縮が生じ、腹圧が上昇したと考えられた。結果として、横隔膜の上下運動が減少し、さらには一回換気量が減少したと推測された。しかし、今回の研究において腹直筋、腹斜筋群などの筋活動を測定していないため、今後検討が必要である。

続いて、UST を学習課題として利用する観点から考察する。歩行を学習課題として取り上げて全体法・部分法の実験を行う場合、その練習量の統一が困難となる。本実験の結果より、筋活動パターンとしては TW と US で類似していた。また、US において酸素摂取量が TW より有意に低値を示していた。

部分法としての UST は、一歩行周期から非麻痺側の遊脚期と麻痺側下肢の立脚期を抽出して練習を行うものである。したがって、US を実施することにより、エネルギーコスト低くかつ TW 時に近い筋活動パターンで非麻痺側下肢の振り出しと麻痺側下肢の支持を持続的に反復練習できると推察する。さらに、持続的に反復できる点では、ステップ数や練習時間などのパラメータを操作することで全体法と部分法の練習量の統一化を図れる。したがって、UST は全体法・部分法の学習効果の差異を検証する課題として眺め向きであると考えられる。また、US は TW に比べてピーク値としては低値を示し、収縮時間が延長するという特長が確認された。この特徴を生かし、より TW 時の筋活動パターンへ近づけることを目標とした学習課題を設定し、練習方法と教示を組合せによる運動学習への効果に関する研究をも可能にすると推察する。

以上より US は、理学療法場面を想定した全体法・部分法の運動学習に関する研究に利用できる可能性を有すると考えられた。また、今回明らかになったデータを基に発展的に研究を進められるものと考えている。しかし、呼吸循環応答データにおいて、酸素脈の低下から一回拍出量の低下が推測された。この点から、トレーニング実施時のリスク管理には十分配慮すべきである。

第4章

本研究のまとめと 今後の課題

第4章：本研究のまとめと今後の課題

本研究では、運動学習理論を理学療法へ応用し、2つの実験を行った。その一つが、「ハンドリングトレーニングにおける運動学習への効果」であり、もう一つが「全体法・部分法における運動学習効果の差異—学習課題の検討—」である。本章では、それぞれの研究成果をまとめることで今後の課題を明確にし、これを本研究の総括とする。

4.1 ハンドリングトレーニングにおける運動学習への効果

本実験では、二つの課題を取り上げ、ハンドリングにおける運動学習の効果と、言語教示との運動学習効果の差異を明らかにすることを目的とした。その結果、運動パターンの学習において、ハンドリングは運動学習の教示として機能し、また、運動軌道と動作所要時間の学習において言語教示よりも優れている可能性が示唆された。

ハンドリングは、理学療法場面で頻繁に用いられているにもかかわらず、その運動学習への効果が明らかにされてこなかった。この要因としては、ハンドリングの「定量化」の問題が大きかったと著者は考えている。そのため、ハンドリングの定量化可能な課題を確立することが必要であった。この点について、課題2で取り上げた「バーをよけながらのリーチ動作」は、健常者におけるハンドリングの学習効果を検証するモデルとして適していた。さらに、教示やフィードバックなど実験設定を変更することで、運動学習に影響を与える他の要因の効果についても検証できる課題である。よって、この課題を考案できたことは、本実験における一つの成果であると考えている。

ハンドリングによる練習によりパフォーマンスが向上し、運動学習に至ることが明らかとなった。これは、課題1にてその傾向がみられ、課題2にて運動軌道（指先軌道）の学習に優れた効果を有することが明らかとなった。この結果により、これまで明らかとされていなかったハンドリングの運動学習効果について、その一例を示すことができた。この点は本実験における大きな成果であると捉えている。さらに、言語教示群・コントロール群との差異というにおいては、今回「潜在学習・顕在学習⁴⁶⁻⁵⁷⁾」という観点から比較した。その結果、運動軌道と動作所要時間の運動学習という点で、他の2群よりもハンドリングが優れていた。特に指先軌道についてより長けていた。ハンドリングは、目的とする運動軌道を非言語的に指導できる方法である。よって、非言語的に指導したことにより優れたパフォーマンスを示し⁵⁰⁾、運動の自動化^{11,12,56)}を促したと推察する。ハンドリング群が非言語的に学習を進めたことについては、アンケート結果に表れており、指導内容や課題実施時に用いた情報を明文化できない特徴が示された。加えて、コントロール群に比べて動作時間が低下しており、かつ学習モデルに近い値を示していた。つまり、ハンドリングにより学習モデルに近い動作を指導したことにより、非言語的に動作時間までも含めて学習されたと推察した。しかし、本実験では言語教示群やコントロール群に対して動作時間に関する規定を伝えていないため、3群間の統一性に不足があった。したがって、今後は時間的な要素も加味して比較していく必要があると考える。

一方、言語教示は運動到達点という点では、他群と差異なく向上させることが出来ていた。つまり、言語教示により大よその運動到達点の指標を指導できたと考える。しかし、運動軌道としては、大きく異なっていた。この要因としては、教示の解釈が被験者毎に異なった可能性が考えられた。この結果への対応として、教示の解釈のズレを修正するためにKPを与えること必要であったと推察した。我々の

先行研究^{2,3)}において、情報の類似性を考慮し IFA 教示に KP を組み合わせることでその教示効果を高めることが示唆されている。したがって、本実験の結果は先行研究の結果を支持する可能性が認められた。

4.2 全体法・部分法における運動学習効果の差異—学習課題の検討—

今回、全体法・部分法における運動学習効果の差異を検討することを念頭におき、その実験に用いる学習課題の検討を行った。そこで取り上げたのが UST である。これは、UST を歩行練習における部分法ととらえることにより、歩行練習における全体法と部分法の運動学習効果の差異を明らかにできると考えたためである。そこで、本実験では学習課題として利用可能な US を実施した際の、体幹・下肢筋活動と呼吸循環応答への影響を TW との比較によって明らかにすることとした。

その結果、US は TW に近い筋活動パターンを示し、かつ類似した股関節周囲筋の筋活動量を確保できていることが明らかとなった。さらに、呼吸循環応答としては、TW よりも低い酸素摂取量を示していた。この結果より、US を歩行練習における部分法と捉えて実施した場合に、TW と類似した筋活動パターンを学習させられることが明らかとなった。また、少ない酸素摂取量で実施可能な点から、全体法による歩行練習同様に持続的な練習が可能であり、全体法との練習量の統一化も図りやすいことが示唆された。

4.3 今後の課題

本研究の成果より、ハンドリングが非言語的に運動軌道を指導することができ、運動学習に有益である可能性が示唆された。すなわち、ハンドリングは手続き的知識を直接伝えられる指導方法と考えられる。Fitts¹¹⁻¹²⁾は、運動学習過程が認知相、連合相、自動化相の順に進み、認知相で宣言的知識を、連合相で手続き的知識を得るとしている。しかし、臨床場面で対象となる認知症患者⁷⁾や脳卒中後遺症患者では、宣言的な知識が得られにくい場合がある。よって、このような対象にはハンドリングにより手続き的な知識を直接指導することで、運動パターンを学習させられるのではないかと考えられた。しかし、本実験の対象者は健常若年者であったため、この点について対象を変えて実験を行うことで明らかにしていく必要があると推察する。また、動作所要時間の学習という点においても、ハンドリングが有益である可能性が示唆された。これは、非言語的な学習過程における新たな効果である可能性がある。しかし、この点是他群において統制できていないパラメータであったため、今後この点について研究を進めていく必要があると考える。さらに、今回の実験によりハンドリングを定量的に評価する一つの手段を見出した。そのため、本課題を用いて、教示やフィードバック、測定条件等を変更することで様々な視点からハンドリングに関する研究を進めることが可能と考えている。また、研究の視点を変え、セラピストがハンドリング技術を習得するまでの運動学習とその効果的な教示を明らかにすることも可能であり、これにより理学療法教育へも寄与できると考える。

また、本研究により、全体法・部分法の研究に US が利用できる可能性が示唆された。その一方で、実際に学習者となる脳卒中後遺症患者を対象とした、筋活動データや呼吸循環応答データはない。そのため、学習研究に用いる前にこれらの点を丁寧に検証したうえで、運動学習研究へ用いるべきと推察する。

我々はこれまで、Focus of attention を取り上げ、言語教示に関する研究を進めてきた¹⁻⁴⁾。その経緯を受けて、本研究ではハンドリングを取り上げ、その運動学習の効果や言語教示との差異を明らかにした。さらに、練習方法の分類である全体法・部分法に注目し、その学習課題について検討を行った。

本研究における一番の成果は、臨床現場にてセラピストが経験則的に感じていたハンドリングの効果の説明できたことであると考えている。ハンドリング同様、セラピストが頻繁に用いているにもかかわらず、その運動学習効果が不明な課題が多く残ると感じている。しかし、その課題には複数の要因が含まれており、その証明は容易でない。そのため、我々が研究を進めてきたように、問題を1つずつ取り上げて身体運動学的に実験し、データを積み上げていくことが不可欠である。また、その検証には問題に適した学習課題の選定が重要となる。そのため、今後は身体運動学的に特徴を明らかにした上で学習課題を選定し、教示・フィードバックや練習方法など、様々な視点から理学療法場面を運動学習理論にて説明していくことが必要であると考えられる。

— 文献 —

- 1) 藤澤宏幸, 武田涼子・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. 理学療法の歩み, 2010, 21: 23-31.
- 2) 鈴木博人, 嶋原さゆり・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-言語教示と結果の知識との組合せによる運動学習への効果-. 理学療法科学, 2012, 27(1): 21-29.
- 3) 鈴木博人, 大柄亨・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-Internal focus of attention 教示とパフォーマンスの知識との組合せによる運動学習への効果-. 理学療法科学, 2012, 27(3):249-255 .
- 4) 鈴木博人, 藤澤宏幸: 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-2種類の教示を提示する順序が運動学習に与える影響-. 理学療法科学, 2013, 28(2): 261-268.
- 5) 中村隆一, 長崎浩・他: 基礎運動学 第6版. 医歯薬出版, 東京, 2006.
- 6) Mazur JE (訳; 磯博行・他): メイザーの学習と行動 日本語版第3版. 二瓶社, 大阪, 2008.
- 7) 篠原彰一: 学習心理学への招待 [改訂版]-学習・記憶のしくみを探る-, サイエンス社, 東京, 2008.
- 8) 山内光哉, 春木豊: グラフィック学習心理学-行動と認知-, サイエンス社, 東京, 2002.
- 9) 藤澤宏幸: 運動学習を用いた治療展開 セラピーへの誘導. 丸山仁司, 竹井仁・他 (編): 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.
- 10) Schmidt RA (監訳; 調枝孝治): 運動学習とパフォーマンス. 大修館書店, 東京, 2006.
- 11) Fitts PM; Perceptual-motor skill learning. In AW Melton (ed): Categories of Human Learning. Academic Press, New York, 1964.
- 12) Fitts PM, Posner MI: Human Performance. Wadsworth, Belmont, 1967.
- 13) Adams JA; Closed-loop theory of motor learning. Journal of Motor Behavior, 3: 111-150, 1971.
- 14) Shumway-Cook A, Woollacott MH (監訳; 田中繁・他): モーターコントロール -運動制御の理論から臨床実践へ- 原著第3版. 医歯薬出版, 東京, 2009.
- 15) 十島雍蔵; 心理サイバネティクス. ナカニシヤ出版, 京都, 1993.
- 16) Winer N (訳; 池原止戈夫): サイバネティクス -動物と機械における制御と通信-, 岩波書店, 東京, 2011.
- 17) Trowbridge MH, Cason H: An experimental test of Thorndike's theory of learning. Journal of General Psychology. 1932,7:245-260.
- 18) Winstein CJ: Knowledge of results and motor learning-Implications for physical therapy. Phys Ther, 1991, 71(2):140-149.
- 19) Kernodle MW, Carlton LG: Information feedback and the learning of multiple -degree-of-freedom activities. Journal of Motor Skill, 1992, 24:187-196.
- 20) Schmidt RA, Young DE: Methodology for motor learning. A paradigm for kinematic feedback. Journal of Motor Behavior, 1991, 23:13-24.

- 21) Salmoni AW, Schmidt RA, et al: Knowledge of results and motor learning. A review and critical reappraisal. *Psychological Bulletin*, 1984, 95:355-386.
- 22) 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*, 2006, 21(1):69-73.
- 23) 安西祐一郎, 苧阪直行・他：岩波講座 認知科学 9・注意と意識, 岩波書店, 東京, 1994.
- 24) Wulf G, Höβ M, et al: Instructions for motor learning: Differential effects of internal versus external focus of attention. *J Mot Behav*, 1998, 30(2):169-179
- 25) Wulf G, Lauterbach B, et al: The learning advantages of an external focus of attention in golf, *Rec. Q Exer Sport*, 1999, 70(2):120-126.
- 26) Shea CH, Wulf G: Enhancing motor learning through external-focus instructions and feedback. *Human Movement Science*, 1999, 18:553-571.
- 27) McNevin NH, Wulf G, et al: Effect of attentional focus, self-control, and Dyad training on motor learning :Implications for physical rehabilitation. *Phys Ther*, 2000, 80(4):373-385.
- 28) Wulf G, Weight M, Poulter D.R, et al.: Attentional focus on supra-postural tasks affects balance learning. *Q J Exp Psychol*, 2003, 56A:1191-1211
- 29) Wulf G (監訳 福永哲夫)：注意と運動学習—動きを変える意識の使い方—. 市村出版, 東京, 2010.
- 30) Perkin's-Ceccato N, Passmore S.R, et al: Effect of focus of attention depend on golfer' s skill. *Journal of sports Sciences*, 2003, 21:593-600.
- 31) Duncan PW, Weiner DK, et al: Functional Reach: A New Clinical Measure of Balance. *Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES*, 1990, 45(6), 192-197.
- 32) Duncan PW, Studenski S, et al: Functional reach: predictive validity in a sample of elderly male veterans. *Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES*, 1992, 47(3), 93-98.
- 33) Finch E, Brooks D, et al: Functional Reach (FR) test physical Rehabilitation Outcom Measures (2nd ed) . Lippincott Williams & Wilkins, 2002, pp149-151.
- 34) 内山靖, 臼田滋・他: 理学療法における基準 (値) 6・平衡機能, *理学療法ジャーナル*, 1998, 32:949-959.
- 35) Fishman MN, Colby LA, et al: Comparison of upper-extremity balance tasks and force platform testing in persons with hemiparesis. *Phys Ther*, 1997, 77: 1052-1062.
- 36) Smithson F, Morris ME, et al: Performance on clinical tests of balance in Parkinson' s disease. *Phys Ther*, 1998, 78: 577-592.
- 37) Wernick-Robinson M, Krebs DE, et al: Functional reach: does it really measure dynamic balance? , *Arch Phys Med Rehabil*, 1999, 80: 262-269.
- 38) Frzovic D, Morris ME, et al: Clinical tests of standing balance: performance of persons with multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil*, 2000, 81: 215-221.

- 39) Ingemarsson AH, Fra ``ndin K, et al: Balance function and fall-related efficacy in patients with newly operated hip fracture. *Clin Rehabil*, 2000, 14: 497-505.
- 40) Jonsson E, Henriksson M, et al: Does the Functional Reach Test Reflect Stability Limit In Elderly People? *J Rehabil Med*, 2002, 35: 26-30.
- 41) 藤澤宏幸, 武田涼子・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: 96-10.
- 42) 中村隆一 (監修), 對馬均, 星文彦 (編集): *理学療法テクニク—発達的アプローチ*. 医歯薬出版株式会社, 東京, 2006.
- 43) 社団法人日本理学療法士協会: *理学療法診療ガイドライン第1版(2011)*. 2011, p571,p660.
- 44) 小塚直樹: 脳性麻痺に対する運動療法. 吉尾雅春 (編): *運動療法学総論第2版*. 医学書院, 東京, 2006, p275.
- 45) 奈良勲 (監修), 内山靖 (編): *理学療法学事典*. 医学書院, 東京, 2006, p746.
- 46) Reber AS: Implicit learning and tacit Knowledge. *J EXP PSYCHOL GEN*, 1989, 118(3): 219-235.
- 47) 関矢寛史: 知覚運動行動における潜在 vs. 顕在学習. *行動科学*, 1998, 37(1・2): 15-23.
- 48) 田中ゆふ, 関矢寛史・他: 投球動作前の確率情報を伴う球種予測に顕在的・潜在的知覚トレーニングが及ぼす影響. *スポーツ心理学研究*, 2013, adpub_2013-1212.
- 49) Pew RW: Levels of analysis in motor control. *BRAIN RES*, 1974, 71: 393-400.
- 50) Green TD, Flowers JH: Implicit versus explicit learning processes in a probabilistic, continuous fine-motor catching task. *J Mot Behav*, 1989, 23(4): 293-300.
- 51) 羽島真紀, 関矢寛史・他: テニスのサービスリターンの知覚トレーニングにおける予測手掛かり教示の有無とトレーニング期間の効果. *広島体育学研究*, 26: 51-58.
- 52) 三木ゆふ, 武田守弘・他: テニスのサービスリターンにおける知覚トレーニングの効果. *広島大学大学院総合科学研究科紀要. I, 人間科学研究*, 2007, 2: 81-92.
- 53) Pohl PS, McDowd JM, et al: Implicit learning of a perceptual-motor skill after stroke. *Phys Ther*, 2001, 81(11): 1780-1789.
- 54) Shea CH, Wulf G, et al: Surfing the implicit wave. *Q J Exp Psychol A*, 54A(3): 841-862.
- 55) Orrell AJ, Eves FF, et al: Implicit motor learning of a balancing task. *Gait Posture*, 2006, 23(1): 9-16.
- 56) Orrell AJ, Eves FF, et al: Motor learning of a dynamic balancing task after stroke: implicit implications for stroke rehabilitation. *Phys Ther*, 2006, 86(3): 369-380.
- 57) Masters RSW, MacMahon KMA, et.al: Implicit Motor Learning in Parkinson's Disease. *Rehabil. Psychol*, 2004, 49(1): 79-82.
- 58) Pechstein LA: *Whole vs. part methods in motor learning*. University of Michigan Library, 1917.
- 59) Mcguigan FJ, Maccaslin EF: Whole and part methods in learning a perceptual motor skill. *Am J Psychol*, 1955, 68(4): 658-661.
- 60) Fontana FE, Mazzardo O, et al: Whole and part practice: a meta-analysis. *Percept Mot Skills*, 2009, 109(2):517-530.

- 61) Magill RA: Motor learning and control, Concepts and Applications, ninth revised edition. McGraw Hill Higher Education, New York, 2010, pp409-426.
- 62) 米田 浩久, 鈴木 俊明: 全習法と異なる二種の分習法での運動学習効果の検討 - 単位時間軌跡長による評価 -. 理学療法科学, 2014, 29(5): 809-813.
- 63) 藤澤宏幸, 武田涼子・他: サイドステップ動作に関する身体運動学的研究. 理学療法学, 2009, 36(2): 49-57.
- 64) 田上義之: 第 20 章リーチ動作. 藤澤宏幸 (編): 日常生活活動の分析 身体運動学的アプローチ. 医歯薬出版株式会社, 2014, 東京, pp275-282.
- 65) Allen R, Reber AS: Very long term memory for tacit knowledge. COGNITION, 1980, 8: 175-185.
- 66) Masers RSW: Knowledge, knerves and know - how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. BRIT J PSYCHOL, 1992, 83: 343-358.
- 67) J H Kahn, et al. : Rapid and Long-term Adaptations In Gait Symmetry Following Unilateral Step Training in People With Hemiparesis. Phys Ther, 2009, 89(5) : 474-483.
- 68) 山地啓司: 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院, 1992, 東京, pp3-97.
- 69) H J Hislop, J Montgomery (著), 津山直一 (訳): 新・徒手筋力検査法 原著第 7 版. 株式会社協同医書出版社, 2006, 東京.
- 70) 箱田裕司, 都築誉史ら (著): 認知心理学. 株式会社有斐閣, 2013, 東京, pp120-140.