

令和 4 年 5 月 22 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10926

研究課題名（和文）運動が苦手な人をなくすための運動制御能力テストの開発と習得支援への展開

研究課題名（英文）Development of methods to confirm the motor control ability and to support the acquisition of the ability for people not proficient at sports

研究代表者

河辺 章子（Kawabe, Shoko）

神戸大学・人間発達環境学研究科・名誉教授

研究者番号：30153000

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、運動が苦手な人の動作を詳細に分析し、（1）運動スキルの基本要素をもとに運動が苦手な人の制御特性を明らかにする、（2）運動の苦手な人の運動制御スキルの習得を支援する方法を見出す、可能ならば（3）運動の制御能力の検査法を開発することが本研究の目的である。本研究では特に運動の苦手な人を質問紙法により抽出できたこと、運動を苦手とする人素早く大きな筋力を発揮するballisticな力発揮がうまくできないこと、タイミング制御においては動作自体の遅速ではなく、時間予測そのものがうまくできないことなどが明らかとなった。このことから、運動が不得意な人への支援方法の糸口が見いだされたと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動・スポーツが不得意だという人は、どうしてもスポーツ活動からは遠ざかることが多く、むしろ嫌いだという人も多い。そのような人たちにどのような支援をすれば、運動への苦手意識を軽減・克服できるのか、また発育段階にあって運動が苦手な子どもたちにどのようなアドバイスをすればスキルの上達に有効に働くのかを明らかにし、運動嫌いをなくすという大きな意義がある。残念ながら最終目的までは到達できなかったが、どういった身体の使い方が不得意なのかなどの知見は得られたので、支援への手がかりは十分につかめたのではないかと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study had the following primary objectives: 1) Investigating the physical motor characteristics of people not proficient at sports to determine the cause of this lack of skill, 2) Developing methods to confirm the motor control ability, 3) Finding methods of supporting the acquisition of motor control ability. We analyzed in detail the physical movement of people unable to perform well at sports on the basis of motor skill elements. As the result of research on muscle strength, the unskilled group of people were not good at exerting ballistic muscle contraction. From the results of timing control studies, the initiation of their motions delayed seriously, which indicated that the time predictions for issuing motor commands were not being made properly. People not proficient at sports may need to practice prediction of time with very simple motions as an initial stage. From those results, it was considered that a clue to the support method was found.

研究分野：運動生理学

キーワード：運動制御 運動スキル 運動苦手 習得支援 筋力発揮 タイミング制御 静的立位姿勢

1. 研究開始当初の背景

文部科学省の調査¹⁾によれば、小学生で運動が苦手(やや苦手も含む)な男子は18.3%, 女子34.4%, 中学生では男子28.2%, 女子46.5%にもものぼる。文部科学省も特に女子の運動に対する苦手意識を憂慮し、『運動が苦手・運動しない女子をつくらないために』という文書を発表している。しかしその対策は生活環境の改善・工夫や周りの人々の態度などに対する配慮であって、その人の苦手意識や運動ができないという根本原因を解消するような対策ではない。

Sports for all の観点から考えると、現代のような高齢社会において健康寿命を延ばすために運動は不可欠であり、若い時からの運動継続が大切であることは言うまでもない。シニアや障がいをもつ人達のための各種スポーツ大会が行われ、インクルーシブな社会を目指して様々なスポーツ活動がおこなわれつつある。しかしながら、Sports for all からいまだに取り残されているのは、運動が苦手な人たちであり、これらの運動が苦手な人たちこそ支援が必要である。熟年期になって、健康のために何かスポーツをしようとしても、何をやっても下手だから、うまくできないから、苦手だからということで参加できない人も多い。運動が苦手な人にも運動やスポーツを楽しんでもらうために、支援が必要であり、それは幼少期から高齢者まで幅広い対応が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、運動が苦手な人の動作を「運動制御能力」を構成する基本要素をもとに詳細に分析し、体格や体力などの要因を排除した上で、運動がうまくできない根本原因を探ることが主目的である。その上で、運動の苦手な人の運動制御能力の習得を支援する方法へのヒントを見出すこと、運動の制御能力を簡単に測定できる検査法を開発することが本研究の目的である。

本研究は運動制御の基本要素(筋力発揮、反応の速さ、姿勢保持)に基づいて以下の4研究をおこなった。

【研究Ⅰ】筋力発揮について、特に筋力発揮速度の影響に焦点を絞り検討を加えた。

【研究Ⅱ】運動の時間的な制御能力について、タイミング動作からみた予測制御特性について検討を加えた。特に研究Ⅱでは移動する光刺激に対するタイミング制御について検討した。

【研究Ⅲ】時間予測可能な状況(予告から刺激提示までの時間を一定)を設定し、課題動作によってタイミング制御の巧拙に影響があるのかどうかを検討した。

【研究Ⅳ】最もプリミティブな静的立位姿勢について、運動が得意な人と苦手な人によってその姿勢保持の特性に違いがあるのかを検討した。

3. 研究の方法

本研究におけるすべての実験は、神戸大学大学院人間発達環境学研究科倫理委員会の承認を得て実施した。それぞれの実験実施時には、ヘルシンキ宣言を遵守し、各被験者にはあらかじめ本研究の主旨と内容を十分に説明し、個人の意思で中止や中断が可能であることなどを伝えた上で、実験の被験者となることの同意を書面にて得た。

まず、研究対象者となる「運動が苦手な人」を抽出する必要がある。運動・スポーツに対する意識を調査するために質問紙法を用いることとし、その質問項目を発達性協調運動障害(DCD)青年版をベースにして25項目を作成した(表1)。質問は4件法で回答を求め、100点満点で得点化した。各実験においては、その得点の上位群を「運動得意群」、下位群を「運動不得意群」として群分けした。すべての実験の被験者は全員BMIが18~24の範囲内であり、肥満傾向はなく、また、過去に発達性協調運動障害と判定された者はいなかった。

(1) 研究Ⅰ：筋力と筋力発揮速度からの検討

被験者(運動得意群8名、運動不得意群8名、計16名)に上腕二頭筋の等尺性最大筋力発揮を以下の二つの様式で行わせた。

- Ramp 発揮課題：被験者は「ゆっくりと徐々に」筋力を増し、5秒で最大筋力を発揮。
- Ballistic 発揮課題：予告刺激で待機し、GOサイン(LED点灯)で、可能な限り「素早く、瞬発的に」最大筋力を発揮。

上腕二頭筋表面筋電図、等尺性肘関節屈曲筋力を記録した。

筋力曲線より発揮筋力のピーク値、筋力発揮率(100msあたり)等を計測した。

(2) 研究Ⅱ：タイミング制御能力の検討その1

被験者(各群6名、計12名)は椅座位で上腕を机上で固定し、肘関節90°で前腕を回外位で手首をロードセルに接続して等尺性筋力を測定した。表面筋電図は上腕二頭筋および三頭筋から導出した。

光刺激提示：8個緑色LEDを鉛直方向に4cm離してその最下部に赤色LEDを取り付けたボードを作成した。最上部の緑色LEDから赤色LEDまで順に上から下へ点灯(各LED点灯時間:100, 300, 500ms)させ、光が上から下へ流れ落ちるように見えるよう点灯を制御した。最上部LEDから最下部の赤色LED点灯までの時間(光移動速度)は、点灯時間100msの場合-0.8秒(fast

条件), 300 ms–2.4 秒 (middle 条件), 500 ms–4 秒 (slow 条件) であった。
タイミング動作課題: 最下部の赤色 LED 点灯と同時に瞬間的に等尺性肘屈曲または伸展最大筋力発揮を行う (LED 点灯時に筋力のピークが来るように指示した)。

測定項目: Timing Error (TE): 赤色 LED 点灯時と筋力発揮ピーク値の時間ずれ (ms),
Absolute Timing Error (A-TE): TE の絶対値 (ms)

(3) 研究Ⅲ: タイミング制御能力の検討その 2

被験者: 各群 8 名, 計 16 名

タイミング動作課題として異なる 7 種類の動作を設定した。いずれの課題動作においても予告刺激呈示後, 動作刺激呈示と同時に課題動作を行うこととした。予告刺激から動作刺激までの時間を一定 (2 秒) とし, 動作刺激呈示のタイミングを予測できるようにした。

7 種類のタイミング動作は, ①手指背屈動作, ②手掌背屈動作, ③肘関節屈曲動作, ④足関節背屈動作, ⑤足関節底屈動作, ⑥片足踏出動作, ⑦前方両足跳動作とした。

動作①~⑤では, 圧センサを貼付したボードを机上または床上に置き, ①では利き手第三指, ②では手掌部, ③では前腕遠位端, ④では操作脚の拇指球, ⑤では操作脚の踵で圧センサを上から押さえた状態で構え, 刺激呈示と同時に圧センサから各部位を素早く離すことを課題とした。動作⑥及び⑦では, フォースプレート上に立位で構え, 刺激呈示と同時に前方のマットスイッチへ一歩踏み出す, または両足でジャンプして移動することとした。いずれの動作も, 各位置からのリリース動作とし, あくまでも刺激呈示と同時に動作を行うよう被験者に注意した。

測定項目:

- ①刺激呈示から筋放電開始までの時間 (EMG-TE, ms) とその絶対値
- ②刺激呈示からリリース開始までの時間 (R-TE, ms) とその絶対値
- ③刺激呈示からリリース動作完了までの時間 (E-TE, ms) とその絶対値

これらの他にも記録から得られる多数の時間相を計測した。

(4) 研究Ⅳ: 静止立位姿勢における足底圧中心 (COP) 動揺の検討

被験者: 各群 8 名, 計 16 名

フォースプレート上に静止立位で 40 秒間, 立位姿勢を保持する課題を行った (分析には前後 5 秒を除いた 30 秒間のデータを用いた)。被験者には前方の壁面にある目の高さのターゲットをみるように指示した。フォースプレートからの 3 軸方向の圧変化, COP および下腿三頭筋の筋電図を記録した。

(1) 研究Ⅰから (4) 研究Ⅳまでのすべてのデータはサンプリングレート 1kHz で A/D 変換し, ハードディスクに保存した。分析は多用途生体情報解析ソフト (BIMUTAS II, キッセイコムテック) を用いて行い, 統計処理は統計解析パッケージ (SPSS25, IBM) を用い, 場合に応じて各種の分散分析, 相関にはピアソンの積率相関係数を用いた。全ての統計処理において, 有意水準は 5% とした。

4. 研究成果

(1) 研究Ⅰ: 筋力と筋力発揮速度の検討

Ballistic 収縮を行っていると考えられるフェーズ—筋力発揮開始から筋力曲線の傾きがゼロまたはマイナスになる時点 (初減点) —までに焦点を当て分析を行った (図 1)。初減点における発揮筋力は, Ramp 発揮の最大値をその人の最大筋力として %MVC を算出すると, 不得意群 74.7 ± 17.3 %MVC, 得意群 72.1 ± 16.1 %MVC となり有意差はない。しかし, 初減点に至るまでの時間では, およそ 70ms ほど得意群の方が短い (不得意群: 386.2 ± 158.5 ms, 得意群: 312.9 ± 172.2 ms)。そこで 100ms あたりの筋力発揮率 (rate of force development) を求めると, 図 2 に示した通り得意群が有意に高くなった。



図 1 運動不得意群の筋力発揮曲線例

また, ballistic 発揮の時間経過をみると, 不得意群では, 光刺激提示から筋力発揮開始 (force curve の立ち上がりまでの時間) が遅いが, 上腕二頭筋の筋放電開始時間には有意差は得られなかった (得意群: 164.3 ± 36.4 ms, 不得意群: 176.0 ± 50.0 ms, NS)。つまり, 上腕二頭筋の筋活動開始から筋力発揮開始までの時間は, 得意群 40.8 ± 32.1 ms, 不得意群 54.3 ± 34.7 ms で両者に有意な差が得られた。

徐々に筋力を増加させていく ramp 収縮では, 体性感覚などから得られる情報をもとにフィードバック情報を活用して力発揮を調節しているのに対して, 極めて短い時間で行われる ballistic 収縮では, 外部情報からのフィードバック情報なしにフィードフォワード制御のみによって筋発揮を調節する (Desmedt et al., 1979²⁾, ほか)。特に本研究での ballistic

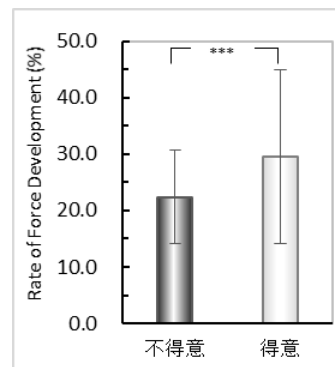


図 2 筋力発揮率 (100 ms 当り)

発揮における初減ポイントでの発揮筋力の差は、この発揮様式の違いがスポーツの得意な人と苦手な人との間の差を生み出している原因の一つと推測される。つまり、運動・スポーツの苦手な人は瞬間的に大きな力を発揮することが不得意だと言えよう。特に ballistic 収縮では、rate coding による調節を行う時間的余裕はなく、はじめから多くの motor unit を動員する必要がある、その動員数が少ないのではないかという推測も成り立つ。また、苦手な人では、筋放電潜時には有意差がなかったが、筋への収縮指令が届いてから実際に筋力が発揮されるまでの時間が得意群に比べて長い。このことから運動単位の動員のしかたに問題があるのではないかと推測される。おそらく、苦手群の人たちは、あまり急激で大きな筋力発揮を行うというような経験が幼少時から少なく、そのような筋力発揮様式を学習してこなかったのではないかと考えられる。

(2) 研究Ⅱ：タイミング制御能力の検討その1

① タイミング誤差とターゲット移動スピード

タイミング誤差量は得意群が有意に小さかった。不得意群ではタイミング遅れの傾向が強く、平均値で 150 ms 以上の遅れが生じている (図 3)。しかし、どちらの群も光ターゲットの移動速度による影響はみられなかった (図 3)。ただし、不得意群では slow 条件において、タイミング誤差量の標準偏差が著しく増大し、変動係数も有意に大きくなった (変動係数: fast 条件-0.78, middle 条件-1.01, slow 条件-1.34)

② タイミング誤差への動作の違いによる影響

得意群では、肘関節の屈曲・伸展動作の違いによる影響はほとんどなく、常に 100 ms 程度の遅れで発揮筋力のピークとなった。不得意群では、伸展動作よりも屈曲動作の方が誤差量が大きくその差は有意であった ($p < .001$)。また、屈曲動作では標準偏差が大きく、試行毎の散らばりが大きいことが窺えた。

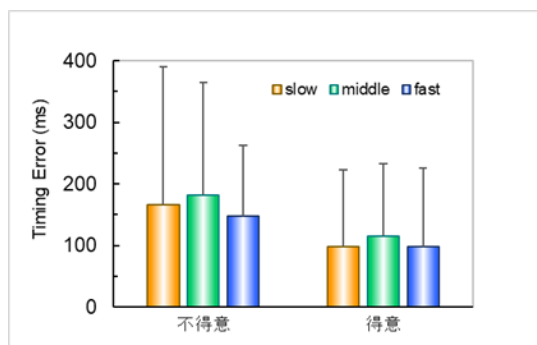


図 3 タイミング誤差量と光刺激移動速度の関係

(3) 研究Ⅲ：タイミング制御能力の検討その2

① リリース開始及び筋放電開始からみたタイミング誤差

得意群と不得意群とのタイミング誤差量 (筋放電開始及びリリース開始) に有意な差が見られた ($p < .001$, 図 4)。特に得意群では、筋放電開始の誤差量は非常に小さく、刺激提示とほぼ同時に筋放電が開始した。一方不得意群ではタイミング誤差がいずれの動作課題でも大きく、そのほとんどが遅れ傾向 (誤差量が正の値) にあった (図 4)。体重移動を伴わない課題動作 5 種類については、それぞれの群で課題による影響はほとんどみられなかった。体重移動を伴う片足踏出や両足跳躍の場合は、他の運動課題と異なるタイミング戦略をとっており、得意群ほど早期に筋放電が生じた。誤差量としては得意群が大きい、動作の完了時には得意群は誤差が小さくなった。筋放電開始からリリース動作を完了するまでの時間には両群に有意差はみられなかった (図 5)

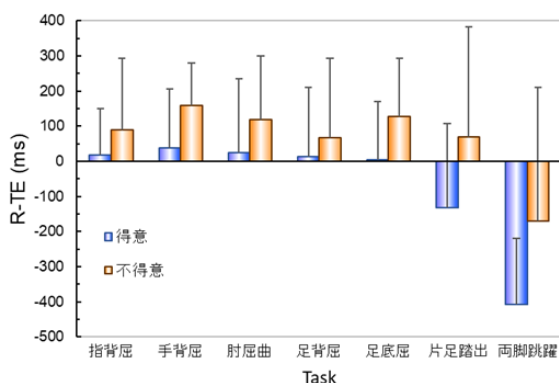


図 4 課題動作ごとのタイミング誤差量

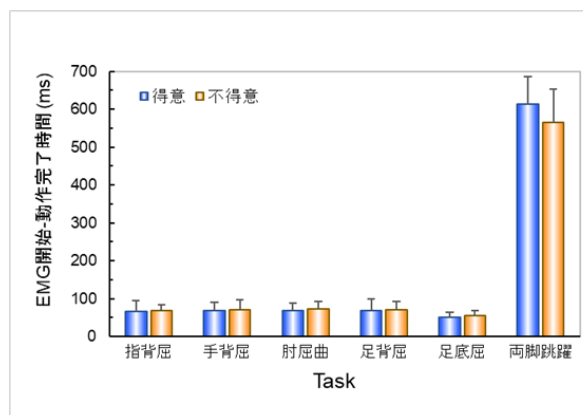


図 5 筋放電開始から動作完了までの時間

図 6 にタイミング動作の制御過程を時間経過とともに示した。得意群では筋放電が刺激と同時に始まるよう中枢からの指令が予測的に出されているのに対し、不得意群では、いわゆる反応時間に近いスケジュールで動作を行っており、運動指令を出すべき時間予測そのものがうまくできていないことが明らかとなった。スポーツが不得意な人では、そのスポーツのスキル練習をする前に、まずは、タイミングの取り方=時間予測をごく簡単な動作から練習を行う必要があるのではないかと考えられる。

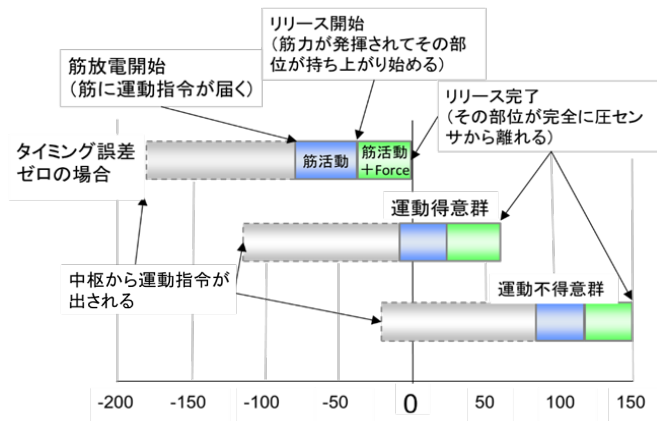


図6 タイミング動作の時間経過模式図

(4) 研究Ⅳ：静止立位姿勢における足底圧中心動揺の検討

30秒間のCOP総軌跡長には有意な差はみられなかったが、外周面積、矩形面積および実効値面積のいずれにおいても、得意群の方が有意に小さく、静的立位動揺が小さいことが示された。予想していた前後方向のCOPの偏りや動揺については、両群にほとんど差はみられなかった。

以上の四つの研究をまとめると、運動・スポーツの苦手な人を本研究で作成した25の質問項目によってうまく抽出することができ、運動の苦手具合をある程度評価することができた。運動が苦手な人は、いわゆる体力テストで計測されるような筋力は大きくはないがそれなりに発揮できる。しかし、多くのスポーツにおいては、素早く大きな筋力発揮が要求されることが多く、筋力発揮の仕方が重要であり、運動が苦手な人は筋力のその発揮様式、つまり発揮速度に問題があると思われる。特に素早い筋収縮 (ballistic 発揮) がうまくできないことが本研究から明らかとなった。このことは、運動が苦手な人の基礎的な支援として、最大筋力の増大を求めるよりも、素早い (ballistic な) 筋力発揮を練習する必要があることが示された。また、スポーツスキルの重要な要素であるタイミング動作においても、時間予測自体が不得意であり、動作自体の遅速の影響はないことが本研究によって示された。このことから、運動が苦手な人には、スポーツスキルそのものを練習する前に、簡単な動作による時間予測のトレーニングを行うことがスキル上達の早道であると考えられる。さらに、人の動作の基本である立位姿勢においては、運動の得意な人と比べると、足圧中心の動揺が大きいことが明らかとなった。残念ながらこの原因については、本研究ではアプローチすることができなかったので、今後さらなる詳細な研究が必要である。

表1 運動・スポーツへの意識調査項目

1	運動やスポーツをすることが得意だ	14	チームスポーツはしたくないと思う
2	小・中学校や高校の体育の授業は楽しみだった	15	大縄跳びにスムーズに入ることができない
3	他人と歩幅を合わせて歩くことができない	16	運動やスポーツをすることが好きだ
4	物にぶつかってつまづくことがよくある	17	滑らかにスキップができない
5	飛んでくるボールを打つのは難しいと感じる	18	同じ年齢の人に比べて、自転車に乗れるようになるのが遅かった
6	小学生の頃、よく放課後に家の外で体を動かして遊んでいた	19	エスカレーターにタイミングよく乗ることができない
7	運動を行う際に自分が頭の中で思い描いているイメージ通りに自分の身体を動かすことができる	20	飛んでくるボールを捕ることは難しいと感じる
8	跳び箱や幅跳びで、歩幅や踏み切りのタイミングが合わない	21	「走りながらボールを蹴る」などの、二つ以上の動作を同時に行う運動は難しいと感じる
9	これまでに「運動ができない」という理由で、劣等感を感じたり悩んだりしたことがある	22	平坦な道でもよくつまづくことがある
10	周りの人は自分よりも運動が上手だと感じる	23	普段の生活で身体を何かにぶつけることが多い
11	短距離走はしたくないと感じる	24	片足立ちのまま靴下を履くことができる
12	自分の運動能力は優れている方だと思う	25	ボールを正確に投げるのが難しい
13	ドッジボールで飛んできたボールをよけることが苦手だ		

引用文献

- 1) 平成25年度文部科学省全国体力・運動能力・運動習慣等調査結果報告
- 2) Desmedt, J.E. and Godaux, E (1977) Journal of Physiology, 264(3):673-693.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 河辺 章子
2. 発表標題 運動が苦手な人の身体運動制御特性 タイミング動作からみた予測制御に関する検討
3. 学会等名 日本体力医学会第75回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河辺 章子
2. 発表標題 運動が苦手な人の身体運動制御特性 最大筋力発揮と発揮速度からの検討
3. 学会等名 日本体育学会第70回大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高見 和至 (Takami Kazushi) (50236353)	神戸大学・人間発達環境学研究所・教授 (14501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------