

フィギュアスケート初級者のためのスキル習得支援プログラムの開発 ～フィギュアスケート上級者および初心者における滑走動作中の筋活動の比較～

プロジェクトメンバー：伊藤 磋良

1 目的

フィギュアスケートは氷上でステップ、スピン、ジャンプなどの技を組み合わせながら楽曲に合わせて演技をするスポーツである。氷上で滑走スピードを保持調整しながら様々な技をこなすためにはいかなる体勢においても安定した滑走を可能とする滑走動作スキルが求められる。フリー・スケート演技における滑走中の移動速度と選手の競技力との関係性を検証した研究では、高得点を得ている選手ほど滑走速度が速いことが報告されている¹⁾。このことは、フィギュアスケートのパフォーマンスに滑走速度が大きく影響することを示唆している。ところで、スピードスケート育成ハンドブックによるとスピードスケートでは、下肢による爆発的な脚の伸展動作によって推進力が得られるため、脚の伸展にかかわる筋力が重要であると報告されている²⁾。他にもスピードスケートのカーブ滑走スピードの持続に影響を及ぼす要因について検討した研究では、スピードスケートのカーブ滑走スピードを維持するためには、滑走局面を考慮した下肢を深く屈曲した姿勢での力発揮のトレーニングが重要となることを示唆している報告がある³⁾。競技は異なるものの、類縁性を考慮するとフィギュアスケートの滑走動作においても巧拙が生じる要因のひとつとして下肢の筋活動の違いが関与していると考えられる。

しかしながら、これまで行われてきたフィギュアスケートのバイオメカニクス的研究の多くはフィギュアスケートの上級者および中級者を対象にジャンプ動作を分析した研究が中心であり⁴⁾⁻⁷⁾、基礎的滑走動作における筋活動の実態や基礎的滑走技術の上達に必要な要因の解明については十分検討されていない。加えて、フィギュアスケートの指導現場では指導者の経験や知識に偏る指導が主流であり、数値や科学的根拠に基づいた指導指針が示されているとは必ずしも言えない。

そこで本研究では、フィギュアスケート上級者および初心者における滑走動作中の下肢の筋活動を比較検討し、筋活動の特性を明らかにすることでフィギュアスケートの指導に資する基礎的資料を得ることを目的とした。なお、今回はプレ実験として行ったフィギュアスケート上級者および初心者による基礎的滑走動作中の下肢の筋活動について、動作類似性の高いインラインスケートを用いて、比較検討した。

2 方法

2.1 被験者および実験タスク

被験者は健康成人女性2名（平均年齢 30.5 ± 0.5 歳、身長 156.5 ± 0.8 cm、体重 47.5 ± 0.4 kg）で、1名はフィギュアスケート初心者、1名はフィギュアスケート歴28年の上級者であった。実験タスクはインラインスケートによるフォア スケートイング、キャリング、フォア スイズルおよびバック スイズルとした。キャリングは、両脚滑走でカーブを描く技である。カーブしたい方向に身体を傾けながらカーブに対して外側の足はインサイドに倒し、カーブに対して内側の足はアウトサイドに倒しながら滑走する基本技術である。スイズルは、両足を開閉させながら同時に足関節および

膝関節を連続的に屈曲・伸展させ、滑走した軌跡がひょうたん型になるように滑る基本技術である。被験者には本実験の目的と内容を説明し、実験参加の同意を得た。

2.2 筋電図および加速度の計測

表面筋電図(EMG: Electromyography)は、無線筋電図計(Trigno Wireless System、DELSYS社製)を用いて、右脚のヒラメ筋(SOL)、腓腹筋内側頭(MG)、前脛骨筋(TA)、外側広筋(VL)、大腿直筋(RF)、内側広筋(VM)、大内転筋(AM)からサンプリングレート2000Hzにて導出した。なお、各電極はPerotto(1997)⁸⁾を参考にして貼付した。また、右足上部に3軸の加速度計を固定し、足部の動きも同時にサンプリングレート500Hzで計測した。EMGおよび加速度データは、PowerLab(ADInstruments社製)を使用してA/D変換し、PCにデータを取り込んだ。

2.3 実験プロトコル

各被験者はウォーミングアップ後、電極および加速度計を装着し、続いてフォア スケーティング、キャリング、フォア スイズル、バック スイズルの順で実験タスクを行った。全ての実験タスクは2回ずつ実施し、よりクリアな筋電信号を取得できた実験タスクの方をデータ処理に用いた。

2.4 データ処理

全ての筋電信号はデジタルフィルター(バンドパス:20Hz~500Hz)処理を施した後、全波整流し(R-EMG: Rectified EMG)、続いて各動作中のR-EMGの最大値に対する割合を求め、筋活動パターンの観察に供した。なお、各動作については、動作時間が異なるので、規格化したうえで図示した。加速度データのうち、X軸(踵・つま先方向)、Y軸(足部の内側・外側方向)方向の加速度については2Hzのローパスフィルターを通して足部の動きを観察した。Z軸(足底・足背方向)方向の加速度はフィルター処理を行わず、足部の接地のタイミングを確認するために活用した。

3 結果および考察

現在、キャリングおよびフォア スイズルについては分析を継続中であるため、本報告書では、分析を完了しているフォア スケーティングおよびバック スイズルの動作について考察する。

Fig.1は初心者および上級者におけるフォア スケーティング動作中の各筋のR-EMGを示したものである。左足接地期直前(50%Time当たりで、支持脚が右脚から左脚に切替わる相)の局面において、上級者の右脚のSOLおよびMGでは急峻で顕著な筋活動が認められているのに対し、初心者のSOLおよびMGの筋活動では顕著な筋活動の増加は認められず、各筋におけるMax levelの30%以下および60%以下であった。このことは、上級者は支持脚が右脚から左脚に移行する直前から右脚SOLおよびMGの筋活動が増加し、高い足底屈トルクを発揮して、結果的に床をより強く

蹴り、左足接地直前から左足接地直後における身体重心の推進力へと変換していると推測できる。また、上級者では上述したSOLおよびMGが顕著な筋活動が認められる局面前後において、拮抗筋であるTAの筋活動が著しく抑制されているが、初心者ではそのような相反的な筋活動が認められず、効率的な筋出力がなされていないことが示唆された。

VL,RFおよびVMの筋活動パターンについては、両被験者で相違は一見認められない。しかし、詳細に観察すると、右脚が支持脚となる30%前後および50%前後の時間局面において、上級者は初心者と比較して、より集中的で且つより高レベルの筋活動が認められる。この局面は右膝関節が受動的に屈曲され、続いて伸展される局面である。つまり、VL,RFおよびVMはこの局面の前半でエキセントリックな筋収縮を行い、直ぐに後半ではコンセントリックな筋収縮を行っていると考えられる。筋はコンセントリックな収縮の前に予備的に伸長されると引き続きコンセントリック収縮においてより大きな筋出力を発揮することが知られており、このような筋活動の様式をStretch-Shortening Cycleと呼んでいる。30%前後および50%前後の時間局面においては、VL,RFおよびVMはこのStretch-Shortening Cycleを活用することにより、より増大した筋出力を発揮し、身体重心の推進力へと変換していると考えられる。

AMについては、VL,RFおよびVMと同様のタイミングで著しい筋放電が観察された。また、上級者と初心者を比較すると、前者においてより集中的な筋放電が認められた。これらのことから勘案すると、AMは30%前後および50%

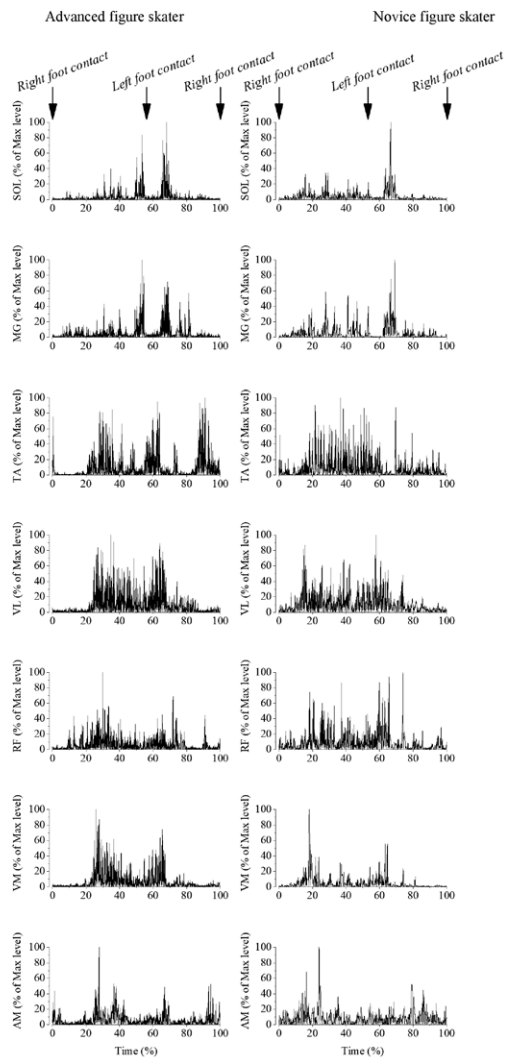


Fig.1. Normalized time history of Rectified surface EMG (R-EMG) activities from lower extremity muscles during fore skating.

Left panels indicate R-EMG activities in advanced Figure Skater. Right panels indicate R-EMG activities in novice Figure Skater. R-EMG value was expressed as the fractions of the maximum value attained during skating. %Time indicates the normalized time relative to the time required to fore skating. SOL: Soleus, MG: Gastrocnemius medialis, TA : Tibialis anterior, VL: Vastus lateralis, RF: Rectus femoris, VM: Vastus medialis, AM: Adductor magnus

前後の時間局面における膝関節の屈曲および伸展において、股関節が受動的に回外されるのを抑えるように活動し、膝の屈曲・伸展が効率よく行えるように補助しているのではと考えられる。

Fig.2は初心者および上級者におけるバックスイズル動作中の各筋のR-EMGを示したものである。足関節の内転局面（0～50%Time当たりで、両足がハの字の相）および外転局面（50～100%Time当たりで、両足が逆ハの字の相）において、両者のSOLおよびMGの筋活動が認められたが、その筋活動レベルは上級者で著しく高い傾向であった。また、拮抗筋であるTAについては、上級者では顕著な筋放電は認められなかったが、初心者ではSOLおよびMGと同相で筋活動が認められ、それらの筋において共収縮が起きていることが観察された。この共収縮は各局面における筋出力を低減させる要因となることから、初心者においては足底屈トルクが効率的に発揮できていないことが示唆された。

VL,RFおよびVMについては、上述した各局面において、両者とも顕著な筋放電が認められた。しかし、初心者に比べて上級者では、各局面に対応した顕著な筋活動が認められ、その活動レベルは高い傾向であった。

AMについては、0%～50%Timeの局面では大きな筋活動は認められず、50%～100%Timeの局面で顕著な筋活動が認められた。この筋活動は上級者でより高く、且つこの局面の終末に向かって徐々に増大していた。これらの結果は、バックスイズル動作の後半の局面では、股関節を徐々に内転させながら

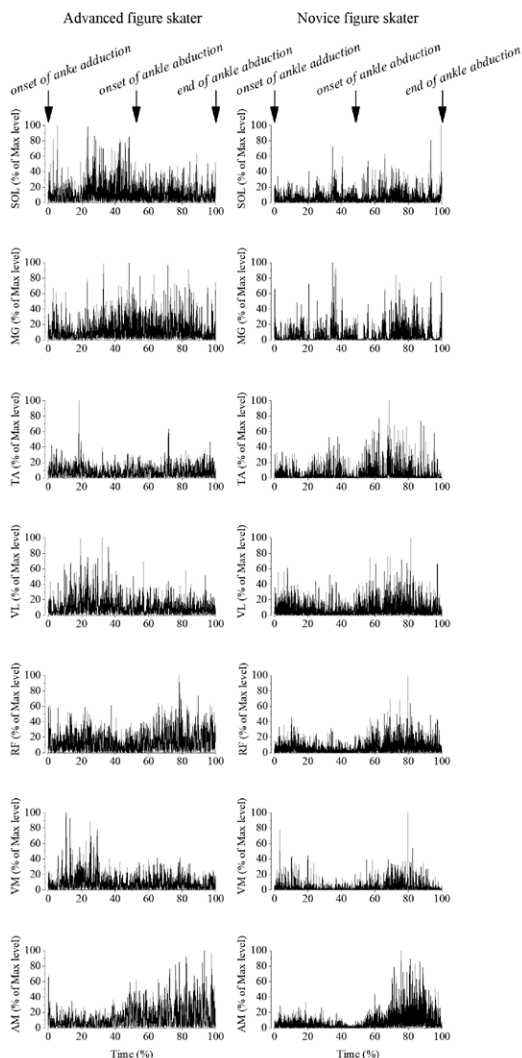


Fig.2. Normalized time history of Rectified surface EMG (R-EMG) activities from lower extremity muscles during back swizzle.

Left panels indicate R-EMG activities in advanced Figure Skater. Right panels indicate R-EMG activities in novice Figure Skater. R-EMG value was expressed as the fractions of the maximum value attained during skating. %Time indicates the normalized time relative to the time required to skating. SOL: Soleus, MG: Gastrocnemius medialis, TA: Tibialis anterior, VL: Vastus lateralis, RF: Rectus femoris, VM: Vastus medialis, AM: Adductor magnus

足関節を外転してバック スイズルを行っていることを示しており、コーチングにおいてはこれらの筋の活動のタイミングおよび活動レベルを理解させることが重要であると考えた。

今後は未分析のキャリングおよびフォア スイズルにおける筋電図を分析し、今後予定している実験のデザインに役立てたい。今後予定している実験では上級者および初心者を被験者として、モーションキャプチャーと筋電データを同時に取得するので、動作の3次元的分析とともに、その動作を実現する筋の活動状態を関連させて、フィギュアスケートの基礎技術の指導に資するコーチングプログラムの開発につなげたい。

【注】

- 1) 吉岡伸彦, 宮下充正「フィギュア・スケートのフリー・スケーティングの競技力と滑走速度の関係」, 日本体育学会大会号第39回 (バイオメカニクス, 一般研究 A), 一般社団法人日本体育学会, 1988, p.405
- 2) 湯田淳, 青木啓成 et al『スピードスケート育成ハンドブック』, 公益財団法人日本スケート連盟スピードスケート強化部, 2015, p.14
- 3) 湯田淳, et al, 「スピードスケート長距離種目におけるカーブ滑走中の下肢キネティクスの変化」, 『バイオメカニクス研究』, 9(2), 2005, p.66
- 4) 池上康男, et al, 「フィギュアスケートにおけるジャンプ動作の3次元的分析」, 『総合保健体育科学』, 15(1), 1992, p.71-75
- 5) 池上久子, et al, 「フィギュアスケートジャンプのバイオメカニクス: クワッドサルコジャンプの運動学的研究」, 『総合保健体育科学』, 28(1), 2005, p.15-22
- 6) 山下篤央, et al, 「膝関節角度の変化から見たフリップジャンプの特徴について」, 『京都文教短期大学研究紀要』, 52, 2014, p.123-128
- 7) 近藤亜希子, et al, 「慣性センサを用いたフィギュアスケート・ジャンプの3次元加速度解析に関する研究」, 『シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集』, 一般社団法人日本機械学会, 2020, p.A-1-4
- 8) Aldo O. Perotto (著), 栢森良二 (訳), 『筋電図のための解剖ガイド: 四肢・体幹 第3版』, 西村書店, 1997, p.142-190