

雪上および陸上スキー運動における筋電図学的研究

—アルペンスキー、グレステン・グランジャーの筋電図および下肢関節角度の比較から—

Comparison of the alpine skiing and the glestain grandeur dry land skiing
on electromyographic activity and lower extremity joints angle

加藤 満 稲田 尚史
Mitsuru KATO Naofumi INADA

目 的

近年、冬シーズンでは種々のスポーツを楽しむ人々が増えてきている。そのなかで主流とされたアルペンスキー（以下、雪上スキー）人口が年々減少しているといわれている。しかし、北国の小学校では冬になると、授業で雪上スキーを集中的に取り入れており（文部省、1999年）、積雪のある山岳地帯を自然条件に左右されながら児童生徒がスキーを楽しんでいる。このことを考えると、冬季スポーツの歴史を振り返ってみても、雪上スキーは冬シーズンの代表的なスポーツである。

スキーヤーの教本である日本スキー教程（全日本スキー連盟、1998）では安全、確実な技術、楽しく快適な技術、そして強く、速い技術を目指す指導の3つの道筋を掲げている。日本の自然環境では積雪期が短く、オフシーズンが長いことを考えると、一般スキーヤーにとってスキーの運動感覚を維持することは非常に難しい。その対応策としては用具を使わないで動作を模倣する *Imitation training*（Kemmler, 1976）を実施し、専門的な体力面の強化に取り組んでいる。また、技術面ではスキーヤーが種々の練習具を使った練習方法を陸上で活用している。そのなかで、以前に開発されたグレステン・グランジャー（以下、陸上グレステンと称す）は走行、ターン、さらにブレーキングなどの面で性能が近似しており、スキー運動感覚も得ることが可能であるといわれている（本間、1993）。しかしながら、運動学的あるいは生理学的領域による検証報告は、ほとんど見当たらない。これまで、雪上スキー運動を筋電図学的な見地から分析した研究はいくつか報告されている（前嶋ら、1980；Claryet al., 1986；加藤ら、1989；Hintermeister et al., 1997；Hintermeister et al., 1995）。また、スキーの滑走性と陸上用具としてインラインスケートを取り上げ、Zeglinksi et al. (1998) が練習具の有効性に関する筋電図学的研究が報告されているだけである。

そこで本研究は、陸上グレステンを取り上げ、この練習具における身体の動きを筋電図測定、VTR撮影、そして複数関節の角度から雪上スキーとの筋活動を比較し、そしてオフシーズンに陸上で活用する練習具が雪上スキー技術の維持あるいは改善に対する有効性を探ることが目的である。

方 法

1. 被験者

被験者は全日本スキー連盟 (*Ski Association of Japan*, 以下 SAJ と称す) 公認基礎スキー指導員資格を有するスキーヤー, そして同時にグレステン・グランジャーのボランティアで指導する男性6名 (年齢 40.2 ± 5.85 歳) であった。尚, 両用具による実験では被験者が同じである。実験を開始する前に被験者は研究目的および実験方法に関する説明を受け, 主旨を理解した上で, 協力を申し出た。尚, 被験者の全員は上肢・下肢及び体幹に整形外科的な疾患のない健常者である。

2. 使用器具

陸上の実験において被験者が使用したグレステン・グランジャーは一定間隔の切れ目のある2つのブロック車輪から構成されており, 全長117cm, 全幅11cm, 重要5.5kg, ホイールベース82cmの形状である。陸上ではグレステン専用開発された硬質状グラウンド材のマット上を走行する。雪上実験で被験者が滑走時に使用した用具については上級者向きといわれているピュアカーブタイプのカービングスキーである。スキーは長さ150~170cm, 半径11~19cmの範囲の板を使用する。

3. 実験条件および実施場所 (図1と図2) と期間

グレステン・グランジャーの走行について, 陸上コースは全長45.5m, スタート地点から第1ターンまでの助走距離9.90m, ターン幅3.0m, 第1ターンから第2ターンまでの間隔13.05

m, 平均斜度 10.5°
($10^\circ \sim 11^\circ$ の範囲) で,
3ターンとした。

実験ではスタートとゴール地点, 2ターン目の始動期と仕上げ期にマーカーを, 1~3ターン目の舵取り期の最大傾斜線上にコーンを設置した。被験者の電極を貼った右下肢が2ターン目で外足になるように走行した。実験期間は平成16年9月20日と21日, 10月5日と6日で, 気象条件が外気

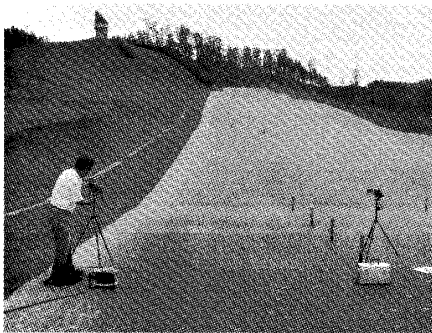


図1 グレステン・グランジャーの測定コース

温 15° と 13° で晴れと曇りであった。

アルペンスキー滑走について、雪上コースは全長53.5m、スタート地点から第1ターンまで12.90m、ターン幅4.0m、第1ターンから第2ターまでの間隔15m、平均斜度 13.3° (10° ~ 16° の範囲) で、3ターンとした。実験ではターンの3局面における運動経過と準備を陸上と同じ条件で



図2 アルペンスキーの測定コース

おこなった。実験期間は平成17年3月20日と21日で、気象条件が外気温 $+3^{\circ}$ と $+4^{\circ}$ (緩い風)、雪温 -0.5° と -0.4° (強い風) であった。

尚、実験は陸上と雪上において同じ条件を計画したが、両用具の走行あるいは滑走スピードが異なり実際の動作を発揮できないため、雪上では陸上よりも実験場所を多少斜度のきついコースで実施した。場所は陸上と雪上ともに北海道網走郡津別町字共和130番地に在る「つべつグレステン特設スキー場」であった。

4. 陸上グレステンと雪上スキーの運動時のプロトコール

両用具における本実験前に被験者は数回走行および滑走を行い、体調を整えた後、3~4回を測定した。測定前には怪我のない範囲の運動速度であること、そして特別に意識した技術で運動する必要のないことを指示した。

5. 筋電図および関節角度の記録

筋電図測定の被験筋は前脛骨筋、腓腹筋、大腿直筋、内側広筋、大腿二頭筋、大殿筋のすべて右側の計6筋である。以上の筋について、Zeglinksi et al. (1998) ではスキー動作の荷重、角付け、そして回旋に多く関係するものと報告されている。導出部位は皮膚摩耗剤で皮膚抵抗を少なくした。ペースト入り銀塩化電極 (ブルーセンサー NEC メディカルシステムズ) を筋走行に沿って、3 cm間隔で各被験筋の筋腹中央に貼付け、皮膚表面双極誘導法により導出した。表面筋電計は筋電計ロガー (型番 KTR-2602B, 98.5mm×55.0mm×15.2mm, 重量約66 g, 原田電子工業社製, 札幌) を使用した。周波数特性は1000 HZ (± 3 dB) に設定した。運動中の筋電図測定では被験者のウエストバックに筋電計計を収納して実施した。筋電図信号は記録装置であるSRAMカードに蓄積し、各試行終了時にA/D変換後NECパーソナルコンピュータ (PC-VY12MEX94EHM, NEC パーソナルプロダクツ社製, 東京) に転送した。

関節角度の測定は股関節と膝関節の二関節右側面に装着した。使用機器はP&Gゴニオメー

タ（型番 M110, Penny&Glies 社製, 英国）で、測定前には関節をはさんで装着し、上体と大腿部、大腿部と下腿部を垂直から水平位置に90° 動かし、その時のアンプ出力電圧と関節角度を構成曲線としてグラフ化した。筋電計には6チャンネルを筋電図、そして2チャンネルを関節角度で同時に記録した。

運動中の各筋の相対的筋活動量の指標については Zeglinski et al. (1998) の方法に準拠し、滑走前に等尺性最大随意収縮 (Isometric Maximum Voluntary Contraction, 以下 IMVC) を記録した。これには各筋ごとに IMVC (5 秒間) を 3 回測定し、そのうち後半の3秒間を筋電図として採用した。

6. 動作記録

グレステン・グランジャーおよびアルペンスキーの運動中のビデオ記録はビデオカメラ (Video H18 Handycam CCD-TRV92, ソニー社製, 東京) で撮影し、フレーム数が30Hzであった。カメラはスタート地点から2ターン目に被験者の全体像が撮れるように、30m離れた場所に設置した。また、ビデオ撮影のターン動作と筋電図および関節角度記録の同期はスタート時に筋電計のスイッチを押すと同時に、50m以上離れたからも確認できる発光器の赤色光をビデオカメラに取り込んだ。

7. 筋電図データ解析

筋電位生波形は生データを全波整流した後、10ms ごとに root mean square 値 (RMS) を算出し処理した。処理した筋電位は運動の段階、始動期-舵取り期-仕上げ期に分けて平均化し、各被験者の各筋について平均振幅を算出した。

各筋活動量の評価には IMVC 測定時の平均振幅を100%とし、運動時の平均振幅に対する相対値を算出し、その値である%IMVC を筋活動の指標としてあらわした。

結果と考察

1. 各筋における平均筋活動量と各関節の平均関節角度

表1には、陸上グレステンの走行時と雪上スキーの滑走時による6被験筋の平均活動量 (%IMVC) と二関節の平均関節角度 (°) をそれぞれ示した。前脛骨筋について陸上グレステンが61.26%IMVC と雪上スキーが59.43%IMVC, 腓腹筋について陸上グレステンが59.44%IMVC と雪上スキーが39.91, 大腿直筋について陸上グレステンが64.98%IMVC と雪上スキーが42.10%IMVC, 内側広筋について陸上グレステンが64.76%IMVC と雪上スキーが29.78, 大殿筋について陸上グレステンが46.45%IMVC と雪上スキーが33.72%IMVC, 大腿二頭筋について陸上グレステンが59.71%IMVC と雪上スキーが61.96%IMVC であった。また、平均関節角度について膝関節が陸上グレステンの場合47.30° と雪上スキーの場合64.15°, 股関節が陸上グレステンの場合47.07° と雪上スキーの場合55.90° であった。以上のことから、5被験筋は陸上グレステンが雪上スキーよりも大きく、大腿二頭筋だけは陸上グレステンが雪上スキーよりもや

表1 グレステン・グランジャーおよびアルペンスキーにおける
運動時毎の各筋の平均筋活動量 (%IMVC) と各関節の平均関節角度 (°)

被 験 筋	グレステン・グランジャー				アルペンスキー	
	n数	単位	平均	標準偏差	平均	標準偏差
前 脛 骨 筋	6	%	61.26	±23.51	59.43	±11.11
腓 腹 筋	6	%	59.44	± 9.10	38.91	± 6.65
大 腿 直 筋	6	%	64.98	±25.83	42.10	± 8.59
内 側 広 筋	6	%	65.76	± 9.90	29.78	±18.61
大 腿 二 頭 筋	6	%	59.71	±29.04	61.96	± 2.95
大 殿 筋	6	%	46.45	±14.87	33.72	±18.22
膝 関 節 角 度	6	degree	47.30	± 3.81	65.15	±10.17
股 関 節 角 度	6	degree	47.07	±12.22	55.90	± 9.67

や小さな平均筋活動量がみられ、また陸上グレステンの方が雪上スキーよりも二関節角度の平均値は低かった。運動中の筋活動量では前脛骨筋、大腿直筋、大腿二頭筋が両用具ともに多い傾向にあった。

Hintermeisterst al. 報告 (1998) によると、足関節を固定した状態でスキー滑走時のスキーヤーはバランス維持のため姿勢制御に前脛骨筋、大腿直筋、そして大腿二頭筋が大きく関与する。また、二関節角度からみて、運動中では陸上グレステンの場合膝を伸ばして上体をやや起こし気味で、雪上スキーの場合それと比べて全体に低く構えた姿勢で滑走していることが推測された。このことから、両具における運動中の構えには高低の差がみられるものの、筋活動では量的に近似したパターンがあらわれた。

2. 全6筋の総平均筋活動量

図3-1にはターン全体の、また図3-2～図3-4には運動過程から区分した始動期、舵取り期、仕上げ期の3局面において、陸上グレステンと雪上スキーの総平均筋活動量を比較した。ターン全体について陸上グレステンと雪上スキーが59.60%IMVCと44.32%IMVCであった。つぎに、ターンの3局面について始動期では陸上グレステンが51.46%IMVCと雪上スキーが49.17%IMVC、舵取り期では陸上グレステンが62.98%IMVCと雪上スキーが54.08%IMVC、そして仕上げ期では陸上グレステンが51.00%IMVCと雪上スキーが45.27%IMVCを示した。以上のことから、両用具の運動時の総平均筋活動量ではターン全体および3局面において陸上グレステンが雪上スキーよりも上回る傾向を示した。

陸上グレステンでは硬質グラウンド材のマット上を特殊ゴム製車輪でまさつ抵抗を受けながら走行し (本間, 1993)、雪上スキーの滑走では雪面をカービングスキーで、縦方向に滑らせな

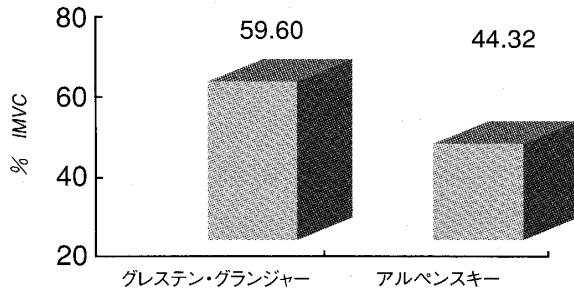


図3-1 ターン全体の総平均筋活動量
(左側：陸上グレステン，右側：雪上スキー)

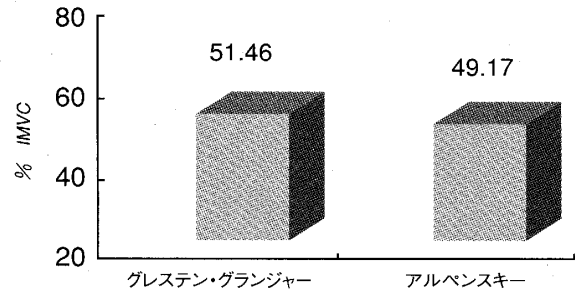


図3-2 始動期の総平均筋活動量
(左側：陸上グレステン，右側：雪上スキー)

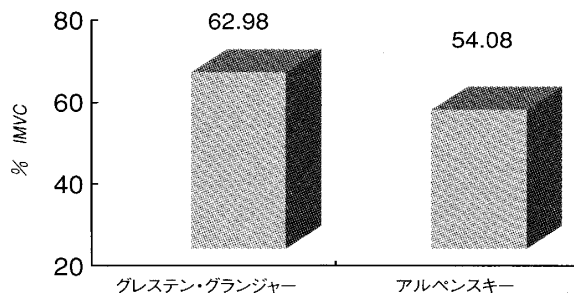


図3-3 舵取り期の総平均筋活動量
(左側：陸上グレステン，右側：雪上スキー)

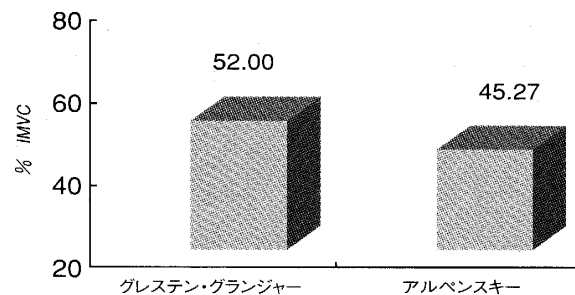


図3-4 仕上げ期の総平均筋活動量
(左側：陸上グレステン，右側：雪上スキー)

があまり大きな摩擦抵抗を受けずに滑らせてターンをする（全日本スキー連盟，1999）。このような両具の運動速度，用具の形状の違い，荷重量の違い，そして角付け角の変化などからターン全体の筋活動量に差があらわれたのではないかと考えられる。3局面のなかで，両具の差が大きかったのは舵取り期の筋活動量であった。雪上スキーで使用したカービングスキーの特性は横ずれを起こしにくく，ターンの回転軌道に乗って滑る（全日本スキー連盟，1999）。陸上グレステンの特性は走行中車輪の横方向にやや抵抗を受けるため，走行面に大きな力の投入があったため，舵取り期に横ずれをコントロールしながら運動方向の調整で大きな筋活動があらわれたのではないかと考えられる。

3. 6筋のターン全体および動作相別にみた平均筋活動量，膝および股関節角度

図4には，平均筋活動量について被験者6名の陸上グレステン（右）と雪上スキー（左）のターン全体の比較と，動作相別にみた6筋の変動を示した。前脛骨筋について，ターン全体の平均筋活動量では陸上グレステンが61.26%IMVCで，雪上スキーの59.43%IMVCがほぼ近く，動作相別にみると陸上グレステンが38.42，67.95，54.98%IMVC，そして雪上スキーの59.43，67.92，75.25，61.46%IMVCと筋活動量パターンが同じような傾向であった。大腿直筋について，ターン全体の平均筋活動量をみると陸上グレステンが64.98%IMVCで，雪上スキーの42.10%IMVCよりも多く，また動作相別においては陸上グレステンが57.35，68.85，58.39%IMVC，雪上スキーが29.66，40.68，44.95%IMVCと筋活動量のパターンが異なっていた。腓腹筋について，ターン全体では陸上グレステンが59.44%IMVCと雪上

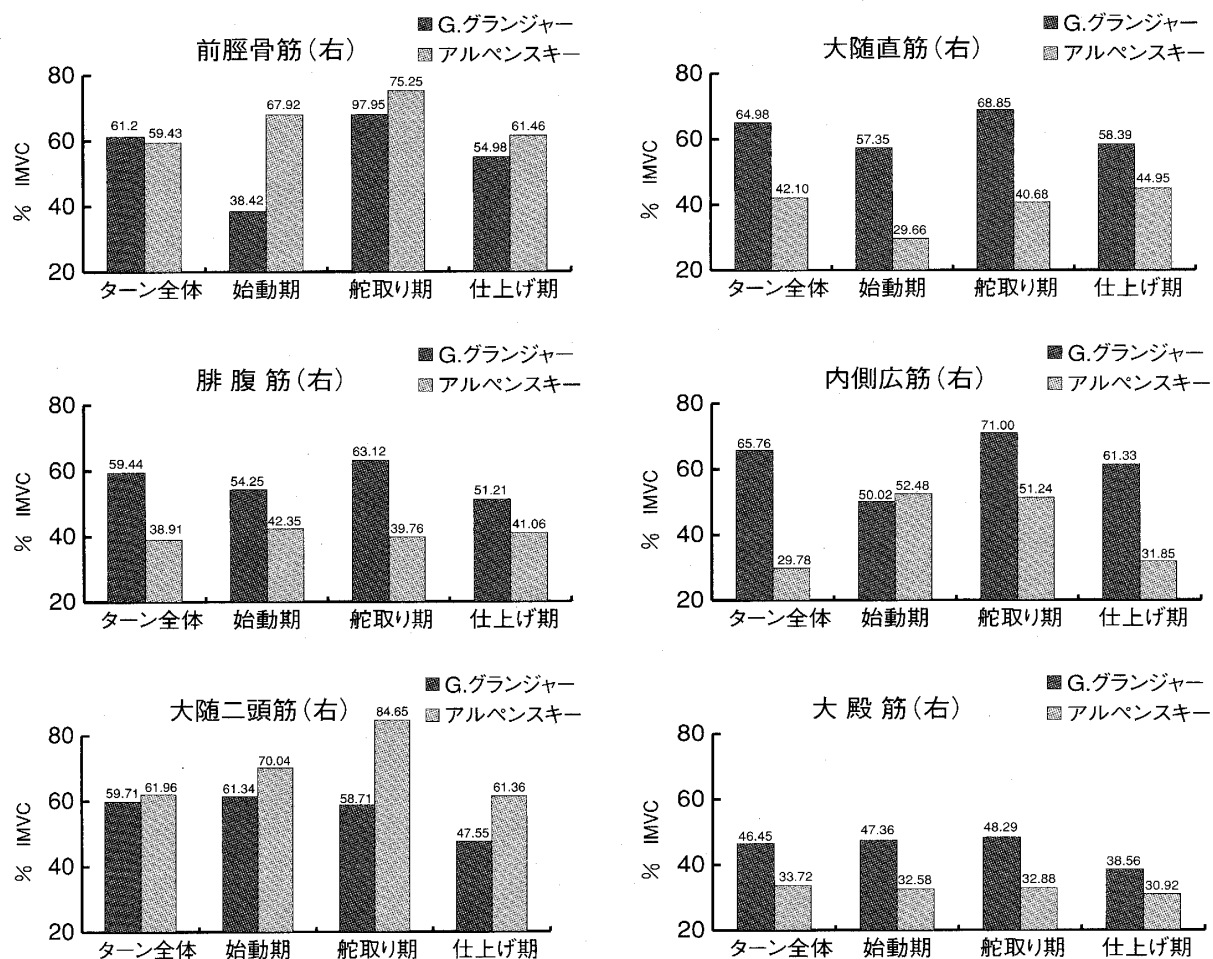


図4 動作相別にみた各筋の平均筋活動量におけるグレステン・グランジャーとアルペンスキーとの比較

上段：前脛骨筋（左側），大腿直筋（右側），中段：腓腹筋（左側），内側広筋（右側），下段：大腿二頭筋（左側），大殿筋（右側）

スキーの38.91%IMVCよりも上回っており、各動作相では陸上グレステンでは54.25、63.12、51.21%IMVCで、雪上スキーの場合42.35、39.76、41.06%IMVCと変動がなく、両用具の筋活動量のパターンについてやや違いがみられた。内側広筋について、ターン全体では陸上グレステンが65.76%IMVC、雪上スキーが29.78%IMVCと平均筋活動量に大きな差がみられ、また各動作相では陸上グレステンが50.02、71.00、61.33%IMVCで、雪上スキーが52.48、51.24、31.85%IMVCとほぼ似たような筋活動量パターンであった。大腿二頭筋について、ターン全体の平均筋活動量では陸上グレステンが59.71%IMVC、雪上スキーの61.96%IMVCよりも低く、各動作相において陸上グレステンが61.34、58.71、47.55%IMVC、雪上スキーが70.04、84.65、61.36%IMVCとこれまでの筋と逆のパターンを示した。大殿筋について、ターン全体では平均筋活動量が陸上グレステン46.45%IMVCが雪上スキー33.72%IMVCよりも大きく、動作相別では陸上グレステンが47.36、48.29、38.56%IMVC、雪上スキーが32.58、32.88、30.92%IMVCとともに変動が一つのターンの終わりまで少なかった。これらのことから、6被験筋の平均筋活動量について、ターン全体では大腿二頭筋を除く5被験筋から陸上グレステンが雪上スキーよ

りも多かった。また、3局面と6被験筋による平均筋活動量をみると、大腿直筋、腓腹筋、内側広筋、大殿筋が陸上グレステン、そして前脛骨筋と大腿二頭筋が雪上スキーに増えた。つぎに3局面の筋活動量について、経時的様相では陸上グレステンが前脛骨筋、大腿直筋、腓腹筋、内側広筋に、また雪上スキーでは前期骨筋、大腿二頭筋にターン初めの始動期と方向付けの舵取り期、ターンの終わりの仕上げ期に移行すると同じような増減パターンを示した。しかし、3局面のなかで大殿筋は両具ともに筋活動量の変動がみられなかった。また、腓腹筋の筋活動量パターンについて、陸上グレステンでは経時的様相において変動がみられたが、雪上スキーではほとんどあらわれなかった。

本研究は、雪上スキーの夏場の練習具として開発されたグレステン・グランジャーが筋電図あるいは下肢関節角度の測定によって雪上スキー運動と比較しながら近似の程度を検証する目的である。今回運動で用いた用具の形状および運動特性を考えると、陸上グレステンでは特殊ゴム製の複合車輪でやや横滑りの性能を生かして走行し、走行バーンと車輪とにまさつがやや起きている。雪上のスキーではサイドカーブの深さによる形状特有の性能で縦方向に横ずれがなく、滑走面との摩擦が少ないなかで滑走する。一般的に、清水(1995)はスキーの進行方向で生じる縦摩擦より横摩擦が大きいので、滑りやすさでは横ずれのないターンの方がより雪面から少ない抵抗で、スピードが大きいと述べている。したがって、測定結果については用具の特性や運動条件の違いを考慮する必要がある。本研究のねらいは雪上スキー操作に働く筋活動パターンからみた陸上グレステンとの近似性についてである。そこで、ターン滑走中、姿勢バランス制御に関わる前脛骨筋、大腿直筋、内側広筋においてはターン始動期から舵取り期にかけて筋活動量が増加し、両具間に近似したパターンがみられた。しかし、足関節の底屈作用にかかわる腓腹筋活動について、陸上グレステンはターンの移行に従って下肢筋活動量の増減がみられたが、雪上スキーについてはほとんど変動が生じなかった。つまり、陸上グレステン走行ではスキー靴を装着して足関節の自由が少ないが、走行面からの抵抗が大きいためより始動期から舵取り期にかけて下肢の運動量が増え、方向付けしていくものと推測する。雪上スキーの方では板自体の性能によって、スキー操作に関する荷重、あるいは角付けの運動が陸上グレステンと比べて少ない力の投入で済み、異なる量的パターンをあらわしたのではないかと推測される。

表2には、膝関節(上段)および股関節(下段)の伸展位を 0° とした状態から、動作中の関節角度をターン全体と各動作相に分けてそれぞれ示した。

膝関節角度について、ターン全体では陸上グレステン走行中の平均が 47.30° 、雪上スキー滑走中の平均が 65.15° で、陸上グレステンの方が雪上スキーよりも膝関節を伸展していた。各動作相において陸上グレステンの場合では屈曲位-伸展位-屈曲位に、雪上スキーも同じような関節の動きを示した。股関節角度について、ターン全体では陸上グレステンの平均が 47.07° 、雪上スキーの平均が 55.90° で、陸上グレステンの方が雪上スキーよりもやや伸展位を保っていた。各動作相においては陸上グレステンが伸展位-屈曲位-伸展位と変わり、雪上スキーもほ

表2 ターン全体および動作相別のグレステン・グランジャーとアルペンスキー運動時における膝関節と股関節の平均角度(°)

	全体/局面	G. グランジャー	アルペンスキー
膝関節角度	ターン全体	47.30	65.15
	始動期	52.95	51.33
	舵取り期	44.76	46.81
	仕上げ期	49.60	65.15
股関節角度	ターン全体	47.07	55.90
	始動期	56.69	39.79
	舵取り期	44.84	36.91
	仕上げ期	48.95	56.69

ほぼ同じようなパターンであった。

結 論

SAJ 指導員資格を有する男性スキーヤー4名を被験者とし、表面筋電図および関節角度計、そして VTR 撮影記録から陸上グレステンと雪上スキー運動時の筋活動(右側下肢の6被験筋)を定量的に分析した。

1. 各筋の平均筋活動量について、陸上グレステン走行は雪上スキー滑走と比べ、大腿二頭筋を除く5被験筋が大きく、筋への負担度が多かった。また、膝および股関節の角度については陸上グレステンが雪上スキーよりも小さく、やや立った状態の姿勢で走行していた。
2. ターン全体の総平均筋活動量について、陸上グレステン走行では雪上スキー滑走と比べ、測定した全6筋が上回っていた。また、ターン区分の3局面における総平均筋活動量は陸上グレステンがターンの始動期、舵取り期、そして終わりの仕上げ期まで雪上スキーよりも上回っていた。
3. 3期に分けた動作相の各筋の平均筋活動量について、量的には陸上グレステンが大腿直筋、内側広筋、腓腹筋に、また雪上スキーが前脛骨筋と大腿二頭筋により多くの筋活動を示した。また、平均筋活動量における動作相別の変動パターンについて、陸上グレステンと雪上スキーには前脛骨筋、大腿直筋、内側広筋に近似した傾向がみられた。しかし、腓腹筋については異なる筋活動量のパターンであった。
4. ターン全体の膝および股関節角度では、陸上グレステンが雪上スキーの滑走時よりも高く構えて走行していた。また、各動作相では、陸上グレステンは雪上スキーの滑走時で始動期に低く構え、舵取り期および仕上げ期に徐々に高くなっていた。

以上の結果から、陸上グレステンは筋活動量的に実際の雪上スキーよりも大きいですが、ターン動作には近似した運動があらわれていた。

文 献

- Clarys JP, Van Puymbroeck L, Publie J, et al (1986) : Influence of ski materials on muscle activity. *J. Sports Sci.*, 4 : 129-139
- Hintermeister RA, O'connor DD, Dillman CJ, et al (1995) : Muscle activity in slalom and giant slalom skiing. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27 : 315-322.
- Hintermeister RA, O'connor DD, Dillman CJ, et al (1997) : Muscle activity in wedge, parallel, and giant slalom skiing. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29 : 548-553.
- Hislop H. J. (津山直一訳) : 新・徒手筋力検査法 (第7版), 協同医書出版社, 東京, 2003
- 本間侃 (1993) : 世界が注目するグレステンスポーツの全貌-オールシーズンスキーの夢が型になった, *Ski Comp*, No. 156 : 50-59
- 加藤満・川初清典・須田力・室木洋一・中川功哉 (1989) : スキーの小回りパラレルターンにおける前脛骨筋および長指伸筋の特有な働きについて, 第9回バイオメカニクス学会, 杏林書院, 東京. 132-137.
- Kemmler J. (1976) : perfektes skitraining im schnee + zuhause, BLV Verlagsgesellschaft, Muenchen
- 前嶋孝・石河利寛・形本静夫他 (1980) : 身体運動の科学Ⅱ, 身体運動のスキル. スキー回転技術に関する筋電図学的研究. 杏林書院. 東京. P. 201-208
- 文部省 (1999) : 小学校学習指導要領解説-体育編. 東山書房. 京都. p. 10
- 清水史郎 (1995) : 科学的スキー上達法. 講談社, 東京. P. 28-41
- Zeglinski CM, Swanson SC, SelfBP, et al (1998) : Muscle activity in the slalom turn of alpine skiing and in-line skating. *Int. J. Sports. Med.*, 19 : 447-454
- 全日本スキー連盟 (1998) : 日本スキー教程, スキージャーナル. 東京. P. 12-42
- 全日本スキー連盟 (1998) : CARVING・カービングスキーのスキー指導. スキージャーナル. 東京. P. 94-95

謝 辞

稿を終わるに当たり, 津別町教育委員会社会教育課社会体育係の職員の方々, また今回の測定の被験者6名の方々, 札幌医科大学保健医療学部 谷口圭吾先生に多大なご協力を戴きここに記して感謝の意を表したい。

本研究は, 平成16年度浅井学園大学共同研究による助成(研究代表 加藤 満)を受けておこなったことを記して感謝の意を表します。