

テレマークスキー滑走中の筋電図の測定

——多チャンネルテレメータシステムによる小回りの測定——

高	村	直	成	影	山	義	光
布	目	靖	則	村	井		剛
永	嶋	秀	敏	渡	邊		仁
福	島	邦	男				

はじめに

テレマークスキーは、19世紀にノルウェー南部のテレマーク地方でソンドレ・ノルハイムによって生み出されたもので、大きく左右の足の前後差をとったテレマークターンと、サイドカーブのあるスキーに踵の上がるケーブルビンディングを使用するという特徴があった⁷⁾。このテレマーク技術は、アルペンスキーの隆盛とともに、幻の技術となってしまうが、1970年代にアメリカにおいて自然回帰のムーブメントとともにモダンテレマークとして復活し、現在では多くの愛好者がいる。テレマークスキーに関しての技術的な研究は少なく、清水ら^{8),9)}によるテレマークスキーロボットの開発や、影山ら¹⁰⁾によるテレマークスキー滑走中の歪み分布などが報告されている程度である。一方、表面筋電図を用いたスキー滑走時の運動解析は数多く報告されており、牛山ら¹⁾、山田ら²⁾、塩野谷ら³⁾によるスキー滑走時の筋疲労に関連する研究や、加藤ら⁴⁾、村山ら^{5),6)}の運動解析、パフォーマンス評価に関連した研究などが近年報告されている。

本稿では、テレマークスキー滑走中の筋電図測定によって滑走中の運動解析を行い、滑走動作を定量的に把握することで、技術を分析し、テレマークスキー指導に寄与することを目的に報告をする。

方 法

(1) 被 験 者

被験者は、テレマークスキー競技歴13年の競技者で、全日本テレマークスキー選手権4位入賞、ワールドカップ、世界選手権等の国際大会出場経験のある熟練した男性1名（年齢46歳，身長173cm，体重72kg）である。

(2) スキー用具

実験に使用したスキー用具は以下のとおりである。

ブーツ：ガ尔蒙トシナジー スキー：K2テレマークワールドピステ

(3) 測定実施日時と雪面状況

測定日時は2011年3月16日であった。天候は雪。雪面状況は、圧雪車によって整備された雪面に新たな雪が積もっていく状況で、9時から13時までの4時間で約20cmの積雪があった。雪温は、 -1.7°C から -1.9°C ，気温は -2.3°C から -4.5°C であった。

(4) 実験計測条件

測定には、戸隠高原スキー場中社ゲレンデ西側コースを用いた。平均斜度11度の整備された緩斜面に、スタートとゴールの間に7m間隔でフォールライン上に13本のブラシポール（高さ20cm）をマーカーとして用いコースを設定した。滑走技術的には、リズムの早い小回りターンでの滑走を想定してコース設定を行った。スタートから2本目，および13本目のマーカー，ゴールにて光電管（プロワータイミングシステム）を用い時間測定を行った。図1にコースセッティングの概念図を示す。

(5) 試 技

ウォーミングアップ滑走ののち，計5回の試技を測定した。各試技の間には，リフトでの移動を含む約8分の間隔がある。

(6) 測 定

筋電位の測定には，多チャンネルテレメータシステムWEB-7000（日本光電工業株式会社

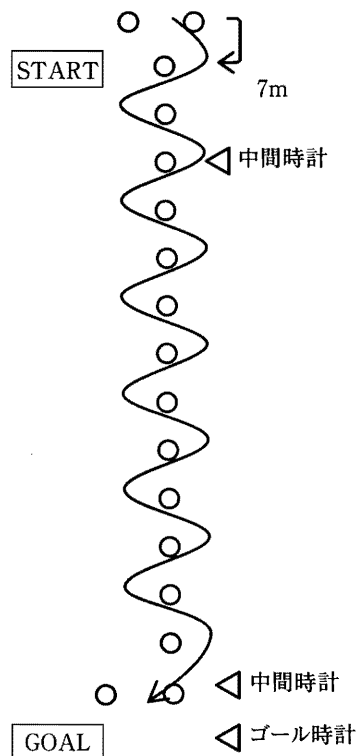


図1 コース概念図

製)を使用した。このシステムでは電極(双極誘導)と小型アンプ内蔵の送信機が一体化したコードレステレメータ電極(日本光電工業株式会社製 ZB-150H:以下、テレメータピッカ)によって、無拘束な状態での筋電図測定を行うことができる。テレメータピッカは、測定する筋肉部位の皮膚をアルコール綿で拭き、乾いたのちに専用のEMG粘着テープによって装着した(写真1)。筋電位はテレメータピッカより無線信号として被験者にベルトで固定されたバイオリピーター ZB-700H(日本光電工業株式会社製)により受信され、さらに受信機 ZR-700H(日本光電工業株式会社製)へ無線にて伝播される。受信された信号は受信機(ZR-700H)にてAD変換後、USB経由にてパーソナルコンピュータ CC-700H(DELL社製)に保存した(写真2)。サンプリング周波数は1kHz、フィルタ特性は15~500Hzとした。

被験筋(送信機装着部位)は、テレマークスキー技術の特徴やアルペンスキー技術を考慮して、外側広筋(左右)と、前脛骨筋(左右)とした。

電極の貼付は、それぞれ筋出力と振幅が対応関係にあることを確認しながら筋腹付近とした。

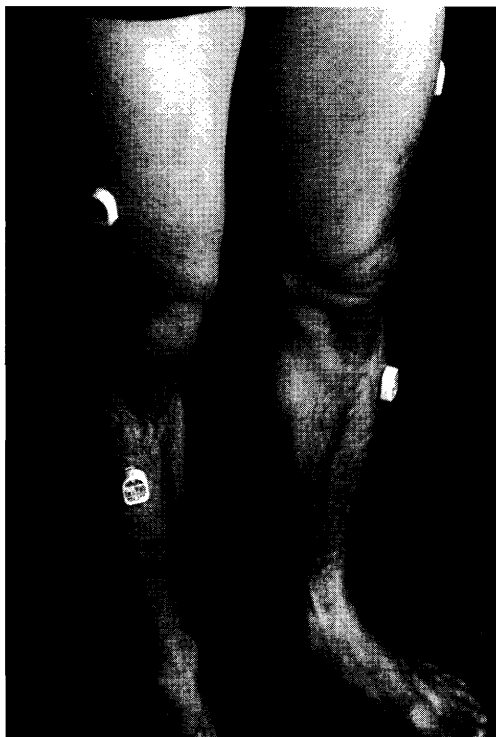


写真1 テレメータピッカ装着位置



写真2 測定装置の構成



写真3 バイオリピーター（腹部）と歪み測定記憶装置を背負った被験者（左ターン）

筋電図に加えて、3軸測定が可能な加速度送信機（ZB-156H）を胸骨に装着し加速度を測定した。写真3はバイオリピーターを腹部に装着しテレマークスキーにて滑走する被験者である。実験滑走時には、滑走中のスキー板の歪み測定も同時に行ったため、背中にはリュックサックに入った歪み測定記憶装置を背負っている。本稿では、スキーの歪みに関しては報告の対象としない。

(7) 筋電図解析区間の決定

左右ターンを抽出するために、加速度の測定値を参考にし、X軸方向の加速度が下降していく局面から上昇していく局面への転換点を起点に、次の転換点までを1ターンとした（図2）。これは、スキー操作において連続ターン時の切り換えの際、重心の上下動を伴う場合が多いが、特に、テレマークターンではエッジの切り換えにおいて脚の入れ替えを伴うため重心の上下動がより顕著になる。重心の上下動と胸部の上下動とは必ずしも一致するものではない

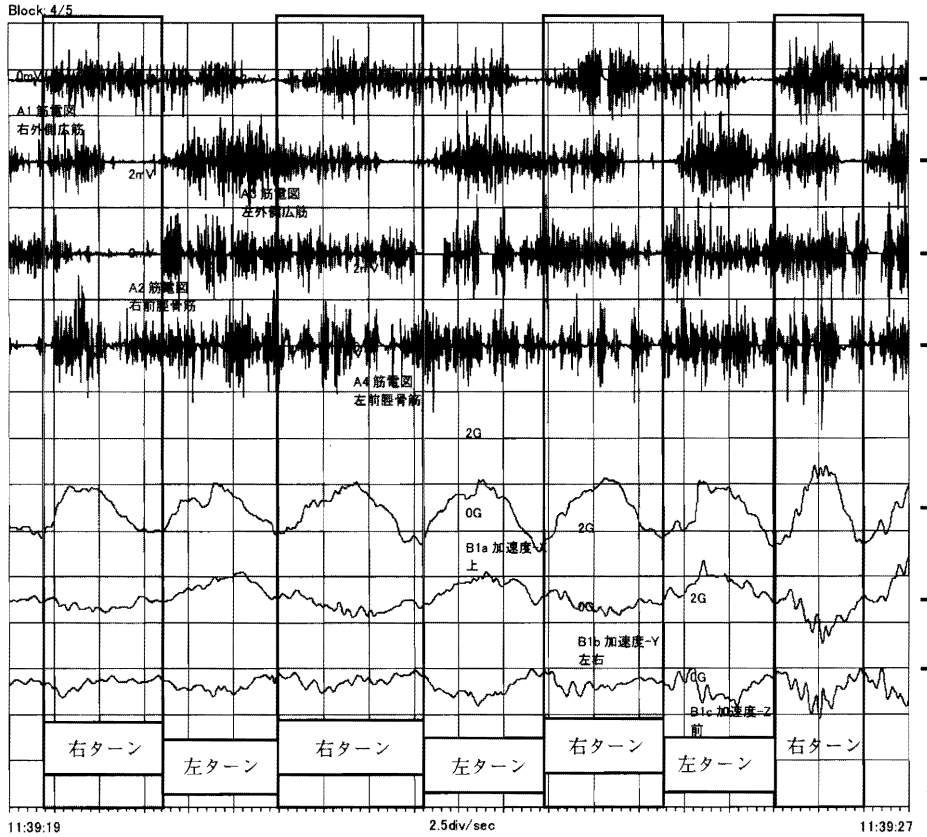


図2 X軸方向加速度より抽出された左右ターン区間

が、ターンのきっかけをつかむ動きとしては、上体からの動作は重心の上下動と連動しているともいえ、ターンを規定する指標として客観性のあるものとする。解析の区間は、全5試行中最初と最後を除いた3試行から、最初のマーカーと最後のマーカーのターンを除いた10ターンを対象に波形に異常の見られるものを除外した1試行左右合計8ターンとし、左右合計24ターンを分析した。

(8) データ解析・統計

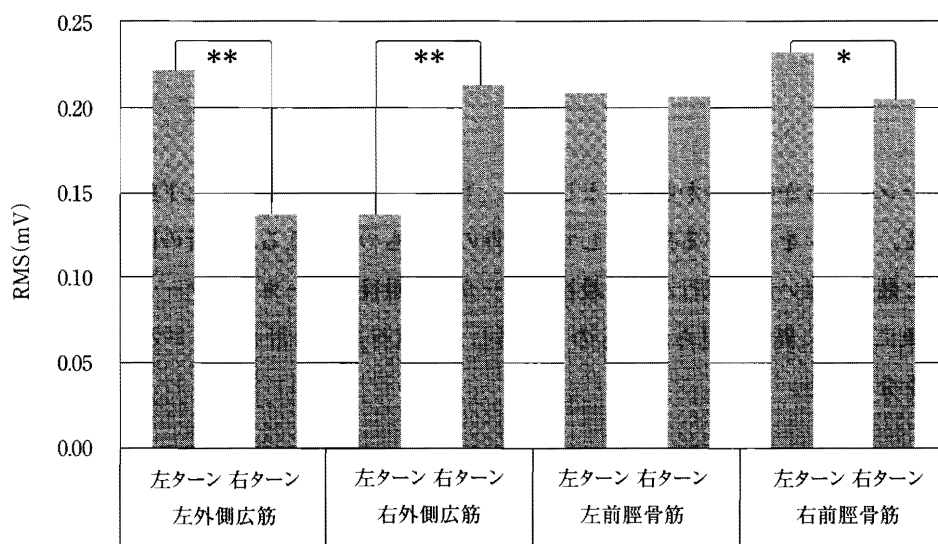
筋電図データは、専用ソフト (QP-700H ver.03-02) を使用して分析を行った。また、統計には IBM SPSS Statistics 20.0 を使用し、RMS 値の平均について t 検定を行った。

結果と考察

各被験筋のRMS値(mV)の平均を左右ターン別に算出した(表1)。t検定の結果、左右ターンの平均の差は、左右外側広筋において1%水準、右前脛骨筋において5%水準で有意であった(左外側広筋:両側検定 $t(22) = -10.42$, $p < .01$, 右外側広筋:両側検定 $t(22) = 6.34$, $p < .01$, 右前脛骨筋:両側検定 $t(22) = -2.15$, $p < .01$, 図3)。

表1 左右ターン毎の各被験筋のRMS値(mV)の平均と標準偏差

	左ターン (n=12)		右ターン (n=12)	
	mean	SD	mean	SD
左外側広筋	0.223	0.021	0.138	0.018
右外側広筋	0.138	0.028	0.213	0.030
左前脛骨筋	0.209	0.018	0.206	0.047
右前脛骨筋	0.232	0.031	0.205	0.030



** $P < .01$, * $P < .05$

図3 左右ターン毎の各被験筋のRMS値の平均

上記の結果から、滑走中左右のスキーに前後差をつけてターンを行うテレマークスキーにおいては(写真2参照)、ターン内脚となる大腿の外側広筋の活動が、先行するターン外脚の外側広筋よりも活発であることがわかった。日本テレマークスキー教程⁷⁾によれば滑走中の重心位置は前後スタンスの中心が望ましいといえるが、その際、ターン内脚の膝の屈曲がより大きくなり、この姿勢により外脚に比べ大きな負荷がかかっているといえる。また、小回りにおいては、早いリズムでの切り換えが求められるため、実際の重心位置はターンをコントロールするために内脚寄りに位置することが考えられる。影山ら¹⁰⁾のテレマークスキー滑走中の歪みの報告にあるように、小回りでは前側のターン外脚よりも後ろ側の内脚のスキーで雪面方向への力を加えてターンをし、内スキーを船の舵のように使いコントロールする必要があるという点も、外側広筋における筋活動に左右差が認められた原因といえる。

前脛骨筋については右脚のみで左右差が認められたが、これは先行するターン外脚での値が有意に高くなっており、外脚を前に出す場合においても、前脛骨筋を緊張させブーツ内部で足関節の背屈を維持し、ブーツの踵側に完全に寄り掛かることなくターンを行っているためであると考えられる。小回りにおいては、上述のとおり早い切り換えを求められるが、この際、あまり前後差を大きく取ってしまうと脚の入れ換えに時間がかかるため、コンパクトな同時操作が必要となる。そのために、外スキーを重心から遠ざけてしまわないように姿勢を維持していることが考えられる。スキー滑走時において、プラスチックブーツ内部では足関節の背屈は大きく制限を受けるが、滑走中の姿勢維持に関連して、内脚、外脚の別に拘らず、前脛骨筋はつねに一定の緊張を続け背屈を維持していることも重要であり、その点からも、外側広筋に比べ、前脛骨筋においては、ターン時、内脚、外脚ともに筋活動が活発であることがいえる。

初級者レベルのテレマークターン指導では、シュテム動作を行ってのターンが導入課題として考えられるが、この場合、ターン後半の舵取り期に行う内脚の引きつけ動作には外脚への荷重配分が必要になる。しかし、内脚での雪面の捉えがターンをコントロールするという本研究の結果を目標とすべき動作として考えると、外脚への荷重配分はシュテム動作をする際においてのみ必要な操作要領であり、技術習得段階においてはあくまでも通過点といえる。したがって、パラレルスタンスによるテレマークターンへ移行する場合には、内脚への荷重や内脚の操作を習得するための指導がより重要になると考えられる。この点については、レベル別の滑走動作を筋電図や動画を分析することによって比較する必要があるといえ、今後の課題とした

参考文献

- 1) 牛山幸彦・千明 剛・村山敏夫・木竜 徹 (2005) 膝関節角度を参照した筋電図解析によるスキー運動時筋疲労評価システム, 生体医工学43 No.4, pp.616-622.
- 2) 山田 洋・加藤達郎・植村隆志 (2006) 表面筋電図を用いたスキー運動後の局所筋疲労度の評価に関する研究, 東海大学紀要 体育学部36, pp.25-29.
- 3) 塩野谷 明・畠 圭祐・西條暁里・今村 啓・山本晋平 (2010) 実滑走時のスキー振動とヒトEMGの同時計測システムの構築, 日本スキー学会誌 Vol.20, No.1, pp.83-90.
- 4) 加藤 満・稲田尚史 (2007) 雪上スキー滑走時と陸上運動具の走行時の筋活動について: 表面筋電図法によるアルペンスキーとグレステン・グランジヤー, インラインスケート, ツリスとの比較, 浅井学園大学生涯学習システム学部研究紀要7, pp.15-24.
- 5) 村山敏夫・木竜徹・牛山幸彦 (2010) 表面筋電図と膝関節角度を用いるスキー運動時のパフォーマンス評価とコーチングシステムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol.110, No.354, pp.17-22
- 6) 村山敏夫・牛山幸彦・木竜徹・大橋正春 (2011) トップスキーヤーのフィーリングを表面筋電図と膝関節角度を用いて解釈する, 日本スキー学会第21回大会研究発表抄録, 日本スキー学会, pp.18-19.
- 7) 日本テレマークスキー協会技術委員会 (2002) 日本テレマークスキー教程, 山と溪谷社, 東京.
- 8) 清水史郎・長谷川健二 (2009) テレマークスキーロボットの開発—股関節の屈曲と伸展および股関節の内旋によるプルークターンモデル—, スキー研究6-1, pp.9-14.
- 9) 清水史郎・長谷川健二・野尻奈央子 (2010) テレマークスキーロボットの開発—膝関節の屈曲と伸展によるパラレルターンモデル—, スキー研究7-1, pp.21-26.
- 10) 影山義光・八島健司・布目靖則・高村直成・青木清隆・水口 潔 (2007) テレマーク・スキー滑走中の歪み分布—テレマーク・ターンとアルペン・ターンの違い—, スキー研究4-1, pp.1-13.