

Key Words【スキー競技：ski racing、スキーの生理学：skiing physiology、スキーのバイオメカニクス：skiing biomechanics】

アルペンスキー競技のための 体力テスト変数

Fitness Testing Parameters for Alpine Ski Racing

James J. Pritchard, M.Sc., CSCS, RSCC

School of Medical and Health Sciences, Edith Cowan University, Joondalup, Western Australia

要約

アルペンスキー競技では、股関節、膝関節、足関節の広い可動域にわたって、高いレベルでの等尺性、伸張性、短縮性筋活動を行なう必要がある。競技で成功を収めるには、回転競技では約40秒間、滑降競技では最大2.5分間にわたって、高いレベルでの無酸素性持久力、有酸素性パワー、および力発揮能力が必要とされる。さらに、高度なスキルも要求されるため、神経筋系のコーディネーションがきわめて重要である。本稿では、スキーの生理学的変数とパフォーマンステストの関連性を示して、アルペンスキー競技にとって最も効果的な体力テストを明らかにする。

序論

パフォーマンステストは、信頼性と妥当性の高いプロトコルに基づいて詳細な情報を提供するだけでなく、その競技の生理学的変数と直接的に関連していなければならない。テストを効果的なものにするには、測定項目が、動作分析、生理学的評価、傷害／リスク評価、選手のニーズに基づいて決定されている必要がある(25)。テストが効果的なものであれば、選手の長所と短所を特定して、プログラム作成に生かすことができる。さらに、適切に設計されたテストを定期的実施することによって、各選手が目指す生理学的特質に対するトレーニングの効果を数値的に評価することが可能になる。テストの目標は、コーチや選手にエビデンスに基づくアドバイスを提供することである。繰り返し実施できるだけでなく、信頼性と妥当性が高いものでなければならない(31)。したがって、テストデータの収集、処理、分析、報告においては、体系的なアプローチが必要である(31)。データの質は、データの収集方法だけでなく、意味や結果を定量化する検定方法と分析方法にも依存する。

アルペンスキー競技で成功するには、生理学的にも技術的にも多くの特質が必要とされる。回転(SL)、大回転

(GS)、スーパー大回転(SG)、滑降(DH)の4つの基本種目があり、生理学的要求は類似しているが、個々の筋活動とエネルギー系の要求がやや異なっている。アルペンスキー競技では等尺性筋活動、低速の伸張性筋活動、低速の短縮性筋活動を高いレベルで実施する必要があり、筋の大きな共収縮が発生する点において明らかに他競技とは異なっている(9)。優れたアルペンスキー競技者は、有酸素性パワー(最大酸素摂取量)、無酸素性持久力、神経筋系のコーディネーション、力発揮能力が優れている(35)。競技者によって大きな差が存在するため、どの筋線維タイプが優位であるかはいえない(34)。しかし、多くの場合はタイプI筋線維が優位であるとみられる(34)。このようなアルペンスキー競技の要求を理解すると、選手を観察するには入念に選択したテストバッテリーが不可欠である。世界レベルの選手の競技シーズンは11月下旬から4月上旬である。シーズン中もテストを実施することによって、重要な生理学的特質が維持されており、受傷リスクがないことを確認する必要がある(28)。また、競技シーズン後に短い移行期を挟み、4月下旬あるいは5月上旬にも同じテストを実施するとよい。これは、パフォーマンス特性

の基準値を確立するとともに、トレーニングの残存効果が、シーズンを通してどの程度減退したかを知る手がかりになる(25)。有資格者のスタッフによる正式なトレーニングに割り当てられた時間に応じて、夏季に2回目のテストを実施し、選手に求められる特質の進歩を評価する。この時期には、目標を絞って適切に設計されたトレーニングブロックを介して、有酸素性能力と無酸素性持久力が大きく増大しているはずである(25)。3回目のテストは雪上トレーニング開始直前の10月下旬か11月上旬に実施する。このテストでは、オフシーズンのトレーニングによる進歩の最終評価を行なうとともに、競技シーズンに向けて安全性と傷害リスクを評価する。テストはスケジュールと選手の準備状態に合わせて競技シーズンを通じて実施し、トレーニングによって重要な生理学的特質が維持されているかどうかを確認する(25)。

本稿では、アルペンスキー競技の生理学的特質に関連するパフォーマンステストについて論じる。様々なテストの信頼性と妥当性を説明し、最も効果的な実施方法を明らかにする。

動作分析

アルペンスキー競技は、特に、競技の最も重要な側面とされるカービングターンにおいて高いレベルの神経筋系のコーディネーションを必要とする。カービングターンは、エッジの制御と下半身を巧みにコントロールすることによるバランスの維持を通じて生み出された荷重や外力を利用する(15,30)。動作は、開始、回転、完了、移行の4つの局面に分割される(図1)。

Hydrenら(15)によると、開始局面は、旗門を肩すれすれで通過し、山足と谷足の板を傾かせてエッジで体重を支える。回転局面では肩関節を雪面と平行に戻し、外足を伸展させ、内足を傾か

せたまま股関節を雪面に接近させてエッジを立てる(15)。続く完了局面では、外足を曲げて股関節を上げ、エッジを戻す(15)。最後の移行局面では、両脚を股関節の真下に揃えて滑降し、体重を谷スキー側から山スキー側へと移動させる(15)。レースの間、この動作を連続的に反復するが、選手が経験する速度/力は斜面の傾斜角と競技種目による。

回転において生み出される力は通常1～2.5Gであるが、3Gに達することもある(G：重力)。これは舵取りの一次推進力であるため、主に前足を介して発生する(6,15)。回転動作中、膝関節の屈曲(伸張性筋活動)、静的収縮(等尺性筋活動)、膝関節の伸展(短縮性筋活動)がみられる。膝関節の平均角速度は、SLで約 $69 \pm 11^\circ$ /秒、GSで $34 \pm 2^\circ$ /秒、SGで 17° /秒である(6,15)。これはランニング(約 300° /秒)やスプリント(約 650° /秒)の場合よりも大幅に遅く、アルペンスキー競技で発生する筋活動が低速であることを明示している(34)。回転の完了に要する時間は、SLで約1.6秒、GSで3.5秒、SGで4.1秒である(34)。SLでは最大随意筋収縮に近い活動が観察されるが(34)、これは最終的に筋への血液供給を抑制する。したがって筋力が不十分であると、姿勢を維持する能力と大きな力に耐える能力が制限されると考えられる。

パフォーマンスに影響を及ぼすその他のバイオメカニクスの因子としては、回転を通じてのエネルギーの消散と保存、空気抵抗と摩擦、地面反力、回転半径、板の重心の軌道がある(13)。SLとGSは回転開始の早さ、経路の長さ、軌道、カービングによる地面反力の早さと滑らかさに影響される(2,8)。スピード系種目であるDHは、空気抵抗の最小化とレース中のクラウチング姿勢の維持に影響される。Federoldら(8)は、レース中の動作が滑降タイムに及ぼす影響を調査した。68件の記録を分析した結果、意外にも、滑降タイムは前傾姿勢でも後傾姿勢でもなく、エッジングの影響を受けていた(8)。これは板と雪の摩擦の増加によるものであり、滑降局面のパフォーマンスを向上させるには、可能なかぎりエッジングを避けるべきであることを示唆している(8)。

アルペンスキー競技は、比較的小さな膝関節角速度によって、低速の伸張性および短縮性筋活動と断続的な等尺性筋活動を行なう必要がある。競技を左右するバイオメカニクスの因子は、力発揮能力や筋収縮だけでなく、摩擦、空気抵抗、総合的な地面反力の減少とも関連している。アルペンスキー競技は種目によって明白な違いが存在するため、動作分析は十分に注意して行なう必要がある。



図1 アルペンスキー競技のカービングターンの局面(15)

生理学的評価

アルペンスキー競技におけるエネルギー系の寄与は、スポーツ科学者においてもコーチにおいてもまだ結論が出ておらず、競技に必要なエネルギー配分について意見が分かれている。この原因は、種目ごとの代謝要求の差だけでなく、エリートクラスの選手とレクリエーションレベルの選手の差にもある。研究によると、スピード系競技では約46%が有酸素性機構、約26%が解糖系、約28%がホスファゲン機構による。これに対してテクニク系競技では、約30～35%が有酸素性機構、約40%が解糖系、約25～30%がホスファゲン機構による(4,12,15,27,32,34,35)。これは、レース中のパフォーマンスへの影響を示すものとして一般に受け入れられている基準である。また、エリートクラスの選手は、非エリートクラスあるいは初心者よりも乳酸性作業閾値が高く、反復的な力産生能力も高い傾向にある(24,34)。エリートクラスの選手は80～90% $\dot{V}O_2\text{max}$ に達することもしばしばであるが、スキルの低い選手は60～70% $\dot{V}O_2\text{max}$ を減多に超えない(35)。また、エリートクラスのDH選手とSG選手は、ほぼ160km/hに近いスピードでレースを行なう(32)。乳酸緩衝能がきわめて重要であると考えられるが、有酸素性能力にとっての至適範囲はまだ確定されていない。有酸素性能力は、数時間にわたって複数回の滑走(4～14回)を行なうトレーニング中の回復に不可欠である。トレーニングを実施する能力を増大させ、結果的に、高いレベルでの技術的スキルの獲得を助ける(22,26,33)。以上のことから、アルペンスキー競技のエネルギー機構の要求は、種目によっても、選手のレベルによっても異なり、選手の指導方法やテスト方法に大きな影響を及ぼす。トレーニングの第一の目標は、代謝副産物の蓄積に耐える能力を増大させて、力産生能力と神経筋系のコー

ディネーションへの影響を抑制することである(9)。

レース中の姿勢の制御とバランスは、大筋群、特に大腿四頭筋の活動を必要とする。Hintermeisterら(14)は、アメリカおよびイギリス代表チームのメンバーを対象として、筋電図を利用して筋活動の分析を行なった。その結果、大腿四頭筋の活動が最大化するのは回転局面の後半とカービング局面の前半であることが判明した。つまり、この時点で選手にかかる力が最大となる。また、板のトップに向けて前傾姿勢をとるには背屈を行なうことが必要であるが、その際、前脛骨筋が大きな活動を示すことも判明した(14)。競技で主に利用されるその他の筋群として、腹直筋、腹横筋、外腹斜筋、内転筋、脊柱起立筋、腓腹筋がある。さらに、地形の変化がもたらす力を吸収するために、ハムストリングスと殿筋群が高いレベルの伸張性筋活動を行なう(13,15,29)。また、レースの様々な段階で、バランスと姿勢を維持するために高いレベルの筋の共収縮が発生する(14,21)。

傷害分析

競技で観察される速度や力、変化する地形のために、アルペンスキー競技には本質的なリスクが存在する。アルペンスキー・ワールドカップで最も多い傷害部位は、膝関節(36%)、下腿(12%)、肩関節(11%)であった(5,28)。膝関節傷害の大多数は、膝関節の伸展、あるいは脛骨の前方移動や内旋／外旋を伴う膝関節の動的な完全屈曲に起因する(5)。これらの非接触性の膝関節傷害を説明する用語として、「スリップキヤッチ(カービングターンの開始時に外スキーがスリップするのを止めようとして膝関節を完全に伸展させることによる)」「ダイナミックスノウプロウ(力を込めて内旋しようとした際にエッジが雪面をとらえて膝関節と股関節が異常に屈曲する)」「バックウェイト

イッドランディング(スキーテールからの着地後の内旋または外旋と大腿骨脛骨間の圧迫力と脛骨の前方移動による)」がある(5,15)。意外にも、転倒やネットへの巻き込みに起因する膝関節傷害は報告数のごく一部を占めるのみである(5)。これに対して、肩関節傷害の主なメカニズムは、腕を伸ばした状態での転倒、肩関節複合体への直接的打撃によるローテーターカフの損傷、肩甲上腕関節前部の脱臼または亜脱臼、および鎖骨骨折であった(17)。

Kokmeyerら(18)がアルペンスキー・ワールドカップにおける傷害発生率を分析した結果、滑走1,000回につき9.8件の傷害が発生しており、そのうち38%の傷害部位は膝関節であった。さらに、1981年から1994年にかけて、傷害報告件数が280%増加した。用具(ブーツ、ビンディング、板)の技術的な進歩によって膝関節にかかるトルクが変化して、傷害発生率の増加を招いていると考えられるかもしれない(18)。板を長くして、厚さ、幅、形状を細くすれば、傷害リスクを低下させられるかもしれない。しかし、そうするとスピードとエッジ角度が低下するため、パフォーマンスが犠牲になる(28)。さらに、傷害リスクをもたらす因子としては、体幹部の筋力の不足／アンバランス、性別、スキルレベル、遺伝的素質がある(28)。こうしたパフォーマンスの欠点には、質の高い筋力トレーニングと、適切に構築され、量を調整した雪上トレーニングによって対処する必要がある。トレーニングによってパフォーマンスの欠点を補い、準備を整えたとしても、アルペンスキー競技はバイオメカニクスの要素を含むため、競技会中の傷害リスクはゼロにはならない。

選手の評価

パフォーマンステストを効果的に実施するには、信頼性と妥当性が高く、競技との関連性が高いテストバッテリー

を実施することが重要である(31)。選手のパフォーマンスを追跡するには、5つのテストによる総合的アプローチが有効である。5つのテストはできれば2日に分けて以下の順序で実施するとよい。①スターエクスカージョンバランステスト(SEBT)、②カウンタームーブメントジャンプテスト(CMJ)、③等尺性スクワットテスト、④2.5分間の反復負荷ジャンプテスト(LRJT)、⑤20mのシャトルランテスト(MST)。あるテストによる疲労が別のテストのパフォーマンスを損なうことを避けるため、テストは上記の順序で行なうことが重要である。これらのテストは順に、神経筋系のコーディネーション、パワー、筋力、無酸素性持久力、有酸素性能力を評価している。

スターエクスカージョンバランステスト

神経筋系のコーディネーションは、競技パフォーマンスにおいて重視されないことが多いが、特にテストでは非常に重要な要素である。Filipiaら(11)によると、SEBTは動的安定性、運動制御、下肢の傷害リスクを評価するスクリーニングツールになる。テストでは、片脚で中央に立って姿勢とバランスを保ったまま、反対のつま先を前方、後内側、後外側へ伸ばす(11)。アスリートのパフォーマンス変化に基づいて、現在実施しているストレングス&コンディショニングプログラムが、神経筋系のコーディネーション、下肢筋力、体幹部の安定性を向上させているかどうかを評価する。

López-Plazaら(20)による27名の身体的に活発な男性を対象とした研究によると、SEBTテストの信頼性は中～高であり、級内相関係数は利き脚0.87、非利き脚0.74であった。したがってSEBTテストは、アルペンスキー選手の成功と健全なキャリアにとって重要な姿勢の制御と神経筋系のコーディネーション(23)の変化を評価する上で、信

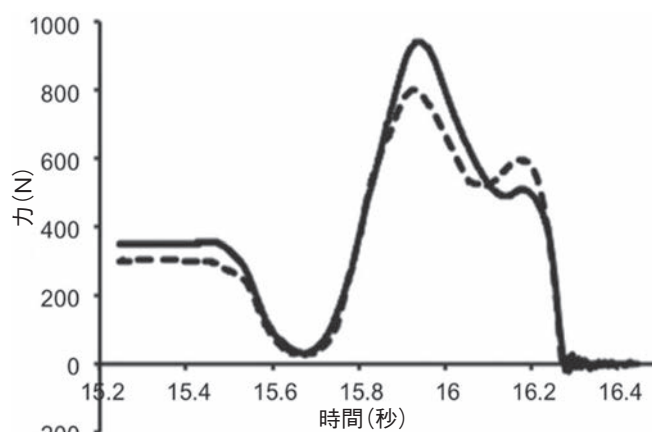


図2 カウンタームーブメントジャンプの力-時間曲線(16)
両脚を実線(患側)と点線(健側)で示す

頼性と再現性の高い測定方法であるといえる(20)。

カウンタームーブメントジャンプテスト

CMJは、フォースプレート进行分析することによって、ジャンプの局面に特異的な力積におけるパワーと力の立ち上がり率だけでなく、機能的アシンメトリー(非対称性)を評価できる非常に有効な方法である(16)。両脚のアシンメトリーに注目してCMJの力-時間曲線を分析し(図2)、アシンメトリー指数を算出する。アシンメトリー指数は、(左脚の力積-右脚の力積)/(左脚と右脚の力積の最大値)×100の式を利用して算出する。

Jordanら(16)の研究において、前十字靭帯の再建術を受けたスキー選手は、受傷経験のない選手と比べて、CMJの短縮性局面($p<0.05$)とスクワットジャンプの跳躍時($p<0.05$)におけるアシンメトリー指数が大きい。CMJによって、跳躍の際や着地の際の短縮性の力と伸張性の力の正確な値を知ることができるため、スキーのパフォーマンスに必要な筋力とパワーを向上させることに役立つ。また、異常なあるいはアシンメトリーな動作を検出して直ちに修正し、傷害発生リスクの低下に役立てることができる(16)。スローモ

ーションビデオ分析と組み合わせることによって経時的なモニタリングが可能になり、機能的アシンメトリーだけでなく、運動力学的特質、パワー、力発揮能力についても知ることが可能である。

等尺性スクワットテスト

アルペンスキー競技は、方向転換と姿勢の維持に高いレベルでの等尺性筋活動と伸張性筋活動を必要とする。したがって、選手の力発揮能力を評価することが重要である(15)。等尺性スクワットは、1RMバックスクワットテストよりも再テストの信頼性が高く、実施が容易である(7)。加えて、1RMバックスクワットでは動的な短縮性筋活動が行なわれるため、等尺性スクワットのほうが、アルペンスキー競技で一般に観察される等尺性筋収縮の評価に適している。Blazevichら(7)は等尺性スクワットの信頼性と妥当性を評価した結果、級内相関係数0.97で信頼性が非常に高かった。また、等尺性テストと1RMスクワットテストにおける被験者のスコアの間に強い相関関係が見出された(相関係数0.77、 $p<0.01$)。これに対して、1RMバックスクワットとの関係における妥当性は中程度(相関係数<0.8)であったが、こ

れは被験者数の少なさ(n=14)による可能性がある。いずれにせよ、等尺性スクワットは総合的な力発揮能力の評価に有効な方法であると考えられる(7)。等尺性スクワットテストの高い信頼性と中程度の妥当性を考えると、介入前後における下半身の筋力変化の評価に利用できるであろう。下半身の筋力はアルペンスキー競技のパフォーマンスに不可欠の要素である(9,10,18,22,27,29,32,34)。

2.5分間の反復負荷ジャンプテスト

適切な無酸素性能力と筋パワーを維持する能力は、アルペンスキー競技の成功に寄与する重要な因子である(24)。パフォーマンス評価には、従来、60秒または90秒のボックスジャンプテストが利用されてきた(1,12,15,24,33)。このテストによって多くのデータが収集されてきたが、スキー競技で観察される筋活動との関係は明らかにされていない。連続ボックスジャンプテストは、ストレッチ-ショートニングサイクルの効率や爆発力を評価するものであるが、アルペンスキー競技では、低速の伸張性筋活動と短縮性筋活動が連続的に行なわれる(6,24)。2.5分間のLRJTのほうが、無酸素性能力と、アルペンスキー競技における筋パワーの維持を評価することに適している。テストでは、選手の自重の40%負荷を用いたCMJを60回実施させる。バックスクワットで行なうように、肩にバーベルを乗せて実施する。爆発的な連続ジャンプテストとは異なり、このテストではジャンプ間に休息を設ける。これは、レース中の回転リズムを反映するものであり(SLでは1~1.5秒、GSでは1.5~2秒、SGでは2.4~3秒)、競技動作を直接的に映し出している。さらに、LRJTで実施する60回のジャンプは、SLやGSで設けられる旗門の数に近く、2.5分という制限時間もDHのレース時間に近いた

め、全種目に適用できると考えられる(24)。逆に、60秒または90秒のボックスジャンプテストからは平均パワーのデータが得られず、DHのレース時間からも遠い。Pattersonら(24)の調査によって、LRJTは再テストの信頼性が高いことが示され、信頼区間95%で級内相関係数は0.987であった。

20mのシャトルランテスト

有酸素系はアルペンスキー競技のエネルギー供給の約30~46%を占めている。したがって、選手の有酸素性能力を評価することが重要である(15)。Veicsteinasら(35)によると、エリートクラスのスキー選手の最大酸素摂取量は対照群よりも20~30%高く、最大酸素摂取量の多さはパフォーマンスに有効であることを示唆していた。有酸素性能力を増大させることは、トレーニング中の滑走間の回復を早めてトレーニング量を増やすことを可能にする。最大酸素摂取量の適切な評価方法は、MSTである(19)。複数の選手を同時に評価して正確な数値を得ることが可能であり、従来のテスト(トレッドミルを使用して疲労困憊まで走らせる)を実施する時間を確保できないクラブや大学での評価に適している(3)。Azizら(3)は、国際レベルのU18女子サッカー選手8名を対象として、MSTとトレッドミルランニングテストの両方を実施した。その結果、2つのテスト結果の間に統計的に有意な相関関係($p<0.05$)が見出され、MSTは最大有酸素性能力の測定に妥当なフィールドテストであることが示された。

結論

アルペンスキー競技の特異的な性質を考えると、競技に必要な生理学的変化を捉えるには特異的なテストを実施する必要がある。競技で成功するには、比較的低速の伸張性および短縮性筋活動と高いレベルでの神経筋系のコーデ

ィネーションが必要であり、テストもそれを評価するものでなければならない。また競技分析を行なうには、下半身の巧みなコントロール、体幹部の筋力、無酸素性持久力、有酸素性能力、力発揮能力のすべてを考慮する必要がある。ストレングス&コンディショニングプログラムによってしかるべき適応を生み出すには、適切なテストを介してこれらすべての特質を捉えて観察する必要がある。アルペンスキー競技が課す要求全体を理解するにはさらに研究を進める必要があるが、本稿で解説したテストバッテリーはアルペンスキー競技のパフォーマンス変化の分析に役立つであろう。◆

References

1. Álvarez-San Emeterio C, Antuñano NP-G, López-Sobaler AM, González-Badillo JJ. Effect of strength training and the practice of Alpine skiing on bone mass density, growth, body composition, and the strength and power of the legs of adolescent skiers. *J Strength Cond Res* 25: 2879-2890, 2011.
2. Andersen RE, Montgomery DL, Turcotte RA. An on-site test battery to evaluate giant slalom skiing performance. *J Sports Med Phys Fitness* 30: 276-282, 1990.
3. Aziz AR, Tan FH, Teh KC. A pilot study comparing two field tests with the treadmill run test in soccer players. *J Sports Sci Med* 4: 105-112, 2005.
4. Bacharach DW, von Duvillard SP. Intermediate and long-term anaerobic performance of elite Alpine skiers. *Med Sci Sports Exerc* 27: 305-309, 1995.
5. Bere T, Florenes TW, Krosshaug T, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in World Cup alpine skiing: A systematic video analysis of 20 cases. *Am J Sports Med* 39: 1421-1429, 2011.
6. Berg HE, Eiken O. Muscle control in elite alpine skiing. *Med Sci Sports Exerc* 31: 1065, 1999.
7. Blazeovich AJ, Gill N, Newton RU. Reliability and validity of two isometric squat tests. *J Strength Cond Res* 16: 298-304, 2002.
8. Federolf P, Scheiber P, Rauscher E, et al. Impact of skier actions on the gliding times in alpine skiing. *Scand J Med Sci Sports* 18: 790-797, 2008.

9. Ferguson RA. Limitations to performance during alpine skiing. *Exp Physiol* 95: 404–410, 2010.
10. Ferland P-M, Comtois AS. Athletic profile of alpine ski racers: A systematic review. *J Strength Cond Res* 32: 3574–3583, 2018.
11. Filipa A, Byrnes R, Paterno MV, Myer GD, Hewett TE. Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. *J Orthopaedic Sports Phys Ther* 40: 551–558, 2010.
12. Gross M, Hemund K, Vogt M. High intensity training and energy production during 90-second box jump in junior alpine skiers. *J Strength Cond Res* 28: 1581–1587, 2014.
13. Hébert-Losier K, Supej M, Holmberg H-C. Biomechanical factors influencing the performance of elite alpine ski racers. *Sports Med* 44: 519–533, 2014.
14. Hintermeister RA, O'Connor DD, Dillman CJ, et al. Muscle activity in slalom and giant slalom skiing. *Med Sci Sports Exerc* 27: 315–322, 1995.
15. Hydren JR, Volek JS, Maresh CM, Comstock BA, Kraemer WJ. Review of strength and conditioning for alpine ski racing. *Strength Cond J* 35: 10–28, 2013.
16. Jordan M, Aagaard P, Herzog W. Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports* 25: e301–e309, 2015.
17. Kocher MS, Feagin JA Jr. Shoulder injuries during alpine skiing. *Am J Sports Med* 24: 665–669, 1996.
18. Kokmeyer D, Wahoff M, Mymern M. Suggestions from the field for return-to-sport rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: Alpine skiing. *J Orthopaedic Sports Phys Ther* 42: 313–325, 2012.
19. Leger LA, Lambert J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO_2 max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 49: 1–12, 1982.
20. López-Plaza D, Juan-Recio C, Barbado D, Ruiz-Pérez I, Vera-Garcia FJ. Reliability of the star excursion balance test and two new similar protocols to measure trunk postural control. *PM&R* 10: 1344–1352, 2018.
21. Maxwell SM, Hull ML. Measurement of strength and loading variables on the knee during Alpine skiing. *J Biomech* 22: 609–624, 1989.
22. Neumayr G, Hoertnagl H, Pfister R, et al. Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *Int J Sports Med* 24: 571–575, 2003.
23. Noé F, Paillard T. Is postural control affected by expertise in alpine skiing? *Br J Sports Med* 39: 835–837, 2005.
24. Patterson C, Raschner C, Platzer H-P. The 2.5-minute loaded repeated jump test: Evaluating anaerobic capacity in alpine SKI racers with loaded countermovement jumps. *J Strength Cond Res* 28: 2611–2620, 2014.
25. Plisk S. SKIING: Physiological training for competitive alpine skiing. *Natl Strength Cond Assoc J* 10: 30–33, 1988.
26. Raschner C, Müller L, Patterson C, et al. Current performance testing trends in junior and elite Austrian alpine ski, snowboard and ski cross racers. *Sport Orthopädie Sport Traumatol Sports Orthopaedics Traumatol* 29: 193–202, 2013.
27. Schmitt K-U, Hörterer N, Vogt M, Frey WO, Lorenzetti S. Investigating physical fitness and race performance as determinants for the ACL injury risk in Alpine ski racing. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 8: 23, 2016.
28. Spörri J, Kröll J, Gilgien M, Müller E. How to prevent injuries in alpine ski racing: What do we know and where do we go from here? *Sports Med* 47: 599–614, 2017.
29. Stricker G, Scheiber P, Lindenhofer E, Müller E. Determination of forces in alpine skiing and snowboarding: Validation of a mobile data acquisition system. *Eur J Sport Sci* 10: 31–41, 2010.
30. Supej M, Kipp R, Holmberg HC. Mechanical parameters as predictors of performance in alpine World Cup slalom racing. *Scand J Med Sci Sports* 21: e72–e81, 2011.
31. Tanner RK, Gore CJ; Australian Institute of S. *Physiological Tests for Elite Athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2013.
32. Tesch PA. Aspects on muscle properties and use in competitive Alpine skiing. *Med Sci Sports Exerc* 27: 310–314, 1995.
33. Tomazin K, Dolenec A, Strojnik V. High-frequency fatigue after alpine slalom skiing. *Eur J Appl Physiol* 103: 189–194, 2008.
34. Turnbull JR, Kilding AE, Keogh JWL. Physiology of alpine skiing. *Scand J Med Sci* 19: 146–155, 2009.
35. Veicsteinas A, Ferretti G, Margonato V, Rosa G, Tagliabue D. Energy cost of and energy sources for alpine skiing in top athletes. *J Appl Physiol* 56: 1187–1190, 1984.

From Strength and Conditioning Journal
Volume 43, Number 2, pages 1-6.

著者紹介



James J. Pritchard :
コロラド州ヴェールにある
Ski & Snowboard Club Vail
のストレングス & コンディ
ショニングの責任者。