

【原著論文】

大学アルペンスキー選手の体力値と FIS ポイントの関連性と有効性

—世界一流アルペンスキー選手の体力値からトレーニング目標値の検討—

竹腰 誠¹⁾, 柏木 悠²⁾, 神 和人³⁾, 平野 智也⁴⁾, 藤戸 靖則¹⁾,
相馬 満利⁵⁾, 石濱 慎司⁶⁾, 船渡 和男¹⁾

¹⁾ 日本体育大学

²⁾ 専修大学スポーツ研究所

³⁾ 東北女子大学

⁴⁾ 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科

⁵⁾ 十文字学園女子大学

⁶⁾ 神奈川大学

Relationship and effectiveness of physical fitness and FIS points in collegiate alpine skiers

—Examining training target values from the physical fitness values of world-class alpine skiers—

TAKEGOSHI Makoto, KASHIWAGI Yu, JIN Kazuhito, HIRANO Tomoya, FUJITO Yasunori,
SOMA Mari, ISHIHAMA Shinji and FUNATO Kazuo

Abstract: The purpose of this study was to examine the relationship between physical fitness and performance of collegiate alpine skiers, including Japanese national athletes, and the effectiveness of the measurements and world-class athletes (World) and collegiate alpine skiers (College) was to clarify the difference in physical fitness level. Seventeen collegiate male alpine skiers participated in this study. The measurements were anthropometry, body composition, flexibility, muscle strength power test, anerobic power, and aerobic power measurement. For the performance of the alpine skiing competition, the FIS points (SL, GSL, SG) set by the International Ski Federation (FIS) were adopted. The relationship between the physical fitness test and the FIS points was evaluated using Pearson's correlation coefficient and Spearman's rank correlation coefficient. In addition, in order to examine the difference in physical fitness between Collage and World, the difference of the measured value was calculated with reference to the report of the previous study Neumayr et al. (2003). The relationship between FIS points and physical fitness measurements was shown in many fitness levels in SL and GSL competitions, with significant negative correlations with all fitness except anthropometry, body composition and flexibility. The knee flexion torque, which was related to performance, showed a larger value than Collage in World, with a difference of up to 43%. The next largest difference was the relative aerobic power at 2 mmol/l. Physical fitness factors of knee joint torque, power test, anerobic power and aerobic power of collegiate alpine skiers were found to be significantly correlated with alpine skiing performance. The results of this study suggested that the target value of physical training to the world level.

要旨: 本研究の目的は、日本代表選手を含む大学アルペンスキー選手の体力測定値とパフォーマンスの関係性を検討し、その測定値の有効性と世界一流選手 (World) と大学アルペンスキー選手 (College) の体力レベルの差を明らかにすることでトレーニングへの一助とすることを目的とした。被験者は、17名の日本代表選手を含む大学男子アルペンスキー選手 (Collage) であった。測定項目は、形態・身体組成、柔軟性、筋力、非乳酸性パワー、乳酸性パワー、そして有酸素性パワーの測定であった。アルペンスキー競技のパフォーマンスには、国際スキー連盟 (FIS) が定める FIS ポイント (回転、大回転、スーパー大回転) を採用した。体力測定項目と FIS ポイントの関係性には、ピアソンの積立相関係数および

スピアマンの順位相関係数を用いて評価した。また、Collage と World の体力の差の検討には、先行研究 Neumayr et al. (2003) の報告を参考した。FIS ポイントと体力測定値の関係性は、形態・身体組成と柔軟性以外の全ての項目と有意な負の相関関係がみられた。FIS ポイントとの関係性がみられた膝屈曲トルクは、World が Collage より大きな値を示し、最大 43% の差であった。その次に大きな差がみられた測定項目は、2 mmol/l の相対的な有酸素性パワーであった。大学生アルペンスキー選手の膝伸展屈曲トルク、非乳酸性パワー、乳酸性パワーおよび有酸素性パワーの体力要素は、アルペンスキー競技パフォーマンスと有意な相関関係が認められ、世界レベルを目指すための体力トレーニングの目標値が示された。

(Received: September 28, 2020 Accepted: January 21, 2021)

Key words: Alpine ski, Aerobic power, Knee flexion torque

キーワード: アルペンスキー, 有酸素性パワー, 膝屈曲トルク

1 緒 言

アルペンスキー競技は、技術系と呼ばれる、回転 (SL), 大回転 (GSL) 競技と高速系と呼ばれるスーパー大回転 (SG), 滑降 (DH) 競技の主に 4 種目に分けられ、欧州を中心に盛んなウィンタースポーツの一つである (SL と SG または DH の複合競技もある^{注1)})。技術系種目は、2 本の滑走合計タイム、高速系種目は 1 本の滑走タイムで勝敗が決定される。競技時間は、40 秒から 120 秒間であり、滑走速度は、時速約 60 km/h から最大で 140 km/h 以上に到達する競技である。滑走コースの設定や旗門のルールは、国際スキー連盟 (FIS) によって規定されている (International ski Federation, 2020)。実際にレースに使用されるコースは自然の起伏を含むため、アルペンスキー選手は、有酸素性パワー、無酸素性パワー、筋力、筋持久力、平衡性そして柔軟性など様々な体力的要素が必要と考えられている (Hydren et al., 2013)。この様な競技特性から、これまでにアルペンスキー選手の体力特性は、世界トップ選手を始めジュニア選手に至るまで多くの調査が報告されてきた (Brown and Wilkinson, 1983 ; Karlsson, 1984; 山田ほか, 1984; Neumayr et al., 2003; 相原ほか, 2011; Gorski et al., 2014; 近藤・竹田, 2015; 中里ほか, 2020)。また、これらの体力的要素を検討するために、滑走中のエネルギー供給系の推定 (Veicsteinas et al., 1984; Saibene et al., 1985) から運動強度の決定 (Andersen and Montgomery, 1988; Seifert et al., 2009; Emeterio and Gonzalez, 2010) や、滑走中の身体に加わる負荷の定量化 (Matej and Holmberg, 2010; Supej et al., 2011) が検討されてきた。これら多くの研究報告から、アルペンスキー競技が滑走技術だけでなく、体力的要素が深くパフォーマンスに関係していることが理解できる。

体力要素の中でも特に下肢筋力は、アルペンスキー競技パフォーマンスと関係性が強い体力要素の一つで

ある。その理由として滑走中の身体に加わる負荷は、速度領域が一番低い SL においても 2 G ($G: 9.81 \text{ m/s}^2$) から最大で 3 G にも到達する (Hydren et al., 2013)。そして、世界のナショナルレベルのスキー選手においては、膝伸展トルクで体重の 3 ~ 4 倍の関節トルクを発揮することが報告されている (Brown and Wilkinson, 1983 ; 山田ほか, 1984 ; 国立スポーツ科学センター, 2012)。さらにこの膝伸展トルクと競技パフォーマンスには、有意な高い相関関係があることが示されている (相原ほか, 2011; 近藤・竹田, 2015; 中里ほか, 2020)。したがって、アルペンスキー選手の下肢筋力の検討は、競技パフォーマンスを向上させるための重要な体力要素の 1 つであることが理解できる。

下肢筋力要素以外の研究報告では、競技時間から滑走中のエネルギー供給系の割合が検討されてきた (Veicsteinas et al., 1984 ; Saibene et al., 1985)。滑走中のエネルギー供給の割合は、有酸素性が 30~46%、乳酸系が 25~40%、非乳酸系が 25~30% と推定されている。そのため、アルペンスキー選手の無酸素性パワー発揮に関する多くの研究が報告されている (Miura, 2015; 近藤・竹田, 2015; Ferland and Comtois, 2018)。また、有酸素性能力においては、過去にワールドカップで最多勝利を挙げた選手の最大酸素摂取量は、70 ml/kg/min にも及ぶこと報告され (Karlsson, 1984)、有酸素性能力の強化もパフォーマンス向上に重要であることが伺える。過去 30 年間ワールドカップにおいて国別対抗 1 位で活躍するオーストリアナショナルチームの体力測定値とワールドカップランキングを検討した報告では、最大酸素摂取量と高速系種目の競技パフォーマンスに有意な相関関係が示されている (Neumayr et al., 2003)。しかし、一方では有酸素性能力と競技パフォーマンスの関係性が認められていない報告もあり (塩野谷, 1991; 中里ほか, 2020)、一貫した見解が得られていない。

アルペンスキー競技の動作の特徴から体力的要素を

検討した報告では、スキークの左右連続的なターン動作の下肢筋活動は、伸長-短縮サイクルと類似していると考えられ (Vogt and Hoppeler, 2014), ジャンプ系の非乳酸性パワー発揮が検討されている (Bosco et al., 1983)。このようなジャンプ系の非乳酸性パワーの体力的要素は、筋力や無酸素性パワー、有酸素性パワーの体力要素以上に、スキーク動作に類似しているため、アルペンスキーパフォーマンスへの関与や、選手のコンディショニング評価の指標として用いられてきた (星野ほか, 2011)。このように、アルペンスキー競技のパフォーマンスは、実際の雪上での滑走技術以外に、体力的要素が非常に強く関係していることがこれまでの研究報告で明らかとなっている。

ところで日本人アルペンスキー選手のオリンピックの過去の最高成績は、1956年のコルチナ・ダンベツォ冬季オリンピック大会でのSL競技の銀メダルであり、近年では2006年のトリノオリンピックSL競技の4位入賞が最高成績である。しかしながら、現在の日本のアルペンスキー界は、他の夏季競技やスケート競技のメダル獲得数と総合的な成績を比較しても優れているとは言い難い。ここ数年の世界カップ成績においては、2本目の滑走資格を得ることすら困難な状況である^{注2)}。このような状況の中で、現全日本男子ナショナルチーム4名のうち3名が大学所属選手 (全日本スキー連盟, 2020) であることから、大学生は現在の日本アルペンスキー界の強化の中心であり、更なるレベルアップが急務である。また、アルペンスキー競技が盛んな欧州に比べて、日本では1年間を通して雪上トレーニングを行える環境がなく、シーズンインで多くの滑走量を稼ぐためにもオフシーズンの体力の向上は重要となる。しかし、世界レベルと比較して体力的にどのくらい差が生じているのかは不明である。世界で活躍する強豪国では、ジュニア世代からトップチームまでの体力値を縦断的に調査 (Raschner et al., 2013; Gorski et al., 2014) しているほど、アルペンスキー選手の体力要素を重要視している。競技スポーツは、時代と共に環境も変化するため、時代ごとに選手の体力データをアップデートしていくことは、将来の選手強化、タレント発掘においても重要であると考えられる。また、アルペンスキーパフォーマンスと体力要素の関係性を明らかにすることも重要であるが、強化現場においては、同時に具体的な目標数値を示すことも重要であると考えられる。

そこで本研究は、日本代表選手を含む大学アルペンスキー選手の体力測定値とパフォーマンスの関係性を検討し、その測定値の有効性と Neumary et al. (2003) が報告しているオーストリアアルペンスキー選手の体力値を参考に、世界一流選手 (World) と大学アルペ

ンスキー選手 (College) の体力レベルの差を明らかにすることでトレーニングへの一助とすることを目的とした。

II 方法

1. 対象者

被験者は、現全日本代表選手2名を含む全日本学生スキー連盟男子一部に所属する大学アルペンスキー選手17名を対象とした。被験者の身体的特徴はTable 1に示す。体力測定は、シーズンオフの4月とシーズン直前の9月の年2回実施しており、アルペンスキーパフォーマンスに影響する2回目の測定値を採用した。アルペンスキーパフォーマンスは、国際スキー連盟 (FIS) から世界共通で付与されるFISポイント採用した (International ski Federation, 2020)。ここでFISポイントは、以下の式で表される。

$$\text{FIS point} = \frac{F \cdot T_x}{T_0} \quad \text{①}$$

ここで、 T_0 は、レース優勝者のタイム、 T_x は、選手個々のタイム、 F は、FISが定める各競技種目の係数 (SL: 730, GSL: 1010, SG: 1190) を示す。FISポイントは、ポイントが低いほどパフォーマンスが優れていることを示す。各選手は、1シーズンで参戦したレースの中の最も良い2レースの平均値がそのシーズの最終的なFISポイントとし付与される。FISポイントは、2018/2019シーズンの最終版をSAJのデータベースより参照した (全日本スキー連盟, 2020)。被験者には予め本研究の趣旨、内容を説明し、実験参加の同意を得た。なお、本研究は、日本体育大学倫理審査委員会 (承認番号: 019-H173) の承認を得て実施した。

2. 測定項目

測定項目は、形態・身体組成、柔軟性、筋力、非乳酸性パワー、乳酸性パワー、有酸素性パワーの6つの測定項目を実施した。

2-1 形態・身体組成 (Anthropometry・Body composition: ABC)

体脂肪率の計測には、空気置換法BODPOD (COSMED社製) を用いて計測した。被験者は測定に先立ち、2時間前には、飲食と激しい運動をすることを禁止した。測定の服装は、下半身にスパッツを履き、毛髪はスイムキャップを被りまとめた。体脂肪率算出のための身体密度値は、Brozek et al. (1963) の式を用いた。また、形態測定には、三次元人体計測法Body Line Scan (浜松ホトニクス社製) を用いて、被験者の全身をスキャンした。大腿部周径は、大腿長の50%

大学アルペンスキー選手の体力値と FIS ポイントの関連性と有効性

Table 1 Comparison of physical fitness data between Collegiate and World alpine skier

FIS point	This study (n=17)				Neumayr (2003) n=28		
	Unit	Mean	SD	95% Interval	Mean	SD	
SL		61.6	23.6	50.4–72.8			
GSL	Point	69.0	24.5	57.3–80.7			
SG		185.1	73.6	150.2–220.1			
ABC							
BH	m	1.72	0.1	1.70–1.74	1.81	0.06	
BW	kg	73.3	8.5	69.2–77.3	87	7.1	
BMI		24.8	2.4	23.7–26.0	26.5	1.7	
%Fat	%	13.7	6.6	10.5–16.8	15.8	3.7	
LBM	kg	62.8	4.4	60.8–64.9	73.3		
Thigh Circumference	cm	57.3	3.2	55.7–58.8	64.5	1.5	
Flexibility							
Forward bending	cm	52.6	7.3	49.1–56.1			
Muscle strength							
Grip strength	kg	54.5	6.8	51.3–57.7			
Back strength	kg	158.7	26.5	146.1–171.3			
Peak Torque							
60deg/s	Ex	Nm	253.5	41.7	233.7–273.3	314.0	44
		Nm/kg	3.5	0.5	3.2–3.7	3.6	
	Flx	Nm	130.2	16.8	122.3–138.2	186.0	24
		Nm/kg	1.8	0.2	1.7–1.9	2.1	
HQ raito	%	51.9	6.0	49.1–54.8	59.2		
120deg/s	Ex	Nm	206.1	27.6	192.9–219.2		
		Nm/kg	2.8	0.4	2.6–3.0		
	Flx	Nm	122.9	19.0	113.9–132.0		
		Nm/kg	1.7	0.2	1.6–1.8		
HQ raito	%	59.8	5.9	57.0–62.6			
Power Test							
Leg power	W	1599.4	304.7	1454.6–1744.3			
	W/kg	22.0	4.1	20.0–23.9			
Vertical Jump		42.4	4.2	40.4–44.4			
Squat Jump	cm	35.1	4.1	33.2–37.0			
Aneribic Power							
High power	W	1057.6	142.5	989.9–1125.4			
	W/kg	14.6	1.4	13.9–15.3			
30s Win Gate test							
Average power	W	703.3	79.5	665.5–741.1			
	W/kg	9.6	0.7	9.3–9.9			
Peak power	W	905.1	110.9	852.4–957.8			
	W/kg	12.4	0.8	12.0–12.8			
	rpm	169.1	10.2	164.2–173.9			
Aerobic Power							
@LT	Power	W	150.8	47.2	128.4–173.3		
		W/kg	2.0	0.7	1.7–2.4	2.6	0.3
	HR	bpm	144.2	13.6	137.8–150.7		
@OBLA	Power	W	224.3	30.4	209.8–238.7		
	HR	bpm	171.7	8.5	167.6–175.7	3.6	0.3
@MAX	Power	W	343.1	34.5	326.6–359.5		
		W/kg	4.6	0.9	4.2–5.1	4.7	0.4
	HR	bpm	193.8	7.9	190.0–197.5		
	VO2max	ml/kg/min	52.0	10.2	47.2–56.9	58.7	3.2
	Lactate	mmol	12.2	3.4	10.6–13.9	12	1.6

The data of LBM, relative peak torque and HQ ration data of Nermayr(2003) calculated from the average value.

部位を計測した。分析には、利き足（ボールを蹴る脚と定義）側を用いた（van Melick et al., 2017）。形態身体組成の測定には、健康およびスポーツ科学の領域で国際基準として知られている国際キンアンソロポメトリ推進学会（International Society for the Advancement of Kinanthropometry, 2020）から身体計測技師（anthropometrist: レベル 1）の認定を受けた検者が実施した。

2-2 柔軟性測定

柔軟性は、文部科学省が定める新体力テストに沿って、デジタル式長座体前屈計（TKK-5412 竹井機器）を用いて長座体前屈測定を 2 回測定し、良い値を採用した。

2-3 筋力測定

筋力の測定は、握力、背筋力、膝伸展屈曲トルクの測定を行った。握力の測定は、文部科学省が定める新体力テストに沿って、スメドレー式握力計（竹井機器社製）を用いて左右 2 回ずつ測定し、最大値を採用した。背筋力の測定には、デジタル背筋力計（TKK-5402 竹井機器社製）を用いて 2 回測定し、良い値を採用した。

膝伸展屈曲トルクの計測には、等速性筋力測定装置 Biodex system 4（Biodex 社製）を用いて、椅座位による膝関節完全伸展位を 0° として屈曲位 100° から 0° の範囲で角速度条件 60 deg/s と 120 deg/s の 2 条件で実施した。被験者は、計測前に十分な準備運動およびウォーミングアップを実施し、膝関節伸展屈曲運動を 3 往復全力で実施し、利き脚の最も高い値を膝伸展屈曲ピークトルクとして評価した。また、得られた値から、伸展トルクに対する屈曲トルクの比率を表す、Hamstrings/Quadriceps ratio (HQ ratio: %) を算出した。

2-4 非乳酸性パワー測定

非乳酸性パワーの測定は、脚伸展パワー、垂直跳び、スクワットジャンプ、ハイパワーテストを実施した。

脚伸展パワー（Leg Power）の測定は、等速性脚伸展力計（レッグパワー、竹井機器社製）を用いて 1.0 m/s の速度条件で実施した。被験者は、シートのベルトに固定され、腕を胸の前で組んだ状態で、最大努力でプレート蹴った。測定は 2 回実施し、最大値を採用した。垂直跳びとスクワットジャンプの測定は、フォースプレート（Kistler 社製）を用いて測定した。両ジャンプ測定とともに被験者は、手を腰に充てた状態で、垂直跳び（反動あり）とスクワットジャンプ（反動なし）の条件で最大努力の跳躍を 2 回ずつ測定した。跳躍高の

算出には、フォースプレートから得られる鉛直成分（Fz）の力データから滞空時間法（ $1/8 \text{ gt}^2$: $g=9.81 \text{ m/s}^2$, $t=\text{time air}$ ）を用いて算出し、記録の良い値を採用した。最大無酸素性パワーは、自転車エルゴメーター（Power Max III Combi 社製）を用いて、最大無酸素性パワーテストを実施した。得られた平均パワー、最大パワー値は、被験者の体重によって正規化した。

2-5 乳酸性パワー測定

乳酸性パワーの測定は、自転車エルゴメーター Power Max III（Combi 社製）を用いて、被験者の体重の 0.075 倍の負荷による 30 秒間全力ペダリングを行った。30 秒間の全力ペダリング中の平均パワー、最大パワーおよび最大回転数を記録した。得られたパワー値は、被験者の体重によって正規化した。

2-6 有酸素作性パワー測定

自転車エルゴメーター Power Max III（Combi 社製）を用いて、1 ステージ運動時間 4 分間、負荷値 80 W 、回転数 90 rpm でスタートし、 40 W ずつの漸増負荷テストを行った。各ステージの血中乳酸濃度の測定には、ラクテート・プロ 2（アーククレイ社製）を使用した。血中乳酸濃度が 4 mmol/l 以上が確認された後、1 分毎に 15 W ずつ漸増し、疲労困憊まで追い込んだ。酸素摂取量の測定には、ガス分析器エアロモニタ AE-310S（ミナト医科学社製）を用いて、ミクシングチャンバー法によって 10 秒間中の呼気から酸素摂取量を測定した。最大酸素摂取量の特定は、最大値の前後 30 秒間のデータを平均値した。同時に心拍数の計測は、心拍モニターポラール V800（Polar 社製）を用いて 1 秒毎の心拍数を測定した。漸増負荷テストによって得られた血中乳酸濃度と自転車エルゴメーターの負荷値から 2 mmol/l （LT 時）および 4 mmol/l （OBLA 時）強度のパワー値を最小二乗方によって推定した。

3. 統計分析

測定変数は、全て平均値 \pm 標準偏差で示し、また、得られた測定値から 95% 信頼区間を算出した。アルペンスキー競技パフォーマンス示す FIS ポイントと体力測定値の関係性を検討する前に、測定値を Shapiro-Wilk test によって正規性の検討をおこなった。正規性が認められた場合は、ピアソンの積立相関係数を用いて評価した。正規性が認められなかった測定値に関しては、スピアマンの順位相関係数を用いて評価した。統計的有意性は、危険率 5% 未満で判定した。統計分析には、統計分析ソフト SPSS statistics ver5（IBM 社製）を用いた。尚、本研究（College）と先行研究（Neumayr et al., 2003）には、測定方法の違いがあるが、体力測定

の目標値を検討するために、平均値の差から比率を算出し $\{(\text{World}-\text{College})/\text{College} \times 100\%$ 用いた。

III 結 果

Table 2 には、FIS ポイントと体力測定値の相関分析の結果を示した。形態・身体組成と FIS ポイントにおいては、GSL と体脂肪率に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.542, p<0.05$)。その他の測定値においては、有意な相関関係は認められなかった。

膝伸展屈曲トルクと FIS ポイントにおいては、60 deg/s 速度条件下の伸展トルクの相対値 (GSL: $r=-0.515, p<0.05$)、屈曲トルクの絶対値 (GSL: $r=-0.537, p<0.05$) と相対値 (GSL: $r=-0.713, p<0.01, SL: r=-0.566, p<0.05$) で、それぞれ有意な負の相関関係が認められた。

120 deg/s 速度条件下では、屈曲トルクの絶対値 (GSL: $r=-0.513, p<0.05$)、相対値 (GSL: $r=-0.716, p<0.01, SL: r=-0.645, p<0.01$) および HQ ratio (GSL: $r=-0.494, p<0.05$) で、それぞれ有意な負の相関関係が認められた。

非乳酸性パワーと FIS ポイントにおいては、垂直跳び (SL: $r=-0.627, p<0.01, GSL: r=-0.672, p<0.01, SG: r=-0.505, p<0.05$) とスクワットジャンプ (SL: $r=-0.564, p<0.05, GSL: r=-0.536, p<0.05, SG: r=-0.583, p<0.05$) および最大無酸素性パワーの相対値 (SL: $r=-0.593, p<0.05, GSL: r=-0.542, p<0.05$) で有意な負の相関関係が認められた。

乳酸性パワーと FIS ポイントにおいては、平均パワーの相対値 (SL: $r=-0.515, p<0.05, GSL: r=-0.484, p<0.05$) と最大パワーの相対値 (GSL: $r=-0.570, p<0.05$) に有意な負の相関関係がみられた。

有酸素性パワーと FIS ポイントにおいては、OBLA 時のパワーの絶対値 (SL: $r=-0.509, p<0.05$) と相対値

(SL: $r=-0.535, p<0.05$)、心拍数 (SL: $r=-0.517, p<0.05$)、Max 時のパワーの絶対値 (SL: $r=-0.632, p<0.01, GSL: r=-0.515, p<0.01$)、最大酸素摂取量 (SL: $r=-0.493, p<0.05, GSL: r=-0.483, p<0.05$) との間に有意な負の相関関係が認められた。

IV 考 察

1. 形態・身体組成

本研究の形態・身体組成の体脂肪率と GSL ポイントには、有意な正の相関関係がみられた ($r=0.542, p<0.05, Table 2$)。先行研究において体脂肪率と競技パフォーマンスとの関係性に有意な相関関係が認められておらず (相原ほか, 2011; 中里ほか, 2020)、本研究は異なる結果を示した。一般的に競技者は、筋肉量を増量し、体脂肪率を落とすことがセオリーであることは周知の事実であり、トレーニング効果を評価するためには重要な指標となる。しかし、アルペンスキー競技は、階級制スポーツではなく、また体重は、力学的位置エネルギーに影響するため、体脂肪率が他の競技に比べてパフォーマンスに対しての影響は小さいと考えられる (Vermeulen et al., 2017)。さらに、日本代表アルペンスキー選手の体脂肪率は (国立スポーツ科学センター, 2012)、他の競技スポーツ選手と比較して高値を示していることから、パフォーマンスへの影響は低いと考えられる。

形態・身体組成において全ての項目において World が College より大きな値を示し、体重は、最大で 19% の差がみられた (Table 1)。また、本研究の World と College の体脂肪率と除脂肪量を比較すると、それぞれ、両群には、16%、17% の差がみられた。2002 年から 2012 年の 10 年間の全日本アルペンナショナルチーム男子の形態・身体組成の調査では、身長 174.2 ± 4.4 cm、体重 77.1 ± 7.5 kg、体脂肪率 $12.9 \pm 4.1\%$ と報告され

Table 2 Relationship between FIS point and Physical fitness data in collegiate alpine skier

	Anthropometry · Body composition																Flexibility			Muscle Strength			Peak torque					
	BH	BW	BMI	%Fat	LBM	Thigh Circumference	Forward bending	Grip strength	Back strength	60deg/s			120deg/s			Ex	Flx	HQ ratio	Ex	Flx	HQ ratio							
										Ex	Flx	HQ ratio	Ex	Flx	HQ ratio													
										Nm	Nm/kg	Nm	Nm/kg	%	Nm							Nm/kg	Nm	Nm/kg	%			
m	kg		%	kg	cm	cm	kg	kg	Nm	Nm/kg	Nm	Nm/kg	%	Nm	Nm/kg	Nm	Nm/kg	%										
FIS-SL	-0.06	0.249	0.325	0.377	-0.327	0.271	0.138	-0.12	-0.408	-0.302	-0.471	-0.383	-0.566*	0.016	-0.21	-0.391	-0.43	-0.645**	-0.355									
FIS-GSL	-0.134	0.218	0.332	0.542†	-0.332	0.292	0.414	-0.044	-0.267	-0.362	-0.515*	-0.537*	-0.713**	-0.078	-0.207	-0.372	-0.513*	-0.716**	-0.494*									
FIS-SG	0.059	0.161	0.163	0.277	-0.141	0.193	0.105	0.026	-0.09	-0.094	-0.187	-0.166	-0.266	-0.027	-0.049	-0.159	-0.219	-0.346	-0.279									

	Power test			Aerobic power			30s Win Gate test			Aerobic power												
	Leg Power	Vertical Jump	Squat Jump	High power	Average power	Peak power	@LT			@OBLA			@Max									
							Power	HR	Power	HR	Power	HR	VO2max	Lactate								
							W	W/kg	cm	W	W/kg	W	W/kg	rpm	W	W/kg	bpm	W	W/kg	bpm	ml/kg/min	mmol
FIS-SL	-0.261	-0.347	-0.627††	-0.564*	-0.291	-0.593*	-0.101	-0.515*	-0.073	-0.570*	-0.48	-0.323	-0.425	-0.324	-0.509*	-0.535*	-0.517*	-0.632**	-0.37	-0.343	-0.493*	-0.157
FIS-GSL	-0.203	-0.275	-0.672††	-0.536*	-0.267	-0.542*	-0.112	-0.484*	0.023	-0.327	-0.273	-0.299	-0.404	-0.362	-0.382	-0.45	-0.424	-0.515*	-0.363	-0.422	-0.483*	-0.265
FIS-SG	0.013	-0.029	-0.505†	-0.583*	-0.047	-0.152	0.014	-0.189	-0.01	-0.273	-0.21	-0.361	-0.4	-0.155	-0.363	-0.337	-0.136	-0.169	-0.132	0.078	-0.331	0.133

Note: Pearson product moment correlation coefficient * $p<0.05$, ** $p<0.01$
Spearman's rank correlation coefficient † $p<0.05$, †† $p<0.01$

ており（国立スポーツ科学センター，2012），本研究の95%信頼区間の上限が全日本ナショナルチームの平均値にはほぼ該当する結果であった。過去のアルペンスキー選手の形態・身体組成をみてみると，1980年代の海外のナショナルチームの平均身長は，約170 cm後半，体重は80 kg以下であった（Brown and Wilkinson, 1983; Veicsteinas et al., 1984; 山田ほか，1984; Saibene et al., 1985）。アルペンスキー競技パフォーマンスは，身長差より，明らかに体重差が影響すると報告されている（Brown and Wilkinson, 1983）。本研究のCollegeと同年代であり，強豪国の1つであるのスイスU21選手（Gorski et al., 2014）と同国シニアチーム（Spring and Jordan, 1994）の体重には約6 kg差がみられ，アンダーカテゴリーからシニアカテゴリーへの体力値の移行には，除脂肪量の増加が推測され，競技力向上のための要素であることが示唆できる。

しかし，平均身長が低い日本人選手において体重の増加には限界があり，競技力向上に必要な体力要素と短絡的に結論づけることはできない。これまでに日本人選手が活躍してきたSLの技術系種目においては，体のサイズが競技成績に関係しないことが報告されている（Vermeulen et al., 2017）。先行研究（Neumayr et al., 2003）の身体組成の測定方法を確認することができなかったため，先行研究の値を参考にする場合，測定方法の違いによる3～4%の測定誤差（設楽ほか，2017）を考慮して議論しなければならない。本研究のCollegeの結果，全日本ナショナルチームおよび先行研究の結果を踏まえると，個人差はあるが，日本人選手の目標値として，体重80 kg，体脂肪率15%以内が限界と推察される。今後，サンプル数と人種差を考慮して検討する必要があると考える。

2. 膝伸展屈曲トルク

本研究の膝伸展屈曲トルクとFISポイントの関係性をみると伸展トルクでは，60 deg/sの相対値と負の相関関係が認められ，また，屈曲トルクでは，両速度条件においてSLで相対値，GSLは絶対値と相対値で有意な負の相関関係が認められた（Table 2）。先行研究の多くは，アルペンスキーパフォーマンスと膝伸展トルクとの間には有意な相関関係が認められており（相原ほか，2011; 近藤・竹田，2015），本研究の結果は，先行研究を支持する結果であった。一方でアンダーカテゴリーでは，膝伸展屈曲トルクとFISポイントには相関関係が認められず（中里ほか，2020），技術的要素がパフォーマンスの差に影響が大きいと報告されていることから，下肢筋力のトレーニングにおいて発育発達を考慮する必要があることが考えられた。

本研究における120 deg/s速度条件下の膝伸展屈曲

トルクのHQ ratioは，GSLと有意な負の相関関係が認められ（ $r=-0.494$, $p<0.05$ ），これまでの先行研究の報告と異なる結果を示した。一般的にHQ ratioは，傷害リスクに関係することが報告されている（Jordan et al., 2015; Muller et al., 2016）。アルペンスキーパフォーマンスは，ターン始動局面の速度をいかにエネルギーロスすることなく後半期にスキーを滑走させることがパフォーマンスに影響することが明らかとなっている（Supej et al., 2011）。そしてこのターン始動局面では，身体が斜面へ落下していくため，不安定となる身体を伸展筋群と共に屈曲筋群が共同収縮活動を繰り返してバランス維持をするため（Clarys and Cabri, 1991），ターン始動局面の技術の差が，アルペンスキーパフォーマンスに大きく影響することが考えられる。したがって，HQ ratioは，傷害リスクの指標のみならず，ターン始動局面の技術に関係する体力要素として捉えることができる可能性が示唆された。

本研究のCollegeとWorldの形態・身体組成には，明らかな差が生じており，体のサイズを考慮し，さらに全日本アルペナショナルチームの伸展トルクの体重あたり3.7 Nm/kgと比較すると，Collegeの膝伸展トルクの相対値は高い傾向にあると考えられる。滑走中の身体への力学的負荷（Matej and Holmberg, 2010; Supej et al., 2011）を考慮すると伸展トルクの相対値は，最低3.0 Nm/kg以上の値が必要と考えられ，更に世界レベルで戦うためには，先行研究（Neumayr et al., 2003; 国立スポーツ科学センター，2012; 近藤・竹田，2015）と本研究の95%信頼区間の結果から検討すると，膝伸展トルクの相対値は，60 deg/s速度条件下で最低でも3.5 Nm/kg以上の値が必要であると示唆する。

一方で，Worldの60 deg/s速度条件下の屈曲トルクは 186 ± 24 Nm，Collageは 129 ± 17 Nmであり，相対値でもそれぞれ，2.1 Nm/kg，1.8 Nm/kgとWorldがCollageより大きな値を示した。また，HQ ratioにおいてもWorldが約60%と非常に高い値を示した。屈曲筋群のアルペンスキー技術への関与は，前述したように1ターンのパフォーマンスに大いに影響することからも重要であり，屈曲トルクの強さはナショナルレベルの特徴であると考えられる。しかし，HQ ratioの評価をする際は，あくまで伸展トルクに対する屈曲トルクの比率となるため伸展トルクの値に注意すべきである。膝伸展屈曲トルクの目標値は，全日本アルペナショナルチーム（国立スポーツ科学センター，2012）とNeumayr et al. (2003)の報告から検討すると，60 deg/s速度条件下で体重あたり伸展トルクが3.5 Nm/kg，屈曲トルクが2.0 Nm/kg以上が必要となり，また，傷害予防からの観点からHQ ratioは55%以上を目標値とすべきであろう。

3. 非乳酸性パワー

本研究の非乳酸性パワーの測定項目として脚伸展パワー、ジャンプテスト（垂直跳び、スクワットジャンプ）および自転車エルゴメーターを用いた最大無酸素性パワーテストを実施した。その結果、非乳酸性パワーと FIS ポイントにおいては、垂直跳び（SL: $r=-0.627$, $p<0.01$, GSL: $r=-0.672$, $p<0.01$, SG: $r=-0.505$, $p<0.05$ ）とスクワットジャンプ（SL: $r=-0.564$, $p<0.05$, GSL: $r=-0.536$, $p<0.05$, SG: $r=-0.583$, $p<0.05$ ）および最大無酸素性パワーの相対値（SL: $r=-0.593$, $p<0.05$, GSL: $r=-0.542$, $p<0.05$ ）で有意な負の相関関係が認められた。この体力的要素については対象とする選手のカテゴリーによっては、有意な相関関係は認められず、見解が一致していない（近藤・竹田, 2015; Miura, 2015; 中里ほか, 2020）。本研究においては、脚伸展パワーを除いては、FIS ポイントと有意な相関関係が認められており、特にジャンプテストは、全て種目の FIS ポイントと相関関係がみられた。脚伸展パワーは、垂直跳びとの相関が強い体力要素であるが（船渡ほか, 2008）、本研究においてこの両者の相関関係は認められなかった。アルペンスキー動作の特徴として、連続するターン動作中の下肢の筋活動は、伸長-短縮サイクルと類似していると考えられているため（Vogt and Hoppeler, 2014）、ジャンプ系の測定は、フィットネスチェックとしての有効性が多くの研究で認められている（Bosco et al., 1983; Patterson et al., 2009; 星野ほか, 2011; Patterson et al., 2019）。また、スキーブーツの着用によって足関節が固定されることにより通常のジャンプ動作より、股関節トルクの増大（Kashiwagi et al., 2017）と大腿二頭筋の筋腱複合体長の変化が著しく大きくなり、競技種目の専門性が報告されている（石毛, 2017）。したがって、アルペンスキー選手の非乳酸性パワー評価には、下肢の関節可動域を広く、且つ複合的に動かすスキー動作に近い動作課題で評価することが望ましいと考えられる。

本研究において、ジャンプ種目が唯一 SG 種目との相関関係がみられた。この原因は、種目特性として高速度で大きな G に耐えなければならないため、特に反動動作を用いないスクワットジャンプの地面を押す力発揮特性が類似しているのではないかと推測された。総じてジャンプテストは、測定環境などを考慮するとフィールドで簡易的にアルペンスキー選手のパフォーマンスを評価するために最も有効的な非乳酸性パワー測定の手段であると考えられる。

4. 乳酸性パワー

本研究の乳酸性パワーと FIS ポイントにおいては、平均パワーの相対値（SL: $r=-0.515$, $p<0.05$, GSL: $r=-0.484$, $p<0.05$ ）と最大パワーの相対値（SL: $r=-0.570$, $p<0.05$ ）に有意な負の相関関係がみられた。アルペンスキーは、競技時間が 40-120 秒程度あり、滑走中のエネルギー供給系の中で乳酸系が 25-40% と推定されているため（Veicsteinas et al., 1984; Saibene et al., 1985）、最も競技中の生理学的負荷に近いと考えられる。このような生理学的負荷を考慮して、アルペンスキー独自のフィットネステスト（Piper et al., 1987; Hydren et al., 2013）や自転車エルゴメーターを用いたテスト（近藤・竹田, 2015）が実施されている。本研究において乳酸性パワーとパフォーマンスの関係性という点では、先行研究を支持する結果であった。アルペンスキー選手における乳酸性パワーテストは、自転車ペダリングやアルペンスキー独自の台跳びテスト（Piper et al., 1987; Hydren et al., 2013）のどちらであってもパフォーマンスと関係性がみられるため、非乳酸性パワーテストのように動作に依存しない体力要素であることが示された。

5. 有酸素性パワー

本研究の有酸素性パワーの体力測定項目と SL ポイントの関係性をみると、OBLA 時のパワー（絶対値: $r=-0.509$, $p<0.05$, 相対値: $r=-0.535$, $p<0.05$ ）、心拍数（ $r=-0.517$, $p<0.05$ ）、と最大時のパワー（絶対値: $r=-0.632$, $p<0.01$ ）、最大酸素摂取量（ $r=-0.493$, $p<0.05$ ）、GSL とは、最大時のパワー（ $r=-0.515$, $p<0.05$ ）と最大酸素摂取量（ $r=-0.483$, $p<0.05$ ）に有意な負の相関関係が認められた。これまでに、有酸素性パワーと FIS ポイントの関係性を検討した報告において有意な相関関係が認められたのは、高速系種目であり（Neumayr et al., 2003）、技術系種目で検討している研究においては、見解が一致していない（塩野谷, 1991; 相原ほか, 2011; 近藤・竹田, 2015; 中里ほか, 2020）。その理由には、競技種目時間のエネルギー供給系の割合の違いが大きく影響していると考えられる（山本ほか, 1999）。しかし、エリートスキー選手の有酸素性能力の報告（Andersen and Montgomery, 1988）や過去にワールドカップ最多勝利を挙げた選手の最大酸素摂取量が 70 ml/kg/min（Karlsson, 1984）であることからアルペンスキーの競技力向上には、決して無視はできない体力要素であると考えられる。

5. 有酸素性パワー

滑走中の生理学的負荷は、心拍が最大心拍数の 95%（Andersen and Montgomery, 1988）、滑走直後の血中乳酸素濃度は、12 ~ 15 mmol/l に達する（Seifert et al., 2009; Emeterio and Gonzalez, 2010）。また、オリンピックレベルのアルペンスキー選手の 1 回の雪上トレーニングセッション内容は GSL 種目であれば約 50 秒のコース設定で 30-40 ターンを 6 ~ 12 本滑走する。

つまり、1本1本の滑走は無酸素性運動に近い状態であるが、1回のトレーニングセッション全体を通しては、有酸素性運動の要素が強く、いかに滑走間のリフト乗車時に血中乳酸濃度を除去または、再利用するインターバル的な要素が必要とされることも事実である。更に年間の雪上滑走日数は、130-150日にも到達すると報告されている (Gilgien et al., 2018)。このトレーニングサイクルを繰り返さなければならないため、雪上のトレーニング量を確保するためには有酸素性能力がいかに重要か伺える。以上のことから本研究は、有酸素性パワーの指標は、アルペンスキー競技におけるパフォーマンスに関係する重要な体力要素であると結論づける。

有酸素性パワーにおいて、WorldとCollegeを比較すると、最大血中乳酸濃度および最大パワーを除いては、有意にWorldがCollegeより高い値を示し、WorldのLT時とOBLA時のパワーでは、Collegeと比較してそれぞれ、28%、19%と大きな差がみられた。この結果は、世界レベルの競技者は、11月から3月までのワールドカップに参戦し、限られた期間に多くのレースでコンスタントに結果を残さなければならないため、コンディションを一定に保つための必要な体力要素であると推測される。日本人選手の場合は、移動距離や時差などコンディション調整のハンデも背負わなければならないため、世界レベルで戦うためには、より強化しなければならない体力要素であると考えられる。有酸素性パワーに関して、全日本ナショナルチーム (国立スポーツ科学センター, 2012) やWordの数値を考慮すると、2 mmol/lで200 W、4 mmol/lで270 W以上のパワーが必要であると本研究は結論づける。また、有酸素性パワーは、雪上トレーニング量に影響することからも、有酸素系トレーニング量のモニタリングと定期的な測定評価を行うことが、雪上でのアルペンスキートレーニングの質を保つコンディショニング管理につながることを示唆された。

6. 本研究の限界と今後の課題

本研究は、日本の大学アルペンスキー選手と世界一流アルペンスキー選手の体力測定値がどのくらいの差が生じているのか検討を行なった。本研究の限界として、比較に用いた世界一流アルペンスキー選手データが2003年のデータであり、また、直接世界レベルの選手データの取得ができていない点や、測定方法を統一させることができなかったため、参考値として検討した。したがって、目標値に誤差を含むことを考慮する必要がある。さらに、これまでの多くの研究報告では、SLとGS競技パフォーマンスと体力要素が報告されているが、高速系種目における報告がみられない。本研

究において、ジャンプ測定を除いた測定項目が高速系のパフォーマンスと関係性がみられなかったことは、高速系種目を評価する体力測定の再考の必要性や、高速系種目においては、コースを攻略する戦略がパフォーマンスに大きく起因することが考えられた。アルペンスキー競技は、環境に依存するスポーツであり、また、競技人口も他の競技に比べて少ない傾向にあるため、大学、研究機関が連携し、より幅広い年代、レベルでのデータ収集ができる体制づくりが今後のアルペンスキー研究と競技力の発展につながるであろう。

V 結 論

本研究は、日本代表選手を含む大学アルペンスキー選手の体力測定値とパフォーマンスの関係性を検討し、その測定値の有効性と Neumary et al. (2003) が報告しているオーストリアアルペンスキー選手の体力値を参考に、世界一流選手と大学アルペンスキー選手の体力レベルの差を明らかにすることからトレーニングへの一助とすることを目的とした。その結果、本研究は、以下を結論づける。

- ・膝伸展屈曲トルク、非乳酸性パワー、乳酸性パワーおよび有酸素性パワーの体力要素は、アルペンスキー競技パフォーマンスと有意な相関関係が認められ、アルペンスキー競技パフォーマンスを決定する重要な体力要素として示された。
- ・大学アルペンスキー選手の体力的な特徴として、屈曲筋力およびHQ ratioがGSL種目のFISポイントと有意な負の相関関係を示し、屈曲筋群がアルペンスキー競技の技術を評価する可能性を示唆した。
- ・非乳酸性と乳酸性パワーの評価には、競技特性を考慮した動作や対象者の競技レベルを考慮する必要性がある。
- ・大学競技レベルからシニア競技レベルに移行して世界で戦うためには、除脂肪量の増加が重要であり、体重80 kg、体脂肪率15%以内を目標値とする。
- ・膝伸展屈曲トルクの60 deg/s速度条件下の絶対値は、世界一流レベルと日本人大学選手の伸展トルクで24%、屈曲トルクで43%の差が示された。世界レベルで戦うためには、60 deg/s速度条件下で体重あたり伸展トルクが3.5 Nm/kg、屈曲トルクが2.0 Nm/kg以上必要となる。また、傷害予防からの観点からHamstrings/Quadriceps ratioは、55%以上を目標値とする。
- ・有酸素性パワーは、世界一流レベルと比較してLT時で28%、OBLA時で19%の差が示された。LT時(2 mmol/l)で200 W以上、OBLA時(4 mmol/l)で270 W以上のパワー発揮が必要であると本研究は結論づける。また、有酸素性パワーは、雪上トレーニング量に影響することからも、有酸素系トレーニング量の

モニタリングと定期的な測定評価を行うことが、雪上でのアルペンスキートレーニングのコンディショニング管理につながることを示唆された。

注

- 注 1) アルペン複合競技：1本の滑走種目が DH または、SG (スーパーコンビ) で、2本目の滑走が SL 競技。
 注 2) 技術系のワールカップのレースでは、1本目のゴール順位が 30 位以内に残れないと 2本目に進出することができず、試合結果が残らない。

文 献

1. 相原 博, 中川 喜, 服部 正 (2011): 大学一流アルペンスキー選手の体力と大回転競技能力との関係. 東海大学高等教育研究 5: 1-13
2. Andersen RE, Montgomery DL (1988): Physiology of Alpine skiing. *Sports Med* 6: 210-221
3. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV (1983): A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 50: 273-282
4. Brown SL, Wilkinson JG (1983): Characteristics of national, divisional, and club male alpine ski racers. *Med Sci Sports Exerc* 15: 491-495
5. Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A (1963): Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann NY Acad Sci* 110: 113-140
6. Clarys JP, Cabri J. (1991): Pedagogical ergonomic and competitive applications of kinesiological EMG (in alpine ski). In *Electromyography*: 91-94
7. 独立行政法人日本スポーツ振興センター 国立スポーツ科学センター (2012). 国立スポーツ科学センター形態・体力測定データ集 2010. 独立行政法人日本スポーツ振興センター. 1-16.
8. Emeterio CA, Gonzalez-Badillo JJ (2010): The physical and anthropometric profiles of adolescent alpine skiers and their relationship with sporting rank. *J Strength Cond Res* 24: 1007-1012
9. Ferland PM, Comtois AS (2018): Athletic Profile of Alpine Ski Racers: A Systematic Review. *J Strength Cond Res* 32: 3574-3583
10. 船渡和男, 袴田智子, 柏木 悠, 加賀田直樹, 山内亮 (2008): 脚伸展パワーと跳躍高の関係からみた垂直跳びの動作分析. *体力科学* 57: 908
11. Gilgien M, Reid R, Raschner C, Supej M, Holmberg H-C (2018): The Training of Olympic Alpine Ski Racers. *Front Physiol* 9
12. Gorski T, Rosser T, Hoppeler H, Vogt M (2014): An anthropometric and physical profile of young Swiss alpine skiers between 2004 and 2011. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 108-116
13. 星野宏司, 角田和彦, 佐々木敏, 蓑内 豊, 三宅章介 (2011): 新たに考案したボスコテストとアルペンスキー選手の競技成績との関係について. *スキー研究* 8: 1-9
14. Hydren JR, Volek JS, Maresh CM, Comstock BA, Kraemer WJ (2013): Review of Strength and Conditioning for Alpine Ski Racing. *Strength and conditioning for alpine ski racing* 35: 10-28
15. International Ski Federation (2020). <https://www.fis-ski.com/>
16. International Society for the Advancement of Kinanthropometry (2020). <https://www.isak.global>
17. 石毛勇介 (2017): アルペンスキー競技における科学的研究とその応用. *NSCA JAPAN* 24: 4-10
18. Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W (2015): Rapid hamstring/quadriceps strength in ACL-reconstructed elite Alpine ski racers. *Med Sci Sports Exerc* 47: 109-119
19. Kashiwagi Y, Hirano T, Soma M, Yamagishi M, Hakamada N, Takegoshi M, Funato K (2017): Change in lower limb joint works during take-off phase in jump movement by wearing alpine ski boots. The 26th Congress of the International Society of Biomechanics. Proceedings.
20. Karlsson J (1984): Profiles of cross-country and alpine skiers. *Clin Sports Med* 3: 245-271
21. 近藤雄一郎, 竹田唯史 (2015): 男子アルペンスキー選手の体力特性と FIS ポイントとの関連性について. *Journal of Ski Science* 12: 51-60
22. Supej M, Holmberg H-C (2010): How gate setup and turn radii influence energy dissipation in slalom ski racing. *Journal of Applied Biomechanics* 26: 454-464
23. Miura T (2015): Maximum Anaerobic Power in Adult Alpine Ski Racers. *International Journal of Sport and Health Science* 13: 96-101
24. Muller E, Schwameder H (2003): Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski-jumping. *J Sports Sci* 21: 679-692
25. 中里浩介, 近藤雄一郎, 竹田唯史, 中島千佳 (2020): アルペンスキー高校生強化指定選手と日本代表ジュニア選手の身体組成および体力特性の比較—体力測定とパフォーマンスの関連性の検討—. *トレーニング科学* 32: 129-140
26. Neumayr G, Hoertnagl H, Pfister R, Koller A, Eibl G, Raas E (2003): Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *Int J Sports Med* 24: 571-575
27. Patterson C, Raschner C, Platzer HP (2009): Power variables and bilateral force differences during unloaded and loaded squat jumps in high performance alpine ski racers. *J Strength Cond Res* 23: 779-787
28. Piper FC, Ward CH, McGinnis PM, Milner EK (1987): Prediction of alpine ski performance based upon selected anthropometrical and motor dexterity parameters. *J Sports Med Phys Fitness* 27: 478-482
29. Raschner C, Müller L, Patterson C, Platzer HP, Ebenbichler C, Luchner R, Lemberg S, Hildebrandt C (2013): Current performance testing trends in junior and elite Austrian alpine ski, snowboard and ski cross racers. *Sports Orthopaedics and Traumatology Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie* 29: 193-202
30. Saibene F, Cortili G, Gavazzi P, Magistri P (1985): Energy sources in alpine skiing (giant slalom). *Eur J*

- Appl Physiol Occup Physiol 53: 312–316
31. Seifert J, Kroll J, Muller E (2009): The relationship of heart rate and lactate to cumulative muscle fatigue during recreational alpine skiing. *J Strength Cond Res* 23: 698–704
 32. 塩野谷明 (1991) : Jr アルペンスキー選手の体力と競技成績の関係. *トレーニング科学* 3: 43–49
 33. 設楽佳世, 袴田智子, 大西貴弘, 池田達昭 (2017) : 身体組成の評価方法間に見られる身体密度および体脂肪率の差の検討. *体力科学* 66: 369–382
 34. Spring H, Jordan K (1994): Maximal and high-velocity power. A study in Swiss male and female national ski athletes. *Schweiz Z Med Traumatol*: 27–29
 35. Supej M, Kipp R, Holmberg HC (2011): Mechanical parameters as predictors of performance in alpine World Cup slalom racing. *Scand J Med Sci Sports* 21: e72–81
 36. van Melick N, Meddeler BM, Hoogeboom TJ, Nijhuis-van der Sanden MWG, van Cingel REH (2017): How to determine leg dominance: The agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PLoS One* 12: e0189876
 37. Veicsteinas A, Ferretti G, Margonato V, Rosa G, Tagliabue D (1984): Energy cost of and energy sources for alpine skiing in top athletes. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 56: 1187–1190
 38. Vermeulen B, Clijsen R, Fässler R, Taeymans J, D'Hondt E, Aerenhouts D (2017): Event-Specific Body Characteristics of Elite Alpine Skiers in Relation to International Rankings. *Advances in Anthropology* 7: 94–106
 39. Vogt M, Hoppeler HH (2014): Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. *J Appl Physiol* (1985) 116: 1446–1454
 40. 山田 保, 安部 孝, 堀居 昭 (1984) : 一流アルペンスキー選手の体力. *日本体育大学紀要* 13: 67–71
 41. 山本周史, 松井信夫, 北川 薫 (1999) : アルペンスキーレーサーの大回転および回転競技時のエネルギー代謝. *バイオメカニクス研究* 3: 95–102
 42. 財団法人全日本スキー連盟 (2020). <http://www.ski-japan.or.jp/teamsnowjapan/AL/2020/>

<連絡先>

著者名：竹腰 誠

住 所：神奈川県横浜市青葉区鴨志田町 1221-1

所 属：日本体育大学

E-mail アドレス：takegoshi@nittai.ac.jp