

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 5 日現在

機関番号：30106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350772

研究課題名(和文) アルペンスキー競技に必要な体力評価指標に関する研究

研究課題名(英文) A study on the assessment of physical fitness factors required for alpine skiing

研究代表者

星野 宏司 (Hoshino, Hiroshi)

北星学園大学・経済学部・教授

研究者番号：50438347

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はアルペンスキー競技特有の運動様式を考慮して、専門的体力因子を評価するパフォーマンステストを新たに考案した。このアルペンスキー選手のためのパフォーマンステスト評価尺度の策定を行い、その有効性を明らかにした。さらに、筋力発揮の評価に広く用いられている筋パワーに着目して、筋パワープロファイルを用いた評価法の確立を行った。また、このパフォーマンステストの汎用性について検証するために、オフシーズン期、体力トレーニング期に応じて実際にアルペンスキー選手に年間を通して適用を試み、競技成績との関連性について検証を行い、選手個々の体力因子の変化を反映した結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：This test was done in order to gauge whether or not the specific movement modality of the subject's was suitable for alpine skiing competition. In addition, the alpine skiing performance test carried out the development of high rating scales versatile, revealed its effectiveness. This test was very accurate at predicting a subject's performance level. Moreover, by focusing on muscle power, the test also yielded useful muscle power profile data. In addition, in order to verify the versatility of this performance test, it was applied during the off-season when skiing results are not available. Subjects' power output graphs were used to ascertain their physical condition for alpine skiing. This allowed for individual adjustment of each subject's training regimen.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：アルペンスキー 筋パワープロファイル アルペンスキーパフォーマンステスト 伸張-短縮サイクル 爆発的筋力発揮 指数関数モデル

1. 研究開始当初の背景

アルペンスキー競技は技術要素が最も重要であることは言うまでもないが、技術を獲得するために求められる体力因子として無酸素性・有酸素性能力や等尺性・等速性脚筋力があげられる (Andersen RE and Montgomery DL 1988)。一方、カービングスキーの導入によってターン技術の進歩により、滑走速度の高速化と、急激な回転弧を求める難易度の高いコース設定になったため、求められる体力特性はスプリント能力、爆発的な筋力・筋パワー発揮能力、動的バランス能力、敏捷性が主に求められる体力因子であることが示唆された (Bosco C. 1989)。そこで、アルペンスキー選手が長期間のスキー滑走中の大腿部の筋運動が伸張-短縮サイクル運動に由来した適応の結果、伸張性膝伸張筋力が特徴的に高いことが示唆された (Hoshino H. et.al 2009)。

ところで、伸張 短縮サイクル運動は伸張の局面の長短によって、2つの運動タイプが存在することが指摘されている (C. Nicol. et.al. 2003)。そこで、伸張局面の長い筋のパネ特性を考慮した伸張-短縮サイクルの運動遂行能力を評価するボスコテストを新案した。このテストは、異なる重量負荷を加重して反動を用いて跳躍運動を行い、最大跳躍高を求めるテストである。このテストによって競技成績との高度で有意な相関が得られたことから、アルペンスキー選手の体力因子の一つである伸張-短縮サイクルに由来する爆発的筋力を評価する有効な指標であることが示された (星野ら 2011)。さらに、このボスコテスト中に発揮された跳躍高を指数関数回帰によって近似させると (図1)、回帰係数と筋パワープロファイルが有意に関係することが明らかとなった (H.Hoshino, et al. 2010)。この筋パワープロファイルとは、パワー発揮時にパワー構成要素である力成分とスピード成分の依存割合によって、パワー発揮特性を力型とスピード型に分類するものである。これまで、伸張-短縮サイクル運動でのパワー発揮特性を、この2成分で分類した研究はこれまで見当たらない。また、このような方法でスポーツ種目と関連づけた研究も行われていない。

そこで、アルペンスキー選手を対象に競技レベルの異なる選手群間をボスコテストの筋パワープロファイルで比較すると、競技レベルの高い選手ほど力成分に依存したパワー発揮特性であり、競技レベルの下位の選手群はスピード成分に依存したパワー発揮特性を有することが示された。つまり、ボスコテストによって重量負荷の影響を顕著に受けるのは、スピード型の筋パワープロファイルであることを示した (H.Hoshino, et al. 2010)。さらにアルペンスキー選手群とスキージャンプ選手群ならびに健康成人群と異なるスポーツ選手群で比較すると、ボスコテストによる重量負荷

が増加するに従って、スピード型の筋パワープロファイルを有する健康成人群は跳躍高においても顕著な低下を示した (図1) (Hoshino H, et al. 2013)。

以上のことから、本研究ではアルペンスキー競技に求められる体力要因の一つである、伸張-短縮サイクルの遂行能力を考慮したアルペンスキー選手に求められる体力因子の評価方法を開発することを目的とした。

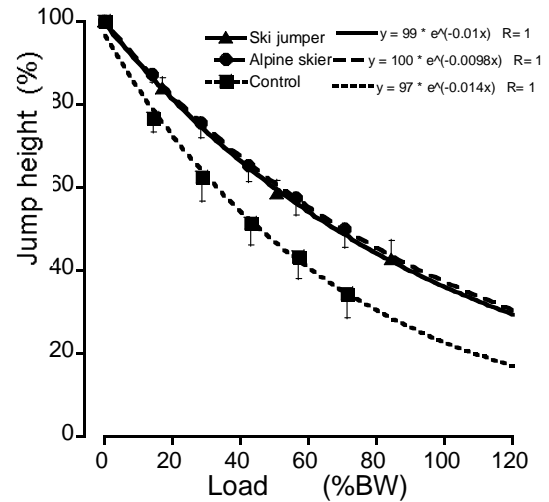


Fig.1. This graph shows the influence of load on percent jump height is the value obtained by fitting the relationship between jump height and load with an exponential function. Value are means ± SD.

2. 研究の目的

アルペンスキーの競技力向上に技術要素は必要不可欠であり、スキー技術の獲得にむけて求められる体力因子の育成が必要である。その体力因子として、これまで、有氣的・無氣的パワーや等尺性脚筋力が重要な体力因子であることが示されている。

本研究の目的はアルペンスキー競技における体力トレーニングプランとプログラムデザインの開発に向けて、競技に求められる体力因子とアルペンスキー運動特有の運動様式を考慮した、新たなスポーツテストを考案した。このスポーツテストはアルペンスキー選手の体力特性を評価する有効な競技専門体力指標であることを明らかにするために、テスト結果と競技成績の関係性を整理・検証する。さらに、本研究からスキー競技選手のための適用から発展させ、多くのスポーツ活動でみられる伸張 短縮サイクル運動の新たな評価方法の確立と体力育成プログラムデザインを開発することを目的としている。また、テスト結果に影響を与える体力因子と生理学的指標の関連性について言及する。

< 参考文献 >

Andersen RE and Montgomery DL. 1988.
Nicol.C. et.al. 2003
Bosco, C. 1998

3. 研究の方法

近年、サイドカーのきついカービングスキーの導入によって、回転技術の急速な進歩にともない、顕著な早期の外足荷重の重要性が指摘されている。一方、競技現場では、滑走速度の高速化と落差の少ない、左右へのふり幅の大きな旗門設定で、難度の高いコース設定になっている。高速化する競技現場に対応するために、Bosco (Bosco, C. et al. 1998) らは、アルペンスキー競技に求められる体力因子についてイタリアナショナルチーム所属の選手に、筋の爆発的筋力発揮能力としてスクワット連続跳躍運動テストを行い、跳躍高と発揮パワーについて年間推移を詳細に検討した結果、競技シーズンに爆発的筋力が向上していることを報告した。そこで、Bosco (Bosco C. 1997)は、アルペンスキー競技に新たに求められる体力因子として、主にスプリント能力と speed endurance 能力ならびに爆発的筋力が、重要であることを報告している。これらのことから、アルペンスキー競技に必要な体力因子は競技時間を考慮すると、短時間高強度運動に着目した無酸素性パワーが、競技力向上に必要な体力因子であることが考えられる。

【アルペンスキーパフォーマンステストの考案と評価尺度の整理】

アルペンスキー選手のためのパフォーマンステストを考案して、オフシーズン期、体力鍛錬期、シーズン前、シーズン中に測定を行い、筋収縮スピードと伸張-短縮サイクル運動遂行能力を評価する。さらにアルペンスキー選手に年間を通して適用することで選手個々の体力因子の変化を検証することはもとより、トレーニング計画立案の基礎資料とする。一方、ジュニア、シニアなどの多様な競技レベルの選手に適用し両者の比較を通して、アルペンスキー競技に介在する技術と体力の関係性を明らかとすることで、競技に求められる体力因子との関連を明確化することを視野に入れている。さらにジュニア選手については競技特性を考慮していることから、タレント発掘のスクリーニングテストとしての活用も検討する。

【筋の伸張 短縮サイクル運動の分類と評価法の確立】

本研究で考案したボスコテストをはじめとしたパフォーマンステストは、伸張 短縮サイクル運動の遂行能力を評価する方法である。一方、伸張 短縮サイクル運動には、いくつかの運動様式に分類することができる。本研究は、伸張 短縮サイクル運動のタイプ分類を行い、パワー成分をもとにスピード型と力型に分類した研究はこれまで見当たらないことから、パワー発揮特性とスポーツ種目を関連づけた評価方法を確立するこ

とを目的としている。

4. 研究成果

(1) アルペンスキー競技の競技時間は 40 秒から 3 分であることから、無酸素性パワー発揮能力が重要な体力因子であることは広く知られている。本研究ではアルペンスキー選手に必要な無酸素性パワーのうち、非乳酸性機構のパワー発揮能力に焦点をあて、無酸素性パワーテストにおける負荷と回転数の直線関係を用いて“切片”と“傾き”に着目し、アルペンスキー選手の無酸素性パワーの発揮特性を明らかにすることを目的とした。さらに、アルペンスキー選手の無酸素性パワーの発揮特性を顕著にするために、同じスキー競技で種目の異なるクロスカントリースキー選手群を対照群に加え、パワータイプの比較検討を行った。

被験者は、男子アルペンスキー選手群 32 名 (ALP)、クロスカントリー選手群 39 名 (XC)、健康な成人男性を対照群 26 名 (CONT) の合計 97 名であった。無酸素性パワーの測定は、POWER MAX V (コナミライフ&フィットネス社製)を用いて、無酸素性パワーテストを行った。無酸素性パワーテストは、異なる負荷値において 10 秒間の全力ペダリングを行い、その後 2 分間の休息をはさみ 3 段階の異なる負荷で行い、その負荷ごとの最高回転数を用いて、負荷値と最高回転数の回帰式を求め、内蔵されているプログラムによって最大無酸素性パワーを算出した。本研究は、無酸素性パワー能力を最大値による比較のほかに、無酸素性パワーテストにおける負荷値と回転数の直線回帰による、定数 (切片) や係数 (傾き) が個人特性を反映することを活用して、パワー発揮タイプを力成分に依存する“力型”とスピード成分に依存する“スピード型”に分類することで、競技特性との関連性を検討した。

本研究で得られた一次回帰式の傾きである係数を比較するために、最大負荷値に対する最大回転数 (y 切片) を 1 とし、回帰係数を 3 群間で相対的に比較を行い、パワー発揮タイプの分類を視覚的に明瞭に行うことを試みた結果、負荷に対するスピード成分の“傾き”に相違が観察された (図 2)。

このことから、3 群間の相対的なパワー発揮特性は一般成人に比べ、アルペンスキー選手群は“力型”のパワー発揮タイプを示していた。本研究で用いたパワー発揮タイプの分類として、負荷の増加にしたがって高回転数を発揮できる力型と軽負荷において高回転数を発揮できるスピード型に分類することによって、種目特性を顕著に反映した結果を示した。更に、アルペンスキー競技では、競技レベルが向上すると滑走スピードの増加にともない、スキーヤー自身にかかる力が増加することが考えられる。その為、“力型”の無酸素性パワー発揮能力が競技力向上に求められる体力因子であることが示唆され

た。

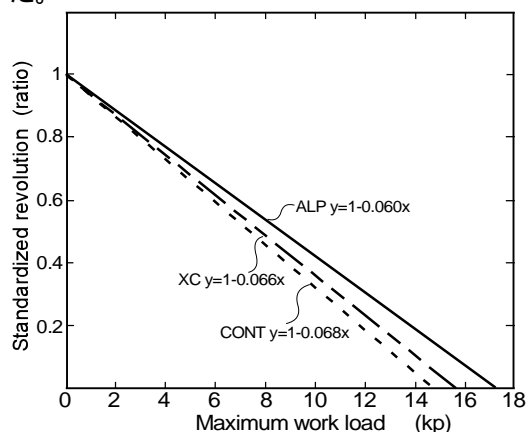


Figure 2. The relationship between standardized revolution ratio and maximum work load at each group. Standardized revolving scaled was to one maximum speed.

以上のこのことから、無酸素パワーテストにおいて、直線回帰式の切片と傾きを用いて、アルペンスキー競技選手の個人特性や種目特性を反映させた、無酸素性パワー発揮特性を検討することは大変有意義であると考えられた。

(2)【筋の伸張 短縮サイクル運動の分類と評価法の確立】

本研究の目的はアルペンスキー選手に求められる speed endurance 能力のうち、Bosco (Bosco C. 1997)が考案したテスト方法を変法して、伸張-短縮サイクル運動による爆発的筋力発揮能力を評価する、ボスコリバンドジャンプテスト(BRJ)と筋のばね的要素を除外した、Patterson ら(Patterson C. et al. 2013)の考案した方法を変法して(SQJ)、筋の爆発的発揮能力の評価法について両者の関係について検討を加えることを試みた。両者は同じアルペンスキー選手に求められる、speed endurance 能力を評価するために、多用される方法であるが、ボスコリバンドジャンプテストは伸張-短縮サイクルに由来した、筋のばね的要素を含む方法であり、Patterson らの方法はこれを除外した方法である。両者の関係については、これまで明らかにされていない。また、両者を比較検討した報告は未だに見られていない。本研究は両者の関係性を言及することで、アルペンスキー選手に求められる、speed endurance 能力を規定する因子について明らかにすることを目的とした。さらに、本研究で継続的な伸張-短縮サイクル運動による筋のばね的貢献が筋腱複合体における筋の貢献度を示す評価指標になることを示すとともに、継続的な伸張-短縮サイクル運動による運動においては、筋の収縮力が規定因子となることが考えられた。

被験者はナショナルチームに所属する選手 5 名を含むアルペンスキー選手男女 26 名を対象に行った(男子 14 名、女子 12 名)であった。被験者は 2 秒に 1 回の頻度で 60 回

のスクワットジャンプ(SQJ)を 3 種類の異なる重量負荷で行った。また、異なる日にボスコリバンドジャンプ(BRJ)を 90 秒間行った。

尚、各試行間には十分な間隔を置いて疲労の影響を除外した。また、3 種類の異なる負荷での試行は、無作為に行った。で 2 分間の 60 回を行った。また、異なる日にボスコリバンドジャンプ (BRJ) を 90 秒間行った。本研究はアルペンスキー選手の体力特性としてあげられる speed endurance 能力と爆発的筋力を測定評価するために、BRJ、SQJ0kg、SQJ10kg、SQJ20kg の 4 種類の異なる条件で跳躍高を測定した結果、時間経過とともに、すべての条件化で低下傾向を示した。

図 3 に代表的な結果である被験者(F.T.)1 名の跳躍高の時系列変化を示した。BRJ テストにおける、跳躍高は開始時には他の 3 群に比べ高値を示したが、開始直後から低下傾向を示し、運動終了時には、SQJ20kg での跳躍高とほぼ同値であった。

本研究は跳躍高の時系列に対する推移について、時定数による評価を行った(表 1)。この時定数が短ければ、跳躍高の低下スピードが顕著であることを意味する為、4 種類のジャンプテストにおいて BRJ テストの時定数が最も短く、跳躍高の低下が最も顕著であることを示していた。次いで、SQJ20kg であり、SQJ10kg となり、SQJ0kg が経過時間に伴う跳躍高の低下が少ないことを示していた。さらに、SQJ テストのうち、重量負荷が 0kg から 20kg 増加するに従って、時定数が減少傾向を示したことは、重量負荷による筋への負担度の増加によって、もたらされた結果であった。

また、伸張-短縮サイクルに由来する筋のバネ特性を活用した、BRJ テストの跳躍高の低下が SQJ テストと比較して、最も顕著であったことは、伸張-短縮サイクル運動による筋の弾性要素の低下は、筋収縮力の低下によってもたらされたことが考えられた。

(3)【アルペンスキー選手の伸張 短縮サイクル運動を考慮したトレーニング効果の測定】

【目的】 アルペンスキー競技は決められたコースを滑走して競技時間を競うスポーツであり、スキー競技の水準は技術要素が競技成績を決定する大きな要因といえる。しかしながら、この技術要素を習得し競技レベルを向上させるためには無酸素性・有酸素性能力や等尺性・等速性脚筋力をはじめとする、スプリント能力、爆発的な筋力・筋パワー発揮能力、動的バランス能力、敏捷性が主に求められる体力因子である。さらに、スキー滑走中の脚運動は伸張-短縮サイクル運動に由来している。そこで、本研究の目的は、この伸張 短縮サイクル運動に着目して筋のバネ

特性を考慮したボスコリバウンドジャンプテスト (BRJ テスト) による運動遂行能力を評価する方法を検討するとともに、評価法の汎用性についても検討を行った。

[方法] アルペンスキー選手 19 名で男子 9 名 (年齢 17.22 ± 1.78 、身長 170.5 ± 4.46 、体重 70.76 ± 7.84) 女子 10 名 (年齢 17.19 ± 2.05 、身長 156.49 ± 4.44 、体重 61.04 ± 2.70) を対象とした。被験者は床反力計 (DKH 社製 Ex-jumper) 上で最大跳躍を目指して、連続跳躍運動を 90 秒間行うボスコリバウンドジャンプテスト (BRJ テスト) を行った。被験者の測定はシーズン直後 (Pre) とシーズン直前 (Post) で比較した。比較項目は、最大跳躍高、平均跳躍高と跳躍高の経過時間に伴う低下曲線を指数関数近似により時定数を求めて比較を行った。

[結果] BRJ テストの結果、Pre と Post で比較すると最大跳躍高は、男子では $38.79 \pm 4.85\text{cm}$ に対して $39.21 \pm 4.46\text{cm}$ であり、女子では $29.49 \pm 4.31\text{cm}$ に対して $29.11 \pm 4.70\text{cm}$ であった。同様に、平均跳躍高は男子では $23.84 \pm 2.60\text{cm}$ に対して $26.27 \pm 1.66\text{cm}$ であり、女子では $17.37 \pm 2.46\text{cm}$ に対して $17.81 \pm 2.68\text{cm}$ であった。一方、跳躍高の時系列変化を指数関数近似させ、時定数を用いて比較を行った結果、男子では 83.52 ± 16.00 秒に対して 115.28 ± 36.89 秒であり、女子では 77.16 ± 14.56 秒に対して 94.26 ± 24.49 秒になり、男女ともに pre と post では有意な差 ($p < 0.05$) が認められた (図 4)。

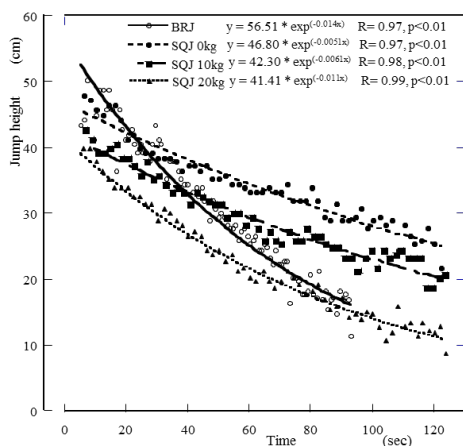


図 3 このグラフは時系列に伴う、4 種類の異なるジャンプ運動中の跳躍高の推移変化を示した。

[考察] アルペンスキー選手に 90 秒間の連続跳躍運動を行い、跳躍高の時系列変化を評価する方法を検証した結果、跳躍高を指数関数による近似を行い、時定数を用いることで、アルペンスキー選手の BRJ テストによる跳躍高の減衰率はオフシーズン期のトレーニングによって改善されたことが考えられた。[アルペンスキー競技現場への提言] BRJ テ

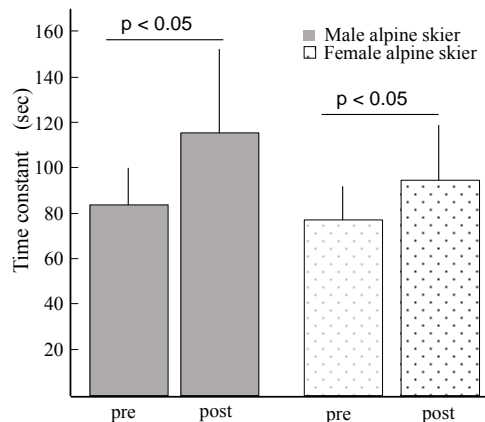


図 4 トレーニング期前後での BRJ テストにおける跳躍高の時定数を男女別に比較した。男女ともに陸上トレーニングによって、跳躍高の低下が改善されたことが示された。

表 1 各条件下での跳躍時の時定数の比較

(sec)	Male (14)	Female (12)
BRJ	89.07±18.94	83.75±22.54
SQJ 0 kg	250.29±120.82*	264.23±106.18*
SQJ 10 kg	238.61±138.68*	178.18±74.96*
SQJ 20 kg	151.69±46.63	148.93±63.34

* $p < 0.05$ *

ストは伸張 短縮サイクル運動に着目して筋のバネ特性に由来するスピードエンデュランス能力を評価するために考案されたテストであり、テスト結果を簡便な指標である跳躍高で評価するために、時系列変化に着目して、時定数を用いることで、個体内を縦断的に比較することや同一集団内の比較や、さらに他群間での比較が可能となった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 12 件)

(2015 年)

星野宏司、武田秀勝、越野寿、アルペンスキー選手の咬合力、顎位安定性とパワー発揮特性に関する研究、スキー研究、査読有、12 巻 1 号、2015、15-24

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、蓑内豊、武田秀勝、女子アルペンスキー選手の年間パワータイプの推移、日本スキー学会第 25 回大会講演論文集、1 巻、2015、28-29

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、武田秀勝、運動回復期の乳酸動態を用いた評価法の検討、査読有、2015 年、52-53

(2014 年)

星野宏司、アルペンスキー選手のパワー発揮特性が咬合力に与える影響、スキー研究、査読有、11 巻、2014、59-66

星野宏司、アルペンスキー選手の咬合力と咬合接触面積の関係、日本スキー学会 2014 研究会論文集、2014、59-61
(2013 年)

星野宏司、アルペンスキー選手における無酸素パワーの発揮特性について、スキー研究、査読有、10 巻、2013、47 - 53

星野宏司、アルペンスキー選手に必要な伸張 短縮サイクル運動における筋力発揮特性の評価法について、日本スキー学会研究講演論文集、1 巻、2013、34-37

星野宏司、アルペンスキー選手に求められる爆発的筋力の評価法について、日本スキー学会講演論文集、1 巻、2013、38-39

HOSHINO, K. TSUNODA, T.SASAKI, H. TAKEDA. Muscle profile of power generated during random loaded squat jumps in ski-jumpers. Science and Nordic Skiing. 査読有、2013. 575-582

〔学会発表〕(計 15 件)
(2015 年)

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、蓑内豊、武田秀勝、女子アルペンスキー選手の年間パワータイプの推移、日本スキー学会第 25 回大会、2015 年 3 月 16 日、安比高原ホテル、岩手県

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、アルペンスキー選手の顎口腔系機能がパワータイプに与える影響、日本体育学会第 66 回大会、国土館大学世田谷キャンパス、2015 年 8 月 25 日、東京

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、運動回復期の乳酸動態を用いた評価方法の検討、日本スキー学会 2015 研究会、2015 年 9 月 12 日、中央大学後楽園キャンパス、東京
(2014 年)

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、武田秀勝、アルペンスキー選手に求められる爆発的筋力の評価法について、日本スキー学会第 24 回大会、2014 年 3 月 17 日、休暇村妙高、新潟県妙高市

Hoshino Hiroshi, Exponential function modeling of alpine skier explosive power endurance tests. 19th annual Congress of the European College of Sports Science. 2014.7.4. Amsterdam. Netherlands.

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、アルペンスキー選手の指数関数を用いたスクワットジャンプテストにおける発揮パワーの評価法について、日本体育学会第 65 回大会、2014 年 8 月 27 日、岩手大学・岩手県

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、武田秀勝、越野寿、アルペンスキー選手の咬合力と咬合接触面積の関係、日本スキー学会 2014 年研究大会、2014 年 9 月 6 日、中央大学・東京

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、武田秀勝、越野寿、アルペンスキー選手のパワー発揮特性が咬合力に与える影響について、第 69 回日本体力医学会大会、2014 年 9 月 9 日、長崎大学、長崎県

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、武田秀勝、越野寿、パワー特性が咬合力と咬合面積に与える影響、第 27 回日本トレーニング科学学会大会、2014 年 11 月 22 日、産業技術総合研究所臨海副都心センター、東京

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、蓑内豊、武田秀勝、無酸素パワーテストはアルペンスキー選手に必要な体力因子を反映する、第 3 回日本トレーニング指導者学会大会 2014 年 12 月 20 日、帝京平成大学、東京
(2013 年)

星野宏司、連続スクワットジャンプ運動による評価方法、日本体育測定評価学会、2013 年 2 月 23 日戸塚 YMCA、神奈川県

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、武田秀勝、アルペンスキー選手に求められる伸張 短縮サイクル運動の評価法について、日本スキー学会第 23 回大会、2013 年 3 月 23 日、志賀高原ゲートウェイステーション、長野県

星野宏司、アルペンスキー選手に必要な伸張 短縮サイクル運動における筋力発揮特性の評価法について、日本スキー学会 2013 研究会、2013 年 9 月 7 日、キャンパス・イノベーションセンター東京、東京

星野宏司、角田和彦、佐々木敏、武田秀勝、アルペンスキー選手に必要な爆発的筋力発揮能力の評価について、日本体力医学会第 68 回大会、2013 年 9 月 22 日、日本教育会館、東京

Hoshino Hiroshi, Kazuhiko Tsunoda, Tsutomu Sasaki, Hidekatsu Takeda. Evaluation methods of explosive power and speed endurance for alpine skiers. 6th International congress on science and skiing. 2013.12.18 St.christoph. Austria.

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

星野宏司 (HOSHINO, Hiroshi)
北星学園大学・経済学部・教授
研究者番号 : 5 0 4 3 8 3 4 7