

Keywords 【柔道：judo、格闘技：combat、パワー：power、筋力：strength、組み手：grappling、投げ：throwing】

エリートレベルの柔道選手における筋力の役割と発達

The Role and Development of Strength for Elite Judo Athletes

ManYing Ren,¹ M.Ed. Yu Tian,² M.Ed. Conor McNeill,³ Ph.D. Seth Lenetsky,^{4,5} Ph.D.
Aaron Uthoff,⁵ Ph.D.

¹ Strength and Conditioning Department, Beijing Research Institute of Sports Science, Beijing, China

² BSports Department, Beijing Yanding Sports Culture Corporation, Beijing, China

³ New Zealand Rugby Union, Wellington, New Zealand

⁴ Canadian Sport Institute Pacific, Victoria, British Columbia, Canada

⁵ Sports Performance Research Institute New Zealand (SPRINZ), Auckland University of Technology (AUT), AUT Millennium, Rosedale, New Zealand

要約

柔道はオリンピックの格闘技種目であり、高強度の間欠的努力によって対戦相手を投げ、抑え込み、「参った」をさせることを特徴とする。一流のコーチによると、競技のカギを握る重要なパフォーマンス指標のひとつは神経筋系のパフォーマンスである。柔道では、対戦相手との組み手争い、高い技術を要する投技、および動的筋活動や等尺性筋活動によって相手の動きを制する寝技など、神経筋系に高い要求が課される。そのため筋力が強ければ、同等の技術をもつ選手よりも有利に試合を運ぶことができる。本稿はこの点に注目して、様々なタイプの筋力が柔道のパフォーマンスに果たす役割を検証し、神経筋系の特性を基にエリートレベルの柔道選手のトレーニングの指針を示す。

はじめに

柔道は、試合を有利に運ぶために高強度の間欠的努力を繰り返して行なう組み手系格闘技のひとつである。対戦相手を投げることや、寝技で抑え込んで動きを制して「参った」をさせることを目指す(24)。立位での組み手争い、動的な投技、全身の動的筋活動や等尺性筋活動によって対戦相手の動きを制する寝技など、多様な身体活動を行なう必要がある(22,56)。2018年のルール改正によって、エリートレベルの柔道の試合時間は平均3分17秒～3分32秒になった(1)。一般に、20～30秒の高強度運動が、5～10秒の休息時間を挟んで行なわれるため(1,76)、運動休息比は2：1～3：1になる。柔道は主に有

酸素性能力に依拠するが(16,40)、試合で勝つためには、攻撃と防御の技を動的に繰り返し行なう神経筋系の能力も必要とする(34,51)。この能力は、解糖系およびホスファゲン系(無酸素性経路)に依存する(56)。神経筋系の観点では、最大筋力は対戦相手の動きを制することに役立つ(23,29)、爆発的筋力は様々な技を素早く機敏に行なう基礎となり(6,64)、筋持久力は高強度活動(組み手争いなど)を長時間維持することを可能にする(22)。

パフォーマンスコーチの仕事は、柔道のパフォーマンスのカギを握る神経筋系の特性を特定して発達させ、成功の可能性を最大にすることである。一流の柔道のコーチは、柔道の最も重要な成功因子のひとつとして神経筋系の能力を挙げている(51)。これは、筋力の高い選手は、技術的に同等の能力をもつ選手よりも有利であることによる(27,51,52)。例えば、上半身の筋力が高い選手は、対戦相手の動きを制する能力が高く、効果的に技をかけることができるため、試合で勝利する可能性が高い(47,48)。具体例を挙げると、国際的なエリートレベルの選手は、上半身と下半身の最大筋力、爆発的筋力、筋持久力が、国内レベルの選手よりも高い(50,57)。またオリンピックのメダリストと非メダリストで、総合的なトレーニングの構成(有酸素性トレーニング、スプリントトレーニング、ストレングストレーニング)が大きくは異なるにせよ異なっているとみられる。これは、ハイレベルの選手のトレーニングには、筋力の発達を含めることが重要な役割を果たす可能性があることを示唆している(30)。それだけでなく、エリー

トレベルの選手は初級レベルの選手と比べて、動的筋力、神経筋の持久力、無酸素性パワーと能力が大きく発達している(26)。筋力は柔道のパフォーマンスに重要な役割を果たし、ランキングの見分けに利用できる可能性があると考えられる(18,49)。しかし、勝利にとって最も重要な神経筋系の特性とその最も適切なトレーニング方法は、研究においてまだ明らかにされていない。

現代における柔道の試合の決定的な動作は、一本となる抑込技、締技、投技である(26)。従来、これらの攻め技は4つの局面によって決定されてきた。(a)「組み方」と呼ばれる把持局面、(b)「崩し」と呼ばれ、「受(技をかけられる側)」のバランスを崩すことを特徴とする準備局面、(c)「作り」と呼ばれるセットアップ局面、(d)「掛け」と呼ばれる実施局面よりなる(6)。投技と足運びの運動学的変数と運動力学的変数を調査した先行研究でも、同様の局面に分割されている(6,32,37)。Blaisら(6)は背負投の局面を分析した結果、崩し局面の動作は、下半身(膝関節、股関節、体幹部)から始まっていることを発見した。作り局面に入ると膝関節の貢献が減少し、肩関節と肘関節の動きが増加した。掛け局面に入ると下半身の動作が最大になり、肩関節と肘関節の貢献が減少した。局面ごとに下半身と上半身の動作パターンがこのように変化することは、多くの研究で見出されている。Liuら(55)によると、大外刈の「遊脚」局面では脛と大腿部による大きな高速の動作が観察され、続いて「投げ」の局面では腕と体幹上部の速度が増加した。またこれらの研究では、動き全体に対する最大の貢献が下半身から生まれていることも見出されている。このような発見は、投技を行なうには上半身と下半身の動作、および全身を通してその動作を協調させることによって、発揮される力を足し合わせる必要があることを明示している。

上半身と下半身の筋の能力は、対戦相手を制することにおいても動的な技をかけることにおいても(68)、柔道において決定的な役割を果たす(50)。しかし、「筋力」は幅広い意味をもつ用語であり、多様な無酸素性および有酸素性の神経筋系の特性を含んでいる。最も広い定義によると、筋力とは「筋または筋群が特定の条件下で力を発揮する能力」(70)のことである。筋力は、与えられる外部負荷、速度、筋の活動様式に応じて様々な種類がある(35)。最大筋力は、等尺性筋活動(筋長が変化しない)または動的筋活動(筋長が伸張または短縮する)において、最大随意筋収縮によって外部負荷に対して発揮される絶対的な力として理解される(46,70)。爆発的筋力は、きわめて短時間で発揮される力(力の立ち上がり率)として理解され(38)、通常、運動する筋の収縮活動に先行して力学的な伸張動作が行なわれる(70)。これに対して筋持久力は、より長い時間、抵抗に対して筋機能を維持する能力を指す(46)。様々なタイプの筋力が柔道のパフォーマンスに果

たす役割を論じた研究は存在する(26)。しかし、近年のルール改正に従って(2010年：効果の判定がなくなったことにより積極的な攻撃を促す、2013年：罰則はスコアにならない、2018年：ゴールデンスコアでは指導は相手のスコアにならない)(5)、筋力の役割を検証することが重要である。これは、柔道という競技の発展にかかわる問題である。そこで本稿は、様々なタイプの筋力がエリートレベルの柔道のパフォーマンスに果たす役割について論じ、それらの神経筋系の特性を発達させるための実践的なトレーニングの指針を示す。

柔道選手における最大等尺性筋力の役割と発達

絶対的な最大筋力は、高閾値の運動単位を動員して外部負荷に対して最大の力を発揮する能力の特徴を示す(73)。この力は等尺性筋活動(筋長が変化しない)または動的筋活動(筋長が伸張または短縮する)において発揮される(63)。等尺性運動はパフォーマンスを向上させ、傷害リスクを緩和することが見出されている(65)。この用語が意味するものはストレングス&コンディショニング(S&C)専門職によって異なるが、一般に等尺性運動を行なう方法は2つある。すなわち、負荷に抵抗するか(保持する/応じる)、動かない物体に対して力を適用するか(押す/打ち勝つ)である(69)。以下では、柔道選手のトレーニングとしての等尺性運動について検証する。

柔道のパフォーマンスと関連して最も多く論じられ研究されている神経筋系の特性のひとつは把持力である(4,12,13,18,26,29,49)。柔道の技の多くは柔道着を掴むこと(組み方)を伴っており、上肢の筋力の大きさを必要とする(60)。対戦相手の柔道着を掴んで動きを制することから、最大等尺性握力は柔道選手が発達させるべき能力分野のひとつであると指摘されてきた(33)。最大等尺性握力は、男子選手については2分未満の試合における攻撃数($r=0.41$)、有効な格闘時間、および有効性と統計的に相関するとされている(48)。さらに、握力の向上は試合における攻撃の有効性と有意な正の相関関係にあった($r=0.34\sim 0.43$)(48)。これは女子選手についても同様であり、最大握力が高い選手のほうが試合における有効性が高かった(47)。しかし、異なる結果を示す研究も存在する。例えばFranchiniらは、エリートレベルと非エリートレベルの選手の間にはいかなる差も見出さなかった(27)。柔道の選手は、非常に多くの時間を対戦相手の柔道着を掴むことに費やすため、動的筋力または等尺性筋持久力との関連性のほうが高い可能性がある。

最大握力のトレーニングでは、マイクロサイクルとマクロサイクルの柔道に特異的なトレーニングの量を考慮する必要がある。等尺性筋力の尺度は、角度に特異的であると一般に考えられている(53)。したがって、柔道に特異的なトレーニングで相手の柔道着を掴むことは、それ自体が身体面と技術面

の至適発達方策を構成していると考えられる。その反面、ミクロサイクルやマクロサイクルのかなりの部分をすでに柔道に特異的なトレーニングに充てている、握力がパフォーマンスの制限因子となっているケースもあるだろう。このような場合には、代替的なトレーニング方策を検討する必要がある。最大等尺性握力については、大きな力、運動単位の素早い動員、柔道に特異的な動作要求と同様の把持角度を含む神経系トレーニングが効果的であろう(9)。

柔道選手の最大等尺性筋力の向上については、十分に発達させることが必要なもうひとつの身体部位がある。それは体幹部である。国際レベルの柔道選手は、国内レベルの選手よりも体幹部の安定性が高い(4)。動的な競技動作において、体幹部は様々な度合いで等尺性筋活動を行なう。これは、体幹部の過度の動きを抑制してパフォーマンスを向上させる防御機構である(58)。体幹部の筋は局所的にも全体的にも大きな等尺性筋力を必要とする。それによって大きな腹腔内圧を生み出し、腰部にかかる圧縮力を低減することで、安定性を提供して腰背部の傷害を防ぐことが可能になる(72,80)。そのためには、腹壁のすべての筋(腹直筋、内腹斜筋、外腹斜筋、腹横筋)と腰背部の伸展筋群を鍛える必要がある(72)。押すこと、打ち勝つことによる等尺性レジスタンスエクササイズは脊柱への軸負荷を高める(ラックプルとアイソメトリックフロントラックスプリットスクワット：図1)。そのため、特に体幹部の等尺性筋力の増大に適しており、エクササイズに

伴う腹腔内圧の高さによって安定性の向上を促すと考えられる(8)。軸負荷は体幹部の筋の活動を要求するが、腰方形筋や腹斜筋の活動はさほど大きくないようである(59)。したがって、体幹部の総合的な発達を図るプログラムには、側方屈曲(スーツケースキャリー：図2)、回旋/反回旋(トランスバースプリーピーボット：図3)、屈曲(軸負荷エクササイズ：図6)、伸展(ロープウォークアウト：図4)を行なうエクササイズを含めるべきである。

体幹部の総合的なトレーニングでは、腹壁の筋組織と脊柱安定筋群に対して漸進的な過負荷を利用する。国際レベルの柔道選手は、国内レベルの選手よりも体幹部の安定性が高い。これは床反力の効率の良い転移を生み出して、技の成功を助けると考えられる。体幹部の安定性の向上に効果的な体幹部のトレーニングプログラムは多平面的な性質をもつため、柔道のトレーニングと試合要求に対する備えとなる。これらの目標の達成を助けるトレーニング方策は、力を生み出す能力と外的な力に抵抗する能力を向上させるはずである。トレーニング専門職の参考となるエクササイズアプローチを表1に示した。

柔道選手における動的な最大筋力の役割と発達

前項では、主に等尺性筋活動による最大筋力が柔道で果たす役割について論じた。しかし、柔道では動的な最大筋力も大きな役割を果たし、選手のレベルを見分ける手がかりにな



図1 アイソメトリックフロントラックスプリットスクワット



図2 スーツケースキャリー

ると考えられる(11,18)。戦術的に優位に立って投技をかけるには、対戦相手をプッシュまたはプルする能力が必要である(6,32,37,68)。国際的なエリートレベルの選手は、国内レベルの選手よりも、上半身のプッシュ(ベンチプレス1RMで11.6%)と肩関節外旋の最大筋力(21.6~23.6%)が有意に高いことが見出されている(18)。これは、ランキング上位のアメリカ女子柔道選手は下位の選手よりも、肘関節の屈曲筋群と伸展筋群による等速性筋力が高いことを報告した調査結果(11)と一致している。

さらに、ひとつのトレーニングサイクルを通して追跡したところ、国際レベルの選手は国内レベルの選手よりも、上半身のプルの能力(ロウ1RMで4.42%)が有意に高かった(57)。

したがって柔道のストレングスプログラムには、胸部、背部、肩関節周囲の最大筋力の発揮能力を向上させるエクササイズを組み込むべきである。特に、肩関節で発揮した動的な力を体幹部に伝えるコーディネーションを向上させることが必要である。そのためには、ロープウォークアウト(図4)やロープクライムのバリエーション(図5)などのエクササイズを実施するとよい。体幹部と上半身の協調を高めるには伝統的なエクササイズも有用である。例えば、左半身または右半身をベンチに載せて行なうユニラテラルベンチプレスなどがよい(図6)。

柔道で対戦相手を制するには、上半身をよく発達させなければならない。しかし投技のバイオメカニクスの研究では、



図3 トランスバースプリーピボット

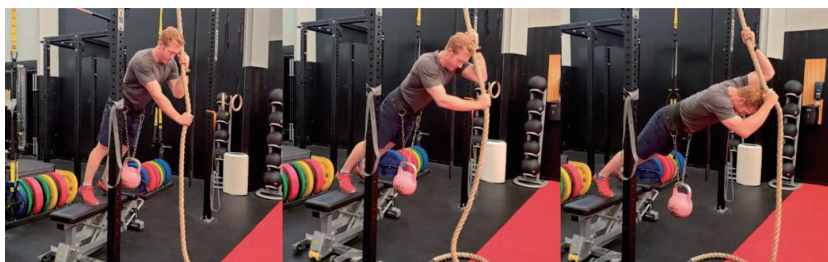


図4 ロープウォークアウト

表1 柔道選手のための等尺性体幹トレーニング

基礎	屈曲	伸展	水平	回旋
腰椎の動作	矢状面の動作：脊柱を前傾させる。	矢状面の動作：脊柱を後傾させる。	前額面の屈曲動作：脊柱を側方屈曲させる。	水平面の動作：脊柱を回旋させる。
等尺性トレーニング	屈曲を生むように負荷を適用する。能動的に負荷に抵抗してニュートラルな姿勢を保つ。軸負荷を利用するエクササイズとプローン/スパインホールドが最もよく利用される。	伸展を生むように負荷を適用する。能動的に負荷に抵抗してニュートラルな姿勢を保つ。プローンホールドおよび動作が最もよく利用される。	側方屈曲を生むように負荷を適用する。能動的に負荷に抵抗してニュートラルな姿勢を保つ。サイドライニングホールドおよび動作、キャリアが最もよく利用される。	回旋を生むように負荷を適用する。能動的に負荷に抵抗してニュートラルな姿勢を保つ。バンドおよびケーブルエクササイズが最もよく利用される。
柔道に特異的なエクササイズの例	スローイングダミージャーチャースクワット	ロープウォークアウト	スーツケースキャリア	トランスバースプリーピボット

下半身の動的最大筋力が最も重要な特性のひとつとされている。例えばデッドリフトやスクワットなどのエクササイズは、柔道選手の全身の筋力の向上に役立つ。事実、国内レベルの選手と比べると、国際レベルの選手はどちらのエクササイズでも約15%高い筋力を示した(18,20)。さらに、膝関節伸展筋群の筋力も大きかった(18)。機能的にみると、対戦相手であろうと、パンチや用具(ヤリ、ボール、砲丸など)であろうと、投動作における下半身の機能は類似している(19)。投動作は下半身から開始され、発揮された力は体幹部を通して腕に伝えられ、動作が遂行される(19)。柔道は動的性質の競技であり、一般的にはとらない多様な姿勢から力を発揮できな

ければならない(79)。そこで、量の上でのパフォーマンスへの転移を目指して下半身の最大筋力を発達させるには、ジェファーソンスクワット(図7)やストロングマンの器具を利用するエクササイズなど、最大筋力を鍛えるエクササイズが特に効果的かもしれない。

また、6RMのベンチプレス、スクワット、ミリタリープレス、バーベルショルダープレス、バーベルカール、プッシュダウンを含むストレングストレーニングを実施すると、国際レベルのU17男女選手の最大握力(ハンドヘルドダイナモメータによって測定)を4.2~7.0%向上させることができる(13)。トレーニングには、ウエイトリフティングの派生形や体操ド



図5 ロープクライムのバリエーション



図6 オフセットユニラテラルベンチプレス



図7 ジェファーソンスクワット

リル(ロープクライミング、ハンドオーバーハンドバーなど)、あるいは、柔道着の素材を利用する伝統的なストレングスエクササイズ(ロウ、チンアップ、ウェイトリッドキャリアなど)を含めてもよい。ピリオダイゼーション計画の各期に応じて、負荷のパラメータを、最大筋力の向上を可能にする一方で過度の疲労をもたらさないものに留めることも重要である。表2に、握力向上のための伝統的なストレングストレーニングエクササイズの漸進例を示した。

ランキング上位の選手の数値が高いことを考えると(11,18,20)、最大筋力は「豊の上」での成功に確かに貢献するだろう。しかし、ヨーロッパ、アジア、アメリカ各地の国際レベルの柔道のコーチ41名を調査したところ、最大筋力だけに投資し続けても、利益の増加が徐々に減るポイント(収穫逦減点)が存在する可能性が指摘された。これは、柔道選手には筋力の高さ、爆発力、疲労に対する抵抗力が必要であることを示唆している(67)。Arugaら(3)は、ベンチプレス、スクワット、パワークリーンの最大筋力(1RM)について、異なる体重階級に属する日本人選手を「劣っている」から「優れている」に分類する評価システムを提案した。しかし、どの程度の筋力があれば十分であるのか、つまり、競技レベルを超えた最大筋力の閾値がどれくらいであるかは不明のままである。筋力は、競技刺激に特異的な明確に区別される神経筋系の特性を基礎とする(74)。そのため最大筋力だけでなく、爆発的筋力や筋持久力などのほかのタイプの筋力が、柔道のパフォーマンスにどのように貢献するかを考えることが重要である。

柔道選手における爆発的筋力の役割と発達

柔道選手にとって重要なものは最大筋力だけではない。戦略的に優位に立って投技をかけるには、ごく短い時間で筋力を発揮する能力(パワーあるいは爆発的筋力)も重要である(6,32,37,68)。そのため、爆発的筋力が柔道のランキングの最良の予測因子のひとつであり(50)、エリートレベルとサブエリートレベルの選手を見分ける手がかりとなることは驚くべきことではない(10,17)。爆発的筋力の向上には、収縮組織を高速で短縮させる能力が不可欠である(78)。これは活動張力のみ(アクション-ミオシンクロスブリッジの短縮によって力を発揮する)、または活動張力と静止張力の組み合わせによって行なわれる(腱と結合組織の伸張と短縮を介して力を

発揮する)(54)。いずれにせよ、国際レベルの選手は国内レベルの選手と比べて、短縮性局面のみのジャンプ(14.6%)でも、伸張-短縮サイクル(SSC)を利用するジャンプ(18.5%)でもパフォーマンスが優れている。したがって柔道選手の爆発的筋力を高めるには、関係するすべての筋腱構造を向上させることが重要である。

柔道では、決定的で爆発的な動作によって効果的な位置取りを行ない、組み手を始める必要がある(60)。組み手争いは、対戦相手を制して試合を有利に運ぶためにきわめて重要である(42)。組み手は攻撃の方向によって異なるが、対戦相手の特定の部位(すなわち背部)を掴むことがより決定的で効果的な攻撃へと繋がる(41)。そのため、技術的に高度な技を爆発的に行なう能力が、攻撃の成否を分ける可能性がある。Kashiwagura&Franchini(42)による近年のスコーピングレビューは組み方に焦点を当て、経験豊富な柔道の選手は経験の浅い選手よりも、投技を開始する前の柔道着の把持に要する時間が短いことを見出した。これは、上級レベルの選手ほど、時間効率の良い方法で組み手を開始して投技を行なう爆発的能力を有しており、優れた技術的かつ戦略的能力を有していることを示している。

組み手で優位を確立すると、プッシュまたはブルの動的動作によって、投技をかけることに適した位置取りが行なわれる(32)。投技は、上半身と下半身の両方を利用する短時間(0.98~1.7秒)の高強度運動を特徴とする(7,56)。プッシュやブルの動作は、SSCなどの筋-弾性メカニズムの貢献によって動作効率を高め、爆発的筋力を至適化することを助ける(45)。上肢によって発揮されるピークパワー(プライオメトリックプッシュアップによって測定)は、柔道選手のレベルを見分ける手がかりとされる(4)。例えば、国際レベルの選手は、国内レベルの選手(22.8%)や州レベルの選手(39.2%)よりも発揮パワーが高かった。上半身における爆発的筋力の向上を目指すならば、メディシンボールスローなどのバリエーション動作を伴うエクササイズを検討するとよい。投動作は下半身における素早い力の発揮を伴い、発揮された力は腹壁の筋組織から上肢へ転移される。スローイングエクササイズをトレーニングプログラムに組み込めば、力の立ち上がり率を向上させ、体幹部の安定性を高め、神経抑制を低減させるであろう(36,39)。これは、柔道の能力を向上させる非特異的なトレーニング方法となる。

表2 握力向上のための伝統的なストレングストレーニングエクササイズの漸進例

ピリオダイゼーション局面	グリップの漸進	エクササイズ例
一般的準備期	スタンダードバー	デッドリフト
特異的準備期	グリップサーフェスの拡大	ファットバーシュラッグ
試合前期	競技特異的なグリップ	柔道着チンアップ

柔道において立位で行なわれる多くの動作、特に投技は、身体をねじって非直線的に爆発的パワーを発揮する能力を必要とする(6)。つまり、脚部、股関節、体幹部、上肢の協調を高めて、動作を推進する必要がある。体幹部の爆発的筋力の発揮、屈曲、伸展は、足からキネティックチェーンを通して発揮される力を足し合わせて、投技をかけることを助ける(19)。しかし特異的なトレーニングでは、野球の投手がボールを投げるよりも、柔道の選手が対戦相手を投げるほうが、はるかに大きな力を必要とすることに注意すべきである。そこで、一般的準備期には、チョップダウンなどのメディンボールスローエクササイズ(図8)を実施してコーディネーションを指導するとよい。これに対して競技特異的準備期には、ストロングマンの器具やグラップリングダミーを利用して、特異性の高い、大きな力発揮を伴う爆発的な動作へ進むとよい。これは、柔道選手のトレーニングで実施する様々なエクササイズに当てはまる。どのエクササイズでも、速度だけを重視するのではなく、より大きな力で爆発的に力を発揮することを目指すべきである。

上半身の最大筋力と爆発的筋力を発達させることは柔道の選手にとって重要であるが、トレーニングでは下肢の神経筋

のパワーを発達させることも重視するべきである。下肢の神経筋のパワーは組み手の開始と投技の実施に貢献するからである(60)。Zaggelidisら(82)は、経験豊富な男子柔道選手は鍛錬されていない選手と比べて、カウンタームーブメントジャンプ(CMJ)の跳躍高が高く、推進局面(短縮性局面)における接地時間が短く、SSCの利用に優れていることを確認した。また、CMJにおける跳躍高と平均およびピークパワーは、公式試合における攻撃数や様々な動作を実施する実効時間と有意に相関することも見出されている(47)。エリートレベルの柔道選手は、投技とジャンプを行なう際の神経筋の筋活動の合計が大きく、主働筋群と拮抗筋群の共収縮が少ないことも判明している(81)。これらの結果は、時間戦略の改善が、SSC動作におけるエネルギー貯蔵の至適化、弾性エネルギーの再利用、伸張性局面から短縮性局面への素早い移行(移行時間すなわち償却時間の短縮)を促し、ひいては試合のパフォーマンスを向上させる可能性を示している(16,42)。ベルトスクワットマシンの可変抵抗を利用するCMJなどのエクササイズ(図9)は、爆発的筋力を発達させる特異的な方策となる可能性がある。このエクササイズは上昇動作の筋の長さ-張力関係を示し、股関節の完全伸展なしで素早い脚の伸展を行なう



図8 チョップダウンメディンボールスロー



図9 バンディッドベルトスクワットジャンプ

ことによって爆発的筋力を発揮するため、多くの柔道の投技への転移を可能にする(6,68)。

柔道選手における筋持久力の役割と発達

柔道の試合は投技または「参った」によって勝敗が決するため、対戦相手の動きを制する最大筋力が必要である(18,20,47,57)。これに対して爆発的筋力は、素早く組み手を行ない、投技を効果的に行なうことを可能にする(10,15,17,47,82)。これを発達させることは無酸素性運動における利点となる。しかし、柔道の試合は通常3~4分間続き(1,76)、大会では複数の試合に出場しなければならないため、有酸素性能力も十分に発達させる必要がある。1~5分の格闘動作における有酸素性機構の貢献は50~81%とされる(40)。したがって、筋持久力が柔道のパフォーマンスに果たす役割を検証して、これを発達させる方法を探ることが重要である。

筋持久力とは、長時間にわたって一定限度の力を発揮する筋の能力である(70)。この神経筋系の特性は、試合中、選手が最大下の力を繰り返し発揮することを可能にする(50)。上半身と下半身の筋持久力は、柔道選手のランキングのスコアと強い相関関係($r=0.66\sim 0.89$)があることが見出されている(50)。また、選手のランクの区分において高い妥当性をもつことも判明している。例えば、国際レベルの選手は国内レベルの選手よりも、プルアップの実施回数が47.8%、それぞれの体重と同重量で行なったベンチプレスとスクワットのレップ数がそれぞれ34.8%、45%多い(18)。このデータは、筋持久力が柔道のパフォーマンスにおいて重要な役割を果たしており、最大筋力や爆発的筋力とともに発達させる必要があることを示唆している。

柔道の試合で最も時間的要求の高い課題は、組み手争いにおける優位の確立である(22)。組み手が確立されると、通常は前腕による(28)筋持久力活動が行なわれる(22)。つまり、対戦相手よりも優位に立って相手のバランスを崩し、投技をかけることが目指される。この局面は、柔道の試合で、立位の格闘時間の49~58%、休息时间を含めた全格闘時間の28%を占める(12,56)。これは、サブエリートレベルの選手と比べると、エリートレベルの選手の動的筋持久力が約25%高い理由を説明するかもしれない(28)。上半身の筋持久力トレーニングでは、ウェイトッドロープハング(図10)など、複数の筋群を同時に動員するエクササイズを実施するとよい。

興味深いことに、手と前腕の筋持久力が柔道のパフォーマンスに重要な役割を果たすことは確かであるが、エリートレベルの選手は初心者よりも、両手で対戦相手の柔道着を掴んでいる時間が短い(対戦時間のそれぞれ24%と86%)(12)。またエリートレベルの選手は、技術水準の低い選手と比べて相手の柔道着を掴む回数が多く、把持面積も広いが、掴んでい

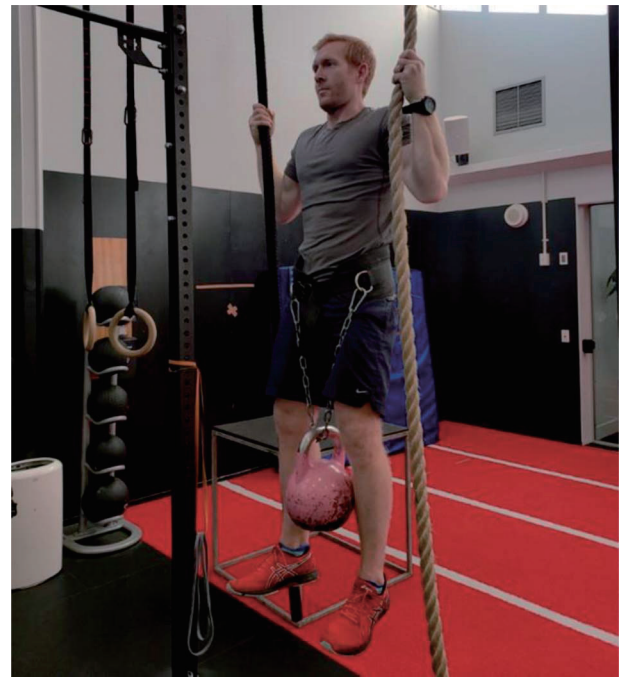


図10 ウェイトッドロープハング

る時間が短い(61)。技術水準によるこの差は女子選手に顕著であった(44,62)。これらの調査結果から、エリートレベルの柔道選手は多くのエネルギーを温存しておいて、決定的な動作を行なうことができるとみられる。そのため、筋持久力は経験の浅い選手にとって重要であり、戦術と技術に熟練するほど重要性が低下すると考えられる。

低酸素サーキットトレーニングなど、新しいトレーニングテクニックは、酸素運搬系に特有の適応を誘発する可能性がある(66)。低酸素状態への適応を生むには、酸素利用率が最も重要である(71)。柔道のマスターズ選手を対象として、常圧低酸素トレーニングを10セッション実施したところ、呼気の二酸化炭素濃度が低下し、呼吸数と酸素利用率が増加して、毎分呼吸量が増加した(66)。高地でのパワー指向の低酸素トレーニングは、エリートレベルの柔道選手において、漸増負荷CMJの力学的出力にわずかな増強効果を及ぼすことが見出されている(2)。ただし、低酸素条件下で爆発的トレーニングと持久系トレーニングのコンカレント(同時)トレーニングを長期的に実施すると、多大な末梢疲労によって筋の収縮特性が大きく変化することが示唆されている。これは、エリートレベルの柔道選手において、膝関節伸展筋群のトルクの発達と筋の収縮速度を阻害する可能性がある(75)。これらの発見は、低酸素トレーニングでは選手の反応を注意深く観察して、神経筋系の適応への有害な影響を避ける必要があることを示している。

S&Cプログラムには、一般に高強度インターバルトレーニング(HIIT)が含まれている。なぜなら、運動-休息比が適切

に調節されたHIITは、格闘の間欠的性質を模倣して筋持久力を向上させるからである(43)。筋持久力は、乳酸の除去とホスホクレアチンの再合成を促して高強度無酸素性運動からの回復を高める。無酸素性エネルギーの供給を主体とする競技に参加するアスリートのトレーニングプログラムにHIITを含めれば、有酸素性能力の発達を十分に促して運動後の回復を高めることができるであろう(24)。HIITによって柔道選手の有酸素性能力を発達させる方法を理解するには、da Silvaら(14)のレビューや、Franchini(21)やHarrisら(31)が提案するトレーニング指針を参照するとよい。HIITのプロトコルは、有酸素性能力と無酸素性能力の両方を発達させる点で圧倒的な利点がある(25)。しかし、長期的および短期的なHIITベースのプロトコルとのコンカレントトレーニングを実施して、レジスタンストレーニング前に最小限の休息しか設けなければ(77)、(干渉効果によって)筋力の増加が減衰する可能性がある。したがって、柔道のトレーニングプログラムの作成にあたってはこの点に留意する必要がある。

まとめと現場への応用

柔道選手の筋力パフォーマンスを最大化するには、柔道に特異的なトレーニングと非特異的なトレーニングを組み合わせるべきである。この方法は身体組成、最大筋力、筋持久力を向上させる(14)。特異的なトレーニングは柔道の技に熟達するために必要である。これに対してストレングスおよびパワートレーニングは、試合で効果を発揮する神経筋系の能力を向上させるため、やはり実施する必要がある(23,27)。柔道選手の総合的な成長には有酸素性トレーニングが不可欠であるが、筋力やパワーと柔道のパフォーマンスとの関係を考えて、競技で成功するには外部抵抗に打ち勝つことが不可欠である(18,49)。以上のことから、柔道選手の身体トレーニングプログラムでは有酸素性機構と無酸素性機構の両方の向上を目指すべきである。ただし、柔道の勝敗を決する動作は組み手争い(解糖系による代謝)と投技(アデノシン三リン酸とホスホクレアチンによる代謝)であるため、無酸素性機構に重点を置く必要がある(34)。特にエリートレベルの柔道選手については、爆発的筋力と筋持久力の分析を行なうことが、トレーニングの効率を高め、最終的には技の効果を高めることに役立つであろう(47,48)。◆

REFERENCES

- Ahmedov F, Garda sevic N, Onsiri S, Badayev R. Comparative analysis of durations of judo fight time: In the case of national and international championships. *Int J Creat Res Thoughts* 8: 50- 55, 2020.
- Almeida FN, Bonitch-Góngora J, Padial P, de la Fuente B, Morales-Artacho AJ, Feriche B. Effect of acute exposure to moderate altitude

- on kinematic variables of the ippon-seoi-nage and its relationship with the countermovement jump in elite judokas. *PLoS One* 13: e0206297, 2018.
- Aruga S, Onda T, Aso K, et al. Measurement of barbell lifting capacity and making strength standards in judo players. *Tokai J Sports Med Sci* 15: 7-17, 2003.
- Barbado D, Lopez-Valenciano A, Juan-Recio C, Montero-Carretero C, van Dieën JH, Vera-Garcia FJ. Trunk stability, trunk strength and sport performance level in judo. *PLoS One* 11: e0156267, 2016.
- Barreto LBM, Santos MA, Fernandes Da Costa LO, et al. Combat time in international male judo competitions: A systematic review and meta- analysis. *Front Psychol* 13: 817210, 2022.
- Blais L, Trilles F, Lacouture P. Three-dimensional joint dynamics and energy expenditure during the execution of a judo throwing technique (Morote Seoi Nage). *J Sports Sci* 25: 1211-1220, 2007.
- Blais L, Trilles F, Lacouture P. Validation of a specific machine to the strength training of judokas. *J Strength Cond Res* 21: 409-412, 2007.
- Blazek D, Stastny P, Maszczyk A, Krawczyk M, Matykiewicz P, Petr M. Systematic review of intra- abdominal and intrathoracic pressures initiated by the Valsalva manoeuvre during high-intensity resistance exercises. *Biol Sport* 36: 373-386, 2019.
- Bonitch-Góngora JG, Bonitch-Domínguez JG, Padial P, Feriche B. The effect of lactate concentration on the handgrip strength during judo bouts. *J Strength Cond Res* 26: 1863-1871, 2012.
- Branco BHM, Andreato LV, Ribeiro ED, de Oliveira HG, Almeida FN, Junior NN. Development of tables for classifying judo athletes according to maximal isometric strength and muscular power, and comparisons between athletes at different competitive levels. *Sport Sci Health* 14: 607-614, 2018.
- Callister R, Callister RJ, Staron RS, Fleck SJ, Tesch P, Dudley GA. Physiological characteristics of elite judo athletes. *Int J Sports Med* 12: 196- 203, 1991.
- Calmet M, Miarka B, Franchini E. Modeling of grasps in judo contests. *Int J Perform Anal Sport* 10: 229-240, 2010.
- Çelik NM, Soyal M. Comparing the hand grip power and creatine kinase levels of U-17 judo national team athletes before and after a 6-week strength training. *Pedagogy Phys Cult Sports* 24: 163-168, 2020.
- da Silva LS, Neto NRT, Lopes-Silva JP, Leandro CG, Silva-Cavalcante MD. Training protocols and specific performance in judo athletes: A systematic review. *J Strength Cond Res*, 2021. Available at: https://journals-lww-com.ezproxy.aut.ac.nz/nsca-jscr/Abstract/9000/Training_Protocols_and_Specific_Performance_in.94012.aspx.
- Del Vecchio FB, Dimare M, Franchini E, Schaun GZ. Physical fitness and maximum number of all- out hikidashi uchi-komi in judo practitioners. *Medicina Dello Sport* 67: 1-14, 2014.
- Detanico D, Dal Pupo J, Franchini E, Giovana dos Santos S. Relationship of aerobic and neuromuscular indexes with specific actions in judo. *Sci Sports* 27: 16-22, 2012.
- Detanico D, Dal Pupo J, Graup S, dos Santos SG. Vertical jump performance and isokinetic torque discriminate advanced and novice judo athletes. *Kinesiology* 48: 223-228, 2016.
- Drid P, Casals C, Mekic A, Radjo I, Stojanovic M, Ostojic SM. Fitness and anthropometric profiles of international vs. national judo medalists in half- heavyweight category. *J Strength Cond Res* 29: 2115-2121, 2015.
- Ellenbecker TS, Aoki R. Step by step guide to understanding the kinetic chain concept in the overhead athlete. *Curr Rev Musculoskelet Med* 13: 155-163, 2020.

20. Fagerlund R, Häkkinen H. Strength profile of Finnish judoists: measurement and evaluation. *Biol Sport* 8: 143–149, 1991.
21. Franchini E. High-intensity interval training in judo *uchi-komi*: Fundamentals and practical recommendations. *Arts Sci Judo* 1: 35–45, 2021.
22. Franchini E, Artioli GG, Brito CJ. Judo combat: Time-motion analysis and physiology. *Int J Perform Anal Sport* 13: 624–641, 2013.
23. Franchini E, Branco BM, Agostinho MF, Calmet M, Candau R. Influence of linear and undulating strength periodization on physical fitness, physiological, and performance responses to simulated judo matches. *J Strength Cond Res* 29: 358–367, 2015.
24. Franchini E, Brito CJ, Fukuda DH, Artioli GG. The physiology of judo-specific training modalities. *J Strength Cond Res* 28: 1474–1481, 2014.
25. Franchini E, Cormack S, Takito MY. Effects of high-intensity interval training on olympic combat sports athletes' performance and physiological adaptation: A systematic review. *J Strength Cond Res* 33: 242–252, 2019.
26. Franchini E, Del Vecchio FB, Matsushigue KA, Artioli GG. Physiological profiles of elite judo athletes. *Sports Med* 41: 147–166, 2011.
27. Franchini E, Kiss MAP, Sterkowicz S. Physical fitness and anthropometrical differences between elite and non-elite judo players. *Biol Sport* 22: 315–328, 2005.
28. Franchini E, Miarka B, Matheus L, Del Vecchio FB. Endurance in judogi grip strength tests: Comparison between elite and non-elite judo players. *Arch Budo* 7: 1–7, 2011.
29. Franchini E, Schwartz J, Takito MY. Maximal isometric handgrip strength in judo athletes from different age groups. *Sport Sci Health* 16: 93–98, 2020.
30. Franchini E, Takito MY. Olympic preparation in Brazilian judo athletes: Description and perceived relevance of training practices. *J Strength Cond Res* 28: 1606–1612, 2014.
31. Harris DM, Foulds S, Latella C. Evidence-based training recommendations for the elite judoka. *Strength Cond J* 41: 108–118, 2019.
32. Harter RA, Bates BT. Kinematic and temporal characteristics of selected judo hip throws. Presented at International Symposium on Biomechanics in Sports, Del Mar, CA, USA, 1985.
33. Henry T. Resistance training for judo: Functional strength training concepts and principles. *Strength Cond J* 33: 40–49, 2011.
34. Hernandez-Garcia R, Torres-Luque G, Villaverde- Gutierrez C. Physiological requirements of judo combat: Original research article. *Int Sports Med J* 10: 145–151, 2009.
35. Herzog W, Powers K, Johnston K, Duvall M. A new paradigm for muscle contraction. *Front Physiol* 6: 174, 2015.
36. Ikeda Y, Miyatsuji K, Kawabata K, Fuchimoto T, Ito A. Analysis of trunk muscle activity in the side medicine-ball throw. *J Strength Cond Res* 23: 2231–2240, 2009.
37. Imamura R, Itaya M, Hreljac A, Escamilla R. A kinematic comparison of the judo throw harai- goshi during competitive and non-competitive conditions. *J Sports Sci Med* 6: 15–22, 2007.
38. Issurin VB, Tenenbaum G. Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *J Sports Sci* 17: 177–182, 1999.
39. Judge L, Moreau C, Burke J. Neural adaptations with sport-specific resistance training in highly skilled athletes. *J Sports Sci* 21: 419–427, 2003.
40. Julio UF, Panissa VLG, Esteves JV, Cury RL, Agostinho MF, Franchini E. Energy-system contributions to simulated judo matches. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 676–683, 2017.
41. Brandão Kashiwagura D, Courel-Ibáñez J, Brandão Kashiwagura F, Agostinho MF, Franchini E. Judo technical-tactical dynamics: Analysis of attack system effectiveness in high-level athletes. *Int J Perform Anal Sport* 21: 922–933, 2021.
42. Kashiwagura DB, Franchini E. The grip dispute (kumi-kata) in judo: A scoping review. *Revista de Artes Marciales Asiaticas* 17: 1–18, 2022.
43. Kim J, Lee N, Trilk J, et al. Effects of sprint interval training on elite Judoists. *Int J Sports Med* 32: 929–934, 2011.
44. Klys A, Sterkowicz-Przybycien K, Adam M, Casals C. Performance analysis considering the technical-tactical variables in female judo athletes at different sport skill levels: Optimization of predictors. *J Phys Edu Sport* 20: 1775–1782, 2020.
45. Komi PV. Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech* 33: 1197–1206, 2000.
46. Komi PV. *Strength and Power in Sport*. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2003.
47. Kons RL, Dal Pupo J, Ache-Dias J, Detanico D. Female judo athletes' physical test performances are unrelated to technical-tactical competition skills. *Percept Mot Skills* 125: 802–816, 2018.
48. Kons RL, Franchini E, Detanico D. Relationship between physical fitness, attacks and effectiveness in short- and long-duration judo matches. *Int J Perform Anal Sport* 18: 1024–1036, 2018.
49. Kons RL, Franchini E, Detanico D. Neuromuscular and judo-specific tests: Can they predict judo athletes' ranking performance? *J Martial Arts Anthropol* 20: 15–23, 2020.
50. Kostrzewa M, Laskowski R, Wilk M, Blach W, Ignatjeva A, Nitychoruk M. Significant predictors of sports performance in elite men judo athletes based on multidimensional regression models. *Int J Environ Res Public Health* 17: 8192, 2020.
51. Krstulovic S. Predictors of judo performance in male athletes. *Homo Sporticus* 14: 5–10, 2012.
52. Krstulovic S, Zuvella F, Katic R. Biomotor systems in elite junior judoists. *Coll Antropol* 30: 845–851, 2006.
53. Lanza MB, Balshaw TG, Folland JP. Explosive strength: Effect of knee-joint angle on functional, neural, and intrinsic contractile properties. *Eur J Appl Physiol* 119: 1735–1746, 2019.
54. Lieber RL, Roberts TJ, Blemker SS, Lee SSM, Herzog W. Skeletal muscle mechanics, energetics and plasticity. *J NeuroEngineering Rehabil* 14: 108, 2017.
55. Liu L, Deguchi T, Shiokawa M, Ishii T, Oda Y, Shinya M. A biomechanics analysis of the judo osoto-gari technique: Comparison of black belt and white belt judokas. *Sports Biomech*: 1–13, 2021.
56. Marcon G, Franchini E, Jardim JR, Barros Neto TL. Structural analysis of action and time in sports: Judo. *J Quantitative Anal Sports* 6: 1–13, 2010.
57. Marques L, Franchini E, Drago G, Aoki MS, Moreira A. Physiological and performance changes in national and international judo athletes during block periodization training. *Biol Sport* 34: 371–378, 2017.
58. McGill S. Core training: Evidence translating to better performance and injury prevention. *Strength Cond J* 32: 33–46, 2010.
59. McGill SM, McDermott A, Fenwick CM. Comparison of different strongman events: Trunk muscle activation and lumbar spine motion, load, and stiffness. *J Strength Cond Res* 23: 1148–1161, 2009.
60. Miarka B, Branco BHM, Vecchio FBD, Camey S, Franchini E. Development and validation of a time- motion judo combat model based on the Markovian processes. *Int J Perform Anal Sport* 15:

- 315–331, 2015.
61. Miarka B, Del Vecchio FB, Julianetti R, Cury RL, Camey S, Franchini E. Time-motion and tactical analysis of Olympic judo fighters. *Int J Perform Anal Sport* 16: 133–142, 2016.
62. Miarka B, Fukuda HD, Heinisch HD, et al. Time motion analysis and decision making in female judo athletes during victory or defeat at Olympic and non-Olympic events: Are combat actions really unpredictable? *Int J Perform Anal Sport* 16: 442–463, 2016.
63. Moir G. *Strength and Conditioning: A Biomechanical Approach*. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning, 2016.
64. Monteiro LF, Massuc, a LM, Garcia JG, Carratala V, Proenc, a J. Plyometric muscular action tests in judo- and non-judo athletes. *Isokinetics Exerc Sci* 19: 287–293, 2011.
65. Oranchuk DJ, Storey AG, Nelson AR, Cronin JB. Isometric training and long-term adaptations: Effects of muscle length, intensity, and intent: A systematic review. *Scand J Med Sci Sports* 29: 484–503, 2019.
66. Rovniy A, Mulyk K, Perebeynos V, et al. Optimization of judoist training process at a stage of gradual decline of sporting achievements. *J Phys Edu Sport* 18: 2447–2453, 2018.
67. Santos L, Fernández-Río J, Almansba R, Sterkowicz S, Callan M. Perceptions of top-level judo coaches on training and performance. *Int J Sports Sci Coaching* 10: 145–158, 2015.
68. Santos L, Fernandez-Rio J, Luisa Ruiz M, et al. Three-dimensional assessment of the judo throwing techniques frequently used in competition. *Arch Budo* 10: 107–115, 2014.
69. Schaefer LV, Bittmann FN. Are there two forms of isometric muscle actions? Results of the experimental study support a distinction between holding and a pushing isometric function. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 9: 11, 2017. Available at: <https://bmc sportsscimedrehabil.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13102-017-0075-z>.
70. Siff MC. *Supertraining*. Denver, CO: Supertraining Institute, 2003.
71. Sinex JA, Chapman RF. Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. *J Sport Health Sci* 4: 325–332, 2015.
72. Stokes IA, Gardner-Morse MG, Henry SM. Intra- abdominal pressure and abdominal wall muscular function: Spinal unloading mechanism. *Clin Biomech* 25: 859–866, 2010.
73. Stone MH, Moir G, Glaister M, Sanders R. How much strength is necessary? *Phys Ther Sport* 3: 88–96, 2002.
74. Tillin NA, Folland JP. Maximal and explosive strength training elicit distinct neuromuscular adaptations, specific to the training stimulus. *Eur J Appl Physiol* 114: 365–374, 2014.
75. Tomazin K, Almeida F, Stirn I, et al. Neuromuscular adaptations after an altitude training camp in elite judo athletes. *Int J Environ Res Public Health* 18: 6777, 2021.
76. Van Malderen K, Jacobs C, Ramon K, Zinzen E, Deriemaeker P, Clarys P. Time and technique analysis of a judo fight: A comparison between males and females. Presented at Annals of the 11th Annual Congress of the European College of Sport Science, Cologne, July 5-8, 2006.
77. Vechin FC, Conceic, ão MS, Telles GD, Libardi CA, Ugrinowitsch C. Interference phenomenon with concurrent strength and high-intensity interval training-based aerobic training: An updated model. *Sports Med* 51: 599–605, 2021.
78. Wakeling JM, Ross SA, Ryan DS, et al. The energy of muscle contraction. I. Tissue force and deformation during fixed-end contractions. *Front Physiol* 11: 813, 2020.
79. Winwood PW, Cronin JB, Keogh JW, Dudson MK, Gill ND. How coaches use strongman implements in strength and conditioning practice. *Int J Sports Sci Coaching* 9: 1107–1125, 2014.
80. Wirth K, Hartmann H, Mickel C, Szilvas E, Keiner M, Sander A. Core stability in athletes: A critical analysis of current guidelines. *Sports Med* 47: 401–414, 2017.
81. Zaggelidis G, Lazaridis SN. Muscle activation profiles of lower extremities in different throwing techniques and in jumping performance in elite and novice Greek judo athletes. *J Hum Kinetics* 37: 63–70, 2013.
82. Zaggelidis G, Lazaridis SN, Malkogiorgos A, Mavrovouniotis F. Differences in vertical jumping performance between untrained males and advanced Greek judokas. *Arch Budo* 8: 85–90, 2012.

From Strength and Conditioning Journal
Volume 45, Number 6, pages 663-673.

著者紹介



ManYing Ren :

Beijing Research Institute of Sports Science のストレングス & コンディショニング部門の責任者。



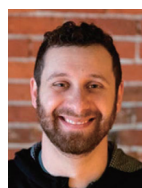
Yu Tian :

Beijing Yanding Sports Culture Corporation の運動科学コンサルタント。



Conor McNeill :

ニュージーランド Black Fern 7s (7人制ラグビー女子ニュージーランド代表) のヘッドストレングス & コンディショニングコーチ。



Seth Lenetsky :

Canadian Sport Institute Pacific のシニアストレングス & コンディショニングコーチであり、オペレーションリーダー。



Aaron Uthoff :

Auckland University of Technology のスポーツ & レクリエーション学科の特別研究員。