

Keywords 【体力テスト：fitness testing、個別化：individualization、サッカー：soccer、
トレーニング処方：training prescription】

サッカーの体力テスト再考： 現代版テストバッテリーの開発

Fitness Testing in Soccer Revisited: Developing a Contemporary Testing Battery

Jonathan M. Taylor,¹ Ph.D. Jonathan L. Madden,² M.Sc. Louis P. Cunningham,³ M.Sc.
Matthew Wright,¹ Ph.D.

¹ Department of Science, Sport and Exercise, Teesside University, Middlesbrough, United Kingdom

² Leeds United Football Club, Academy Physical Development Department, Leeds, United Kingdom

³ Physical Performance Department, Norwich City Football Club, Norwich, United Kingdom

要約

サッカーの試合では、選手が総合的な身体能力を備えていることが決定的に重要である。したがって、選手の身体能力向上プログラムでは、複数の体力要素を同時に強化することを考慮しなければならない。トレーニングの効果的な個別化は、適切な選手プロフィールを作成することにより促進される可能性が高い。したがって、時間効率に優れ、情報量の多いテストバッテリーを開発することは、専門職にとって非常に重要である。過去10年間の知識と技術の進歩は、プロの男女サッカー選手と仕事をする専門職が用いるテスト方法に改善をもたらした。その結果、テストの選択とデータ分析には、現代的なアプローチが徐々に採用されるようになってきた。さらに、1日でテストバッテリーを終了する従来の方法は、フルタイムのプロ選手にとってもはや時代遅れであり、テストのスケジュールに対するより柔軟な取り組みが、おそらくより一層適切で時間効率的であると思われる。本稿では、男女両選手のために、時間効率に優れたテストを中心に、最大有酸素性能力、最大下有酸素性能力、直線および方向転換のスピード、伸張-短縮サイクルパフォーマンス(ジャンプテスト)に関するガイダンスを提供し、効果的な個別化されたトレーニング処方を推奨する。また、標準値および有意差のある変化のデータを提示することで、意思決定の一助となるよう、専門職が参照できる基準とする。最後に、体力テストをスケジュールする際の時間効率的な方法を紹介するが、これは、週ごとのピリオダイゼーションによる日々のトレーニング成果を補完するものである。

はじめに

サッカーの試合では、低強度の活動を挟みながら、高強度から最大強度の活動を行なうことが特徴である(28,89)。試合中のプレーでは、男子エリートレベルの選手の場合、約800mの高速移動(>19.8km/時)と最大300mの超高速移動(>25.2km/時)を行ないながら、1試合で約10~13kmの距離を移動する(16)。同様に、女子エリートレベルの選手は、試合中に約9~11kmの距離を移動し、1,000m以上を高速で(>18.0km/時)、約250mを超高速(>25.0km/時)で走る(28)。タックル、ジャンプ、キック、方向転換などは、プレー中に幾度も行なわれる(28,89)。そのため、エリートレベルでは、バランスのとれた総合的な身体能力が必要とされ、選手の身体能力向上プログラムでは、シーズンを通して複数の体力要素を十分に強化することを考慮しなければならない。

体力テストは、選手における身体能力の向上に役立つツールであり、長所および短所の客観的な特定、データに基づく才能の発掘、トレーニング介入/リハビリテーションにおける効果の客観的評価、および個別のプログラム処方に役立つ(72)。チームスポーツでは、個人のためにトレーニング処方を改善することは難しいが、パフォーマンスに影響を与える因子をより深く理解できるテストプロトコルを実施することにより、各選手に合わせた処方の機会が拡大しうる。従来の体力テストでは、スプリント、ジャンプ、アジリティおよび方向転換、有酸素性能力などを測定してきた(95)。しかし、知識や技術およびデータ処理の進歩により、これらの能力を評価する、従来よりも包括的なアプローチが可能になった。

テストの前提は新しいものではないが(72)、サッカー界では、トレーニングの実践に役立つデータを迅速に収集し処理する能力が発達したことにより、体力テストにいかに取り組みべきかを再考する必要性が高まっている。

本稿の目的は、男女サッカーに携わるストレングス&コンディショニング(S&C)専門職に、既存のテスト方法の概要を提供し、さらに、身体能力のモニタリングやトレーニング処方に対する個別的アプローチを促進するために、利用可能な体力テストに関して、現代的な観点を提示することである。さらに、時間効率の良いテスト法を実施するために、選手のトレーニング計画と相補的な体力テストのスケジュール計画に関しても新たな視点を提供する。

有酸素性能力

有酸素性能力の優れたサッカー選手は、試合後半の技術的パフォーマンスの疲労による低下が少なく、より強靱で安定している(59,79)。有酸素性能力評価のゴールドスタンダードは、最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)および $\dot{V}O_{2max}$ における関連速度(しばしば最大有酸素性速度と呼ばれる)の測定であり、これらは一般に実験室ベースの段階的運動テスト(GXT)によって算出される。エリートレベルの男子および女子選手の $\dot{V}O_{2max}$ は、それぞれ62~65mL/分および50~52mL/分の範囲であると報告されている(28,97)。しかし、実験室ベースの評価を用いるには時間がかかり、また、 $\dot{V}O_{2max}$ はサッカーでは十分に感度の高い指標ではないと考えられ、試合中の標準値は識別できない可能性がある(3,97)。そのため、専門職の間ではフィールドテストが圧倒的に多く使われている。

タイムトライアルは有酸素能力を評価するもうひとつの手段であり、最大有酸素性速度(MAS)の予測のためには、1,600~2,200m(約5~8分)のタイムトライアルが、GXTに代わる時間効率の良い選択肢となっている(6)。GXTから得られたMASとタイムトライアルの平均タイムとの間には強い一致がみられ(クラス内相関係数[ICC] $r=0.80$)、十分なトレーニングを積んだアスリートでは、短時間タイムトライアルのパフォーマンスにおける変動係数が低いことも報告されているため(変動係数[CV] 1~3%)、信頼性が高いことが示唆される(20,26)。さらに、若いプロ選手(16~18歳)を対象に報告された1,500mタイムトライアルの最小可検変化量は1.3%であり、体力状態の変化に対する感度が高いことも示唆された(35)。一方、平均速度からMASを予測する方法として、セットタイムトライアル(例:5分間で走った距離)が提案されている。しかし、この種のテストではペース設定が重要であり、エンドポイント(測定対象スピード)が明確ではないため、この方法は鍛練者のランナーにしか通用しないことが示唆されている(12)。有酸素性運動のインターバルを処方するために

MASを使用することは、以前から定評のある手法ではあるが(30,101)、移動運動閾値の個別設定に生理学的因子を用いることが有効であるとの前提に基づき(35)、トレーニング負荷のモニタリングにMASを使用することが普及しつつある。トレーニングやモニタリングの過程におけるMASの有用性にもかかわらず、チームスポーツで必要とされる超最大(MASを超える強度)のトレーニング強度の処方に、MASを単独で使用することには限界があり、MASと最大スプリント速度を合わせて使用すること、すなわち無酸素性速度予備量(ASR)が実効性のある解決策である(13)。最近では、MASとASRを組み合わせることにより、選手の生理学的なタイプに基づいた個別プログラムを処方でき、体力効果を高められる可能性があることが提唱されている(80)。しかし、このコンセプトの実証的なエビデンスを提供するためには、さらなる研究が必要である。

間欠的プロトコルは、その競技特異性が認識されているため、サッカーで広く用いられている。有酸素性能力の評価には、Yo-Yo間欠的テストのバリエーションがよく用いられ、Yo-Yo間欠的リカバリーテストのレベル1(YYIR1)とレベル2(YYIR2)がおそらく最もよく利用されていると思われる。男女の選手において、試合中の高強度ランニングとYYIR1のパフォーマンスには大きな相関関係があることが報告されており($r=0.70\sim0.81$)、YYIR1の予測妥当性が高いことが示唆されている(3)。また、YYIR1のCVは8.1%と信頼性も高く(3)、男子エリートレベルの選手は2,100m以上、女子エリートレベルの選手は約1,500mを走る場合に、それぞれ適用可能であると報告されている(3)。YYIR2では無酸素性能力がより重視され、1,000mを超える距離を走る男子選手では妥当な信頼性(CV10.4%)を有しているが、女子選手に関するデータが不足している(3)。Yo-Yo間欠的テストの主な限界は、テスト結果から、トレーニング処方に直接利用可能な指標が得られないことである。具体的には、疲労困憊時に走った距離/レベルは有酸素性能力の指標を提供するだけで、距離と強度の処方に使用できる単位ではない。

その結果、30-15間欠的持久力テスト(IFT)の popularityが高まっている。30-15 IFTの成績は $\dot{V}O_{2max}$ と強い相関があり($r=0.68$)、高い構成概念妥当性、信頼性および体力状態の変化に対する感度を有している(14)。最終段階速度(V_{ift})と最高心拍数(30-15 IFTに関連する主な結果指標)は、チームスポーツ選手において、 $ICC>0.80$ 、CV5%未満と報告されており、良好な信頼性があることが証明されている(39)。興味深いことに、30-15 IFTの最終段階の速度は、MASの約115%であると報告されている(12)。30-15 IFTとYYIRは50%の分散を共有しているため(11)、同様の体力構成概念を評価することになるが、YYIR1は有酸素性代謝過程により大きく

依存し、30-15 IFTは有酸素性と無酸素性の両代謝過程を含むため、決定因子は異なると思われる(11)。30-15 IFTの主な長所は処方への有用性であり、最終段階の走速度は、インターバルトレーニングの心肺系持久力における要求度の標準化に関して(15)、また最大および最大下の強度のインターバルトレーニングに関して(13)、正確かつ効果的な基準を提供する。

以上をまとめると、サッカーにおける有酸素性能力の評価には、競技特異性の認識に基づいて、様々な間欠的テストが使用されている。タイムトライアルに基づくテストは貴重な情報を提供するが、タイムトライアル由来のMASだけを処方目的で使用するには限界があるため、ASRの有利性を裏づけるためのさらなる研究が必要である。科学的研究においては、従来YYIRテストが注目され、標準データも広く利用されているが、30-15 IFTはトレーニング処方やモニタリングに貴重な情報を提供できるため、利用が推奨される。30-15 IFTをチームスポーツのトレーニング指導に利用する具体例は、科学的研究から入手できる(12,13,85)。専門職は、このテストを利用してプログラムを作成する際のさらなるガイダンスとして、これらの研究を参照する必要がある。

最大下テスト

最大有酸素性能力テストはよく行なわれるが、最大下のプロトコルとそれに伴う心拍数測定は、より頻繁に評価を行なうための貴重なツールである。これは、ウォームアップの一部として計画に入れやすく、測定後の疲労が少ないためである。さらに、心拍数測定は非侵襲的であり、時間効率に優れ、また比較的安価な方法でもある(10)。最大下のプロトコルで実施する心拍数測定には、絶対値または相対値としての運動中心拍数(HRex: heart rate during exercise)と心拍数回復(HRR: heart rate recovery)があり、どちらも心臓血管系機能の指標となる。つまり、一般的に心拍数と自覚的運動強度が低いほど身体機能は優れている(7,27)。HRexの測定には、4~6分間で行なうテストの最後の30~60秒の平均値が推奨され(10)、相対値で表わすと、相対的なエクササイズ強度を示す優れた指標となる(10)。HRRは、通常、最大負荷試験終了後の60~120秒で評価されるが(27,69)、トレーニングステータスの変化に対する感度が低い可能性がある(10)。したがって、HRexとHRRを併用することは、有酸素性能力の変化を正確に把握する絶好の機会を提供する。

サッカー選手の体力評価には、YYIRの最大下バージョンが利用できる。YYIR1の最大下バージョン(6分間)は、鍛練者の選手において、HRex(CV約1~3%)およびHRR(CV約6%)に関して、許容可能な信頼性を有することが証明されている(32,54,69)。また、最大下のYYIR1は、YYIR1

のパフォーマンスに関して良好な予測妥当性を有しており($r=0.81$)(3,54)、最大下YYIR1後におけるHRexの最小有効変化は1~4%と報告されている(69,74)。同様に、最大下のYYIR2は、プロ選手における典型誤差(CV1.4%)が低く、良好な信頼性を有し、YYIR2と試合中のランニングパフォーマンスとの強い相関関係($r=-0.75$)を有し、優れた予測妥当性が報告されている(8)。

これに代わるテストとして、Rabbanら(73)により提案されている最大下ウォームアップテストは、特にモニタリングの目的で実施できる可能性があると思われる。Rabbanら(73)は、最大下シャトルラン(100m、走速度12.5km/時で標準化)の信頼性と妥当性を評価した。これはアスリートのウォームアップに簡単に取り入れることができる。男子プロ選手では、HRex(テストの最終30秒における平均値、CV1.4%)、HRR(終了後60秒の平均心拍数、2.8%)が報告されており、さらに、HRex(%、 $r=-0.5$)およびHRR(%、 $r=-0.76$)は30-15 IFTのパフォーマンスと大きな逆相関を示し、良好な併存的妥当性が示唆された。また、HRexとHRR(%)の変化もそれぞれ3%および6%で最小有効変化であることが報告された(73)。標準化された連続走速度を使用することによる実施の容易さと潜在的な利点を考慮すると(10)、我々は現場の専門職に、例えば週単位で選手を定期的にモニタリングするために、この最大下ウォームアップテストを使用することを推奨する。

スピードテスト

スプリントは試合中のプレーの重要な局面で行なわれるため、スピードおよび加速度は、重要なパフォーマンス指標といえる(33)。エリートレベルの選手における走速度は時代とともに速くなり、男子選手では1995~1999年と2006~2010年の間に20mスプリントでの最大速度が2.5%向上したことが報告されている(46)。さらに、男子プロサッカーにおいては、試合中に行なうスプリントの回数(約85%)と距離(35%)が、同じく時代とともに増加している(5)。加速度および最大スプリント速度でプレー水準を区別することも可能であり、エリートレベルの選手は準エリートレベルの選手より速いことが報告されている(45)。従来は、サッカー選手におけるスピードの質(加速度、最大スプリント速度)の評価には、5~30mのショートスプリントが用いられ(95)、市販のタイミングゲートを用いてスプリットタイムを測定していた(44)。タイミングゲート(≤ 40 m)を用いたスプリントパフォーマンスの評価における信頼性については研究で広く検討されており、良好な信頼性(CV1~3%)が報告されている(44)。

スプリットタイムを用いたスプリントの評価方法は一般的

ではあるが、現場では他の方法が人気を得ている。そのひとつに、人工衛星による全世界測位システム(GNSS)を利用した最大速度の評価があり(55)、トレーニング中や試合中に最大速度の計測ができるため、体力測定に伴うスケジュール調整や実際的な問題を軽減することができると考えられる。10HzのGNSSを利用することは、レーダーガン技術と比較した場合、最大速度の評価において有効で信頼できることが証明されている(4,76)。チームスポーツ選手の30mスプリントにおける最大速度に関しては、低い誤差(CV約1.5~2.1%)と高い相関関係(およそ $r=0.95$)が報告されている(4,76)。これは、GNSSから得られる最大速度が、個々の選手における移動運動閾値の決定に頻繁に使用されていることを考えると、非常に重要である(62)。エリートレベルの選手では、GNSSによる最大速度は、男性で約9.6m/秒、女性で約8.0m/秒と報告されている(44,70)。このような利点があるにもかかわらず、GNSS技術は加速度など、スプリントパフォーマンスの異なる側面を評価するには適していないと思われる。さらに、試合形式のトレーニングや試合中のプレーでGNSSを用いて最大速度を評価することを選択した場合には、真の最大速度が得られない可能性があることを専門職が理解することも重要である。ただし、この点についてはいくらか議論の余地がある(9,29,61)。GNSSを測定法として選択した場合、機器間の差異が結果に影響しないように、選手は常に同一の機器を装着しなければならない(76)。ただし、データの正確性を確保するために、水平精度低下率と衛星数により、信号品質を確認することが推奨される(58)。

最近の研究で、スプリント走パフォーマンスを支える巨視的な力学特性を単純なモデルを用いて探索できることが証明された(81)。選手の30~40mスプリントにおける速度-時間曲線から、理論的な最大速度(V_0)、最大の力(F_0)、水平方向のパワー(Pmax)を推定し、個々の選手の力-速度-パワープロファイルを作成することができる(64,81)。力-速度曲線の傾き(sFV)、水平方向の力と鉛直方向の力における比(RF)、スプリント中におけるRFの減少率(DRF)もこのモデルから導かれ、スプリントの運動力学と運動学の理解にとって価値がある(64)。したがって、以前は実験室で計算することしかできなかった変数が、今はフィールドで測定できる。この方法は、フォトセルタイミングゲート、レーダーガン、タブレット端末用アプリケーション(MySprint)を用いた高速度ビデオ撮影により、正確かつ信頼性をもって実施できる(41,77)。最近、スプリントの力-速度-パワープロファイルを計算するためのGNSSデータの利用について研究が行なわれているが(66)、このプロセスの検証にはさらなる研究が必要である。スプリントの力-速度-パワープロファイルはスプリント能力の詳細な評価を提供し、スピード向上の

ための個別アプローチを促進できる(48)。例えば、水平方向の力発揮不足が観察される場合には、水平方向のストレングストレーニングに重点を置いてプログラムを作成する必要がある(48)。さらに、サッカー選手の F_0 、 V_0 、sFV、Pmax、RF(%)に関する標準データが増えたことにより、この現代的な方法は、専門職にとってより一層実用性が高まっている。サッカー選手の力学的出力の試技間信頼性については、 V_0 で約1.5%、 F_0 、Pmax、SFV、DRFで3~5%と報告されているが(41)、専門職は、対象集団における短期間(週ごと)の信頼性を評価することを検討する必要がある。

以上をまとめると、スピードはサッカーのパフォーマンスにとって重要であり、スピードの構成要素(加速度および最大速度)は定期的に評価する必要がある。技術と知識の進歩により、スピードの測定に関して様々な選択肢が提供されている。今では、専門職は、フィールドでスピードの質の詳細な評価を行なえるようになり、その結果をトレーニングのモニタリングや処方に役立てることができる。我々は、適切な個別トレーニング処方を促進するために、スプリントの力-速度-パワーの評価と合わせて、ベンチマークの手段として、スプリントのスプリットタイムを利用することを推奨する。

伸張-短縮サイクルのパフォーマンス

筋力とは、様々な生体力学的条件下で、力を発揮する能力と定義される(17)。最大筋力は、単独では、サッカーのパフォーマンスへの直接的な適用は限られると思われるが、「爆発的(explosive)」または「衝撃的(impulsive)」なアスリートの能力向上において、最大筋力の役割は重要である(100)。ニュートンの法則によると、力積(力×時間)は物体における運動量の変化に等しく、方向と大きさの両方をもつベクトル量である。接地中全体の力発揮は(例：スプリント、ジャンプ、カット/方向転換中の接地)、経験する運動量の変化に比例して加えられる力積を意味する。神経筋の最大努力は、力積の最大化という目標をもつが、力積と運動量の関係($Ft/m = \Delta v$)に従って、結果としての速度が決定される。例えば、選手がボールに向かって直線的に前方に加速する場合、選手は後方と下方に素早く力積を伝えることが要求される。同じ合力をより短時間で発揮するか、または同じ時間でより大きな力を発揮できれば、相手より先にボールに到達しようとする際に有利である(60)。したがって、最大の力積、力、速度の測定により、伸張-短縮サイクルの機能を評価することはきわめて重要である。

ジャンプの評価は、鉛直方向の最大力積を推定する簡便な方法であり、研究文献ではカウンタームーブメントジャンプ(CMJ)テストが最も多く報告されている(22,43)。ジャンプのパフォーマンスは、通常、跳躍高(身体重心の推定変位)で

評価される(65)。跳躍高は、選手やコーチにとって、鉛直反力とその結果の力積をわかりやすい単位で表すことができる有用かつ信頼性の高い尺度である。フォースプレートを用いて離地速度から跳躍高を推定する方法は、最も標準的な方法と考えられているが(38)、この滞空時間法は、フィールドにおいて跳躍高を推定するための様々な装置の開発を可能にした。Optojump(マイクロゲート社)などの光学測定システムやモバイルアプリケーション(MyJump)を用いて算出される滞空時間や跳躍高は、フォースプレートを用いた場合と強い関連性があることが明らかになっている($r=0.96\sim 0.995$)(2,18,36,75)。これらの方法は、強い信頼性も証明されている(ICCs $0.93\sim 0.97$, CV $3.3\sim 4.2\%$)。エリートレベルの選手の平均的な滞空時間から推定されたCMJ(上肢動作なし)の跳躍高は、女子選手で約30cm(31)、男子選手で約40cm(46)である。それでも、ジャンプの戦略や力-速度プロフィールをより深く理解するためには、この跳躍高から先へ進むことが有益であると思われる。

跳躍高は、地面に発揮された鉛直方向の力の大きさと、その力が加わっている時間、つまり鉛直方向の力積の結果である(63)。そのため、同じ跳躍高を得るためには、より大きな力をより短い時間で発揮するか、その逆を行なう必要があるが、サッカーでは前者が有利になる可能性がある(94)。さらに、反動動作が許される場合は、反動動作のないジャンプ(例:スクワットジャンプ[SJ])と比べれば、より高い跳躍高を達成することができるが、これは力積が増加した結果である(96)。フォースプレートを用いた力-時間分析(63)は、これらの戦略を特定し、反動動作、推進局面の力、時間、または力積などの伸張-短縮サイクルを定量化するのに有効であると考えられる。これにより専門職は、選手の神経筋や伸張-短縮サイクルの機能をより深く理解することができ(63)、トレーニングプログラムを個別に作成する際の貴重な情報が入手できる。例えば、コーチはこのような情報を利用して、身体能力向上プログラムの中で、より伸張性または短縮性に重点を置くことが必要な選手や、絶対的な力発揮能力や力の立ち上がり率の改善に焦点を当てること有益な選手を識別できる。しかし、その妥当性や信頼性には様々な潜在的評価基準があり(98)、詳しい内容は本稿で取り上げる範囲を超えている。専門職は、網羅的に分析するのではなく、事前に重要な変数を検討しておくこと、そして、例えばMcMahonら(63)などの公表されているガイドラインに従うことが推奨される。フォースプレートを保有していない専門職にとっては、スローモーションビデオ解析は、力が発揮される時間を理解し、単なる跳躍高からその先の分析へと進むための代替手段となりうるだろう。

ジャンプの踏み出し距離を制御すれば、パワーは力と速度

の積に等しく、選手のジャンプにおける力-速度-パワープロフィールは、スプリントについて概説したのと同様の原理を用いて導き出せる(64)。これには、SJやCMJを様々な負荷条件の下で行なうことが必要である。それにより、スプリントの力-速度-パワーテストと同様に、理論的な最大の力、速度、最大パワーを推定することができる。最適な力-速度プロフィールは、選手の体重と同じ負荷で最大パワーが得られる場合であり、このプロフィールから外れた場合にはトレーニング処方に影響を与えることが示唆される(64)。これらの方法は信頼性が高く有効であるため(53,83,84)、高価なフォースプレートが利用できなくても、フォトセルデバイスやモバイルアプリケーションを用いて実施可能である(2,24,65,87)。これらをCMJに応用した場合、スポーツ選手において試技間の高い信頼性が報告されている。すなわち、跳躍高、力、速度、パワーについて、レベル再現性が高く(ICC >0.95)、推定標準誤差が小さい(CV $<1.0\%$)(53)。しかし、最近では短期(週ごと)の信頼性には疑問が生じている。デバイス間(フォースプレート、エンコーダ、滞空時間)の推定標準誤差が大きく、速度に関するICCが低いこと(CMJ:CV $11.8\sim 17.5\%$, ICC $0.19\sim 0.69$)(SJ:CV $8.6\sim 17.4\%$, ICC $0.54\sim 0.79$)、またCMJを用いた力-速度プロフィールの傾きの標準誤差が大ききこと(CMJ:CV $15.5\sim 26.7\%$, ICC $0.40\sim 0.78$)(SJ:CV $13.9\sim 29.3\%$, ICC $0.36\sim 0.76$)(56)が報告された。このように研究結果にばらつきがみられること、また方法の違いが信頼性に影響する可能性が高いことを考慮すると(50)、力-速度プロフィールの利用を選択する専門職は、Morin&Samozino(64)が概説した手順に慎重に従い、対象集団における短期(週~週)の信頼性評価を検討することが推奨される。

最後に検討すべきことは、伸張-短縮サイクル機能および/または矢状面の鉛直方向のスティフネスを評価するために、ドロップジャンプ(DJ)または連続ジャンプによる反応筋力(reactive strength)を測定することである(36,60)。反応筋力指数(RSI: 跳躍高または滞空時間/接地時間)は、選手が短時間に所定の力積を伝達する能力に関して、専門職に重要な情報を提供する(36,60)。最近のメタ分析では、RSIと加速力、および最大スピードとの関連性は中程度であり、方向転換能力との関連性が大きいことが報告されている(51)。RSIは、通常30cmのボックスからのDJが用いられている(23,90)。さらに、反応筋力の簡易的な測定法として、5~10回の連続ジャンプテスト(40)があり、ジャンプの力-速度プロフィールと同様、フォトセルデバイスやモバイルアプリケーションを利用して実施できる。チームスポーツ選手において、跳躍高、接地時間、5~10回の連続ジャンプテストから得られるRSIは信頼できる指標である(ICC >0.89 , CV4

～10%) (23,90)。これらの指標は、少なくとも中程度のパフォーマンスの変化を追跡するのに有効であり、連続ジャンプを用いて、30 cmのDJで得られるのと同等のRSIが得られる(23,90)。CMJは遅い伸張-短縮サイクル(およそ>250ミリ秒[ms])を評価する方法であり、一方、DJテストや連続ジャンプテストは速い伸張-短縮サイクル(およそ<250ms)を推定できる(23,96)。したがって我々は、サッカー選手の伸張-短縮サイクルに関連する身体特性を評価するためには、両テストを含めることを推奨する。これには、選手が正しいテクニックと最大強度でテストを実施することが前提である。例えば、DJや連続ジャンプ中のかかと接地は、反応筋力曲線を変化させ、速い伸張-短縮サイクル活動という前提を変えてしまうだろう(60)。専門職は、ジャンプにおける力-速度-パワープロファイルの利用も検討することが望ましい(図)。

ジャンプテストの変数も、サッカー選手における神経筋疲労の潜在的な代理指標となりうる(34)。これらのデータは、ジムで行なう通常のS&Cセッション中に迅速に収集できる。しかし、同じ結果を得ようと選手が跳び方を変える可能性があるため、CMJの高さだけでは、疲労を確認する感度は不十分である(93)。例えば、CMJは時間がより長く、短い伸長性局面で行なわれることが示されている(38)。対照的に、CMJのフォースプレートによる滞空時間/収縮時間比(25)やDJのRSIは、疲労状態の感度の高い指標となる(36)。

要約すると、選手の力発揮能力、特に比較的短時間に伝達

できる力積の評価が重要である。我々は専門職に対し、速い伸張-短縮サイクルと遅い伸張-短縮サイクルの両機能を推定するために、CMJとDJまたは連続ジャンプテストの実施を検討することを推奨する。さらに、図に詳細に示すように、個人の特性を把握するために、ジャンプの力-速度-パワープロファイルや力-時間分析を追加することを推奨する。

アジリティ/方向転換のパフォーマンス

アジリティとは、刺激に反応して速度や方向を変化させる素早い全身運動であり(86)、サッカーにおける重要な体力要素として確認されている。しかし、知覚能力と方向転換能力の両方がパフォーマンスの基盤であるため、アジリティの評価は複雑である(71)。アジリティを効果的に評価するためには、知覚的なパフォーマンス(反応時間)と運動時間(総時間)を区別することがきわめて重要である(67)。ところが、生態学的妥当性および信頼性の高い方法でこれらを区別することは難しく、サッカーにおけるアジリティ評価の利用には限界がある(71,95)。最も適切なアジリティテストに関する合意は存在せず、光や音声による合図への反応など、これまで使用されてきた方法は最適とは言いがたい(67,71)。そのため、専門職は通常、方向転換能力(予め計画された課題での方向転換)を評価する方法により移動時間を測定することを選択している。

方向転換(COD)能力は、従来、特定のコースを完走する

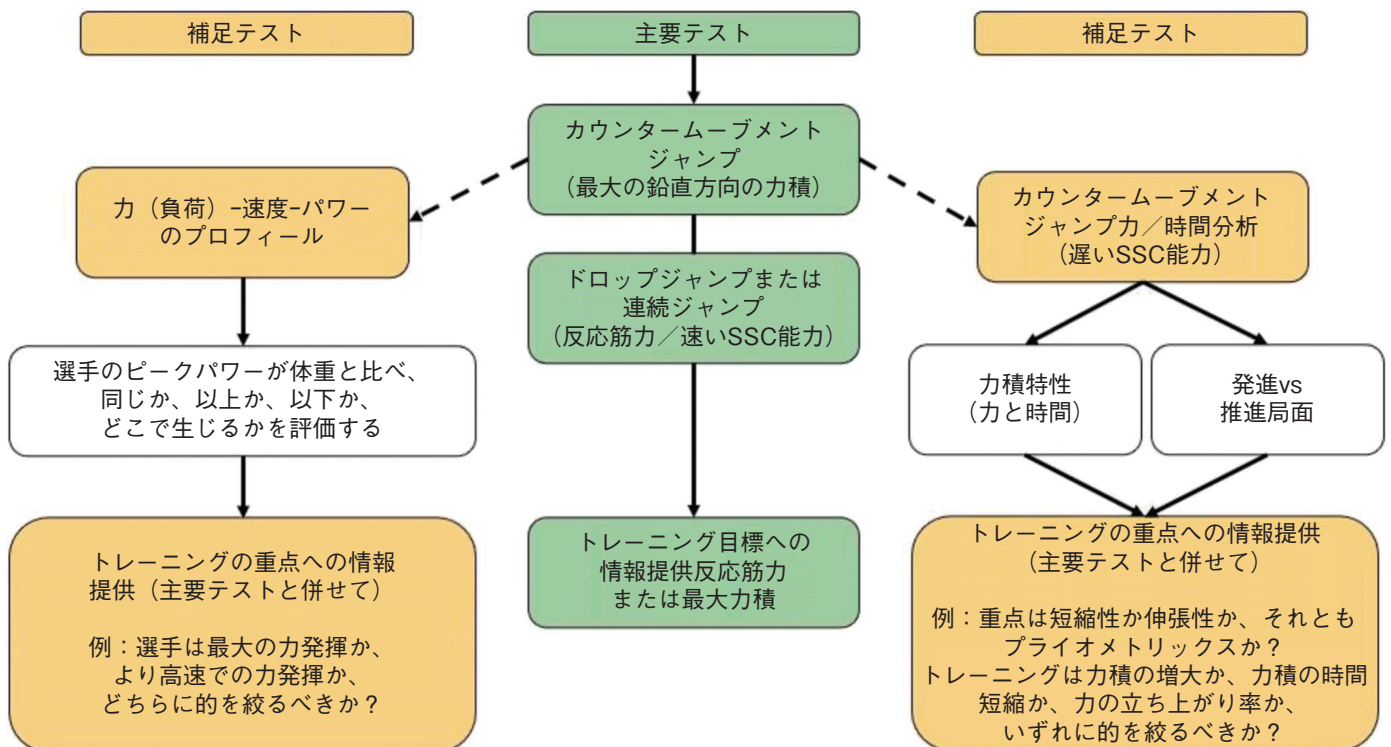


図 ジャンプテストの推奨アプローチ。中央の列は、迅速かつ効率的に実施できる、核となる主要なテストを表す。左右のテストは、選手をさらに詳しく理解するために実施できる補足テストの機会を示す。

ためにかかった合計タイムという文脈で捉えられてきた。以前、Stewartら(88)は、チームスポーツ(男女)の選手によく用いられる5種類のCODテストにおける試技間信頼性と因子的妥当性を評価し、イリノイアジリティテストに関して、低い典型的CVと高い信頼性($r=0.89$, CV2.0%)を報告し、L-ラン($r=0.94$, CV2.0%)、プロアジリティテスト($r=0.90$, CV2.2%)、およびTテスト($r=0.95$, CV2.0%)の結果が得られ、おそらくサッカーで最も普及していると思われる505テストも、良好な信頼性を示した($r=0.88$, CV2.4%) (88)。サッカー選手のCOD能力評価には、505テストの改良版(10mの助走プリントを行なわない)がよく用いられるが、このテストの信頼性は上級レベルの選手に関してはさらに検討の余地がある(91)。重要なことは、COD能力の決定因子がテストに特異的であると明らかにされたことであり(19,78)、専門職はCODテストを選択する際にこの点を考慮すべきである。スタートの位置、CODの角度、初速がパフォーマンスおよびその根底にある運動学的、運動力学的メカニズムに著しい影響を及ぼす(67)。その結果、サッカーにおける最適なCODテストについては、いまだ合意が得られていない。

CODテストは、所定のコースを完走するのにかかる時間を評価するため、COD能力だけの単独評価としては有効ではなく、直線スプリント能力の影響を受ける可能性が示唆されている(67)。COD能力を測定する際、CODの構成因子を表す有効な尺度を用いることの重要性が強調されているが、真のCOD能力を評価できないことにより、不適切なトレーニング処方をもたらす危険性がある(67)。COD能力を単独に評価するために提案された解決策のひとつがCOD Deficitである。これは、10m直線スプリントと10mの505CODテストのタイム差として求められる(68)。直線スプリントの能力が高い選手は、CODのパフォーマンスも高いことが示されているが、COD Deficitが大きなマイナスとなる可能性があり、これは効率が低いことを示している(57)。これらのデータは、COD Deficitが、より詳細な情報を提供することを示唆しているが、ユースサッカー選手で報告された不十分な信頼性と上級レベルの選手に関する限られたデータを考慮すると、COD Deficitに関してはさらに研究が必要であると思われる(91)。その後、CODパフォーマンスの構成因子がさらに検討され、減速能力(直線速度を考慮しながら減速する能力)が、CODパフォーマンスを制限する決定戦略として特定されている(21)。しかし、COD Deficitと同様、サッカー選手に関するデータは限られている。

運動学および運動力学的解析技術(2次元および3次元解析)を用いた技術的なCODパフォーマンスの評価は、専門職にとってさらに有益な情報を提示する可能性がある(67)。ビデオ解析から得られる接地時間や関節角度、姿勢などの技

術的な情報は、サッカー選手のパフォーマンスや傷害リスク因子のための詳細なトレーニング処方を可能にする。かつてはこのような解析には時間がかかり、専門職向けの高価なソフトウェアが必要であったが、最近では、例えばCODTimer(1)やDartfish Expressなど、携帯電話やタブレット端末に内蔵された高速度カメラを利用したモバイルアプリケーションが開発されたことで、テスト手順が効率化され、スローモーション映像の現場での解析が可能となり、コスト削減も実現した。さらに、CODTimerアプリケーションは、サッカー選手において、合計タイムに関する試技間信頼性が高いこと(CV2.6~3.5%)、またタイミングゲートと比較して妥当性が高いこと($r=0.96$, SEE0.03秒)も証明されている(1)。しかし、アプリケーション技術は、COD能力の評価のための現代的な選択肢であり、綿密な分析が必要な特別な場合に、不要な時間的コストを避けるために優先的に利用される可能性がある。

Nimphiusら(67)がまとめたように、様々な状況における方向転換の詳細な要件(例えば、ターンの角度、進入速度、スタート位置)を考慮すると、チームスポーツ選手のための包括的で、有効かつ信頼できるただひとつのCOD能力テストは存在しない。したがって、選択したテストの長所と限界を認識し、テストデータをトレーニング処方の充実や選手のプロフィールデータの向上にどのように利用するのか、その目的を専門職が理解することが重要である。例えば、専門職が選手の減速能力について詳しく知りたい場合は、機動性に重点を置いたテストよりも、シャトルを使ったテスト(505テストや5mシャトルスプリントなど)のほうが適していると思われる。CODパフォーマンスにおける分散の多くは、スプリント走や反応筋力のパフォーマンスなど、他の能力の線形回帰によって求められることを示唆するエビデンスがある(31)。ただし、この分野はさらなる研究が必要である。現在のエビデンスに基づく、専門職はCODパフォーマンスを単独で評価するための短時間のテストを利用することが推奨されるが、選択したテストの限界を認識しなければならない。

テストのスケジュール

表1は、どのテストをどの時点で用いるのか、我々の提案とともに、エリートレベルの男女サッカー選手のシーズン中におけるテストスケジュール案を示している。テストスケジュールを検討する際、専門職は費用対効果を考慮すべきである。したがって我々は、テスト(スプリントやFVP[力-速度-パワー])およびそのデータが、トレーニング処方のプロセスに情報を提供し、時間的コストと追加の負担が正当化される場合に限りスケジュールに入れることを提案する。例えば、我々はシーズン終了時にはFVPテストは実施しない

ことにしている。シーズンオフのプログラムは監督者がいない場合が多く、一般的な準備(有酸素性コンディショニングを含む)が好まれるため、トレーニング処方にFVPテストが影響を与える可能性は低いからである。

表2および表3は、ゴールキーパーを除くフィールド選手の各ポジション別の標準データを、テスト再テストの信頼性(変動係数CV%)と最小有効変化の数値(入手可能な場合)とともに男女別に示している。データの解釈を論じることはこのレビューの範囲を超えているが、実践的な方法として、専門職には、テスト誤差と実践的な最小重要差または最小有効変化を用いて、グループおよび個人の最小可検変化量を検

討することを推奨する。これらのアプローチを組み合わせた実践的な方法は、Turnerら(93)およびWeakleyら(99)によって紹介されている。

サッカーのテストに対する従来のアプローチは、各テストの生理学的要求に基づいてスケジュールを組み立てたバッテリーテストを実施するというものであった。Turnerら(95)がまとめた方法によると、専門職は以下のような順序を用いることが多い。安静時および疲労を伴わないテスト(安静時心拍数、身体組成、柔軟性、ジャンプテスト)、続いて、アジリティテスト、パワー/筋力テスト、スプリントテスト、無酸素性能力テスト、そして最後に有酸素性能力テストの順で

表1 プロサッカー選手のためのテストスケジュール案

テスト	シーズン前	シーズン開始	シーズン中	シーズン終了
スプリント(10~30m)	×	×	×	
CMJ	×	×	×	×
RSI	×	×	×	×
30:15テスト	×	×	×	×
スプリントFVP	×	×	×	
ジャンプFVP		×	×	
最大下ウォームアップテスト		毎週実施 [†]		

CMJ=カウタームーブメントジャンプ、FVP=力-速度-パワー、RSI=反応筋力指数

[†]最大テストのない週に限り実施

表2 エリートレベルの男子サッカー選手における体力テストの標準データ

	ディフェンダー	ミッドフィルダー	アタッカー	CV (%)	SWC
スピード					
10m (秒) (46)	1.53±0.05	1.55±0.06	1.50±0.06	1.6	0.01
30m (秒) (46)	3.93±0.04	3.96±0.04	3.86±0.05	1.6	0.03
40m (秒) (46)	5.06±0.04	5.11±0.04	4.98±0.05	0.7	0.03
F ₀ (N/kg) (42)	8.4±0.6	8.3±0.5	8.6±0.6	3.0	0.1
V ₀ (m/秒) (42)	9.3±0.4	9.2±0.4	9.3±0.4	1.5	0.1
Pmax (W/kg) (42)	19.4±1.6	19.1±1.5	20.1±1.6	2.7	0.3
RF (%) (42)	47.2±1.5	47.0±1.4	47.9±1.5		0.3
有酸素性能力					
MAS (km/時) (98)	16.3±0.8	16.4±0.9	16.2±1.0	1~3	0.3
筋力/パワー					
CMJ: 腕振りなし(cm) (46)	39.5±5.0	37.5±3.7	40.0±4.9	3.1	1.0
RSI (m/秒) (36)	>2.0	>2.0	>2.0	6~7	~0.06
F ₀ (N/kg) (52)	36.7±5.7 [†]	36.7±5.7 [†]	36.7±5.7 [†]		1.1
V ₀ (m/秒) (52)	3.2±0.6 [†]	3.2±0.6 [†]	3.2±0.6 [†]		0.1
Pmax (W/kg) (52)	28.9±3.2 [†]	28.9±3.2 [†]	28.9±3.2 [†]		0.6

F₀=理論的最大力、V₀=理論的最大速度、Pmax=最大パワー、RF=力の比率、MAS=最大有酸素性速度、CMJ=カウタームーブメントジャンプ、RSI=反応筋力指数、30-15=30-15間欠の持久力テスト、SWC=最小有効変化(0.2×被験者間標準偏差として算出)、CV=変動係数

[†]ポジション別データはない

表3 エリートレベルの女子サッカー選手の体力テストの標準データ

	ディフェンダー	ミッドフィルダー	アタッカー	CV (%)	SWC
スピード					
10m (秒) (47)	1.69±0.07	1.70±0.07	1.68±0.09	2.9	0.02
30m (秒) (47)	4.40±0.06	4.44±0.06	4.34±0.08	2.6	0.03
40m (秒) (47)	5.71±0.06	5.76±0.06	5.62±0.08	3.0	0.03
F ₀ (N/kg) (42)	7.6±0.4	7.6±0.4	7.6±0.5		0.1
V ₀ (m/秒) (42)	8.0±0.4	7.9±0.4	8.1±0.5		0.1
Pmax (W/kg) (42)	15.1±1.3	15.1±1.4	15.5±1.4		0.3
RF (%) (42)	42.8±1.4	42.7±1.6	43.2±1.6		0.3
有酸素性能力					
30-15IFT (km/時) (84)	18.7±0.4	19.5±0.5	19.3±0.4	<3.0	1.0
MAS (km/時) (49)	15.0±0.9	14.4±0.9	14.4±1.2	1~3	0.2
筋力/パワー					
CMJ: 腕振りなし (cm) (47)	29.6±4.0	28.4±3.9	30.5±4.5	3.3	1.0
RSI (m/秒) (28)	>1.2	>1.2	>1.2	10	0.09
F ₀ (N/kg) (52)	32.9±3.6 [†]	32.9±3.6 [†]	32.9±3.6 [†]		0.7
V ₀ (m/秒) (52)	3.0±0.3 [†]	3.0±0.3 [†]	3.0±0.3 [†]		0.1
Pmax (W/kg) (52)	24.7±0.9 [†]	24.7±0.9 [†]	24.7±0.9 [†]		0.2

F₀=理論的最大力、V₀=理論的最大速度、Pmax=最大パワー、RF=力の比率、MAS=最大有酸素性スピード、CMJ=カウンタームーブメントジャンプ、RSI=反応筋力指数、30-15IFT=30-15間欠の持久力テスト、SWC=最小有効変化(0.2×被験者間標準偏差として算出)、CV=変動係数

†ポジション別データはない

ある。さらに、テスト間の回復時間は、主要な代謝基質の時間経過に基づき、最低3分取ることが推奨される(95)。

推奨されるテストを用いたこの従来の方法に関するガイドラインを表4に示す。また、トレーニング週を通じてテストを計画する、より柔軟な方法についてのガイドラインも提示した。この方法は、トレーニング日を丸1日テストに費やすことがないため、選手のトレーニングスケジュールに合わせやすい。この方法を用いることにより、専門職は、マイクロサイクルのピリオダイゼーションに従って、日々のトレーニング成果をテストにより補完できるかもしれない。表5と表6は、選手のトレーニングスケジュールに合わせて、より定期的な評価を可能にするために、インシーズンとプレシーズンのトレーニング週にテストを統合する具体例を示している。重要なことは、この方法でテストを取り入れるのは、週に1試合だけ行なわれる場合に限られるということである。複数の試合が行なわれる週には、回復や戦術的な準備に一層集中する必要があるからである。

現場への応用

まとめとして、本稿の目的は、鍛練者のプロサッカー選手のための体力テストの実践的な方法について、専門職に最新の概要を提供することであった。信頼性、妥当性、実用性というテストの基本原則を守ることは重要である一方、サッカーにおける体力テストの重要な目的は、チームや個人レベルのトレーニング処方強化することであることを考慮し、そのために最も実用的なテストを提案した。このテストプロトコルでは、専門職が、スポーツ科学における過去10年間の理論的、技術的な進歩の活用を可能にする、エビデンスに基づく方法を提案している。推奨されている各テストは、個別のトレーニングプログラムの作成を促進し、十分トレーニングを積んだ男女サッカー選手の身体プロフィールを改善することができる。また、フルタイムのトレーニング環境におけるテストスケジュールの立て方に関して、新たな方法も紹介した。環境によってはテストのみを実施する日を設定する従来の方法が必要な場合もあると思われるが、複数日にわたる少量投与(micro-dosing)法を用いることにより、時間効率に優れた補完的なテストバッテリーが可能となり、トレーニングへの干渉を最小限に抑えながら選手のプログラムに組み込むことが可能となるだろう。◆

表4 従来のテストバッテリーの推奨される実施順序と休息時間の例

テスト	休息時間
形態測定	なし
CMJまたはジャンプのFVP	レップ／テスト間で3～5分
RSI (例：30cmドロップジャンプ)	
スプリントFVPまたは30mスプリント(10mと30mのスプリットタイム)	レップ／テスト間で3～5分
方向転換テスト(実施を選択した場合) 例：505テスト	レップ／テスト間で3～5分
30-15間欠の持久力テスト	該当せず

CMJ=カウンタームーブメントジャンプ、FVP=カ-速度-パワー、RSI=反応筋力指数

表5 プロサッカー選手の週間スケジュール(週1試合)へのテストの統合例

時間	MD+2	MD+3	MD-3	MD-2	MD-1	MD	MD+1
午前	最大下WUT 技術的	ジャンプFVP ／RSI 高強度	広範囲	スプリントFVP スピード/ パワー	戦術／反応	試合	回復
午後	回復	筋力	戦術	筋力	回復		

太字は体力テストを表わす

FVP=カ-速度-パワー、RSI=反応筋力指数テスト、MD=試合日、WUT=ウォームアップテスト

表6 プロサッカー選手の週間スケジュールへのテストの統合例

時間	月	火	水	木	金	土	日
午前	CMJ+30-15 技術	RSI 高強度	広範囲	技術	30mスプリント 高強度	広範囲	回復
午後	筋力	技術	筋力	回復	筋力	回復	

太字は体力テストを表わす

CMJ=カウンタームーブメントジャンプ、RSI=反応筋力指数テスト、30-15=間欠の持久力テスト

REFERENCES

- Balsalobre-Fernández C, Bishop C, Beltrán- Garrido JV, et al. The validity and reliability of a novel app for the measurement of change of direction performance. *J Sports Sci* 37: 2420-2424, 2019.
- Balsalobre-Fernández C, Glaister M, Lockey RA. The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *J Sports Sci* 33: 1574-1579, 2014.
- Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. The Yo-Yo intermittent recovery test. *Sports Med* 38: 37-51, 2008.
- Barbero-Á lvarez JC, Coutts A, Granda J, Barbero-Á lvarez V, Castagna C. The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *J Sci Med Sport* 13: 232-235, 2010.
- Barnes C, Archer D, Bush M, Hogg R, Bradley P. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *Int J Sports Med* 35: 1-6, 2014.
- Bellenger CR, Fuller JT, Nelson MJ, et al. Predicting maximal aerobic speed through set distance time-trials. *Eur J Appl Physiol* 115: 2593-2598, 2015.
- Borresen J, Lambert MI. Autonomic control of heart rate during and after exercise. *Sports Med* 38: 633-646, 2008.
- Bradley PS, Mohr M, Bendiksen M, et al. Sub- maximal and maximal yo-yo intermittent endurance test level 2: Heart rate response, reproducibility and application to elite soccer. *Eur J Appl Physiol* 111: 969-978, 2011.
- Buchheit M, Simpson BM, Hader K, Lacombe M. Occurrences of near-to-maximal speed-running bouts in elite soccer: Insights for training prescription and injury mitigation. *Sci Med Football*: 1-6, 2020.
- Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to rome? *Front Physiol* 5, 2014. doi: 10.3389/fphys.2014.00073.
- Buchheit M, Rabbani A. The 30-15 intermittent fitness test versus the yo-yo intermittent recovery test level 1: Relationship and sensitivity to training. *Int J Sports Physiol Perf* 9: 522-524, 2014.
- Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Sports Med* 43: 313-338, 2013.
- Buchheit M. *Individualizing High-Intensity Interval Training in Intermittent Sport Athletes with the 30-15 Intermittent Fitness Test. NSCA Hot Topic Series [online]*, 2011.
- Buchheit M. The 30-15 intermittent fitness test: 10 year review. *Myorobie J* 1: 146-154, 2010.
- Buchheit M. The 30-15 intermittent fitness test: Accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *J Strength Cond Res* 22: 365-374, 2008.
- Carling C, Bradley P, McCall A, Dupont G. Match-to-match variability in high-speed running activity in a professional soccer team. *J Sports Sci* 34: 2215-2223, 2016.
- Carroll TJ, Riek S, Carson RG. Neural adaptations to resistance training. *Sports Med* 31: 829-840, 2001.

18. Castagna C, Ganzetti M, Ditroilo M, et al. Concurrent validity of vertical jump performance assessment systems. *J Strength Cond Res* 27: 761–768, 2013.
19. Chaouachi A, Manzi V, Chaalali A, et al. Determinants analysis of change-of-direction ability in elite soccer players. *J Strength Cond Res* 26: 2667–2676, 2012.
20. Clancy C, Green P, Curnyn S, Donaldson E, Ring N. The concurrent validity and between-session reliability of a 1000m time trial for the assessment of aerobic fitness in elite development soccer players. *Sports Perf Sci Rep*, 92: 1–3, 2019.
21. Clarke R, Read PJ, De Ste Croix M, Hughes J. The deceleration deficit: A novel field-based method to quantify deceleration during change of direction performance. *J Strength Cond Res*, 2020. doi: 10.1519/JSC.0000000000003856.
22. Claudino JG, Cronin J, Mezêncio B, et al. The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *J Sci Med Sport* 20: 397–402, 2017.
23. Comyns TM, Flanagan EP, Fleming S, Fitzgerald E, Harper DJ. Interday reliability and usefulness of a reactive strength index derived from 2 maximal rebound jump tests. *Int J Sports Physiol Perf* 14: 1200–1204, 2019.
24. Contreras-Diaz G, Jerez-Mayorga D, Delgado-Floody P, Arias-Poblete L. Methods of evaluating the force-velocity profile through the vertical jump in athletes: A systematic review. *Archivos de Medi Dep*: 333–339, 2018.
25. Cormack SJ, Newton RU, McGuigan MR, Doyle TL. Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *Int J Sports Physiol Perf* 3: 131–144, 2008.
26. Currell K, Jeukendrup AE. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Med* 38: 297–316, 2008.
27. Daanen HA, Lamberts RP, Kallen VL, Jin A, Van Meeteren NL. A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int J Sports Physiol Perf* 7: 251–260, 2012.
28. Datson N, Hulton A, Andersson H, et al. Applied physiology of female soccer: An update. *Sports Med* 44: 1225–1240, 2014.
29. Djaoui L, Chamari K, Owen A, Dellal A. Maximal sprinting speed of elite soccer players during training and matches. *J Strength Cond Res* 31: 1509–1517, 2017.
30. Dupont G, Akakpo K, Berthoin S. The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *J Strength Cond Res* 18: 584–589, 2004.
31. Emmonds S, Nicholson G, Begg C, Jones B, Bissas A. Importance of physical qualities for speed and change of direction ability in elite female soccer players. *J Strength Cond Res* 33: 1669–1677, 2019.
32. Fanchini M, Castagna C, Coutts AJ, et al. Are the yo-yo intermittent recovery test levels 1 and 2 both useful? Reliability, responsiveness and interchangeability in young soccer players. *J Sports Sci* 32: 1950–1957, 2014.
33. Faude O, Koch T, Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci* 30: 625–631, 2012.
34. Fitzpatrick JF, Akenhead R, Russell M, Hicks KM, Hayes PR. Sensitivity and reproducibility of a fatigue response in elite youth football players. *Sci Med Football* 3: 214–220, 2019.
35. Fitzpatrick JF, Hicks KM, Hayes PR. Dose–response relationship between training load and changes in aerobic fitness in professional youth soccer players. *Int J Sports Physiol Perf* 13: 1365–1370, 2018.
36. Flanagan EP, Comyns TM. The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength Cond J* 30: 32–38, 2008.
37. Gathercole RJ, Sporer BC, Stellingwerff T, Sleivert GG. Comparison of the capacity of different jump and sprint field tests to detect neuromuscular fatigue. *J Strength Cond Res* 29: 2522–2531, 2015.
38. Glatthorn JF, Gouge S, Nussbaumer, et al. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res* 25: 556–560, 2011.
39. Grgic J, Lazinica B, Pedisic Z. Test-retest reliability of the 30–15 intermittent fitness test (IFT): A systematic review. *J Sport Health Sci* 10: 413–418, 2020.
40. Harper D, Hobbs S, Moore J. *The 10 to 5 Repeated Jump Test. A New Test for Evaluating Reactive Strength*. Chester, United Kingdom: BASES Student Conference, 2011.
41. Haugen TA, Breitschädel F, Samozino P. Power- force-velocity profiling of sprinting athletes: Methodological and practical considerations when using timing gates. *J Strength Cond Res* 34: 1769–1773, 2020.
42. Haugen TA, Breitschädel F, Seiler S. Sprint mechanical properties in soccer players according to playing standard, position, age and sex. *J Sports Sci* 38: 1070–1076, 2020.
43. Haugen TA, Breitschädel F, Wiig H, Seiler S. Countermovement jump height in national-team Athletes of various sports: A framework for practitioners and scientists. *Int J Sports Physiol Perf* 1: 1–6, 2020.
44. Haugen T, Buchheit M. Sprint running performance monitoring: Methodological and practical considerations. *Sports Med* 46: 641–656, 2016.
45. Haugen TA, Tønnessen E, Hisdal J, Seiler S. The role and development of sprinting speed in soccer. *Int J Sports Physiol Perf* 9: 432–441, 2014.
46. Haugen TA, Tønnessen E, Seiler S. Anaerobic performance testing of professional soccer players 1995–2010. *Int J Sports Physiol Perf* 8: 148–156, 2013.
47. Haugen TA, Tønnessen E, Seiler S. Speed and countermovement-jump characteristics of elite female soccer players, 1995–2010. *Int J Sports Physiol Perf* 7: 340–349, 2012.
48. Hicks DS, Schuster JG, Samozino P, Morin JB. Improving mechanical effectiveness during sprint acceleration: Practical recommendations and guidelines. *Strength Cond J* 42: 45–62, 2020.
49. Ingebrigtsen J, Dillern T, Shalfawi S. Aerobic capacities and anthropometric characteristics of elite female soccer players. *J Strength Cond Res* 25: 3352–3357, 2011.
50. Janicijevic D, Knezevic OM, Mirkov DM, et al. Assessment of the force-velocity relationship during vertical jumps: Influence of the starting position, analysis procedures and number of loads. *Eur J Sport Sci* 20: 614–623, 2020.
51. Jarvis P, Turner A, Read P, Bishop C. Reactive strength index and its associations with measures of physical and sports performance: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med*, 2021. doi: 10.1007/s40279-021-01566-y.
52. Jiménez-Reyes P, Samozino P, García-Ramos A, et al. Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *Peer J* 6: 1–18, 2018. doi: 10.7717/peerj.5937.
53. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Pareja-Blanco F, et al. Validity of a simple method for measuring force-velocity-power profile in countermovement jump. *Int J Sports Physiol Perf* 12: 36–43, 2017.
54. Krustup P, Mohr M, Amstrup T, et al. The yo-yo intermittent recovery test: Physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc* 35: 697–705, 2003.

55. Kyprianou E, Lolli L, Haddad HA, Di Salvo V, et al. A novel approach to assessing validity in sports performance research: Integrating expert practitioner opinion into the statistical analysis. *Sci Med Football* 3: 333–338, 2019.
56. Lindberg K, Solberg P, Bjørnsen T, et al. Force- velocity profiling in athletes: Reliability and agreement across methods. *PLoS One* 16: 1–20, 2021.
57. Loturco I, Pereira L, Freitas TE. Maximum acceleration performance of professional soccer players in linear sprints: Is there a direct connection with change-of-direction ability? *PLoS one* 14: e0216806, 2019.
58. Malone JJ, Lovell R, Varley MC, Coutts AJ. Unpacking the black box: Applications and considerations for using GPS devices in sport. *Int J Sports Physiol Perf* 12: S2–S18, 2017.
59. Malone S, Owen A, Mendes B, et al. High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *J Sci Med Sport* 21: 257–262, 2018.
60. Maloney SJ, Fletcher IM. Lower limb stiffness testing in athletic performance: A critical review. *Sports Biomech*, 2018.
61. Massard T, Eggers T, Lovell R. Peak speed determination in football: Is sprint testing necessary? *Sci Med Football* 2: 123–126, 2018.
62. McCall A, Pruna R, Van der Horst N, et al. Exercise-based strategies to prevent muscle injury in male elite footballers: An expert-led delphi survey of 21 practitioners belonging to 18 teams from the big-5 European leagues. *Sports Med* 50: 1667–1681, 2020.
63. McMahon JJ, Suchomel TJ, Lake JP, Comfort P. Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength Cond J* 40: 96–106, 2018.
64. Morin JB, Samozino P. Interpreting power-force- velocity profiles for individualized and specific training. *Int J Sports Physiol Perf* 11: 267–272, 2016.
65. Morin JB, Jiménez-Reyes P, Brughelli M, Samozino P. When jump height is not a good indicator of lower limb maximal power output: Theoretical demonstration, experimental evidence and practical solutions. *Sports Med* 49: 999–1006, 2019.
66. Morin JB, Le Mat Y, Osgnach C, et al. Individual acceleration-speed profile in-situ: A proof of concept in professional football players. *J Biomech* 123: 110524, 2021. doi: 10.1016/j.jbiomech.2021.110524.
67. Nimphius S, Callaghan SJ, Bezodis NE, Lockie RG. Change of direction and agility tests: Challenging our current measures of performance. *Strength Cond J* 40: 26–38, 2018.
68. Nimphius S, Geib G, Spiteri T, Carlisle D. Change of direction” deficit measurement in Division I American football players. *J Aust Strength Cond* 21: 115–117, 2013.
69. Owen C, Jones P, Comfort P. The reliability of the submaximal version of the Yo-Yo intermittent recovery test in elite youth soccer. *J Trainology* 6: 31–34, 2017.
70. Park LA, Scott D, Lovell R. Velocity zone classification in elite women’s football: Where do we draw the lines? *Sci Med Football* 3: 21–28, 2019.
71. Paul DJ, Gabbett TJ, Nassiss GP. Agility in team sports: Testing, training and factors affecting performance. *Sports Med* 46: 421–442, 2016.
72. Pyne DB, Spencer M, Mujika I. Improving the value of fitness testing for football. *Int J Sports Physiol Perf* 9: 511–514, 2014.
73. Rabbani A, Kargarfard M, Twist C. Reliability and validity of a submaximal warm-up test for monitoring training status in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 32: 326–333, 2018.
74. Rago V, Krustup P, Martin-Acero R, Rebelo A, Mohr M. Training load and submaximal heart rate testing throughout a competitive period in a top-level male football team. *J Sports Sci* 38: 1408–1415, 2020.
75. Rago V, Brito J, Figueiredo P, et al. Countermovement jump analysis using different portable devices: Implications for field testing. *Sports* 6: 91, 2018.
76. Roe G, Darrall-Jones J, Black C, et al. Validity of 10-HZ GPS and timing gates for assessing maximum velocity in professional rugby union players. *Int J Sports Physiol Perf* 12: 836–839, 2017.
77. Romero-Franco N, Jiménez-Reyes P, Castaño-Zambudio A, et al. Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: Comparison with existing reference methods. *Eur J Sport Sci* 17: 386–392, 2017.
78. Rouissi M, Chtara M, Owen A, Burnett A, Chamari K. Change of direction ability in young elite soccer players: Determining factors vary with angle variation. *J Sports Med Phys Fitness* 57: 960–968, 2017.
79. Russell M, Kingsley M. Influence of exercise on skill proficiency in soccer. *Sports Med* 41: 523–539, 2011.
80. Sandford GN, Laursen PB, Buchheit M. Anaerobic speed/power reserve and sport performance: Scientific basis, current applications and future directions. *Sports Med*: 51: 2017–2028, 2021.
81. Samozino P, Rabita G, Dorel S, et al. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports* 26: 648–658, 2016.
82. Samozino P, Rejc E, Di Prampero PE, Belli A, Morin JB. Optimal force-velocity profile in ballistic movements—Altius. *Med Sci Sports Exerc* 44: 313–322, 2012.
83. Samozino P, Morin JB, Hintzy F, Belli A. A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech* 41: 2940–2945, 2008.
84. Scott D, Haigh J, Lovell R. Physical characteristics and match performances in women’s international versus domestic-level football players: A 2-year, league-wide study. *Sci Med Football* 4: 211–215, 2020.
85. Scott TJ. Testing, prescribing and monitoring training in team sports: The efficiency and versatility of the 30-15 Intermittent Fitness Test. *Sport Perf Sci Rep*, 2018: 1–5.
86. Sheppard JM, Young WB. Agility literature review: Classifications, training and testing. *J Sports Sci* 24: 919–932, 2006.
87. Stanton R, Wintour SA, Kean CO. Validity and intra-rater reliability of MyJump app on iPhone 6s in jump performance. *J Sci Med Sport* 20: 518–523, 2017.
88. Stewart PF, Turner AN, Miller SC. Reliability, factorial validity, and interrelationships of five commonly used change of direction speed tests. *Scand J Med Sci Sports* 24: 500–506, 2014.
89. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer. *Sports Med* 35: 501–536, 2005.
90. Stratford C, Dos-Santos T, McMahon JJ. A comparison between the drop jump and 10/5 repeated jumps test to measure the reactive strength index. *Prof Strength Cond J* 57: 23–28, 2020.
91. Taylor JM, Cunningham L, Hood P, Thorne B, Irvin G, Weston M. The reliability of a modified 505 test and change-of-direction deficit time in elite youth football players. *Sci Med Football* 3: 157–162, 2019.
92. Thorpe RT, Strudwick AJ, Buchheit M. Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *Int J Sports Physiol Perf* 10: 958–964, 2015.
93. Turner AN, Parmar N, Jovanovski A, Hearne G. Assessing group-

- based changes in high- performance sport. Part 2: Effect sizes and embracing uncertainty through confidence intervals. *Strength Cond J* 43: 68-77, 2021.
94. Turner AN, Comfort P, McMahon J, et al. Developing powerful athletes, Part 1: Mechanical underpinnings. *Strength Cond J* 42: 30-39, 2020.
95. Turner A, Walker S, Stembridge M. A testing battery for the assessment of fitness in soccer players. *Strength Cond J* 33: 29-39, 2011.
96. Turner AN, Jeffreys I. The stretch-shortening cycle: Proposed mechanisms and methods for enhancement. *Strength Cond J* 32: 87-99, 2010.
97. Tønnessen E, Hem E, Leirstein S, Haugen T, Seiler S. Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989-2012. *Int J Sports Physiol Perf* 8: 323-329, 2013.
98. Warr DM, Pablos C, Sánchez-Alarcos JV, et al. Reliability of measurements during countermovement jump assessments: Analysis of performance across subphases. *Cogent Soc Sci* 6: 843-835, 2020.
99. Weakley J, Mann B, Banyard H, et al. Velocity- based training: From theory to application. *Strength Cond J* 43: 31-49, 2021.
100. Winter EM, Abt G, Brookes FC, et al. Misuse of "power" and other mechanical terms in sport and exercise science research. *J Strength Cond Res* 30: 292-300, 2016.
101. Wong PL, Chaouachi A, Chamari K, Dellal A, Wisloff U. Effect of preseason concurrent muscular strength and high-intensity interval training in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 653-6601, 2010.

From Strength and Conditioning Journal
Volume 44, Number 5, pages 10-21.



Jonathan M. Taylor :
Teesside University のスポーツ & サイエンスにおける講師。



Jonathan L. Madden :
Leeds United Football Club のアカデミー選手育成部長を務める。



Louis P. Cunningham :
Norwich City Football Club の主席 S&C コーチを務める。



Matthew Wright :
Teesside University のバイオメカニクスと S&C における講師。