©NSCA JAPAN
Volume 31, Number 2, pages 13-25

CEU クイズ関連記事

Key Words【エクササイズプライミング：exercise priming、ウォームアップ：warm-up、活動後パフォーマンス増強：postactivation potentiation enhancement、競技前：precompetition、持久力：endurance、反復間欠的競技：repeated intermittent sport】

持久系または反復間欠的活動のパフォーマンス向上を目的とした試合前戦略：エビデンスと現場への提言

Precompetition Strategies to Improve Performance in Endurance or Repeated Intermittent Activity: Evidence and Practical Suggestions

Eduardo Valcarce- Merayo, [1] M.Sc., CSCS　**Christopher Latella,** [2、3] Ph.D.
[1]Department of Sport Science, Aspire Academy for Sports Excellence, Doha, Qatar
[2]Neurophysiology Research Laboratory, Edith Cowan University, Joondalup, Australia
[3]School of Medical and Health Sciences, Centre for Human Performance, Edith Cowan University, Joondalup, Western Australia, Australia

要約

アスリートは、長期的なパフォーマンスの向上を目指して、身体的、生理学的特性を高めるトレーニングプログラムに取り組んでいる。しかし、試合の直前に最適な準備を確実に整えることも、アスリートにとってきわめて重要である。実際、このようなアプローチは、多くの場合、試合前の数日間、数時間、数分間に、エクササイズプライミング、能動的ウォームアップ、および／または活動後パフォーマンス増強（PAPE：postactivation performance-enhancing）など、1つ以上の戦略を採用する。多数の個別研究が行なわれているにもかかわらず、それらの情報の統合は十分ではないと思われ、多くのスポーツ環境において、コーチやアスリートがエビデンスに基づく最適な身体準備のアプローチを実施することを困難にしている。本稿の目的は、広範囲なエビデンスに関して概略を提供し、議論を促すことであり、可能であれば、実践的で、エクササイズに基づく推奨方法を提案することである。それらはおそらく、短時間または長時間の持久系要素を伴う課題や、反復的で間欠的な努力を要する課題（チーム制のフィールド競技など）に先立って（約48時間から1分前）行なうことが有用であると考えられる。適切なタイミングで行なう優れたデザインの活動は、身体パフォーマンスの複数の側面を促進し、アスリートの心理状態や精神的準備も改善する可能性がある。ウォームアップの利益はすでに十分裏づけられているが、プライミングやPAPE戦略も考慮する必要がある。試合に備え、アスリートのコンディションを整えるストレングス＆コンディショニング（S&C）専門職にとって、本稿で提示するエビデンスや提案が役立つことを期待したい。

はじめに

アスリートは通常、長期的にパフォーマンスを向上させるために、筋力、パワー、持久力などの身体特性を発達させるトレーニングプログラムに取り組んでいる。これらの身体特性の重要性から、様々なトレーニングモデルがパフォーマンスの結果に及ぼす短期的、中期的、長期的効果に関して、多数の研究が行なわれてきた。しかし、これは方程式の一部でしかない。成功のためには、例えば、そのような適応を実現し、プラスの競技パフォーマンスに変換することも必要である。それは、フィットネス-疲労モデル（19）やテーパリング戦略（12）などを含む、アスリートの試合当日のレディネス（readiness）やプリペアドネス（preparedness）の促進を論じることを目的とした（43）、様々な概念を通じて説明されてき

た。しかし本稿では、試合の数日前から数分前までに開始する、一時的な(1回のセッションの)エクササイズに基づく戦略と、それらの潜在的なパフォーマンス向上効果に焦点を当てて考察する。

実際、身体パフォーマンスの結果に及ぼす効果に関する研究は増加している。プライミングエクササイズ(47)や、さらによく知られたウォームアップ(33,52)、および活動後パフォーマンス増強(PAPE)を誘発するプロトコル(14,15,65)などである。一見すると、ほとんどの研究が筋力やパワーパフォーマンスの結果(23,38,48)、およびスプリント(23,62,65)やスローイング(29,48)などの無酸素性運動に偏っているように思われる。その理由はいくつかある。第1に、増強効果(例えば、PAPEが示唆される時間枠)は、伝統的に、また一般的に、短時間の最大神経筋機能(筋力およびパワー課題)の改善と関連がある(65)。さらに、神経筋特性は持久系パフォーマンスにも貢献するが(60)、チーム制のフィールド競技のような複雑なシナリオでは、「パフォーマンス」を定量化することが困難な場合が多い。とはいえ、水泳(24,51)、自転車競技(44,66)、漕艇(30)、走競技(15,40)、そしてより幅広い持久系スポーツや他の課題においても、同様の試合前戦略は有望であると思われる(3,24,30,32,40,51,66,71)。しかし、通常、エビデンスがそれぞれ異なっているため、エクササイズ専門職やコーチ、そしてアスリートが、競技に先立つ一時的で最適なエクササイズの戦略や構造およびタイミングについて、情報とエビデンスに基づく決定を下すことは困難である。また、ウォームアップとPAPE活動(まだ、あまり一般的ではないプライミングエクササイズ)などの用語が、時には同時に議論されたり、ウォームアップセッションの一部として併用されたりする実情にも注意が必要である。このことは、複数の研究で用いられている目的や用語を見ても明らかである。したがって、本稿で取り上げる論文は、当該論文の主要な論点に基づいて総合的に分類されてはいるが、本稿の複数のセクションに関連する可能性があることを予め指摘しておく。

全体として、本稿の目的は、適切なエビデンスを簡潔に紹介し、ナラティブな質的考察を行ない、コーチング専門職や試合前のアスリートにとって有用と思われる、エクササイズに基づく実践的な推奨事項を提案することである。本稿では、50秒以上持続する活動のみを検討した。その理由は、多分野多種目のパフォーマンス状況を考察できるからである。例えば、チームスポーツや長時間／最大下での持久系競技、さらには、多くの異なる生理学的特性を必要とし、「持久系高強度努力」として知られるより短時間の持久系課題(水泳や陸上走競技など)(18)までも対象に含めることができる。これらは、短時間の最大努力中に発揮される無酸素性の最大筋力／パワー能力(ウエイトリフティングやパワーリフティング)とは対照的である。提示されるエビデンスと提言には、次のような狙いがある。①コーチやアスリートが試合に備える際に、エクササイズセッションを適切に計画、作成、時間設定することに役立つこと、そして②この分野におけるさらに詳細な研究を促すために、埋めるべきいくつかの溝を特定することである。まず、試合から最も時間的に離れた戦略であるエクササイズプライミングについての考察から始め、順次、競技により近いウォームアップとPAPEのエビデンスを紹介する。

エクササイズプライミング(約48～1時間前)

競技スポーツの文脈では、プライミングとは、最も一般的に、パフォーマンスを一時的に「強化」または「促進」するための、試合の数時間前に処方される1回のエクササイズセッションを意味する。しかし、このアプローチを説明する明確な用語の一致はみられず、「午前中のエクササイズ(morning exercise)」、「午前中心のストレングストレーニング(morning-based strength training)」、「事前活性化(pre-activation)」、「試合前トレーニング(precompetition training)」などの用語も使用されている(23,48,62)。とはいえ、プライミングエクササイズに共通する目標は、パフォーマンスの遅発的増強効果を誘発することである。最近のレビューによると、そのための絶好の機会は、試合の48時間～1時間前に存在する可能性が高いことが示唆されている(38,47)。

比較的長時間の活動へのプライミング効果を証明するエビデンスはあるか？

現在までに、複数の研究により、少量のストレングス／パワー・レジスタンスエクササイズが、ジャンプ(23,29)やスローイング(29,48)、およびスプリント(23,62)などの活動を促進することが明らかになっている。しかし、持久的要素を含む課題やチーム単位および／または反復努力が必要な間欠的パフォーマンスに関しては、ストレングス／パワー課題に比べると、利用可能なエビデンスが少ないように思われる(28,32,44,51,62)。これらの研究では、プライミングの手段としてレジスタンスエクササイズが用いられているが、パフォーマンス結果に対する効果は必ずしも一致していないことに注意が必要である。例えば、Geeら(32)は、全国レベルの男子漕艇選手を対象に、高強度のストレングストレーニングが、その後のロウインエルゴメータでの2,000 mのパフォーマンスに及ぼす影響を評価した。ストレングストレーニングセッションでは、オリンピックスタイルのウエイトリフティング(クリーン＆スナッチ)と伝統的なストレングスエクササイズ(スクワット、ルーマニアンデッドリフト、ベンチプレス、ウェイティッドシットアップ)を85％1RM相当の

負荷で行なった。選手は、ストレングストレーニング後の異なる時点(2～48時間後)において、神経筋機能(スクワットジャンプ、カウンタームーブメントジャンプの跳躍高、ロウイングに特異的な最大パワー)の低下を示したが、24時間後または48時間後の2,000 mのロウイングパフォーマンスには影響がなかった(32)。いかなる結果も認められなかったことを考慮すると、プライミングエクササイズがあまりに激しく疲労を招いたため、所定の時間内にパフォーマンスを向上させることができなかった可能性がある。

反対に、エリートレベルの男子ラグビー選手を対象としたRussellらの研究(62)では、自転車エクササイズではないが、午前中のレジスタンストレーニング(75％ 1 RMでベンチプレスを5×10レップ、セット間の回復90秒)またはランニング(40 m×6回、中間点で180°方向転換するスプリント、各回復時間は20秒)により、午後(5時間後)の反復スプリントパフォーマンスにプラスの効果を及ぼすことが示された。このスプリントパフォーマンスの向上は、6回のスプリント中、最初の2回に限られていた。著者らは、最初の2回のスプリントの強度が高かったことが、午前中のプライミングの増強効果を相殺した可能性を示唆している(62)。したがって、この結果は、マッチプレーの開始時には、プライミングが有益であるとの手がかりになる。だがおそらく、試合の経過時間を通して持続的効果は減衰すると思われ、少なくともいまだ解明されてはいない。さらに、このような相互作用は、試合直前のウォームアップの効果も考慮する必要がある。

若年男子サッカー選手を対象とした研究から、他のパフォーマンス上の利点についても予備的な裏づけが得られている(28)。すなわち、午前中のプライミングプロトコルである4×12レップの高速ハーフスクワット(10 kg)と6×5 mのスピードラダードリル、および20 mスプリントが、午後(5.5時間後)の無酸素性課題の遂行能力を改善し、コントロール群と比較すると、随意トルク発揮率(5,089 Nm/秒 vs. 4,801 Nm/秒、約5.6％)およびレベル2のYO-YO間欠的回復テストにおける完走距離(740 m vs. 693 m、約6.3％)にわずかながらプラスの効果を及ぼした可能性があることが示された(28)。反対に、午前中に反復スプリント走(6×40 m)を実施した第3のグループでは、午後のYo-Yoテストの成績と跳躍高が低下したことが明らかとなっただけであった(28)。

全国レベルのアスリートにおいて、競技特異的なエクササイズを組み合わせたレジスタンスプライミングエクササイズは、当初、期待できる結果を示した。例えば、午前中の水泳セッションで、陸上でのレジスタンスエクササイズを併用した群と併用しなかった群は、6時間の休息を挟んだ後における100 mの水泳パフォーマンスが向上した(水泳だけの群は約1.6％速く、水泳＋レジスタンスエクササイズ群は約1.7％速かった)(51)。具体的には、午前中のプライミングセッションは1時間かけて行ない、1,200 mの様々な強度の水泳で構成されていた。また、1群だけはその10分後に、さらに10分間のレジスタンスエクササイズルーティンとして、以下のエクササイズを2セットずつ完遂した。すなわち、静止スタートからのスプリントを10 m×3レップ(30秒休息)、タックジャンプ4レップのうちウェイトベストを着用して2レップ(6.5 kg、10秒休息)と無負荷で2レップ(10秒休息)、パートナーが壁に付けた足を保持する倒立腕立て伏せ×5レップ(連続)、水中バタフライキックの模擬10秒×3レップ(10秒休息)、メディスンボールスローダウン3 kg×3レップ(10秒休息)を行なった。水泳パフォーマンスに対する効果とは逆に、Dahlら(25)の最近の報告によると、鍛練されたアスリートにおいて、午前中のプライミングセッション(15分間の低強度ランニングと4×15秒のレースペース[21～24 km/時]でのトレッドミル走、または、5分間の低強度ランニングと2×3回の等速性シングルレッグ・クォータースクワットを併用した場合)の6時間後に、疲労困憊までの走タイムやランニングエコノミーの改善はみられなかった。同様に、Rudら(61)の研究でも、全国レベルのクロスカントリースキー選手において、約3分間のダブルポーリング・クロスカントリースキー課題における失敗までの時間や、その他のスプリントや神経筋パフォーマンスのいかなる結果に対しても、プラスの効果は認められなかった。この研究のプロトコルは、85～90％ 1 RMのスクワットとシーティッドプルオーバーを3×3レップ行なうもので、テストの5時間前に実施した(61)。したがって、プライミングプロトコル自体にも、また様々なスポーツにおいて測定されたパフォーマンス結果にもばらつきがあることを考えると、現段階で決定的な合意に達することは不可能である。しかし、いくつかの有望な結果も明らかになっている。他の著者(23,29,38)も指摘しているように、今後の研究では、スポーツに特異的なプライミング活動がその後のパフォーマンスに及ぼす影響についても調査すべきである。

プライミングアプローチについてのさらなる検討と考察

全体として、アスリートのパフォーマンスは、生理学的メカニズムとアスリートの知覚的、心理学的要因の適切な管理に大きく左右される。実際、Fryらによる初期の研究(31)では、プライミングエクササイズがそれらの結果に有益な影響を及ぼす可能性が示されている。具体的には、男子ジュニアウエイトリフティング選手が、午前中に85％ 1 RMで低容量のレジスタンストレーニングを行ない、その日の午後(約5.5時間後)に模擬試合を実施した。不安特性の高いウエイトリフティング選手は、午前中のセッションの恩恵を受け、午後の模擬試合のパフォーマンスが向上した(31)。した

がって、心理状態や覚醒が最適とはいえない場合や認知能力の低下がパフォーマンスに悪影響を及ぼす可能性のある場合、すなわち、ストレスの多いスポーツ状況に対して、プライミング戦略の利益が及ぶ可能性がある。

さらなる裏づけとして、最近の研究では、国際7人制ラグビーの代表選手の心理生理学的状態も、プライミングセッション後に向上したことが示されている(46)。

しかし、興味深いことに、プライミングによる反復スプリント能力(6×30 m)や試合における身体パフォーマンス、および活動量(GPSで評価)の向上は明らかになっていないし、効果があるとしても微々たるものである。このプライミングは、最初の試合の2時間前に実施した30分間のセッションで、ウォームアップの後、ミニゲーム、加速課題、および2×50 mの最大スプリントで構成されていた(46)。このようなセッションは俗に「ブロウアウト」(64)と呼ばれ、この戦略と実施のタイミングは、トーナメントの開始前、7人制ラグビーのチームによってすでに広く用いられている(43)。それにもかかわらず、Masonら(48)の研究では、バンドを用いたバックスクワットを4×3レップ行なった後、ラグビー選手の1時間45分のパフォーマンスに対するレディネスに改善はみられなかったと報告されている。測定されたその他のパフォーマンスの結果は、今回のレビューとは直接関係がない。試合前にプライミングセッションを実施することによる心理学的および／または心理生理学的な潜在的効果は、当初はある程度有望であることを確かに示している。しかし、アスリートが大きな不安を感じることの多い様々なスポーツの状況において、このような結果を調査するためには、さらなる研究を続ける必要がある。

さらに検討すると、スポーツ全体にわたり、プライミングに特化した研究が明らかに不足しているが、それは、比較的最近の研究(ほとんどの研究が過去約8年間に発表されている)しか蓄積されていないため、または、研究の重点が、疲労を最小限に抑え、生理学的、心理学的ストレスを軽減し、パフォーマンスを最適化する「テーパリング」戦略に集中していることにも原因があるだろう。しかし、テーパリングの最終セッションの実施タイミングによっては、同時にプライミングセッションを兼ねることもありうる。したがって、このような状況における各種のエクササイズ様式の具体的な利点や、テーパリングの最終段階で行なわれるセッションの潜在的な影響と重複効果を、具体的で計画的なプライミングセッションと対比して理解するためには、さらなる研究が必要である。とはいえ、初期のエビデンスによると、プライミング活動は、持久系チームスポーツの反復的かつ間欠的な課題において、パフォーマンスを向上させる可能性があることが示されているため、楽観的見通しをもって、ただし慎重に対応すべきである。そのような効果が、生理学的および／または神経筋機能の向上によるのか、反復運動中の伸張-短縮サイクルの有効活用によるのか、または選手の心理状態の向上によるのかは、まだ解明されていない。

能動的ウォームアップ(約1時間～15分前)

試合前の十分なウォームアップは、その後の運動に対する準備を整え、パフォーマンスを向上させる(50)。適切に設定されたウォームアップは、有益な代謝的、生理学的変化をもたらすと考えられ(5)、心理的な集中力と準備を促す機会であると認識されている(39,52)。しかし、ごく最近まで、この考え方は実証的なエビデンスに裏づけられたものではなく、コーチは多くの場合、アスリートのウォームアップ戦略を立案する際に「試行錯誤的」なアプローチに頼っていた(52)。一般に、ウォームアップ戦略は、能動的なウォームアップと受動的なウォームアップの2種類に大別される(5)。動的ウォームアップは、運動(ジョギング、自重エクササイズ、自転車、水泳など)を伴い、受動的ウォームアップよりも代謝や心臓血管系機能に大きな変化をもたらす可能性が高い(5)。

能動的ウォームアップの利点の多くは、筋温と深部体温の上昇に起因する(5)。実際、能動的ウォームアップは、ほとんどすべての競技種目で好まれ、最も広く用いられている方法であり、いくつかの研究において、体温の上昇だけではなく、追加的な効果が報告されている。例えば、酸素動態の改善、力-速度関係におけるプラスの変化、運動耐性の向上、筋や関節のスティフネスの低下などである(5,22,41,58)。能動的ウォームアップによってベースラインの酸素消費量($\dot{V}O_2$)が増加することは、パフォーマンス向上の原因として可能なメカニズムである(5)。実際、持久系パフォーマンスは、通常、最大酸素摂取量($\dot{V}O_2max$)、動作の効率、$\dot{V}O_2max$の部分使用率(すなわち% $\dot{V}O_2max$)などの生理学的因子により、少なくとも部分的には制限されると考えられる(16,54)。

ウォームアップの強度と持続時間に関するエビデンス

パフォーマンスを最大限に向上させるためには、全体として最適なウォームアップをデザインする際の強度と時間(約15分程度)(52)がきわめて重要な要素である(5)。最近の研究によると、通常、血中乳酸濃度および、おそらくは筋の乳酸濃度の上昇をもたらす高強度のウォームアップエクササイズは、その後の高強度運動における有酸素性エネルギー代謝を増加させる可能性があることが明らかになっている(41)。持久系課題では、十分な強度のウォームアップにより、その後の高強度運動に対する代謝および換気反応が変化する可能性がある(41)。さらに、直前の運動によって生じた軽度のアシドーシスは、その後の高強度運動における運動耐性

の改善に関連する(41)。

パフォーマンスの結果に対するウォームアップ強度の効果に関して、Burnleyら(17)は、中強度または高強度の自転車エクササイズによって、その後の高強度自転車課題における平均発揮パワーと全体的なパフォーマンスが約2～3%向上することを証明した。さらなる自転車研究では(41,42)、10分間の回復を伴う高強度運動($\dot{V}O_2$peak時における運動速度の100、110、120%に相当する運動速度)により、換気閾値と$\dot{V}O_2$peakの中間の強度に相当する最大下エクササイズにおける疲労困憊までの時間が改善された。さらに、いくつかの研究において、3～6分間の高強度の自転車エクササイズ(ピーク発揮パワーの約60～85%)からなるプロトコルが、その後の持久系パフォーマンスにプラスの影響を与えるのに十分であることが示されている(1,34,49)。高度に鍛練された自転車選手(20名)に対し、4kmのタイムトライアルの前に、60% $\dot{V}O_2$maxの発揮パワーで5分間の自転車エクササイズを行ない、その直後に70%のピークパワー(1分間に60回転)で、5分間の受動的回復を伴う3×10秒のプロトコルを実施したところ、完走時間が1.7秒短縮され、「標準的な」ウォームアップと比較すると、平均発揮パワー(5.1ワット)とペダルストローク当たりのピークの力(5.7ニュートン)が増加した(20)。重要なことは、ウォームアップ後に行なう最大下および最大の有酸素性代謝に依存する課題のパフォーマンスを向上させるためには、中強度のエクササイズからなるウォームアップ戦略は、より一層高強度のウォームアップと同程度に効果的であるということである(17,35)。

その他の研究は、高強度の間欠的ウォームアップや1回のスプリントによるウォームアップアプローチが持久系パフォーマンスに及ぼす影響を調査した(7,21,40,53)。例えば、Bishopら(7)は、15分間の連続的なウォームアップ(65% $\dot{V}O_2$maxの発揮パワー)または間欠的なプロトコルを用いた。後者は同じ発揮パワーで10分間のウォームアップと、続いて行なう5×10秒の最大に近いスプリント(50秒の回復)で構成されていた。ウォームアップ後に行なった2分間の全力のカヤックエルゴメータ課題では、連続的なウォームアップに比べ、間欠的ウォームアップ後のほうが、ピークパワーが4.7%、平均パワーが2.2%向上した(7)。ただし、ピーク$\dot{V}O_2$と総$\dot{V}O_2$、および累積酸素負債の有意な改善は観察されなかった。反対に、鍛錬された男性自転車選手(53)において、同様の10分間のウォームアップ戦略の後、様々な強度で、すなわち有酸素性ピークパワーの100%と150%、および「全力」で、5×10秒のエクササイズを行なったが、3kmのタイムトライアルのパフォーマンスは、自己選択したウォームアップ戦略に比べ、改善はみられなかった(53)。Bishopら(7)の研究とMcIntyre&Kilding(53)の研究との間で異なる結果が得られた理由としては、可能性として、自転車のタイムトライアルの時間が長かったこと、またはカヤックと比較すると、自転車に動員される筋群の疲労特性が潜在的に異なることなどが考えられる。興味深いことに、Dingleyら(26)は、全国レベルの選手を対象に、レース前のウォームアップを連続的、間欠的、または通常どおりに行なったが、500mのスプリントカヤックのパフォーマンスに差は生じなかったと報告しており、これは前述の研究結果とは異なっている。1.3kmのクロスカントリースキーのタイムトライアル前に、短時間のウォームアップ(強度を漸増させながら8×100m)か、または長時間(約35分)の低強度ウォームアップを行なった結果も、同様に差は認められなかった(67)。

さらに、過負荷をかけた高強度ストライド(短時間での高速スプリント)(3)などの他のウォームアップ技術やプライオメトリックエクササイズを取り入れたウォームアップなども(13)、持久走のパフォーマンスに利益をもたらす可能性がある。例えば、Barnesら(3)は、漸増トレッドミル走の前に、ウェイトベストを着用した一連のスプリント(6×10秒)を実施した。このプロトコルにより、高度に鍛錬された長距離ランナーにおいて、ピーク走速度が2.9%向上し、ランニングエコノミーが大幅に改善された(6.0%の効果量＝1.40)ことが明らかになった。実際、この研究で観察された一時的なパフォーマンスの向上は、長期間のストレングストレーニングによる介入後に達成された向上と同程度の大きさである(4,54)。しかし、Boullosaら(13)は、男性の1,000m走のタイムに利益がある可能性を報告しているが、女性の中距離、長距離ランナーでは、パフォーマンスが悪化する可能性も指摘されている。実際、あまりに高強度のウォームアップは筋の収縮機能を低下させ(6,68)、一時的なパフォーマンスの低下をもたらすとの見方もある。それにもかかわらず、Inghamら(40)は、800m走のタイムトライアルの前に高強度の200m走を1回行なったところ、6×50mの「ストライド」と「歩いて戻る」回復とで構成されたウォームアップに比べると、完走タイムが有意に速くなった(1.2秒)ことを証明した。興味深いことに、後者は、実際のパフォーマンス課題にはあまり利益がないにもかかわらず、中距離ランナーのための典型的なウォームアップとみなされている(40)。これらの結果が生じる重要な原因のひとつは、ウォームアップと試合の間の時間であると思われる。

ウォームアップのタイミングに関するエビデンス

ウォームアップを行なってから試合までの時間が短すぎたり(<3分)(1)、長すぎたりすると(20～45分)(57,72,74)、パフォーマンスが最適以下となる可能性がある。例えば、Baileyら(1)は、約70% $\dot{V}O_2$maxで自転車でのウォームアッ

プを行なった後、9分または20分の回復時間を設けることにより、80％ $\dot{V}O_2$maxで失敗するまで漕ぐことによって評価した運動耐性が、それぞれ15％と30％向上することを明らかにした。対照的に、3分間の回復時間を設けた場合、パフォーマンスは16％低下した(1)。同様に、Ktenidisら(44)は、6分間の自転車エクササイズ後に30分間の回復を設けると、15分間の回復と比較して、ウィンゲートテストのピークパワーと疲労耐性、乳酸産生が向上することを明らかにした(44)。重要な注意点として、この研究はレクリエーションレベルの活動的な若い男性を対象に実施されたものであり、回復特性がより優れていると思われる鍛錬されたエリートレベルの自転車選手でも、同じ効果が観察されるかは不明である。国際レベルの競泳選手(男性4名、女性4名)において、標準化された水泳のウォームアップ(様々な泳法で約1,600 m泳ぐ)を行なってから20分後の200 mのパフォーマンスはより優れていた(72)。なおさらに、全国レベルの男子水泳選手を対象とした別の研究(57)では、200 mの水泳ウォームアップ後に10分間の受動的休息を取った結果、20分間の休息よりも、より優れた100 mの水泳パフォーマンスをもたらした。

さらに、約40％ $\dot{V}O_2$maxで行なったウォームアップにより、その後3分間の回復後に失敗するまで運動課題を行なう間に、身体がエネルギーを産生するための酸素使用効率が改善された。ところが、回復時間を9分または20分に延ばすと、潜在的な効果は失われた(1)。これは、中～高強度の十分な強度のウォームアップエクササイズとパフォーマンス課題の前の適切な休息時間が、最大の効果をもたらす可能性を示唆している(1)。特に、持久的な自転車競技(1,21)や走競技(1,21,40)においては、高強度のウォームアップ後に、鍛錬されたアスリートおよび鍛錬されていないアスリートの$\dot{V}O_2$動態が最大20分間増幅される可能性がある。さらに、少量かつ高強度のウォームアップの利益は、20分後もなお明らかに認められる(40)。

さらに、高度に鍛錬された自転車ロードレース選手では、回復時間がより長いことを裏づける証拠がある(21)。著者らは、漸進的な高強度ウォームアッププロトコル(10～100％のピークパワーで行なう20分間の自転車エクササイズ)の後に2×20秒のスプリントを行ない、その23分後または9分後に4分間の最大努力の自転車テストを実施したが、全体的なパフォーマンスに有意差はなかったことを報告した(21)。しかし、平均パワーは23分の回復時間のほうがより大きかった(21)。現段階では、高強度エクササイズ(ウォームアップルーティンでのレースペースでのサイクリングやスプリント)を、最大負荷のテストや試合前に限られた回復時間と組み合わせて処方する場合には注意が必要である。他のいくつかの要因もあるが、特に、血液中の酸塩基状態が好ましくない変化(17,21)を起こす可能性が高いからである。しかし、実際に可能であれば、回復時間を長くする(20～23分)ことによりマイナスの影響は相殺され、テスト／試合の後半段階のパフォーマンスが向上する可能性があると思われる(21)。したがって、コーチとアスリートは、試合前のウォームアップ活動の性質(様式や強度など)とそのタイミングを考慮する必要がある。

活動後パフォーマンス増強(約15～1分前)

近年、活動後パフォーマンス増強(PAPE)という用語が提案されている(11,24)。このPAPEは、概ね、本稿の関心対象の時間枠を反映している。具体的には、PAPEは、随意的コンディショニングによる高強度筋活動により、古典的な活動後増強の確証的証拠(単収縮力評価)のエビデンスがなくても、その後のテストにおける随意筋力が増強することを意味する。したがって、PAPEは客観的な指標であり、通常はコンディショニング筋活動後の筋力、パワー、スピードの増強を意味する(11)。PAPE効果は、いくつかの生理学的メカニズムに基づいていると考えられるが、これに関するさらに詳しい考察は、別途研究文献を参照してほしい(11)。

PAPEを誘発する活動の種類

スプリントやジャンプなどの短時間の課題において、爆発的運動(プライオメトリックスなど)や高負荷のレジスタンスエクササイズ(>85％ 1RM)の後のPAPE効果を証明するエビデンスが多数存在する。さらに、バレーボール選手の最大筋力とパワーの向上も証明されている(70)。これに反して、全国レベルまたは国際レベルのフィールドスポーツチームの選手(種目の記載なし)において、レジスティッドスレッド走が短距離走のパフォーマンスに及ぼす影響は明確ではないとの報告もある(55)。

短時間の課題に代わり、持久系課題に対しても、プライオメトリックスや、より一層伝統的な動的なストレングスエクササイズによるPAPE後の効果を推測することができる。実際、長期的なプライオメトリックトレーニングはランニングエコノミーとパフォーマンスを向上させることが示されており(2,9)、最近の研究では、一時的なプライオメトリックエクササイズが、その後のランニングパフォーマンスを促進する可能性があることも明らかになっている(8,71)。具体的には、スクワットジャンプ、シザーズジャンプ、ダブルレッグバウンド(71)を2×8レップ、またはデプスジャンプ(8)を2×6レップのプライオメトリックス中心のPAPEプロトコルは、レクリエーションレベル(71)、全国レベル、また国際レベルの中距離走選手のランニングエコノミーを改善することが示されている(8)。しかし、どの研究でも$\dot{V}O_2$maxや疲労困

憊までの時間には変化は認められなかった。

自転車競技では、鍛錬されたアスリートが高負荷のレジスタンスエクササイズ(4×5RMのレッグプレス)を行なったところ、テスト中を通じてペーシング戦略や平均発揮パワーに有意な変化がないにもかかわらず、20kmのタイムトライアルの完走時間が6.1%短縮された(66)。著者らは、代わりの理由として、選手らが経験したパフォーマンスの向上は、無酸素性パフォーマンス予備力の活用能力の増加、および／またはタイムトライアルの最初の10%における平均発揮パワーの向上によるものである可能性を示唆している(66)。1,000mのロウイングパフォーマンスに対する効果を証明する、さらなるエビデンスもある(30)。このプロトコルでは、5×5秒(最大下の強度で2秒、最大強度で3秒、セット間の休息15秒)の等尺性プル活動を行ない、その後4分間の回復時間を設けた。このPAPEプロトコルは、各自が選択したロウイングウォームアップと比較して、1,000mのロウイングエルゴメータのタイムを全体で1.4秒(0.8%)、平均発揮パワーを6.6%、最初の500mの平均ストローク率を5.2%、それぞれ向上させた(30)。

実際、諸研究は、パフォーマンス課題の様々な段階におけるPAPE効果を解明しようと試みており(20,30,37,66)、総合すると、生理学的効果やパフォーマンス上の効果は、課題序盤において最大であることが示されている。具体的には、ロウイング(30)、水泳(37)、自転車(66)の課題において、そのような課題序盤における効果が観察されている。特に、Chorley&Lamb(20)は、4kmのトラックで実施した自転車のタイムトライアルにおいて、最初の1,500mでPAPEの効果が最大になることを明らかにした。実際、全体の平均短縮時間1.7秒のうち1.2秒(約71%)が課題序盤のパフォーマンスの向上によるものであった。これもまた、持久系課題では一旦開始されると、増強効果が持続するというSale(63)による主張をさらに支持している。重要なことは、このようなタイム差が4kmの個人パシュートではかなり大きな意味をもち、成功を決定する上で重要な役割を果たす可能性があるということである。例えば、2018年と2020年の世界選手権では、金メダルと銀メダルの差はそれぞれわずか2.1秒と4.1秒であり、2014年と2015年の世界選手権では0.5秒以下であった(20)。つまり、最初の1,500mで1.2秒タイムを短縮することは、金銀のタイム差のそれぞれ57%と29%(2018年大会と2020年大会)に相当するのであり、2014年と2015年の大会では、獲得するメダルの色が違っていたはずである。先にも取り上げたように、自転車選手を対象とした研究(66)では、4×5RMのレッグプレスにより、20kmタイムトライアルのパフォーマンスが向上し、完走時間は6.1%短縮し、課題の最初の10%の部分において、自転車の走行エコノミーと発揮パワーが改善されたことが明らかになっている。

さらに、水泳におけるエビデンス(37)によると、100m自由形のパフォーマンスの0.54秒の向上が、個別に調整された、動的な水泳のレジスティッドスプリントプロトコル(約10m×4回)の効果によるものであったと報告されている。具体的には、この研究では、最初の50mでの改善傾向(0.26秒短縮)がみられたが、これはコンマ数秒、または1/100秒の差でレースが決まることさえある短距離水泳競技では、大きな差であるといえる(37)。これらの研究を総合すると、負荷をかけた活動やPAPE活動(ウォームアップの一環として組み込まれることが多い)は、中～長時間の課題における序盤のパフォーマンスを向上させ、完遂までの総タイムの改善に寄与する可能性があると示唆される。

PAPE活動のタイミング

このレビューで取り上げた他の戦略と同様に、活動とそれに続くパフォーマンス課題の間の回復時間も考慮する必要がある。適切な、場合によっては個別に設定されたタイミングにより、経験した疲労が解消され、増強効果が達成される可能性がある(73)。実際、最近のエビデンスでは、各自が選択した休息時間(平均約6分)は、一定の休息時間(約4分)と比較して、垂直跳びのパフォーマンスをより向上させることが示されている(27)。一般に、高強度レジスタンスエクササイズ後は5～12分(65,73)、プライオメトリックエクササイズ後は1～6分(45)の受動的休息時間が最適であると示唆されている。とはいえ、この効果が本稿に関連のあるパフォーマンス課題においても観察されるかは明らかではない。実際、休息間隔が長くなると(30分まで延長)、増強効果が減少または完全に消滅する可能性もある(63,65,73)。

さらに、PAPE効果は、持久系トレーニングを行なった高度に鍛錬されたアスリートにおいてかなりの時間持続する可能性があり、このようなアスリートは、十分に鍛えられた筋群において、持続的なPAPE効果を維持できる(9,36,56,59)。持久系パフォーマンス課題のためには、PAPE介入後、4～12分間の休息時間が提唱されている(9,21,30,73)。実際、漕艇選手(30)、走競技選手(3)、自転車選手(21,66)、水泳選手(37)を対象としたいくつかの研究では、4～10分の回復時間を用いることにより、パフォーマンスにプラスの成果があることが確認されている。さらに、PAPE反応は、個人のトレーニングステータスや筋力レベルにも影響される可能性が高く(プライミングエクササイズの効果に関する前述の論考と同様)、筋力が弱く経験の浅いアスリートは、PAPE効果を得るために、筋力が強く経験の豊富なアスリート(10)よりも長い回復時間(8分以上)を必要とする(69)。これは、高度に鍛錬されたアスリートであれば、PAPEプロトコルの終了からそ

の後のパフォーマンス課題までの回復時間を短縮できることを意味する。

まとめ

本稿で試みたことは、エビデンスを強調、統合し、議論を促進することであり、さらに可能であれば、持久力を要する課題や長時間の課題、または反復的で間欠的な努力を含む課題を行なう前に(約48時間～約1分前)、専門職やアスリートにとって有益と思われる、エクササイズに基づく実践的推奨事項を提案することであった。具体的には、これらの機会を3つの段階(プライミング、能動的ウォームアップ、PAPE戦略)に大別した**(表1、表2、表3)**。しかし、ウォームアップとPAPEの活動は、常に独立したものであるとは限らない。PAPE活動がウォームアップのプロトコルに組み込まれていることもあるし、用語が互換的に使用されている場合もある**(図1)**。これらのアプローチの絶好の機会に関しては、それぞれエビデンスが存在し提示されている。しかし我々は、本稿で取り上げた研究が、すべての利用可能な研究を網羅しているわけではないことも認識している。

表1　エクササイズプライミング戦略の実践的提案と推奨事項の要点

セッションの目標	実践的提案と推奨事項
エクササイズプライミング(試合の約48～1時間前)	運動の48～1時間前が最も効果的と思われる。 プライミングプロトコルでは、少量の無負荷および外部負荷による一般的なエクササイズと、より競技特異的なエクササイズを考慮する。 大多数のエビデンスは、無酸素性課題(ジャンプ、スローイング、スプリント)によるパフォーマンスの向上を裏づけている。しかし、無酸素性／神経筋機能の向上は、神経筋機能や伸張–短縮サイクルの要素に依存する課題にも応用できる可能性がある。持久系の課題や長時間の反復間欠的課題に対してプラスの効果があるというエビデンスは有望ではあるが、まだ少ない。 選手の心理学的／心理社会学的状態を改善する可能性がある。 トレーニングや移動のスケジュール、試合のタイミング、その他アスリートの要因に関連づけて、実施を検討する必要がある。セッションは、試合の前日または当日の午前中に実施するのが最も実践的である。 試合前の最後のエクササイズセッションのタイミングにより、プライミングとテーパリングのプロトコルに多少の重複が生じる可能性がある。

表2　能動的ウォームアップのための実践的提案と推奨事項の要点

セッションの目標	実践的提案と推奨事項
能動的ウォームアップ(試合の約1時間～15分前)	ウォームアップの完了から課題開始までの時間は、ほとんどの状況で約9～20分(高強度プロトコルを用いる場合は最長23分まで)とする。この時間より短くても長くても、パフォーマンスが低下し、ウォームアップの効果が減少または完全に消滅する可能性がある。 能動的ウォームアップの持続時間は15分程度が推奨される。 連続的よりむしろ間欠的ウォームアッププロトコルを行なうことで、さらなる効果が期待できる。 ほとんどの場合、中強度(60～70% $\dot{V}O_2max$)のウォームアップのほうが、過度に高強度のプロトコルよりも適切であると思われる。 しかし、シングルスプリントのような最少量の高強度ウォームアップは、短・中距離種目のパフォーマンスを向上させる可能性がある。

$\dot{V}O_2max$＝最大酸素摂取量

表3　活動後パフォーマンス増強(PAPE)のための実践的提案と推奨事項の要点

セッションの目標	実践的提案と推奨事項
PAPE(試合の約15～1分前)	PAPE活動はタイミングを考慮する必要がある(高強度レジスタンスエクササイズの後は約15～4分、爆発的PAPEプロトコルの後は6～1分)。 レジスタンスエクササイズや爆発的エクササイズは、ランニングエコノミーや自転車タイムトライアルのパフォーマンスを向上させる可能性がある。 課題特異的ではないエクササイズでも、同様の筋群に対してはPAPEの効果があると推測される。 レジスタンスエクササイズ以外のPAPEプロトコル(自転車エクササイズなど)も、増強と残存疲労のバランスをとるために約6～12分の回復時間をとることで、関連する自転車パフォーマンスを改善できる可能性がある。 最適なタイミングは、アスリートの特性(トレーニングレベル、筋力レベル、経験など)によって異なる。 エビデンスによると、長時間の課題では、課題序盤における効果が全体的なパフォーマンスの向上に繋がる可能性がある。

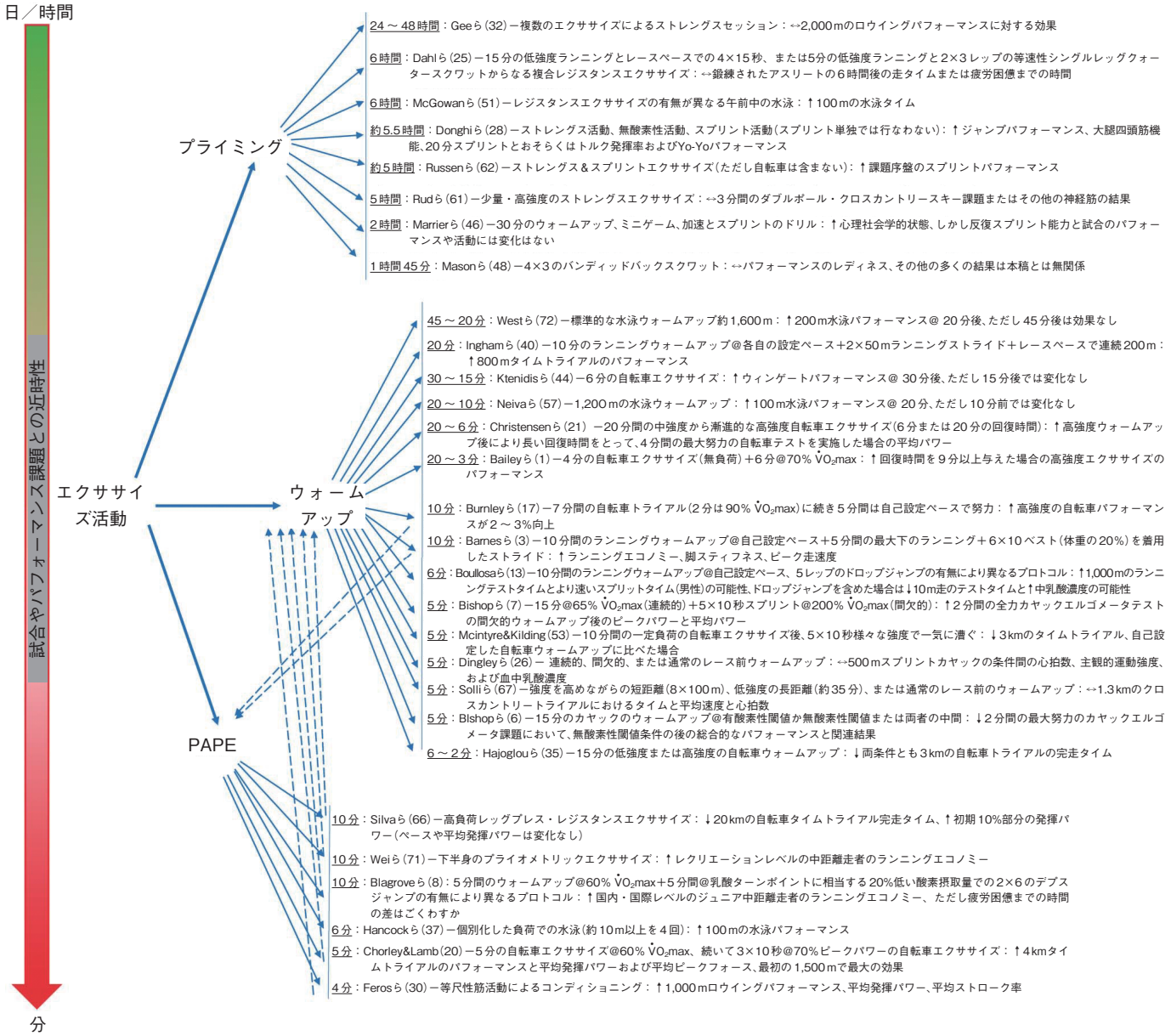


図1　本稿に含まれる主な研究から、試合前の各準備段階(試合前の日数/時間数と分数で分類)におけるエクササイズセッションのパラメータとパフォーマンス結果に関する要点のまとめ。各研究は、その焦点(「ウォームアップ」など)に基づいて分類されているが、破線や矢印は、ウォームアップとPAPEの活動または目的の間に何らかの重複が存在する可能性を示している。
注：この図にはレビュー論文は含まれていない。
↑＝プラス効果、↓＝マイナス効果、↔＝変化なし、$\dot{V}O_2$max＝最大酸素摂取量

多くのプライミングエクササイズ研究は、短時間の活動、または最大筋力／最大パワーの結果に焦点を当てている。筋力／パワーの向上は持久系パフォーマンスの向上にも好影響を与えるため(14,36)、そのような持久系課題にもなお利益をもたらすと思われる。大筋群を対象とした少量、高強度、または爆発的なレジスタンスエクササイズは、プライミング戦略として最もよく採用されていると思われ、その後の間欠的パフォーマンスや持久系パフォーマンスにも有効であると考えられる**(図2)**。さらに、アスリートの心理状態を高める可能性も明らかになっている**(表1)**。競技特異的ではない無酸素性活動、またはその後の課題を模擬する活動(自転車エクササイズなど)でも、良好な結果が得られる可能性がある。現場のコーチングの観点からは、当該スポーツで頻繁に行なわれる活動や当該スポーツを忠実に模擬するプライミング活動を用いることは合理的である。しかし、最適なプライミングエクササイズについては、類似のスポーツ間でさえ合意が得られていないため、明確で絶対的な提言を行なうことは難しい。アスリートのトレーニングステータス、適用のタイミング、残存疲労、その他の戦略(テーパリングなど)との相互作用など、追加的要因については注意深い考察が必要である**(表1)**。不安やその他の要因が結果に悪影響を及ぼす可能性のあるスポーツの文脈においては、プライミングエク

ササイズがもたらす心理生理学的および知覚的な利点の可能性についても、さらに検討する必要がある。

試合により時間的に近づくと、持久的で長時間の課題や反復間欠的な課題を行なう前に、中強度および高強度のウォームアップエクササイズが効果的であることを示唆するエビデンスが得られている**(図3)**。連続的、間欠的、単発的なプロトコルも有望な結果を示している。重要なこととして、試合の20～5分前に、約15分間のウォームアップを終えることが最も効果的である**(表2)**。今後の研究では、動員される筋群や環境温度の変化／暑熱時間の長さ、および特定の競技環境における再ウォームアップの必要性について検討する必要がある。また、PAPEタイプの活動をウォームアップに取り入れることは、課題の15分前から実施すれば、パフォーマンスを向上させる可能性がある。ストレングスエクササイズは、12～4分前までに行なうのが最適であり、爆発的エクササイズは課題の6～1分前までに行なえる可能性を示す直接的、間接的なエビデンスがある**(表3、図4)**。しかし、PAPE反応の時間特性は、アスリートのトレーニングステータスによって変動する可能性がある。経験豊富で十分に鍛練された、持久力のあるアスリートや筋力の強いアスリートは、経験が浅く筋力の弱い、あまり鍛練されていないアスリートよりも、より早く大きなPAPE反応が起こる。また、PAPE効果は、持久系トレーニングを受けたアスリートのほうが、パワートレーニングを受けたアスリートよりも長く持続する

図2　エクササイズプライミングの期間（試合の48～1時間前）に実施できるエクササイズの例。左：高負荷バックスクワット、中央左：パワースナッチ、中央右：メディスンボールスラム、右：高負荷ベンチプレス。
注：掲載したエクササイズは研究文献に基づく例であり、すべての可能なエクササイズを網羅的に示しているわけではない。

図3　ウォームアップの期間（試合の1時間～15分前）に実施できるエクササイズの例。左／中左：デプスジャンプ、中右：高強度自転車エクササイズ、右：スプリントまたはウェイティッドストライド。
注：掲載したエクササイズは研究文献に基づく例であり、すべての可能なエクササイズを網羅的に示しているわけではない。

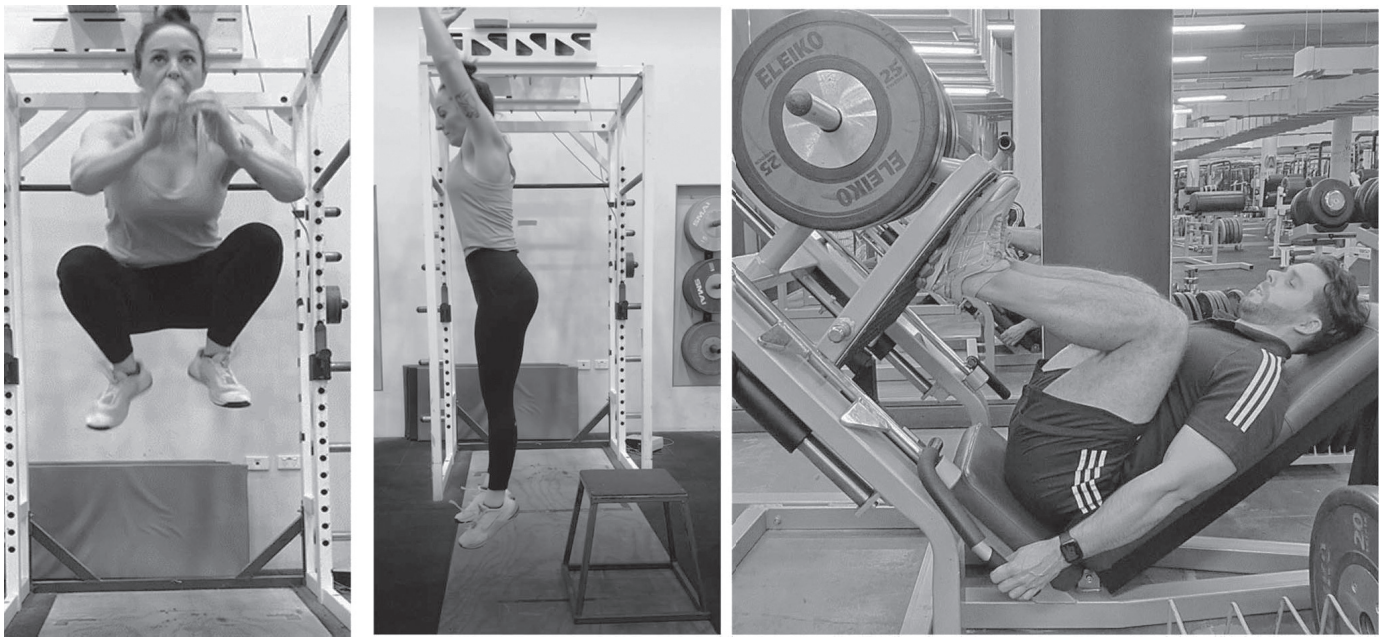


図４　活動後パフォーマンス増強（PAPE）の期間（試合の１５～１分前）に実施できるエクササイズの例。左：タックジャンプ、中：デプスジャンプ、右：高負荷レッグプレス。
注：掲載したエクササイズは研究文献に基づく例であり、すべての可能なエクササイズを網羅的に示しているわけではない。

可能性がある（56,59）。さらに、連続的な持久系競技（自転車のパシュートやタイムトライアル、水泳など）に出場する選手は、試合の序盤でPAPE効果の恩恵を受ける可能性が高い。それが全体のパフォーマンスに大きな影響を及ぼすため、持続時間の異なる様々な競技においてもPAPEがプラスの効果をもたらす可能性が示唆される。

現場への応用

試合前の短時間の準備段階において、詳細かつ適切に作成され、目標に適したエクササイズを行なうことは、様々な持久系の、または反復間欠的なパフォーマンスの成果を促進し、おそらく選手の心理状態をも改善する可能性がある。可能な活動の幅や競技パフォーマンスの要求を考えると、「ある１つの方法をすべてに当てはめる」アプローチは推奨できないと思われる。むしろ、コーチやアスリートには、特定のスポーツの文脈や準備に役立つ情報を得るために、ここに提示した情報を検討することを勧めたい。さらに、すでに日常的に実施されている特定の戦略（ウォームアップなど）に新たな方法を取り入れる場合や、実施されていない戦略（プライミングなど）を新たに採用する場合は、大きな試合以外の練習時に、まず試してみることを強く推奨する。重要なこととして、そのようなアプローチは、競技特異的な要求と競技以外の要件を考慮して計画するべきである。その中には、練習や移動のスケジュールのタイミングや実施可能性、施設や機器、選手の嗜好やトレーニング経験などが含まれる。◆

References

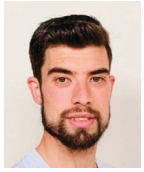
1. Bailey SJ, Vanhatalo A,Wilkerson DP, Dimenna FJ, Jones AM. Optimizing the "priming" effect: Influence of prior exercise intensity and recovery duration on O2 uptake kinetics and severeintensity exercise tolerance. *J Appl Physiol (1985)* 107: 1743–1756, 2009.
2. Balsalobre-Ferna ´ ndez C, Santos-Concejero J, Grivas GV. Effects of strength training on running economy in highly trained runners: A systematic review with meta-analysis of controlled trials. *J Strength Cond Res* 30: 2361–2368, 2016.
3. Barnes KR, Hopkins WG, McGuigan MR, Kilding AE. Warm-up with a weighted vest improves running performance via leg stiffness and running economy. *J Sci Med Sport* 18: 103–108, 2015.
4. Berryman N, Maurel DB, Bosquet L. Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. *J Strength Cond Res* 24: 1818–1825, 2010.
5. Bishop D. Warm up II: Performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Med* 33: 483–498, 2003.
6. Bishop D, Bonetti D, Dawson B. The effect of three different warm-up intensities on kayak ergometer performance. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1026–1032, 2001.
7. Bishop D, Bonetti D, Spencer M. The effect of an intermittent, high-intensity warm-up on supramaximal kayak ergometer performance. *J Sports Sci* 21: 13–20, 2003.
8. Blagrove RC, Holding KM, Patterson SD, Howatson G, Hayes PR. Efficacy of depth jumps to elicit a post-activation performance enhancement in junior endurance runners. *J Sci Med Sport* 22: 239–244, 2019.
9. Blagrove RC, Howatson G, Hayes PR. Effects of strength training on the physiological determinants of middle- and long-distance running performance: A systematic review. *Sports Med* 48: 1117–1149, 2018.
10. Blagrove RC, Howatson G, Hayes PR. Use of loaded conditioning activities to potentiate middleand long-distance performance: A narrative review and practical applications. *J Strength Cond Res* 33: 2288–2297, 2019.

11. Blazevich AJ, Babault N. Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: Historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. *Front Physiol* 10: 1359, 2019.
12. Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D, Mujika I. Effects of tapering on performance: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1358–1365, 2007.
13. Boullosa D, Abad CCC, Reis VP, et al. Effects of drop jumps on 1000-m performance time and pacing in elite male and female endurance runners. *Int J Sports Physiol Perform* 1-4, 2020. doi: 10.1123/ijspp.2019-0585
14. Boullosa D, Del Rosso S, Behm DG, Foster C. Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports: A review. *Eur J Sport Sci* 18: 595–610, 2018.
15. Boullosa DA, Tuimil JL. Postactivation potentiation in distance runners after two different field running protocols. *J Strength Cond Res* 23: 1560–1565, 2009.
16. Brandon LJ. Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Med* 19: 268–277, 1995.
17. Burnley M, Doust JH, Jones AM. Effects of prior warm-up regime on severe-intensity cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 37: 838–845, 2005.
18. Chamari K, Padulo J. 'Aerobic' and 'anaerobic' terms used in exercise physiology: A critical terminology reflection. *Sports Med Open* 19, 2015.
19. Chiu LZF, Barnes JL. The fitness-fatigue model revisited: Implications for planning short- and longterm training. *Strength Cond J* 25: 42–51, 2003.
20. Chorley A, Lamb KL. The effects of a cycling warmup including high-intensity heavy-resistance conditioning contractions on subsequent 4-km time trial performance. *J Strength Cond Res* 33: 57–65, 2019.
21. Christensen PM, Bangsbo J. Warm-up strategy and high-intensity endurance performance in trained cyclists. *Int J Sports Physiol Perform* 10: 353–360, 2015.
22. Connolly DA, Brennan KM, Lauzon CD. Effects of active versus passive recovery on power output during repeated bouts of short term, high intensity exercise. *J Sports Sci Med* 2: 47–51, 2003.
23. Cook CJ, Kilduff LP, Crewther BT, Beaven M, West DJ. Morning based strength training improves afternoon physical performance in rugby union players. *J Sci Med Sport* 17: 317–321, 2014.
24. Cuenca-Ferna ´ ndez F, Smith IC, Jordan MJ, et al. Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: A pilot study. *Appl Physiol Nutr Metab* 42: 1122–1125, 2017.
25. Dahl EB, Øygard E, Paulsen G, Rud B, Losnegard T. Morning preconditioning exercise does not increase afternoon performance in competitive runners. *Int J Sports Physiol Perform* 16: 1816–1823, 2021.
26. Dingley AF, Willmott AP, Fernandes JFT. Selfselected versus standardised warm-ups; physiological response on 500 m sprint kayak performance. *Sports (Basel)* 8: 156, 2020.
27. do Carmo EC, De Souza EO, Roschel H, et al. Self-selected rest interval improves vertical jump postactivation potentiation. *J Strength Cond Res* 35: 91–96, 2021.
28. Donghi F, Rampinini E, Bosio A, Fanchini M, Carlomagno D, Maffiuletti NA. Morning priming exercise strategy to enhance afternoon performance in young elite soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 16: 407–414, 2021.
29. Ekstrand LG, Battaglini CL, McMurray RG, Shields EW. Assessing explosive power production using the backward overhead shot throw and the effects of morning resistance exercise on afternoon performance. *J Strength Cond Res* 27: 101–106, 2013.
30. Feros SA, Young WB, Rice AJ, Talpey SW. The effect of including a series of isometric conditioning contractions to the rowing warm-up on 1,000-m rowing ergometer time trial performance. *J Strength Cond Res* 26: 3326–3334, 2012.
31. Fry AC, Stone MH, Thrush JT, Fleck SJ. Precompetition training sessions enhance competitive performance of high anxiety junior weightlifters. *J Strength Cond Res* 9: 37–42, 1995.
32. Gee TI, French DN, Howatson G, Payton SJ, Berger NJ, Thompson KG. Does a bout of strength training affect 2,000 m rowing ergometer performance and rowing-specific maximal power 24 h later? *Eur J Appl Physiol* 111: 2653–2662, 2011.
33. Gil MH, Neiva HP, Sousa AC, Marques MC, Marinho DA. Current approaches on warming up for sports performance: A critical review. *Strength Cond J* 41: 70–79, 2019.
34. Gurd BJ, Peters SJ, Heigenhauser GJ, et al. Prior heavy exercise elevates pyruvate dehydrogenase activity and speeds O2 uptake kinetics during subsequent moderate-intensity exercise in healthy young adults. *J Physiol* 577: 985–996, 2006.
35. Hajoglou A, Foster C, De Koning JJ, Lucia A, Kernozek TW, Porcari JP. Effect of warm-up on cycle time trial performance. *Med Sci Sports Ex Erc* 37: 1608–1614, 2005.
36. Hamada T, Sale DG, Macdougall JD. Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Med Sci Sports Exerc* 32: 403–411, 2000.
37. Hancock AP, Sparks KE, Kullman EL. Postactivation potentiation enhances swim performance in collegiate swimmers. *J Strength Cond Res* 29: 912–917, 2015.
38. Harrison PW, James LP, McGuigan MR, Jenkins DG, Kelly VG. Resistance priming to enhance neuromuscular performance in sport: Evidence, potential mechanisms and directions for future research. *Sports Med* 49: 1499–1514, 2019.
39. Hatzigeorgiadis A, Theodorakis Y, Zourbanos N. Self-talk in the swimming pool: The effects of selftalk on thought content and performance on waterpolo tasks. *J Appl Sport Psychol* 16: 138–150, 2004.
40. Ingham SA, Fudge BW, Pringle JS, Jones AM. Improvement of 800-m running performance with prior high-intensity exercise. *Int J Sports Physiol Perform* 8: 77–83, 2013.
41. Jones AM, Koppo K, Burnley M. Effects of prior exercise on metabolic and gas exchange responses to exercise. *Sports Med* 33: 949–971, 2003.
42. Jones AM, Wilkerson DP, Burnley M, Koppo K. Prior heavy exercise enhances performance during subsequent perimaximal exercise. *Med Sci Sports Exerc* 35: 2085–2092, 2003.
43. Kilduff LP, Finn CV, Baker JS, Cook CJ, West DJ. Preconditioning strategies to enhance physical performance on the day of competition. *Int J Sports Physiol Perform* 8: 677–681, 2013.
44. Ktenidis CK, Margaritelis NV, Cherouveim ED, et al. Priming exercise increases Wingate cycling peak power output. *Eur J Sport Sci* 21: 705–713, 2020.
45. Maloney SJ, Turner AN, Fletcher IM. Ballistic exercise as a pre-activation stimulus: A review of the literature and practical applications. *Sports Med* 44: 1347–1359, 2014.
46. Marrier B, Durguerian A, Robineau J, et al. Preconditioning strategy in rugby-7s players: Beneficial or detrimental? *Int J Sports Physiol Perform* 14: 918–926, 2019.

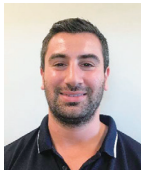
47. Mason B, McKune A, Pumpa K, Ball N. The use of acute exercise interventions as game day priming strategies to improve physical performance and athlete readiness in team-sport athletes: A systematic review. *Sports Med* 50: 1943–1962, 2020.
48. Mason BR, Argus CK, Norcott B, Ball NB. Resistance training priming activity improves upper-body power output in rugby players: Implications for game day performance. *J Strength Cond Res* 31: 913–920, 2017.
49. Mattioni Maturana F, Peyrard A, Temesi J, Millet GY, Murias JM. Faster $\dot{V}O(2)$ kinetics after priming exercises of different duration but same fatigue. *J Sports Sci* 36: 1095–1102, 2018.
50. McCrary JM, Ackermann BJ, Halaki M. A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *Br J Sports Med* 49: 935–942, 2015.
51. McGowan CJ, Pyne DB, Thompson KG, Raglin JS, Rattray B. Morning exercise: Enhancement of afternoon sprint-swimming performance. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 605–611, 2017.
52. McGowan CJ, Pyne DB, Thompson KG, Rattray B. Warm-up strategies for sport and exercise: Mechanisms and applications. *Sports Med* 45: 1523–1546, 2015.
53. McIntyre JP, Kilding AE. Effects of high-intensity intermittent priming on physiology and cycling performance. *J Sports Sci* 33: 561–567, 2015.
54. Millet GP, Jaouen B, Borrani F, Candau R. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and .VO(2) kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1351–1359, 2002.
55. Monahan M, Egan B. The priming effect of a heavy or very heavy resisted sled sprint-based conditioning activity on subsequent unresisted sprint performance in team field sport athletes. *J Strength Cond Res*, 2021. 10.1519/JSC. 0000000000004184
56. Morana C, Perrey S. Time course of postactivation potentiation during intermittent submaximal fatiguing contractions in endurance- and powertrained athletes. *J Strength Cond Res* 23: 1456–1464, 2009.
57. Neiva HP, Marques MC, Barbosa TM, Izquierdo M, Viana JL, Marinho D,A. Effects of 10 min vs. 20 min passive rest after warm-up on 100 m freestyle time-trial performance: A randomized crossover study. *J Sci Med Sport* 20: 81–86, 2017.
58. O'Brien B, Payne W, Gastin P, Burge C. A comparison of active and passive warm ups on energy system contribution and performance in moderate heat. *Aust J Sci Med Sport* 29: 106–109, 1997.
59. Pääsuke M, Saapar L, Ereline J, Gapeyeva H, Requena B, Oöpik V. Postactivation potentiation of knee extensor muscles in power- and endurance-trained, and untrained women. *Eur J Appl Physiol* 101: 577–585, 2007.
60. Paavolainen L, Häkkinen K, Hämäläinen I, Nummela A, Rusko H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol (1985)* 86: 1527–1533, 1999.
61. Rud B, Øygard E, Dahl EB, Paulsen G, Losnegard T. The effect of resistance exercise priming in the morning on afternoon sprint cross-country skiing performance. *Int J Sports Physiol Perform* 16: 1786–1793, 2021.
62. Russell M, King A, Bracken RM, Cook CJ, Giroud T, Kilduff LP. A comparison of different modes of morning priming exercise on afternoon performance. *Int J Sports Physiol Perform* 11: 763–767, 2016.
63. Sale D. Postactivation potentiation: Role in performance. *Br J Sports Med* 38: 386–387, 2004.
64. Schuster J, Howells D, Robineau J, et al. Physicalpreparation recommendations for elite rugby sevens performance. *Int J Sports Physiol Perform* 13: 255–267, 2018.
65. Seitz LB, Haff GG. Factors modulating postactivation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med* 46: 231–240, 2016.
66. Silva RA, Silva-Júnior FL, Pinheiro FA, Souza PF, Boullosa DA, Pires FO. Acute prior heavy strength exercise bouts improve the 20-km cycling time trial performance. *J Strength Cond Res* 28: 2513–2520, 2014.
67. Solli GS, Haugnes P, Kocbach J, van den Tillaar R, Torvik PO, Sandbakk O. The effects of a short specific versus a long traditional warm-up on timetrial performance in cross-country skiing sprint. *Int J Sports Physiol Perform* 1-8, 2020. doi:10.1123/ijspp.2019-0618
68. Tomaras EK, MacIntosh BR. Less is more: Standard warm-up causes fatigue and less warmup permits greater cycling power output. *J Appl Physiol (1985)* 111: 228–235, 2011.
69. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 31: 1–11, 2001.
70. Tseng KW, Chen JR, Chow JJ, et al. Postactivation performance enhancement after a bout of accentuated eccentric loading in collegiate male volleyball players. *Int J Environ Res Public Health* 18: 13110, 2021.
71. Wei C, Yu L, Duncan B, Renfree A. A plyometric warm-up protocol improves running economy in recreational endurance athletes. *Front Physiol* 11: 197, 2020.
72. West DJ, Dietzig BM, Bracken RM, et al. Influence of post-warm-up recovery time on swim performance in international swimmers. *J Sci Med Sport* 16: 172–176, 2013.
73. Wilson JM, Duncan NM, Marin PJ, et al. Metaanalysis of postactivation potentiation and power: Effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *J Strength Cond Res* 27: 854–859, 2013.
74. Zochowski T, Johnson E, Sleivert GG. Effects of varying post-warm-up recovery time on 200-m time-trial swim performance. *Int J Sports Physiol Perform* 2: 201–211, 2007.

From Strength and Conditioning Journal
Volume 45, Number 4, pages 450-461.

著者紹介



Eduardo Valcarce- Merayo：
カタールのドーハにあるAspire Academy for Sports Excellenceで、スポーツ科学学科のS&Cコーチを務める。



Christopher Latella：
西オーストラリア州パースにあるEdith Cowan Universityで、運動科学（S&C）修士課程プログラムの講師を務める。