

特集 ハイパフォーマンススポーツ・カンファレンス特別セミナー特集

パフォーマンス最適化のためのトレーニング負荷管理
High Performance Sport Conference: Special Seminar-Training Load
Management for Performance Optimization

Henderson Frederick J.¹⁾, 壺倉花¹⁾, 山下大地¹⁾, 関口泰樹²⁾, 玉川康平³⁾,
Buchheit Martin^{4), 5), 6)}, McCall Alan⁷⁾, Impellizzeri Franco M.⁸⁾,
山岸卓樹¹⁾, Mujika Iñigo^{9), 10)}
Frederick J. Henderson¹⁾, Hana Tsubokura¹⁾, Daichi Yamashita¹⁾, Yasuki Sekiguchi²⁾,
Kohei Tamagawa³⁾, Martin Buchheit^{4), 5), 6)}, Alan McCall⁷⁾, Franco M. Impellizzeri⁸⁾,
Takaki Yamagishi¹⁾, Iñigo Mujika^{9), 10)}

キーワード：リカバリー, モニタリング, ピーキング, テクノロジー, 外傷・障害予防

I. はじめに

2024年3月4日、日本スポーツ振興センター（HPSC）主催による「ハイパフォーマンススポーツカンファレンス：特別セミナー—パフォーマンス最適化のためのトレーニング負荷管理」がナショナルトレーニングセンターにて開催された。同年夏に開催されるパリ2024オリンピック・パラリンピック競技大会に向け、国内外のスポーツ関係者、特にコーチに対し、様々な分野における最新情報を提供することを目的として企画された。本セミナーは、オンライン（追加の講演も含めて3月11日から31日まで）と対面の両形式で、アスリートが最高峰の舞台で最高のパフォーマンスを発揮するための支援をテーマに、トレーニング負荷（TL）の理解、外傷・障害リスク、トレーニング効果をモニターするためのテクノロジーの活用、

主要大会直前の予選における計画立案、夏季の暑熱環境下におけるコンディショニング、リカバリー、国際大会への移動に伴う影響等、多岐にわたった。本稿では、各講演内容を簡潔にまとめ、読者の今後のスポーツ活動における課題解決の一助となることを期待する。

II. 概要説明／ハイパフォーマンスアスリートのためのトレーニングジムでの測定評価（山下大地）

2013年に国立スポーツ科学センターに設立されたハイパフォーマンスジム（HPG）は、測定・評価、トレーニング、リハビリテーション、研究を統合する拠点であり、ハイパフォーマンススポーツにおける研究と実践のギャップを埋めることを目指している。HPGでは姿勢、代謝、神経筋の3種類の観点から測定・評価を実施し、それ

¹⁾ 国立スポーツ科学センター, ²⁾ Texas Tech University, ³⁾ Performance Space, ⁴⁾ Type 3.2 Performance, ⁵⁾ HIIT Science, ⁶⁾ Aspetar, ⁷⁾ Arsenal Football Club, ⁸⁾ University of Technology Sydney, ⁹⁾ University of the Basque Country, ¹⁰⁾ Universidad Finis Terrae
¹⁾ Japan Institute of Sports Sciences, ²⁾ Texas Tech University, ³⁾ Performance Space, ⁴⁾ Type 3.2 Performance, ⁵⁾ HIIT Science, ⁶⁾ Aspetar, ⁷⁾ Arsenal Football Club, ⁸⁾ University of Technology Sydney, ⁹⁾ University of the Basque Country, ¹⁰⁾ Universidad Finis Terrae

E-mail : frederick.henderson@jpnport.go.jp

それがオリンピック・パラリンピックサイクルにわたるアスリートの準備等、特定のパフォーマンスの目標に合致した明確な目的がある（図1）。定期的な測定・評価は、外傷・障害や予期せぬ出来事にかかわらず、アスリートの進歩を確実にするのに役立つ。しかし、測定はリソースを大量に消費し、望ましくない疲労を引き起こす可能性があるため、測定時間や測定のためだけのセッションの必要性等、潜在的なデメリットと比較してメリットを検討する必要がある。

ウェアラブルデバイスの使用等、通常のトレーニング中にデータが収集される「インビジブルモニタリング」は、貴重なアプローチとなっている。例えば、トレーニングデータを収集して即座に表示することで、パフォーマンス向上につながる即時フィードバックが可能になる³⁸⁾。しかし、このアプローチは、過度なデータ収集やプライバシーの問題を回避するために慎重に実装しなければならない。

HPG は、このような課題に取り組むために様々なツールを用いている。例えば、コンピュータビジョンによるAI技術を用いて、LED マーカーを貼付してカウンタームーブメントジャンプ(CMJ)を行うと、アスリートの詳細なバイオメカニクスデータを5分以内に算出できるようになった⁴⁴⁾。また、CMJ はポータブルフォースプレート上で

も実施可能であり、包括的なデータを収集しながらアスリートに即時フィードバックをすることができる。このようなデータ収集は、トレーニングのサポートと研究用データの収集という2つの目的を果たしている。

HPG はこのような方法で複数の研究を発表している。例えば、世界レベルのアスリートのデータから、オリンピック後の4週間のトレーニング中止後、下肢のパワーは低下したが、持久性能力はほとんど変化しないことを明らかにした²¹⁾。また、世界選手権に向けたテーパリング戦略を実装した事例報告では、決勝前の最終トレーニングセッションで最高のパフォーマンスを発揮できた例を報告した⁴⁰⁾。インビジブルテストを通じて、スタッフは「正式な」測定を行うことなく、オリンピックまでのスプリントパフォーマンス向上のための低酸素トレーニングの経過をモニタリングした¹⁹⁾。

長期的なアスリートプランニングに定期的な測定・評価を組み込むことは有効である。このような柔軟な測定・評価のアプローチによって、エビデンスに基づいた実践と、ハイパフォーマンススポーツ研究の進歩の両方に貢献できると考えられる。

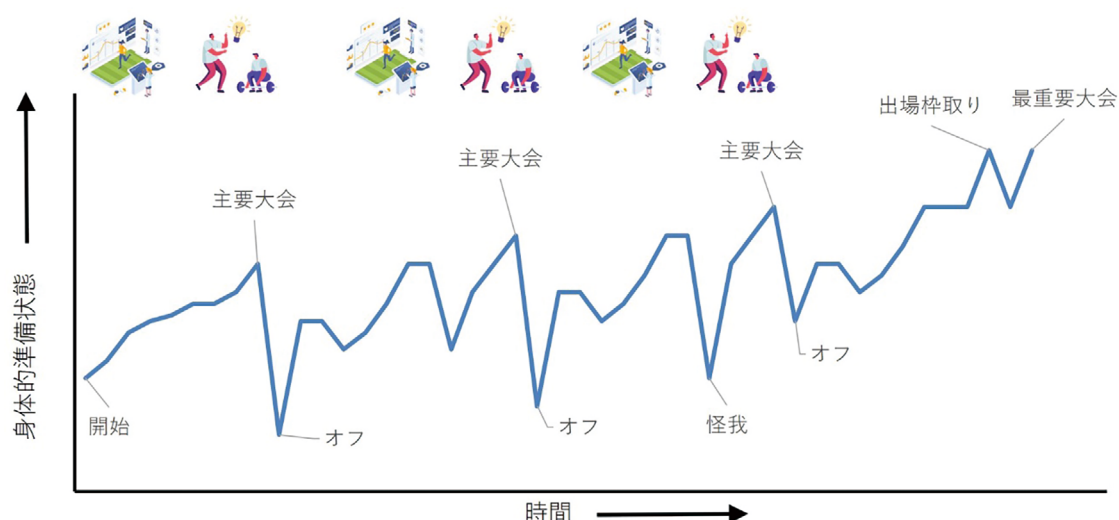


図1. 長期的なパフォーマンスの目標を達成するための測定・評価とトレーニングの概念図

Ⅲ. トレーニングとリカバリーによる暑熱環境下での運動パフォーマンスの最大化(関口泰樹)

暑熱ストレスは運動パフォーマンスを著しく低下させ、外傷・障害のリスクを高める。多くの国際大会が夏季または高温下で開催されることを考えると、暑熱環境下でパフォーマンスを発揮できるようアスリートが準備することは、パフォーマンス最適化の鍵となる。

暑熱に対する生理的反応は複雑であり、発汗による脱水等、体温調節メカニズムによって駆動される¹³⁾。体温調節が行われるにもかかわらず、長時間の運動は深部体温を上昇させ、同じ運動強度でも心拍数を増加させ早く疲労困憊に至るといった運動パフォーマンスの低下を生じさせる。重要なのは、暑熱環境そのものが直接的に熱ストレスを引き起こすわけではないということである。高い環境温度は熱放散を妨げ、その結果として深部体温を上昇させる。深部体温の上昇は、熱関連症状の実際の原因であると同時に、生理的適応を促す要因でもある。

高い持久能力と並んで、暑熱順化は最も効果的な熱ストレス軽減戦略である¹⁾。順化は暑熱への曝露の頻度と強度によって異なるが、適応の70～80%は4～7日以内に起こる⁴¹⁾。適応には、血漿量の増加、運動中の心拍数の減少、運動能力の向上、温熱快適性の向上と主観的運動強度の低下、皮膚温度の低下、深部体温の低下、発汗量の増加、汗中電解質濃度の低下等がある。なお、適応により発汗量が増える一方で喉の渇きに対する感度が低下するため、水分補給計画はそれに応じて調整する必要がある⁴³⁾。

暑熱順化には個人差があるが、通常、深部体温を上昇させた状態を60～90分間、5～14日間続ける必要がある。方法は、高温下でのスポーツトレーニング、長時間の持久系トレーニングや、サウナ等の受動的方法がある。重要なのは、深部体温を十分に上昇させることである。暑熱順化は熱暴露を中断すると消失するため、定期的な熱暴露を通じて維持することが重要であり、トレーニングプログラムに組み込む必要がある。さらに、

用量反応関係が存在し、熱ストレスが強いほど適応は大きく、かつ早く現れる。また、暑熱順化の効果は暑熱環境下の競技パフォーマンスに限られず、涼しい環境でも有用である。そのため、暑熱順化は比較的容易に実施できる定期的なトレーニング手段として、あらゆる環境での身体パフォーマンス向上に活用できる。

暑熱順化の利点は、高温下でのスポーツパフォーマンスに限らず、あらゆる環境に及ぶ。したがって、暑熱順化は、あらゆる環境における身体パフォーマンスを向上させるための、比較的实施しやすい、定期的なトレーニングツールとして利用できる。

Ⅳ. バasketボールのストレングストレーニング、シーズン中のモニタリング、ACL術後リハビリテーションにおけるフォースプレートの活用(玉川康平)

ポータブルフォースプレートによって、アスリートのパフォーマンスに関する新たな洞察を得ることができる。CMJ中の鉛直地面反力を経時的に記録することで、 $F=ma$ (F :力、 m :質量、 a :加速度)の式から数十種類の変数を計算することができる。適切な解析ソフトウェアを選択することが重要であるが、信頼できるプロセスを確立することが最も重要であると言える。

プラクティショナーは、測定を標準化することでデータの信頼性を向上させることができる。しかし、厳密なプロトコルは実験室では一般的であるものの、現場での標準化されたテストは困難である。十分なデータ信頼性を確保するための主要な手順のチェックリストを使用することで、より大きな成功を収めることができるだろう。このようなチェックリストには、「データは一貫性があるか?」「データはウォームアップ後に収集されたか?」といった質問を含めることができる。例えば、「できるだけ高く早くジャンプする」「ジャンプ開始前に動かない」といったように、一貫した指示を出すこともデータの質を保証する。

データ収集後には、収集された膨大な量のデー

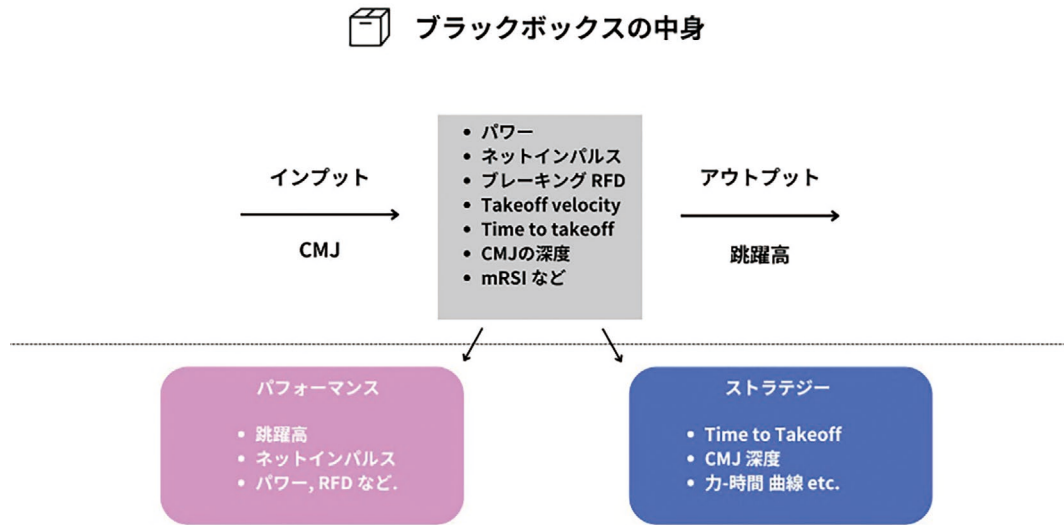


図2. データの解釈を向上させるための変数のカテゴリー分類。CMJ: カウンタームーブメントジャンプ、RFD: 力の立ち上がり率、mRSI: 修正反応筋力指数。

タを分析する必要がある。解釈を容易にするために、変数をパフォーマンス（ジャンプ高、ピークパワー等）と戦略（離地までの時間、反動の深さ等）のカテゴリーに分類することができる（図2）。ただし、修正反応筋力指数（modified reactive strength index; mRSI）のような指標を使用する際には注意が必要である。なぜなら、それは2変数の比率であるため、同じ値でも複数の組み合わせがあり、誤った解釈につながる可能性があるからである²⁾。これは、観察された変化をパフォーマンスと戦略の変数を組み合わせて説明することで回避することができる。

フォースプレートのデータは、トレーニングに関する意思決定をサポートすることができる。例えば、前十字靭帯（ACL）損傷のリハビリテーション過程において、ジャンプのブレーキ局面でのエキセントリックな力発揮中に左右差を示すことが多い²⁾。ジャンプ高だけではわからない事象を調べるために、各局面の地面反力の波形を個別に調べることができる^{18), 31), 33)}。そして、アスリートのための最適なトレーニングを確立することができる。

最後に、プラクティショナーはフォースプレートからの情報をストーリーとしてアスリートやコーチに伝え、コミュニケーションを促進し、ア

スリートの賛同を得て、彼らの成功に貢献する必要がある。

V. パリ 2024 大会に向けたダブルピーキング (Mujika Iñigo)

ピーキングとは、アスリートが達成可能な最高のパフォーマンスを可能にする一時的な状態である³⁾。この状態は、一般的にピリオダイゼーション、つまり、最高レベルのスピード、筋力、持久力を達成するために、様々なトレーニング期を組織化することによって達成される³⁾。

ほとんどのピリオダイゼーション研究は短期（<18週間）²⁵⁾であるが、多くのアスリートがトレーニングを期分けしている⁴⁶⁾。個人競技では、ピリオダイゼーションには通常、最適なフィットネスとピークパフォーマンスを達成するためのテーパリング期間がある³⁵⁾。アスリートは通常、テーパリング開始時にフィットネスがピークに近い状態にあるため、ピークパフォーマンスは蓄積された疲労の低下によってもたらされる可能性が高い。テーパリングは、約2週間トレーニング量を減らし（40～60%）、トレーニング強度と頻度を維持する場合に最も効果的である⁴⁾。テーパリングは、平均でパフォーマンスを3%（0.5～6.0%の範囲）向上させ、順位に影響を与えるのに十分

な効果がある。

テーパリングの実施にはいくつかの側面が影響する。個人差があるため、個々のトレーニングとリカバリーへの反応を理解することが重要である。TLの軽減中のエネルギーバランスの維持は、体組成に影響を与える可能性があるため^{27), 30), 36)}、テーパリング前に競技体重に到達し、競技までそれを維持することが推奨される。最後に、時差ぼけや高地、暑さ等、環境要因も考慮する必要がある⁴²⁾。同様に、ピリオダイゼーションとテーパリングにリカバリー戦略を組み込むことが推奨される。

予選と本戦のように、ピークを繰り返すことをダブルピーキングという。様々な期間でのダブルピーキングの成功例が報告されているが³⁷⁾、2つ目のピークをより高くすることはさらに大きな課題となる可能性がある。水泳では、シーズンベストと主要大会の間の期間はパフォーマンスの向上にほとんど影響を与えない一方で、メダリスト、ファイナリスト、そしてアメリカ合衆国の水泳選手のみが、ピークの間に着実な向上を示している。泳法、距離、性別、年齢は、パフォーマンスの向上にほとんど影響を与えなかった。

チームスポーツのようにシーズンが長い場合、考えられるアプローチは、まず高いフィットネスレベルを達成し、次にフィットネスを維持し、最も重要なイベントに向けてピークを迎えることである。これは、短いトレーニングサイクルのブロックを繰り返し、最も重要な競技に向けて積み上げていくブロックピリオダイゼーションによって達成できる^{22), 23)}。しかし、全てのアプローチ(ブロック、伝統的、混合)が成功を収めている⁴⁵⁾。上記の推奨事項は、アスリートやスポーツの種類にかかわらず全体的に当てはまる。

VI. データからパフォーマンスへ：エリートサッカーにおけるトレーニングの適応をモニターするテクノロジーの活用 (Buchheit Martin)

ウェアラブル技術の進歩により、アスリートに関する利用可能な情報は増加したが、トレーナー

は依然としてそれを理解する必要がある。したがって、テクノロジーを実装するためのフレームワークが重要である。このフレームワークにおいて、TLとTLへの反応を区別することは不可欠である。なぜなら、同じTLであっても、異なるアスリートでは異なる反応をする可能性があるからである。実際には、プラクティショナーはまず目標に基づいて目標負荷を計画する。次に、達成されたTLが計画されたTLと一致するかどうかを確認する必要がある。そして最後に、期待される結果が生じたことを確認するために、TLへの反応を定量化する必要がある。また、全ての適応が同じメカニズムに依存しているわけではないため、測定値は代謝性や神経筋性等、その性質によって分類することができる。

TLは、外的TL(ETL:負荷の特性)または内的TL(ITL:身体の反応)として質的に評価でき、心拍数モニター、主観的運動強度(Rate of Perceived Exertion; RPE)、全地球測位システム(Global Positioning System; GPS)等のツールを使用して定量化できる。そして、プラクティショナーは、ETLが標準化されている場合、経時的にETLとITLを比較することで、TLへの反応を定量化できる。代謝モニタリングの場合、標準化された運動中の心拍数、血中乳酸濃度、RPEスケールを使用できる。例えば、ウォームアップ中の12分間の最大下運動が挙げられる^{5), 9), 10)}。神経筋モニタリングの場合、筋肉痛は基本的だが信頼性のある指標である。クレアチンキナーゼ等のバイオマーカーによって、より具体的な測定値が得られる。最後に、2つ以上の測定値を収集することが推奨される。例えば、同じ運動強度で心拍数が低い場合は、フィットネスレベルが高いことを示す場合もあるが、ファンクショナルオーバーリーチ(オーバートレーニング)を示す場合もある²⁶⁾。ウェルネスに関するアンケートの結果から、どちらの場合も容易に特定できる³²⁾。

テクノロジーは常に進化している。フォースプレート、トランスデューサー、加速度計は、すでに神経筋負荷を追跡するために普及している⁷⁾。

屋外では GPS やシューズ内蔵の加速度計が TL のモニタリングに役立つ^{6), 8), 16)}。このような技術により、プラクティショナーは専用のテストセッションを必要とせずに、アスリートの通常のトレーニングで測定できる。EMG ショーツ、気分の認識、AI・モデリング技術等、他の有望な技術も開発中である。最後に、どのような技術であっても、意思決定のために一貫して標準化されたデータ収集が重要である。不必要なテストやアスリートへの過剰なデータの要求は、選手やスタッフからの信頼を損ない、協力関係を失う可能性があるため、注意が必要である。

VII. 外傷・障害予防のパズル (McCall Alan)

外傷・障害はその状況の複雑さと動的な性質のため、予防できない可能性が高い。例えば、あるエリートプロ選手が重要な試合に向けてリハビリテーションしていると。彼（彼女）はプレーできる状態ではないが、それでもプレーし、再発してしまう。理想的には外傷を予防したいところだが、多くの場合、唯一の選択肢は、意思決定の前に関係者全員にリスクを知らせながら、リスクを管理することである。

外傷・障害予防のための多くのフレームワークが利用可能だが、全てに同様の要素が含まれている。状況の評価、原因の特定、それに応じた介入である³⁹⁾。

「評価」には、最も一般的な外傷・障害の種類、関連する発生率、および結果として生じる負担（例：利用できない日数）の特定が含まれる。情報の科学文献を調べることは推奨されるが、実施された介入に応じて変化するアスリートのグループの状況を理解することも同様に重要である。

「特定」とは、外傷・障害の原因の探索を指す¹¹⁾。外傷・障害に至るまでには多くの要因が相互作用するが、分析を簡素化するために潜在的な原因をグループ化できる。そして、グループ間の関係を理解することで、ハイリスクな状況を特定し、回避するのに役立つ。情報を視覚化すること、例えば要因のパズルとして視覚化することで、

不足している情報を特定するのに役立つ。外傷・障害は動的であるため、「レッドフラグ」等のシステムを使用することが推奨される。前回の評価以降、リスク要因が現れた（レッドフラグ）か、消えた（グリーンフラグ）か。

「介入」はいくつかの形態をとることができる。しかし、研究は、毎週の負荷管理とエクササイズベースの戦略を指摘している²⁸⁾。その他のツールには、リカバリー戦略、既往歴の考慮、選手とのコミュニケーション、スタッフと選手が協力して作業する能力が含まれる。見落とされがちだが、例えば関係者の賛同を得る等、人間同士の相互作用は依然として重要である。

テクノロジーは個々の要因を正確に定量化できるが、主観的な尺度は全ての要因を統合する³⁴⁾。RPE や Borg スケールのようなツールは利用可能だが¹⁵⁾、信頼できる主観的なデータを収集するには信頼関係が不可欠であることが科学的調査で明らかになっている¹²⁾。アスリートは、十分に信頼している個人に対して最も正確に回答する。不正確さの要因には、教育、フィードバック、信頼、または透明性の欠如、誤解、不十分な関係構築等が含まれる。したがって、共感を持ってコーチングすることは、信頼できるデータの収集に役立つ可能性が高い²⁹⁾。主観的なデータが信頼できない場合、その責任は、回答者ではなく面接者にある可能性が高い。

VIII. トレーニング負荷の理解：理論から実践へ (Impellizzeri Franco M.)

概念的には、TL の理解は、トレーニングを変更することでトレーニング適応に変化が生じることを前提としている。しかし、トレーニングへの曝露と結果の関係は複雑であり、この関係の媒介変数は、変更効果と交絡因子によって影響を受ける²⁰⁾。ETL（曝露）は、ITL（媒介変数）に影響を与える。ITL は身体的特性（媒介変数）に影響を与え、それがパフォーマンス（結果）に影響を与える。暑熱等の環境も ETL に影響を与え、ITL を変化させる可能性がある。ITL はまた、病気等

の健康状態によって交絡される可能性があり、結果として得られる結果はトレーニングではなく病気によるものかもしれない。したがって、TLの正確な定量化には、いくつかの媒介変数のモニタリングが必要となる。

実際に、TLのモニタリングにはいくつかの一般的な手順がある²⁴⁾。まず計画である。パフォーマンスを分析して重要な決定要因を特定し、トレーニング目標を設定する。その計画を実施する際には、TLが期待される効果を生み出したことを確認する必要がある。計画が期待に沿わない場合は計画を変更し、そうでない場合は計画を続行する。したがって、何を測定するかはトレーニングプランによって異なる。ETLは急性トレーニング効果だけでなく、慢性トレーニング効果にもつながるため、時間も考慮すべき点である。最後に、個人差を考慮するために、状況要因をモニターする必要がある。したがって、通常、トレーニング結果の傾向を特定するために経時的にデータを収集する。理想的には、ETL、ITL、トレーニング効果、状況要因、パフォーマンスについて少なくとも1つの測定値を記録する。

どの測定値を選択するかは、トレーニングプランで目標とするメカニズムによって異なる。必要な測定値を特定するプロセスは、次の例に似ている。サッカーのコーチは、少人数制ゲーム (Small Sided Game; SSG) がスプリント能力の向上を通じてゲームパフォーマンスを向上させると仮定する。SSGとスプリントの間の媒介変数は、神経筋系である可能性が高い。関連するメカニズムの1つは、高速走の時間である可能性がある。SSGは反復スプリントを課し、神経筋系にストレスをかける。これは測定できない可能性があるが、GPS技術で測定可能な繰り返しの高速走行を通じて行われる。したがって、高速走行が選択された測定値となり、モニターする指標は25 km/h以上の時間とすることができる。このプロセスにおける重要な要素は、実験的エビデンスがない場合でも、少なくとも確固たる根拠を持つことである。

TLの管理には、何をトレーニングするかの定

義、実施するための計画、モニターすべき重要な特徴、トレーニングへの耐性の測定、計画を調整するためのシステム、トレーニングへの反応の確認等があるこのプロセスは、確固たるエビデンス、あるいは少なくとも確かなロジックによって裏付けられている必要がある。TLの関連指標はコーチによって選択されるため、健全な推論（すなわち、人的要因）が不可欠である。

IX. まとめ

TLの管理は、その複雑さゆえに、最も経験豊富な実践者にとってさえ課題である。このカンファレンスに登壇した著名な講演者は、TLに関する重要な疑問について、科学のおよび実際的应用について貴重な洞察を提供した。一般的な結論として、TLはトレーニング自体よりもトレーニング効果に関するものであり、したがって、リカバリー、環境（暑熱）、移動、負荷への個々の反応等の要因を考慮する必要がある。

テクノロジーは、賢明に実装すれば非常に役立つ可能性がある。単に利用できるからという理由でテクノロジーを実装することは無意味である。それは、関連する生物学的メカニズム、利用可能な科学文献、あるいはエビデンスがない場合は確固たるロジックに基づいて注意深く分析した結果から生じる特定の質問に答える必要がある。また、主観的なパフォーマンスマーカーは、全てのトレーニング効果の合計を反映するため、無視してはならない。テクノロジーは通常、特定の客観的測定に適しているが、トレーニングの全体的な結果を捉えることができないことが多い。最後に、テクノロジーを活用しなくても多くのことを達成できる。適切な手順と管理プロセスが整っていなければ、テクノロジーを実装することで明確さよりもむしろ混乱が生じる可能性もある。

文献

- 1) Benjamin CL, Sekiguchi Y, Fry LA, Casa DJ. Performance changes following heat acclimation and the factors that influence these changes:

- Meta-analysis and meta-regression. *Front Physiol*, 10: 1448, 2019.
- 2) Bishop C, Jordan M, Torres-Ronda L, Loturco I, Harry J, Virgile A, Mundy P, Turner A, Comfort P. Selecting metrics that matter: Comparing the use of the countermovement jump for performance profiling, neuromuscular fatigue monitoring, and injury rehabilitation testing. *Strength Cond J*, 45 (5): 545–553, 2023.
 - 3) Bompa TO. *Periodization training: Theory and methodology*. 4th Edition, Human Kinetics, 1999.
 - 4) Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D, Mujika I. Effects of tapering on performance: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 39(8): 1358–1365, 2007.
 - 5) Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Front Physiol*, 5: 73, 2014.
 - 6) Buchheit M, Gray A, Morin JB. Assessing stride variables and vertical stiffness with GPS-embedded accelerometers: Preliminary insights for the monitoring of neuromuscular fatigue on the field. *J Sports Sci Med*, 14(4): 698–701, 2015.
 - 7) Buchheit M, Morgan W, Wallace J, Bode M, Poulos N. Monitoring post-match lower-limb recovery in elite Australian rules football using a groin squeeze strength test. *Sport Perf Sci Rep*, 7: 1–3, 2017.
 - 8) Buchheit M, Simpson BM. Player-tracking technology: Half-full or half-empty glass? *Int J Sports Physiol Perform*, 12 (Suppl 2): S235–S241, 2017.
 - 9) Buchheit M, Simpson BM, Lacombe M. Monitoring cardiorespiratory fitness in professional soccer players: Is it worth the prick? *Int J Sports Physiol Perform*, 15(10): 1437–1441, 2020.
 - 10) Buchheit M, Simpson MB, Al Haddad H, Bourdon PC, Mendez-Villanueva A. Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *Eur J Appl Physiol*, 112(2): 711–723, 2012.
 - 11) Caroline B, Jay M, Pasman HR, Willem van M, Evert V. From the safety net to the injury prevention web: Applying systems thinking to unravel injury prevention challenges and opportunities in Cirque du Soleil. *BMJ Open Sport Exerc Med*, 5(1): e000492, 2019.
 - 12) Coventry M, Timler A, Mosler AB, Russell K, Travers M, Mitchell Oam L, Murphy MC. “I lied a little bit.” A qualitative study exploring the perspectives of elite Australian athletes on self-reported data. *Phys Ther Sport*, 60: 91–97, 2023.
 - 13) Coyle EF, González-Alonso J. Cardiovascular drift during prolonged exercise: New perspectives. *Exerc Sport Sci Rev*, 29(2): 88–92, 2001.
 - 14) Daanen HAM, Jonkman AG, Layden JD, Linnane DM, Weller AS. Optimising the acquisition and retention of heat acclimation. *Int J Sports Med*, 32 (11): 822–828, 2011.
 - 15) Foster C, Rodriguez-Marroyo JA, de Koning JJ. Monitoring training loads: The past, the present, and the future. *Int J Sports Physiol Perform*, 12 (Suppl 2): S2–2–S2–8, 2017.
 - 16) Girard O, Micallef JP, Millet GP. Changes in spring-mass model characteristics during repeated running sprints. *Eur J Appl Physiol*, 111 (1): 125–134, 2011.
 - 17) González-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol*, 86 (3): 1032–1039, 1999.
 - 18) Guess TM, Gray AD, Willis BW, Guess MM, Sherman SL, Chapman DW, Mann JB. Force-time waveform shape reveals countermovement jump strategies of collegiate athletes. *Sports (Basel)*, 8 (12): 2020.

- 19) Hagiwara M, Yamagishi T, Okamoto S, Azuma Y, Yamashita D. Short-term repeated sprint training in hypoxia improves explosive power production capacity and repeated sprint ability in Japanese international-level male fencers: A case study. *Physiol Rep*, 11 (6): e15637, 2023.
- 20) Impellizzeri FM, Rampinini E, Marcora SM. Physiological assessment of aerobic training in soccer. *J Sports Sci*, 23 (6): 583–592, 2005.
- 21) Ishida Y, Yamagishi T, Mujika I, Nakamura M, Suzuki E, Yamashita D. Training cessation and subsequent retraining of a world-class female Olympic sailor after Tokyo 2020: A case study. *Physiol Rep*, 11 (3): e15593, 2023.
- 22) Issurin V. Block periodization versus traditional training theory: A review. *J Sports Med Phys Fitness*, 48 (1): 65–75, 2008.
- 23) Issurin VB. Biological background of block periodized endurance training: A review. *Sports Med*, 49 (1): 31–39, 2019.
- 24) Jeffries AC, Marcora SM, Coutts AJ, Wallace L, McCall A, Impellizzeri FM. Development of a revised conceptual framework of physical training for use in research and practice. *Sports Med*, 52 (4): 709–724, 2022.
- 25) Kataoka R, Vassenina E, Loenneke J, Buckner SL. Periodization: Variation in the definition and discrepancies in study design. *Sports Med*, 51 (4): 625–651, 2021.
- 26) Le Meur Y, Hausswirth C, Natta F, Couturier A, Bignet F, Vidal PP. A multidisciplinary approach to overreaching detection in endurance trained athletes. *J Appl Physiol* (1985), 114 (3): 411–420, 2013.
- 27) Margaritis I, Palazzetti S, Rousseau AS, Richard MJ, Favier A. Antioxidant supplementation and tapering exercise improve exercise-induced antioxidant response. *J Am Coll Nutr*, 22 (2): 147–156, 2003.
- 28) McCall A, Pruna R, Van der Horst N, Dupont G, Buchheit M, Coutts AJ, Impellizzeri FM, Fanchini M, Azzalin A, Beck A, Belli A, Buchheit M, Dupont G, Fanchini M, Ferrari-Bravo D, Forsythe S, Iaia M, Kugel Y-B, Martin I, Melotto S, Milsom J, Norman D, Pons E, Rapetti S, Requena B, Sassi R, Schlumberger A, Strudwick T, Tibaudi A, on behalf of the EFP-Group. 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 (9): 1667–1681, 2020.
- 29) McCall A, Wolfberg A, Ivarsson A, Dupont G, Larocque A, Bilsborough J. A qualitative study of 11 world-class team-sport athletes' experiences answering subjective questionnaires: A key ingredient for 'visible' health and performance monitoring? *Sports Med*, 53 (5): 1085–1100, 2023.
- 30) McConnell GK, Costill DL, Widrick JJ, Hickey MS, Tanaka H, Gastin PB. Reduced training volume and intensity maintain aerobic capacity but not performance in distance runners. *Int J Sports Med*, 14 (1): 33–37, 1993.
- 31) McHugh MP, Hickok M, Cohen JA, Virgile A, Connolly DA. Is there a biomechanically efficient vertical ground reaction force profile for countermovement jumps? *Transl Sports Med*, 4 (1): 138–146, 2021.
- 32) McLean BD, Coutts AJ, Kelly V, McGuigan MR, Cormack SJ. Neuromuscular, endocrine, and perceptual fatigue responses during different length between-match microcycles in professional rugby league players. *Int J Sports Physiol Perform*, 5 (3): 367–383, 2010.
- 33) McMahon JJ, Suchomel TJ, Lake JP, Comfort P. Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength Cond J*, 1, 2018.
- 34) Montull L, Slapšinskaitė-Dackevičienė A, Kiely J,

- Hristovski R, Balagué N. Integrative proposals of sports monitoring: Subjective outperforms objective monitoring. *Sports Med Open*, 8(1): 41, 2022.
- 35) Mujika I, Busso T, Lacoste L, Barale F, Geyssant A, Chatard JC. Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 28(2): 251–258, 1996.
- 36) Mujika I, Padilla S, Pyne D, Busso T. Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *Sports Med*, 34(13): 891–927, 2004.
- 37) Mujika I, Villanueva L, Welvaert M, Pyne DB. Swimming fast when it counts: A 7-year analysis of Olympic and world championships performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 14(8): 1132–1139, 2019.
- 38) Nagata A, Doma K, Yamashita D, Hasegawa H, Mori S. The effect of augmented feedback type and frequency on velocity-based training-induced adaptation and retention. *J Strength Cond Res*, 34(11): 3110–3117, 2020.
- 39) O'Brien J, Finch CF, Pruna R, McCall A. A new model for injury prevention in team sports: The team-sport injury prevention (TIP) cycle. *Sci Med Footb*, 3(1): 77–80, 2019.
- 40) 緒方博紀, 飯塚太郎, 安藤良介, 山下大地, 尾崎宏樹. ジャンプパフォーマンスを指標としたテーパリング及びピーキングの有用性の検討—バドミントン世界選手権での実践例—. *Journal of High Performance Sport*, 11: 38–51, 2023.
- 41) Périard JD, Racinais S, Sawka MN. Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. *Scand J Med Sci Sports*, 25(Suppl 1): 20–38, 2015.
- 42) Pyne DB, Mujika I, Reilly T. Peaking for optimal performance: Research limitations and future directions. *J Sports Sci*, 27(3): 195–202, 2009.
- 43) Sekiguchi Y, Benjamin CL, Dion SO, Manning CN, Struder JF, Dierickx EE, Morrissey MC, Filep EM, Casa DJ. Changes in hydration factors over the course of heat acclimation in endurance athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 31(5): 406–411, 2021.
- 44) Shinchi K, Yamashita D, Yamagishi T, Aoki K, Miyamoto N. Relationship between jump height and lower limb joint kinetics and kinematics during countermovement jump in elite male athletes. *Sports Biomech*, 1–12, 2024.
- 45) Solli GS, Tønnessen E, Sandbakk Ø. Block vs. Traditional periodization of HIT: Two different paths to success for the world's best cross-country skier. *Front Physiol*, 10: 375, 2019.
- 46) Tønnessen E, Sylta Ø, Haugen TA, Hem E, Svendsen IS, Seiler S. The road to gold: Training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. *PLoS One*, 9(7): e101796, 2014.

Appendix

Training Load Management for Performance Optimization

Frederick J. Henderson¹⁾, Hana Tsubokura¹⁾, Daichi Yamashita¹⁾, Yasuki Sekiguchi²⁾,
Kohei Tamagawa³⁾, Martin Buchheit^{4), 5), 6)}, Alan McCall⁷⁾, Franco M. Impellizzeri⁸⁾,
Takaki Yamagishi¹⁾, Iñigo Mujika^{9), 10)}

Keywords : recovery, monitoring, peaking, technology, injury prevention

I . Introduction

On March 4th, 2024, the “High Performance Sport Conference: Special Seminar–Training Load Management for Performance Optimization” was held at the National Training Center, an event organized by the Japan High Performance Sports Center (JHPSC) to introduce the latest information on various topics to Japanese coaches and the international sports community more broadly, in the lead-up to the Paris 2024 Olympic and Paralympic Games later that year. With a focus on helping athletes perform their best on the grandest stage in sports, we conferred both online (including additional presentations held from March 11th to 31st) and in person on topics including: understanding training load, injury risk, the use of technology to monitor training adaptations, planification when qualifying events happen soon before the main competition, conditioning to perform in the summer heat, as well as recovery and understanding the implication of traveling to international competitions. Below are brief summaries of each presentation that we hope will help readers tackle similar challenges in their future sports endeavors.

II . General Introduction/Measurement and Assessment in the Training Gym for High-Performance Athletes (Daichi Yamashita)

Established in 2013 at the Japan Institute of Sports Sciences, the High-Performance Gym (HPG) is a central hub integrating assessment, training, rehabilitation, and research to bridge the gap between research and practice in high-performance sports. Three types of assessments are implemented—postural, metabolic, and neuromuscular—each with clear objectives aligned with specific performance goals (e.g., preparing athletes for competitions over Olympic and Paralympic cycles) (Figure 1). Regular assessments help ensure athletes’ progression, regardless of injuries or unforeseen events. However, assessment can be resource-intensive and induce undesirable fatigue, so benefits must be weighed against potential drawbacks (e.g., assessment duration or need for dedicated sessions).

“Invisible monitoring”, where data are collected during regular training (e.g., using wearable devices), has thus become a valuable approach. For example, collecting and immediately displaying training data enables immediate feedback which can enhance performance gains³⁸⁾. However, this approach must be

¹⁾ Japan Institute of Sports Sciences, ²⁾ Texas Tech University, ³⁾ Performance Space, ⁴⁾ Type 3.2 Performance, ⁵⁾ HIIT Science,

⁶⁾ Aspetar, ⁷⁾ Arsenal Football Club, ⁸⁾ University of Technology Sydney, ⁹⁾ University of the Basque Country, ¹⁰⁾ Universidad Finis Terrae

implemented thoughtfully to avoid data overload and privacy issues.

To tackle such challenges, the HPG developed various tools. For example, detailed biomechanical data of athletes performing countermovement jumps (CMJs) wearing LED markers can be computed within five minutes using AI technology integrating biomechanical tracking with computer vision techniques⁴⁴⁾. CMJ can also be performed on portable force plates to provide instant feedback to athletes while collecting comprehensive data. Rigorous data collection thus serves both objectives: supporting training and gathering data for research.

The HPG published several studies in this way. Data from a world-class athlete revealed a reduction in leg power but minimal changes in endurance capacities after a 4-week training cessation following the Olympics²¹⁾. An investigation into tapering strategies for World Championships found that peak performance occurred in the final training session before competition⁴⁰⁾. Through “invisible” testing, staff could monitor hypoxic training for improvements in sprint performance until the Olympics without formal assessments¹⁹⁾.

In summary, embedding regular evaluations into

long-term athletic planning can be successful. The HPG’s experience illustrates that a flexible approach to assessments can help practitioners develop evidence-informed practices while advancing high-performance sports research.

III. Maximizing Exercise Performance in the Heat by Optimizing Training and Recovery (Yasuki Sekiguchi)

Heat can considerably diminish athletic performance and increase the risk of injury. With many international sporting events scheduled in the summer or at high temperatures, preparing athletes to perform in hot environments is key to optimizing performance.

The physiological response to heat is complex, driven by thermoregulation mechanisms (e.g., dehydration from sweat evaporation)¹³⁾. Despite thermoregulation, prolonged exercise raises the core body temperature, which may increase heart rate for the same effort and reduce time to exhaustion¹⁷⁾. Importantly, environmental heat does not directly cause heat stress: higher environmental heat reduces heat dissipation which increases core body temperature. Elevated core body temperature is the actual cause of heat-related symptoms but also adaptations.

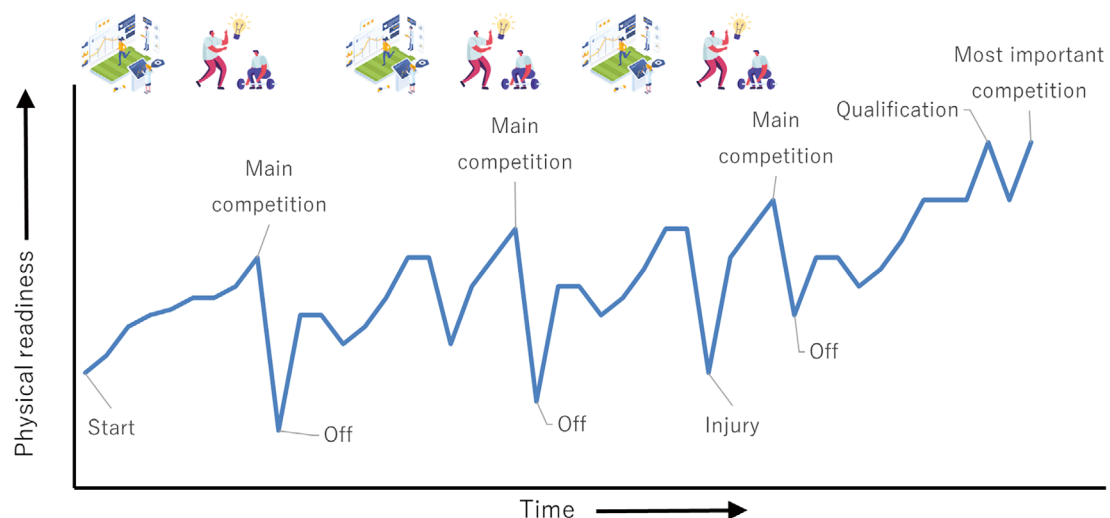


Figure 1. Conceptual timeline diagram of physical readiness, assessments, and training to achieve a long-term performance goal.

Adaptation to heat is the most effective heat mitigation strategy along with high aerobic fitness¹⁾. Adaptations vary with the frequency and intensity of exposure to heat but can be completed within 14 days, with 70–80% of adaptations occurring within 4–7 days⁴¹⁾. Adaptations include increased plasma volume, reduced HR during effort, increased exercise capacity, increased thermal comfort and reduced perceived exertion, reduced skin temperature, reduced core temperature, increased sweating rate, reduced sweat electrolyte concentration. Of note, thirst may not match the increase in sweat so any hydration plan should be adjusted accordingly⁴³⁾.

Heat adaptations vary between individuals but usually require raising core body temperature up to 38.5–39.9°C, for 60–90 min, once to twice a week, for 5–14 days. Modalities include sport training in hot weather, long duration endurance training, or passive modalities like sauna. The key point is to raise core body temperature sufficiently. Maintaining heat adaptations is akin to training: heat adaptations decay if not stimulated¹⁴⁾, and should thus be considered in the training program. The stronger the stress, the bigger and faster the response.

Benefits of heat adaptation are not limited to sport performance in the heat, and transfer to any environment. Therefore, heat adaptation can be used as a relatively easy-to-implement, regular training tool to improve physical performance in any environment.

IV. Practical Use of Force Plates in Basketball Strength Training, In-season Monitoring, and ACL Post-Op Rehabilitation (Kohei Tamagawa)

Portable force plates offer practitioners new insight into athletic performance. With CMJ, recording vertical ground reaction force (F_v) over time provides tens of variables derived from the equation $F = ma$ (F : force, m : body mass, a : acceleration). If selecting an appropriate analysis software is thus important, having

a reliable process to implement force plate testing is probably paramount.

Practitioners can improve data reliability by standardizing measurements. However, while rigorous protocols are commonplace in a laboratory, standardized testing is more challenging in the field. Practitioners may find greater success in using a checklist of key steps to ensure sufficient data reliability. Such a checklist could include questions such as “are the data consistent?” or “were data collected after warm-up?”. Consistent cueing also ensures data quality; e.g., “jump as high and fast as possible” or “no movement before initiating jumping”.

After data collection comes analyzing the vast amount of data gathered. To facilitate interpretation, practitioners can classify variables into performance (CMJ height, peak power, etc.) and strategy (time to takeoff, CMJ depth, etc.) categories (Figure 2). Practitioners should be careful when using indices like modified reactive strength index (mRSI) because, as a ratio of two variables, several combinations can produce the same score, potentially leading to misinterpretations²⁾. This can be avoided by combining performance and strategy variables to describe and explain observed variations.

Force plate data can indeed support decision making about training. During anterior cruciate ligament (ACL) injury rehabilitation, for example, athletes often display asymmetries in eccentric force production during braking phases of jumping²⁾. Looking at the F_v -time curve, each phase can be investigated separately to explore deficits invisible when looking only at jump height^{18), 31), 33)}. Practitioners can then establish the best training to implement for a particular athlete.

Ultimately, practitioners should weave information from force plates into a story to tell athletes and coaches, facilitating communication and buy-in from athletes to ensure their success.

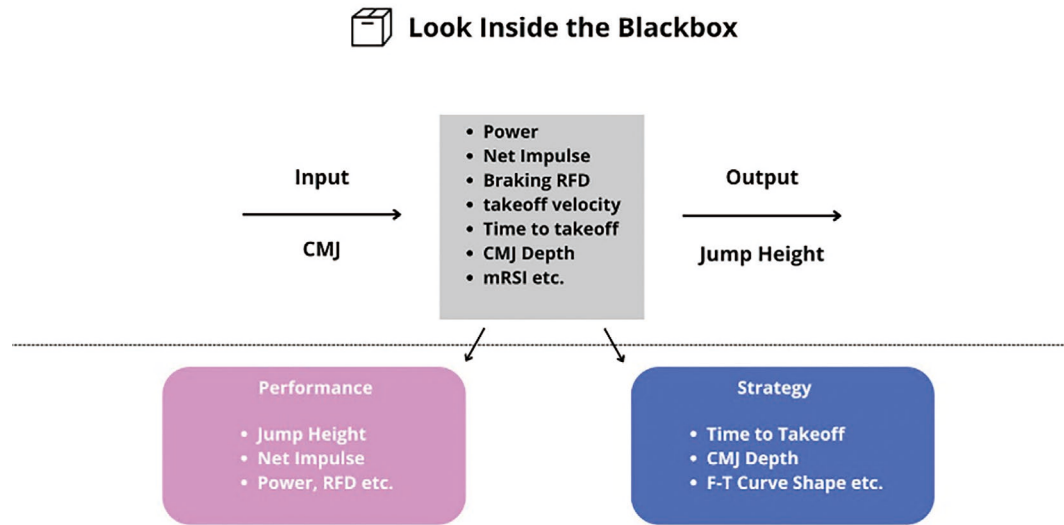


Figure 2. Classifying variables into categories to improve data interpretation. CMJ: countermovement jump, RFD: rate of force development, mRSI: modified reactive strength index.

V. Double Peaking toward Paris 2024 (Iñigo Mujika)

Peaking is a temporary state allowing the best performance that an athlete can achieve³⁾. This state is commonly achieved through periodization, i.e., the organization of different training phases over time to achieve the highest level of speed, strength, and endurance³⁾.

Although most periodization studies have been short (<18 weeks)²⁵⁾, many athletes periodize their training⁴⁶⁾. In individual sports, periodization usually includes a period of tapering to attain optimal fitness and peak performance³⁵⁾. Athletes are usually near peak fitness at the onset of tapering, so peak performance likely results from dissipating accumulated fatigue. Tapering seems most efficient when training volume is reduced (40–60%) but training intensity and frequency are maintained for around 2 weeks⁴⁾. Tapering improves performance by 3% on average (range: 0.5–6.0%), enough to impact competition placing.

Several aspects influence tapering implementation. Due to inter-individual variability, understanding individual training and recovery responses is key. Maintaining energy balance during training load reduction can influence body composition^{27), 30), 36)}, so reaching

competition weight before tapering and maintaining it until the competition is recommended. Lastly, environmental factors should be considered (e.g., jet lag, altitude or heat)⁴²⁾. Similarly, integrating recovery strategies into periodization and tapering is recommended.

Repeating peaks (e.g., for qualifiers and main competition) is termed double-peaking. While successful double-peaking has been reported over different time frames³⁷⁾, achieving a higher second peak may be a greater challenge. In swimming, while time between season best and major event shows little influence on performance progression, only medal winners, finalists, and swimmers from the USA have demonstrated consistent progression between peaks. Stroke, distance, sex, and age had only trivial influence on performance progression.

For long competitive periods, (e.g., team sports) a possible approach is to first achieve a high fitness level, then maintain fitness, and punctually peak for the most important events. This can be achieved through block periodization, where repeating blocks of short training cycles builds up toward the most important competition^{22), 23)}. However, all approaches (block, traditional, mixed) have met success⁴⁵⁾. Overall, the above recommendations generally hold true regardless

of athletes or sports.

VI. From Data to Performance: Utilizing Technology to Monitor Training Adaptation in Elite Soccer (Martin Buchheit)

While advancement in wearable technologies has increased available information about athletes, practitioners still need to make sense of it. Thus, having a framework to implement technologies is crucial. In this framework, distinguishing the load from the response to load is essential because a same load can lead to different responses in different athletes. Practically, practitioners first plan the desired load based on their goal. Second, practitioners should confirm whether the achieved load matches the planned load. Third, the response to the load should be quantified to ensure the expected outcome occurred. Also, because all adaptations do not rely on the same mechanism, measurements can be classified by their nature (e.g., metabolic or neuromuscular).

Load can be qualified as external (load characteristics) or internal (how the body reacts) and quantified with tools like HR monitors, rating of perceived exertion (RPE) scales, or Global Positioning System (GPS). Then, practitioners can quantify the response to load by comparing internal loads over time when external load is standardized. For metabolic monitoring, HR, blood lactate, or RPE scales during a standardized effort can be used (e.g., 12-minute submaximal run during warmup)^{5), 9), 10)}. For neuromuscular monitoring, muscle soreness is a basic yet robust indicator. A more specific measure can be provided by biomarkers (e.g., creatine kinase). Finally, collecting 2 or more measures is recommended. For example, a lower HR for the same effort can show a higher fitness level but also functional overreaching (overtraining)²⁶⁾. Results from a wellness questionnaire can easily identify either case³²⁾.

Technologies are constantly emerging. Force plates, transducers, accelerometers are already popular to

track neuromuscular load⁷⁾. Outdoors, GPS or shoe accelerometers can help monitor load^{6), 8), 16)}. With such technology, practitioners can measure the regular training of athletes without needing dedicated testing sessions. Other promising technologies are in development (e.g., EMG shorts, mood recognition, or AI and modeling technologies). Lastly, whatever the technology, the key remains the consistent, standardized collection of data for decision-making. Beware of needless testing and excessive requests to athletes to record data to not erode trust from players and staff and jeopardize their collaboration.

VII. The Injury Prevention Puzzle (Alan McCall)

Due to the sheer complexity and dynamic nature of injuries and their context, many injuries are unlikely to be prevented. For example, an elite professional player is completing rehabilitation as a crucial game approaches. He/she is not ready to play, plays anyways, and reinjures. Ideally, one wants to prevent injury from occurring, but the only option is often to manage the risk of injury while informing all stakeholders of the risk involved before a decision is made.

Many frameworks for injury prevention are available, but all include similar elements: evaluate the situation, identify causes, intervene accordingly³⁹⁾.

“Evaluate” includes identifying the most common type of injury, the associated incidence, and the resulting burden (e.g., days unavailable). Exploring scientific literature for information is recommended but so is understanding the situation in one’s group of athletes as it evolves in response to implemented interventions.

“Identify” designates the search for the cause of injuries¹¹⁾. Many factors interact in the lead-up to injuries, but potential causes can be grouped to simplify analysis. Then, understanding relationships between groups can help identify high-risk situations and avoid them. Visualizing information (e.g., as a puzzle of factors) can also help identify missing information. Because injuries are dynamic, using systems such as “red

flags” is advised: did a risk factor appear (red flag) or disappear (green flag) since the last evaluation.

“Intervene” can take several forms. However, research points to weekly load management and exercise-based strategies²⁸⁾. Other tools include recovery strategies, considerations for previous injuries, communication with players, and the ability for staff and players to work together. Often overlooked, human interactions remain key (e.g., to secure the buy-in of stakeholders).

Although technologies can accurately quantify isolated factors, subjective measures integrate all factors³⁴⁾. And while tools like RPE or Borg scales are available¹⁵⁾, scientific investigations revealed that trust is crucial to collect reliable subjective data¹²⁾. Athletes answer most accurately to individuals they sufficiently trust. Sources of inaccuracy include lack of education, feedback, trust, or transparency, miscommunication, insufficient relationship building. Coaching with empathy is thus likely to help in collecting robust data²⁹⁾. If subjective data are unreliable, the fault most likely lies with the interviewer rather than the interviewee.

VIII. Understanding Training Load: From Theory to Practice (Franco M. Impellizzeri)

Practitioners manipulate training load (TL) by exposing athletes to various stimuli, inducing training adaptations to enhance performance. Unfortunately, the relationship between training exposure and outcomes is complex, with several factors mediating or confounding the effects of training (modifiers)²⁰⁾. Coaches typically modify the external TL (ETL) to induce an internal TL (ITL), thus triggering biological adaptations. These adaptations target physical characteristics assumed to determine performance. Environmental (e.g., heat) and contextual factors (e.g., nutrition) can also affect ETL, ITL, and resulting adaptations. For example, the health status affects the training responses, so adaptations may stem from changes in health status rather than training. Therefore,

quantifying TL requires systematic monitoring of relevant mediators.

Monitoring TL involves various steps²⁴⁾. What to monitor depends on the training plan, designed around characteristics to train. Following a process control approach, practitioners implement exercises, inducing biological stimuli (mediators of the adaptive response), and confirm that the TL yielded the expected effects. Subsequently, the plan is adjusted accordingly. Time is another important factor to assess training adaptations, owing to both acute and chronic training effects. Indeed, acute negative effects can mask positive chronic effects. Therefore, it is crucial to minimize negative acute effects in tested athletes, e. g., testing after a recovery period. Analyzing trends in data over time (e.g., jump height, strength, perception, etc.) can help assess chronic effects. Finally, monitoring contextual factors can reveal inter-individual differences in the training response. Ideally, at least one measure should be recorded for ETL, ITL, training effects, contextual factors, and performance (or a valid surrogate).

What to measure also depends on the targeted mechanisms. Identifying the needed measures is akin to the following example: a soccer coach assumes that small-sided games (SSGs) improve game performance through enhanced sprinting. The rationale is that SSGs can stimulate the neuromuscular system, which mediates the effect of SSGs on sprinting. Indeed, SSGs impose repeated sprinting, which stresses the neuromuscular system. Although this stress is hardly measurable directly on the field, repeated high-speed running can be quantified using GPS technology. Time spent running at high speed, e.g., above 25 km/h, during SSGs can then be monitored, assuming that this measure relates to neuromuscular stimulation; the more time spent at high speed, the greater the neuromuscular stimulus. The key element is to have a robust rationale, particularly if experimental evidence is lacking. We therefore need a rationale or evidence

supporting that high-speed running is sufficiently associated with neuromuscular activity to induce adaptations.

Managing TL involves defining what to train, creating a plan, identifying key features to monitor, establishing measures of tolerance to training, developing systems to adjust the plan, and checking the responses to training. The process should be backed by robust evidence or, at the very least, a solid rationale. Sound reasoning (i.e., the human factor) is crucial because relevant measures of TL are selected by coaches.

IX. Summary

Owing to its sheer complexity, managing TL is a challenge for even the most seasoned practitioners. The outstanding speakers involved in this conference offered invaluable insight into the science and practical application of key questions about TL. A general conclusion could be that TL is more about the training

effect than training itself, thus imposing to account for factors such as recovery, environment (heat), travel, individual response to load. Technology can be incredibly helpful, if implemented sensibly. Simply implementing a technology because it is available is absurd, as technology implementation must answer a specific question resulting from a careful analysis of the biological mechanisms at play, the available scientific literature or, alternatively, a solid rationale when evidence is lacking. Also, because they reflect the sum of all training effects, do not disregard subjective markers of performance; technology is usually appropriate for specific objective measures but often fails to capture the general outcome of training. Finally, a lot can be achieved without technology and one could argue that without proper procedures and management processes in place, implementing technology might provide more confusion than clarity.