©NSCA JAPAN
Volume 26, Number 8, pages 60-69

Key Words【冷水浴(冷水浸漬):cold-water immersion、温冷交代浴:contrast baths、パフォーマンス:performance】

チームスポーツのための水中浸漬による回復方法の現場への応用

Practical Applications of Water Immersion Recovery Modalities for Team Sports

Francisco Tavares, [1,2] M.Sc. **Owen Walker,** [3] M.Sc. **Phil Healey,** [1] B.Sc.
Tiaki Brett Smith, [2,4] Ph.D. **Matthew Driller,** [2] Ph.D.

[1]Glasgow Warriors, Glasgow, United Kingdom
[2]Faculty of Health, Sport and Human Performance, University of Waikato, Hamilton, New Zealand
[3]Science for Sport, Dartmouth, United Kingdom
[4]Chiefs Rugby Club, Hamilton, New Zealand

要約

冷却療法は、回復を促進する方法として、アスリートの間で他の基本的な回復手段とともに広く用いられている。冷却療法については有益な効果が科学的文献で報告されているが、近年の研究では、いくつかの潜在的な悪影響や、同様のプロトコルに対する反応の個人差も明らかになっている。そこで本稿では、冷却療法への反応に影響を及ぼしうる各種プロトコルの特性と個人的要因に関する現在の知見をレビューし、その上で、シーズンの各段階、週間スケジュールの密度、およびアスリートの目標といった外的要因に基づく実践的な提言を行なう。

序論

トレーニング刺激は、身体のホメオスタシスを乱し(10,29)、一般的には異化反応を引き起こすことから、生体への負荷とみなすことができる。加えて、様々なトレーニング刺激はパフォーマンスを一時的に低下させることが、スポーツ科学の文献において広く報告されている(10,13)。そのため、トレーニング刺激の適用は構造的に実施され、アスリートが次のセッションやトレーニング段階までに回復し、ひいては生理学的適応とパフォーマンスの向上が得られるように配慮される(18)。

またトレーニング刺激への反応は、個人間で異なるだけでなく、同じ個人でもトレーニングの段階によって異なる可能性があることを理解しなくてはならない(60)。例えば、パラリンピック出場選手における不安と気力の尺度レベルは、シーズンの各段階で異なっていたことが明らかになっている(60)。加えて、アロスタシス(例:日常の出来事に反応して生じる生体の諸過程)が様々な心理生物学的反応をもたらし(49)、それが一因となって、運動に対する生理学的システムの反応と適応に違いが生じる(8)。したがって、短期的な反応と長期的な適応は、いずれも一連の複雑な生物学的過程に左右され(29)、またそれらの過程は、トレーニング関連の要素(トレーニング状態など)、身体的要素(遺伝や民族性など)、および心理学的要素(心理社会的ストレスなど)といった多様な要因の影響を受けることがよく知られている。本レビューでは、トレーニングへの反応と適応にかかわる生物学的過程、およびそれらの過程に影響を及ぼす要因を詳細に論じることはしないが、冷却療法が特定のトレーニング段階において回復の促進に果たす可能性のある役割について、その裏付けとなる論理的根拠を示す。

トレーニング刺激が与えられると、内的な平衡状態が乱れると予想される(**図1**)。その間には、急性疲労が生じてパフォーマンスが抑制される(10,13)。しかし、生体がホメオスタシスの乱れに抵抗し、平衡状態を取り戻そうとするため、このパフォーマンスの低下は一時的なものに終わる。エクササイズの観点からは、この抵抗段階を一般的に「回復」と呼ぶ。Bishopら(10)は、この回復期間を3つのカテゴリ(即時的回復、短期的回復、および長期的回復)に分類している。本レビューの性質上、回復とは、1回のトレーニング刺激の終了から次の刺激の開始までに生じる生理学的現象であると定義される(10,71)。パフォーマンスが元に戻るまでの期間の長さは、トレーニング刺激の作用と回復の特性(例:トレーニングストレスの作用を軽減するための方策)に影響される。加えて、先に述べたとおり、トレーニングと回復における反応は、アスリートが受けるアロスタティック負荷(アロスタシスによって身体に蓄積するコスト)にも影響される(8)。アロスタティック負荷が過剰になると、防御機構としての生化学的反応が不十分になり、それがトレーニングに対する反応と適応を制限する可能性のあることが先行研究において詳しく説明されている(49)。そして、これらの心理生物学的反応における適応は個人によって異なる。例えば、アスリートはトレーニング未経験者に比べて心理社会的ストレスへの耐性が高いことが明らかになっている(58)。最終的に、トレーニング刺激がもたらすパフォーマンスの変化は、これら生物学的過程の組み合わせ(例:生理学的反応と心理生物学的反応)に左右され、その組み合わせが適応を促すものであった場合には、パフォーマンスが向上すると推測される。そして、このサイクルが適切な回復を伴って繰り返されると、やがてそのトレーニング刺激に関連する身体の体力要素がベースラインから向上し、結果としてプラスの適応をもたらす(10)(**図2B**)。

次のトレーニング刺激を適用するタイミングは、コーチが注意深く計画して、次のセッションやトレーニング段階までの間にアスリートが回復するよう配慮しなくてはならない(**図2B**)(10,36)。トレーニングセッション間の回復時間が短すぎると、トレーニング適応に影響が及び(例えば回復不足によるパフォーマンスの低下など:**図2C**を参照)、オーバーリーチング、オーバートレーニング、および疾患と傷害のリスクが高まる(10,36,39)。しかし、生理学的な観点からは、頻繁にトレーニング刺激を与えないと、強化したい身体のシステム(系)に適応をもたらすことができない(**図2A**)。以上のこと

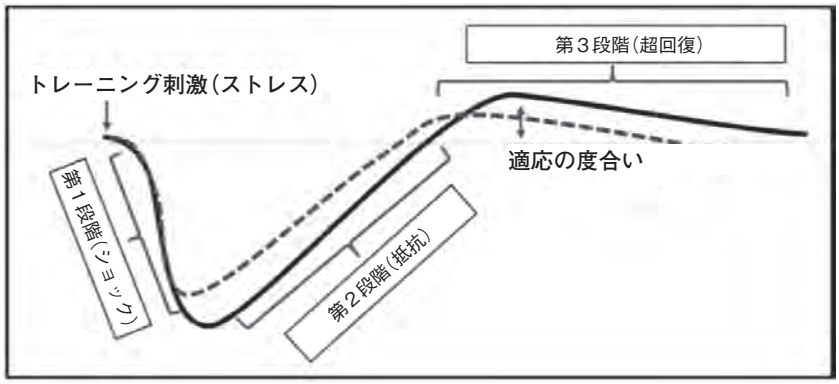

図1　トレーニングに対する反応の模式図

破線は、冷却療法の使用に伴う回復の向上(9,40)、および起こりうる筋の適応の抑制効果を示す(59,81)。

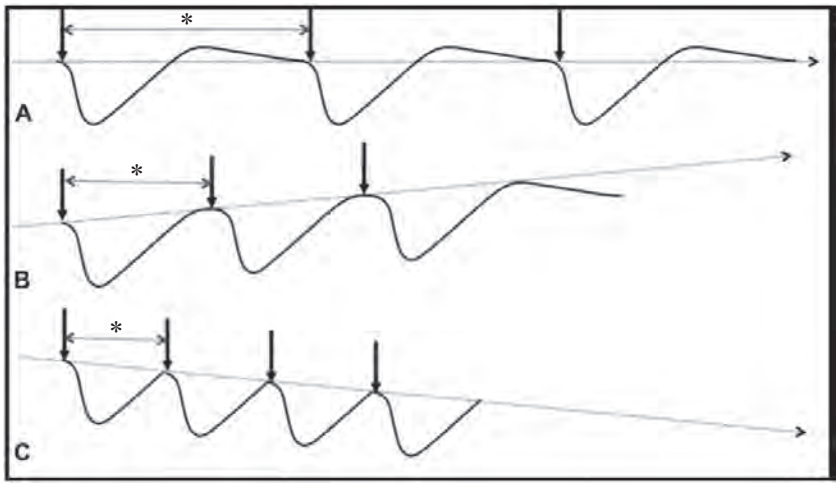

図2　トレーニング刺激の適用に3通りの間隔(＊)を設けた場合のトレーニング能力／トレーニングへの準備状態(縦軸)の仮説モデル

(A)間隔が長すぎて適応が生じない(トレーニング不足)、(B)間隔が適切であり適応が生じる、(C)間隔が短すぎてトレーニング能力が低下、蓄積疲労が増加する(オーバーリーチング)(10,39,57)。

から、トレーニング適応は、トレーニング刺激、アロスタティック負荷、および回復の特性という3者のバランスに大きく左右される(57)。そのため、回復は運動と適応のサイクルに必須の要素であることがよく知られている(10)。

高度にトレーニングを積んでいるチームスポーツ選手は多くの場合、1日に2回以上、また2日以上連続してトレーニングを実施する(5,68,69)。このように過密な週間スケジュールでは、トレーニングセッション間の回復時間が制限される。そのため、疲労レベル(例:筋損傷、遅発性筋痛[DOMS]、およびパフォーマンス)が次のトレーニングセッションまでにベースラインに戻らない場合がある(20,46,69,73)。これによって、その週またはトレーニング段階に過度の蓄積疲労が生じる可能性があり(20)、最終的には、試合におけるパフォーマンスの伸び悩みや、望ましくない疲労状態に繋がるおそれがある(**図2C**)(18,21)。チームスポーツを対象とした先行研究でも、トレーニング週における蓄積疲労のレベルが高いことが明らかになっている(例:バレーボール[20]、バスケットボール[46]、およびサッカー[73])。速やかに回復させる手段として、スポーツ科学者やコーチは多くの場合、何らかの回復方策を実施している(**図1**)(7,71)。そして、冷水浴(Cold-Water Immersion:CWI)および温冷交代浴(Contrast Water Therapy:CWT)などの冷却療法は、チームスポーツ選手の間で最も一般的に使用されている短期的な回復方策のひとつである(68,80)。このような理由から、複数の介入研究(20,56)およびレビュー(44,64,76)が冷却療法を用いた回復の効果について取り上げている。

冷却療法と生理学

冷却療法のうち、チームスポーツ選手の間で回復促進の手段として最も一般的に用いられているのは、CWIとCWTである(71,80)。その他、冷却に曝露する方法で人気が高いのは全身冷却療法(Whole-Body Cryotherapy:WBC)である(6,17)。WBCは、極端な低温(−110〜−140°C)の空気に短時間(2〜4分間)曝露する方法である(6,17)。しかしWBCは、やや侵襲的な性質であるのに加え、非常にコストがかかることから、チームやアスリートに日常的に用いられてはいない。それに比べて、水浴療法(CWIとCWT)は低コストで済み、チームスポーツにより広く用いることが可能である(68,71,80)。したがって、この実践的レビューにおいては、水中浸漬を用いた回復方法に焦点を当てる。**表1**に、チームスポーツにおいて実施される標準的なCWIおよびCWTプロトコルの特性を示した。詳細については後述する。

冷却への曝露によって回復が促進される生化学的および生理学的メカニズムについては、先行研究で詳細にレビューされている(11,64,78)。簡単に説明すると、冷却曝露は皮膚、深部、および筋の温度を低下させる(78)。温度の低下は血管収縮をもたらし、血管収縮は筋損傷による腫脹と急性炎症を軽減する(16,32,40,79)。さらには、組織温度が低下することで、神経伝導性が低下し、筋の痙攣と疼痛が軽減すると推測される(16,32,79)。加えて、水中浸漬を用いた冷却療法は、静水圧による血流の変化をもたらすが、一部の研究はこれについて、代謝産物の除去を促す有益な効果を示唆している(11)。しかし、Ihsanら(33)のレビューが指摘するように、代謝産物の除去に関する作用はこれまでの研究で観察されていない。したがって、代謝産物の除去以外のメカニズムが、冷却曝露に伴う回復促進をもたらしている可能性がある。なおCWTでは、冷水浴と温水浴を交互に実施する。温水は血管拡張を促し、血流を増加させて、酸素と抗体の供給、代謝産物の除去、および筋の痙攣と疼痛の軽減を促進する(16,32,79)。冷水浴と温水浴の交互実施(CWT)は、血管の収縮と拡張の両方をもたらすことで、血流を変化させ、腫脹、炎症、および筋痙攣を軽減する可能性がある(16,32,79)。

冷却曝露は神経生理学的メカニズムに変化をもたらすと考えられることから、様々な冷水療法のプロトコルに用いられる実施方法の種類(9)、温度(44,76)、実施時間(26)、および浸水の深さ(19,74)の違いが、得られる反応に重大な影響を及ぼし(深部体温の低下など[78])、ひいては回復プロセス全体を左右すると推測される。これら水中浸漬プロトコルの諸特性については、のちほど取り上げる。

短期的作用と長期的作用

ストレングス&コンディショニングコーチが、ある回復方法の作用について探求する場合、短期と長期の両方の

表1　標準的なCWIとCWTプロトコルの特性(9,40,71)

週	温度	セット数	合計時間	浸水の深さ
冷水浴	8〜15℃	1〜3	5〜15分間	全身または下半身のみ
温冷交代浴	冷水:8〜15℃ 温水:33.5〜45℃	温冷交代で3〜6	9〜15分間 (冷水を1分間、温水を1〜3分間)	

作用について調査することが推奨される(71)。短期的作用とは、短時間のうちに生じる変化のことであり、疲労性の課題(試合やトレーニングセッションなど)を実施後、疲労の度合いを複数のタイミングで測定する(24,77)。研究では通常、以下に示す測定時点のひとつかそれ以上が用いられる。(a)同一トレーニング日のセッションの間(最大6～8時間後)(4,56)、(b)ある日の遅いセッションと翌日の早いセッションの間(12～18時間後)(24,77)、(c)回復日を挟んだ2セッションの間(約36時間後)(42,77)(**図3**)。

短時間での様々な指標の変化をモニタリングすることで、特定の回復方法を実施する根拠は得られるが、一方で、長期的な作用も見過ごしてはならない(71)。長時間(例:数週間)における変化を追跡することで、特定の回復方法がもたらす長期的作用に関する重要な情報が得られる(27,68)。

冷水療法の短期的作用

冷却療法(CWIおよびCWT)は、回復の促進に関連づけられ、筋損傷マーカー(25,77)、ならびに知覚される疲労度、健康状態、および筋痛の低下(56,77)として観察されている。特に興味深いのはDOMSの反応であり、筋痛の増大は、骨格筋の構造的な損傷と、それに伴う筋フィラメントの配列の乱れに関連づけられ、さらにはそれが神経筋機能の不全に関連づけられる(15,45)。したがって、冷却療法は運動後の筋機能の回復を促進すると考えられている(24,56,77)。しかし一方で、冷却療法によって神経の作用と酵素活性が低下することにより、神経筋パフォーマンスが一時的に低下(疲労性の運動の直後など)することが先行研究において報告されている(24)。最終的に、筋機能の増大(力学的な出力など)、および知覚される筋痛と健康状態の改善は、競技パフォーマンスにとって何より重要なものである。しかし、冷却療法が回復にもたらす短期的作用についての研究結果は明確ではない。冷却療法の有益な効果を明らかにした研究がある一方で(24,25,56,77)、効果を認めなかった研究もある(30,42)。広く観察される反応の個人差を説明する要素として、様々な変数(性別、身体組成など)が考えられている(64)。

冷水療法の長期的作用

冷却療法が回復にもたらす短期的な効果を大半の研究が裏付けている一方で、冷却療法を長期的に継続使用すると、トレーニングの適応に悪影響を及ぼす可能性を示唆する研究もある(59,81)。運動が引き起こす急性疲労と関連する代謝産物は、同化シグナル伝達に重要な役割を果たす(61)。しかし、例えばRobertsら(59)は、CWIを約10℃で10分間実施すると、哺乳類ラパマイシン標的タンパク質(mTOR)経路とサテライト細胞の活性が低下することを観察している。したがって、冷却療法を回復方策に用いてセッション間の回復期間を短縮することは、トレーニングによる適応の低下に繋がる可能性が考えられる(59,81)。このように、冷却療法が短期的には有益な効果が報告されている反面、長期使用によって筋の適応が低下する可能性が指摘されていることで、専門職の間では、冷却療法を回復促進に用いる是非を巡って議論と疑問の声が広く沸き起こっている。そのため、冷却療法の使用に関しては、次の2つの説が提唱されている(27)。(a)冷却療法は、続くトレーニングセッションをより高い質と量(すなわちトレーニング負荷)で実施することを可能にし、その結果、得られる反応と適応刺激が高まる(24,25,56,77)。(b)冷却療法は、タンパク質合成反応を抑制することでトレーニング適応を低下させる可能性がある(22,59,82)。

しかし、冷却療法の長期的作用と現場のアスリートへの応用に関して調査した先行研究については、いくつかの限界も指摘されている(27,71)。要点を挙げると、研究に用いられた冷却療法のプロトコルは、現場で用いられるものに比べてはるかに積極的であった(水温5℃で40分間など)。そして、被験者の特性(トレーニング未経験者、または趣味としてトレーニングをしている人)がアスリートとは異なっていた。また、トレーニング負荷が固定されており(挙上負荷が一定の%1RMで固定されているなど)、被験者は実際には可能であっても、それ以上の負荷を挙上することを許可されなかった。加えて、これらの研究に用いられたトレーニング頻度(週2～3回のトレーニングセッ

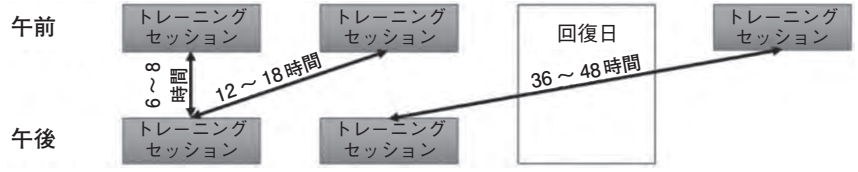

図3　水中浸漬による回復方法の効果を調査した研究で標準的に用いられる時間的枠組みの根拠(4,24,42,56,77)

ション)は、セッション間に完全な回復をもたらすものであった可能性があり、冷却療法を実施する根拠を弱めている。さらに近年の研究は、少なくとも積極的回復との比較において、CWIが炎症を軽減するとの説を支持していない(2,53,55)。このような限界を踏まえて、近年では、今後さらに冷却療法の長期使用に関する研究を進めることが提言されている(27)。またその一方で、冷却療法の長期使用は、高度にトレーニングを積んでいるアスリートの持久系パフォーマンスを向上させると考えられていることにも言及すべきである(27)。これに関して、冷却療法が有益な効果をもたらすひとつのメカニズムとして考えられているのは(27)、転写コアクチベーターであるペルオキシソーム増殖因子活性化受容体γコアクチベーター-1α(PGC-1α)の反応が、低温によって高まるというものである(63)。PGC-1αは、ミトコンドリア機能と酸化的代謝の制御に関与しており、このことから、高度にトレーニングを積んでいる自転車競技選手において、CWIによるパフォーマンスの向上効果が認められた原因となっている可能性が考えられている(27)。ただし、この説や他のメカニズムについては、さらなる調査を実施して冷却療法への代謝応答を理解する必要がある。

水中浸漬プログラムを計画する

回復のピリオダイゼーション、なかでも冷却療法を用いた回復は、心理学的、栄養学的、身体的、技術的、および戦術的要素と同様に、注意深く計画しなくてはならない(64)。回復方法は、基本となる要素(睡眠、水分補給、休息、および栄養摂取)を補うものとして追加することが推奨されている(71)。これを裏付けるように、各種の回復方法の重要度を男性アスリート507名に評価させたところ、上位6つの回復方法の中に、栄養摂取、睡眠、および水分補給が含まれていた(75)。冷却療法を回復プログラムに組み込むためには、専門職は使用するプロトコルの特性、シーズンの各段階などの外的要因、および性別や身体組成などの個人的要因を考慮しなければならない(**表2**)(64,71)。また先に述べたとおり、冷却療法による回復は持久系パフォーマンスを向上させることを裏付ける根拠が示されているが(27)、研究では結論が得られていない。したがって、外的要因に関するセクションでは、神経筋パフォーマンスにおける反応と適応を得るための要件について論じている。

プロトコルの特性

温度

図4は、様々な様式の冷却療法の実施前、実施中、および実施後における、異なる組織(皮膚、深部の筋、および体内)の温度変化を示している(78)。この図から、表面組織(皮膚など)は深部組織(体内など)に比べて冷却されるのが早く、また、冷却前の温度に戻るのも早いことがわかる(78)。

冷却曝露は、筋内の炎症を軽減し、同化シグナル伝達を低下させるとみられることから(55,59)、曝露温度が低いほど、炎症反応の軽減作用も大きくなると推測される。これに伴う潜在的な注意点は、炎症反応の軽減作用が大きくなると、それだけ同化シグナル伝達経路の抑制も増大することである。

近年の2件の研究(1件はメタ分析、もう1件はランダム化比較試験)は、CWIを回復促進を目的として実施する場合、理想的な水温の範囲(11～15℃)が存在する可能性があることを示唆している(31,44,76)。それが事実であれば、理想より低い温度(≦10℃など)を使用すると、炎症と同化の反応が大きく抑制され、結果的に回復と適応に逆効果となる可能性が考えられる。

実施時間

実施時間の長さも、回復効果の程度に影響を及ぼす可能性が高い。水温が一定の場合、CWIの実施時間が長いほど、短時間の実施と比べて血流と組織温度の低下が大きいことが明らかになっている(26)。組織の冷却は瞬間的にではなく、漸次的に進むことを考えると、これは理にかなっている。先の**図4**で示したとおり、表面組織(皮膚など)は深部組織(体内など)に比べて冷却されるのが早く、皮膚は氷嚢で8～9分間冷却すると最低温度に達するのに対し(34)、深部組織が最低温度に達するのははるかに遅く、冷却曝露が終了してからのこともある(47)。したがって、実施時間の長さは、深部組織

表2　水中浸漬による回復プロトコルを計画する際に考慮すべきプロトコルの特性、個人的および外的要因

プロトコルの特性	個人的要因	外的要因
冷却への曝露時間	体格特性	シーズンの各段階
種類(CWT／CWI)	性別	週間スケジュールの密度
浸水の深さ	年齢	アスリートの目標(長期と短期)
使用する温度		

CWI＝冷水浴、CWT＝温冷交代浴

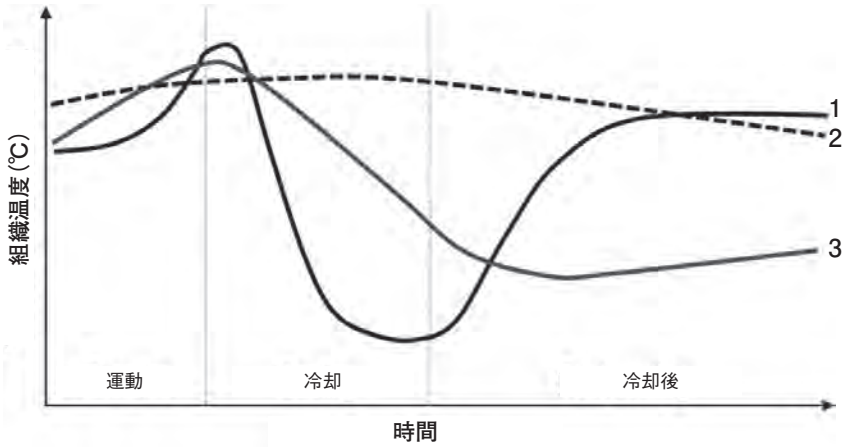

図4　運動中、冷却中、および冷却後の皮膚(1)、体内(2)、および深部の筋(3)の温度変化

の炎症過程を抑制することが目的の場合には重要な検討事項となる。以上のことから、曝露時間も曝露の強度に重要な役割を果たすことは明白である(時間を長くすると強度が高まる)。

また、もうひとつ重要なのは、表面組織の温度は深部組織に比べて低下も上昇もはるかに早い点である(78)。したがって、深部組織の温度を下げるためには、反復的な曝露(例:2回×5分間で、合間を>10分間空ける)(47)のほうが、継続的な曝露(例:1回×10分間)に比べて高い効果をもたらす可能性がある。

種類

CWIとCWTのどちらを処方するか検討する際は、身体にもたらす神経生理学的および心理学的作用がそれぞれ異なることを理解しなくてはならない。近年のメタ分析において、CWIはDOMSを軽減し、筋パワーの回復を促進するのに効果的な方策であることが明らかになっている(40)。また、CWTの作用を調査した別のメタ分析でも、CWIにみられたのと同様の結果が報告されている(9)。そしてCWIとCWTを比較した場合、筋痛や筋の疼痛のレベルに両介入間で差は認められなかった(9)。また、クレアチンキナーゼ(CK)(運動後<6時間～72時間の全時点)、乳酸脱水素酵素(運動後<6時間および24時間)、ミオグロビン(運動後24時間)、および炎症マーカー(C反応性タンパク質およびインターロイキン-6[IL-6]:運動後24時間および48時間)の値にも、カッコ内に示した各時点で差はなかった(9)。

ただし、CKの除去については、(全時点で)CWIがCWTより優れている傾向が認められた(9)。またCWIは、運動後48時間および72時間の乳酸脱水素酵素のクリアランスにおいても、CWTより優れていることが明らかになっている(9)。筋力とパワーの変化に関しては、CWIとCWTの違いに結論は出ていない(9)。また別の研究において、CWT(水温38℃での水浴1分間と、水温15℃での水浴1分間を交互に繰り返して計14分間)と温冷交代シャワー浴(水温38℃でのシャワー浴1分間と、水温18℃でのシャワー浴1分間を交互に繰り返して計14分間)、および消極的回復の作用を、エリートレベルのネットボール選手を対象に比較したところ、選手のパフォーマンスに各条件間で差はみられなかった(35)。ただし、知覚される回復感は、CWTと温冷交代シャワー浴が消極的回復を上回った。この研究結果は、チームスポーツにおける施設や実施面の制限を考えた場合、温冷交代シャワー浴を使用しても、CWTと同程度に回復感を高めることが可能であることを示している(35)。

以上をまとめると、CWIとCWTの回復促進効果を比較した研究の多くが、CWIのほうが優れていると報告している(9)。CWTの冷却曝露時間はわずか5分間程度であり、そのような短時間の曝露では炎症過程が抑制される可能性が低下するため、この結果は驚くにはあたらないと考えられる。しかし先述のとおり、これは裏を返せば、炎症反応への影響が少ない分、適応が抑制される可能性も低くなることを意味する。これらの理由から、CWTは、炎症および同化反応を抑制するという点においては、CWIに比べて低強度の方法であると推測される。

浸水の深さ

水浴療法における浸水の深さは、次の2つのうちいずれかの理由によって、曝露の強度に影響を及ぼす可能性が高い。(a)深く浸水するほど、静水圧が身体に及ぼす影響が増大する。(b)深く浸水するほど、低温に接する表面積が大きくなり、身体から水への熱伝導が増加することで、熱ストレスが増大する。浸水中は、静水圧の作用によって静脈とリンパ管が圧迫され(79)、それがひいては心拍出量と一回拍出量の増加をもたらす(1)。潜水動物に関する研究(72)では、静水圧勾配が大きくなるほど心拍出量と一回拍出量が増加するとの説を裏付ける結果が出ている。浸水の深さは、筋力の回復、発揮パ

ワー、炎症マーカー、および筋痛には影響を及ぼさないとみられるが(41)、それでも心拍出量と一回拍出量の増加は、栄養の運搬と代謝産物の除去を促進することで、回復に有益な効果をもたらす可能性が考えられる(11)。

また、浸水の深さと表面積に関しては、全身浸水のほうが下半身のみの浸水に比べて深部体温を下げる作用が大きいとみられる(19,74)。しかし興味深いことに、非常に低温の水に浸かると、かえって静水圧がもたらす有益な効果の一部が相殺される可能性がある。冷水は、血管収縮(16,32,40,79)および副交感神経系の活性増大(14)を引き起こすことがよく知られており、これらはいずれも心拍数を減少させ、ひいては心拍出量を低下させる。この反応によって、身体は末梢血流を減少させ、中枢代謝の増加を促して深部体温の維持を図る(79)。したがって、静水圧が心拍出量と一回拍出量を増やしても、冷水が末梢血流を減少させてエネルギーの保存と深部体温の維持を図ることにより、逆の作用をもたらす可能性がある。中枢代謝の増加は老廃物の産生を増やし、貯蔵エネルギーを減少させると考えられており、これらはいずれも運動後の作用として、また回復時間の短縮を目指す場合において望ましくない、不要なものとみなされる(79)。

水の圧力勾配の影響によって、浸水が深くなるほど静脈とリンパ管の圧迫が大きくなり、また一回拍出量と心拍出量が増加することが推測される。一方で、曝露する表面積が大きくなると、より多くのエネルギーが失われ、ひいては熱ストレスが高まることから、浸水が深いほど、水浴療法の強度は高くなる可能性が考えられる。

個人的要因

年齢、性別、心理学的特性、および体格特性などの個人的要因は、冷却療法に対して異なる反応を引き起こす(64)。基本的に、身体組成(筋量と体脂肪率)および体表面積(BSA)の体重(BM)に対する比(BSA:BM)の違いは、冷却療法に対する反応の個人差の一因になっていると考えられる(64)。脂肪は皮膚や筋と比べて熱伝導性が低いことから、アスリートが冷水や温水に曝露した際に何らかの役割を果たすことが推測される(65)。加えて、BMは熱の産生および保存率を高める(3)。しかし、BMの増加はBSAの増加に関連づけられる。熱の蒸発、対流、および伝導はBSAの影響を受けることから、BSAが大きいほど熱交換が増加することが推測される(64)。したがって、異なる体格特性を有する被験者における熱の作用を調査する研究には、BSA:BMの情報を含めることが提言されている(64,65)。BSA:BMが高いほど失われる熱が増えるのに対し、BSA:BMが低いほど保存される熱が増える(64)。そしてBSA:BMの比率が高くなるのは、BSAが増大するか、BMが減少するか、あるいはその両方の場合である。これらの特性は、身体組成と体格の多様性が大きい競技(ラグビーやアメリカンフットボールなど)において特に重要性が高い。

性別と体脂肪率またはBSA:BM(女性>男性[48])との関連性を考えると、水中浸漬を用いた回復プロトコルに対する反応は男女で異なると推測される。加えて、皮膚温(Tsk)と深部体温(Tc)は月経周期の各期に影響を受け、黄体期は卵胞期に比べて高温になることも認識しておく必要がある(37)。このような個人的要因は近年の研究で明らかにされているが(64)、これらの個人的要因に応じた用量反応関係はまだ詳しく調査されていない。簡単に説明すると、BSA:BMが低く体脂肪率の高い人には、より高強度の冷却プロトコルを処方する必要がある。しかし、同一環境で水温の異なる冷水浴を提供することは困難であるため、個別化が望ましい場合には、プロトコルの実施時間を長くすることが、強度を高めるためのより現実的な方法であろう。また、冷却療法を処方する上でもうひとつ重要な要素は、アスリート自身がその方法の効果を信じているかどうかである(68)。アスリート自身が好まない、または効果を信じていない方法を処方すると、適応に悪影響を及ぼす一連の心理生物学的反応を引き起こす可能性がある(49)。今後の研究では、冷却療法を信じているアスリートと信じていないアスリート、それぞれの生理学的反応を調査する必要がある。

外的要因

シーズンの各段階(各段階の目標)

レジスタンストレーニングにおいて、筋量と最大筋力の向上を主な目標とする段階(オフシーズンやプレシーズンなど)には通常、筋肥大を促進するために中〜多レップのプロトコルが処方される(70)。筋細胞の肥大にかかわるメカニズムには、運動誘発性筋損傷(EIMD)、およびそれに伴うサテライト細胞と炎症細胞の活性増大、ならびに細胞膨潤の促進が関連していると考えられている(61,62)。さらにEIMDは、筋痛、一時的な筋損傷、筋内タンパク質、および筋の受動張力の増加、ならびに筋力と可動域の低下に関連している(43)。そしてEIMDに対するこれらの反応は、様々な同化シグナル伝達経路(プロテインキナーゼB[Akt]-mTOR経路など)を媒介し、それが最

終的にタンパク質合成の促進に繋がる(61,62)。しかし先に述べたとおり、冷却への曝露(冷却療法)は、この一連のメカニズムを抑制し、トレーニングの適応を低下させる可能性が高い。ラットを使った研究はこの説を裏付けている(54)。また数は少ないが、ヒトを対象に冷水療法が引き起こすメカニズムを調査した臨床研究でも、冷却曝露によって筋の炎症と同化シグナル伝達が抑制されたという結果が一貫して出ている(55,59)。このような理由から、試合期でなく、筋量の増加がトレーニング目標となる段階においては、アスリートにCWIまたはCWTを処方することで、運動に伴う炎症反応を抑制することは逆効果になると考えられる(71)。ただし注意すべきは、試合期でなくても、個々のアスリートは各自のニーズに応じて異なる様式のトレーニングを実施しているという点である(50)。例えば、ピークパワーの向上を目標としているアスリートもいる。最大限の神経刺激(ピークパワーなど)を得るためには、1回1回のリフトを最大努力で実施しなくてはならず、そのため、アスリートは疲労していない状態でセッションに臨む必要がある(38)。したがって、このようなトレーニング段階においては、トレーニングの質を高め、ひいてはトレーニング適応が生じる可能性を高めるために、CWIまたはCWTを役立てることが可能である。このような理由から、プレシーズンその他の準備段階において冷却療法を完全に回避すべきかどうかについては、現時点で結論が得られていないことを理解しておく必要がある(2,71)。

また、試合期でない段階と同様に、試合期に当たる段階においても、冷却療法を処方または回避するタイミングには注意を払うべきである。例えば、ラグビーなどのエリートレベルのチームスポーツにおいて、試合期のレジスタンストレーニングプログラムは、筋力、パワー、およびスピードの向上を目標とする準備段階に得た向上を維持することを目指したものとなる(5,23)。その場合、冷却療法は回復を促進し、アスリートがより元気な状態で次のトレーニング日を迎えられるようにすることで、トレーニングの質(発揮パワーなど)を高めることを可能にする(56,77)。しかし、個々の段階やアスリートによっては(下記「アスリートの目標」セクションを参照)、トレーニングプログラムが筋量の増加を目標とする場合もありうる。冷却療法は様々な強度や積極性を用いて処方されることから、そのような場合、段階に合ったプロトコルを期分けして処方することも可能である(**表3**)。**表3**の例において、プレシーズンの第1段階では、シーズンのこの段階におけるアスリートの目標として筋量の増加が設定されており、したがってDOMSの増加に関連づけられる筋損傷は望ましいものであることから、アスリートによる冷却療法の使用は回避された。一方、続くプレシーズンの第2段階では、レジスタンストレーニングの主な目標が最大筋力の向上であることから、低強度の冷却療法を用いることで回復を促進し、トレーニングの質を高めることが可能となる。

競技レベル(週間スケジュールの密度)

アスリートの競技レベルは多くの場合、週単位のトレーニングの頻度と密接に関連しており、レベルによって回復のための時間が短くなる。競技レベルの高いアスリート(アマチュアに対するプロなど)は、下位レベルのアスリートと比べて、週当たりのトレーニングセッション数やトレーニング日が多いと考えられる(68)。そして週のトレーニング密度が上がると、それだけ疲労のレベルも高くなると考えられる(68)。例えば先行研究によると、伝統的な試合期の1週間において、エリートラグビー選手は最大約11時間のトレーニング(ラグビートレーニングが約7時間、ジム系トレーニングが約4時間)、および1回の試合に参加していたのに対し、アマチュアラグビー選手は計約6時間のトレーニング(ラグビートレーニングが約3時間、ジム系トレーニングが約3時間)、およ

表3　9週間のプレシーズンにおけるレジスタンストレーニングの目標と冷却療法の推奨処方の例

段階	プレシーズン1		プレシーズン2			
主な全体的目標	筋量と筋力	無負荷	筋力、パワー、およびスピード			
週	1～4	5	6～9			
冷却療法の強度			＋	＋	＋＋	＋＋
例			CWT:2×(冷水を1分間:温水を2分間)	CWT:3×(冷水を1分間:温水を2分間)	CWT:2×(冷水を2分間:温水を2分間)	CWI:1×冷水を5分間

CWI＝冷水浴、CWT＝温冷交代浴

び1回の試合に参加していた(68)。さらに、エリートとアマチュアレベルでは試合の要求も異なる可能性があり、それが回復に要する時間をさらに増やす。例えばコンタクトスポーツの場合、エリートとアマチュアレベルでは観察される筋損傷(CK濃度など)のレベルが異なる(51,52,66)。ラグビーを例にとると、エリートレベルの試合後にはCK濃度の最大値が941 ～ 2,194 U/ℓに達したと報告されているのに対し(25,51,52)、アマチュアレベルの試合におけるCK濃度は375 ～ 1,081 U/ℓであった(28,56,66,67)。したがって、エリートレベルの試合の120時間後にCK濃度の有意な上昇を観察した研究がある一方(52)、アマチュアラグビーでは、大学レベルの試合の48時間後にCK濃度がベースラインに戻っていた(66)ことも驚くにはあたらない。このような筋損傷マーカーの違いは、異なる競技レベルのアスリート、および異なる競技に冷却療法を処方するにあたって、個別的なアプローチをとる必要があることを裏付けるものである(**表4**)。

アスリートに課せられるトレーニングセッションと試合の頻度と強度が、自然な回復を得られるものであった場合(セッション間に完全に回復するなど)、冷却療法の使用は制限すべきである。また、疲労、健康状態、および筋痛のレベルを頻繁にモニタリングすることで、アスリートが必要なときに(パワートレーニングの日や試合日など)元気な状態であるか把握することも推奨される。重要なのは、同じトレーニング週内でも、冷却療法の強度を変えて処方したり、あるいは全く処方しないことで、ある程度の蓄積疲労や筋痛を残しておいて適応を促すやり方が可能な点である。また、異なるプロトコルを用いて回復セッションが単調になるのを避けることも適切と考えられ、プラセボ効果を高める可能性がある(12)。**表4**に示したように、試合の前日と翌日には冷却療法の強度を上げて回復を促し、試合でのパフォーマンス向上や試合からの回復促進を図るとよい。

アスリートの目標(長期)

個々のアスリートの目標は、冷却療法の使用を選択し、また処方するプロトコルの強度を決定する際に重要である。例えば、年齢グループに属するアスリートがエリートのシニアチームに交ざってトレーニングを実施することはよくある。通常、そのようなアスリートはエリートに比べてトレーニング歴が浅く、したがって体重と筋量も少ない。そのため**表5**の例のように、経験の浅いアスリートはプレシーズンの第2段階で筋量のさらなる増加を目標とし、したがって冷却療法の使用を制限するのが妥当と考えられる。同様に、

表4　エリートおよびアマチュアのチームスポーツ選手を対象に試合期の1週間に処方する冷却療法の例

		試合日	休養日	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	試合日
エリート	トレーニング負荷	非常に高負荷	休養	低～中負荷	高負荷	休養	中～高負荷	低負荷	非常に高負荷
	回復の目的	損傷からの回復	適応のための回復				パフォーマンスのための回復		
	冷却療法の強度	＋＋＋			＋		＋＋	＋＋＋	
	例	CWI：2×5分間(11～15℃)、全身			CWT:3×(冷水を1分間、温水を2分間)、下半身		CWT:3×(冷水を2分間、温水を1分間)、全身	CWI：2×5分間(11～15℃)、下半身	
アマチュア	トレーニング負荷	非常に高負荷	休養	低負荷	中～高負荷	休養	低～中負荷	低負荷または休養	非常に高負荷
	回復の目的	損傷からの回復	適応のための回復					パフォーマンスのための回復	
	冷却療法の強度	＋＋＋					＋	＋＋	
	例	CWI：2×5分間(11～15℃)、全身					CWT:3×(冷水を1分間、温水を2分間)、下半身	CWT:3×(冷水を2分間、温水を1分間)、下半身	

CWI＝冷水浴、CWT＝温冷交代浴

数週間にわたって試合に出場する見込みが低く、その間、筋量を増やすことが望ましいアスリートにも、冷却療法の処方を制限したほうがよい。一方で、その逆の場合もあり、経験豊富な年長のアスリートは、常に高いトレーニング負荷(チームトレーニングですべてのドリルに参加するなど)と長い試合時間を課せられている。そのようなアスリートには、トレーニング負荷を管理する以外に、冷却プロトコルの強度を高めることも選択肢となりうる。**表5**に、トレーニング歴の異なるアスリートを対象とした試合期の週間トレーニングの例を示した。

結論

冷却療法は、チームスポーツ選手の間で広く使用されており、トレーニングや競技からの回復を促進する効果がよく知られている。しかし近年の研究において、CWIなどの冷却療法がアスリートの長期的なトレーニング適応に悪影響を及ぼす可能性が示唆されている。したがって、他のトレーニング刺激と同様に、専門職は冷却療法のプロトコルを個々の状況やアスリートに合わせて注意深く操作することで、適応の効果を高め、ひいてはパフォーマンスの向上を図る必要がある。トレーニングの強度、週のトレーニングの密度、個々のアスリートの目標、およびシーズンに求められることを理解することが、冷却療法の処方と強度について決定する根拠となる。◆

※「References」は誌面の都合によりウェブサイトのみ掲載いたします。参照ご希望の方は、

http://www.nsca-japan.or.jp

から会員専用ページにログインしてご覧ください。

From *Strength and Conditioning Journal*
Volume 40, Number 4, pages 48-60.

著者紹介

Francisco Tavares:
The University of Waikatoの博士号候補生。ラグビーチーム「グラスゴー・ウォーリアーズ」のストレングス&コンディショニングコーチを務める。

Owen Walker:
Science for Sportの創設者兼責任者。

Phil Healey:
ラグビーチーム「グラスゴー・ウォーリアーズ」のストレングス&コンディショニング主任。

Tiaki Brett Smith:
The University of Waikato健康・スポーツ・身体パフォーマンス学の上級講師。ラグビーチーム「チーフス」のスポーツ科学者、およびRowing Australiaの顧問スポーツ科学者を務める。

Matthew Driller:
The University of Waikato健康・スポーツ・身体パフォーマンス学の上級講師。High Performance Sport New Zealandのパフォーマンス生理学主任を務める。

表5　トレーニング歴の異なるチームスポーツ選手を対象に試合期の1週間に処方する冷却療法の例

		試合日	休養日	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	試合日
トレーニング歴が長い	トレーニング負荷	非常に高負荷	休養	低～中負荷	高負荷	休養	中～高負荷	低負荷	非常に高負荷
	回復の目的	損傷からの回復	適応のための回復				パフォーマンスのための回復		
	冷却療法の強度	＋＋＋		＋	＋		＋＋	＋＋＋	
	例	CWI：2×5分間(11～15℃)、全身		CWT：3×(冷水を1分間、温水を2分間)、下半身	CWT:2×(冷水を2分間、温水を2分間)、下半身		CWI：1×5分間(11～15℃)、全身	CWI：2×5分間(11～15℃)、下半身	
トレーニング歴が短い	回復の目的	損傷からの回復	適応のための回復					パフォーマンスのための回復	
	冷却療法の強度	＋＋＋			＋			＋＋	
	例	CWI：2×5分間(11～15℃)、下半身			CWT:3×(冷水を1分間、温水を2分間)、下半身			CWT:3×(冷水を2分間、温水を1分間)、下半身	

CWI＝冷水浴、CWT＝温冷交代浴

©NSCA JAPAN
Volume 26, Number 8, pages 60-69

チームスポーツのための水中浸漬による回復方法の現場への応用

Practical Applications of Water Immersion Recovery Modalities for Team Sports

References

1. Aborelius M, Balldin U, Lilja B, Lundgren C. Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. *Aerosp Med* 43: 592–598, 1972.
2. Allan R, Mawhinney CR. Is the ice bath finally melting? CWI is no greater than active recovery upon local and systemic inflammatory cellular stress in humans. *J Physiol* 595: 1857–1858, 2016.
3. Anderson GS. Human morphology and temperature regulation. *Int J Biometeorol* 43: 99–109, 1999.
4. Argus CK, Broatch JR, Petersen AC, Polman R, Bishop DJ, Halson S. Cold water immersion and contrast water therapy do not improve short-term recovery following resistance training. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 1–21, 2017.
5. Baker D. The effects of an in-season of concurrent training on the maintenance of maximal strength and power in professional and college-aged rugby league football players. *J Strength Cond Res* 15: 172–177, 2001.
6. Banfi G, Melegati G, Barassi A, Dogliotti G, Melzi d'Eril G, Dugué B, Massimiliano MC. Effects of whole-body cryotherapy on serum mediators of inflammation and serum muscle enzymes in athletes. *J Therm Biol* 34: 55–59, 2009.
7. Barnett A. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: Does it help?. *Sport Med* 36: 781–796, 2006.
8. Beedie CJ, Terry PC, Lane AM, Terry C, Lane AM. The profile of mood states and athletic performance: Two meta-analyses. *J Appl Sport Psychol* 12: 49–68, 2000.
9. Bieuzen F, Bleakley CM, Costello JT. Contrast water therapy and exercise induced muscle damage: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 8: e62356, 2013.
10. Bishop PA, Jones E, Woods AK. Recovery from training: A brief review. *J Strength Cond Res* 22: 1015–1024, 2008.
11. Bleakley CM, Davison GW. What is the biochemical and physiological rationale for using cold water immersion in sports recovery? A systematic review. *Br J Sports Med* 44: 179–187, 2010.
12. Broatch JR, Petersen A, Bishop DJ. Postexercise cold water immersion benefits are not greater than the placebo effect. *Med Sci Sports Exerc* 46: 2139–2147, 2014.
13. Brown LE, Greenwood M. Periodization essentials and innovations in resistance training protocols. *Strength Cond J* 27: 80, 2005.
14. Buchheit M, Peiffer JJ, Abbiss CR, Laursen PB. Effect of cold water immersion on postexercise parasympathetic reactivation. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 296: 421–427, 2009.
15. Clarkson PM, Newham DJ. Associations between muscle soreness, damage, and fatigue. In: *Fatigue: Neural and Muscular Mechanisms*. Gandevia SC, Enoka RM, McComas AJ, Stuart DG, Thomas CK, Pierce PA, eds. Boston, MA: Springer US, 1995. pp. 457–469.
16. Cochrane DJ. Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: A review. *Phys Ther Sport* 5: 26–32, 2004.

17. Costello JT, Culligan K, Selfe J, Donnelly AE. Muscle, skin and core temperature after -110℃ cold air and 8℃ water treatment. *PLoS One* 7: e48190, 2012.
18. Coutts AJ, Reaburn P, Piva TJ, Rowsell GJ. Monitoring for overreaching in rugby league players. *Eur J Appl Physiol* 99: 313–324, 2007.
19. Crampton D, Egaña M, Donne B, Warmington SA. Including arm exercise during a cold water immersion recovery better assists restoration of sprint cycling performance. *Scand J Med Sci Sport* 24: 290–298, 2014.
20. de Freitas VH, Ramos SP, Bara-Filho MG, Freitas DGS, Coimbra DR, Cecchini R, Guarnier FA, Nakamura FY. Effect of cold water immersion performed on successive days on physical performance, muscle damage, and inflammatory, hormonal, and oxidative stress markers in volleyball players. *J Strength Cond Res*, 2017 [Epub ahead of print].
21. Freitas VH, Nakamura FY, Miloski B, Samulski D, Mauricio G. Sensitivity of physiological and psychological markers to training load intensification in volleyball players. *J Sport Sci Med* 13: 571–579, 2014.
22. Fröhlich M, Faude O, Klein M, Pieter A, Emrich E, Meyer T. Strength training adaptations after cold water immersion. *J Strength Cond Res* 28: 2628–2633, 2014.
23. Gannon EA, Stokes KA, Trewartha G. Strength and power development in professional rugby union players over a training and playing season. *Int J Sports Physiol Perform* 11: 381–387, 2016.
24. Garcia CA, da Mota GR, Marocolo M. Cold water immersion is acutely detrimental but increases performance post-12 h in rugby players. *Int J Sports Med* 37: 619–624, 2016.
25. Gill ND, Beaven C, Cook C. Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *Br J Sports Med* 40: 260–263, 2006.
26. Gregson W, Black MA, Jones H, Milson J, Morton J, Dawson B, Atkinson G, Green DJ. Influence of cold water immersion on limb and cutaneous blood flow at rest. *Am J Sports Med* 39: 1316–1323, 2011.
27. Halson SL, Bartram J, West N, Stephens J, Argus CK, Driller MW, Sargent C, Lastella M, Hopkins WG, Martin DT. Does hydrotherapy help or hinder adaptation to training in competitive cyclists? *Med Sci Sports Exerc* 46: 1631–1639, 2014.
28. Hamlin MJ, Mitchell CJ, Ward FD, Draper N, Shearman JP, Kimber NE. Effect of compression garments on short-term recovery of repeated sprint and 3-km running performance in rugby union players. *J Strength Cond Res* 26: 2975–2982, 2012.
29. Hawley JA, Hargreaves M, Joyner MJ, Zierath JR. Integrative biology of exercise. *Cell* 159(4): 738–749, 2014.
30. Higgins T, Climstein M, Cameron M. Evaluation of hydrotherapy, using passive tests and power tests, for recovery across a cyclic week of competitive rugby union. *J Strength Cond Res* 27: 954–965, 2013.
31. Higgins TR, Greene DA, Baker MK. Effects of cold water immersion and contrast water therapy for recovery from team sport: A systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res* 31: 1443–1460, 2017.
32. Hing WA, White SG, Bouaaphone A, Lee P. Contrast therapy—A systematic review. *Phys Ther Sport* 9: 148–161, 2008.
33. Ihsan M, Watson G, Abbiss CR. What are the physiological mechanisms for post-exercise cold water immersion in the recovery from prolonged endurance and intermittent exercise? *Sport Med* 46: 1095–1109, 2016.

34. Janwantanakul P. The effect of quantity of ice and size of contact area on ice pack/skin interface temperature. *Physiotherapy* 95: 120–125, 2009.
35. Juliff LE, Halson SL, Bonetti DL, Versey NG, Driller MW, Peiffer JJ. Influence of contrast shower and water immersion on recovery in elite netballers. *J Strength Cond Res* 28: 2353–2358, 2014.
36. Kentta G, Hassmen P. Overtraining and recovery: A conceptual model surentrainement et recuperation: Un modele conceptuel. *Sport Med* 26: 1–16, 1998.
37. Kolka MA, Stephenson LA. Effect of luteal phase elevation in core temperature on forearm blood flow during exercise. *J Appl Physiol* 82: 1079–1083, 1997.
38. Kraemer W, Looney D. Underlying mechanisms and physiology of muscular power. *Strength Cond J* 34: 13–19, 2012.
39. Lakier Smith L. Overtraining, excessive exercise, and altered immunity. Sport Med 33: 347–364, 2003.
40. Leeder J, Gissane C, van Someren K, Gregson W, Howatson G. Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: A meta-analysis. *Br J Sports Med* 46: 233–240, 2012.
41. Leeder JDC, Van Someren KA, Bell PG, Spence JR, Jewell P, Gaze D, Howatson G. Effects of seated and standing cold water immersion on recovery from repeated sprinting. *J Sport Sci* 33: 37–41, 2015.
42. Lindsay A, Lewis J, Gill N, Gieseg SP, Draper N. Effect of varied recovery interventions on markers of psychophysiological stress in professional rugby union. *Eur J Sport Sci* 15: 1–7, 2015.
43. Macdonald GZ, Button DC, Drinkwater EJ, Behm DG. Foam rolling as a recovery tool after an intense bout of physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 46: 131–142, 2014.
44. Machado AF, Ferreira PH, Micheletti JK, de Almeida AC, Lemes ÍR, Vanderlei FM, Netto Junior J, Pastre CM. Can water temperature and immersion time influence the effect of cold water immersion on muscle Soreness? A systematic review and meta-analysis. *Sport Med* 46: 503–514, 2016.
45. MacIntyre DL, Reid WD, McKenzie DC. Delayed muscle soreness. *Sport Med* 20: 24–40, 1995.
46. Manzi V, D'Ottavio S, Impellizzeri FM, Chaouachi A, Chamari K, Castagna C. Profile of weekly training load in elite male professional basketball players. *J Strength Cond Res* 24: 1399–1406, 2010.
47. Mawhinney C, Jones H, Low DA, Green DJ, Howatson G, Gregson W. Influence of cold-water immersion on limb blood flow after resistance exercise. *Eur J Sport Sci* 17: 519–529, 2017.
48. McArdle WD, Magel JR, Spina RJ, Gergley TJ, Toner MM. Thermal adjustment to cold-water exposure in exercising men and women. *J Appl Physiol* 56: 1572–1577, 1984.
49. McEwen BS. Physiology and neurobiology of stress and adaptation: Central role of the brain. *Physiol Rev* 87: 873–904, 2007.
50. Mcguigan MR, Cormack SJ, Gill ND. Strength and power profiling of athletes: Selecting tests and how to use the information for program design. *Strength Cond J* 35: 1–8, 2013.
51. McLellan CP, Lovell DI, Gass GC. Markers of postmatch fatigue in professional Rugby League players. *J Strength Cond Res* 25: 1030–1039, 2011.
52. McLellan CP, Lovell DI, Gass GC. Biochemical and endocrine responses to impact and collision during elite Rugby League match play. *J Strength Cond Res* 25: 1553–1562, 2011.
53. Méline T, Watier T, Sanchez AM. Cold water immersion after exercise: Comment on recent data and perspectives. *J Physiol* 595: 2783–2784, 2017.
54. Peake JM, Markworth JF, Nosaka K, Raastad T, Wadley GD, Coffey VG. Modulating exercise-induced hormesis: Does less equal more? *J Appl Physiol* 119: 172–189, 2015.
55. Peake JM, Roberts LA, Figueiredo VC, Egner I, Krog S, Aas SN, Suzuki K, Markworth JF, Coombes

JS, Cameron-Smith D, Raastad T. The effects of cold water immersion and active recovery on inflammation and cell stress responses in human skeletal muscle after resistance exercise. *J Physiol* 595: 695–711, 2016.

56. Pointon M, Duffield R. Cold water immersion recovery after simulated collision sport exercise. *Med Sci Sport Exerc* 44: 206–216, 2012.
57. Polman R, Houlahan K. A cumulative stress and training continuum model: A multidisciplinary approach to unexplained underperformance syndrome. *Res Sport Med* 12: 301–316, 2004.
58. Rimmele U, Zellweger BC, Marti B, Seiler R, Mohiyeddini C, Ehlert U, Heinrichs M. Trained men show lower cortisol, heart rate and psychological responses to psychosocial stress compared with untrained men. *Psychoneuroendocrinology* 32: 627–635, 2007.
59. Roberts LA, Raastad T, Markworth JF, Figueiredo VC, Egner IM, Shield A, Cameron-Smith D, Coombes JS, Peake JM. Post-exercise cold water immersion attenuates acute anabolic signalling and long-term adaptations in muscle to strength training. *J Physiol* 593: 4285–4301, 2015.
60. Rodrigues DF, Silva A, Rosa JPP, Ruiz FS, Verissimo AW, Winckler C, Alves da Rocha E, Parsons A, Tufik S, Túlio de Mello M. Profiles of mood states, depression, sleep quality, sleepiness, and anxiety of the paralympic athletics team: A longitudinal study. *Apunt Med L'esport* 2017;52: 93–101.
61. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 24: 2857–2872, 2010.
62. Schoenfeld BJ. Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *J Strength Cond Res* 26: 1441–1453, 2012.
63. Slivka D, Dumke C, Tucker T, Cuddy J, Ruby B. Human mRNA response to exercise and temperature. *Int J Sports Med* 33: 94–100, 2012.
64. Stephens JM, Halson S, Miller J, Slater GJ, Askew CD. Cold water immersion for athletic recovery: One size does not fit all. *Int J Sports Physiol Perform* 11: 86–95, 2016.
65. Stephens JM, Argus C, Driller MW. The relationship between body composition and thermal responses to hot and cold water immersion. *J Hum Perform Extrem Environ* 11: 1–9, 2014.
66. Suzuki M, Umeda T, Nakaji S, Shimoyama T, Mashiko T, Sugawara K. Effect of incorporating low intensity exercise into the recovery period after a rugby match. *Br J Sports Med* 38: 436–440, 2004.
67. Takarada Y. Evaluation of muscle damage after a rugby match with special reference to tackle plays. *Br J Sports Med* 37: 416–419, 2003.
68. Tavares F, Healey P, Smith TB, Driller M. The usage and perceived effectiveness of different recovery modalities in amateur and elite rugby athletes. *Perform Enhanc Heal*, 5: 142–146, 2017.
69. Tavares F, Healey P, Smith TB, Driller M. The effect of training load on neuromuscular performance, muscle soreness and wellness during an in-season non-competitive week in elite rugby athletes. *J Sport Med Phys Fit*, 2017 [Epub ahead of print].
70. Tavares F, Mil-Homens P. Principles and periodization of strength training. In: *Strength Training—Volume 2 Assessment, Planning and Applications* (1st ed). Mil-Homens P, Pezarat P, Mendonça G, eds. Lisbon, Portugal: Faculty of Human Kinetics editions, University of Lisbon, 2017. pp. 65–81.
71. Tavares F, Smith TB, Driller M. Fatigue and recovery in rugby: A review. *Sport Med* 47: 1515–1530, 2017.
72. Thornton SJ, Hochachka PW, Crocker DE, Costa DP, Leboeuf BJ, Spielman DM, Pelc NJ. Stroke volume and cardiac output in juvenile elephant seals during forced dives. *J Exp Biol* 208: 3637–3643, 2005.

73. Thorpe RT, Strudwick AJ, Buchheit M, Atkinson G, Drust B, Gregson W. The tracking of morning fatigue status across in-season training weeks in elite soccer players. *Int J Sport Physiol Performance* 11: 947–952, 2016.
74. Vaile J, O'Hagan C, Stefanovic B, Walker M, Gill N, Askew C. Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow. *Br J Sports Med* 45: 825–829, 2011.
75. Venter RE. Perceptions of team athletes on the importance of recovery modalities. *Eur J Sport Sci* 14: 1–8, 2012.
76. Vieira A, Siqueira AF, Ferreira-Junior JB, do Carmo J, Durigan JLQ, Blazevich A, Bottaro M. The effect of water temperature during cold-water immersion on recovery from exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 37: 937–943, 2016.
77. Webb N, Harris N, Cronin J, Walker C. The relative efficacy of three recovery modalities following professional rugby league matches. *J Strength Cond Res* 27: 2449–2455, 2013.
78. White GE, Wells GD. Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: Physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise. *Extrem Physiol Med* 2: 26, 2013.
79. Wilcock I, Cronin J, Hing W. Physiological response to water immersion. *Sport Med* 36: 747–765, 2006.
80. Van Wyk D, Lambert M. Recovery strategies implemented by sport support staff of elite rugby players in South Africa. *S Afr J Physiother* 65: 1–15, 2009.
81. Yamane M, Teruya H, Nakano M, Ogai R, Ohnishi N, Kosaka M. Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *Eur J Appl Physiol* 96: 572–580, 2006.
82. Yamane M, Ohnishi N, Matsumoto T. Does regular post-exercise cold application attenuate trained muscle adaptation? *Int J Sports Med* 36: 647–653, 2015.