



疲労特集

3. スポーツ選手における疲労の原因と対策
4. 疲労回復と食生活(栄養)

スポーツ選手における疲労の原因と対策

笠原 政志, Ph.D., CSCS, JSPO-AT, 国際武道大学/国際武道大学大学院武道・スポーツ研究科 教授

1. スポーツ選手に対する積極的な疲労回復対策の必要性

スポーツ選手は身体活動に伴う生理的および心理的機能低下に伴う疲労により、パフォーマンスレベルは一時的には低下するが、一定の期間があれば元の状態に戻る。しかしながら、スポーツ選手は日々の練習や試合が繰り返し行なわれるため、安静にして待つのではなく、一刻も早い疲労回復に向けた積極的な疲労回復対策が求められる。近年ではスポーツ選手に対する積極的な疲労回復対応全般をリカバリーと称し、広くその重要性が注目されている。2016年9月に行なわれたリカバリー&パフォーマンスのシンポジウム内容をまとめたステートメントによると、リカバリーは体系的に管理された運動後のリカバリーを実施することによってパフォーマンスを最大化させ、疲労回復不足および機能改善不足、オーバートレーニング症候群、スポーツ傷害、疾病などのネガティブな展開を防ぐことと示されている(13)。ただし、スポーツ選手の積極的なリカバリーと一概に言っても、疲労を引き起こす生理学的要因は様々であり、さらに個人

競技やチーム競技、コンタクトがある競技とない競技など競技特性によってその要因は異なるため、狙いを定めた最適なりカバリー方法の選択が求められる。

2. 狙いを定めた疲労回復対策の考え方

スポーツ選手の疲労の原因を生理学的観点から考えると、エネルギーの枯渇、生体内における恒常性のアンバランス、脳(中枢性)の疲労、筋痛や筋損傷、疲労物質(代謝産物)の蓄積が代表的に挙げられる(12)。これらを車で例えると、エネルギーの枯渇は車が走行するために必要なガソリンに該当す

る。生体内における恒常性のアンバランスは、常に一定の状態を保持するために必要なエンジンオイルやバッテリーに該当する。筋痛や筋損傷は、組織損傷になるため車のボディの損傷に該当する。疲労物質の蓄積は、走行を続けることによって摩耗していくタイヤに該当する。最後に脳(中枢性)の疲労は、司令塔になる運転手(ドライバー)の能力に該当する(図1)。以上のように車が普段どおりに走行しない(パフォーマンスが発揮されない)場合、どこに原因があるかを分析した結果、問題となる部分に対して適切な改善方法を選択することと同様に、スポーツ選手に対しても何が原因でパフォーマンス

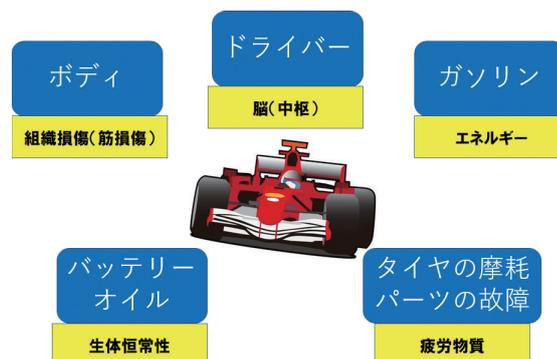


図1 車に例えた場合における各生理学的な疲労要因に対する対応

が低下してしまっているかを分析して、最適なりカバリー対応をするという考え方は同様であるといえる。

1) エネルギー枯渇に対するリカバリー

運動を継続することにより、身体に貯蔵されているエネルギーの枯渇が起こると、多くの場合は体重減少が生じる。このエネルギーが枯渇した状態でエネルギー摂取不足があると、体重減少はもとより、筋および肝グリコーゲンの補充不足によってその後の運動パフォーマンスの低下を引き起こしてしまう。したがって、エネルギー枯渇に対するリカバリーとしては、運動によって消費したエネルギーを早期に回復することである。国際オリンピック委員会(IOC)はスポーツ選手の炭水化物摂取ガイドラインを示し、運動後に摂取する炭水化物の必要量は体重や運動強度によって変えることを推奨している(3)(表1)。さらに、エネルギー枯渇に関しては、その摂取のタイミングが重要であり、運動直後では体重1kg当たり1.0～1.2gの炭水化物を速やかに摂取することやタンパク質も同時に摂取することが筋グリコーゲンの回復に

推奨されており(3)、グリコーゲンの再合成を考えると、運動終了後から2時間以内にエネルギー摂取をできるよう配慮することが必要である。

2) 生体内における恒常性のアンバランスに対するリカバリー

生体内における恒常性のアンバランスについては、脱水と過度な体温上昇がスポーツ選手の疲労に深く影響する。脱水においては、2%以上の減少によって各種運動パフォーマンスを低下させるため(6)、その予防のためにも失った体水分量の早期リカバリーが必要になる。なお、失った体水分量の補充の際には、電解質を含み、失った体重以上の水分摂取が必要となる。発汗量と同量の水分摂取をしたとしても、元の体水分量までは回復はしないため、失った水分体重1kg当たり1～1.5lの水分をこまめに摂取して元の状態に戻すことが望ましく(19)、摂取温度は「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック」では5～15℃の温度帯(17)、「Clinical Sports Nutrition 5th」では15℃程度の温度帯のほうが多量に摂取できると示されている(3)。

なお、脱水は体温上昇に伴って生じる生理的現象であり、体温の過度な上昇は運動パフォーマンスを低下させる。さらに通常深部体温は37℃程度であるが、運動すると40℃を超えることもあり、神経系が影響を受け、様々な体温調整機能メカニズムを乱す。したがって、特に暑熱環境においては、運動パフォーマンス低下や熱中症予防に限らず、自律神経系の調整のためにも深部体温の過度な上昇を抑制するために、様々な冷却手段を用いて体熱をいち早く体外へ放出しなければならない。

3) 脳(中枢性)疲労に対するリカバリー

脳は認知判断をする機能があるため、運動実施時の集中力や反応時間などの低下に繋がる(10)。運動直後では脳下垂体副腎皮質系ホルモンや交感神経ホルモンが顕著に上昇し、脳内の神経伝達物質の減少が起こることによって自律神経の乱れが生じる(20)。この乱れを正常な状態に戻す手段のひとつが睡眠である。ただし、試合があった日や暑熱環境の場合など、より交感神経が強い状態のまま就寝時間を迎えてしまうと、寝つけない等の睡眠障害に陥ってしまう者は多い(10)。睡眠行動の目的のひとつが深部体温と代謝レベルを低下させることからすると、入眠前に冷却対応することで深部体温を低下させ、中枢神経系にかかわる臓器の恒常性維持とエネルギー消費を節約させる(15)ことは、その後の睡眠の質と量を確保するためには重要となる。特にナイターゲーム後だと、入眠困難になっている選手が少なくない。冷水浴は身体的リカバリーだけでなく、中枢性のリカバリーにも有効に働く可能性が高く、交感神経を鎮める効果もある(9)。サッカー選手を対象に激運動後に冷水浴を実施してから就寝した群と軽運動してから就寝した群に分けて比較検討した結果、冷水浴群のほうが入眠時の睡眠効率は良好な結果を示

表1 IOCによる炭水化物摂取ガイドライン(文献3より引用著者翻訳)

状況	炭水化物	炭水化物摂取のタイミングや種類の解説
1日の消費量と必要な供給量		
<ul style="list-style-type: none"> ・高強度で激しくトレーニングする時、日々の炭水化物摂取はトレーニングによるエネルギー消費量とグリコーゲンの回復を同じにすることが重要である。 ・一般的に推奨されることは、個々の総エネルギー必要量やトレーニング内容、トレーニング状態を考慮して摂取する糖質の微調整が必要である。 ・スポーツの時期によってトレーニング内容が変化するため、アスリートの炭水化物摂取は様々であるべきである。 		
低	低強度・スキル重視のトレーニング	3～5g/kg/日
中	中等度プログラム(～1時間/日)	5～7g/kg/日
高	持久系プログラム(1～3時間/日の中等度および高強度エクササイズ)	6～10g/kg/日
極高	超高強度プログラム(>4～5時間/日の中等度および高強度エクササイズ)	8～12g/kg/日
<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー摂取は、その日のトレーニングに応じてエネルギーの摂取時間を計算する。総エネルギー量と同等にエネルギーが摂取されていれば、間食や軽食は容易に個々に合わせて選択できる。 ・タンパク質や豊富な栄養素などと糖質を多く含む食事の組み合わせは、様々な場面でのスポーツ栄養の理想である。 		

したとの報告もある(2)。以上のように、認知判断能力を司る脳機能のリカバリーのためには、睡眠障害を引き起こさないような快眠に向けた環境整備をし、十分な睡眠を確保させることが求められる(表2)。もし十分な睡眠時間を確保できない場合、睡眠負債を補うために昼寝を活用することをパワーナップと呼ぶ。ただし、パワーナップは補足の要素であるため、夜間睡眠に影響が出ないようにすること、また昼寝後に睡眠慣性が出現してパフォーマンスに影響しないよう20分程度に止めることが望ましい(4,7)。

4) 筋痛や筋損傷に対するリカバリー

相手とのコンタクトや繰り返しのエキセントリック収縮を伴う競技においては、特に運動後に筋損傷の程度が大きくなり、その結果として組織自体の損傷、筋力、可動域、腫脹が回復するのに時間を要する(1)ため、それらを速やかに回復させるリカバリーが求められる。このリカバリー対策として挙げられるのが、筋のタンパク合成を促進する食事と筋損傷に伴う炎症症状の鎮静化を図る冷却になる。

筋痛や筋損傷抑制および運動パフォーマンス改善に対する冷水浴のシステマティックレビューをした報告によると、有効な冷水浴温度は11～15℃、実施時間は11～15分であると示している(14,22)。ただし、冷水浴の有効性

は20℃以下であること、体脂肪量が少なく除脂肪体重量も少ない場合は冷水浴によって有意に深部体温は低くなる(21)こと、さらに国内に多くある銭湯などの入浴施設に設置された水風呂の冷水浴槽は17～18℃であることが多いことなどを考慮すると、20℃以下で設定しても十分冷水浴による効果を得ることができると考えられる。

5) 疲労・代謝産物蓄積に対する

リカバリー

高強度もしくは長時間にわたる運動により体内には疲労物質として代謝産物が蓄積し、その結果としてエネルギー供給率の低下、筋の興奮収縮連関不全が起こり、筋収縮力の低下が起こる(16)。したがって、運動後に起こる代謝産物の早期除去および蓄積の抑制を図ることがリカバリー対策のひとつとして実施すべき内容である。代表的なリカバリー方法としてはアクティブリカバリー(軽運動)、ハイドロセラピー(交代浴、アクアコンディショニング)、コンプレッションウェアなど血液循環を促進させる方法がそれにあたる。スポーツ現場で広く実施されており、疲労回復の有効性の高さが多く示されているアクティブリカバリーはPH値の改善、代謝産物の除去、血液循環促進、免疫システム改善、筋痛の軽減を可能にし、運動負荷は最大酸素摂取量の30～60%の強度とし、30分以内が推奨される(8)。

3. 最適なりカバリーを戦略的に考える

先述したようにリカバリーは身体活動に伴う各種生理学的応答に応じた最適なりカバリー方法を選択することが求められるが、さらに対象、タイミング、環境、シーズンなど様々な条件を考慮したりカバリー戦略が必要である(11)(表3)。

1) タイミングや複数のリカバリー方法を実施する場合の一例

練習や試合直後に代謝産物を除去することを狙いとしたジョギングやスイミングなどのアクティブリカバリーの有用性は生理学的にも高いが、エネルギー枯渇に対するリカバリーで紹介したように、運動直後には体重1kg当たり1.0～1.2gの炭水化物の早期摂取や筋損傷などのダメージがある場合には、速やかに冷水浴に浸かることが必要であることを考えると、アクティブリカバリーを長時間実施してしまうことによってエネルギーがさらに枯渇してしまうことは避けなければならない。したがって、エネルギー枯渇に対するリカバリーと代謝産物に対するリカバリー、さらには筋損傷に対するリカバリーを総合的に考えてアクティブリカバリーを長時間実施しないように配慮しつつ、エネルギーの早期摂取や冷水浴の実施に努める工夫が必要になる。

また、サッカーやラグビー競技など

留意点	具体的な内容
季節の工夫(夏場)	室温：25～26℃、湿度50～60%、頭部冷却や空調の活用
季節の工夫(冬場)	室温：22～23℃、湿度50～60%、入浴後速やかな就寝
睡眠パターン	就寝前のルーティン、就寝時間と起床時間の統一
睡眠阻害刺激の除去	就寝前のカフェイン・スクリーンタイム・明るさ・ノイズ・食事
最適な寝具の選択	寝返り・発汗・体温調整に優れたもの

考慮する点	具体的な内容
対象	性別、年齢、身体組成
競技種目	エネルギー供給系、試合時間、筋損傷の有無
強度	疲労度合い、練習強度
環境	暑熱環境、寒冷環境、時差、標高
タイミング	運動前、運動直後、運動数時間後、運動間、どのシーズンか
順序	複数リカバリー方法を実施する場合の順序

のハーフタイム中や、柔道や陸上競技など1日に複数試合がある場合の間に求められるリカバリーは、持続的な筋収縮によって生じた過度な神経伝達・筋紡錘やゴルジ腱器官などの筋緊張(筋スパズム)を競技間の短い時間で速やかに沈静化させることであるために、アイスパックを局所に当てたり、冷水浴などの冷却対応が実施されることをよく目にする。しかしながら、ハーフタイム中の過度な冷却はその直後の運動パフォーマンスを低下させる危険性が高い(5)、冷却時間、冷却方法に注意をする必要がある。

さらに、シーズンごとにリカバリー方法を選択することも必要になる。筋痛や筋損傷に対するリカバリー方法として冷水浴があるが、冷水浴実施により、血管収縮が起こることで血流制限が生じることから、トレーニング期における筋力トレーニング効果を抑制してしまうことがある(18)。したがって、オフシーズン期における筋力トレーニング後の習慣的な冷水浴の実施はむしろマイナスに働いてしまう可能性がある。

4. まとめ

本稿ではスポーツ選手における疲労の原因と対策について生理学的適応に応じたりカバリー方法とそれをどのように活用していくべきかについて概説した。孫氏の兵法の一説に「戦術なき戦略は勝利に至る最も遠い道のりであり、戦略なき戦術は敗北の前の戯言である」という言葉がある。こちらを疲労対策に置き換えると、「戦術」は各種リカバリー方法であり、「戦略」はリカバリー計画に該当する。すなわち、いくら素晴らしいリカバリー方法があったとしても、リカバリー計画がなければ、そのリカバリー効果を最大限に得ることはできない。それどころか、むしろ逆効果になってしまう可能性も十分ありえる。一方で、リカバリー計画があったとしても、それに見合ったリカバリー方法がなければ、絵に描いた餅のようなリカバリー計画で、スポーツ選手にとって現実離れした内容になってしまうのである。様々な生理学的疲労要因に対する効果的なリカバリー方法のメカニズムを理解すると同時に、それを色々な条件に置き換えてリカバリー対策をとることができるかどうか、スポーツ選手のパフォーマンス

スを最大限に発揮させるかどうかに関与するといえる。

今回概説した内容を包括したりカバリー戦略を講じた上でのリカバリー戦術の一例を表4に示した(11)。ただし、スポーツ選手によって、同じ練習をしていたとしても運動強度が低いと感じ疲労が生じていない場合と、逆に運動強度が高いと感じていて疲労を強く生じている場合や、先述したような様々な要因が複雑に影響し合うことを念頭に入れ、スポーツ選手に対する疲労対策を戦略的に実施するためには疲労状態を何らかの手段でモニタリングすることが必要であることを忘れてはならない。◆

参考文献

1. Brooks, A, L Lack. A brief afternoon nap flowing nocturnal sleep restriction: which nap duration is most recuperative? *Sleep* 29(6): 831-840, 2006.
2. Brophy-Williams, N, G Landers, K Wallman. Effect of immediate and delayed cold water immersion after a high intensity exercise session on subsequent run performance. *J Sports Sci Med.* 10(4): 665-670, 2011.
3. Burke, Louise. Nutrition for recovery after training and competition. *Clinical sports nutrition 5th edition.* Australia, 420-462, 2015.
4. Clarkson, PM, K Nosaka, B Braun.

表4 運動後から翌日にかけてのリカバリー戦略の一例(文献11より引用)

運動後から	リカバリー内容	留意点	実施例
10分以内	アクティブリカバリー	最大酸素摂取量の30~60%の運動強度 スタティックストレッチング	軽運動、ストレッチング
20分以内	栄養・水分補給	体重1kgあたり1.2gの糖質 分岐鎖アミノ酸(BCAA)の摂取	スポーツドリンク、スムージー リカバリースナック
30分以内	ハイドロセラピー *移動がある場合は代わりにコンプレッションウェア	筋損傷・筋痛を伴う場合: アイスバス 筋損傷・筋痛を伴わない場合: 交代浴	上肢へのダメージがある場合は肩まで漬かる バスタブを冷水浴にし、温水シャワー
60分以内	栄養補給	筋損傷を伴う場合はタンパク質を多く含む 個人に合わせた炭水化物量の摂取	栄養フルコースの食事
60分以降	コンプレッションウェア	夜の入浴まで着用 不快感があれば実施しない	リカバリー用のコンプレッションウェア 下肢全体のものや下腿のみ
就寝前	睡眠	入眠を妨げるものをしない 筋損傷を伴う場合は就寝前の温浴はしない	温浴しない場合はシャワーのみとする 炭酸泉
翌日	アクティブリカバリー *筋損傷がある場合はアイスバス	試合翌日の場合リザーブの選手と分ける	アクアティックリカバリー、軽運動、マッサージ

- Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc.* 24(5): 512-520, 1992.
5. 藤田英二, 末次真啓, 森崎由理江. アイスバスがサッカー競技における特異的体力テストのパフォーマンスに与える影響. *日本アスレティックトレーニング学会誌.* 3(1): 45-52, 2017.
 6. Grandjean, AC, NR Grandjean. Dehydration and cognitive performance. *J Am Coll Nutr.* 26(5): 549S-554S, 2007.
 7. Hayashi, M, M Watanabe, T Hori. The effects of a 20 min nap in the mid-afternoon on mood, performance and EEG activity. *Clin Neurophysiol.* 110(2): 272-279, 1999.
 8. Hooren, BV, JM Peake. Do we need a cool-down after exercise? A narrative review of the psychophysiological effects on performance, injuries nap the long-term adaptation response. *Sports Med.* 48(7): 1575-1595, 2018.
 9. Ihsan, M, G Watson, CR Abbiss. What are the physiological mechanisms for post-exercise cold water immersion in the recovery from prolonged endurance and intermittent exercise? *Sports Med.* 46(8): 1095-1109, 2016.
 10. Juliff, LE, SL Halson, JJ Peiffer. Understanding sleep disturbances in athletes prior to important competitions. *J Sci Med Sport.* 18(1): 13-18, 2015.
 11. 笠原政志, 山本利春. スポーツ選手における戦略的リカバリー. *トレーニング科学.* 28(4): 167-174, 2017.
 12. 河野一郎. 臨床スポーツ医学における疲労の考え方. *臨床スポーツ医学.* 7(7): 777-780, 2000.
 13. Kellmann, M, M Bertollo, L Bosquet, M Brink, AJ Coutts, R Duffield, D Erlacher, SL Halson, A Hecksteden, J Heidari, KW Kallus, R Meeusen, I Mujika, C Robazza, S Skorski, R Venter, J Beckmann. Recovery and Performance in Sport: Consensus Statement. *Int J Sports Physiol Perform.* 13(2): 240-245, 2018.
 14. Machado, AF, PH Ferreira, JK Micheletti, AC de Almedida, IR Lemes, FM Vanderlei, J Netto Junior, CM Pastre. Can water temperature and immersion time influence the effects of cold water immersion on muscle soreness? A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 46(4): 503-514, 2016.
 15. 三島和夫. 睡眠の概念とその生理的意義. *睡眠科学.* 化学同人, 東京. 1-14, 2016.
 16. 森谷敏夫. 筋疲労. *呼吸.* 9(8): 965-972, 1990.
 17. 日本スポーツ協会. *スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック 第5版.* 2019.
 18. Roberts, LA, T Raastad, JF Markworth, VC Figueiredo, IM Eqner, A Shield, D Cameron-Smith, JS Coombes, JM Peake. Post-exercise cold water immersion attenuates acute anabolic signaling and long-term adaptations in muscle to strength training. *J Physiol.* 593(18): 4285-4301, 2015.
 19. Sawka, MN, LM Burke, ER Eichner, RJ Maughan, SJ Montain, NS Stachenfeld. American College of sports medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc.* 39(2): 377-390, 2007.
 20. 下光輝一, 小田切優子, 坂本歩, 小松尚子, 大谷由美子. 長時間持久運動選手における心身医学的研究. *心身医療.* 9(3): 304-311, 1997.
 21. Stephens, JM, SL Halson, J Miller, GJ Slater, CD Askew. Influence of body composition on physiological responses to post-exercise hydrotherapy. *J Sports Sci.* 36(9): 1044-1053, 2018.
 22. Versey, NG, SL Halson, BT Dawson. Water immersion recovery for athletes: Effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports Med.* 43(11): 1101-1130, 2013.

著者紹介



笠原 政志 :
 2015年にAustralian Institute of Sportの客員研究員としてリカバリー研究に従事する。現在は現職にて学生トレーナー教育をしながら、臨床・研究・教育に取り組んでいる。専門はパフォーマンス向上とスポーツ傷害予防のためのコンディショニング。

疲労回復と食生活(栄養)

麻見 直美, Ph.D., 管理栄養士, 筑波大学体育系 准教授

「You are what you eat.」身も心も、食べたものからなる。食べたものによって身体(からだ)はつくられ、食べたものを利用してあらゆる生命活動を営んでいる。食べたものを利用して(使って)、呼吸し、動き、考え、食べ、寝る。したがって、栄養の観点から疲労についてみると、あらゆる生命活動を行なったことによってからだに消費した状態と表現できる。すなわち疲労回復には、その消費した成分を補給(補充)する必要があると表現できる。その消費した成分が栄養素であって、それを補給することが「食べる」ことの本質である。運動の実施やスポーツ活動においては、よりからだを酷使することとなるため、からだはより大きなダメージを受ける。この場合は、消費分を補給することに留まらず、修復するための材料としても栄養素が必要で、より「食べる」ことが重要となる。さらには、効率の良い疲労回復には「食べる」タイミングも重要となることが明らかとなってきた。

1. エネルギーの充足状況

栄養はからだの基本である。疲労と栄養を考える際、大前提として留意すべきことは1日で消費したエネルギー量に見合った食事をするることである。さらに、からだを鍛えて筋量を増やそうとするなど、大きくなろうとしている(成長期を含む)時は、1日に消費するエネルギー量以上のエネルギーを摂取しなければ、からだは現状を超えて良くなることはない。

アスリートの食事内容を調べてみると、思った以上に摂取エネルギー量が少ないと感じることがしばしばあ

る。消費エネルギー量が摂取エネルギー量を上回っていると、からだは不足分を補うために、からだを削ってエネルギーを作り出すことになる。蓄積された体脂肪を分解してエネルギーを得るだけでなく、筋をも分解してエネルギーに変換する(10)。体脂肪が利用されてから筋分解が始まるわけではなく、エネルギー不足の比較的早い段階から筋分解が起こる(10)。このようなエネルギー不足の状況はからだにとってはストレスであり、疲労をもたらすことになる。したがって、消費エネルギー量に見合った食事をするところこそ最重要である。筋量増加を狙ったトレーニング下や成長期、リハビリなど回復期などにおいては、よりエネルギー量の補充が不足しないようにする必要があるので、そうでなければ目標は達成できないし、疲労を生じさせ、疲労が蓄積され、疲労からの回復もできない。トレーニング下や成長期、回復期はエネルギー消費量が増大するので特に注意が必要である。したがって、日頃から疲労感がある場合は、まず、食事内容を見直し、消費したエネルギー量を補充できているか確認することこそ重要となる。消費エネルギー量に見合ったエネルギー補充の食事ができているかどうかを知るための、簡便で、誰もがする方法としては、体重測定による管理法がある。消費分摂取できていれば体重は維持される。消費が上回れば体重が減少する。摂取が消費を上回れば体重増加となる。もちろん、体重による管理においては、その測定のタイミングは重要である。比較をするのであるから、できるだけ同質の条件下で測定を行なう必要がある。そうしないと水

分状態の影響や飲食したものそのものの重量の影響を受けてしまうからである。

疲労した状態にあると、食べる気力もない。力も残っていない。そんな場合もある(かもしれない)。しかし、「超回復」の理論によっても説明されるように、元の状態まで戻すためには、さらには元の状態を超えていくためには、消費したものを補うことは必須であり、食べられないほど疲れている時こそ食べるのが重要になる。その場合も、まずはエネルギーの補給である。最低限のこととして、エネルギーの補給は必須である。

また、スポーツにおいては、減量をやむなく行なわなければならないことがある。そのような場合は消費した分、失った分と同程度補給することは叶わない。すなわち、疲労しやすい状況であり、疲労も蓄積しやすく、疲労からの回復も難しい状況となるといえる。このような場合は特に、エネルギー摂取以外の各種栄養素等摂取の過不足がないようにする重要性が増すとともに、後述する抗酸化成分の適切な利用が重要となる。

2. 栄養素等摂取バランスの良い食事の必要性

前述のとおり、栄養はからだの基本である。望ましいからだの状態の維持に栄養素等摂取バランスの良い食事が必須となることは言うまでもない。疲労する状況下では消費するエネルギー量は通常より多い場合が多く、エネルギーのみならず消費する栄養素等も増加している。したがって、それらを適切に補充することは必須である。周知

のとおり、エネルギーの産生にはエネルギー源となる栄養素のみならず、それを代謝するために必要となる栄養素も必要である。消費エネルギー量が増加すれば、例えば、ビタミンB群の必要量も増加する。筋がダメージを受ければ、その修復にたんぱく質の必要量が増加する。からだを修復し元に戻す、さらには超回復によって元以上のからだを獲得するための代謝においては、その代謝分のエネルギー消費も増加する。つまり、エネルギー量だけ過不足のないように配慮すればよいわけではない。変化に伴って増加する各種栄養素等の摂取も増やす必要がある。なお、栄養素等はそれぞれ相互に作用する。したがって、そもそも望ましい栄養素等摂取バランスの食事である必要がある。手軽に栄養素等摂取バランスの良い食事をするコツは、主食・主菜・副菜・牛乳乳製品・果物を揃えた食事の摂取を目指すことである。スポーツ活動においては、それに伴い消耗する栄養素等の量も多くなることから、毎回の食事において、「主食・主菜・副菜・牛乳乳製品・果物」の揃った食事を目指すことが重要である。

3. エネルギー補給を中心に考えた栄養素等摂取のタイミング

運動時に疲労を感じる原因には、からだと脳におけるグリコーゲン不足がある。筋肉内のグリコーゲンが枯渇すると、筋肉は収縮が困難になり、思うようにからだを動かすことができなくなる(8)。また、脳内のグリコーゲンが減少すると、中枢性疲労によって、運動機能や認知機能が低下する(5)。

運動中のグリコーゲン不足を防ぐためには、こまめにエネルギー源、特に糖質を摂取し、体内に蓄積したグリコーゲンをできるだけ維持することが重要である。糖質が素早くエネルギーに変換される栄養素だからである。ただし、ここでも重要なのは消費と補給のバラ

ンスで、競技特性やポジションなどによる運動量の違いを考慮する必要がある。例えば、テニスと野球と陸上競技では、選手の活動量は全く異なる。野球では、投手か捕手か、外野手かによって、大きく変わる。陸上競技では専門種目の違いや走る距離によっても大きく変わる。同じ競技においても(同じヒトにとっても)期分けによって運動量は変わる。したがって、運動量を考慮し、運動による疲労を抑えるためには、運動前・中・後の栄養摂取が重要になる。一般的には、運動前にはエネルギーを補給し、運動中のエネルギー不足を防ぐ必要がある。学校における部活動では、校則によって間食が禁止されている場合が多く、解決策は難しいが、部活動前のエネルギー補給などは考えたい一面である。

運動中には、栄養補給だけでなく、水分補給も重要である。糖質と水分を同時に補給できるスポーツドリンク摂取などが好例といえる。運動中は摂取するものの消化や吸収が運動の妨げになりにくいものである必要もある。

運動後の栄養摂取は、筋損傷や炎症を起こしているからだの組織を修復し、疲労を回復させるとともに、さらに強いからだをつくるための材料となるためにも非常に重要である。「ゴールデンタイム」は一般的にもよく知られており、運動後30分以内の栄養補給は効果的とされる(1)。その際の補給においては、糖質とたんぱく質を3対1の割合でとるとよいとされている(4)。ただ、この割合は競技特性やからだづくりの目的によっても異なり、例えば筋量を増やしたいのであればさらにたんぱく質の比率を増やすべきである。長距離走選手のように、体重増加が競技に有利ではないような場合では、糖質を多くとったほうがよいだろう。また、成長期にある選手では、糖質の量に合わせて1対1となる程度までたんぱく質の摂取量を増やし、十分な栄養を確

保するのが望ましい。注意したいのは、糖質とたんぱく質の摂取割合は事例ごとに異なる点である。糖質は、運動によって消費したグリコーゲンを補い、疲労を回復させたり、筋肉の分解を防いだりする。たんぱく質は損傷した筋肉を修復し、さらに強い筋肉へと成長させる。目的に合わせた摂取割合への配慮が必要である。

ほかには、効率よく糖質をとりたいために、非常に甘いものや、血糖値が素早く上昇するGI値の高い食品をとる場合もある。血糖値が上昇すると満腹中枢が刺激され、満腹感を覚えるため(3)、運動後から食事までの時間が短い場合には、血糖値が十分に下がらずに満腹感が残ったまま食事が減ってしまうことがあるので、注意が必要となる。ゴールデンタイムにおける栄養素等補充も重要であるが、1日の総量で考えて、十分な栄養を摂取できているかどうかを確認する必要がある。特に、運動後のゴールデンタイムに栄養をとると、その後の食事が減ってしまうという場合は、ゴールデンタイムにおける補給量を抑えたり、血糖上昇が緩やかな低GI値のものをとったりするなど、1日の総量に悪影響が出ないように気をつける必要がある。

このように、目的に応じた摂取タイミングを考慮することが疲労回復と食生活においても重要である。

4. 抗酸化成分の摂取

からだへのダメージに関係する要因のひとつに活性酸素がある。活性酸素とは、大気中の酸素よりも活性化された酸素で、酸素を利用すると一定の割合で生じる。活性酸素は体内の免疫機能や細胞間のシグナル伝達などの重要な働きをする一方、過剰に生産されると、細胞を傷つける要因となり、疲労をももたらす(9)。酸素を多く利用する状況下、すなわち運動やスポーツにおいては、活性酸素量が増え、過剰な状態

に陥りやすい。もともとヒトには抗酸化防御機構が備わっており、平常時においては、活性酸素の産生と抗酸化防御機構のバランスはとれているが、高強度の運動やストレスなどで活性酸素量が増え、抗酸化防御機構の能力を上回ると、それが酸化ストレスとなり、からだにダメージを与えることになるのだ。このようなときには、抗酸化成分を外から取り入れ(ヒトにおいては食すことで体内に摂り入れ)、余分な活性酸素を除去する必要がある。

活性酸素の発生を抑えたり、活性酸素そのものを取り除いたりする働きがある抗酸化成分には、抗酸化ビタミンであるビタミンC、ビタミンEや、緑茶やコーヒー、ブドウなどに含まれているポリフェノールや、緑黄色野菜やサケなどの魚類に含まれているカロテノイドなどがある。濃い色を呈する色素の多くは抗酸化力が高い。これらは、例えば植物はその場に留まって一生を終えるが、その間に様々なその固体にとってのダメージに繋がるストレスに曝される。紫外線なども許容量を超えればストレスとなる要因の例である。植物はその実をストレスによるダメージから守る手段として抗酸化力に優れた色素を有し、実を守っている。色素の多くは植物にとっての抗酸化防御機構のひとつといえる。ヒトは、活性酸素が過剰に生産される時には、この抗酸化成分を多く含む食材を摂取することで、酸化ストレスを抑えることができ、酸化ストレスによってもたらされるダメージや疲労蓄積を回避することが可能となる。我々の基礎研究においても、カロテノイドのリコピン(7)や、生姜に含まれるジンゲロール(2)、酵素処理ルチン(6)による効果が明らかとなっている。

しかし、抗酸化成分を常に外部からとればよいというわけではない。日頃から、外部から摂取する抗酸化成分ばかりに頼っていると、もともとの抗酸化

防御機構が低下する可能性が指摘されている。何らかの理由で抗酸化物質を摂れなかった時に、自力での酸化ストレスへの対処ができなくなってしまう。したがって、ヒト本来の抗酸化防御機構をしっかりと機能させるために、抗酸化物質の摂取に頼りすぎないことも重要となる。適度な身体活動によって抗酸化防御機構が亢進されることから、この抗酸化能力を高めることも重要である。

したがって、日常においては、自身の抗酸化防御機構を最大限発揮できるような、生活習慣(望ましい食習慣と望ましい運動習慣を含む)を徹底し、スポーツ活動においては、練習強度や練習時間が増す強化合宿中や大事な試合の前などに、職域によっては高強度の身体活動を伴う活動を継続する場合などに、抗酸化成分を多く含む食材や、抗酸化成分のサプリメントを摂るようにする。いまだ誰もが手軽に測定できるわけではないが、現在は酸化ストレス度を知る術もある。どのような場合に抗酸化防御機構を上回った活性酸素が生じ酸化ストレス度が高まるかを知っておいて、そのような状況が起きたら予防的に多めの抗酸化成分摂取に努めるなども有効である。折々に酸化ストレス度の測定が可能場合は、その値をモニタリングして抗酸化成分摂取に活かすとよい。◆

参考文献

1. Aragon, Alan Albert Brad Jon Schoenfeld. Nutrient timing revisited: is there a post-exercise anabolic window? *J Int Soc Sports Nutr.* 10(1): 5. 2013.
2. Hattori, Satoshi, Naomi Omi, Zhou Yang, Moeka Nakamura, Masahiro Ikemoto. Effect of ginger extract ingestion on skeletal muscle glycogen contents and endurance exercise in male rats. *Phys Act Nutr.* 25(2): 15-19. 2021.
3. 平尾和子. 調理科学的視点による糖質含有食品の特性と利用適性に関する研究応用糖質科学. *日本応用糖質学会誌.* 11(1): 2-13. 2021.

4. Kerksick, Chad, Travis Harvey, Jeff Stout, Bill Campbell, Colin Wilborn, Richard Kreider, Doug Kalman, Tim Ziegenfuss, Hector Lopez, Jamie Landis, John L Ivy, Jose Antonio. International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr.* 5: 17. 2008.
5. Matsui, Takashi, Mariko Soya, Hideaki Soya. Endurance and Brain Glycogen: A Clue Toward Understanding Central Fatigue. *Adv Neurobiol.* 23: 331-346. 2019.
6. 麻見直美, 角谷雄哉, 西村栄作, 松井直子, 内田(丸木)裕子, 渡部厚一, 守田稔. 酵素処理イソクエルシトリン、ホエイプロテイン同時摂取が血中アミノ酸濃度に及ぼす影響—ランダム化二重盲検クロスオーバー比較試験—. *薬理と治療.* 48(1): 51-55. 2020.
7. 麻見直美, 片山利恵, 浅野公介, 宮川夏紀, 西野輔翼, 江澤郁子. リコピン摂取が発育期雄ラットの走行トレーニングによる骨塩増量に及ぼす影響. *日本運動生理学雑誌.* 18(1): 11-20. 2011.
8. Ørtenblad, Niels, Håkan Westerblad, Joachim Nielsen. Muscle glycogen stores and fatigue. *J Physiol.* 591(18): 4405-4413. 2013.
9. 和田正信, 坂本誠, 杉山美奈子, 松永智. 高強度運動における筋疲労の要因: 無機リン酸, グリコーゲンおよび活性酸素種の影響. *体育学研究.* 51(4): 399-408. 2006.
10. Wasserfurth, Paulina, Jana Palmowski, Andreas Hahn, Karsten Krüger. Reasons for and Consequences of Low Energy Availability in Female and Male Athletes: Social Environment, Adaptations, and Prevention. *Sports Med Open.* 6: 44. 2020.

著者紹介



麻見 直美:
筑波大学体育系准教授。管理栄養士であり、日本体力医学会および日本栄養改善学会評議員を務める。