

特集 国際オリンピック委員会のサプリメント合意声明の紹介

間接的にパフォーマンス向上に関わるサプリメントの科学的根拠
Evidence based supplements indirectly related to high-performance in athletes

石橋彩^{1),2)}
Aya Ishibashi^{1),2)}

キーワード：アスリート，サプリメント，コンディション

I. はじめに

サプリメントには、ビタミン・ミネラルなどの必須栄養素やハーブをはじめ、健康の維持・増進、パフォーマンス向上が見込まれる成分など、幅広い製品が含まれる。本稿では、“IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete²²⁾”と“Dairy Supplements for Health, Adaptation, and in Athletes²⁸⁾”を基に、スポーツフーズやダイエタリーサプリメントなどの不足した栄養を補足するサプリメントに加え、疲労からの回復、怪我の予防・改善などパフォーマンス向上に間接的に関わるサプリメントについて概説する。

II. スポーツフーズ

アスリートは、日々のトレーニングによるエネルギー消費量に見合ったエネルギーや各種栄養素を摂取することが求められる。しかしながら、アスリートが通常の食事のみで、これらの摂取量を満たすのは現実的でない。そのため、状況によって利便性の高い（準備にかかる時間、持ち運びやすさ、簡易性、易消化性など）スポーツフーズを使用して、栄養素の摂取目標量を満たすことが必要な場面もある。表1にスポーツフーズの種類と

それぞれの用途を示す。

III. ダイエタリーサプリメント

食事から不足する栄養素を補うために摂取するサプリメントをここでは「ダイエタリーサプリメント」と定義する。ここでは、日常的な食事で不足するリスクが高いと考えられるビタミン・ミネラルとして“ビタミンD”、“鉄”、“カルシウム”を取り上げる。

1. ビタミンD

体内でのビタミンDは、主にカルシウムとリンの吸収と代謝を調整し、骨の健康状態を維持する重要な役割を担う。それに加えて、怪我の予防・回復、神経筋機能の改善、タイプII繊維の肥大、炎症の軽減、疲労骨折のリスク軽減などが報告されており、血中濃度を低下させないことが望ましい。体内におけるビタミンDの充足を定義づける血清25(OH)ビタミンD濃度(ビタミンD状態の評価指標)のコンセンサスは得られていないが、多くの研究では80 mmol/L (32 ng/mL) ~ 125mmol/L (50 ng/mL)を維持することによりトレーニングへの適応を最適化できるとして

¹⁾ 国立スポーツ科学センター, ²⁾ 東京大学

¹⁾ Japan Institute of Sports Sciences, ²⁾ The University of Tokyo

E-mail : aya-ishibashi@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

表1. スポーツフーズの種類と用途

	内容	摂取タイミング
スポーツドリンク	水分、糖質、ナトリウム、カリウム	・運動中、後
エナジードリンク※	カフェイン、糖質	・運動前、運動中
スポーツゲル・菓子類	糖質	・運動中
電解質サプリメント	水分、ナトリウム	・脱水による急速減量後 ・持久性運動時など多量の発汗がある場合 ・運動後の急速な水分補給が必要な場合
プロテインサプリメント※	動物(ホエイ、カゼイン、牛乳、卵)または植物(大豆など)由来のたんぱく質	・トレーニングセッション間や運動後 ・成長期 ・多忙なスケジュールや遠征などの移動時
スポーツバー※	糖質、たんぱく質	・運動中のエネルギー(糖質)補給、運動後のリカバリー ・多忙なスケジュールや遠征などの移動時に持ち運べる

※ドーピング禁止物質混入のリスクが比較的高い製品が含まれる。

る⁵⁾。ビタミンDは、紫外線B(UVB)波の曝露を介して、皮膚で合成することができるが、南北33°以上の緯度では、UVB波が不十分であるため、皮膚でのビタミンD合成量は少ない¹⁶⁾。皮膚へのUVB波の暴露は、ビタミンD供給源の90%を占めるため、一部の屋内競技や冬季競技のアスリートではビタミンD欠乏が懸念される。

ビタミンDの必要量は、現在の栄養状態により判断すべきである。ビタミンDの過剰摂取では、副作用(高カルシウム血症、腎結石、腎石灰化など)のリスクがあり、理由もなくビタミンDを摂取することは推奨されていない。Owens et al. (2017)は、高用量のビタミンD(12週間、35,000または70,000IU/週)を投与したエリートアスリートでは、血清25(OH)D濃度を増加させたが、副甲状腺ホルモンを代償的に減少させた²⁶⁾。サプリメントによるビタミンDの摂取は、1日あたり10,000IUであれば副作用のみられない

耐容上限量であると報告されているが¹⁴⁾、摂取量を検討する際には、最初に血液検査を行い体内での栄養状態を確認することが賢明である²⁰⁾。

2. 鉄

貧血の有無に関わらず、生体内の鉄欠乏は筋機能を損ない、トレーニングへの適応やパフォーマンスを低下させる。アスリートにおける鉄欠乏予防のための鉄の摂取量(推奨量)は、女性18mg/日以上、男性8mg/日以上とされている²²⁾。しかし、ヘモグロビンが12g/dL以下の鉄欠乏性貧血と診断された場合には、高用量の経口鉄サプリメント(100mg/日)の3ヵ月間の摂取は鉄欠乏性貧血の改善のために有効としている報告もみられる²⁵⁾。このように、鉄欠乏に該当するアスリートは、定期的な血液検査や食事調査を実施した上で、食事での鉄摂取量を増加させるとともに、高用量の経口鉄サプリメントの補給が必要な場合が

ある。ただし、過剰な鉄摂取は、生体内で活性酸素の産生を促し、毒性の強いヒドロキシラジカルを発生させる。そのため、鉄欠乏でない限り、安易に高用量の鉄サプリメントは服用すべきでない。

3. カルシウム

カルシウムは、骨組織の成長や維持、筋収縮の調節、神経伝達に特に重要な働きを有する。骨密度検査は、慢性的なカルシウム摂取不足の指標となる可能性があるが、骨密度にはビタミンD欠乏や摂食障害などの他の要因も影響するため、カルシウム欠乏を評価する適切な指標とはいえない。エネルギーアベイラビリティが低い、または月経異常を有するアスリートの骨状態を最適化するには、1日あたり1,500 mgのカルシウム摂取量及び1,500～2,000 IUのビタミンD摂取が推奨される²⁴⁾。牛乳が飲めない(乳糖不耐症)やアレルギーなどカルシウムを多く含む食品を摂取できない場合には、カルシウムサプリメントの使用は有効であると考えられている。

食事からビタミンやミネラルの摂取が不足する場合には、サプリメントの使用を検討することが必要な場合がある。しかし、今回取り上げたいいずれの栄養素も過剰摂取の危険性が伴うことを理解すべきである。そのため、定期的に食事調査や臨床評価を行うなど栄養素の過不足をモニタリングし、サプリメント使用の必要性を適切に判断することが重要である(3章、4章参照)。

IV. 間接的にパフォーマンスを改善させる サプリメント

サプリメントの中には、アスリートの日々のコンディションの維持(怪我及び炎症の予防や改善など)や高強度のトレーニングに対する素早い疲労回復を目的とした種類がある。ここでは、上述のようなパフォーマンスを間接的に改善させる可能性のあるサプリメントを紹介する。

1. クレアチン水和物

クレアチン水和物は、パフォーマンスを直接的に向上させる効果だけでなく、高強度運動からの筋回復を促進する働きを有する¹⁵⁾。また、クレアチンと糖質の同時摂取は、グリコーゲン再合成を高めるため^{10),29),33)}、運動後の疲労からの回復を促進させるに有効である。

怪我などの不活動時には、筋量及び筋機能低下に加えて、筋クレアチン濃度が低下する²¹⁾。そのため、リハビリテーション期間中にクレアチンを補給することで、筋クレアチン濃度を維持・増加させることが有益であると考えられる^{12),18)}。

脳震盪後には、脳クレアチンは減少し、代謝が低下した状態となるが、クレアチン補給によって緩和することができる⁹⁾。そのため、クレアチンの摂取は、筋だけでなく脳にも有益である可能性が考えられる。しかし、クレアチン摂取による脳震盪の重篤度の軽減や、脳震盪からの回復を向上させるかについての有益性はさらなる研究が必要である。

2. β -ヒドロキ β -メチルブチレート (HMB)

HMBは、ロイシンの代謝産物であり、食事から摂取することができる。HMBのサプリメントでの摂取としては、約3 g/日が推奨されている。HMBは抗異化作用を有し、筋損傷や筋たんぱく分解を減少させることにより、トレーニング適応を改善する。Deutz et al. (2013)は、10日間のベッドレストを行う高齢者に対しHMBを摂取させることによって、除脂肪体重を維持することに有効であることを示しており¹¹⁾、極端な非活動期間のHMB摂取はリハビリテーションに役立つ可能性がある。HMBは、トレーニングによる筋の適応を助ける可能性があるが、それを否定する研究も報告されており、アスリートに推奨するためには更なる研究が必要である。

3. ω -3系脂肪酸

ω -3多価不飽和脂肪酸は、魚や魚油などの食品に含まれる必須脂肪酸である。特にエイコサペンタエン酸(EPA)とドコサヘキサエン酸(DHA)

は、脳や血管、筋機能、怪我からの回復に及ぼす影響について研究されている^{1),17)}。DHA や EPA 摂取後の認知機能改善については、高齢者やアルツハイマー患者などを対象としたいくつかの研究で報告されている¹⁾。しかし、 ω -3系脂肪酸摂取がエリートアスリートの認知機能やパフォーマンスの改善につながるかどうかは不明である。

ω -3系脂肪酸は抗炎症作用を有し、高強度運動からの回復、特に筋損傷を伴う伸張性収縮運動後には有効である可能性が高い。実際に、サプリメント摂取により運動に伴う遅発性筋痛が減少した報告¹⁹⁾もあるが、すべての研究で一致した研究は得られていない。 ω -3系脂肪酸が不足した場合に欠乏症が生じることを示す十分なデータがないため、アスリートが ω -3系脂肪酸源として食事の代わりに、サプリメントからの摂取が必要かどうかは明らかでない。

4. ビタミン D

ビタミン D は、骨組織に関わる以外にも、上気道感染症の感染リスクを軽減するために重要な働きを有する。多くの研究で、ビタミン D と上気道感染症の発生との間に負の相関を報告している^{3),7)}。上気道感染症に感染するブレイクポイントは $\sim 95\text{nmol/L}$ であり、この濃度より低値を示すアスリートは1回またはそれ以上の症状の発症を経験している。一方、血清 25 (OH) D 濃度が高値を示す場合は、1回かそれ以下の症状の発症であった。持久系競技のアスリートを対象とした同様の研究では、 30 nmol/L 未満の血清 25 (OH) D 濃度を維持していた選手の大部分が、この時点で上気道感染症状を呈していることが報告されている。最も少ない症状は、25 (OH) D 濃度 120 nmol/L 以上の被験者であり¹³⁾、体内のビタミン D 濃度を高めることが、コンディションの維持にも役立つ可能性がある。

5. プロバイオティクス

腸内の微生物は、胃腸管機能、免疫系、運動に影響を及ぼす代謝産物の産生に様々な影響を与え

る。アスリートに関する研究は、(a) 運動中の消化管の問題を予防または軽減、(b) 上気道感染症の影響を軽減、(c) 持久性パフォーマンスを改善する可能性がある。

アスリートを対象とした臨床研究では、プロバイオティクスとして使用されている様々な細菌が存在し、一般的な摂取方法は、4～21週間、 $10^9 \sim 4 \times 10^{10}\text{CFU}$ である²⁷⁾。高強度・長時間の運動は消化管にストレスを与え、不快感、腹部痙攣、胸やけ、吐き気、嘔吐、下痢、内毒素血症などを起こす可能性を高め、パフォーマンスを低下させる。消化管の虚血に対する回復力を高めるためにプロバイオティクスを摂取することは、消化管の問題が発生しやすい持久性競技のアスリートにとって特に重要である。そのため、消化管の問題を起こしやすいアスリート、または下痢や胃腸感染症が起こりそうな地域へ遠征には、プロバイオティクスの摂取が役に立つ可能性が高い。

6. ゼラチンとコラーゲン

Shaw et al. (2017) は、健康的な成人男性にゼラチンとビタミン C の混合サプリメント (15g ゼラチン + 50mg ビタミン C) を摂取させたところ、コラーゲン産生が増強し、血液中のアミノ末端プロペプチド増加を誘引すると報告している³¹⁾。また、コラーゲン加水分解物の補給 ($\sim 10\text{g}$ / 日) は、変形性関節症患者において軟骨を厚化させ²³⁾、アスリートの膝の痛みを軽減することが示唆されている⁶⁾。これらの研究は、ゼラチンとビタミン C の併用やコラーゲン摂取の有益性を示唆しているが、パフォーマンスの変化または損傷からの回復など、エリートアスリートの機能的な有益性に関するデータは得られていない。

7. 抗炎症・抗酸化サプリメント

ウコンの成分であるクルクミンサプリメントは、抗炎症効果を目的として約 5g / 日の用量を摂取されることが多い。これは、アスリートの筋損傷または遅発性筋痛を減少させるために有効である。筋損傷を伴う伸張性収縮運動後の遅発性筋

痛、クレアチンキナーゼ及び炎症性サイトカイン（例；TNF- α 、Interleukin (IL-8)）の減少が認められた報告もある²²⁾。しかし、持久性運動後では、炎症性マーカーの減少（例；IL-6、IL-1、IL-10、CRP）は確認できなかった³⁰⁾。

タルトチェリージュースの摂取により、レジスタンス運動、高強度の伸張性収縮運動、ランニング、自転車運動後の筋損傷・炎症性マーカーが減少することが示されている^{2),8)}。炎症が軽減されることにより、トレーニングへの適応反応が損われる恐れも指摘されているが、短期間で複数の試合が行われるような場合には、適応反応よりも早期の回復と痛みの軽減が優先される²⁾。したがって、クルクミンとタルトチェリージュースの摂取は、一部の競技では有益である可能性が考えられる。

抗酸化ビタミン（ビタミンC、E）の長期間摂取は、トレーニングにより生じた炎症及び酸化ストレスを減弱させる。その一方で、トレーニング適応を低下させ、望ましいトレーニング効果を得られない可能性が示唆されている⁴⁾。この様に、サプリメントはいつどのように使われるかによって得られる効果が異なるため、目的に応じて適切に使用することが望ましい。

V. おわりに

アスリートはサプリメントの使用を決定する前に、食事内容などサプリメントを使用する以外に改善すべき点がないかどうかをよく考えなければならぬ。一方、サプリメントの中には副作用も少なく、アスリートの不足している栄養素を補い、コンディションを維持・改善させるといった科学的根拠が報告されているものも存在する。したがって、アスリート自身がこれらのサプリメントを正しく使用するための知識を持つことは大切である。今回取り上げたコンディションに関わるサプリメントについては、対象者や競技が限定的であり、全てのアスリートに推奨できるわけではなく、今後さらなる研究が必要なものが多いことは今後の課題である。

本稿でとりあげたサプリメントの使用を検討する場合には、医師、スポーツ栄養士やスポーツファーマシストなどの専門家のサポートのもと、サプリメント使用前後の血液検査や体組成、食事調査などを定期的にモニタリングすることにより、そのアスリートにとって適切なサプリメントを使用するためのプロトコルを確立していただきたい。

文献

- 1) Barrett EC, McBurney MI, Ciappio ED. Omega-3 fatty acid supplementation as a potential therapeutic aid for the recovery from mild traumatic brain injury/concussion. *Adv Nutr*, 5(3): 268-277, 2014.
- 2) Bell PG, McHugh MP, Stevenson E, Howatson G. The role of cherries in exercise and health. *Scand J Med Sci Sports*, 24(3): 477-490, 2014.
- 3) Berry DJ, Hesketh K, Power C, Hypponen E. Vitamin D status has a linear association with seasonal infections and lung function in British adults. *Br J Nutr*, 106(9): 1433-1440, 2011.
- 4) Braakhuis AJ, Hopkins WG. Impact of dietary antioxidants on sport performance: A Review. *Sports Med*, 45(7): 939-955, 2015.
- 5) Cannell JJ, Hollis BW, Sorenson MB, Taft TN, Anderson JJ. Athletic performance and vitamin D. *Med Sci Sports Exerc*, 41(5): 1102-1110, 2019.
- 6) Clark KL, Sebastianelli W, Flechsenhar KR, Aukermann DF, Meza F, Millard RL, Albert A. 24-Week study on the use of collagen hydrolysate as a dietary supplement in athletes with activity-related joint pain. *Curr Med Res Opin*, 24(5): 1485-1496, 2008.
- 7) Cox AJ, Gleeson M, Pyne DB, Callister R, Hopkins WG, Fricker PA. Clinical and laboratory evaluation of upper respiratory symptoms in elite athletes. *Clin J Sport Med*, 18(5): 438-445, 2008.

- 8) de Lima LCR, de Oliveira Assumpcao C, Prestes J, Sergio Denadai B. Consumption of cherries as a strategy to attenuate exercise-induced muscle damage and inflammation in humans. *Nutr Hosp*, 32(5): 1885-1893, 2015.
- 9) Dean PJA, Arikian G, Opitz B, Sterr A. Potential for use of creatine supplementation following mild traumatic brain injury. *Concussion*, 2(2): CNC34, 2017.
- 10) Derave W, Eijnde BO, Verbessem P, Ramaekers M, Van Leemputte M, Richter EA, Hespel P. Combined creatine and protein supplementation in conjunction with resistance training promotes muscle GLUT-4 content and glucose tolerance in humans. *J Appl Physiol* (1985), 94(5): 1910-1916, 2003.
- 11) Deutz NE, Pereira SL, Hays NP, Oliver JS, Edens NK, Evans CM, Wolfe RR. Effect of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) on lean body mass during 10 days of bed rest in older adults. *Clin Nutr*, 32(5): 704-712, 2013.
- 12) Franssen JC, Zuhl M, Kerksick CM, Cole N, Altobelli S, Kuethe DO, Schneider S. Impact of creatine on muscle performance and phosphagen stores after immobilization. *Eur J Appl Physiol*, 115(9), 1877-1886, 2015.
- 13) He CS, Handzlik M, Fraser WD, Muhamad A, Preston H, Richardson A, Gleeson M. Influence of vitamin D status on respiratory infection incidence and immune function during 4 months of winter training in endurance sport athletes. *Exerc Immunol Rev*, 19: 86-101, 2013.
- 14) Heaney RP. Vitamin D: Criteria for safety and efficacy. *Nutr Rev*, 66 (10 Suppl. 2): 178-181, 2008.
- 15) Heaton LE, Davis JK, Rawson ES, Nuccio RP, Witard OC, Stein KW, Baker LB. Selected in season nutritional strategies to enhance recovery for team sport athletes. *Sports Med*, 47(11): 2201-2218, 2017.
- 16) Hosseini-nezhad A, and Holick MF. Vitamin D for health: A global perspective. *Mayo Clin Proc*, 88(7): 720-755, 2013.
- 17) Jeromonson S, Gallagher IJ, Galloway SD, Hamilton DL. Omega-3 fatty acids and skeletal muscle health. *Mar Drugs*, 13(11): 6977-7004, 2015.
- 18) Johnston AP, Burke DG, MacNeil LG, Candow DG. Effect of creatine supplementation during cast-induced immobilization on the preservation of muscle mass, strength, and endurance. *J Strength Cond Res*, 23(1): 116-120, 2009.
- 19) Jouris KB, McDaniel JL, Weiss EP. The effect of omega-3 fatty acid supplementation on the inflammatory response to eccentric strength exercise. *J Sport Sci Med*, 10(3), 432-438, 2011.
- 20) Larson-Meyer DE, Woolf K, Burke LM. Assessment of nutrient status in athletes and the need for supplementation. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 28(2):139-158, 2018.
- 21) MacDougall JD, Ward GR, Sale DG, Sutton JR. Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J Appl Physiol*, 43(4):700-703, 1977.
- 22) Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, Rawson ES, Walsh NP, Garthe I, Geyer H, Meeusen R, van Loon L, Shirreffs SM, Spriet LL, Stuart M, VernecA, Currell K, Ali VM, Budgett RGM, Ljungqvist A, Mountjoy M, Pitsiladis Y, Soligard T, Erdener U, Engebretsen L. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 28(2): 104-125, 2018.
- 23) McAlindon TE, Nuite M, Krishnan N, Ruthazer R, Price LL, Burstein D, Griffith J, Flechsenhar K. Change in knee osteoarthritis cartilage detected by delayed gadolinium enhanced magnetic resonance imaging following treatment

- with collagen hydrolysate: A pilot randomized controlled trial. *Osteoarthritis Cartilage*, 19(4): 399-405, 2011.
- 24) Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, Carter S, Constantini N, Lebrun C, Meyer N, Sherman R, Steffen K, Budgett R, Ljungqvist A. The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad-Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med* 48(7):491-497, 2014.
- 25) Nachtigall DP, Nielsen P, Fischer R, Engelhardt R, Gabbe EE. Iron deficiency in distance runners: a reinvestigation using Fe-labeling and non-invasive liver iron quantification. *Int J Sports Med*, 17(7):473-479, 1996.
- 26) Owens DJ, Sharples AP, Polydorou I, Alwan N, Donovan T, Tang J, Fraser WD, Cooper RG, Morton JP, Stewart C, Close GL. A systems-based investigation into vitamin D and skeletal muscle repair, regeneration, and hypertrophy. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 309(12): 1019-1031, 2015.
- 27) Pyne DB, West NP, Cox AJ, Cripps AW. Probiotics supplementation for athletes - clinical and physiological effects. *Eur J Sport Sci*, 15(1): 63-72, 2015.
- 28) Rawson ES, Miles MP, Larson-Meyer DE. Dietary supplements for health, adaptation, and recovery in athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 28(2): 188-199, 2018.
- 29) Roberts PA, Fox J, Peirce N, Jones SW, Casey A, Greenhaff PL. Creatine ingestion augments dietary carbohydrate mediated muscle glycogen supercompensation during the initial 24 h of recovery following prolonged exhaustive exercise in humans. *Amino Acids*, 48(8): 1831-1842, 2016.
- 30) Sciberras JN, Galloway SD, Fenech A, Grech G, Farrugia C, Duca D, Mifsud J. The effect of turmeric (Curcumin) supplementation on cytokine and inflammatory marker responses following 2 hours of endurance cycling. *J Int Soc Sports Nutr*, 12(1): 5, 2015.
- 31) Shaw G, Lee-Barthel A, Ross ML, Wang B, Baar K. Vitamin C-enriched gelatin supplementation before intermittent activity augments collagen synthesis. *Am J Clin Nutr*, 105(1): 136-143, 2017.
- 32) Tipton KD. Nutritional support for exercise-induced injuries. *Sports Med*, 45(Suppl 1): 93-104, 2015.
- 33) Volek, J.S, Rawson, E.S. Scientific basis and practical aspects of creatine supplementation for athletes. *Nutrition*, 20(7-8): 609-614, 2004.