


レビュー

オープンアクセス

ISSN 運動とスポーツニュートリションの最新レビュー：研究および推奨



Chad M. Kerksick^{1*} , Colin D. Wilborn², Michael D. Roberts³, Abbie Smith-Ryan⁴, Susan M. Kleiner⁵, Ralf Jäger⁶, Rick Collins⁷, Mathew Cooke⁸, Jaci N. Davis², Elfego Galvan⁹, Mike Greenwood¹⁰, Lonnie M. Lowery¹¹, Robert Wildman¹², Jose Antonio¹³ and Richard B. Kreider^{10*}

翻訳者：

青柳清治¹、鈴木いづみ²、斉藤裕子¹、眞鍋栄一郎³、田澤梓⁴、新生暁子²、河村美樹⁵、福田志津可⁶、
澁川賢一⁷、坂元美子⁸、廣木武士⁹、小林唯^{2,10}、和田理紗子⁴、大津智仁¹¹、小井土幸恵¹

Seiji Aoyagi¹, Izumi Suzuki², Hiroko Saito¹, Eiichiro Manabe³, Azusa Tazawa⁴, Tokiko Shinjo²,
Miki Kawamura⁵, Shizuka Fukuda⁶, Kenichi Shibukawa⁷, Yoshiko Sakamoto⁸, Takeshi Hiroki⁹,
Yui Kobayashi^{2,10}, Risako Yamamoto-Wada⁴, Tomohito Otsu¹¹, Sachie Koido¹

翻訳者所属：

¹ 株式会社ドーム Dome Corporation

² 順天堂大学スポーツ健康科学部 School of Health and Sports Science, Juntendo University

³ 興和株式会社 KOWA COMPANY, LTD.

⁴ フリーランス栄養士 Freelance Registered Dietitian

⁵ 株式会社名古屋グランパスエイト NAGOYA GRAMPUS EIGHT INC.

⁶ 株式会社馬淵商事 Mabuchi Shoji Co. Ltd.

⁷ 東邦大学理学部 Faculty of Sciences, Toho University

⁸ 神戸女子大学 Kobe Women's University

⁹ 横浜YMCAスポーツ専門学校 Yokohama YMCA Sports College

¹⁰ 國學院大学人間開発学部 Faculty of Human Development, Kokugakuin University

¹¹ 宇都宮文星短期大学 Utsunomiya Bunsei Junior College



抄録

背景：スポーツニュートリションは、常に進化を続けている分野であり、年間に数百もの研究論文が発表されている。2017年だけをとっても、キーワード「スポーツニュートリション」の下で2082報の論文が発表された。その結果、関連文献について情報を常に最新のものにアップデートすることはしばしば困難である。

方法：本稿は、当初は2004年に「国際スポーツ栄養学会誌」を立ち上げるにあたり巻頭論文として発表され、その後、2010年に更新されたスポーツニュートリションレビュー論文を継続的に更新したものである。本稿は、トレーニングおよびパフォーマンスを、運動トレーニングおよび栄養を通じて最適化する上で、関連する科学の最新状況の概略を、参考文献を詳細に挙げて示している。とくに、本研究領域での文献ベースが増大するペースおよび規模が加速しているため、本稿で論じる話題は、筋肥大およびパフォーマンス強化に焦点をあてている。このため、本稿は以下のことについて概要を提供する：1) 政府の規制および監督との関連でのエルゴジェニックエイドおよびダイエタリーサプリメント（翻訳文では栄養補助食品と記す）の定義方法、2) 米国での栄養補助食品の法的な規制方法、3) サプリメントの科学的なメリットの評価方法、4) パフォーマンスを最適化し、回復を促進するための一般的な栄養戦略、5) 骨格筋肥大を増大するための栄養アプローチ、ならびに様々な食事および追加摂取によるアプローチが示す可能性のあるエルゴジェニックな価値に関する現時点での理解の概略。

結論：本最新版レビューの目的は、国際スポーツ栄養学会（ISSN）のメンバーおよびスポーツニュートリションに関心を寄せる人々に、教育、研究、または実践の状況で実施することができ、また多くの一般的なスポーツニュートリション製品およびその成分について有効性および安全性を判断する際の基本的な土台として機能することができる情報を提供することである。

キーワード：スポーツニュートリション、パフォーマンス栄養、ポジションステートメント、レビュー、推奨、有効性、二重盲検、無作為化、プラセボ対照、ダイエタリーサプリメント（栄養補助食品）、エルゴジェニックエイド、体重増加、肥大、強度、能力、パワー

背景

運動および栄養製品に関する論文および広告の科学的なメリットを評価することは、すべてのスポーツニュートリション専門家が持たなければならない重要なスキルである。国際スポーツ栄養学会（ISSN）のメンバーおよび他の支持者が、スポーツニュートリションの最新の知見について最新情報を常に得る手助けとして、「ISSN 運動とスポーツニュートリションレビュー：研究および推奨」が更新されている。本稿の初版は、「国際スポーツ栄養学会誌」（JISSN、当初の名称は「スポーツニュートリションレビュー誌」）を立ち上げたさいの最初の発表であった。本稿は、エルゴジェニックエイドおよび栄養補助食品の定義を提供し、栄養補助食品がどのように法的に規制されているかについて論じる。また、後半のセクションでは、サプリメントの科学的なメリットの評価方法に焦点をあて、パフォーマンスを最適化し、回復を促進するための一般的な栄養戦略を提示する。



最後に、筋肥大を促進し、身体的パフォーマンスを向上すると盛んに宣伝されている多くのサプリメントの有効性について簡単な概略を提供する。本稿で論じられたサプリメントの有効性および安全性を試験した利用可能な学術論文に基づき、本稿で論じられているすべてのサプリメントは、これまでに得られた科学的裏付けの「質」および「量」に応じて 3 つのカテゴリに分類されている：

- A) 有効性を裏付けるエビデンスが強力かつ明らかに安全
- B) 有効性を裏付けるエビデンスが限定的または相反する
- C) 有効性または安全性を裏付けるエビデンスがほとんどないか、まったくない

2010 年に本論文の前版[1]が発表されて以来、分類に関する一般的なアプローチは変わっていないが、新たなサプリメントがいくつか市場に導入され、その後、本稿でレビューされている。この点に関して、多くのサプリメントの追加試験が発表されており、そのため一部のサプリメントは異なるカテゴリに移され、またはレビューから完全に削除されるに至っている。文献に関する我々の解釈または特定のサプリメントに我々が割り当てたカテゴリについて、異論を唱える者がいるであろうことは理解でき、また予想しているが、より多くの研究が利用可能となることで、一部の分類は時間経過とともに変化する可能性があるとの認識は重要である。

* 連絡先: ckerksick@lindenwood.edu; rbkreider@tamu.edu ¹Exercise and Performance Nutrition Laboratory, School of Health Sciences, Lindenwood University, St. Charles, MO, USA
¹⁰Exercise & Sports Nutrition Lab, Human Clinical Research Facility, Texas A&M University, College Station, TX, USA

本論文は、国際スポーツ栄養学会誌 *Journal of International Society of Sports Nutrition* に 2018 年 8 月に発表されたレビューペーパー ISSN exercise & sports nutrition review update: research and recommendations を国際スポーツ栄養学会より青柳清治が許諾を受けて、有志によって作成した。



エルゴジェニックエイドの定義

エルゴジェニックエイドとは、運動パフォーマンス能力の向上またはトレーニング順応の増強をもたらすことができる、すべてのトレーニングテクニック、力学的デバイス、栄養成分または栄養介入、薬理学的な方法、もしくは心理学的なテクニックを指す[2-4]。エルゴジェニックエイドは、個人の運動の準備の補助、運動効率の向上、運動からの回復の促進、または激しいトレーニング中のけが予防を補助する可能性がある。この定義はどちらかといえば単純明快なものであると考えられるが、様々なサプリメントのエルゴジェニックな価値についてはかなりの議論がある。コンセンサスとしては、サプリメントを数週間から数か月にわたって摂取した後に、運動が有意に増強（例：最大強度、走行速度、または特定の運動課題での作業の増加が促進）することが査読を受けた研究論文で示された場合、当該サプリメントはエルゴジェニックであると示唆することである。一方、サプリメントは、運動選手が運動課題を実行する能力を急速に増強したり、運動の単回セッションからの回復が促進したりする場合にも、エルゴジェニックな価値があるとされることがある。ISSN は、サプリメントのエルゴジェニックな価値に関して、より幅広い視点を採用している。サプリメントが運動の単回セッションで及ぼす筋量増加およびパフォーマンス強化作用は、最終的にエルゴジェニックな効果または最適化されたトレーニング順応につながる可能性はある。しかし、我々の見解としてこのようなエビデンスは、長期有効性データがないのであれば、「有効性を裏付ける優れたエビデンス」を保証するものではない。本稿では、筋肥大またはトレーニングのパフォーマンスのさらなる増加を促進する上で、成分が有効であることがヒトを対象とした多くの試験で裏付けられている場合、サプリメントは明らかにエルゴジェニックであるとの見解を採用している。逆に、この基準を満たさず、前臨床データ（例：細胞培養またはネズミなどの動物を用いた試験）でのみ裏付けられているサプリメントは、他のカテゴリに分類される。

栄養補助食品の定義および規制

栄養補助食品健康教育法 (DSHEA) および栄養補助食品の安全性

米国議会は、栄養補助食品健康教育法 1994 年 (DSHEA: Dietary Supplement Health and Education Act) を可決し、栄養補助食品を「食品」の特別カテゴリに置いた。1994 年 10 月にクリントン大統領が署名し、DSHEA が成立した。本法規は、食品医薬品局 (FDA: Food and Drug Administration) が当時存在していた食品医薬品化粧品法 (FDCA: Food, Drug, and Cosmetic Act) の規定を歪め、安全で人気のある栄養補助食品製品を公衆から不適切に奪っているとの訴えの中で制定された。

本法規は、「栄養補助食品」の定義を、食事を補助することを目的とし、「サプリメント成分」を含有するものとしている。その定義から、これらの製品の「食品成分」には、ビタミン、ミネラル、ハーブまたはその他の植物、アミノ酸、ならびに酵素、臓器組織、腺抽出物などの物質が含まれる可能性がある。また、サプリメント原材料にはこれらの物質の抽出物、代謝物、または濃縮物が含まれる場合がある。栄養補助食品は、錠剤、カプセル、ソフトジェル、ジェルカップ、液体、または粉末など多様な形態をとる可能性があるが、経口摂取のみを意図していると考えられる。栄養補助食品は、舌下投与、鼻腔内投与、経皮投与、注射、またその他の経口以外の投与経路で市販または販売促進することはできない。サプリメントは、ラベルに表示された情報が当該製品を通常の食品または食事や飲食物の単品として示していないのであれば、バーなどのその他の形態もとることができる。

DSHEA は「栄養補助食品」および「サプリメント成分」を明確に定義し、「新規サプリメント成分 (NDI: New Dietary Ingredient)」に関する特定の基準も設定しており、FDA による行き過ぎが本法規により防がれている。これに加え、また一般に広がっている意見とは逆に、DSHEA は業界を無規制のままにしたわけではない。実際には栄養補助食品業界は、DSHEA があるおかげで FDA によって規制されている。本法規は、FDA が公共衛生の合法的な保護を提供するための権限を確保している。連邦取引委員会 (FTC: The Federal Trade Commission) も、栄養補助食品製造業者または企業が自社の製品について掲げる宣伝内容について管轄権を依然として有している。FDA および

FTC は、共同的に行動して栄養補助食品業界を規制している。この点に関し、栄養補助食品の市販および広告についてこれら 2 つの規制当局の間でますます情報が共有され管轄権が重複するようになっている。

米国では、栄養補助食品は医薬品ではなく食品として分類されており、一般的にサプリメントの製造または消費者への販売前に FDA への製品登録、または FDA の承認取得をする義務はない。しかしながら、栄養補助食品製造業者が自社製品について標榜を行う場合は、当該企業は市販後 30 日以内に当該製品の標榜を FDA に提出しなければならない。これと比較して、例えばカナダでは、2004 年に制定された自然健康製品 (NHP: Natural Health Product) 規制の下、サプリメントはカナダ保健省による審査、承認、および登録を受けなければならない。米国モデルの理論的根拠は、長期にわたる安全な食経験の仮定に基づいており、そのため、追加の安全性データを求める必要性がない。

DSHEA は、サプリメントの市販者に対し、構造/機能表示 (すなわち、当該製品が身体の構造または機能に影響を及ぼすとする標榜) を行っているすべてのラベルに、FDA の免責表示「このステートメントは、FDA による評価を受けていません。本製品は、何らかの疾患の診断、治療、治癒、または予防を目的とするものではありません。」を含めることを義務付けている。栄養補助食品に反対する者は、FDA が栄養補助食品を審査も承認もしていないことの証拠として、しばしばこのステートメントを引用する。しかしながら、ほとんどの食品成分は、長期にわたる安全な食経験があることから DSHEA に準拠する成分として「DSHEA 以前から使用されてきた既存成分 (grandfathered)」とされており、また新規成分を含有する製品は上市する前に FDA の安全性審査のため通知により提出しなければならない。多くのサプリメント成分が 1994 年 10 月以降に栄養補助食品に利用されているものの、安全性審査のために FDA に提出されていないが、明白な栄養成分の追加摂取は一般的に安全である。この点に関し、NIH の栄養補助食品局の「栄養補助食品ラベルデータベース」には 50,000 点を超える栄養補助食品が登録されているが、米国毒物管理センター協会の 2013 年の年間報告 (2015 年に発表) では、死亡で薬物に起因するものが 1692 件であったのに対し、栄養補助食品に起因するものはゼロ件であった [5]。おそらく、より警戒すべきこととして疾病予防管理センターの 2015 年報告があり、それによれば処方薬関連の救急外来受診が 2,287,273 件であったことが示唆されており、これは栄養補助食品に起因する救急外来受診の 3266 件 (23,000 件の来院から、高齢者の錠剤の喉詰まり、アレルギー性反応、監督下のない小児がビタミンを過剰摂取、DSHEA により栄養補助食品と定義されていない成分を摂取した人を除外後に調整) をはるかに凌駕するものである [5]。さらに、最近の Lucado ら [6] による「医療ケアコストおよび利用プロジェクトの統計的概要」は、2010 年には米国人の約 6 人に 1 人が食中毒になっており、食中毒は救急外来での外来治療 370 万件、入院 130 万件、死亡 3000 件と関連したと報告した。もっとも、ハーブ抽出物を含有するサプリメントに起因した可能性がある肝臓および腎臓毒性の症例報告 [7]、ならびに無添加無水カフェインの摂取と関連する過剰投与の症例報告はある [8]。これらを合わせるなら、前述の統計および症例報告は、栄養補助食品の摂取が食品や処方薬物の摂取と同様、一般的には安全であるが、以下に記載した DSHEA および現行の FDA 規制にもかかわらず、有害事象をもたらす可能性があることを示している。

新規サプリメント成分

DSHEA は、新規で試験を受けていない栄養補助食品製品が未知の健康問題を引き起こす可能性があることを認識し、すでに市場にあったサプリメント成分を含有する製品と、同法が制定される前には市販されていなかった新規サプリメント成分を含有する製品とを区別している。「新規サプリメント成分」(NDI) の定義は、米国で 1994 年 10 月 15 日以前に市販されていなかった食品成分とされる。DSHEA は、NDI を含有するサプリメントに対し、より大きなコントロールを FDA に認めている。NDI を含有する製品は汚染食品であるとされ、以下の 2 つの例外基準の 1 つを満たさない限り、FDA の強制措置の対象となる：(1)「食品に使用される物品として食品供給にすでに存在したサプリメント成分で、当該食品が化学的に変化を受けていない形態で使用されたサプリメント成分のみ」を当該サプリメントが含

有している、または (2) 当該製品が州間取引に導入される 75 日以上前に、製造業者または流通業者により、「食経験または安全性に関する他のエビデンス」が FDA に提供されている。最初の基準は、食品供給で化学的変化を伴わずに食品として存在していたことを確立する方法、またはそれを確立する者については触れていない。2 つめの基準は、食品供給にこれまで存在していなかった新規サプリメント成分にのみ適用され、当該製品の製造業者および流通業者に対して特定の処置を取ることを義務付けている。これらの処置には、当該製品を州間取引に導入する 75 日以上前に、新規サプリメント成分を含有する製品が「安全であると合理的に予測される」基礎となる情報を提出することが含まれる。この情報には、以下のものが含まれる可能性がある： (1) 新規サプリメント成分の名称、ハーブまたは植物の場合は、学名、(2) 新規サプリメント成分を含有する栄養補助食品の説明で、これには以下のものが含まれる、(a) 当該製品中の新規サプリメント成分の含有量、(b) ラベル表示に示された当該製品の使用条件、または使用条件が表示されていない場合は、通常の使用条件、(c) サプリメント成分が栄養補助食品のラベル表示で推奨または示唆された条件下で使用された場合に、当該サプリメント成分が安全であると合理的に予測できることを確立する、食経験または安全性に関するその他のエビデンス。

2011 年 7 月に、FDA は業界に対してガイダンス草案を、「栄養補助食品：新規サプリメント成分の通知および関連問題」のタイトルで発表した。ガイダンスは法律または規制としての権限または実行力を伴わないものの、FDA の NDI 草案ガイダンスはこの話題について当局が有している当時の考えを示した。本ガイダンスは大きな議論を呼び、業界が提起したいいくつかの問題に対処するため、FDA は改訂版ガイダンス草案を発行することに同意した。2016 年 8 月に、FDA は 2011 年版ガイダンス草案に代わる改訂版ガイダンス草案を発表した。2016 年ガイダンス草案の目的は、製造業者および流通業者が市販前の安全性通知を FDA に提出すべきか否かの判断の補助、FDA が審査および対応をより効率的かつ迅速に行うことができる形式での NDI 通知の準備の補助、NDI 通知の質の向上であった。2016 年ガイダンス草案は、明確性の欠如およびその他の問題から、企業や業界団体から批判された。これらの問題の一部として、DSHEA 以前（本ガイドラインの適用除外となる既存成分）、成分、他の製造業者が通知をすでに提出している際にも FDA が NDI 通知を求めることについて、明確性の欠如が挙げられる。

「新規」についてのガイダンス草案が明確でないため、多くの NDI 通知が安全性データの不足およびその他の問題から FDA により却下されることとなった。他の企業は、NDI 通知プロセスを「回避」する目的で、「一般に安全と認められる (GRAS: Generally Recognized as Safe) の自己認証」経路の利用を選択している。自己認証 GRAS (Self-Affirmed GRAS) は、企業が科学的専門家のチームに自社の成分の安全性を評価させることである。安全性関係書類一式を FDA に提出する義務はないが、企業は当該成分が FDA により問題とされた場合に依拠することができる内部文書としてこれを使用している。FDA はこの実践に対して懸念を表明しており、NDI 通知の提出を回避する目的で栄養補助食品製造業者が自己認証 GRAS を使用することを奨励していない。いずれにせよ、さらなる改訂版のガイダンス草案が FDA から将来的に出される可能性は高く、通知を提出せずに NDI を市販した企業に対してはより強制的な措置が取られる可能性がある。

有害事象の報告

栄養補助食品業界に対して高まる批判に応え、第 109 回議会は栄養補助食品業界に対する最初の義務的な有害事象報告 (AER: Adverse Event Reporting) 法を可決した。2006 年 12 月に、ブッシュ大統領は栄養補助食品および非処方医薬品消費者保護法の法制化に署名し、同法は 2007 年 12 月 22 日に発効した。議会での盛んな議論および、FDA、米国医師会 (AMA: American Medical Association)、多くの主要サプリメント業界団体、その他の多数からの意見を得たのち、いずれも法律が必要であることに同意し、最終版が全員によって承認された。まとめると、同法は、栄養補助食品に関するすべての「重篤な有害事象」を、米国保健福祉長官に報告することを義務付けている。同法は、栄養補助食品の規制構造を強化しており、消費者が重篤な有害事象を栄養補助食品の販売者

に報告した場合、FDA もそのことについて当然通知されるものと要求できる権利を消費者に付与しているため、消費者の大きな信頼も築き上げている。

有害事象とは、栄養補助食品の使用と関連した何らかの健康関連の事象のうち、有害なものを指す。重篤な有害事象とは、有害事象のうち、(A) 結果として (i) 死亡、(ii) 生命を脅かす経験、(iii) 入院、(iv) 持続的または顕著な障害または機能障害、あるいは (v) 先天的異常または先天的欠損、をもたらすものであるか、もしくは (B) 合理的な医学的判断に基づき、前記 (A) で記述された結果を予防するために、内科的または外科的介入が必要とされるものを指す。重篤な有害事象が発生したと判断された場合、当該サプリメントのラベルに名称が表示されている栄養補助食品の製造業者、梱包業者、または流通業者（責任者）は、受け取った重篤な有害事象のすべての報告を、当該栄養補助食品の市販包装の上または内部にあるラベルのコピーを添えて、保健福祉長官に提出する必要がある。責任者は、重篤な有害事象の通知を受けた後、15 営業日以内に FDA に報告を提出しなければならない。第一報告に続き、責任者は受け取った新規の医学的情報に関するフォローアップ報告を 1 年間提出しなければならない。

汚染サプリメント

FDA は、安全でないサプリメントから消費者を保護するために、様々な選択肢を有している。米国保健福祉省の長官（FDA を配下に置く）は、危険なサプリメントを、公共衛生または安全性に対して「切迫した危害」と宣言し、直ちに当該製品の販売を保留する権限を有している。また FDA は、公衆に対する切迫した危害をもたらさないが、消費者に疾患または損傷の特定リスクをもたらす栄養補助食品から消費者を保護するための権限も有している。汚染製品を州間取引に導入することは法律によって禁じられている。サプリメントは、「疾患または外傷に対する顕著なリスクまたは不当なリスク」を呈する場合、汚染されているとみなされる。規則は、消費者が実際に危害を加えられた証拠、さらには製品がいずれかの者に危害を加えるであろうという証拠を要請していない。麻黄、アンドロステンジオン、DMAA 含有の栄養補助食品が不当なリスクをもたらすと FDA が結論付けたのは、この規定の下であった。最近では、FDA は、アヘンボク（学名：Mitragnya speciose は Kratom としてよく知られている植物の輸入を禁止した。FDA は 2016 年に、輸入警告番号 54-15 を発し、これにより Kratom またはこれを含有する栄養補助食品およびサプリメント成分の原材料は、理学的検査を実施せずに拘留が許可される。汚染サプリメント製品の州間取引への導入に対する有罪判決は、刑事罰の対象となる。栄養補助食品に関連する危害は、処方薬に関連する危害と比較すると微々たるものであると考えられるが、米国司法省の最近の声明は、米国大衆の健康および安全性を保護するため、サプリメント業界を注意深く監視していることを確実に伝えている。

適正製造規範

DSHEA が 1994 年に可決された際に、同法には FDA が栄養補助食品に関する最新の適正製造規範（cGMP: current Good Manufacturing Practices）を確立および遂行することを義務付ける規定が含まれていた。しかしながら、cGMP が最終的に承認されたのは 2007 年であり、2010 年になって初めて業界全体を通じ、企業の大小を問わず cGMP が適用された。cGMP の遵守は汚染問題からの保護に役に立ち、栄養補助食品に対する消費者の信頼度を向上するために機能するであろう。企業が cGMP を遵守するにつれ、これらの規制はベンダー認証、文書管理手順、同一性確認試験など、より厳格な義務を課したことから、市場も改善された。これらのコンプライアンス基準は、業界の評判を損なった問題に対し、品質管理、記録保持、文書化に焦点を当てて対処した。

しかしながら、業界内の一部は、依然として遵守に苦労しているようである。2017 会計年度では、FDA が実施した cGMP 査察、計 656 件のうち、約 23.48% は、栄養補助食品の同一性、純度、強度、および成分の規格が確立できていないとして召喚状が出された。また、これらの査察の 18.47% は、品質管理業務の書面での手順が確立または

順守されていないとして召喚状が出された。原材料供給者からの分析証明書をさらなる検査を行うことなく依拠する、あるいは最終製品の同一性確認試験を実施しないなどにより、合成化学物質やさらには医薬品など、含有してはいけない物質を含有する製品がもたらされる可能性があるのは当然である。業界のすべてのメンバーが、cGMP を確実に遵守する必要がある。

機能性の表示

1990年の栄養表示教育法（NLEA: Nutrition Labeling and Education Act）によれば、FDAはサプリメント成分および食品について、ヘルスクレーム（食品成分と疾患リスクの低減または健康関連状況との関連性を記述する表示。米国ではこれを「ヘルスクレーム」といい、他の構造／機能性表示と区別している。）を審査し、承認することができる。しかしながら、同法が可決して以来、承認されたヘルスクレームはごくわずかしかない。栄養補助食品のサプリメント成分に対するヘルスクレームの審査の遅延から、1995年にはPearson対Shalalaの訴訟が起こされた。数年にわたる訴訟の後、1999年に米国ワシントンDC巡回控訴裁判所は、栄養補助食品に関し、当該表示内容が真実であり適切な科学に基づいている限り、条件付きの（限定的な）ヘルスクレームをFDAの承認により行うことができるとの判決を下した。サプリメントについてのヘルスクレームまたは条件付きの（限定的な）ヘルスクレームを望むサプリメント企業または食品企業は、研究エビデンスを審査のためFDAに提出することができる。

FTCもサプリメント業界を規制している。根拠のない表示は、FTC（および、FDA、州地方検察事務所、Better Business Bureauなどのグループ、集団訴訟を行う原告の弁護士など）による法執行を招く。FTCは、栄養補助食品のベネフィットおよび安全性に関する表示に対し、「適格で信頼性のある科学的エビデンス」の実証的標準を典型的に適用する。FTCの判例法では、「適格で信頼性のある科学的エビデンス」の定義を、「関連領域での専門家の専門知識に基づく検査、分析、研究、試験、またはその他のエビデンスで、その実施および評価について資格を有する者が、正確かつ信頼性のある結果を生み出すと専門家により一般に受け入れられている手順を用いて、客観的方法で実施および評価したもの」としている。FTCは、これには、標的とする市場での対象とする被験者母集団で、実際の製品の有効性を示す2つ以上の臨床試験を提供し、構造／機能表示を裏付けることが含まれる、としている。具体的な要請事項は現在も発展しているが、FTCは、誤解を招く広告、または構造／機能表示に関して、いくつかのサプリメント企業に対応措置を取っている。

将来のより安全な業界に向けて

一部の者は栄養補助食品業界が「野放しである」と主張し、あるいはさらなる規制を提案する可能性があるが、上述したように、栄養補助食品の製造業者および流通業者は、製品が市場に達する前にいくつかの連邦規則を遵守しなければならない。また、これらの業者は製品を上市する前に、自社のサプリメントが一般的に安全であり、DSHEAおよびFDA規制の要求事項をすべて満たすことを裏付けるエビデンスを有していなければならない。この理由から、この20年にわたり、多くの大手サプリメント企業が研究開発ディレクターを雇用しており、栄養および運動に関する啓蒙活動の手助け、製品開発でのインプットの提供、製品の予備研究の実施、また独立の研究チーム（例：大学ベースの研究者、または臨床研究施設）によって実施される研究試験の調整の補助を得ている。これらの企業は、構造／機能表示が、研究で得られた知見の結果を不当に表示するものではないことを保証する責任から、マーケティングおよび法務チームとも相談する。この結果、スポーツニュートリション専門家の仕事の機会が創成されており、また運動および栄養研究に関心を寄せる研究グループにとって外部資金出資の可能性の増加をもたらしている。

一部の企業は、別の食品成分または栄養補助食品に関する研究を不正に自社の製品にあてはめ、好ましくない研究知見を隠匿し、また研究試験の結果を誇張しているが、スポーツニュートリション業界の傾向としては、科学的に適正なサプリメントを開発してきている。研究サポートのこの増加傾向は、以下の結果である：（1）結果について公共

に誠意をもって正確に通知する試み、(2) FDA および FTC のために製品の安全性および有効性を裏付けるデータを得ようとする努力、また (3) 広告の表示を裏付け、販売を増大させるため、科学的エビデンスを提供する努力。さらなる研究へと向かう推進力は、部分的には FDA および FTC による一層厳重な監視によるものであるが、同時に、競争がさらに激化する市場に対する反応でもあり、安全性および有効性を確立することは多くの顧客ロイヤルティを引き寄せ、製品の商品としての寿命を確実に延長する上で有用である。これらの倫理基準を遵守する企業は繁栄する傾向にあるが、一方、遵守しない企業は FDA および FTC のガイドラインの順守で典型的に苦勞する可能性があり、その結果、顧客の信頼性の損失および製品の早期消滅がもたらされる。

製品開発および品質保証

栄養補助食品に関して運動選手、保護者、および専門家からよく寄せられる質問は、その製造方法およびサプリメントの品質に関するものである。栄養補助食品の開発を行う堅実な企業では、研究チームを有し、医学文献および科学文献を丹念に調べ、効果を有する可能性がある栄養素を探し求めている。これらの研究チームは、しばしば学会に参加し、最新の特許、学会で報告された研究概要、研究発表を検討する。代表的企業は、サプリメント製品を開発する前に栄養素に関する基礎研究に投資し、しばしば先進の研究者たちと栄養補助食品およびその商業化の可能性に関するアイデアについて話し合いを持つ。他の企業は、研究が特許、研究概要、または出版で発表されるまで待ち、その後その栄養素を特徴とするサプリメント製品を開発する。新規栄養素または調合物候補を特定したら、次の段階は原材料供給者に連絡し、当該栄養素が入手可能か、価格的に問題がないか、どの程度の量を調達できるか、入手できる純度について確かめる。ときに、企業は、当該栄養素が純粋な形でこれまで抽出されていない、または大量では手に入らないなどの理由から、新規の処理法および精製処理を含む特許の開発研究を進める。評判の高い原材料製造業者は、自社の原材料成分の精度に対し、広範な検査を実施する。新規の成分に取り組む際には、企業は精製された資源が特定されたら、新規栄養素について一連の毒性試験をしばしば実施する。その後、当該企業は安全性関係書類一式を作成し、新規サプリメント成分の合法的な販売が許可されることを望んで、新規サプリメント成分提出として FDA に伝える。

粉末製剤をデザインする場合は、典型的には成分および原材料のリストを香料会社および包装会社に送付し、当該サプリメントのフレーバーおよび包装に関して最善の方法を特定する。栄養業界では、サプリメント企業のために多くの栄養補助食品を製造するいくつかの主要香料会社および包装会社が存在する。評判の高い栄養補助食品製造業者のほとんどは、製造施設を FDA の査察のために提供し、cGMP を遵守しており、栄養補助食品の適正製造の業界基準を代表している。一部の企業は、第三者企業による独立した検査のために自社製品を提出し、自社製品がラベル表示に合致しており、当該製品には様々な禁止物質が含まれていないことを保証する。例えば、NSF International が提供する認証サービスには、製品検査、GMP 査察、継続的なモニタリング、ならびに製品が査察基準および汚染物に対するスクリーニングを遵守していることを示す NSF マークの使用などがある。最近では、企業は自社製品を第三者企業による検査に出し、禁止物質または望ましくない物質について検証している。これらの種類の検査は、運動選手が利用可能となった栄養補助食品に、国際オリンピック委員会や、その他の運動競技管理団体（例：NFL、NCAA、MLB、NHL など）が禁止した物質が含まれていないことを保証する上で有用である。第三者検査は、サプリメントに禁止物質が含まれていないことを保証するものではないが、その可能性は低くなる（例：BSCG、インフォームドチョイス、NSF など）。また、消費者はこれらの検査の結果のコピーを要求することができ、検査を受け、認証を得た各製品をオンラインで調べることも可能であり、運動選手、コーチ、サポートスタッフがいずれの製品を検討すべきかを理解する際に役に立つ。多くの状況では、検査結果のコピーまたは分析の認証を提供しようとなない企業は、警戒の眼でみるべきであり、とくに汚染された製品を摂取した場合に参加資格が奪われる可能性がある選手は注意すべきである。

栄養エルゴジェニックエイドの評価

ISSN は、栄養補助食品の利用を考えている消費者が栄養補助食品のエルゴジェニックな価値を評価する際には、製品の表示の妥当性および科学的メリットを評価する体系的なプロセスを実施することを推奨している[1, 4]。これは、当該サプリメントの背後にある理論的な基本原理を検討し、当該サプリメントが効果的であることを示す十分に管理された研究データがあるか否かを判定することで達成できる。サプリメントが適正な科学的な基本原理に基づいており、直接的な研究で有効性が裏付けられているものは、試してみる価値または推奨する価値があると考えられる。一方、適正ではない科学的結果に基づくサプリメントや、実際のサプリメント/技術のエルゴジェニックな価値を裏付けるデータがほとんどないか全くないものは、試す価値がないと考えられる。スポーツニュートリション専門家は、自分の顧客の福利に影響を及ぼし、より効率的なトレーニングをする上で補助となる可能性がある科学的および医学的研究を顧客が解釈する際に、それを補助する役割を担うべきである。以下の記載は、サプリメントが有する可能性のあるエルゴジェニックな価値を評価する際に尋ねることが推奨されている質問である。

セオリーは意味を成すか？

健康または運動パフォーマンスを向上することを目的として販売されているサプリメントの多くは、基礎科学または臨床研究試験から派生した効果に関する理論に基づいている。これらの予備的な試験に基づき、食品またはサプリメントは、しばしばこれらの基礎研究で観察されたベネフィットをうたって、一般公衆において広告等の販促活動がされる。セオリーは妥当であるように見えるかもしれないが、その過程を反証的に分析すると、科学的な論理の欠如、または示された指標が引用文献と完全に一致していないことがしばしばある。このため、文献を評価することで、食品またはサプリメントが適正な科学的エビデンスに基づいているか、否かを正確に評価することができる。評価ためには、入手可能な研究と密接に関連した研究者が、トレーニング方法、栄養、サプリメントに関するレビューをまず読み、栄養およびハーブサプリメントに関して、参考文献が信頼できるかを調べることを推奨する[1, 9]。この手助けとして、ISSN は、クレアチン[10]、たんぱく質[11]、β-アラニン[12]、栄養摂取のタイミング[13]、カフェイン[14]、HMB[15]、食事の頻度[16]、エナジードリンク[17]、ならびに摂取する食品と体組成の関係[18]に関する話題についてポジションステートメントを発表してきた。これらの各文書は、いずれも各話題の議論に素晴らしい情報を提供するであろう。これに加え、他の研究者および研究グループが栄養補助食品を評価し、文献を解釈することを推奨している。また、本文書で論じられているいくつかの栄養素について、これまでに得られた所見について論じる他のレビュー記事やコンセンサスステートメントを発表している[19-21]。国立医学図書館の Pub Med Online (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>) で、栄養、主要成分、サプリメントについて検索することを消費者に勧める。これらの参考文献に軽く目を通しておくと、ある成分の追加摂取に関する、理論的背景が現実的であるか否かを判断する上で、役に立つことがよくある。エルゴジェニックエイドの支持者は、トレーニング機材および栄養補助食品について、効果標榜を誇張することが多く、一方でエルゴジェニックエイドおよび栄養補助食品の反対者は、しばしば、これらの摂取の有用性を裏付ける研究を知らないか、または無視する。スポーツニュートリションの専門家は、提案されているエルゴジェニックエイドに関連する、有用性のレベルを評価するため、文献を知り、利用可能なデータベースを検索する責任を有する。

当該サプリメントは規則を遵守し、かつ安全か？

最初に考慮すべき課題は、当該サプリメントが規則を遵守しているか、そして安全であるか否かである。いくつかの運動競技協会は、様々な栄養サプリメント（例、プロホルモン、エフェドリンを含有する麻黄、「筋肉形成」サプリメントなど）の使用を禁止しており、多くのプロスポーツ団体は、団体の規定に、チームが利用可能とする製品は、NSF によってスポ

ーツに安全であると認証されていなければならない、との文言を書面に入れている。当該サプリメントが禁止されているのであれば、スポーツニュートリション専門家は、明らかにその使用を防止する必要がある。これに加え、多くのサプリメントは、適切な長期安全性データがない。サプリメントの摂取を考えている人は、サプリメントを使用するか否かについて、情報に基づいた判断ができるよう、副作用の可能性を十分に把握している必要がある。また、これらの人は、知識のある医師と相談し、その製品の使用が禁忌となる可能性がある何らかの基礎的な医学的な問題が存在していないか調べる必要がある。サプリメントの安全性を評価する際には、何らかの副作用が学術誌または医学文献にこれまでに報告されているか否かをチェックすることが推奨される。とくに、特定のサプリメントがどの程度の期間にわたって試験されたか、評価された用量、そして何らかの副作用が観察されたか否かを認識することを勧める。また、栄養素サプリメントおよびハーブサプリメントについて Physician's Desk Reference (PDR) で調べ、何らかの副作用が報告されていないか、また既知の薬物相互作用があるかについても調べることを推奨する。学術/医学文献で副作用がこれまで報告されていない場合は、評価された期間および用量に関して、当該サプリメントは安全であると一般的にみなしている。残念なことに、多くのサプリメントにおいて、使用された期間および用量を再現する基礎的な安全性試験は実施されていない。

エルゴジェニック的価値を裏付ける何らかの科学的エビデンスはあるか？

次に重要なことは、運動選手集団または運動トレーニングを定期的実施する人をターゲットとした、エルゴジェニックエイドの有効性を示すために、十分にコントロールされたデータが入手可能か否かである。最初に見るべき箇所は、製品の効果標榜を裏付けるマーケティング素材で、引用されている文献リストである。引用されている抄録または文献は、一般的な参考文献か、あるいは混合物に含有される栄養素か、それとも実際のサプリメントの有効性を評価した特定試験か？以下で、一連の疑問を投げかけることにより、引用された抄録および文献を反証的に評価する方法を示す：

- 試験は、動物/臨床集団を対象に実施された基礎研究であるか、あるいは運動選手/トレーニングを受けた被験者を対象に実施された試験か？ 俯瞰的な意味で、ラットまたは2型糖尿病と診断された被験者で、パフォーマンスが改善したことを報告する試験は、知見を提供してくれる可能性がある。しかし、糖尿病に罹患していない運動選手を対象に実施された研究は、より実質的であり、効果標榜との関連性は高い。
- 試験は十分にコントロールされていたか？ エルゴジェニックエイド研究において、基準となる試験デザインは無作為化、二重盲検、プラセボ対照臨床試験であることが好ましい。これは、研究者および被験者のいずれも、どのグループがサプリメントまたはプラセボを摂取したかを試験中は認識しておらず、被験者がプラセボまたはサプリメント群に無作為に割付けられたことを意味する。試験の精度をさらに向上させる要因としてクロスオーバー法と呼ばれる試験デザインがあり、各被験者は別の期間にそれぞれの治療に曝露する（それぞれの期間は「ウォッシュアウト期間」と呼ばれる期間を間において分けられる）。クロスオーバー法の利用が常に実現可能であるとは限らないが、この試験デザインにより参加者の個体差に基づくばらつきが抑えられ、その結果、試験で得られる知見のエビデンス強度が増す。ときには、サプリメントの効果標榜は、試験デザインの質が低い試験（すなわち、少数の被験者、対照群なし、信頼性の低い検査の使用など）に基づく、個人の証言に基づいている場合、その解釈はさらに困難になる。十分にコントロールされた臨床試験は、エルゴジェニックな価値の可能性について、また重要な知見の最善な使用方法について、より強力なエビデンスを提供する。
- 試験の報告は統計的に有意な結果であるか、それとも効果標榜が有意ではない平均または傾向に基づいて考察がなされているのか？ 研究結果の適切な統計解析により、バイアスのかかっていないデータ解釈が可能となる。統計的に有意でない、傾向を示している試験は研究者の探求心と呼び、さらなる研究の実施へと導く可能性はあるが、統計的に有意な結果を報告している試験の方が、明らかに説得力がある。これを踏まえた上で、一連の運動もしくは通常の食事アプローチで認められる効果を超えて、栄養補助食品または食事療法がもつ潜在的な効果は、

しばしば小さく見積もる傾向があることを理解することが重要である。これに加え、生化学的もしくは分子生物学的作用機序を検証する多くの試験は、侵襲的な検体採取の技術を必要とし、登録された試験対象集団が特異（極めて強いトレーニングを受けた者）であることもあり試験参加者数が少ない。これらを合わせて観るなら、これら 2 つの要件の組み合わせにより、平均で大きな変化が観察された場合でも、得られた結果は統計的な有意に達しない場合がある。このような状況では、平均変化の信頼区間、調査したすべての被検者からの個々の反応、また効果の程度に関する報告は、より正確な解釈を可能にする追加情報として有用である。このような状況のいずれの場合も、結論を出すためには、エルゴジェニックエイドのポテンシャルをさらに深く検討する研究が必要である。

- 引用された試験の結果は、当該サプリメントについてなされた効果標榜と一致するか、あるいは当該サプリメントに対する反応を適切なプラセボまたは対照群と比較して正確に記述しているか？ マーケティングの効果標榜が実際の試験で得られた結果を大幅に誇張していることは珍しくない。また、プラセボ群の変化と比較してサプリメント（摂取）群がどのように変化したかではなく、サプリメント群内での結果のみに焦点をあてて誇張されることもある。同様に、表向きは説得力のある結果（実際に統計的に有意である）を強調して伝えながら、消費者にとって大切な他の関連知見については曖昧にしたり、排除したりしていることも少なくない（例えば、血中テストステロン値に統計的に有意な上昇をもたらすことを示す栄養補助食品が、体組成の変化または筋肉パフォーマンスの変化はプラセボと比較して優れていなかった）。このことを判定する唯一の方法は、提供された概要さらには論文の引用に焦点を当てて全試験を解釈するのではなく、当該論文全体を読むことであり、試験で得られた結果と利用できるマーケティングの効果標榜とを比較することである。信頼に値する企業は、試験の結果を正確かつ完全に報告しているため、消費者は製品の使用について情報に基づいた正しい判断を下すことができる。
- 試験の結果は、評価の高い学会会議での報告または査読を受ける学術誌での発表であったか？ ときに、効果標榜は、これまで一度も発表されていない研究や、無名の雑誌でのみ発表された研究に基づいている。一般的に、良い研究はしっかりとした学会会議または査読のある評価の高い学術誌で発表される。学術誌の評判を判断する 3 つの方法として次の方法がある：1) 発行者を特定する、2) 学術誌の「インパクトファクター」、3) 当該学術誌がインデックスされ、その後、Pub Med (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>) で閲覧可能か否か。多くのいわゆる「査読を受ける」学術誌は、様々な栄養製品の事業を行っている企業と関連しているか、あるいはこれらの企業所有の会社によって発行されている（これらの学術誌は PubMed で閲覧可能なこともある）。このため、発行者のウェブサイトを見て、他に発行している学術誌の数を確かめることを推奨する。発行されている他の雑誌がわずかしかない場合、これは当該学術誌が評判の高い学術誌ではないことを示唆する。また、過去 6～12 か月間に、当該学術誌で発表された論文数を調べ、これらの論文のうち良好に実施された試験の数を確かめることもできる。あるいは、インパクトファクター、すなわち学術誌の論文が引用された回数で決定される定量的な格付けを調べることもできる。インパクトファクターは、Thomson Reutersが Journal Citation Reports®（定期購読サービスはほとんどの大学の図書館で利用できる）によって決定され発表される。ほとんどの学術誌は、学術誌のウェブサイトにインパクトファクターを記載している。歴史的に見て、最も多く読まれ引用された論文は、科学的なインパクトが最も強いものである。
- 研究で得られた所見は再現されているのか？ 再現されている場合、結果は同一の研究室でのみ再現されているか？ エルゴジェニックエイドが効果を示すか否かを知る最善の方法は、結果がいくつかの試験で、できるならばいくつかの別個の独立した研究グループによって再現されているかを見ることである。最も信頼性の高いエルゴジェニックエイドは、別個の研究室が実施した複数の試験で、同様の安全性および有効性の結果が報告されているものである。これに加え、別個の企業等との提携の無い研究室で、完全に別の著者らによって結果が再現されることで、出版バイアス（好ましい結果のみを示す試験の発表）および利益相反による潜在的交絡因子も排除または軽減

される。エルゴジェニックエイドに関するかなりの数の試験は、当該試験の結果に金銭的に関連のある、もしくはあると考えられる複数の研究者または共著者の共同によって実施されている。これには、研究者がエルゴジェニックエイドを対象とする特許の共同発明者である、栄養補助食品の製造等によって利益を得る特許使用料を受け取っている、当該企業にコンサルタントサービスを提供している、または試験で説明されているエルゴジェニックエイドを所有または販売する会社のストックオプションまたは株式を所有している、など広い範囲にわたる可能性がある。学術論文では、すべての著者に利益相反の開示、および発表論文に利益相反に関する開示を含めることを求める学術誌の数が増えている。これは、より高い透明性および研究の完全性を提供することを目標として進められている。利益相反の開示はそれ自体が研究試験のメリットを損ない、弱めるものではないことを強調すべきである。潜在的な利益相反の公開を促す主な力は、第一に読者に対する透明性であり、その次に、課題解決のための研究、当該試験で得られた知見、著者、さらには試験が実施された研究所や施設が信用・信頼を失う可能性がある何らかの形の利益相反の交絡が、後日明らかにされることを防止するためである。

サプリメントの分類およびカテゴリ分け

栄養補助食品は、炭水化物、たんぱく質、脂肪、ミネラル、ビタミン、ハーブ、酵素、代謝中間体（すなわち、特定のアミノ酸）、または様々な植物／食品抽出物を含有している可能性がある。サプリメントは、一般的に利便性サプリメント（例、エナジーバー、ジェル、ブロック、食事代替粉末、直ちに飲めるサプリメントなど）に分類することができ、これは必要なエネルギーまたは多量栄養素の必要量を満たす便利な手段を提供するとともに、カロリー摂取の管理、体重増加、体重減少またはパフォーマンス強化の試みに向けたサポートを提供するようデザインされている。すでに論じたように、すべての食事、食事プログラム、または栄養補助食品の効果を判断する上で、これまでに得られた学術文献の評価は重要なステップである。このことを考慮し、栄養サプリメントを以下の方法でカテゴリ分けすることができる：

- I. **有効性を裏付けるエビデンスが強力かつ明らかに安全**：適正な理論的根拠を有するサプリメントで、これまでに得られた研究の大半が、関連人口集団を対象に、適切な用量計画書を用いて有効性および安全性のいずれも示しているもの。
- II. **有効性を裏付けるエビデンスが限定的または相反する**：このカテゴリに分類されるサプリメントは、その使用に関して適正な科学的根拠を有しているものの、これまでに得られた研究ではその有効性を裏付ける一貫した結果がもたらされていない。通常、これらのサプリメントは、研究者がその影響を理解できるようになる前に、さらなる研究の完了を必要とする。重要な点として、これらのサプリメントが安全性を欠いている、または危険なものとしてみなさなければならぬことを示唆するエビデンスはこれまで得られていない。
- III. **有効性または安全性を裏付けるエビデンスがほとんどないか、まったくない**：このカテゴリ内のサプリメントは、一般的に適正な科学的根拠を欠いており、これまでに得られた研究はサプリメントに有効性がないことを一貫して示している。あるいは、健康に危害を及ぼす可能性がある、または安全性に欠けるサプリメントも、このカテゴリに入れられる。

定期的に運動トレーニングを完了する個人のカウンセリングを始める際には、いくつかの因子を評価する。まず、運動選手の目標、および運動選手がこの目標を達成するまでに与えられた時間を明確に理解することが重要である。負荷および回復のモニタリングに加え、個人の食事およびトレーニングプログラムの評価も完了しなければならない。これを達成するためには、運動選手がエネルギー的にバランスの取れ、栄養の濃い、かつ推定 1 日エネルギー必要量を満たす食事を摂取しており、理知的にトレーニングを実施していることを確認しなければならない。あまりにも多くの運動選手やコーチが、追加摂取または追加摂取の適用にばかり焦点を当てており、これらの重要な基礎側面を無視している。これに従い、本稿では、運動選手やコーチがカテゴリ I（すなわち、「有効性を裏付けるエビデンスが強力かつ明らかに安全」）

のサプリメントのみを一般的に推奨することを提案する。運動選手がカテゴリ II（すなわち、「有効性を裏付けるエビデンスが限定的または相反する」）のサプリメントの試行に関心がある場合、運動選手は、これらのサプリメントがより実験的なものであり、標榜している種類の結果が得られる場合もまた得られない場合もあることを自身が確実に理解していなければならない。明らかに、ISSN では、カテゴリ III（すなわち、「有効性または安全性を裏付けるエビデンスがほとんどないか、まったくない」）のサプリメントを運動選手が摂取することは推奨しない。このアプローチは科学的に実証されており、単にすべての栄養補助食品の使用の却下と比べ、バランスの取れた視点を提供するものであると考える。

活動的な個人のための一般的な食事ガイドライン

エネルギー必要量を満たし、栄養の適切なタイミングを組み入れ、詳細にデザインされた食事は、優れたトレーニングプログラムをその上に築くことができる土台である[22, 23]。十分なカロリーまたは十分な量の適正な種類の多量栄養素の欠如は、運動選手のトレーニング順応を妨害する可能性があり、一方、エネルギーの必要量を満たしたバランスの取れた食事を摂取する運動選手は、身体的なトレーニング順応の増強が可能であることが、研究から明確に示されている。さらに、トレーニング中にエネルギーが欠乏した食事を継続すると、筋肉量、強度、骨密度の損失に加え、疾患および外傷に対する感受性の上昇、免疫、内分泌、生殖機能の障害、過剰目標または過剰トレーニングの実施増加などをもたらす可能性がある。優れた食事の実践をトレーニングプログラムの一部として組み入れることは、トレーニング順応を最適化し、過剰トレーニングを防ぐ上で有用な方法のひとつである。以下は、活動的な人のためのエネルギー摂取推奨量および主な栄養の必要量の概略である。

エネルギー必要量

栄養を通してトレーニングおよびパフォーマンスを最適化するための主要構成要素は、エネルギー支出を相殺するだけの十分なカロリーを運動選手が確実に摂取することである[22-26]。一般的なフィットネスプログラムに参加する人は（例、1日30~40分間の運動を、週に3回）、運動による消費エネルギー量はあまり大きくないため（例、200~400 kcal/セッション）、通常の食事（例、1800~2400 kcal/日、または体重50~80 kgの人では約25~35 kcal/kg/日）で栄養の必要量を一般的には満たすことができる。しかしながら、中等レベルの激しいトレーニング（例、1日2~3時間の激しいトレーニングを週に5~6回実施）、または高ボリュームの激しいトレーニング（例、1日3~6時間の激しいトレーニングを1~2回のワークアウトで週に5~6日実施）を実施する運動選手は、運動中に1時間あたり600~1200 kcal以上を消費する可能性がある[24]。この理由から、これらの運動選手のカロリー必要量は40~70 kcal/kg/日（体重50~100 kgの運動選手では2000~7000 kcal/日）に達する場合がある。エリート運動選手では、重度のトレーニングまたは競技中のエネルギー消費は、このレベルをさらに上回ると考えられる[27, 28]。例えば、ツール・ド・フランスに参加する自転車選手のエネルギー消費は、12,000 kcal/日（体重60~80 kgの選手では150~200 kcal/kg/日）にも上ると推定されている[29, 30]。これに加え、大型運動選手（例、体重100~150 kg）のカロリー必要量は、様々なトレーニング期間の量および強度に応じて、6000~12,000 kcal/日の範囲にわたる可能性がある[31]。

運動選手は十分にバランスの取れた食事を単にとるだけで、カロリー必要量を満たすことが可能であると主張する者もいるが、大型運動選手および高ボリューム/高強度トレーニングを実施する運動選手では、カロリー必要量を満たせる十分な食事を毎日ベースで摂取することは、しばしばきわめて難しい[2, 29, 30, 32-34]。この点は、Burkeのレビューが明確に強調しており、高レベル運動選手では炭水化物の必要量が大幅に満たされていないことを指摘した[22]。これに加え、十分な食事を摂取し、かつトレーニングまたは競技をピークレベルで実施するための胃腸の快適性を維持することは難しい[35]。トレーニング中にエネルギー不足の食事が続くと、多くの身体的に有害な結果（すなわち、除脂肪体重の低下、疾患、睡眠の質の低下、不完全な回復、ホルモンの増減、安静時心拍数の増加など）、および心

理的に有害な結果（すなわち、トレーニングに対する無気力、ストレスの増大）がしばしばもたらされる[23, 27]。運動選手の食事を栄養的に分析したところ、多くの場合にトレーニング中はエネルギー摂取量がマイナスを維持する可能性が高いことが明らかにされている。エネルギーバランスがマイナスであることにより、走行パフォーマンスの数日前のパフォーマンスが強化される特定個人の場合があるか否かについては、依然として疑問が呈されている[36]。エネルギーバランスがマイナスとなりやすい集団として、ランナー、自転車選手、水泳選手、トライアスロン選手、体操選手、スケート選手、ダンサー、レスリング選手、ボクシング選手、また体重を急速に落とそうとする運動選手などが挙げられる[37]。これに加え、とくに女性運動選手は、関与する運動および女性を取り囲む文化の両方に由来する競技での要求および美的要求に起因して、エネルギー不足となるリスクがある。女性運動選手は、摂食障害の発生率が高いことが報告されている[38]。利用可能エネルギー不足または低下（LEA）は、機能性視床下部性希発月経／無月経（FHA）と関連付けられており、これは体重に対して敏感なスポーツでしばしば報告される。このため、LEA は女性運動選手にとって栄養での重大な懸念事項となっている[39]。このことから、運動選手を対象とするスポーツニュートリション専門家にとっては、個々の運動選手を評価し、関与するスポーツおよび健康の目標に従って運動選手が十分に摂食しており、トレーニングで増加したエネルギー消費量を満たし体重を維持する上で十分なカロリーを摂取していることの確認が重要である。これは比較的簡単であると考えられるかもしれないが、激しいトレーニングによりしばしば食欲が減退したり空腹パターンが変化したりするため、多くの運動選手は空腹を感じていない[37, 38]。一部の運動選手は、満腹感または消化管障害を惹起する素因により、摂食後の数時間は運動しないことを選択する。また、移動およびトレーニングスケジュールにより、食品の入手可能性や運動選手が食べられている食品の種類が制限される場合がある。これは、食事の時間をトレーニングに合わせて計画するよう気を付けなければならないとともに、また運動選手が栄養の高い食品を1日を通して十分に利用できるよう、食事と食事の間のスナック（例、水分、炭水化物／たんぱく質高含有食品、サプリメントバーなど）の確保にも気を配らなければならないことを意味している[2, 33, 40]。この理由から、スポーツ栄養士は、運動選手にエネルギー必要量を満たすため1日4～6回の食事を摂り、食間にスナックを食べることをしばしば推奨する。これらの実際的な懸念から、栄養豊富なエネルギー食品、エナジーバー、高カロリー炭水化物／たんぱく質サプリメントの使用は、運動選手にとって、トレーニング中にエネルギー摂取量を維持するための食事の補填として簡便な方法を提供している。

炭水化物

最適エネルギー摂取の他に、適切な量の炭水化物、たんぱく質、脂肪の摂取は、運動選手がトレーニングおよびパフォーマンスを最適化するために重要である。とくに、またこのことが運動パフォーマンスと関連していることから、激しくかつ高ボリュームのトレーニングセッションおよび競技の前、最中、終了後には、最適な炭水化物が必要であることは明らかである[41]。様々な耐久スポーツおよびチームスポーツ活動で勝敗をかけて競技している運動選手は、炭水化物に対して依存することが知られており、優れたレビュー[42, 43]およびオリジナル研究[44-49]で現在でも強調されている。最適な炭水化物の送達ならびに筋肉および肝臓で損失したグリコーゲンの補充を行うための炭水化物の必要量および戦略について、完全な考察は本稿の範囲外であるが、この話題に関して情報を提供してくれるいくつかのレビューを読者のために参照しておく[23, 41, 50-53]。

このように、一般的なフィットネスプログラムに参加し、必ずしも何らかのタイプのパフォーマンス目標を達成するためにトレーニングしているわけではない者は、通常の食事（すなわち、45～55%炭水化物 [3～5 g/kg/日]、15～20%たんぱく質 [0.8～1.2 g/kg/日]、25～35%脂肪 [0.5～1.5 g/kg/日]）の摂取により、概して1日の炭水化物必要量を満たすことができる。しかしながら、中等度および高ボリュームのトレーニングを実施する運動選手は、多量栄養素の必要量を満たすため、より大量の炭水化物およびたんぱく質（後ほど考察する）を食事で必要とする[50]。炭水化物の必要量に関し、中等度の量の激しいトレーニング（例、1日2～3時間の激しい運動を週に5～6回実施）を実施する運動選手は、典型的には、肝臓および筋肉内グリコーゲンを維持するため、炭水化物5～

8 g/kg/日、または体重 50~150 kg の運動選手では 250~1200 g/日で構成される食事を摂取する必要がある[23, 24, 50]。高ボリュームの激しいトレーニング（例、1日 3~6 時間の激しいトレーニングを 1日 1~2 回のワークアウトで週 5~6 日）を実施する運動選手は、筋肉内グリコーゲンを維持するため、炭水化物 8~10 g/日/kg 体重（すなわち、体重 50~150 kg の運動選手では 400~1500 g/日）を摂取する必要があると考えられる[50]。できるならば、食品の炭水化物の大半は、全粒穀物、野菜、フルーツなどで摂取し、精製糖、でんぷん、加工スポーツニュートリション製品のように胃から急速に排出される食品は、グリコーゲンの再合成を加速された速度で発生させる必要がある状況に限定するべきである[53]。このような状況では、炭水化物の絶対送達（炭水化物 8 g/kg/日超または回復の最初の 4 時間は炭水化物 1.2 g/kg/時間以上）が、摂取のタイミングまたは他の多量栄養素（例、たんぱく質）や非栄養素（例、カフェイン）との併用、または炭水化物の種類（すなわち、グリセミック指数）などの他の戦略に優先する[50]。

運動セッション全体を通じた炭水化物の必要量を検討する場合、いくつかの重要な因子を検討する必要がある。これまでの研究は、運動トレーニングの長期セッション（2~3 時間）を実行する運動選手は、炭水化物を毎分 1~1.1 g または毎時約 60 g の割合で酸化できることを示唆している[41]。いくつかのレビューは、運動中に炭水化物 0.7 g/kg/時を 6~8% 溶液（すなわち、液体 100 mL あたり 6~8 g）で摂取することを提唱している[41, 42, 50, 54]。現在では、種類の異なる炭水化物は、炭水化物の取り込みをもたらす関連トランスポータータンパク質の種類が異なることから、骨格筋での酸化速度が異なることが十分に確立されている[55-59]。興味深い点として、グルコースとスクロースまたはマルトデキストリンとフルクトースの組み合わせは、単一ソースの炭水化物が摂取された場合と比較して、炭水化物酸化の外因性速度が向上することが報告されている[55-63]。これらの試験は、マルトデキストリン 1~1.2 に対するフルクトース 0.8~1.0 の割合が、運動中の炭水化物酸化の最大速度をサポートするようであることを一般に示唆している。高分子量アミロペクチンに関するさらなる研究では、でんぷんの浸透圧低値にはベネフィットがある可能性があり、より大量の消費（100 g/時）ならびにおそらくより大きな酸化速度およびパフォーマンス向上が得られる可能性が示唆されている[64-67]。酸化速度および炭水化物の種類に加え、空腹状態および運動セッションの長さも、運動選手およびコーチが考慮すべき重要な変数として機能する。期間を検討する場合、中等度から激しい運動セッションで炭水化物が一貫してエルゴジェニックな結果を生み出すことを示すためには、運動期間が 90 分を十分に超える長さに達する必要があると関連レビューは述べている[41, 68, 69]。一方、関心事項として、高強度の運動のより短期（60~75 分）セッションが炭水化物の送達からベネフィットを受ける可能性は、すべての試験で示唆されているわけではない。これらの所見に関する現時点でのそれぞれの機序は、より長期の中等度強度の運動中では、枯渇した炭水化物貯蔵の補充であり、一方、より短期のより強度の高い運動セッション中に認められるベネフィットは中枢様式での操作であると考えられている。また、これらのレビューは空腹状態がエルゴジェニックな結果の記録に及ぼす影響も指摘している[41, 68, 69]。この点に関し、試験参加者に運動を空腹状態で開始することを要求する試験ではエルゴジェニックな結果がより一貫して報告されており、他の著者らは、競技運動選手にとってこのアプローチの生態学的妥当性に疑問を呈している[43]。

現在の状況では、最大限の身体パフォーマンスを追い求める運動選手にとって、食事で最適な炭水化物が必要であることに疑問の余地はない。適切な量の炭水化物を毎日摂取することは、いずれの競技運動選手にとっても最も重要な最初のステップである。時間が 2 時間を超えると、炭水化物を送達する必要性も増大し、とくに運動を空腹状態または不完全な回復状態で開始した場合に増大する。運動を中止した後は、筋肉および肝臓で損失したグリコーゲンを最大限に補充するための食事戦略、とくに回復期間が限定されている場合の食事戦略をいくつか検討することができる。これらの状況では、最初の優先事項は炭水化物の積極的な摂取でなければならず、タンパク質と少量の炭水化

物の摂取、炭水化物とカフェインの同時摂取、または特定の形態の炭水化物なども、損失したグリコーゲンの迅速な同化を促進する上で有用となる可能性がある。

たんぱく質

運動選手の食事が必要とされるたんぱく質の量については、大きな論争がある[70-74]。初期には、運動選手はたんぱく質に関する RDA（小児、青年、成人で 0.8~1.0 g/kg/日）を超えて摂取する必要はないと推奨された。しかしながら、過去 30 年にわたる研究から、激しいトレーニングを行う運動選手は、たんぱく質バランスを維持するため、RDA の約 2 倍（1.4~1.8 g/kg/日）のたんぱく質を含む食事で摂取することで恩恵が得られる可能性が示唆されている[11, 70, 71, 73, 75-80]。摂取したたんぱく質の量が不十分な場合、運動選手の窒素バランスはマイナスのまま維持され、タンパク異化作用および緩徐な回復が示唆される。時間経過とともに、これにより筋肉消耗、外傷、疾患、トレーニング不耐性がもたらされる可能性がある[76, 77, 81]。

一般的なフィットネスプログラムを実施する人または単に健康の最適化に関心がある人でも、たんぱく質の必要量は RDA を上回る可能性が最近の研究で示唆されている。Phillips ら[76]、Witard ら[82]、Jager ら[11]、Tipton ら[79]の報告では、現時点のエビデンスから、最適たんぱく質摂取量として 1.2~2.0 g/kg/日の範囲を検討すべきであることが示唆される。この点に関し、Morton ら[83]は、49 の試験および参加者 1863 名を対象にメタレビューおよびメタ回帰分析を行い、たんぱく質の 1 日摂取量として 1.62 g/kg/日が理想的な開始点であると考え、これを超える摂取量は除脂肪体重の増加に何の影響もあたえないと結論付けた。これに加え、また RDA との比較として、運動をしない高齢者（53~71 歳）も、1 日のたんぱく質摂取（例、たんぱく質 1.0~1.2 g/kg/日）をより多くすることで恩恵が得られる可能性がある。最近の報告では、高齢者の筋肉はたんぱく質摂取に対する反応がより緩徐で、また感受性も低く、一般的には、筋タンパク合成を強く刺激するためには 40 g が必要であることを示唆している[84-86]。一方、より若年者を対象とした試験では、運動をしない状況においては、20 g 摂取で筋タンパク合成を最大化することができ[87, 88]、また大きな筋肉群を標的としたいくつかの運動で構成される複数セットの運動後に摂取する場合は、40 g が必要になる可能性がある[89]。このことから、中強度の激しいトレーニングを行う運動選手は、たんぱく質 1.2~2.0 g/kg/日（体重 50~150 kg の運動選手で 60~300 g/日）を摂取し、高強度のトレーニングを行う運動選手は、たんぱく質 1.7~2.2 g/kg/日（体重 50~150 kg の運動選手で 85~330 g/日）を摂取することが推奨される[78, 90]。このたんぱく質必要量は、体重 50~150 kg の運動選手では 1 日に 3 オンス（約 85 g）で 3~15 サービングの鶏肉または魚の摂取に相当するであろう[78]。小柄な運動選手では、この量のたんぱく質は通常の食事で一般的に毎日摂取することが可能であるが、大柄な運動選手ではこの量の食物たんぱく質を摂取することは困難となることが多い。これに加え、運動選手の多くはたんぱく質の栄養障害に影響を受けやすいことが知られており（例、ランナー、自転車選手、水泳選手、トライアスリート、体操選手、ダンサー、スケート選手、レスリング選手、ボクシング選手など）、その結果、これらの運動選手が 1 日のたんぱく質必要量を満たす手助けとして、さらなるカウンセリングおよび教育が必要となる場合がある。この点に関し、運動選手の関与するスポーツにおいて体重や審美性の要求がその競技の基本要素の一部である場合、これを満たすためのエネルギー制限期間では、たんぱく質の摂取、質、およびタイミング、また炭水化物との組み合わせが除脂肪体重、トレーニングの効果、パフォーマンスを維持する上でとくに重要であることを理解する必要性がさらに増すであろう[25]。全体として、窒素バランスを保つため、運動選手が食事での高いたんぱく質を十分な量で確実に摂取するよう注意しなければならないことは言うまでもない。

たんぱく質は、その供給源、アミノ酸プロファイル、たんぱく質が処理または分離される方法に基づいて異なっている[11]。これらの違いは、生物学的活性を有している可能性があるアミノ酸およびペプチド（例、 α -ラクトアルブミン、 β -ラクトグロブリン、グリコマクロペプチド、免疫グロブリン、ラクトペルオキシダーゼ、ラクトフェリンなど）の利用可能性に影響を及ぼす。これに加え、たんぱく質の消化や吸収の速度および代謝活性も、重要な検討事項である[91]。例えば、異な

る種類のたんぱく質（例、カゼイン、ホエイ、および大豆）は、消化速度が異なり、これは全身の異化作用および同化作用、ならびに筋タンパク合成（MPS）の急速な刺激に影響を及ぼす可能性がある[91-96]。このことから、運動選手が十分な量のたんぱく質を食事で確実に摂取するだけでなく、たんぱく質が高品質なものであることを確認するよう気を配らなければならない。低脂肪で良質なたんぱく質の最もよい食材は、皮なしチキン、魚、卵白、脂身のほとんどない牛肉、脱脂乳（カゼインおよびホエイ）で、たんぱく質サプリメントは一般的にホエイ、カゼイン、ミルク、卵たんぱく質を含有している。現在浮上しつつある研究の領域として、様々な植物由来のたんぱく質が筋タンパク合成の増加を刺激する能力[77, 97]、および運動トレーニング順応を促進する能力が検討されている[98]。植物たんぱく質由来のアミノ酸の吸収は、一般に緩徐だが、米たんぱく質由来のロイシンはホエイ由来のものよりも吸収が速いことが明らかにされており[99]、一方、たんぱく質の有する質の差を克服するために消化酵素[100]、プロバイオティクス[101]、HMB[102]を使用することができる。米[98]および豆[103]のたんぱく質は、除脂肪体重および強度ホエイプロテイン様の変化を刺激する能力を有している可能性があることが予備試験の所見から示唆されるが、読者は、多くの他の因子（提供された用量、参加者のトレーニング状況、トレーニングおよび追加摂取の期間など）が最終的にこれらの結果に影響を及ぼし、そのため、さらなる研究が必要であることを理解する必要がある。

運動選手は多くの理由および状況によって、たんぱく質粉末または他の形態のたんぱく質サプリメントで食事を補うことを選択するが、このことはパフォーマンスおよび順応を増加させる上で絶対に必須であるとはみなされていない。栄養的、社会的、感情的、心理的理由から、運動選手が摂取する 1 日のたんぱく質の大半は、食品または食事の一部として取られることが望ましい。しかしながら、高品質な供給源のたんぱく質を効果的に送り届けることが優先される状況が一般的に発生するという現実を我々は理解しており、許容している。Jager ら[11]は、ISSN の最新版ポジションステートメントを発表しており、これは以下のポイントに概略される：

- 1) 短期の運動刺激、とくにレジスタンス運動、およびたんぱく質摂取は、いずれも筋タンパク合成（MPS）を刺激し、たんぱく質摂取をレジスタンス運動の前後に行った場合は相乗的である。
- 2) 筋肉量を構築し、維持するためには、ほとんどの運動選手にとって、総 1 日たんぱく質摂取量は 1.4～2.0 g/kg/日で充分である。
- 3) 低カロリー状態でレジスタンストレーニングをしている者が除脂肪体重の保持を最大化するためには、より高量のたんぱく質摂取（2.3～3.1 g/除脂肪体重 kg/日）が必要と考えられる。
- 4) より高量のたんぱく質摂取（たんぱく質 3.0 g/kg/日超）は、レジスタンス運動と組み合わせた場合、レジスタンストレーニングをしている者の体組成に好ましい影響（すなわち、脂肪重量の低下促進）を及ぼす可能性がある。
- 5) 運動選手が MPS を最大化するための最適たんぱく質摂取量は複雑であり、年齢および最近のレジスタンス運動刺激に依存する。一般的な推奨は、高品質なたんぱく質 0.25～0.55 g/kg、または絶対量 20～40 g である。
- 6) 短期たんぱく投与では、バランスのとれた一連の必須アミノ酸（EAA）に加え、ロイシン含有量 700～3000 mg、またはより高い相対的ロイシン含有量とするべきである。
- 7) たんぱく質は、理想的には 1 日を通して均等に、3～4 時間ごとに投与すべきである。

- 8) たんぱく質の摂取に最適な時間期間は、個人の忍容性の問題である可能性が高いが、運動のタンパク同化効果は長時間持続するものの（少なくとも 24 時間）、運動後の時間が経過するとともに低下する可能性が高い。
- 9) EAA の割合が高く、適切な量のロイシンを含み、迅速に消化されたたんぱく質は、MPS を刺激する上で最も効果的である
- 10) たんぱく質の異なるタイプおよび品質は、たんぱく質の追加摂取後のアミノ酸バイオアベイラビリティに影響を及ぼす可能性があり、完全なたんぱく質供給源はすべての EAA を送達する

脂質

運動選手の脂質摂取量の食事推奨は、運動選手以外で健康を促進するために推奨される食事と比較して、同様かわずかに高いものである。エネルギーバランスの維持、筋肉内トリアシルグリセロール貯蔵の補充、必須脂肪酸の適切な摂取は、運動選手にとって重要であり、いずれも食物脂肪の摂取量増加の理由となる[104]。運動選手のトレーニング状況または目標に応じて、食物脂肪の 1 日摂取の推奨量は異なる。例えば、高脂質食事は低脂質食事に比較して循環血液中のテストステロン濃度を維持する上で優れていると考えられる[105-107]。また、より多量の脂質摂取は、ボリュームタイプの過剰トレーニングで発生しうるテストステロン抑制の記録を裏付ける価値ある仲介的なエビデンスを提供する可能性がある[108]。一般的に、運動選手は中等度の量の脂質（1 日カロリー摂取量の約 30%）を摂取することが推奨されているが、1 日カロリーの最大 50%までの割合なら、定期的な高強度トレーニング中の運動選手は安全に消化することができる[104]。運動選手が体脂肪の低下に関心があるような場合、食事脂質摂取量は 0.5~1 g/kg/日が推奨されており、これにより 1 日の食事脂質摂取量は食事の総カロリーの 20%ほどにまで低下する状況がもたらされる可能性がある[2]。この推奨は、運動選手以外の人を対象とした体重低下試験でこれまでに得られたエビデンスに主に基づいており、これらの人のうち、体重低下および低下した体重の維持に最も成功する人は、食事で摂取する脂質の量が低下した人であるが[109、110]、これが常に当てはまるわけではない[111]。運動選手が食事脂質摂取量を管理する際に補助となる戦略として、優れた食品選択ができるよういずれの食品が様々な種類の脂肪を含有しているかを教育し、脂質量の計算のしかたを教えることが挙げられる[2、33]。

長年にわたり、高脂質食は運動選手に用いられてきたが、大半のエビデンスはエルゴジェニックな有用性を示さず、一貫した消化管の問題を呈してきた[112]。近年では、食事脂質量の増加が及ぼす影響に関して大きな議論が巻き起こっている。一つの戦略である「トレーニングは低く、試合は高く」とは、食事の期間区分の短期パターンを指しており、まずトレーニング中の運動選手は高脂質、低炭水化物食を 1~3 週間摂取し、その後、炭水化物を食事に再導入する。筋肉内順応の結果は理論的にはパフォーマンスに影響を及ぼす可能性があるが[113、114]、一貫したパフォーマンスに対する好ましい影響はこれまで記録されていない[112、115]。高脂質食のバリエーションであるケトジェニックダイエットの人気の高まっている。正確な処方存在しないが、ほぼすべてのケトジェニックダイエットの処方は、1 日カロリーの 70~80%以上を食事脂肪に由来し、中等度の量のたんぱく質（総カロリーの 20~25%、または 2.0~2.5 g/kg/日）を処方し、炭水化物（10~40 g/日）は大幅に欠如している。この食事処方によりエネルギー源としてケトン体への大きな依存がもたらされる。運動選手のケトジェニックダイエットの全体的な有効性に関し、それを裏付けるエビデンスは現在限られており、また結論は一致していない。支持するものとして、Cox ら[116]は、ケトジェニックダイエットにより燃料酸化を移行することで運動持久力が改善する可能性を示したが、一方、Burke ら[115]はオリンピック選手クラス競歩選手集団でパフォーマンスの向上を示すことができなかった。これに加え、Jabekk ら[117]は、レジスタンストレーニングを 10 週間実施するとともにケトジェニックダイエットに従った過体重女性で、体脂肪が低下し、除脂肪体重には変化が認められなかったことを報告した。これまでに得られたエビデンスに限られているうえに、一致していないことから、運

動選手のパフォーマンスを目的とする高脂質食の使用について適切な推奨を出せるようになるには、ヒトを対象としたさらなる研究が完了する必要がある。

戦略的摂食およびエネルギー補給

上述の一般的な栄養ガイドラインに加え、摂取する食事のタイミングおよび組成も、パフォーマンス最適化、トレーニング順応、オーバートレーニングの予防で役割を果たす可能性が研究で示されている[2, 25, 40]、炭水化物が消化され、グリコーゲンとして筋肉および肝臓に同化されるまでには約 4 時間かかる。そのため、運動前の食事は、運動の約 4～6 時間前に摂取する必要がある[40]。これは、運動選手がトレーニングを午後に実施する場合、筋肉および肝臓のグリコーゲンレベルを満たすために朝食がきわめて重要なものとしてみられることを意味する。また、運動の 30～60 分前に炭水化物およびたんぱく質の軽いスナック（例、炭水化物 50 g およびたんぱく質 5～10 g）の摂取は、激しい運動セッションの終盤に向けて炭水化物の利用可能性を増加させる機能があることが研究で示唆された[118, 119]。これは、アミノ酸の利用可能性の増加、運動誘発性のタンパク異化作用の低下、筋肉損傷の最小化としても機能する[120-122]。これに加え、スポーツに合わせて体重または審美性の要求を満たすためにエネルギー制限期間を実行する運動選手は、たんぱく質摂取、品質、タイミング、ならびに炭水化物との組み合わせが、除脂肪体重、トレーニング効果、パフォーマンスを維持する上でとくに重要であることを理解する必要がある[25]。運動が 1 時間以上継続し、とくに運動期間が 90 分を超える場合、運動選手は血糖値の維持、脱水の予防、激しい運動による免疫抑制作用を軽減するため、グルコース/電解質溶液（GES）を摂取する必要がある[40, 123-128]。注意すべき点として、運動の開始時点で絶食状態でない場合と比較して、運動前に運動選手のエネルギーが不足している、または絶食状態ではこの戦略はさらに重要性が増す[68, 69, 129]。激しい運動の後に、運動選手は運動後 30 分以内に炭水化物およびたんぱく質（例、炭水化物 1 g/kg およびたんぱく質 0.5 g/kg）を摂食し、運動後の 2 時間以内に高炭水化物食を摂食する必要がある[2, 74]。この栄養戦略は、グリコーゲンの再合成を加速するとともに、回復を促進[120, 130, 131]すると考えられるアナボリックホルモンプロファイルを推し進めることが明らかにされているが、上述したように、これが該当するのは急速なグリコーゲン蓄積が必要とされる場合か、食事での炭水化物摂取量が適切である場合（6 g/kg/日未満）のみである[53, 132]。言い換えるなら、総炭水化物摂取量および炭水化物摂取のタイミングは、運動選手のトレーニングサイクルおよびセッションの目標に従って個々の選手の要求に合わせる必要がある[112]。最後に、試合の前に 2～3 日かけて、運動選手はトレーニングを 30～50%徐々に減らし、食事で炭水化物 200～300 g を余分に摂取する必要がある[2, 40]。この食事戦略は、試合前に炭水化物貯蔵を過剰飽和にし、持久運動耐容能を向上させることが示されている。このことから、食事の種類、摂取する炭水化物の量、摂食のタイミングは、グリコーゲン貯蔵を最大化し、トレーニング中に利用できる炭水化物を維持すると同時に、過剰トレーニングの発生を減少させる可能性においても重要な因子である。ISSN は、2008 年に栄養のタイミングに関してポジションステートメント[133]を採用しており、これはその後、改訂[13]され、以下のポイントにまとめることができる：

1. 筋肉内および肝臓のグリコーゲン貯蔵の最大化は、高炭水化物食（8～12 g/kg/日）の摂取が最善である。グリセミックインデックス（70 超）を多く含有する積極的な炭水化物摂取（約 1.2 g/kg/時）、カフェイン（3～8 mg/kg）の追加、および中等度用量の炭水化物（0.8 g/kg/時）とたんぱく質（0.2～0.4 g/kg/時）の組み合わせなどの戦略は、グリコーゲン貯蔵の迅速な回復を促進することが示されている。
2. 90 分を超える高強度（70%VO₂max 超）運動は、エネルギー供給および水分調節が問題となる。このような状況では、炭水化物を、炭水化物 30～60 g/時の割合で、6～8%炭水化物-電解質溶液 6～12 オンス（180～360 mL）により、運動の全期間を通じて 10～15 分おきに摂取することが推奨される。この戦略

の重要性は、運動開始前の食事または回復戦略が不十分な場合にさらに高まる。このことから、炭水化物の送達量が不十分な場合に、たんぱく質の追加はパフォーマンスの増強を助け、筋肉損傷を軽減し、血糖値を正常にし、グリコーゲンの再合成を促進する可能性がある。

3. 運動をするいずれの人も、適切なエネルギー（最低 27~30 kcal/kg）およびたんぱく質（1.6~1.8 g/kg/日）を送り届ける食事の摂取、できるなら、一日のうちに等間隔（3~4 時間）で配分されたたんぱく質摂取（0.25~0.40 g/kg/回）を検討すべきである。
4. 効果的な量の必須アミノ酸（10~12 g）を、短時間の間に遊離アミノ酸またはたんぱく質の形で 20~40 g（0.25~0.40 g/kg/回）摂取することで、筋タンパク合成（MPS）が最大限に刺激される。
5. 運動前または後の栄養介入（炭水化物 + たんぱく質またはたんぱく質単独）は、強度および体組成の改善のサポートとして効果的な戦略となりうる。しかしながら、運動前のたんぱく質摂取量（0.25~0.40 g/kg/回）およびタイミング（0~4 時間）は、運動後のたんぱく質摂取がもたらす恩恵に影響を及ぼす可能性がある。
6. 運動後（運動直後~2 時間後）の良質なたんぱく質の摂食は、MPS の増加に一貫した刺激をもたらす。同様の MPS の増加は、運動の直前に良質なたんぱく質を摂食した場合にも示されている。

ビタミン

ビタミンは必須有機化合物で、代謝過程、神経過程、エネルギー合成の調節、および細胞損傷の予防で役割を果たす。脂溶性ビタミンにはビタミン A、D、E、K があり、身体は脂溶性ビタミンを様々な組織内に貯蔵しており、過剰な量が摂取された場合には毒性をもたらす可能性がある。水溶性ビタミンは、ビタミン B の全複合体およびビタミン C で構成される。これらのビタミンは水溶性であることから、過剰摂取されたビタミンは尿に排出されるが、いくつかの例外がある（例、ビタミン B₆ は、過剰量が摂取された場合、末梢神経に損傷をもたらす可能性がある）。表 1 に、脂溶性および水溶性ビタミンの RDA、提唱されているエルゴジェニックな効果、研究知見の概略を提示している。特定ビタミンは様々な健康上の恩恵を有していることが研究で示されているが（例、ビタミン E、ナイアシン、葉酸、ビタミン C など）、運動選手にとってビタミンが有するエルゴジェニックな価値を示した試験報告はほとんど発表されていない[134-138]。一方、運動選手がビタミン欠乏を呈している場合は、追加摂取または食事調節でビタミン状況を是正することで、健康およびパフォーマンスが一貫して改善する可能性がある[139]。例えば、Paschalis ら[140]は、ビタミン C が低値の者に追加摂取を 30 日間実施し、これらの人はビタミン C が高値の男性グループと比較して VO₂max 値（最大酸素摂取量）が有意に低かったことを報告した。さらに、30 日間の追加摂取実施後に、ビタミン C 低値コホートの VO₂max が有意に改善し、同時に酸化ストレスのベースライン値も有意に改善した。重要な点として、一部のビタミンは、酸化損傷を軽減することでトレーニングに対する耐性を増強する上で有用である可能性（例、ビタミン E、C）、または重度のトレーニング中に健康な免疫系を維持する上で有用である可能性（ビタミン C）も、考慮しなければならない。一方、高用量のビタミン C および E の摂取は、運動トレーニングに対する反応でみられる細胞内順応に悪影響を及ぼす可能性があり、最終的に運動選手のパフォーマンスに悪影響を及ぼす可能性があることについて、矛盾するエビデンスが蓄積されている[141-144]。さらに、一般人グループではビタミン D の最適レベルは、筋肉の健康[145]および強度[146]と関連付けられているが、運動選手を対象に実施された研究では、ビタミン D が運動選手にもたらすエルゴジェニックな影響は一般に報告されていない[147、148]。しかしながら、Wyon ら[149]による多義的なエビデンスは、エリートバレエダンサーに対するビタミン D 追加摂取により強度が改善し、外傷のリスクが軽減したことを示唆している。レビューした他のビタミンは、正常な高栄養食を摂取する運動選手にとって、エルゴジェニックな価値はあまりないものと考えられる。運動選手の食事分析は、一般に運動選手が十分なカロリーを摂取せず、その結果、各ビタミンを適切な量で摂取してい

ない可能性を示唆することから、多くのスポーツ栄養士および栄養学者は、運動選手に対し、激しいトレーニング期間中は、低用量の 1 日マルチビタミンまたはトレーニングセッション後のビタミン高含有炭水化物/たんぱく質サプリメントの摂取を推奨している[150]。最後に、運動選手は、様々な健康（パフォーマンス以外）関連の理由からビタミンまたはミネラルの摂取を望む場合があり、これには、高比重リポ蛋白（HDL）コレステロール値の上昇および心疾患リスクの低下のためのナイアシン、抗酸化力のためのビタミン E、筋骨格機能の保存能力のためのビタミン D、健康な免疫系の促進および維持のためのビタミン C などがある。

ミネラル

ミネラルは、多数の代謝過程で必要とされる必須無機元素である。ミネラルは組織の構造、酵素およびホルモンの重要成分、代謝および神経コントロールの調節因子として機能する。運動選手のグループでは、いくつかのミネラルが欠乏しており、また他のミネラルはトレーニングや長期運動のために低下していることが示されている。注目すべき点として、中等度から高強度の運動の連続セッションを通じて、ナトリウム、カリウム、マグネシウムでみられる急性変化は顕著である。このような状況では、運動選手はこれらの損失を補充するために食品および液体を摂取するよう努力しなければならず、同時に、必要なバランスを促進するため、汗成分および体液貯留での生理的順応も発生する。ビタミンと同様、ミネラルの状況が不適切であれば、運動耐容能は低下する可能性があり、ミネラルが欠乏している運動選手に追加摂取が行われた場合、運動耐容能が改善することが示されている[151]。しかしながら、ビタミンおよびミネラル状況が適切である場合に、ミネラル追加摂取によりパフォーマンスが改善することは、科学的報告では一貫して記録されていない[134、152、153]。表 2 に、運動選手の運動耐容能に影響を及ぼすと主張されているミネラルを提示している。レビューしたミネラルのうちいくつかは、特定の状況下で運動選手の健康またはエルゴジェニックに関する価値を有しているようである。たとえば、早期骨粗鬆症に対して感受性のある運動選手では、カルシウム追加摂取は、骨質量を維持する上で有用であると考えられる[151]。女性運動選手での鉄分状況の重要性については、長年にわたって議論が交わされており[154]、より最近の研究では、鉄欠乏症または貧血の傾向がある運動選手は、鉄分追加摂取により運動耐容能を改善できることが強調されている[155、156]。リン酸ナトリウム負荷により、VO₂max および無酸素性作業閾値が上昇し、持久運動耐容能が 8~10%向上する[157]。高気温中での運動トレーニングの最初の数日に、食事で利用可能な塩分（塩化ナトリウム）を増量することは、水分バランスを維持し、脱水を予防する上で有用である。アメリカスポーツ医学会（ACSM）のナトリウムレベルに関する推奨（340 mg）は、小さじ 8 分の 1 未満の塩のナトリウムレベルであり、運動中のナトリウムの摂取に関する推奨ガイドライン（1 時間あたり 300~600 mg または、長時間運動セッション中の塩分 1.7~2.9 g）を表している[158-161]。最後に、トレーニング中の亜鉛追加摂取は、運動トレーニングに反応した免疫状況の変化をサポートすることができる。このことから、いくつかのミネラルは、特定状況下で運動選手の運動耐容能またはトレーニング順応を増強する場合がある。一方、通常の食事を摂食している健康者の運動耐容能またはトレーニング順応に、ホウ素、クロム、マグネシウム、バナジウムが影響を及ぼすことを裏付けるエビデンスはほとんどない。スポーツ栄養学者および栄養士は、特殊状況下では、異なる種類のミネラルが運動選手の健康または身体的パフォーマンス強化をサポートする可能性があることを認識する必要がある。

表 1 提案されている栄養エルゴジェニックエイド - ビタミン

栄養素	RDA	提案されているエルゴジェニックな価値	研究知見の概略
ビタミン A	男性 900 µg/日 女性 700 µg/日	ロドプシン（視物質）の成分で、暗所視に関与。一部はビタミン A 追加摂取によりスポーツ視力が改善すると主張。	ビタミン A 追加摂取により運動パフォーマンスが向上することを示した試験はない[139]。
ビタミン D	5 µg/日（年齢 51 歳未満）	骨の成長および石灰化を促進。カルシウム吸収を強化。カルシウム追加摂取は、骨粗鬆症群で骨損失の予防を助ける可能性がある。	カルシウムとの同時追加摂取は、骨粗鬆症に対して感受性を呈する運動選手で骨損失の予防を助ける可能性がある[707]。しかしながら、ビタミン D 追加摂取は、運動パフォーマンスの増強をもたらさない[139]。
ビタミン E	15 mg/日	抗酸化物質として、激しい運動中のフリーラジカル形成の予防、および赤血球の破壊予防に有用であることが示されており、運動中の筋肉への酸素供給を向上または維持する。一部のエビデンスは、心疾患のリスク軽減または再発性心臓発作の発生率を低下させることを示唆している。	多くの研究で、ビタミン E 追加摂取により運動誘発性酸化ストレスを低下できることが示されている[708-710]。しかしながら、ほとんどの試験は平地でのパフォーマンスに対する影響を示していない。高地ではビタミン E は運動パフォーマンスを向上する可能性がある[711]。長期追加摂取が運動選手のトレーニングに対する耐性を向上する上で有用であるか否かを決定するため、さらなる研究が必要である。
ビタミン K	男性 120 µg/日 女性 90 µg/日	血液凝固で重要である。閉経後女性の骨代謝にも影響を及ぼす可能性がいくつかのエビデンスで裏付けられている。	エリート女性運動選手に対するビタミン K 追加摂取（10 mg/日）は、オステオカルシンのカルシウム結合能を増加させることが報告されており、骨形成マーカーの 15~20%増加、骨吸収マーカーの 20~25%低下を促進することから、骨形成と吸収の間のバランスが改善されることが示唆される[712]。
チアミン (B ₁)	男性 1.2 mg/日 女性 1.1 mg/日	ピルビン酸からアセチル CoA への脱カルボキシル化反応および TCA サイクルでの CO ₂ 除去での補酵素（チアミンピロリン酸）。追加摂取は無酸素性作業閾値および CO ₂ 輸送を向上すると理論づけられている。欠乏によりエネルギーシステムの効率が低下する可能性がある。	食品でのチアミンの利用可能性は、運動選手が正常な量を摂取している場合、運動耐容能に影響を及ぼさないようである[713]。
リボフラビン (B ₂)	男性 1.3 mg/日 女性 1.7 mg/日	エネルギー代謝に関与するフラビヌクレオチドの成分。酸化代謝中のエネルギー利用可能性を増強すると理論が立てられている。	食品でのリボフラビンの利用可能性は、運動選手が正常な量を摂取している場合、運動耐容能に影響を及ぼさないようである[713]。
ナイアシン (B ₃)	男性 16 mg/日 女性 14 mg/日	エネルギー代謝に関与する補酵素の成分。運動中の脂肪酸の増加を鈍化し、コレステロールを低下し、温度調節を促進し、酸化代謝中のエネルギー利用可能性を向上すると理論が立てられている。	ナイアシン追加摂取（100~500 mg/日）は、高コレステロール血症患者の血中脂質値の低下およびホモシステイン値の上昇を補助できることが試験で示唆されている[714、715]。しかしながら、運動中のナイアシン追加摂取（280 mg）は、脂肪酸の動員を鈍化することで運動耐容能を低下させることが報告されている[716]。
ピリドキシン (B ₆)	1.3 mg/日（年齢 51 歳未満）	筋肉量、強度、乳酸および酸素系での有酸素パワーを向上するサプリメントとして市販されている。また、精神力の向上と関連づけられている鎮静効果も有する可能性がある。	十分な栄養を取っている運動選手では、ピリドキシンは有酸素能力、または乳酸蓄積に効果を示さなかった[713]。一方、ビタミン B ₁ および B ₁₂ との併用では、セロトニン値の上昇、またピストル射撃やアーチェリーなどのスポーツで必要であると考えられる微細運動技能の向上をもたらされる可能性がある[717、718]。
シアノコバラミン (B ₁₂)	2.4 µg/日	DNA およびセロトニンの産生に関与する補酵素。DNA はタンパク質および赤血球合成で重要である。理論的には、筋肉量および血液の酸素運搬能の上昇、不安の低下をもたらす可能性がある。	十分に栄養を取っている運動選手では、エルゴジェニックな効果は報告されていない。しかしながら、ビタミン B ₁ および B ₆ との併用では、シアノコバラミンはピストル射撃のパフォーマンスを向上することが示されている[718]。これは脳の神経伝達物質であるセロトニンのレベル上昇に起因すると考えられ、これは不安を軽減させる可能性がある。

葉酸（葉酸塩）	400 µg/日	DNA および赤血球形成で補酵素として機能する。赤血球内での上昇は、運動中の筋肉への酸素送達を向上する可能性がある。先天性欠損の予防を補助する上で重要であると考えられており、ホモシステイン値の低下に有用となる可能性がある。	妊娠中に食事での葉酸の利用可能性が上昇することで、先天性欠損の発生率を低下できることが試験で示唆されている[719]。また、ホモシステイン値（心疾患のリスク因子）[720]も低下させる可能性がある。十分に栄養を取り、葉酸が欠乏している運動選手で、葉酸は運動パフォーマンスに向上をもたらさなかった[721]。
パントテン酸	5 mg/日	アセチル補酵素 A（アセチル CoA）の補酵素としてふるまう。これは有酸素または酸素エネルギーシステムで効果をもたらす可能性がある。	アセチル CoA 追加摂取は有酸素パフォーマンスに向上をもたらさないことが研究で報告されている。しかしながら、1 つの試験では、乳酸蓄積の低下を報告したが、パフォーマンスの向上は伴わなかった[722]。
β カロテン	該当せず	抗酸化物質として機能する。運動誘発性脂質過酸化および筋肉損傷を最小化する上で有用と理論づけられている。	β カロテン単独または他の抗酸化物質との併用での追加摂取は、運動誘発性過酸化の低下を補助できることが研究で示唆されている。時間経過とともに、これは運動選手のトレーニング耐性を補助すると考えられる。しかしながら、抗酸化物質の追加摂取が運動パフォーマンスに影響を及ぼすか否かは不明である[709]。
ビタミン C	男性 90 mg/日 女性 75 mg/日	身体の多数の様々な代謝過程で使用される。エピネフリンの合成および鉄分吸収に関与しており、抗酸化物質である。理論的には、運動中の代謝を向上させることで運動パフォーマンスに恩恵をもたらすことができる。ビタミン C は免疫も強化することを裏付けるエビデンスがある。	十分に栄養を取っている運動選手では、ビタミン C 追加摂取は身体的パフォーマンスに向上をもたらさないようである[138、723]。しかしながら、激しい運動後のビタミン C 追加摂取（例、500 mg/日）は、上気道感染症の発生率を低下させる可能性があることを裏付けるいくつかのエビデンスがある[696、724、725]。

表 2 提案されている栄養エルゴジェニックエイド - ミネラル

栄養素	RDA	提案されているエルゴジェニックな価値	研究知見の概略
ホウ素	該当せず	ホウ素は、運動選手に対し、レジスタンストレーニング中の筋肉増殖を促進する可能性がある栄養補助食品として市販されている。理論的根拠は、ホウ素低含有食を摂取している閉経後女性に対するホウ素追加摂取（3 mg/日）が、β エストラジオールおよびテストステロン値の有意な上昇をもたらした初期の報告に主に基づいている。	レジスタンストレーニング中の 7 週間のホウ素追加摂取（2.5 mg/日）がテストステロン値、体組成、強度に及ぼす影響を評価検討した試験は、エルゴジェニックな価値を報告しなかった[280、281]。現時点で、レジスタンストレーニング中のホウ素追加摂取が筋肉の発達を促進することを裏付けるエビデンスはない。
カルシウム	1000 mg/日 (年齢 19~50 歳)	骨および歯の形成、血液凝固、神経伝達に関与している。脂肪代謝を刺激する。食事には十分な量が含まれている必要があり、とくに成長期の小児/思春期[285]、女性運動選手、閉経後女性ではその必要がある。吸収を助けるためにビタミン D が必要とされる。	カルシウム追加摂取は、骨粗鬆症に対して感受性のある人口集団では有益となる可能性がある[726]。また、カルシウム追加摂取は、脂肪代謝を促進し、体組成の管理に有用であることが示されている[727、728]。カルシウム追加摂取は、運動パフォーマンスにエルゴジェニックな効果をもたらさない。
クロム	男性 35 µg/日 女性 25 µg/日 (年齢 19~50 歳)	クロムは、一般的にはピコリン酸クロムとして販売されており、追加摂取により除脂肪体重の増加および体脂肪値の低下が得られるとの標榜で市販されている。	動物研究では、クロム追加摂取により除脂肪体重の増加および体脂肪の低下が示唆されている[285]。ヒトを対象とした初期の研究では同様の結果が報告されたが、より最近の十分にコントロールされた試験ではクロム追加摂取（200~800 µg/日）は、除脂肪体重の向上または体脂肪の低下をもたらさないと報告された[287、291]。
鉄	男性 8 mg/日 女性 18 mg/日 (年齢 19~50 歳)	鉄分サプリメントは、酸素系を使用するスポーツでの有酸素パフォーマンスを増大させる目的で使用されている。鉄は、酸素の運搬者である赤血球のヘモグロビンの成分である。	ほとんどの研究では、運動選手の鉄分が欠乏しているか貧血であるのでない限り、鉄分サプリメントは有酸素パフォーマンスに向上をもたらさないようである[729]。
マグネシウム	男性 420 mg/日 女性 320 mg/日	タンパク質合成に関与する酵素を活性化する。ATP 反応に関与する。運動により血清値が低下する。一部は、マグネシウム追加摂取によりエネルギー代謝/ATP 利用可能性が向上する可能性があるとして主張している。	良好にコントロールされたほとんどの研究では、マグネシウム追加摂取（500 mg/日）は、マグネシウム欠乏でない限り、運動選手の運動パフォーマンスに影響を及ぼさないことが示唆されている[730、731]。
リン (リン酸塩)	700 mg/日	リン酸は、3 つのすべてのエネルギー系、主に酸素系または有酸素能力を向上する能力が研究されている。	最近の十分にコントロールされた研究試験は、リン酸ナトリウム追加摂取（4 g/日を 3 日間）により、持久カタクでの酸素エネルギー系が向上したことが報告された[504-506]。他の形態のリン酸（すなわち、リン酸カルシウム、リン酸カリウム）はエルゴジェニックな価値がほとんどないようである。向上をもたらす機序を特定するため、さらなる研究が必要である。
カリウム	2000 mg/日 ^a	水分バランス、神経伝達、酸塩基バランスの調節で有用な電解質である。一部は、カリウムの過度の増加または減少が運動選手の痙攣の素因となる可能性があるとして提唱している。	高温環境での激しい運動中のカリウム損失と関連付けられた筋肉痙攣の事例はあるが、痙攣の病因は不明である[732、733]。 運動選手のカリウム追加摂取が筋肉痙攣の発症率低下をもたらすか否かは不明である[160]。エルゴジェニックな効果は報告されていない。
セレン	55 µg/日	有酸素運動のパフォーマンスを増大させるサプリメントとして市販されている。セレンはビタミン E およびグルタチオンペルオキシダーゼ（抗酸化物質）と緊密に作用して、有酸素運動中の脂質の破壊的なフリーラジカル産生を阻害する可能性がある。	セレンは有酸素運動中の脂質過酸化を低下させる可能性があるが、有酸素能力の向上はこれまでに示されていない[734、735]。
ナトリウム	500 mg/日 ^a		高温環境での激しい運動の最初の数日間に、大量のナトリウムが汗により損失する。また、長期のウルトラ持久運動によりナトリウムレベルが低下し、低ナトリウム血症をもたらされる可能性がある。高温環境での重度のトレーニング中に塩分の利用可能性を増大させることは、水分バランスの維持および低ナトリウム血症の予防に有用であることが示されている[160、736]。

硫酸バナジル (バナジウム)	該当せず	バナジウムは、インスリン様効果をたんぱく質および糖代謝に及ぼす身体反応に関与している可能性がある。インスリンは同化作用性を有することから、筋肉量の増加、強度およびパワーの強化をもたらすサプリメントとしてバナジウムに関心が集まっている。	2型糖尿病では血糖コントロールが向上する可能性があることを示す限られた研究はあるものの、硫酸バナジルが筋肉量、強度、またはパワーに何らかの影響を及ぼすことは証明されていない[412, 413]。
亜鉛	男性 11 mg/日 女性 8 mg/日	消化に関連する酵素の成分。免疫と関連する。重度トレーニングを実施する運動選手の上気道感染症の発生率を低下させるとの理論が立てられている。	トレーニング中の亜鉛追加摂取（25 mg/日）により、免疫機能の運動誘発性変化が最小化することが試験で示唆されている[125, 698, 737, 738]。

推奨栄養所要量 (RDA) は、2002 年食品栄養委員会、米国科学アカデミー-全米研究評議会の推奨に基づいている。

^a 推定最低必要量

水

水は、運動選手にとって栄養で最も重要なエルゴジェニックエイドであり、運動中の脱水を軽減することは運動耐容能を維持する上で最も効果的な方法の一つである[162]。運動を始める前に十分な水分を取ることが強く推奨される。運動パフォーマンスは、汗を介して体重の2%以上が損失した場合（すなわち、70 kgの運動選手では体重1.4 kgの損失）、顕著に障害される可能性がある。運動およびトレーニング中の平均発汗率は0.5~2.0 L/時との報告[128, 162]を考慮するならば、水分損失によるパフォーマンスの低下はわずか60~90分の運動後に発生する可能性がある。また、運動中の体重の4%を超える減量は、熱射病、熱疲労、熱中症、さらには死亡をもたらす可能性もある[128]。この理由から、運動選手はまず運動前の水分補給で最適なレベルを促進して脱水を予防する考え方を持つことがきわめて重要である。運動選手にとって重要な目標は、自身の体重を維持するために十分な水分を、1日を通し、いつ運動を行うかということをまったく考慮せず取ることである。次に、運動選手は、試合の前夜に水またはスポーツドリンク500 mLを摂取し、起床時にさらに500 mL、また運動の開始20~30分前に冷水またはスポーツドリンク400~600 mLを取ることで、運動前の最適な水分補給を促進することができる。運動の開始後は、運動選手は十分な量の水またはグルコース-電解質溶液（すなわち、スポーツドリンク）を運動中に努力して摂取し、水分補給状態を維持する必要がある。このことから、水分バランスを維持して脱水を予防するためには、運動選手は、体重損失を相殺するため、0.5~2 L/時の水分摂取を計画する必要がある。このためには、運動中に冷水またはスポーツドリンク12~16液体オンス（360~480 mL）を、頻繁（5~15分ごと）に摂取する必要がある[128, 163-166]。一般的に発汗を介して顕著な量の水分が損失した後に渇きを感じるため、運動選手は喉の渇きに依存して水分摂取を促進するべきではない。また、運動選手は、運動トレーニングの前後に体重を測定し、水分バランスの変化をモニタリングする必要がある。これにより損失した水分を補給することができる[128, 163-166]。運動中および運動後は、運動選手は運動中に損失した体重1ポンド（約450 g）あたりコップ3杯の水を飲み、適切な水分補給を促進する必要がある[128]。運動直後の主要目標は、トレーニングセッションまたは試合中に損失した水分および電解質の完全な補充とすべきである。また、水分補給中は、体水分の正常化をさらに促進するため、グルコース-電解質溶液の形態でのナトリウム摂取（単なる水を飲むことと比較して）および食品の選択および修正（食品への塩分の添加）を検討する必要がある[167]。運動選手は、トレーニング中に大量の水を飲むことに耐えられるようトレーニングする必要があり、高温/高湿環境では、さらに多くの水分の摂取を確実に行う必要がある。栄養の他に、運動環境に10~14日間にわたって選手の身体が気候順応する機会を与えることで、熱に対する耐性が向上し、体温調節が促進する可能性がある。最後に、不適切で過剰な減量テクニック（例、サウナでの減量、ゴム製スーツの着用、過度のダイエット、嘔吐、利尿薬の使用など）は、危険であると考えられ、禁じられるべきである。スポーツ栄養学者、栄養士、アスレティックトレーナーは、運動選手およびコーチに対し適切な水分補給法に関する教育、トレーニングや試合中の水分摂取の管理について、重要な役割を果たすべきである。

栄養補助食品と運動選手

パフォーマンスおよび回復を最適化するため、栄養および食事の構成法について運動選手およびコーチを教育することは、スポーツ栄養士および栄養学者が関与する重要な領域である。現在、運動選手および運動人口集団での栄養補助食品の使用は広範にわたっているが、その全体的な必要性および特定成分の有効性については依然として議論が定まっていない。栄養補助食品は、運動選手が適切な量のエネルギー、多量栄養素、微量栄養素を摂取する補助として、意味ある役割を果たすことができる。栄養補助食品は健康的な食事の代替となることを意図しているものではない。運動人口集団のトレーニング、回復、またはパフォーマンスの強化を目的に、無数の食品成分について利益をもたらす可能性がこれまでに調査されている。これらの栄養素の追加摂取を臨床的に検証された量およびふさわしい時期

に行うことは、通常の食事を増強し、パフォーマンスの最適化またはトレーニングの結果に向けた順応をサポートする上で補助となりうる。スポーツ栄養士および栄養学者は栄養、運動、パフォーマンスに関する現在のデータを認識し、様々な試験の結果について（支持するものであれ否定するものであれ）クライアントを教育する際には率直でなければならない。現在、誤解を招く情報が一般に入手可能であるため、本稿は、多くの利用可能な成分を客観的に評価付けすることを意図している。また、科学者となるべくバイアスのかかっていない利用可能な文献に従って推奨した場合、運動選手、コーチ、トレーナーはこれらの推奨に留意する必要がある。本稿の続く 2 つのセクションの全体を通して、運動選手がしばしば摂取する様々なサプリメントを次の 3 つのカテゴリに分類する：「有効性を裏付けるエビデンスが強力かつ明らかに安全」、「有効性を裏付けるエビデンスが限定的または相反する」、「有効性または安全性を裏付けるエビデンスがほとんどないか、まったくない」。入手可能な文献に基づいて得られた分類および解析では、提案されている栄養素が筋肉肥大の増加を通じて、およびその後のサプリメントのエルゴジェニックな可能性により、運動またはトレーニングに影響を及ぼすことが明らかにされているか否かに主に焦点を当てる。一部の成分はトレーニング順応の刺激またはエルゴジェニックな形での機能ではほとんど可能性を示さないが、筋肉の回復に対する好ましい影響または一部の人口集団では有用となりうる健康での利点を示す可能性があることを、我々は認識している。これらの結果は、本レビューの主要焦点ではないため、同様のレベルでは詳細に論じられていない。

利便性サプリメント

利便性サプリメントは、一般に食事代替粉末（MRP）、直ちに飲めるサプリメント（RTD）、エナジーバー、エナジージェルで知られている。これらの製品は、典型的にはビタミンおよびミネラルが補強されており、含有する炭水化物、たんぱく質、または脂質の量が異なる。これらの製品の独自性は、体重増加、体組成の変更、回復の増強、またはパフォーマンスの向上をもたらすとされている含有の添加栄養素に由来する。ほとんどの人は、これらのサプリメントを栄養濃縮スナックとみなすか、または体重増加または減量を試みる際のエネルギー摂取コントロールの補助として使用する。MRP、RTD、エナジーバー／ジェルは、食事での特定の必要性を満たす便利な方法を提供したり、ファストフードや栄養の質が低い食品の代替、あるいは旅行や忙しいスケジュールのため、生鮮食品またはその他の形態の非加工食品を摂取することができない場合の代替食として機能したりすることができる。これらのタイプの製品の使用は、優れた食事を運動選手が落ち着いて取る時間がない、または食事の量を最小化したい場合に、運動前または運動後に栄養摂取を最適化するために、炭水化物、たんぱく質、その他の栄養を提供する方法としてとくに有用である。このことから、食事代替は、まれな状況で食事の代わりとして用いるべきで、すべての食事の代替となることを意図しているものではない。これらのものが禁制または禁止されている栄養素を含有していないことにも注意しなければならない。

筋肉形成サプリメント

次のセクションでは、良好にデザインされた運動-トレーニングプログラムの実行と組み合わせることで骨格筋の増大を促進するとされている栄養サプリメントに関して、学術文献の分析を提供する。各サプリメントの概要およびこれらの分類方法の一般的解釈を、文章全体を通じて提供する。表 3 に、本稿で論じられている各サプリメントの分類を概略した。ただし、各カテゴリ内ですべてのサプリメントはアルファベット順に記載されている。読者は、体重増加または減量が、個々の運動選手のパフォーマンスに好ましい影響または悪影響を及ぼす可能性があることを考慮するよう奨励されている。例えば、体重および除脂肪体重の増加は多くのアメリカンフットボールおよびラグビー選手では好ましい順応であり、これらのスポーツでのパフォーマンスを向上させる可能性がある。一方、体重または脂肪重量の低下は、自転車競技および体操などの選手ではパフォーマンスの向上を促進する可能性があり、またレスリング、重量挙げ、ボクシングなどの選手は、筋肉量、強度、パワーを維持しつつ体重を急速に減量する必要がある場合がある。

有効性を裏付けるエビデンスが強力かつ明らかに安全とされる筋肉形成サプリメント

β-ヒドロキシ-β-メチル酪酸 (HMB) HMB は、アミノ酸ロイシンの代謝物である。レジスタンストレーニング期間中に、カルシウム HMB 1.5~3 g/日の追加摂取により、筋肉量の増加 (3~6 週間のトレーニング中にコントロール群と比較して+0.5~1 kg の増加) および筋力の増大がもたらされ、これまでトレーニングをしていなかった人がトレーニングを開始した場合[168-173]や高齢者の場合[174]に顕著であることが、十分に実証されている。現在確立されている HMB の最小有効量は 1 日あたり 1.5 g で、3 g/日により除脂肪体重にベネフィットが追加されるが、6 g/日を摂取しても、3g/日を摂取した場合に報告された除脂肪体重を超える増加はみられなかった[169]。HMB の保持を最適化するため、1 日用量の 3 g を、3 回の等量、各 1 g に分割することが推奨されている (朝食、昼食または運動前、就寝時) [174]。安全性の観点から、1 日用量 1.5~6 g は良好な忍容性 (注: 薬の副作用への十分な耐性) があると示されている[15, 169, 170]。よく訓練された運動選手における HMB 追加摂取が示す効果は、これほど明確ではなく、いくつかの研究では筋肉量の増加は有意ではなかったと報告されている[175-177]。この点から、Wilson ら[15]は、プログラムデザイン (期分けされたレジスタンストレーニングモデル) および追加摂取の期間 (最低 6 週間) が重要な因子として機能する可能性を示唆している。2015 年に、Durkalec-Michalski ら[178]は、高度にトレーニングを受けたボート選手 ($n = 16$) に、カルシウム HMB 3 g/日またはプラセボのいずれかの追加摂取を無作為化二重盲検クロスオーバー法で実施した。各追加摂取期間の前後に、体組成およびパフォーマンスパラメータを評価した。HMB を提供された場合、体脂肪量は有意に低下したのに対し、除脂肪体重の変化には群間で有意な差は認められなかった。同じ研究グループは、高度なトレーニングを受けた男性運動選手 58 名を対象に、カルシウム HMB 3 g またはプラセボを 12 週間にわたって無作為化二重盲検クロスオーバー法で追加摂取したデータを発表した[179]。この報告で、体脂肪量は有意に低下したのに対し、除脂肪体重は有意に増加したことが示された。最後に、Durkalec-Michalski ら[180]は、高度なトレーニングを受けた格闘技選手 42 名に、プラセボまたはカルシウム HMB 3 g のいずれかの追加摂取を 12 週間にわたって無作為化二重盲検クロスオーバー法で実施した。HMB が提供された場合、除脂肪体重は増加したが ($p = 0.049$)、体脂肪量はプラセボ群での変化と比較して有意に低下した。結論として、用量 1.5~3 g の HMB を未トレーニングの人口集団では 3~4 週間の短期間、トレーニングを受けた人口集団ではそれより長期 (12 週間) にわたって追加摂取することで、様々な形態の運動トレーニングへの参加による脂肪重量および除脂肪体重の改善に寄与することを支持する文献が増えている。

表 3 利用可能な文献に基づく栄養補助食品の分類の概略

カテゴリ	筋肉形成サプリメント	パフォーマンス強化
I. 有効性を裏付けるエビデンスが強力かつ明らかに安全	<ul style="list-style-type: none"> • HMB • クレアチン一水和物 • 必須アミノ酸 (EAA) • たんぱく質 	<ul style="list-style-type: none"> • β-アラニン • カフェイン • 炭水化物 • クレアチン一水和物 • 炭酸水素ナトリウム • リン酸ナトリウム • 水およびスポーツドリンク
II. 有効性を裏付けるエビデンスが限定的または相反する	<ul style="list-style-type: none"> • アデノシン-5'-三リン酸 (ATP) • 分岐鎖アミノ酸 (BCAA) • スファチジン酸 	<ul style="list-style-type: none"> • L-アラニン-L-グルタミン • アラキドン酸 • 分岐鎖アミノ酸 (BCAA) • シトルリン • 必須アミノ酸 (EAA) • グリセロール • HMB • 硝酸 • 運動後の炭水化物およびたんぱく質 • ケルセチン • タウリン
III. 有効性または安全性を裏付けるエビデンスがほとんどないか、まったくない	<ul style="list-style-type: none"> • アグマチン硫酸 • α-ケトグルタル酸 • アルギニン • ホウ素 • クロム • 共役リノール酸 (CLA) • D-アスパラギン酸 • エクジステロン • フェヌグリーク抽出物 • γオリザノール (フェルラ酸) • グルタミン • 成長ホルモン放出ペプチドおよび分泌促進物質およびアンドロ • イソフラボン • オルニチン-α-ケトグルタル酸 • プロホルモン • スルホ-多糖類 • ハマビシ (<i>Tribulus terrestris</i>) • 硫酸バナジル • 亜鉛-マグネシウムアスパラギン酸 	<ul style="list-style-type: none"> • アルギニン • カルニチン • グルタミン • イノシン • 中鎖トリグリセリド (MCT) • リボース

クレアチン一水和物 我々の見解では、トレーニング期間中に高強度運動能力および筋肉量を増加させる上で運動選手が利用できる最も効果的なサプリメントは、クレアチン一水和物である。多数の研究が、クレアチン追加摂取により体重または筋肉量がトレーニング期間中に増加することを示唆している[181、182]。4~12 週間のトレーニングによる体重増加は、コントロール群と比較して一般的に 1~2 kg 多い[182]。筋肉量の増加は、高強度運動能力が向

上したことにより、運動選手をより鍛えることが可能になり、その結果、さらなるトレーニングへの順応と筋肥大が促進されたことによるものと考えられる[183-186]。クレアチン-水和物の追加摂取で、時折に報告される唯一の臨床的に重大な副作用は、体重増加の可能性である[181、182、187、188]。クレアチン追加摂取の安全性および副作用の可能性について懸念が提起されているけれども[189、190]、複数の短期[191-193]および長期安全性試験によると、明白な副作用はないこと[188、194、195]、およびまたクレアチン-水和物によりトレーニング中の外傷の発生率が低下するかもしれないと報告している[196-199]。このことから、食事へのクレアチン-水和物またはクレアチン含有調合物による追加摂取は、筋肉量を増加させるための安全かつ効果的な方法であると考えられる。クレアチン-水和物に対する ISSN のポジションステートメント[10]は、その知見を以下のようにまとめている：

1. クレアチン-水和物は、トレーニング期間中における高強度運動能力および除脂肪体重の増加に関し、現時点で運動選手が利用できる最も効果的なエルゴジェニック栄養サプリメントである。
2. クレアチン-水和物の追加摂取は、安全であるばかりではなく、健康者および患者の人口集団で、乳児から高齢者に至るまで、多数の治療的便益を有していることがこれまでに報告されている。短期または長期のクレアチン-水和物の使用（最大 30g/日を 5 年間）が、クレアチンの追加摂取から便益を得られる可能性のある健康者または臨床患者に何かしらの有害作用を示すような、説得力のある科学的エビデンスはない。
3. 適切な注意および監督が提供されている場合、小児および思春期運動選手に対するクレアチン-水和物の追加摂取は許容可能であり、危険な可能性があるアナボリック（注：タンパク同化性）男性ホルモン薬に代わる、好ましい安全な特性を有した栄養素を提供すると考えられる。しかしながら、若年運動選手に対するクレアチン追加摂取の使用は、以下の者に対してのみ検討することが推奨される：a) 本格的／競争的なトレーニングを監督下で実行する者、b) バランスの取れた、パフォーマンスを強化する食事を摂食している者、c) クレアチンの適切な使用に関して知識を有する者、かつ d) 推奨用量を超えない者。
4. クレアチン製品のラベルに表示されている 18 歳未満の者の使用に対する警告は、おそらく製造業者が法的責任から自社を守ることを意図しているのであろうが、クレアチンの安全性が小児および思春期の者を含めて科学的に裏付けられていることを考えるなら、おそらく不要であろう。
5. 現時点で、クレアチン-水和物は、最も広く研究がされており、筋肉への取り込みと高強度運動能力の向上のために、クレアチンをサプリメントとして利用するのに臨床的に有効な形状となっている。
6. クレアチンサプリメントへの炭水化物または炭水化物とたんぱく質の追加は、クレアチンの筋肉取り込みを増加させると考えられているが、パフォーマンスの測定値に及ぼす影響はクレアチン-水和物単独の使用と比較して大きくならないであろう。
7. 筋肉のクレアチン貯蔵を最も迅速に増加させる方法は、クレアチン-水和物約 0.3 g/kg/日を 5～7 日間摂取後に、上昇した貯蔵量を維持するため 3～5 g/日を摂取する方法であると考えられる。最初に、クレアチン-水和物の少量（例、3～5 g/日）を 3～4 週間を超えて摂取すると、筋肉のクレアチン貯蔵量が増加するが、この方法による追加摂取が初期のパフォーマンスに及ぼす作用については、裏付けが少ない。
8. 臨床での人口集団において、クレアチン-水和物の追加摂取を高レベル（0.3～0.8 g/kg/日、体重 70 kg の者で 21～56 g/日に相当）で長年にわたって実施しているが、臨床的に重大な有害事象または重篤な有害事象は認められていない。

9. スポーツや健康、医療におけるクレアチン水和物およびその前駆物質であるグアニジノ酢酸の医学的便益の可能性に関する調査は、さらなる研究が必要である。

必須アミノ酸 (EAA) 必須アミノ酸が筋タンパク質合成の刺激に及ぼす影響を評価検討する研究は、きわめて人気の高い領域である。このデータをまとめると、必須アミノ酸 (EAA) 6~12 g を絶食状態[200]およびレジスタンス運動の前[201、202]または後に摂取することでタンパク質合成が刺激されること[202-208]、そして、この反応はたんぱく源または食品の種類に大きく依存することを示唆している[209]。理論的には、これは除脂肪体重の増加を高める可能性があるが、現在までに、レジスタンストレーニング期間中に、加工されたたんぱく源としての EAA (例、遊離アミノ酸) の追加摂取による、除脂肪体重の増大への好ましい影響を及ぼすことを示したエビデンスの存在は限られている。また、他の研究では、筋タンパク質合成の変化は運動トレーニングに対する表現的適応とは関連しない可能性が示唆されている[210]。しかしながら、高品質タンパク源の摂取は、レジスタンストレーニングに対する順応を高められることを示唆するエビデンスを数多く見つけることができる[211]。たんぱく質の品質評価には様々な方法が存在するが、これらのアプローチのほとんどはたんぱく源中に認められる EAA の量に中心をおいており、ほぼすべての状況で最も高品質なたんぱく源は、EAA の含有量が最も高いものである。この点について、公表されている多くの論文は、EAA が筋タンパク質合成の最大速度を刺激する上で必要条件として機能すると述べている[212-215]。加工されていないたんぱく源と比較して遊離アミノ酸の摂取が及ぼす影響をさらに理解するため、Katsanos ら[216]は高齢成人を対象に、周到なレジスタンストレーニングプログラムを実施中に同様の用量の必須アミノ酸 (6.72 g) を加工されていないたんぱく源の一部 (乳清たんぱく質 15 g) 、または遊離アミノ酸として投与した。たんぱく質の増加量は、アミノ酸を加工されていないたんぱく源として提供した方がより大きかった。この試験では参加者の年齢が結果に影響を及ぼした可能性があるが[217]、この試験の結果は、トレーニング順応がどの程度まで EAA 含有量に起因するのか、また加工されていないたんぱく源の摂取による追加の便益が存在するのかをさらに理解するためには、さらなる研究が必要であることを強調している。

EAA は 9 つの別個のアミノ酸で構成されているが、一部の個々の EAA はタンパク質翻訳および筋タンパク質合成に影響を及ぼす効果の可能性から、大きな関心が寄せられている。この点に関し、分岐鎖アミノ酸 (BCAA) は、筋タンパク質合成の刺激で有力な役割を果たすため、注目が集まっている[218、219]。この点について、Karlsson ら[220]は、男性被検者 7 名の下半身レジスタンス運動の単回セッション後の回復で、プラセボ摂取と比較して BCAA 100 mg/kg 含有 BCAA 溶液を摂取後に、p70s6k 発現の上昇が有意に大きいことを示した。興味深い点として、Moberg らは、トレーニングを受けたボランティアを対象に、レジスタンストレーニングの標準化セッションの実行と併用でプラセボ、ロイシン、BCAA、EAA の摂取を実施し、運動後の p70s6k 活性化の変化を測定した。Moberg らは、EAA の摂取により p70s6k 活性化に 9 倍の増加がもたらされ、この結果は主に BCAA に起因するものであったと結論付けた。最後に、Jackman らによる 2017 年の研究では[222]、BCAA の用量 5.6 g が筋タンパク質合成の増加を刺激する能力を (プラセボと比較して) 検討した。筋原線維筋タンパク質合成速度は、プラセボと比較して有意に上昇した (~20%、 $p < 0.05$)。この変化は有意であったが、この変化の程度は、消費された BCAA が同容量となるように調達された乳清たんぱく質用量を摂取した場合に見られる運動後 MPS 反応と比較して、顕著に小さかった[88、223]。これらの結果から、著者らは MPS を最大限に刺激するためには EAA の完全補充が推奨されると結論付けた。

BCAA に寄せられたすべての関心の中で、ロイシンはタンパク質翻訳の急性変化における主要推進因子として受け入れられている。この点に関し、Dreyer ら[224]および他の研究者ら[225]は、レジスタンス運動完了後のロイシンの提供により、mTOR シグナル伝達およびタンパク質翻訳の増加をさらに増強できると報告している。この点について、Jager ら[11]は、タンパク質翻訳の増加を刺激する上でロイシンの理想的な用量は、おそらく 1.7~3.5 g の間であろうと強調した。

たんぱく質 身体の発達に関する文献は、運動を行う個人に対して、最適な運動トレーニングへの適応のために多くの量のたんぱく質の必要性を提起している[11, 83, 211, 226]。これらの資料をまとめると、除脂肪体重の増加促進を主要な意図として激しいトレーニングを実施する者は、たんぱく質 1.4~2.0 g/体重 kg/日を摂取すべきであることを示唆している[83, 226]。Tang ら[95]は、3 つの異なるたんぱく源（加水分解した乳清分離物、ミセル性カゼイン、ダイズ分離物）が、安静時およびレジスタンス運動の単回セッション後に筋タンパク質合成の急性変化を刺激する能力を、古典的研究として実施した。Tang らは、安静時およびレジスタンス運動に対する反応での筋タンパク質合成速度に、これら 3 つのたんぱく源がいずれも有意な増加をもたらしたと結論付けた。この反応が数週間を超えた経過の上で外挿法により推定がなされるとき、複数の研究は、レジスタンストレーニングにおける除脂肪体重の有意な増加は、異なる形状のたんぱく質の能力によるものとしている[70, 227-232]。Cermak ら[211]はメタ解析を実施し、たんぱく質追加摂取が強度および除脂肪体重の変化に及ぼす影響を評価した。別々に公表された 22 の研究、その被験者 680 名のデータを分析の対象とした。Cermak らは、たんぱく質追加摂取が若年および高齢の被験者のいずれでも、除脂肪体重および下半身の筋力に好ましい影響を及ぼすことを示したと結論付けた。同様に、Morton ら[83]は、49 の研究、その被験者 1863 名のデータを対象にメタ回帰アプローチも用いたメタ解析の結果を発表した。Morton らは、たんぱく質が除脂肪体重の増加に正の影響を及ぼす能力は、たんぱく質最大約 1.62 g/体重 kg/日まで上昇するが、これを上回る高用量では除脂肪体重のより大きな増加を促進しないようであると結論付けた。この領域ではさらなる研究が必要であるが、エビデンスが明らかに示していることは、強度の高いトレーニングに関与する個人のたんぱく質の必要性は高くなり、運動鍛錬者は必然的に除脂肪体重を大きく変化させることを促すトレーニング期間中には、より高いたんぱく質摂取を成し遂げることになる。筋力および筋肉量の増加のようなトレーニングに誘発された順応促進に及ぼすたんぱく質の影響のほかには、いくつかの研究は異なる種類のたんぱく質が除脂肪体重の変化を刺激する能力について検討しており[229, 231, 233-235]、またいくつかの研究およびレビューは、運動選手の減量の達成[236, 237]と、カロリー制限期間中[238, 239]にたんぱく質が果たすであろう役割を批判的に探索した。このため、運動選手はその食事より多くのたんぱく質が必要であるとの主張には裏付けデータがない、あるいは食事に異なる種類のたんぱく質を組み入れることにエルゴジェニックな価値の可能性はないなどの主張は、過度に単純化されており、誤解を招くものである。運動する者はたんぱく質約 1.4~2.0 g/体重 kg/日を必要とするというのが、ISSN のポジションステートメントである[11]。

有効性を裏付けるエビデンスが限定的または相反する筋肉形成サプリメント

アデノシン-5'-三リン酸 ATP は細胞内の主要エネルギー源であり、また骨格筋カルシウムの透過性亢進および血管拡張など、広範な細胞外機能も有している。ATP の静脈内投与は生物学的に利用が可能であるが[240]、いくつかの試験で経口投与により ATP は全身において利用可能ではないことが示されている[241]。一方、ATP の長期追加摂取は、安静時の血漿中濃度の上昇を伴わずに赤血球内での ATP 合成能力を増加させるため、運動誘発性の ATP 低下を最小限にできる[242]。経口による ATP 追加摂取は、単回投与後に初期のエルゴジェニック特性を示し、ウエイトリフティングにおいて、持ち上げた総重量および総反復回数が向上した[243]。ATP は運動時の筋肉への血流量を増加させる可能性があり[244]、また反復運動セッションでは後半セッション中に疲労の低下および最大パワー出力の増加をもたらす可能性がある[242]。ATP は、高強度トレーニング下でのより大きな回復および除脂肪体重の維持をサポートする可能性があるが[245]、これは過去の 1 つの試験でのみ報告されている。これに加え、臨床現場での ATP 追加摂取は、筋肉の強度の改善、膝手術後の疼痛の軽減、入院期間の短縮をもたらすことが示されている

[246]。しかしながら、ヒトを対象に筋肉量の運動誘発性増加に ATP がもたらす促進を評価検討した試験の数は限られているため、ヒトを対象とした長期トレーニング試験をさらに実施する必要がある。

分岐鎖アミノ酸 (BCAA) BCAA 追加摂取は、運動誘発性タンパク質分解または筋肉酵素の放出（筋損傷の指標）を、おそらく抗異化作用ホルモンプロファイルの促進によっておそらく低下させる可能性があることが報告されており[118, 247, 248]、より最近の試験では、筋肉に損傷をもたらす伸張性収縮への反応を好ましい方向で促進する能力が裏付けられている[249, 250]。とくにロイシンは、適正な量（3~6 g）で提供された場合に、mTORC1 複合体を活性化し、好適な翻訳開始をもたらすものとして認識されている[251]。このロイシンの影響に焦点をあてる目的で、運動している男性に乳清たんぱく質およびロイシン濃度を様々な用量で安静時および下半身のレジスタンス運動の短期セッションへの反応として投与し、筋タンパク質合成反応を評価検討した。興味深い点として、低用量乳清タンパク質（6.25 g）にロイシンを添加し、乳清たんぱく質 25 g と同等のロイシン含有量まで補強したところ、筋タンパク質合成の刺激能力が維持された。乳清たんぱく質 25 g は筋タンパク質合成の増加で望ましい維持を示したが、レジスタンス運動への反応として、筋タンパク質合成を刺激する上でロイシンが重要な役割を果たすことがロイシンの添加によって強調された[223]。これらの理由から、乳清たんぱく質および他の高品質タンパク源がレジスタンストレーニングに対する好適な順応を刺激する能力の主な理由は、これらのたんぱく質のロイシン含有量であることが示唆されている[252, 253]。理論的には、激しいトレーニング中の BCAA 追加摂取は、筋タンパク質分解を最小化する上で有用であり、それにより除脂肪体重の、より大きな増加（または低下の制限）をもたらすと考えられるが、この仮説を裏付けるエビデンスは限られたもののみが存在している。例えば、Schena ら[254]は、高地での 21 日間トレッキング中の BCAA 追加摂取（約 10 g/日）により、除脂肪体重が増加したが（1.5%）、プラセボを投与された被験者は筋肉量に変化は認められなかったと報告した。Bigard ら[255]は、高地で 6 週間トレーニングを実施する被験者に対する BCAA 追加摂取は、筋肉量の損失を最小化するようであると報告した。さらに、Candeloro ら[256]は、トレーニングを受けていない被験者に対する BCAA 追加摂取（14 g/日）の 30 日間実施により、筋肉量（1.3%）および握力強度（8.1%）の有意な増加が促進されたと報告した。一方、Spillane ら[257]は、8 週間のレジスタンストレーニング中の BCAA 9 g またはプラセボの追加摂取は、体組成または筋肉パフォーマンスに影響を及ぼさなかったと報告した。最近では、Jackman ら[222]が、BCAA の急性投与が筋タンパク質合成の増加を刺激する能力を評価検討した。その結果、BCAA の急性摂取はプラセボと比較して筋タンパク質合成を 22%促進したが、その測定された速度は、同様の量の BCAA を含有する乳清たんぱく質の用量で一般的に認められる速度と比較して 50%低かった。これらの矛盾する結果が明確な判断を下すことに影を落としているため、試験は BCAA、特にロイシンが機序で果たす役割を強く示唆しているものの、現時点でのデータでは BCAA 追加摂取の必要性を一貫して裏付けることができない。一方、複数の試験は、損傷をもたらす運動からの回復を BCAA が緩和する作用を裏付けているが、レジスタンストレーニング順応に好ましい影響を及ぼす作用については、さらなる研究が必要である。この点については、後のセクションで論じる。

ホスファチジン酸 ホスファチジン酸 (PA) はジアシルグリセロリン脂質で、真核生物の細胞膜に高濃度で含有され、シグナル伝達脂質として機能することができる[258]。興味深い点として、PA は筋肉の哺乳類ラパマイシン標的タンパク質 (mTOR) シグナル伝達を活性化することが繰り返し示されており、これは最終的には筋タンパク質合成の増加をもたらす作用である。例えば、Fang ら[259]は PA が mTOR をインビトロで活性化することを示した。Hornberger ら[260]も、何もしない状態での骨格筋の力学的伸展は筋肉内 PA 濃度の上昇を促進し、この作用は mTOR シグナル伝達の活性化と関連することを報告した。現在までに、ヒトを対象とした 2 つの長期追加摂取試験が実施されており、レジスタンストレーニングを実施している被験者に PA（750 mg/日）を追加摂取させた。Hoffman ら[261]は、PA

追加摂取により全身除脂肪体重 (LBM) が 1.7 kg 増加したが、プラセボ群では LBM に相対的変化はなかったと報告した (0.1 kg、群間で $p = 0.065$)。Joy ら[262]は、同様の 8 週間の試験を、より多数の被験者を対象に監督下のトレーニングセッションを行って実施し、PA 追加摂取により LBM が有意に 2.4 kg 増加したのに対し、プラセボ群では LBM のわずかながらの増加のみが認められたと報告した (1.2 kg、群間で $p < 0.05$)。もう一つの試験は、PA が運動誘発性の除脂肪体重の増加に及ぼす有益な効果を確認した[263]。現時点で確立されている PA の用量は 750 mg/日であり、より低用量を評価検討した他の試験では、1 日あたり 375 mg および 250 mg で除脂肪体重に対する有意な恩恵は認められなかった[264]。このことから、ヒトを対象とした予備研究では、PA 追加摂取は骨格筋の同化シグナルを上昇させ、レジスタンストレーニングによる筋肉量の増加の増強が可能であることが示唆される。PA 追加摂取試験は、他の筋肉形成サプリメント (例、乳清たんぱく質、クレアチン、HMB など) と比べればまだ始まったばかりであり、最適な筋肉量増加で必要とされる追加摂取の最適な用量、タイミング、および期間を特定するため、さらなる研究が必要である。

有効性または安全性を裏付けるエビデンスがほとんどないか、まったくない筋肉形成サプリメント

アグマチン硫酸 アグマチンはアミノ酸の一つである L-アルギニンの脱炭酸生成物で、いくつかのインビトロおよびいくつかの動物モデルで異なる生物学的作用を示していることから[265]、運動選手に恩恵をもたらす可能性が示唆される。アグマチンは、インスリン放出とグルコース取り込みの改善、黄体ホルモン分泌の補助、一酸化窒素シグナル伝達経路の影響し酸化ストレスからの保護や神経伝達に関与している可能性があると考えられている[266]。アグマチンは主に発酵食品に含まれ[267]、アルコール飲料には高濃度で含まれている。現時点では、アグマチンが関与するほぼすべての研究は、一般的に動物研究に由来するもので、ヒトを対象に血流量に及ぼす影響、またはレジスタンストレーニングの強度への順応や体組成に対する影響を評価検討した試験はこれまで実施されていない。アグマチンが除脂肪体重または筋肉パフォーマンスの増加をサポートすることを裏付ける何らかの科学的エビデンスは無いようである。

α -ケトグルタル酸 (α -KG) α -ケトグルタル酸 (α -KG) は、好氣的エネルギー代謝に関与する Krebs 回路の中間体であり、一酸化窒素産生に対する刺激因子として機能する可能性がある。 α -KG が手術後の抗異化作用を有する栄養素として機能する可能性がいくつかの臨床エビデンスで示されている[268, 269]。しかしながら、トレーニング中の α -KG 追加摂取がトレーニング順応に影響を及ぼすか否かは明らかではない。ヒトを対象に運動の結果を評価検討する目的で、 α -ケトグルタル酸のみについて実施された研究はきわめて少ない。例えば、Little ら[270]は、クレアチン単独、クレアチン、 α -KG、タウリン、BCAA、および中鎖トリグリセリドの組み合わせ、またはプラセボの追加摂取を実施した。栄養素の組み合わせ摂取群で、反復ベンチプレスの最大数と無酸素能力テストでの最大パワーが増加したが、プラセボ群では変化は報告されなかった。Campbell ら[271]は、トレーニングを受けた健康な男性 35 名に、8 週間のレジスタンストレーニング中にアルギニン 2 g + α -KG 2 g、またはプラセボの追加摂取を二重盲検法により実施した。アルギニン + α -KG の追加摂取により、ベンチプレスの強度および無酸素能力テストでの最大パワーが増加したが、体組成には影響は認められなかった。Willoughby ら[272]は運動習慣のある男性を対象に、アルギニン α -KG 追加摂取による、一酸化窒素産生の増加 (レジスタンス運動中の血管拡張)、血行動態、上腕動脈血流量、L-アルギニンの血中濃度、非対称性ジメチルアルギニンとの関連について評価検討した。この研究では、血漿中 L-アルギニン濃度は上昇したが、レジスタンス運動のセッション後の一酸化窒素産生に対し、有意な影響を及ぼさなかったことが示された。現

時点では α -KGが運動トレーニング順応に及ぼす影響を評価した研究がないことから、その使用を推奨することはできない。

アルギニン アルギニンは、一般に準必須アミノ酸に分類され、一酸化窒素産生と血流での増加との関連から、これが栄養素とホルモン送達の増強を刺激し、レジスタンストレーニング順応に好ましい影響を及ぼすとされている[273]。現時点で、レジスタンストレーニング中の除脂肪体重の増加を促進する能力に、アルギニンが及ぼす単独の影響を評価検討した試験はほとんどない。Tangら[274]は、アルギニンを経口で10 g摂取することによる、筋タンパク質合成の変化を刺激する能力を、急性モデルを用いて評価検討した。その他の試験[276、277]においても、成長ホルモン濃度はアルギニン摂取に反応して上昇したが、筋タンパク質合成または大腿動脈血流量に影響を及ぼさなかったと報告した。これとは対照的に、Forbesら[275]は強度の高いトレーニングを受けた男性の成長ホルモン産生が、アルギニンの急性摂取後に鈍化したと報告した。いずれにせよ、これらの試験で、成長ホルモンの増加を筋タンパク質合成速度の変化に関連付けることはできなかった。注目すべき点として、他の試験もアルギニン摂取後に、今まで主張されている重要なメリットの一つである血流量の変化を示すことができていない[272、278]。Campbellら[271]は、健康な男性を対象とした8週間のレジスタンストレーニング試験で、プラセボまたはアルギニン2 g + α -ケトグルタル酸2 gのいずれかの追加摂取を二重盲検法で実施した結果を発表した。この試験で、脂肪重量または除脂肪体重のいずれにも変化は報告されなかった。現時点では、アルギニン追加摂取が、運動による筋肉量の増加をさらに刺激することについてはデータが限られているため、アルギニンの追加摂取の使用は推奨されない。

ホウ素 ホウ素は、生理学的役割が明確には理解されていない微量元素である。ビタミンD代謝、多量栄養素代謝、免疫サポート、テストステロン値の上昇、同化作用の促進など[279]、ホウ素について提唱された多数の機能が盛んに宣伝されているが、科学的エビデンスがないことから、公式な1日摂取基準(DRI)は確立されていない。いくつかの試験で、トレーニング中のホウ素追加摂取が強度および体組成変化に及ぼす影響が評価検討されている。しかしながら男性ボディビルダーを対象としたこれらの試験は、ホウ素追加摂取(2.5 mg/日)が筋肉量または筋力に有意な影響を及ぼさなかったことを示唆している[280、281]。さらに、2つの研究は[282、283]、ホウ素追加摂取が骨密度に及ぼす影響を、運動選手および運動経験の少ない集団を対象に評価検討している。いずれの研究でも、ホウ素追加摂取は骨密度に有意な影響を及ぼさなかった。このことから、ホウ素追加摂取に関する知見が限られているため、ホウ素の使用は推奨されず、さらなる研究でホウ素追加摂取の生理学的影響を特定する必要がある。

クロム クロムは、多量栄養素代謝に能動的に関与する微量ミネラルである。臨床試験では、クロムによりインスリンの作用が増強され、特に糖尿病患者でその作用が認められることが示唆されている。インスリンとの緊密な相互作用から、クロム追加摂取は同化作用および運動トレーニング順応に影響を及ぼすとの理論が立てられている。初期の研究では期待できる結果が得られ、クロム追加摂取は筋肉および強度の増加と関連し、とくに女性でその関連が認められた[284-286]。十分にコントロールされたその後の研究試験では[287]、クロム追加摂取(200~800 μ g/日を4~16週間)のメリットが統一した見解として報告されていない[288-294]。最近では、クロム追加摂取が高強度運動後のグリコーゲン合成に影響を及ぼす作用について調査され、グリコーゲンの回復に影響を及ぼさないことが明らかにされた[295]。要約すると、クロム追加摂取は、除脂肪体重の改善を刺激またはサポートする能力に関して、きわめて小さな可能性を発揮するようである。現時点では、クロム追加摂取が運動による筋肉量の増加をさらに刺激することについてはデータが限られているため、クロムの使用は推奨されない。

共役リノール酸 (CLA) 動物実験では、飼料への CLA 添加は体脂肪の低下、筋肉および骨重量の増加、抗癌特性、免疫強化、心疾患の進行抑制を示すことが判明している[296-298]。動物実験は印象的なものであるが[299-301]、ヒトを対象とした試験は、最善でも CLA が運動または食事の変化とは独立的に脂肪減少を刺激する能力が中等度であることを示唆するものである[302-305]。また、CLA についてさらに理解するため、その使用を正当化する何らかの状況が存在するか否かに関して実施された研究はきわめて少ない。Pinkoski ら[306]による初期の研究は、CLA 追加摂取がレジスタンストレーニング中の異化作用を最小化する上で有用となる可能性を示唆したが、体組成の全体的改善を支持する結果は同研究では得られなかった。運動している若年者[307]および高齢者[308]を対象に、CLA とクレアチンの組み合わせ追加摂取を実施した 2 つの試験がこれまでにあり、強度および体組成の有意な改善が報告されたが、これらの結果はクレアチンによるものであると考えられる。現時点で、トレーニング中の CLA 追加摂取が除脂肪組織の増加に影響を及ぼす可能性を裏付けるエビデンスはほとんどなく、有効性も限られている[309]。

D-アスパラギン酸 アスパラギン酸はアスパラギン酸塩としても知られており、非必須アミノ酸である。アスパラギン酸には 2 つの異性体、L-アスパラギン酸と D-アスパラギン酸が存在する。D-アスパラギン酸は運動選手のパフォーマンス向上を補助し、テストステロンの効能促進剤として機能すると考えられている。また筋肉量を保存するためにも使用される。ヒトを対象に D-アスパラギン酸を評価検討した試験は限られているが、Willoughby および Leutholtz[310]は、レジスタンストレーニングを受けた男性を対象に、D-アスパラギン酸の影響をテストステロン濃度およびパフォーマンス関連で特定する試験を発表した。結果は、D-アスパラギン酸はテストステロン濃度に影響を及ぼさず、パフォーマンスのいずれの側面にも改善をもたらさないことを示した。これに一致するものとして、Melville ら[311]は、被験者に D-アスパラギン酸 3 g または 6 g のいずれかの追加摂取を実施し、D-アスパラギン酸のいずれの用量もテストステロンおよびその他のタンパク同化ホルモンのいずれにも刺激をもたらさないと結論した。その後、Melville ら[312]は、男性 22 名にプラセボまたは D-アスパラギン酸 6 g の追加摂取を無作為化二重盲検法で実施し、12 週間の追加摂取は安静時の遊離テストステロンまたは総テストステロンに影響を及ぼさず、強度または肥大で観察されたいずれの変化もプラセボ群で認められた変化と同様であったと結論付けた。現時点で利用可能な文献に基づき、筋肉の健康を向上する目的では D-アスパラギン酸は推奨されない。

エクジステロン エクジステロン（別称は、エクチステロン、20-β-ヒドロキシエクジステロン、タルクステロン、ポナスステロン、エクジソン、エクジステン）は、天然由来の植物エクジステロン（すなわち、昆虫ホルモン）である。エクジステロンは、典型的にはハーブの *Leuza rhaponticum* sp., *Rhaponticum carthamoides*, *Cyanotis vaga* から抽出される。またハーブのスマ（別名ブラジル人參または Pfaffia）でも高濃度で検出される可能性がある。エクジステロンに対する初期の関心は、ロシアおよびチェコスロバキアの研究報告により、昆虫および動物で生理学的ベネフィットが得られる可能性が示唆されたことに起因した[313-316]。様々なハーブおよび運動パフォーマンスに関する Bucci によるレビューも、スマ（エクジステロン）に言及した[317]。残念ながら、初期の研究は無名の学術誌で発表されており、試験デザインおよび結果の提示は標準を満たすものではなかった。2006 年に、Wilborn ら[318]は、エクジステロンがレジスタンストレーニング中に及ぼす影響の評価を完了し、これは現在でもヒトを対象とした唯一の試験である。この試験で、20-ヒドロキシエクジソンを 1 日用量 200 mg で 8 週間投与したところ、除脂肪体重またはタンパク同化/異化ホルモン状況のいずれの変化にも影響は認められなかった。トレーニング順応またはパフォーマンスの増加を目的としたエクジステロンの追加摂取は、推奨されない。

フェヌグreek抽出物 フェヌグreek (コロハ、*Trigonella foenum-graecum*) は、アーユルベダ医学のハーブで、歴史的には男性性および性欲増進のために使用された。フェヌグreek抽出物は、テストステロンをエストラジオールへと代謝するアロマトラーゼ酵素の活性低下を介してテストステロン濃度を上昇させることが示されている[319, 320]。Poole ら[321]による初期の研究は、レジスタンストレーニングを受けた男性を対象に、プラセボまたはフェヌグreek抽出物 500 mg の追加摂取を無作為化二重盲検法で実施した。8 週間の追加摂取およびレジスタンストレーニングの実施後に体脂肪、下半身の強度、上半身の強度に有意に大きな増加が認められた。Wankhede ら[320]は、レジスタンストレーニングプログラム実施中にフェヌグreek抽出物 600 mg を摂取させ、ベンチプレスでの挙上ができなくなるまでの反復実施および体脂肪の低下に有意な増加が認められたことを報告した。フェヌグreek抽出物を用いた初期研究は、レジスタンストレーニング順応の向上に補助となる可能性を示唆しているが、さらなる推奨ができるようになるには、異なる人口集団を対象とした研究が今後必要である。

γオリザノール (フェルラ酸) γオリザノールは、植物ステロールとフェルラ酸の混合物で、トレーニング中のタンパク同化ホルモン反応、強度、筋肉量を向上すると理論づけられている[322, 323]。データは限られているものの、1 つの試験は γオリザノール 0.5 g/日の追加摂取が、9 週間のトレーニング中の強度、筋肉量、タンパク同化ホルモンプロファイルに影響を及ぼさなかったと報告した[324]。最近では、Eslami ら[325]は、健康な男性被験者を対象に、レジスタンストレーニング中に γオリザノールまたはプラセボの追加摂取を 9 週間にわたって実施した。同試験では、体組成の変化はもたらされなかったが、ベンチプレスおよびレッグカール運動の強度に有意な増加が認められた。現時点では、研究の数は限られており、結果も一致していないため、この時点で結論的な推奨を出すことはできず、γオリザノール追加摂取が運動者にもたらす影響があるのか、またある場合はどのようなものであるかを完全に特定するため、さらなる研究が必要である。

グルタミン グルタミンは、身体で最も豊富にある非必須アミノ酸で、いくつかの重要な生理学的役割を果たす[74, 326, 327]。グルタミンは細胞容積を増加し、タンパク質[328-330]およびグリコーゲンの合成[331]を刺激すると報告されている。グルタミンは生理学的プロセスで重要な役割を果たすものの、除脂肪体重の増加に関しては、グルタミン追加摂取の使用を裏付ける説得力のあるエビデンスはなく、Gleeson による 2008 年のレビューでは、運動およびスポーツトレーニングで主張されているグルタミンの役割を裏付ける利用可能なエビデンスはきわめて少ないと結論付けられた[332]。Colker ら[333]による初期の研究では、レジスタンストレーニング中の被験者に、グルタミン (5 g) および BCAA (3 g) を添加した乳清たんぱく質 (40 g) の摂取を食事に追加したところ、乳清たんぱく質単独の摂取と比較して、筋肉量の増加が 2 ポンド (約 907 g) 多く、強度の増加も大きかったことが報告された。一方、Kerksick ら[232]は、健康な男性および女性を対象にレジスタンストレーニングを 10 週間実施し、グルタミン 5 g および BCAA 3 g と乳清たんぱく質 40 g の組み合わせが強度、持久力、体組成、無酸素パワーに追加の影響を及ぼさなかったと報告した。これに加え、Antonio ら[334]はレッグプレスまたはベンチプレス運動を用い、高用量グルタミン (0.3 g/kg) の摂取は反復完了回数に影響を及ぼさなかったと報告した。Candow ら[335]は、若年成人を対象に良好にデザインされた研究で、レジスタンストレーニングと組み合わせた経口グルタミン追加摂取の影響を評価検討した。被験者 31 名を、6 週間の全身レジスタンストレーニング中のグルタミン (0.9 g/kg 除脂肪体重) またはマルトデキストリンプラセボ (0.9 g/kg 除脂肪体重) のいずれかに無作為に割付けた。Candow らは、レジスタンストレーニング中のグルタミン追加摂取は、健康な若年成人の筋肉力発揮、体組成、筋肉タンパク分解に有意な影響を及ぼさないと結論付けた。グルタミン追加摂取には他の有用な使用法が存在するかもしれないが (すなわち、ストレス下にある人口集団での消化管の健康およびペプチド取り込み[336]、また前述したように、痛みの軽減および損失した張力産生の回復

[337])、グルタミン追加摂取が除脂肪体重または筋肉力発揮の増加をサポートすることを裏付ける何らかの科学的エビデンスはないと考えられる。

成長ホルモン放出ペプチド (GHRP) および分泌促進物質 成長ホルモン放出ペプチド (GHRP) およびその他の非ペプチド化合物 (分泌促進物質) は、成長ホルモン (GH) の放出を促進し[338,339]、睡眠パターン、食品摂取、心血管機能に影響を及ぼし[340]、また臨床的消耗状況で除脂肪体重を改善することができる[341]。これらの観察は、栄養に基づく GH 刺激因子 (例、アミノ酸、下垂体ペプチド、「下垂体物質」、ハッシュウマメ、ソラマメ、 α -GPC など) の開発の基礎として機能しており、また成長ホルモン分泌、回復、トレーニングの頑健性に影響を及ぼす可能性から、スポーツ人口集団の関心を現在でも集めている[342]。医薬品グレードの GHRP および一部の非ペプチド分泌促進物質が、安静時および運動に対する反応で GH および IGF-1 レベルに上昇をもたらす能力については臨床エビデンスはあるが、このような上昇が骨格筋重量に増加をもたらすことはこれまで示されていない[343]。最後に、Chromiak および Antonio[344]は、多くの分泌促進物質の経口摂取は、成長ホルモンのホルモン増加を一貫して刺激することではなく、筋肉量または強度により大きな変化を促進することもないと報告した。現時点で、分泌促進物質が除脂肪体重または筋肉力発揮の増加をサポートすることを裏付ける説得力のある科学的エビデンスはない。

イソフラボン イソフラボンは、天然発生の非ステロイド性植物エストロゲンで、イプリフラボン (骨粗鬆症の治療で使用される合成フラボノイド薬) [345-347]と同様の化学構造を有している。この理由から、大豆たんぱく質 (イソフラボンの優れたソース) およびイソフラボン抽出物は、骨粗鬆症の治療の可能性、ならびに体組成の変化および心血管健康マーカーの変化で果たす役割に関して研究が行われてきた。この点に関し、イソフラボン追加摂取が様々な体組成パラメータを向上する能力は、複数の試験で高齢女性での単独[348]、および 6~12 か月間コースの運動との組み合わせで裏付けが示されている[349-351]。これらの試験で得られた所見は、体をあまり動かさない、閉経後女性に対していくつかの適用を有している。しかしながら、イソフラボン追加摂取が身体的に活動的な者の運動、体組成、トレーニング順応に影響を及ぼすことを示唆する、査読を受けたデータは現時点で存在しない。例えば、Wilbornら[318]は、8週間のイソフラボン追加摂取とレジスタンストレーニングが強度または体組成のいずれにも有意な影響を及ぼさなかったと報告した。

オルニチン- α -ケトグルタル酸 (OKG) OKG (経腸栄養法) は、重度熱傷患者の損傷治癒時間を有意に短縮し、窒素バランスを改善することがこれまでに示されている[352, 353]。Cynober による 2004 年のレビューは、OKG がアルギニンおよび一酸化窒素の前駆体として機能するが、アルギニンおよびその他の前駆体の有効性が総体として欠けているため、OKG の可能性が制限されていると推論した。OKG は窒素バランスを改善する能力から、激しいトレーニングを実行している運動選手にとって何らかの価値を提供する可能性がある。Chetlin ら[354]の試験は、6 週間のレジスタンストレーニング中の OKG 追加摂取 (10 g/日) により、上半身の強度が有意に増加したと報告した。しかしながら、下半身の強度、トレーニングボリューム、筋肉量の増加、空腹時のインスリンおよび成長ホルモンに有意な差は認められなかった。このレビューの前回発表版以降に、ヒトを対象としたさらなる研究は発表されておらず、そのため、エルゴジェニックエイドとしての OKG の可能性に関して、さらなる推奨を行うことはできない。

プロホルモンおよびアナボリックステロイド テストステロンおよび成長ホルモンは、筋肉量 (すなわち、同化作用) および強度の増加を促進すると同時に、筋肉の分解 (異化作用) および脂肪重量の低下をもたらすよう機能する、身体の 2 つの主要ホルモンである[355-362]。テストステロンは、男性の性徴 (例、毛髪、低い声など) も促進する[356]。医師は様々な疾患および病態を呈する人に対し、筋肉量の損失を防ぐため、低用量アナボリックステロイドをしばしば処方する[363-374]。運動選手がトレーニング順応、筋肉量の増加、または激しいトレーニング中の回復促進を増強

する試みとして高用量アナボリックステロイドを試してきたことはよく知られている[356-358, 361, 362, 375]。研究では、トレーニング中のアナボリックステロイドおよび成長ホルモンの使用により、強度および筋肉量の増加を促進できることが一般に示されている[355, 360, 362, 368, 371, 376-383]。しかしながら、ステロイド乱用がもたらす生命を脅かす有害事象の可能性がこれまでに報告されており、これには肝臓およびホルモン機能障害、脂質異常症（高コレステロール）、心血管疾患のリスク上昇、行動の変化（すなわち、ステロイドレイジ）[378, 384-388]などがある。これらの薬物の使用と関連する一部の有害事象は、不可逆的であり、とくに女性でその傾向が強い[385]。これらの理由から、アナボリックステロイドはほとんどのスポーツ団体によって禁止されており、疾患の治療として医師に処方される場合を除き、避けるべきである。

プロホルモン（例、アンドロステンジオン、4-アンドロステンジオール、19-ノル-4-アンドロステンジオン、19-ノル-4-アンドロステンジオール、7-ケト DHEA、DHEA など）は、テストステロンまたは他のアナボリックステロイドの天然由来前駆体である。これらのプロホルモンの使用により、これらのタンパク同化ホルモンのレベルが自然に増大することが示唆されている。テストステロンの増加を示すデータはこれまで得られているものの[389, 390]、正常なホルモンレベルの若年男性でトレーニング順応の促進を示すエビデンスは実質的には存在しない。実際に、ほとんどの試験はプロホルモンがテストステロンに影響を及ぼさないことを示唆しており、さらに一部はエストロゲンレベルの上昇および HDL コレステロールの低下をもたらす可能性が示唆されている[378, 389, 391-396]。これに関連する注意点として、様々な成分がアロマトーゼおよび 5- α -還元酵素の阻害を介してテストステロンを増加させる能力について複数の試験が検討している。Rohle ら[398]および Willoughby ら[399]は、遊離テストステロンおよびジヒドロテストステロンの有意な増加の発生を報告したが、軟部組織組成は、測定されていないか[398]、追加摂取による変化は認められなかった[399]。このことから、高齢者では低下しているアンドロゲンレベルを補充するため、何らかの適用の可能性は考えられるものの、プロホルモンはトレーニングでの価値はないようである。プロホルモンは、「ステロイド様化合物」であることから、ほとんどの運動競技団体はその使用を禁じている。プロホルモン含有栄養サプリメントの使用は、アナボリックステロイドに対する薬物検査で陽性の結果をもたらす。プロホルモン含有サプリメントの使用（意図して、または知らずに）は、最近の薬物検査で多数の運動選手が陽性であったことに寄与したと信じられている。このことから、運動選手が摂取を考えているいずれのサプリメントについても、プロホルモン前駆体を含有していないことを確認する注意が必要であり、とくに運動選手のスポーツがこれらの化合物の使用を禁止し、検査を行う場合には注意が必要である。Informed Choice (www.informed-choice.org) および National Sanitation Foundation (NSF、別称、NSF Certified for Sport、www.nsf.org) などの企業は、様々な栄養製品を検査し、スクリーニングする保証プログラムを開発している。また、いくつかのプロスポーツ団体は、団体交渉での同意に、チームまたはスポーツ団体が提供する製品について、いずれも安全性、禁止物質、またはラベルの標榜について特定第三者による承認を得た製品を提供しなければならないことを要請する文言を組み入れている。ここで言及すべき点として、多くのプロホルモンは、2004 年にアナボリックステロイド管理法が可決されて以来、米国での販売は違法である。これに関する顕著な例外は、デヒドロエピアンドロステロン（DHEA）で、これは高齢人口集団を対象とした多数の臨床試験で評価されている。

スルホ-多糖類（ミオスタチン阻害薬） ミオスタチンまたは増殖分化因子 8（GDF-8）は、骨格筋肥大の負の調節因子として知られる形質転換成長因子である[400]。ヒトでは、ミオスタチン遺伝子発現の抑制は、様々な疾患での筋肉消耗の予防または遅延、損傷した筋肉の回復のスピードアップ、または運動選手の筋肉量および強度の増加の促進をもたらす方法として理論づけられている[401]。2010 年以降、ミオスタチン発現を抑制する何らかの栄養成分または戦略が及ぼす影響について評価検討したさらなる研究は発表されていない。ヒトでは、ミオスタチンは骨格筋重量の調節で明らかな役割を果たしている。例えば、Ivey ら[401]による試験は、あまり一般的ではないミオスタチン対立遺伝子を有する女性運動選手は、トレーニング中の筋肉量の増加が大きく、脱トレーニング中の萎縮が軽減したと報

告した。興味深い点として、このような変化は男性では報告されなかった。Willoughby ら[402]は、トレーニングを受けていない男性にミオスタチン阻害剤とされている *Cytoseira Canariensis* (海藻類の1つ) 1200 mg/日の追加摂取を実施し、除脂肪体重、強度、血中ミオスタチン濃度に変化は認められなかったと報告した。これらの結果は Wilborn ら[318]が確認し、スルホ-多糖類追加摂取は体組成またはパフォーマンスの変化に影響を及ぼさなかったと報告した。現状では、スルホ-多糖類またはミオスタチン阻害剤として作用すると宣伝されているその他のいずれの成分の使用についても、強度または筋肉量を増加させる能力を目的とした使用を裏付けるデータは現時点で発表されていない。

Tribulus terrestris (ハマビシ) *Tribulus terrestris* (別名、パンク草または鉄菱、和名ハマビシ) は、黄体形成ホルモンを刺激することが示唆されている植物抽出物で、黄体形成ホルモンはテストステロンの自然産生を刺激する[403]。そのため、ハマビシはテストステロンを増加させ、トレーニング中の強度および筋肉量のより大きな増加を促進するサプリメントとして市販されている。ヒトを対象とした研究モデルでは、ハマビシ単独[404、405]、または他の分泌促進物質およびアンドロゲン前駆体との組み合わせでの追加摂取は、レジスタンストレーニング中の体組成または強度に影響を及ぼさないと考えられること[406、407]がいくつかの試験で示唆された。

硫酸バナジル (バナジウム) 硫酸バナジルは、インスリン感受性に影響を及ぼすことが認められた微量ミネラルで(クロムと同様)、たんぱく質および糖代謝に影響を及ぼす可能性がある[403、408]。この点に関し、バナジウムがインスリン感受性を改善し[409]、糖尿病の管理を補助する上で示す効果および裏付けの可能性が報告で強調されている[410]。タンパク質および糖代謝に影響を及ぼす可能性に関連して、硫酸バナジル追加摂取は強度および筋肉量に正の影響を及ぼすと主張されている[74、411]。しかしながら、糖尿病に罹患しておらず、レジスタンストレーニングを現在実施している者の強度または筋肉量に硫酸バナジル追加摂取が影響を及ぼす能力について、これを裏付ける試験はこれまでに得られていない[412、413]。

アスパラギン酸亜鉛/マグネシウム (ZMA) ZMA 調剤の主要成分は、モノメチオニアスパラギン酸亜鉛、アスパラギン酸マグネシウム、ビタミン B-6 である。ZMA 追加摂取の理論的根拠は、亜鉛およびマグネシウムの欠乏がテストステロンおよびインスリン様成長因子 (IGF-1) の産生を低下させる可能性があることに基づいている。そのため、ZMA 追加摂取は、テストステロンおよび IGF-1 の増加をもたらす能力が提唱されており、これによりさらにトレーニング中の回復、同化作用、強度が促進すると示唆されている。ZMA の急性投与がタンパク同化ホルモン濃度を増加させる能力を評価検討した 2 つの試験では、相反する結果が得られている。まず、Brilla および Conte[414]は、春のトレーニングに参加しているフットボール選手に対する亜鉛-マグネシウム製剤により、テストステロンおよび IGF-1 (2 つのタンパク同化ホルモン) が増加し、強度のより大きな増加がもたらされたと報告したが、一方、Koehler ら[415]は、ZMA 追加摂取により血清中亜鉛および排出量は増加したものの遊離テストステロンおよび総テストステロン値に変化はもたらされなかったと報告した。Wilborn ら[416]は、レジスタンストレーニングを受けている男性を対象に、ZMA またはプラセボを二重盲検法で追加摂取させ、レジスタンストレーニングを 8 週間実施したところ、遊離テストステロン、総テストステロン、強度または除脂肪体重 (DXA 法による測定) に変化は認められなかった。過去の亜鉛欠乏は、アンドロゲン代謝およびステロイド受容体相互作用で亜鉛が果たす役割に起因して、テストステロンの内因性産生に悪影響を及ぼす可能性があることが記されている[417]。この点に関し、Brilla および Conte[414]は、亜鉛およびマグネシウムの両方の枯渇、したがってテストステロン値の上昇は、薬理学的効果ではなく栄養枯渇状況に起因していた可能性があったと報告した。ZMA について最終的な結論を下せるようになるためには、ZMA がトレーニング中の体組成および強度で果たす役割をさらに評価する研究が今後必要である。

パフォーマンス強化サプリメント

いくつかのサプリメントは、運動パフォーマンスを強化すると提唱されている。本セクションの全体を通じ、焦点はパフォーマンスのいくつかの性質を直接測定した結果に置かれている。ある栄養素が除脂肪体重の増加を刺激し、パフォーマンスを強化すると主張されている場合（例、クレアチン）、より詳細で長いセクションを用意しているが、他のカテゴリではより簡略なセクションにまとめている。表 3 では、提唱されているエルゴジェニックエイドを、「有効性を裏付けるエビデンスが強力かつ明らかに安全」、「有効性を裏付けるエビデンスが限定的または相反する」、「有効性または安全性を裏付けるエビデンスがほとんどないか、まったくない」に分類している。

有効性を裏付けるエビデンスが強力かつ明らかに安全とされるパフォーマンス強化サプリメント

β-アラニン β-アラニンは、非必須アミノ酸で、カルノシン合成で果たす役割に基づき、エルゴジェニックな可能性を有している[12]。カルノシンは、アミノ酸のヒスチジンと β-アラニンで構成されるジペプチドで、骨格筋で大量に自然発生する。カルノシンは、骨格筋で利用可能な主要筋緩衝物質の一つであると考えられている。β-アラニン 4~6 g を分割用量で 28 日間にわたって経口摂取することは、カルノシン値の上昇に有効であることが試験で示唆されている[418、419]、より最近の試験では、最大 12 g/日までカルノシンおよび有効性が増加することが示されている[420]。ISSN ポジションステートメントによれば、既存の一連の β-アラニン研究の評価から、運動パフォーマンスの向上効果は活動の期間が 1~4 分以上継続するものでより顕著であり、神経筋疲労の向上はとくに高齢者でその傾向が認められ、また軍、警察、消防などの現場職での恩恵の可能性が示唆される[12]。他の試験は、β-アラニン追加摂取により、可能な反復回数の増加[421]、除脂肪体重の増加[422]、膝伸展トルクの増加[423]、トレーニングボリュームの増加[421]がもたらされることを示している。実際に 1 つの試験は、β-アラニンをクレアチンに追加することで、クレアチン単独と比較してパフォーマンスが改善することを示している[424]。β-アラニン追加摂取によりパフォーマンスが向上するようであるが、他の試験はパフォーマンスでの恩恵を示していない[425、426]。

カフェイン カフェインは天然由来の刺激物で、多くのサプリメントに典型的にはガラナ、ビセイナツ（bissey nut）、コラなどとして含まれている。またカフェインは、コーヒー、紅茶、ソフトドリンク、エナジードリンク、チョコレートにも含有されている。カフェインは、有酸素および無酸素運動に対する効果的なエルゴジェニックエイドであることも示されており、エネルギー消費の増加および体重低下の促進をもたらす能力が記録されている[14]。トレーニングを受けた自転車選手を対象に、カフェインがタイムトライアルで及ぼす影響を評価した研究で、カフェインにより、スピード、最大パワー、平均パワーの向上が認められた[427]。同様の結果が最近の研究でも得られており、タイムトライアル前にカフェイン飲料を摂取した自転車選手は、パフォーマンスでの向上を示した[428、429]。カフェインの摂取（例、3~9 mg/kg を運動の 30~90 分前に摂取）は、運動中の炭水化物の使用を温存し、これにより持久運動能力を向上できることが試験で示唆されている[430、431]。持久運動パフォーマンスへの明らかな有効性に加え、カフェインは反復スプリントパフォーマンスも向上させ、無酸素運動を行う運動選手に恩恵をもたらすことが示されている[432-434]。カフェインが最大強度および疲労までの反復を増加させる能力を評価検討した試験は、主に矛盾する結果をもたらしている。例えば、Trexler ら[434]は、カフェインにより反復スプリントパフォーマンスの向上が可能であるが、上半身および下半身運動の両方を用いた最大強度および疲労するまでの反復運動には影響が認められなかったと報告した。これに一致するものとして、Astorino ら[435]は、レジスタンストレーニングを受けた男性を対象に、カフェイン 6 mg/kg の摂取後に上半身および下半身の強度に影響は認められなかったと報告した。同様に、Beck ら[436]は、レジスタンストレーニングを受けた男性にカフェイン 201 mg (2.1~3.0 mg/kg) を投与し、下半身強度、下半身の筋持久力、上半身の筋持久力に影響は認められなかったと報告した。しかしながら、上半身の最大強度は向上した。一方、他の試験では、カフェインにより

筋パフォーマンスに好ましい影響がもたらされる可能性が示唆されている。例えば、Goldstein ら[437]は、カフェイン摂取（6 mg/kg）により女性グループのベンチプレス強度が有意に上昇したが、疲労するまでの反復運動には影響がないことを報告した。Duncan らによる研究は[438-441]、カフェインが強度および持久力パフォーマンスに及ぼす影響、ならびに最大レジスタンス運動を実施中の様々な気分状態のパラメータを評価検討した。簡単にまとめると、Duncan らは、ベンチプレス[438、439]および他の運動で[440、441]、強度およびできなくなるまでの反復運動に向上が認められると報告している。エルゴジェニックな影響の可能性に加え、Duncan らは、最大レジスタンス運動の前にカフェインの急性用量（5 mg/kg）を提供した場合、カフェインにより気分状態の様々な指標が改善し[438、440]、運動の主観的強度の低下および主観的な筋肉痛の軽減がもたらされること[439、441]も報告した。このように、カフェインが強度および筋肉パフォーマンスに影響を及ぼす能力について調べた研究の評価では、得られた所見は多義的であることから、カフェインが強度パフォーマンスに影響を及ぼす能力をいずれの状況で最適に予測できるかを詳細に特定するため、さらなる研究が必要である。例えば、トレーニングを受けた被験者は、トレーニングを受けていない被験者と比較してより大きなエルゴジェニックな影響を示す[442、443]。一方、カフェイン含有飲料を定期的に摂取する人は、カフェインによるエルゴジェニックな恩恵がより少ないようである[444]。運動前のカフェインの摂取は脱水に寄与する可能性があるとして懸念する人もいるが、いくつかの試験はこの懸念を支持しない結果を示している[430、445、446]。カフェインは、無水およびコーヒーのいずれをソースとしても同様にエルゴジェニックである[434]。カフェイン用量の9 mg/kg 超は、多くのスポーツ団体のドーピング閾値を超える尿中カフェイン濃度をもたらす可能性がある。まとめるなら、カフェインがいくつかのスポーツの状況でエルゴジェニックエイドとして機能することは、利用可能な科学的エビデンスによって一貫して示唆されている。

炭水化物 運動選手および活動的な人のいずれでも、利用可能な最善のエルゴジェニックエイドの一つは炭水化物である。最適な炭水化物を毎日の食事で、運動の数時間前まで、運動中、および運動後の数時間に取ることで、内因性グリコーゲン貯蔵の維持が確保され、多くの種類の運動パフォーマンスをサポートすることができる[41-43、50]。この点に関し、運動選手および活動的な人は、筋肉および肝臓の炭水化物貯蔵を維持するため、炭水化物の多い食事を摂取する必要がある（例、カロリーの55~65%、または5~8 g/kg/日）[41、50、54]。研究では、炭水化物を運動の延長が図れるエルゴジェニックエイドとして明確に特定している[41、68]。例えば、Below ら[447]の研究では、約1時間の中等度の強度の自転車運動後に、疲労困憊までの時間プロトコルの全体を通して炭水化物を摂取することで、自転車運動を実施する時間を有意に延長できることを示した。また、Widrick ら[129]は、運動前の筋グリコーゲンレベルの高値および低値、それに自転車運動の標準セッション前の炭水化物の供給の有無でできる4つのすべての組み合わせについて、体系的に評価検討した。炭水化物が供給された場合、パフォーマンスは向上した。従来の持久運動モデルに加え、Williams および Hawley[42]は、炭水化物の送達、また強度のばらつきと重度の運動の断続的期間を典型的な特徴とするチームスポーツに関する文献をまとめ、炭水化物摂取によりパフォーマンスを強化できると結論付けた。Pochmuller ら[68]および Colombani ら[69]は、関与した運動セッションの期間、関与した運動の強度、個人の空腹状態を、運動パフォーマンスに影響を及ぼす可能性がある重要な因子として批評的に指摘した。また、Burke ら[23、50]、Hawley ら[43]、および Rodriguez ら[54]はいずれも、様々な種類のスポーツおよび回復状況を通じて、パフォーマンスをサポートするためには炭水化物の最適な送達が重要であることを強調している。摂取の他に、エルゴジェニック戦略として炭水化物によるうがいの影響を及ぼす可能性に関心を寄せる文献が増えている。Carter ら[448]による初期の研究では、炭水化物溶液による口腔のうがい（ただし、飲み込まない）後に、非炭水化物によるうがいと比較して、自転車運動での疲労困憊までの時間パフォーマンスが増加したことが示され、脳を受容体が口腔内に炭水化物が単に存在することと関連している可能性があり、それにより様々な種類の運動パフォーマンスを向上できることが明らかにされた。この概念はまだ発展途上であり、一部の試験は炭水化物によるうがいパフォーマンス

ンスを向上させる能力を裏付けているものの[449-452]、すべての試験ではない[453-455]。他の炭水化物操作戦略には、従来の低分子量飲料とは逆に、高分子量グルコース溶液の活用があり、これは理論的にはグルコース吸収およびエネルギーの利用可能性を促進する。重要な点として、大半の文献は、高分子量溶液の使用が酸化基質、または燃料利用のパターンに変化をもたらす可能性を示唆しているが、男性または女性のパフォーマンスにエルゴジェニックな効果は示さないようである[63, 456-459]。

クレアチン水和物 すでに示唆したように、クレアチン追加摂取は筋肉量およびトレーニング中の強度を増加する上で、十分に裏付けられた戦略である。一方、クレアチンは様々な状況で運動耐容能を向上することが報告されている[182, 460-462]。具体的には、Kreiderら[10]が論じたように、以下の点での向上が試験で記録されている：a) 単回または複数回スプリント、b) 最大努力の複数回セットを通じて完了するワークアウト、c) 無酸素閾値、d) グリコーゲン負荷、e) 作業能力、f) 回復、g) より大きなトレーニング耐性。このため、チームスポーツ、個人の活動またはスポーツで、高強度、断続的な運動で構成されるもの、例えば、サッカー、テニス、バスケットボール、ラクロス、ホッケー、ラグビーなどは、いずれもクレアチンの使用から恩恵を得ることができる[182]。また、2009年の試験では、高強度インターバルトレーニングに加え、クレアチンによりクリティカルパワーが向上することが明らかにされた[460]。クレアチン追加摂取と持久運動に関して利用可能な研究は少ないが、クレアチンが、持久運動中の重要な燃料であるグリコーゲンローディングを促進し[463]炭水化物貯蔵を促進する能力は[464-466]、持久運動のパフォーマンス向上へと具体化される可能性がある。実際、2003年の試験で、クレアチン 20 g を 5 日間摂取することにより、エリートボート選手の持久力および無酸素パフォーマンスが向上した[467]。クレアチンは区間スプリントパフォーマンスを強化することが報告されていることから、トレーニング中のクレアチン追加摂取により、持久および無酸素運動の運動選手のトレーニング順応、ならびに無酸素能力が向上し、また運動選手が無酸素閾値以上でより大きなトレーニングボリュームを完遂できるようになる可能性がある[468, 469]。注目すべきこととして、競技シーズンを通して体重の維持に苦労している運動選手にとって、クレアチンの使用はこの点で運動選手を助ける可能性がある。重要な点は、幅広い種類のスポーツでクレアチンが効果的なエルゴジェニックエイドであることに加え、試験ではこれらの結果（短期運動耐容能、複数セッション中に完遂されたワークアウト、トレーニング順応での向上）が、思春期[470-474]、若年成人[231, 424, 462, 475-483]、高齢者[484-490]で記録されていることである。クレアチンおよび運動選手のパフォーマンスに関して、クレアチンは筋痙攣および脱水をもたらす可能性があるとの誤解があるようである。しかしながら、多くのこれまでに実施された研究に基づき、クレアチン追加摂取が脱水、筋痙攣、または心臓関連疾患に対する感受性を上昇させることを示した臨床エビデンスはない[196, 491]。

炭酸水素ナトリウム（重曹） 高強度運動中には、酸（H⁺）および二酸化炭素（CO₂）が筋肉および血中に蓄積する。炭酸水素系は、身体が酸および CO₂ を排除する主要手段で、炭酸水素への転換後に肺で除去する。炭酸水素ナトリウムとしての炭酸水素負荷（例、0.3 g/kg を運動の 60~90 分前に摂取、または 5 g を 1 日 2 回 5 日間摂取）は、1~3 分間の期間で持続する高強度運動中に酸を緩衝する効果的な方法であることが示されている[431, 492-494]。Matsonら[495]は、400~800 m 走行のようなイベントでの運動耐容能の向上を報告し、また Lindhら[496]は、炭酸水素によりエリート男性水泳選手の 200 m 自由形の水泳パフォーマンスを向上できることを報告した。同様に、自転車での 3 km タイムトライアルに向上をもたらす炭酸水素の能力が試験で報告されている[497]。Marriottら[498]は、炭酸水素ナトリウムにより、男性のチームスポーツの運動選手の断続的ランニングのパフォーマンスが 23%有意に向上し、運動の主観的強度が軽減するという知見を発表した。興味深い点として、Percivalら[499]は、炭酸水素ナトリウム追加摂取により、ミトコンドリア順応の駆動力であることが知られている主要タンパク質の PGC-1- α 値が有意に上昇したことを報告した。最後に、炭酸水素ナトリウムに関する Peartら[500]によるメタ解

析では、パフォーマンスの改善に関して全体的処置効果は中等度であり、測定したエルゴジェニックのほぼすべてで、結果は参加者のトレーニング状況に影響を受けていたと報告した。

これに加え、他の試験では炭酸水素ナトリウムをカフェインまたは β -アラニンのいずれかと摂取することで追加される可能性がある恩恵について評価検討した。この点に関し、Kilding ら[497]は、カフェインおよび炭酸水素が自転車 3 km タイムトライアルに及ぼす独立の有意な効果は示されたが、相加的恩恵は認められなかったと報告した。一方、Tobias ら[501]は、トレーニングを受けたマーシャルアーツ選手で β -アラニンまたは炭酸水素ナトリウムの摂取後に上半身のパワー産生が有意に向上したが、 β -アラニンと炭酸水素ナトリウムを同時に摂取した場合に上半身のパワーおよびパフォーマンスに顕著な相乗的向上が認められたと報告した。これとは対照的に、Danaher ら[502]は、健康男性 8 名に β -アラニン、炭酸水素ナトリウム、またはその併用による追加摂取を 6 週間にわたりクロスオーバー法で実施し、その後、自転車運動中の反復スプリント能力検査を実行した。緩衝能力は増加したが、パフォーマンスは β -アラニンが提供された場合にのみ向上した。炭酸水素ナトリウムと他の成分が及ぼす相乗的な影響については、結果が一致しておらず、これまでに得られた試験が相対的に不足していることから、今後の研究でさらに評価検討することが推奨される。強調すべき重要点として、炭酸水素ナトリウムの摂取に関連して一般的にみられる苦情は消化管障害であり、このため、運動選手は実戦の前に忍容性を評価するため、使用を試してみる必要があることが挙げられる。

リン酸ナトリウム リン酸は、多くの一般的な食品（例、赤身の肉、魚、乳製品、シリアル食品など）に含有される必須ミネラルとして最もよく知られており、骨、細胞膜、RNA/DNA 構造での重要な機能、またクレアチンリン酸および多様なヌクレオチドの骨格としての重要な機能を有している。また、リン酸は 2,3-ジホスホグリセリン酸（DPG）および他の乳酸緩衝成分の調節を介して酸素輸送を向上する可能性があることから、エルゴジェニックな形態で機能すると示唆されている。リン酸ナトリウム（ NaPO_4 ）追加摂取は、有酸素運動能力の 5~12%向上[503-505]、無酸素閾値の 5~10%向上[504-507]、平均パワーアウトプット[503,508]、および断続的ランニングパフォーマンス[509-511]の向上をもたらすことが複数試験で報告されている。これらの試験はいずれも NaPO_4 の用量 1 g を 1 日 4 回、3~6 日間摂取することが必要な投与計画を採用した。しかしながら、すべての試験がエルゴジェニックな結果を報告したわけではなく[512-514]、リン酸吸収に影響を及ぼす因子、トレーニング状況、性別が、パフォーマンスに追加摂取による均一な影響が認められなかった潜在的な理由として提示された。Brewer ら[513]は、トレーニングを受けた自転車選手のタイムトライアルで、反復追加摂取計画での NaPO_4 追加摂取が中等度（非有意）の影響を及ぼしたと報告した。また、West ら[514]は、男女混合コホートをを用い、追加摂取後に VO_2max の変化はもたらされなかったと結論付けた。Buck ら[515]は、女性運動選手を対象に NaPO_4 が及ぼす影響を初めて単独で評価検討し、トレーニングを受けた女性自転車選手 13 名に、 NaPO_4 を用量 25、50、または 75 mg/kg のいずれかで無作為化二重盲検法により追加摂取させた後、500 kJ タイムトライアルを実施した。いずれの用量でも追加摂取による有意な影響は認められなかったことから、Buck らは女性は男性と同様の方法では反応しない可能性がある結論付けた。しかしながら、この同じ著者らは 2 つの機会に[510、511]、 NaPO_4 が女性チームスポーツ選手のスプリントランニングの反復セッションの実行に及ぼす影響を評価検討し、 NaPO_4 によりプラセボと比較してスプリントのベストタイムおよび総タイムが有意に改善したと報告した。このことから、 NaPO_4 のエルゴジェニックの可能性に性別が及ぼす影響は明らかではなく、女性の反復スプリントの実行では一貫した恩恵が認められたのに対し、タイムトライアル運動中には同様の恩恵は示されなかった。

水およびスポーツドリンク 発汗による体重損失を制限する戦略の採用は、運動パフォーマンスを維持する上ではきわめて重要である（とくに高温/多湿の環境）。高温環境で激しい運動または作業に従事する人は、水またはスポーツドリンクを定期的に摂取することが一般的に推奨されており（例、12~16 液体オンス [360~480 mL] を 10~

15 分おき)、全体の重要な目標もしくは包括的な目標は高温多湿環境での運動の結果としてしばしばみられる体重の損失を最小限に抑えることである[516]。Below ら[447]は、液体(炭水化物は含まず)および炭水化物の摂取の両方が自転車運動のパフォーマンスを有意に増加させる独立した能力を示した。また、これら 2 つの処置を組み合わせる場合に、パフォーマンスに対する相乗的影響が認められた。高温/多湿環境での運動中のスポーツドリンクの摂取は、脱水の予防を助け、持久運動能力を向上させることが試験で示されている[517-519]。注意すべき点として、炭水化物と同様、運動セッションの期間および強度などの運動因子が、自転車タイムトライアルパフォーマンスの強力な予測因子として機能するようである[520、521]。このため、運動中に水またはスポーツドリンクを頻りに摂取することは、長期の運動セッション中の体温調節をサポートし、心血管緊張を軽減する能力を有することから、最も簡単で最も有効なエルゴジェニックエイドの 1 つであり、とくに高温多湿の状況で実施する場合に該当する[162、516]。

有効性を裏付けるエビデンスが限定的または相反するパフォーマンス強化サプリメント

L-アラニール-L-グルタミン グルタミンと同じ理論的枠組みの下で機能することから、L-アラニール-L-グルタミンの追加摂取は近年関心を集めている。成分は L-アラニンと L-グルタミンのふたつで部分で構成され、いずれも、アミノ酸が関与するアミノ基転移過程で中心となるアミノ酸である。Rogerero ら[522]は、ラットを用い、6 週間の運動トレーニングプログラムの最終 21 日間に L-アラニール-L-グルタミンの追加摂取を実施した。追加摂取は疲労困憊までの時間、パフォーマンスに影響を及ぼさなかったが、コントロール群と比較してグルタミン濃度が高かった。Cruzat および Tirapequi[523]も、実験室ラットの血漿中および筋肉内グルタミン濃度の上昇とともに、血液、筋肉、肝臓組織検体中の抗酸化プロファイルが向上したことを報告した。これらの結果は、2010 年に拡張され、実験室ラットで運動トレーニング後の炎症および血漿中クレアチンキナーゼレベルが軽減したことが報告された[523]。

2010 年以降、ヒトを対象に、ピアレビューを受けた試験がいくつか発表されている。Hoffman ら[524]は、身体的に活動的な男性 10 名のグループを対象に、軽度の脱水ストレスへの曝露下で、L-アラニール-L-グルタミンにより自転車エルゴメーターでの疲労困憊までの時間が増大したと報告した。2 年後に同じ研究グループは、バスケットボールの練習試合で、2.3%の脱水後の L-アラニール-L-グルタミンによる水分補給により、水と比較してバスケットボールの技術パフォーマンスおよび視覚的反応時間が向上したと報告した[525]。2016 年の研究は、トレッドミルランニングでの疲労セッション後に、L-アラニール-L-グルタミンにより上半身および下半身活動の反応時間が維持されたことを示唆した[526]。最後に、2015 年の論文は、L-アラニール-L-グルタミンは水分補給なしと比較してトレッドミルランニングパフォーマンスに有意な向上をもたらしたと結論付けた[527]。これらを合わせるなら、この研究は、L-アラニール-L-グルタミンの用量 300~1000 mg/ 500 mL 液体は、水分補給なしまたは水単独の摂取と比較して、水分補給状態およびパフォーマンスに好ましい影響を及ぼす可能性があることを示唆している。

アラキドン酸 アラキドン酸 (ARA) は、長鎖多価不飽和脂肪酸 (20:4, n-6) で、細胞膜のリン脂質二分子層内に存在し、濃度は食事での摂取量に依存する[528]。ARA は典型的なアメリカの食事では高量では含まれていない[529]。しかしながら、わずか 1.5 g/日の追加摂取を 50 日間にわたって行うことで、ARA の組織細胞膜貯蔵が増加することが示されている[530]。骨格筋では、ARA がプロスタグランジンシグナル伝達の増強を介して強度トレーニングに対する一部の炎症反応を駆動していることを裏付けるエビデンスがある[531]。具体的には、運動により ARA が筋肉細胞膜からホスホリパーゼ A₂ 活性化を介して遊離する。その結果生じる遊離細胞内 ARA は、その後、シクロオキシゲナーゼ (COX) 酵素を介して特定のプロスタグランジン (すなわち、PGE₂ または PGF_{2α}) に変換され[532]、これらのプロスタグランジンは関連受容体にオートクリンおよびパラクリンの様式でシグナル伝達をすることができ、筋肉タン

パク質合成の増加と関連するシグナル伝達をアップレギュレーションする。Roberts ら[533]は、ARA 追加摂取が強度および体組成の変化に及ぼす影響を評価した最初のグループである。レジスタンストレーニングを受けた大学生相当の年齢の男性に、8 週間にわたり、プラセボまたは ARA 用量 1 g/日のいずれかの追加摂取を乳清たんぱく質 90 g/日と併用して二重盲検法で実施した。ARA 群で無酸素最大パワーに有意な増加が認められたが、強度または体組成にその他の変化は示されなかった。DeSouza ら[534]による 2 つめの試験は、強度トレーニングを受けた大学生相当の年齢の男性を対象に、8 週間の ARA 追加摂取 (0.6 g/日とプラセボの比較) がもたらす効果を、レジスタンストレーニングを併用し、たんぱく質追加摂取は実施せずに評価した。DeSouza らは、ARA 群でのみ有意な上昇が除脂肪体重 (2.9%、 $p < 0.05$)、上半身強度 (8.7%、 $p < 0.05$)、無酸素最大パワー (12.7%、 $p < 0.05$) で認められたと報告した。Mitchell らも、レジスタンストレーニングを受けた男性 19 名を対象に、ARA 1.5 g/日の追加摂取を二重盲検プラセボ対照法で 4 週間にわたって実施したデータを発表しており、ARA 追加摂取は筋肉タンパク質合成およびその他のタンパク質翻訳の機序的なリンクに急性の変化をもたらさないという知見を得た。Mitchell ら[535]は、ARA 追加摂取は ARA 追加摂取と短期同化作用の機序的なリンクを裏付けないが、翻訳能力は増加する可能性がある結論付けた。ヒトでのデータが限られていること、および ARA の有効性に関する知見が本質的に矛盾していることから (2 つの肯定的結果、1 つの否定的結果)、現時点で ARA の推奨は時期尚早である。この点に関し、パフォーマンス強化または筋肉形成補助としての ARA 追加摂取の安全性および有効性の可能性を完全に検討するため、異なる用量の ARA 追加摂取を評価検討するヒトを対象としたより長期の試験が必要である。安全性の観点および ARA が炎症促進性脂肪酸として知られていることから、ARA の使用は炎症に関して健康が障害されている人々 (すなわち、炎症性腸症候群、クローン病など) では禁忌となる可能性がある。

分岐鎖アミノ酸 (BCAA) 長期運動中のスポーツドリンクと BCAA (例、6~10 g/時) の摂取は、疲労の主観的認識 (すなわち、中枢性疲労) を向上することが長い間にわたって示唆されている。これに従って、Mikulski ら [536]は、持久運動トレーニングを受けた男性 11 名を対象に、90 分間の自転車運動セッションで BCAA 16 g およびオルニチンアスパラギン酸 12 g の摂取が及ぼす影響を評価検討し、アミノ酸の組み合わせにより、反応時間が有意に向上したが、BCAA を独立に摂取した場合にエルゴジェニックな影響は認められなかったと報告した。エルゴジェニックな臨床結果を裏付ける強力な理論的根拠およびデータは存在するが、他の試験では BCAA のエルゴジェニックな影響が報告されていないことから [247、537]、現時点で結果は主に矛盾したものとなっている。このことから、BCAA に何らかのエルゴジェニックな影響があるとすれば、これを完全に特定するため、さらなる研究が必要である。BCAA に関して強調すべき重要な点として、筋肉損傷に関連する結果を BCAA が軽減する能力について、これを裏付ける文献が増加していることが挙げられる。この点に関し、複数の試験で研究が進み、回復の促進、痛みの軽減、パワー産生の損失の軽減をもたらす BCAA の能力が裏付けられている [249、250、537、538]。

シトルリン シトルリン (2-アミノ-5- (カルバモイルアミノ) ペンタン酸もしくは L-カルニチン) は、尿素サイクルでオルニチンおよびカルバモイルリン酸から内因性に生成される。身体内では、シトルリンはシトルリン-一酸化窒素サイクルを通じ、その後の一酸化窒素産生のために効率的にアルギニンへとリサイクルされる [539]。アルギニンとは異なり、シトルリン異化作用は腸内に [540]、また抽出も肝組織から [541] に制限されており、その結果、シトルリンの大半はアルギニンへと変換される前に全身循環を通過する [542]。このこと、また細胞輸送での非競合的取り込みに起因し [542]、経口シトルリン追加摂取はアルギニンの増加 [543、544]、一酸化窒素合成酵素 (NOS) の活性化 [544]、一酸化窒素の様々なバイオマーカーの活性化により効果的であることが示されている [545]。複数の試験では、シトルリンがパフォーマンスに及ぼす影響を評価するため、有酸素運動モデルを採用した。Suzuki ら [546]は、L-シトルリン 2.4 g/日の 7 日間投与により、血漿中一酸化窒素代謝物、血漿中アルギニン、4 km タイムトライアルパフォーマンスが増加すること

を示した。Bailey ら[547]は、指屈筋運動モデルおよび P31 核磁気共鳴分光法を用い、シトルリン（6 g/日）の 7 日間投与により、血漿中アルギニンおよび亜硝酸塩レベルが有意に上昇し、VO₂ キネティクスおよび運動パフォーマンスが有意に向上したと報告した。しかしながら、すべての試験でエルゴジェニックな効果が報告されているわけではなく、Cunniffe ら[548]は、シトルリンリンゴ酸 12 g が高強度自転車運動の単回セッションでパフォーマンスに影響を及ぼさなかったと報告した。有酸素運動での研究に加え、みつつの試験ではレジスタンストレーニング中のシトルリン用量 8 g が様々なパフォーマンスの結果に及ぼす影響を評価検討した[549-551]。1 つの試験では[550]、トレーニングを受けた男性を対象に、順手懸垂、逆手懸垂、腕立て伏せができなくなるまでの反復回数に及ぼす影響を評価検討した。ふたつめの試験では[551]、トレーニングを受けた男性を対象に、レッグプレス、ハックスクワット、レッグ伸展運動の 5 回連続セット（60% 1RM）ができなくなるまでの反復回数にシトルリン追加摂取が及ぼす影響を評価した。みつつめの試験は[549]、トレーニングを受けた女性を対象に、ベンチプレスおよびレッグプレス運動の各 6 セット（80% 1RM）ができなくなるまでの反復回数にシトルリン追加摂取が及ぼす影響を評価した。これらみつつの試験のいずれでも、シトルリンリンゴ酸は上半身および下半身のレジスタンス運動の複数回セッション実施中のパフォーマンスに有意な向上を示した。一方、Cultrufello ら[552]は、L-シトルリン用量 6 g が運動パフォーマンスの有酸素および無酸素指標のいずれでも影響を示さなかったと報告した。シトルリンと併用したリンゴ酸の役割はほとんど特定されていない。リンゴ酸はトリカルボン酸サイクルの重要な中間体であることから、筋肉機能の向上で重要な原因となる可能性がある[553]。このため、これらのベネフィットがシトルリンのみに起因する可能性があるか否か、またシトルリンが有酸素および無酸素パフォーマンスで果たす可能性がある役割が何であるかは、現時点では明らかではない。

必須アミノ酸 (EAA) 必須アミノ酸が様々な形態の運動に及ぼす影響に関する研究は、爆発的に増加した。現在では、筋肉肥大をコントロールする細胞機序を刺激するためには、必須アミノ酸ロイシン 2 g 以上の摂取が必要であり[225, 554]、筋肉タンパク質合成を最大化するためには完全必須アミノ酸混合物 6~12 g の摂取が必要であることは広く受け入れられている[201-208, 555]。しかしながら、必須アミノ酸がパフォーマンスに及ぼす影響はほとんど探索されていない。適正な理論的根拠が存在し、複数の短期試験デザインで裏付けエビデンスが提供されているが、現時点では、この戦略に従うことでトレーニング順応が増大するか否か、および EAA 追加摂取は運動後に単に炭水化物および高品質たんぱく質を摂取することと比較して優れているか否かは、明らかではない。また、EAA が運動パフォーマンスに影響を及ぼす能力について検討し入手可能な研究はきわめて少ない。これらの理由から、多くの著者およびレビューは、除脂肪体重の蓄積を促進するためには、遊離アミノ酸の摂取より無加工たんぱく源を優先するよう奨励しているが[11, 13, 54, 222]、前述したように、この推奨がパフォーマンスの変化に及ぼす影響はまだ特定されていない。

グリセロール グリセロールと水の摂取は、体液貯留を増加し、水分補給状態を維持すると報告されている[556-558]。理論的には、このことは運動選手の脱水の予防ならびに温度調節および心血管変化の向上に有用となるはずである。試験ではグリセロールは体液を有意に増強できることを示唆しているが、このことが運動耐容性に向上をもたらすことができるか否かについては、結果は一致していない[166, 559-564]。Coutts ら[565]は、持久力パフォーマンスに関し、トレーニングを受けた持久運動選手 10 名を対象にオリンピックディスタンスでのトライアスロンを実施し、各トライアスロン競技が完了する 2 時間前にプラセボおよびグリセロールによる水分過多（1.2 g/kg+25 mL/kg 溶液）を実施し、完了タイムはプラセボと比較してグリセロール水分過多で有意に向上したと報告した。この知見は、Goulet ら[566]によって確認され、持久運動トレーニングを受けた被験者 6 名を対象に、グリセロールまたは水で水分過多とした 2 時間後に、長時間（2 時間）の自転車運動を高温条件（26~27℃）で 65%VO₂max、その後 2 分間隔の 80%VO₂max を実施し、グリセロールによる水分過多でパフォーマンスが有意に向上したと結論付けた。これとは対照的に、Marino ら[567]は、中等度のトレーニングを受けた自転車選手が様々な強度の自転車プロトコルを実

施した際に、同様のグリセロールによる水分過多プロトコルは、遂行された総距離に影響を及ぼさなかったと報告した。また、Gouletら[568]は、2時間の自転車運動セッションを66%VO₂max、25°Cで開始する2時間前の水分過多戦略（グリセロール 1.2 g/kg+ 26 mL/kg 水）とスポーツドリンク摂取（500 mL/時）を組み合わせ、グリセロールによる水分過多は、心血管または温度調節機能、ならびに持久力パフォーマンスに影響を及ぼさなかったと報告した。McKennaら[569]は、グリセロールによる水分過多の後にグリセロールが無酸素パワーに及ぼし得る影響を評価検討したきわめて限られた研究グループのひとつである。男性大学生レスリング選手を対象に、二重盲検法による水分過多プロトコルを実施し、体重の3%の水分を損失後に無酸素試験を完了したが、パフォーマンスに対する影響は認められなかった。グリセロールに関する結果がばらついていることから、グリセロールの可能性およびその使用について推奨できる能力について、依然として確固とした土台がない。このことから、Gouletら[556]が指摘したように、グリセロールが示し得る効果（重要点はこれまでにNelsonら[570]がまとめている）に関して詳細をさらに精査するため、さらなる研究を実施する必要があると結論付けられる。

β-ヒドロキシ-β-メチル酪酸（HMB） β-ヒドロキシ β-メチル酪酸（HMB）は、トレーニング適応およびパフォーマンスを増強するとともに、筋肉損傷の遅延または予防をもたらす能力から、数年前から関心が寄せられている[15、168、571]。Nissenらによる初期研究では[171]、トレーニングを受けていない男性で、用量 1.5 g および 3 g/日により除脂肪体重およびパワーに有意な増加がもたらされ、用量 3 g では低用量と比較して追加のベネフィットが得られたことが示された。Gallagherら[169]は、用量 38 mg/kg/日（約 3 g/日）により、除脂肪体重、最大等尺性筋力、等速性トルク産生が向上したが、最大強度に変化は認められなかったことを示唆した。これに合致するものとして、Thomsonら[572]は、レジスタンストレーニングを受けた男性 22 名に、HMB またはプラセボの追加摂取を二重盲検法で 9 週間にわたり実施し、HMB により下半身強度が有意に増加したと結論付けた。しかしながら、すべての試験で裏付けが支持されているわけではない。例えば、Kreiderら[175]は、レジスタンス運動の経験を有する被験者を対象に用量反応プラセボ対照法を用い、3 g または 6 g のカルシウム HMB は、4 週間の追加摂取およびレジスタンストレーニング後に体組成またはパワーの適応に影響を及ぼさなかったと結論付けた。同様に、Hoffmanら[573]は、HMB は大学フットボール選手の無酸素パワー産生の向上をもたらさなかったと報告しており、これは過去の他の試験と一致する結論である[172、574]。初期試験ではトレーニングレジメン（強度）、無作為化、監督の違いがばらついており、これが結果の不一致に寄与している可能性がある。HMB は、トレーニング強度を最大にした場合にパフォーマンスに最大の効果を及ぼすようである。

これまでに実施された多くの試験は、カルシウム HMB 追加摂取のエルゴジェニックな可能性を、活動的にレクリエーション活動を行う被験者を対象に研究し、相反する結果が得られているが、Durkalec-Michalskiらが実施した3つの試験は[178-180]、いずれもカルシウム HMB 追加摂取が異なる運動選手タイプに及ぼす影響の特定を目標とした。例えば、エリートボート選手に対する12週間にわたるHMB追加摂取（3 g/日）は、プラセボ群の変化と比較して、有酸素パフォーマンスマーカー（VO₂max、換気閾値に達するまでの時間）に有意な向上および体脂肪量の低下をもたらした[178]。その後、Durkalec-MichalskiおよびJeszkaは[179]、高度にトレーニングを受けた男性58名に、カルシウムHMBの追加摂取（3 g/日）を12週間にわたって実施した。この研究で、プラセボと比較してHMB提供時に、有酸素能力の複数マーカーとともに、除脂肪体重の増加および体脂肪量の低下がもたらされた。最も新しいものでは、高度にトレーニングを受けた格闘技運動選手への12週間のHMB追加摂取により、有酸素および無酸素運動パフォーマンスのいくつかの指標が、有意に増加した（プラセボと比較して）[180]。Durkalec-Michalskiらによる最近の研究では、HMBは有酸素能力の増加に正の影響を及ぼすというVukovich[575]およびLamboley[576]の初期の研究が確認された。

HMB はカルシウム HMB および遊離酸の形で利用できる。カルシウム HMB と比較して HMB 遊離酸は、吸収率および吸収速度が大きい（約 30 分対 2～3 時間）[577]。初期研究のほとんどはカルシウム HMB を使用しており、結果は多様であるが、遊離酸の形態を用いた試験はさらに限られている。Wilson らによる試験は、遊離酸の形態を用い、高強度のレジスタンストレーニング単独[578]および ATP 追加摂取との併用で[579]、パワー、垂直ジャンプ力、骨格筋肥大に一貫して変化があったことを示唆しているが、他の研究者らはこれらの結果に対して批判的な疑問を呈している[580]。Silva ら[581]による最近の系統的レビューでは、HMB の遊離酸形態は、高強度レジスタンストレーニングと併用した場合、筋肉およびパワーの向上および筋肉損傷の軽減をもたらす可能性があるが、決定的な結論を下すには、さらなる研究が必要であると言明した。

硝酸 硝酸追加摂取は、血管拡張、血圧、作業効率の向上、筋パワー出力の調節、クレアチンリン酸分解の低下に対する作用から多くの関心を集めており[582-584]、これらはいずれもスポーツパフォーマンスを向上させる可能性がある。硝酸追加摂取は、最も一般的には運動の 2～3 時間前にビートルートジュースまたは硝酸ナトリウムとして摂取され[585]、絶対量および相対量のいずれでも処方され、それぞれ 300～600 mg の範囲[585]または 0.1 mmol/体重 kg/日である[583, 586]。これらの投与量は、補充[587]および補充源[588]のいずれの形での摂取でも良好な耐用性を示すようであり、血行動態または肝腎酵素および筋肉酵素状況の臨床的境界に顕著な変更は伴わない[478, 589]。高度にトレーニングを受けた自転車選手に対する硝酸ナトリウム追加摂取（10 mg/体重 kg）により、疲労困憊までの時間や最大パワー出力には影響を与えず、VO₂peak が有意に低下した[590]。また、エリートレベルのカヤック選手に対する硝酸追加摂取 600 mg（2 時間前に投与）は、500 m タイムトライアルパフォーマンスで 2 秒の向上をパフォーマンスにもたらしたが有意ではなかった[591]。実際の重要な点として、2008 年の北京オリンピックの 500 m カヌー/カヤック男子レースでは、1 位と最下位の差が 1.47 秒であったことに留意しなければならない。アマチュア自転車選手に対するビートルートジュース（硝酸 310 mg）追加摂取の実施後に、高地シミュレーション（約 2500 m）で 16.1 km タイムトライアルパフォーマンスが向上し、同時に酸素消費量の低下も認められた[592]。しかしながら、すべての知見が硝酸追加摂取によるパフォーマンスのベネフィットを報告しているわけではない。十分にトレーニングを積んだ自転車選手に対して、50 マイルタイムトライアルの 2.5 時間前の硝酸追加摂取（硝酸約 385 mg）は、パフォーマンスの向上を示さず[593]、また MacLeod ら[594]も、酸素正常状態または高地シミュレーション（約 2500 m）での 10 km タイムトライアルパフォーマンスで、硝酸追加摂取（硝酸約 400 mg）を評価検討後に、同様の報告をした。十分にトレーニングを受けたランナーに対し、硝酸追加摂取（硝酸約 430 mg）は、疲労困憊までの漸増運動付加試験（高地シミュレーション 4000 m）または 10 km タイムトライアル（高地シミュレーション 2500 m）でパフォーマンスに向上をもたらさず[595]、また Nyakayiru ら[596]は、高度にトレーニングを受けた自転車選手で、硝酸追加摂取は VO₂ およびタイムトライアルパフォーマンスの変化に影響を及ぼさなかったと報告した。他の試験では、硝酸追加摂取とリン酸ナトリウム[511]、カフェイン[597]、またはクレアチン[478]との併用により、それぞれ高強度断続的運動、持久運動、レジスタンストレーニングで相加的または相乗的な効果が示されたことも報告している。言及すべき重要な点として、食事での硝酸は、全ての人々にではなく、一部の人々に健康上のベネフィットをもたらす[598]。ビートルートジュース（硝酸約 320～640 mg/日）の毎日の摂取により、高齢者の安静時収縮期血圧が約 6 mmHg 有意に低下した。硝酸追加摂取（硝酸 560～700 mg）は、末梢動脈疾患を呈する高齢者の動作中の筋肉への血流量および運動時間を有意に増加させ[601]、また心血管疾患のリスク因子を有する高齢者の内皮機能を、血流依存性拡張および血流速度の増加を介して有意に改善した[602]。まとめるなら、これらの結果は硝酸追加摂取が一部の人々の有酸素運動パフォーマンスおよび循環器系の健康を向上する可能性があることを示唆している。

運動後の炭水化物およびたんぱく質 運動後に炭水化物とたんぱく質を摂取することは、適応を高めるための一般的な戦略であり、レジスタンストレーニングプログラムの一部としてみられている。この戦略の背後にある理論的根拠は、重要なシグナル伝達経路を介して、MPS を刺激するエネルギー源を提供することを中心としている。また、炭水化物摂取は、インスリンの状況にも影響を及ぼし、これは MPS の促進、体タンパク質分解の抑制、またはその両方をもたらす可能性がある[603-605]。さらに、炭水化物とたんぱく質の組み合わせにより、グリコーゲン再合成速度を高めることが可能で、とくに炭水化物摂取量が最適でない場合に可能であり[120]、疲労困憊運動後の筋肉損傷反応を改善することができる[606]。本文献の所見を解釈する際に読者が考慮すべき重要な点は、たんぱく源により輸送されたたんぱく質、必須アミノ酸、またはロイシンの量である[11]。過去数年間の多くの試験は、ワークアウト後の追加摂取が回復およびトレーニング適応のためにきわめて重要であることで同意している[133, 230, 232, 607, 608]。しかしながら、肥大化の適応を最大限にするためにたんぱく質に炭水化物を追加する必要性については、現在でも疑問が呈されている。例えば、Staples ら[605]は、安定同位元素法を用いた短期試験デザインを採用し、下半身レジスタンス運動の単回セッション後に、乳清たんぱく質 25 g 摂取に炭水化物 50 g を追加することが及ぼす影響を評価した。Staples らは、筋タンパク質合成の刺激または筋肉タンパク質分解速度の鈍化のいずれでも、たんぱく質単独と比較して、炭水化物とタンパク質の組み合わせは大きな効果を示さなかったと結論した。また、Hulmi ら[609]は、被験者に 12 週間のレジスタンストレーニングおよび同等用量の乳清たんぱく質、炭水化物、または乳清たんぱく質 + 炭水化物の追加摂取を実施し、パワーおよび体組成を評価した。全体として、パワーの変化は全群で同様であったが、除脂肪体重の変化は炭水化物群と比較してたんぱく質群で大きかった。体脂肪量は、炭水化物群と比較してたんぱく質を含む両群で有意に低下したが、たんぱく質を含有する 2 群間で差は認められなかった。結論として、これらの所見はレジスタンストレーニング適応を刺激するために適切なたんぱく質を摂取することの重要性を強調している。炭水化物の追加がこれらの変化を増強することができるか否かは、現時点では可能性が低いと考えられる。しかしながら最適化された炭水化物輸送がグリコーゲン回復を間違いなくサポートし、痛みおよび炎症の軽減を補助し、他の回復での要求にエネルギーを供給するという事実はあって、この結果に惑わされてはならない。

ケルセチン ケルセチンは、フルーツ、野菜、花で一般に認められるフラボノイドで、治療での使用によりいくつかの健康上のベネフィットを有していることが知られている。またケルセチンは、動物およびヒトモデルのいずれでも持久力パフォーマンスに向上をもたらすと主張されている。この点に関し、Cureton ら[610]は、レクリエーションを活発に行うが、高度なトレーニングは受けていない男性 30 名に、ケルセチン (1 g/日) またはプラセボの追加摂取を二重盲検法で実施した。追加摂取後に、実行された総作業量、基質利用、主観的努力度に変化は認められなかった。同様に、Bigelman ら[611]は士官候補生にケルセチン 1 g またはプラセボの追加摂取を実施し、結果として VO₂max に変化は認められなかったと結論付けた。これらの結果は、ケルセチンのエルゴジェニックな可能性を記録できなかった他の試験の結果と一致した[612, 613]。一方、Nieman ら[614]は、トレーニングを受けていない男性にケルセチン 1 g の追加摂取を二重盲検法で 2 週間実施し、トレッドミルパフォーマンスおよびミトコンドリア新生のマーカーが向上したと報告した。同様に、Patrizio ら[615]は、レジスタンス運動モデルを用い、ケルセチンは神経筋パフォーマンスに向上をもたらす可能性があるとして報告し、また Davis ら[616]は被験者 12 名にケルセチンまたはプラセボのいずれかの追加摂取を実施し、ケルセチンにより VO₂max および持久能力が向上する可能性があるとして報告した。Pelletier ら[617]が実行したメタ解析では、ケルセチン追加摂取が持久運動パフォーマンスに及ぼす可能性がある影響を概略した。この解析は、既報の 7 つの試験、被験者 288 名を対象とした。トレーニングを受けていない被験者でのみケルセチンにより持久力パフォーマンスに有意な増加が認められた。Kressler ら[618]による 2011 年のメタ解析も同様の結論を下し、ケルセチンはベネフィットを有しているが、その効果のサイズは軽微かつ小さいことを示唆した。このことから、ケルセチンが運動パフ

パフォーマンスに影響を及ぼす能力が裏付けられる状況として、どのようなものが存在するかを詳細に特定するため、さらなる研究が完了する必要がある。

タウリン タウリンは、ヒト骨格筋で多量に認められるアミノ酸であり[619, 620]、幅広い範囲の生理学的機能で役割を果たすシステイン代謝に由来する[621-623]。筋肉内で認められるタウリンの量には、トレーニング状況（トレーニングを受けていない筋肉と比較してトレーニングを受けた筋肉で高値、文献でレビュー[624]）および線維の種類（タイプ II と比較してタイプ I で高値、文献でレビュー[619]）が影響を及ぼすことが試験で示唆されている。タウリンは運動パフォーマンスを向上し、損傷およびストレスを与える運動からの回復を緩和する[629]ことが一部の試験[625, 626]で報告されているが、すべての試験ではない[627, 628]。近年、多くの試験はタウリン摂取が様々な種類の運動パフォーマンスに及ぼす影響について評価検討している。これまでの研究と一致して、タウリン投与に関連するエルゴジェニックな結果は、依然として相反するものである。Milioni ら[628]は、タウリン用量 6 g により、高強度トレッドミルランニング中のパフォーマンス向上を示すことができなかった。同様に、Balshaw ら[625]は、トレーニングを受けたランナーの 3 km ランニングパフォーマンスにタウリンは好ましい影響を及ぼさないことを示唆した。一方、Warnock ら[630]による 2017 年の試験は、無酸素能力テストでの最大パワー試験を繰り返した結果のパフォーマンスの変化に、タウリンの用量 50 mg/kg は、カフェイン、プラセボ、カフェイン + タウリンと比較して優れた結果をもたらしたと報告した。最後に、Waldron ら[631]の 2018 年のメタ解析では、用量 1~6 g の最大 2 週間にわたる 1 日 1 回投与は、多様な試験参加者の持久運動を有意に向上できると報告した。筋肉損傷およびレジスタンス運動パフォーマンスに関連する減衰を軽減するタウリンの能力を評価検討した 2 つの試験が完了している[632, 633]。注目すべき点として、用量 50 mg/kg の損傷前 14 日間および損傷後 7 日間の経口摂取により、強度が有意に上昇し、痛みおよび筋肉損傷のマーカーが低下した[633]。最後に、タウリンが抗酸化の役割で果たす機能の能力も試験で裏付けられており、これは改善された細胞環境が運動ストレスに対する耐性を促進する可能性がある[634, 635]。タウリンに関連する研究の発表は現在でも続いているが、タウリンが身体的パフォーマンスを増強する可能性については一致していないというのがこれらの結果に関する現在のコンセンサスである。

有効性または安全性を裏付けるエビデンスがほとんどないか、まったくないパフォーマンス強化サプリメント

アルギニン アルギニンは、準必須アミノ酸として知られ、運動パフォーマンスの増加、成長ホルモン産生の増加、免疫機能のサポート、トレーニング耐性の増加、除脂肪体重の増加の促進をもたらす能力と関連付けられている[273, 636]。アルギニンのエルゴジェニックな可能性を評価検討するため、いくつかの試験で持久力およびレジスタンス運動モデルの両方が用いられているが、結果は主に相反するものである。例えば、Greer ら[637]は、アルギニン + α -ケトグルタル酸の能力を検討し、この併用は筋持久力に有意な影響を及ぼさず、懸垂回数が有意に減少したと報告した。同様の結果は高齢女性を対象とした Aguiar ら[638]の研究でも認められ、アルギニン追加摂取は筋肉パフォーマンスに影響を及ぼさなかった。Sunderland ら[639]は、持久カトレーニングを受けた自転車選手 18 名に、アルギニン（12 g/日）またはコーンスターチのいずれかの追加摂取を 28 日間実施し、アルギニンは $VO_2\max$ および換気性作業閾値のいずれにも影響を及ぼさなかったと結論付けた。これと一致するものとして、いくつかの他の試験は、アルギニンがエルゴジェニックエイドとして機能する能力を支持する報告ができなかった[278, 640-644]。一方、いくつかの試験は、アルギニンのエルゴジェニックな可能性についてエビデンスを提供した。例えば、Campbell ら[271]は、レジスタンストレーニングを受けた男性 35 名にアルギニン（2 g） + α -ケトグルタル酸（2 g）またはプラセボの追加摂取を二重盲検法で実施し、上半身の最大筋力および無酸素能力テストでの最大パワーが追加摂取後に有意に増加したと結論付けた。同様に、Bailey ら[645]は、急性アルギニン追加摂取により、中等度強度の運動の酸素消費量が低下し、高

強度トレーニングに対する耐性が増加したと結論付けた。また、Pahlavani ら[646]は、男性運動選手にアルギニン追加摂取を二重盲検法で実施し、アルギニン追加摂取によりスポーツパフォーマンスが有意に増加したと結論付けた。現時点で、アルギニンがエルゴジェニックな形で機能する能力を評価検討したほとんどの既報文献は、肯定的な結果を報告できずにいる。さらなる研究の必要性が確実に示唆されるが、消費者は運動パフォーマンスを増強する目的でアルギニンを使用する場合は注意が必要である。

カルニチン カルニチンは、肝臓および腎臓で内因的に産生され、脂質代謝にきわめて重要な役割を果たす。このことから、多くの人々がカルニチン摂取により内因性カルニチン濃度が上昇し、脂質代謝の増加および脂肪貯蔵の低下がもたらされると考えている。現時点で、データの大半は、カルニチン追加摂取が筋肉内カルニチン含有量[647-649]、脂質代謝[648,650,651]、運動パフォーマンス[648,649,652,653]、過体重者の体重減少[650,654]、肥満者の体重減少[651,655,656]、トレーニングを受けている者[657]に顕著な影響を及ぼさないことを依然として示唆している。例えば、Burrus ら[658]は、自転車選手 10 名に炭水化物とカルニチンを併用で摂取させ、65% VO_2 peak 40 分間の自転車運動後に、85% VO_2 peak の疲労困憊までの自転車運動を実施した。85% VO_2 peak での自転車運動で、パワー出力または疲労困憊までの時間に差は認められなかった。注目すべき点として、カルニチンと炭水化物の同時摂取は、筋肉内カルニチンの有意な上昇をもたらすことができる[659,660]。その後、Wall ら[661]は、持久運動パフォーマンスが向上し、エネルギー基質選択で改善が起きたと考えられると報告した。興味深い結果であるが、さらなる推奨を出せるようになるには、パフォーマンスの変化に関してさらに研究する必要がある。

グルタミン 前述したように、グルタミンが個人のストレス耐性を補助する能力には強力な理論的枠組みがあり、とくに動物試験に依拠する場合に存在する。グルタミンに関するこれまでに得られたヒトでの研究を詳細に評価検討すると、グルタミンの可能性を特徴づけることは難しくなる。理論的には、トレーニング中のグルタミン追加摂取は、筋力および筋肉量の増加を増強するはずであるが、この点に関してエビデンスは一致していない。グルタミン追加摂取は、グリコーゲンの貯蔵を向上することが示されており、これは特定な種類の運動パフォーマンスに影響を及ぼす可能性があり[331]、また最近の 2 つの試験では、グルタミン供給はレジスタンス運動による損傷からの回復をサポートする可能性が示唆された。この点に関し、Street ら[662]は、炭水化物飲料へのグルタミン (0.3 g/kg) 添加が、炭水化物単独の摂取と比較して、筋肉の痛みおよび筋力産生に有意な向上をもたらしたが、クレアチンキナーゼの変化に影響は認められなかったと結論付けた。同様の結果が Legault ら[337]によっても得られており、グルタミン追加摂取により、伸張性筋収縮での筋損傷を与えるセッション後に、主観的痛みのレベルが有意に低下し、筋力産生の回復向上がもたらされたと報告された。エルゴジェニックな観点から有用な研究は限られているが、Antonio ら[334]は、グルタミン 0.3 g/kg 摂取がレッグプレスまたはベンチプレス運動の反復回数に影響を及ぼさなかったと報告した。このことから、グルタミンがエルゴジェニックエイドとして機能する能力を裏付ける利用可能な研究はきわめて少ない。

イノシン イノシンは、筋肉内にある DNA および RNA の構成要素である。イノシンはトレーニングや運動パフォーマンスを増強する可能性がある重要な役割を果たしている[663]。いくつかの理論的根拠はあるものの、これまでに得られた試験は、イノシン追加摂取が有酸素運動または無酸素運動パフォーマンスに顕著な影響を及ぼさないことを示唆している[664-666]。

中鎖トリグリセリド 中鎖トリグリセリド (MCT) は、ミトコンドリアに容易に入り、 β 酸化を介してエネルギーへと転換される短い脂肪酸として知られている[667]。MCT がエルゴジェニックであるか否か、また運動中の効果的な脂質源として機能するか否かについて、試験の結果は相反している[667-671]。2001 年の試験では、MCT オイル 60 g/日の 2

週間投与はランニングパフォーマンスの向上をもたらした[672]。また、Van Zylら[671]は、炭水化物の摂取と比較して、MCT単独の摂取は、自転車タイムトライアルパフォーマンスに悪影響を及ぼしたが、MCTと炭水化物を併用した場合にはパフォーマンスが向上したと報告した。Goedeckeら[668]も同様の運動モデルを用い、トレーニングを受けた自転車選手を対象に、2時間の中程度強度の自転車運動の全体を通してMCTを投与したところ、40 km タイムトライアルの実行で同様のパフォーマンスがもたらされたと報告した。同様の結果が、Vistisenら[673]によっても報告された。多義的な結果の他に、Goedeckeら[674]およびJeukendrupら[667]は、それぞれトレーニングを受けた自転車選手のスプリントパフォーマンスおよび自転車タイムトライアルパフォーマンスでMCT投与がもたらすパフォーマンス低下作用を報告し、いずれの試験でも消化管系不良の発生率が増加した。これらの所見は、他の研究者によっても確認されており、MCTオイルは好ましいトレーニング順応を誘発させる上で十分ではなく、胃障害を惹起する可能性がある[675、676]。このことから、MCTが短期運動パフォーマンスに好ましい影響を及ぼす可能性は低いと考えられ、トレーニング順応に好ましい影響が及ぼされる可能性を裏付けるエビデンスも存在していないが、一方でMCT摂取が消化管障害を惹起し、運動パフォーマンスの低下をもたらす可能性は複数の試験で報告されている。

リボース リボースは、五炭糖の炭水化物で、アデノシン三リン酸（ATP）および他のアデニンヌクレオチドの合成に関与している。臨床試験では、リボース追加摂取は心疾患患者の運動耐容能を改善できることが示されており[677-681]、このため、運動選手のエルゴジェニックエイドとして機能する可能性があるとの理論が立てられている。これまでに得られたほとんどの研究では、トレーニング未実施または実施の健康なヒト集団でリボース追加摂取が運動耐容能にもたらすエルゴジェニックな価値を示されていない[682-684]。2006年の試験では[685]、リボースまたはブドウ糖の8週間の追加摂取がボート漕ぎパフォーマンスに及ぼす影響を評価検討し、リボースはブドウ糖投与のコントロール群と比較して成績が低かったと結論付けられた[685]。Kreiderら[684]およびKerksickら[686]は、トレーニングを受けた自転車選手を対象に、リボース追加摂取が無酸素能力に及ぼす影響を測定し、リボースはパフォーマンスに好ましい影響を及ぼさないと結論付けた。2017年に、Seifertら[687]は、健康被験者26名に、リボース10gまたはブドウ糖10gの追加摂取を5日間実施し、インターバル運動の単回セッションおよび2分間パワー出力試験を行った。参加者を酸素摂取量の高値群と低値群に分類したところ、peak VO₂ 低値群はパワー出力平均値および最大値が有意に増加するとともに、運動の主観的強度およびクリアチンキナーゼが低下した。一方、VO₂ peakの高値群ではこのような変化は報告されなかった。現時点で、リボース追加摂取について臨床試験の知見は裏付けを提供しているが、健康でトレーニングを受けた集団では、肯定的な結果は一般的に報告されていない。健康でフィットネスレベルが低い人では、何らかのベネフィットを得られる可能性がある。

一般的健康状態を促進するためのサプリメント

これまでに説明したサプリメントに加え、いくつかの栄養素は激しいトレーニング中の運動選手の健康状態を維持する上で有用であることが示唆されている。例えば、米国医師会は、人々が十分なレベルのビタミンおよびミネラルを食事で確実に摂取できるよう、すべてのアメリカ人に低用量のマルチビタミンの毎日摂取を推奨している[688、689]。毎日のビタミンおよびミネラル追加摂取は、運動選手の運動耐容能に向上をもたらすことは示されていないが、健康上の理由からビタミンサプリメントを毎日摂取することは合理的であると考えられる。ビタミンDはしばしば運動選手に推奨され、とくに室内スポーツまたは曇りがちな地域で運動をしている選手に推奨される[690]。ビタミンDとパフォーマンスを結び付ける直接的なエビデンスは不確かであるが、ビタミンDが免疫機能の調節、心血管の健康、成長および修復に関与していることは明白である。投与量はベースライン値に依存する必要があるが、これはいずれの医師も測定することができる[691]。グルコサミンおよびコンドロイチンは、活動的な人の軟骨分解を遅延し、関節痛の程度を軽減することが報告されており、これは運動選手の関節の問題を遅延または予防する上で有用となる可能性がある[692、693]。一方、他

の成分、例えば非変性 II 型コラーゲン (UC-II) は有用となる可能性もあるが、運動選手に対する適用ではさらなる研究が必要である[694, 695]。ビタミン C、グルタミン、エキナセア、ケルセチン、亜鉛の追加摂取は、免疫機能を増強することが報告されている[125, 696-699]。一方、長期の激しい運動中に炭水化物を摂取することは、ストレスホルモンの上昇を減弱させ、運動誘発性の免疫抑制の程度を制限するようである[699]。同様に、さらなる研究は必要であるものの、ビタミン E、ビタミン C、セレン、 α -リポ酸、および他の抗酸化物質は、運動選手が示す抗酸化防御の低下を回復する上で有用であると考えられる[700]。高用量に対する反論の一つとして、これらの物質がトレーニングに対する順応反応に干渉する可能性が挙げられる[699]。最後に、サプリメント形態でのオメガ-3 脂肪酸、ドコサヘキサエン酸 (DHA)、エイコサペンタエン酸 (EPA) は、現在米国心臓協会により、特定の人に対して心臓の健康のために推奨されており、これは 2002 年に出された最初の学術ステートメントに由来している[701]。この補助サプリメントに関するポジションステートメントは、以下のものに由来している： 1) 心臓保護的な量を食事のみで摂取することができない、2) 脂肪の多い魚でみられる DHA および EPA の非加工食品源では、しばしば水銀汚染が存在する。一般的な健康状態での推奨投与量は、深海魚由来の 3000~5000 mg/日の範囲である[702]。このことから、トレーニング中の様々な時点でこれらのタイプの栄養素を慎重に使用することは、運動選手の健康維持またはトレーニングに対する忍容性の増加に有用となる可能性がある。

高強度の運動は、運動選手の免疫の健康状態を低下させる可能性がある。感染症のリスクと運動負荷の関係は J 字型曲線を描き、中等度強度の運動は感染症リスクを低下させるが、高強度の運動では実際に感染症リスクが増加する[703]。運動選手の免疫抑制は、心理的ストレス、海外への移動、睡眠障害、極端な環境、大観衆への曝露、運動または競技中の呼吸量の増加に起因する病原菌への曝露増加などによってさらに悪化する。運動選手が上気道感染症のリスクおよび症状を軽減するためにはいくつかの栄養素の選択肢があり、これにはプロバイオティクスおよびパン酵母 β -グルカンなどがある。 β -グルカンは、高度に精製された酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) の細胞壁に由来する天然グルコ多糖類であり、Carlsbad マラソンに参加した男性および女性で上気道感染症の症状を有意に軽減したことが示されている[704]。プロバイオティクスは、しばしば「友好的」または「善玉」細菌として言及される生菌であり、適切な量で投与された場合、宿主に健康上のベネフィットをもたらす。ヒトの免疫系の推定 70%は消化系に存在するため、免疫の健康ではバランスの取れた消化管細菌叢が重要であることが示唆される。プロバイオティクスは、一般ヒト集団および運動選手で上気道感染症および消化管障害の回数、期間、重症度を軽減することが示されており、特定のプロバイオティクスの種は、上気道感染症エピソードの発生回数およびその重症度を有意に低下させることが示されている[705]。プロバイオティクスの健康に対する有用性は、種の特異的および用量依存的であり、一部の種は運動選手に対して有益な作用を示さない[706]。また、長期の激しい運動中に炭水化物を摂取することは、ストレスホルモンの上昇を減弱させ、運動誘発性の免疫抑制の程度を制限するようである[699]。

結論

運動選手のパフォーマンスを強化し、トレーニング順応を最適化する上で土台の機能を果たすいくつかの因子として、バランスが取れ栄養およびエネルギーの濃度の高い食事の摂取、考慮されたトレーニング、適切な休養を取るなどが挙げられる。エネルギーの利用可能性の向上 (例、スポーツドリンク、炭水化物、クレアチン、カフェイン、 β -アラニンなど) または回復の促進 (炭水化物、たんぱく質、必須アミノ酸など) をもたらすことが研究によって裏付けられている。限られた数のサプリメントの使用により、特定の状況ではベネフィットがさらに得られる可能性がある。栄養士およびスポーツ栄養士は、栄養が運動で果たす役割に関して現時点の研究に関する情報を常に最新のものに保つ必要があり、これにより、学生、顧客、または運動選手に栄養およびサプリメントがパフォーマンスおよびトレーニングで果たす役割について、率直で正確な情報を提供することができる。また、これらの専門家は、運動や栄養の研究に積極的に参加し、バイアスのかかっていない学術レビューを学術誌および一般書に書き、最新の研究で得られた知見を一般に広げる手助けをす

る必要がある。これらの活動のおかげで、消費者および他の専門家は運動や食事の適切な方法、また様々なサプリメントが、健康、パフォーマンス、トレーニングに影響を及ぼすことができるか否かについて、情報に基づいて判断を下すことができる。いずれの状況でも、このような公表を行う際には、商業的および経済的な利益相反があれば、これを公開することが期待され、またそうする倫理的な義務がある。最後に、サプリメントを販売する企業、また運動、食事、サプリメント利用方法の促進を行う企業は、科学的に基礎づけられた製品の開発、自社製品に対する研究の実施、試験の結果の正直な公表を行うべきであり、これにより消費者は情報に基づいた判断を下すことができる。

略語

1RM : 1 回最大量、ACSM : アメリカスポーツ医学会、AER : 有害事象報告、AMA : 米国医師会、ARA : アラキドン酸、ATP : アデノシン-5'-三リン酸、BCAA : 分岐鎖アミノ酸、cGMP : 適正製造基準、CHO : 炭水化物、CLA : 共役リノール酸、CO₂ : 二酸化炭素、COX : シクロオキシゲナーゼ、DHA : ドコサヘキサエン酸、DHEA : デヒドロエピアンドロステロン、DMAA : ジメチルアミルアミン、DNA : デオキシリボ核酸、DPG : ジホスホグリセリン酸、DRI : 1 日摂取基準、DSHEA : 栄養補助食品健康教育法、DXA : 二重エネルギー X 線吸収法、EAA : 必須アミノ酸、EPA : エイコサペンタエン酸、FDA : 食品医薬品局、FDCA : 食品医薬品化粧品法、FHA : 機能性視床下部性希発月経/無月経、FTC : 連邦取引委員会、g : グラム、g/hour : グラム/時、g/kg : 特定栄養素のグラム/キログラム (通常は体重キログラム)、g/kg/day : 特定栄養素のグラム/キログラム (通常は体重キログラム) /日、GDF-8 : 増殖分化因子-8、GES : グルコース-電解質溶液、GH : 成長ホルモン、GHRP : 成長ホルモン放出ペプチド、GPC : グリセリン酸コリン、GRAS : 一般に安全と認められる、HDL : 高比重リポタンパク、HMB : β-ヒドロキシ-β-メチル酪酸、IGF-1 : インスリン様成長因子-1、ISSN : 国際スポーツニュートリション学会、JISSN : 国際スポーツニュートリション学会誌、Kcals : キロカロリー、Kcals/day : キロカロリー/日、Kcals/kg/day : キロカロリー/キログラム (通常は体重キログラム) /日、kg : キログラム、L/hour : リットル/時、LBM : 除脂肪体重、LEA : 利用可能エネルギー不足、MCT : 中鎖トリグリセリド、Mg : ミリグラム、mL : ミリリットル、MLB : メジャーリーグベースボール、mmol : ミリモル、MPS : 筋タンパク質合成、MRP : 食事代替粉末、mTOR : 哺乳類ラパマイシン標的タンパク質、NaPO₄ : リン酸ナトリウム、NCAA : 全米大学運動協会、NDI : 新たな食品成分、NFL : ナショナルフットボールリーグ、NHL : ナショナルホッケーリーグ、NHP : 自然健康製品、NLEA : 栄養表示教育法、NOS : 一酸化窒素合成酵素、NSF : 米国衛生基金、OKG : オルニチン α-ケトグルタル酸、PA : ホスファチジン酸、PDR : 医師用卓上参考書、PGC-1-α : ベ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-1 α、PRO : たんぱく質、RDA : 推奨一日摂取量、RNA : リボ核酸、ROTC : 予備役将校訓練課程、RTD : 直ちに飲める飲料、U.S. : アメリカ合衆国、UC-II : 非変性 II 型コラーゲン、VO₂max : 最大酸素摂取量、ZMA : 亜鉛マグネシウムアスパラギン酸、α-KG : α-ケトグルタル酸、μg/d : マイクログラム/日

謝辞

本稿を準備するにあたって多くの方の助けが必要であった。まず、2010 年版からのすべての著者に感謝の意を表したい : Lem Taylor、Bill Campbell、Anthony Almada、Conrad Earnest、Doug Kalman、Brian Leutholtz、Hector Lopez、Ron Mendel、Marie Spano、Darryn Willoughby、Tim Ziegenfuss、および Joey Antonio。とくに、規制に関する多くの部分できわめて重要な編集を手伝ってくれた Jonathan Manfre, Esq、また原稿の複数セクションで価値ある追加事項を提供してくれた Darryn Willoughby から、支援を得たことに深く感謝している。この包括的レビューで引用した一群の研究に寄与したすべての研究参加者、大学院生、研究者にお礼を申し上げたい。最後に、栄養が運動およびパフォーマンスで果たす役割を評価する研究の実施について、多くの著者らを鼓舞した故 Mel Williams に感謝の意を表したい。いずれのサプリメントについて提供された議論も、いずれかの著者、ISSN、または各著者が所属する大学、企業、または団体の何らかの推奨を意図するものではなく、また推奨として理解されるべきでもない。これらの栄養推奨のいくつかを試すことに関心がある者は、かかりつけの医師に相談した後にのみ、実施するべきである。

著者の寄与

RBK および CMK が本稿のほとんどの内容に寄与し、編集長としての役割を果たし、CDW および MDR はいくつかのセクションの改訂および草稿で大きな援助を提供した。RC、SMK、MBC、JND、EG、MG、RJ、LML、ASR、および RW は、いずれも原稿の特定パートの作成に寄与した。すべての著者が本稿の最終原稿を審査し、承認した。RBK が連絡先著者である。

倫理的承認および参加への同意

本稿は、国際スポーツ栄養学会研究委員会が審査し、同学会の公式なポジションを表すものである。

発表への同意

該当せず。

利益相反

本稿の著者らは、本稿の作成および審査に関していずれの経済的な報酬も受けていない。すべての著者が利益相反を以下に報告している：CMK は、たんぱく質サプリメントを販売している企業のコンサルタントおよび外部資金を受け取り、学会での学術発表について企業から報酬を受け取り、運動、栄養、たんぱく質に関連する話題について関連する企業のためにオンライン、印刷物、その他のメディアで文章を書いている。運動、追加摂取、栄養に関連して専門家証人として立ち、証言を提供している。CDW は、サプリメント企業から研究を実施するための外部資金を受け、複数のサプリメント企業の顧問委員会に名を連ね、様々な栄養企業でコンサルタント、顧問、スポークスマンとしての役割を果たしている。MDR は、栄養補助食品に関連して学術および産業基金を受け取り、業界の無報酬コンサルタントを務め、本稿で議論した話題についての講演で講演料を受けている。現在、本稿で議論した話題について事業を有するいずれの企業の特許、株、所有権も有していない。RC は、栄養補助食品業界の多くの企業で代理人を務め、コンサルタントおよびサプリメントについて論じた一般向け記事の著述に対して謝礼を受けている。SMK は、業界の有報酬コンサルタントを務め、本稿で論じた話題について学会での講演および一般向け記事の著述について謝礼を受け取り、運動および栄養関連のいくつかの本の販売から印税を受け取り、本稿で論じられているいくつかの成分から製造されている製品を販売する企業から売上報酬を受け取り、株を有している。JND は報告すべき利益相反がない。MBC は、栄養補助食品に関連して学術および業界の基金を受け取り、業界のコンサルタントを務め、本稿で論じられた話題についての講演に対して謝礼を受け取っている。EG は報告すべき利益相反がない。MG は、たんぱく質サプリメントを販売する企業から外部資金および栄養製品を受け取り、専門家会議でサプリメントと運動に関する科学に基づく研究を発表することについて、企業から報酬を受けている。RJ は、食事および食品成分の有効性および安全性を評価するための助成金を受け、科学顧問会員のメンバーであり、専門家証人、法的および学術的コンサルタントとして勤めている。LML は、サプリメントに関連して学術および業界の基金を受け、話題に関する講演関与に対して謝礼を受け取り、コンサルタントおよびサプリメントを論じた一般向け記事の著述に対して報酬を受けている。ASR は、栄養補助食品の有効性を評価するための助成金を受け、スポーツニュートリション企業の科学顧問を務め、専門家会議でエビデンスに基づく栄養サプリメントと運動に関する研究の発表に対して企業から報酬を受けている。RW は、サプリメントの開発およびマーケティングに関連してコンサルタントに対する業界基金および雇用を得ており、現在、Dymatize Nutrition の主任科学員として勤務している。RMK は、サプリメントに関する研究を実施するために業界から外部資金による助成金を得ており、科学および法律コンサルタントを務めている。

出版社からのお知らせ

Springer Nature は、発表された地図および所属施設についての裁判管轄上の訴えに関し、中立を維持する。

著者の詳細

¹Exercise and Performance Nutrition Laboratory, School of Health Sciences, Lindenwood University, St. Charles, MO, USA. ²Exercise & Sport Science Department, University of Mary-Hardin Baylor, Belton, TX, USA. ³School of Kinesiology, Auburn University, Auburn, AL, USA. ⁴Department of Exercise and Sport Science, University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA. ⁵High Performance Nutrition LLC, Mercer Island, WA, USA. ⁶Increnovo, LLC, Milwaukee, WI, USA. ⁷Collins Gann McCloskey and Barry PLLC, Mineola, NY, USA. ⁸Department of Health and Medical Sciences, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Victoria, Australia. ⁹University of Texas Medical Branch, Galveston, TX, USA. ¹⁰Exercise & Sports Nutrition Lab, Human Clinical Research Facility, Texas A&M University, College Station, TX, USA. ¹¹Department of Human Performance & Sport Business, University of Mount Union, Alliance, OH, USA. ¹²Dymatize Nutrition, LLC, Dallas, TX, USA. ¹³Department of Health and Human Performance, Nova Southeastern University, Davie, FL, USA.

受付：2018年6月1日 受理：2018年7月17日

オンライン発表：2018年8月1日

References

- Kreider RB, Wilborn CD, Taylor L, Campbell B, Almada AL, Collins R, Cooke M, Earnest CP, Greenwood M, Kalman DS, Kerksick CM, Kleiner SM, Leutholtz B, Lopez H, Lowery LM, Mendel R, Smith A, Spano M, Wildman R, Willoughby DS, Ziegenfuss TN, Antonio J. ISSN exercise & sports nutrition review: research & recommendations. *J Int Soc Sports Nutr*. 2010;7(1):7.
- Leutholtz B, Kreider R. Exercise and sport nutrition. In: Wilson T, Temple N, editors. *Nutritional health*. Totowa: Humana Press; 2001. p. 207–39.
- Williams MH. *Nutrition for health, fitness, and sport*. Dubuque: ACB/McGraw-Hill; 1999. (Series Editor)
- Kreider R, Leutholtz B, Katch F, Katch V. *Exercise & sport nutrition*. Santa Barbara: Fitness Technologies Press; 2009. (Series Editor)
- Brown AC. An overview of herb and dietary supplement efficacy, safety and government regulations in the United States with suggested improvements. Part 1 of 5 series. *Food Chem Toxicol*. 2017;107(Pt A):449–71.
- Lucado J, Mohamoud S, Zhao L, Elixhauser A. Infectious enteritis and foodborne illness in the United States, 2010: statistical brief #150. In: *Healthcare cost and utilization project (hcup) statistical briefs*. Rockville: Agency for Healthcare Research and Quality (US); 2006. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK137749/>.
- Brown AC. Kidney toxicity related to herbs and dietary supplements: online table of case reports. Part 3 of 5 series. *Food Chem Toxicol*. 2017;107(Pt A):502–19.
- Jabbar SB, Hanly MG. Fatal caffeine overdose: a case report and review of literature. *Am J Forensic Med Pathol*. 2013;34(4):321–4.
- Beers MH, Berkow R. *The merck manual*. Whitehouse Station: Merck Research Laboratories; 1999. (Series Editor)
- Kreider RB, Kalman DS, Antonio J, Ziegenfuss TN, Wildman R, Collins R, Candow DG, Kleiner SM, Almada AL, Lopez HL. International society of sports nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *J Int Soc Sports Nutr*. 2017;14:18.
- Jager R, Kerksick CM, Campbell BI, Cribb PJ, Wells SD, Skwiat TM, Purpura M, Ziegenfuss TN, Ferrando AA, Arent SM, Smith-Ryan AE, Stout JR, Arciero PJ, Ormsbee MJ, Taylor LW, Wilborn CD, Kalman DS, Kreider RB, Willoughby DS, Hoffman JR, Krzykowski JL, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr*. 2017;14:20.
- Trexler ET, Smith-Ryan AE, Stout JR, Hoffman JR, Wilborn CD, Sale C, Kreider RB, Jager R, Earnest CP, Bannock L, Campbell B, Kalman D, Ziegenfuss TN, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: Beta-alanine. *J Int Soc Sports Nutr*. 2015;12:30.
- Kerksick CM, Arent S, Schoenfeld BJ, Stout JR, Campbell B, Wilborn CD, Taylor L, Kalman D, Smith-Ryan AE, Kreider RB, Willoughby D, Arciero PJ, Vandusseldorp TA, Ormsbee MJ, Wildman R, Greenwood M, Ziegenfuss TN, Aragon AA, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr*. 2017;14:33.
- Goldstein ER, Ziegenfuss T, Kalman D, Kreider R, Campbell B, Wilborn C, Taylor L, Willoughby D, Stout J, Graves BS, Wildman R, Ivy JL, Spano M, Smith AE, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *J Int Soc Sports Nutr*. 2010;7(1):5.
- Wilson JM, Fitschen PJ, Campbell B, Wilson GJ, Zanchi N, Taylor L, Wilborn C, Kalman DS, Stout JR, Hoffman JR, Ziegenfuss TN, Lopez HL, Kreider RB, Smith-Ryan AE, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb). *J Int Soc Sports Nutr*. 2013;10(1):6.
- La Bounty PM, Campbell BI, Wilson J, Galvan E, Berardi J, Kleiner SM, Kreider RB, Stout JR, Ziegenfuss T, Spano M, Smith A, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: meal frequency. *J Int Soc Sports Nutr*. 2011;8:4.
- Campbell B, Wilborn C, La Bounty P, Taylor L, Nelson MT, Greenwood M, Ziegenfuss TN, Lopez HL, Hoffman JR, Stout JR, Schmitz S, Collins R, Kalman DS, Antonio J, Kreider RB. International society of sports nutrition position stand: energy drinks. *J Int Soc Sports Nutr*. 2013;10(1):1.
- Aragon AA, Schoenfeld BJ, Wildman R, Kleiner S, Vandusseldorp T, Taylor L, Earnest CP, Arciero PJ, Wilborn C, Kalman DS, Stout JR, Willoughby DS, Campbell B, Arent SM, Bannock L, Smith-Ryan AE, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: diets and body composition. *J Int Soc Sports Nutr*. 2017;14:16.
- Rodriguez NR, Di Marco NM, Langley S. American college of sports medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(3):709–31.
- 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 LJC, Shirreffs SM, Spriet LL, Stuart M, Vernec A, Currell K, Ali VM, Budgett RG, Ljungqvist A, Mountjoy M, Pitsiladis YP, Soligard T, Erdener U, Engebretsen L. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med*. 2018;52(7):439–55.
- Rawson ES, Miles MP, Larson-Meyer DE. Dietary supplements for health, adaptation, and recovery in athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2018;28(2):188–99.
- Burke LM. Energy needs of athletes. *Can J Appl Physiol*. 2001;26(Suppl):S202–19.
- Burke LM, Loucks AB, Broad N. Energy and carbohydrate for training and recovery. *J Sports Sci*. 2006;24(7):675–85.
- Kerksick CM, Kulovitz MG. Requirements of protein, carbohydrates and fats for athletes. In: Bagchi D, Nair S, Sen CK, editors. *Nutrition and enhanced sports performance: recommendations for muscle building*. London: Elsevier Publishers; 2013.
- Manore MM. Weight management for athletes and active individuals: a brief review. *Sports Med*. 2015;45(Suppl 1):S83–92.
- Black KE, Skidmore PM, Brown RC. Energy intakes of ultraendurance cyclists during competition, an observational study. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2012;22(1):19–23.
- Loucks AB. Energy balance and body composition in sports and exercise. *J Sports Sci*. 2004;22(1):1–14.
- Barrero A, Erola P, Bescos R. Energy balance of triathletes during an ultra-endurance event. *Nutrients*. 2014;7(1):209–22.
- Brouns F, Saris WH, Stroecken J, Beckers E, Thijssen R, Rehrer NJ, Ten Hoor F. Eating, drinking, and cycling. A controlled tour de France simulation study, part i. *Int J Sports Med*. 1989;10(Suppl 1):S32–40.
- Brouns F, Saris WH, Stroecken J, Beckers E, Thijssen R, Rehrer NJ, Ten Hoor F. Eating, drinking, and cycling. A controlled tour de France simulation study, part ii. Effect of diet manipulation. *Int J Sports Med*. 1989;10(Suppl 1):S41–8.
- Heydenreich J, Kayser B, Schutz Y, Melzer K. Total energy expenditure, energy intake, and body composition in endurance athletes across the training season: a systematic review. *Sports Med Open*. 2017;3(1):8.
- Kreider RB. Physiological considerations of ultraendurance performance. *Int J Sport Nutr*. 1991;1(1):3–27.
- Berning JR. Energy intake, diet, and muscle wasting. In: Kreider RB, Fry AC, O'Toole ML, editors. *Overtraining in sport*. Champaign: Human Kinetics; 1998. p. 275–88.
- Viner RT, Harris M, Berning JR, Meyer NL. Energy availability and dietary patterns of adult male and female competitive cyclists with lower than expected bone mineral density. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2015;25(6):594–602.
- Wardenaar FC, Dijkhuizen R, Ceelen IJ, Jonk E, De Vries JH, Witkamp RF, Mensink M. Nutrient intake by ultramarathon runners: can they meet recommendations? *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2015;25(4):375–86.
- Fudge BW, Westerterp KR, Kiplamai FK, Onywera VO, Boit MK, Kayser B, Pitsiladis YP. Evidence of negative energy balance using doubly labelled water in elite kenyan endurance runners prior to competition. *Br J Nutr*. 2006;95(1):59–66.
- Burke LM. *Practical sports nutrition*. Champaign: Human Kinetics; 2007. (Series Editor)
- Burke LM, Deakin V. *Clinical sports nutrition*. Australia: McGraw Hill Education; 2015.
- Melin A, Tornberg AB, Skouby S, Moller SS, Faber J, Sundgot-Borgen J, Sjodin A. Low-energy density and high fiber intake are dietary concerns in female endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports*. 2016;26(9):1060–71.
- Sherman WM, Jacobs KA, Leenders N. Carbohydrate metabolism during endurance exercise. In: Kreider RB, Fry AC, O'Toole ML, editors. *Overtraining in sport*. Champaign: Human Kinetics Publishers; 1998. p. 289–308.
- Cermak NM, Van Loon LJ. The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid. *Sports Med*. 2013;43(11):1139–55.
- Williams C, Rollo I. Carbohydrate nutrition and team sport performance. *Sports Med*. 2015;45(Suppl 1):S13–22.
- Hawley JA, Leckey JJ. Carbohydrate dependence during prolonged, intense endurance exercise. *Sports Med*. 2015;45(Suppl 1):S5–12.
- Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the “crossover” concept. *J Appl Physiol*. 1994;76(6):2253–61.
- Boorsma RK, Whitfield J, Spriet LL. Beetroot juice supplementation does not improve performance of elite 1500-m runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;46(12):2326–34.

46. Stepto NK, Carey AL, Staudacher HM, Cummings NK, Burke LM, Hawley JA. Effect of short-term fat adaptation on high-intensity training. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(3):449–55.
47. Hawley JA, Burke LM, Angus DJ, Fallon KE, Martin DT, Febbraio MA. Effect of altering substrate availability on metabolism and performance during intense exercise. *Br J Nutr.* 2000;84(6):829–38.
48. Van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WH, Wagenmakers AJ. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol.* 2001;536(Pt 1):295–304.
49. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Enderit E, Wolfe RR. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Phys.* 1993;265(3 Pt 1):E380–91.
50. Burke LM, Hawley JA, Wong SH, Jeukendrup AE. Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci.* 2011;29(Suppl 1):S17–27.
51. Burke LM, Cox GR, Culmings NK, Desbrow B. Guidelines for daily carbohydrate intake: do athletes achieve them? *Sports Med.* 2001;31(4):267–99.
52. Ranchordas MK, Dawson JT, Russell M. Practical nutritional recovery strategies for elitesoccer players when limited timeseparates repeated matches. *J Int Soc Sports Nutr.* 2017;14:35.
53. Jentjens R, Jeukendrup A. Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med.* 2003;33(2):117–44.
54. Rodriguez NR, Dimarco NM, Langley S, American Dietetic A, Dietitians Of C, American College of Sports Medicine N, Athletic P. Position of the american dietetic association, dietitians of Canada, and the american college of sports medicine: nutrition and athletic performance. *J Am Diet Assoc.* 2009;109(3):509–27.
55. Currell K, Jeukendrup AE. Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(2):275–81.
56. Jeukendrup AE. Carbohydrate feeding during exercise. *Eur J Sport Sci.* 2008;8(2):77–86.
57. Earnest CP, Lancaster SL, Rasmussen CJ, Kerksick CM, Lucia A, Greenwood MC, Almada AL, Cowan PA, Kreider RB. Low vs. high glycemic index carbohydrate gel ingestion during simulated 64-km cycling time trial performance. *J Strength Cond Res.* 2004;18(3):466–72.
58. Venables MC, Brouns F, Jeukendrup AE. Oxidation of maltose and trehalose during prolonged moderate-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(9):1653–9.
59. Jentjens RL, Jeukendrup AE. Effects of pre-exercise ingestion of trehalose, galactose and glucose on subsequent metabolism and cycling performance. *Eur J Appl Physiol.* 2003;88(4–5):459–65.
60. Achten J, Jentjens RL, Brouns F, Jeukendrup AE. Exogenous oxidation of isomaltulose is lower than that of sucrose during exercise in men. *J Nutr.* 2007;137(5):1143–8.
61. Jentjens R, Achten J, Jeukendrup AE. High rates of exogenous carbohydrate oxidation from multiple transportable carbohydrates ingested during prolonged exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(9):1551–8.
62. Jeukendrup AE, Jentjens R. Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Med.* 2000;29(6):407–24.
63. Rowlands DS, Wallis GA, Shaw C, Jentjens RL, Jeukendrup AE. Glucose polymer molecular weight does not affect exogenous carbohydrate oxidation. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(9):1510–6.
64. Oliver JM, Almada AL, Van Eck LE, Shah M, Mitchell JB, Jones MT, Jagim AR, Rowlands DS. Ingestion of high molecular weight carbohydrate enhances subsequent repeated maximal power: a randomized controlled trial. *PLoS One.* 2016;11(9):e0163009.
65. Leiper JB, Aulin KP, Soderlund K. Improved gastric emptying rate in humans of a unique glucose polymer with gel-forming properties. *Scand J Gastroenterol.* 2000;35(11):1143–9.
66. Piehl Aulin K, Soderlund K, Hultman E. Muscle glycogen resynthesis rate in humans after supplementation of drinks containing carbohydrates with low and high molecular masses. *Eur J Appl Physiol.* 2000;81(4):346–51.
67. Stephens FB, Roig M, Armstrong G, Greenhaff PL. Post-exercise ingestion of a unique, high molecular weight glucose polymer solution improves performance during a subsequent bout of cycling exercise. *J Sports Sci.* 2008;26(2):149–54.
68. Pochmuller M, Schwingshackl L, Colombani PC, Hoffmann G. A systematic review and meta-analysis of carbohydrate benefits associated with randomized controlled competition-based performance trials. *J Int Soc Sports Nutr.* 2016;13:27.
69. Colombani PC, Mannhart C, Mettler S. Carbohydrates and exercise performance in non-fasted athletes: a systematic review of studies mimicking real-life. *Nutr J.* 2013;12:16.
70. Lemon PW, Tarnopolsky MA, Macdougall JD, Atkinson SA. Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J Appl Physiol.* 1992;73(2):767–75.
71. Tarnopolsky MA, Macdougall JD, Atkinson SA. Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *J Appl Physiol.* 1988;64(1):187–93.
72. Tarnopolsky MA, Atkinson SA, Macdougall JD, Chesley A, Phillips S, Schwarcz HP. Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J Appl Physiol.* 1992;73(5):1986–95.
73. Tarnopolsky MA. Protein and physical performance. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 1999;2(6):533–7.
74. Kreider RB. Dietary supplements and the promotion of muscle growth with resistance exercise. *Sports Med.* 1999;27(2):97–110.
75. Chesley A, Macdougall JD, Tarnopolsky MA, Atkinson SA, Smith K. Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise. *J Appl Physiol.* 1992;73(4):1383–8.
76. Phillips SM, Chevalier S, Leidy HJ. Protein “requirements” beyond the rda: implications for optimizing health. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016;41(5):565–72.
77. Phillips SM, Van Loon LJC. Dietary protein for athletes: from requirements to optimum adaptation. *J Sports Sci.* 2011;29(Suppl 1):S29–38.
78. Bandegan A, Courtney-Martin G, Rafii M, Pencharz PB, Lemon PW. Indicator amino acid-derived estimate of dietary protein requirement for male bodybuilders on a nontraining day is several-fold greater than the current recommended dietary allowance. *J Nutr.* 2017;147(5):850–7.
79. Tipton KD, Witard OC. Protein requirements and recommendations for athletes: relevance of ivory tower arguments for practical recommendations. *Clin Sports Med.* 2007;26(1):17–36.
80. Phillips SM. A brief review of higher dietary protein diets in weight loss: a focus on athletes. *Sports Med.* 2014;44(Suppl 2):S149–53.
81. Tipton KD. Nutritional support for exercise-induced injuries. *Sports Med.* 2015;45(Suppl 1):S93–104.
82. Witard OC, Wardle SL, Macnaughton LS, Hodgson AB, Tipton KD. Protein considerations for optimising skeletal muscle mass in healthy young and older adults. *Nutrients.* 2016;8:181.
83. Morton RW, Murphy KT, Mckellar SR, Schoenfeld BJ, Henselmans M, Helms E, Aragon AA, Devries MC, Banfield L, Krieger JW, Phillips SM. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Br J Sports Med.* 2018;52(6):376–84.
84. Yang Y, Breen L, Burd NA, Hector AJ, Churchward-Venne TA, Josse AR, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men. *Br J Nutr.* 2012;108(10):1780–8.
85. Wall BT, Gorissen SH, Pennings B, Koopman R, Groen BB, Verdij LB, Van Loon LJ. Aging is accompanied by a blunted muscle protein synthetic response to protein ingestion. *PLoS One.* 2015;10(11):e0140903.
86. Moore DR, Churchward-Venne TA, Witard O, Breen L, Burd NA, Tipton KD, Phillips SM. Protein ingestion to stimulate myofibrillar protein synthesis requires greater relative protein intakes in healthy older versus younger men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2015;70(1):57–62.
87. Moore DR, Robinson MJ, Fry JL, Tang JE, Glover EI, Wilkinson SB, Prior T, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *Am J Clin Nutr.* 2009;89(1):161–8.
88. Witard OC, Jackman SR, Breen L, Smith K, Selby A, Tipton KD. Myofibrillar muscle protein synthesis rates subsequent to a meal in response to increasing doses of whey protein at rest and after resistance exercise. *Am J Clin Nutr.* 2014;99(1):86–95.
89. Macnaughton LS, Wardle SL, Witard OC, Mcglory C, Hamilton DL, Jeromson S, Lawrence CE, Wallis GA, Tipton KD. The response of muscle protein synthesis following whole-body resistance exercise is greater following 40 g than 20 g of ingested whey protein. *Physiol Rep.* 2016;4(15).

90. Schoenfeld BJ, Aragon AA. How much protein can the body use in a single meal for muscle-building? Implications for daily protein distribution. *J Int Soc Sports Nutr.* 2018;15:10.
91. Bucci L, Lm U. Proteins and amino acid supplements in exercise and sport. In: Driskell J, Wolinsky J, editors. *Energy-yield macronutrients and energy metabolism in sports nutrition*. Boca Raton: CRC Press; 2000. p. 191–212.
92. Boirie Y, Dangin M, Gachon P, Vasson MP, Maubois JL, Beaufrere B. Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1997;94(26):14930–5.
93. Dangin M, Boirie Y, Garcia-Rodenas C, Gachon P, Fauquant J, Callier P, Ballevre O, Beaufrere B. The digestion rate of protein is an independent regulating factor of postprandial protein retention. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2001;280(2):E340–8.
94. Boirie Y, Gachon P, Corny S, Fauquant J, Maubois JL, Beaufrere B. Acute postprandial changes in leucine metabolism as assessed with an intrinsically labeled milk protein. *Am J Phys.* 1996;271(6 Pt 1):E1083–91.
95. Tang JE, Moore DR, Kujbida GW, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. *J Appl Physiol.* 2009;107(3):987–92.
96. Burd NA, Yang Y, Moore DR, Tang JE, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Greater stimulation of myofibrillar protein synthesis with ingestion of whey protein isolate v. Micellar casein at rest and after resistance exercise in elderly men. *Br J Nutr.* 2012;108(6):958–62.
97. Yang Y, Churchward-Venne TA, Burd NA, Breen L, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Myofibrillar protein synthesis following ingestion of soy protein isolate at rest and after resistance exercise in elderly men. *Nutr Metab (Lond).* 2012;9(1):57.
98. Joy JM, Lowery RP, Wilson JM, Purpura M, De Souza EO, Wilson SM, Kalman DS, Dudeck JE, Jager R. The effects of 8 weeks of whey or rice protein supplementation on body composition and exercise performance. *Nutr J.* 2013;12:86.
99. Purpura M, Lowery RP, Joy JM, De Souza EO, Kalman D. A comparison of blood amino acid concentrations following ingestion of rice and whey protein isolate: a double-blind, crossover study. *J Nutr Health Sci.* 2014;1(3):306.
100. Minevich J, Olson MA, Mannion JP, Boublik JH, Mcpherson JO, Lowery RP, Shields K, Sharp M, Desouza EO, Wilson JM, Purpura M, Jager R. Digestive enzymes reduce quality differences between plant and animal proteins: a double-blind crossover study. *J Int Soc Sports Nutr.* 2015;12(Suppl 1):26.
101. Jager R, Purpura M, Farmer S, Cash HA, Keller D. Probiotic bacillus coagulans gbi-30, 6086 improves protein absorption and utilization. *Probiotics Antimicro Prot.* 2017; In Press
102. Rittig N, Bach E, Thomsen HH, Moller AB, Hansen J, Johannsen M, Jensen E, Serena A, Jorgensen JO, Richelsen B, Jessen N, Moller N. Anabolic effects of leucine-rich whey protein, carbohydrate, and soy protein with and without beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb) during fasting-induced catabolism: a human randomized crossover trial. *Clin Nutr.* 2017;36(3):697–705.
103. Babault N, Paizis C, Deley G, Guerin-Deremaux L, Saniez MH, Lefranc-Millot C, Allaert FA. Pea proteins oral supplementation promotes muscle thickness gains during resistance training: a double-blind, randomized, placebo-controlled clinical trial vs. whey protein. *J Int Soc Sports Nutr.* 2015;12(1):3.
104. Venkatraman JT, Leddy J, Pendergast D. Dietary fats and immune status in athletes: clinical implications. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(7 Suppl):S389–95.
105. Dorgan JF, Judd JT, Longcope C, Brown C, Schatzkin A, Clevidence BA, Campbell WS, Nair PP, Franz C, Kahle L, Taylor PR. Effects of dietary fat and fiber on plasma and urine androgens and estrogens in men: a controlled feeding study. *Am J Clin Nutr.* 1996;64(6):850–5.
106. Hamalainen EK, Adlercreutz H, Puska P, Pietinen P. Decrease of serum total and free testosterone during a low-fat high-fibre diet. *J Steroid Biochem.* 1983;18(3):369–70.
107. Reed MJ, Cheng RW, Simmonds M, Richmond W, James VH. Dietary lipids: an additional regulator of plasma levels of sex hormone binding globulin. *J Clin Endocrinol Metab.* 1987;64(5):1083–5.
108. Fry AC, Kraemer WJ, Ramsey LT. Pituitary-adrenal-gonadal responses to high-intensity resistance exercise overtraining. *J Appl Physiol.* 1998;85(6):2352–9.
109. Miller WC, Kocaja DM, Hamilton EJ. A meta-analysis of the past 25 years of weight loss research using diet, exercise or diet plus exercise intervention. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1997;21(10):941–7.
110. Miller WC. Effective diet and exercise treatments for overweight and recommendations for intervention. *Sports Med.* 2001;31(10):717–24.
111. Pirozzo S, Summerbell C, Cameron C, Glasziou P. Should we recommend low-fat diets for obesity? *Obes Rev.* 2003;4(2):83–90.
112. Burke LM. Re-examining high-fat diets for sports performance: did we call the 'nail in the coffin' too soon? *Sports Med.* 2015;45(Suppl 1):S33–49.
113. Yeo WK, Carey AL, Burke L, Spriet LL, Hawley JA. Fat adaptation in well-trained athletes: effects on cell metabolism. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2011;36(1):12–22.
114. Leckey JJ, Hoffman NJ, Parr EB, Devlin BL, Trewhin AJ, Stepto NK, Morton JP, Burke LM, Hawley JA. High dietary fat intake increases fat oxidation and reduces skeletal muscle mitochondrial respiration in trained humans. *FASEB J.* 2018;32(6):2979–91. [fj.201700993R](https://doi.org/10.1096/fj.201700993R)
115. Burke LM, Ross ML, Garvican-Lewis LA, Welvaert M, Heikura IA, Forbes SG, Mirtschin JG, Cato LE, Strobel N, Sharma AP, Hawley JA. Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *J Physiol.* 2017;595(9):2785–807.
116. Cox PJ, Kirk T, Ashmore T, Willerton K, Evans R, Smith A, Murray AJ, Stubbs B, West J, Mclure SW, King MT, Dodd MS, Holloway C, Neubauer S, Drawer S, Veech RL, Griffin JL, Clarke K. Nutritional ketosis alters fuel preference and thereby endurance performance in athletes. *Cell Metab.* 2016;24(2):256–68.
117. Jabekk PT, Moe IA, Meen HD, Tomten SE, Hostmark AT. Resistance training in overweight women on a ketogenic diet conserved lean body mass while reducing body fat. *Nutr Metab (Lond).* 2010;7:17.
118. Carli G, Bonifazi M, Lodi L, Lupo C, Martelli G, Viti A. Changes in the exercise-induced hormone response to branched chain amino acid administration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;64(3):272–7.
119. Cade JR, Reese RH, Privette RM, Hommen NM, Rogers JL, Fregly MJ. Dietary intervention and training in swimmers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1991;63(3–4):210–5.
120. Zawadzki KM, Yaspelkis BB 3rd, Ivy JL. Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J Appl Physiol.* 1992;72(5):1854–9.
121. Saunders MJ, Luden ND, Herrick JE. Consumption of an oral carbohydrate-protein gel improves cycling endurance and prevents postexercise muscle damage. *J Strength Cond Res.* 2007;21(3):678–84.
122. Saunders MJ, Kane MD, Todd MK. Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(7):1233–8.
123. Nieman DC, Fagoaga OR, Butterworth DE, Warren BJ, Utter A, Davis JM, Henson DA, Nehlsen-Cannarella SL. Carbohydrate supplementation affects blood granulocyte and monocyte trafficking but not function after 2.5 h of running. *Am J Clin Nutr.* 1997;66(1):153–9.
124. Nieman DC. Influence of carbohydrate on the immune response to intensive, prolonged exercise. *Exerc Immunol Rev.* 1998;4:64–76.
125. Nieman DC. Nutrition, exercise, and immune system function. *Clin Sports Med.* 1999;18(3):537–48.
126. Burke LM. Nutritional practices of male and female endurance cyclists. *Sports Med.* 2001;31(7):521–32.
127. Burke LM. Nutrition for post-exercise recovery. *Aust J Sci Med Sport.* 1997;29(1):3–10.
128. Maughan RJ, Noakes TD. Fluid replacement and exercise stress. A brief review of studies on fluid replacement and some guidelines for the athlete. *Sports Med.* 1991;12(1):16–31.
129. Widrick JJ, Costill DL, Fink WJ, Hickey MS, Mcconnell GK, Tanaka H. Carbohydrate feedings and exercise performance: effect of initial muscle glycogen concentration. *J Appl Physiol.* 1993;74(6):2998–3005.
130. Tarnopolsky MA, Bosman M, Macdonald JR, Vandeputte D, Martin J, Roy BD. Postexercise protein-carbohydrate and carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women. *J Appl Physiol.* 1997;83(6):1877–83.
131. Kraemer WJ, Volek JS, Bush JA, Putukian M, Sebastianelli WJ. Hormonal responses to consecutive days of heavy-resistance exercise with or without nutritional supplementation. *J Appl Physiol.* 1998;85(4):1544–55.

122. Jentjens R, Van Loon L, Mann CH, Wagenmakers AJM, Jeukendrup AE. Addition of protein and amino acids to carbohydrates does not enhance postexercise muscle glycogen synthesis. *J Appl Physiol*. 2001;91:839–46.
123. Kerksick C, Harvey T, Stout J, Campbell B, Wilborn C, Kreider R, Kalman D, Ziegenfuss T, Lopez H, Landis J, Ivy JL, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr*. 2008;5:17.
124. Weight LM, Myburgh KH, Noakes TD. Vitamin and mineral supplementation: effect on the running performance of trained athletes. *Am J Clin Nutr*. 1988;47(2):192–5.
125. Gomes EC, Allgrove JE, Florida-James G, Stone V. Effect of vitamin supplementation on lung injury and running performance in a hot, humid, and ozone-polluted environment. *Scand J Med Sci Sports*. 2011;21(6):e452–60.
126. Fry AC, Bloomer RJ, Falvo MJ, Moore CA, Schilling BK, Weiss LW. Effect of a liquid multivitamin/mineral supplement on anaerobic exercise performance. *Res Sports Med*. 2006;14(1):53–64.
127. Cobley JN, Marrin K. Vitamin e supplementation does not alter physiological performance at fixed blood lactate concentrations in trained runners. *J Sports Med Phys Fitness*. 2012;52(1):63–70.
128. Van Der Beek EJ. Vitamin supplementation and physical exercise performance. *J Sports Sci* 1991; 9 Spec No:77–90.
129. Williams MH. Vitamin supplementation and athletic performance. *Int J Vitam Nutr Res Suppl*. 1989;30:163–91.
130. Paschalis V, Theodorou AA, Kyparos A, Dipl K, Zafeiridis A, Panayiotou G, Vrabas IS, Nikolaidis MG. Low vitamin c values are linked with decreased physical performance and increased oxidative stress: reversal by vitamin c supplementation. *Eur J Nutr*. 2016;55(1):45–53.
131. Paulsen G, Cumming KT, Holden G, Hallen J, Ronnestad BR, Sveen O, Skaug A, Paur I, Bastani NE, Ostgaard HN, Buer C, Middtun M, Freuchen F, Wiig H, Ulseth ET, Garthe I, Blomhoff R, Benestad HB, Raastad T. Vitamin c and e supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial. *J Physiol*. 2014;592(Pt 8):1887–901.
132. Nikolaidis MG, Kerksick CM, Lamprecht M, Mcanulty SR. Does vitamin c and e supplementation impair the favorable adaptations of regular exercise? *Oxidative Med Cell Longev*. 2012;2012:707941.
133. Morrison D, Hughes J, Della Gatta PA, Mason S, Lamon S, Russell AP, Wadley GD. Vitamin c and e supplementation prevents some of the cellular adaptations to endurance-training in humans. *Free Radic Biol Med*. 2015;89:852–62.
134. Peternelj TT, Coombes JS. Antioxidant supplementation during exercise training: beneficial or detrimental? *Sports Med*. 2011;41(12):1043–69.
135. Bartoszewska M, Kamboj M, Patel DR. Vitamin d, muscle function, and exercise performance. *Pediatr Clin N Am*. 2010;57(3):849–61.
136. Tomlinson PB, Joseph C, Angioi M. Effects of vitamin d supplementation on upper and lower body muscle strength levels in healthy individuals. A systematic review with meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2015;18(5):575–80.
137. Close GL, Leckey J, Patterson M, Bradley W, Owens DJ, Fraser WD, Morton JP. The effects of vitamin d(3) supplementation on serum total 25[oh]d concentration and physical performance: a randomised dose-response study. *Br J Sports Med*. 2013;47(11):692–6.
138. Dubnov-Raz G, Livne N, Raz R, Cohen AH, Constantini NW. Vitamin d supplementation and physical performance in adolescent swimmers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2015;25(4):317–25.
139. Wyon MA, Koutedakis Y, Wolman R, Nevill AM, Allen N. The influence of winter vitamin d supplementation on muscle function and injury occurrence in elite ballet dancers: a controlled study. *J Sci Med Sport*. 2014;17(1):8–12.
140. Blumberg JB, Cena H, Barr SI, Biesalski HK, Dagach RU, Delaney B, Frei B, Moreno Gonzalez MI, Hwalla N, Lategan-Potgieter R, McNulty H, Van Der Pols JC, Winichagoon P, Li D. The use of multivitamin/multimineral supplements: a modified delphi consensus panel report. *Clin Ther*. 2018;40(4):640–57.
141. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. American college of sports medicine joint position statement. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(3):543–68.
142. Singh A, Moses FM, Deuster PA. Chronic multivitamin-mineral supplementation does not enhance physical performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24(6):726–32.
143. Telford RD, Catchpole EA, Deakin V, Hahn AG, Plank AW. The effect of 7 to 8 months of vitamin/mineral supplementation on athletic performance. *Int J Sport Nutr*. 1992;2(2):135–53.
144. Steinbaugh M. Nutritional needs of female athletes. *Clin Sports Med*. 1984;3(3):649–70.
145. Dellavalle DM. Iron supplementation for female athletes: effects on iron status and performance outcomes. *Curr Sports Med Rep*. 2013;12(4):234–9.
146. Zourdos MC, Sanchez-Gonzalez MA, Mahoney SE. A brief review: the implications of iron supplementation for marathon runners on health and performance. *J Strength Cond Res*. 2015;29(2):559–65.
147. Buck CL, Wallman KE, Dawson B, Guelfi KJ. Sodium phosphate as an ergogenic aid. *Sports Med*. 2013;43(6):425–35.
148. Jeukendrup AE, Currell K, Clarke J, Cole J, Blannin AK. Effect of beverage glucose and sodium content on fluid delivery. *Nutr Metab (Lond)*. 2009;6:9.
149. Rehrer NJ. Fluid and electrolyte balance in the ultra-endurance sport. *Sports Med*. 2001;31(10):701–15.
150. Sawka MN, Montain SJ. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *Am J Clin Nutr*. 2000;72(2 Suppl):564S–72S.
151. Shirreffs SM, Armstrong LE, Cheuvront SN. Fluid and electrolyte needs for preparation and recovery from training and competition. *J Sports Sci*. 2004;22(1):57–63.
152. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. American college of sports medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(2):377–90.
153. Brouns F, Kovacs EM, Senden JM. The effect of different rehydration drinks on post-exercise electrolyte excretion in trained athletes. *Int J Sports Med*. 1998;19(1):56–60.
154. Kovacs EM, Senden JM, Brouns F. Urine color, osmolality and specific electrical conductance are not accurate measures of hydration status during postexercise rehydration. *J Sports Med Phys Fitness*. 1999;39(1):47–53.
155. Kovacs EM, Schmahl RM, Senden JM, Brouns F. Effect of high and low rates of fluid intake on post-exercise rehydration. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2002;12(1):14–23.
156. Meyer LG, Horrigan DJ Jr, Lotz WG. Effects of three hydration beverages on exercise performance during 60 hours of heat exposure. *Aviat Space Environ Med*. 1995;66(11):1052–7.
157. Casa DJ, Clarkson PM, Roberts WO. American college of sports medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statements. *Curr Sports Med Rep*. 2005;4(3):115–27.
158. Wilson GJ, Wilson JM, Manninen AH. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb) on exercise performance and body composition across varying levels of age, sex, and training experience: a review. *Nutr Metab (Lond)*. 2008;5:1.
159. Gallagher PM, Carrithers JA, Godard MP, Schulze KE, Trappe SW. Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate ingestion, part i: effects on strength and fat free mass. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(12):2109–15.
160. Gallagher PM, Carrithers JA, Godard MP, Schulze KE, Trappe SW. Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate ingestion, part ii: effects on hematology, hepatic and renal function. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(12):2116–9.
161. Nissen S, Sharp R, Ray M. Effect of leucine metabolite beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on muscle metabolism during resistance exercise testing. *J Am Physiol*. 1996;81:2095–104.
162. Pantan LB, Rathmacher JA, Baier S, Nissen S. Nutritional supplementation of the leucine metabolite beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb) during resistance training. *Nutrition*. 2000;16(9):734–9.
163. Slater GJ, Jenkins D. Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb) supplementation and the promotion of muscle growth and strength. *Sports Med*. 2000;30(2):105–16.
164. Vukovich MD, Slater G, Macchi MB, Turner MJ, Fallon K, Boston T, Rathmacher J. Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb) kinetics and the influence of glucose ingestion in humans. *J Nutr Biochem*. 2001;12(11):631–9.
165. Kreider RB, Ferreira M, Wilson M, Almada AL. Effects of calcium beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb) supplementation during resistance-training on markers of catabolism, body composition and strength. *Int J Sports Med*. 1999;20(8):503–9.
166. Slater G, Jenkins D, Logan P, Lee H, Vukovich M, Rathmacher JA, Hahn AG. Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb) supplementation does not affect changes in strength or body composition during resistance training in trained men. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2001;11(3):384–96.
167. Ransone J, Neighbors K, Lefavi R, Chromiak J. The effect of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on muscular strength and body composition in collegiate football players. *J Strength Cond Res*. 2003;17(1):34–9.
168. Durkalec-Michalski K, Jeszka J. The efficacy of a beta-hydroxy-beta-

- methylbutyrate supplementation on physical capacity, body composition and biochemical markers in elite rowers: a randomised, double-blind, placebo-controlled crossover study. *J Int Soc Sports Nutr.* 2015;12:31.
179. Durkalec-Michalski K, Jeszka J. The effect of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on aerobic capacity and body composition in trained athletes. *J Strength Cond Res.* 2016;30(9):2617–26.
180. Durkalec-Michalski K, Jeszka J, Podgorski T. The effect of a 12-week beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb) supplementation on highly-trained combat sports athletes: a randomised, double-blind, placebo-controlled crossover study. *Nutrients.* 2017;9(7).
181. Williams MH, Kreider R, Branch JD. Creatine: the power supplement. Champaign: Human Kinetics; 1999. (Series Editor)
182. Kreider RB. Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations. *Mol Cell Biochem.* 2003;244(1–2):89–94.
183. Volek JS, Duncan ND, Mazzetti SA, Staron RS, Putukian M, Gomez AL, Pearson DR, Fink WJ, Kraemer WJ. Performance and muscle fiber adaptations to creatine supplementation and heavy resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(8):1147–56.
184. Willoughby DS, Rosene J. Effects of oral creatine and resistance training on myosin heavy chain expression. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(10):1674–81.
185. Willoughby DS, Rosene JM. Effects of oral creatine and resistance training on myogenic regulatory factor expression. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(6):923–9.
186. Olsen S, Aagaard P, Kadi F, Tufekovic G, Verney J, Olesen JL, Suetta C, Kjaer M. Creatine supplementation augments the increase in satellite cell and myonuclei number in human skeletal muscle induced by strength training. *J Physiol.* 2006;573(Pt 2):525–34.
187. Kreider R, Melton C, Hunt J, Rasmussen C, Ransom J, Stroud T, Cantler E, Milnor P. Creatine does not increase incidence of cramping or injury during pre-season college football training. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(5):S355.
188. Kreider RB, Melton C, Rasmussen CJ, Greenwood M, Lancaster S, Cantler EC, Milnor P, Almada AL. Long-term creatine supplementation does not significantly affect clinical markers of health in athletes. *Mol Cell Biochem.* 2003;244(1–2):95–104.
189. Graham AS, Hatton RC. Creatine: a review of efficacy and safety. *J Am Pharm Assoc (Wash).* 1999;39(6):803–10.
190. Juhn MS, Tarnopolsky M. Potential side effects of oral creatine supplementation: a critical review. *Clin J Sport Med.* 1998;8(4):298–304.
191. Mayhew DL, Mayhew JL, Ware JS. Effects of long-term creatine supplementation on liver and kidney functions in american college football players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2002;12(4):453–60.
192. Gualano B, Ugrinowitsch C, Novaes RB, Artioli GG, Shimizu MH, Seguro AC, Harris RC, Lancha AH Jr. Effects of creatine supplementation on renal function: a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Eur J Appl Physiol.* 2008;103(1):33–40.
193. Kim HJ, Kim CK, Carpentier A, Poortmans JR. Studies on the safety of creatine supplementation. *Amino Acids.* 2011;40(5):1409–18.
194. Taes YE, Delanghe JR, Wuyts B, Van De Voorde J, Lameire NH. Creatine supplementation does not affect kidney function in an animal model with pre-existing renal failure. *Nephrol Dial Transplant.* 2003;18(2):258–64.
195. Schilling BK, Stone MH, Utter A, Kearney JT, Johnson M, Coglianese R, Smith L, O'bryant HS, Fry AC, Starks M, Keith R, Stone ME. Creatine supplementation and health variables: a retrospective study. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(2):183–8.
196. Dalbo VJ, Roberts MD, Stout JR, Kerksick CM. Putting to rest the myth of creatine supplementation leading to muscle cramps and dehydration. *Br J Sports Med.* 2008;42(7):567–73.
197. Greenwood M, Kreider RB, Greenwood L, Byars A. Cramping and injury incidence in collegiate football players are reduced by creatine supplementation. *J Athl Train.* 2003;38(3):216–9.
198. Greenwood M, Kreider R, Greenwood L, Earnest C, Farris J, Brown L. Effects of creatine supplementation on the incidence of cramping/injury during eighteen weeks of collegiate baseball training/competition. *Med Sci Sport Exerc.* 2002;34:S146.
199. Watsford ML, Murphy AJ, Spinks WL, Walshe AD. Creatine supplementation and its effect on musculotendinous stiffness and performance. *J Strength Cond Res.* 2003;17(1):26–33.
200. Biolo G, Tipton KD, Klein S, Wolfe RR. An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol.* 1997;273(1 Pt 1):E122–9.
201. Tipton KD, Borsheim E, Wolf SE, Sanford AP, Wolfe RR. Acute response of net muscle protein balance reflects 24-h balance after exercise and amino acid ingestion. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2003;284(1):E76–89.
202. Wolfe RR. Regulation of muscle protein by amino acids. *J Nutr.* 2002;132(10):3219S–24S.
203. Rasmussen BB, Tipton KD, Miller SL, Wolf SE, Wolfe RR. An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise. *J Appl Physiol.* 2000;88(2):386–92.
204. Borsheim E, Tipton KD, Wolf SE, Wolfe RR. Essential amino acids and muscle protein recovery from resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2002;283(4):E648–57.
205. Rasmussen BB, Wolfe RR, Volpi E. Oral and intravenously administered amino acids produce similar effects on muscle protein synthesis in the elderly. *J Nutr Health Aging.* 2002;6(6):358–62.
206. Miller SL, Tipton KD, Chinkes DL, Wolf SE, Wolfe RR. Independent and combined effects of amino acids and glucose after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(3):449–55.
207. Kobayashi H, Borsheim E, Anthony TG, Traber DL, Badalamenti J, Kimball SR, Jefferson LS, Wolfe RR. Reduced amino acid availability inhibits muscle protein synthesis and decreases activity of initiation factor eif2b. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2003;284(3):E488–98.
208. Biolo G, Williams BD, Fleming RY, Wolfe RR. Insulin action on muscle protein kinetics and amino acid transport during recovery after resistance exercise. *Diabetes.* 1999;48(5):949–57.
209. Gorissen SH, Remond D, Van Loon LJ. The muscle protein synthetic response to food ingestion. *Meat Sci.* 2015;109:96–100.
210. Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, Parise G, Bellamy L, Baker SK, Smith K, Atherton PJ, Phillips SM. Acute post-exercise myofibrillar protein synthesis is not correlated with resistance training-induced muscle hypertrophy in young men. *PLoS One.* 2014;9(2):e89431.
211. Cermak NM, Res PT, De Groot LC, Saris WH, Van Loon LJ. Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr.* 2012;96(6):1454–64.
212. Tipton KD, Gurkin BE, Matin S, Wolfe RR. Nonessential amino acids are not necessary to stimulate net muscle protein synthesis in healthy volunteers. *J Nutr Biochem.* 1999;10(2):89–95.
213. Volpi E, Kobayashi H, Sheffield-Moore M, Mittendorfer B, Wolfe RR. Essential amino acids are primarily responsible for the amino acid stimulation of muscle protein anabolism in healthy elderly adults. *Am J Clin Nutr.* 2003;78(2):250–8.
214. Phillips SM. A brief review of critical processes in exercise-induced muscular hypertrophy. *Sports Med.* 2014;44(Suppl 1):S71–7.
215. Breen L, Phillips SM. Nutrient interaction for optimal protein anabolism in resistance exercise. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2012;15(3):226–32.
216. Katsanos CS, Chinkes DL, Paddon-Jones D, Zhang XJ, Aarsland A, Wolfe RR. Whey protein ingestion in elderly persons results in greater muscle protein accrual than ingestion of its constituent essential amino acid content. *Nutr Res.* 2008;28(10):651–8.
217. Cuthbertson D, Smith K, Babraj J, Leese G, Waddell T, Atherton P, Wackerhage H, Taylor PM, Rennie MJ. Anabolic signaling deficits underlie amino acid resistance of wasting, aging muscle. *FASEB J.* 2005;19(3):422–4.
218. Blomstrand E, Eliasson J, Karlsson HK, Kohnke R. Branched-chain amino acids activate key enzymes in protein synthesis after physical exercise. *J Nutr.* 2006;136(1 Suppl):269S–73S.
219. Nair KS, Short KR. Hormonal and signaling role of branched-chain amino acids. *J Nutr.* 2005;135(6 Suppl):1547S–52S.
220. Karlsson HK, Nilsson PA, Nilsson J, Chibalin AV, Zierath JR, Blomstrand E. Branched-chain amino acids increase p70S6k phosphorylation in human skeletal muscle after resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2004;287(1):E1–7.
221. Moberg M, Apro W, Ekblom B, Van Hall G, Holmberg HC, Blomstrand E. Activation of mtorc1 by leucine is potentiated by branched-chain amino acids and even more so by essential amino acids following resistance exercise. *Am J Physiol Cell Physiol.* 2016;310(11):C874–84.
222. Jackman SR, Witard OC, Philp A, Wallis GA, Baar K, Tipton KD. Branched-chain amino acid ingestion stimulates muscle myofibrillar protein synthesis

- following resistance exercise in humans. *Front Physiol.* 2017;8:390.
223. Churchward-Venne TA, Burd NA, Mitchell CJ, West DW, Philp A, Marcotte GR, Baker SK, Baar K, Phillips SM. Supplementation of a suboptimal protein dose with leucine or essential amino acids: effects on myofibrillar protein synthesis at rest and following resistance exercise in men. *J Physiol.* 2012; 590(Pt 11):2751–65.
 224. Dreyer HC, Drummond MJ, Pennings B, Fujita S, Glynn EL, Chinkes DL, Dhanani S, Volpi E, Rasmussen BB. Leucine-enriched essential amino acid and carbohydrate ingestion following resistance exercise enhances mtor signaling and protein synthesis in human muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2008;294(2):E392–400.
 225. Drummond MJ, Rasmussen BB. Leucine-enriched nutrients and the regulation of mammalian target of rapamycin signalling and human skeletal muscle protein synthesis. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2008;11(3):222–6.
 226. Stokes T, Hector AJ, Morton RW, Mcglory C, Phillips SM. Recent perspectives regarding the role of dietary protein for the promotion of muscle hypertrophy with resistance exercise training. *Nutrients.* 2018;10(2).
 227. Cribb PJ, Williams AD, Carey MF, Hayes A. The effect of whey isolate and resistance training on strength, body composition, and plasma glutamine. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2006;16(5):494–509.
 228. Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, Macdonald MJ, Macdonald JR, Armstrong D, Phillips SM. Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage. *Am J Clin Nutr.* 2007;85(4):1031–40.
 229. Fry AC, Schilling BK, Chui LZF, Weiss LW, Kreider R, Rasmussen CJ. Muscle fiber and performance adaptations to resistance exercise with myovive, colostrum or casein and whey supplementation. *Res Sports Med.* 2003;11:109–27.
 230. Willoughby DS, Stout JR, Wilborn CD. Effects of resistance training and protein plus amino acid supplementation on muscle anabolism, mass, and strength. *Amino Acids.* 2007;32(4):467–77.
 231. Kerksick CM, Rasmussen C, Lancaster S, Starks M, Smith P, Melton C, Greenwood M, Almada A, Kreider R. Impact of differing protein sources and a creatine containing nutritional formula after 12 weeks of resistance training. *Nutrition.* 2007;23(9):647–56.
 232. Kerksick CM, Rasmussen CJ, Lancaster SL, Magu B, Smith P, Melton C, Greenwood M, Almada AL, Earnest CP, Kreider RB. The effects of protein and amino acid supplementation on performance and training adaptations during ten weeks of resistance training. *J Strength Cond Res.* 2006;20(3): 643–53.
 233. Kalman D, Feldman S, Martinez M, Krieger DR, Tallon MJ. Effect of protein source and resistance training on body composition and sex hormones. *J Int Soc Sports Nutr.* 2007;4:4.
 234. Paul GL. The rationale for consuming protein blends in sports nutrition. *J Am Coll Nutr.* 2009;28(Suppl):464S–72S.
 235. Tahavogari A, Vafa M, Shidfar F, Gohari M, Heydari I. Whey protein preloads are more beneficial than soy protein preloads in regulating appetite, calorie intake, anthropometry, and body composition of overweight and obese men. *Nutr Res.* 2014;34(10):856–61.
 236. Garthe I, Raastad T, Refsnæs PE, Koivisto A, Sundgot-Borgen J. Effect of two different weight-loss rates on body composition and strength and power-related performance in elite athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2011; 21(2):97–104.
 237. Garthe I, Raastad T, Sundgot-Borgen J. Long-term effect of weight loss on body composition and performance in elite athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2011;21(5):426–35.
 238. Pasiakos SM, Cao JJ, Margolis LM, Sauter ER, Whigham LD, McClung JP, Rood JC, Carbone JW, Combs GF Jr, Young AJ. Effects of high-protein diets on fat-free mass and muscle protein synthesis following weight loss: a randomized controlled trial. *FASEB J.* 2013;27(9):3837–47.
 239. Longland TM, Oikawa SY, Mitchell CJ, Devries MC, Phillips SM. Higher compared with lower dietary protein during an energy deficit combined with intense exercise promotes greater lean mass gain and fat mass loss: a randomized trial. *Am J Clin Nutr.* 2016;103(3):738–46.
 240. Rapaport E, Salikhova A, Abraham EH. Continuous intravenous infusion of atp in humans yields large expansions of erythrocyte atp pools but extracellular atp pools are elevated only at the start followed by rapid declines. *Purinergic Signal.* 2015;11(2):251–62.
 241. Arts IC, Coolen EJ, Bours MJ, Huyghebaert N, Stuart MA, Bast A, Dagnelie PC. Adenosine 5'-triphosphate (atp) supplements are not orally bioavailable: a randomized, placebo-controlled cross-over trial in healthy humans. *J Int Soc Sports Nutr.* 2012;9(1):16.
 242. Purpura M, Rathmacher JA, Sharp MH, Lowery RP, Shields KA, Part JM, Wilson JM, Jager R. Oral adenosine-5'-triphosphate (atp) administration increases postexercise atp levels, muscle excitability, and athletic performance following a repeated sprint bout. *J Am Coll Nutr.* 2017;36(3):177–83.
 243. Freitas MC, Cholewa JM, Gerosa-Neto J, Goncalves DC, Caperuto EC, Lira FS, Rossi FE. A single dose of oral atp supplementation improves performance and physiological response during lower body resistance exercise in recreational resistance trained males. *J Strength Cond Res.* 2017; <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002198>.
 244. Jager R, Roberts MD, Lowery RP, Joy JM, Cruthirds CL, Lockwood CM, Rathmacher JA, Purpura M, Wilson JM. Oral adenosine-5'-triphosphate (atp) administration increases blood flow following exercise in animals and humans. *J Int Soc Sports Nutr.* 2014;11:28.
 245. Wilson JM, Joy JM, Lowery RP, Roberts MD, Lockwood CM, Manninen AH, Fuller JC, De Souza EO, Baier SM, Wilson SM, Rathmacher JA. Effects of oral adenosine-5'-triphosphate supplementation on athletic performance, skeletal muscle hypertrophy and recovery in resistance-trained men. *Nutr Metab (Lond).* 2013;10(1):57.
 246. Long G, Zhang GQ. Effects of adenosine triphosphate (atp) on early recovery after total knee arthroplasty (tka): a randomized, double-blind, controlled study. *J Arthroplast.* 2014;29(12):2347–51.
 247. Kreider RB. Effects of protein and amino acid supplementation on athletic performance. *Sports Science.* 1999;3(1) Available: <http://www.sportsci.org/jour/9901/rbk.html>. Accessed 1 June 2018.
 248. Coombes JS, Mcnaughton LR. Effects of branched-chain amino acid supplementation on serum creatine kinase and lactate dehydrogenase after prolonged exercise. *J Sports Med Phys Fitness.* 2000;40(3):240–6.
 249. Jackman SR, Witard OC, Jeukendrup AE, Tipton KD. Branched-chain amino acid ingestion can ameliorate soreness from eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(5):962–70.
 250. Howatson G, Hoad M, Goodall S, Tallent J, Bell PG, French DN. Exercise-induced muscle damage is reduced in resistance-trained males by branched chain amino acids: a randomized, double-blind, placebo controlled study. *J Int Soc Sports Nutr.* 2012;9:20.
 251. Drummond MJ, Dreyer HC, Fry CS, Glynn EL, Rasmussen BB. Nutritional and contractile regulation of human skeletal muscle protein synthesis and mtorc1 signaling. *J Appl Physiol.* 2009;106(4):1374–84.
 252. Phillips SM. The science of muscle hypertrophy: making dietary protein count. *Proc Nutr Soc.* 2011;70(1):100–3.
 253. Devries MC, Phillips SM. Supplemental protein in support of muscle mass and health: advantage whey. *J Food Sci.* 2015;80(Suppl 1):A8–A15.
 254. Schena F, Guerrini F, Tregnaghi P, Kayser B. Branched-chain amino acid supplementation during trekking at high altitude. The effects on loss of body mass, body composition, and muscle power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;65(5):394–8.
 255. Bigard AX, Lavie P, Ullmann L, Legrand H, Douce P, Guezennec CY. Branched-chain amino acid supplementation during repeated prolonged skiing exercises at altitude. *Int J Sport Nutr.* 1996;6(3):295–306.
 256. Candeloro N, Bertini I, Melchiorri G, De Lorenzo A. Effects of prolonged administration of branched-chain amino acids on body composition and physical fitness. *Minerva Endocrinol.* 1995;20(4):217–23.
 257. Spillane M, Emerson C, Willoughby DS. The effects of 8 weeks of heavy resistance training and branched-chain amino acid supplementation on body composition and muscle performance. *Nutr Health.* 2012;21(4):263–73.
 258. Shad BJ, Smeuninx B, Atherton PJ, Breen L. The mechanistic and ergogenic effects of phosphatidic acid in skeletal muscle. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015;40(12):1233–41.
 259. Fang Y, Vilella-Bach M, Bachmann R, Flanigan A, Chen J. Phosphatidic acid-mediated mitogenic activation of mtor signaling. *Science.* 2001; 294(5548):1942–5.
 260. Hornberger TA, Chu WK, Mak YW, Hsiung JW, Huang SA, Chien S. The role of phospholipase d and phosphatidic acid in the mechanical activation of mtor signaling in skeletal muscle. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2006;103(12):4741–6.
 261. Hoffman JR, Stout JR, Williams DR, Wells AJ, Fragala MS, Mangine GT, Gonzalez AM, Emerson NS, McCormack WP, Scanlon TC, Purpura M, Jager R. Efficacy of

- phosphatidic acid ingestion on lean body mass, muscle thickness and strength gains in resistance-trained men. *J Int Soc Sports Nutr.* 2012;9(1):47.
262. Nakane Y, Yoshimura T. Universality and diversity in the signal transduction pathway that regulates seasonal reproduction in vertebrates. *Front Neurosci.* 2014;8:115.
 263. Escalante G, Alencar M, Haddock B, Harvey P. The effects of phosphatidic acid supplementation on strength, body composition, muscular endurance, power, agility, and vertical jump in resistance trained men. *J Int Soc Sports Nutr.* 2016;13:24.
 264. Andre TL, Gann JJ, Mckinley-Barnard SK, Song JJ, Willoughby DS. Eight weeks of phosphatidic acid supplementation in conjunction with resistance training does not differentially affect body composition and muscle strength in resistance-trained men. *J Sports Sci Med.* 2016;15(3):532–9.
 265. Molderings GJ, Haenisch B. Agmatine (decarboxylated L-arginine): physiological role and therapeutic potential. *Pharmacol Ther.* 2012;133(3):351–65.
 266. Laube G, Bernstein HG. Agmatine: multifunctional arginine metabolite and magic bullet in clinical neuroscience? *Biochem J.* 2017;474(15):2619–40.
 267. Galgano F, Caruso M, Condelli N, Favati F. Focused review: Agmatine in fermented foods. *Front Microbiol.* 2012;3:199.
 268. Wernerman J, Hammarqvist F, Vinnars E. Alpha-ketoglutarate and postoperative muscle catabolism. *Lancet.* 1990;335(8691):701–3.
 269. Hammarqvist F, Wernerman J, Ali R, Vinnars E. Effects of an amino acid solution enriched with either branched chain amino acids or ornithine-alpha-ketoglutarate on the postoperative intracellular amino acid concentration of skeletal muscle. *Br J Surg.* 1990;77(2):214–8.
 270. Little JP, Forbes SC, Candow DG, Cornish SM, Chilibeck PD. Creatine, arginine alpha-ketoglutarate, amino acids, and medium-chain triglycerides and endurance and performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2008;18(5):493–508.
 271. Campbell B, Roberts M, Kerksick C, Wilborn C, Marcello B, Taylor L, Nassar E, Leutholtz B, Bowden R, Rasmussen C, Greenwood M, Kreider R. Pharmacokinetics, safety, and effects on exercise performance of L-arginine alpha-ketoglutarate in trained adult men. *Nutrition.* 2006;22(9):872–81.
 272. Willoughby DS, Boucher T, Reid J, Skelton G, Clark M. Effects of 7 days of arginine-alpha-ketoglutarate supplementation on blood flow, plasma L-arginine, nitric oxide metabolites, and asymmetric dimethyl arginine after resistance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2011;21(4):291–9.
 273. Alvares TS, Meirelles CM, Bhambhani YN, Paschoalin VM, Gomes PS. L-arginine as a potential ergogenic aid in healthy subjects. *Sports Med.* 2011;41(3):233–48.
 274. Tang JE, Lysecki PJ, Manolagos JJ, Macdonald MJ, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Bolus arginine supplementation affects neither muscle blood flow nor muscle protein synthesis in young men at rest or after resistance exercise. *J Nutr.* 2011;141(2):195–200.
 275. Forbes SC, Harber V, Bell GJ. Oral L-arginine before resistance exercise blunts growth hormone in strength trained males. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2014;24(2):236–44.
 276. West DW, Burd NA, Tang JE, Moore DR, Staples AW, Holwerda AM, Baker SK, Phillips SM. Elevations in ostensibly anabolic hormones with resistance exercise enhance neither training-induced muscle hypertrophy nor strength of the elbow flexors. *J Appl Physiol.* 2010;108(1):60–7.
 277. West DW, Kujbida GW, Moore DR, Atherton P, Burd NA, Padzik JP, De Lisio M, Tang JE, Parise G, Rennie MJ, Baker SK, Phillips SM. Resistance exercise-induced increases in putative anabolic hormones do not enhance muscle protein synthesis or intracellular signalling in young men. *J Physiol.* 2009;587(Pt 21):5239–47.
 278. Alvares TS, Conte CA, Paschoalin VM, Silva JT, Meirelles Cde M, Bhambhani YN, Gomes PS. Acute L-arginine supplementation increases muscle blood volume but not strength performance. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012;37(1):115–26.
 279. Trumbo P, Yates AA, Schlicker S, Poos M. Dietary reference intakes: vitamin a, vitamin k, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. *J Am Diet Assoc.* 2001;101(3):294–301.
 280. Green NR, Ferrando AA. Plasma boron and the effects of boron supplementation in males. *Environ Health Perspect.* 1994;102(Suppl 7):73–7.
 281. Ferrando AA, Green NR. The effect of boron supplementation on lean body mass, plasma testosterone levels, and strength in male bodybuilders. *Int J Sport Nutr.* 1993;3(2):140–9.
 282. Meacham SL, Taper LJ, Volpe SL. Effect of boron supplementation on blood and urinary calcium, magnesium, and phosphorus, and urinary boron in athletic and sedentary women. *Am J Clin Nutr.* 1995;61(2):341–5.
 283. Meacham SL, Taper LJ, Volpe SL. Effects of boron supplementation on bone mineral density and dietary, blood, and urinary calcium, phosphorus, magnesium, and boron in female athletes. *Environ Health Perspect.* 1994;102(Suppl 7):79–82.
 284. Evans GW. The effect of chromium picolinate on insulin controlled parameters in humans. *Int Biosc Med Res.* 1989;11:163–80.
 285. Hasten DL, Rome EP, Franks BD, Hegsted M. Effects of chromium picolinate on beginning weight training students. *Int J Sport Nutr.* 1992;2(4):343–50.
 286. Grant KE, Chandler RM, Castle AL, Ivy JL. Chromium and exercise training: effect on obese women. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(8):992–8.
 287. Campbell WW, Joseph LJ, Anderson RA, Davey SL, Hinton J, Evans WJ. Effects of resistive training and chromium picolinate on body composition and skeletal muscle size in older women. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2002;12(2):125–35.
 288. Campbell WW, Barton ML Jr, Cyr-Campbell D, Davey SL, Beard JL, Parise G, Evans WJ. Effects of an omnivorous diet compared with a lactoovo vegetarian diet on resistance-training-induced changes in body composition and skeletal muscle in older men. *Am J Clin Nutr.* 1999;70(6):1032–9.
 289. Walker LS, Bemben MG, Bemben DA, Knehans AW. Chromium picolinate effects on body composition and muscular performance in wrestlers. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(12):1730–7.
 290. Livolsi JM, Adams GM, Laguna PL. The effect of chromium picolinate on muscular strength and body composition in women athletes. *J Strength Cond Res.* 2001;15(2):161–6.
 291. Volpe SL, Huang HW, Larpadisorn K, Andlessor, ii. Effect of chromium supplementation and exercise on body composition, resting metabolic rate and selected biochemical parameters in moderately obese women following an exercise program. *J Am Coll Nutr.* 2001;20(4):293–306.
 292. Hallmark MA, Reynolds TH, Desouza CA, Dotson CO, Anderson RA, Rogers MA. Effects of chromium and resistive training on muscle strength and body composition. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28(1):139–44.
 293. Lukaski HC, Bolonchuk WW, Siders WA, Milne DB. Chromium supplementation and resistance training: effects on body composition, strength, and trace element status of men. *Am J Clin Nutr.* 1996;63(6):954–65.
 294. Clancy SP, Clarkson PM, Decheke ME, Nosaka K, Freedson PS, Cunningham JJ, Valentine B. Effects of chromium picolinate supplementation on body composition, strength, and urinary chromium loss in football players. *Int J Sport Nutr.* 1994;4(2):142–53.
 295. Volek JS, Silvestre R, Kirwan JP, Sharran MJ, Judelson DA, Spiering BA, Vingren JL, Maresh CM, Vanheest JL, Kraemer WJ. Effects of chromium supplementation on glycogen synthesis after high-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(12):2102–9.
 296. Pariza MW, Park Y, Cook ME. Conjugated linoleic acid and the control of cancer and obesity. *Toxicol Sci.* 1999;52(2 Suppl):107–10.
 297. Pariza MW, Park Y, Cook ME. Mechanisms of action of conjugated linoleic acid: evidence and speculation. *Proc Soc Exp Biol Med.* 2000;223(1):8–13.
 298. Pariza MW, Park Y, Cook ME. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Prog Lipid Res.* 2001;40(4):283–98.
 299. Delany JP, Blohm F, Truett AA, Scimeca JA, West DB. Conjugated linoleic acid rapidly reduces body fat content in mice without affecting energy intake. *Am J Phys.* 1999;276(4 Pt 2):R1172–9.
 300. Delany JP, West DB. Changes in body composition with conjugated linoleic acid. *J Am Coll Nutr.* 2000;19(4):487S–93S.
 301. Park Y, Albright KJ, Liu W, Storkson JM, Cook ME, Pariza MW. Effect of conjugated linoleic acid on body composition in mice. *Lipids.* 1997;32(8):853–8.
 302. Blankson H, Stakkestad JA, Fagertun H, Thom E, Wadstein J, Gudmundsen O. Conjugated linoleic acid reduces body fat mass in overweight and obese humans. *J Nutr.* 2000;130(12):2943–8.
 303. Gaullier JM, Halse J, Hoivik HO, Høy K, Syvertsen C, Nurminiemi M, Hassfeld C, Einerhand A, O'shea M, Gudmundsen O. Six months supplementation with conjugated linoleic acid induces regional-specific fat mass decreases in overweight and obese. *Br J Nutr.* 2007;97(3):550–60.
 304. Gaullier JM, Halse J, Høy K, Kristiansen K, Fagertun H, Vik H, Gudmundsen O. Conjugated linoleic acid supplementation for 1 y reduces body fat mass in healthy overweight humans. *Am J Clin Nutr.* 2004;79(6):1118–25.
 305. Gaullier JM, Halse J, Høy K, Kristiansen K, Fagertun H, Vik H, Gudmundsen O. Supplementation with conjugated linoleic acid for 24 months is well tolerated by and reduces body fat mass in healthy, overweight humans. *J Nutr.* 2005;135(4):778–84.
 306. Pinkoski C, Chilibeck PD, Candow DG, Eslinger D, Ewaschuk JB, Facci M,

- Farthing JP, Zello GA. The effects of conjugated linoleic acid supplementation during resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(2):339–48.
307. Cornish SM, Candow DG, Jantz NT, Chilibeck PD, Little JP, Forbes S, Abeysekara S, Zello GA. Conjugated linoleic acid combined with creatine monohydrate and whey protein supplementation during strength training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2009;19(1):79–96.
308. Tarnopolsky M, Zimmer A, Paikin J, Safdar A, Aboud A, Pearce E, Roy B, Doherty T. Creatine monohydrate and conjugated linoleic acid improve strength and body composition following resistance exercise in older adults. *PLoS One.* 2007;2(10):e991.
309. Campbell B, Kreider RB. Conjugated linoleic acids. *Curr Sports Med Rep.* 2008;7(4):237–41.
310. Willoughby DS, Leutholtz B. D-aspartic acid supplementation combined with 28 days of heavy resistance training has no effect on body composition, muscle strength, and serum hormones associated with the hypothalamo-pituitary-gonadal axis in resistance-trained men. *Nutr Res.* 2013;33(10):803–10.
311. Melville GW, Siegler JC, Marshall PW. Three and six grams supplementation of d-aspartic acid in resistance trained men. *J Int Soc Sports Nutr.* 2015;12:15.
312. Melville GW, Siegler JC, Marshall PWM. The effects of d-aspartic acid supplementation in resistance-trained men over a three month training period: a randomised controlled trial. *PLoS One.* 2017;12(8):e0182630.
313. Slama K, Koudela K, Tenora J, Mathova A. Insect hormones in vertebrates: anabolic effects of 20-hydroxyecdysone in japanese quail. *Experientia.* 1996;52(7):702–6.
314. Slama K, Kodkova M. Insect hormones and bioanalogs: their effect on respiratory metabolism in *dermestes vulpinus* l. (coleoptera). *Biol Bull.* 1975;148(2):320–32.
315. Syrov VN. Mechanism of the anabolic action of phytoecdysteroids in mammals. *Nauchnye Doki Vyssh Shkoly Biol Nauki.* 1984;11:16–20.
316. Kholodova Y. Phytoecdysteroids: biological effects, application in agriculture and complementary medicine (as presented at the 14-th ecdysone workshop, july, 2000, rapperswil, Switzerland). *Ukr Biokhim Zh.* 2001;73(3):21–9.
317. Bucci LR. Selected herbals and human exercise performance. *Am J Clin Nutr.* 2000;72(2 Suppl):624S–36S.
318. Wilborn CD, Taylor LW, Campbell BI, Kerksick C, Rasmussen CJ, Greenwood M, Kreider RB. Effects of methoxyisoflavone, ecdysterone, and sulfo-polysaccharide supplementation on training adaptations in resistance-trained males. *J Int Soc Sports Nutr.* 2006;3:19–27.
319. Rao A, Steels E, Inder WJ, Abraham S, Vitetta L. Testofen, a specialised trigonella foenum-graecum seed extract reduces age-related symptoms of androgen decrease, increases testosterone levels and improves sexual function in healthy aging males in a double-blind randomised clinical study. *Aging Male.* 2016;19(2):134–42.
320. Wankhede S, Mohan VG, Thakrdesai P. Beneficial effects of fenugreek glycoside supplementation in male subjects during resistance training: a randomized controlled pilot study. *J Sport Health Sci.* 2016;5(2):176–82.
321. Poole C, Bushey B, Foster C, Campbell B, Willoughby D, Kreider R, Taylor L, Wilborn C. The effects of a commercially available botanical supplement on strength, body composition, power output, and hormonal profiles in resistance-trained males. *J Int Soc Sports Nutr.* 2010;7:34.
322. Wheeler KB, Garleb KA. Gamma oryzanol-plant sterol supplementation: metabolic, endocrine, and physiologic effects. *Int J Sport Nutr.* 1991;1(2):170–7.
323. Manore M, Meeusen R, Roelands B, Moran S, Popple AD, Naylor MJ, Burke LM, Stear SJ, Castell LM. Bjsm reviews: A-z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance--part 16. *Br J Sports Med.* 2011;45(1):73–4.
324. Fry AC, Bonner E, Lewis DL, Johnson RL, Stone MH, Kraemer WJ. The effects of gamma-oryzanol supplementation during resistance exercise training. *Int J Sport Nutr.* 1997;7(4):318–29.
325. Eslami S, Esa NM, Marandi SM, Ghasemi G, Eslami S. Effects of gamma oryzanol supplementation on anthropometric measurements & muscular strength in healthy males following chronic resistance training. *Indian J Med Res.* 2014;139(6):857–63.
326. Garlick PJ. The role of leucine in the regulation of protein metabolism. *J Nutr.* 2005;135(6 Suppl):1553S–6S.
327. Garlick PJ, Grant I. Amino acid infusion increases the sensitivity of muscle protein synthesis in vivo to insulin. Effect of branched-chain amino acids. *Biochem J.* 1988;254(2):579–84.
328. Low SY, Taylor PM, Rennie MJ. Responses of glutamine transport in cultured rat skeletal muscle to osmotically induced changes in cell volume. *J Physiol.* 1996;492(Pt 3):877–85.
329. Rennie MJ, Ahmed A, Khogali SE, Low SY, Hundal HS, Taylor PM. Glutamine metabolism and transport in skeletal muscle and heart and their clinical relevance. *J Nutr.* 1996;126(4 Suppl):1142S–9S.
330. Rennie MJ, Khogali SE, Low SY, McDowell HE, Hundal HS, Ahmed A, Taylor PM. Amino acid transport in heart and skeletal muscle and the functional consequences. *Biochem Soc Trans.* 1996;24(3):869–73.
331. Varnier M, Leese GP, Thompson J, Rennie MJ. Stimulatory effect of glutamine on glycogen accumulation in human skeletal muscle. *Am J Phys.* 1995;269(2 Pt 1):E309–15.
332. Gleeson M. Dosing and efficacy of glutamine supplementation in human exercise and sport training. *J Nutr.* 2008;138(10):2045S–9S.
333. Colker CM. Effects of supplemental protein on body composition and muscular strength in healthy athletic male adults. *Curr Ther Res.* 2000;61(1):19–28.
334. Antonio J, Sanders MS, Kalman D, Woodgate D, Street C. The effects of high-dose glutamine ingestion on weightlifting performance. *J Strength Cond Res.* 2002;16(1):157–60.
335. Candow DG, Chilibeck PD, Burke DG, Davison KS, Smith-Palmer T. Effect of glutamine supplementation combined with resistance training in young adults. *Eur J Appl Physiol.* 2001;86(2):142–9.
336. Camilleri M, Madsen K, Spiller R, Greenwood-Van Meerveld B, Verne GN. Intestinal barrier function in health and gastrointestinal disease. *Neurogastroenterol Motil.* 2012;24(6):503–12.
337. Legault Z, Bagnall N, Kimmerly DS. The influence of oral l-glutamine supplementation on muscle strength recovery and soreness following unilateral knee extension eccentric exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2015;25(5):417–26.
338. Bowers CY. Growth hormone-releasing peptide (ghrp). *Cell Mol Life Sci.* 1998;54(12):1316–29.
339. Camanni F, Ghigo E, Arvat E. Growth hormone-releasing peptides and their analogs. *Front Neuroendocrinol.* 1998;19(1):47–72.
340. Ghigo E, Arvat E, Giordano R, Broglio F, Gianotti L, Maccario M, Bisi G, Graziani A, Papotti M, Muccioli G, Deghenghi R, Camanni F. Biologic activities of growth hormone secretagogues in humans. *Endocrine.* 2001;14(1):87–93.
341. Sigalos JT, Pastuszak AW. The safety and efficacy of growth hormone secretagogues. *Sex Med Rev.* 2018;6(1):45–53.
342. Pinyot A, Nikolovski Z, Bosch J, Such-Sanmartin G, Kageyama S, Segura J, Gutierrez-Gallego R. Growth hormone secretagogues: out of competition. *Anal Bioanal Chem.* 2012;402(3):1101–8.
343. Zachwieja JJ, Yarasheski KE. Does growth hormone therapy in conjunction with resistance exercise increase muscle force production and muscle mass in men and women aged 60 years or older? *Phys Ther.* 1999;79(1):76–82.
344. Chromiak JA, Antonio J. Use of amino acids as growth hormone-releasing agents by athletes. *Nutrition.* 2002;18(7–8):657–61.
345. Messina M. Soyfoods and soybean phyto-oestrogens (isoflavones) as possible alternatives to hormone replacement therapy (hrt). *Eur J Cancer.* 2000;36(Suppl 4):S71–2.
346. Messina M, Messina V. Soyfoods, soybean isoflavones, and bone health: a brief overview. *J Ren Nutr.* 2000;10(2):63–8.
347. De Aloysio D, Gambacciani M, Altieri P, Ciapponi M, Ventura V, Mura M, Genazzani AR, Bottiglioni F. Bone density changes in postmenopausal women with the administration of ipriflavone alone or in association with low-dose hrt. *Gynecol Endocrinol.* 1997;11(4):289–93.
348. Choquette S, Riesco E, Cormier E, Dion T, Aubertin-Leheudre M, Dionne JJ. Effects of soya isoflavones and exercise on body composition and clinical risk factors of cardiovascular diseases in overweight postmenopausal women: a 6-month double-blind controlled trial. *Br J Nutr.* 2011;105(8):1199–209.
349. Wu J, Oka J, Tabata I, Higuchi M, Toda T, Fuku N, Ezaki J, Sugiyama F, Uchiyama S, Yamada K, Ishimi Y. Effects of isoflavone and exercise on bmd and fat mass in postmenopausal japanese women: a 1-year randomized placebo-controlled trial. *J Bone Miner Res.* 2006;21(5):780–9.
350. Aubertin-Leheudre M, Lord C, Khalil A, Dionne JJ. Effect of 6 months of exercise and isoflavone supplementation on clinical cardiovascular risk factors in obese postmenopausal women: a randomized, double-blind study. *Menopause.* 2007;14(4):624–9.

351. Lebon J, Riesco E, Tessier D, Dionne IJ. Additive effects of isoflavones and exercise training on inflammatory cytokines and body composition in overweight and obese postmenopausal women: a randomized controlled trial. *Menopause*. 2014;21(8):869–75.
352. Coudray-Lucas C, Le Bever H, Cynober L, De Bandt JP, Carsin H. Ornithine alpha-ketoglutarate improves wound healing in severe burn patients: a prospective randomized double-blind trial versus isotitrogenous controls. *Crit Care Med*. 2000;28(6):1772–6.
353. Donati L, Ziegler F, Pongelli G, Signorini MS. Nutritional and clinical efficacy of ornithine alpha-ketoglutarate in severe burn patients. *Clin Nutr*. 1999; 18(5):307–11.
354. Chetlin RD, Yeater RA, Ullrich IH, Hornsby WG, Malanga CJ, Byrner RW. The effect of ornithine alpha-ketoglutarate (okg) on healthy, weight trained men. *J Exerc Physiol Online*. 2000;3(4).
355. Bhasin S, Woodhouse L, Casaburi R, Singh AB, MacRP, Lee M, Yarasheski KE, Sinha-Hikim I, Dzekov C, Dzekov J, Magliano L, Storer TW. Older men are as responsive as young men to the anabolic effects of graded doses of testosterone on the skeletal muscle. *J Clin Endocrinol Metab*. 2005;90(2): 678–88.
356. Kuhn CM. Anabolic steroids. *Recent Prog Horm Res*. 2002;57:411–34.
357. Limbird TJ. Anabolic steroids in the training and treatment of athletes. *Compr Ther*. 1985;11(1):25–30.
358. Lukas SE. Current perspectives on anabolic-androgenic steroid abuse. *Trends Pharmacol Sci*. 1993;14(2):61–8.
359. Sattler FR, Castaneda-Sceppa C, Binder EF, Schroeder ET, Wang Y, Bhasin S, Kawakubo M, Stewart Y, Yarasheski KE, Ullloor J, Colletti P, Roubenoff R, Azen SP. Testosterone and growth hormone improve body composition and muscle performance in older men. *J Clin Endocrinol Metab*. 2009;94(6): 1991–2001.
360. Storer TW, Woodhouse L, Magliano L, Singh AB, Dzekov C, Dzekov J, Bhasin S. Changes in muscle mass, muscle strength, and power but not physical function are related to testosterone dose in healthy older men. *J Am Geriatr Soc*. 2008;56(11):1991–9.
361. Wagner JC. Enhancement of athletic performance with drugs. An overview. *Sports Med*. 1991;12(4):250–65.
362. Yarasheski KE. Growth hormone effects on metabolism, body composition, muscle mass, and strength. *Exerc Sport Sci Rev*. 1994;22:285–312.
363. Smart T. Other therapies for wasting. *GMHC Treat Issues*. 1995;9(5):7–8. 12
364. Casaburi R. Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(7 Suppl):S662–70.
365. Hayes VY, Urban RJ, Jiang J, Marcell TJ, Helgeson K, Mauras N. Recombinant human growth hormone and recombinant human insulin-like growth factor I diminish the catabolic effects of hypogonadism in man: metabolic and molecular effects. *J Clin Endocrinol Metab*. 2001;86(5):2211–9.
366. Newsham G, Leon W. The use of anabolic agents in hiv disease. *Int J STD AIDS*. 2001;12(3):141–4.
367. Tenover JS. Androgen replacement therapy to reverse and/or prevent age-associated sarcopenia in men. *Bailliere Clin Endocrinol Metab*. 1998;12(3): 419–25.
368. Bross R, Casaburi R, Storer TW, Bhasin S. Androgen effects on body composition and muscle function: implications for the use of androgens as anabolic agents in sarcopenic states. *Bailliere Clin Endocrinol Metab*. 1998;12(3): 365–78.
369. Casaburi R. Rationale for anabolic therapy to facilitate rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Bailliere Clin Endocrinol Metab*. 1998;12(3):407–18.
370. Johansen KL, Mulligan K, Schambelan M. Anabolic effects of nandrolone decanoate in patients receiving dialysis: a randomized controlled trial. *Jama*. 1999;281(14):1275–81.
371. Sattler FR, Jaque SV, Schroeder ET, Olson C, Dube MP, Martinez C, Briggs W, Horton R, Azen S. Effects of pharmacological doses of nandrolone decanoate and progressive resistance training in immunodeficient patients infected with human immunodeficiency virus. *J Clin Endocrinol Metab*. 1999;84(4):1268–76.
372. Beiner JM, Jokl P, Cholewicki J, Panjabi MM. The effect of anabolic steroids and corticosteroids on healing of muscle contusion injury. *Am J Sports Med*. 1999;27(1):2–9.
373. Ferreira IM, Verreschi IT, Nery LE, Goldstein RS, Zamel N, Brooks D, Jardim JR. The influence of 6 months of oral anabolic steroids on body mass and respiratory muscles in undernourished copd patients. *Chest*. 1998;114(1):19–28.
374. Bhasin S, Bremner WJ. Clinical review 85: emerging issues in androgen replacement therapy. *J Clin Endocrinol Metab*. 1997;82(1):3–8.
375. Hoffman JR, Kraemer WJ, Bhasin S, Storer T, Ratames NA, Haff GG, Willoughby DS, Rogol AD. Position stand on androgen and human growth hormone use. *J Strength Cond Res*. 2009;23(5 Suppl):S1–S59.
376. Ferrando AA, Sheffield-Moore M, Paddon-Jones D, Wolfe RR, Urban RJ. Differential anabolic effects of testosterone and amino acid feeding in older men. *J Clin Endocrinol Metab*. 2003;88(1):358–62.
377. Meeuwse IB, Samson MM, Duursma SA, Verhaar HJ. Muscle strength and tibolone: a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *BJOG*. 2002; 109(1):77–84.
378. King DS, Sharp RL, Vukovich MD, Brown GA, Reifenthal TA, Uhl NL, Parsons KA. Effect of oral androstenedione on serum testosterone and adaptations to resistance training in young men: a randomized controlled trial. *JAMA*. 1999;281(21):2020–8.
379. Carter WJ. Effect of anabolic hormones and insulin-like growth factor-I on muscle mass and strength in elderly persons. *Clin Geriatr Med*. 1995;11(4):735–48.
380. Soe M, Jensen KL, Gluud C. The effect of anabolic androgenic steroids on muscle strength, body weight and lean body mass in body-building men. *Ugeskr Laeger*. 1989;151(10):610–3.
381. Griggs RC, Pandya S, Florence JM, Brooke MH, Kingston W, Miller JP, Chutkow J, Herr BE, Moxley RT 3rd. Randomized controlled trial of testosterone in myotonic dystrophy. *Neurology*. 1989;39(2 Pt 1):219–22.
382. Crist DM, Stackpole PJ, Peake GT. Effects of androgenic-anabolic steroids on neuromuscular power and body composition. *J Appl Physiol*. 1983;54(2):366–70.
383. Ward P. The effect of an anabolic steroid on strength and lean body mass. *Med Sci Sports*. 1973;5(4):277–82.
384. Varriale P, Mirzai-Tehrane M, Sedighi A. Acute myocardial infarction associated with anabolic steroids in a young hiv-infected patient. *Pharmacotherapy*. 1999; 19(7):881–4.
385. Kibble MW, Ross MB. Adverse effects of anabolic steroids in athletes. *Clin Pharm*. 1987;6(9):686–92.
386. Gruber AJ, Pope HG Jr. Psychiatric and medical effects of anabolic-androgenic steroid use in women. *Psychother Psychosom*. 2000;69(1):19–26.
387. Lamb DR. Anabolic steroids in athletics: how well do they work and how dangerous are they? *Am J Sports Med*. 1984;12(1):31–8.
388. Salke RC, Rowland TW, Burke EJ. Left ventricular size and function in body builders using anabolic steroids. *Med Sci Sports Exerc*. 1985;17(6):701–4.
389. Brown GA, Martini ER, Roberts BS, Vukovich MD, King DS. Acute hormonal response to sublingual androstenediol intake in young men. *J Appl Physiol*. 2002;92(1):142–6.
390. Brown GA, McKenzie D. Acute resistance exercise does not change the hormonal response to sublingual androstenediol intake. *Eur J Appl Physiol*. 2006;97(4):404–12.
391. Broeder CE, Quindry J, Brittingham K, Panton L, Thomson J, Appakodu S, Breuel K, Byrd R, Douglas J, Earnest C, Mitchell C, Olson M, Roy T, Yarlagaadda C. The andro project: physiological and hormonal influences of androstenedione supplementation in men 35 to 65 years old participating in a high-intensity resistance training program. *Arch Intern Med*. 2000;160(20):3093–104.
392. Ballantyne CS, Phillips SM, Macdonald JR, Tarnopolsky MA, Macdougall JD. The acute effects of androstenedione supplementation in healthy young males. *Can J Appl Physiol*. 2000;25(1):68–78.
393. Brown GA, Vukovich MD, Sharp RL, Reifenthal TA, Parsons KA, King DS. Effect of oral dhea on serum testosterone and adaptations to resistance training in young men. *J Appl Physiol*. 1999;87(6):2274–83.
394. Van Gammeren D, Falk D, Antonio J. Effects of norandrostenedione and norandrostenediol in resistance-trained men. *Nutrition*. 2002;18(9):734–7.
395. Van Gammeren D, Falk D, Antonio J. The effects of supplementation with 19-nor-4-androstene-3,17-dione and 19-nor-4-androstene-3,17-diol on body composition and athletic performance in previously weight-trained male athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2001;84(5):426–31.
396. Pipe A. Effects of testosterone precursor supplementation on intensive weight training. *Clin J Sport Med*. 2001;11(2):126.
397. Mauras N, Lima J, Patel D, Rini A, Di Salle E, Kwok A, Lippe B. Pharmacokinetics and dose finding of a potent aromatase inhibitor, aromasin (exemestane), in young

- males. *J Clin Endocrinol Metab.* 2003;88(12):5951–6.
398. Rohle D, Wilborn C, Taylor L, Mulligan C, Kreider R, Willoughby D. Effects of eight weeks of an alleged aromatase inhibiting nutritional supplement 6-oxo (androst-4-ene-3,6,17-trione) on serum hormone profiles and clinical safety markers in resistance-trained, eugonadal males. *J Int Soc Sports Nutr.* 2007;4:13.
399. Willoughby DS, Wilborn C, Taylor L, Campbell W. Eight weeks of aromatase inhibition using the nutritional supplement novedex xt: effects in young, eugonadal men. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2007;17(1):92–108.
400. Gonzalez-Cadavid NF, Taylor WE, Yarasheski K, Sinha-Hikim I, Ma K, Ezzat S, Shen R, Lalani R, Asa S, Mamita M, Nair G, Arver S, Bhasin S. Organization of the human myostatin gene and expression in healthy men and hiv-infected men with muscle wasting. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1998;95(25):14938–43.
401. Ivey FM, Roth SM, Ferrell RE, Tracy BL, Lemmer JT, Hurlbut DE, Martel GF, Siegel EL, Fozard JL, Jeffrey Metter E, Fleg JL, Hurley BF. Effects of age, gender, and myostatin genotype on the hypertrophic response to heavy resistance strength training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2000;55(11):M641–8.
402. Willoughby DS. Effects of an alleged myostatin-binding supplement and heavy resistance training on serum myostatin, muscle strength and mass, and body composition. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2004;14(4):461–72.
403. Antonio J, Stout JR. *Sport supplements.* Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins; 2001. (Series Editor)
404. Antonio J, Uelmen J, Rodriguez R, Earnest C. The effects of tribulus terrestris on body composition and exercise performance in resistance-trained males. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2000;10(2):208–15.
405. Rogerson S, Riches CJ, Jennings C, Weatherby RP, Meir RA, Marshall-Gradisnik SM. The effect of five weeks of tribulus terrestris supplementation on muscle strength and body composition during preseason training in elite rugby league players. *J Strength Cond Res.* 2007;21(2):348–53.
406. Brown GA, Vukovich MD, Reifensath TA, Uhl NL, Parsons KA, Sharp RL, King DS. Effects of anabolic precursors on serum testosterone concentrations and adaptations to resistance training in young men. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2000;10(3):340–59.
407. Brown GA, Vukovich MD, Martini ER, Kohut ML, Franke WD, Jackson DA, King DS. Effects of androstenedione-herbal supplementation on serum sex hormone concentrations in 30- to 59-year-old men. *Int J Vitam Nutr Res.* 2001;71(5):293–301.
408. Cohen N, Halberstam M, Shlimovich P, Chang CJ, Shamooh H, Rossetti L. Oral vanadyl sulfate improves hepatic and peripheral insulin sensitivity in patients with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *J Clin Invest.* 1995;95(6):2501–9.
409. Jentjens RL, Jeukendrup AE. Effect of acute and short-term administration of vanadyl sulphate on insulin sensitivity in healthy active humans. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2002;12(4):470–9.
410. Sakurai H. A new concept: the use of vanadium complexes in the treatment of diabetes mellitus. *Chem Rec.* 2002;2(4):237–48.
411. Clarkson PM, Rawson ES. Nutritional supplements to increase muscle mass. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 1999;39(4):317–28.
412. Fawcett JP, Farquhar SJ, Walker RJ, Thou T, Lowe G, Goulding A. The effect of oral vanadyl sulfate on body composition and performance in weight-training athletes. *Int J Sport Nutr.* 1996;6(4):382–90.
413. Fawcett JP, Farquhar SJ, Thou T, Shand BI. Oral vanadyl sulphate does not affect blood cells, viscosity or biochemistry in humans. *Pharmacol Toxicol.* 1997;80(4):202–6.
414. Brilla L, Conte V. Effects of a novel zinc-magnesium formulation on hormones and strength. *J Exerc Physiol Online.* 2000;3:26–36.
415. Koehler K, Parr MK, Geyer H, Mester J, Schanzer W. Serum testosterone and urinary excretion of steroid hormone metabolites after administration of a high-dose zinc supplement. *Eur J Clin Nutr.* 2009;63(1):65–70.
416. Wilborn CD, Kerksick CM, Campbell BI, Taylor LW, Marcello BM, Rasmussen CJ, Greenwood MC, Almada A, Kreider RB. Effects of zinc magnesium aspartate (zma) supplementation on training adaptations and markers of anabolism and catabolism. *J Int Soc Sports Nutr.* 2004;1(2):12–20.
417. Om AS, Chung KW. Dietary zinc deficiency alters 5 alpha-reduction and aromatization of testosterone and androgen and estrogen receptors in rat liver. *J Nutr.* 1996;126(4):842–8.
418. Harris R, Dunnett M, Greenhaf P. Carnosine and taurine contents in individual fibres of human vastus lateralis muscle. *J Sport Sci.* 1998;16:639–43.
419. Harris RC, Tallon MJ, Dunnett M, Boobis L, Coakley J, Kim HJ, Fallowfield JL, Hill CA, Sale C, Wise JA. The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids.* 2006;30(3):279–89.
420. Church DD, Hoffman JR, Varanoske AN, Wang R, Baker KM, La Monica MB, Beyer KS, Dodd SJ, Oliveira LP, Harris RC, Fukuda DH, Stout JR. Comparison of two beta-alanine dosing protocols on muscle carnosine elevations. *J Am Coll Nutr.* 2017;36(8):608–16.
421. Hoffman JR, Ratamess NA, Faigenbaum AD, Ross R, Kang J, Stout JR, Wise JA. Short-duration beta-alanine supplementation increases training volume and reduces subjective feelings of fatigue in college football players. *Nutr Res.* 2008;28(1):31–5.
422. Smith AE, Walter AA, Graef JL, Kendall KL, Moon JR, Lockwood CM, Fakuda DH, Beck TW, Cramer JT, Stout JR. Effects of beta-alanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men; a double-blind trial. *J Int Soc Sports Nutr.* 2009;6(1):5.
423. Derave W, Ozdemir MS, Harris RC, Pottier A, Reyngoudt H, Koppo K, Wise JA, Achten E. Beta-alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *J Appl Physiol.* 2007;103(5):1736–43.
424. Hoffman J, Ratamess N, Kang J, Mangine G, Faigenbaum A, Stout J. Effect of creatine and beta-alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2006;16(4):430–46.
425. Kendrick IP, Harris RC, Kim HJ, Kim CK, Dang VH, Lam TQ, Bui TT, Smith M, Wise JA. The effects of 10 weeks of resistance training combined with beta-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. *Amino Acids.* 2008;34(4):547–54.
426. Smith AE, Moon JR, Kendall KL, Graef JL, Lockwood CM, Walter AA, Beck TW, Cramer JT, Stout JR. The effects of beta-alanine supplementation and high-intensity interval training on neuromuscular fatigue and muscle function. *Eur J Appl Physiol.* 2009;105(3):357–63.
427. Wiles JD, Coleman D, Tegerdine M, Swaine IL. The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory-based 1 km cycling time-trial. *J Sports Sci.* 2006;24(11):1165–71.
428. Ivy JL, Kammer L, Ding Z, Wang B, Bernard JR, Liao YH, Hwang J. Improved cycling time-trial performance after ingestion of a caffeine energy drink. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2009;19(1):61–78.
429. Mcnaughton LR, Lovell RJ, Siegler J, Midgley AW, Moore L, Bentley DJ. The effects of caffeine ingestion on time trial cycling performance. *Int J Sports Physiol Perform.* 2008;3(2):157–63.
430. Graham TE. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Med.* 2001;31(11):785–807.
431. Applegate E. Effective nutritional ergogenic aids. *Int J Sport Nutr.* 1999;9(2):229–39.
432. Carr A, Dawson B, Schneiker K, Goodman C, Lay B. Effect of caffeine supplementation on repeated sprint running performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 2008;48(4):472–8.
433. Glaister M, Howatson G, Abraham CS, Lockey RA, Goodwin JE, Foley P, McInnes G. Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(10):1835–40.
434. Trexler ET, Smith-Ryan AE, Roelofs EJ, Hirsch KR, Mock MG. Effects of coffee and caffeine anhydrous on strength and sprint performance. *Eur J Sport Sci.* 2016;16(6):702–10.
435. Astorino TA, Rohmann RL, Firth K. Effect of caffeine ingestion on one-repetition maximum muscular strength. *Eur J Appl Physiol.* 2008;102(2):127–32.
436. Beck TW, Housh TJ, Schmidt RJ, Johnson GO, Housh DJ, Coburn JW, Malek MH. The acute effects of a caffeine-containing supplement on strength, muscular endurance, and anaerobic capabilities. *J Strength Cond Res.* 2006;20(3):506–10.
437. Goldstein ER, Jacobs PL, Whitehurst M, Penhollow T, Antonio J. Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women. *J Int Soc Sports Nutr.* 2010;7(1):18.
438. Duncan MJ, Oxford SW. The effect of caffeine ingestion on mood state and bench press performance to failure. *J Strength Cond Res.* 2011;25(1):178–85.
439. Duncan MJ, Oxford SW. Acute caffeine ingestion enhances performance and dampens muscle pain following resistance exercise to failure. *J Sports Med Phys Fitness.* 2012;52(3):280–5.
440. Duncan MJ, Smith M, Cook K, James RS. The acute effect of a caffeine-

- containing energy drink on mood state, readiness to invest effort, and resistance exercise to failure. *J Strength Cond Res.* 2012;26(10):2858–65.
441. Duncan MJ, Stanley M, Parkhouse N, Cook K, Smith M. Acute caffeine ingestion enhances strength performance and reduces perceived exertion and muscle pain perception during resistance exercise. *Eur J Sport Sci.* 2013;13(4):392–9.
 442. Collomp K, Ahmaidi S, Chatard JC, Audran M, Prefaut C. Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;64(4):377–80.
 443. Woolf K, Bidwell WK, Carlson AG. The effect of caffeine as an ergogenic aid in anaerobic exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2008;18(4):412–29.
 444. Tarnopolsky MA, Atkinson SA, Macdougall JD, Sale DG, Sutton JR. Physiological responses to caffeine during endurance running in habitual caffeine users. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21(4):418–24.
 445. Armstrong LE. Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2002;12(2):189–206.
 446. Falk B, Burstein R, Rosenblum J, Shapiro Y, Zylber-Katz E, Bashan N. Effects of caffeine ingestion on body fluid balance and thermoregulation during exercise. *Can J Physiol Pharmacol.* 1990;68(7):889–92.
 447. Below PR, Mora-Rodriguez R, Gonzalez-Alonso J, Coyle EF. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(2):200–10.
 448. Carter JM, Jeukendrup AE, Jones DA. The effect of carbohydrate mouth rinse on 1-h cycle time trial performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(12):2107–11.
 449. Rollo I, Williams C, Gant N, Nute M. The influence of carbohydrate mouth rinse on self-selected speeds during a 30-min treadmill run. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2008;18(6):585–600.
 450. Rollo I, Williams C, Nevill M. Influence of ingesting versus mouth rinsing a carbohydrate solution during a 1-h run. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(3):468–75.
 451. Sinclair J, Bottoms L, Flynn C, Bradley E, Alexander G, McCullagh S, Finn T, Hurst HT. The effect of different durations of carbohydrate mouth rinse on cycling performance. *Eur J Sport Sci.* 2014;14(3):259–64.
 452. Kasper AM, Cocking S, Cockayne M, Barnard M, Tench J, Parker L, McAndrew J, Langan-Evans C, Close GL, Morton JP. Carbohydrate mouth rinse and caffeine improves high-intensity interval running capacity when carbohydrate restricted. *Eur J Sport Sci.* 2016;16(5):560–8.
 453. Dorling JL, Earnest CP. Effect of carbohydrate mouth rinsing on multiple sprint performance. *J Int Soc Sports Nutr.* 2013;10(1):41.
 454. Clarke ND, Kornilios E, Richardson DL. Carbohydrate and caffeine mouth rinses do not affect maximum strength and muscular endurance performance. *J Strength Cond Res.* 2015;29(10):2926–31.
 455. Dolan P, Witherbee KE, Peterson KM, Kerksick CM. Effect of carbohydrate, caffeine, and carbohydrate + caffeine mouth rinsing on intermittent running performance in collegiate male lacrosse athletes. *J Strength Cond Res.* 2017;31(9):2473–9.
 456. Mock MG, Hirsch KR, MNM B, Trexler ET, Roelofs EJ, Smith-Ryan AE. Post-exercise ingestion of low or high molecular weight glucose polymer solution does not improve cycle performance in female athletes. *J Strength Cond Res.* 2018; <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002560>.
 457. Roberts MD, Lockwood C, Dalbo VJ, Volek J, Kerksick CM. Ingestion of a high-molecular-weight hydrothermally modified waxy maize starch alters metabolic responses to prolonged exercise in trained cyclists. *Nutrition.* 2011;27(6):659–65.
 458. Ormsbee MJ, Bach CW, Baur DA. Pre-exercise nutrition: the role of macronutrients, modified starches and supplements on metabolism and endurance performance. *Nutrients.* 2014;6(5):1782–808.
 459. Mcglory C, Morton JP. The effects of postexercise consumption of high-molecular-weight versus low-molecular-weight carbohydrate solutions on subsequent high-intensity interval-running capacity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2010;20(5):361–9.
 460. Kendall KL, Smith AE, Graef JL, Fukuda DH, Moon JR, Beck TW, Cramer JT, Stout JR. Effects of four weeks of high-intensity interval training and creatine supplementation on critical power and anaerobic working capacity in college-aged men. *J Strength Cond Res.* 2009;23(6):1663–9.
 461. Kendall RW, Jacquemin G, Frost R, Burns SP. Creatine supplementation for weak muscles in persons with chronic tetraplegia: a randomized double-blind placebo-controlled crossover trial. *J Spinal Cord Med.* 2005;28(3):208–13.
 462. Kreider RB, Ferreira M, Wilson M, Grindstaff P, Plisk S, Reinardy J, Cantler E, Almada AL. Effects of creatine supplementation on body composition, strength, and sprint performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(1):73–82.
 463. Green AL, Hultman E, Macdonald IA, Sewell DA, Greenhaff PL. Carbohydrate ingestion augments skeletal muscle creatine accumulation during creatine supplementation in humans. *Am J Phys.* 1996;271(5 Pt 1):E821–6.
 464. Derave W, Op't Eijnde B, Richter EA, and Hespel P. Combined creatine and protein supplementation improves glucose tolerance and muscle glycogen accumulation in humans. Abstracts of 6th International conference on Guanidino compounds in biology and medicine; 2001.
 465. Nelson AG, Arnall DA, Kokkonen J, Day R, Evans J. Muscle glycogen supercompensation is enhanced by prior creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(7):1096–100.
 466. Eijnde BO'T, Richter EA, Henquin JC, Kiens B, Hespel P. Effect of creatine supplementation on creatine and glycogen content in rat skeletal muscle. *Acta Physiol Scand.* 2001;171(2):169–76.
 467. Chwalbinska-Moneta J. Effect of creatine supplementation on aerobic performance and anaerobic capacity in elite rowers in the course of endurance training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2003;13(2):173–83.
 468. Nelson AG, Day R, Glickman-Weiss EL, Hegsted M, Kokkonen J, Sampson B. Creatine supplementation alters the response to a graded cycle ergometer test. *Eur J Appl Physiol.* 2000;83(1):89–94.
 469. Nelson AG, Day R, Glickman-Weiss EL, Hegsted M, Sampson B. Creatine supplementation raises anaerobic threshold. *FASEB J.* 1997;11:A589.
 470. Cornish SM, Chilibeck PD, Burke DG. The effect of creatine monohydrate supplementation on sprint skating in ice-hockey players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2006;46(1):90–8.
 471. Dawson B, Vladich T, Blanksby BA. Effects of 4 weeks of creatine supplementation in junior swimmers on freestyle sprint and swim bench performance. *J Strength Cond Res.* 2002;16(4):485–90.
 472. Grindstaff PD, Kreider R, Bishop R, Wilson M, Wood L, Alexander C, Almada A. Effects of creatine supplementation on repetitive sprint performance and body composition in competitive swimmers. *Int J Sport Nutr.* 1997;7(4):330–46.
 473. Juhasz I, Gyore I, Csende Z, Racz L, Tihanyi J. Creatine supplementation improves the anaerobic performance of elite junior fin swimmers. *Acta Physiol Hung.* 2009;96(3):325–36.
 474. Silva AJ, Machado Reis V, Guidetti L, Bessone Alves F, Mota P, Freitas J, Baldari C. Effect of creatine on swimming velocity, body composition and hydrodynamic variables. *J Sports Med Phys Fitness.* 2007;47(1):58–64.
 475. Bembien MG, Bembien DA, Loftiss DD, Knehans AW. Creatine supplementation during resistance training in college football athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(10):1667–73.
 476. Chilibeck PD, Stride D, Farthing JP, Burke DG. Effect of creatine ingestion after exercise on muscle thickness in males and females. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(10):1781–8.
 477. Claudino JG, Mezencio B, Amaral S, Zanetti V, Benatti F, Roschel H, Gualano B, Amadio AC, Serrao JC. Creatine monohydrate supplementation on lower-limb muscle power in Brazilian elite soccer players. *J Int Soc Sports Nutr.* 2014;11:32.
 478. Galvan E, Walker DK, Simbo SY, Dalton R, Levers K, O'connor A, Goodenough C, Barringer ND, Greenwood M, Rasmussen C, Smith SB, Riechman SE, Fluckey JD, Murano PS, Earnest CP, Kreider RB. Acute and chronic safety and efficacy of dose dependent creatine nitrate supplementation and exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr.* 2016;13:12.
 479. Kerksick CM, Wilborn CD, Campbell WI, Harvey TM, Marcello BM, Roberts MD, Parker AG, Byars AG, Greenwood LD, Almada AL, Kreider RB, Greenwood M. The effects of creatine monohydrate supplementation with and without D-pinitol on resistance training adaptations. *J Strength Cond Res.* 2009;23(9):2673–82.
 480. Stone MH, Sanborn K, Smith LL, O'bryant HS, Hoke T, Utter AC, Johnson RL, Boros R, Hruby J, Pierce KC, Stone ME, Garner B. Effects of in-season (5 weeks) creatine and pyruvate supplementation on anaerobic performance and body composition in American football players. *Int J Sport Nutr.* 1999;9(2):146–65.
 481. Volek JS, Kraemer WJ, Bush JA, Boetes M, Incledon T, Clark KL, Lynch JM. Creatine supplementation enhances muscular performance during high-intensity resistance exercise. *J Am Diet Assoc.* 1997;97(7):765–70.

482. Volek JS, Mazzetti SA, Farquhar WB, Barnes BR, Gomez AL, Kraemer WJ. Physiological responses to short-term exercise in the heat after creatine loading. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(7):1101–8.
483. Volek JS, Ratamess NA, Rubin MR, Gomez AL, French DN, Mcguigan MM, Scheett TP, Sharman MJ, Hakkinen K, Kraemer WJ. The effects of creatine supplementation on muscular performance and body composition responses to short-term resistance training overreaching. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(5–6):628–37.
484. Aguiar AF, Januario RS, Junior RP, Gerage AM, Pina FL, Do Nascimento MA, Padovani CR, Cyrino ES. Long-term creatine supplementation improves muscular performance during resistance training in older women. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(4):987–96.
485. Branch JD. Effect of creatine supplementation on body composition and performance: a meta-analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2003;13(2):198–226.
486. Devries MC, Phillips SM. Creatine supplementation during resistance training in older adults—a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46(6):1194–203.
487. Lanhers C, Pereira B, Naughton G, Trousselard M, Lesage FX, Duthiel F. Creatine supplementation and lower limb strength performance: a systematic review and meta-analyses. *Sports Med.* 2015;45(9):1285–94.
488. McMorris T, Mielcarz G, Harris RC, Swain JP, Howard A. Creatine supplementation and cognitive performance in elderly individuals. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn.* 2007;14(5):517–28.
489. Rawson ES, Clarkson PM. Acute creatine supplementation in older men. *Int J Sports Med.* 2000;21(1):71–5.
490. Wiroth JB, Bermon S, Andrei S, Dalloz E, Hebuterne X, Dolisi C. Effects of oral creatine supplementation on maximal pedalling performance in older adults. *Eur J Appl Physiol.* 2001;84(6):533–9.
491. Sobolewski EJ, Thompson BJ, Smith AE, Ryan ED. The physiological effects of creatine supplementation on hydration: a review. *Am J Lifestyle Med.* 2011;5(4):320–7.
492. Mcnaughton L, Backx K, Palmer G, Strange N. Effects of chronic bicarbonate ingestion on the performance of high-intensity work. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1999;80(4):333–6.
493. Kronfeld DS, Ferrante PL, Grandjean D. Optimal nutrition for athletic performance, with emphasis on fat adaptation in dogs and horses. *J Nutr.* 1994;124(12 Suppl):2745S–53S.
494. Kraemer WJ, Gordon SE, Lynch JM, Pop ME, Clark KL. Effects of multibuffer supplementation on acid-base balance and 2,3-diphosphoglycerate following repetitive anaerobic exercise. *Int J Sport Nutr.* 1995;5(4):300–14.
495. Matson LG, Tran ZV. Effects of sodium bicarbonate ingestion on anaerobic performance: a meta-analytic review. *Int J Sport Nutr.* 1993;3(1):2–28.
496. Lindh AM, Peyrebrune MC, Ingham SA, Bailey DM, Folland JP. Sodium bicarbonate improves swimming performance. *Int J Sports Med.* 2008;29(6):519–23.
497. Kilding AE, Overton C, Gleave J. Effects of caffeine, sodium bicarbonate, and their combined ingestion on high-intensity cycling performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2012;22(3):175–83.
498. Marriott M, Krstrup P, Mohr M. Ergogenic effects of caffeine and sodium bicarbonate supplementation on intermittent exercise performance preceded by intense arm cranking exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* 2015;12:13.
499. Percival ME, Martin BJ, Gillen JB, Skelly LE, Macinnis MJ, Green AE, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. Sodium bicarbonate ingestion augments the increase in pgc-1 α mRNA expression during recovery from intense interval exercise in human skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 2015;119(11):1303–12.
500. Peart DJ, Siegler JC, Vince RV. Practical recommendations for coaches and athletes: a meta-analysis of sodium bicarbonate use for athletic performance. *J Strength Cond Res.* 2012;26(7):1975–83.
501. Tobias G, Benatti FB, De Salles PV, Roschel H, Gualano B, Sale C, Harris RC, Lancha AH Jr, Artioli GG. Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amino Acids.* 2013;45(2):309–17.
502. Danaher J, Gerber T, Wellard RM, Stathis CG. The effect of beta-alanine and nahco₃ co-ingestion on buffering capacity and exercise performance with high-intensity exercise in healthy males. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114(8):1715–24.
503. Folland JP, Stern R, Brickley G. Sodium phosphate loading improves laboratory cycling time-trial performance in trained cyclists. *J Sci Med Sport.* 2008;11(5):464–8.
504. Kreider RB, Miller GW, Williams MH, Somma CT, Nasser TA. Effects of phosphate loading on oxygen uptake, ventilatory anaerobic threshold, and run performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(2):250–6.
505. Kreider RB, Miller GW, Schenck D, Cortes CW, Miriel V, Somma CT, Rowland P, Turner C, Hill D. Effects of phosphate loading on metabolic and myocardial responses to maximal and endurance exercise. *Int J Sport Nutr.* 1992;2(1):20–47.
506. Cade R, Conte M, Zauner C, Mars D, Peterson J, Lunne D, Hommen N, Packer D. Effects of phosphate loading on 2,3 diphosphoglycerate and maximal oxygen uptake. *Med Sci Sports Exerc.* 1984;16:263–8.
507. Stewart I, Mcnaughton L, Davies P, Tristram S. Phosphate loading and the effects of vo₂max in trained cyclists. *Res Quart.* 1990;61:80–4.
508. Brewer CP, Dawson B, Wallman KE, Guelfi KJ. Effect of sodium phosphate supplementation on repeated high-intensity cycling efforts. *J Sports Sci.* 2015;33(11):1109–16.
509. Kopec BJ, Dawson BT, Buck C, Wallman KE. Effects of sodium phosphate and caffeine ingestion on repeated-sprint ability in male athletes. *J Sci Med Sport.* 2016;19(3):272–6.
510. Buck CL, Henry T, Guelfi K, Dawson B, Mcnaughton LR, Wallman K. Effects of sodium phosphate and beetroot juice supplementation on repeated-sprint ability in females. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115(10):2205–13.
511. Buck C, Guelfi K, Dawson B, Mcnaughton L, Wallman K. Effects of sodium phosphate and caffeine loading on repeated-sprint ability. *J Sports Sci.* 2015;33(19):1971–9.
512. Brewer CP, Dawson B, Wallman KE, Guelfi KJ. Effect of sodium phosphate supplementation on cycling time trial performance and vo₂ 1 and 8 days post loading. *J Sports Sci Med.* 2014;13(3):529–34.
513. Brewer CP, Dawson B, Wallman KE, Guelfi KJ. Effect of repeated sodium phosphate loading on cycling time-trial performance and vo₂peak. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2013;23(2):187–94.
514. West JS, Ayton T, Wallman KE, Guelfi KJ. The effect of 6 days of sodium phosphate supplementation on appetite, energy intake, and aerobic capacity in trained men and women. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2012;22(6):422–9.
515. Buck CL, Dawson B, Guelfi KJ, Mcnaughton L, Wallman KE. Sodium phosphate supplementation and time trial performance in female cyclists. *J Sports Sci Med.* 2014;13(3):469–75.
516. Mcdermott BP, Anderson SA, Armstrong LE, Casa DJ, Chevront SN, Cooper L, Kenney WL, O'connor FG, Roberts WO. National athletic trainers' association position statement: fluid replacement for the physically active. *J Athl Train.* 2017;52(9):877–95.
517. Burke LM. Nutritional needs for exercise in the heat. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2001;128(4):735–48.
518. Von Duvillard SP, Arciero PJ, Tietjen-Smith T, Alford K. Sports drinks, exercise training, and competition. *Curr Sports Med Rep.* 2008;7(4):202–8.
519. Von Duvillard SP, Braun WA, Markofski M, Beneke R, Leithauer R. Fluids and hydration in prolonged endurance performance. *Nutrition.* 2004;20(7–8):651–6.
520. Goulet ED. Dehydration and endurance performance in competitive athletes. *Nutr Rev.* 2012;70(Suppl 2):S132–6.
521. Goulet ED. Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: a meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2011;45(14):1149–56.
522. Rogero MM, Tirapegui J, Pedrosa RG, Castro IA, Pires IS. Effect of alanyl-glutamine supplementation on plasma and tissue glutamine concentrations in rats submitted to exhaustive exercise. *Nutrition.* 2006;22(5):564–71.
523. Cruzat VF, Rogero MM, Tirapegui J. Effects of supplementation with free glutamine and the dipeptide alanyl-glutamine on parameters of muscle damage and inflammation in rats submitted to prolonged exercise. *Cell Biochem Funct.* 2010;28(1):24–30.
524. Hoffman JR, Ratamess NA, Kang J, Rashti SL, Kelly N, Gonzalez AM, Stec M, Anderson S, Bailey BL, Yamamoto LM, Hom LL, Kupchak BR, Faigenbaum AD, Maresh CM. Examination of the efficacy of acute l-alanyl-l-glutamine ingestion during hydration stress in endurance exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* 2010;7:8.
525. Hoffman JR, Williams DR, Emerson NS, Hoffman MW, Wells AJ, Mcveigh DM, McCormack WP, Mangine GT, Gonzalez AM, Fragala MS. L-alanyl-l-glutamine ingestion maintains performance during a competitive basketball game. *J Int Soc Sports Nutr.* 2012;9(1):4.

526. Pruna GJ, Hoffman JR, McCormack WP, Jajtner AR, Townsend JR, Bohner JD, La Monica MB, Wells AJ, Stout JR, Fragala MS, Fukuda DH. Effect of acute l-alanyl-l-glutamine and electrolyte ingestion on cognitive function and reaction time following endurance exercise. *Eur J Sport Sci*. 2016;16(1):72–9.
527. McCormack WP, Hoffman JR, Pruna GJ, Jajtner AR, Townsend JR, Stout JR, Fragala MS, Fukuda DH. Effects of l-alanyl-l-glutamine ingestion on one-hour run performance. *J Am Coll Nutr*. 2015;34(6):488–96.
528. Ayre KJ, Hulbert AJ. Dietary fatty acid profile influences the composition of skeletal muscle phospholipids in rats. *J Nutr*. 1996;126(3):653–62.
529. Zhou L, Nilsson A. Sources of eicosanoid precursor fatty acid pools in tissues. *J Lipid Res*. 2001;42(10):1521–42.
530. Kelley DS, Taylor PC, Nelson GJ, Mackey BE. Arachidonic acid supplementation enhances synthesis of eicosanoids without suppressing immune functions in young healthy men. *Lipids*. 1998;33(2):125–30.
531. Helge JW, Wu BJ, Willer M, Daugaard JR, Storlien LH, Kiens B. Training affects muscle phospholipid fatty acid composition in humans. *J Appl Physiol*. 2001;90(2):670–7.
532. Kulmacz RJ, Pendleton RB, Lands WE. Interaction between peroxidase and cyclooxygenase activities in prostaglandin-endoperoxide synthase. Interpretation of reaction kinetics. *J Biol Chem*. 1994;269(8):5527–36.
533. Roberts MD, Iosia M, Kerksick CM, Taylor LW, Campbell B, Wilborn CD, Harvey T, Cooke M, Rasmussen C, Greenwood M, Wilson R, Jitomir J, Willoughby D, Kreider RB. Effects of arachidonic acid supplementation on training adaptations in resistance-trained males. *J Int Soc Sports Nutr*. 2007;4:21.
534. De Souza EO, Lowery RP, Wilson JM, Sharp MH, Mobley CB, Fox CD, Lopez HL, Shields KA, Rauch JT, Healy JC, Thompson RM, Ormes JA, Joy JM, Roberts MD. Effects of arachidonic acid supplementation on acute anabolic signaling and chronic functional performance and body composition adaptations. *PLoS One*. 2016;11(5):e0155153.
535. Mitchell CJ, D'souza RF, Figueiredo VC, Chan A, Aasen K, Durainayagam B, Mitchell S, Sinclair AJ, Egner JM, Raastad T, Cameron-Smith D, Markworth JF. Effect of dietary arachidonic acid supplementation on acute muscle adaptive responses to resistance exercise in trained men: a randomized controlled trial. *J Appl Physiol*. 2018;124(4):1080–91.
536. Mikulski T, Dabrowski J, Hilgier W, Ziemba A, Krzeminski K. Effects of supplementation with branched chain amino acids and ornithine aspartate on plasma ammonia and central fatigue during exercise in healthy men. *Folia Neuropathol*. 2015;53(4):377–86.
537. Negro M, Giardina S, Marzani B, Marzatico F. Branched-chain amino acid supplementation does not enhance athletic performance but affects muscle recovery and the immune system. *J Sports Med Phys Fitness*. 2008;48(3):347–51.
538. Greer BK, Woodard JL, White JP, Arguello EM, Haymes EM. Branched-chain amino acid supplementation and indicators of muscle damage after endurance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2007;17(6):595–607.
539. Haines RJ, Pendleton LC, Eichler DC. Argininosuccinate synthase: at the center of arginine metabolism. *Int J Biochem Mol Biol*. 2011;2(1):8–23.
540. Wu G. Urea synthesis in enterocytes of developing pigs. *Biochem J*. 1995;312(Pt 3):717–23.
541. Van De Poll MC, Siroen MP, Van Leeuwen PA, Soeters PB, Melis GC, Boelens PG, Deutz NE, Dejong CH. Interorgan amino acid exchange in humans: consequences for arginine and citrulline metabolism. *Am J Clin Nutr*. 2007;85(1):167–72.
542. Curis E, Nicolis I, Moinard C, Osowska S, Zerrouk N, Benazeth S, Cynober L. Almost all about citrulline in mammals. *Amino Acids*. 2005;29(3):177–205.
543. Schwedhelm E, Maas R, Freese R, Jung D, Lukacs Z, Jambrecina A, Spickler W, Schulze F, Boger RH. Pharmacokinetic and pharmacodynamic properties of oral l-citrulline and l-arginine: impact on nitric oxide metabolism. *Br J Clin Pharmacol*. 2008;65(1):51–9.
544. Wijnands KA, Vink H, Briede JJ, Van Faassen EE, Lamers WH, Buurman WA, Poeze M. Citrulline a more suitable substrate than arginine to restore no production and the microcirculation during endotoxemia. *PLoS One*. 2012;7(5):e37439.
545. Mckinley-Barnard S, Andre T, Morita M, Willoughby DS. Combined l-citrulline and glutathione supplementation increases the concentration of markers indicative of nitric oxide synthesis. *J Int Soc Sports Nutr*. 2015;12:27.
546. Suzuki T, Morita M, Kobayashi Y, Kamimura A. Oral l-citrulline supplementation enhances cycling time trial performance in healthy trained men: double-blind randomized placebo-controlled 2-way crossover study. *J Int Soc Sports Nutr*. 2016;13:6.
547. Bailey SJ, Blackwell JR, Lord T, Vanhatalo A, Winyard PG, Jones AM. L-citrulline supplementation improves O₂ uptake kinetics and high-intensity exercise performance in humans. *J Appl Physiol*. 2015;119(4):385–95.
548. Cunniffe B, Papageorgiou M, O'Brien B, Davies NA, Grimble GK, Cardinale M. Acute citrulline-malate supplementation and high-intensity cycling performance. *J Strength Cond Res*. 2016;30(9):2638–47.
549. Glenn JM, Gray M, Wethington LN, Stone MS, Stewart RW Jr, Moya NE. Acute citrulline malate supplementation improves upper- and lower-body submaximal weightlifting exercise performance in resistance-trained females. *Eur J Nutr*. 2017;56(2):775–84.
550. Wax B, Kavazis AN, Luckett W. Effects of supplemental citrulline-malate ingestion on blood lactate, cardiovascular dynamics, and resistance exercise performance in trained males. *J Dietary Suppl*. 2016;13(3):269–82.
551. Wax B, Kavazis AN, Weldon K, Sperlak J. Effects of supplemental citrulline malate ingestion during repeated bouts of lower-body exercise in advanced weightlifters. *J Strength Cond Res*. 2015;29(3):786–92.
552. Cutrufello PT, Gadowski SJ, Zavorsky GS. The effect of l-citrulline and watermelon juice supplementation on anaerobic and aerobic exercise performance. *J Sports Sci*. 2015;33(14):1459–66.
553. Wagenmakers AJ. Muscle amino acid metabolism at rest and during exercise: role in human physiology and metabolism. *Exerc Sport Sci Rev*. 1998;26:287–314.
554. Pasiakos SM, McClung JP. Supplemental dietary leucine and the skeletal muscle anabolic response to essential amino acids. *Nutr Rev*. 2011;69(9):550–7.
555. Tipton KD, Wolfe RR. Exercise, protein metabolism, and muscle growth. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2001;11(1):109–32.
556. Goulet ED, Aubertin-Leheudre M, Plante GE, Dionne IJ. A meta-analysis of the effects of glycerol-induced hyperhydration on fluid retention and endurance performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2007;17(4):391–410.
557. Wagner DR. Hyperhydrating with glycerol: implications for athletic performance. *J Am Diet Assoc*. 1999;99(2):207–12.
558. Van Rosendal SP, Osborne MA, Fasset RG, Coombes JS. Physiological and performance effects of glycerol hyperhydration and rehydration. *Nutr Rev*. 2009;67(12):690–705.
559. Inder WJ, Swanney MP, Donald RA, Prickett TC, Hellemans J. The effect of glycerol and desmopressin on exercise performance and hydration in triathletes. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(8):1263–9.
560. Montner P, Stark DM, Riedesel ML, Murata G, Robergs R, Timms M, Chick TW. Pre-exercise glycerol hydration improves cycling endurance time. *Int J Sports Med*. 1996;17(1):27–33.
561. Boulay MR, Song TM, Serresse O, Theriault G, Simoneau JA, Bouchard C. Changes in plasma electrolytes and muscle substrates during short-term maximal exercise in humans. *Can J Appl Physiol*. 1995;20(1):89–101.
562. Tikuisis P, Ducharme MB, Moroz D, Jacobs I. Physiological responses of exercised-fatigued individuals exposed to wet-cold conditions. *J Appl Physiol*. 1999;86(4):1319–28.
563. Jimenez C, Melin B, Koulmann N, Allevard AM, Launay JC, Savourey G. Plasma volume changes during and after acute variations of body hydration level in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1999;80(1):1–8.
564. Magal M, Webster MJ, Sistrunk LE, Whitehead MT, Evans RK, Boyd JC. Comparison of glycerol and water hydration regimens on tennis-related performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(1):150–6.
565. Coutts A, Reaburn P, Mummery K, Holmes M. The effect of glycerol hyperhydration on olympic distance triathlon performance in high ambient temperatures. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2002;12(21):105–19.
566. Goulet ED, Rousseau SF, Lambolley CR, Plante GE, Dionne IJ. Pre-exercise hyperhydration delays dehydration and improves endurance capacity during 2 h of cycling in a temperate climate. *J Physiol Anthropol*. 2008;27(5):263–71.
567. Marino FE, Kay D, Cannon J. Glycerol hyperhydration fails to improve endurance performance and thermoregulation in humans in a warm humid environment. *Pflügers Arch*. 2003;446(4):455–62.
568. Goulet ED, Robergs RA, Labrecque S, Royer D, Dionne IJ. Effect of glycerol-induced hyperhydration on thermoregulatory and cardiovascular functions and endurance performance during prolonged cycling in a 25 degrees C environment. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2006;31(2):101–9.
569. McKenna ZJ, Gillum TL. Effects of exercise induced dehydration and glycerol

- rehydration on anaerobic power in male collegiate wrestlers. *J Strength Cond Res.* 2017;31(11):2965–8.
570. Nelson JL, Robergs RA. Exploring the potential ergogenic effects of glycerol hyperhydration. *Sports Med.* 2007;37(11):981–1000.
571. Rowlands DS, Thomson JS. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation during resistance training on strength, body composition, and muscle damage in trained and untrained young men: a meta-analysis. *J Strength Cond Res.* 2009;23(3):836–46.
572. Thomson JS, Watson PE, Rowlands DS. Effects of nine weeks of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on strength and body composition in resistance-trained men. *J Strength Cond Res.* 2009;23(3):827–35.
573. Hoffman JR, Cooper J, Wendell M, Im J, Kang J. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on power performance and indices of muscle damage and stress during high-intensity training. *J Strength Cond Res.* 2004;18(4):747–52.
574. O'Connor DM, Crowe MJ. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate and creatine monohydrate supplementation on the aerobic and anaerobic capacity of highly trained athletes. *J Sports Med Phys Fitness.* 2003;43(1):64–8.
575. Vukovich MD, Dreifort GD. Effect of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on the onset of blood lactate accumulation and v_o(2) peak in endurance-trained cyclists. *J Strength Cond Res.* 2001;15(4):491–7.
576. Lambolley CR, Royer D, Dionne JJ. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on aerobic-performance components and body composition in college students. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2007;17(1):56–69.
577. Fuller JC Jr, Sharp RL, Angus HF, Baier SM, Rathmacher JA. Free acid gel form of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb) improves hmb clearance from plasma in human subjects compared with the calcium hmb salt. *Br J Nutr.* 2011;105(3):367–72.
578. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Andersen JC, Wilson SM, Stout JR, Duncan N, Fuller JC, Baier SM, Naimo MA, Rathmacher J. The effects of 12 weeks of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate free acid supplementation on muscle mass, strength, and power in resistance-trained individuals: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114(6):1217–27.
579. Lowery RP, Joy JM, Rathmacher JA, Baier SM, Fuller JC Jr, Shelley MC 2nd, Jager R, Purpura M, Wilson SM, Wilson JM. Interaction of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate free acid and adenosine triphosphate on muscle mass, strength, and power in resistance-trained individuals. *J Strength Cond Res.* 2016;30(7):1843–54.
580. Phillips SM, Aragon AA, Arciero PJ, Arent SM, Close GL, Hamilton DL, Helms ER, Henselmans M, Loenneke JP, Norton LE, Ormsbee MJ, Sale C, Schoenfeld BJ, Smithryan AE, Tipton KD, Vukovich MD, Wilborn C, Willoughby DS. Changes in body composition and performance with supplemental hmb+atp. *J Strength Cond Res.* 2017;31(5):e71–2.
581. Silva VR, Belozo FL, Micheletti TO, Conrado M, Stout JR, Pimentel GD, Gonzalez AM. Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate free acid supplementation may improve recovery and muscle adaptations after resistance training: a systematic review. *Nutr Res.* 2017;45:1–9.
582. Larsen FJ, Schiffer TA, Bornique S, Sahlin K, Ekblom B, Lundberg JO, Weitzberg E. Dietary inorganic nitrate improves mitochondrial efficiency in humans. *Cell Metab.* 2011;13(2):149–59.
583. Larsen FJ, Weitzberg E, Lundberg JO, Ekblom B. Effects of dietary nitrate on oxygen cost during exercise. *Acta Physiol (Oxf).* 2007;191(1):59–66.
584. Vanhatalo A, Fulford J, Bailey SJ, Blackwell JR, Winyard PG, Jones AM. Dietary nitrate reduces muscle metabolic perturbation and improves exercise tolerance in hypoxia. *J Physiol.* 2011;589(Pt 22):5517–28.
585. Hoon MW, Johnson NA, Chapman PG, Burke LM. The effect of nitrate supplementation on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2013;23(5):522–32.
586. Larsen FJ, Weitzberg E, Lundberg JO, Ekblom B. Dietary nitrate reduces maximal oxygen consumption while maintaining work performance in maximal exercise. *Free Radic Biol Med.* 2010;48(2):342–7.
587. Hord NG, Tang Y, Bryan NS. Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits. *Am J Clin Nutr.* 2009;90(1):1–10.
588. Webb AJ, Patel N, Loukogeorgakis S, Okorie M, Aboud Z, Misra S, Rashid R, Miall P, Deanfield J, Benjamin N, Macallister R, Hobbs AJ, Ahluwalia A. Acute blood pressure lowering, vasoprotective, and antiplatelet properties of dietary nitrate via bioconversion to nitrite. *Hypertension.* 2008;51(3):784–90.
589. Joy JM, Lowery RP, Falcone PH, Mosman MM, Vogel RM, Carson LR, Tai CY, Choate D, Kimber D, Ormes JA, Wilson JM, Moon JR. 28 days of creatine nitrate supplementation is apparently safe in healthy individuals. *J Int Soc Sports Nutr.* 2014;11(1):60.
590. Bescos R, Rodriguez FA, Iglesias X, Ferrer MD, Iborra E, Pons A. Acute administration of inorganic nitrate reduces v_o(2peak) in endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(10):1979–86.
591. Peeling P, Cox GR, Bullock N, Burke LM. Beetroot juice improves on-water 500 m time-trial performance, and laboratory-based paddling economy in national and international-level kayak athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2015;25(3):278–84.
592. Muggeridge DJ, Howe CC, Spendiffo O, Pedlar C, James PE, Easton C. The effects of a single dose of concentrated beetroot juice on performance in trained flatwater kayakers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2013;23(5):498–506.
593. Wilkerson DP, Hayward GM, Bailey SJ, Vanhatalo A, Blackwell JR, Jones AM. Influence of acute dietary nitrate supplementation on 50 mile time trial performance in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(12):4127–34.
594. Macleod KE, Nugent SF, Barr SI, Koehle MS, Sporer BC, Macinnis MJ. Acute beetroot juice supplementation does not improve cycling performance in normoxia or moderate hypoxia. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2015;25(4):359–66.
595. Arnold JT, Oliver SJ, Lewis-Jones TM, Wylie LJ, Macdonald JH. Beetroot juice does not enhance altitude running performance in well-trained athletes. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015;40(6):590–5.
596. Nyakayiru JM, Jonvik KL, Pinckaers PJ, Senden J, Van Loon LJ, Verdijk LB. No effect of acute and 6-day nitrate supplementation on v_o2 and time-trial performance in highly trained cyclists. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2017;27(1):11–7.
597. Lane SC, Hawley JA, Desbrow B, Jones AM, Blackwell JR, Ross ML, Zemski AJ, Burke LM. Single and combined effects of beetroot juice and caffeine supplementation on cycling time trial performance. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2014;39(9):1050–7.
598. Gilchrist M, Winyard PG, Aizawa K, Anning C, Shore A, Benjamin N. Effect of dietary nitrate on blood pressure, endothelial function, and insulin sensitivity in type 2 diabetes. *Free Radic Biol Med.* 2013;60:89–97.
599. Jajja A, Sutyarjoko A, Lara J, Rennie K, Brandt K, Qadir O, Siervo M. Beetroot supplementation lowers daily systolic blood pressure in older, overweight subjects. *Nutr Res.* 2014;34(10):868–75.
600. Kelly J, Fulford J, Vanhatalo A, Blackwell JR, French O, Bailey SJ, Gilchrist M, Winyard PG, Jones AM. Effects of short-term dietary nitrate supplementation on blood pressure, o₂ uptake kinetics, and muscle and cognitive function in older adults. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2013;304(2):R73–83.
601. Kenjale AA, Ham KL, Stabler T, Robbins JL, Johnson JL, Vanbruggen M, Privette G, Yim E, Kraus WE, Allen JD. Dietary nitrate supplementation enhances exercise performance in peripheral arterial disease. *J Appl Physiol.* 2011;110(6):1582–91.
602. De Oliveira GV, Morgado M, Pierucci AP, Alvares TS. A single dose of a beetroot-based nutritional gel improves endothelial function in the elderly with cardiovascular risk factors. *J Functional Foods.* 2016;26:301–8.
603. Koopman R, Beelen M, Stellingwerff T, Pennings B, Saris WH, Kies AK, Kuipers H, Van Loon LJ. Coingestion of carbohydrate with protein does not further augment postexercise muscle protein synthesis. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2007;293(3):E833–42.
604. Phillips SM. Insulin and muscle protein turnover in humans: stimulatory, permissive, inhibitory, or all of the above? *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2008;295(4):E731.
605. Staples AW, Burd NA, West DW, Currie KD, Atherton PJ, Moore DR, Rennie MJ, Macdonald MJ, Baker SK, Phillips SM. Carbohydrate does not augment exercise-induced protein accretion versus protein alone. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(7):1154–61.
606. Romano-Ely BC, Todd MK, Saunders MJ, Laurent TS. Effect of an isocaloric carbohydrate-protein-antioxidant drink on cycling performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(9):1608–16.
607. Cribb PJ, Hayes A. Effects of supplement timing and resistance exercise on skeletal muscle hypertrophy. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(11):1918–25.
608. Kreider RB, Earnest CP, Lundberg J, Rasmussen C, Greenwood M, Cowan P, Almada AL. Effects of ingesting protein with various forms of carbohydrate following resistance-exercise on substrate availability and markers of anabolism, catabolism, and immunity. *J Int Soc Sports Nutr.* 2007;4:18.
609. Hulmi JJ, Laakso M, Mero AA, Hakkinen K, Ahtiainen JP, Peltonen H. The

- effects of whey protein with or without carbohydrates on resistance training adaptations. *J Int Soc Sports Nutr.* 2015;12:48.
610. Cureton KJ, Tomporowski PD, Singhal A, Pasley JD, Bigelman KA, Lambourne K, Trilk JL, Mccully KK, Arnaud MJ, Zhao Q. Dietary quercetin supplementation is not ergogenic in untrained men. *J Appl Physiol.* 2009;107(4):1095–104.
 611. Bigelman KA, Fan EH, Chapman DP, Freese EC, Trilk JL, Cureton KJ. Effects of six weeks of quercetin supplementation on physical performance in rotc cadets. *Mil Med.* 2010;175(10):791–8.
 612. Scholten SD, Sergeev IN. Long-term quercetin supplementation reduces lipid peroxidation but does not improve performance in endurance runners. *Open Access J Sports Med.* 2013;4:53–61.
 613. Ganio MS, Armstrong LE, Johnson EC, Klau JF, Ballard KD, Michniak-Kohn B, Kaushik D, Maresh CM. Effect of quercetin supplementation on maximal oxygen uptake in men and women. *J Sports Sci.* 2010;28(2):201–8.
 614. Nieman DC, Williams AS, Shanely RA, Jin F, Mcanulty SR, Triplett NT, Austin MD, Henson DA. Quercetin's influence on exercise performance and muscle mitochondrial biogenesis. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(2):338–45.
 615. Patrizio F, Ditroilo M, Felici F, Duranti G, De Vito G, Sabatini S, Sacchetti M, Bazzucchi I. The acute effect of quercetin on muscle performance following a single resistance training session. *Eur J Appl Physiol.* 2018;118(5):1021–31.
 616. Davis JM, Carlstedt CJ, Chen S, Carmichael MD, Murphy EA. The dietary flavonoid quercetin increases vo(2max) and endurance capacity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2010;20(1):56–62.
 617. Pelletier DM, Lacerte G, Goulet ED. Effects of quercetin supplementation on endurance performance and maximal oxygen consumption: a meta-analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2013;23(1):73–82.
 618. Kressler J, Millard-Stafford M, Warren GL. Quercetin and endurance exercise capacity: a systematic review and meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(12):2396–404.
 619. Harris RC, Wise JA, Price KA, Kim HJ, Kim CK, Sale C. Determinants of muscle carnosine content. *Amino Acids.* 2012;43(1):5–12.
 620. Pierno S, Liantonio A, Camerino GM, De Bellis M, Cannone M, Gramegna G, Scaramuzzi A, Simonetti S, Nicchia GP, Basco D, Svelto M, Desaphy JF, Camerino DC. Potential benefits of taurine in the prevention of skeletal muscle impairment induced by disuse in the hindlimb-unloaded rat. *Amino Acids.* 2012;43(1):431–45.
 621. Schaffer SW, Jong CJ, Ramila KC, Azuma J. Physiological roles of taurine in heart and muscle. *J Biomed Sci.* 2010;17(Suppl 1):S2.
 622. Huxtable RJ. Physiological actions of taurine. *Physiol Rev.* 1992;72(1):101–63. 623.
 623. Silva LA, Silveira PC, Ronsani MM, Souza PS, Scheffer D, Vieira LC, Benetti M, De Souza CT, Pinho RA. Taurine supplementation decreases oxidative stress in skeletal muscle after eccentric exercise. *Cell Biochem Funct.* 2011;29(1):43–9. 624.
 624. Graham TE, Turcotte LP, Kiens B, Richter EA. Training and muscle ammonia and amino acid metabolism in humans during prolonged exercise. *J Appl Physiol.* 1995;78(2):725–35.
 625. Balshaw TG, Bampouras TM, Barry TJ, Sparks SA. The effect of acute taurine ingestion on 3-km running performance in trained middle-distance runners. *Amino Acids.* 2013;44(2):555–61.
 626. Imagawa TF, Hirano I, Utsuki K, Horie M, Naka A, Matsumoto K, Imagawa S. Caffeine and taurine enhance endurance performance. *Int J Sports Med.* 2009;30(7):485–8.
 627. Rutherford JA, Spriet LL, Stellingwerff T. The effect of acute taurine ingestion on endurance performance and metabolism in well-trained cyclists. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2010;20(4):322–9.
 628. Milioni F, Malta Ede S, Rocha LG, Mesquita CA, De Freitas EC, Zagatto AM. Acute administration of high doses of taurine does not substantially improve high-intensity running performance and the effect on maximal accumulated oxygen deficit is unclear. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016;41(5):498–503.
 629. Mcleay Y, Stannard S, Barnes M. The effect of taurine on the recovery from eccentric exercise-induced muscle damage in males. *Antioxidants (Basel).* 2017;6(4).
 630. Warnock R, Jeffries O, Patterson S, Waldron M. The effects of caffeine, taurine, or caffeine-taurine coingestion on repeat-sprint cycling performance and physiological responses. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12(10):1341–7.
 631. Waldron M, Patterson SD, Tallent J, Jeffries O. The effects of an oral taurine dose and supplementation period on endurance exercise performance in humans: a meta-analysis. *Sports Med.* 2018;48(5):1247–53.
 632. Da Silva LA, Tromm CB, Bom KF, Mariano I, Pozzi B, Da Rosa GL, Tuon T, Da Luz G, Vuolo F, Petronilho F, Cassiano W, De Souza CT, Pinho RA. Effects of taurine supplementation following eccentric exercise in young adults. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2014;39(1):101–4.
 633. Ra SG, Akazawa N, Choi Y, Matsubara T, Oikawa S, Kumagai H, Tanahashi K, Ohmori H, Maeda S. Taurine supplementation reduces eccentric exercise-induced delayed onset muscle soreness in young men. *Adv Exp Med Biol.* 2015;803:765–72.
 634. Zhang M, Izumi I, Kagamimori S, Sokejima S, Yamagami T, Liu Z, Qi B. Role of taurine supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress in healthy young men. *Amino Acids.* 2004;26(2):203–7.
 635. Zembron-Lacny A, Szyzka K, Szygula Z. Effect of cysteine derivatives administration in healthy men exposed to intense resistance exercise by evaluation of pro-antioxidant ratio. *J Physiol Sci.* 2007;57(6):343–8.
 636. Paddon-Jones D, Borsheim E, Wolfe RR. Potential ergogenic effects of arginine and creatine supplementation. *J Nutr.* 2004;134(10 Suppl):2888S–94S. discussion 2895S
 637. Greer BK, Jones BT. Acute arginine supplementation fails to improve muscle endurance or affect blood pressure responses to resistance training. *J Strength Cond Res.* 2011;25(7):1789–94.
 638. Aguiar AF, Balvedi MC, Buzzachera CF, Altamir LR, Lozovoy MA, Bigliassi M, Januario RS, Pereira RM, Sanches VC, Da Silva DK, Muraoka GA. L-arginine supplementation does not enhance blood flow and muscle performance in healthy and physically active older women. *Eur J Nutr.* 2016;55(6):2053–62.
 639. Sunderland KL, Greer F, Morales J. Vo2max and ventilatory threshold of trained cyclists are not affected by 28-day l-arginine supplementation. *J Strength Cond Res.* 2011;25(3):833–7.
 640. Wax B, Kavazis AN, Webb HE, Brown SP. Acute l-arginine alpha ketoglutarate supplementation fails to improve muscular performance in resistance trained and untrained men. *J Int Soc Sports Nutr.* 2012;9(1):17.
 641. Liu TH, Wu CL, Chiang CW, Lo YW, Tseng HF, Chang CK. No effect of short-term arginine supplementation on nitric oxide production, metabolism and performance in intermittent exercise in athletes. *J Nutr Biochem.* 2009;20(6):462–8.
 642. Olek RA, Ziemann E, Grzywacz T, Kujach S, Luszczyc M, Antosiewicz J, Laskowski R. A single oral intake of arginine does not affect performance during repeated Wingate anaerobic test. *J Sports Med Phys Fitness.* 2010;50(1):52–6.
 643. Sandbakk SB, Sandbakk O, Peacock O, James P, Welde B, Stokes K, Bohlke N, Tjonna AE. Effects of acute supplementation of l-arginine and nitrate on endurance and sprint performance in elite athletes. *Nitric Oxide.* 2015;48:10–5.
 644. Alvares TS, Conte-Junior CA, Silva JT, Paschoalin VM. L-arginine does not improve biochemical and hormonal response in trained runners after 4 weeks of supplementation. *Nutr Res.* 2014;34(1):31–9.
 645. Bailey SJ, Winyard PG, Vanhatalo A, Blackwell JR, Dimenna FJ, Wilkerson DP, Jones AM. Acute l-arginine supplementation reduces the o2 cost of moderate-intensity exercise and enhances high-intensity exercise tolerance. *J Appl Physiol.* 2010;109(5):1394–403.
 646. Pahlavani N, Entezari MH, Nasiri M, Miri A, Rezaie M, Bagheri-Bidakhvidi M, Sadeghi O. The effect of l-arginine supplementation on body composition and performance in male athletes: a double-blinded randomized clinical trial. *Eur J Clin Nutr.* 2017;71(8):1028.
 647. Barnett C, Costill DL, Vukovich MD, Cole KJ, Goodpaster BH, Trappe SW, Fink WJ. Effect of l-carnitine supplementation on muscle and blood carnitine content and lactate accumulation during high-intensity sprint cycling. *Int J Sport Nutr.* 1994;4(3):280–8.
 648. Novakova K, Kummer O, Bouitbir J, Stoffel SD, Hoerler-Koerner U, Bodmer M, Roberts P, Urwyler A, Ehram R, Krahenbuhl S. Effect of l-carnitine supplementation on the body carnitine pool, skeletal muscle energy metabolism and physical performance in male vegetarians. *Eur J Nutr.* 2016;55(1):207–17.
 649. Smith WA, Fry AC, Tschume LC, Bloomer RJ. Effect of glycine propionyl-l-carnitine on aerobic and anaerobic exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2008;18(1):19–36.
 650. Faria Coelho C, Mota J, Paula Ravagnan F, Burini R. The supplementation of l-carnitine does not promote alterations in the resting metabolic rate and in

- the use of energetic substrates in physically active individuals. *Arg Bras Endocrinol Metabol*. 2010;54:37–44.
651. Villani RG, Gannon J, Self M, Rich PA. L-carnitine supplementation combined with aerobic training does not promote weight loss in moderately obese women. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2000;10(2):199–207.
 652. Trappe SW, Costill DL, Goodpaster B, Vukovich MD, Fink WJ. The effects of l-carnitine supplementation on performance during interval swimming. *Int J Sports Med*. 1994;15(4):181–5.
 653. Colombani P, Wenk C, Kunz I, Krahenbuhl S, Kuhnt M, Arnold M, Frey-Rindova P, Frey W, Langhans W. Effects of l-carnitine supplementation on physical performance and energy metabolism of endurance-trained athletes: a double-blind crossover field study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1996;73(5):434–9.
 654. Derosa G, Cicero AF, Gaddi A, Mugellini A, Ciccarelli L, Fogari R. The effect of l-carnitine on plasma lipoprotein(a) levels in hypercholesterolemic patients with type 2 diabetes mellitus. *Clin Ther*. 2003;25(5):1429–39.
 655. Elmslie JL, Porter RJ, Joyce PR, Hunt PJ, Mann JI. Carnitine does not improve weight loss outcomes in valproate-treated bipolar patients consuming an energy-restricted, low-fat diet. *Bipolar Disord*. 2006;8(5 Pt 1):503–7.
 656. Rafrat M, Karimi M, Rashidi M, Jafari A. Effect of l-carnitine supplementation in comparison with moderate aerobic training on insulin resistance and anthropometric indices in obese women. *Sci J Zanjan Univ Med Univ*. 2012;20:17–30.
 657. Brass EP. Supplemental carnitine and exercise. *Am J Clin Nutr*. 2000;72(2 Suppl):618S–23S.
 658. Burrus BM, Moscicki BM, Matthews TD, Paolone VJ. The effect of acute l-carnitine and carbohydrate intake on cycling performance. *Int J Exerc Sci*. 2018;11(2):404–16.
 659. Stephens FB, Constantin-Teodosiu D, Laithwaite D, Simpson EJ, Greenhaff PL. Insulin stimulates l-carnitine accumulation in human skeletal muscle. *FASEB J*. 2006;20(2):377–9.
 660. Stephens FB, Evans CE, Constantin-Teodosiu D, Greenhaff PL. Carbohydrate ingestion augments l-carnitine retention in humans. *J Appl Physiol*. 2007;102(3):1065–70.
 661. Wall BT, Stephens FB, Constantin-Teodosiu D, Marimuthu K, Macdonald IA, Greenhaff PL. Chronic oral ingestion of l-carnitine and carbohydrate increases muscle carnitine content and alters muscle fuel metabolism during exercise in humans. *J Physiol*. 2011;589(Pt 4):963–73.
 662. Street B, Byrne C, Eston R. Glutamine supplementation in recovery from eccentric exercise attenuates strength loss and muscle soreness. *J Exerc Sci Fit*. 2011;9(2):116–22.
 663. Hargreaves M, Mckenna MJ, Jenkins DG, Warmington SA, Li JL, Snow RJ, Febbraio MA. Muscle metabolites and performance during high-intensity, intermittent exercise. *J Appl Physiol*. 1998;84(5):1687–91.
 664. Starling RD, Trappe TA, Short KR, Sheffield-Moore M, Jozsi AC, Fink WJ, Costill DL. Effect of inosine supplementation on aerobic and anaerobic cycling performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28(9):1193–8.
 665. Williams MH, Kreider RB, Hunter DW, Somma CT, Shall LM, Woodhouse ML, Rokitski L. Effect of inosine supplementation on 3-mile treadmill run performance and vo₂ peak. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22(4):517–22.
 666. Mcnaughton L, Dalton B, Tarr J. Inosine supplementation has no effect on aerobic or anaerobic cycling performance. *Int J Sport Nutr*. 1999;9(4):333–44.
 667. Jeukendrup AE, Thielen JJ, Wagenmakers AJ, Brouns F, Saris WH. Effect of medium-chain triacylglycerol and carbohydrate ingestion during exercise on substrate utilization and subsequent cycling performance. *Am J Clin Nutr*. 1998;67(3):397–404.
 668. Goedecke JH, Elmer-English R, Dennis SC, Schloss I, Noakes TD, Lambert EV. Effects of medium-chain triacylglycerol ingested with carbohydrate on metabolism and exercise performance. *Int J Sport Nutr*. 1999;9(1):35–47.
 669. Calabrese C, Myer S, Munson S, Turet P, Birdsall TC. A cross-over study of the effect of a single oral feeding of medium chain triglyceride oil vs. canola oil on post-ingestion plasma triglyceride levels in healthy men. *Altern Med Rev*. 1999;4(1):23–8.
 670. Angus DJ, Hargreaves M, Dancy J, Febbraio MA. Effect of carbohydrate or carbohydrate plus medium-chain triglyceride ingestion on cycling time trial performance. *J Appl Physiol*. 2000;88(1):113–9.
 671. Van Zyl CG, Lambert EV, Hawley JA, Noakes TD, Dennis SC. Effects of medium-chain triglyceride ingestion on fuel metabolism and cycling performance. *J Appl Physiol*. 1996;80(6):2217–25.
 672. Misell LM, Lagomarcino ND, Schuster V, Kern M. Chronic medium-chain triacylglycerol consumption and endurance performance in trained runners. *J Sports Med Phys Fitness*. 2001;41(2):210–5.
 673. Vistisen B, Nybo L, Xu X, Hoy CE, Kiens B. Minor amounts of plasma medium-chain fatty acids and no improved time trial performance after consuming lipids. *J Appl Physiol*. 2003;95(6):2434–43.
 674. Goedecke JH, Clark VR, Noakes TD, Lambert EV. The effects of medium-chain triacylglycerol and carbohydrate ingestion on ultra-endurance exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2005;15(1):15–27.
 675. Burke LM, Kiens B, Ivy JL. Carbohydrates and fat for training and recovery. *J Sports Sci*. 2004;22(1):15–30.
 676. Thorburn MS, Vistisen B, Thorp RM, Rockell MJ, Jeukendrup AE, Xu X, Rowlands DS. Attenuated gastric distress but no benefit to performance with adaptation to octanoate-rich esterified oils in well-trained male cyclists. *J Appl Physiol*. 2006;101(6):1733–43.
 677. Tullson PC, Terjung RL. Adenine nucleotide synthesis in exercising and endurance-trained skeletal muscle. *Am J Phys*. 1991;261(2 Pt 1):C342–7.
 678. Gross M, Kormann B, Zollner N. Ribose administration during exercise: effects on substrates and products of energy metabolism in healthy subjects and a patient with myoadenylate deaminase deficiency. *Klin Wochenschr*. 1991;69(4):151–5.
 679. Wagner DR, Gresser U, Kamilli I, Gross M, Zollner N. Effects of oral ribose on muscle metabolism during bicycle ergometer in patients with amp-deaminase-deficiency. *Adv Exp Med Biol*. 1991;309B:383–5.
 680. Pliml W, Von Arnim T, Stablein A, Hofmann H, Zimmer HG, Erdmann E. Effects of ribose on exercise-induced ischaemia in stable coronary artery disease. *Lancet*. 1992;340(8818):507–10.
 681. Pauly DF, Pepine CJ. D-ribose as a supplement for cardiac energy metabolism. *J Cardiovasc Pharmacol Ther*. 2000;5(4):249–58.
 682. Eijnde BO'T, Van Leemputte M, Brouns F, Van Der Vusse GJ, Labarque V, Ramaekers M, Van Schuylenberg R, Verbessem P, Wijnen H, Hespel P. No effects of oral ribose supplementation on repeated maximal exercise and de novo atp resynthesis. *J Appl Physiol*. 2001;91(5):2275–81.
 683. Berardi JM, Ziegenfuss TN. Effects of ribose supplementation on repeated sprint performance in men. *J Strength Cond Res*. 2003;17(1): 47–52.
 684. Kreider RB, Melton C, Greenwood M, Rasmussen C, Lundberg J, Earnest C, Almada A. Effects of oral d-ribose supplementation on anaerobic capacity and selected metabolic markers in healthy males. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2003;13(1):76–86.
 685. Dunne L, Worley S, Mackinn M. Ribose versus dextrose supplementation, association with rowing performance: a double-blind study. *Clin J Sport Med*. 2006;16(1):68–71.
 686. Kerksick C, Rasmussen C, Bowden R, Leutholtz B, Harvey T, Earnest C, Greenwood M, Almada A, Kreider R. Effects of ribose supplementation prior to and during intense exercise on anaerobic capacity and metabolic markers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2005;15(6):653–64. 687.
 687. Seifert JG, Brumet A, St Cyr JA. The influence of d-ribose ingestion and fitness level on performance and recovery. *J Int Soc Sports Nutr*. 2017;14:47. 688.
 688. Fletcher RH, Fairfield KM. Vitamins for chronic disease prevention in adults: clinical applications. *JAMA*. 2002;287(23):3127–9.
 689. Fairfield KM, Fletcher RH. Vitamins for chronic disease prevention in adults: scientific review. *JAMA*. 2002;287(23):3116–26.
 690. Krzywanski J, Mikulski T, Krysztofiak H, Mlynczak M, Gaczynska E, Ziemia A. Seasonal vitamin d status in polish elite athletes in relation to sun exposure and oral supplementation. *PLoS One*. 2016;11(10):e0164395.
 691. Close GL, Hamilton DL, Philp A, Burke LM, Morton JP. New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radic Biol Med*. 2016; 98:144–58.
 692. Braham R, Dawson B, Goodman C. The effect of glucosamine supplementation on people experiencing regular knee pain. *Br J Sports Med*. 2003;37(1):45–9. discussion 49
 693. Vad V, Hong HM, Zazzali M, Agi N, Basrai D. Exercise recommendations in athletes with early osteoarthritis of the knee. *Sports Med*. 2002;32(11):729–39.
 694. Lugo JP, Saiyed ZM, Lane NE. Efficacy and tolerability of an undenatured type ii

- collagen supplement in modulating knee osteoarthritis symptoms: a multicenter randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Nutr J*. 2016;15:14.
695. Lugo JP, Saiyed ZM, Lau FC, Molina JP, Pakdaman MN, Shamie AN, Udani JK. Undenatured type ii collagen (uc-ii(r)) for joint support: a randomized, double-blind, placebo-controlled study in healthy volunteers. *J Int Soc Sports Nutr*. 2013;10(1):48.
696. Nieman DC. Exercise immunology: nutritional countermeasures. *Can J Appl Physiol*. 2001;26(Suppl):S45–55.
697. Gleeson M, Lancaster GI, Bishop NC. Nutritional strategies to minimise exercise-induced immunosuppression in athletes. *Can J Appl Physiol*. 2001;26(Suppl):S23–35.
698. Gleeson M, Bishop NC. Elite athlete immunology: importance of nutrition. *Int J Sports Med*. 2000;21(Suppl 1):S44–50.
699. Gleeson M. Nutritional support to maintain proper immune status during intense training. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser*. 2013;75:85–97.
700. Lowery L, Berardi JM, Ziegenfuss T. Antioxidants. In: Antonio J, Stout J, editors. *Sports supplements*. Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins; 2001. p. 260–78.
701. Kris-Etherton PM, Harris WS, Appel LJ, American Heart Association. Nutrition C. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*. 2002;106(21):2747–57.
702. Hill AM, Buckley JD, Murphy KJ, Howe PR. Combining fish-oil supplements with regular aerobic exercise improves body composition and cardiovascular disease risk factors. *Am J Clin Nutr*. 2007;85(5):1267–74.
703. Nieman DC. Risk of upper respiratory tract infection in athletes: an epidemiologic and immunologic perspective. *J Athl Train*. 1997;32(4):344–9.
704. Talbott S, Talbott J. Effect of beta 1, 3/1, 6 glucan on upper respiratory tract infection symptoms and mood state in marathon athletes. *J Sports Sci Med*. 2009;8(4):509–15.
705. Cox AJ, Pyne DB, Saunders PU, Fricker PA. Oral administration of the probiotic *Lactobacillus fermentum* vri-003 and mucosal immunity in endurance athletes. *Br J Sports Med*. 2010;44(4):222–6.
706. Gleeson M, Bishop NC, Oliveira M, Mccauley T, Tauler P, Lawrence C. Effects of a *Lactobacillus salivarius* probiotic intervention on infection, cold symptom duration and severity, and mucosal immunity in endurance athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2012;22(4):235–42.
707. Reid IR. Therapy of osteoporosis: calcium, vitamin d, and exercise. *Am J Med Sci*. 1996;312(6):278–86.
708. Goldfarb AH. Antioxidants: role of supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25(2):232–6.
709. Goldfarb AH. Nutritional antioxidants as therapeutic and preventive modalities in exercise-induced muscle damage. *Can J Appl Physiol*. 1999;24(3):249–66.
710. Appell HJ, Duarte JA, Soares JM. Supplementation of vitamin e may attenuate skeletal muscle immobilization atrophy. *Int J Sports Med*. 1997;18(3):157–60.
711. Tiidus PM, Houston ME. Vitamin e status and response to exercise training. *Sports Med*. 1995;20(1):12–23.
712. Craciun AM, Wolf J, Knapen MH, Brouns F, Vermeer C. Improved bone metabolism in female elite athletes after vitamin k supplementation. *Int J Sports Med*. 1998;19(7):479–84.
713. Fogelholm M, Ruokonen I, Laakso JT, Vuorimaa T, Himberg JJ. Lack of association between indices of vitamin b1, b2, and b6 status and exercise-induced blood lactate in young adults. *Int J Sport Nutr*. 1993;3(2):165–76.
714. Garg R, Malinow M, Pettinger M, Upson B, Hunninghake D. Niacin treatment increases plasma homocyst(e)ine levels. *Am Heart J*. 1999;138(6 Pt 1):1082–7.
715. Alaswad K, O'keefe JH Jr, Moe RM. Combination drug therapy for dyslipidemia. *Curr Atheroscler Rep*. 1999;1(1):44–9.
716. Murray R, Bartoli WP, Eddy DE, Horn MK. Physiological and performance responses to nicotinic-acid ingestion during exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27(7):1057–62.
717. Bonke D. Influence of vitamin b1, b6, and b12 on the control of fine motoric movements. *Bibl Nutr Dieta*. 1986;38:104–9.
718. Bonke D, Nickel B. Improvement of fine motoric movement control by elevated dosages of vitamin b1, b6, and b12 in target shooting. *Int J Vitam Nutr Res Suppl*. 1989;30:198–204.
719. Van Dyke DC, Stumbo PJ, Mary JB, Niebly JR. Folic acid and prevention of birth defects. *Dev Med Child Neurol*. 2002;44(6):426–9.
720. Mattson MP, Kruman II, Duan W. Folic acid and homocysteine in age-related disease. *Ageing Res Rev*. 2002;1(1):95–111.
721. Weston PM, King RF, Goode AW, Williams NS. Diet-induced thermogenesis in patients with gastrointestinal cancer cachexia. *Clin Sci (Lond)*. 1989;77(2):133–8.
722. Webster MJ. Physiological and performance responses to supplementation with thiamin and pantothenic acid derivatives. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998;77(6):486–91.
723. Van Der Beek EJ, Lowik MR, Hulshof KF, Kistemaker C. Combinations of low thiamin, riboflavin, vitamin b6 and vitamin c intake among dutch adults. (dutch nutrition surveillance system). *J Am Coll Nutr*. 1994;13(4):383–91.
724. Pedersen BK, Bruunsgaard H, Jensen M, Toft AD, Hansen H, Ostrowski K. Exercise and the immune system--influence of nutrition and ageing. *J Sci Med Sport*. 1999;2(3):234–52.
725. Petersen EW, Ostrowski K, Ibfelt T, Richelle M, Offord E, Halkjaer-Kristensen J, Pedersen BK. Effect of vitamin supplementation on cytokine response and on muscle damage after strenuous exercise. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2001;280(6):C1570–5.
726. Grados F, Brazier M, Kamel S, Duver S, Heurtebize N, Maamer M, Mathieu M, Garabedian M, Sebert JL, Fardellone P. Effects on bone mineral density of calcium and vitamin d supplementation in elderly women with vitamin d deficiency. *Joint Bone Spine*. 2003;70(3):203–8.
727. Zemel MB. Role of dietary calcium and dairy products in modulating adiposity. (*J*) *Lipids*. 2003;38(2):139–46.
728. Zemel MB. Mechanisms of dairy modulation of adiposity. *J Nutr*. 2003;133(1):252S–6S.
729. Brutsaert TD, Hernandez-Cordero S, Rivera J, Viola T, Hughes G, Haas JD. Iron supplementation improves progressive fatigue resistance during dynamic knee extensor exercise in iron-depleted, nonanemic women. *Am J Clin Nutr*. 2003;77(2):441–8.
730. Bohl CH, Volpe SL. Magnesium and exercise. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2002;42(6):533–63.
731. Lukaski HC. Magnesium, zinc, and chromium nutrition and athletic performance. *Can J Appl Physiol*. 2001;26(Suppl):S13–22.
732. Morton DP, Callister R. Characteristics and etiology of exercise-related transient abdominal pain. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(2):432–8.
733. Noakes TD. Fluid and electrolyte disturbances in heat illness. *Int J Sports Med*. 1998;19(Suppl 2):S146–9.
734. Margaritis I, Tessier F, Prou E, Marconnet P, Marini JF. Effects of endurance training on skeletal muscle oxidative capacities with and without selenium supplementation. *J Trace Elem Med Biol*. 1997;11(1):37–43.
735. Tessier F, Margaritis I, Richard MJ, Moynot C, Marconnet P. Selenium and training effects on the glutathione system and aerobic performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27(3):390–6.
736. Mccutcheon LJ, Geor RJ. Sweating. Fluid and ion losses and replacement. *Vet Clin North Am Equine Pract*. 1998;14(1):75–95.
737. Gibson RS, Heath AL, Ferguson EL. Risk of suboptimal iron and zinc nutrition among adolescent girls in Australia and New Zealand: causes, consequences, and solutions. *Asia Pac J Clin Nutr*. 2002;11(Suppl 3):S543–52.
738. Singh A, Failla ML, Deuster PA. Exercise-induced changes in immune function: effects of zinc supplementation. *J Appl Physiol*. 1994;76(6):2298–303.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions

