

issn

国際スポーツ栄養学会公式見解

栄養摂取のタイミング

International society of sports nutrition position stand:

Nutrient Timing

著者

Chad M. Kerksick ¹
Shawn Arent ²
Brad J. Schoenfeld ³
Jeffrey R. Stout ⁴
Bill Campbell ⁵
Colin D. Wilborn ⁶
Lem Taylor ⁶
Doug Kalman ⁷
Abbie E. Smith-Ryan ⁸
Richard B Kreider ⁹
Darryn Willoughby ¹⁰
Paul J. Arciero ¹¹
Trisha A. VanDusseldorp ¹²
Michael J. Ormsbee ^{13,14}
Robert Wildman ¹⁵
Mike Greenwood ⁹
Tim N. Ziegenfuss ¹⁶
Alan A. Aragon ¹⁷
Jose Antonio ¹⁸

著者所属

- 1 Exercise and Performance Nutrition Laboratory, School of Health Sciences, Lindenwood University, St. Charles, MO, USA.
- 2 IFNH Center for Health & Human Performance, Department of Kinesiology & Health, Rutgers University, New Brunswick, NJ, USA.
- 3 Health Science Department, Program of Exercise Science, CUNY Lehman College, Bronx, NY, USA.
- 4 Institute of Exercise Physiology and Wellness, University of Central Florida, Orlando, FL, USA.
- 5 Performance & Physique Enhancement Laboratory, Exercise Science Program, University of South Florida, Tampa, FL, USA.
- 6 Human Performance Lab, Department of Exercise Sport Science, University of Mary Hardin-Baylor, Belton, TX, USA.
- 7 Department of Athletics, Florida International University, Miami, FL, USA.
- 8 Applied Physiology Laboratory, Department of Exercise and Sport Science, University of North Carolina-Chapel Hill, Chapel Hill, NC, USA.

- 9 Exercise & Sport Nutrition Lab, Human Clinical Research Facility, Department of Health & Kinesiology, Texas A&M University, College Station, TX, USA.
- 10 Exercise and Biochemical Nutrition Laboratory, Department of Health, Human Performance, and Recreation, Baylor University, Waco, TX, USA.
- 11 Human Nutrition and Metabolism Laboratory, Health and Exercise Sciences Department, Skidmore College, Saratoga Springs, NY 12866, USA.
- 12 Department of Exercise Science and Sport Management, Kennesaw State University, Kennesaw, GA, USA.
- 13 Department of Nutrition, Food and Exercise Sciences, Institute of Sport Sciences and Medicine, Florida State University, Tallahassee, FL, USA.
- 14 University of KwaZulu-Natal, Biokinetics, Exercise and Leisure Studies, Durban 4000, South Africa.
- 15 Post Active Nutrition, 111 Leslie St, Dallas, TX, USA.
- 16 The Center for Applied Health Sciences, Stow, OH, USA.
- 17 Department of Family Environmental Sciences, California State University, Northridge, CA, USA.
- 18 Department of Health and Human Performance, Nova Southeastern University, Davie, FL, USA.

翻訳者

- 鈴木 良雄¹
- 鈴木 いづみ²
- 青柳 清治³
- 澁川 賢一⁴
- 鈴木 大輔¹
- 武田 和也⁵
- 斉藤 裕子³
- 徳山 円香¹
- 川上 えり⁶
- 板垣 貴敬¹
- 眞鍋 栄一郎⁵
- 廣木 武士⁷
- 池尾 勇太郎⁸
- 田澤 梓⁶
- 福田 志津可⁹
- 寶川 美月¹
- 大津 智仁¹⁰
- 和田 (山本) 理紗子⁶
- 柴田 広大¹
- 新生 暁子²

Yoshio Suzuki
Izumi Suzuki
Seiji Aoyagi
Kenichi Shibukawa
Daisuke Suzuki
Kazuya Takeda
Hiroko Saito
Madoka Tokuyama
Eri Kawakami
Takahiro Itagaki
Eiichiro Manabe
Takeshi Hiroki
Yutaro Ikeo
Azusa Tazawa
Shizuka Fukuda
Mizuki Takaragawa
Tomohito Ohtsu
Risako Yamamoto-Wada
Kodai Shibata
Tokiko Shinjo

翻訳者所属

1. 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 Graduate School of Health and Sports Science, Juntendo University
2. 順天堂大学スポーツ健康科学部 School of Health and Sports Science, Juntendo University
3. 株式会社ドーム Dome Corporation
4. 東邦大学 理学部 Faculty of Sciences, Toho University
5. 興和株式会社 KOWA COMPANY, LTD.
6. フリーランス管理栄養士 Freelance Registered Dietitian
7. 横浜 YMCA スポーツ専門学校 Yokohama YMCA Sports College
8. フリーランスアスレチックトレーナー Freelance Athletic Trainer
9. 株式会社馬渕商事 Mabuchi Shoji co.Ltd.
10. 宇都宮文星短期大学 Utsunomiya Bunsei Juior College

要旨 Abstract

公式見解：国際スポーツ栄養学会（International Society of Sports Nutrition; ISSN）は客観的なクリティカルレビューを提示する。これは、健康で運動習慣のある成人、特に運動のパフォーマンスと身体組成のレベルが高い者に関する主要栄養素の摂取タイミングについてのレビューである。

以下の各項目が ISSN の見解の要約である。

1. 栄養摂取のタイミングには方法論的に計画して自然食品や栄養強化食品、サプリメントを摂取することが含まれている。エネルギー摂取のタイミングおよび摂取した主要栄養素の占める割合は回復や組織修復を促進させ、筋タンパク合成を増加させ、運動量が多い場合あるいは激しい運動の場合の運動後の気分状態を改善するかもしれない。
2. 内因性のグリコーゲン貯蔵は高炭水化物の食事（8-12 g の炭水化物 /kg/day[g/kg/day]）により最大化し、さらにこれらの貯蔵は運動量の多いエクササイズによって最も枯渇する。
3. グリコーゲンの急速な回復が必要ならば（回復時間 4 時間未満）、以下の方法を検討するべきである。
 - a) グリセミック指数の高い（> 70）炭水化物の積極的な摂取（1.2 g/kg/h）
 - b) カフェイン（3-8 mg/kg）の追加
 - c) 炭水化物（0.8 g/kg/h）とたんぱく質（0.2-0.4 g/kg/h）の組み合わせ
4. 長時間（> 60 分）の高強度（> 70% VO₂max）の運動は燃料供給および体液調節を要する。従って運動中、特に 70 分以上の運動においては 10-15 分ごとに 6-8% の炭水化物電解液（177-355 mL; 6-12 液量オンス）の摂取を行い、1 時間あたり～ 30-60 g 以下の炭水化物を消費するべきである。炭水化物の補給が不十分な時、たんぱく質の追加はパフォーマンスの向上を助け、筋損傷を改善し、血糖値を正常にし、グリコーゲンの再合成を促進するかもしれない。
5. レジスタンス運動中（例えば最大反復回数 8-12 回の全ての主要な筋群をターゲットとした複数のエクササイズを 3-6 セット）の炭水化物摂取は血糖値を正常にし、グリコーゲン貯蔵を高めることが示された。炭水化物を単独で、あるいはたんぱく質と組み合わせてレジスタンス運動中に摂取することは、筋グリコーゲン貯蔵を増加させ、筋損傷を改善し、急激な運動および持続系運動への適応を容易にする。
6. できれば一様に間隔（約 3 時間ごとに 1 日中）を空けての摂取で 1 日の総たんぱく質摂取量を満たすことは、運動をする人々のための主要な重要項目であるとみなすべきである。
7. 必須アミノ酸（EAA; 約 10 g）を遊離アミノ酸あるいは約 20-40 g のたんぱく質投与の一部として摂取することは、筋タンパク合成を最大限に促進することが示された。
8. 運動前および、あるいは運動後の栄養療法（炭水化物+たんぱく質あるいはたんぱく質のみ）は体力の増進および身体組成の改善をサポートする効果的な方法であるかもしれない。
9. 運動後の高品質なたんぱく質源の摂取（直後 2 時間まで）は筋タンパク合成を強力に促進する。
10. 運動をしない場合、食事の頻度を変えることが食欲および満腹を改善できるかもしれない。運動プログラムと食事の頻度を変えることの組み合わせが減量や身体組成にどのような影響を与えるかを決定づけるには、見込みのある効果を示す予備試験と共にさらなる研究が必要である。

11. 3-4 時間ごとに高品質なたんぱく質を 20-40g 摂取すること (0.25-0.40 g/kg body weight/dose) は他の食事様式と比較して、筋タンパク合成率に最も有利に作用し、身体組成およびパフォーマンスの改善に関連すると思われる。
12. 睡眠前にカゼインたんぱく質を摂る (以下 30-40 g) ことで、脂肪分解を促進することなく筋タンパク合成および代謝率を単発的に一晩中増加させることができる。

Keywords

公式見解、運動、栄養、タイミング、主要栄養素、パフォーマンス、微量栄養素、栄養素

目次

1. 背景 Background	7
2. 炭水化物 Carbohydrate	8
2.1 持久性トレーニング Endurance training	8
2.2 レジスタンストレーニング Resistance training	12
3. 炭水化物+たんぱく質 Carbohydrate + protein	12
3.1 持久性トレーニング Endurance training	12
3.2 レジスタンス Resistance exercise	13
4. たんぱく質 Protein	16
4.1 持久性トレーニング Endurance training	16
4.2 レジスタンス Resistance training	16
5. 食事のタイミングと配分ー 1日の時間について	19
Timing and distribution of meals - time of day considerations	
6. 食事頻度 Meal frequency	20
7. たんぱく質摂取のタイミングと配分	21
Timing and distribution of protein feeding	
8. 就寝前のたんぱく質摂取 Pre-sleep protein intake	22
9. 結論 Conclusions	23
10. 実用的なアプリケーション Practical applications	24

1. 背景 Background

国際スポーツ栄養学会（ISSN）は、栄養摂取のタイミングの実践に関する公式見解を2008年に初めて公表した^[1]。その結果として、この論文には約122,000回ものアクセスがあった。そしてこれまでの9年の間に、多様な研究によって、栄養摂取のタイミングに直接関係のある問題が調査されてきており、根拠に基づいた栄養ガイドラインに関する情報をより洗練させている。栄養摂取のタイミングは、あらゆる種類の栄養素を1日の様々な時間に意図的に摂取することであり、単発的あるいは持続的な運動（すなわち、筋力と筋パワー、身体組成、基質利用、身体的パフォーマンスなど）への適応の応答に好意的な影響を与える。重要なことに、人々の関心や有用な研究の多くは、何らかの有酸素性あるいは無酸素性運動を定期的に行っている人々に関連した結果に集中するが、栄養摂取タイミング戦略は非運動者や病者に対しても有用な結果を提供する可能性がある。

歴史的な視点からみると、栄養摂取のタイミングが初めて概念化されたのは1970年代と1980年代で、炭水化物摂取を増加させることによるグリコーゲン状態と運動パフォーマンスへの影響を検討した初期の研究^[2,3]によってであった。Ivyら^[4]は、炭水化物の摂取タイミングが運動後のグリコーゲン再合成率に影響することを示した最初のグループのひとつであった。最初に調べられたのは炭水化物の摂取戦略であったが、過去数年の間に、栄養摂取タイミングの戦略としてたんぱく質とアミノ酸の効果を炭水化物のある場合とない場合で調べた研究が数多く行われてきている^[1,5]。この概念を調査している研究の量から、2008年のガイドラインを修正して更新していくことの必要性は明白となっている。前回のガイドラインに即して、更新版でも炭水化物とたんぱく質というふたつの主要栄養素摂取のタイミングの問題について焦点をあててゆく。脂質については、特定のタイミングを論点にしている研究はまだ形になっていない。研究者たちは、炭水化物や脂質の摂取を操作する調査を続けており（たとえば、'train low, perform high'^{[訳注1]'}）^[6]、将来の公式見解では脂質摂取のタイミングについても言及できるかもしれない。注目に値する点として、新しい研究では、微量栄養素であるカルシウム摂取のタイミングが持続的なサイクリング運動の際の骨吸収マーカーにおよぼす影響^[7-10]や、動物モデルで鉄の摂取タイミングが健康と関連指標におよぼす可能性に関する研究^[11-12]（^[訳注2]）が始められている。しかしながら、この研究は初期段階であり、これらの結果をよく理解するにはより多くの研究が必要である。さらにまた、将来の公式見解では、他のエルゴジェニックエイド^[訳注3]も含めるような範囲の拡大を検討する必要があるだろう。例えば、カフェイン^[13]やクレアチン^[14-16]そして重曹^[17]に関連した研究では、摂取のタイミングが単発的または持続的な反応として運動に影響をおよぼす可能性が示されている。したがって、この更新された公式見解の主な目的は、炭水化物とたんぱく質の摂取タイミングとそれらが運動の適応反応にどのような影響をおよぼす可能性があるかについて、推奨事項に改良を加えることである。

以前の版を拡張して、この公式見解では食事のパターンとタイミング、そしてたんぱく質の配分、食事の頻度、夜食に関する研究と推奨事項について論じている。国際スポーツ栄養学会の見解では、これらの話題も栄養摂取タイミングの範囲に含まれる。さらに、非運動者や特定の病者にもこれらの戦略から恩恵があるかもしれない。各項を通して、数週間以上にわたるトレーニング研究から導かれている研究結果を議論する前に、単回試験の結果を最初に強調することを試みている。

2. 炭水化物 Carbohydrate

中強度から高強度（例えば 65-80% VO_2max ）の持久的な活動と同様にレジスタンスベースの筋力トレーニング（例えば～6-20 最大反復回数負荷（RM）^{〔訳注 4〕}を用いた 3 から 4 セットの運動）はエネルギー源のほとんどを炭水化物に依存している。したがって内因性のグリコーゲン貯蔵量（肝臓に 80-100 g、骨格筋に 300-400 g）は極めて重要である。グリコーゲン貯蔵量には限界があり^{〔18, 19〕}、数時間までの中強度から高強度の有酸素性運動（65-85% VO_2max ）の主要なエネルギー源として働くこと^{〔20, 21〕}は十分に裏づけられている。レジスタンストレーニング^{〔訳注 5〕}中に、12RM で 6 セットの脚伸展運動により外側広筋のグリコーゲン貯蔵量は 39% 減少することが示されている^{〔22〕}。重要なことに、グリコーゲンレベルが低下するにつれアスリートの運動強度と仕事量もまた減少し^{〔19〕}、組織の損傷率は増加する^{〔23, 24〕}。内因性のグリコーゲン貯蔵量を最大にする最も単純なガイドラインは、高パフォーマンスを発揮するアスリートは、トレーニング強度と量に見合った、適切な量の炭水化物を摂取することである。炭水化物の推奨量は一般的な報告では 5-12g /kg/day とされているが、この上端の範囲（8-10 g/kg/day）は 1 週間に少なくとも 12 時間の中強度から高強度（ $\geq 70\%$ VO_2max ）のトレーニングを行うアスリートのために確保されている^{〔25-27〕}。相当な量の筋損傷がない場合、これらの炭水化物摂取量で、グリコーゲン貯蔵・保管が最大になることが示されている。パーセンテージを基にした推奨量（1 日の総カロリー摂取の 60-70% の炭水化物）は、食事量の多いアスリートやエネルギー摂取制限中のアスリートに対して適切な炭水化物の必要量を処方することができないため、人気は低下してしまった。

炭水化物摂取に関する大部分の推奨事項は、持久性のアスリート、そして特定の男性持久性アスリートの必要量に基づいていることは留意しなければならない。さらには、鍛錬された女性アスリートは男性と同じ割合で脂質と炭水化物を酸化させず、内因性のグリコーゲン貯蔵量を異なる程度で減少させる可能性が示されている^{〔28-31〕}。もしかすると、ストレンクス^{〔訳注 6〕}ーパワー系のスポーツを行う者は低い炭水化物摂取量で十分であり、その代わりに競技会の数日前からは炭水化物摂取を優先すべきかもしれない、しかし、この話題に関してはさらなる研究が必要であり、Escobar らのレビュー^{〔32〕}によって批判的に検討されている。そして、アスリートは頻繁にエネルギーと炭水化物の推奨量を摂取できないことを留意しておかなければならない、それゆえ^{〔33〕}、炭水化物貯蔵を補充する戦略は、次の試合で最大限のパフォーマンスができるよう準備するために優先されるだろう。

2.1 持久性トレーニング Endurance training

最初の栄養摂取のタイミング戦略は、連日にわたる持久性競技の際の「炭水化物ローディング」プロトコールの一環として、炭水化物を戦略的に摂取することのみを中心としていた。1970 年代の Karlsson と Saltin の初期の研究では、高容量の運動トレーニング期に炭水化物制限食を 3 から 4 日間摂取し、続いて $> 70\%$ の炭水化物食（ ~ 8 から 10 g/kg/day）を与え、トレーニング量を大幅に減少させることで、筋グリコーゲンの過飽和化を促進し、より長時間にわたりトレーニングのペースを向上させること報告した^{〔3〕}。Sherman ら^{〔2, 34〕}も同様のアプローチを用いて筋グリコーゲン貯蔵を最大化することに成功した。あるいは、Bussa ら^{〔35〕}は、ウィングート嫌気性試験^{〔訳注 7〕}実施後、高グリセミックな炭水化物食（10 g/kg/day）を研究参加者に 1 日間摂取させ、ベースラインの筋グリコーゲン濃度を倍増させた。Fairchild ら^{〔36〕}の類似した研究方法によって同様の結果が得られ、筋グリコーゲンレベルを最大にするために単に 3～4 日間のトレーニング量を減らすのではなく、超高炭水化物食（ $\sim 8-10$ g/kg/day）を 1 から 3 日間摂取することで、「グリコーゲン枯渇」期を避けられることを強調した。総じて、筋グリコーゲンレベルを急速に増加させ、

最大化する炭水化物ローディング戦略は現在疑いのないものであり、特に内因性骨格筋グリコーゲンを大きく枯渇させる運動をする場合には、多くのアスリートおよび指導者は、競技前の数日間にこのような食事療法を行うよう検討することが奨励される。ここで、重要なことに言及しておくが、炭水化物代謝およびグリコーゲン貯蔵の過補償には性差があるので、女性アスリートが、男性アスリートと同様の効果を発揮するためには、これらの「負荷日」にわたって総カロリー摂取量を大きく増加させる必要がある可能性がある^[31]。

競技前の数時間は、栄養補給の最優先期間であり、戦略的なエネルギー摂取が筋肉および肝グリコーゲンレベルの最大化に寄与することが研究によって示されている。この期間の炭水化物補給は、内因性のグリコーゲン貯蔵を増加させ、同時に血糖値の維持に寄与する。特に、Coyle ら^[19]は一晩の絶食後に 70% VO₂max での 105 分間のサイクリング運動を行うとき 4 時間前に高炭水化物食を摂取すると、筋および肝グリコーゲンが有意に増加し、同時に炭水化物の酸化速度および筋グリコーゲンの利用率も増加することを報告している。貯蔵グリコーゲンの増加に加えて、他の研究では、有酸素性運動能力の有意な改善が報告されている^[37-39]。しかし、すべての研究で能力改善効果が示されているわけではない。それにもかかわらず、高強度 (≥ 70% VO₂max)、長時間 (> 90 分) の運動が行われる前に、高炭水化物 (1-4 g/kg/day) の軽食や食事を数時間で摂取することが一般的に推奨されている。これまでの知見に付け加えていうならば、重要な実践手段として、アスリートが競技までの数日間に比較的少量しか炭水化物を摂取できなかった場合、あるいはレストトリカバリーが充分にとれなかった場合には、運動前に高炭水化物の食事が軽食を摂取することが必要である^[20,24]。

競技前の数時間 (4 時間以内) であっても、アスリートが優先すべきなのは、筋および肝グリコーゲンの最大化または最適レベルの維持である。このとき、他に優先すべきなのは、消化器系の良いバランスを維持し、競技前に食物または飲料を摂取しすぎないようにすることである。実際には、多くの持久性競技が朝の早い時間に始まるので、休息と栄養との間の適切なバランスを見出すことが検討されなければならない。この点で、ふたつの研究が、炭水化物の形態は固体であっても液体であっても同様にグリコーゲンの再合成を促進するので、選手は柔軟に食べ物を選択できると報告している^[40,41]。ある程度の定説では、競技の数時間前に、特定のタイプの炭水化物を摂取するよう勧めたり、あるいは炭水化物摂取を完全に避けるよう勧めたりといまだにはっきりしない。この通例の原因は、運動直前 (60 分未満) の炭水化物摂取に対する低血糖反応を報告した Foster ら^[42]の初期のネガティブな結果に由来する。これらの知見から、運動前の数時間に過剰の炭水化物摂取、特にフルクトース摂取が、おそらく反跳性低血糖^[訳注 8]によりパフォーマンスに悪影響を与えると推測されている。実際、炭水化物摂取に起因するインスリンの上昇と、さらなる運動刺激からの GLUT-4 トランスポーター^[訳注 9]のアップレギュレーションを考慮すると、活動開始時の血糖値は増加するのではなく減少している可能性があり、パフォーマンスに悪影響を与える可能性がある。しかしながら、多くの運動選手がこの症状の影響を受けるかもしれないが、Moseley ら^[43]は、どんな「反跳性低血糖」反応も、適切なウォームアップと同等程度の運動により効果的に打ち消され、試合開始までの炭水化物摂取の間隔 (15 分 vs 75 分) を近づけることで、これらの症状の可能性を最小限に抑えられることを示した^[訳注 10]。1997 年の Hawley と Burke によるレビューは、運動の少なくとも 60 分前に何らかの形態の炭水化物を与えたいいくつかの研究の結果をまとめた。彼らはパフォーマンスに負の影響がないことを見出した。実際、複数の研究で 7-20% のパフォーマンス向上が報告されている^[44]。さらに、Galloway ら^[45]は、プラセボ対照二重盲検比較試験で、ピークパワーの 90% に調整された自転車運動の 30 分もしくは 120 分前に、プラセボまたは 6.4% 炭水化物飲料を摂取したときのパフォーマンス結果を比較した。運動の 30 分前に炭水化物摂取したときに、運動能力がより大きく上昇した。対照的に、Febbraio ら^[46,47]は、約 70% VO₂max で 135-150 分にわたる運動の終了前 30-45 分に高グリセミック炭水化物、

あるいは低グリセミック炭水化物を摂取させるふたつの研究を行った。彼らは、両タイプの炭水化物でパフォーマンスは同様であると結論づけた。

炭水化物摂取は、筋力トレーニングや競技が開始してからも優先される。大部分の研究は、連続的な有酸素性運動のいくつかの方法を統合した研究デザインを採用しており、定期的に（10-12分ごとに）炭水化物（230-350 mLの6-8%炭水化物溶液）を摂取することでパフォーマンスの最適化と血糖値の維持が可能であることが一貫して示されている^[48, 49]。いくつかの研究で持久系運動に際して炭水化物摂取のパターンまたはタイミングが重要であることが示されている。例えば Fielding ら^[50]はサイクリストに4時間の運動中に同じ用量の炭水化物を30分あるいは60分ごとに摂取させた。炭水化物をより頻繁に摂取した場合にパフォーマンスが改善された。この研究を拡張したふたつの対照的な論文がある。Schweitzer らの研究^[51]は、サイクリング運動中の炭水化物摂取が前半と後半のどちらを優先してもパフォーマンス向上をもたらさなかったと結論づけたが、一方、同様の研究デザインを用いた Heesch ら^[52]は62%ピークパワーでの2時間のサイクリング運動の全期間中または後半期の炭水化物摂取が規定距離（10 km）のサイクリングタイムを減少させたことを示した。これらの研究では、運動時間、パフォーマンスの評価方法（固定距離 vs 疲労困憊までの時間）、摂取された炭水化物の量などの重要な条件がすべて異なっており、それが報告された結果の相違の説明に役立つ可能性を認識することが重要である。

Widrick ら^[53]の古典的な論文は、長期間の運動に対する運動前の筋グリコーゲンの状態と運動中の炭水化物摂取の影響を調べた。要約すると、参加者は70 kmの自己ペースでのタイムトライアルを筋グリコーゲンが高レベルまたは低レベルで実施し、炭水化物飲料（9%フルクトース）またはプラセボ飲料（ノンカロリー甘味料）を定期的（2.35 mL/kgを10 kmごと、トータル1.5 g/kg/trial）に摂取した。高い筋グリコーゲンレベルで運動を開始したときに出力の増加が記録され、運動プロトコルを通して頻繁に炭水化物を補給した場合にさらに大きなパワーが達成された。同様の結果がFebbraio ら^[54]によって示された。彼らは参加者に、4つの炭水化物摂取で、63%ピークパワーで2時間の定常状態（SS）のサイクリング運動に続いて標準化された負荷を用いたタイムトライアルを行わせた。4つの摂取条件は a)SS運動の30分前にプラセボ飲料、そして運動中に6.4%炭水化物溶液（2 g/kg）、b)SS運動の30分前に25.7%炭水化物溶液（2 g/kg）、そして運動中にプラセボ飲料、c)SS運動前に25.7%炭水化物溶液（2 g/kg）、そして運動中に6.4%炭水化物溶液（2 g/kg）、d)SS運動中に6.4%炭水化物溶液（2 g/kg）であった^[訳注11]。Widrick らの知見と同様に、グリコーゲンまたは血糖値をサポートする運動前の戦略は、所定の運動期間全体を通して炭水化物摂取を継続したときに運動能力を高めることが確認された。まとめると、これらの結果は運動セッション中は炭水化物摂取をいくぶんか優先すべきであることを示し、もし運動前の炭水化物摂取を怠ってしまった場合には、運動中に適切な炭水化物摂取を行えばパフォーマンス低下の可能性を相殺できるという議論につながるかもしれない。しかし、運動が始まると消化器系に大きな負荷がかかり腹痛や不快感が生じる可能性があるため、それを避けるためこのアプローチは慎重に検討しなければならない。この点で、Newell ら^[55]の所見を考慮すべきである。彼らは、よく鍛錬され経験豊富な20人のサイクリストに対し95%の乳酸性閾値（185 ± 25 ワット）で2時間のサイクリング運動を完了するまでに4つの異なる条件（非炭水化物 [0 g/h] コントロール、20 g/h、39 g/h または 64 g/h）の摂取を行い、続いてタイムトライアルを行わせた。炭水化物摂取が39 g/h または 64 g/h のときに、タイムトライアルのパフォーマンスはコントロールと比較して有意に改善された。重要なことに、これら2種の摂食条件の間にはパフォーマンスに差が見られなかったことから、高用量の炭水化物に耐えられない可能性のあるアスリートに対しては、長時間の運動全体を通じた無理のない用量の炭水化物摂取によっても同様のパフォーマンスの改善ができることが示唆される。炭水化物の潜在的なエルゴジェニックな効果に関するその他の重要な考慮点は、Colombani ら^[56]やその後の

Pochmuller ら^[57]による最近のレビューにより批判的に強調されている。両論文とも、70分未満の運動中での炭水化物摂取にエルゴジェニックな作用があるかについては、先行研究の結果は一致していないと論じている。さらに、運動時間が90分以下では6-8%炭水化物溶液の摂取には一貫してエルゴジェニックな効果があり、特に絶食後ではなく、摂食後に運動が開始された場合にそうであることが示唆された。これは本見解でもしばしば論じられているとおりである。

これらの結果が間欠的スポーツ^[訳注12]にもあてはまるかどうかは、まだ完全には明らかになっていない。2011年のPhillipsらによるレビュー^[58]は、間欠的なチームスポーツ活動中の炭水化物の摂取は、ある種のパフォーマンスとともに意欲や敏捷性などの一般的な指標も改善するという見解を支持しているが、単回で摂取タイミングを変動させることの有効性を示す証拠はまだない。Clarkeら^[59]は、同量の炭水化物-電解質溶液を、大用量で2回（運動の0分と45分に7ml/kg）もしくはより頻繁に少量ずつ（全75分間の運動中に15分ごと）で摂取しても同量であれば代謝応答に好ましい影響を与えることができるという仮説を検証した。パフォーマンスや運動能力の測定はなされなかったが、筆者はどちらの摂取パターンもグルコース、インスリン、グリセリン、非エステル脂肪酸、エピネフリンのレベルを維持することができたと報告した。より最近では、Mizunoら^[60]は、炭水化物ゼリー（1.0g/kg）の摂取タイミングは、2回の45分間の断続的（4-16km/h）なランニングの間、終始、炎症性の応答や運動パフォーマンスに影響を与えないと結論づけた。

失われた筋グリコーゲンの回復は、重要な栄養管理のゴールであり、運動後の炭水化物摂取は、依然として失われた筋グリコーゲンの回復を最大化する広く知られた効果的な栄養摂取タイミング戦略である。実際の栄養摂取のタイミングの問題を検討した最初の研究である可能性が高いとされる論文で、Ivyら^[61]は、サイクリング運動（88%VO₂maxで2分間のインターバルを6回含む68%VO₂maxで70分のサイクリング運動）^[訳注13]の後に、炭水化物（25%炭水化物溶液で2g/kg）を30分以内に摂取した方が、2時間待ってから摂取するよりも、運動後4時間の筋グリコーゲンの回復が、50%早くそしてより多くなることを示した。以来、その後の研究により、このトピックに関する結論が精緻なものになってきている。すなわち運動後の炭水化物摂取のタイミングは、何よりも以下の二つの状況で最も重要である。

- 1) 筋グリコーゲンの急速な回復が最も重要な目的である時
- 2) 炭水化物の摂取量が不十分な時

これらの考察の観点から、筋グリコーゲンのレベルは、運動後に炭水化物を積極的に摂取することによって急速そして最大限に回復させることができる。グリコーゲンを枯渇させる運動の最初の30分以内に体重当たり0.6から1.0g/kgを摂取し、そしてさらに2時間おきに4から6時間まで摂取することで、グリコーゲンの回復を最大にすることができる^[62, 63]。同様に、1.2g/kgの炭水化物を30分ごとに3.5時間まで摂取した場合も有効な結果が示されている^[27, 64]。

急速な回復が切実に必要ではなく、日常の炭水化物摂取量がエネルギー量に見合っている場合には、タイミングをみて炭水化物を摂取する重要性は著しく減少する。しかし、どんな場合でも、タイミングをみて炭水化物を摂取することでパフォーマンスや回復にネガティブな影響はない。もし、高負荷の運動を行っているアスリートが、その日に必要な量の炭水化物を適切に摂取することができないときには、戦略的にタイミングをみて炭水化物を摂取することで筋グリコーゲンの再合成を加速することができるだろう。長時間の持久運動を完了したときには、炭水化物摂取によりホルモン環境にも良い影響がもたらされる^[65, 66]。最後に、高容量のトレーニングを行っているエリートアスリートを対象とした研究では、食事で ≥ 8 g/kg/day（の炭水化物を）摂取し、筋損傷もあまり大きくないときには、24時

間以内にグリコーゲンは最大レベルに回復することが示されている^[41]。さらに、Nicholas ら^[67]は、6名のサッカー、ラグビー、ホッケー、バスケットボールを行っている鍛錬された男性が、毎日 9-10 g/kg/day の炭水化物を摂取すると、長時間 (85-90 min) の強度の高いインターバル運動を連続日で行っても筋グリコーゲンを十分に回復させると結論づけた。

2.2 レジスタンストレーニング Resistance training

レジスタンス運動を使って炭水化物摂取のタイミングを検討した研究は少ない。複数の研究が、レジスタンス運動が筋グリコーゲン濃度を著しく減少させることを示してきた^[22,68-70]が、これらの減少は消耗性の持久運動と比較すると大きくはない。しかし、グリコーゲンが若干枯渇した状態でレジスタンス系の運動を行う人に、運動前に炭水化物を摂取させても、エルゴジェニックな効果はないようである。これまでに、ひとつの研究が、レジスタンス運動の前および最中の炭水化物摂取がパフォーマンスを改善できることを示唆しているが、これらのエルゴジェニックな結果は、同じ日の2回目のレジスタンス運動のセッションでのみ観察されていた。^[71]これに対して、複数の研究が、レジスタンス運動のパフォーマンスの改善に失敗している^[72-74]。ひとつの研究が、レジスタンス運動を通じて運動前と運動中の炭水化物摂取が筋グリコーゲンの損失を最小限にすることを示している。要約すると、40分間のレジスタンス運動の際、運動前に 1.0g/kg さらに 10分ごとに 0.5g/kg の炭水化物を研究参加者に摂取させると、プラセボ飲料摂取と比較して筋グリコーゲンの損失は 49% 減少したが、等速性筋パフォーマンスは影響を受けなかった^[73]。

すべてのタイミングに関する考察をレビューすると、筋と肝のグリコーゲンレベルを最大化する炭水化物摂取戦略は、第一に、短期間トレーニング量を落としつつ、高炭水化物 (≥ 8 g/kg/day) を摂取することである。試合の数時間前であれば、グリコーゲンレベルを最良の状態に維持するか、トレーニングもしくは試合が始まる 3 から 5 時間前に高炭水化物食 (1-4 g/kg/day) あるいは軽食を摂取し上昇させておく。アスリートには少量の炭水化物飲料もしくは少量の軽食 (バー、ゼリーなど) を摂取させ、肝グリコーゲンレベルを維持し低血糖を防ぐことが奨励される。持久型の運動中の炭水化物の摂取は、血糖値を維持し、グリコーゲンを節約し^[75]、そしてパフォーマンスを増強するかもしれない。運動後の炭水化物摂取は必要で、短い回復時間しかないときには、積極的な摂取が勧められる。予備的な結果ではあるが、間欠的な高強度の活動に関する最初の研究では、炭水化物摂取のタイミングは代謝をサポートする可能性が示唆された。しかし、パフォーマンスについては、レジスタンス運動の場合と同様に一致していない。さらに調べるなら、炭水化物とパフォーマンスのトピックに関する素晴らしい総説がある^[20,21,48,49,76]。

3. 炭水化物 + たんぱく質 Carbohydrate + protein

3.1 持久性トレーニング Endurance training

炭水化物 + たんぱく質の組合せは持久系やパワー系のアスリートによって採用される伝統的な戦略で、パフォーマンスを向上させ、グリコーゲン回復を促進し、筋損傷を最小化して、窒素バランスをポジティブにする。持久運動前の炭水化物 + たんぱく質の摂取が、パフォーマンスや代謝におよぼす影響を調べた研究は少数あるが、摂取タイミングを変化させたときの効果を直接検討した研究はほとんどない。Ivy ら^[77]は鍛錬されたサイクリストに、45-75% VO_2max で 3 時間のサイクリング運動を行わせ、次いで 85% VO_2max で疲労困憊まで運動させた。参加者は 7.75% の炭水化物飲料か 7.75% の炭水化物 + 1.94% のたんぱく質飲料をクロスオーバーで摂取した。たんぱく質が炭水化

物に加えられたとき、持久力は有意に向上した。同様に、Saunders ら^[78]は、24 時間以内に参加者がサイクル運動 (75-85% VO₂max) を疲労困憊まで行うふたつの実験を行った。その実験では、炭水化物あるいは炭水化物+たんぱく質を運動中に摂取 (15 分ごとに 1.8 mL/kg) させ、疲労困憊後すぐに単回摂取 (10 mL/kg) させた。炭水化物とたんぱく質の摂取は、パフォーマンスを有意に改善するとともに筋損傷を有意に減少させた。同じ研究グループ^[79]は栄養ゼリーでも実験を行い、炭水化物 (0.146 g/kg)+たんぱく質 (0.0365 g/kg) の組合せをサイクル運動中に摂取するとサイクルパフォーマンスが有意に改善すると報告した。

これらの研究は摂取タイミングの比較を行ったものではないが、炭水化物+たんぱく質の組合せを運動前に摂取することが持久パフォーマンスに好ましい効果を与えることを示している。さらにまた、短い回復期間しかないときや、至適量以下の炭水化物しか摂取できないときには、たんぱく質を (炭水化物に) 加えることで、グリコーゲン回復のスピードが増し、さらに、筋損傷の症状を減らせることも示された^[80]。特筆すべきは、これらの研究には、運動前の炭水化物に加えてたんぱく質を摂取することにより運動パフォーマンスが妨げる可能性を示したものはない。同様に、Rustad ら^[81]は疲労困憊まで行った最初のサイクル運動から 2 時間以内にたんぱく質 (0.4 g/kg/h) と炭水化物 (0.8 g/kg/h) を摂取すると、炭水化物のみを摂取したときと比べて、翌朝のサイクル運動のパフォーマンスが有意に改善すること、つまり回復が促進されることを報告している。

貯蔵エネルギー源を枯渇させ筋肉への顕著なダメージを与えうる運動の終了後から回復をサポートするために、運動後の栄養摂取タイミング戦略は、大きな関心を集めている。Ivy ら^[82]は、サイクリストに 2.5 時間のサイクリング (65-75% VO₂max) を行わせ、炭水化物+たんぱく質 (炭水化物 80 g + たんぱく質 28 g + 脂肪 6 g) もしくはふたつの異なった用量の炭水化物 (High: 炭水化物 108 g + 脂肪 6 g もしくは Low: 炭水化物 80 g + 脂肪 6 g) を運動完了の直後と 2 時間後に摂取させた。タイミングを明確に検討したわけではないが、炭水化物+たんぱく質の組み合わせが 4 時間の研究枠の中ではグリコーゲンをより回復させた。これらの知見は、この研究グループの先行研究^[83]を繰り返したもので、たんぱく質の追加はグリコーゲン回復の初期に良い効果をもたらすと、彼らは結論づけた。Berardi らは後にふたつの同様の研究^[84, 85]により、炭水化物とたんぱく質の組み合わせは、筋力トレーニングのすぐ後で次の持久性運動の前に摂取したときに、筋グリコーゲンをより大きく回復させることを示した。

このトピックに関してさらに研究が行われたが、たんぱく質を追加することが良いかどうかについては疑問が持たれている。例えば、Jentjens ら^[63]は、炭水化物 (1.2 g/kg/h) +たんぱく質 (0.4 g/kg/h) の組み合わせが、炭水化物単独と比較して、3 時間の回復期に筋グリコーゲンの回復を改善するという結果を示すことができなかった。Howarth ら^[86]も後に、たんぱく質の補充に関して同様の結論に達した。そして、さらにこの知見を拡張し、グリコーゲン再合成は、より多量の炭水化物 (1.6 g/kg/h) を摂取してもさらには促進されないことを報告した。したがって、たんぱく質の追加がグリコーゲンの回復を増強するのは、炭水化物摂取量が 1.2 g/kg/h 未満の場合のようである。

3.2 レジスタンス運動 Resistance training

レジスタンス運動前の炭水化物+たんぱく質摂取の効果を検討した研究は少ない。たとえば Kraemer ら^[87]は、参加者に炭水化物、たんぱく質、脂質の組み合わせ、もしくは同エネルギーのマルトデキストリンのプラセボを 2 日連続のレジスタンス運動の前の 7 日間摂取させた。どちらの場合も、試験食品は運動の 30 分前に摂取され、マルチ栄養素の試験食品は垂直飛びのパワーと 1RM の 80% の反復回数を有意に改善した。同様の結果が Baty ら^[88]によって報告されている。彼らは 34 人の男性に単発のヘビーなレジスタンストレーニング (3 sets × 8 reps @ 90% 1RM) をさせ、炭水化物 (6.2% 炭水化物) もしくは炭水化物 + たんぱく質 (6.2% 炭水化物 + 1.5% たんぱく質) 溶液を運動

の前、最中、後に摂取させた。パフォーマンスには影響はなかったが、炭水化物+たんぱく質を摂取したときに、有意にインスリンレベルが高く、コルチゾールレベルが低かった。さらに、筋損傷のマーカ（例えば、ミオグロビン、クレアチンキナーゼ）は、炭水化物+たんぱく質を摂取したときに、回復期の24時間にわたって減少していた。これらふたつの研究は、炭水化物+たんぱく質をレジスタンス運動の前に摂取させてはいるが、運動前の炭水化物+たんぱく質の摂取が運動パフォーマンスや適応に効いているかどうかを検討したものではない。

Tipton らの研究^[89]は、炭水化物+必須アミノ酸が筋タンパク合成率に影響するかを直接検討した最初の研究のひとつである。この研究では、研究参加者に単回の下半身のレジスタンス運動を行わせ、同じ炭水化物（ショ糖 35 g）+必須アミノ酸 6 g の組み合わせを、運動の直前もしくは直後に摂取させた。炭水化物+必須アミノ酸を運動の直前に摂取した方が運動の後に摂取するよりも筋タンパク合成率は有意に上昇した。数年後、Fujita ら^[90]は、この研究を追試したが、筋タンパク合成率は、運動前と運動後の摂取で同様だった。多くの方が Fujita 論文を用いて運動前の摂取には効果はないとしているが、エネルギー源となる栄養素をレジスタンス運動の前後に摂取したときには、筋タンパク合成率はエネルギー源とならないコントロールを摂取したときと比べて有意に上昇していたことに着目すべきである。これは、タイミングとは反対だが、栄養素摂取そのものが大いに優先されるべきであることを示唆している。White ら^[91]は炭水化物+たんぱく質の摂取タイミングが筋出力と筋損傷マーカに影響するかどうかを明確に検討した。この研究では、27人の成人にノンカロリーの甘味料もしくは炭水化物（75 g）+たんぱく質（23 g）を、損傷を与えるようなレジスタンス運動の15分前もしくは15分後に摂取させ、栄養素そのものも、タイミングも筋出力や血中筋損傷マーカのレベルに影響しないことを発見した。この結果は、筋タンパク合成率は炭水化物+たんぱく質を運動の前もしくは後に摂取すれば急激に上昇するが、筋出力や筋損傷は炭水化物+たんぱく質の摂取タイミングの影響を受けないことを示唆している。

レジスタンス運動の際の炭水化物+たんぱく質もしくは必須アミノ酸の単回投与の効果は研究されている^[92-96]が、それ以外のタイミングについては、タイミングに関する疑問を本当に検討した研究はない。この観点で、Bird らの一連の研究^[93-96]は、炭水化物もしくは炭水化物+必須アミノ酸の摂取が、単回試験のパフォーマンス、ホルモン応答、筋損傷関連タンパクの血中レベルにおよぼす影響を検討した。最初の研究では、32人の参加者は、無作為に6%炭水化物溶液、6%炭水化物溶液+6g必須アミノ酸、あるいはエネルギーの無いプラセボのいずれかを無作為に摂取し、60分間のレジスタンストレーニングを行った。この研究の結果は、血清コルチゾールレベルは6%炭水化物溶液あるいは6%炭水化物溶液+6g必須アミノ酸を摂取したときに、エネルギーの無いプラセボを摂取した時よりも減少されることを示した^[94]。この研究の後の論文では、尿中筋分解マーカは、炭水化物溶液+必須アミノ酸を摂取した時に27%減少され、一方、プラセボでは56%上昇したことを報告した^[95]。

その後のBird ら^[93]の研究では、「3期」アプローチを用い、炭水化物+アミノ酸の組み合わせを単回のレジスタンス運動の前、最中、後に摂取させた。クロスオーバー法により、参加者はノンカロリーの甘味料によるフレーバーウォーターからなるプラセボ飲料も同量・同タイミングで摂取した。そして、栄養素摂取は（全くなしに対して）完遂した運動量を有意に増加させ筋損傷を示す血清タンパク濃度を有意に減少させたと報告した。これらの流れに沿って、Beelen ら^[92]も単回試験を行い、研究参加者は摂食状態で0.15 g/kgの炭水化物+加水分解カゼインプロテインの組み合わせを2時間のレジスタンストレーニングの開始前と、運動終了まで15分ごとに摂取した。プラセボと比較して、炭水化物+たんぱく質の組み合わせは、タンパク分解率を有意に低下させ、筋タンパク合成率を49 ± 22%有意に上昇させ、結果的にタンパク平衡を5倍増加させた。

レジスタンストレーニング時の炭水化物+たんぱく質摂取の長期効果の検討も行われている。Bird ら^[96]は、6%

炭水化物+6% 必須アミノ酸溶液を（週2回の）レジスタンス運動中に12週間摂取したときの効果を検討した。尿中3-メチルヒスチジンは6%炭水化物+6% 必須アミノ酸の組み合わせを摂取したときに26%減少し、52%増加したプラセボ群とは有意に違っていた。同様に、I型、IIa型、IIb型筋線維の断面積は、炭水化物（6%）あるいは必須アミノ酸（6%）のみを摂取したときの変化と比較して増加した。これらの結果は有望であるが、必須アミノ酸の投与量に関する研究は少なく、他の研究では高用量の必須アミノ酸（12gまで）が筋タンパク合成を最大化する可能性が示されている。このようなわけで、異なる投与量の必須アミノ酸もしくは炭水化物と様々な用量の未分解のたんぱく質の組み合わせをレジスタンス運動の最中に摂取するとパフォーマンスやレジスタンス運動への適応にさらに効果があるかは、この分野の将来の研究で確認する必要がある。この観点から、充分なたんぱく質が供給されたときには、炭水化物を追加することの適応的なベネフィットはない可能性がある。この例として、Hulmiら^[97]は、マルトデキストリン（炭水化物34.5g）+ホエイプロテイン（37.5g）を12週間のレジスタンストレーニングプロトコルで毎回の筋力トレーニングの直後に摂取させても、たんぱく質のみを摂取させた場合と比較して、レジスタンストレーニングへの適応には利点がないことを示した。CribbとHayes^[16]は、鍛錬された男性参加者に、10週間のレジスタンスプログラムの期間中、同量の炭水化物+たんぱく質+クレアチンをレジスタンストレーニングの直前・直後、あるいは朝夕に摂取させた。筋力、筋肥大、体組成の変化が評価され、除脂肪体重、1RM筋力、II型筋繊維断面積、筋のクレアチンとグリコーゲンレベルの増加は、サプリメントを筋力トレーニングの直前・直後に摂取したときにみられ、朝夕に摂取したとは反対であった。Hulmiの結果と違うように見えるが、これらの結果は炭水化物+たんぱく質+クレアチンを組み合わせて同時に摂取するとレジスタンストレーニングへの適応に有効であることを示しており、炭水化物+たんぱく質の組み合わせが同量のたんぱく質のみを摂取するよりも良いと言っているわけではない。さらに、CribbとHayesは、他の研究では投与していないが、クレアチンも投与している。クレアチンは複数の研究シナリオでレジスタンストレーニングの筋の適応を増加させることが示されている^[98-100]。

レジスタンストレーニング時の炭水化物+たんぱく質の組み合わせは、インスリン感受性を高めることで筋発達を増加させると示唆されている。具体的には、インスリンは筋の抗異化作用を促進し^[101]、そのためタンパク平衡を同化方向に傾ける。しかし、インスリンによるタンパク分解減少作用は $\sim 15\text{--}30\ \mu\text{IU/mL}$ の範囲でプラトーになり^[102, 103]、これは45gのホエイプロテインを単独で摂取したときに達成されるレベルである^[104]。このことは、充分なたんぱく質を摂取していれば、筋力トレーニング後の炭水化物補給は筋発達の観点ではほとんど影響しない可能性を示している。この結論を検証するために、Staplesら^[105]は、炭水化物（マルトデキストリン50g）+たんぱく質（ホエイプロテイン25g）の組み合わせが筋タンパク合成率におよぼす効果を単回の下半身のレジスタンストレーニングの終了後に比較した。著者らは、炭水化物+たんぱく質の組み合わせは、たんぱく質のみを摂取したときと比較して、筋タンパク合成率をさらに刺激することはなかったと報告した。さらに、Rasmussenら^[106]は、ショ糖35g+必須アミノ酸6gをレジスタンストレーニング終了の1もしくは3時間後に摂取してもアミノ酸平衡には差はないことを見出した。

まとめると、炭水化物+たんぱく質（あるいはアミノ酸）を持久了運動およびレジスタンス運動に近いタイミングもしくは運動の最中に摂取すると、通常のトレーニングへの適応だけではなく、その後の運動パフォーマンスへもよい影響を与える有効な戦略となりえる。この結論へ向かって、持久パフォーマンスの向上が、減少した筋グリコーゲンの回復促進とともに炭水化物+たんぱく質の組み合わせを運動の際に摂取したときに一貫して報告されている。とくに炭水化物の摂取量が少ない場合にはそうである。しかし、至適量の炭水化物を摂取すると、たんぱく質を追加摂取しても（それが摂取されるタイミングに関係なく）、持久了運動あるいはレジスタンス運動のパフォーマンス、お

よび減少した筋グリコーゲンの回復には、さらにより効果はもたらされない。グリコーゲンの回復に関する研究と同様に、レジスタンストレーニングおよびレジスタンストレーニングがもたらす適応の最適化に関する研究は、その日に摂取されるたんぱく質の総量により高い優先性があることを指摘している。したがって、総たんぱく質必要量が満たされていれば、炭水化物を（さらにタイムリーな方法で）追加することの重要性は限定される可能性がある。しかしながら、議論の要点は、総エネルギー必要量が満たされているかどうかにも関わっている。特に高容量のトレーニングをしているアスリートや、体重や除脂肪体重が大きいアスリートではさらにそうである。このような状況で、たんぱく質に炭水化物を追加することには、アスリートが適切なエネルギー摂取を達成する助けになる可能性が確かに残されており、これにより生じる適応の程度に確かに影響をおよぼす可能性がある。レジスタンストレーニングとそのスポーツ特有のトレーニングとを組み合わせるアスリートは、各セッションに近いタイミングで炭水化物+たんぱく質を摂取することが、次の運動までの回復と適応を最適化するために必要だろう。

4. たんぱく質 Protein

4.1 持久力トレーニング Endurance training

持久性運動に関してアミノ酸やたんぱく質を摂取する役割はよく分かっていない。Pasiakos ら^[107]は、サイクリストに2回の運動(60% VO₂max で60分)をさせ、異なる量のロイシン(1.87 gもしくは3.5 g)を含む必須アミノ酸10 gの溶液を摂取させた。必須アミノ酸の摂取に応じてそしてロイシンの量とは関係なく、筋タンパク合成率や筋肥大に関わるいくつかのシグナルタンパク(たとえば、Akt、mTOR、p70S6kなど)は有意に増加した。持久性運動前のたんぱく質摂取の役割と効果を明確にするにはより多くの研究を行う必要があるが、持久系アスリートが試合前の時間に優先すべきなのは、適切な炭水化物摂取による内因性グリコーゲン合成の最大化に集中することである。

4.2 レジスタンストレーニング Resistance training

持久性運動と同様に、レジスタンス運動の前にたんぱく質やアミノ酸を摂取させる研究の大部分は、同量を運動後の期間にも摂取させている。例えば、Tipton ら^[108]は、単回のレジスタンス運動と食事のモデルを用い、下半身のレジスタンストレーニングの直前もしくは直後に、20 gのホエイプロテインを摂取した時に、筋タンパク合成率は同じであったと報告した。Andersen らの研究は^[109]は、数週間にわたるレジスタンス運動の直前、直後にたんぱく質を摂取する効果を検討した最初の研究のひとつであった。この研究では、参加者は無作為化され25 gのたんぱく質混合物(ホエイ16.6 g、カゼイン2.8 g、卵白2.8 g、グルタミン2.8 g)またはマルトデキストリンを14週間の期間に筋力トレーニングの直前、直後に摂取した。たんぱく質-アミノ酸混合物を摂取したグループで、I型とII型線維の大きさが有意に増加した。また、たんぱく質-アミノ酸混合物群で、スクワットジャンプの結果が有意に高くなったが、マルトデキストリン群では変化がみられなかった。同様の研究デザインを用いてHoffman ら^[110]は、普段からレジスタンストレーニングを行っている大学フットボール選手に10週間のレジスタンストレーニングの期間に、42 gの加水分解コラーゲンタンパクを運動の直前・直後もしくは朝夕に摂取させた。この研究では、たんぱく質の摂取タイミングは、レジスタンストレーニングプログラムによる筋力、パワーおよび体組成の変化に影響をおよぼさなかった。

矛盾した知見を検討するとき考慮すべきことがある。まず、Hoffman らの研究では、たんぱく質の供給源は大部

分が加水分解コラーゲン(すなわち、最高品質のたんぱく質源とはいえない)であった。さらに、身体組成の変化は二重エネルギー X 線吸収測定法 (DEXA) によって測定されたが、これは、Andersen ら^[109]によって使用された組織化学的アプローチのように、微細な肥大の変化^[111]を同定できるほど敏感な感度を持っているものではなかった。最後に、Andersen らの研究の参加者は、1 日当たり、Hoffman らの参加者 (30.4 kcal/kg/day) に比べ、20%以上多くのカロリー (~36.6 kcal/kg/day) を摂取していた。これは上記のふたつの研究の結果の違いについてある程度の説明になる。さらに最近では、Schoenfeld ら^[112]は、筋力トレーニングの直前もしくは直後に 25 g のホエイプロテインを摂取する効果を直接比較する最初の長期的な研究を行った。この研究では、21 人の男性レジスタンストレーニング経験者(経験 1 年未満)は、週に 3 回、全身の高負荷レジスタンストレーニング (8-12RM を 3 セット) を 10 週間行ったが、トレーニングの前もしくは後のホエイプロテインの摂取は、筋重量あるいは強さの変化に差をもたらさなかった。この研究は、筋力トレーニング前と後のたんぱく質摂取を比較する最初の研究として重要である。著者は、運動前の食事の量、組成、タイミングはこれらの研究でみられた適応の程度に影響を与える可能性があるという疑問を提起した。しかしながら、この研究のカギとなる制限は、これらの被験者が実行したトレーニング量が非常に限られていたことである。10 週間の実験期間の総トレーニングセッション量は、30 セッションであった(すなわち、どのセッションも 1 時間と仮定し合計 30 時間)。筋力トレーニング前後の栄養からもっともベネフィットを得られそうなのは、より高容量のトレーニングをしている人であると推測される。例えば、NCAA 規則 (NCAA Bylaw 2.14) でアメリカの大学アスリートは、1 日で最大 4 時間および 1 週間で最大 20 時間にトレーニング時間を制限されている^[113]。したがって、平均的な大学アスリートは、これらの研究の実験期間中全体で被験者が行っているトレーニングよりも多くのトレーニングを 2 週間で行っている。

高齢の参加者のみを対象とした研究のひとつで、Candow ら^[15]は、59-76 歳の 38 人の男性に 12 週間のレジスタンストレーニングプログラムをさせ、筋力トレーニングの前もしくは後に 0.3 g/kg のたんぱく質を摂取させた。たんぱく質摂取は、レジスタンストレーニングへの適応を好ましく改善したが、たんぱく質の摂取タイミング(筋力トレーニングの前か後か)はまったく差をもたらさなかった。この結果を考慮する重要な点は、至適量未満のたんぱく質の摂取量(約 26 g のホエイプロテイン)と高齢者の骨格筋で示されている同化抵抗性との比較である^[114]。つまり、26 g のホエイプロテインからの同化刺激が筋タンパク合成への十分な刺激ではなかったか、摂取条件の違いを誘導するのに適当な大きさではなかった可能性がある。明らかなのは、筋力トレーニング前後により多くのたんぱく質を摂取することが、高齢者のレジスタンストレーニング中の適応に影響をおよぼすかどうかを判断するためには、より多くの研究が必要だということである。

単発のレジスタンストレーニングの際にたんぱく質を摂取することの効果、特に運動中のタンパク質摂取が他の摂取タイミングよりも好ましいかどうかを明確に検討した研究は少ない。先に炭水化物 + プロテインのセクションでも論じたように、Bird らによる研究^[94, 95]では、単発のレジスタンストレーニング中に、参加者に 6 g の必須アミノ酸溶液を摂取させた結果、運動後のインスリンレベルが増加し、尿中 3 メチルヒスチジンと血清コルチゾールのレベルが低下したと報告した。しかし、12 週間の実験全体を通して検討すると、6 g の必須アミノ酸の単独摂取よりも炭水化物との併用摂取の方が、筋線維が肥大していた。

運動後の栄養摂取のタイミングは、様々なトレーニングの効果を高めることができるので、積極的に研究されてきた。単回運動と栄養摂取に関する多くの研究では、運動後の栄養摂取が有益である理由について多くの論理的な説明が述べられているが^[115-119]、他の研究では、この研究モデルは数週間もしくは数ヶ月の期間で観察される適応を直接的には反映していない可能性を示唆している^[120]。運動前のたんぱく質摂取タイミングのセクションを通じて強調

したように、運動後のたんぱく質摂取の効果を検討した研究の多くは、同量のたんぱく質を筋力トレーニングの直前に摂取したときの効果に関する研究を行なっている^[16, 109, 110, 121]。これらの研究では、たんぱく質^[109]もしくは炭水化物+たんぱく質^[16]をレジスタンス運動の直前と直後に摂取することは、レジスタンストレーニングへの適応にプラスに影響を与えることが示されている。しかし、これらの結果は普遍的ではない。Hoffmanら^[110]は、42gの加水分解コラーゲンプロテイン加水分解物を数週間のレジスタンストレーニングの前後に摂取しても、摂取タイミングの効果は認められなかったと報告した。ただし、Hoffmanの研究の参加者は全員が高度に鍛錬された大学生アスリートで低エネルギー食を摂取していた点は見逃せない。Candowら^[15]は、高齢男性(59-76歳)にレジスタンストレーニングの前あるいは後に至適量以下のホエイプロテイン(0.3g/kg、~26g)を摂取させたが、筋力や体組成には変化がなかったと報告した。先にも述べたように、これらの研究では、たんぱく質の摂取量が同化を適切に促進するには充分な量ではなかった可能性がある。

この点で、運動後にたんぱく質のみを摂取した場合の効果を実験した研究は少ない。先に論じたように、Tiptonら^[108]は単回モデルを用いて、ホエイプロテイン20gを下半身のレジスタンストレーニングの直前もしくは直後に摂取したときの筋タンパク合成率の変化を検討した。筋タンパク合成率はどちらの条件でも有意に、そして同様に上昇した。最近までは、運動後のたんぱく質摂取の効果を縦断的に検討したのは2001年のEsmarckら^[122]の研究のみであった。この研究では、13人の高齢男性(平均74歳)が、炭水化物(7g)、たんぱく質(10g)、脂質(3g)を週3回、12週間のレジスタンストレーニングの直後(30分以内)もしくは2時間後に摂取した。筋力と筋サイズの変化が測定され、毎回の筋力トレーニングの直後に栄養素を摂取する方が、2時間後に摂取するよりも筋力と筋断面積に大きな改善をもたらすと結論された。この結果は興味深いのが、運動の2時間後に栄養摂取したグループでは、レジスタンストレーニングプログラムを完遂しているにも関わらず筋断面積の増加が測定されなかったことから、この研究の結果にはいくつかの疑問が持たれている。さらに、先のCandowら^[15]の結果について論じたように、たんぱく質の摂取量(10g)が、この年齢の人に対しては適切ではなかった可能性がある。Schoenfeldら^[124]は、レジスタンストレーニングの直前もしくは直後の25gのホエイプロテイン摂取の効果を直接的に検討した結果を発表した。すべての研究参加者は毎週3回、主要筋群をターゲットとしたトレーニングを10週間にわたって実施したが、筋力と筋肥大にはふたつのたんぱく質摂取群の間に違いはなかった。これらの知見は、トレーニング直前もしくは直後のホエイプロテインの摂取により筋を強くし肥大させられるという仮説を後押ししたが、栄養摂取のタイミングが他の栄養戦略よりも重要であるわけではない。

Aragon and Schoenfeld^[125]とSchoenfeldら^[126]の報告では、運動後のたんぱく質摂取に関する効果を批判的に検討した。著者らは、推奨されるレベルのたんぱく質が摂取された場合、摂取タイミングはトレーニング効果にはさほど影響しないことを示唆した。加えて、レジスタンストレーニング後の筋肉は最低でも24時間はたんぱく質摂取に感受性であることを示した研究^[127]から、筋力トレーニング前の栄養補給はタイミング、量、栄養組成に関係なくある程度のトレーニング効果をもたらすと示唆されている。さらに、最近のMacNaughtonら^[128]の研究は、トレーニング後にホエイプロテイン40gを摂取したグループは(20gを摂取したグループと比較して)、主要筋群を対象とした高強度・高容量のレジスタンストレーニングを実施した若い被験者の筋タンパク合成を有意に増加させたと報告した。たんぱく質の摂取量の問題であるかもしれないが(タイミングの問題自体ではなく)、これらの結果は、タイミングの面からも重要である。というのは、この高用量が、筋のアミノ酸あるいはたんぱく質(単独あるいは混合食)の摂取に応答する能力にどの程度の影響おおよそかが検討されていないからである。これらの結論にも関わらず、摂取タイミングに関する問題を検討した研究は極めて僅かである。さらに、ガイドラインは広範囲の人々のニーズを

捉えなければならず、この点については、高度に鍛錬されたアスリートを対象に栄養摂取のタイミングを検討した研究は僅かである。現場からの観点ではアスリート達（特に高重量のアスリート）の中には、日々の必要量を満たすたんぱく質を摂取することに苦しんでいる人がいるかもしれない。従って、運動後 24 時間までは骨格筋はたんぱく質摂取に感受性があることが知られているので、実用的には、アスリートには筋力トレーニング後に出来るだけ早く摂取することが推奨される。以上より、摂取しないということは、骨格筋肥大や持久性運動やストレングス-パワー系の運動からの回復に対して、まったく有益ではない。

5. 食事のタイミングと配分ー 1 日の時間について

Timing and distribution of meals – time of day consideration

1 日のどの部分でカロリーの大部分を摂取するかが、健康、体重減少または身体組成の変化に影響することを示す根拠が浮上してきている。出発点として、このトピックに関する入手可能な研究の大半は、鍛錬された男性と女性を対象とした最近のふたつの研究^[129, 130]を除いて、おもに鍛錬されていない非運動者を研究対象に用いていることを認識することが重要である。これらの知見が高度に鍛錬された運動選手に適用されるかどうかは、まだ分からない。Keim ら^[131]は、研究参加者に同様のカロリー（～ 1950 kcal）で類似の多量栄養素組成を提供する 6 週間の試験を 2 回実施した。ひとつのグループは規定の食物摂取量の 70% を朝食で摂取し、もう一方のグループは規定の摂取量の 70% を夕食で摂取した。体重減少と身体組成の変化を比較したところ、午前中に大部分のカロリーが摂取された場合にわずかに大きな体重減少が起こった。朝食に多くのカロリーをシフトさせたときに大きな体重減少がみられたことの注意として、より多くの除脂肪量もまた失われたことがあるので、体重管理と代謝活性を考慮した場合に、この戦略の長期的有効性については疑問が生じる。特に、この最後の点は、1 日を通してカロリーを均等にし、食物、特にたんぱく質を摂取しない期間が長くなるようにすることの重要性を物語っている。大規模な観察研究^[132]では、867 人の自由生活者（375 人の男性および 492 人の女性）の食物摂取量を調査したが、同コホート研究^[133]のフォローアップ研究では、食物摂取のタイミング（1 日の中で早い時間と遅い時間）は、1 日の総カロリー摂取量と相関があった。これらの知見は、1 日の早い時間に 1 日の総カロリーのより大きな割合を摂取することは、1 日のカロリー摂取量の低下に関連し、1 日のカロリー摂取量の多くを夕食にシフトさせることは、1 日の総カロリー摂取量を増加させることを示している。実際、これらの結果は、食事パターンが身体組成変化や体重減少におよぼす影響についての洞察を提供していないため、慎重に解釈する必要があるが、「いつ」特定の食物を摂取するかが、どのように 1 日の総カロリー摂取量に影響を与えるかという最初の興味深いデータを提供してくれる。

Wu ら^[134]は、動物モデルでは遅い時間の食事が脂質合成と脂肪組織の蓄積をもたらし、限定的ではあるが人を対象とした研究も結果を支持したと報告した。これまでに、朝食を欠食した人は脂質分解の活性化が遅延し脂肪組織の産生が増加することが示されている^[135, 136]。より最近では、Jakubowicz ら^[137]は体重超過の肥満女性に 12 週間、毎日 1400 kcal を摂取させた。一部の研究参加者は、1 日のカロリーの 50%（700 kcal）を朝食時に、35%（500 kcal）を昼食時に、15%（200 kcal）を夕食時に摂取し、その他の被検者は、まったく反対の配分で、15% を朝食時（200 kcal）、35% を昼食時（500 kcal）、50% を夕食時（700 kcal）に摂取した。朝食時にカロリーの大部分が摂取されたときに、約 2.5 倍の体重が減少し、ウエスト周囲径と BMI の有意に大きな変化が観察された。また、朝食時にカロリーの大部分を摂取した群では、中性脂肪レベルは 34% 減少し、グルコースおよびインスリンのより大きな改善が観察され、満腹感が改善された^[137]。これらの結果は、カロリーを 1 日の中でどのようにより最適に分配できるかとい

う洞察を提供しているが、重要な視点は、これらの研究は運動習慣のない集団を対象にいかなる形の運動介入もなしに行われたことだ。したがって、これらの結果をアスリートまたは活動的な人々に用いることの妥当性には限界があるかもしれない。さらに、現在の研究アプローチは、1日の中でより均一に配分された食事パターンの影響を調査することに失敗している。

6. 食事頻度 Meal frequency

食事頻度は、一般的に日々の食事の回数と定義されている。長年、食事頻度を増やすことが体重減少、体重維持と身体組成に影響する有効な方法として推奨されてきた。これらの主張は、平均皮下脂肪厚は食事の頻度に反比例するという Fabry ら^[138,139] の疫学的研究に基づいている。これらの研究のひとつには、60 から 64 歳の過体重者 379 人が参加し、他の研究には 30-50 歳の参加者 80 名が参加した。Metzner ら^[140] が発表したより大規模な研究は、35 から 60 歳の男女 2000 人が対象となり、食事頻度と肥満が反比例の関係にあると報告した。興味深いことに、これらの研究で得られた結果は比較試験とは一致していない。例えば、Farshchi ら^[141] による 2005 年の研究では、参加者に 14 日間に規則的なパターンの 1 日 6 回の食事、もしくは 1 日に 3 から 9 回の食事を自由な時間に摂取させた。不規則な食事パターンが食欲を増加させ、さらに空腹感が体重減少を促進させつつも、各食事のエネルギーが不十分ではないか、あるいは各食事のエネルギー量を空腹感が抑制できるようにした方がよかったのではないかといった疑問を感じさせることが明らかとなった。さらに、Cameron ら^[142] は、食事頻度の多寡を直接比較した最初の研究のひとつを発表した。この研究では、16 人の肥満男女のエネルギー摂取量を 1 日 700 kcal に減らし、等カロリーの 2 群に分類した：ひとつのグループは 1 日に 6 回（3 回の通常食と 3 回の軽食^[註 15]）、他のグループは 1 日に 3 回の食事を 8 週間摂取するよう指示された。体重、肥満指数、食欲やグレリンの変化が 8 週間の実験終了時に測定されたが、いずれの評価項目においても条件間に有意な差は見られなかった。これらの結果は、Alencar による最近の研究結果^[143] と一致している。この実験では肥満女性が、同カロリーの食事を 1 日に 2 回もしくは 6 回で摂取したときの効果を、体重減少、身体組成、血清ホルモン（グレリン、インスリン）、代謝性マーカー（グルコース）について比較した。測定されたどの結果にも両群間に差は観察されなかった。Kulovitz らのレビュー^[144] では、総エネルギー摂取量が管理されているときや、カロリー制限をしているときには、食事頻度が体重減少や身体組成の改善におよぼす影響は、1 日の総カロリー摂取量に対して二次的なものだと結論づけた。同様の結論が、食事頻度が体重減少と体組成におよぼす効果を検討した Schoenfeld ら^[145] によるメタアナリシスでも導かれた。初期の研究結果はより高い食事頻度が身体組成に有利である可能性を示唆したが、サブ解析では結果はひとつの研究により交絡があったことが示唆され、この戦略に有益な効果があるかどうか疑問が投げかけられている。しかしながら、この“はずれ値”を示した研究は、唯一運動処方を含んだ 2 週間のみ研究であることに注意することは重要である。このことから食事頻度を増やすことは、短期間に運動プログラムと組み合わせて使用される場合には、体重減少や身体組成の変化に、実際に好ましい影響を与える可能性がある結論づける人がいるかもしれない。確実なこととして、この分野にはより多くの研究が必要である。特に、アスリートと同様に非アスリートにも、運動プログラムと併用して食事頻度を調整する研究が必要である。最後に、食事頻度に関連する他の評価項目（たとえば、グルコース/インスリンの恒常性、空腹感と食欲レベル、エネルギー量など）は、異なる集団で興味深い結果が得られる可能性がある。しかしこれらは、本公式見解の範囲を超えてしまう。興味のある読者は、ISSN の食事頻度に関する見解^[146] を参照されたい。

7. たんぱく質摂取のタイミングと配分

Timing and distribution of protein feeding

食事摂取のパターンや頻度を変化させることの延長線上に、たんぱく質摂取のパターンを検討することがある。研究者たちは、たんぱく質とアミノ酸を含む食事を摂取すると、血清のアミノ酸レベルと筋タンパク合成率が摂取量に応じて3～5時間上昇することを明確に示している^[147, 148]。Mooreら^[149]は、下半身レジスタンス運動後12時間の観察中に、参加者がたんぱく質80gを異なるパターンで摂取した場合の、タンパクの代謝回転と合成率の違いを調べた。たんぱく質摂取パターンのひとつでは、参加者にホエイプロテイン40gを約6時間間隔で2回摂取させた。もうひとつの条件では、ホエイプロテイン20gを3時間ごとに4回摂取させた。最後の条件では、参加者はホエイプロテイン10gを90分ごとに8回摂取した。筋タンパク代謝回転率、合成率、および分解率を比較し、著者らはホエイプロテインの中間サイズ(20g)を3時間ごとに摂取した時に、タンパク代謝回転率と合成率が最大であったと結論づけた。この研究の注意点のひとつは、消費される総たんぱく質量が非常に低いことであった。12時間で摂取するのがたんぱく質80gというのは、大量のトレーニングを行う選手や、極端に重い選手(例えば、アメリカンフットボール選手、力士、フィールド競技の選手など)にとって、著しく不足している。1年後の同じ研究グループのフォローアップ研究では、参加者を3つの異なるたんぱく質供給パターンに無作為化した後に筋原線維タンパク合成率を測定し、レジスタンス運動後にたんぱく質投与パターンを変えることがタンパク合成率にどのように影響するかを調べた^[150]。ふたつの重要な結果が確認された。第一に、筋原線維タンパク合成率は、3つのグループすべてで上昇した。第二に、ホエイプロテイン20gを3時間ごとに4回、運動後12時間にわたり摂取した時、(他のふたつのたんぱく質摂取パターンと比較して)有意に高い筋原線維タンパク合成率が生じた。両方の研究の結果を組み合わせると、3時間ごとの中間たんぱく質量(20g)の摂取が、全身および筋原線維タンパク合成の両方により好ましい変化をもたらすと結論づけることができる^[149, 150]。両研究とも短期間の実験方法を用いたもので他のパターンや用量についてはまだ検討されていないが、これまでのところ、これらの結果は、高品質のたんぱく質が摂取されるタイミングやパターンが、正味のたんぱく質バランスと筋原線維タンパク合成率に有利に影響し得ることを一貫して示唆している。

これらの知見に対する重要な注意点は、(ほとんどの場合)他の多量栄養素を排除した試験食が提供されたことである。混合食の消費は胃排出を遅らせ、その結果として異なる代謝効果をもたらす可能性がある。さらに、ホエイプロテインが吸収の早いたんぱく質源^[151]であるという事実は、これらの研究結果の通常の混合食への一般化を混乱させている。というのは、高用量の投与では、特に、他の多量栄養素が存在しない場合には、酸化の可能性が高くなるからである。単回での筋タンパク合成の応答が肥大または線維組成の長期的な変化を説明するかどうかも依然として明らかになっていない^[120]。これらの前述の研究に加えて、Arcieroらの広範な研究は、「たんぱく質ペーシング」モデルを用いて短期(3か月)および長期介入(>1年)の両方でたんぱく質摂取の配分と同様に食事頻度とタイミングを組み合わせた効果を運動トレーニングの有り^[129, 130, 152-156]と無し^[157, 158]で、直接的に調べてきた。たんぱく質ペーシングは、1日を通しておよそ3時間ごとの均等な間隔を空けて高品質のたんぱく質20-40gを、自然食品とたんぱく質サプリメントの両方から、摂取することを意味している。最初の食事は朝起きて60分以内に摂取され、最後の食事は夜の就寝前3時間以内に摂取される。Arcieroら^[129, 130]は最近、鍛錬された身体的に元気な男女を対象に、12週間の介入期間に同じ多要素運動トレーニングを行わせて、同様の時間に同量だがたんぱく質含量が異なる食事を摂取するのに比べて、たんぱく質ペーシングを用いた方が筋力と仕事量が増加したことを示した。

この観点およびたんぱく質の摂取間隔の変更を考える場合には、Millwardら^[159]によって提唱され後にAtherton

ら^[160]によって洗練された「muscle full」効果の影響も考慮しなければならない。そこでは、感覚メカニズムが筋に存在し筋タンパク成長の全体的な割合を支配すると推測された。この理論を支持するものに、たんぱく質の経口摂取後90分以内タンパク合成率のピークが見られるという特徴ある変化^[160]と血清アミノ酸レベルが上昇しても約90分で筋タンパク合成率がベースラインレベルに戻るということが指摘できる^[161]。したがって、効果的なたんぱく質摂取がお互いにもあまりにも近くに配置されていると、骨格筋同化作用の完全な活性化が制限される可能性が残る。一方、この理論が受け入れられるものであるという明確なコンセンサスは存在しないが、互いに近接してたんぱく質摂取を行った縦断研究^[16, 110, 153]の間に相反する知見が存在するので、この分野にはより多くの研究が必要である。最後に、たんぱく質をちょこちょこ頻回に摂取したときと、まとめてドカンと摂取したときの機構的な意義とその筋タンパク合成率への効果が究極的な応用指針になるかもしれないが、実践的な重要性はいまだ示されていない。

8. 就寝前のたんぱく質摂取 Pre-sleep protein intake

就寝前の摂食は長く議論的になっている^[162-164]。しかし、研究の対象集団、摂食時間、就寝前の摂食量といった研究方法的考察が導かれた結論を混乱させている。就寝30分前と最後の食事（夕食）の2時間後にたんぱく質中心の飲料を用いた最近の研究では、就寝前のたんぱく質摂取が筋タンパク合成、筋肉回復、および全体的な代謝に有利であると短期および長期の両方の研究で確認されている^[165, 166]。例えば、30-40gのカゼインプロテインを就寝30分前に経口^[167]あるいは経管^[168]で摂取すると、若年および高齢男性の両者の終夜の筋タンパク合成が増加することを示すデータがある。

同様に、短期の状況で、健康な若年男性にホエイプロテイン30g、カゼインプロテイン30g、および炭水化物33gを就寝30分前に摂食させたところ、ノンカロリーのプラセボ摂取と比較して、朝の安静時代謝率が上昇した^[169, 訳注16]。また同様に、統計的に有意ではなかったものの、朝の安静時代謝率上昇が若年の過体重および/または肥満女性で報告された^[170]。特に興味深いのは、Madzimaら^[169]が、就寝前の栄養素摂取後の朝に測定した被験者の呼吸商(RQ)が、プラセボおよびカゼインプロテイン試験では同様だったのに対し、炭水化物とホエイプロテインのいずれもプラセボと比較して呼吸商(RQ)が上昇したことを報告したことである。このことから、就寝前に摂取されたカゼインプロテインにより、終夜の脂質分解および脂質酸化が持続することが示唆された。この知見は、Kinseyら^[171]の研究によって裏付けられた。この研究では、肥満男性がカゼイン30gあるいは風味および外観・味覚を同等にしたノンカロリーのプラセボを摂取した後に、腹部皮下脂肪組織でマイクロダイアリシス法^[訳注14]を用いて終夜の間質内グリセロール濃度を測定した。そして、就寝前のカゼイン摂取が、終夜の脂肪分解または酸化を鈍らせることはなかったと結論づけた。就寝前にカゼイン、または炭水化物のどちらかを摂取することを比較したMadzimaら^[169]と同様、Kinseyらも就寝前のカゼイン摂取は過体重集団における空腹感の低下とともに、翌朝のインスリン量を増加させないと結論づけた。注目すべき点として、就寝前の夜間に摂取した場合、インスリンの上昇は事前の運動トレーニングによって完全に改善し^[172]、就寝前のたんぱく質摂取と運動の組合せは、血圧が高めか高血圧を呈する若年肥満女性の血圧および動脈硬化の軽減をもたらすことが示されている^[173]。

4週間以上の夜間にたんぱく質を摂取させた研究は現在までにふたつだけある。Snijdersら^[174]は、若年男性(平均年齢22±1歳)を、たんぱく質中心のサプリメント(カゼインプロテイン27.5g、炭水化物15g、および脂質0.1g)または、ノンカロリーのプラセボに無作為に割付けて毎晩就寝前に摂取させ、同時に12週間の漸進的レジスタン

ス運動トレーニングプログラム（週3回）を実施させた。就寝前に毎晩たんぱく質中心のサプリメントを摂取した群は、12週間にわたって筋肉量と筋力がより大きく改善した。注目すべきは、本研究は窒素の均衡がとられておらず、たんぱく質摂取量がプラセボ群は1.3 g/kg/dayであったのに対し、たんぱく質群では約1.9 g/kg/dayであった。より最近では、若年健康男性および女性を対象に総たんぱく質摂取量を均等にした試験で、Antonioら^[175]が、8週間にわたって、朝（正午以前のいずれかの時間）または夜間（就寝90分前）に54 gのカゼインプロテインを追加摂取させ、身体組成と筋力パフォーマンスの変化を検討した。被験者はいずれも通常の運動プログラムを継続した。著者らは、カゼインの補給を朝にする群と夜にする群の間に身体組成またはパフォーマンスに差はないと報告した。この結果は、試験開始前に研究参加者がすでに高たんぱく質摂取を行っていたことに起因する可能性があることで説明がつく。しかしながら、注目すべき点は、統計学的に有意ではないが、本研究の鍛錬された被験者の習慣的な食事のたんぱく質量は1.7から1.9 g/kg/dayであると報告されていたにもかかわらず、除脂肪体重の増加量は、午前群は0.4 kgだったのに対し、夜間群は1.2 kgだったことである。したがって、就寝前の夜のたんぱく質摂取は、たんぱく質や他の栄養素を摂取するもうひとつの機会を意味していると考えられる。もちろん、タイミングそれ自体、あるいは1日の総たんぱく質の単なる追加が夜間摂取を通じた身体組成や回復に影響するかどうかを判断するためには、より多くの研究が必要である。

9. 結論 Conclusion

栄養摂取のタイミングは、研究者、コーチ、そして選手から注目を集め続けている研究領域である。文献をレビューするにあたって、特に考慮すべきことがふたつある。最初に、栄養摂取のタイミングを取り巻く全ての知見は、どのような状況で行われたかを考慮する必要がある。なぜなら、年齢、性別、運動レベル、事前のエネルギー源の貯蔵状況、食事状況、トレーニング量、トレーニング強度、プログラムデザイン、そして次のトレーニングや試合までの時間といった要因は、タイミングの運動への適応的応答に大きさに影響をおよぼすからである。第二に、このテーマにおけるほぼ全ての研究には、さらなる調査が必要である。読者は、最も単純な姿として、栄養摂取のタイミングは、ほとんど全ての状況において、回復とトレーニングへの適応を促進するのに役立つ栄養摂取戦略であるという視点を持ち続けなければならない。この文脈は重要である。なぜなら、多くの栄養摂取のタイミングの研究が、好ましい変化を示しているが統計的には有意ではなく、そのため結果から得られる実践的意義のレベルを読者が解釈しなければならないからである。この点で、ある戦略が役立つか中立的な効果を生み、その個人の日々のスケジュールに適しているかどうかを判断することができるのなら、純粋に実践的な観点から、その戦略を採用する価値があるというのが、ISSNの立場である。留意すべきなのは、現実世界のアスレチックパフォーマンスの違いは小さいので、ある程度の利益を提供する戦略でさえまだ実施する価値があるということである。

どんな栄養戦略でもその包括的な目的は、短期そして/あるいは持続的な運動に対する適応反応を促進することであるということをおかかなければならない。ほとんど全てのこのような状況において、このアプローチが、特定の時間に複合の栄養素を受け取るアスリートに、有益であり有害とは示されていない結果をもたらす。この考え方もまた、コーチやアスリートが採用しうるエネルギー補給法を考える際に、より柔軟性を提供するという利点を加える。このアプローチを使う際、どちらの状況（時間を考慮する、あるいは考慮しない栄養摂取）も良い結果を提供する場合には、重要な栄養素を一定量あるタイミングで摂取することで運動に対する生理学的反応をサポートできるなら、

利便性と汎用性を示すどんな戦略にも従うようアスリートに助言するというのが我々の考え方である。

最後に、読者に忘れないでほしいのは、これらのいくつかの基本的な問題を解決するためには、複雑な実験や費用、侵襲性が必要なため、研究はしばしば少人数の研究参加者を採用しているということである。また、大半の研究では、基本的に男性を評価している。この後者のポイントは特に重要で、研究者達は、女性は男性と比べて脂質をより酸化し、さらに内因性のエネルギー源の利用の仕方が異なるように見えると述べている^[28-30]。さらに、潜在的な効果のサイズは小さく、そして小さな潜在的な効果が少人数の研究参加者と組み合わせられた時、統計的な有意性を示す能力は低くなる。それにもかかわらず、この考察は関連性を残している。なぜならば、栄養摂取のタイミングを操る時に期待される個人やグループの変化の可能性をより理解するために、さらに多くの研究が必要であるということを強調するからである。

10. 実用的なアプリケーション Practical applications

- 多くの場合、栄養補給のタイミングの有効性は、本質的に最適なエネルギー補給という概念に結びついている。したがって、適切なエネルギー、炭水化物、およびたんぱく質摂取の重要性は強調されなければならない。というのは、アスリートが最適なパフォーマンスを発揮し、トレーニングに対する潜在的な適応を最大にするためには、適切なエネルギー源を提供された状態を確保する必要があるからである。
- 中等度～高強度 (65-80% VO₂max) での長時間の運動 (>60-90 分) は、内因性の炭水化物貯蔵に大きく依存し、これらの貯蔵量を最大にするタイミング戦略 (炭水化物ローディングやグリコーゲン超回復法) は、回復を促進し、運動による変化を相殺する。
- 高強度の運動 (特に高温多湿の状態) では、積極的な炭水化物と水分の補給が必要である。6-8%の炭水化物溶液 (炭水化物 6-8 g/100 mL) を 1.5-2 杯 (355-437 mL; 12-16 オンス) 摂取することは、体液量を戻し、血糖値を維持しパフォーマンスを高めることに効果的である。練習あるいはトレーニングや競技が 70 分を超えると炭水化物補給の必要性が高まるが、それより短時間での運動では炭水化物補給の必要性は確立されていない。
- 多量の炭水化物 (1.2 g/kg / h) を 4-6 時間の消耗的な運動後すぐに急速に摂取すると、筋グリコーゲンを迅速に補充することができる。
- 炭水化物摂取が 1.2 g/kg / h 未満のとき、たんぱく質 (0.2-0.5 g/kg/h) を追加摂取すると、グリコーゲン再合成率を上昇させる。さらに、追加摂取されたたんぱく質は筋損傷を最小限に抑え、ホルモンバランスを良好にし、激しい運動からの回復を促進する可能性がある。
- 週に大量の運動 (例えば、 ≥ 8 h) を行い、継続的かつ迅速に内因性の貯蔵グリコーゲンを補充する必要があるアスリートに対して、内因性グリコーゲン貯蔵を最大化する最も効果的な戦略は、毎日の食事で炭水化物を多く摂取 (8-12 g/kg/day) することである。
- 約 10-12 g の必須アミノ酸を含む高品質のたんぱく質源を 20-40 g 摂取すると、筋タンパク合成率を最大にし、運動後 3 から 4 時間上昇したままにする。
- 筋力トレーニング中あるいは前後のたんぱく質摂取は、アスリート、特に多量の運動を行う人にとって実践的で賢明な戦略である。筋力トレーニング後にたんぱく質を摂取しないこと (例えば、運動後数時間待つこと) にメリットはない。

- ・数週間にわたるトレーニング期間中に筋力トレーニング中あるいは前後にたんぱく質を摂取すると (炭水化物の有無に関わらず)、運動への適応を高める戦略として作用するだろう。全体的な結果に影響を与える主な要因には、1日の総たんぱく質摂取量、個人のトレーニング状況と最後にたんぱく質を摂取したタイミングがある。
- ・炭水化物と同様に、たんぱく質の摂取タイミングは、毎日至適量 (1.4-2.0 g/kg/day) を摂取することよりも優先順位は低い。
- ・体重減少を目的としてエネルギー摂取を制限する際に、食事頻度を変えることは、身体組成には限られた効果しか示さない。しかし運動プログラムが伴う場合には、食事頻度を増やすことが有益である可能性がある。非アスリートまたはアスリート集団において運動プログラムと組み合わせて食事頻度を変更することの効果については、さらなる調査が必要である。食事の頻度を変えること (運動プログラムは行わない) が、空腹感、食欲および満腹感のコントロールに役立つことは確立されている。
- ・中程度のたんぱく質 (20-40 g または 1 回に 0.25-0.40 g/kg) を 3 から 4 時間ごとに摂取するよう変化させる栄養タイミング戦略は、1 日を通して筋タンパク質合成率を上昇させ、身体組成および身体パフォーマンスの結果を好ましく高める。さらに考慮しなければならないことに、その他の要因、例えば運動刺激の種類、トレーニング状況、たんぱく質の単独摂取に対する混合多量栄養食の摂取もみな、たんぱく質の 1 日を通じた代謝に影響を与えうる可能性がある。
- ・睡眠の 30 分前以内に 30-40 g のカゼインを摂取した場合、筋タンパク質合成率を上昇させ筋力と筋肥大を改善する可能性がある。さらに睡眠前のたんぱく質摂取は、朝の代謝率を増加させ、一方で脂肪代謝速度に対する影響を最小限に抑える可能性がある。加えて、睡眠前のたんぱく質摂取は、日々のたんぱく質必要量を満たす効果的な方法として用いることができ、筋肉の適応のための代謝刺激にもなる。
- ・エネルギー摂取 (すなわち、1 日の総カロリー) のタイミングを変えることは、体重減少、体組成の変化、および健康関連マーカーを改善する可能性がある。特に朝食時により高い割合のカロリーを摂取し、かつ、より多くの量のたんぱく質がこの食事で提供される時にはその効果が大きい。

Acknowledgement

Permission to translate and publish the Japanese-language version of the original English publication [Kerksick CM et al Journal of the International Society of Sports Nutrition (2017) 14:33. doi: 10.1186/s12970-017-0189-4.] was granted by Dr. Jose Antonio, Editor-in-Chief of JISSN.

References

1. Kerksick C, Harvey T, Stout J, Campbell B, Wilborn C, Kreider R, Kalman D, Ziegenfuss T, Lopez H, Landis J, et al. International Society Of Sports Nutrition Position Stand: Nutrient Timing. *J Int Soc Sports Nutr.* 2008;5:17.
2. Sherman WM, Costill DI, Fink WJ, Miller JM. Effect Of Exercise-Diet Manipulation On Muscle Glycogen And Its Subsequent Utilization During Performance. *Int J Sports Med.* 1981;2(2):114-8.
3. Karlsson J, Saltin B. Diet, Muscle Glycogen, And Endurance Performance. *J Appl Physiol.* 1971;31(2):203-6.
4. Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, Coyle EF. Muscle Glycogen Synthesis After Exercise: Effect Of Time Of Carbohydrate Ingestion. *J Appl Physiol.* 1988;64(4):1480-5.
5. 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.
6. Marquet LA, Hausswirth C, Molle O, Hawley JA, Burke LM, Tiollier E, Brisswalter J. Periodization Of Carbohydrate Intake: Short-Term Effect On Performance. *Nutrients.* 2016;8(12):E755.
7. Barry DW, Hansen KC, Van Pelt RE, Witten M, Wolfe P, Kohrt WM. Acute Calcium Ingestion Attenuates Exercise-Induced Disruption Of Calcium Homeostasis. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(4):617-23.
8. Haakonssen EC, Ross ML, Knight EJ, Cato LE, Nana A, Wluka AE, Cicuttini FM, Wang BH, Jenkins DG, Burke LM. The Effects Of A Calcium-Rich Pre-Exercise Meal On Biomarkers Of Calcium Homeostasis In Competitive Female Cyclists: A Randomised Crossover Trial. *PLoS One.* 2015;10(5):E0123302.
9. Shea KL, Barry DW, Sherk VD, Hansen KC, Wolfe P, Kohrt WM. Calcium Supplementation And Pth Response To Vigorous Walking In Postmenopausal Women. *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46(10):2007-13.
10. Sherk VD, Barry DW, Villalon KL, Hansen KC, Wolfe P, Kohrt WM. Timing Of Calcium Supplementation Relative To Exercise Alters The Calcium Homeostatic Response To Vigorous Exercise. San Francisco: Endocrine's Society Annual Meeting; 2013.
11. Fujii T, Matsuo T, Okamura K. The Effects Of Resistance Exercise And Post- Exercise Meal Timing On The Iron Status In Iron-Deficient Rats. *Biol Trace Elem Res.* 2012;147(1-3):200-5.
12. Matsuo T, Kang HS, Suzuki H, Suzuki M. Voluntary Resistance Exercise Improves Blood Hemoglobin Concentration In Severely Iron-Deficient Rats. *J Nutr Sci Vitaminol.* 2002;48(2):161-4.
13. Ryan EJ, Kim CH, Fickes EJ, Williamson M, Muller MD, Barkley JE, Gunstad J, Glickman EL. Caffeine Gum And Cycling Performance: A Timing Study. *J Strength Cond Res.* 2013;27(1):259-64.

14. Antonio J, Ciccone V. The Effects Of Pre Versus Post Workout Supplementation Of Creatine Monohydrate On Body Composition And Strength. *J Int Soc Sports Nutr.* 2013;10(1):36.
15. Candow DG, Chilibeck PD, Facci M, Abeysekara S, Zello GA. Protein Supplementation Before And After Resistance Training In Older Men. *Eur J Appl Physiol.* 2006;97(5):548–56.
16. Cribb PJ, Hayes A. Effects Of Supplement Timing And Resistance Exercise On Skeletal Muscle Hypertrophy. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(11):1918–25.
17. Siegler JC, Marshall PW, Bray J, Towlson C. Sodium Bicarbonate Supplementation And Ingestion Timing: Does It Matter? *J Strength Cond Res.* 2012;26(7):1953–8.
18. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle Glycogen Utilization During Prolonged Strenuous Exercise When Fed Carbohydrate. *J Appl Physiol.* 1986;61(1):165–72.
19. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Lowe RC, Walters TJ. Substrate Usage During Prolonged Exercise Following A Preexercise Meal. *J Appl Physiol.* 1985;59(2):429–33.
20. Tarnopolsky MA, Gibala M, Jeukendrup AE, Phillips SM. Nutritional Needs Of Elite Endurance Athletes. Part I: Carbohydrate And Fluid Requirements. *Eur J Sport Sci.* 2005;5(1):3–14.
21. Dennis SC, Noakes TD, Hawley JA. Nutritional Strategies To Minimize Fatigue During Prolonged Exercise: Fluid, Electrolyte And Energy Replacement. *J Sports Sci.* 1997;15(3):305–13.
22. Robergs RA, Pearson DR, Costill DL, Fink WJ, Pascoe DD, Benedict MA, Lambert CP, Zachweija JJ. Muscle Glycogenolysis During Differing Intensities Of Weight-Resistance Exercise. *J Appl Physiol.* 1991;70(4):1700–6.
23. Gleeson M, Nieman DC, Pedersen BK. Exercise, Nutrition And Immune Function. *J Sports Sci.* 2004;22(1):115–25.
24. 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.
25. Howarth KR, Moreau NA, Phillips SM, Gibala MJ. Coingestion Of Protein With Carbohydrate During Recovery From Endurance Exercise Stimulates Skeletal Muscle Protein Synthesis In Humans. *J Appl Physiol.* 2009;106(4):1394–402.
26. Van Hall G, Shirreffs SM, Calbet JA. Muscle Glycogen Resynthesis During Recovery From Cycle Exercise: No Effect Of Additional Protein Ingestion. *Journal Of Applied Physiology (Bethesda, Md : 1985).* 2000;88(5):1631–6.
27. Van Loon L, Saris WH, Kruijshoop M. Maximizing Postexercise Muscle Glycogen Synthesis: Carbohydrate Supplementation And The Application Of Amino Acid Or Protein Hydrolysate Mixtures. *Am J Clin Nutr.* 2000;72:106–11.
28. Riddell MC, Partington SL, Stupka N, Armstrong D, Rennie C, Tarnopolsky MA. Substrate Utilization During Exercise Performed With And Without Glucose Ingestion In Female And Male Endurance Trained Athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2003;13(4):407–21.
29. Devries MC, Hamadeh MJ, Phillips SM, Tarnopolsky MA. Menstrual Cycle Phase And Sex Influence Muscle Glycogen Utilization And Glucose Turnover During Moderate-Intensity Endurance Exercise. *Am J Phys Regul Integr Comp Phys.* 2006;291(4):R1120–8.

30. Carter SL, Rennie C, Tarnopolsky MA. Substrate Utilization During Endurance Exercise In Men And Women After Endurance Training. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2001;280(6):E898-907.
31. Carter SL, Rennie C, Tarnopolsky MA. Substrate Utilization During Endurance Exercise In Men And Women After Endurance Training. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2001;280(6):E898-907.
32. Wismann J, Willoughby D. Gender Differences In Carbohydrate Metabolism And Carbohydrate Loading. *J Int Soc Sports Nutr.* 2006;3:28-34. Escobar KA, Vandusseldorp TA, Kerksick CM: Carbohydrate Intake And Resistance-Based Exercise: Are Current Recommendations Reflective Of Actual Need. *Brit J Nutr* 2016;In Press. 56.
33. Burke LM, Cox GR, Culmings NK, Desbrow B. Guidelines For Daily Carbohydrate Intake: Do Athletes Achieve Them? *Sports Med.* 2001;31(4): 267-99.
34. Sherman WM, Costill DL, Fink WJ, Hagerman FC, Armstrong LE, Murray TF. Effect Of A 42.2-Km Footrace And Subsequent Rest Or Exercise On Muscle Glycogen And Enzymes. *J Appl Physiol.* 1983;55:1219-24.
35. Bussau VA, Fairchild TJ, Rao A, Steele P, Fournier PA. Carbohydrate Loading In Human Muscle: An Improved 1 Day Protocol. *Eur J Appl Physiol.* 2002; 87(3):290-5.
36. Fairchild TJ, Fletcher S, Steele P, Goodman C, Dawson B, Fournier PA. Rapid Carbohydrate Loading After A Short Bout Of Near Maximal-Intensity Exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(6):980-6.
37. Wright DA, Sherman WM, Dernbach AR. Carbohydrate Feedings Before, During, Or In Combination Improve Cycling Endurance Performance. *J Appl Physiol.* 1991;71(3):1082-8.
38. Neuffer PD, Costill DL, Flynn MG, Kirwan JP, Mitchell JB, Houmard J. Improvements In Exercise Performance: Effects Of Carbohydrate Feedings And Diet. *J Appl Physiol.* 1987;62(3):983-8.
39. Sherman WM, Brodowicz G, Wright DA, Allen WK, Simonsen J, Dernbach A. Effects Of 4 H Preexercise Carbohydrate Feedings On Cycling Performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21(5):598-604.
40. Reed MJ, Brozinick JT Jr, Lee MC, Ivy JL. Muscle Glycogen Storage Postexercise: Effect Of Mode Of Carbohydrate Administration. *J Appl Physiol.* 1989;66(2):720-6.
41. Keizer H, Kuipers H, Van Kranenburg G. Influence Of Liquid And Solid Meals On Muscle Glycogen Resynthesis, Plasma Fuel Hormone Response, And Maximal Physical Working Capacity. *Int J Sports Med.* 1987;8:99-104.
42. Foster C, Costill DL, Fink WJ. Effects Of Preexercise Feedings On Endurance Performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1979;11:1-5.
43. Moseley L, Lancaster GI, Jeukendrup AE. Effects Of Timing Of Pre-Exercise Ingestion Of Carbohydrate On Subsequent Metabolism And Cycling Performance. *Eur J Appl Physiol.* 2003;88(4-5):453-8.
44. Hawley JA, Burke LM. Effect Of Meal Frequency And Timing On Physical Performance. *Br J Nutr.* 1997;77(Suppl 1):S91-103.
45. Galloway SD, Lott MJ, Toulouse LC. Preexercise Carbohydrate Feeding And High-Intensity Exercise Capacity: Effects Of Timing Of Intake And Carbohydrate Concentration. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2014;24(3):258-66.
46. Febbraio MA, Keenan J, Angus DJ, Campbell SE, Garnham AP. Preexercise Carbohydrate Ingestion, Glucose Kinetics, And Muscle Glycogen Use: Effect Of The Glycemic Index. *J Appl Physiol.* 2000;89(5):1845-51.

47. Febbraio MA, Stewart KL. Cho Feeding Before Prolonged Exercise: Effect Of Glycemic Index On Muscle Glycogenolysis And Exercise Performance. *J Appl Physiol.* 1996;81(3):1115–20.
48. Jeukendrup AE. Carbohydrate Intake During Exercise And Performance. *Nutrition.* 2004;20(7-8):669–77.
49. Jeukendrup AE. Carbohydrate Feeding During Exercise. *Eur J Sport Sci.* 2008; 8(2):77–86.
50. Fielding RA, Costill DL, Fink WJ, King DS, Hargreaves M, Kowaleski JE. Effect Of Carbohydrate Feeding Frequencies And Dosage On Muscle Glycogen Use During Exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1985;17(4):472–6.
51. Schweitzer GG, Smith JD, Lecheminant JD. Timing Carbohydrate Beverage Intake During Prolonged Moderate Intensity Exercise Does Not Affect Cycling Performance. *Int J Exerc Sci.* 2009;2(1):4–18.
52. Heesch MW, Mieras ME, Slivka DR. The Performance Effect Of Early Versus Late Carbohydrate Feedings During Prolonged Exercise. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2014;39(1):58–63.
53. Widrick JJ, Costill DL, Fink WJ, Hickey MS, Mcconell GK, Tanaka H. Carbohydrate Feedings And Exercise Performance: Effect Of Initial Muscle Glycogen Concentration. *J Appl Physiol.* 1993;74(6):2998–3005.
54. Febbraio MA, Chiu A, Angus DJ, Arkinstall MJ, Hawley JA. Effects Of Carbohydrate Ingestion Before And During Exercise On Glucose Kinetics And Performance. *J Appl Physiol.* 2000;89(6):2220–6.
55. Newell ML, Hunter AM, Lawrence C, Tipton KD, Galloway SD. The Ingestion Of 39 Or 64 G.H(-1) Of Carbohydrate Is Equally Effective At Improving Endurance Exercise Performance In Cyclists. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2015;25(3):285–92.
56. 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.
57. 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.
58. Phillips SM, Sproule J, Turner AP. Carbohydrate Ingestion During Team Games Exercise: Current Knowledge And Areas For Future Investigation. *Sports Med.* 2011;41(7):559–85.
59. Clarke ND, Drust B, Maclaren DP, Reilly T. Fluid Provision And Metabolic Responses To Soccer-Specific Exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2008;104(6):1069–77.
60. Mizuno S, Kojima C, Goto K. Timing Of Carbohydrate Ingestion Did Not Affect Inflammatory Response And Exercise Performance During Prolonged Intermittent Running. *Spring.* 2016;5:506.
61. Ivy JL. Glycogen Resynthesis After Exercise: Effect Of Carbohydrate Intake. *Int J Sports Med.* 1998;19(Suppl 2):S142–5.
62. Jentjens R, Jeukendrup A. Determinants Of Post-Exercise Glycogen Synthesis During Short-Term Recovery. *Sports Med.* 2003;33(2):117–44.
63. 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.
64. Jentjens R, Jeukendrup AE. Determinants Of Post-Exercise Glycogen Synthesis During Short-Term Recovery. *Sports Med.* 2003;33:117–44.
65. Nieman DC, Davis JM, Henson DA, Gross SJ, Dumke CL, Utter AC, Vinci DM, Carson JA, Brown A, Mcanulty SR,

- et al. Muscle Cytokine Mrna Changes After 2.5 H Of Cycling: Influence Of Carbohydrate. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(8):1283-90.
66. Nieman DC, Davis JM, Henson DA, Walberg-Rankin J, Shute M, Dumke CL, Utter AC, Vinci DM, Carson JA, Brown A, et al. Carbohydrate Ingestion Influences Skeletal Muscle Cytokine Mrna And Plasma Cytokine Levels After A 3-H Run. *J Appl Physiol.* 2003;94(5):1917-25.
67. Nicholas CW, Green PA, Hawkins RD. Carbohydrate Intake And Recovery Of Intermittent Running Capacity. *Int J Sport Nutr.* 1997;7:251-60.
68. NMacdougall JD, Ray S, Sale DG, McCartney N, Lee P, Garner S. Muscle Substrate Utilization And Lactate Production. *Can J Appl Physiol.* 1999; 24(3):209-15.
69. Tesch PA, Colliander EB, Kaiser P. Muscle Metabolism During Intense, Heavy- Resistance Exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;55(4):362-6.
70. Pascoe DD, Costill DL, Fink WJ, Robergs RA, Zachwieja JJ. Glycogen Resynthesis In Skeletal Muscle Following Resistive Exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25(3):349-54.
71. Haff GG, Stone MH, Warren BJ, Keith R, Johnson RL, Nieman DC, Williams F, Kirsey KB. The Effect Of Carbohydrate Supplementation On Multiple Sessions And Bouts Of Resistance Exercise. *J Strength Cond Res.* 1999; 13(2):111-7.
72. Dalton RA, Rankin JW, Sebolt D, Gwazdauskas F. Acute Carbohydrate Consumption Does Not Influence Resistance Exercise Performance During Energy Restriction. *Int J Sport Nutr.* 1999;9(4):319-32.
73. Haff GG, Koch AJ, Potteiger JA, Kuphal KE, Magee LM, Green SB, Jakicic JJ. Carbohydrate Supplementation Attenuates Muscle Glycogen Loss During Acute Bouts Of Resistance Exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2000; 10(3):326-39.
74. Kulik JR, Touchberry CD, Kawamori N, Blumert PA, Crum AJ, Haff GG. Supplemental Carbohydrate Ingestion Does Not Improve Performance Of High-Intensity Resistance Exercise. *J Strength Cond Res.* 2008;22(4):1101-7.
75. Yaspelkis BB, Patterson JG, Anderla PA, Ding Z, Ivy JL. Carbohydrate Supplementation Spares Muscle Glycogen During Variable-Intensity Exercise. *J Appl Physiol.* 1993;75(4):1477-85.
76. Jeukendrup AE, Jentjens R, Moseley L. Nutritional Considerations In Triathlon. *Sports Med.* 2005;35(2):163-81.
77. Ivy JL, Res PT, Sprague RC, Widzer MO. Effect Of A Carbohydrate-Protein Supplement On Endurance Performance During Exercise Of Varying Intensity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2003;13(3):382-95.
78. 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.
79. 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.
80. Mclellan TM, Pasiakos SM, Lieberman HR. Effects Of Protein In Combination With Carbohydrate Supplements On Acute Or Repeat Endurance Exercise Performance: A Systematic Review. *Sports Med.* 2014;44(4):535-50.
81. Rustad PL, Sailer M, Cumming KT, Jeppesen PB, Kolnes KJ, Sollie O, Franch J, Ivy JL, Daniel H, Jensen J. Intake Of Protein Plus Carbohydrate During The First Two Hours After Exhaustive Cycling Improves Performance The

- Following Day. PLoS One. 2016;11(4):E0153229.
82. Ivy JL, Goforth HW Jr, Damon BM, Mccauley TR, Parsons EC, Price TB. Early Postexercise Muscle Glycogen Recovery Is Enhanced With A Carbohydrate- Protein Supplement. *Journal Of Applied Physiology* (Bethesda, Md : 1985). 2002;93(4):1337-44.
 83. 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.
 84. Berardi JM, Noreen EE, Lemon PW. Recovery From A Cycling Time Trial Is Enhanced With Carbohydrate-Protein Supplementation Vs. Isoenergetic Carbohydrate Supplementation. *J Int Soc Sports Nutr*. 2008;5:24.
 85. Berardi JM, Price TB, Noreen EE, Lemon PW. Postexercise Muscle Glycogen Recovery Enhanced With A Carbohydrate-Protein Supplement. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(6):1106-13.
 86. Howarth KR, Moreau NA, Phillips SM, Gibala MJ. Co-Ingestion Of Protein With Carbohydrate During Recovery From Endurance Exercise Stimulates Skeletal Muscle Protein Synthesis In Humans. *J Appl Physiol*. 2008;106(4):1394-402.
 87. Kraemer WJ, Hatfield DL, Spiering BA, Vingren JL, Fragala MS, Ho JY, Volek JS, Anderson JM, Maresh CM. Effects Of A Multi-Nutrient Supplement On Exercise Performance And Hormonal Responses To Resistance Exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2007;101(5):637-46.
 88. Baty JJ, Hwang H, Ding Z, Bernard JR, Wang B, Kwon B, Ivy JL. The Effect Of A Carbohydrate And Protein Supplement On Resistance Exercise Performance, Hormonal Response, And Muscle Damage. *J Strength Cond Res*. 2007;21(2):321-9.
 89. Tipton KD, Rasmussen BB, Miller SL, Wolf SE, Owens-Stovall SK, Petrini BE, Wolfe RR. Timing Of Amino Acid-Carbohydrate Ingestion Alters Anabolic Response Of Muscle To Resistance Exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2001;281(2):E197-206.
 90. Fujita S, Dreyer HC, Drummond MJ, Glynn EL, Volpi E, Rasmussen BB. Essential Amino Acid And Carbohydrate Ingestion Before Resistance Exercise Does Not Enhance Postexercise Muscle Protein Synthesis. *J Appl Physiol* (1985). 2009;106(5):1730-9.
 91. White JP, Wilson JM, Austin KG, Greer BK, St John N, Panton LB. Effect Of Carbohydrate-Protein Supplement Timing On Acute Exercise-Induced Muscle Damage. *J Int Soc Sports Nutr*. 2008;5:5.
 92. Beelen M, Koopman R, Gijzen AP, Vandereydt H, Kies AK, Kuipers H, Saris WH, Van Loon LJ. Protein Coingestion Stimulates Muscle Protein Synthesis During Resistance-Type Exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2008;295(1):E70-7.
 93. Bird SP, Mabon T, Pryde M, Feebrey S, Cannon J. Triphasic Multinutrient Supplementation During Acute Resistance Exercise Improves Session Volume Load And Reduces Muscle Damage In Strength-Trained Athletes. *Nutr Res*. 2013;33(5):376-87.
 94. Bird SP, Tarpinning KM, Marino FE. Effects Of Liquid Carbohydrate/Essential Amino Acid Ingestion On Acute Hormonal Response During A Single Bout Of Resistance Exercise In Untrained Men. *Nutrition*. 2006;22(4):367-75.
 95. Bird SP, Tarpinning KM, Marino FE. Liquid Carbohydrate/Essential Amino Acid Ingestion During A Short-Term

- Bout Of Resistance Exercise Suppresses Myofibrillar Protein Degradation. *Metab Clin Exp.* 2006;55(5):570–7.
96. Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. Independent And Combined Effects Of Liquid Carbohydrate/Essential Amino Acid Ingestion On Hormonal And Muscular Adaptations Following Resistance Training In Untrained Men. *Eur J Appl Physiol.* 2006;97(2):225–38.
97. 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.
98. Buford TW, Kreider RB, Stout JR, Greenwood M, Campbell B, Spano M, Ziegenfuss T, Lopez H, Landis J, Antonio J. International Society Of Sports Nutrition Position Stand: Creatine Supplementation And Exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* 2007;4:6.
99. Kreider RB. Effects Of Creatine Supplementation On Performance And Training Adaptations. *Mol Cell Biochem.* 2003;244(1-2):89–94.
100. Kreider RB, Ferreira M, Wilson M, Grindstaff P, Plisk S, Reinardy J, Cantler E, Al A. Effects Of Creatine Supplementation On Body Composition, Strength, And Sprint Performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(1):73–82.
101. Abdulla H, Smith K, Atherton PJ, Idris I. Role Of Insulin In The Regulation Of Human Skeletal Muscle Protein Synthesis And Breakdown: A Systematic Review And Meta-Analysis. *Diabetologia.* 2016;59(1):44–55.
102. Greenhaff PL, Karagounis LG, Peirce N, Simpson EJ, Hazell M, Layfield R, Wackerhage H, Smith K, Atherton P, Selby A, et al. Disassociation Between The Effects Of Amino Acids And Insulin On Signaling, Ubiquitin Ligases, And Protein Turnover In Human Muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2008; 295(3):E595–604.
103. Rennie MJ, Bohe J, Smith K, Wackerhage H, Greenhaff P. Branched-Chain Amino Acids As Fuels And Anabolic Signals In Human Muscle. *J Nutr.* 2006; 136(1 Suppl):264s–8s.
104. Power O, Hallihan A, Jakeman P. Human Insulinotropic Response To Oral Ingestion Of Native And Hydrolysed Whey Protein. *Amino Acids.* 2009;37(2): 333–9.
105. 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.
106. 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.
107. Pasiakos SM, McClung HL, McClung JP, Margolis LM, Andersen NE, Cloutier GJ, Pikosky MA, Rood JC, Fielding RA, Young AJ. Leucine-Enriched Essential Amino Acid Supplementation During Moderate Steady State Exercise Enhances Postexercise Muscle Protein Synthesis. *Am J Clin Nutr.* 2011;94(3): 809–18.
108. Tipton KD, Elliott TA, Cree MG, Aarsland AA, Sanford AP, Wolfe RR. Stimulation Of Net Muscle Protein Synthesis By Whey Protein Ingestion Before And After Exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2007;292(1):E71– 6.
109. Andersen LL, Tufekovic G, Zebis MK, Cramer RM, Verlaan G, Kjaer M, Suetta C, Magnusson P, Aagaard P. The Effect Of Resistance Training Combined With Timed Ingestion Of Protein On Muscle Fiber Size And Muscle Strength. *Metab Clin Exp.* 2005;54(2):151–6.
110. Hoffman JR, Ratamess NA, Tranchina CP, Rashti SL, Kang J, Faigenbaum AD. Effect Of Protein-Supplement

- Timing On Strength, Power, And Body- Composition Changes In Resistance-Trained Men. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2009;19(2):172–85.
111. Delmonico MJ, Kostek MC, Johns J, Hurley BF, Conway JM. Can Dual Energy X-Ray Absorptiometry Provide A Valid Assessment Of Changes In Thigh Muscle Mass With Strength Training In Older Adults? *Eur J Clin Nutr.* 2008; 62(12):1372–8.
112. Schoenfeld BJ, Aragon A, Wilborn C, Urbina S, Hayward SB, Krieger JW. Pre- Versus Post-Exercise Protein Intake Has Similar Effects On Muscular Adaptations. *Peer J.* 2016;3(5):e2825.
113. Ayers K, Pazmino-Cevallos M, Dohose C. The 20-Hour Rule: Student-Athletes Time Commitment To Athletics And Academics. *Vahperd Journal.* 2012; 33(1):22.
114. 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.
115. West DW, Burd NA, Coffey VG, Baker SK, Burke LM, Hawley JA, Moore DR, Stellingwerff T, Phillips SM. Rapid Aminoacidemia Enhances Myofibrillar Protein Synthesis And Anabolic Intramuscular Signaling Responses After Resistance Exercise. *Am J Clin Nutr.* 2011;94(3):795–803.
116. 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.
117. Fujita S, Dreyer HC, Drummond MJ, Glynn EL, Cadenas JG, Yoshizawa F, Volpi E, Rasmussen BB. Nutrient Signalling In The Regulation Of Human Muscle Protein Synthesis. *J Physiol.* 2007;582(Pt 2):813–23.
118. Bohe J, Low JF, Wolfe RR, Rennie MJ. Latency And Duration Of Stimulation Of Human Muscle Protein Synthesis During Continuous Infusion Of Amino Acids. *J Physiol.* 2001;532(Pt 2):575–9.
119. Burd NA, West DW, Moore DR, Atherton PJ, Staples AW, Prior T, Tang JE, Rennie MJ, Baker SK, Phillips SM. Enhanced Amino Acid Sensitivity Of Myofibrillar Protein Synthesis Persists For Up To 24 H After Resistance Exercise In Young Men. *J Nutr.* 2011;141(4):568–73.
120. 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.
121. 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.
122. Esmarck B, Andersen JL, Olsen S, Richter EA, Mizuno M, Kjaer M. Timing Of Postexercise Protein Intake Is Important For Muscle Hypertrophy With Resistance Training In Elderly Humans. *J Physiol.* 2001;535(Pt 1):301–11.
123. Borde R, Hortobagyi T, Granacher U. Dose-Response Relationships Of Resistance Training In Healthy Old Adults: A Systematic Review And Meta- Analysis. *Sports Med.* 2015;45(12):1693–720.
124. Schoenfeld BJ, Aragon A, Wilborn C, Urbina SL, Hayward SE, Krieger J. Pre- Versus Post-Exercise Protein Intake

- Has Similar Effects On Muscular Adaptations. *Peerj*. 2017;5:E2825.
125. Aragon AA, Schoenfeld BJ. Nutrient Timing Revisited: Is There A Post- Exercise Anabolic Window? *J Int Soc Sports Nutr*. 2013;10(1):5.
126. Schoenfeld BJ, Aragon AA, Krieger JW. The Effect Of Protein Timing On Muscle Strength And Hypertrophy: A Meta-Analysis. *J Int Soc Sports Nutr*. 2013;10(1):53.
127. Morton RW, Mcglory C, Phillips SM. Nutritional Interventions To Augment Resistance Training-Induced Skeletal Muscle Hypertrophy. *Front Physiol*. 2015;6:245.
128. 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. *Phys Rep*. 2016;4(15):e12893.
129. Arciero PJ, Ives SJ, Norton C, Escudero D, Minicucci O, O'brien G, Paul M, Ormsbee MJ, Miller V, Sheridan C, et al. Protein-Pacing And Multi- Component Exercise Training Improves Physical Performance Outcomes In Exercise-Trained Women: The Prise 3 Study. *Nutrients*. 2016;8(6):E332.
130. Ives SJ, Norton C, Miller V, Minicucci O, Robinson J, O'brien G, Escudero D, Paul M, Sheridan C, Curran K, et al. Multi-Modal Exercise Training And Protein-Pacing Enhances Physical Performance Adaptations Independent Of Growth Hormone And Bdnf But May Be Dependent On Igf-1 In Exercise- Trained Men. *Growth Hormon IGF Res*. 2017;32:60–70.
131. Keim NL, Van Loan MD, Horn WF, Barbieri TF, Mayclin PL. Weight Loss Is Greater With Consumption Of Large Morning Meals And Fat-Free Mass Is Preserved With Large Evening Meals In Women On A Controlled Weight Reduction Regimen. *J Nutr*. 1997;127(1):75–82.
132. De Castro JM. The Time Of Day Of Food Intake Influences Overall Intake In Humans. *J Nutr*. 2004;134(1):104–11.
133. De Castro JM. The Time Of Day And The Proportions Of Macronutrients Eaten Are Related To Total Daily Food Intake. *Br J Nutr*. 2007;98(5):1077–83.
134. Wu T, Sun L, Zhuge F, Guo X, Zhao Z, Tang R, Chen Q, Chen L, Kato H, Fu Z. Differential Roles Of Breakfast And Supper In Rats Of A Daily Three-Meal Schedule Upon Circadian Regulation And Physiology. *Chronobiol Int*. 2011; 28(10):890–903.
135. Loboda A, Kraft WK, Fine B, Joseph J, Nebozhyn M, Zhang C, He Y, Yang X, Wright C, Morris M, et al. Diurnal Variation Of The Human Adipose Transcriptome And The Link To Metabolic Disease. *BMC Med Genet*. 2009;2: 7.
136. Ma Y, Bertone ER, Stanek EJ 3rd, Reed GW, Hebert JR, Cohen NL, Merriam PA, Ockene IS. Association Between Eating Patterns And Obesity In A Free- Living Us Adult Population. *Am J Epidemiol*. 2003;158(1):85–92.
137. Jakubowicz D, Barnea M, Wainstein J, Froy O. High Caloric Intake At Breakfast Vs. Dinner Differentially Influences Weight Loss Of Overweight And Obese Women. *Obesity (Silver Spring)*. 2013;21(12):2504–12.
138. Fabry P, Hejl Z, Fodor J, Braun T, Zvolankova K. The Frequency Of Meals. Its Relation To Overweight, Hypercholesterolaemia, And Decreased Glucose- Tolerance. *Lancet*. 1964;2(7360):614–5.
139. Hejda S, Fabry P. Frequency Of Food Intake In Relation To Some Parameters Of The Nutritional Status. *Nutr Dieta Eur Rev Nutr Diet*. 1964;64:216–28.

140. Metzner HL, Lamphiear DE, Wheeler NC, Larkin FA. The Relationship Between Frequency Of Eating And Adiposity In Adult Men And Women In The Tecumseh Community Health Study. *Am J Clin Nutr.* 1977;30(5):712-5.
141. Farshchi HR, Taylor MA, Macdonald IA. Beneficial Metabolic Effects Of Regular Meal Frequency On Dietary Thermogenesis, Insulin Sensitivity, And Fasting Lipid Profiles In Healthy Obese Women. *Am J Clin Nutr.* 2005;81(1): 16-24.
142. Cameron JD, Cyr MJ, Doucet E. Increased Meal Frequency Does Not Promote Greater Weight Loss In Subjects Who Were Prescribed An 8-Week Equi-Energetic Energy-Restricted Diet. *Br J Nutr.* 2010;103(8):1098-101.
143. Alencar MK, Beam JR, McCormick JJ, White AC, Salgado RM, Kravitz LR, Mermier CM, Gibson AL, Conn CA, Kolkmeier D, et al. Increased Meal Frequency Attenuates Fat-Free Mass Losses And Some Markers Of Health Status With A Portion-Controlled Weight Loss Diet. *Nutr Res.* 2015;35(5):375-83.
144. Kulovitz MG, Kravitz LR, Mermier C, Gibson AL, Conn CA, Kolkmeier D, Kerksick CM. Potential Role Of Meal Frequency As A Strategy For Weight Loss And Health In Overweight Or Obese Adults. *Nutrition.* 2014;30(4):386-92.
145. Schoenfeld BJ, Aragon AA, Krieger JW. Effects Of Meal Frequency On Weight Loss And Body Composition: A Meta-Analysis. *Nutr Rev.* 2015;73(2):69-82.
146. La Bounty PM, Campbell BI, Wilson J, Galvan E, Berardi J, Kleiner SM, Kreider RB, Stout JR, Ziegenfuss T, Spano M, et al. International Society Of Sports Nutrition Position Stand: Meal Frequency. *J Int Soc Sports Nutr.* 2011;8:4.
147. Phillips SM. The Science Of Muscle Hypertrophy: Making Dietary Protein Count. *Proc Nutr Soc.* 2011;70(1):100-3.
148. Phillips SM. A Brief Review Of Critical Processes In Exercise-Induced Muscular Hypertrophy. *Sports Med.* 2014;44(Suppl 1):S71-7.
149. Moore DR, Areta J, Coffey VG, Stellingwerff T, Phillips SM, Burke LM, Cleroux M, Godin JP, Hawley JA. Daytime Pattern Of Post-Exercise Protein Intake Affects Whole-Body Protein Turnover In Resistance-Trained Males. *Nutr Metab (Lond).* 2012;9(1):91.
150. Areta JL, Burke LM, Ross ML, Camera DM, West DW, Broad EM, Jeacocke NA, Moore DR, Stellingwerff T, Phillips SM, et al. Timing And Distribution Of Protein Ingestion During Prolonged Recovery From Resistance Exercise Alters Myofibrillar Protein Synthesis. *J Physiol.* 2013;591(9):2319-31.
151. 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.
152. Arciero PJ, Baur D, Connelly S, Ormsbee MJ. Timed-Daily Ingestion Of Whey Protein And Exercise Training Reduces Visceral Adipose Tissue Mass And Improves Insulin Resistance: The Prise Study. *Journal Of Applied Physiology (Bethesda, Md : 1985).* 2014;117(1):1-10.
153. Arciero PJ, Edmonds RC, Bunsawat K, Gentile CL, Ketcham C, Darin C, Renna M, Zheng Q, Zhang JZ, Ormsbee MJ. Protein-Pacing From Food Or Supplementation Improves Physical Performance In Overweight Men And Women: The Prise 2 Study. *Nutrients.* 2016;8(5):E288.

154. Arciero PJ, Gentile CL, Martin-Pressman R, Ormsbee MJ, Everett M, Zwicky L, Steele CA. Increased Dietary Protein And Combined High Intensity Aerobic And Resistance Exercise Improves Body Fat Distribution And Cardiovascular Risk Factors. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2006;16(4):373–92.
155. Arciero PJ, Gentile CL, Pressman R, Everett M, Ormsbee MJ, Martin J, Santamore J, Gorman L, Fehling PC, Vukovich MD, et al. Moderate Protein Intake Improves Total And Regional Body Composition And Insulin Sensitivity In Overweight Adults. *Metab Clin Exp.* 2008;57(6):757–65.
156. Ruby M, Repka CP, Arciero PJ. Comparison Of Protein-Pacing Alone Or With Yoga/Stretching And Resistance Training On Glycemia, Total And Regional Body Composition, And Aerobic Fitness In Overweight Women. *J Phys Act Health.* 2016;13(7):754–64.
157. Arciero PJ, Ormsbee MJ, Gentile CL, Nindl BC, Brestoff JR, Ruby M. Increased Protein Intake And Meal Frequency Reduces Abdominal Fat During Energy Balance And Energy Deficit. *Obesity (Silver Spring).* 2013;21(7):1357–66.
158. Arciero PJ, Edmonds R, He F, Ward E, Gumpricht E, Mohr A, Ormsbee MJ, Astrup A. Protein-Pacing Caloric-Restriction Enhances Body Composition Similarly In Obese Men And Women During Weight Loss And Sustains Efficacy During Long-Term Weight Maintenance. *Nutrients.* 2016;8(8):E476.
159. Millward DJ. A Protein-Stat Mechanism For Regulation Of Growth And Maintenance Of The Lean Body Mass. *Nutr Res Rev.* 1995;8(1):93–120.
160. Atherton PJ, Etheridge T, Watt PW, Wilkinson D, Selby A, Rankin D, Smith K, Rennie MJ. Muscle Full Effect After Oral Protein: Time-Dependent Concordance And Discordance Between Human Muscle Protein Synthesis And Mtorc1 Signaling. *Am J Clin Nutr.* 2010;92(5):1080–8.
161. Atherton PJ, Smith K. Muscle Protein Synthesis In Response To Nutrition And Exercise. *J Physiol.* 2012;590(5):1049–57.
162. Baron KG, Reid KJ, Kern AS, Zee PC. Role Of Sleep Timing In Caloric Intake And Bmi. *Obesity (Silver Spring).* 2011;19(7):1374–81.
163. Ormsbee MJ, Gorman KA, Miller EA, Baur DA, Eckel LA, Contreras RJ, Panton LB, Spicer MT. Nighttime Feeding Likely Alters Morning Metabolism But Not Exercise Performance In Female Athletes. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016; 41(7):719–27.
164. Zwaan M, Burgard MA, Schenck CH, Mitchell JE. Night Time Eating: A Review Of The Literature. *Eur Eat Disord Rev.* 2003;11:7–24.
165. Kinsey AW, Ormsbee MJ. The Health Impact Of Nighttime Eating: Old And New Perspectives. *Nutrients.* 2015;7(4):2648–62.
166. Trommelen J, Van Loon LJ. Pre-Sleep Protein Ingestion To Improve The Skeletal Muscle Adaptive Response To Exercise Training. *Nutrients.* 2016; 8(12):E763.
167. Res P, Groen B, Pennings B, Beelen M, Wallis GA, Gijzen AP, Senden JM, Vanl LJ. Protein Ingestion Before Sleep Improves Postexercise Overnight Recovery. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(8):1560–9.
168. Groen BB, Res PT, Pennings B, Hertle E, Senden JM, Saris WH, Van Loon LJ. Intra-gastric Protein Administration Stimulates Overnight Muscle Protein Synthesis In Elderly Men. *Am J Physiol Endocrinol Metab.*

- 2012;302(1):E52-60.
169. Madzima TA, Panton LB, Fretti SK, Kinsey AW, Ormsbee MJ. Night-Time Consumption Of Protein Or Carbohydrate Results In Increased Morning Resting Energy Expenditure In Active College-Aged Men. *Br J Nutr.* 2014; 111(1):71-7.
 170. Kinsey AW, Eddy WR, Madzima TA, Panton LB, Arciero PJ, Kim JS, Ormsbee MJ. Influence Of Night-Time Protein And Carbohydrate Intake On Appetite And Cardiometabolic Risk In Sedentary Overweight And Obese Women. *Br J Nutr.* 2014;112(3):320-7.
 171. Kinsey AW, Cappadona SR, Panton LB, Allman BR, Contreras RJ, Hickner RC, Ormsbee MJ. The Effect Of Casein Protein Prior To Sleep On Fat Metabolism In Obese Men. *Nutrients.* 2016;8(8):E452.
 172. Ormsbee MJ, Kinsey AW, Eddy WR, Madzima TA, Arciero PJ, Figueroa A, Panton LB. The Influence Of Nighttime Feeding Of Carbohydrate Or Protein Combined With Exercise Training On Appetite And Cardiometabolic Risk In Young Obese Women. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015;40(1):37-45.
 173. Figueroa A, Wong A, Kinsey A, Kalfon R, Eddy W, Ormsbee MJ. Effects Of Milk Proteins And Combined Exercise Training On Aortic Hemodynamics And Arterial Stiffness In Young Obese Women With High Blood Pressure. *Am J Hypertens.* 2014;27(3):338-44.
 174. Snijders T, Res P, Smeets JS, Van Vliet S, Van Kranenburg J, Maase K, Kies AK, Verdijk LB, Van Loon LJ. Protein Ingestion Before Sleep Increases Muscle Mass And Strength Gains During Prolonged Resistance-Type Exercise Training In Healthy Young Men. *J Nutr.* 2015;145(6):1178-84.
 175. Antonio J, Ellerbroek A, Peacock C, Silver T. Casein Protein Supplementation In Trained Men And Women: Morning Versus Evening. *Int J Exerc Sci.* 2017; 10(3):479-86.

訳注

本論文は、国際スポーツ栄養学会が学会誌 Journal of International Society of Sports Nutrition に 2017 年 8 月 29 日に発表した見解声明 (Position Stand) 1) の日本語訳であり、スポーツ栄養勉強会 (すぽべん) が、国際スポーツ栄養学会の許諾を受けて制作した。

1. 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 Aug 29;14:33. doi: 10.1186/s12970-017-0189-4.

訳注 1 train low, perform high: トレーニング時は低く、試合では高く

訳注 2 文献 12 は鉄の摂取タイミングに関する研究ではない

訳注 3 エルゴジェニックエイド: 運動能力を向上させる物質や手段

訳注 4 最大反復回数負荷 (RM): ウェイトトレーニングで、その人が繰り返し関節運動を行うことができる最大の負荷。6-20 RM は 6 回から 20 回を挙上可能な負荷強度。

訳注 5 レジスタンストレーニング: 抵抗負荷トレーニング。一般的にマシンなどを用いた筋力トレーニングを意味する。

訳注 6 ストレングス: 筋力や筋力の強さ

訳注 7 ウィンゲート嫌気性試験: 自転車エルゴメータを用いて無酸素性エネルギー量を評価する測定方法。体重の 7.5% の抵抗負荷 (非活動的な成人男性の場合) を与えて 30 秒間全力で自転車エルゴメータを駆動させ、その平均パワーを代表値とする。

訳注 8 反跳性低血糖: 運動前に高グリセミックインデックスな炭水化物を摂取すると約 30 分後に血中グルコースとインスリンはピークとなるが、運動をすると筋肉によるグルコース取り込みが促進する。インスリンと運動によるグルコース取り込みが組み合わせられることで血糖値が低下する。この現象を「反跳性低血糖」という。

訳注 9 GLUT - 4 トランスポーター: グルコーストランスポーターのひとつ。脂肪組織と横紋筋 (骨格筋および心筋) に存在しインスリンに反応して細胞内から細胞膜に移動しグルコースの取り込みを行う。

- 訳注 10 文献 43 は、グルコース 75g を運動の 15 分前、45 分前、75 分前に摂取して、血漿グルコース、インスリン、パフォーマンスを調べた結果、運動開始時のグルコースもインスリンも 15 分前摂取が 45 分前摂取、75 分前摂取に比べて有意に高かったが、パフォーマンスに有意な差はなかったというもの。ちなみにグルコースもインスリンも運動を開始して 10 分以内に差がなくなった。また、最初の 10 分で低血糖の者が 15 分前摂取、45 分前摂取、75 分前摂取にそれぞれ 2 人、3 人、5 人出たが、運動に影響はなかった。
- 訳注 11 文献 54 には、「d) SS 運動中に 6.4%炭水化物溶液 (2 g/kg)」に相当する条件はなく、運動前も運動中も電解質溶液のプラセボのみを摂取する条件がある。
- 訳注 12 間欠的スポーツ (intermittent sports): サッカーやラグビーのように、急激なダッシュやジャンプなどの高強度運動と歩行やジョギングなどの低強度運動が、ある程度の時間にわたって複合的に繰り返されるスポーツのこと
- 訳注 13 文献 61 は Ivy のレビューであり、『ivy ら』の研究ではなく、実験条件は書いていない。この箇所は、文献 61 のレビューで引用されている下記の論文の内容が書いてあると思われる。
Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, Coyle EF. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol.* Apr;64(4):1480-5 (1988).
原文では、『サイクリング運動 (68% VO₂max で 70 min の後、88% VO₂max で 6 × 2-min intervals)』とされているが、上記の論文では、68% VO₂max で 8 分に続いて 88% VO₂max で 2 分の合計 10 分間のサイクリングを 6 回繰り返したのち、68% VO₂max で 10 分の合計 70 分間のサイクリング運動を行わせているので、そちらに合わせて書き直した。
- 訳注 14 マイクロダイアリシス: 脂肪組織に微小透析膜を備えた probe を慢性留置し、脂肪組織から放出されるグリセロールを測定する方法。
- 訳注 15 文献 142 では軽食のエネルギーは 203 (SD 49) kcal (範囲: 143 ~ 253 kcal)。
- 訳注 16 文献 169 に示されている呼吸商は、プラセボ、カゼインが 0.76 で、デキストリン、ホエイプロテインが 0.77 である。統計的には有意であるが、差は 0.01 しかない。

Authors' contributions

CMK prepared and compiled the draft for initial review and incorporated all suggested edits into the final draft. BJS, SMA, and JRS completed an initial review and provided significant edits and additional content before review and approval of other authors. All other authors reviewed, suggested edits, and approved the final manuscript.

Ethics approval and consent to participate

This paper was reviewed by the International Society of Sports Nutrition Research Committee and represents the official position of the Society.

Consent for publication Not applicable.

Competing interests

CMK consults with and receives external funding from companies who sell supplemental protein, has received remuneration from companies for delivering scientific presentations at conferences and writes online, print and other media on topics related to exercise, nutrition and protein for related companies. Has served as an expert witness and provided testimonies related to exercise, supplementation, and nutrition.

BJS has no conflicts to report.

SMA has received grants to evaluate the efficacy of dietary supplements and has previously served on scientific advisory boards for a sports nutrition company.

JRS has received grants to evaluate the efficacy of dietary supplements and has previously served on scientific advisory boards for a sports nutrition companies.

BIC writes and is compensated for various media outlets on topics related to sports nutrition and fitness; has received funding for research related to dietary supplements; serves on an advisory board for a sports nutrition company and is compensated in product donations.

CDW has received external funding from supplement companies to do research, served on multiple advisory boards for supplement companies, and has served as a consultant, advisor, and spokesperson for various nutrition companies.

LT has received external funding to evaluate the efficacy of dietary supplements and has previously served in a consulting role for sports nutrition companies.

DSK works for a contract research organization that does conduct clinical trials for dietary supplement and pharmaceutical companies.

ASR has received grants to evaluate the efficacy of dietary supplements and serves on the scientific advisory board for sports nutrition companies.

RBK has received externally-funded grants from industry to conduct research on protein and protein containing supplements, serves as a scientific and legal consultant, and is a university approved scientific advisor for Nutrabolt. DSW has received grants to evaluate the efficacy of dietary supplements, serves on a scientific

advisory board for a sports nutrition company, and as scientific consultant, and has received remuneration from a company for delivering scientific presentations at conferences.

PJA consults with and receives external funding from nutrition supplement companies; has received remuneration from health and wellness companies for presenting at conferences; serves as an advisory board member of governing organizations in healthcare and nutrition supplement companies; serves as a paid consultant to the nutrition supplement industry; serves as Founder and CEO of PRISE LLC a health and wellness consultant company that owns the GenioFit App.

TAV has received grants to evaluate the efficacy of dietary supplements.

MJO is on the advisory board for Dymatize Nutrition and has received external funding from companies who sell nutritional supplements.

RW serves as Chief Science Officer for Post Active Nutrition, St Louis MO. MG has received external funding and nutritional product from companies who sell protein supplements and has received remuneration from companies for presenting scientific based nutritional supplement and exercise research at professional conferences.

TNZ has received external funding from companies who sell protein supplements, has received remuneration from companies for delivering scientific presentations at conferences, and authors online articles related to exercise, nutrition and protein. He has also served as an expert witness and provided testimonies related to exercise, supplementation and nutrition.

AAA has no conflicts to report.

JA is the CEO and co-founder of the ISSN. The ISSN is supported in part by grants from raw good suppliers and branded companies.