

大学競泳選手の強化期におけるタンパク質代謝の把握

松田丈志^{1,2)}, 加藤弘之^{3,4)}, 鈴木晴香⁴⁾, 水柿亜実^{3,4)}, 江崎貴彦⁴⁾, 荻田 太⁵⁾

Recommended daily protein intake in male collegiate swimmers during the training phase

Takeshi Matsuda, Hiroyuki Kato, Haruka Suzuki, Ami Mizugaki, Takahiko Ezaki,
and Futoshi Ogita

Abstract:

The recommended protein intake in athletes is higher than that in healthy non-exercising individuals. However, it remains unclear how much protein competitive swimmer should consume during training phase. This study investigated the nitrogen balance in competitive swimmers during the training phase. Fourteen swimmers (age 19.8±1.1 years, peak oxygen uptake 62.9±3.3 mL/kg/min, mean±standard deviation) were investigated during a 5-day experimental training period. Nutrient intakes were assessed using dietary records. The nitrogen balance was calculated on the basis of the dietary nitrogen intake and urinary nitrogen excretion. The mean and population-safe intakes for 0 nitrogen balance were estimated at 1.47 and 2.01 g/kg body weight/day (BW/d), respectively. In conclusion, the population-safe protein intake in competitive swimmers was in the upper range (i.e., 1.2–2.0 g/kgBW/d) of the current recommendations for athletes.

Keywords: protein requirement; nitrogen balance; swimming

要約

競泳競技は無酸素能力と有酸素能力の両方が求められる競技である為、トップ選手は高容量のレジスタンストレーニングと水中トレーニングを行っている。高容量のトレーニングを行うアスリートにとって、トレーニング効果を最大化すること、さらにトレーニング後により早く回復し次のトレーニングに移行するために、適切な栄養摂取は重要と考えられる。アスリートを対象とした栄養のガイドラインは様々ある。中でもタンパク質は体づくりを行う上で重要な栄養素といえるが、高度にトレーニングされた競泳選手を対象にどれくらいのタンパク質が必要かを詳細に調査した研究はない。そこで、本研究では男子大学生の競泳選手14名を対象とし、強化期において、4日間の消費エネルギー、3日間の食事調査を行い、試験の最終日に24時間の尿中窒素排泄量を測定し、窒素出納を評価した。また、食事調査により1日の中での、炭水化物、タンパク質、脂質の摂取のタイミングと摂取量を算出した。選手は1日4582 ± 377 kcalを消費し、3日間の摂取エネルギーの平均は4336 ± 697kcalだった。エネルギーバランスは2日目だけがマイナスだった。4日間のエネルギーバランスはプラスマイナスゼロと有意差はなかった。窒素出納がゼロと

1) 鹿屋体育大学学術共同研究員

2) セガサミーホールディングス株式会社

3) 味の素株式会社 イノベーション研究所 フロンティア研究所 栄養代謝研究グループ

4) 味の素株式会社 オリジナル・パラリンピック推進室 ビクトリープロジェクトグループ

5) 鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

なる推定タンパク質摂取量は1.47g/kg 体重/dであり, タンパク質摂取推奨量(窒素出納がゼロとなる推定タンパク質摂取量の95%信頼区間の上限)は2.01g/kg 体重/dと推定された。これらは現在推奨されている大学競泳選手の強化期におけるタンパク質摂取量と一致しており, 大学競泳選手がトレーニング強化期において, パフォーマンスの向上を目指し, 筋肉の増量を目指すのであれば, 2.0 g/kg 体重/d以上のタンパク質摂取が望ましいことがわかった。

キーワード: タンパク質要求量, 窒素出納, 競泳

1. 緒言

競泳競技は, 無酸素運動と有酸素運動の代謝システムのさまざまな組み合わせによって支えられており, パワーと持久力が求められるスポーツである。競泳選手はその両方の能力を伸ばすために, 低強度運動と高強度運動を組み合わせ, 様々な運動強度で, 高容量のトレーニングを行う(Mujika et al., 2014)。競泳選手は大会に出場するレベルの選手で10km/dayのトレーニングを行うが(Costill et al., 1988), 世界トップレベルの選手では17km/day以上のトレーニングを行っているとの報告がある(Trappe et al., 1997)。トレーニング量の増加に比例して, 総エネルギー摂取量も増加させなければならないが, 競泳選手は高容量のトレーニングのエネルギー消費を満たすだけのエネルギー摂取ができていない可能性がある(Trappe et al., 1997; Hassapidou et al., 2001; Almeras et al., 1997)。特に運動量が多く運動強度が非常に高い場合において, エネルギー摂取とエネルギー消費の不一致が報告されている(Trappe et al., 1997)。さらに, アミノ酸は, 運動に伴って消費されるエネルギー消費量の約5%の割合でエネルギー源として燃焼される(Lemon and Mullin, 1980)。したがって, 高容量のトレーニングを行なった競泳選手では, 多くのタンパク質摂取が必要になる可能性がある。さらに, 競泳は筋力やパワーがパフォーマンスに直結する為, 競泳選手がパフォーマンスを向上させる為には, ドライランドトレーニング(陸上での自重を中心とした全身の補強トレーニング)をトレーニングプログラムに組み込む事は重要である(Hawley et al., 1992;

Sharp et al., 1982)。骨格筋の質量は, 筋肉タンパク質合成(MPS)と筋肉タンパク質分解(MPB)との間のタンパク質ネットバランスによって制御される。レジスタンストレーニング単独ではMPSを増加させたが(Phillips et al., 1997), MPBも増加し, ネットバランスはプラスにならなかった(Biolo et al., 1995)。しかし, 栄養摂取量との組み合わせ(特に, アミノ酸の摂取)によって, ネットバランスがプラスに転じた(Biolo et al., 1997)。インターバルトレーニングセッションとレジスタンストレーニングの組み合わせは, 女性スイマーのMPSを相乗的に増加させる(Tipton et al., 1996)。さらに, トレーニング後のタンパク質摂取は, MPSを増加させる(Camera et al., 2015)。したがって, 運動後に適切なタンパク質摂取をする事が, 競泳選手の筋力およびパワーを改善することに有益であると考えられる。

一般の人のタンパク質摂取推奨量は, 0.8 g/kg 体重/dだが(Institute of Medicine., 2005), アスリートのタンパク質摂取量は, 運動習慣のない人よりも多い1.2 - 2.0 g/kg 体重/dが現在推奨されている(Thomas et al., 2016)。更に持久系アスリートは1.2 - 1.4g/kg 体重/dで摂取することが推奨されている(Rodriguez et al., 2009), これは部分的に持久運動中のアミノ酸酸化の増加に関連している(Tarnopolsky et al., 2004)。それらを反映すると, 競泳選手が行う高容量のトレーニングに対し, 回復およびトレーニングへの適応をするためには, タンパク質摂取量の増加の必要性を示唆している。

競技者は, 目標とする競技会またはレースのバ

2-3 体組成

体組成は、体力測定日、および、試験期間初日、最終日に測定した。また、試験期間中を通じて、インピーダンス法による体組成計（Omron 社製）を用いて、体重計測を行った。

2-4 安静時エネルギー消費量

被験者は、12時間の絶食下で研究室に来室し、座位において30分間の安静座位を保った後、呼気ガスによる代謝測定を10分間実施した。

その間被験者は安静座位の状態を維持した。呼気ガス分析より、酸素摂取量（ VO_2 ）、二酸化炭素呼出量（ VCO_2 ）を求め、安静時エネルギー代謝を以下の式より求めた。

$$\text{Metabolic rate (kcal per day)} = 1.44 (3.94 VO_2 + 1.11 VCO_2) \text{ (Weir, J.B.,1949)}$$

2-5 日常身体活動量

試験期間を通じて、被験者は、身体活動量計（Actigraph 社製）を装着し、日々の身体活動量を測定した。ただし、お風呂・シャワー、および、水泳トレーニング中は装着しなかった。

2-6 最大酸素摂取量

体力測定日に流水プールにて、負荷漸増法を用いて実施した。毎分0.03-0.05 $m \cdot s^{-1}$ ずつ流速を漸増し、8-12分で最大強度に至るように各泳者の泳力に応じて設定した。最終的に、その流速を維持できなくなり、流水プールの後方に後退した時点で最大強度に至ったと判断した。

2-7 トレーニング内容：

大学水泳部のコーチ及び自らが作成した年間のトレーニングスケジュールに則った、規定の水中トレーニング、ドライランドトレーニング、レジスタンストレーニングをこなした。水中トレーニング時、ドライランドトレーニング時は、心拍計（Polar 社製）を手首に装着し、トレーニング中の心拍数を記録した。レジスタンストレーニング時

のエネルギー消費量は Phillips, W.T. らの研究を参考に算出した（Phillips et al., 2003）。また各トレーニング内容・時間について試験担当者が記録を行った。

2-8 食事摂取量調査

試験期間中の3日間（最終日は必須とする）実施した。事前に、試験担当者が計測方法を説明し、被験者の本人が、食事記録シートを用いて記載した。また、合わせて写真撮影を行った。必要に応じて計測器も使用した。後日、管理栄養士である試験担当者が Excel 栄養君 Ver8（建帛社）を用いて栄養摂取量を算出した。摂取エネルギー、タンパク質、脂質、炭水化物のバランス（PFC バランス）、および、摂取量を算出した。

2-9 食事誘発性熱産生

食事誘発性熱産生は、食事の組成によって異なる為、食事調査結果より、PFC バランスが最も近い Weststrate の文献の値（7.1%）（Weststrate et al., 1989）を採用し、1日の総エネルギー摂取量（TEI）の7.1%とした。

2-10 窒素出納

窒素出納は、試験期間最終日において評価を行った。食事調査から算出された窒素摂取量と、窒素排泄量の差分より窒素出納を算出した。試験期間の最終日に24時間の尿の回収を行った。被験者は回収容器を用いて、尿を全量採取し、保存容器へ流し入れ保管した。4日目の朝、起床後最初の尿を廃棄し、それ以降から翌日の朝の最初の尿排泄までを回収した。採取した尿サンプル中の主要な窒素代謝物である尿素、クレアチニン量を測定し、尿中窒素排泄量を算出した。過去の報告を参考に、尿中窒素排泄量が総窒素排泄量の77%を占めると仮定し、総窒素排泄量を算出した（Tarnopolsky et al., 1988）。

2-11 統計分析

値は平均±SDとした。エネルギーバランス（エネルギー摂取量－総エネルギー消費量）が有意に正であるか負であるかを判定するために、対応のあるT検定を用いて差異を比較した。食事時のタンパク質摂取量とNBAL関連性を線形回帰分析にて解析を行い、NBALがゼロとなるための平均タンパク質摂取量を決定した。本試験の被験者において、NBALをゼロにするために必要なタンパク質摂取量の平均値の変動係数（CV）を用いてタンパク質摂取推奨量の推定を行った（Institute of Medicine., 2005）。毎日の食事摂取量および筋肉痛の日間差については、分散分析を行った後に、Tukey検定を用いた。GraphPad Prism 6ソフトウェア（GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA）を用いてデータを分析し、 $p < 0.05$ が有意であるとみなした。

3. 結果

3-1 エネルギー摂取量

2日目、3日目および4日目のエネルギー摂取量および平均摂取量を表1に示す。4日目のタンパク質、脂肪、炭水化物（ $P < 0.05, 0.05, 0.05$ ）摂取量は3日目と比べて有意に多かった。4日目の脂質（ $P < 0.05$ ）の摂取量は2日目と比較しても

表.1 期間中の平均エネルギー摂取量と主要栄養素内訳。

	day 2	day 3	day 4 (Test day)	Average
Energy				
kcal/d	4360±1220	3560±846	5089±704	4336±697
Protein				
g/d	161.2±55**	111.8±30.7	166±30.3**	146.3±32.7
g/kg BW/d	2.4±0.8**	1.6±0.5	2.5±0.5**	2.2±0.6
Energy%	15±2*	13±2	13±1	13.4±1.1
Fat				
g/d	139.9±44.8	121.5±56.3	205.7±41.7**,+	155.7±33.4
g/kg BW/d	2.1±0.7	1.8±0.8	3.0±0.7**,+	2.4±0.6
Energy%	28±5	29±8	36±5**,+	32.1±3.6
Carbohydrate				
g/d	591.4±164.9	487.8±75.9	615.9±91.3**	565.1±81.7
g/kg BW/d	8.7±2.4*	7.2±1.1	9.1±1.6**	8.4±1.3
Energy%	55±5	56±8	49±5*,++	52.5±4.2

データは平均±標準偏差（n=14）として示される。

*, **: 3日目と比較して有意差があり、それぞれ $p < 0.05$ および 0.01 であった。

+, ++: 2日目との有意差、 $p < 0.05, 0.01$ 。

有意に多かった。2日目のタンパク質（ $P < 0.05$ ）摂取量は3日目と比べて有意に多かった。

3-2 エネルギー消費

表.2に4日間のトレーニング量と強度を示した。

表.2 実験期間の4日間の運動セッションの要約。

	Morning sessions		Evening sessions	
	Dry-land	Swimming	Dry-land	Swimming
day 1				
HR (bpm)			95±8	131±5
Time (mins)			57±7	141±4
Distance (m)				7800
day 2				
HR (bpm)	91±6	123±5	93±8	129±6
Time (mins)	56±3	97±11	48±6	141±3
Distance (m)		5000		6400
day 3				
HR (bpm)				119±7
Time (mins)				72±15
Distance (m)				3000
day 4				
HR (bpm)	88±7	122±4	92±6	126±6
Time (mins)	57±3	104±4	10±2	138±4
Distance (m)		4900		7700

データは平均±SD（n=14）として示される。

HR (bpm) 運動中の平均心拍数、Time (分) 運動中の継続時間、Distance(m) 参加者が水泳運動のセッションで泳いだ距離。

表.3に、実験期間の4日間の総エネルギー消費量（TEE）、安静時エネルギー消費（REE）、食事誘発性熱産生（DIT）および、各トレーニングセッションでのエネルギー消費（EEE）を示した。

表.3 実験期間中4日間のエネルギー消費量

Kcal/d	day 1	day 2	day 3	day 4
Resting energy expenditure		1975±245		
Diet-induced thermogenesis	308±50	310±87	253±61	362±50
Exercise-induced energy expenditure				
Habitual physical activity	323±157	341±169	288±117	456±132
Exercise sessions	1680±172	2685±245	1023±133	2468±200
Total energy expenditure	4270±418	5295±394	3523±383	5244±451

データは平均±SD（n=14）として示されている。

食事誘発熱産生は全エネルギー摂取時間7.1%から計算した[30]。

*: 2日目から4日目までの平均エネルギー摂取量を1日目に適用した

3-3 エネルギーバランス

エネルギーバランスはエネルギー消費量から総エネルギー摂取量を引いたものに基づいて推定した。被験者は4日間で1日4582±377kcalを消費し、3日間の摂取エネルギーの平均は4336±697kcalだった。1日毎のエネルギーバランスは2日目だけがマイナス（ $P < 0.05$ ）であった。1、

3日目は有意差がなかった。4日間合計のエネルギーバランスも200kcalのマイナスだったがプラスマイナスゼロと比べて、有意差はなかった。

3-4 窒素出納

タンパク質摂取量と窒素バランスの関係を図2に示す。試験4日目のタンパク質摂取量とNBALとの間に直線関係が見られた ($R^2 = 0.38$, $P < 0.05$)。NBALがゼロとなる推定タンパク質摂取量は1.47 g/kg体重/dと計算された。さらに、全員のタンパク質摂取量を推定する、推定平均タンパク質摂取量の上位95% CI信頼区間は、2.01 g/kg体重/dと推定された。

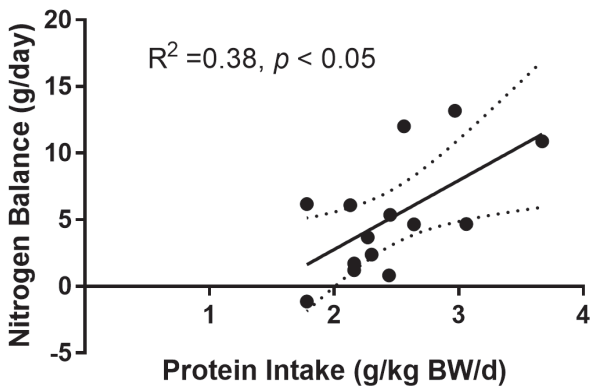


図. 2 窒素バランスとタンパク質摂取量との関係。

実線はベストフィットの線形回帰直線を示し、破線は95%信頼区間を示す。

有意な正の相関が観察された ($R^2 = 0.38$, $P < 0.05$, $n = 14$)。ゼロ窒素収支の推定平均タンパク質摂取量は1.47 g/kg BW/dと推定された。

全員のタンパク質摂取推奨量 (95%信頼区間の上限) は2.01 g/kg/dと推定された。

破線は回帰直線の95% CIを示す。

4. 考察

今回の試験の目的は、男子大学水泳部の競泳選手において、トレーニング強化期のエネルギー摂取、エネルギー消費からエネルギーバランスを調査し、更にNBALを調査し、高容量のトレーニングを行う競泳選手が、どの程度のタンパク質を必要としているのかを推定する事だった。その結果、NBALがゼロとなるタンパク質摂取量は1.47 g/kg体重/d、タンパク質摂取推奨量 (95%信頼区間の上限) は2.01 g/kg体重/dであるというこ

とが分かった。これらの値はACSM2016年が報告しているアスリートの最新の栄養摂取基準であるタンパク質摂取量1.2~2.0 g/kg体重/d (Jager et al., 2017; Thomas et al., 2016) の範囲内であり、我々の先の研究で行なった、強化準備期の試験と同等の値 (タンパク質摂取量1.43g/kg体重/d、タンパク質摂取推奨量1.92g/kg体重/d) を示した (Matsuda et al., 2018)。

しかし、先の試験と比較すると、トレーニングの内容や食事の内容は異なる。前回の試験と異なる点は、第一に先の試験ではエネルギーバランスがマイナス (エネルギー摂取 3981 ± 629 , エネルギー消費 4724 ± 472) だったのに対し、今回の試験では平衡 (エネルギー摂取 4336 ± 697 kcal, エネルギー消費 4582 ± 377 kcal) だった。エネルギー欠乏は、全身タンパク質分解、アミノ酸酸化、および窒素排泄の増加をもたらす (Hoffer and Forse, 1990; Stein et al., 1991), さらに筋タンパク合成を抑制することが分かっている (Areta et al., 2014; Hector et al., 2015; Pasiakos et al., 2010)。よってエネルギー不足状態では、タンパク質要求量が増加するといわれている (Helms et al., 2014)。このことから、前回の試験ではエネルギーバランスがマイナスだった為タンパク質要求量が増加したことが推測された。しかし、今回の試験のエネルギーバランスは4日間合計で200kcalのマイナスだったが有意差はなかった。

第二に、トレーニング期の違いによるトレーニング内容の違いがある。窒素出納の測定を行った4日目のトレーニング内容は、前回、今回共に、午前と午後にそれぞれドライランドトレーニングと水中トレーニングを実施しており、そのエネルギー消費量は、前回のドライランドトレーニングが午前 311 ± 61 kcal, 午後 548 ± 166 kcal, 水中トレーニングが午前 882 ± 108 kcal, 午後 $1,321 \pm 138$ kcal (Matsuda et al., 2018) だったのに対し、本研究では、ドライランドトレーニングが午前 304 ± 69 kcal, 午後 56.1 ± 13 kcal, 水中トレーニングが午前 $1,053 \pm 84$ kcal, 午後 $1,472 \pm 123$ kcalであっ

た。前回の試験と比べて今回の試験では、ドライランドトレーニングの消費エネルギーが減り、スイムトレーニングの消費エネルギーが増えている。今回の試験期間は強化期であった。強化期は一般的に、より競技特性の高いトレーニングを高容量で行う。一方、強化準備期はシーズンオフからの移行期にあたり、オフシーズンから再び競技会に出場できる身体へ戻し、さらに、これまで以上のパフォーマンスを求めて、レジスタンストレーニングやドライランドトレーニングを重点的に行い、体組成の変化を目的とする (Tonnessen et al., 2014)。運動形態はタンパク質要求に影響を与える可能性がある為、トレーニングの内容によってタンパク質要求量も変わると考えられている。レジスタンストレーニングの筋肉へのダメージは大きく、ACSMの共同声明によれば、レジスタンス運動が中心のアスリートのタンパク質要求は、持久運動が中心のアスリートのタンパク質要求より高いと報告されている (Rodriguez et al., 2009)。また、運動時間の増加は筋グリコーゲンの使用量が増加する為、体内の筋グリコーゲンが減少する。筋グリコーゲンが少ないと筋タンパク合成も抑制されることが報告されている (Howarth et al., 2010)。その為、今回の試験でもドライランドトレーニングの消費エネルギーは減ったが、スイムトレーニングの消費エネルギーの増加がタンパク質要求量を増加させた可能性がある。

結論として、今回の試験では大学競泳選手の強化期において、エネルギーバランスが平衡でも、NBALがゼロとなるタンパク質摂取量とタンパク質摂取推奨量は前回の試験と同じだった。二つの試験間で、同じ被験者でトレーニング内容が異なってもタンパク質要求量が変わらなかった事は、今回の試験内容において、タンパク質要求量とタンパク質推奨量がエネルギー消費量に依存していると推察された。今回の試験のエネルギー消費量は、1日平均 4582 ± 377 kcal、前回の試験では $4,724 \pm 472.24$ kcalだった。

今回の被験者の $VO_2\max$ 値は、鍛錬された競泳選手の研究 (Costill et al., 1988) と類似しており、トレーニング量と毎日のエネルギー消費量は、世界レベルのエリート競泳選手と類似していた (Trappe et al., 1997)。したがって、本研究で見出した知見は、トップレベルの競泳選手にも適用できる可能性がある。しかし、水中運動中のエネルギー消費は、泳法の技術などによって異なる (Mujika et al., 2014)。したがって、今後の研究では、各トレーニング期において、初心者またはエリートレベルの競泳選手でのタンパク質要求を調査する必要がある。

今回の実験では競泳選手の日常生活中に窒素出納法を用いてNBALを評価した。窒素出納法は、タンパク質要求量を測定するための、伝統的な方法であるが、窒素摂取を過大評価し、窒素排泄を過小評価する可能性 (Zello et al., 1995) を示唆しており、結果としてタンパク質要求を過小評価する可能性が示唆されている (Elango et al., 2008)。一方、近年開発された代替手法として、指標アミノ酸酸化法がある。指標アミノ酸酸化法は、様々な集団における個々のアミノ酸およびタンパク質の推奨量を評価するため、NBAL技術の代わりの方法として開発された (Zello et al., 1995; Elango et al., 2008)。指標アミノ酸酸化法は、簡便に短期間で評価できる優れた手法であるが、限られた状況でのみ適用可能であり、日常生活、つまり競泳選手が通常のトレーニングや食生活の中で採用するのは難しい。その為今回は窒素出納法を採用し、実際の生活環境での評価を行なった。指標アミノ酸酸化法を用いた試験でのタンパク質摂取推奨量は、持久運動選手を対象にした窒素出納法のデータに基づいて算出された以前の推奨量よりも30~50%大きかった事が報告されている (Rodriguez et al., 2009; Kato et al., 2016)。この比率を参考にすると、今回の被験者の競泳選手における運動能力を最適化するためのタンパク質摂取量は、今回の研究で窒素出納法によって決定された推奨タンパク質摂取量に130-150%を掛けると、

2.6 ~ 3.0 g/kg 体重/d となる。

本試験では、5日間という比較的短期間の試験にて、タンパク質代謝を評価した。今後、本試験で得られた推奨量を元に、競泳選手の強化トレーニング期において、運動疲労回復や、トレーニング効果に対する影響を検討することで、競泳選手に対する実効性の高いタンパク質摂取推奨量を求めることができる。

5. 結論

本研究の目的は、男子大学生競泳選手の強化期における栄養摂取量と窒素バランスを調査し、彼らのタンパク質要求を示唆する情報を推定し、大学生競泳選手のタンパク質摂取推奨量を推測することである。男子大学生競泳選手の、強化期において、窒素出納から求めたタンパク質要求量は1.47g/kg 体重/d であり、タンパク質摂取推奨量は2.01g/kg 体重/d だった。これらは現在推奨されている大学競泳選手の強化期におけるタンパク質摂取量と一致しており、大学競泳選手がトレーニング強化期において、パフォーマンスの向上を目指し、筋肉の増量を目指すのであれば、2.0 g/kg 体重/d 以上のタンパク質摂取が望ましいことがわかった。

6. 謝辞

本研究を実施するにあたり、鹿屋体育大学の萬久博敏准教授と角川隆明講師には快く試験にご協力頂き、被験者のリクルートからプールでの試験まで円滑に実施できたこと感謝致します。

文献

- Almeras, N.; Lemieux, S.; Bouchard, C.; Tremblay, A. (1997).
Fat gain in female swimmers. *Physiol Behav*, 61, 811-817.
- Areta, J.L.; Burke, L.M.; Camera, D.M.; West, D.W.; Crawshaw, S.; Moore, D.R.; Stellingwerff, T.; Phillips, S.M.; Hawley, J.A.; Coffey, V.G. (2014).
Reduced resting skeletal muscle protein synthesis is rescued by resistance exercise and protein ingestion following short-term energy deficit. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 306, E989-997, doi:10.1152/ajpendo.00590.2013.
- Biolo, G.; Maggi, S.P.; Williams, B.D.; Tipton, K.D.; Wolfe, R.R. (1995).
Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *Am J Physiol*, 268, E514-520.
- Biolo, G.; Tipton, K.D.; Klein, S.; Wolfe, R.R. (1997).
An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol*, 273, E122-129.
- Camera, D.M.; West, D.W.; Phillips, S.M.; Rericich, T.; Stellingwerff, T.; Hawley, J.A.; Coffey, V.G. (2015).
Protein ingestion increases myofibrillar protein synthesis after concurrent exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 47, 82-91, doi:10.1249/MSS.0000000000000390.
- Costill, D.L.; Flynn, M.G.; Kirwan, J.P.; Houmard, J.A.; Mitchell, J.B.; Thomas, R.; Park, S.H. (1988).
Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med Sci Sports Exerc*, 20, 249-254.
- Elango, R.; Ball, R.O.; Pencharz, P.B. (2008).
Indicator amino acid oxidation: concept and application. *The Journal of nutrition*, 138, 243-246.
- Hassapidou, M.N.; Manstrantoni, A. (2001).
Dietary intakes of elite female athletes in Greece. *J Hum Nutr Diet*, 14, 391-396.
- Hawley, J.A.; Williams, M.M.; Vickovic, M.M.; Handcock, P.J. (1992).
Muscle power predicts freestyle swimming performance. *Br J Sports Med*, 26, 151-155.
- Hector, A.J.; Marcotte, G.R.; Churchward-Venne, T.A.; Murphy, C.H.; Breen, L.; von Allmen, M.; Baker, S.K.; Phillips, S.M. (2015).
Whey protein supplementation preserves

- postprandial myofibrillar protein synthesis during short-term energy restriction in overweight and obese adults. *J Nutr*, 145, 246-252, doi:10.3945/jn.114.200832.
- Helms, E.R.; Zinn, C.; Rowlands, D.S.; Brown, S.R. (2014).
A systematic review of dietary protein during caloric restriction in resistance trained lean athletes: a case for higher intakes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 24, 127-138, doi:10.1123/ijsnem.2013-0054.
- Hoffer, L.J.; Forse, R.A. (1990).
Protein metabolic effects of a prolonged fast and hypocaloric refeeding. *Am J Physiol* 1990, 258, E832-840, doi:10.1152/ajpendo.258.5.E832.
- Howarth, K.R.; Phillips, S.M.; MacDonald, M.J.; Richards, D.; Moreau, N.A.; Gibala, M.J. (2010).
Effect of glycogen availability on human skeletal muscle protein turnover during exercise and recovery. *J Appl Physiol (1985)*, 109, 431-438, doi:10.1152/jappphysiol.00108.2009.
- Institute of Medicine. The National Academy Press: Washington, DC, USA, (2005).
Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients); 589-768.
- Jager, R.; Kerksick, C.M.; Campbell, B.I.; Cribb, P.J.; Wells, S.D.; Skwiat, T.M.; Purpura, M.; Ziegenfuss, T.N.; Ferrando, A.A.; Arent, S.M., et al. (2017).
International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr*, 14, 20, doi:10.1186/s12970-017-0177-8.
- Kato, H.; Suzuki, K.; Bannai, M.; Moore, D.R. (2016).
Protein Requirements Are Elevated in Endurance Athletes after Exercise as Determined by the Indicator Amino Acid Oxidation Method. *PLoS One* 2016, 11, e0157406, doi:10.1371/journal.pone.0157406.
- Lemon, P.W.; Mullin, J.P. (1980).
Effect of initial muscle glycogen levels on protein catabolism during exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 48, 624-629, doi:10.1152/jappl.1980.48.4.624.
- Matsuda, T.; Kato, H.; Suzuki, H.; Mizugaki, A.; Ezaki, T.; Ogita, F. (2018).
Within-Day Amino Acid Intakes and Nitrogen Balance in Male Collegiate Swimmers during the General Preparation Phase. *Nutrients* 2018, 10, doi:10.3390/nu10111809.
- Mujika, I.; Stellingwerff, T.; Tipton, K. (2014).
Nutrition and training adaptations in aquatic sports. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 24, 414-424, doi:10.1123/ijsnem.2014-0033.
- Pasiakos, S.M.; Vislocky, L.M.; Carbone, J.W.; Altieri, N.; Konopelski, K.; Freake, H.C.; Anderson, J.M.; Ferrando, A.A.; Wolfe, R.R.; Rodriguez, N.R. (2010).
Acute energy deprivation affects skeletal muscle protein synthesis and associated intracellular signaling proteins in physically active adults. *J Nutr*, 140, 745-751, doi:10.3945/jn.109.118372.
- Phillips, S.M.; Tipton, K.D.; Aarsland, A.; Wolf, S.E.; Wolfe, R.R. (1997).
Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol*, 273, E99-107.
- Phillips, W.T.; Ziuraitis, J.R. (2003).
Energy cost of the ACSM single-set resistance training protocol. *J Strength Cond Res*, 17, 350-355.
- Rodriguez, N.R.; DiMarco, N.M.; Langley, S.; (2009).
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*, 109, 509-527.
- Sharp, R.L.; Troup, J.P.; Costill, D.L. (1982).
Relationship between power and sprint freestyle swimming. *Med Sci Sports Exerc*, 14, 53-56.

- Stein, T.P.; Rumpler, W.V.; Leskiw, M.J.; Schluter, M.D.; Staples, R.; Bodwell, C.E. (1991).
Effect of reduced dietary intake on energy expenditure, protein turnover, and glucose cycling in man. *Metabolism*, 40, 478-483.
- Tarnopolsky, M. (2004).
Protein requirements for endurance athletes. *Nutrition*, 20, 662-668, doi:10.1016/j.nut.2004.04.008.
- Tarnopolsky, M.A.; MacDougall, J.D.; Atkinson, S.A. (1988).
Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *J Appl Physiol* (1985), 64, 187-193.
- Thomas, D.T.; Erdman, K.A.; Burke, L.M. (2016).
American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. *Med Sci Sports Exerc*, 48, 543-568, doi:10.1249/MSS.0000000000000852.
- Tipton, K.D.; Ferrando, A.A.; Williams, B.D.; Wolfe, R.R. (1996).
Muscle protein metabolism in female swimmers after a combination of resistance and endurance exercise. *J Appl Physiol* (1985), 81, 2034-2038.
- Tonnessen, E.; Sylta, O.; Haugen, T.A.; Hem, E.; Svendsen, I.S.; Seiler, S. (2014).
The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. *PLoS One*, 9, e101796, doi:10.1371/journal.pone.0101796.
- Trappe, T.A.; Gastaldelli, A.; Jozsi, A.C.; Troup, J.P.; Wolfe, R.R. (1997).
Energy expenditure of swimmers during high volume training. *Med Sci Sports Exerc*, 29, 950-954.
- Weir, J.B. (1949).
New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*, 109, 1-9.
- Weststrate, J.A.; Weys, P.J.; Poortvliet, E.J.; Deurenberg, P.; Hautvast, J.G. (1989).
Diurnal variation in postabsorptive resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis. *Am J Clin Nutr*, 50, 908-914, doi:10.1093/ajcn/50.5.908.
- Zello, G.A.; Wykes, L.J.; Ball, R.O.; Pencharz, P.B. (1995).
Recent advances in methods of assessing dietary amino acid requirements for adult humans. *The Journal of nutrition*, 125, 2907-2915.