



アメリカ乳製品輸出協会

U.S. Dairy  
Export Council®

## 運動時の栄養補給における米国ホエイプロテイン(乳清タンパク質)

執筆: Dr. Paul J. Cribb

Research Scientist, Exercise Metabolism Unit, School of Biomedical Sciences, Victoria University, Australia.

編集: Annie Bienvenue, Antonella da Camara

アメリカ乳製品輸出協会(U.S. Dairy Export Council)

競争相手に勝つ、または自身の可能性を最大限に引き出すため、アスリートは競争心が旺盛である。勝利に対する本能的欲求や、摂取栄養成分の選択が運動能力に影響を及ぼすという認識が広まり、エルゴジェニックエイド(ergogenic aids: 運動パフォーマンスを向上させる機能性食品)に対する関心は爆発的な高まりを見せている。

アスリート向けの機能性食品でも、科学的に効果が実証されているものはごくわずかしかない。しかし、ホエイプロテイン(乳清タンパク質)は、他の機能性食品と異なり、効率的に機能を回復し、免疫力を増強し、運動能力を向上させる良い効果をもたらすことが実証されている。ホエイプロテインを食事に取り入れることで、運動パフォーマンスが直接向上することがいくつかの臨床試験によって示されている。

### アスリートにおけるパーフェクトなプロテイン

トレーニングは、単なる代謝ストレス(代謝機能が特殊な方法により適応するためのシグナル)に過ぎない。競技者であるアスリートが、運動能力向上につながる肉体的・精神的適応能を獲得するためには、トレーニング時の負荷を徐々に増大させていくことが不可欠である。しかし、トレーニング負荷の増大は、アスリートの適応能力を上回ることがあり、そのような場合、運動能力の低下、怪我、疾病の再発をまねく恐れがある。運動機能の向上にはトレーニングの持続が不可欠なため、大部分のアスリートは、医学的に無害な感染でも運動機能の著しい低下をもたらすと気付くことになる<sup>(21)</sup>

ホエイプロテインは、牛乳中に見つかった種々の可溶性タンパク質の総称である。ホエイプロテイン製品は、製造方法に基づき、いくつかのカテゴリーに分類されている(Reference Manual for U.S. Whey and Lactose Products[米国産ホエイ・ラクトース製品に関する参照マニュアル]のホエイ製品に関する説明を参照)。これまでの研究成果により、濃縮ホエイプロテイン(ホエイプロテインコンセントレート:WPC80)と分離ホエイプロテイン(ホエイプロテインアイソレート:WPI)が、定期的に運動を続けるアスリートにとり最適であることがわかってきた。

WPC80とWPIは、脂肪、炭水化物、ラクトースの含有量がきわめて少ない純粋な高品質タンパク質であり、免疫力の増強を促し、効率的に筋肉疲労を回復し、身体活動全体



を高める機能性食品である。この報告では、ホエイプロテインの機能について解説し、アスリートの全身状態を高めるメカニズムについて紹介する。

ホエイプロテイン: 疲労回復の促進と運動能力の向上に最適

運動後の効率的な疲労回復に欠くことができないプロセスは、タンパク質合成の促進とタンパク質分解の抑制の2つである(47)。このプロセスは、そのタンパク質の消化吸収率とアミノ酸組成に依存する(68)。他のタンパク質と比較した場合、ホエイプロテインは、効率的な疲労回復と優れた運動能力を得る上で、重要なメカニズムを促進する成分であることが示されている。

ホエイのアミノ酸組成は、骨格筋のアミノ酸組成とほぼ一致している(24)。

WPC 80やWPIなどのホエイプロテインは、他のタンパク質に比べ、多量の必須アミノ酸を含有している(100g当りの含有量として)(64)。必須アミノ酸は、成人の筋肉のタンパク質合成速度を高める上で不可欠である(54)。

ホエイプロテインは、既知のタンパク質の中で分岐鎖アミノ酸(BCAA:ロイシン、イソロイシン、バリン)の含有率が最も高い(64)。アスリートにとって、BCAAは筋肉の代謝に重要な役割を果たす物質である(参照3ページ:運動時の栄養補給におけるBCAAの重要な役割)。BCAAは、筋肉のエネルギー産生における前駆物質であり、免疫系にも作用し、疲労回復にとって重要なメカニズムを活性化する物質でもある(127,55)。

ホエイプロテインは、BCAAの1つであるロイシンを高濃度に含有しており(100g当り10-14g)このことはスポーツ科学者の強い関心と呼んでいる(24)。最近の研究によれば、筋肉におけるDNAの翻訳が開始され、タンパク質合成が引き起こされる際にロイシンが重要な役割を果たすことが確認されている(11)。運動後の筋肉に大量のロイシンを供給すれば、分子レベルでより効率的な疲労回復を促すことができ、トレーニングの適応プロセスを加速できる可能性がある。

WPC 80とWPIは、システインを豊富に含有する数少ないタンパク質である。WPC 80やWPIは、カゼインや大豆など他のタンパク質に比較し4倍以上も高濃度のシステインが存在



している(タンパク質100g当りの含有量として)(64)。システインは、人間の代謝にとり欠くことのできない役割を担っているため、条件付き必須アミノ酸と呼ばれている(18)。システインの十分な補給は、除脂肪体組織(筋肉)の維持に重要であり、特に運動中には不可欠である(82)。システインは、生体の抗酸化防御システムの律速アミノ酸でもある(59)。システインの体内貯蔵量が增大すると、抗酸化能が高まり、酸化ストレスが減少して、運動機能が向上することが報告されている(50)。

ホエイプロテインは、消化・吸収が速やかで、組織に送達されるアミノ酸量が多く、タンパク質合成速度が速いため、他のタンパク質に比べ、総タンパク質の増加量が多いことが報告されている(17,36,40,45)。また、ホエイプロテインは可溶性であり、どのような液体にも容易に混合できる。このような理由から、ホエイプロテインは運動の開始前、実施中、終了後に摂取するタンパク質として最適である。運動前後の飲料や流動食にホエイプロテインを添加することにより、最適な疲労回復が得られ、その後の運動機能も向上する。

表1 市販ホエイプロテインのアミノ酸組成概算値(g/100g当り)

成分	濃縮ホエイプロテイン(80%)	イオン交換分離ホエイプロテイン	クロスフロー精密ろ過分離ホエイプロテイン
アラニン	4.82	5.60	5.60
アルギニン*	3.18	3.00	1.70
アスパラギン酸	12.26	12.30	12.70
シスチン	2.28	1.90	2.50
グルタミン酸	15.41	17.70	19.70
グリシン	2.00	1.90	2.00
ヒスチジン*	2.41	2.00	1.80
イソロイシン <sup>H*</sup>	6.41	5.40	6.80
ロイシン <sup>H*</sup>	11.60	13.50	10.90
リジン*	9.83	10.90	9.50
メチオニン*	2.35	3.50	3.10
フェニルアラニン*	3.56	3.40	2.50
プロリン	6.28	4.80	6.30
セリン	6.24	4.50	5.30
スレオニン*	8.44	5.30	8.30
トリプトファン*	1.80	1.50	2.00
チロシン	3.26	3.90	3.10
バリン <sup>H*</sup>	6.09	5.40	6.40
総BCAA <sup>H</sup>	24.10	24.30	24.10
総EAA*	55.67	53.90	53.00

Bucci LR and Unlu LMから一部修正の上、転載(Adapted)。  
<sup>H</sup>分岐鎖アミノ酸(BCAA) <sup>\*</sup>必須アミノ酸(EAA)

ホエイプロテイン: 運動トレーニング中に高い免疫力を保持

運動は、免疫系に対して大きな影響を及ぼす。適度な運動は免疫応答性を高めるが、過度の運動や長時間の運動を行った場合には、おそらく運動後に免疫能が低下する。このような一時的な免疫能の低下は6-48時間持続し、感染リスクの増大につながる(42,43)。ホエイプロテインは、免疫系への作用により免疫力を増強するという点で、他のタンパク質とは異なることが報告されている(14)。

ホエイプロテインには、ラクトアルブミンやラクトグロブリンのようなウシの主要タンパク質や、血清タンパク質、ラクトフェリン、一連の免疫グロブリンのような微量成分など、多種多様な成分を含む(57)。これらの成分は、様々な免疫機能を調節する免疫増強物質であることが実証されている(57)。このようなタンパク質は、プレバイオティック効果、組織修復の促進、腸内環境の維持、病原体破壊、毒素の除去など、様々な生理活性機能に関与している(11,20,57)。WPC 80およびWPIは、これらのタンパク質を豊富に含有する混合物である。ホエイプロテインは、in vitroおよびin vivo研究において免疫機能の特異的側面と非特異的側面の両方を調節する数少ない栄養物質の1つである(14)。



ホエイプロテインはシステイン含量が高く、そのことに起因するグルタチオン(GSH)産生増加作用が実証されている唯一のタンパク質である(33,37,39)。GSHは、生体の抗酸化システムや免疫防御システムの中心的役割を担っている(18)。細胞内のGSH濃度は、多くの免疫能や生体の健康維持能力に影響を与え、疾病を予防している(59)。ホエイプロテインは、免疫系を最適化するGSH産生促進能が他のタンパク質とは比べものにならないほど高いことが、動物実験や臨床試験によって示されている(14)。

グルタミンは、主に筋肉で作られる(48)。このアミノ酸は、免疫系および細胞の複製などにとり、必須のエネルギー源である(38)。トレーニングのような強い代謝ストレスを受ける際、生体のグルタミン消費量がグルタミン合成能を上回る可能性が報告されている(48,56)。このような状態は、免疫機能の低下、疾病の再発、感染、運動機能の低下期間の延長を引き起こす可能性がある(32,48,56)。既知のアミノ酸補給源の中で、ホエイプロテインは、筋肉内でグルタミン合成に用いられるアミノ酸であるBCCA(26%)とグルタミン(6%)を豊富に含んだタンパク質である(55,57)。従って、ホエイプロテインは、全アミノ酸の3分の1以上が筋肉のグルタミン貯蔵維持に利用可能であり、運動トレーニング中の免疫力を高め、健康を保持するのに役立つ。



運動時の栄養補給におけるBCAAの重要な役割

アスリートにとって、分岐鎖アミノ酸(BCAA)のロイシン、イソロイシン、バリンはトレーニングの適応プロセスや回復プロセスに重要である。BCAAは、筋肉の組織回復や再生にとって、重要なメカニズムであるタンパク質合成(1)の速度の促進に不可欠と考えられている。しかし、BCAAは筋肉内でのグルタミン産生にも欠くことができない(27)。筋肉のグルタミンは、免疫応答や細胞の複製など、一連の機能の重要なエネルギー源となっている(56)。生体におけるグルタミンの必要量には上限がない。筋肉でBCAAからグルタミンが新しく合成されない限り、体内のグルタミン供給は数時間で枯渇する(48)。また、BCAAは運動時、筋肉内のエネルギー供給にも代謝される(55)。

BCAAは、このような作用により炭水化物の生体内利用効率を高め、乳酸の蓄積を抑制し、疲労の発生を遅延させ、筋肉のタンパク質分解を抑制する。従って、疾病、感染、カロリー制限、トレーニングなどの代謝ストレスを受けている際にはBCAAの代謝は促進する(27)。トレーニング実施の際にBCAAの供給が不足すると、免疫能が低下し、疲労の回復能が減退する可能性がある。他のタンパク質と比較した場合、ホエイプロテインはBCAAを最も豊富に含有するタンパク質で、最大で26%である(64)。重量比で比較した場合、ホエイプロテインは、種々のアミノ酸サプリメントを上回る高BCAA含有食品である。

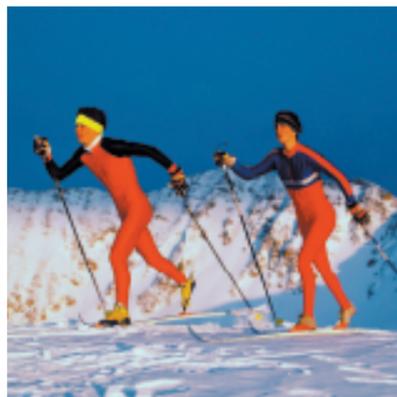
運動時における推奨例:

最高の運動機能を得るためのホエイプロテインの使用法



ホエイプロテインは、運動能力を高めることやトレーニング時の生理的適応能を向上させることが実証されている数少ない機能性食品の1つである。

健康状態や運動機能の最適化を目的とし、ホエイプロテインを適用に関する研究は、まだ緒に就いたばかりであり、明快な推奨を行うためには、さらに臨床試験を重ねる必要がある。しかし、健康状態や運動機能を最適化するため、食事にホエイプロテインを組み入れたいと考えるアスリートのため、研究に基づいたガイドラインとして右記の推奨事項を提示する。



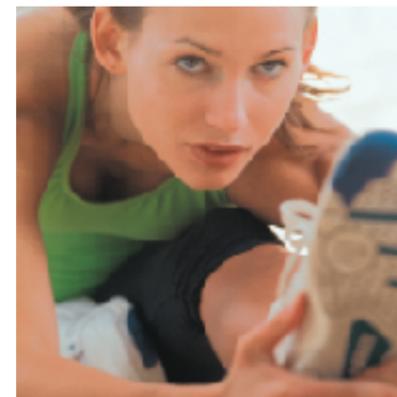
持久系のスポーツで有酸素運動能(持久力)を向上させるには

持久力の向上には、体内のGSH状態を維持することがきわめて重要である<sup>(49)</sup>。高度なトレーニングを積んだサイクリストのグループに、バイクでの6週間にわたる激しいロードトレーニング中に、体重1kgにつき1g/日のホエイプロテインを摂取してもらったところ、血中グルタチオン(GSH)濃度の低下を抑制できた<sup>(50)</sup>。参加アスリートは、やや激しい運動(最大心拍数の50~70%)と非常に激しい運動(最大心拍数の80%以上)のトレーニングを1週間に4セッション(セッションは30~70分)実施した。このことから、トレーニング量がさらに豊富な持久系アスリートの場合、血中のGSH濃度を維持するためには、1日当りのホエイプロテイン摂取量を増加させる必要がある。



パワー系のスポーツで無酸素作業能力、スピード、筋力を増強するには

瞬発力を要求するスポーツや一過性の激しい運動の際には、無酸素エネルギー経路が用いられる。一般に、無酸素運動トレーニングでは、反復スプリントトレーニング、サーキットトレーニング、レジスタンストレーニングなどの短時間の激しい運動が繰り返し行われる。多くのアスリートが、この種の運動をトレーニングプログラムに組み込んでいる。しかし、無酸素運動トレーニング(週3回を4~8週間)は、健康的な食事を摂取した場合でも成人の血中GSH濃度や血中グルタミン濃度を低下させ、免疫機能の低下をまねく<sup>(26,32)</sup>。これらの試験結果によると、トレーニングプログラムの強度と免疫機能を正常に保つためには、必要な成分の補給が必要である。毎日の食事に20gのホエイプロテインを追加すると、トレーニングを行わなくても無酸素運動能が向上する。毎週複数回の無酸素トレーニングを実施するアスリートの場合、強い免疫力を維持するには体重1kgにつき最高1~1.5g/日のホエイプロテイン摂取が必要と思われる。

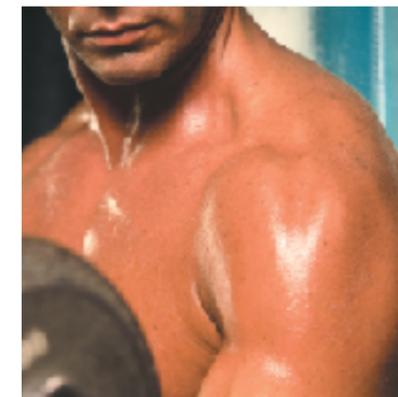


トレーニング後の最適な回復を得るには

タンパク質と炭水化物を含有する液状サプリメントを運動直後に摂取すると、グリコーゲンの回復率が向上し、タンパク質合成速度が速くなり、タンパク質同化ホルモンが刺激されることで、運動による免疫力低下を防ぐことができる<sup>(21,53)</sup>。サプリメントを摂取するだけで、その後の運動機能が最大で24%向上するという報告もある<sup>(29)</sup>。

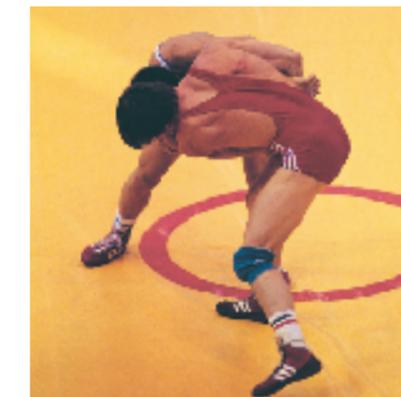
ホエイプロテインは免疫能増強作用を持ち、バランスの取れたアミノ酸組成、速やかな消化吸収性により、運動後に摂取するタンパク質としては最適なものとなっている。どのタイプの激しい運動でも、運動後の効率的な回復には、運動直後に20~50gのホエイプロテインを糖などの吸収されやすい炭水化物とともに、十分量の水に混合して摂取することが望ましいと考えられている。トレーニング後の食事は、30~60分後の摂取を推奨している。

血中に十分量のアミノ酸が存在すれば、筋力トレーニングによるタンパク質同化(筋肉を作る)作用が増強されることが報告されている<sup>(5)</sup>。従って、体重増加させずに筋力や瞬発力を最大限に強化したいアスリートは、カロリーコントロール食に1回量のホエイプロテイン(20~50g)を組み入れることを推奨する。また、どのレジスタンストレーニングでも、ホエイプロテインはトレーニング前に摂取する必要がある。



筋肉量を増やすには

除脂肪体重(筋肉量)を最大限に増加させたいと考えるボディビルダーなどのアスリートは、レジスタンストレーニングプログラム中に、体重1kgにつき1.5g/日のホエイプロテインを摂取することを奨める。この量を4~5回に小分けし、ビタミンやミネラルなどの栄養素を含むサプリメントに組み入れ、1日を通じて摂取する必要がある。これまでの研究から、炭水化物と脂肪が含まれているサプリメントを同時に摂取すると、筋肉組織におけるホエイプロテインの同化作用が促進される<sup>(17)</sup>。若齢者および高齢者において、ビタミンやミネラルなどの栄養素を含むサプリメントにホエイプロテインを混ぜて摂取した場合、カゼインなどの他のタンパク質を混ぜた場合に比べ、総タンパク質増加量が向上することが報告されている<sup>(17)</sup>。



体組成を改善するには

ホエイプロテインを食事に組み込むことにより、体重の著しい増加を伴うことなく体組成改善と、筋力・瞬発力の強化を実現することができる。運動前にホエイプロテインを摂取すると、エネルギー源としての体脂肪の利用が増大し、除脂肪体組織の維持が促進されることが報告されている<sup>(5)</sup>。除脂肪体重の維持と脂肪量の減少のためには、1回量のホエイプロテイン(20~50g)を運動前1時間以内に摂取する必要がある。

表2 濃縮ホエイプロテイン80%および分離ホエイプロテインの代表的な組成(%)

成分	濃縮ホエイプロテイン(80%)	分離ホエイプロテイン
タンパク質	80.0-82.0	92.0
ラクトース	4.0-8.0	0.5
脂質	1.0-6.0	1.0
ミネラル	3.0-4.0	2.0
水分	3.5-4.5	4.5



### 運動機能におけるホエイプロテインおよびグルタチオン( GSH )の役割

GSHによる抗酸化能は、汚染物質、毒素、運動、紫外線曝露によって引き起こされる酸化障害から細胞を保護することにある。GSHの抗酸化作用は、フリーラジカルを直接中和することに起因するが、他の抗酸化化合物(ビタミンC、ビタミンE、主要な抗酸化酵素など)にチオール( SH )基を供与することで発揮する<sup>(59)</sup>。GSHは、抗酸化能や生体の健康維持能を調節することで疾病への罹患を防ぐだけでなく、運動機能における直接的な関連性があることが確認されている。

運動は、組織における酸素流量を劇的に増加させ、その結果フリーラジカルの生成が増大し、酸化ストレスが引き起こされる。トレーニングは抗酸化防御システムを向上させるが、十分なトレーニングを積んだ人でも依然として酸化ストレスは発生する<sup>(49)</sup>。酸化ストレスは、細胞や組織にダメージを与えることから、筋肉疲労や運動機能の低下の主たる原因と考えられている<sup>(50)</sup>。細胞内でのGSH濃度低下と過度のフリーラジカル生成や運動能力の低下との間には関連性があり、GSH濃度が低い筋肉は酸化的障害を強く受ける<sup>(49)</sup>。しかし、GSH濃度を維持することで、酸化ストレスが最小限に抑えられ、運動能力が向上することが報告されている<sup>(50)</sup>。

### 運動機能におけるホエイプロテインとカルシウムの役割

十分なカルシウム補給は、アスリートが最高の運動機能を発揮する上で極めて重要である。カルシウムは骨量維持に必須の栄養素であり、神経伝導や筋収縮など生理機能維持に必要不可欠である。カルシウム摂取が不足すれば、体は不足分を補うため、骨内に貯蔵されているカルシウムを利用する<sup>(6)</sup>。最近の報告によると、米国民の平均カルシウム摂取量は1日当たり約750mgに留まっており、推奨摂取量である1200mgを大きく下回っている<sup>(6)</sup>。骨形成は運動ストレスに反応して促進するため、アスリートにおけるカルシウム欠乏は、通常人に比べより深刻な可能性がある<sup>(61)</sup>。また、血中カルシウム濃度は一定の濃度に保持されており、たとえ摂取量が不足しても正常値が維持されることから、カルシウムの欠乏状態を正確に測定することは困難である。数カ月や、場合によっては数年にも及ぶトレーニングによって得られた成果も、弱い骨が原因となり疲労骨折が生じることにより失われてしまう可能性がある。従って、アスリートはカルシウムの最適な補給源を知っておく必要がある。

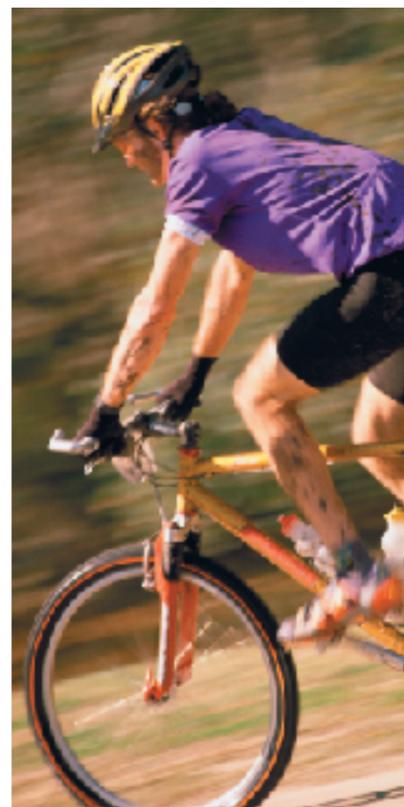
ホエイプロテイン製品には、500~2,000mgの乳由来カルシウムが含有されている。乳由来カルシウムは、体内での利用効率が最も高いカルシウムである<sup>(23)</sup>。食品中の栄養素における生体内利用効率とは、消化の際に吸収される実際の量を指す。乳製品以外のカルシウム源(例えばカルシウム強化豆乳など)から吸収されるカルシウム量は、乳製品から吸収される量の25%未満であることが複数の研究によって示されている<sup>(23)</sup>。このような理由から、ホエイプロテイン製品は、体内吸収されやすい高品質のカルシウム源といえる。

運動でGSHの必要量が増大すると、免疫細胞におけるGSHの補充能が損なわれる場合がある。一部の研究者は、筋肉と免疫細胞がGSHを奪い合いバランスの崩れた状態が発生し、そのため運動能の低い状態が長期間続くことで、慢性疲労症候群のような疾患に罹患しやすくなると考えている<sup>(4)</sup>。大豆タンパク質と異なり、ホエイプロテインはGSHの産生を促進し、体内のGSH状態に好ましい影響を与えることが報告されている。臨床試験では、ホエイプロテインの摂取により、運動機能が向上することが報告されている。

### 抗酸化能を高め、運動機能を向上させる

例えば、健康な若い男女がホエイプロテインを摂取した試験(1日20gを12週間摂取)では、血中リンパ球のGSH濃度が上昇しただけでなく、バイクのスプリントトレーニング検査時に最大瞬発力と、総作業能力の改善も認められた<sup>(33)</sup>。別の臨床試験では、様々なタンパク質を7日間摂取したところ、WPを摂取した参加者だけが酸化障害が抑制され、

筋肉疲労が緩和でき、セレンの状態の改善が認められた<sup>(10)</sup>。持久力に関しては、バイクでの6週間の激しいロードトレーニング時に体重1kgにつき1g/日のWPを摂取したところ、プラセボ群で認められた全血および単核球のグルタチオン濃度低下がどちらも改善できた<sup>(9)</sup>。



### アスリートにおけるラクフェリンの利点

運動時の栄養補給で基本となるのは、高い運動能を発揮できる健康な肉体的作りである。この点で、ラクフェリン(ホエイのみが含有するタンパク質)には、アスリートにとっていくつかの重要な利点がある。成人は牛乳由来のラクフェリンをそのまま吸収できる<sup>(62)</sup>。ラクフェリンには、強力な抗菌・抗ウイルス作用、消化管における病原微生物の増殖阻害、免疫系の増強、組織損傷に起因する炎症の調節などの有益な作用が報告されている<sup>(20)</sup>。ラクフェリンの生物学的役割は、現在も研究中だが、アスリートにとっては鉄の供給および骨代謝への作用に関心が集まっている。

鉄は、体中に酸素を供給する上で欠くことができないミネラルで、アスリートにとってはこの状態が極めて重要である。鉄は、細胞への酸素輸送体であるヘモグロビンの中心で受容体を形成している。ラクフェリン(トランスフェリンファミリーの一員)は、血中で鉄と細胞の結合という必要不可欠な機能を担っている。つまり、ラクフェリンは鉄を捕捉して可溶化し、腸代謝で利用可能な鉄の量をコントロールしており、赤血球のヘモグロビン酸素輸送で重要な役割を果たしている<sup>(67)</sup>。

ラクフェリンは、骨代謝に対して直接的に有益な影響を及ぼすことが報告されている<sup>(12,22)</sup>。培養細胞を使った研究で、ラクフェリンが生理学的濃度で骨芽細胞と軟骨細胞の増殖を促進することが報告されている。この作用は、インスリン様成長因子(IGF-1)や腫瘍細胞増殖因子(TGF- $\beta$ )といった、他の成長因子で認められた作用を上回るものであった。その後、この効果は動物実験でも確認されたため、ラクフェリンには骨形成能を高める機能があり、骨の健康と骨粗鬆症の予防に重要な役割を果たしている可能性があることが報告されている<sup>(12,22)</sup>。

### ホエイプロテインは体組成を改善する

アスリートは単に筋力強化を目的としているのではなく、筋肉量を増やしたいと考えている。体重の増加が望ましくないスポーツの場合、体組成(除脂肪体重と脂肪量の比)の改善は良い結果をもたらす。健康な成人だけでなく、癌やHIV患者においても、GSHと体組成変化との関連性が認められている<sup>(18,25,32)</sup>。細胞内におけるGSH濃度の低下が免疫抑制や筋肉量減少の前兆となるのに対し、GSH濃度の維持は筋肉組織の保持や体脂肪の減少に効果が認められている<sup>(18,25,32)</sup>。このような作用は、システインやGSHが全身のタンパク質代謝に及ぼす正の調節作用に起因していると考えられているが<sup>(18,25)</sup>、コピキチン-プロテアソーム経路の阻害を介した筋肉の破壊を直接抑制する作用があることも、一因と考えられている<sup>(28)</sup>。

ホエイプロテイン摂取はGSH濃度を高めるだけでなく、体組成も改善する。ある研究では、1日20gのホエイプロテインを摂取するだけで、運動しなくても体脂肪を顕著に減少できることが報告されている<sup>(33)</sup>。トレーニング開始前にホエイプロテインを与えた動物では、トレーニング終了後に体脂肪の減少と除脂肪体重の増加が認められた<sup>(6)</sup>。この効果は、ホエイプロテインがエネルギーとして脂肪利用の促進作用を



有することに起因している<sup>(6)</sup>。

レジスタンストレーニングは、体組成を改善する効果が最も高い運動と考えられている。レジスタンストレーニングを行っている男性のグループに、加水分解したWPを摂取してもらったところ、体重1kgにつき15g/日(炭水化物を補充した対照群)に比べ2~5倍上回る除脂肪体重(筋肉量)の増加と、脂肪量の減少が認められた<sup>(9,15,16)</sup>。また、トレーニング前後の男性の筋生検を行ったところ、WPを摂取した場合には、対照群と比較して2型筋繊維のサイズが最大54%も増大しており、筋繊維サイズの顕著な増大が筋力の増強と大きく相関していることが実証された<sup>(16)</sup>。



## 筋力の増強

筋力トレーニングに関する複数の臨床試験において、ホエイプロテインを摂取（体重 1kg につき 12~15g 日、6~12週間）した場合には、炭水化物や他のタンパク質を摂取した対照群に比べて、筋力が顕著に増強することが示された<sup>(9,15,16)</sup>。これらの試験の内、2つの試験ではWP摂取により、ベンチプレスやスクワットなどの主要な運動で、非常に優れた筋力増強効果が得られた（対照群を 10~20% 上回った）<sup>(15,16)</sup>。ホエイの摂取は、アスリートの筋力増強に有利に働く可能性がある。しかし、筋力増強に効果の高い方法（ホエイプロテイン摂取とレジスタンストレーニングの組み合わせなど）はアスリートだけでなく、大部分の人の身体機能を高めると考えられる。



## 回復効果

グリコーゲンは、運動時のエネルギー源として体内に貯蔵されている物質であり、組織内のグリコーゲン貯蔵量が少ないと、疲労や運動能力の低下につながる<sup>(30)</sup>。アスリートにとって、組織内に適切な量のグリコーゲンを貯蔵しておくことは極めて重要である。最近行われた試験では、運動トレーニング時にホエイプロテインを豊富に含有する食事を摂取することにより、肝臓のグリコーゲン貯蔵量が顕著に増加することが報告されている<sup>(41)</sup>。ホエイプロテインを与えた動物では、カゼインまたは大豆タンパク質を与えた群に比べて肝グリコーゲン貯蔵量が著しく増大した<sup>(41)</sup>。この効果は、ホエイプロテインがグリコーゲンの合成・貯蔵に関する様々な肝酵素の調節活性を高める作用を有することに起因する<sup>(41)</sup>。この試験は、食事に含まれる特定のタンパク質が肝グリコーゲン量に影響を及ぼすことを初めて明らかにした。

健康な若齢成人を対象とした試験では、ホエイプロテインの補充によって、強いレジスタンストレーニング後の回復が促進されることが示された<sup>(13)</sup>。運動後にWP（体重 1kg につき 1g 日）を 1日間摂取すると、最大筋力の回復速度がプラセボ（炭水化物摂取）群と比較して顕著に改善し、血漿クレアチンキナーゼレベル（筋肉損傷のマーカー）も低下した。これらの結果から、WP含有製品を摂取することにより、強いレジスタンストレーニング後の

回復を早めることができると考えられる<sup>(13)</sup>。

現在、ホエイプロテインは筋肉損傷マーカーを減少させ、レジスタンストレーニング後の回復を早めることが、研究で明らかにされている唯一のタンパク質である。



## アスリートに必要なタンパク質

アスリートのタンパク質摂取に関する議論は、成人における種々のアミノ酸所要量が、以前に考えられていたよりもはるかに複雑であることに起因している。健康で活動的な人のタンパク質所要量は、多くの問題があり確定されていない。アスリートが自身の「日」タンパク質所要量を決定する際には、下記に示した関連する事実を考慮に入れる必要がある。

タンパク質所要量の評価に用いられている現行の検査基準は、健康状態の最適化や身体機能の向上とは無関係である<sup>(34,51)</sup>。

健康な人を対象としたタンパク質摂取量は、ほぼ例外なく窒素換算量の摂取・排泄量に関する研究に基づいて行われている。現在では、タンパク質代謝に関する研究を行っている科学者は、この方法に欠陥があることを認識している。この方法では窒素（タンパク質）摂取量が過大評価され、窒素損失量は過小評価されるためである<sup>(51)</sup>。

トレーニングで最大限の成果を得るために、必要なタンパク質所要量を正確に決定することは容易ではない。各人の目標、エネルギー（カロリー）摂取量、運動の強度・期間・種類、トレーニング歴、性別、年齢は、いずれもタンパク質所要量を決定する要素となる<sup>(34)</sup>。

アミノ酸の機能と摂取量について解明されるまで、現行の食事におけるタンパク質所要推奨量は、健康人および病人のどちらに関するものであっても学問的に不十分な経験値にすぎない<sup>(46)</sup>。タンパク質代謝分野の科学者は、強い運動トレーニングによって最大限の結果を得るために必要なタンパク質所要量が、以前に考えられていたよりも多い可能性があることを現在では認めている<sup>(34,46,51)</sup>。

アスリートは、運動量の少ない人に比べタンパク質を多量に（推奨量の最大 2倍）摂取する必要があることは既に確認されているが、重要なのは、特定のタンパク質が健康増進や運動

機能の向上に関して、他のタンパク質よりも優れているかどうかという点にある。しかし、この疑問点については、十分な研究は行われていない<sup>(35)</sup>。

多量のタンパク質摂取が、健康に有害であることを示す実験的事実は報告されていない<sup>(44)</sup>。現在では、食事中のタンパク質の比率を高めることは、血中脂質濃度の低減、インスリン・糖代謝の改善、不要な体脂肪の低減といった、数多くの健康上の利益をもたらす安全かつ効果的な手段であると考えられている<sup>(19)</sup>。ホエイプロテインによって得られる効果から考えると、運動量の多い人がタンパク質摂取量を増やす際の食事タンパク質としてホエイプロテインを第一に選択すべきである。

アスリートが最善の結果を得るためには、ホエイプロテインの「日」摂取量を 20~50g とし、数回に分け、炭水化物と脂肪を添加したサプリメントとともに摂取する必要がある。ホエイプロテインは、炭水化物や脂肪と一緒に摂取した場合に、体内での利用効率が高くなる<sup>(17)</sup>。例えば、20~50gのWPC80またはWPに亜麻油を添加した牛乳・果物のスムージーは、ホエイプロテイン摂取による最大限の結果が得られる。



## 運動時の栄養補給におけるホエイプロテインの利点

ホエイプロテインは天然の乳由来のタンパク質であり、免疫力を増強し、効率的に筋肉疲労の回復を促し、運動により得られる効果を高めることが研究によって示されている。ホエイプロテインは、他のタンパク質には見られない多くの利点をアスリートにもたらす。

速やかに消化され、吸収が容易な高品質のタンパク質である。他のタンパク質を摂取した場合に比べ、タンパク質合成速度が速く、組織における総タンパク質量の増加が促進される<sup>(17,40)</sup>。

疾病や感染予防に関わる免疫機能を高める<sup>(14)</sup>。

既知のタンパク質の中でBCAAを最も豊富に含有している。BCAAは、免疫系の主要なエネルギー源であるグルタミンの産生<sup>(48)</sup>、筋肉におけるタンパク質合成の促進<sup>(1)</sup>に不可欠である。また、筋肉におけるエネルギー基質になる<sup>(55)</sup>。

抗酸化能を高め運動機能を向上させるシステインを豊富に含む<sup>(33,39,50)</sup>。

肝臓中の運動のエネルギー源として貯蔵されている重要物質であるグリコーゲンの量を増やす<sup>(41)</sup>。

筋肉損傷のマーカーを減少させ、運動後の回復を速める<sup>(13)</sup>。

レジスタンストレーニング時の筋力増強を促進し、ボディビルトレーニング時における筋肉量の増加を促進する<sup>(9,15)</sup>。

生体が利用可能なカルシウム源であり、骨の健康維持を助け、多くのアスリートがトレーニング中に経験する疲労骨折を防ぐ<sup>(23)</sup>。

高い可溶性のホエイプロテインは、運動開始前・実施中・終了後のスポーツ飲料や代替食の理想的なサプリメントである。

# Q&A

## Dr. DAVID CAMERON-SmithのQ&A

Dr. Cameron-Smithは、デューキン大学(オーストラリアメルボルン)運動・栄養科学部(School of Exercise and Nutrition Sciences)筋肉生理学の助教授です。研究課題は、分子生物学や細胞生物学手法を用いて、食事のタンパク質と筋力トレーニングがヒト骨格筋の成長と修復にどのような影響を与えるかについてです。



Q アスリートにとって最新の「ホエイに関する発見」とは何ですか?

A 筋力系のアスリートの場合、運動能力を向上させる上で重要な戦略は2つあります。1つは効果的な疲労回復、もう1つは筋力の増強です。最近得られた研究成果によると、疲労回復飲料にホエイプロテインを添加することにより、過度の持久力を要求するバイクトレーニングを行ったサイクリストにおいて、筋肉損傷マーカーであるクレアチンキナーゼ活性の低下が認められました。重要な点は、ホエイを摂取した群において、1回目のバイクトレーニングの12~18時間後に、回復トレーニング持久力検査の機能が38%改善していたことです。この試験では、筋肉損傷の抑制と、疲労回復の促進効果にホエイプロテインがどのように関与したかに焦点が当てられました。筋力を増強するには、タンパク質合成を促進することにより、太くて強い筋繊維を作る必要があります。筋力トレーニング後にホエイを摂取すれば、速やかに消化吸収されて筋肉のタンパク質合成を促進することが実証されています。これらの知見は、運動時にホエイプロテインを摂取したアスリートにおいて、筋肉の横断面積(筋繊維の太さの尺度)が増加することを報告している他の2つの試験によって傍証されています。

Q 高齢者についても研究されていますね。高齢者が若いアスリートから「学ぶべき教訓」はありますか?

A 我々の研究グループでは、高齢者の筋肉の再生能と炎症反応について研究を行っています。ホエイプロテインが筋肉の細胞内タンパク質合成調節過程を活性化させる効果は、年齢を重ねても減退しません。従って、高齢者も定期的にホエイを摂取することにより、筋肉量や筋力維持という恩恵を受けることができます。特に運動後に効果的です。高齢者の筋肉は、若齢者の筋肉に比べ消化吸収性の高い

タンパク質に反応しやすいように思われるため、実のところ、ホエイ摂取の重要性は高齢者の方が高い可能性があるのです。

Q アスリートと運動量の少ない人の筋肉減少におけるホエイプロテインの効果に関連性はありますか?

A 遺伝子解析を用いた分子生物学的研究により、筋肉減少時の細胞レベルでの原因に関して新たな手がかりが得られつつあります。とはいえ、筋肉量の減少は多くの場合、タンパク質摂取量と運動量の減少に起因していると考えられます。アスリートの場合と同様に、ホエイプロテインが運動量の少ない高齢者の筋肉量維持に役立つのであれば、適切な量の必須アミノ酸や分岐鎖アミノ酸を摂取し続けることは、筋肉のタンパク質維持にとって有益です。

Q 一部の消費者(特に女性)は、ホエイプロテインを摂取することで「体が大きくなる」のではないかと心配しています。女性についての最大摂取可能量はありますか?

A 筋肉量の増加速度には、著しい男女差があります。その理由はまだ十分に解明されていませんが、性ホルモンが重要な役割を果たしていることは確実です。女性が運動後にホエイプロテインを摂取した場合、筋肉痛の減少や疲労回復の促進などの多くの利益が得られます。また、タンパク質合成の促進を通じ、筋肉の増強ではなく質の改善を助ける可能性もあります。その他の利点として、体重管理の一環として運動をライフスタイルに取り入れている多くの男女では、ホエイプロテインは食欲を抑制し、運動後の空腹を軽減することが挙げられます。

Q ほとんど運動しない人や高齢者にとって、ホエイプロテインはどの程度「安全」ですか?

A ホエイプロテインはさわめて安全性が高く、消化吸収しやすい純粋なタンパク質であり、必須分岐鎖アミノ酸と分岐鎖アミノ酸を豊富に含有することが証明されています。運動の開始前、実施中、終了直後にホエイプロテインを含有するアスリート向け機能性食品を摂取することは、ほとんど運動しない人や高齢者にも有益です。筋肉痛が起こる可能性が高い状況では、ホエイプロテインを摂取することにより、筋肉損傷や筋肉痛の軽減という実質的な利益が得られます。この場合は運動の定義を広くとり、ゴルフ、テニス、ハイキング、サイクリング、庭仕事などのあらゆる身体活動を、運動と考えることが重要です。筋肉損傷や筋肉痛を引き起こす可能性が高い活動であれば、どのような活動でもホエイプロテイン摂取の恩恵を受けることができます。

## KIMBERLEE J. BURRINGTONとのQ&A

ウイスコンシン大学 マジソン校 (University of Wisconsin, Madison) ウイスコンシン乳製品研究センター (Wisconsin Center for Dairy Research) の乳成分応用研究所 (Dairy Ingredient Applications Lab) は、乳成分製造業者や食品製造業者との協力により、乳成分含有食品の開発を通じ、米国産乳成分の利用拡大に関して実践的な技術支援を行っています。



Q ホエイプロテインの種類はますます多様化しており、アスリート向け製品の製造業者にとって適切なホエイプロテインの選択は困難となっています。どれが最も適したホエイプロテインなのでしょうか?

A 「理想的な」ホエイプロテインといったものはありません。むしろ選択可能なタンパク質成分が拡大しているといえます。加工業者は、ラクトースを含まないような限定された組成、特定のタンパク質画分を強化した製品、または耐熱性製品や加水分解製品など、様々な成分を提供する努力を行ってきました。製造業者にとって、そのような変化に富んだ製品は、様々なタイプのアスリートの栄養学的な要求に、より適合した製品を開発する上で有益です。また、製造業者が付加価値のある独自性に富んだ製品を設計する際にも役立ちます。使用目的に「最も適した」タンパク質を選択するにあたって助言が必要であれば、取り引きしている米国ホエイプロテイン供給業者にお問い合わせください。

Q ホエイプロテインは粉末状しかないのでしょうか?

A 国際市場では、主にホエイプロテイン成分は袋入りの粉末状として販売されています。この販売方法は費用対効果が高く、成分の品質保証期間を長くすることができます。小売り時には、ホエイプロテインが液体に溶けやすくなるようインスタント化されることが一般的です。最近では、より多くの加工食品(クリスピーナゲットなど)の成分としても利用されるようになってきました。これらは、例えばスポーツバー用の材料として使用可能であり、単純な味付けを行った高タンパク質スナックとして販売することができます。

Q スポーツ用ゼリーに配合することはできますか?

A スポーツ用ゼリーは、一般的に低pHです。ホエイプロテインは、低いpHでも優れた可溶性を示すので、スポーツ用ゼリーのような用途でも高い機能を発揮します。透明なゼリーが望ましい場合は、脂肪やラクトースの濃度が低いWPIの使用が最適です。また、低pHゼリーは、炭水化物ゼリーに慣れきった消費者にとって新しく魅力的に映る傾向があります。

## 参考文献

Q ペーストやスプレッド(例えばチューブから絞り出すタイプの製品など)に、ホエイプロテインを配合することはできますか?

A ホエイプロテインは、ペーストやスプレッドに配合することができます。タンパク質の性能が最も高くなるのは低pHの製品です。ペースト状製品では、ホエイプロテインの低pHにおける可溶性と熱安定性を利用することにより、長い品質保持期間と高い品質を確保することができます。

## JASON STEPHENSとのQ & A

Nex tProtein社は、David Jenkinsがスポーツへの情熱と学問的な知識を融合させて、消費者の生活向上を目的とした高品質ホエイプロテイン・サプリメントを創造したことを契機に設立されました。Nex tProtein社は、15年以上にわたりホエイの研究と臨床試験に670万ドル以上を投資しています(www.nextprotein.com)。

Q タンパク質の摂取手段としてはアミノ酸が最適だと聞きましたが、本当ですか?

A 間違いです。というのも、遊離型アミノ酸は体内のタンパク質合成における利用率が低いからです。体が必要とするアミノ酸を摂取するには、タンパク質をペプチドの状態に摂取するか(最も適した摂取方法)、タンパク質のままに摂取してください。実際に、ペプチドの状態に摂取した方が、遊離型アミノ酸の状態とタンパク質のままに摂取した場合より先はるかに吸収速度が速く(吸収速度が237%になる)ことが報告されています。

ホエイプロテインは、窒素蓄積の改善効果の面でアミノ酸より優れているだけでなく、カゼインに比べタンパク質合成の促進効果が119%上回ることも報告されています。ホエイプロテイン30gをカゼイン43gと比較したところ、ホエイプロテインはタンパク質合成を68%促進しましたが、カゼインは31%しか促進しませんでした。

Q 粉末状タンパク質を摂取すれば筋肉を大きくすることができますか?

A 粉末状タンパク質を摂取して筋肉量を増やすには、定期的に「ウェイトトレーニング」を行う必要があります。より素晴らしい筋肉を作り上げるうえで推奨されるトレーニングは、週3~4日行うこと、適切な休息をとること、過度のトレーニングにならないこと、正しい食事を摂取することです。このようなプログラムを遵守すれば、6週間という短い期間で結果が得られる可能性があります。このようなトレーニングを1年に46週間、少なくとも3~4年続ければ、「大きな筋肉」や、あなたが求める強化された筋肉に到達できる可能性があります。

1. Anthony JC, Anthony TG, Kimball SR. Signalling pathways involved in the translocational control of protein synthesis in skeletal muscle by leucine. *J Nutri* 131:856s-860s, 2001.

2. Bender DA. Nutrition and Metabolism. UCL Press Ltd. University College, London p282, 1995.

3. Biolo G, Tipton KD, Klein S, and Wolfe RR. An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol* 273 *Endocrinol Metab* 36:E122-E129, 1997.

4. Bounous G, Molson J. Competition for glutathione precursors between the immune system and the skeletal muscle: pathogenesis of chronic fatigue syndrome. *Med Hypotheses* 53:347-349, 1999.

5. Bouthehoud J, Roseau SM, Makarios-Lahham L, et al. A preexercise lactalbumin-enriched whey protein meal preserves lipid oxidation and decreases adiposity in rats. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 283: E565-E572, 2002

6. Briefel RR and Johnson CL. Secular Trends in Dietary Intake in the United States. In: *Annual Review of Nutrition*, Annual Reviews, Palo Alto CA, 24: 413, 2004.

7. Bucci LR and Unlu L. Proteins and amino acid supplements in exercise and sport. In: *Energy-Yielding Macronutrients and Energy Metabolism in Sports Nutrition*. Driskell J, and Wolinsky I. Eds. CRC Press. Boca Raton FL, p191-212, 2000.

8. Bucci LR and Unlu L. Proteins and amino acids in exercise and sport. In: *Energy-Yielding Macronutrients and Energy Metabolism in Sports Nutrition*. Driskell J, and Wolinsky I. Eds. CRC Press. Boca Raton FL, p197-200, 2000.

9. Burke DG, Chilibeck PD, Davidson KS, Candow DG, Farthing J, Smith-Palmer T. The effect of whey protein supplementation with and without creatine monohydrate combined with resistance training on lean tissue mass and muscle strength. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 11:349-364, 2001.

10. Child RB, Bullock M, Palmer K. Physiological and biochemical effects of whey protein and ovalbumin supplementation in healthy males. *Med Sci Sports Exerc* 35:5:S270, 2003.

11. Clare DA and Swaisgood HE. Bioactive milk peptides: A prospectus. *J Dairy Sci* 83:1187-1195, 2000.

12. Cornish J. Lactoferrin promotes bone growth. Presented at the 6th Int Conf on Lactoferrin: Structure, Function and Applications Capri, Italy, May 2003.

13. Cooke M, Cribb PJ and Hayes A. The effects of short-term supplementation on muscle force recovery on eccentrically-induced muscle damage in healthy individuals. Presented at the Australian Association for Exercise and Sports Science Inaugural National Conference, 2004.

14. Cribb PJ. United States Dairy Export Council Monograph: Whey proteins & Immunity, 2004.

15. Cribb PJ, Williams AD, Hayes A and Carey MF. The effect of whey isolate on strength, body composition and plasma glutamine. *Med Sci Sports Exerc.* 34:5: A1688, 2002.

16. Cribb PJ, Williams AD, Hayes A and Carey MF. The effects of whey isolate and creatine on muscular strength, body composition and muscle fiber characteristics. *FASEB J.* 17:5:a592.20, 2003 <http://www.the-aps.org/press/conference/eb03/12.htm>

17. Dangin M, Guillet C, Garcia-Rodenas C, et al. The rate of protein digestion affects protein gain differently during aging in humans. *J. Physiol* 549.2: 635-644, 2003.

18. Dröge W and Holm E. Role of cyst(e)ine and glutathione in HIV infection and other diseases associated with muscle wasting and immunological dysfunction. *FASEB J.* 11:1077-1089, 1997.

19. Farnsworth E, Luscombe ND, Noakes M, et al. Effect of a high-protein, energy-restricted diet on body composition, glycemic control, and lipid concentrations in overweight and obese hyperinsulinemic men and women. *Am J Clin Nutr* 78:31-39, 2003.

20. Floris R, Recio I, Berkhout B and Visser S. Antibacterial and antiviral effects of milk proteins and derivatives thereof. *Curr Pharm Des* 9: 1257-1275, 2003.

21. Gleeson M, Neiman DC, Pedersen BK. Exercise, nutrition and immune function. *J Sports Sci* 22:115-125, 2004.

22. Grey A, Banovic, K Callon, K Palmano\*, JM Lin, V Chan, U Bava, I Reid, J Cornish. Lactoferrin, a potent anabolic factor in bone, signals through the LRP1 receptor. Presented at Combined Meeting of Int Bone Mineral Soc and Jap Soc of Bone Mineral Res, Osaka, Japan, June 2003.

23. Guéguen L and Pointillart A. The Bioavailability of Dietary Calcium. *J Am Coll Nutri* 19 119S-136S, 2000.

24. Ha E and Zemel MB. Functional properties of whey, whey components, and essential amino acids: mechanisms underlying health benefits for active people. *Journal of Nutritional Biochemistry* 14: 251-258, 2003.

25. Hack V, Schmid D, Breitkreutz R, et al. Cystine levels, cystine flux, and protein catabolism in cancer cachexia, HIV/SIV infection and senescence. *FASEB J.* 11:84-92 1997.

26. Hack V, Weiss C, Friedmann B, Suttner S, Schykowski M, Erbe N, Benner A, Bartsch P and Droge W. Decreased plasma glutamine level and CD4+ T cell number in response to 8 wk of anaerobic training. *Am J Physiol* 272:E788-795, 1997.

27. Holecck M. Relation between glutamine, branched-chain amino acids, and protein metabolism. *Nutrition* 18:2:130-133, 2002.



28. Ikemoto M, Nikawa T, Kano M, Hirasaka K, Kitano T, Watanabe C, Tanaka R, Yamamoto T, Kamada M, Kishi K. Cysteine supplementation prevents unweighting-induced ubiquitination in association with redox regulation in rat skeletal muscle. *Biol Chem*. 383:715-721, 2002.
29. 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* 13:382-395, 2003.
30. Karlsson J, Saltin B. Diet, muscle glycogen, and endurance performance. *J Appl Physiol* 31:203-206, 1971.
31. Kerr D, Kan K and Bennell K. Bone, exercise, nutrition and menstrual disturbances. In *Clin Sports Nutri* Ed Burke L and Deakin V. McGraw-Hill Inc, Australia Ch 10; 241-262, 2000.
32. Kinscherf R, Hack V, Fischbach T, et al. Low plasma glutamine in combination with high glutamate levels indicate risk for loss of body cell mass in healthy individuals: the effect of N-acetyl-cysteine. *J.Mol.Med.* 74: 393-400, 1996.
33. Lands LC, Grey VL, and Smountas AA. Effect of supplementation with a cysteine donor on muscular performance. *J Appl Physiol* 87: 1381-1385, 1999.
34. Lemon PW. Beyond the zone: protein needs of active individuals. *J Am Coll Nutr* 19:513S-521S, 2000.
35. Lemon PW, Berardi JM, Noreen EE. The role of protein and amino acid supplements in the athlete's diet: does type or timing of ingestion matter? *Curr Sports Med Rep* 1; 214-221, 2002.
36. Mahe S et al. Gastrojejunal kinetics and the digestion of [<sup>15</sup>N]B-lactoglobulin and casein in humans: the influence of the nature and quantity of the protein. *Am J Clin Nutr* 63; 546-552, 1996.
37. Mariotti F, Simbelie KL, Makarios-Lahham L, Huneau JF, Laplaize B, Tome D, Even PC. Acute ingestion of dietary proteins improves post-exercise liver glutathione in rats in a dose-dependent relationship with their cysteine content. *J Nutr* 134;1:128-131, 2004.
38. Melis GC, Wengel N, Boelens PG, van Leeuwen PA. Glutamine: recent developments in research on the clinical significance of glutamine. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 7:59-70, 2004.
39. Middleton N, Jelen P, Bell G. Whole blood and mononuclear cell glutathione response to dietary whey protein supplementation in sedentary and trained male human subjects. *Inter J Food Sci Nutr* 55;2:131-141, 2004.
40. Morens C, Bos C, Pueyo ME, et al. Increasing habitual protein intake accentuates differences in postprandial dietary nitrogen utilization between protein sources in humans. *J Nutr* 133(9):2733-2740, 2003.
41. Morifuji M, Sakai K, and Sugiura K. Dietary whey protein modulates liver glycogen level and glycoregulatory enzyme activities in exercise-trained rats. *Exper Biol Med* 230: 23-30, 2005.
42. Nieman DC. Infection, the Immune System and Exercise. *Encyclopedia of Sports Med and Sci* 2004 <http://www.sportsci.org>
43. Pizza FX. Overtraining and Immunity. *Encyclopedia of Sports Med and Science* 2004 <http://www.sportsci.org>
44. Poortmans JR, Dellalieux O. Do regular high protein diets have potential health risks on kidney function in athletes? *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 10:28-38, 2000.
45. Poullain MG, Cezard JP, Roger L and Mendy F. The effect of whey proteins, their oligopeptide hydrolysates and free amino acid mixtures on growth and nitrogen retention in fed and starved rats. *JPEN* 13:382-386, 1989.
46. Reeds P and Biolo G. Non-protein roles of amino acids: an emerging aspect of nutrient requirements. *Curr Opin Clin Nutri Metab Care* 5;43-45, 2002.
47. Rennie MJ, and Tipton KD. Protein and amino acid metabolism during and after exercise and the effects of nutrition. *Annu Rev Nutr* 20:457-483, 2000.
48. Rowbottom DG, Keast D, Morton AR. The emerging role of glutamine as an indicator of exercise stress and overtraining. *Sports Med* 21(2): 80-97, 1996.
49. Sen CK. Oxidants and antioxidants in exercise. *J Appl Physiol* 79:675-686, 1995.
50. Sen CK, Atalay M, Hanninen O. Exercise-induced oxidative stress: glutathione supplementation and deficiency. *J Appl Physiol* 77:2177-2187, 1994.
51. Tome D and Bos C. Dietary protein and nitrogen utilization. *J of Nutr* 130:1868S-1873S, 2000.
52. Troost FJ, Steijns J, Saris WHM and Brummer RJM. Gastric Digestion of Bovine Lactoferrin In Vivo in Adults. *J Nutr* 131: 2101-2104, 2001.
53. Volek, J.S. Influence of nutrition on responses to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:689-696, 2004.
54. Volpi E, Kobayashi H, Sheffield-Moore M, et al. Essential amino acids are primarily responsible for the amino acid stimulation of muscle protein anabolism in healthy elderly adults. *Am. J. Clin Nutr* 78: 250-258, 2003.
55. Wagenmakers AJ. Muscle amino acid metabolism at rest and during exercise: Role in human physiology and metabolism. *Exercise & Sport Science Rev.* 26:287-314, 1998.
56. Walsh NP, Blannin AK, Robson PJ, Gleeson M, Glutamine, exercise and immune function. Links and possible mechanisms. *Sports Med* 26;3:177-191, 1998.
57. Walzem RM, Dillard CJ, and German JB. Whey components: millennia of evolution create functionalities for mammalian nutrition: what we know and what we may be overlooking. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 42;4:353-375, 2002.
58. Wolfe RR. Protein supplements and exercise. *Am J. Clin Nutr.* 72:551s-557s, 2000.
59. Wu G, Fang Y, Yang S, Lupton JR, and Turner ND. Glutathione metabolism and its implications for health. *J Nutr* 134: 489-492, 2004.