

健常成人に対する小麦由来グルタミン含有 ペプチド摂取による運動負荷後の疲労感軽減効果 —プラセボ対照ランダム化二重盲検クロスオーバー比較試験—



Improvement Effect of Wheat Glutamine-containing Peptides on Fatigue in Healthy Volunteers after Exercise Stress

—A Randomized, Double-blind, Placebo-controlled, Crossover Comparative Study—



大西 圭悟¹⁾ 浅田 憲一¹⁾
海老原淑子²⁾ 池本 裕之¹⁾

ABSTRACT

Objectives This study aimed to evaluate the effect of wheat glutamine-containing peptides on the fatigue after exercise, using a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover comparative method.

Methods Twenty healthy volunteers ranging in age from 20 to 65 received glutamine-rich peptides (not less than 4.2 g) or a placebo daily for 8 days. Participants performed an exercise using a bicycle ergometer for 60 min, just before and 8th day during the intake period. The visual analogue scale (VAS) for fatigue feeling, the rating of perceived exertion (RPE) and the profile of mood states (POMS) were recorded before and after the exercise. What is more, the blood levels of TGF- β , CK, glutamine and branched-chain amino acids (BCAA) were measured after the exercise.

Results Although there were no significant differences between groups in the VAS, RPE, POMS and the blood-CK level, the blood-TGF- β level in the test group was significantly lower than those of the placebo group after the intake period. In addition, the blood levels of glutamine and BCAA in the test group were significantly higher than those of the placebo group after the intake period. Concerning participants equipped with high endurance, the VAS for fatigue feeling after their exercises for 60 min significantly improved compared to that of the placebo group after the intake period.

Conclusions The intake of wheat glutamine-containing peptides were demonstrated to reveal improvement effects of the fatigue feeling after exercise stress. (UMIN000038134)

(Jpn Pharmacol Ther 2020 ; 48 : 1447-60)

KEY WORDS Wheat glutamine-peptides, Fatigue after exercise, TGF- β , Visual analog scale

¹⁾日清ファルマ株式会社 健康科学研究所 ²⁾チヨダパラメディカルケアクリニック

Keigo Onishi, Kenichi Asada, and Hiroyuki Ikemoto: Health Care Research Center, Nisshin Pharma Inc.; Shukuko Ebihara: Chiyoda Paramedical Care Clinic

はじめに

身体活動（生活活動および運動）は、健康づくりに欠かすことができない生活習慣であり、厚生労働省による「二十一世紀における第二次国民健康づくり運動（健康日本 21（第二次））」においても、身体活動に関する目標が設定されている。身体活動不足は、肥満や生活習慣病発症、高齢者の自立度低下や虚弱の危険因子であるといわれており^{1,2)}、適切な生活活動および運動習慣を確立、継続することの重要性は高いといえる。食品によって運動後の疲労感を軽減し、日々の運動習慣をサポートすることは、国民の健康づくりに大きく貢献できると考えられる。

小麦由来グルタミン含有ペプチドは、小麦の主要タンパクである小麦グルテンを酵素処理することによって得られる食品素材（小麦グルテン加水分解物）に含まれ、構成アミノ酸の約 40% をグルタミンが占めるグルタミン高含有のペプチドである^{3,4)}。小麦由来グルタミン含有ペプチドのヒトに対する有効性として、長距離走、サッカー、投擲などの競技者に対する運動負荷後の遅発性筋損傷軽減作用が報告されており^{5~7)}、日常的に運動習慣のある競技者の筋損傷軽減に有益であることが明らかになっている。また、運動習慣がほとんどない健康成人に対しては、NK 細胞活性の上昇⁸⁾や自体重エクササイズとの併用による中高齢者の筋量維持⁹⁾などが報告されている。しかしながら、健康成人に対する運動負荷後の疲労感軽減効果については明らかにされていない。

本試験では、健康成人を対象とし、小麦由来グルタミン含有ペプチドの摂取による運動負荷後の疲労感軽減効果を検討することを目的とした。

I 対象と方法

1 対 象

本試験は、20 歳以上 65 歳未満の健康な日本人男女を対象とし、30 分以上の運動を週 2 回以上行っていないことを選択基準とした¹⁰⁾。

おもな除外基準を以下に記載する：薬剤治療中の者、プロテイン、ペプチド、アミノ酸を豊富に含む飲料、特定保健用食品、機能性表示食品、健康食品

を週 3 回以上摂取している者；運動負荷後の疲労感軽減に影響を与える可能性のある医薬品、特定保健用食品、機能性表示食品、健康食品を週 3 回以上服用または摂取している者；妊娠中または妊娠を予定している者；授乳中の者；心臓、肝臓、腎臓、消化器等に重篤な疾患の現病歴および既往歴（手術歴含む）がある者；アルコール多飲者、喫煙者、食生活が極度に不規則な者；交替制勤務や深夜勤務など生活リズムが不規則な者；試験責任医師が本試験への参加が不適当と判断した者。

2 被験食品

被験食品は、1 日あたりの摂取目安量 12.0 g に、小麦由来グルタミン含有ペプチド 4.2 g を含むように小麦グルテン加水分解物として「商品名：グルタミンペプチド GP-1 N」（日清ファルマ（株）製）を 6.0 g 配合し、さらにクエン酸 2.7 g、マグネシウム 28.0 mg、カルシウム 56.0 mg、カリウム 260.0 mg を加えた小麦由来グルタミン含有ペプチド添加食品とした。対照食品は、小麦由来グルタミン含有ペプチドの代わりに賦形剤（デキストリン）を配合したプラセボ食品とし、小麦由来グルタミン含有ペプチド以外の原材料および製造方法が被験食品と同一の食品とした。両試験食品は外観、風味、性状に区別がつかないことを確認し、盲検化して試験に用いた。

小麦由来グルタミン含有ペプチドは、アミノ酸（18 種類；Arg, Lys, His, Phe, Tyr, Leu, Ile, Met, Val, Ala, Gly, Pro, Glu+Gln, Ser, Thr, Asp+Asn, Trp, Cys）の総量として定量し、さらにグルタミンを標準物質としたアミド態窒素法^{5,11,12)}によりグルタミン含量を測定した。摂取期間を通じて、被験食品には小麦由来グルタミン含有ペプチドがアミノ酸総量として 4.2 g 以上含まれることを確認し、構成アミノ酸の 35% 以上をグルタミンおよびグルタミン酸が占めること、アミド態窒素法によりグルタミンとして 1.5 g 以上検出されることを確認した。また、分子量分布の測定、HPLC 法による N 末端のピログルタミン酸定量¹³⁾により、小麦由来グルタミン含有ペプチドの品質を確認した。

3 試験方法

1) 試験デザイン

本試験はプラセボ対照ランダム化二重盲検クロスオーバー比較試験とした。試験スケジュールは、事

前検査後に I 期摂取期間 8 日間、休止期間 2 週間、II 期摂取期間 8 日間とし、摂取期間前と終了日に運動負荷および検査を実施した¹⁴⁾。摂取期間中は、被験食品または対照食品のそれぞれ 1 日 12.0 g を 500 mL の水に溶かし、毎日朝食後に経口摂取させた。試験期間中は、試験参加前からの生活習慣を大きく変えず、日常範囲を大きく逸脱する過度な運動、節食や過食をしないように指導した。また、検査前日には、飲酒、過度な運動、節食や過食などを禁止し、規定食として検査前日夕食（男性：エネルギー 802.0 kcal、タンパク質 20.1 g、脂質 19.9~20.4 g、炭水化物 133.6 g；女性：エネルギー 668.0 kcal、タンパク質 15.8 g、脂質 9.1~9.6 g、炭水化物 129.4 g）と検査当日朝食（男性および女性：エネルギー 344.0 kcal、タンパク質 4.6 g、脂質 23.5 g、炭水化物 28.4 g）を摂取させた。

本試験は、「ヘルシンキ宣言」に基づく倫理的原則、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（文部科学省、厚生労働省告示）」を遵守した。試験参加者の人権および安全性と試験データの信頼性の確保を図るため、チヨダパラメディカルケアクリニック倫理審査委員会での審査と承認（承認日 2019 年 9 月 20 日、承認番号 19092003）を受けた後、試験参加者に試験内容を十分に説明し、インフォームドコンセントを文面で取得した。試験プロトコルは大学病院医療情報ネットワークの臨床試験登録システム（UMIN-CRT; <https://www.umin.ac.jp/ctr/index-j.htm>）に事前に登録した（UMIN000038134）。

2) 運動負荷

運動負荷は、23±2°C の環境下で、エアロバイク 75XLIII（株）コナミスポーツライフ）を用いて実施した。

事前検査では、ランプ方式の運動プログラムを設定し、運動負荷を少しずつ増加させて体力テストを実施した。心拍数と負荷値をそれぞれサンプリングして直線回帰を求め、推定最大心拍数の 75% における仕事率（ $PWC_{75\%HR_{max}}$ ；W）を測定した^{15,16)}。

摂取期間前と終了日では、事前検査における $PWC_{75\%HR_{max}}$ （W）を 75 で除した後に、男性は 50、女性は 45 を乗じた負荷で 60 分間の運動負荷を実施した。運動中のペダルの回転数は 50 rpm を維持させた。摂取期間終了日には、運動負荷前と運動負荷中

（開始 30 分後）に、それぞれ試験食品 6.0 g を 250 mL の水に溶かして摂取させた。

3) 被験者

被験者選定、解析のフローチャートを図 1 に示す。試験参加への同意を得た試験参加者 60 名について、事前検査において選択基準に該当し、除外基準に抵触しておらず、試験責任医師の判断により試験参加が妥当と判断された 20 名を被験者とした。被験者数については、既報を参考に設定した^{5~7)}。

20 名の被験者は、年齢、性別、BMI、事前検査時の $PWC_{75\%HR_{max}}$ を考慮して層別ランダム化法により、2 群に割付けを行った。2 種類の試験食品記号を無作為に割りあて、試験食品記号と被験者識別コードを付した試験食品割付け表を作成した。試験に携わらない割付け責任者が割付けを実施して被験者割付けキーを管理し、筆者らが試験食品割付けキーを管理することで盲検性を確保した。被験者割付けキーと試験食品割付けキーは症例固定後に双方開示することでキーオープンとした。

4 評価項目

主要評価項目として疲労感に関する visual analog scale（疲労感 VAS）、血液検査（TGF- β , CK）を評価した。副次評価項目として血液検査（アミノ酸（Gln, 総 branched-chain amino acids (BCAA), Val, Leu, Ile, Trp), IL-6, TNF- α , NK 細胞活性, AST, ALT, LDH, γ -GTP, BUN, CRE), 主観的運動強度, profile of mood states (POMS) を評価した。主要評価項目とした疲労感 VAS, TGF- β , CK について、疲労感 VAS と TGF- β は、抗疲労製品の効果を判定するための評価項目とされており、運動後の疲労感を評価する指標として設定した^{14,22)}。CK は、運動により筋繊維や結合組織の損傷が生じると血中に逸脱する酵素であり、運動後の筋肉の損傷とそれに伴う疲労感を評価するために設定した^{5~7)}。副次評価項目とした血液検査、主観的運動強度、POMS について、血液検査は、運動により変動する指標であり、既報より小麦由来グルタミン含有ペプチドの作用機序と考えられたことから設定した^{8,24,30)}。主観的運動強度と POMS は、運動後の疲労感軽減効果と運動パフォーマンスおよび気分状態の関連を検証するために設定した。また、安全性評価として身体計測、生理学的検査、医師による問診および有害事

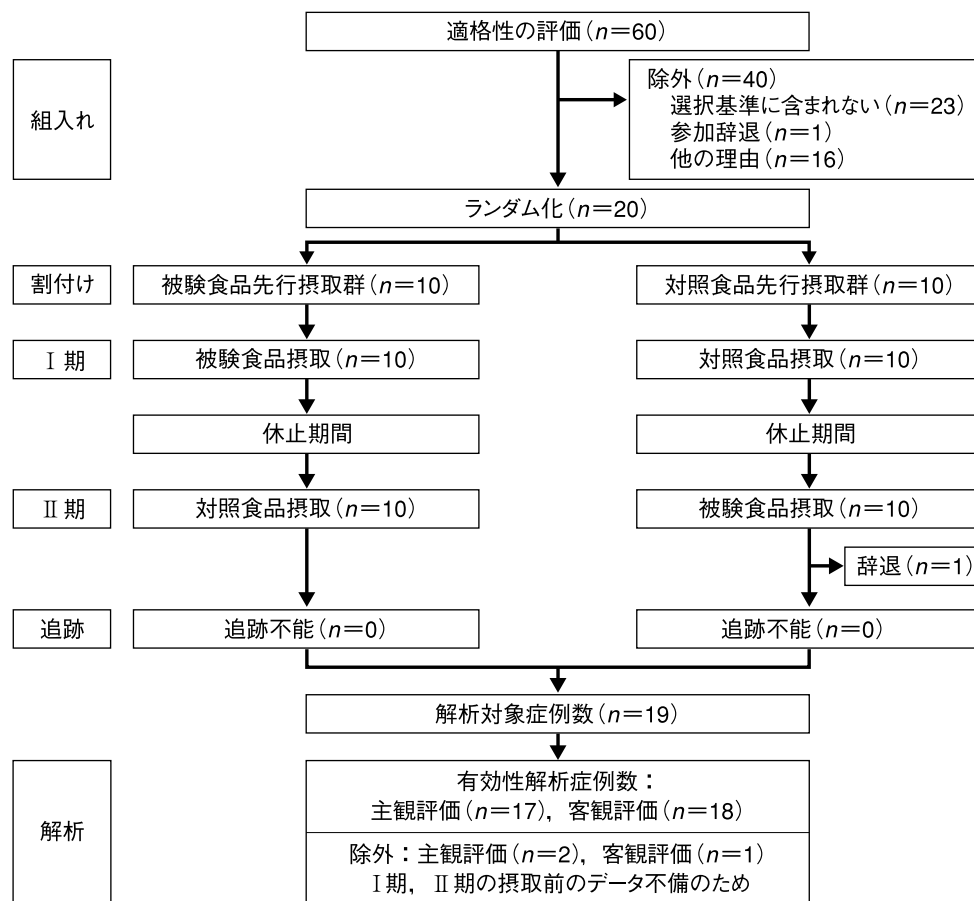


図 1 被験者選定, 解析のフローチャート

象判定を実施し, 副作用および有害事象の発現率を評価した。

1) 疲労感 VAS

疲労感 VAS は, 摂取期間前と終了日の運動負荷直前, 直後, 30 分後, 60 分後, および翌日に評価した。全体的な疲労感, 筋肉の痛み, 倦怠感の 3 項目について, 100 mm の線分に対して左端 (まったくない状態) から右端 (想像できる最大の状態) とし^{17~19)}, その時点の状態がどこに位置するかを自己記入させた。

2) 血液検査

血液検査には摂取期間前と終了日の運動負荷直後に採血した血液を用いた。CK, アミノ酸 (Gln, 総 BCAA, Val, Leu, Ile, Trp), AST, ALT, LDH, γ -GTP, BUN, CRE は, (株)ビー・エム・エルで所定の方法により測定した。TGF- β , IL-6, TNF- α は, (株)IMUH で所定の方法により測定した。NK 細胞活性は, (株)エスアールエスで所定の方法により測

定した。

3) 主観的運動強度

主観的運動強度は, 摂取期間前と終了日の運動負荷直前および直後に評価した。疲労度に応じた 6 から 20 までの 15 段階の等級 (6 安静の状態, 7 非常に楽である, 9 かなり楽である, 11 楽である, 13 ややきつい, 15 きつい, 17 かなりきつい, 19 非常にきつい) に対して^{20,21)}, その時点の状態がどの等級に相当するかを回答させて記録した。

4) POMS

POMS は, POMS2[®] 日本語版-成人用 短縮版(株)金子書房)を使用し, 摂取期間前と終了日の運動負荷直前および 60 分後に評価した。35 項目の質問項目に対し, その時点の状態が, 0 まったくなかった, 1 少しあった, 2 まあまああった, 3 かなりあった, 4 非常に多くあった, のいずれに相当するかを自己記入させ, 怒り-敵意 (anger-hostility; AH), 混乱-当惑 (confusion-bewilderment; CB), 抑うつ-落ち込

表 1 被験者背景

項目	単位	全体 (FAS・PPS)	
		被験食品先行摂取群 (<i>n</i> =10)	対照食品先行摂取群 (<i>n</i> =9)
性別 (男/女)	名	9/1	7/2
年齢	歳	38.2±12.6	38.8±11.9
身長	cm	166.9±6.9	168.3±8.6
体重	kg	61.3±6.4	57.7±7.4
BMI	kg/m ²	22.0±2.0	20.3±1.6
収縮期血圧	mmHg	118.9±12.0	117.0±8.4
拡張期血圧	mmHg	71.3±9.9	73.8±7.9
脈拍数	bpm	66.1±11.0	68.4±7.2
PWC _{75%HRmax}	W	125.8±16.9	124.3±24.1

平均値±標準偏差

み (depression-dejection; DD), 疲労-無気力 (fatigue-inertia; FI), 緊張-不安 (tension-anxiety; TA), 活気-活力 (vigor-activity; VA), 友好 (friendliness; F), 総合的気分状態 (total mood disturbance; TMD) の標準化得点 (T 得点) を算出した。

5) 安全性評価

身体計測, 生理学的検査, 医師による問診は, 摂取期間前と終了日の運動負荷前に実施した。医師による有害事象判定により, 副作用および有害事象の発現率を算出した。

5 統計解析

被験者背景は平均値±標準偏差で示し, その他の項目は平均値±標準誤差で示した。被験食品と対照食品の比較は, 疲労感 VAS, 血液検査, POMS の測定値について, 対応のある *t* 検定で解析した。主観的運動強度の測定値について, Wilcoxon 一標本検定で解析した。副作用および有害事象の発現率, 被験者背景の性別について, それぞれ McNemar 検定, Fisher の正確検定で解析した。被験者背景の年齢, 身体計測, 生理学的検査の測定値について, 対応のない *t* 検定で解析した。摂取前との比較は, 疲労感 VAS, 血液検査, POMS の測定値について, 対応のある *t* 検定で解析した。主観的運動強度の測定値について, Wilcoxon 一標本検定で解析した。なお, 多項目での検定について多重性の補正はしなかった。

持続し効果は, 各摂取期間前の疲労感 VAS のうち, 運動負荷前の全体的な疲労感の値を用いて評価した。順序効果は I 期と II 期の和について, 時期効

果は I 期と II 期の差について, それぞれ対応のない *t* 検定で群間比較した。

有効性に及ぼす全身持久力^{15,16)}の影響を評価するため, 男性について主要評価項目および副次評価項目の層別解析を行った。また, 事前検査における PWC_{75%HRmax} が 140 W 以上であり全身持久力が比較的高かった被験者 (高持久力者) について主要評価項目の層別解析を行った。層別解析における群間および群内の比較には, 上記と同様の解析手法を用いた。

有意水準は両側検定で 5% とした。統計解析ソフトは SPSS Statistics 26.0 (アイ・ビー・エム(株)) および Microsoft Excel (マイクロソフト(株)) を用いた。

II 結 果

1 解析対象者

解析対象者は, 試験途中で辞退した 1 名を除外した 19 名 (被験食品先行摂取群 10 名, 対照食品先行摂取群 9 名) とした (図 1)。主観評価 (疲労感 VAS, 主観的運動強度, POMS) は, I 期と II 期の摂取前のデータに不備があった 2 名を除外し, 17 名 (被験食品先行摂取群 9 名, 対照食品先行摂取群 8 名) について解析した。客観評価 (血液検査) は, I 期と II 期の摂取前のデータに不備があった 1 名を除外し, 18 名 (被験食品先行摂取群 10 名, 対照食品先行摂取群 8 名) について解析した (図 1)。なお, 解析対象者の取扱いとデータの採否は, キーオープン

表 2 疲労感 VAS

項目	食品	n		運動負荷				
				直前	直後	30 分後	60 分後	翌日
全体的な疲労感 (mm)	被験食品群	17	摂取前	16.5±3.1	59.7±5.0	36.5±4.3	31.2±4.8	26.2±4.5
			摂取後	15.3±3.2	53.6±5.2*	40.2±4.6	31.5±4.6	19.4±3.2
	対照食品群	17	摂取前	17.3±2.7	65.3±4.9	46.7±5.0	39.8±5.6	28.0±5.9
			摂取後	17.9±3.3	54.4±4.9**	38.7±4.6*	32.4±4.7*	21.0±4.3*
筋肉の痛み (mm)	被験食品群	17	摂取前	9.9±2.7	44.9±6.9	31.0±4.8 [#]	24.9±3.3	25.8±4.6
			摂取後	13.0±3.4	46.4±5.7	30.9±3.8	22.1±3.8	19.1±4.0
	対照食品群	17	摂取前	10.5±2.9	50.0±6.1	42.2±5.4	33.8±5.8	27.3±6.0
			摂取後	13.6±3.7	43.2±6.2	31.6±4.8**	23.4±4.4*	19.5±4.5
倦怠感 (mm)	被験食品群	17	摂取前	15.2±2.6	53.7±5.7	37.3±4.3	32.1±5.0	27.5±4.4
			摂取後	16.8±3.4	49.2±6.0	37.4±4.9	31.3±4.8	21.4±4.0
	対照食品群	17	摂取前	14.6±3.0	52.1±5.9	46.5±5.5	39.1±5.3	27.1±5.9
			摂取後	19.1±3.5	47.9±5.3	38.9±4.6	33.3±4.7	20.8±4.2

平均値±標準誤差

* $P<0.05$, ** $P<0.01$ (摂取前との比較)

[#] $P<0.05$ (対照食品群との比較)

表 3-1 血液検査 (主要評価項目)

項目	食品		運動負荷直後		
			全体 (n=18)	男性 (n=15)	高持久力者 (n=4)
CK (U/L)	被験食品群	摂取前	140.2±11.8	149.2±12.8	185.0±23.4
		摂取後	132.3±12.7	141.2±14.1	198.8±25.8
	対照食品群	摂取前	149.7±15.5	157.5±17.6	232.0±34.8
		摂取後	128.7±11.3	134.1±13.1	193.8±27.8
TGF- β (ng/mL)	被験食品群	摂取前	11.1±1.2	11.4±1.5	7.2±0.7
		摂取後	8.9±0.9 ^{#,*}	8.7±0.9 ^{#,**}	5.1±1.3
	対照食品群	摂取前	12.8±1.6	12.1±1.8	7.3±1.0
		摂取後	12.1±1.4	11.9±1.5	6.7±1.4

平均値±標準誤差

* $P<0.05$, ** $P<0.01$ (摂取前との比較)

[#] $P<0.05$ (対照食品群との比較)

前に決定した。

男性に対する層別解析では、前記 19 名の解析対象者のうち、I 期と II 期の摂取前のデータに不備があった者を除外し、主観評価は 14 名 (被験食品先行摂取群 8 名、対照食品先行摂取群 6 名)、客観評価は 15 名 (被験食品先行摂取群 9 名、対照食品先行摂取群 6 名) について解析した。高持久力者に対する層別解析では、4 名 (被験食品先行摂取群 2 名、対照食品先行摂取群 2 名) の主要評価項目を解析した。

2 有効性評価

解析対象者の被験者背景を表 1、疲労感 VAS の結果を表 2-1~2-3、血液検査の結果を表 3-1~3-2、主観的運動強度の結果を表 4、POMS の結果を表 5、疲労感 VAS の層別解析結果を表 6-1~6-2 に示した。解析対象者の被験者背景について、群間差は確認されず、事前検査における $PWC_{75\%HRmax}$ は、被験食品先行摂取群では 125.8 ± 16.9 W、対照食品先行摂取群では 124.3 ± 24.1 W であった (表 1)。また、持越し効果を評価した結果、順序効果、時期効果ともに群間差は確認されなかった (それぞれ $P=0.12$,

表 3-2 血液検査 (副次評価項目)

項目	食品		運動負荷直後	
			全体 (n=18)	男性 (n=15)
Gln (nmol/mL)	被験食品群	摂取前	706.3±28.6	729.3±29.7
		摂取後	776.5±23.4 ^{##,*}	782.3±25.0 [#]
	対照食品群	摂取前	693.2±19.7	698.0±19.4
		摂取後	681.6±24.1	689.7±24.9
総 BCAA (nmol/mL)	被験食品群	摂取前	438.9±21.3	435.9±21.2
		摂取後	518.5±19.2 ^{##,**}	524.6±22.7 ^{##,**}
	対照食品群	摂取前	417.1±14.8	426.5±16.6
		摂取後	424.0±13.9	426.8±16.2
Val (nmol/mL)	被験食品群	摂取前	243.1±11.6	239.7±10.9
		摂取後	271.5±10.6 ^{##}	273.1±12.4 ^{#,*}
	対照食品群	摂取前	231.9±7.4	235.6±8.6
		摂取後	236.2±7.8	234.5±8.7
Leu (nmol/mL)	被験食品群	摂取前	68.3±3.9	67.7±4.0
		摂取後	87.3±4.0 ^{##,**}	89.1±4.6 ^{##,**}
	対照食品群	摂取前	64.6±2.9	66.1±3.1
		摂取後	66.6±2.9	68.7±3.3
Ile (nmol/mL)	被験食品群	摂取前	127.5±6.4	128.5±6.7
		摂取後	159.7±5.6 ^{#,**}	162.5±6.4 ^{##,**}
	対照食品群	摂取前	120.6±4.9	124.8±5.2
		摂取後	121.3±4.2	123.6±4.6
Trp (nmol/mL)	被験食品群	摂取前	44.3±2.1	43.8±2.1
		摂取後	43.3±1.6	43.5±1.9
	対照食品群	摂取前	42.3±1.8	43.3±1.9
		摂取後	42.6±2.6	43.5±3.1
IL-6 (pg/mL)	被験食品群	摂取前	3.6±0.5	4.0±0.5
		摂取後	3.2±0.3	3.4±0.4
	対照食品群	摂取前	3.7±0.3	4.1±0.3
		摂取後	3.2±0.3	3.6±0.4
TNF- α (pg/mL)	被験食品群	摂取前	0.77±0.03	0.79±0.03
		摂取後	0.76±0.05	0.77±0.05
	対照食品群	摂取前	0.82±0.03	0.85±0.03
		摂取後	0.82±0.06	0.86±0.06
NK 細胞活性 (%)	被験食品群	摂取前	54.9±3.3	56.6±3.3
		摂取後	56.1±3.1	57.4±2.9
	対照食品群	摂取前	53.2±3.0	56.3±2.4
		摂取後	55.6±2.9	55.9±3.3
AST (U/L)	被験食品群	摂取前	23.6±1.5	23.5±1.7
		摂取後	23.7±1.2	23.3±1.4
	対照食品群	摂取前	24.8±1.4	24.1±1.6
		摂取後	22.3±1.1 [*]	21.8±1.2
ALT (U/L)	被験食品群	摂取前	20.5±2.6	21.2±3.0
		摂取後	20.8±2.4	21.2±2.9
	対照食品群	摂取前	21.5±2.4	21.5±2.9
		摂取後	19.3±1.5	19.3±1.8

表 3-2 (つづき)

項目	食品		運動負荷直後	
			全体 (n=18)	男性 (n=15)
LDH (U/L)	被験食品群	摂取前	188.1±5.3	189.6±6.2
		摂取後	187.4±5.8	187.7±6.7
	対照食品群	摂取前	192.8±6.7	194.5±7.9
		摂取後	188.9±5.7	191.1±6.6
γ-GTP (U/L)	被験食品群	摂取前	27.5±3.9	27.6±4.5
		摂取後	27.1±4.0	27.3±4.7
	対照食品群	摂取前	27.1±3.8	27.1±4.5
		摂取後	26.1±3.6	26.2±4.1
BUN (mg/dL)	被験食品群	摂取前	11.4±0.6	11.3±0.5
		摂取後	12.4±0.7	12.4±0.7
	対照食品群	摂取前	11.5±0.7	11.4±0.7
		摂取後	11.7±0.9	11.5±0.8
CRE (mg/dL)	被験食品群	摂取前	0.82±0.03	0.87±0.02
		摂取後	0.83±0.04	0.88±0.02
	対照食品群	摂取前	0.82±0.03	0.87±0.02
		摂取後	0.83±0.04	0.89±0.02

平均値±標準誤差

* $P<0.05$, ** $P<0.01$ (摂取前との比較)# $P<0.05$, ## $P<0.01$ (対照食品群との比較)

表 4 主観的運動強度

項目	食品		運動負荷			
			直前	直後	直前	直後
			全体 (n=17)		男性 (n=14)	
主観的運動強度	被験食品群	摂取前	9.4±0.4	14.9±0.6	9.2±0.5	15.4±0.6
		摂取後	9.1±0.4	14.2±0.5	8.9±0.4	14.4±0.5 ^{#,*}
	対照食品群	摂取前	8.7±0.4	15.6±0.5	8.6±0.5	15.9±0.6
		摂取後	9.1±0.4	14.9±0.6	8.9±0.5	15.3±0.7

平均値±標準誤差

* $P<0.05$ (摂取前との比較)# $P<0.05$ (対照食品群との比較)

0.86)。

1) 疲労感 VAS

被験食品摂取および対照食品摂取により、摂取前と比較して運動負荷直後の全体的な疲労感が有意に低下した。また、対照食品摂取により、摂取前と比較して運動負荷 30 分後と 60 分後の全体的な疲労感、筋肉の痛み、および運動負荷翌日の全体的な疲労感が有意に低下した。摂取前における群間の比較では、被験食品群は対照食品群と比較して、運動負荷 30 分後の筋肉の痛み ($P=0.045$) が有意な低値

を示した (表 2)。

2) 血液検査

被験食品摂取により、摂取前と比較して TGF- β が有意に減少し、Gln, 総 BCAA, Leu, Ile が有意に増加した。対照食品摂取により、摂取前と比較して AST が有意に減少した。摂取後における群間の比較では、被験食品群は対照食品群と比較して、TGF- β ($P=0.027$) が有意な低値を示し、Gln ($P<0.01$), 総 BCAA ($P<0.01$), Val ($P<0.01$), Leu ($P<0.01$), Ile ($P<0.01$) が有意な高値を示した (表 3-

表 5 POMS

項目	食品		運動負荷			
			直前	60 分後	直前	60 分後
			全体 (n=17)		男性 (n=14)	
怒り-敵意 (AH)	被験食品群	摂取前	42.8±1.6	40.4±1.2	41.5±1.6	40.0±1.3
		摂取後	41.6±1.2	39.2±0.9	41.5±1.3	38.4±0.8
	対照食品群	摂取前	43.9±1.8	41.3±1.2	44.1±2.2	40.8±1.4
		摂取後	41.2±1.2	39.8±1.0	41.4±1.4	39.9±1.2
混乱-当惑 (CB)	被験食品群	摂取前	45.1±1.6	42.2±1.2	44.4±1.9	41.7±1.4
		摂取後	43.8±1.4	41.7±1.1	43.1±1.6	41.3±1.2
	対照食品群	摂取前	44.6±1.6	43.8±1.5	44.2±1.9	43.3±1.6
		摂取後	44.1±1.7	41.9±1.6	43.9±2.0	42.2±1.9
抑うつ-落ち込み (DD)	被験食品群	摂取前	44.5±1.2	43.4±1.2	44.3±1.4	43.3±1.3
		摂取後	45.4±1.4	43.9±1.1	44.0±1.3	42.9±1.1
	対照食品群	摂取前	44.1±1.1	43.4±1.0	45.9±1.7	44.0±1.3
		摂取後	44.1±1.1	43.4±1.2	44.7±1.3	43.6±1.4
疲労-無気力 (FI)	被験食品群	摂取前	42.5±1.7	42.8±1.5	41.9±2.0	43.4±1.7
		摂取後	41.9±1.4	42.8±1.3	41.6±1.6	43.4±1.5
	対照食品群	摂取前	42.8±1.7	45.2±1.4	43.6±1.9	46.2±1.5
		摂取後	40.6±1.5	41.8±1.6**	41.1±1.8	42.9±1.7*
緊張-不安 (TA)	被験食品群	摂取前	43.9±2.1	38.9±1.4	43.0±2.5	38.6±1.7
		摂取後	43.2±2.2	37.8±1.3	41.9±2.5	36.9±1.4
	対照食品群	摂取前	43.6±1.9	39.2±1.6	43.8±2.3	38.8±1.9
		摂取後	40.9±1.7	37.6±1.4	40.6±1.9	37.5±1.5
活気-活力 (VA)	被験食品群	摂取前	51.6±2.0	50.1±3.0	49.5±1.9	49.1±3.5
		摂取後	49.0±2.4**	48.7±2.6	46.9±2.3*	47.6±3.0
	対照食品群	摂取前	52.5±2.1	52.8±2.3	50.4±2.1	50.1±2.1
		摂取後	51.2±2.5	49.9±2.5*	48.4±2.4	47.6±2.6
友好 (F)	被験食品群	摂取前	51.5±2.2	48.1±2.5	50.1±2.5	47.4±2.6
		摂取後	49.1±2.2*	45.9±2.5	46.9±2.2**	44.5±2.7
	対照食品群	摂取前	51.9±1.9	49.5±2.5	50.1±1.9	47.2±2.4
		摂取後	47.6±2.1**	46.5±2.3**	45.8±2.3**	44.4±2.3**
総合的気分状態 (TMD)	被験食品群	摂取前	43.0±1.5	41.1±1.4	42.6±1.8	41.2±1.7
		摂取後	42.5±1.2	40.8±1.0	42.4±1.5	40.6±1.2
	対照食品群	摂取前	43.0±1.8	41.8±1.1	43.8±2.2	42.3±1.3
		摂取後	41.4±1.4	40.4±1.3	42.3±1.6	41.3±1.4

平均値±標準誤差

* $P<0.05$, ** $P<0.01$ (摂取前との比較)

1, 3-2)。

3) 主観的運動強度

群内および群間で有意な差は確認されなかった (表 4)。

4) POMS

被験食品摂取および対照食品摂取により、摂取前と比較して運動負荷直前の友好 (F) のスコアが有意に低下した。被験食品摂取により、摂取前と比較して運動負荷直前の活気-活力 (VA) のスコアが有

表 6-1 疲労感 VAS：層別解析（男性）

項目	食品	n		運動負荷				
				直前	直後	30 分後	60 分後	翌日
全体的な疲労感 (mm)	被験食品群	14	摂取前	16.6±3.5	62.2±5.7	39.4±4.8	30.9±5.2	26.1±5.4
			摂取後	13.2±3.1 [#]	52.9±5.8 ^{**}	39.1±5.2	29.2±5.0	20.5±3.8
	対照食品群	14	摂取前	17.2±3.2	66.8±5.5	50.1±5.1	41.9±6.2	28.5±6.7
			摂取後	19.6±3.8	56.5±5.1 ^{**}	40.1±5.1 [*]	33.9±5.0	22.8±5.0
筋肉の痛み (mm)	被験食品群	14	摂取前	10.5±3.1	46.8±7.8	35.5±5.0	26.4±3.9	25.1±5.4
			摂取後	10.7±3.0	47.5±6.0	32.1±3.9	22.3±4.2	21.3±4.6
	対照食品群	14	摂取前	11.6±3.4	51.0±6.3	44.9±5.7	35.6±6.3	28.8±6.6
			摂取後	15.4±4.3	44.6±6.7	32.3±4.9 ^{**}	24.0±4.4 [*]	20.3±5.3
倦怠感 (mm)	被験食品群	14	摂取前	15.0±2.9	54.3±6.7	40.2±4.8	30.8±5.5	27.2±5.2
			摂取後	13.9±2.8 [#]	48.1±5.4	36.2±5.1	29.2±5.3	23.6±4.6
	対照食品群	14	摂取前	15.5±3.6	52.7±6.3	49.4±5.9	40.4±5.9	28.0±6.5
			摂取後	21.1±4.0	49.6±5.1	39.6±4.8	33.7±5.2	21.5±4.9

平均値±標準誤差

* $P<0.05$, ** $P<0.01$ (摂取前との比較)

[#] $P<0.05$ (対照食品群との比較)

表 6-2 疲労感 VAS：層別解析（高持久力者）

項目	食品	n		運動負荷				
				直前	直後	30 分後	60 分後	翌日
全体的な疲労感 (mm)	被験食品群	4	摂取前	23.0±5.0	54.6±11.3	43.0±7.7	36.0±6.5	21.1±7.4
			摂取後	15.0±7.3	47.3±10.5	29.6±7.8 [*]	17.5±8.3 ^{#,*}	17.5±8.1
	対照食品群	4	摂取前	22.9±6.5	66.8±1.0	47.0±4.4	33.0±5.9	29.8±11.9
			摂取後	24.5±7.6	53.0±7.3	33.8±8.2	29.8±6.9	22.8±8.7
筋肉の痛み (mm)	被験食品群	4	摂取前	17.0±6.9	47.4±13.9	39.0±10.4	28.0±7.2	19.8±8.1
			摂取後	15.0±7.3	41.8±13.9	27.0±8.6	15.0±8.7 ^{##,*}	15.5±7.7
	対照食品群	4	摂取前	15.8±6.5	58.5±7.4	46.6±2.4	26.3±9.3	32.1±14.3
			摂取後	23.8±8.5	40.3±14.1	31.3±8.6	26.9±7.4	20.5±9.1
倦怠感 (mm)	被験食品群	4	摂取前	18.5±5.7 [#]	56.0±12.4	41.3±7.6	29.6±6.5	20.9±7.1
			摂取後	14.5±7.3	39.3±8.6	23.8±7.1	16.0±8.1 ^{##,*}	17.0±8.1
	対照食品群	4	摂取前	14.3±6.3	56.5±5.2	42.3±7.4	33.0±6.4	29.6±12.8
			摂取後	26.0±8.2	42.0±12.5	33.3±7.2	31.0±6.8	22.5±9.0

平均値±標準誤差

* $P<0.05$ (摂取前との比較)

[#] $P<0.05$, ^{##} $P<0.01$ (対照食品群との比較)

意に低下した。対照食品摂取により、摂取前と比較して運動負荷 60 分後の疲労-無気力 (FI)、活気-活力 (VA)、友好 (F) のスコアが有意に低下した。群間の比較では、有意な差は確認されなかった(表 5)。

5) 層別解析

疲労感 VAS について、男性に対する層別解析では、被験食品摂取および対象食品摂取により、摂取前と比較して運動負荷直後の全体的な疲労感が有意

に低下した。また、対照食品摂取により、摂取前と比較して運動負荷 30 分後の全体的な疲労感、筋肉の痛み、および運動負荷 60 分後の筋肉の痛みが有意に低下した。摂取後における群間の比較では、被験食品群は対照食品群と比較して、運動負荷直前の全体的な疲労感 ($P=0.015$)、倦怠感 ($P=0.050$) が有意な低値を示した(表 6-1)。

高持久力者に対する層別解析では、被験食品摂取

により、摂取前と比較して運動負荷 30 分後の全体的な疲労感、運動負荷 60 分後の全体的な疲労感、筋肉の痛み、および倦怠感が有意に低下した。摂取後における群間の比較では、被験食品群は対照食品群と比較して、運動負荷 60 分後の全体的な疲労感 ($P=0.028$)、筋肉の痛み ($P<0.01$)、および倦怠感 ($P<0.01$) が有意な低値を示した。また、摂取前においては、被験食品群は対照食品群と比較して、運動負荷直前の倦怠感 ($P=0.026$) が有意な高値を示した (表 6-2)。

血液検査について、男性に対する層別解析では、被験食品摂取により、摂取前と比較して TGF- β が有意に減少し、総 BCAA, Val, Leu, Ile が有意に増加した。摂取後における群間の比較では、被験食品群は対照食品群と比較して、TGF- β ($P=0.022$) が有意な低値を示し、Gln ($P=0.015$)、総 BCAA ($P<0.01$)、Val ($P=0.011$)、Leu ($P<0.01$)、Ile ($P<0.01$) が有意な高値を示した (表 3-1, 3-2)。

高持久力者に対する層別解析では、主要評価項目について群内および群間で有意な差は確認されなかった (表 3-1)。

主観的運動強度について、男性に対する層別解析では、被験食品摂取により、摂取前と比較して運動負荷直後のスコアが有意に低下した。摂取後における群間の比較では、被験食品群は対照食品群と比較して、運動負荷直後のスコア ($P=0.048$) が有意な低値を示した (表 4)。

POMS について、男性に対する層別解析では、被験食品摂取および対照食品摂取により、摂取前と比較して運動負荷直前の友好 (F) のスコアが有意に低下した。被験食品摂取により、摂取前と比較して運動負荷直前の活気-活力 (VA) のスコアが有意に低下した。対照食品摂取により、摂取前と比較して運動負荷 60 分後の疲労-無気力 (FI)、友好 (F) のスコアが有意に低下した。群間の比較では、有意な差は確認されなかった (表 5)。

3 安全性評価

摂取期間中に、被験食品群では 3 名 (3 件)、対照食品群では 1 名 (1 件) に、悪寒、咽頭痛、麦粒腫などの有害事象が確認されたが、試験責任医師により試験食品との因果関係はなしと判断された。また、副作用は確認されなかった。

III 考 察

本試験では、健常成人を対象とし、小麦由来グルタミン含有ペプチドの摂取による運動負荷後の疲労感軽減効果を、プラセボ対照ランダム化二重盲検クロスオーバー比較試験によって検討した。

健常成人に被験食品として小麦由来グルタミン含有ペプチドを摂取させることで、摂取前および対照食品摂取と比較し、運動負荷直後の血中 TGF- β が有意に減少し、血中アミノ酸 (Gln, 総 BCAA, Leu, Ile) が有意に増加した。また、対照食品摂取と比較し、血中アミノ酸 (Val) が有意に増加した。主観評価については、摂取前と比較し、運動負荷直後の全体的な疲労感が有意に低下したが、対照食品摂取との有意な差は確認されなかった。層別解析の結果、男性においては、小麦由来グルタミン含有ペプチド摂取により、摂取前および対照食品摂取と比較し、運動負荷直後の血中 TGF- β が有意に減少し、血中アミノ酸 (総 BCAA, Val, Leu, Ile) が有意に増加し、主観的運動強度が有意に低下した。また、対照食品摂取と比較し、血中アミノ酸 (Gln) が有意に増加した。さらに、高持久力者においては、小麦由来グルタミン含有ペプチド摂取により、摂取前および対照食品摂取と比較し、運動負荷 60 分後の全体的な疲労感、筋肉の痛み、倦怠感が有意に低下した。したがって、小麦由来グルタミン含有ペプチドの摂取は、運動負荷後の血中 TGF- β の減少、血中アミノ酸 (Gln, 総 BCAA, Val, Leu, Ile) の増加に有効であることが示され、さらに主観的な疲労感を軽減する可能性が示された。

TGF- β は、抗疲労製品の効果を判定するための評価項目の一つとされ、摂取期間前後の値の変化や運動負荷の有無による値の変化によって効果判定される^{14,22)}。これまでに、健常成人における運動負荷後の血中 TGF- β の変化について、身体作業負荷後にイミダゾールジペプチドを摂取することにより、対照食品摂取と比較して、身体作業負荷 4 時間後の TGF- β_1 、回復期 4 時間後の TGF- β_2 が有意な低値を示し、疲労感が抑制されたことが報告されている²³⁾。また、24 時間の長距離走に参加した男性市民ランナーが、小麦由来グルタミン含有ペプチドを含む小麦グルテン加水分解物を 1 時間ごとに 3 g ずつ

摂取することにより、走行 12 時間時点において、走行 6 時間時点と比較して、血中 TGF- β_1 が有意に減少し、疲労感軽減が期待できることが報告されている²⁴⁾。したがって、運動負荷後の血中 TGF- β の変化は、疲労感軽減効果の指標とみなすことができる。本試験では、健康成人が小麦由来グルタミン含有ペプチドを摂取することにより、摂取前および対照食品摂取と比較して、運動負荷後の血中 TGF- β が有意に減少し、さらに男性に対する層別解析においては、運動負荷後の主観的運動強度が有意に低下したことから、運動負荷後の疲労感軽減効果が示された。

運動負荷後の血中アミノ酸の変化について、継続的な運動負荷によって血中グルタミンが減少し^{25,26)}、骨格筋に貯蔵されたグルタミンが放出されて筋タンパク質の分解が亢進することが知られている²⁷⁾。運動負荷による筋タンパク質の分解は、BCAA によって抑制されることが報告されており²⁸⁾、健康成人が BCAA を摂取することで血中 BCAA が有意に増加し、対照食品摂取と比較して筋肉の痛みが軽減されたことが報告されている²⁹⁾。したがって、運動負荷後の血中グルタミンおよび BCAA の変化は、筋損傷に関する指標とみなすことができる。これまでに、小麦由来グルタミン含有ペプチドを含む小麦グルテン加水分解物を摂取することにより、運動負荷後の血中 CK の上昇が抑制されることが報告されており、競技者の筋損傷軽減に有益であることが明らかになっている^{5~7)}。また、男性ランナーが、小麦由来グルタミン含有ペプチドを含む小麦グルテン加水分解物 40 g を摂取することにより、対照食品摂取と比較して、ハーフマラソン走破後または 45 km 走破後の血中グルタミンおよび BCAA が有意に増加したことが報告されている³⁰⁾。本試験では、健康成人が小麦由来グルタミン含有ペプチド 4.2 g を含む小麦グルテン加水分解物 6.0 g を摂取することにより、対照食品摂取と比較して、運動負荷後の血中グルタミンおよび BCAA が有意に増加したことから、既報³⁰⁾ よりも低用量での運動負荷後の筋損傷軽減効果の可能性が示された。

有効性に及ぼす全身持久力の影響について、本試験では男性および高持久力者に対する層別解析を実施した結果、小麦由来グルタミン含有ペプチドを摂

取することにより、男性では運動負荷直後に主観的運動強度の低下、高持久力者では運動負荷 60 分後に主観的な疲労感の軽減が確認された。高持久力者の運動負荷強度の平均値は 98.7 W であったが、自転車エルゴメーターによる 90~100 W の運動は、ほどほどからきつい労力 (6.8 メッツ) を要する運動とされ、ジョギングや水泳などと同程度の運動強度とされている^{31,32)}。したがって、一定の全身持久力が必要になるジョギングや水泳などの、ほどほどからきつい労力を要する運動後における疲労感軽減効果の可能性が示され、運動負荷強度によらず有効であると考えられた。

以上より、小麦由来グルタミン含有ペプチド 4.2 g の摂取は、健康成人の運動負荷後の疲労感軽減に有効であることが示された。

結 論

健康成人に小麦由来グルタミン含有ペプチドを摂取させることで、運動負荷後の血中 TGF- β の減少、血中グルタミンおよび BCAA の増加が確認され、男性において運動負荷直後の主観的運動強度の低下が確認された。また、高持久力者においては運動負荷 60 分後の全体的な疲労感、筋肉の痛み、倦怠感の低下が確認された。以上より、小麦由来グルタミン含有ペプチドの摂取は、運動負荷後の疲労感軽減に有効であることが示された。

【利益相反】 本試験の費用および試験食品は日清ファルマ(株)より提供され、試験は第三者機関である CPCC(株)により適切に実施された。共著者である海老原医師は、試験責任医師として本試験に関与したが、日清ファルマ(株)から海老原医師に対して、研究費や謝礼金などの支払いはなかった。

【謝辞】 本試験にご協力をいただきました試験参加者、試験関係者の皆様に心よりお礼申し上げます。

文 献

- 1) Sofi F, Valecchi D, Bacci D, Abbate R, Gensini GF, Casini A, et al. Physical activity and risk of cognitive decline: a meta-analysis of prospective studies. *J Intern Med* 2011; 269: 107-17.
- 2) 厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会, 次期国民健康づくり運動プラン策定専門委員会. 健康日本 21 (第 2

- 次) の推進に関する参考資料. 2012.
https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/21_2nd/pdf/reference.pdf
- 3) 鈴木良雄. 小麦ペプチド. In: 太田明一監修. 食品機能素材II. (株)シーエムシー; 2001. p.155-8.
- 4) 鈴木良雄. グルタミンペプチドの機能と利用. *New Food Industry* 2000; 42 (12): 17-21.
- 5) Koikawa N, Nakamura A, Nagaoka I, Aoki K, Sawaki K, Suzuki Y. Delayed-onset muscle injury and its modification by wheat gluten hydrolysate. *Nutrition* 2009; 25: 493-8.
- 6) Aoki K, Kohmura Y, Suzuki Y, Koikawa N, Yoshimura M, Aoba Y, et al. Post-training consumption of wheat gluten hydrolysate suppresses the delayed onset of muscle injury in soccer players. *Exp Ther Med* 2012; 3: 969-72.
- 7) 高梨雄太, 鈴木良雄, 青木和浩, 鯉川なつえ, 新村由記, 桜庭景植ほか. 小麦グルテン加水分解物 (WGH) は投擲競技者のウェイトトレーニングにおける筋損傷を軽減するか? *日臨スポーツ医学会誌* 2012; 20 (1): 66-71.
- 8) Horiguchi N, Horiguchi H, Suzuki Y. Effect of wheat gluten hydrolysate on the immune system in healthy human subjects. *Biosci Biotechnol Biochem* 2005; 69 (12): 2445-9.
- 9) 新村由紀, Kobayashi K, 相川めぐみ, 中村実緒, 小林雅之, 金沢愛実ほか. 自体重エクササイズと小麦グルテン加水分解物配合サプリメント併用が中高齢者の下肢筋力と筋量に及ぼす効果. 第 67 回体力医学会大会. 2012.
- 10) 運動基準・運動指針の改定に関する検討会 報告書. 健康づくりのための身体活動基準. 2013.
<https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xp1e-att/2r9852000002xpqt.pdf>
- 11) Wilcox PE. Determination of amide residues by chemical methods. *Methods Enzymology* 1967; 11: 63-5.
- 12) 日本薬学会編. 2.1.2 窒素化合物. In: 衛生試験法・注解. 金原出版(株); 1990: p.272-6.
- 13) Suzuki Y, Motoi H, Sato K. Quantitative analysis of pyroglutamic acid in peptides. *J Agric Food Chem* 1999; 47: 3248-51.
- 14) 日本疲労学会. 抗疲労臨床評価ガイドライン: 日常生活により問題となる疲労に対する抗疲労製品の効果に関する臨床評価ガイドライン. 2011.
- 15) 宮下充正, 武藤芳照, 吉岡伸彦, 定本朋子. 全身持久力の評価尺度としての PWC_{75%HRmax}. *J J Sports Sci* 1983; 2-11: 912-6.
- 16) 宮下充正, 武井義明, 福田裕之. PWC_{75%HRmax} の全身持久性の評価尺度としての妥当性の検討. *J J Sports Sci* 1984; 3: 559-62.
- 17) 日本疲労学会. 抗疲労臨床評価ガイドライン: 別添 抗疲労臨床評価における疲労感の評価方法. 2011.
- 18) 川岡臣昭, 小野寺昇, 詫間晋平. 遅発性筋肉痛および運動に伴う筋損傷研究における文献的知見: 被験者特性の違いに着目して. *川崎医療福祉会誌* 2006; 16 (2): 365-72.
- 19) 平井和恵, 狩野太郎, 高階淳子, 細川舞, 石田和子, 神田清子. 量的評価にみるがん患者の倦怠感の特徴: 臨床における倦怠感アセスメントへの示唆. *横浜看護学雑誌* 2008; 1 (1): 18-25.
- 20) 小野寺孝一, 宮下充正. 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性: rating of perceived exertion の観点から. *体育研* 1976; 21 (4): 191-203.
- 21) Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exercise* 1982; 14 (5): 377-81.
- 22) Inoue K, Yamazaki H, Manabe Y, Fukuda C, Hanai K, Fushiki T. Transforming growth factor-beta activated during exercise in brain depresses spontaneous motor activity of animals. Relevance to central fatigue. *Brain Res* 1999; 846: 145-53.
- 23) 田中雅彰, 鴨原良仁, 藤井比佐子, 平山佳伸, 渡辺恭良. CBEX-Dr 配合飲料の健常人における抗疲労効果. *薬理と治療* 2008; 36 (3): 199-212.
- 24) 加治佐知子, 渡辺雅之, 太田眞, 今西昭雄, 平田龍三, 安藤隆ほか. 低強度, 長時間持続する運動時のサイトカインの動態と小麦グルテン加水分解物 wheat gluten hydrolysate (WGH) 摂取による生体応答. *順天堂医* 2012; 58: 161-7.
- 25) Rennie MJ, Edwards RH, Krywawych S, Davies CT, Halliday D, Waterlow JC, et al. Effect of exercise on protein turnover in man. *Clin Sci* 1981; 61 (5): 627-39.
- 26) Keast D, Arstein D, Harper W, Fry RW, Morton AR. Depression of plasma glutamine concentration after exercise stress and its possible influence on the immune system. *Med J Aust* 1995; 162 (1): 15-8.
- 27) Rennie MJ, MacLennan PA, Hundal HS, Weryk B, Smith K, Taylor PM, et al. Skeletal muscle glutamine transport, intramuscular glutamine concentration, and muscle-protein turnover. *Metabolism* 1989; 38 (8): 47-51.
- 28) MacLean DA, Graham TE, Saltin B. Branched-chain amino acids augment ammonia metabolism while attenuating protein breakdown during exercise. *Am J Physiol* 1994; 267 (6): E1010-22.
- 29) Shimomura Y, Inaguma A, Watanabe S, Yamamoto Y, Muramatsu Y, Bajotto G, et al. Branched-chain amino acid supplementation before squat exercise and delayed-onset muscle soreness. *Int J Sport Nutr Exercise Metabol* 2010; 20: 236-44.
- 30) Sawaki K, Takaoka I, Sakuraba K, Suzuki Y. Effects of distance running and subsequent intake of glutamine rich peptide on biomedical parameters of male Japanese athletes. *Nutr Res* 2004; 24: 59-71.
- 31) 独立行政法人国立健康・栄養研究所. 改訂版「身体活動のメッツ (METs) 表」. 2012.

<https://www.nibiohn.go.jp/eiken/programs/2011mets.pdf>

values. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43 (8): 1575-81.

- 32) Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, et al. 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET

受理日 (2020-6-24), 採択日 (2020-7-28)

* * *