

Original article

## Effects of ostrich meat intake on amino acid metabolism and growth hormone secretion: A comparative clinical study.

Mari Ogura<sup>1)</sup>, Yuji Morita<sup>1,2)</sup>, Wakako Takabe<sup>1)</sup>, Masayuki Yagi<sup>1)</sup>, Fuka Okuda<sup>1)</sup>, Misato Kon<sup>1)</sup>, Kenichi Asada<sup>2)</sup>, Tetsuro Urata<sup>2)</sup>, Tomoko Tsuji<sup>3)</sup>, Yoshiko Kawaguchi<sup>3)</sup>, Yoshikazu Yonei<sup>1)</sup>

- 1) Anti-Aging Medical Research Center and Glycative Stress Research Center, Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha University, Kyoto, Japan
- 2) Urata Clinic/SQOL Kanazawa, Kanazawa, Ishikawa, Japan
- 3) Yoshinoya Holdings Co., Ltd, Tokyo, Japan

Glycative Stress Research 2020; 7 (1): 29-41  
(c) Society for Glycative Stress Research

(原著論文：日本語翻訳版)

## ダチョウ肉摂取によるアミノ酸代謝・成長ホルモン分泌への効果：繰り返し測定試験

小椋真理<sup>1)</sup>、森田祐二<sup>1,2)</sup>、高部稚子<sup>1)</sup>、八木雅之<sup>1)</sup>、奥田風花<sup>1)</sup>、今美知<sup>1)</sup>、浅田健一<sup>1)</sup>、浦田哲郎<sup>2)</sup>、辻智子<sup>3)</sup>、河口良子<sup>3)</sup>、米井嘉一<sup>1)</sup>

- 1) 同志社大学大学院生命医科学研究科アンチエイジングリサーチセンター・糖化ストレス研究センター、京都
- 2) 浦田クリニック／SQOL金沢、石川県金沢市
- 3) 株式会社吉野家ホールディングス、東京都中央区

### 抄録

**【目的】** 高蛋白低脂肪を特徴するダチョウ肉 (OM) を摂取した時の身体への作用について、蛋白・アミノ酸代謝および成長ホルモン (GH) 分泌に焦点に当て検討した。

**【方法】** 健常者 12 名 (33.3 ± 6.9 歳、BMI 21.6 ± 1.6) を対象に、試験品 (OM) と対照食品をそれぞれ 1 週間摂取した時の血漿アミノ酸濃度、運動負荷後成長ホルモン (GH) 分泌能、自律神経機能の検査 (VM500 [疲労科学研究所] を使用) を行った。

連絡先：教授 米井嘉一  
同志社大学大学院生命医科学研究科アンチエイジングリサーチセンター／糖化ストレス研究センター  
〒610-0321 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3  
TEL&FAX: 0774-65-6394 e-mail: yyonei@mail.doshisha.ac.jp  
共著者：小椋真理 m-ogura@po.kbu.ac.jp; 森田祐二 ymorita707@yahoo.co.jp;  
高部稚子 wtakabe@mail.doshisha.ac.jp; 八木雅之 yagi@yonei-labo.com;  
奥田風花 ctuc2017@mail4.doshisha.ac.jp; 今美知 ctuc2013@mail4.doshisha.ac.jp;  
浅田健一 asada@hospy.jp; 浦田哲郎 tetsuro.u@hospy.jp;  
辻智子 t.tsuji@ysn.yoshinoya.com; 河口良子 y.kawaguchi@ysn.yoshinoya.com

Glycative Stress Research 2020; 7 (1): 29-41  
本論文を引用する際はこちらを引用してください。  
(c) Society for Glycative Stress Research

**【結果】** OM 摂取時には分岐鎖アミノ酸 (BCAA)、リジン、ヒスチジンの血中濃度の有意な上昇、筋肉分解指標である 3-および 1-メチルヒスチジンの上昇を認め、筋肉における蛋白質代謝の活性化が示唆された。運動負荷前から GH が高い例を除いたサブクラス解析では、OM 摂取時のみで歩行運動 (30 分) 負荷後 GH 分泌に有意な上昇が認められた。自律神経機能検査では有意な所見は得られなかった。試験期間中に OM に起因する有害事象はなかった。

**【結語】** OM は良質なアミノ酸を多く含み低脂肪の畜肉であり、安全かつ蛋白・アミノ酸補給に適した食材である可能性が示唆された。

**KEY WORDS:** ダチョウ肉、アミノ酸、分岐鎖アミノ酸、成長ホルモン、抗疲労

## はじめに

近年、内臓肥満、メタボリックシンドローム、脂質異常症、脂肪肝、2 型糖尿病といった生活習慣病が増加しつつある。これらの疾病は食後高血糖 (血糖スパイク)、高中性脂肪血症、高 LDL コレステロール血症を伴うことが多く、糖や脂質に由来するアルデヒドが増えるため糖化ストレスが強い状態といえる。糖化ストレスは、反応性の高いアルデヒド基によって身体の構成蛋白や機能性蛋白の構造変化を惹起し、動脈硬化の進行を促し脳心血管イベントの危険因子となるほか、認知症の発症と進行にも深く関わる。

糖化ストレス関連疾患の増加の原因として身体活動量の減少、食事摂取カロリーの増加が上げられる。しかし、日本人の食事摂取カロリーについては量的変化というより、栄養面での質的变化の方がより大きな問題となっている。近年の食生活の動向をみると、炭水化物については米消費が減少、蛋白摂取については畜肉が増え魚肉が減ったことから、脂肪摂取量はやや増加していると推測される<sup>1)</sup>。野菜・果実が減り、食物繊維摂取が減少している。食生活の質的問題を打開する方法の一つとして脂肪分の少ない良質な蛋白源としてダチョウ肉に注目した。

ダチョウ (*Struthio camelus*) のオスの成鳥は、体高 2.3 m、体重 135 kg を超え、現生する鳥類では最大種である<sup>2-4)</sup>。地上を走る能力にたけ、キック力は 100 cm<sup>2</sup> 当たり 4.8 トンの圧力に達する。ダチョウの食性は雑食性とする説もあるが、腸は他の鳥類に比較して長く、馬や兎と同様に草の繊維質を腸で発酵させてエネルギー源とすることがわかっており、草食動物と定義することができる。飲み込んだ石を胃石とし、筋胃において食べた餌をすり潰すことに利用する。ダチョウ肉は、鉄分が豊富で赤みが強く、歯応えのある食感をしている。また低脂肪で L-カルニチンが豊富であることから健康的な食肉として認知が広まりつつある<sup>5,6)</sup>。他の畜肉と比べアラニン、グリシンといった甘み成分のアミノ酸が豊富であることも特徴である。

今回、ダチョウ肉 (試験品) を摂取した時の身体の変化について、特に摂取後のアミノ酸代謝、運動負荷時の成長ホルモン分泌、疲労度について対照品摂取後の測定値を対照とした繰り返し測定試験によって検証した。

## 方法

### 対象

浦田クリニック/スクール金沢に所属または関係し、25 歳以上 45 歳以下の健康な男女 12 名を対象に、ダチョウ肉 (ostrich meat; OM) を使用した加工食品 (ハム、水煮) を試験品として成長ホルモン分泌の推移および血中アミノ酸濃度の推移について対照品摂取後測定値を対照とする繰り返し測定試験にて検証した。

一般社団法人糖化ストレス研究会「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会での承認後、試験説明会を浦田クリニック/スクール金沢 (石川県金沢市) にて実施した上で、本試験の参加を事前に文書で同意かつ以下の除外基準に抵触していない 12 名を被験者として組み込んだ。

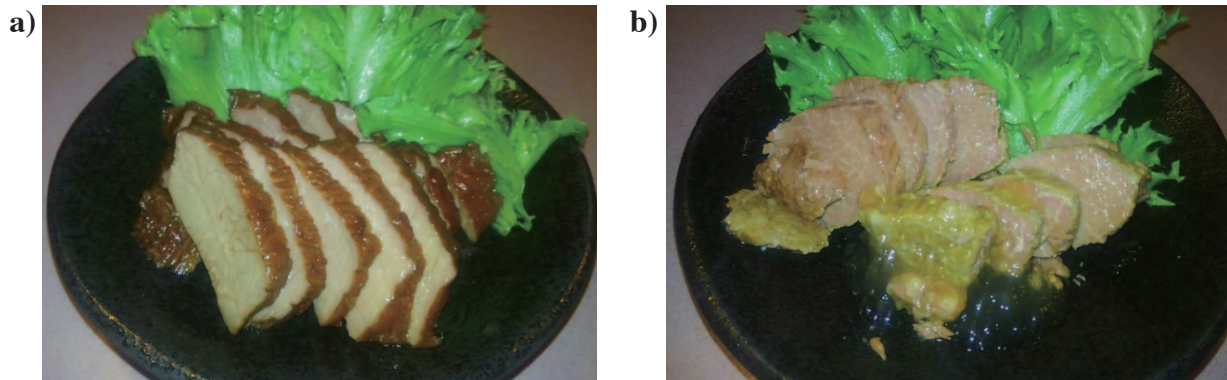
- ① 現在、何らかの疾患を患い薬物治療を受けている者
- ② 肝、腎、心、肺、血液等の重篤な障害の既往歴・現病歴のある者
- ③ 高度の貧血がある者
- ④ 試験食品にアレルギー症状を起こす恐れのある者、また、その他食品、医薬品に重篤なアレルギー症状を起こす恐れのある者
- ⑤ プロテインなどの高蛋白食を日常的に摂取している者
- ⑥ 妊娠中、授乳中あるいは妊娠の可能性のある者
- ⑦ 現在、他ヒト臨床試験に参加している者、他ヒト臨床試験参加後、3ヶ月間が経過していない者

本試験終了後の症例検討会で、本試験に組み込まれた被験者のすべて、12 名 (33.3 ± 6.86 歳) を解析対象とした。

### 試験デザイン

試験品は、株式会社吉野家ホールディングス (東京都中央区) から提供された OM を使用したハム、水煮とした (Fig. 1)。OM の栄養成分とアミノ酸含有量を Table 1, 2 に示した。

実験スケジュールを Fig. 2 に示す。被験者はまず試験開始初日の朝食として、試験食 (水煮 OM) を 100 g 摂取させた。その際、水・米飯との同時摂取も可とした。試験食と対照食の栄養組成を Table 3 に示す。摂取後より当日の検査終了まで絶食とし、水以外の摂取を禁止とした。被験者は



**Fig. 1. Test food (ostrich meat: OM).**

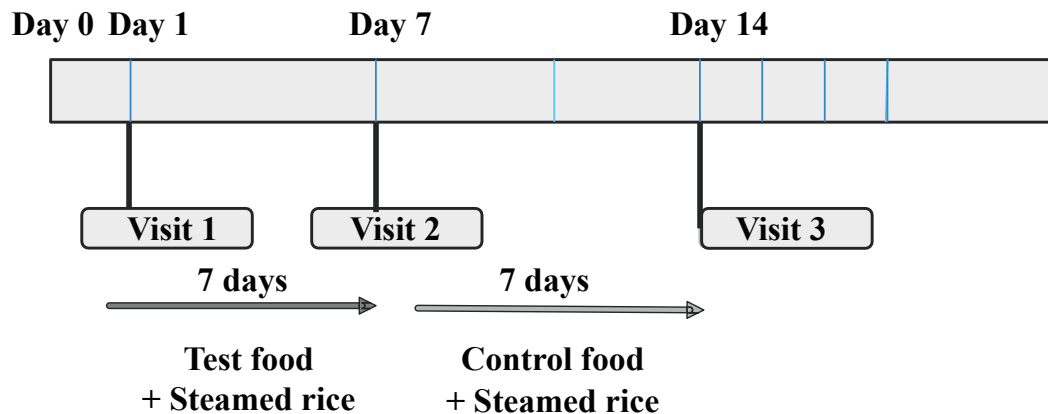
a) Smoked ham. b) Boiled in water.

**Table 1. Nutritional composition.**

Nutritional values per 100 g ostrich meat		
Energy	103	kcal
Carbohydrate	0.0	g
Ash	1.1	g
Protein	22.8	g
Fat	1.3	g
Total fatty acid	1.45	g
Saturated fatty acid	0.45	g
Monounsaturated fatty acid	0.59	g
Polyunsaturated fatty acid	0.41	g
Vitamins		
Vitamin A	0.0	μg
Vitamin B1 (thiamine)	0.18	mg
Vitamin B2 (riboflavin)	0.27	mg
Vitamin B3 (niacin)	4.38	mg
Vitamin B6	0.48	mg
Folic acid	7.00	μg
Vitamin B12	461	μg
Vitamin C	0.0	mg
Vitamin E	0.24	mg

**Table 2. Amino acid composition.**

Amino acid content per 100 g ostrich meat		
Arginine	1.32	g
Lysine	1.84	g
Histidine	0.54	g
Phenylalanine	0.84	g
Tyrosine	0.72	g
Leucine	1.66	g
Isoleucine	0.93	g
Methionine	0.54	g
Valine	0.96	g
Alanine	1.20	g
Glycine	0.91	g
Proline	0.79	g
Glutamic acid	3.05	g
Serine	0.84	g
Threonine	0.95	g
Aspartic acid	1.84	g
Tryptophan	0.28	g
Cystine	0.24	g
Free glutamine	0.04	g



**Fig. 2. Test schedule.**

Table 3. The nutrient composition of control and test food.

	Control food	Test food	
	Cup soup	Boiled in water	Smoked ham
Water (g)	-	61.2	47.7
Energy (kcal)	136	102	96
Protein (g)	2.5	21.9	18.5
Carbohydrate (g)	22	0	0.1
Fat (g)	4.4	1.6	2.4
Sodium (mg)	659	136	323

試験実施施設へ来所後 (Visit-1)、身体計測、背景調査、3METS 程度の歩行運動を行った。歩行条件は、既報と同様に<sup>7)</sup>、トレッドミル (Life Fitness ディスカバートレッドミル SE3; Brunswick Corporation, Illinois, USA) を時速 4.5 km の速度に設定し、30 分の歩行運動を実施した。歩行運動前 75 分に糖負荷 (ブドウ糖 40 g) を行い、主要評価項目である GH の分泌を一時的に抑制した。その後歩行運動 15 分前に採血による GH、アミノ酸分析、中性脂肪 (triglyceride: TG)、血糖 (plasma glucose: PG)、インスリン (immunoreactive insulin: IRI)、機器 (VM500; 疲労科学研究所、大阪市淀川区) による自律神経機能評価、血液学的検査、血液生化学検査を施行した。歩行運動終了後に 2 度目の採血を実施し、歩行運動前後の血液検査および自律神経機能評価を行った。

被験者はその後、朝食としてハム OM (試験食) を 100 g 摂取する日が 3 日、水煮 OM (試験食) を 100 g 摂取する日が 3 日の合計 6 日間 (摂取順は被験者の自由とした)、試験開始初日を含めて合計 1 週間の OM 摂取を行った後に、第 2 回の検査日に来所して (Visit-2)、3METS 程度の歩行運動を 30 分実施した。歩行運動前 75 分に糖負荷を行い、その後歩行運動 15 分前に血液検査と自律神経評価、運動終了後に再度、血液検査を実施した。

続いて被験者に第 3 回の検査日の 1 週間前より対照品 (Control) として設定した食品 (じっくりコトコトこんがりパン コーンポタージュ; ポッカサッポロフード & ビバレッジ株式会社、愛知県名古屋市) を朝食時に摂取 (水・米飯との同時摂取も可) させた。

第 3 回の検査日 (Visit-3) に実施した項目は第 2 回と同様とした。

試験期間は 2019 年 4 月～2019 年 5 月とした。

## 評価項目

### 身体計測

身体計測としては、身長、体重、体脂肪率、体格指数 (body mass index; BMI)、収縮期および拡張期血圧、脈拍数を計測した。身体組成検査は体成分分析器 (InBody770; インボディ・ジャパン、東京都江東区) を用いた。

### 血液検査

血液試料を用いて末梢血液検査、生化学検査を行った。今回の評価項目は GH、アミノ酸分析、TG、PG、IRI である。血液試料を用いた検査は株式会社アルプ (石川県金沢市) にて測定した。

### 自律神経機能評価

バイタルモニター VM500 (疲労科学研究所、大阪市淀川区) を使用して、自律神経のバランスと活動量 (自律神経機能年齢) を測定した<sup>8,9)</sup>。本法では、脈波の波形から交感神経関与成分 (low frequency: LF) と副交感神経関与成分 (high frequency: HF) を抽出し、両者のバランスである自律神経バランス (LF/HF) と自律神経の活動係数である CCVTP (coefficient of component variance total power) として表したものである。

LF/HF の値は、心拍一拍ごとの計算値の平均とした。疲労状態では、交感神経系の緊張が高まり、副交感神経系の活動が低下することが報告されている。結果は、バランスの値 2.0 未満が「基準値」、2.0 以上 5.0 未満が「注意」、5.0 以上が「要注意」と評価されている。

CCVTP は、LF と HF の合計から導かれた係数の計測時間全体の平均値とした。この値は健常者では高く、疲労・ストレスを抱える方は低くなる。健常者では、若年者では数値が高く、加齢によって徐々に低下する。結果は、CCVTP の母集団情報と照合して、測定値が何歳の平均値に相当するかを判断し、自律神経機能年齢として表した。

### 統計解析

統計解析には、統計解析ソフト SPSS (日本 IBM、東京都中央区) を用い、経時比較については paired-t test を施行した。群間差については、一元配置分散分析 Turkey の検定を施行した。危険率 5% 未満を有意差ありとした。特に外れ値は設定しなかった。ただし、検査上のトラブルなどでデータが取得できない、またはデータの信頼性に大きな問題が生じた場合は欠損値として取扱い、代替値は用いなかった。

### 倫理審査

本試験は、ヘルシンキ宣言 (2013 年 WMA フォルタレザ

総会で修正) および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。本試験は「一般社団法人糖化ストレス研究会「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会」(東京都新宿区)にてヒト試験倫理委員会を開催し、試験の倫理性および妥当性について審議を行い、承認された(糖ス倫 2019 第 001 号)。本試験については臨床試験事前登録を行った(UMIN #000035656)。

## 結果

### 一般背景

解析対象者 12 名の一般背景は、年齢 33.3 ± 6.9 歳、身長 169.7 ± 7.6 cm、体重 62.6 ± 8.5 kg、BMI 21.6 ± 1.6 であった (Table 4)。

Table 4. Anthropometry.

	Average	SD
Age	33.3 ±	6.86
Height cm	169.7 ±	7.59
Weight kg	62.6 ±	8.51
Body fat %	21.5 ±	5.57
BMI -	21.6 ±	1.55

n = 12. BMI, body mass index; SD, standard deviation.

Table 5. Serum GH

		Before walking	After walking	p value	Inter-group analysis (vs.Visit-3)
Visit-1 (OM 1 day)	ng/mL	0.86 ± 1.09	3.20 ± 3.69	0.056	0.481
Visit-2 (OM 7 days)	ng/mL	1.23 ± 1.66	2.45 ± 2.01	0.134	0.382
Visit-3 (Control 7 days)	ng/mL	1.13 ± 2.46	1.71 ± 1.80	0.538	

Data are expressed as mean ± SD, paired t test, n = 12. OM, ostrich meat; Control, control meat; GH, growth hormone; SD, standard deviation. Statistical analysis by Turkey test.

Table 6. Serum GH: Subclass analysis.

		Before walking	After walking	p value
Visit-1 (OM 1 day)	ng/mL	0.86 ± 1.09	3.20 ± 3.69	0.056
Visit-2 (OM 7 days)	ng/mL	0.81 ± 0.95	2.62 ± 2.02	<b>0.018</b>
Visit-3 (Control 7 days)	ng/mL	0.40 ± 0.46	1.39 ± 1.53	0.064

Subclass analysis was conducted by excluding the subjects who's GH values exceeded 4.00 ng/mL before walking. Data are expressed as mean ± SD, paired t test, Visit-1 (n = 12), Visit-2, 3 (n = 11). OM, ostrich meat; Control, control meat; GH, growth hormone; SD, standard deviation.

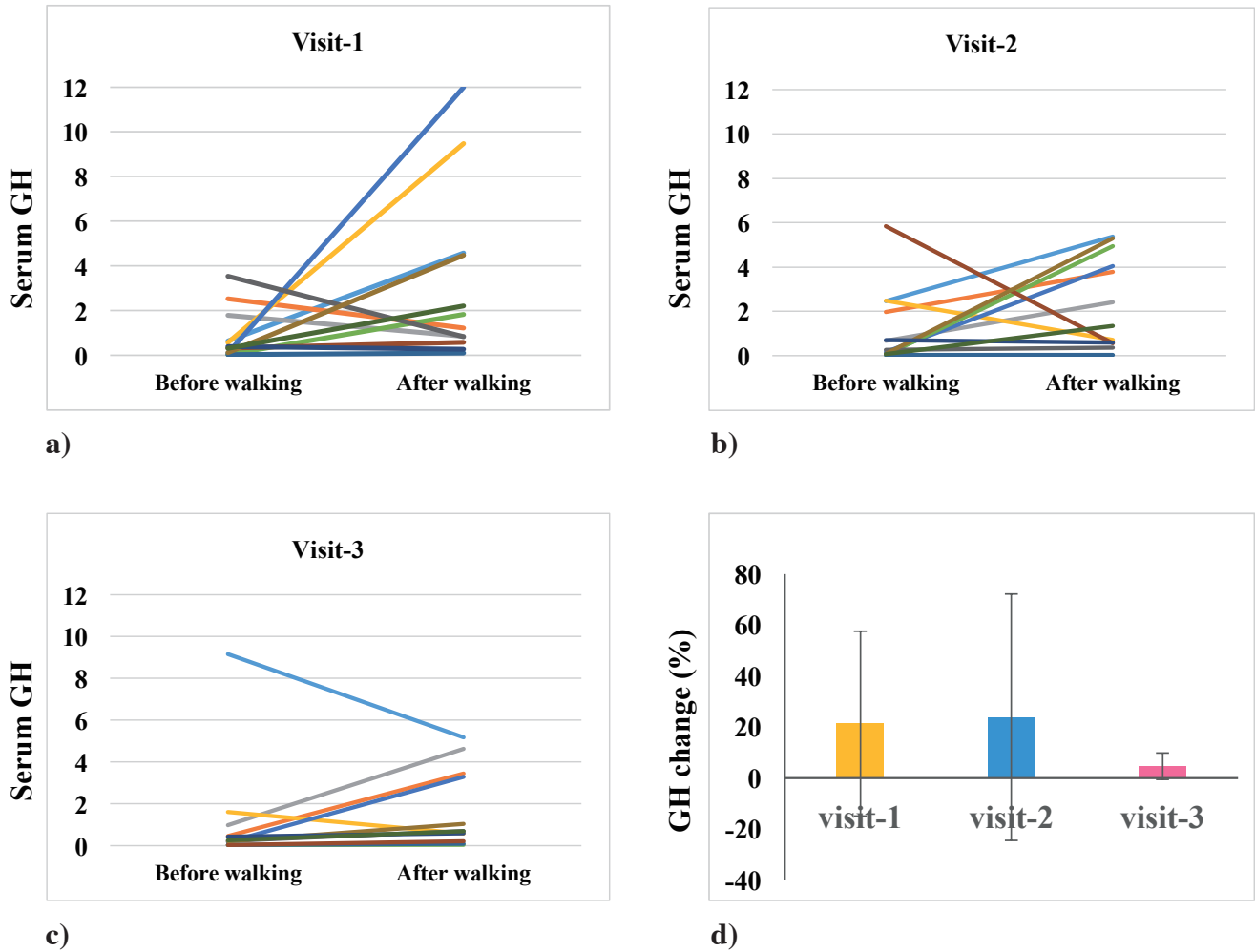
### 成長ホルモン (GH)

Visit-1 (OM 摂取 1 日目) で歩行運動前 0.86 ± 1.09 ng/mL、歩行運動後 3.20 ± 3.69 ng/mL であった。Visit-2 (OM 摂取 7 日目) で運動前 1.23 ± 1.66 ng/mL、運動後 2.45 ± 2.01 ng/mL であった。Visit-3 (Control 摂取 7 日目) で運動前 1.13 ± 2.46 ng/mL、運動後 1.71 ± 1.80 ng/mL であった (Table 5)。各 Visit における運動前後の血中 GH 濃度の変動を Fig. 3 に示した。Visit-1、Visit-2、Visit-3 の GH 変化率には群間有意差は認められなかった。

各 Visit における個々のデータを確認すると、運動前の GH 値が高い被験者が見られたため、カットオフ値として運動前 4.00 ng/mL 以上と設定してサブクラス解析を実施した (Fig. 4)。Visit-2 において運動前後で GH は有意に増加していた (p = 0.018, Table 6)。一方、Visit-1、Visit-3 では有意な GH 増加は認められなかった。

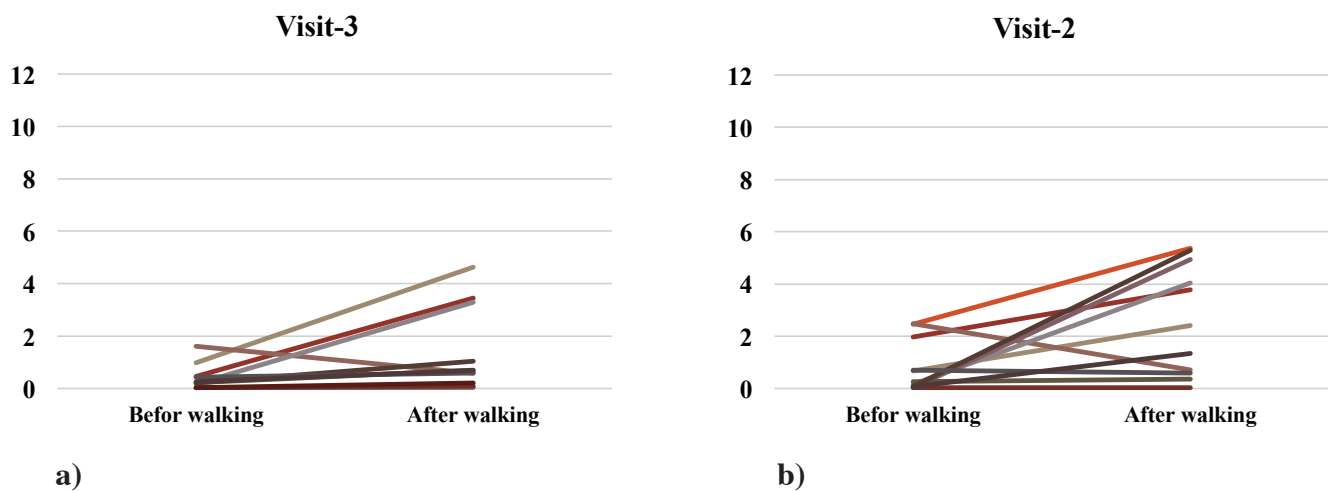
### アミノ酸分析

各 Visit 時に実施した血中アミノ酸分析において (Table 7)、Visit-2 と Visit-3 に群間有意差を認めた項目は、バリン (p < 0.05)、メチオニン (p < 0.05)、イソロイシン (p < 0.01)、ロイシン (p < 0.01)、チロシン (p < 0.05)、βアラニン (p < 0.05)、1-メチルヒスチジン (p < 0.01)、リジン (p < 0.05)、3-メチルヒスチジン (p < 0.01) で、いずれも Visit-2 の方が Visit-3 と比較して有意に高かった。また、1-メチルヒスチジン、3-メチルヒスチジンについては、Visit-3 と比較して Visit-1 でも有意に高かった (いずれも p < 0.01, Fig. 5)。これらのアミノ酸はダチョウ肉摂取中には高く保たれていたが、摂取中止 1 週間後には有意に低下したことを示している。



**Fig. 3. Exercise-induced GH secretion: Total analysis.**

**a)** One day after Test food (OM) intake (Visit-1). **b)** One week after Test food (OM) intake (Visit-2). **c)** One week after Control food intake (Visit-3). **d)** Percent change of serum GH. Results are expressed as mean  $\pm$  SD. n = 12 at each visit. GH, growth hormone; OM, ostrich meat; SD, standard deviation.



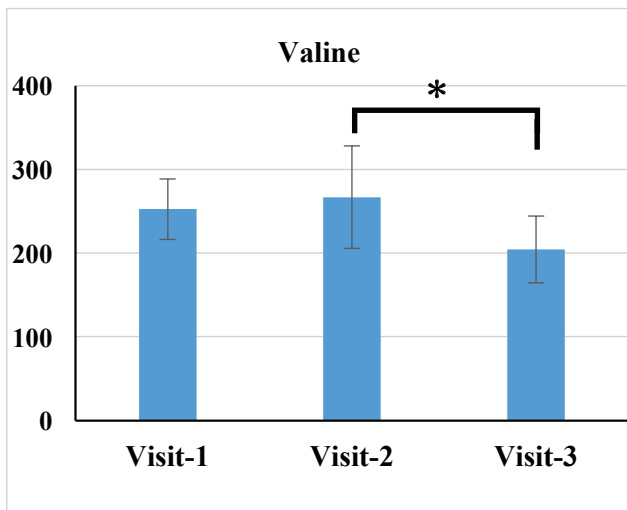
**Fig. 4. Exercise-induced GH secretion: Subclass analysis.**

**a)** One week after Test food (OM) intake (Visit-2). **b)** One week after Control food intake (Visit-3). The subjects with high pre-values of GH exceeding 4.00 ng/mL are excluded in the subclass analysis. \*p < 0.05, paired t test, n = 11. GH, growth hormone; OM, ostrich meat.

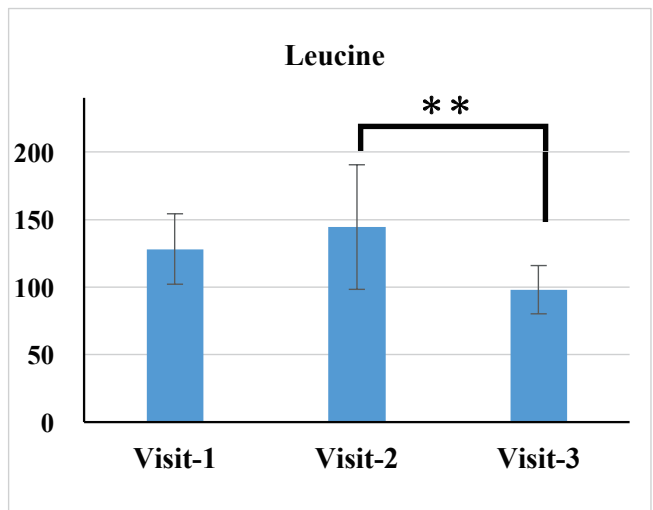
Table 7. Amino acid Analysis

	Visit-1 (OM 1 day)	Visit-2 (OM 7 days)	Visit-3 (Control 7 days)
Taurine	77.23 ± 9.82	76.82 ± 9.08	73.31 ± 13.83
Phosphoethanolamine	- ± -	- ± -	- ± -
Aspartic acid	4.46 ± 0.84	4.33 ± 1.28	4.14 ± 0.79
Hydroxyproline	13.48 ± 3.15	13.56 ± 4.45	10.75 ± 5.52
Threonine	157.83 ± 27.51	156.38 ± 45.00	135.09 ± 24.83
Serine	132.88 ± 18.83	132.38 ± 19.53	124.66 ± 11.69
Asparagine	65.83 ± 11.59	68.01 ± 11.60	62.83 ± 10.09
Glutamic acid	61.20 ± 11.93	60.93 ± 17.59	62.93 ± 17.20
Glutamine	512.01 ± 66.17	521.92 ± 69.32	505.34 ± 43.99
Sarcosine	- ± -	- ± -	- ± -
α-Amino adipic acid	- ± -	- ± -	- ± -
Proline	178.21 ± 44.81	180.82 ± 50.56	168.31 ± 55.11
Glycine	241.76 ± 37.76	230.84 ± 41.97	234.48 ± 37.25
Alanine	433.88 ± 75.46	434.88 ± 80.11	414.98 ± 47.72
Citrulline	23.26 ± 2.69	24.66 ± 4.85	21.74 ± 3.56
α-Aminobutyric acid	23.59 ± 6.15	24.98 ± 5.99	22.59 ± 4.92
Valine	252.58 ± 36.09	266.95 ± 61.21	204.49 ± 39.90
Cystine	30.42 ± 5.19	31.23 ± 6.28	32.78 ± 5.73
Methionine	28.14 ± 6.78	30.25 ± 9.66	20.54 ± 4.60
Cystathionine	- ± -	- ± -	- ± -
Isoleucine	71.00 ± 16.68	81.05 ± 32.26	49.08 ± 9.88
Leucine	128.13 ± 26.07	144.36 ± 46.11	98.01 ± 17.86
Tyrosine	66.73 ± 13.98	69.56 ± 12.94	54.69 ± 14.61
β-Alanine	9.79 ± 1.88	10.38 ± 3.43	7.42 ± 1.84
Phenylalanine	65.20 ± 12.57	66.33 ± 8.89	57.58 ± 12.07
β-Aminoisobutyric acid	2.04 ± 0.81	1.89 ± 0.71	2.08 ± 0.79
Homocystin	- ± -	- ± -	- ± -
γ-Aminobutyric acid	- ± -	- ± -	- ± -
Monoethanolamine	9.89 ± 1.83	9.27 ± 1.06	8.67 ± 1.43
Hydroxylysine	- ± -	- ± -	- ± -
Ornithine	129.04 ± 25.45	133.37 ± 39.60	108.90 ± 26.23
1-Methyl histidine	18.11 ± 4.61	22.93 ± 9.52	7.50 ± 4.98
Histidine	92.29 ± 13.79	92.74 ± 13.83	84.95 ± 13.74
Lysine	223.84 ± 55.00	236.96 ± 73.64	178.20 ± 25.78
3-Methyl histidine	6.20 ± 1.26	6.51 ± 1.42	4.37 ± 1.21
Tryptophan	56.07 ± 9.89	56.17 ± 8.88	48.31 ± 9.32
Anserine	- ± -	- ± -	- ± -
Carnosine	- ± -	- ± -	- ± -
Arginine	41.30 ± 15.42	45.28 ± 13.03	33.28 ± 13.86
Alloisoleucine	- ± -	- ± -	- ± -
Fischer' s ratio	3.51 ± 0.74	3.59 ± 0.63	3.23 ± 0.70

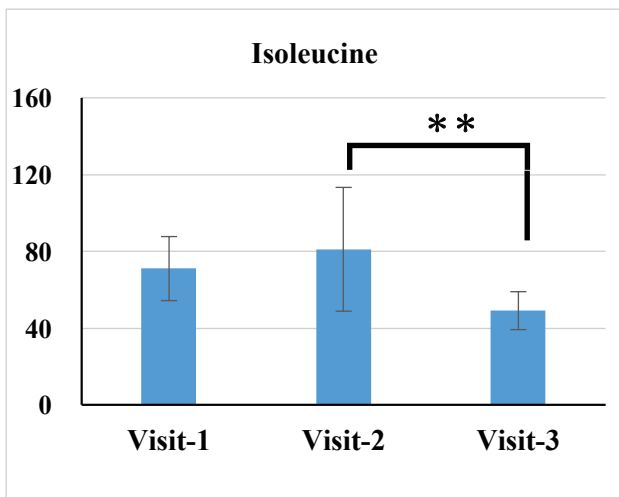
n = 12. OM, ostrich meat; Control, control meat; Fischer' s ratio, the molar ratio of BCAAs (leucine, valine, isoleucine) to aromatic AAs (phenylalanine, tyrosine); BCAAs, branched-chain amino acids; SD, standard deviation.



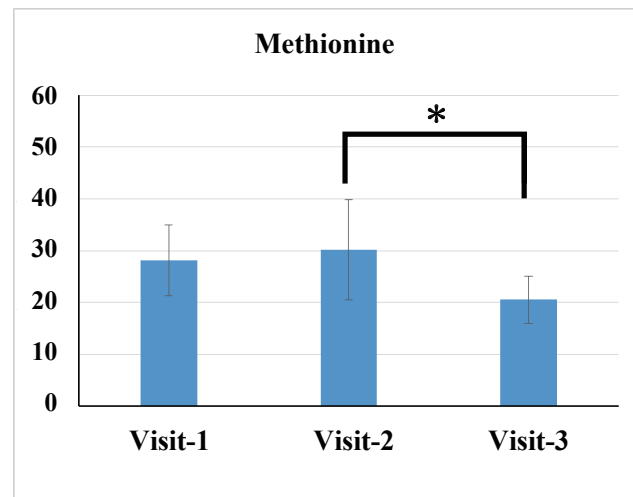
a)



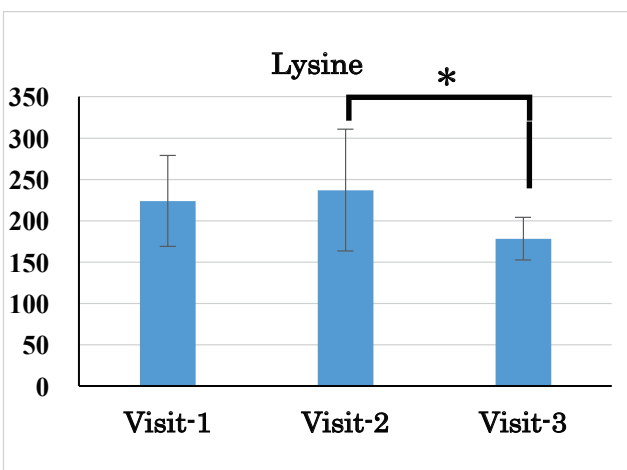
b)



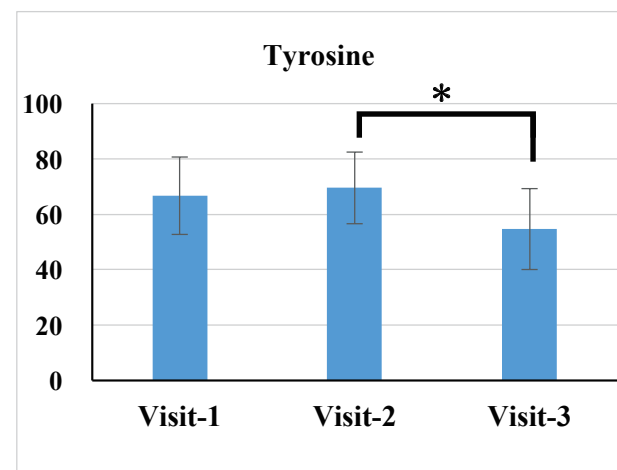
c)



d)

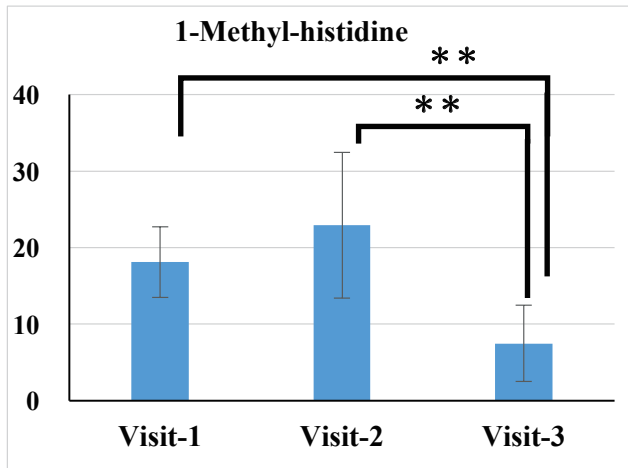


e)

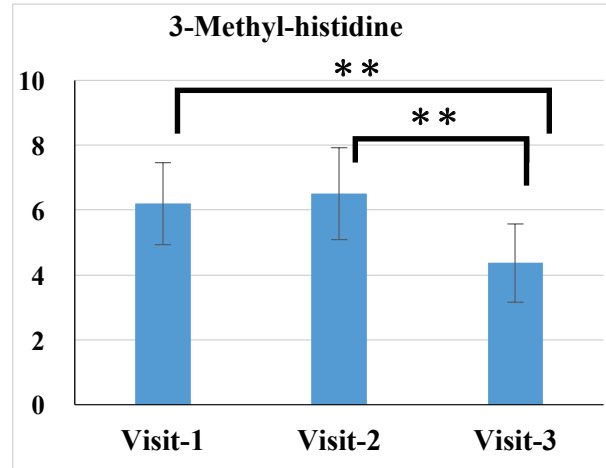


f)

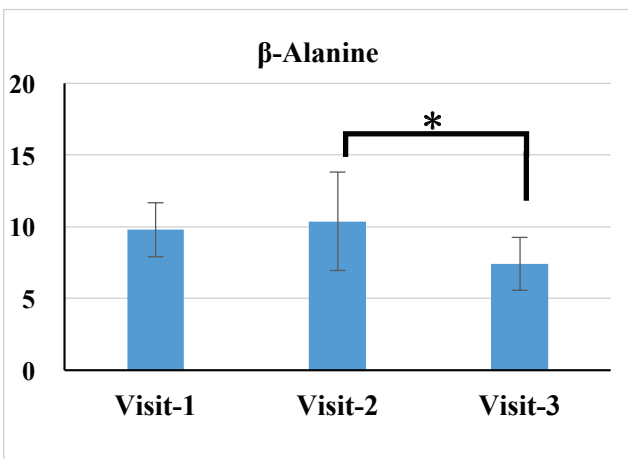




g)



h)



i)

**Fig.5. Changes of plasma amino acid.**

a) Valine. b) Leucine. c) Isoleucine. d) Methionine. e) Lysine f) Tyrosine. g) 1-Methyl-histidine. h) 3-Methyl-histidine. i) beta-Alanine. Results are expressed as mean  $\pm$  SEM, n = 12. \*p < 0.05, \*\*p < 0.01 by Tukey's test. SEM, standard error mean.

### 中性脂肪 (TG)

血清 TG は Visit-1 で運動前  $88.3 \pm 34.9$  mg/dL、運動後  $71.2 \pm 25.4$  mg/dL、Visit-2 では運動前  $100.2 \pm 77.2$  mg/dL、運動後  $65.2 \pm 18.3$  mg/dL、Visit-3 では運動前  $78.1 \pm 26.5$  mg/dL、運動後  $74.3 \pm 36.6$  mg/dL であった (Table 8)。Visit-1、Visit-2、Visit-3 の TG 変化率には群間有意差は認められなかった。

### 血糖 (PG)

PG は Visit-1 で運動前  $114.0 \pm 35.5$  mg/dL、運動後  $93.1 \pm 15.9$  mg/dL、Visit-2 では運動前  $112.2 \pm 35.3$  mg/dL、運動後  $88.8 \pm 14.8$  mg/dL、Visit-3 では運動前  $108.3 \pm 26.7$  mg/dL、運動後  $92.8 \pm 18.3$  mg/dL であった (Table 8)。Visit-1、Visit-2、Visit-3 の PG 変化率には群間有意差は認められなかった。

### インスリン (IRI)

血清 IRI は Visit-1 で運動前  $26.4 \pm 10.9$   $\mu$ U/mL、運動後  $11.0 \pm 8.0$   $\mu$ U/mL、Visit-2 では運動前  $23.5 \pm 10.0$   $\mu$ U/mL、運動後  $10.7 \pm 6.6$   $\mu$ U/mL、Visit-3 では運動前  $22.2 \pm 9.2$   $\mu$ U/mL、運動後  $10.8 \pm 6.8$   $\mu$ U/mL であった。各群ともに運動前後でインスリンは有意に減少した (いずれも p < 0.01, Table 8)。Visit-1、Visit-2、Visit-3 の IRI 変化率には群間有意差は認められなかった。

### 自律神経機能評価

自律神経バランス (LF/HF) は、Visit-1 で運動前  $1.70 \pm 1.71$ 、運動後  $2.57 \pm 2.11$ 、Visit-2 で運動前  $1.01 \pm 0.63$ 、運動後  $2.00 \pm 1.41$ 、Visit-3 で運動前  $1.46 \pm 1.17$ 、運動後  $1.46 \pm 0.82$  であった。Visit-2 において運動前後で LF/HF は有意に増加したが (p = 0.045, Table 9)、ほぼ「基準値

Table 8. Serum TG, PG and Serum IRI

			Before walking	After walking	p value
serum TG	Visit-1 (OM 1 day)	mg/dL	88.25 ± 34.88	71.17 ± 25.36	0.202
	Visit-2 (OM 7 days)	mg/dL	100.17 ± 77.23	65.17 ± 18.26	0.158
	Visit-3 (Control 7 days)	mg/dL	78.08 ± 26.52	74.25 ± 36.56	0.781
PG	Visit-1 (OM 1 day)	mg/dL	114.00 ± 35.52	93.08 ± 15.85	0.088
	Visit-2 (OM 7 days)	mg/dL	112.17 ± 35.30	88.75 ± 14.84	0.055
	Visit-3 (Control 7 days)	mg/dL	108.25 ± 26.72	92.83 ± 18.30	0.129
Serum IRI	Visit-1 (OM 1 day)	μU/mL	26.37 ± 10.94	11.03 ± 7.95	<b>0.001</b>
	Visit-2 (OM 7 days)	μU/mL	23.49 ± 10.01	10.65 ± 6.57	<b>0.002</b>
	Visit-3 (Control 7 days)	μU/mL	22.24 ± 9.17	10.83 ± 6.82	<b>0.003</b>

Data are expressed as mean ± SD, paired t test, n = 12. OM, ostrich meat; Control, control meat; TG, triglyceride; PG, plasma glucose; IRI, immunoreactive insulin; SD, standard deviation.

Table 9. Evaluation of autonomic nervous activity.

			Before walking	After walking	p value
Autonomic balance	Visit-1 (OM 1 day)		1.70 ± 1.71	2.57 ± 2.11	0.296
	Visit-2 (OM 7 days)		1.01 ± 0.63	2.00 ± 1.41	<b>0.045</b>
	Visit-3 (Control 7 days)		1.46 ± 1.17	1.46 ± 0.82	0.997
Autonomic nervous function age	Visit-1 (OM 1 day)	year	35.58 ± 13.98	40.25 ± 13.39	0.433
	Visit-2 (OM 7 days)	year	44.42 ± 11.22	42.50 ± 9.24	0.666
	Visit-3 (Control 7 days)	year	41.67 ± 11.40	38.17 ± 12.08	0.492

Data are expressed as mean ± SD, paired t test, n = 12. OM, ostrich meat; Control, control meat; GH, growth hormone; SD, standard deviation.

(2.0未満)」程度であった。Visit-1、Visit-2、Visit-3のLF/HF変化率には群間有意差は認められなかった。

Visit-1、Visit-2、Visit-3の運動前LF/HF値はVisit-2が最も低値であったが、群間有意差は認められなかった。

自律神経機能年齢は、Visit-1で運動前35.6 ± 14.0歳、運動後40.3 ± 13.4歳、Visit-2で運動前44.4 ± 11.2歳、運動後42.5 ± 9.2歳、Visit-3で運動前41.7 ± 11.4歳、運動後38.2 ± 12.1歳であった。Visit-1、Visit-2、Visit-3の変化率には群間有意差は認められなかった。

## 安全性評価

試験期間中ならびに試験終了後における試験品による有害事象、副作用は認められなかった。

## 考察

### ダチョウの食肉化の歴史

古代エジプトの壁画に、ダチョウを飼育していた様子が描かれている。1652年、オランダ人が南アフリカのケープタウンに上陸した後は、他の野生動物と同じくダチョウ

の捕獲・屠殺が盛んに行われた。17世紀頃からダチョウの飼育が活発化し、20世紀に至るまで金・ダイヤモンド・羊毛と並んでダチョウの羽根が南アフリカの主要貿易品となっていた。長らく南アフリカの独占的畜産業であったが、1993年に南アフリカからの種卵・種鳥の輸出が解禁され、後発の家禽として世界中に飼育が広まった。日本においても1990年代後半から飼育数が増加し生産者団体が発足するなど活発化し、2008年に家畜伝染病予防法の対象動物となった<sup>10)</sup>。

ダチョウ肉(OM)は高蛋白質・低脂肪であるため、欧米、特に欧州連合(EU)諸国ではウシ海綿状脳症(bovine spongiform encephalopathy: BSE)問題が追い風となり、健康面に配慮した一部消費者により牛肉の代替赤肉として消費されている。市場規模は、消費量は世界的には年間数万吨、日本国内においては100トン程度の消費量が推計されている。

### 結果概要

本研究では、健康な男女12名を対象に、OM(試験食品)および対照品を摂取した時の血中アミノ酸、運動負荷後GH分泌、運動負荷後疲労度(自律神経機能)を繰り返し測定

により比較した。その結果、OM 摂取時において分岐鎖アミノ酸 (branched-chain amino acid: BCAA) などのアミノ酸血中濃度の上昇、サブクラス解析により運動後 GH 分泌の有意な上昇が認められた。自律神経機能検査では群間有意差は認められなかった。OM 摂取による有害事象は認められなかった。

### 分岐鎖アミノ酸 (BCAA)

BCAA はバリン、ロイシン、イソロイシンといった筋肉合成に関わるアミノ酸で、本試験では OM 摂取後に血中濃度が有意に上昇した。BCAA の運動後摂取はヒト骨格筋において筋蛋白質合成関連シグナル伝達を活性化し、蛋白質分解に関連した機構の運動による活性化を抑制する<sup>11)</sup>。BCAA 投与により骨格筋では mTORC1 阻害剤 DDIT4 mRNA の運動による発現を抑制し、ユビキチンプロテアソーム系の活性化が消失する。運動後 BCAA 摂取は、運動により誘発されるペルオキシソーム増殖活性化受容体  $\gamma$ -コアクチベーター 1 $\alpha$  mRNA の発現、ユビキチンプロテアソームシグナル伝達の活性化を一部抑制し、DDIT4 mRNA 発現を抑制する。一方、AMP 活性化蛋白質キナーゼ活性の内因性マーカーである ACC Ser79/222 リン酸化は BCAA 摂取の有無に関係なく運動後に増加する。IGF1 mRNA アイソフォームの発現または蛋白質合成のキーマーカーのリン酸化は BCAA 摂取の有無で変わらない。

骨格筋を保つことは日常身体動作を維持し生活の質 (quality of life) を維持する上で重要である。蛋白質摂取は筋蛋白質の合成を摂取後 1~2 時間以内に増加させる。この蛋白質摂取に伴う筋蛋白質の同化作用は主にロイシンによって引き起こされており、血中ロイシン濃度の増加に伴い、筋蛋白質の合成速度も増加する<sup>12)</sup>。ロイシン強化必須アミノ酸混合物の摂取が血中の筋肉損傷マーカーの運動誘発型上昇を抑制し、筋肉損傷を軽減して筋肉回復を補助する<sup>13)</sup>。

実際に健常学生に対して格筋電気刺激と BCAA 摂取を併用すると、対照に比べ運動後の乳酸値が低く、酸素消費量が高く、遅発性筋痛も軽度になる<sup>14)</sup>。回復期リハビリテーションを実施しているサルコペニア高齢者において、レジスタンストレーニングと BCAA の併用により改善度が高まる<sup>15)</sup>。BCAA 摂取によるリハビリテーション患者の回復促進効果の報告は他にもいくつか報告がある<sup>16,17)</sup>。BCAA は外科的侵襲手術後にも低下することから<sup>18)</sup>、BCAA 補給の目的として OM が術前・術後食に適している可能性がある。

### GH 分泌との関連

リジンやアルギニンなどの塩基性アミノ酸は GH 分泌作用を有することから、GH 分泌不全症の診断の目的でこれらのアミノ酸の静脈内投与試験が行われる<sup>19)</sup>。これらのアミノ酸は消化管運動にも影響を及ぼし、リジンは消化管運動に対し促進的に作用し、アルギニンは逆に消化管運動を抑制する。

臨床試験としては、リジンやアルギニンを含むサプリメント

トの単回摂取によっても運動負荷 (30 分のエルゴメーター) の GH 分泌が増強することが報告されている<sup>20)</sup>。本研究では、OM 摂取後にリジン血中濃度の有意な上昇とサブクラス解析での GH 分泌の有意な上昇が認められたことから、OM 摂取後に GH の潜在分泌能が高まった可能性が考えられる。

### 筋肉の代謝と 3-メチルヒスチジン

身体内では、蛋白質は合成と分解を繰り返しながら窒素平衡状態を保っている。骨格筋組織は身体蛋白質に占める割合が大きく、代謝量も大きい。3-メチルヒスチジンはミオシン、アクチンの構成アミノ酸である。筋肉の分解によって生じた 3-メチルヒスチジンは代謝されることなく尿中に排泄される<sup>21)</sup>。尿中へ排泄される 3-メチルヒスチジン量を測定することによって筋肉のアクチンの分解速度が推定できる。筋肉細胞における 3-メチルヒスチジンの合成については、ミオシン、アクチンのポリペプチド鎖の翻訳後にメチオニンのメチル基がヒスチジンに導入されることによって行なわれる<sup>22,23)</sup>。

食事からの蛋白質摂取量が増加すると、酵素活性の変動<sup>24,25)</sup> や血漿蛋白質、肝、腎および小腸粘膜の蛋白質<sup>25)</sup> が高まり、筋肉における蛋白質代謝は活性化する<sup>21)</sup>。筋肉代謝活性の上昇に応じて骨格筋の蛋白質分解速度が高まると考えられている<sup>27)</sup>。本試験では OM 摂取により BCAA など筋合成を補佐するアミノ酸が増加したことから、骨格筋における蛋白質代謝が活発化しており、これに応じて筋分解指標のメチルヒスチジンが増加したと解釈できる。

### 疲労とアミノ酸

アミノ酸と疲労については密接な関係がある。運動負荷による急性期筋肉疲労時には、血液中の BCAA 濃度が低下する<sup>28)</sup>。運動時のバリン補給は肝グリコーゲンおよび血糖を維持し、運動後の自発的活動を増加させるのに有効であり、運動中の疲労の軽減に寄与することが、ラットを用いた動物実験で示されている<sup>29)</sup>。S-アリルシステイン含有食品の 4 週間摂取により疲労軽減効果があることがランダム化二重盲検プラセボ対照クロスオーバー試験で報告されている<sup>30)</sup>。臨床試験においても、ロイシン強化必須アミノ酸混合物の摂取が筋肉疲労からの回復を補助することがされている<sup>13)</sup>。OM のアミノ酸組成もこれに類似しており、筋肉疲労からの回復に貢献する可能性がある。

今回の試験においても OM 摂取による疲労軽減効果が期待されたが、自律神経機能評価では群間有意差は検知されなかった。しかし運動負荷前の自律神経バランス (LF/HF 値) をみると Visit-1: 1.70  $\pm$  1.71、Visit-2: 1.01  $\pm$  0.63、Visit-3: 1.46  $\pm$  1.17 であり、OM 摂取後が最も低値であった。OM 摂取による潜在的疲労軽減効果を示唆している可能性がある。

### 安全性

福島第一原子力発電所の事故後の放射性物質汚染についての調査報告がある<sup>31)</sup>。2011 年 12 月から 2012 年 5 月に

かけて採取したダチョウ試料を用いて調べた結果、 $^{129m}\text{Te}$  および  $^{110m}\text{Ag}$  は調べた全ての試料において検出されなかった。同原発から 150 km 離れた関東地方で飼育されていた 5羽のダチョウの骨格筋から低レベルの  $^{137}\text{Cs}$  ( $19.2 \pm 11.7$  Bq/kg) と  $^{137}\text{Cs}$  ( $18.3 \pm 11.3$  Bq/kg) が検出されたが、事故前に飼育されていたダチョウからは放射性 Cs が全く検出されず、汚染原因は同原発から運ばれてきた放射性物質に起因する一過性の事象と推定されている。2013 年以後に孵化したダチョウについては放射線汚染の報告はない。ダチョウ肉に含まれる脂肪酸は良質な不飽和脂肪酸が多いため、長期保管により酸化するので、保存方法には注意を要する<sup>4)</sup>。

## 結論

健康者 12 名を対象に、試験品 (OM) または対照食品をそれぞれ 1 週間摂取した時の血中アミノ酸、運動負荷後 GH 分泌、自律神経機能を比較検討した結果、OM 摂取時において BCAA、リジン、ヒスチジンなどのアミノ酸血中

濃度の有意な上昇、サブクラス解析において運動負荷後 GH 分泌の有意な上昇が認められた。OM は良質なアミノ酸を多く含む低脂肪の畜肉であり、安全かつ蛋白・アミノ酸補給に適した食材であることが示唆された。

## 利益相反申告

本研究を遂行するにあたり株式会社 吉野家ホールディングスより支援を受けた。

## 謝辞

本研究の概要は抗加齢医学会 臨床研究・栄養療法研究会 (2019 年 11 月 10 日、東京) にて報告した。

## 参考文献

- 1) 農林水産省. 食料消費と食料生産の動向：食料消費の動向. 平成 18 年度 食料・農業・農村白書. [https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w\\_maff/h18\\_h/trend/1/t1\\_1\\_1\\_04.html](https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h18_h/trend/1/t1_1_1_04.html)
- 2) Cooper RG., Mahroze KM. Anatomy and physiology of the gastro-intestinal tract and growth curves of the ostrich (*Struthio camelus*). *Animal Science Journal*. 2004; 75: 491-498.
- 3) Magige F, Røskaft E. Medicinal and commercial uses of ostrich products in Tanzania. *J Ethnobiol Ethnomed*. 2017; 13: 48.
- 4) Horbańczuk OK, Moczowska M, Marchewka J, et al. The composition of fatty acids in ostrich meat influenced by the type of packaging and refrigerated storage. *Molecules*. 2019; 2019; 24(22).
- 5) Antunes IC, Ribeiro MF, Pimentel FB, et al. Lipid profile and quality indices of ostrich meat and giblets. *Poult Sci*. 2018; 97: 1073-1081.
- 6) Zdanowska-Sąsiadek Ż, Marchewka J, Horbańczuk JO, et al. Nutrients composition in fit snacks made from ostrich, beef and chicken dried meat. *Molecules*. 2018; 2018; 23(6).
- 7) Morita Y, Takabe W, Yagi M, et al. Effect of special insole fitting on walking exercise: An open-label study. *Glycative Stress Res*. 2018; 5: 135-146.
- 8) Kume S, Nishimura Y, Mizuno K, et al. Music Improves Subjective Feelings Leading to Cardiac Autonomic Nervous Modulation: A Pilot Study. *Front Neurosci*. 2017; 11: 108.
- 9) Mizuno K, Sasaki AT, Ebisu K, et al. Hydrogen-rich water for improvements of mood, anxiety, and autonomic nerve function in daily life. *Med Gas Res*. 2018; 7: 247-255.
- 10) 日本オーストリッチ協議会 (編). ダチョウ：導入と経営・飼育・利用. 農山漁村文化協会, 東京, 2001.
- 11) Lysenko EA, Vepkhvadze TF, Lednev EM, et al. Branched-chain amino acids administration suppresses endurance exercise-related activation of ubiquitin proteasome signaling in trained human skeletal muscle. *J Physiol Sci*. 2018; 68: 43-53.
- 12) 藤田 聡. アスリートの効率的な筋量増加にむけた運動と栄養摂取. *日本スポーツ栄養研究誌*. 2017; 10: 10-16.
- 13) Matsui Y, Takayanagi S, Ohira T, et al. Effect of a leucine-enriched essential amino acids mixture on muscle recovery. *J Phys Ther Sci*. 2019; 31: 95-101.
- 14) 戎谷友希, 橋田誠一, 柳澤幸夫, 他. 骨格筋電気刺激における分岐鎖アミノ酸 (BCAA) 摂取がエネルギー代謝に及ぼす効果. *徳島文理大学研究紀要*. 2018; 96: 57-64.
- 15) Takeuchi I, Yoshimura Y, Shimazu S, et al. Effects of branched-chain amino acids and vitamin D supplementation on physical function, muscle mass and strength, and nutritional status in sarcopenic older adults undergoing hospital-based rehabilitation: A multicenter randomized controlled trial. *Geriatr Gerontol Int*. 2019; 19: 12-17.
- 16) 加茂智裕, 大野博史, 村田 実. サルコペニア患者における栄養および骨格筋トレーニング介入の評価. *2018; 43: 594-595*.
- 17) 小野山裕一, 南下さおり, 林 千史, 他. 当院回復期リハビリテーション病棟における分岐鎖アミノ酸含有飲料の有効性の検討. *公立八鹿病院誌*. 2018; 26: 35-40.
- 18) 橋詰直孝, 涇原 博. 手術前・後のタンパク質代謝の検討. *必須アミノ酸研究*. 2004; 170: 72-74.
- 19) 大日向耕作. アミノ酸の作用点としての消化管：成長ホルモン分泌および消化管運動について. *アミノ酸研究*. 2014; 7: 97-100.

- 20) 大森 健, 田中友理, 河端 弘, 他. アミノ酸等含有サプリメントの単回摂取が運動時の成長ホルモン分泌に与える影響: 二重盲検クロスオーバープラセボ対照試験. 薬理と治療 2018; 46: 113-116.
- 21) 西澤直行.  $N^{\tau}$ -メチルヒスチジン (3-メチルヒスチジン) による骨格筋ミオフィブリルタンパク質の分解速度の測定法の確立とその応用. 日本栄養・食糧学会誌. 1983; 36: 409-423.
- 22) Reporter M. Protein synthesis in cultured muscle cells: Methylation of nascent proteins. Arch Biochem Biophys. 1973; 158: 577-585.
- 23) Morse RK, Vergnes JP, Malloy J, et al. Sites of biological methylation of proteins in cultured chick muscle cells. Biochemistry. 1975; 14: 4316-4325.
- 24) Muramatsu K, Ashida K. Effect of dietary protein level on growth and liver enzyme activities of rats. J Nutr. 1962; 76: 143-150.
- 25) Muramatsu K, Ashida K. Influence of varying levels of different dietary proteins on growth rate, liver xanthine oxidase and succinic dehydrogenase of young rats. J Nutr. 1963; 79: 365-372.
- 26) Muramatsu K, Sato T, Ashida K. Dietary protein level and the turnover rate of tissue proteins in rats. J Nutr. 1963; 81: 427-433.
- 27) Nishizawa N, Shimbo M, Hareyama S, et al. Fractional catabolic rates of myosin and actin estimated by urinary excretion of  $N^{\tau}$ -methylhistidine: The effect of dietary protein level on catabolic rates under conditions of restricted food intake. Br J Nutr. 1977; 37: 345-353.
- 28) 武安智樹, 有村保次, 米澤ゆう子, 他. BCAA 含有飲料「百白糶」摂食に伴う急性期筋肉疲労軽減効果の検討: ランダム化オープン・プラセボ対照クロスオーバー試験. 薬理と治療. 2018; 46: 1177-1190.
- 29) Tsuda Y, Iwasawa K, Yamaguchi M. Acute supplementation of valine reduces fatigue during swimming exercise in rats. Biosci Biotechnol Biochem. 2018; 2018:1-6.
- 30) 高柳勝彦, 江口晃一, 大江健一, 他. S-アリルシステインの身体的な疲労感軽減効果: ランダム化二重盲検プラセボ対照クロスオーバー試験. 薬理と治療. 2019; 47: 607-619.
- 31) Isogai E, Kino Y, Abe Y, et al. Distribution of radioactive cesium in ostrich (*Struthio camelus*) after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Radiation Emergency Medicine. 2013; 2: 68-71.