

食事介入によるアスリートの増量が身体組成及び有酸素性能力に及ぼす影響

高木俊, 坂本静男, 鳥居俊, 長坂聡子, 村田浩子

早稲田大学スポーツ栄養研究所

1. 諸言

アスリートにとって、競技特性に合った身体づくりをすることは競技力を向上させるために重要である。アスリートは、身体づくりの一環として増量に取り組むことが少なくないが、増量の主な目的は骨格筋量（または除脂肪体重）の増大である。骨格筋量の増大は骨格筋におけるたんぱく質合成と分解のバランスによって決定される。アスリートにおいては、毎日のトレーニング、十分なたんぱく質またはアミノ酸摂取、及びたんぱく質またはアミノ酸がエネルギー源として利用されないための十分なエネルギー摂取によって、骨格筋量の増大が達成される。

高いエネルギーバランス（エネルギー摂取量－エネルギー消費量）を維持した上での高たんぱく質摂取または長期的な食事介入は、骨格筋量（徐脂肪体重）を大きく増大させる一方で、脂肪量も大きく増大させてしまうかもしれない^{1, 2)}。コンタクトスポーツにおいては、皮下脂肪の蓄積によってコンタクト時の衝撃を和らげることができるが、ダッシュやランニングが繰り返される特にラグビーのような球技においては、体脂肪の蓄積が競技上不利に働くと考えられる。実際に、競技レベルが高いラグビー選手ほど、体脂肪率は低いことが示されている³⁾。加えて、アメリカンフットボールのラインマンや体重階級制競技の重量級の選手などの体重が重いアスリートにおいては、インスリン抵抗性やメタボリックシンドロームの高いリスクを有していることが報告されている^{4, 5)}。競技力の向上および健康維持の観点から、体脂肪の蓄積を小さく抑えつつ、骨格筋量の増量に取り組むことが望ましいと考えられる。しかしながら、現時点で、たんぱく質摂取量、エネルギーバランス、及び増量期間の最適な組み合わせは明らかではない。アスリートは日々トレーニングを実施しているため、短期間のたんぱく質摂取であっても、体脂肪量の蓄積を可能な限り小さくした上で、骨格筋量を増大できるかもしれない。

競技特性（トレーニング状況）の相違もまた、骨格筋量の増大に影響を及ぼす可能性がある。レジスタンストレーニングによる骨格筋量の増大効果は有酸素性トレーニングにより減弱されるかもしれない⁶⁾。そのため、ラグビーのように骨格筋量の増大と同時に有酸素性能力の向上も必要とされる場合、他種目のアスリートにおいて観察された骨格筋量増大のための栄養摂取の結果をそのまま適応できるか否かは不明である。そして、現時点で筋力・筋パワー系球技のアスリートを対象に食事介入を実施した報告は存在しない。増量の効果を検討した先行研究では除脂肪体重にて身体組成を評価しているが⁷⁾、体重・体格の大きい選手では肝臓、心臓、腎臓などの臓器量が大きいことも報告されている¹⁾。大型選手において増量に伴う骨格筋量の変化を評価する際には、除脂肪体重よりも詳細な身体組成の評価が必要である。

本研究では、短期間のたんぱく質及びエネルギー摂取がラグビー選手の身体組成変化及び有酸素性能力に及ぼす影響を検討することを目的とした。

2. 研究方法

2.1 被験者

本研究では、事前に研究の目的、測定項目およびその方法について十分に説明し、参加同意書への署名を得た某大学ラグビー部に所属する男子選手 24 名とした。

2.2 方法

2 か月間、食事調査、合宿所にて提供される食事内容の調整、及び補食提供を実施し、エネルギー摂取量がエネルギー消費量を 1000 kcal 程度上回ること、たんぱく質摂取量は体重 1 kg あたり 2.0 g、脂質はエネルギー比率が 30%程度となることを目標とした⁷⁾。エネルギー消費量を補食提供期間前に測定し、期間中のエネルギー付加量の目安とした。期間中のエネルギー摂取量を 1 か月あたり 1 回、ひと月あたり 1 週間分測定し、エネルギー摂取量がエネルギー消費量を 1000 kcal 程度上回るようにエネルギー付加量を調整した。

期間中は主に週 5 日、午前中にレジスタンストレーニングを、午後（夕方）にフィールドでの練習を行っていた。レジスタンストレーニングは上半身種目を週 3 日、下半身種目を週 2 日、5 - 8RM の負荷で 3 - 4 セット実施していた。レジスタンストレーニングの種目、負荷、セット数はバックス、フォワードとともに同様であった。レジスタンストレーニングの主な種目は表 1 に示した。フィールド練習は、週 4 日、コンディショニングトレーニングを 30 分行った後、ラグビーのパスやスクラム、フォーメーションなどを主体とした練習を 60 - 90 分間実施していた。コンディショニングトレーニングは、すべての対象が同様の内容を実施した。フィールド練習の内容はポジションごとに設定されていた。

栄養指導および補食提供期間の前後に身体組成、内臓脂肪面積の測定と血液検査、最高酸素摂取量の測定を行った。期間中 1 か月ごとに 1 回エネルギー消費量を評価し、栄養摂取状況の評価は毎日実施した。

2.3 評価項目

2.3.1 エネルギー消費量

エネルギー消費量の評価は、補食提供期間前及び期間中（1 か月あたり 1 回）とした。1 回あたりの測定期間は 1 週間とし、日常生活中に加速度計（Lifecorder GS、スズケン社製）を装着させた。また、運動時は心拍数法を用い、加速度計の装着と同時期に測定を行った。Polar RS400（Polar 社製）を装着させトレーニング中の心拍数を 5 秒間隔で記録し、1 分間の平均心拍数を算出した。個別に作成した HR-VO₂ 関係式に 1 分間の平均心拍数を当てはめて酸素摂取量を積算し、エネルギー消費量を推定した。加速度計法によって算出された日常生活のエネルギー消費量と心拍数法によって算出されたトレーニング中のエネルギー消費量の合計値を 1 日のエネルギー消費量として評価した。

2.3.2 栄養摂取状況

エネルギー及び栄養素摂取量を把握するため、秤量法及び写真撮影法の併用による食事調査を期間中毎日実施した。被験者には食事内容を記録させ、被験者が記入した記録用紙をもとに管理栄養士が聞き取りを行い、保健指導支援ソフト WELLNESS 21（（株）トップビジネスシステム製）を用いてエネルギー及び栄養素摂取量の計算を行った。エネルギー摂取量測定期間における栄養摂取状況を評価し、エネルギーバランス（エネルギー摂取量－エネルギー消費量）を併せて算出した。

2.3.3 身体組成

身長は身長計（YG-200：（株）ヤガミ製）を用いて補食提供期間前に測定した。体重（body weight：

BW) は体重計 (UC-321 : (株) エー・アンド・デイ製) を用いて排尿を済ませた早朝空腹時に測定した。

体脂肪率, 骨塩量及び四肢の除脂肪軟組織量は, 二重エネルギーX線吸収 (Dual energy X-ray absorptiometry: DXA) 法を用いて測定した。得られた測定値から, 全身を骨量 (bone mass: BM), 脂肪組織量 (adipose tissue: AT), 骨格筋量 (skeletal muscle: SM), 及び残余組織量 (residual mass: RM) に分類した。BM^{8, 9)}, AT¹⁰⁾, SM¹¹⁾の算出に用いた式はそれぞれ下記の通りである。なお, RM は BW から BM と AT 及び SM を差し引いて求めた。

$$BM \text{ (kg)} = BMC \text{ (g)} \times 1.85/1000$$

$$AT \text{ (kg)} = FM \text{ (kg)} \times 1.18$$

$$SM \text{ (kg)} = 1.13 \times \text{四肢の除脂肪軟組織 (kg)} - 0.02 \times 0.02 \times \text{年齢 (歳)} + 0.97$$

$$RM \text{ (kg)} = BW \text{ (kg)} - (BM + AT + SM)$$

2.3.4 内臓脂肪面積

内臓脂肪面積は磁気共鳴画像 (magnetic resonance imaging: MRI) 法によって測定した。1.5T の MRI 装置 (Signa : General Electric Co. 製) を用い, 腹部においてスライス厚 10 mm, 繰り返し時間 560 msec, エコー時間 13.1 msec の T1 強調画像を撮影した。得られた画像から画像解析ソフト (sliceomatic : TomoVision Inc. 製) を用いてヤコビー線上の内臓脂肪面積を求めた。

2.3.5 トレーニング状況

チームのストレングス・コンディショニングコーチによる指示 (反復回数×セット数) に対する実際の実施回数を達成率 (%) として算出し, 上半身, 下半身ごとにレジスタンストレーニング実施状況の指標として評価した。

2.3.6 血液検査

前夜より 12 時間の絶食後の早朝空腹時に肘静脈より採血を行った。総たんぱく, ヘモグロビン, フェリチン, アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ (aspartate aminotransaminase : AST), アラニンアミノトランスアミナーゼ (alanine aminotransaminase : ALT), 尿酸, 尿素窒素, グルコース, HbA1c, インスリン, 中性脂肪 (TG), 総コレステロール (T-Cho), HDL-コレステロール (HDL-Cho), ソマトメジン C, コルチゾール, 総テストステロンの血中濃度を測定した。また, LDL-コレステロール (LDL-Cho) 濃度¹²⁾, 及び HOMA-IR¹³⁾ は先行研究に基づき, 以下の式より算出した。

$$LDL\text{-Cho (mg/dL)} = T\text{-Cho (mg/dL)} - (TG \text{ (mg/dL)} / 5 + HDL\text{-Cho (mg/dL)})$$

$$HOMA\text{-IR} = \text{グルコース (mg/dL)} \times \text{インスリン (\mu U/mL)} / 405$$

2.3.7 最高酸素摂取量

自転車のサドル上で 1 分間の座位安静, 3 分間のウォーミングアップ (40W) の後, ランプ負荷 (30 W/min) を用いた自転車運動を実施した。自転車エルゴメータは Combi 社製の Aerobike 75XLII を用いた。自転車運動中のペダル回転数は 60 回転/分とした。自転車運動のエンドポイントは酸素摂取量のレベリングオフ, もしくは HR > (220 - 年齢) × 90%, 6-20 で表された Borg の自覚的運動強度 > 18, 呼吸交換比 > 1.1, 回転数 < 50 回転 (3 秒以上) の 4 つの中で 3 つを満たした時とした。Breath-by-breath 法による経時的な呼気ガス分析 (ミナト医科学社製 : AE300S) により, 最高酸素摂取量を算出した。

2.4 評価方法

本研究では2.2に記載したような食事介入が実施される予定であった。しかしながら、研究途中においてチーム運営体制の変更等により管理栄養士による緻密なエネルギー付加量の調整が困難となり、一部の対象における食事調査の継続及び十分な補食の提供ができなくなった。また、複数の対象が整形外科的障害により期間中にトレーニングを中断せざる得ない状況となった。

そこで本研究では、1) 期間中の継時的な食事調査が実施不可、または期間前後の身体組成の測定が実施できなかった、2) 主に下肢の整形外科的障害により介入期間中のトレーニングを長期的に中断した、3) 提供された補食を食べることが困難でエネルギーバランスが500kcal以下となった、または嘔吐等の理由により正確なエネルギー摂取量の評価が困難になった、の3条件の中でいずれかに該当する対象(n=14)を解析対象から除外し、残り10名を解析対象とした。

対象全体(n=10)において期間前後で各測定項目を比較検討した。加えて、SMあたりのたんぱく質摂取量の中央値において高摂取群(n=5)と低摂取群(n=5)の2群に分け、期間前後の変化量を群間比較することによって、たんぱく質摂取量の相違が身体組成に及ぼす影響を評価した。解析対象10名及び各群の被験者特性は表2に示した。

2.5 統計処理

対象全体(n=10)において、介入前後の比較には対応のあるt検定を用いた。本研究では対象数が結果的に少なくなってしまったため、2群間の比較は期間前後の変化量についてのみ対応のないt検定にて評価した。トレーニング達成率に関する群間比較には対応のないt検定を用いた。相関関係の検討には、ピアソンの単相関係数を用いた。全てのデータは平均値±標準偏差で示し、危険率5%未満を統計学的に有意とした。

表1 主なレジスタンストレーニング種目

上半身種目	下半身種目
プルアップ	フロントスクワット
ベントオーバーロウ	ボックスシングルレッグスクワット
インクラインベンチロウ	デットリフト
バランスボールワンハンドロウ	シングルレッグルーマニアンデットリフト
アップライトロウ	リアランジ
ベントオーバートランクローテーション	ハンギングレッグレイズ
ベンチプレス	パワージャーク
インクラインベンチプレス	クリーンプル
フロントプッシュプレス	シングルレッグパワークリーン
チェストディップ	シングルレッグパワースナッチ
ランドマインプレス	ヒップスラスト
ダンベルプルオーバー	ボックスジャンプ

表 2 被験者特性

		全体 n=10	高摂取群 n=5	低摂取群 n=5
年齢	歳	20 ± 1	20 ± 1	20 ± 1
身長	cm	177.5 ± 7.9	176.2 ± 9.9	178.8 ± 6.3
競技歴	年	9.7 ± 4.1	9.3 ± 4.9	10.1 ± 3.7
ポジション	FW/BK	8/2	4/1	4/1

平均±標準偏差

FW：フォワード，BK：バックス

3. 結果

3.1 補食提供期間中のエネルギー消費量及び栄養摂取状況 (表 3)

対象全体(10名)のエネルギーバランスは 1008 ± 339 kcal, BWあたりのたんぱく質摂取量は 1.7 ± 0.1 g/kgBWであった。BWあたりのたんぱく質摂取量の分布範囲は $1.49 - 1.84$ g/kgBWであり, SMあたりのたんぱく質摂取量の分布範囲が $3.44 - 4.66$ g/kgSMと比較的大きかった。そこで, SMあたりのたんぱく質摂取量の中央値にて, 高摂取群(範囲: $4.27 - 4.66$ g/kg SM)と低摂取群(範囲: $3.44 - 4.11$ g/kgSM)の2群に分けて栄養摂取状況を比較したところ, 高摂取群においてSMあたり($p < 0.05$)およびFFMあたり($p < 0.05$)のたんぱく質摂取量が有意に高値を示した。一方, エネルギーバランス, 体重あたりのたんぱく質摂取量, 脂質摂取量, 脂質エネルギー比率及び炭水化物摂取量においては群間に差を認めなかった。

3.2 身体組成及び内臓脂肪面積の変化 (表 4)

対象全体($n=10$)では, 期間後にBW, 体脂肪率, FM, ATが有意に増大したが, FFM, BM, SM, RM, 内臓脂肪面積は有意な変化を示さなかった。しかしながら, SMあたりのたんぱく質摂取量は, SM変化量($r=0.75$, $p < 0.05$)及びFFM変化量($r=0.70$, $p < 0.05$)との間に有意な正の相関関係を示した。低摂取群に比較して高摂取群では, FFM変化量($p < 0.05$)及びSM変化量($p < 0.05$)が有意に高値を示す一方で, BW, 体脂肪率, FM, BM, AT, RM, 内臓脂肪面積の変化量には有意な群間差を認めなかった。

3.3 トレーニング実施状況 (表 5)

対象全体($n=10$)では, 上半身種目で $59.7 \pm 16.7\%$, 下半身種目で $37.8 \pm 9.9\%$ であった。上半身種目, 下半身種目共に, 群間で有意な差はみられなかった。

3.4 血液性状及びホルモン濃度変化 (表 6)

対象全体($n=10$)では, AST, ALT, 尿酸, HDL-Choにおいて期間後で有意に低下したが, その他の項目において有意な変化は認められなかった。2群間の比較においては, すべての項目で有意な差は検出できなかったが, フェリチン変化量に関しては, 高摂取群で低値の傾向を示した($p=0.09$)。対象全体($n=10$)では, フェリチン変化量がSM変化量と有意な負の相関関係を示した($r=-0.80$, $p < 0.01$)。

3.5 最高酸素摂取量 (表 7)

期間前または期間後において自転車運動のエンドポイントを満たさなかった対象2名を除き, 8名にて解析した。体重あたりの最高酸素摂取量には有意な変化を認めなかったが, 最高酸素摂取量の絶対量(L/min, $p < 0.05$), FFMあたりの最高酸素摂取量(mL/kgFFM/min, $p < 0.05$)において, 期間後に有意な改善を認めた。SMあたりの最大酸素摂取量においては期間後において改善傾向($p=0.08$)を示した。しかしながら, 高値群($n=4$)と低値群($n=4$)において, 期間中の変化量に有意差はみられなかった。

表3 エネルギー消費量及び栄養摂取状況

		全体 n=10	高摂取群 n=5	低摂取群 n=5
エネルギー摂取量	kcal/day	4890 ± 498	5077 ± 669	4702 ± 148
エネルギー消費量	kcal/day	3882 ± 432	3968 ± 548	3795 ± 318
エネルギーバランス	kcal/day	1008 ± 339	1109 ± 350	908 ± 332
	kcal/kgBW/day	10.7 ± 3.1	11.6 ± 2.8	9.9 ± 3.5
	kcal/kgFFM/day	13.1 ± 4.2	14.4 ± 4.0	11.9 ± 4.4
	kcal/kgSM/day	25.9 ± 8.5	28.7 ± 7.5	23.2 ± 9.4
たんぱく質	g/day	161.3 ± 18.1	169.5 ± 23.0	153.2 ± 6.4
	g/kgBW/day	1.7 ± 0.1	1.8 ± 0.1	1.7 ± 0.1
	g/kgFFM/day	2.1 ± 0.1	2.2 ± 0.1*	2.0 ± 0.1
	g/kgSM/day	4.1 ± 0.4	4.4 ± 0.2*	3.9 ± 0.3
脂質	g/day	146.0 ± 18.3	152.6 ± 23.3	139.5 ± 10.0
エネルギー比率	%	26.8 ± 1.3	27.0 ± 1.6	26.7 ± 1.1
炭水化物	g/day	697.8 ± 62.6	711.0 ± 90.1	684.6 ± 16.5
	g/kgBW/day	7.5 ± 0.5	7.5 ± 0.5	7.5 ± 0.7
	g/kgFFM/day	9.1 ± 0.6	9.2 ± 0.7	8.9 ± 0.5
	g/kgSM/day	17.9 ± 1.3	18.5 ± 1.1	17.3 ± 1.3

平均±標準偏差

BW：体重，FFM：除脂肪量，SM：骨格筋量

エネルギーバランス= エネルギー摂取量-エネルギー消費量

*:p<0.05 (vs 低摂取群)

表 4 身体組成および内臓脂肪面積の変化

		全体 n=10			高摂取群 n=5	低摂取群 n=5
		期間前	期間後	変化量	変化量	変化量
BW	kg	93.85 ± 10.96	94.74 ± 11.10**	0.89 ± 0.83	1.04 ± 1.10	0.75 ± 0.55
体脂肪率	%	17.7 ± 4.2	18.4 ± 3.5*	0.7 ± 0.9	0.2 ± 0.7	1.2 ± 0.8
FM	kg	16.95 ± 5.44	17.69 ± 4.87*	0.74 ± 0.79	0.31 ± 0.68	1.17 ± 0.68
FFM	kg	76.90 ± 6.28	77.05 ± 6.77	0.16 ± 0.86	0.74 ± 0.84#	-0.43 ± 0.32
BM	kg	5.79 ± 0.41	5.86 ± 0.40	0.08 ± 0.12	0.04 ± 0.14	0.11 ± 0.10
AT	kg	19.98 ± 6.40	20.87 ± 5.76*	0.89 ± 0.90	0.40 ± 0.78	1.39 ± 0.78
SM	kg	39.02 ± 3.62	39.10 ± 3.69	0.08 ± 0.81	0.59 ± 0.60#	-0.43 ± 0.69
RM	kg	29.06 ± 2.33	28.91 ± 2.56	-0.15 ± 0.50	0.02 ± 0.51	-0.32 ± 0.48
内臓脂肪面積 ^a	cm ²	81.67 ± 26.68	80.51 ± 25.85	-1.16 ± 6.37	-1.85 ± 6.59	-0.46 ± 7.06

平均±標準偏差

BW：体重，FM：体脂肪量，FFM：除脂肪量，AT：脂肪組織量，BM：骨量，SM：骨格筋量，RM：残余組織量

^a:全体(n=8)，高摂取群(n=4)，低摂取群(n=4)

*:p<0.05, **:p<0.01, (vs 期間前), #:p<0.05(vs 低摂取群)

表5 トレーニング達成率

		全体 n=10	高摂取群 n=5	低摂取群 n=5
上半身種目	%	59.7 ± 16.7	59.7 ± 19.4	59.7 ± 15.9
下半身種目	%	37.8 ± 9.9	37.4 ± 12.0	38.2 ± 8.6
平均±標準偏差				

表 6 血液性状及びホルモン濃度の変化

		全体 n=10			高摂取群 n=5	低摂取群 n=5
		期間前	期間後	変化量	変化量	変化量
総たんぱく	g/dL	7.1 ± 0.4	7.1 ± 0.4	-0.1 ± 0.3	0.0 ± 0.2	-0.1 ± 0.3
ヘモグロビン	g/dL	15.2 ± 0.7	15.2 ± 0.7	0.0 ± 0.6	0.1 ± 0.6	-0.1 ± 0.7
フェリチン	ng/mL	120.2 ± 53.8	114.7 ± 53.7	-5.6 ± 20.0	-16.2 ± 21.6	5.1 ± 12.2
AST	U/L	32 ± 7	24 ± 5**	-8 ± 5	-8 ± 4	-8 ± 5
ALT	U/L	41 ± 21	31 ± 14*	-9 ± 10	-7 ± 4	-12 ± 13
尿酸	mg/dL	6.4 ± 1.2	5.9 ± 1.0*	-0.4 ± 0.5	-0.6 ± 0.6	-0.3 ± 0.5
尿素窒素	mg/dL	14.2 ± 2.5	14.7 ± 2.4	0.5 ± 2.7	0.1 ± 2.9	1.0 ± 2.7
グルコース	mg/dL	81 ± 5	83 ± 4	2 ± 4	1 ± 4	3 ± 5
HbA1c	%	5.4 ± 0.1	5.4 ± 0.1	0.0 ± 0.1	0.0 ± 0.1	0.1 ± 0.1
インスリン	μU/mL	4.6 ± 1.7	5.9 ± 0.3	1.3 ± 2.9	0.4 ± 3.2	2.2 ± 2.6
HOMA-IR		0.9 ± 2.9	1.2 ± 0.6	0.3 ± 0.6	0.1 ± 0.7	0.5 ± 0.6
TG	mg/dL	113 ± 44	134 ± 58	21 ± 50	5 ± 23	37 ± 66
T-Cho	mg/dL	180 ± 25	175 ± 26	-6 ± 13	-9 ± 8	-2 ± 16
HDL-Cho	mg/dL	54 ± 7	49 ± 7**	-6 ± 4	-7 ± 4	-4 ± 2
LDL-Cho	mg/dL	104 ± 22	99 ± 25	-4 ± 18	-3 ± 10	-6 ± 25
ソマトメジン C	ng/mL	199 ± 33	214 ± 50	15 ± 38	26 ± 46	4 ± 28
コルチゾール	μg/dL	12.9 ± 2.2	13.5 ± 4.1	0.6 ± 5.2	0.4 ± 7.3	0.8 ± 2.8
テストステロン	ng/mL	5.1 ± 1.5	5.4 ± 1.2	0.3 ± 0.9	0.5 ± 0.6	0.0 ± 1.1

平均 ± 標準偏差

TG : 中性脂肪, T-Cho : 総コレステロール

*: p<0.05, **: p<0.01, (vs 期間前)

表 7 最高酸素摂取量の変化

		全体 n=8			高摂取群 n=4	低摂取群 n=4
		期間前	期間後	変化量	変化量	変化量
最高酸素摂取量	L/min	3349 ± 316	3499 ± 399*	150 ± 172	144 ± 202	156 ± 167
	mL/kgBW/min	36.1 ± 3.6	37.2 ± 2.9	1.1 ± 1.7	0.9 ± 1.8	1.3 ± 1.8
	mL/kgFFM/min	43.6 ± 3.3	45.3 ± 2.6*	1.8 ± 2.0	1.3 ± 2.0	2.2 ± 2.2
	mL/kgSM/min	86.3 ± 8.6	89.6 ± 6.3	3.3 ± 4.5	2.1 ± 4.0	4.6 ± 5.1

平均±標準偏差

BW : 体重, FFM : 除脂肪量, SM : 骨格筋量

*:p<0.05 (vs 期間前)

4. 考察

4.1 身体組成変化

本研究の主な知見は、週に5日のトレーニングを実施しているラグビー選手において、1) 2か月間、エネルギーバランスを約+1000 kcalに維持しながら体重あたり1.7g/kgBWのたんぱく質摂取することにより、BW, FM, ATが有意に増大したこと、2) SMあたり3.9gのたんぱく質摂取に比較して、4.4gのたんぱく質摂取時に、ATの変化量には差を認めない一方で、SMの増加量が有意に高値であったこと、の2点である。

本研究の高摂取群、低摂取群共にBWあたりのたんぱく質摂取量は、おおよそアメリカスポーツ医学会が推奨している筋力・筋パワー系アスリートのたんぱく摂取量(1.2-1.7g/kgBW)¹⁴⁾の範囲内であり、群間に有意差は見られなかった。一方で、SMあたりまたはFFMあたりのたんぱく質摂取量は高摂取群で有意に高値であり、SMの変化は高摂取群で有意に高値であった。エネルギーバランスにおいては群間に有意差を認めず、高摂取群(1109 kcal)、低摂取群(908 kcal)ともにオーストラリア国立スポーツ研究所が推奨する一定水準以上のエネルギーバランス(約500-1000 kcal)¹⁵⁾を維持していた。以上の結果は、筋力・筋パワー系アスリートに対しては、エネルギーバランスが一定水準以上に保たれた条件下において、SMあたり3.9g以上のたんぱく質摂取が骨格筋増量のために必要であった可能性を示唆している。さらに、効果的に骨格筋量を増加させるためのたんぱく質摂取量は、BWあたりではなく、SMあたりまたはFFMあたりの値で設定する必要があると考えられる。

本研究の補食提供期間は2か月間と短期間であり、高摂取群においてもFFMあたりのたんぱく質摂取量は 2.2 ± 0.1 g程度であった。そのため、ATが0.4 kg (FMが0.31 kg) 増大する一方で、骨格筋が0.59 kg (FFMが0.74 kg) の増大にとどまった。永澤ら⁷⁾はボート選手を対象とした12週間の食事介入において、本研究と同程度のエネルギーバランス(1036 ± 49 kcal)、脂質エネルギー比率($28.8 \pm 2.0\%$)を保ちながら、FFMあたりたんぱく質を約2.7g摂取させることによって、FMが1.2 kg、FFMが2.6 kg増大した(FFMのみ有意な増加であった)ことを報告している。永澤ら⁷⁾は対象者に女性を含んでおり、かつ詳細なトレーニング実施状況を報告していないため、結果を比較する際には注意が必要であるが、本研究では、短期間で、かつFFMあたりのたんぱく質摂取量が小さいものの、FFMの増大とFMの増大の比率($0.74/0.31=2.39$)は永澤ら⁷⁾の値($2.6/1.2=2.17$)とほぼ同程度またはわずかに高値であった。今後、長期的な栄養摂取時における身体組成の経時変化を検討する必要があるが、本研究の知見は、筋力・筋パワー系アスリートを対象とした骨格筋の増量方法を確立する上での一助になると考えられる。

4.2 血液性状及び内臓脂肪面積

対象全体では、AST, ALT, 尿酸値, HDL-Choが有意に減少したが、いずれの項目も正常範囲内であった。加えて、高摂取群と低摂取群においても比較検討したが、いずれに項目においても有意な差を認めなかった。本研究の測定項目においては、本研究の高摂取群における栄養摂取によってもメタボリックシンドロームのリスクの増加は確認されなかった。

骨格筋量を大きく増大させるために、本研究の高摂取群よりも多くのたんぱく質を摂取する場合には、健康維持の観点から問題が引き起こされるかもしれない。本研究では期間前・期間後ともに基準値内ではあったものの、高摂取群にてフェリチン減少量が大きい傾向を示し、実際に期間前後の血中フェリチン濃度の減少が骨格筋量の増大と関連した。本研究のフェリチン濃度の減少は骨格筋量の増大を反映しているものと考えられ、大幅な骨格筋量の増大と同時に有酸素性能力の向上が必要とされる種目においては、鉄の摂取量不足に注意すべきであるかもしれない。加えて、期間前に比較して期間後で尿酸値が有意に減少した。本研究ではBWあたりのたんぱく質摂取量が期間前(2.0 ± 0.3 g/kgBW, 未掲載データ)に比較して期間中(1.7 ± 0.1 g/kgBW)に結果的に減少した。過剰に摂取したたんぱく質はエネルギー源として利用され、過剰なエネルギーは体脂肪として蓄積すると考えられている。そのため、アメリカスポーツ医学会は筋力・筋パワー系アスリートのたんぱく質摂取量として1.2-1.7g/kgBWを推奨している¹⁴⁾。しかしながら本研究の期間前においては、たんぱく質摂取量が体重あたり2.0gを超える対象が4名認められ、尿

酸値が基準値（7 mg/dL）以上の選手が 10 名中 3 名認められた。体脂肪の蓄積を問題にせず、効果的な骨格筋量の増大のみを目的としたたんぱく質摂取量に関して、コンセンサスの得られた基準値は現時点で存在しない。しかしながら、健康維持の観点から考えると、血液性状のアセスメント、管理栄養士による栄養指導と共に、長期的でかつ体重あたり 2.0 g より低いたんぱく質摂取が推奨されるかもしれない。

本研究では、増量時の身体組成と関連する可能性がある血中ホルモン^{4, 16)}を測定した。しかしながら、本研究のようなわずかに SM が変化するような骨格筋量の増加では血中ホルモンは影響しない可能性が考えられた。

4.3 最高酸素摂取量

対象全体において、最高酸素摂取量の絶対値、FFM あたりまたは SM あたりで補正した最高酸素摂取量は有意に改善した。レジスタンストレーニングと有酸素性トレーニングを組み合わせる実施しても有酸素性能力の改善には影響を及ぼさないことが示されている¹⁷⁾。本研究では典型的な有酸素性トレーニング（例えば、長時間の自転車運動など）を実施しなかったが、フィールド練習において十分に有酸素性能力が改善した結果であると解釈できる。一方で、SM の変化量に群間差が認められたにもかかわらず、最高酸素摂取量の変化量は絶対値においても群間で差を認めなかった。フィールド練習によって、下肢骨格筋の有酸素性能力が改善される一方で、レジスタンストレーニングは主に上半身の種目において達成率が高かったため、SM の増大は主に上半身で引き起こされた可能性があり、主に下肢を動員する自転車では SM 増加による影響を検出できなかった可能性がある。加えて、本研究の 2 か月間のトレーニング量に対して対象数が少ないために群間に有意性を検出できなかった可能性も残されており、この点についても更なる検討が必要である。

4.4 研究の限界と展望

正確にエネルギーバランスを把握するためには毎日のエネルギー消費量を測定することが望ましい。しかしながら、タックルやスクラム等の選手間のコンタクトが多いラグビーの競技特性上、胸部に心拍数計を毎日装着することが困難であったため、心拍数法を用いた本研究ではエネルギー消費量は 1 回 1 週間の測定を 1 か月に 1 回行うことが限界であった。また、大型のラグビー選手はエネルギー消費量が大きい。そのため、結果として食事の嵩が大きくなり、補食として必要なエネルギー量を摂取させることが困難となる対象が散見された。正のエネルギーバランスを維持するために脂質エネルギー比率を 35~40% に設定すると、体脂肪量が大きく増加することが一般人において示されている¹⁸⁾。そのため、体格が大きくかつ食が細い選手に対して、必要なエネルギーを摂取させるための方法を検討する必要がある。さらに、本研究ではたんぱく質及びエネルギー摂取のタイミングについても統制することができなかった。レジスタンス運動後の筋たんぱく合成速度はアミノ酸摂取により相乗的に増大する。そのため、たんぱく質摂取、エネルギーバランス、トレーニング内容に加えて、これらのタイミングの相違により骨格筋増量の効率が改善する可能性もある。

5. 結語

週に 5 日のレジスタンストレーニングを実施しているラグビー選手においては、2 か月間であっても、エネルギーバランスを約 +1000 kcal に維持した上で SM あたり 4.4 g/day のたんぱく質摂取することによって、AT が 0.40 kg (FM が 0.31 kg) 増大する一方で、SM を 0.59 kg (FFM が 0.74 kg) 増大させることができる。骨格筋量の増大にかかわらず有酸素性能力の改善が確認され、本研究のような栄養摂取状況であっても、血液性状および内臓脂肪面積からメタボリックシンドロームのリスク増加は確認されなかった。

参考文献

- 1) Miyauchi S, Oshima S, Asaka M, Kawano H, Torii S, Higuchi M. Organ size increases with weight gain in power-trained athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2013;23(6):617-23.
- 2) Tarnopolsky MA, Atkinson SA, MacDougall JD, Chesley A, Phillips S, Schwarcz HP. Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J Appl Physiol.* 1992;73(5):1986-95.
- 3) Duthie G, Pyne D, Hooper S. *Applied Physiology and Game Analysis of Rugby Union.* Sports Med. 2003;33(13):973-91.
- 4) Borchers JR, Clem KL, Habash DL, Nagaraja HN, Stokley LM, Best TM. Metabolic syndrome and insulin resistance in Division 1 collegiate football players. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(12):2105-10.
- 5) Guo J, Zhang X, Wang L, Guo Y, Xie M. Prevalence of metabolic syndrome and its components among Chinese professional athletes of strength sports with different body weight categories. *PLoS One.* 2013;8(11):e79758.
- 6) Nader GA. Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(11):1965-70.
- 7) 永澤貴昭, 村田浩子, 村岡慈歩, 夏井裕明, 田口素子. 競技者の増量に適した食事方法の検討. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2013;21(2):422-30.
- 8) Synder WS, Cook MJ, Nasset ES, Karhausen LR, Howells GP, Tipton IH. Report of the Task Group of Reference Man. ICRP-23, Pergamon Press, Oxford, 1975.
- 9) Heymsfield SB, Smith R, Aulet M, Bensen B, Lichtman S, Wang J, Pierson RN Jr. Appendicular skeletal muscle mass: measurement by dual-photon absorptiometry. *Am J Clin Nutr.* 1990;52(2):214-8.
- 10) Heymsfield SB, Gallagher D, Kotler DP, Wang Z, Allison DB, Heshka S. Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to nonenergetic homogeneity of fat-free mass. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2002;282(1):E132-8.
- 11) Kim J, Wang Z, Heymsfield SB, Baumgartner RN, Gallagher D. Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. *Am J Clin Nutr.* 2002;76(2):378-83.
- 12) Friedewald WT, Levy RI, Fredrickson DS. Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clin Chem.* 1972;18(6):499-502.
- 13) Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor BA, Treacher DF, Turner RC. Homeostasis model assessment: insulin resistance and beta-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia.* 1985;28(7):412-9.
- 14) American Dietetic Association; Dietitians of Canada; American College of Sports Medicine, Rodriguez NR, Di Marco NM, Langley S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):709-31.
- 15) Australian Institute of Sport: Fact sheets, Increasing Muscle Mass, http://www.ausport.gov.au/ais/nutrition/factsheets/body_size_and_shape/increasing_muscle_mass
- 16) Forbes GB, Brown MR, Welle SL, Underwood LE. Hormonal response to overfeeding. *Am J Clin Nutr.* 1989;49(4):608-11.
- 17) Murach KA, Bagley JR. Skeletal Muscle Hypertrophy with Concurrent Exercise Training: Contrary Evidence for an Interference Effect. *Sports Med.* in press.
(DOI:10.1007/s40279-016-0496-y)

- 18) Bouchard C, Tremblay A, Després JP, Nadeau A, Lupien PJ, Thériault G, Dussault J, Moorjani S, Pinault S, Fournier G. The response to long-term overfeeding in identical twins. *N Engl J Med.* 1990;322(21):1477-82.