

《原著》

相撲選手における朝食摂取の有無が好中球機能に及ぼす影響

伊東良^{1,2}、沢田かほり¹、高橋一平¹、齋藤一雄²、福井真司³、樗木武治⁴、竹石洋介⁵、矢野智彦^{1,6}、谷本歩実¹、生寫健也^{1,4}、中路重之¹

1 弘前大学大学院医学研究科社会医学講座
2 日本体育大学
3 尚絅学院大学
4 松山大学
5 九州情報大学
6 環太平洋大学

キーワード

1. 好中球
2. 活性酸素種
3. 相撲選手
4. 朝食
5. 脂質
6. 糖質

【目的】大学相撲選手における朝食摂取の有無が、朝稽古後の好中球機能の変化に及ぼす影響を検討する。

【方法】対象者は、A 大学男子相撲部員 25 名であった。調査日の朝食摂取の有無により、朝食摂取群、朝食非摂取群の 2 群 (各々 10 名と 15 名) に分類した。朝稽古前後に、身体組成、自記式栄養調査、血液生化学検査 (白血球数、好中球数、筋逸脱酵素 (CK、AST、ALT、LDH)、血糖、中性脂肪、遊離脂肪酸、IgG、C3) を測定した。また、好中球機能として、ROS (reactive oxygen species) 産生及び PA (食食能、phagocytic activity)、血清オプソニン活性を測定した。

【結果】朝食摂取群で、稽古後血糖が有意に低下し、遊離脂肪酸、好中球数が有意に上昇したが、朝食非摂取群でそのような傾向はみられなかった。平常時 ROS 産生能は、朝食摂取群では上昇、朝食非摂取群では低下の変動パターンを示した。異物投与時 ROS 産生能は両群ともに稽古前後で有意に低下したが、摂取群に比べ非摂取群の低下傾向が大きかった。食食能は朝食非摂取群で有意に低下した。血清オプソニン化活性では、ルミノール依存性 PH で、摂取群が稽古前後で有意に上昇し、非摂取群は有意に低下した。

【結論】運動の内容や負荷強度は両群で同程度であったにもかかわらず、朝食を食べなかった選手では、糖質からのエネルギー供給が十分でなく、運動負荷に対して好中球機能が適正に反応できず、運動負荷後に好中球機能が抑制されていたと考えられた。加えて、脂質からのエネルギー供給も十分でなかったことが原因の一つと考えられた。相撲選手は連日の稽古と過密な試合日程を余儀なくされるため、日々の稽古による免疫機能の保持は体調管理の点で重要である。その点からも、相撲選手による朝食摂取の重要性が示唆された。

体力・栄養・免疫学雑誌 第 25 卷 第 3 号 239-247 頁 2015 年

諸言

アスリートの多くは、目標とする大会で相手に勝利するためや自己の記録を更新するために高強度、長時間、高頻度のトレーニングを日々行っている。大会でより良いパフォーマンスを発揮するためには心身ともに最高のコンディションで臨むことが重要となってくる。アスリートによる高強度のトレーニングは、体力や技術の向上が得られる一方で、筋組織の損傷、エネルギー代謝の亢進による糖質・脂質の消費、脱水や電解質の消失など身体的・精神的疲労やストレスの発現により身体諸機能の低下をもたらすことが報告されて

いる¹⁻⁵⁾。

高強度の運動が負荷された場合、体内では筋組織の変性や損傷が生じ、これに付随して炎症反応が活性化することが報告されている⁶⁾。炎症反応を担う免疫細胞のひとつとして好中球が挙げられる。好中球は、体内組織の損傷や体外からの異物侵入に対し、ストレスホルモンや炎症性サイトカイン等の働きを介して活性化し、炎症部位にいち早く遊走して食食能を発揮し、さらに活性酸素種等を産生し殺菌・処理する働きを担う^{6,7)}。適度な運動は好中球機能を刺激し活性化する反面、激しいトレーニングでは逆に抑制がみられ易感染性となることが知られている⁸⁾。

表 1 調査当日の 2 時間の稽古内容

内容	回数	時間
1 準備体操		
2 四股	100 回	ウォーミングアップ 30 分
3 すり足	10 本	
4 1、2、3 ジャンプ	50 回×3 セット	
5 腕立て	30 回×3 セット	
6 四股	200 回	
7 ジャンプ	土俵 2 面分×10 周	トレーニング 90 分
8 てっぼう	50 回×4 セット	
9 あんま稽古	5 本×2 セット	
10 ぶつかり稽古	10 本×2 セット	
11 整理体操		

アスリートのコンディショニングにおいて重要視されるものの一つに栄養管理があげられる。特に、パフォーマンスや見た目のために体重を減らすことが求められる競技 (例えば体操、フィギュアスケート、長距離走など) や、体重階級のある競技 (例えばボクシング、武術、ウェイトリフティング、ボート競技など) では、日常的にエネルギーを制限した食事を摂っている⁹⁾。一方、厳しい食事制限は運動後の免疫機能低下に影響することが報告されている。すなわち、Kowatari ら¹⁰⁾は、柔道選手において、減量のための厳しい食事制限は、激しいトレーニングによってもたらされる免疫抑制を増悪させる可能性を指摘している。また、Tanaka ら¹¹⁾は大学女子長距離選手において、練習前の血糖値が低いものでは運動後の酸化ストレスが高まっている可能性を示唆している。

相撲競技は、土俵という比較的狭い競技スペースで取り組みを行う無酸素性運動のスポーツであり、日々高強度、高頻度のトレーニングを実施している。また、プロの大相撲においては、朝早く起きて朝食を摂らずに稽古を行い、稽古終了後に昼食を朝食の分まで食べる。このような昼食で 2 食分の食事を摂ることが相撲にとって古くから伝わっている伝統的な習慣であり、大学相撲選手においても朝食を摂らない傾向が伺える。しかし、稽古前に食事を摂らないことが稽古後の免疫機能に関連しているかどうか調べた研究はみられない。そこで本研究は相撲選手における朝食摂取の有無が稽古後の好中球機能の変化に及ぼす影響について調査した。

方法

1. 対象者の特徴

本調査の対象者は、A 大学の男子相撲部員 25 名であった。A 大学の相撲部は、全国学生相撲選手権大会団体優勝の経験が多数あり、学生横綱や大相撲の関取も

数多く輩出している。

対象者に普段から朝食を定期的に摂取している者はいない。練習は週 6 日、一日あたり約 2 時間のトレーニングを実施していた。調査はシーズン中の 8 月に実施し、通常約 2 時間の稽古 (表 1) 前後に採血および身体測定を行った。

調査日の朝食摂取の有無により、朝食摂取群、朝食非摂取群の 2 群に分類し解析を実施した。対象者の内訳は朝食摂取群 10 名 (年齢 19.4±1.1 歳、身長 178.0±6.1cm、体重 108.9±22.1kg、BMI 34.1±5.4kg/m²、体脂肪率 25.1±8.1%)、朝食非摂取群 15 名 (年齢 20.0±1.4 歳、身長 175.7±5.4cm、体重 113.4±32.0kg、BMI 36.5±9.3kg/m²、体脂肪率 27.5±10.7%) であった (表 2)。

2. 身体組成値

身体組成値は身長を測定した後、体重、体脂肪率をインピーダンス法を用いたマルチ周波数体組成計 (MC-190, (株) タニタ, 東京) で測定した。BMI は体重 (kg) を身長 (m) の二乗で除することにより求めた。

3. 栄養調査

本研究では対象者が調査前 3 日間に摂取した飲食物全ての量を自記式栄養調査用紙に記録し、同時にインスタントカメラで撮影させた。これにより得られた資料を五訂増補食品成分表により分析し、総エネルギー摂取量、たんぱく質摂取量、脂質摂取量、炭水化物摂取量を算出した (表 3)。なお、本研究で用いた対象者の 1 日の各栄養摂取量は、調査前 3 日間の平均値を採用した。

4. 血液生化学検査

15ml の採血は稽古前安静時と稽古終了直後に実施した。採取した末梢血のうち 5ml はそのまま血球成分の分析に用い、残り 10ml は 3000rpm で 10 分間遠心し

血清を分離した後、一部を血清成分の分析に用い、残りは-80℃にて冷凍保存した。

血球成分の中から免疫関連細胞として白血球数、好中球数を測定した。また、血清成分の測定項目は筋組織の変性、損傷あるいは疲労状況を把握するための筋逸脱酵素 (CK、AST、ALT、LDH)、血中の糖質・脂質の利用状況を把握するための血糖、中性脂肪、遊離脂肪酸、免疫関連成分としての免疫グロブリン (IgG) および補体 (C3) を測定した。血球成分の全ての項目はシスメックス社の自動血球測定装置 (System XE-2100 and SE-9000, Kobe, Japan) を用いて測定した。筋逸脱酵素は JSCC 標準化対応法、血中の糖質・脂質は酵素法、免疫グロブリン、補体は免疫比濁法 (Turbidimetric Immunoassay: TIA) により測定した。なお、本研究における血液生化学検査の項目の全ては、三菱化学メディエンス (株) に委託し測定した。

5. 好中球 ROS (reactive oxygen species) 産生及び PA(phagocytic activity)の測定方法

好中球 ROS 産生能と PA を FACScan (Becton Dickinson, San Jose, CA, USA) を用いて two-color 法により測定した。ROS 産生能は蛍光指示剤 Hydroethidine (HE; 44.4 μ mol/L, Polyscience Inc., Warrington, PA, USA) を用いて、PA は蛍光色素 fluorescein isothiocyanate (FITC; Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) で標識したオプソニン化ザイモザン (FITC-OZ) を用いて測定した。

具体的には、全血 100 μ l に HE22 μ l を加えた (最終濃度 8 μ M) 後 37℃で 5 分間インキュベートを行った。異物投与時の ROS 産生能と PA 測定用のサンプルには、さらに FITC-OZ 25 μ l を加え (最終濃度 5mg/ml)、37℃で 35 分間インキュベートした。インキュベート終了後、各サンプルは溶血固定試薬 Lyse and Fix (IMMUNOTECH, Marseille, France) により赤血球を溶血し固定した。アジ化ナトリウム加 PBS にて 2 回遠心洗浄した後、FACScan にて蛍光強度を測定した。PA に関しては測定する直前に Fluorescence Quenching Method に従ってトリパンプルー 30 μ l (0.25mg/ml, pH4.5) を加えることにより、表面に付着しているだけで好中球に取り込まれていない FITC-OZ を除外して測定した。ROS 産生と PA の測定は、FACScan を用いて、好中球 10000 個中の活性化された好中球の平均蛍光強度 (fluorescence intensity: FI) と蛍光陽性細胞率 (%) を検出し、これらを乗じた総蛍光強度 (cumulative fluorescence intensity: CFI) により評価した。

異物 (FITC-OZ) 投与前のサンプルは平常時の好中球機能の状態 (平常時 ROS 産生能) を示し、異物 (FITC-OZ) 投与後のサンプルは好中球機能の異物反

応 (異物投与時 ROS 産生能、貪食能) を示す。

6. 血清オプソニン化活性の測定法

化学発光法 (chemiluminescence : CL) は、活性酸素種 (reactive oxygen species : ROS) を感度良く検出するために有効である。本研究では血清オプソニン化活性 (serum opsonic activity: SOA) を、各対象者の血清によってオプソニン化されたザイモザンを基準となる好中球が貪食する際に産生する ROS 量を化学発光法により評価した。またこの時、ルシゲニン (bis-N-methylacridinium nitrate (Sigma, USA) : Lg) を発光増感剤として用いたルシゲニン依存性化学発光法 (LgCL) とルミノール (5-amino-2,3-dihydro-1,4-phthalazinedion (Sigma, USA) : Lm) を用いたルミノール依存性化学発光法 (LmCL) の 2 つの方法で SOA を測定した。前者は低毒性の、後者は強毒性の ROS を検出する。

また、測定の手順の詳細は以下のように進めた。Zymosan A (Sigma, USA) を 5mg/ml の濃度で Hanks' balanced salt solution (HBSS) に懸濁し、塊を攪拌するために超音波処理を加えたザイモザン懸濁液 (5mg/ml) に対し、融解した被験者の血清を加え、37℃の温浴槽にて 30 分間インキュベートしてオプソニン化を行い、オプソニン化ザイモザンを作成した (OZ)。

基準となる好中球は 1 人の健常男性から採血し、MONO-POLY RESOLVING MEDIUM (Dainippon Pharmaceutical, Japan) によって好中球を分離し 3.0 \times 10³cells/ μ l になるように HBSS に浮遊させた。化学発光の測定は 96 穴マイクロプレート (well capacity 400 μ l, Greiner Japan, Tokyo, Japan) を用い、この好中球浮遊液 50 μ l に対し、刺激物質として OZ を 50 μ l、さらに増感剤として 50 μ l の Lg、Lm をそれぞれ加え、最後に HBSS を 100 μ l 加え、最終濃度を 0.1mM、総量 250 μ l にし、自動化学発光計測器 (Auto Luminescence Analyzer, Alfa system (Tokken, Funabashi, Japan)) にて 45 分間測定した。全ての測定は 37℃の環境下で実施された。

SOA の評価は、発光曲線の最大値 Peak height (PH) より行った。

7. 統計処理

結果はすべて平均値 \pm 標準偏差で示した。群内における各測定項目の稽古前後の平均値の比較には対応のある t 検定を用いた。朝食摂取群と朝食非摂取群の稽古前後の変動パターンとの比較には、朝食摂取 (あり/なし) と稽古 (稽古前/稽古後) の 2 要因を独立変数とする二元配置分散分析 (two-way ANOVA) を行った。

表 2 対象者の特徴

	朝食摂取群 (n=10)	朝食非摂取群 (n=15)
年齢 (歳)	19.4 ± 1.1	20.0 ± 1.4
身長 (cm)	178.0 ± 6.1	175.7 ± 5.4
体重 (kg)	108.9 ± 22.1	113.4 ± 32.0
BMI (kg/m ²)	34.1 ± 5.4	36.5 ± 9.3
体脂肪率 (%)	25.1 ± 8.1	27.5 ± 10.7

平均値±標準偏差

表 3 調査前 3 日間の一日あたりの食事摂取量

	朝食摂取群 (n=10)	朝食非摂取群 (n=15)
エネルギー (kcal)	3263.2 ± 717.7	3071.0 ± 803.8
たんぱく質 (g)	127.3 ± 32.3	128.8 ± 39.4
脂質 (g)	119.3 ± 36.1	126.5 ± 29.8
炭水化物 (g)	397.1 ± 98.3	313.6 ± 93.3

平均値±標準偏差

表 4 筋損傷・疲労関係項目の変化

		稽古前	稽古後	二元配置 分散分析 (p 値)
CK (IU/l)	朝食摂取群	473.4 ± 286.7	572.7 ± 381.2	0.937
	朝食非摂取群	494.3 ± 791.0	597.3 ± 862.4	
AST (IU/l)	朝食摂取群	34.2 ± 14.6	39.6 ± 18.2	0.848
	朝食非摂取群	35.8 ± 19.6	40.8 ± 24.8	
ALT (IU/l)	朝食摂取群	53.9 ± 40.8	57.8 ± 44.1	0.987
	朝食非摂取群	58.5 ± 47.0	62.3 ± 51.8	
LDH (IU/l)	朝食摂取群	272.4 ± 44.9	298.7 ± 44.5	0.159
	朝食非摂取群	257.9 ± 52.0	296.5 ± 53.8	

平均値±標準偏差

朝食摂取群 n=10、朝食非摂取群 n=15

稽古前との比較：対応のある t 検定

**：p<0.01, *：p<0.05

また、糖質・脂質変化量と平常時 ROS 産生能変化量の比較に Pearson の積率相関分析を用いた。なお、いずれの検定も p<0.05 を有意差あり、p<0.1 を傾向ありとした。

本調査は弘前大学医学部倫理委員会の承認を受けた上で、事前に全対象者に調査の目的と内容を説明し、調査への参加、協力の同意を得て実施した。

結果

表 2 に対象者の特徴を示した。身長、体重、BMI、体脂肪率は朝食摂取群と朝食非摂取群の間で有意な差はみられなかった。

表 3 に調査前 3 日間の一日あたりの食事摂取量を示した。エネルギー、タンパク質、脂質、炭水化物は朝食摂取群と朝食非摂取群の間で有意な差はみられな

かった。

表 4 に筋損傷と疲労に関する項目の稽古前後の変化を示した。CK は非摂取群で稽古後に有意な上昇がみられ (p<0.01)、摂取群では上昇傾向がみられた (p=0.059)。AST、ALT、LDH は両群ともに有意な上昇を示した (ALT : p<0.05、AST、LDH : p<0.01)。これらの項目にはいずれも交互作用が認められなかった。

表 5 に血中の糖質および脂質の変化を示した。血糖は朝食摂取群で稽古後に有意な低下がみられた (p<0.01)。

また、二元配置分散分析では交互作用が認められ (p=0.013)、摂取群が非摂取群に比べ大幅な低下の変動パターンを示した。中性脂肪は両群で稽古後に有意な低下がみられた (摂取群 : p<0.01、非摂取群 : p<0.05)。遊離脂肪酸は摂取群で有意な上昇がみられた (p<0.01)。

表 5 血中の糖質・脂質の変化

		稽古前		稽古後		二元配置 分散分析 (p 値)	
血糖 (mg/dl)	朝食摂取群	104.6	± 13.6	90.2	± 4.0	**	0.013
	朝食非摂取群	98.4	± 10.9	95.9	± 8.7		
中性脂肪 (mg/dl)	朝食摂取群	143.3	± 100.5	105.4	± 96.4	**	0.609
	朝食非摂取群	146.3	± 114.7	96.3	± 62.1	*	
遊離脂肪酸 (mEq/l)	朝食摂取群	0.6	± 0.3	1.0	± 0.4	**	0.050
	朝食非摂取群	0.8	± 0.2	0.9	± 0.2		

平均値±標準偏差

朝食摂取群 n=10、朝食非摂取群 n=15

稽古前との比較：対応のある t 検定

**: $p<0.01$, *: $p<0.05$

表 6 免疫関連指標の変化

		稽古前		稽古後		二元配置 分散分析 (p 値)	
白血球数 ($/\mu\text{l}$)	朝食摂取群	7890.0	± 2038.2	8080.0	± 1998.8		0.085
	朝食非摂取群	8146.7	± 1451.5	7680.0	± 1405.2		
好中球数 ($/\mu\text{l}$)	朝食摂取群	4949.0	± 1652.1	5625.3	± 1835.7	*	0.198
	朝食非摂取群	4734.9	± 887.3	5047.9	± 1066.7		
I g G (mg/dl)	朝食摂取群	1245.3	± 309.1	1259.4	± 320.3		0.153
	朝食非摂取群	1163.1	± 176.8	1201.5	± 199.7	**	
C 3 (mg/dl)	朝食摂取群	121.1	± 15.3	119.2	± 14.9		0.020
	朝食非摂取群	122.7	± 24.8	125.9	± 26.6	*	

平均値±標準偏差

朝食摂取群 n=10、朝食非摂取群 n=15

稽古前との比較：対応のある t 検定

**: $p<0.01$, *: $p<0.05$

表 7 好中球機能の変化

		稽古前		稽古後		二元配置 分散分析 (p 値)	
平常時 ROS 産生能 ($\times 10^2$) (CFI)	朝食摂取群	962.2	± 971.1	1805.0	± 2148.1		0.018
	朝食非摂取群	1123.2	± 1389.5	788.4	± 1023.0		
異物投与時 ROS 産生能 ($\times 10^4$) (CFI)	朝食摂取群	1911.3	± 434.4	1035.8	± 179.7	**	0.001
	朝食非摂取群	2304.1	± 363.8	888.9	± 252.0	**	
食食能 ($\times 10^4$) (CFI)	朝食摂取群	4089.1	± 699.2	3900.7	± 505.6		0.220
	朝食非摂取群	3904.1	± 444.0	3308.7	± 746.2	**	
ルシゲニン ($\times 10$) PH	朝食摂取群	1428.6	± 179.8	1521.0	± 224.0		0.086
	朝食非摂取群	1502.2	± 262.9	1426.0	± 155.9		
ルミノール ($\times 10$) PH	朝食摂取群	7738.4	± 822.7	8480.4	± 725.8	**	<0.001
	朝食非摂取群	8673.0	± 709.2	7952.8	± 713.1	**	

平均値±標準偏差

朝食摂取群 n=10、朝食非摂取群 n=15

稽古前との比較：対応のある t 検定 **: $p<0.01$

両群間で交互作用が認められ ($p=0.050$)、摂取群が非摂取群に比べ上昇の変動パターンを示した。

表 6 に免疫関連指標の変化を示した。白血球数の変化に交互作用の傾向が認められ、摂取群で上昇、非摂取群で低下の変動パターンを示した ($p=0.085$)。好中

球数は摂取群で稽古後に有意な上昇を示し ($p<0.05$)、IgG、C3 では非摂取群で稽古後に有意な上昇を示した (IgG : $p<0.01$ 、C3 : $p<0.05$)。C3 の変化に交互作用が認められ ($p=0.020$)、摂取群は低下傾向を示したが、非摂取群では上昇する変動パターンを示した。

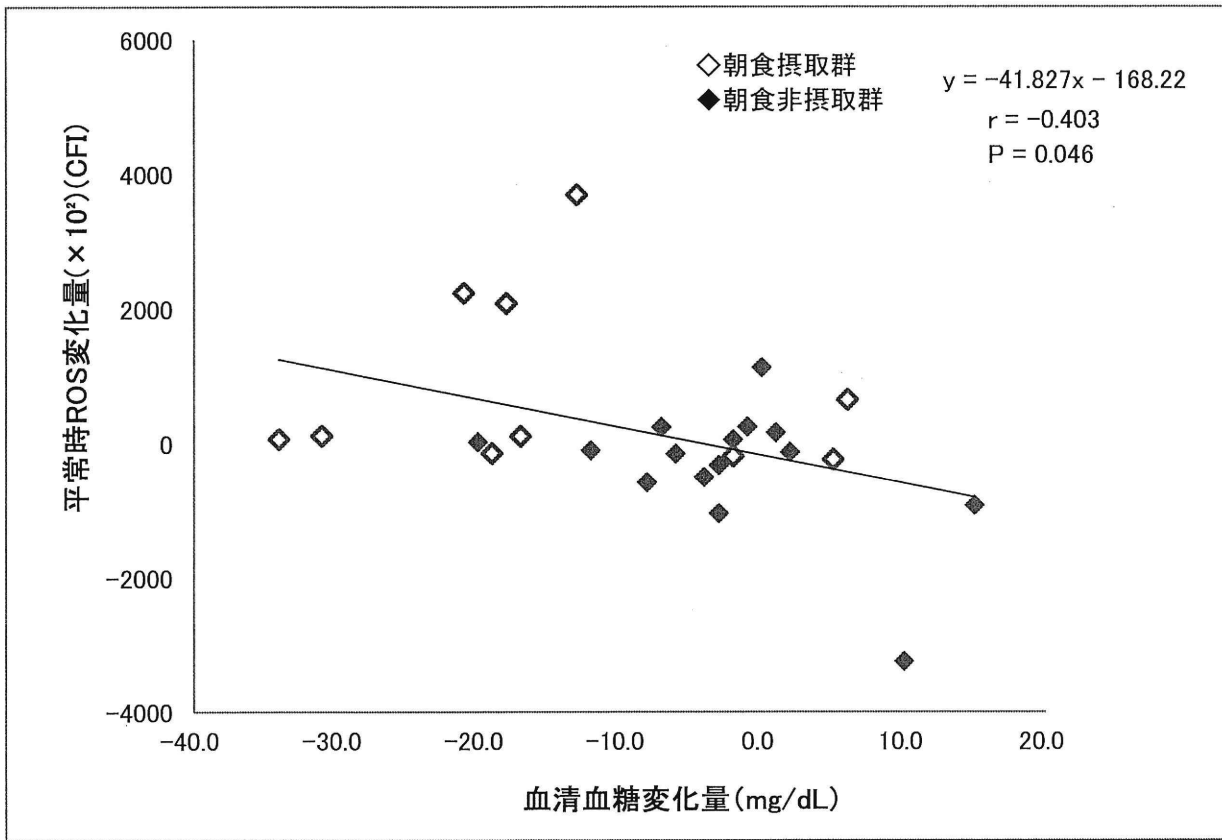


図 1a 血清血糖変化量と平常時 ROS 変化量の相関

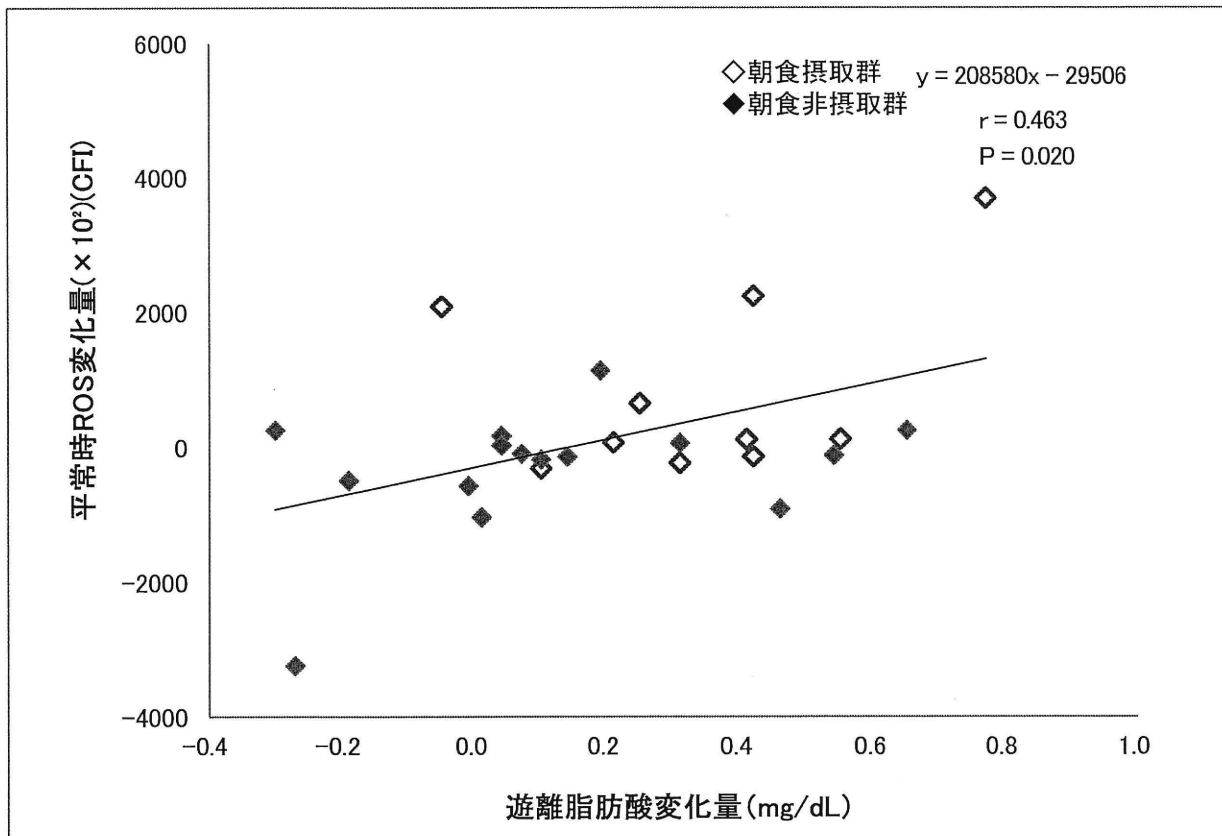


図 1b 遊離脂肪酸変化量と平常時 ROS 変化量の相関

表7に好中球機能の変化を示した。平常時 ROS 産生能は両群ともに稽古前後で差がみられなかったが、両群間で交互作用が認められ ($p=0.018$)、朝食摂取群では上昇、朝食非摂取群では低下の変動パターンを示した。異物投与時 ROS 産生能は両群ともに稽古前後で有意に低下した ($p<0.01$)。また、両群間で交互作用が認められ ($p=0.001$)、摂取群に比べ非摂取群が大幅な低下の変動パターンを示した。食能は非摂取群で有意に低下した ($p<0.01$)。両群間に交互作用は認められなかった。オプソニン化活性は、ルシゲニン PH の変化に交互作用の傾向が認められ、摂取群では上昇、非摂取群では低下の変動パターンを示した。レミノール PH は摂取群が稽古前後で有意に上昇し ($p<0.01$)、非摂取群は有意に低下し ($p<0.01$)、交互作用が認められた ($p<0.001$)。

図 1a、図 1b に血清血糖変化量・遊離脂肪酸変化量と平常時 ROS 変化量の相関をそれぞれ示した。平常時 ROS 産生能の稽古前後の変化量と血糖変化量は負の相関 ($r = -0.403, p=0.046$)、遊離脂肪酸変化量は正の相関 ($r=0.463, p=0.020$) を示した。

考察

本研究は、運動前の栄養状態（朝食摂取の有無）が運動後の免疫機能の変化に及ぼす影響について、相撲選手を対象に調べた初めての研究である。

激しい運動により、血中の CK、AST、ALT、LDH といった筋逸脱酵素の値が上昇することは多くの研究によって明らかにされている。また、この上昇が筋組織の変性・損傷状況や筋疲労の蓄積状況を反映し、これらの指標として有効であることが報告されている¹²⁻¹⁴)。本研究でも同様に、朝食摂取群、非摂取群ともに稽古後に筋逸脱酵素が上昇していたことから、実施された稽古が本対象者にとって筋組織を損傷させるレベルの運動負荷であったと考えられた。一方、筋逸脱酵素値の変化に両群で差がみられなかったことから、朝食摂取の有無に関わらず同程度の運動負荷となる稽古が実施されていたと考えられた。

運動時には、主に肝臓や筋肉に貯蔵されているグリコーゲン由来のグルコースや、脂肪組織に貯蔵される中性脂肪由来の遊離脂肪酸等がエネルギー源として利用される。多くの先行研究において、運動後には血糖および中性脂肪が低下し、遊離脂肪酸が上昇することが報告されている^{15,16})。本対象において、朝食摂取群はこれを支持する変化を示したが、非摂取群では血糖値および遊離脂肪酸に変化がみられなかった。絶食状態の運動時には、糖質利用が抑制され脂質利用が優位となることが報告されており¹⁷)、朝食非摂取群では絶

食状態に近いために、血糖の利用が抑制され、脂質をより多く利用していたことが推察された。

好中球、免疫グロブリン、補体は免疫機能を担う重要な血中成分である。好中球数は、運動刺激によるストレスホルモンの分泌により、速やかに血中への動員が起こるため、一過性の運動により上昇し、その上昇は運動強度に依存することが報告されている⁷)。しかし、免疫グロブリンや補体は運動により上昇あるいは低下、変化しないという報告がみられ、必ずしも一致した見解は得られていない¹⁸⁻²⁰)。本研究では、好中球数が朝食摂取群において稽古後に有意に上昇したが、非摂取群では変化がみられなかった。このことから、朝食摂取群における好中球数の上昇は、運動によるストレス反応およびこれによる筋組織の損傷、筋疲労に起因する炎症反応の亢進により、これらが活性化されたことが考えられた。一方、非摂取群では運動負荷による炎症反応に対して好中球の動員が抑制されていた可能性が考えられた。

感染防御のメカニズムには特異的なものと非特異的なものがあり、非特異的なものとしては食細胞、特に好中球による食作用が重要であるといわれている。すなわち、好中球は炎症の原因となる体外から侵入あるいは体内で発生した異物を食し、自らが産生する ROS やリソゾームによりこれらを殺菌、処理する²¹)。また、好中球による異物に対する食作用が発現する前駆段階では、血液中の免疫グロブリンや補体が異物に接着（オプソニン化）することにより、好中球の膜表面に発現するレセプターを介して効率よく食し、殺菌処理するメカニズムも存在する²¹⁻²⁴)。オプソニン化活性は好中球による異物食作用の効率化の状況を把握する指標であると同時に、食後の好中球による ROS の産生状況の指標としても有効であることが示唆されている^{25,26})。

梅田ら²⁷)は、運動の内容や負荷強度などの外的因子と、疲労状況や身体コンディションなどの内的因子が、好中球3機能（ROS 産生能、食能、オプソニン化活性）の挙動に関与していることを示唆している。すなわち、身体コンディションが良好な状態では運動負荷後に ROS 産生能が上昇し、一方で、身体コンディションが良好であっても運動負荷が極めて高強度でこれが長時間持続した場合や、強化宿直後の身体コンディションが極度に低下している状態で日常的な練習を実施した場合には、これに対応するべき好中球機能の反応が許容範囲を超え、ROS 産生能が低下することが示されている。

本対象において、ROS 産生およびオプソニン化活性が、朝食摂取群では稽古後に上昇し、一方、朝食非摂取群では低下した。また、平常時 ROS 産生能の稽古前

後の変化量と血糖変化量には負の相関、遊離脂肪酸変化量には正の相関がみられ、糖質と脂質の供給・消費がよく行われた者ほどROS産生量が多かった(図1a、図1b)。これらの結果から、運動内容や負荷強度は両群で同程度であったにもかかわらず、朝食を食べなかった選手で好中球が適正に反応できなかった要因の1つとして、糖質や脂質からのエネルギー供給が十分でなかったことが影響した可能性が示唆された。

相撲選手は連日の稽古と過密な試合日程を余儀なくされるため、日々の稽古による免疫機能の保持は体調管理の点で重要である。その点からも、相撲選手による朝食摂取の重要性が示唆された。

(受稿 2014/11/28 受理 2014/12/15)

謝辞

本論文の作成にあたり、本研究の趣旨を理解し快く協力していただいたA大学相撲部員の皆様に心から感謝します。

なお本研究は、平成22年度～平成26年度科学研究費補助金(基盤研究(A))課題番号22249019の助成を受けたものである。

文献

- 1) Barr SI: Effects of dehydration on exercise performance. *Can J Appl Physiol* 1999;24:164-72.
- 2) Poortmans JR: Exercise and renal function. *Sports Med* 1984;1:125-53.
- 3) Coggan AR: Plasma glucose metabolism during exercise in humans. *Sports Med* 1991;11:102-24.
- 4) Ranallo RF, Rhodes EC: Lipid metabolism during exercise. *Sports Med* 1998;26:29-42.
- 5) Plante RI, Houston ME: Exercise and protein catabolism in women. *Ann Nutr Metab* 1984;28:123-9.
- 6) Pedersen BK, Rohde T, Bruunsgaard: Exercise and cytokines. In: Pedersen BK, editor. *Exercise and immunology*. New York: Springer; 1997;89-111.
- 7) Pedersen BK, Nielsen HB: Acute exercise and immune system. In: Pedersen BK, editor. *Exercise and immunology*. New York: Springer; 1997:5-38.
- 8) 鈴木克彦: 運動と免疫. *日本補完代替医療学会誌* 2004;1:31-40.
- 9) Gleeson M: Can Nutrition Limit Exercise-Induced Immunodepression? *Nutr Rev* 2006;64:119-31.
- 10) Kowatari K, Umeda T, Shimoyama T, Nakaji S, Yamamoto Y, Sugawara K: Exercise training and energy restriction decrease neutrophil phagocytic activity in judoists. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:519-24.
- 11) Tanaka M, Umeda T, Takahashi I, Kasai R, Matsuda M, Iwane K, Okubo N, et al: Effect of initial blood glucose level on transient physical stress. *Hiroshima Med J* 2013;64:71-83.
- 12) Flynn MG, Pizza FX, Boone JB Jr, Andres FF, Michaud TA, Rodriguez-Zayas JR: Indices of training stress during competitive running and swimming seasons. *Int J Sports Med* 1994;15:21-6.
- 13) Koutedakis Y, Raafat A, Sharp NC, Rosmarin MN, Beard MJ, Robbins SW: Serum enzyme activities in individuals with different levels of physical fitness. *J Sports Med Phys Fitness* 1993;33:252-7.
- 14) Olerud JE, Homer LD, Carroll HW: Incidence of acute exertional rhabdomyolysis. Serum myoglobin and enzyme levels as indicators of muscle injury. *Arch Intern Med* 1976;136:692-7.
- 15) Van Loon LJ, Koopman R, Stegen JH, Wagenmakers AJ, Keizer HA, Saris WH: Intramyocellular lipids form an important substrate source during moderate intensity exercise in endurance-trained males in a fasted state. *J Physiol* 2003;553:611-25.
- 16) Febbraio MA, Chiu A, Angus DJ, Arkinstall MJ, Hawley JA: Effects of carbohydrate ingestion before and during exercise on glucose kinetics and performance. *J Appl Physiol* 2000;89:2220-6.
- 17) Cluberton LJ, McGee SL, Murphy RM, Hargreaves M: Effect of carbohydrate ingestion on exercise-induced alterations in metabolic gene expression. *J Appl Physiol* 2005;99:1359-63.
- 18) MacKinnon LT, Jenkins DG: Decreased salivary immunoglobulins after intense interval exercise before and after training. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:678-83.
- 19) Nieman DC, Tan SA, Lee JW, Berk LS: Complement and immunoglobulin levels in athletes and sedentary controls. *Int J Sports Med* 1989;10:124-8.
- 20) Thomsen BS, Rødgaard A, Tvede N, Hansen FR, Steensberg J, Halkjaer Kristensen J, Pedersen BK: Levels of complement receptor type one (CR1, CD35) on erythrocytes, circulating immune complexes and complement C3 split products C3d and C3c are not changed by short-term physical exercise or training. *Int J Sports Med* 1992;13:172-5.
- 21) Blokhina O, Virolainen E, Fagerstedt KV: Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Ann Bot* 2003;91:179-94.
- 22) Silva MT: Neutrophils and macrophages work in concert as inducers and effectors of adaptive immunity against extracellular and intracellular microbial pathogens. *J Leukoc Biol* 2010 May;87:805-13.
- 23) Pyne DB: Exercise-induced muscle damage and inflammation: a review. *Aust J Sci Med Sport* 1994;26:49-58.
- 24) Duarte JA, Appell HJ, Carvalho F, Bastos ML, Soares JM: Endothelium-derived oxidative stress may contribute to exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 1993;14:440-3.
- 25) Suzuki K, Sato H, Kikuchi T, Abe T, Nakaji S, Sugawara K, Totsuka M, et al: Capacity of circulating neutrophils to produce reactive oxygen species after exhaustive exercise. *J Appl Physiol* 1996;81:1213-22.
- 26) Kikuchi T, Suzuki K, Abe T, Satoh H, Endoh T, Hasegawa H, Nakaji S, et al: Measurement of

chemiluminescence from neutrophils in a 96-well microplate using Lumi Box U-800 II. *J Biolumin Chemilumin* 1997;12:149-53.

之: 各種運動環境下における好中球・免疫機能動態の検討. *日衛誌(Jpn. J. Hyg)* 2011;66:533-42.

27) 梅田孝、高橋一平、檀上和真、松坂方士、中路重

Effect of Breakfast Intake on Neutrophil Functions of University Sumo Wrestlers

Ryo ITO^{1,2}, Kaori SAWADA¹, Ippei TAKAHASHI¹, Kazuo SAITO², Shinji FUKUI³, Takeharu CHISHAKI⁴, Yousuke TAKEISHI⁵, Tomohiko YANO^{1,6}, Ayumi TANIMOTO¹, Tatsuya IKUSHIMA^{1,4}, Shigeyuki NAKAJI¹

1 Department of Social Medicine, Hirosaki University Graduate School of Medicine

2 Nippon Sport Science University

3 Shokei Gakuin University

4 Matsuyama University

5 Kyushu Institute of Information Sciences

6 International Pacific University

Subject and Method

Subjects were 25 university sumo wrestlers who were the members of sumo wrestling club at A University. We divided them into breakfast group (10 subjects) and non-breakfast group (15 subjects) according to their breakfast intake on the day. Data on their body compositions, self-questionnaire on their diet and blood test results (White blood cell and neutrophil counts, levels of muscle enzymes (CK, AST, ALT and LDH), blood glucose, Triglyceride, free fatty acid, IgG and C3) were collected before and after the sumo training in the early morning. In order to determine neutrophil functions, ROS (reactive oxygen species) productivity, PA (phagocytic activity) and serum opsonic activity were measured.

Results

Significant decrease of blood glucose level and significant increases of free fatty acid and neutrophil count were observed after the training in breakfast group, however, these tendencies were not demonstrated in non-breakfast group. An increase of basal ROS productivity was seen in breakfast group, whereas it was shown to have fluctuated decreasing pattern in non-breakfast group. In terms of serum opsonic activity by luminol-dependent PH, significant increase was observed in breakfast group, whereas significant decrease was observed in non-breakfast group.

Conclusion

Results suggested that higher tendency of reduced neutrophil function in sumo wrestlers who did not have breakfast before the morning training was due to lack of energy supply, especially absence of lipid and glucose that are major energy source required for the intensive training.

Keywords: neutrophil, reactive oxygen species, sumo wrestler, breakfast, lipid, carbohydrate

別刷請求先: 沢田かほり

036-8562 青森県弘前市在府町5 弘前大学大学院医学研究科社会医学講座

TEL: 0172-39-5041 FAX: 0172-39-5038

e-mail: iwane@hirosaki-u.ac.jp