

トレーニングおよび身体状況がスポーツ選手の基礎代謝量に及ぼす影響

柳谷 怜兵 高橋 弘彦

キーワード：基礎代謝量，起床時心拍数，スポーツ選手，身体状況，トレーニング

The effect of training and physical condition on basal metabolic rate in athlete

Ryohei Yanagiya Hirohiko Takahashi

Abstract

The purpose of this study was to examine that effect of physical condition, body composition and training on basal metabolic rate (BMR) in a collegiate athlete. A male hammer thrower was served as subject in this study (age = 22-yr, height = 174cm, body weight = 89.4kg, % body fat=23.9%, lean body mass=68.0kg). He kept on regularly training through the year. We measured on BMR, heart rate (HR), body weight, rating of perceived fatigue at rising and training volume during six month experimental periods (from April to September). He stayed in a climatic chamber (Temp:22°C, Humid:60%) in a for 8 hour (23:00 – 07:00) a day at successively 7-night each a month. We also recorded on training load. Training load calculated as the product of training time by rating perceived exertion. There were tendency to have a relationship between BMR and some parameters during experimental periods. A positive relationship ($r=0.769$, 0.792 $p<0.05$) was found between BMR and HR on both May and August. There was also a positive relationship ($r=0.958$ $p<0.01$, $r=0.862$ $p<0.05$) between BMR and load on both August and September. Coefficient of variation (CV) of BMR showed $4.4\pm 1.4\%$ during experimental periods, the change in CV of athlete was higher than that of general people. BMR and HR were gradually increasing with fatigue as rating of perceived fatigue ($p<0.05$). From these results, we suggested that change in physical condition such as HR and fatigue induce by training would be affect on BMR in a collegiate athlete.

Key words : basal metabolic rate, rising heart rate, athlete, physical condition, training

I. 緒言

基礎代謝量(以下 BMR)は食事摂取基準の基礎であり、1日のエネルギー摂取量を算定する際に必要な指標となる。そのため、スポーツ選手において個人の BMR をより正確に把握することは、スポーツ栄養の観点からも適切な食事管理を行う上で重要であると考える。

個人の BMR は、厚生労働省(以下厚労省)が発表する年齢別の基礎代謝基準値に個人の体重を乗じて推定される(厚生労働省, 2005)。しかし、BMR は骨格筋や内臓などの活性組織に大きく影響を受けるため、非活性組織である体脂肪が多く肥満傾向にある人は、同一体重であっても体脂肪が少ない人に比較して低値を示す傾向にある(櫻村, 1990)。一方、スポーツ選手は長期間継続的にトレーニングを行うことにより、その競技種目特有の体組成に変化する

とともに、筋量が多く、さらには筋の代謝活性レベルが高いため、一般人に比較して高値を示すと言われてしている(増田ほか, 1993)。そのため、スポーツ選手の BMR を体重だけで推定するには限界があり(櫻村ほか, 1987)、スポーツ選手における基準値に除脂肪体重(以下 LBM)を乗じて算出する推定式のほうが望ましいという報告(小清水ほか, 2006)もある。

スポーツ選手において BMR を増大させる要因には、骨格筋量の増加や活性組織の代謝亢進にあると報告されている(増田ほか, 1993)。また筋の代謝活性レベルは筋線維のタイプによって異なり、赤筋は白筋に比較して毛細血管網が多く、ミオグロビンやミトコンドリアの含有量が多いため、酸素供給量が多く、エネルギー代謝効率が高いとされる(石河・杉浦, 1992; 細谷, 2001)。BMR の維持・増大にはウェイトトレーニングのようなレジスタンストレーニ

ングが有効であるとの報告(細谷, 2001)もあるが, レジスタンストレーニングは主に白筋を増大させるものの, 赤筋の増大は乏しいとされる. レジスタンストレーニングが BMR に及ぼす影響に関する研究では, 週 5 日の頻度で 8 週間継続のレジスタンストレーニングを実施した場合, LBM の増加は認められたものの BMR の増加は認められなかったとの報告もある(平川ほか, 1998). トレーニング様式の違いが BMR に及ぼす影響に関する研究では, 週 4 日の頻度で 12 週間継続のレジスタンストレーニングまたは持久性トレーニングを実施した場合, 持久性トレーニングが最も BMR を増加させたと報告されている(Broeder et al, 1992). 一方, 運動習慣のない若年女性を対象に, 週 4 日の頻度で 8 週間継続の低強度有酸素運動を実施した研究では, 運動以外の活動量の減少を招いた結果として, BMR が有意に減少したとの報告もある(松枝ほか, 2001). これらのことから, 身体運動が BMR に与える影響は様々であり, トレーニングによる体脂肪量の減少や LBM の増加によって, BMR が増加する場合と, 逆にトレーニング自体が負担となり, 運動効果が得られず BMR が低下する場合があるものと考えられる.

スポーツ選手のトレーニングは目標とする競技会にピーキングの時期を設定し計画的に実施される. また, 年間トレーニングプログラムは休息期, 準備期および試合期といったサイクルから構成されるが, トレーニング強度や時間, あるいは内容についてはそれぞれのサイクルで異なるため, 体組成などの身体状況が常に一定ではない場合も考えられ, その影響により BMR が変動する可能性も考えられる.

BMR の測定条件としては, ①食後 12 時間以上経過, ②7 時間以上の睡眠, ③覚醒 30 分後, ④一定環境下での仰臥位安静状態とされ, この条件を満たすか否かで測定値が変動すると言われている(中山・入来, 1987; Greenleaf, 1989). しかし, BMR には個体内変動があり, 生活や食事を規定した測定においても 3.5%程度の個体内変動が出現すると報告されている(島田ほか, 2004). また, 測定時の身体条件としては疲労のない状態が基本(中山・入来, 1987)とされているが, スポーツ選手の場合, 身体状況は日々のトレーニングに影響され, 常に一定ではない(鈴木ほか, 2004)ため, 一般人より大きな個体内変動を示すとの報告もある(高橋ほか, 2008). しかしながら, スポーツ選手においてトレーニングを一定期間規定することは難しく, よって統一された条件下で BMR を測定するのは不可能に近いものと思われる. そこで, 普段の生活の中である程度の期間, BMR

の連続測定を行い, どの程度の増減が生じるのか, またその時の身体状況や生活状況から BMR の変動について検討する必要があるものと思われる.

現在までに, スポーツ選手を対象として長期間に渡って定期的に BMR を連続して測定し, その個体内変動について検討した報告は見当たらない. これらの点を明らかにしていくことは, スポーツ選手における BMR の測定条件を検討するための基礎資料になると共に, スポーツ栄養の観点からも長期に渡って食事管理を行うための食事摂取基準を作成する上で非常に重要となるものと思われる.

そこで本研究では, 男子大学運動選手 1 名を対象に, 4 月から 9 月までの 6 ヶ月間に毎月 1 回, 7 日間連続して BMR を測定することにより, トレーニングや体組成など身体状況の変化が BMR に及ぼす影響について検討することを目的とした.

II. 方法

1. 被験者

被験者は, 本実験に参加することに同意の得られた 22 歳の健康な男子大学生 1 名とした. 運動専門種目は陸上競技投擲種目(ハンマー投)であった. 身体的特性は身長 174cm, 体重, 体脂肪率および LBM は測定期間中の平均で, それぞれ $89.4 \pm 1.1\text{kg}$, $23.9 \pm 1.1\%$, $68.0 \pm 1.1\text{kg}$ であった.

2. 実験条件

1) 測定項目および手順

BMR は呼吸代謝測定システム AE-280SRCA 形(ミナト医科学社製)を用いて呼気ガスを採取・分析して算出し, 心拍数はバイオビュー-E(日本電気三栄社製)を用いて呼気ガス摂取と同時に測定した. 血圧はテルモ電子血圧計 P2000 を用い, 椅座位安静状態で測定した. また, この時得られた収縮期血圧と心拍数からダブルプロダクト(収縮期血圧×心拍数)を算出した. 体重は, 島津製作所 IPS-150K 島津工業用台はかりを用いて裸体にて測定した. 体脂肪率は体成分分析装置 In Body3.2(BIOSPACE 社製)を用いて, 各月の測定期間の前後に 2 回の測定を同一時刻に行った. 運動実施状況についてはトレーニング時間と主観的運動強度から Load を求めた. 身体状況および睡眠状況に関する項目は睡眠前, 測定後に自記式のアンケートに記入させた.

被験者には普段通りの生活をしてもらい, 食事, 入浴を済ませ, 22 時まで人工気象室前室に入室させた. 運動実施状況, 身体状況に関する自記式のアンケートを記入後, 睡眠の準備をし, 23 時までには人工気象室に入室させ, 約 8 時間の睡眠を取らせた.

表 1 各月の BMR および起床時心拍数

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	全体
実測BMR (kcal/day)	mean	1925.9	1969.8	1901.9	1882.0	1876.9	1951.4	1918.0
	S.D.	89.8	117.5	95.4	72.8	96.3	39.1	37.7
	C.V.	4.7	6.0	5.0	3.9	5.1	2.0	4.4±1.4
体重比BMR (kcal/kg/day)	mean	21.1	22.0	21.3	21.2	21.2	21.9	21.5
	S.D.	1.0	1.4	1.1	0.8	1.1	0.4	0.4
	C.V.	4.5	6.1	5.2	3.9	5.1	2.0	4.5±1.4
LBM比BMR (kcal/kg/day)	mean	28.0	28.4	27.7	27.9	28.1	29.2	28.2
	S.D.	1.3	1.7	1.5	1.1	1.4	0.6	0.5
	C.V.	4.5	6.1	5.2	3.9	5.1	2.0	4.5±1.4
厚労省推定BMR比 [※] (%)	mean	87.8	91.7	88.9	88.5	88.3	91.4	89.4
	S.D.	4.0	5.6	4.7	3.5	4.5	1.8	1.7
	C.V.	4.5	6.1	5.2	3.9	5.1	2.0	4.5±1.4
小清水ら推定BMR比 [#] (%)	mean	98.3	99.6	97.3	97.4	98.7	102.6	99.0
	S.D.	4.5	6.1	5.1	3.8	5.0	2.0	2.0
	C.V.	4.5	6.1	5.2	3.9	5.1	2.0	4.5±1.4
起床時心拍数 (beats/min)	mean	64.7	60.3	59.7	62.3	65.7	68.8	63.6
	S.D.	3.7	3.4	2.3	3.0	2.9	1.7	3.5
	C.V.	5.8	5.6	3.8	4.9	4.4	2.5	4.5±1.2

[※]厚労省推定BMR比 : 実測BMR/24(kcal/体重(kg)/day) × 100
[#]小清水ら推定BMR比 : 実測BMR/28.5(kcal/LBM(kg)/day) × 100

入室後は水以外の飲食は禁止した。起床後、人工気象室のトイレで排尿させ、30分間の仰臥位安静状態を保たせた後、そのままの状態ですべて10分間呼吸ガスを採取し、あわせて心拍数も測定した。BMR測定後は座位にて3分間の安静後、血圧を測定した。血圧測定後は前室に移動させ、体重測定のために睡眠状況、疲労感などを自記式のアンケートに記入させた。

測定は2008年4月から9月までの6ヶ月間とし、毎月1回、各月の2週目に7日間の連続測定を行った。なお、9月の測定についてのみ6日間の連続測定であった。また食事によるBMRへの影響を考慮し、測定期間中の夕食に関しては同一時刻に規定食(約830kcal)を摂らせた。

2) 測定環境および着衣条件

人工気象室の環境は気温 22℃、相対湿度 60%に制御し、睡眠から測定までの着衣状況は、被験者が快適と感ずる服装とした。

3) 信頼性の検証

本研究はスポーツ選手の BMR の変動について 1名のスポーツ選手を対象として事例研究的手法を用いて検討した。そこで本研究の結果の信頼性を検証するために同一の測定項目、手順および条件にて追試験を実施した。

被験者は追試験に参加することの同意の得られた22歳の健康な男子大学野球選手1名であった。身体的特性は身長が175cm、体重、体脂肪率およびLBMは測定期間中の平均でそれぞれ 66.7±1.0kg、12.8±0.5%、58.2±1.1kgであった。測定は2009年8月から10月までの3ヶ月間とし、測定日数は全体で15日間であった。

4) 統計処理

各測定項目については平均値および標準偏差を求めた。身体状況および睡眠状況に関する項目の平均値の差の有意性に関する検定には一元配置分散分析を用い、有意差が認められた場合には Tukey により多重比較検定を行った。BMR と起床時心拍数、ダブルプロダクトおよび前日の Load の相関関係については Pearson の相関係数を求め、有意性が認められた場合には回帰式について F 検定を行った。統計処理は SPSS13.0j for windows を用いて行い、有意水準は5%未満とした。

III. 結果

1. 体組成

体重は4月が最も重く8月にかけて漸減を示した。体脂肪率は4月から5月にかけて減少したが、その後9月にかけて漸増した。一方、LBMについては4月から5月にかけて増加したものの、その後9月にかけて漸減を示した。

2. BMR の月別変動

表1に各月の測定期間中における実測 BMR、単位体重あたりの BMR(以下体重比 BMR)、単位 LBM あたりの BMR(LBM 比 BMR)、厚労省(2005)が発表する推定 BMR (24kcal/体重 kg/day × 体重) に対する実測 BMR の比率(厚労省推定 BMR 比)、小清水ほか(2006)が発表する推定 BMR (28.5kcal/LBMkg/day × LBM) に対する実測 BMR の比率(小清水ら推定 BMR 比)および起床時心拍数の平均、標準偏差および変動係数を示した。6ヶ月の平均は、実測 BMR が 1918±37.7kcal/day、体重

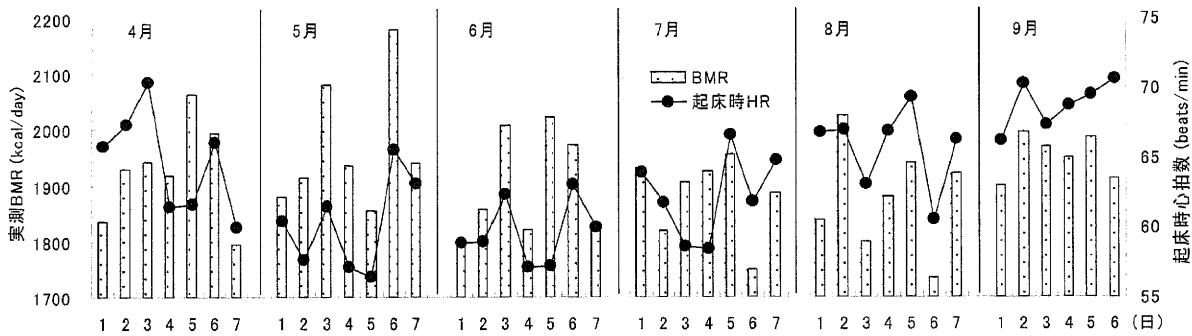
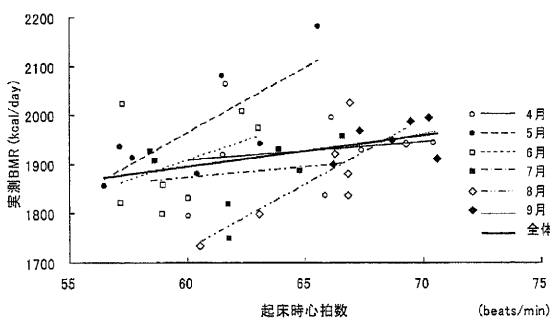
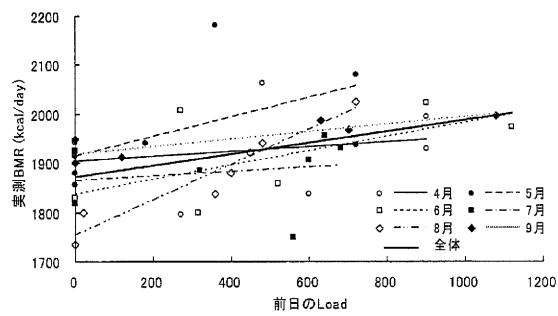


図1 各月の測定期間における BMR と起床時心拍数の変動



4月: $y=3.6481x+1689.8$ ($n=7$, $r=0.152$)
 5月: $y=26.751x+357.59$ ($n=7$, $r=0.769$, $p<0.05$; $F=7.223$, $dF=1/5$, $p<0.05$)
 6月: $y=16.094x+911.4$ ($n=7$, $r=0.386$) 7月: $y=14.55x+1604.8$ ($n=7$, $r=0.186$)
 8月: $y=26.283x+150.78$ ($n=7$, $r=0.792$, $p<0.05$; $F=8.42$, $dF=1/5$, $p<0.05$)
 9月: $y=8.538x+1364.3$ ($n=6$, $r=0.378$) 全体: $y=6.3013x+1517.4$ ($n=41$, $r=0.291$)

図2 実測 BMR と起床時心拍数の関係



4月: $y=0.0478x+1904.4$ ($n=7$, $r=0.202$) 5月: $y=0.1982x+1913.7$ ($n=7$, $r=0.550$)
 6月: $y=0.1457x+1856.8$ ($n=7$, $r=0.657$) 7月: $y=0.0429x+1864.9$ ($n=7$, $r=0.175$)
 8月: $y=0.3583x+1752.5$ ($n=7$, $r=0.958$, $p<0.01$; $F=55.202$, $dF=1/5$, $p<0.01$)
 9月: $y=0.0753x+1919.7$ ($n=6$, $r=0.862$, $p<0.05$; $F=11.589$, $dF=1/4$, $p<0.05$)
 全体: $y=0.1161x+1871.8$ ($n=41$, $r=0.438$, $p<0.01$; $F=9.262$, $dF=1/39$, $p<0.01$)

図3 実測 BMR と前日の Load の関係

比 BMR が 21.5 ± 0.4 kcal/kg/day, LBM 比 BMR が 28.2 ± 0.5 kcal/kg/day であった。厚労省推定 BMR 比では $89.4 \pm 1.7\%$ であり、推定値に比較して実測値が約 11% の低値を示した。一方、小清水ら推定 BMR 比は $99.0 \pm 2.0\%$ であり、約 1% の低値を示したものの、推定値と実測値がほぼ合致した。起床時心拍数は 63.6 ± 3.5 拍/分であった。

月毎の変動においては、実測 BMR は 5 月に最も高値を示し、その後低下する傾向を示し 8 月が最も低値を示した。体重比 BMR においては、実測 BMR と同様の変動が見られたものの、最も低値を示したのは 4 月であった。一方、LBM 比 BMR に関しては 6 月に最も低値を示し、その後漸増する傾向を示し 9 月が最も高値を示した。また、6 月から 8 月にかけては実測 BMR、体重比 BMR および LBM 比 BMR は 6 ヶ月の平均より低値を示した。起床時心拍数は 4 月から 6 月にかけて漸減し、6 月に最も低値を示し、その後漸増し 9 月に最も高値を示した。

変動係数については、実測 BMR、体重比 BMR および LBM 比 BMR において 9 月が最も低く、5

月が最も高値を示した。起床時心拍数についても 9 月に最も低値を示したものの、最も高値を示したのは 4 月であった。6 ヶ月の平均では実測 BMR で $4.4 \pm 1.4\%$ 、体重比 BMR および LBM 比 BMR では $4.5 \pm 1.4\%$ 、起床時心拍数は $4.5 \pm 1.2\%$ であった。

各月の測定期間における 1 日あたりの平均 Load については、最も高値を示したのは 6 月で、逆に最も低値を示したのは 5 月であった。

3. BMR の逐日変動

図 1 に各月の測定期間における実測 BMR と起床時心拍数の変動を示した。若干のずれはあったものの、前日との比較において BMR と起床時心拍数が同時に増減を示す傾向にあり、増減が一致した日数は 4 月、5 月および 6 月で 6 日間中 5 日、7 月は 6 日間中 4 日、9 月で 5 日間中 3 日、8 月においては全日数においてその変動が一致し、全体では 35 日間中 28 日で増減が一致した。

図 2 に実測 BMR と起床時心拍数の相関関係を示した。全体では、正の相関傾向 ($r=0.291$) にあったものの有意性は認められなかった。しかし、月別では

5月および8月において有意な正の相関関係(5月: $r=0.769$, $p<0.05$ 8月: $r=0.792$, $p<0.05$)が認められ, その他の月においても正の相関傾向(4月: $r=0.152$, 6月: $r=0.386$, 7月: $r=0.186$, 9月: $r=0.378$)を示した. また, 5月および8月の回帰式については, 両月ともに有意性(5月: $F=7.223$ $df=1/5$ $p<0.05$, 8月: $F=8.420$ $df=1/5$ $p<0.05$)が認められた.

BMRとダブルプロダクトの相関関係については全体および各月において有意性は認められず, 5月から9月においては正の相関傾向(全体: $r=0.291$, 5月: $r=0.308$, 6月: $r=0.737$, 7月: $r=0.385$, 8月: $r=0.491$, 9月: $r=0.452$)を示したものの, 4月においては負の相関傾向($r=-0.320$)を示した.

図3に実測BMRと前日のLoadの相関関係を示した. 全体において, 有意な正の相関関係($r=0.438$ $p<0.01$)が認められた. また, 月別にみても8月および9月において有意な正の相関関係(8月: $r=0.958$, $p<0.01$ 9月: $r=0.862$, $p<0.05$)が認められ, その他の月に関しても, 正の相関傾向(4月: $r=0.202$, 5月: $r=0.550$, 6月: $r=0.657$, 7月: $r=0.175$)を示した. また, 全体および8月と9月の回帰式については, それぞれに有意性(全体: $F=9.262$ $df=1/39$ $p<0.01$, 8月: $F=55.202$ $df=1/5$ $p<0.01$, 9月: $F=11.589$ $df=1/4$ $p<0.05$)が認められた.

4. 主観的反応とBMR, 起床時心拍数およびダブルプロダクトの関係

就寝前疲労感とBMR, 起床時心拍数およびダブルプロダクトの関係において, 就寝前に疲労を自覚しているときほど高値を示す傾向にあった. 起床時心拍数においては「疲れている」が「やや疲れている」「疲れていない」に比較して有意な高値($p<0.05$)を示し, ダブルプロダクトにおいても「疲れている」が「疲れていない」に比較して有意な高値($p<0.05$)を示した.

起床時疲労感とBMR, 起床時心拍数およびダブルプロダクトの関係においても, 起床時に疲労を感じる時ほど高値を示す傾向にあった. 体重比BMRにおいては「やや感じる」が「感じない」に比較して有意な高値($p<0.05$)を示し, LBM比BMRおよび起床時心拍数では「やや感じる」「感じる」が「感じない」に比較して有意な高値($p<0.05$)を示した.

睡眠状況との関係では, 体重比BMRおよびLBM比BMRにおいて「悪かった」で最も低く, 「よく眠れた」で最も高値を示し, 睡眠状況がよくなるにつれ, 高値を示す傾向にあり, 起床時心拍数においても「よく眠れた」で最も高値を示す傾向にあったが,

有意な差は認められなかった. ダブルプロダクトに関しては「普通だった」で最も低く, 「やや悪かった」で最も高値を示したが, 有意差は認められなかった.

起床時の体調との関係では, 体重比BMRおよびLBM比BMRにおいて「非常に良い」が最も低く, 「悪い」で最も高値を示し, また起床時心拍数およびダブルプロダクトにおいても「非常に良い」で最も低値を示し, 体調が良好であるほど生理的反応が低値を示す傾向にあったものの有意な差は認められなかった.

5. 追試験

各月の測定期間における実測BMRと起床時心拍数の変動については, 前日との比較において同時に増減を示した日数は, 全体で12日間中7日間であった. 実測BMRと起床時心拍数の相関関係においては, 全体および8月と9月において有意な正の相関関係(それぞれ $r=0.793$, 0.937 , 0.996 $p<0.01$)が認められ, 回帰式についても, それぞれに有意性(全体: $F=21.959$ $df=1/13$ $p<0.01$, 8月: $F=28.936$ $df=1/4$ $p<0.01$, 9月: $F=268.283$ $df=1/2$ $p<0.01$)が認められた.

実測BMRと前日のLoadの関係では, 有意性は認められなかったものの, 全体および各月において正の相関傾向(全体: $r=0.238$, 8月: $r=0.163$, 9月: $r=0.731$, 10月: $r=0.831$)を示した.

変動係数については, 最も高値を示したのは8月であり, 実測BMRが4.4%, 体重BMRが4.7%, LBM比BMRが4.6%であった. 逆に最も低値を示したのは9月であり, 実測BMRが2.4%, 体重BMRが2.7%, LBM比BMRが2.6%であった. 3ヶ月間の平均では, 実測BMRが $3.4\pm 1.0\%$, 体重比BMRが $3.6\pm 1.0\%$, LBM比BMRが $3.6\pm 1.1\%$ であった.

IV. 考察

厚労省では, 18歳から29歳の男性における基礎代謝基準値を 24.0kcal/kg/day とし, その値に個人の体重を乗じて算出した値を推定BMRとしている(厚生労働省, 2005). 一方, 小清水らは, スポーツ選手における基礎代謝基準値およびBMRは, 28.5kcal/kg/day にLBMを乗じて算出する推定式のほうが望ましいと報告している(小清水ほか, 2006). 本研究の測定期間中における体重比BMRは, 平均で $21.5\pm 0.4\text{kcal/kg/day}$ であり, 厚労省が発表する基準値よりも約 2.5kcal/kg/day の低値を示した. 一方, LBM比BMRにおいては, $28.2\pm 0.5\text{kcal/kg/day}$ を示し, 小清水らの基準値とほぼ同値であった. そのため, 小清水ら推定BMR比では $99.0\pm 2.0\%$ であ

ったのに対し、厚労省推定 BMR 比では $89.4 \pm 1.7\%$ と、約 11% の低値を示した。BMR は内臓や骨格筋などの活性組織に大きく影響されるため、体脂肪が多く肥満傾向にある者は同一体格を有する一般人と比較して体重比 BMR が低値を示すが、LBM 比 BMR で表した場合には、その差はなくなると報告されている(柏崎, 1997)。本研究において小清水ら BMR 比がほぼ合致したのに対して、厚労省推定 BMR 比が約 11% の低値を示したのは、被験者の体脂肪率が $23.9 \pm 1.1\%$ と高めだったことが影響したものと思われる。このことから、スポーツ選手の BMR は体重ではなく LBM で推定の方が望ましいものと思われる。また、スポーツ選手は一般人と比較して BMR が高いと報告(山田ほか, 1969; 増田ほか, 1993; 田口ほか, 2001)されていることから、厚労省が定める基準値を一般人の BMR 推定に用いた場合には BMR が過大に推定される可能性があるものと思われる。

スポーツ選手において BMR を増大させる要因には、筋量の増加や活性組織の代謝亢進にあると報告されている(Benedict and Smith, 1915; 増田ほか, 1993)。実測 BMR、体重比 BMR および LBM 比 BMR は 4 月から 5 月にかけて増加する傾向にあり、体組成に関しては体重が約 2kg 減少、それに伴い体脂肪率が約 2% 減少し、逆に LBM においては約 0.7kg の増加を示していた。トレーニングが体組成に及ぼす効果としては、体脂肪率の低下と LBM の増大の両者があり(北川, 2001)、また、心機能については左心室の容積および筋厚がトレーニングによって増大することにより一回拍出量が増えるため安静時における心拍数が減少すると報告されている(石河・杉浦, 1992)。本研究では、各月における起床時心拍数は 4 月から 5 月にかけて約 4 拍/分の減少を示していた。このことから、5 月の測定期間前に実施したトレーニングにより、筋の代謝活性が亢進し、BMR を増加させた可能性が考えられた。

一方、BMR が低下する原因には、LBM の減少や活性組織における代謝レベルの低下が考えられる。実測 BMR および体重比 BMR は、5 月から 8 月にかけて低下していく傾向にあり、LBM においても 5 月から減少していく傾向にあった。しかし、LBM 比 BMR については 5 月から 6 月にかけて低下したものの、6 月から 8 月にかけては増加していく傾向にあった。このことについて月別の体脂肪率に着目すると、5 月から 9 月にかけて増加していく傾向にあった。このことから、LBM の減少と体脂肪率の増加により、体重の中に占める非活性組織の割合が

大きくなり、実測 BMR および体重比 BMR の低下に影響したものと推察された。

また、各月の測定期間における 1 日あたりの平均 Load についても 6 月から 8 月にかけて減少する傾向にあった。BMR と前日の Load の相関関係では、全体で有意な正の相関関係($p < 0.01$)にあり、また月別にみても 8 月および 9 月において有意な正の相関関係($p < 0.01$, $p < 0.05$)が認められ、その他の月に関しても正の相関傾向を示し、トレーニング時間や強度の変動が BMR を変動させた可能性も考えられた。

1 名のスポーツ選手を対象に、長期間にわたって BMR と起床時心拍数を連続測定した報告では、前日との比較において 36 日間で 27 日(75%)で BMR と起床時心拍数の増減が一致しており、また、BMR と起床時心拍数の間に有意な正の相関関係が認められている(高橋ほか, 2008)。本研究においても、先行研究と同様に各月の測定期間における BMR と起床時心拍数の変動は、前日との比較において全体では 35 日間で 28 日(80%)で増減の変動が一致する傾向にあった。さらに BMR と起床時心拍数の相関関係については、5 月と 8 月に有意な正の相関関係($p < 0.05$)が認められ、その他の月においても正の相関傾向を示した。一方、追試験においては、BMR と起床時心拍数の前日との比較における増減の一致日数は全体で 12 日間で 7 日(53.3%)であり、本研究の結果との比較では一致した日数の割合は少なかった。しかしながら、BMR と起床時心拍数の相関関係においては、全体で有意な正の相関関係($p < 0.01$)を示し、月別においても 8 月および 9 月に有意な正の相関関係($p < 0.01$)が認められた。以上のことから、起床時心拍数の変動に示される身体状況の変化が BMR を変動させた可能性が考えられた。

就寝前および起床時疲労感と BMR、起床時心拍数およびダブルプロダクトの関係では、疲労感が増すにつれて高値を示す傾向にあり、身体の疲労を自覚している場合には BMR、起床時心拍数およびダブルプロダクトといった生理的反応が高まる可能性が示された。起床時の体調と BMR の関係では有意な差は認められなかったものの、起床時の体調が良好な場合に低値を示す傾向にあり、起床時心拍数およびダブルプロダクトについても「非常に良い」で最も低値を示した。一方、主観的睡眠状況と BMR の関係については、有意な差は認められなかったものの、睡眠状況が良好であるほど高値を示す傾向にあり、起床時心拍数においても「よく眠れた」で高値を示す傾向にあった。一般的には起床時の体調や睡眠状況が良好な感覚にあれば、疲労も回復してお

り、BMR や起床時心拍数などの生理的反応も低値を示すと考えがちであるが、本研究では睡眠状況が良好な場合に BMR などの生理的反応が高値を示す傾向にあった。これは疲労による覚醒水準の低下により入眠が早まったことで、感覚としては深く十分な睡眠が得られたものの、疲労の影響により睡眠中の同化作用が疲労回復のためさらに活性化され、BMR などの生理的反応に影響したものと考えられた。

スポーツ選手のトレーニングプログラムには疲労が蓄積するような時期も必ず存在し、身体状況は常に一定ではない(鈴木ほか, 2004)。本研究の被験者は測定期間に重ならなかったものの、8月の測定後に2つの主要な大会と合宿に参加していた。この大会および合宿はいずれも県外で実施されており、大会の開催地や合宿地への移動、さらには高温環境下での大会および合宿などにより身体が急性疲労あるいは慢性疲労状態に陥り、その影響として9月にBMRが増加した可能性も考えられた。また、9月のBMRについては実測BMRおよび体重比BMRが5月に次いで高く、LBM比BMRにおいては最も高値を示し、さらに起床時心拍数においても9月に最も高値を示した。しかし、標準偏差および変動係数はBMR、起床時心拍数いずれも9月が最も低く、このことからBMRや起床時心拍数などの生理的反応が疲労の影響により高値を示し、その状態が測定期間中継続していたものと推察された。

BMRには個体内変動があり、一般人を対象として生活や食事を規定しても平均では3.5%程度の個体内変動を示すと報告されている(島田ほか, 2004)。また食事や運動などの条件を規定せず、1名ではあるものの30日以上に渡ってBMRの連続測定をした報告では、5.9%の個体内変動を報告している(高橋ほか, 2008)。本研究は、運動の規制は出来なかったもののBMRの個体内変動は平均で $4.4 \pm 1.4\%$ を示し、月別にみると、最も大きかった月では6.0%であった。また追試験においては平均で $3.4 \pm 1.0\%$ と、先行研究(島田ほか, 2004)とほぼ同値であったものの、最も大きかった月では4.4%を示し、スポーツ選手のBMR変動は、日々のトレーニングやそれによって生じた疲労に影響を受け一般人よりも大きくなる可能性が考えられた。

ウェイトコントロールの際にはエネルギーの摂取量と消費量のバランスが重要であり、1日当たり100kcal程度のわずかなエネルギーバランスの崩れが体重の増減に大きく影響することが報告されている(Wang et al, 2006)。本研究の被験者の場合、5月と8月における起床時心拍数とBMRの回帰式か

らは、起床時心拍数に10拍/分程度の増減がみられた場合、BMRでは260kcal/day程度の増減が生じる可能性が考えられた。また、前日のLoadとBMRの回帰式においても、8月の回帰式からは前日のLoadが1000程度を示した場合、BMRでは300kcal/day程度の増加が出現する可能性があり、前日のトレーニング量に比例して翌日のBMRがより高値を示す可能性が考えられた。以上のことから、スポーツ選手のエネルギー摂取量を算定する際には、基準値によって画一的に決定するのではなく、その日の身体状況やトレーニング内容なども考慮しながら調整していく必要があるものと思われた。

また、日本人のBMRは気温の変動と逆位相で変動し、夏季に低く、冬季に高くなるといった季節変動の存在が認められている(吉村, 1976; 佐々木, 1979; 中村, 1981; 島岡ほか, 1987)。本研究は4月から9月までの6ヶ月間の測定であったが、月別の平均気温が最も高値を示した8月に実測BMRは最も低値を示していた。また、体重比BMRおよびLBM比BMRにおいては、それぞれ4月、6月に最も低値を示したものの、6月から8月にかけては実測BMR、体重比BMRおよびLBM比BMRは6ヶ月間の平均値を下回り、先行研究と同様に気温が高くなる時季にBMRが低値を示す傾向にあった。このことから、外気温の上昇による生体内での産熱量の減少がBMRの変動に影響した可能性も考えられる。個人のBMRをより正確に把握するには、実測することが望ましいが、それには専用の測定器を必要とするため、実際には基準値(厚生労働省, 2005; 小清水ほか, 2006)を用いて推定されている。しかしながら、これら基準値は年間平均値として示されたものであり、季節変動を考慮しない基準値を用いてBMRを算出することは正確性に欠ける可能性があるものと思われる。一方、近年では生活様式の変化に伴いBMRの季節変動幅が狭まってきているとの報告(佐々木, 1979; 中村, 1981)も見受けられる。従って、今後は同様の測定をさらに長期間に渡って実施し、スポーツ選手におけるBMRの季節変動についても詳細に検討していく必要があるものと思われた。

V. まとめ

本研究は、スポーツ選手1名を対象として、4月から9月までの6ヶ月間に毎月1回、7日間連続してBMRの測定を行い、トレーニングや体組成などの身体状況がBMRの変動に及ぼす影響について検討した。本研究の結果から、スポーツ選手の体組成

やトレーニング量は時期によって異なり、その影響により BMR も変動している可能性が示された。逐日変動については、起床時心拍数と BMR が同時に増減する傾向にあった。各月における BMR と起床時心拍数の相関関係では 5 月と 8 月に有意な正の相関関係($p < 0.05$)が認められ、その他の月においても正の相関傾向を示した。また前日の Load と BMR の相関関係においても、8 月と 9 月に有意な正の相関関係($p < 0.01$, $p < 0.05$)が認められ、その他の月においても正の相関傾向がみられた。主観的反応からは、被験者が身体の疲労を自覚している場合に BMR や起床時心拍数などの生理的反応が高値を示す傾向にあった。BMR の変動係数は平均で $4.4 \pm 1.4\%$ を示し、スポーツ選手における BMR の個体内変動は、一般人よりも大きくなる可能性が考えられた。以上の結果から、スポーツ選手の身体状況は日頃のトレーニングやそれによって生じる疲労などにより常に一定ではなく、その影響により BMR も日々変動する可能性が示された。

VI. 文献

- Broleder C.E., Burrhus K.A., Svanvik L.S., and Wilmore J.H. (1992) The effect of either high-intensity resistance or endurance training on resting metabolic rate. *Am. J. Clin. Nutr.*, 55 (4) : 802-810.
- Greenleaf J.E. (1989) Energy and thermal regulation during bed rest and spaceflight. *J. Appl. Physiol.*, 67 (2) : 507-516.
- 平川文江・松本義信・小野章史・松枝秀二・守田哲朗・長尾光城・長尾憲樹 (1998) 若年女性のレジスタンストレーニングが体構成と安静時代謝量に及ぼす影響. 川崎医療福祉学会, 8 (2) : 353-359.
- 細谷憲政 (2001) 今なぜエネルギー代謝か. 第一出版: 東京, pp. 97-114.
- 石河利寛・杉浦正輝 (1992) 運動生理学. 建帛社: 東京, pp. 42-44, 120-128.
- 樫村修生・中井誠一・芳田哲也・伊藤孝 (1987) 種々のスポーツにおける基礎代謝量. 日本公衆衛生雑誌, 42 (4) : 809-814.
- 樫村修生 (1990) 体構成成分を考慮した男性鍛錬者の基礎代謝. 長野体育学研究, 4 (1) : 11-18.
- 柏崎浩 (1997) エネルギー所要量の歴史と現状・栄養所要量・基準値と食生活ガイドライン. 建帛社: 東京, pp. 61-125.
- 北川薫 (2001) 運動とスポーツの生理学. 市村出版: 東京, pp. 94-99.
- 小清水孝子・柳沢香絵・横田由香里 (2006) 「スポーツ選手の栄養調査・サポート基準値策定及び評価に関するプロジェクト」報告. 栄養学雑誌, 64 (3) : 205-208.
- 厚生労働省策定 (2005) 日本人の食事摂取基準 2005 年度版. 第一出版: 東京.
- 増田隆・今井克己・小宮秀一 (1993) 鍛錬者と非鍛錬者の基礎代謝量, 基礎代謝量に及ぼす運動トレーニングの影響. 中村学園研究紀要, 25 (1) : 149-153.
- 松枝秀二・小野章史・松本義信・平川文江・平田圭・守田哲朗・長尾憲樹・長尾光城 (2001) 8 週間の低強度有酸素運動が運動習慣のない若年女性の体組成と基礎代謝量に与える影響. 栄養学雑誌, 59 (5) : 233-239.
- 中村正 (1981) 日本人のエネルギー代謝. 栄養と食料, 34 (1) : 1-6.
- 中野昭一 (1999) スポーツ医科学. 杏林書院: 東京, pp. 353-379.
- 中山昭雄・入来正躬 (1987) 新生理科学大系 (第 22 巻) エネルギー代謝・体温調節の生理学. 医学書院: 東京, pp. 56-66.
- 佐々木隆 (1979) 日本人の基礎代謝量の推移. 代謝, 16 (1) : 3-12.
- 島田美恵子・西牟田守・児玉直子・吉武裕 (2004) 早朝空腹時に仰臥位安静で測定した消費エネルギーとその再現性について. 体力科学, 53 (1) : 83-92.
- 島岡章・町田和彦・熊江隆・菅原和夫・倉掛重精・岡村典慶・末宗淳二郎 (1987) 基礎代謝量の季節変動について. 日本生気象学会誌, 24 (1) : 3-8.
- 鈴木省三・佐藤佑・高橋弥彌 (2004) Monotony やパフォーマンス数理モデルを用いたボート選手のトレーニング評価. 疲労と休養の科学, 19 (1) : 75-84.
- 高橋弘彦・柳谷怜兵・藤井久雄・樫村修生 (2008) スポーツ選手における基礎代謝量の個体内変動に関する検討, 男子大学陸上競技投擲選手の一例. 体力・栄養・免疫学雑誌, 18 (1) : 73-81.
- Y.C. Wang., Steven L.G., Arthur M.S., and Karen M.K. (2006) Estimating the Energy Gap Among US Children : A Counterfactual Approach. *PEDIATRICS*, 118 (6) : 1721-1733.