

21世紀を見据えての基礎代謝量の再検討について： 携帯型代謝測定装置の開発及び活用

日本体育大学 教授 井川 正 治

1. 緒 言

わが国の人口の年齢構成は次第に高齢化し、65歳以上人口の総人口に占める割合は、平成7年度では14.6%であったが、平成12年（2000年）の17.2%を経て、平成62年（2050年）には、32.3%に達すると予想されている¹⁴⁾。このような状況下において、中高年者の健康について考えることは、個人のみならず社会にとっても重要であると言える。中高年者の健康の維持あるいは増進のためには、習慣的な運動実践や適切な栄養摂取が必要である。

最近では、高齢者の栄養問題としてタンパク質・エネルギー低栄養状態（Protein Energy Malnutrition; PEM）が医学や栄養学の世界で取り上げられ、その検討が盛んに行われている³⁾⁴⁾²⁵⁾。タンパク質・エネルギー低栄養状態に陥ると、血清アルブミン値が低下し、身長、体重、上腕周囲長、上腕三頭筋部皮厚、肩甲骨下皮厚などの形態の衰退を招く。また、Cortiら⁹⁾の追跡調査によって、血清アルブミン値が低く、ADL（Activity of Daily Living）の低下している高齢者の死亡率が高く、生存年数も低いことが報告されている。

現在、病院等の栄養管理の場においては、性別、年齢、身長、体重から求める計算式（Harris-Benedictの式¹¹⁾）によって推定した基礎代謝基準値を用いてエネルギー所要量を算出している。しかし、一般人を対象とした計算式を高齢者に適応させるには、無理が生じるのではないだろうか。さらに、日本人の栄養所要量第五次改定に記載されている基準値も、70歳以上の高齢者の測定例が十分でないため、外挿法で求めたものを用いている²⁴⁾。

また、基礎代謝量は、実は様々な要因によって変化する。その要因としてあげられるのは、年齢²⁴⁾、食物、気候¹⁹⁾、身体組成などである。特に基礎代謝量と身体組成の関係については多くの先行研究がなされており、さらに除脂肪体重（LBM）との間には正の相関関係が認められるという報告が数多くある²¹⁾⁶⁾²⁷⁾。これは、骨格筋は代謝活性の高い組織であり、量の増減に伴い基礎代謝量も強く左右されるためだと言われている。そのために運動選手などの鍛練者は、一般人と比較すると基礎代謝量が5～10%高くなるという報告もある¹⁷⁾。

運動の有無が基礎代謝量に影響するのであれば、運動習慣のある者に対してこれまでの推定方法を用いて栄養指導を行うことは、不適切ではないかという疑問が生じる。生活活動強度別での算出方法もあるが、ベースとなる基礎代謝量の見積もりがずれていれば、必然的に算出されたエネルギー所要量にもずれが生じると考えられる。これらのことから、基礎代謝量は従来の推定法を用いるのではなく、呼気ガスを測定し、個人個人のエネルギー所要量を検討する必要があるといえる。

しかし、基礎代謝量の測定を実際の栄養指導の現場で行うには、いくつかの問題がある。第一に、厳格な測定条件が定められており¹⁹⁾、それらの条件を満たすには入院をしなければ非常に困難である。例えば、①食後12時間以上経過していること②前日の食事は肉食・飽食を避け、普通食程度とする③睡眠は8時間以上とること④早期覚醒時に測定を行う⑤女子の月経時は測定しない⑥20～25℃の快適な条件下測定を行うなどである。第二に、測定機器の問題がある。従来の呼気ガスの分析器は、高価であり、操作も困難である。また、大型なために持ち運びに不便であり、病院などの施設ならともかく、在宅看護の家庭や様々な施設などの現場への持ち込みが不可能である。

まず、第一の基礎代謝量の測定条件の問題を解決するためには、安静時代謝量の導入が必要であると考えられる。基礎代謝量と安静時代謝量は、混同されやすいが、定義は、両者ともに生命を維持するために必要な最低限のエネルギー量とされている。基礎代謝は、1920年代の初頭に提案された概念であり、先ほど述べたいくつかの厳しい測定条件がある。これに対して安静時代謝量は、肉体、精神の緊張を避け、食物の影響のない状態で、軽く目を閉じ、椅座位安静にしている状態のエネルギー代謝量をいう。また、安静時代謝量はその安静の状態と特異動的作用の影響から基礎代謝量の20%増しといわれている¹⁹⁾²⁰⁾。

日本においては、エネルギー所要量は基礎代謝を基準にし、エネルギー代謝率 (Relative Metabolic Rate: RMR) を用いて算出している。しかし、近年、欧米先進国では、安静時代謝を基礎的エネルギーとして考え、安静時代謝量と生活活動に伴うエネルギー消費量の増大分との和としてエネルギー所要量を求めており、基礎代謝の位置付けは必ずしも重視されていない。そこで、本研究では安静時代謝量に注目して、研究を進めることにした。

次に、第二の測定機器の簡便性に関する問題は、近年開発された細谷式携帯型熱量計 (METAVINE, VINE社製) によって解決が期待されている。MTAVINE本体は、270×75×220mmと小型であり、重量は1.8kgと軽量である。標準ガスを用いた校正は不要であるために操作性は容易であり、価格も従来の機器と比較すると極めて安価に設定されている。そこで、実験1として携帯型熱量計METAVINEの信頼性の検討を行った。

また、安静時代謝量の定義は未だに確立されておらず、安静とはいかなる状態を言うのかは厳密に定められていない。例えば、呼気ガスの測定を行う前段階での安静時間、測定時の姿勢などは検者によって異なる。安静時間は、検者によって5～45分と差があり、測定時の姿勢は仰臥位または椅座位の場合があり一律とされていない。そこで、実験2として栄養指導の現場において、いかなる方法を用いて行うことが効率良く、なおかつ有効であるかを検討することとした。

また、安静時代謝量を現場で簡便にこの装置を用いて測定できるかについてフィールドワークとして検討をするために、中高年者を対象に安静時代謝量を測定し、運動習慣や身体組成との関係の検討および従来の推定値との比較を行った。

2. 方 法

実験1

被検者は、体育大学に所属する健康な男女20名（男4名、女16名）であり、年齢は男 22.5 ± 1.5 歳、女 19.6 ± 2.0 歳であった（Table1）。実験手順は、被検者の鼻と口をフェイスマスクで覆いベルトで固定し、Benchmark型exercise test（英国Morgan社製、以下Benchmark）を用いて呼気ガスをBreath by Breath法により20分間連続採気した。その後、流量計センサーを交換し、METAVINE（VINE社製）を用いてMixing Chamber法により3分間呼気ガスの測定を行った。この時の被検者の姿勢は、仰臥姿勢であった。心拍数はMorgan社製509 Cardiac Monitorを用いて実験開始より終了まで胸部双極誘導により連続測定を行った。なお、本実験は、人工気象室内において気温23℃、湿度55%の条件下で行った。また、特異動的作用（Specific dynamic action; SDA）の影響を避けるために食物摂取後2時間以上経過していることを条件として、実験を行った。

Table 1 Characteristics of the subjects

Item	Male n = 4	Female n = 16
Age (year)	22.5 ± 1.50	19.6 ± 2.02
Hight (cm)	174.3 ± 3.73	161.3 ± 5.85
Weight (kg)	68.5 ± 6.75	54.8 ± 5.29

Values are means ± SD

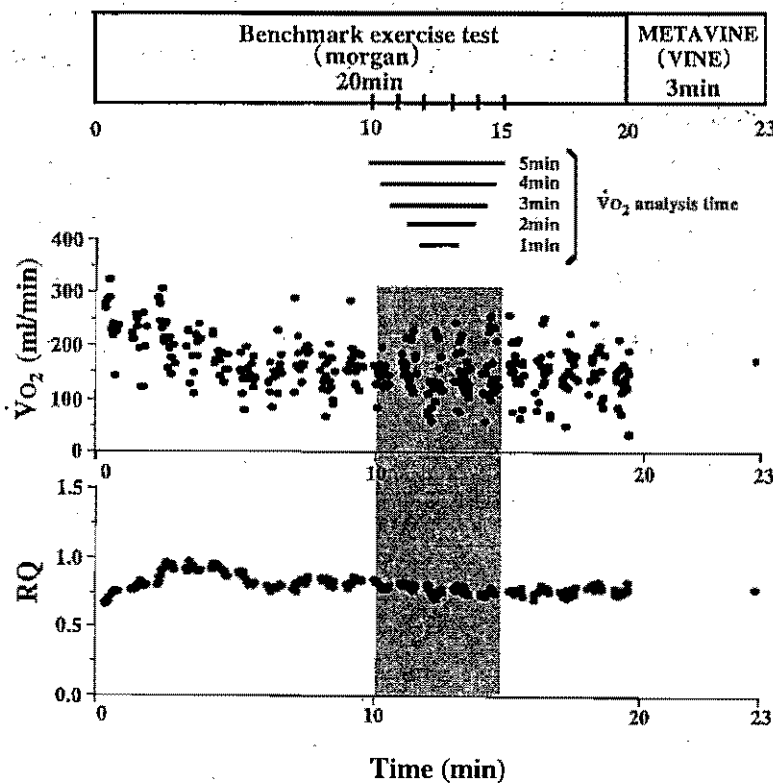


Fig.1 Experimental 1 protocol

〔分析方法〕

測定前の安静時間の検討については、 $\dot{V}O_2$ が安定するために要する時間を指標として用いた。 $\dot{V}O_2$ のばらつきを評価するためには、評価するポイントとそれ以降の各ポイントとの偏差平方和を、分析したポイント数で除することにより基準化して評価した。

値の信頼性に関しては、Benchmarkによって測定し、酸素摂取量の値が最も安定している3分間の分時酸素摂取量を用いて算出した安静時代謝量の値とMETAVINEによって測定した安静時代謝の値を比較することとした。

実験2

被検者は体育大学に所属する健康な男女21名（男12名、女9名）であり、年齢は男 22.3 ± 1.8 歳、女 21.8 ± 2.4 歳であった（Table2）。

実験手順は、仰臥姿勢で10分間安静を保った後に、METAVINE（VINE社製）を用いてMixing Chamber法により3分間呼気ガスを採気し、再度同様に採気を行った。引き続き、椅座姿勢で10分間安静を保った後に、仰臥姿勢時と同様に呼気ガスを3分間2セット採気し、安静時代謝量をそれぞれ

Table 2 Characteristics of the subjects

Items	Male	Female
	n=12	n=9
Age (year)	22.3 ± 1.8	21.8 ± 2.4
Height (cm)	172.4 ± 3.7	159.7 ± 4.6
Weight (kg)	76.1 ± 9.2	53.4 ± 4.8
%Fat (%)	20.0 ± 3.4	20.5 ± 3.1

Values are means \pm SD

の酸素摂取量より算出した。算出方法は、前述した通りである。なお、本実験は、人工気象室内において気温 23°C 、湿度55%の条件下で行った。また、特異動的作用（Specific Dynamic Action ; SDA）の影響を避けるために食物摂取後2時間以上経過していることを条件として、実験を行った。

実験3

被検者は、62名（男16名、女46名）であり、年齢は男 67.5 ± 8.56 歳、女 65.4 ± 6.22 歳であった（Table 3）。被検者は、全員日常生活において介助を必要としない人たちである。被検者に対しては測定の説明を行い、その同意を得るとともに医師の許可を得て測定を行った。

測定項目は、身長、体重、体脂肪率、安静時代謝量、推定最大酸素摂取量であった。体脂肪率は、体脂肪計（タニタ社製）を用いてインピーダンス法により測定を行った。安静時代謝量は、仰臥位姿勢を5～10分保たせた後に、METAVINE（VINE社製）を用いてMixing Chamber法により、3分間呼気ガスを採気し、酸素摂取量より安静時代謝量を算出した。

Table 3 Characteristics and Resting Energy Expenditure of the subjects.

Items	Male	Female
	n=16	n=46
Age (year)	67.5 ± 8.56	65.4 ± 6.22
Height (cm)	161.9 ± 4.94	151.7 ± 5.29
Weight (kg)	57.2 ± 8.07	55.3 ± 9.61
LBM (kg)	48.5 ± 5.82	39.8 ± 4.78
%Fat (%)	14.8 ± 6.08	27.2 ± 6.67
REE (kcal/day)	1376.0 ± 349.49	1225.9 ± 246.55

REE; Resting Energy expenditure, Values are means ± SD

安静時代謝量測定時は、被検者の鼻と口をフェイスマスクで覆い、測定者は呼気ガスが漏れないように注意しながら、それを押さえて固定し採気を行った。この時の測定者は実験期間中同一人物が行った。

測定日の室温および湿度は23.5 ± 1.0℃、72.4 ± 2.5%であった。安静時代謝量の推定値は、日本人の栄養所要量第五次改定の各年齢層の基礎代謝量に、1.2を乗じて算出した。

推定最大酸素摂取量推定における運動負荷は、医師のもとにおいてAEROBIKE330（コンビ社製）を用いて、3段階のステップ負荷法により12分間行った。ペダリング運動の回転数は50rpmに設定し、メトロノームに合わせて行ったが、被検者が規定のテンポで運動を行うことができなくなったり、あるいは被検者の意志で12分間の運動を続行することができなくなったと判断した場合には、運動を中止した。運動前の安静時、運動負荷中および運動後の回復期には、心電計（日本光電社製）を用いて胸部双極誘導により心電図の確認を行った。最大酸素摂取量の推定は、3段階目の心拍数を用いてAstrandのノモグラムによって算出した。

その他、被検者にはアンケートにより既往症、現病歴、服用中の薬、過去・現在行っている運動の調査を行った。既往症、現病歴に関しては、病名、発病年齢について、服用中の薬に関しては、薬の種類、服用の頻度、量について調査を行った。また、運動歴に関しては、運動の種類、時間、頻度、期間について質問を行った。

なお、最大酸素摂取量の検討については、被検者62名中、降圧剤服用者9名、心電図異常により測定不可能の者9名、計18名を除いた43名で行った。

統計処理として、すべての測定値は平均値 ± 標準偏差で示した。群間の有意差検定は、Studentのt-検定を行い、危険率5%以下を有意差とした。

3. 結 果

実験 1

3.1.1 安静時間

Fig. 2-aに $\dot{V}O_2$ の経時の変化を3分間平均値によって示した。測定開始から時間を経るにつれて、値が低下することが分かる。Fig. 2-bには $\dot{V}O_2$ のばらつきを表す図を示した。 $\dot{V}O_2$ のばらつきが低下するほど安定していると考えられるが、測定開始から3分以降は徐々に低下を示し、9分以降はさらに低下を示した。

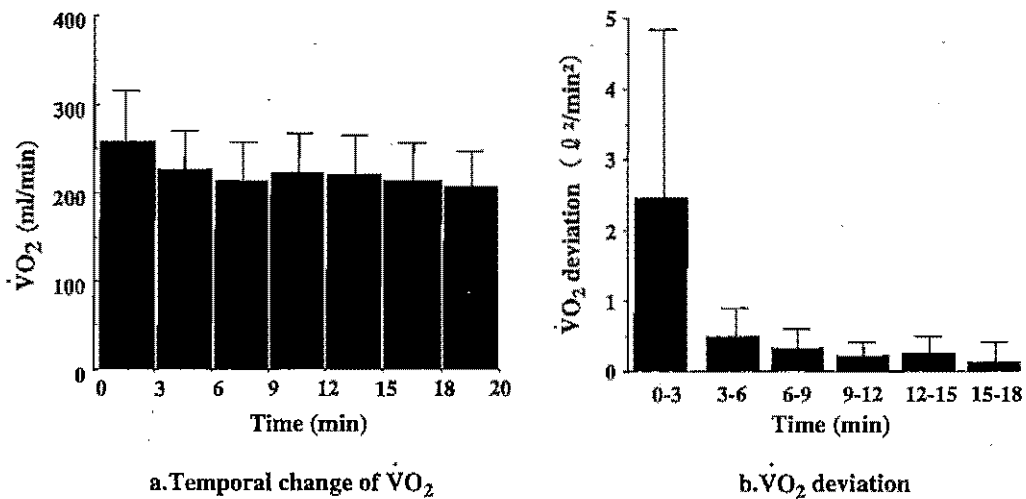


Fig. 2 Temporal change of $\dot{V}O_2$ till resting
Values are means \pm SD

3.1.2 METAVINEとBenchmarkの相関

Fig. 3にMETAVINEとBenchmarkの相関図を示した。相関係数は $r=0.762$ であり、5%水準で有意な相関関係が認められた。

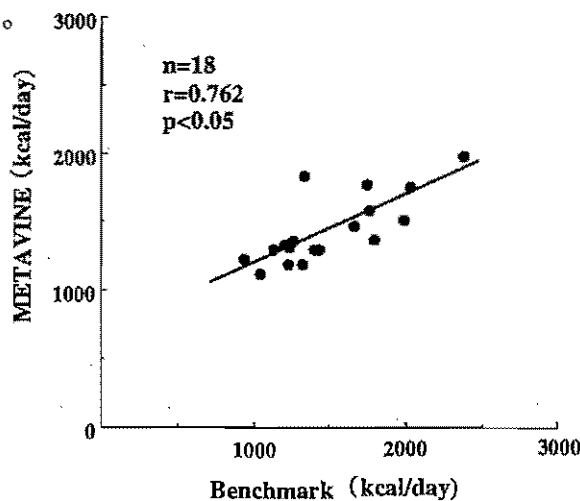


Fig. 3 Relationship between METAVINE and Benchmark on Resting Energy Expenditure

実験 2

3.2.1 仰臥姿勢と椅座姿勢

Fig. 4に実験2のプロトコルを示した。

Fig. 5に仰臥姿勢と椅座姿勢の比較を示した。それぞれの値は、仰臥姿勢1 (男1,872.8±234.0kcal/day、女1,384.4±200.1kcal/day)、仰臥姿勢2 (男1,866.0±210.4kcal/day、女1,338.7±221.4 kcal/day)、椅座姿勢1 (男1,884.8±239.0kcal/day、女1,464.3±287.9kcal/day)、椅座姿勢2 (男1,945.3±232.9kcal/day、女1,399.2±286.4kcal/day)であった。

測定1回目、2回目ともに、仰臥姿勢に比べ椅座姿勢においてやや高い傾向が見られた。しかし、男女とも両群間に有意な差は認められなかった。

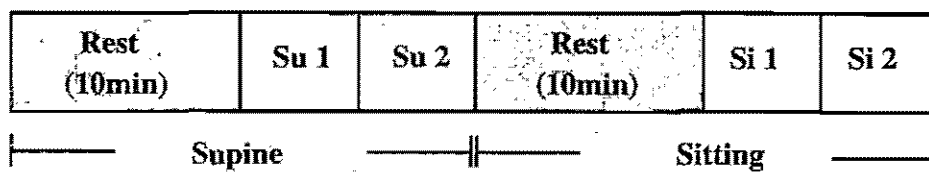


Fig. 4 Experimental 2 protocols

Su;Supine
Sit;Sitting

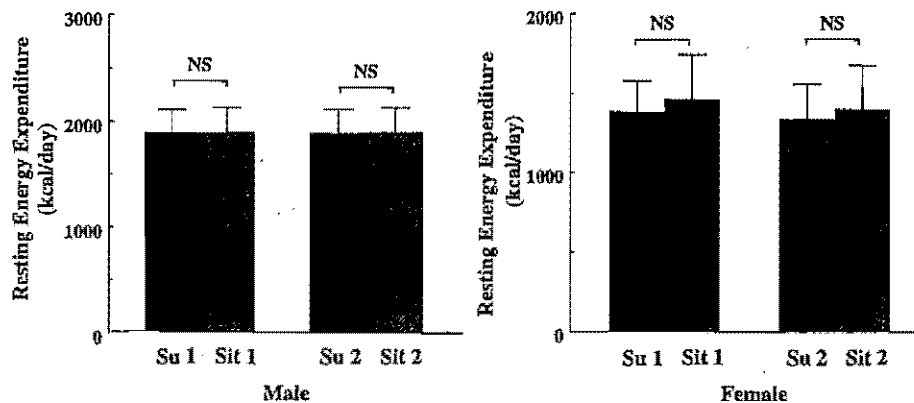


Fig. 5 Comparisons of Resting Energy Expenditure supine and sitting position

Values are means±SD

Su;Supine
Sit;Sitting

実験 3

3.3.1 被検者の身体的特徴

被検者の身体的特徴をTable3に示した。本実験の対象者の身長および体重は、平成7年の「国民栄養調査」¹⁴⁾による65~69歳の平均値と比較すると、女性では身長は2.3cm高く、体重は3.5kg多かった。男性では身長は2.2cm高く、体重は0.9kg多かった。男女ともに、全国平均と比較すると身長・体重とも、やや値が大きいが、ほぼ平均的な体格であった。体脂肪率が女性で肥満と判定される30%以上のものは、46名中15名(32%)、男性で20%以上のものは、16名中3名(18%)であった。

Table4には運動習慣がある群 (A) と運動習慣がない群 (B) の身体的特徴をそれぞれ示した。身体的特徴においては、両群間に有意な差は認められなかった。運動習慣をもっている者は、女性46名中22名 (48%)、男性は16名中9名 (56%) であった。行っている運動の内容は、軽い体操、ウォーキング、ストレッチ、水泳のいずれかであった。

運動習慣のない群は、現在、運動習慣が全くない者を対象とした。しかし、非運動群の中にも過去に運動習慣があった者もあり、全員が今後、積極的に生活習慣の中に運動を取り入れたいという考えを持つ者であった。

Table5には推定最大酸素摂取量測定者の身体的特徴と推定最大酸素摂取量を示した。

Table 4 Characteristics and Resting Energy Expenditure of the subjects.

A. Habit of exercise group		
Items	Male	Female
	n=9	n=20
Age (year)	68.9 ± 8.84	65.9 ± 5.93
Height (cm)	161.5 ± 5.03	150.9 ± 5.29
Weight (kg)	59.0 ± 7.91	56.5 ± 10.10
LBM (kg)	49.2 ± 5.11	40.6 ± 5.17
%Fat (%)	16.5 ± 5.48	27.4 ± 5.99
REE (kcal/day)	1452.8 ± 290.75	1220.6 ± 261.23

B. non-exercise group		
Items	Male	Female
	n=7	n=24
Age (year)	65.7 ± 8.50	65.6 ± 6.22
Height (cm)	162.5 ± 5.15	152.7 ± 5.15
Weight (kg)	55.0 ± 8.30	54.7 ± 9.65
LBM (kg)	47.5 ± 6.92	39.4 ± 4.59
%Fat (%)	13.2 ± 6.88	28.1 ± 7.56
REE (kcal/day)	1277.3 ± 415.25	1213.7 ± 242.70

REE; Resting Energy Expenditure, Values are means ± SD

Table 5 Characteristics and Resting Energy Expenditure and VO₂max of the subjects.

Items	Male	Female
	n=12	n=31
Age (year)	65.4 ± 8.36	65.9 ± 6.06
Height (cm)	162.6 ± 3.97	150.8 ± 4.09
Weight (kg)	56.2 ± 7.81	53.4 ± 9.21
LBM (kg)	48.2 ± 5.89	38.6 ± 4.45
%Fat (%)	13.8 ± 6.52	26.8 ± 7.19
REE (kcal/day)	1331.1 ± 360.51	1195.9 ± 213.48
VO ₂ max (ml/kg/min)	36.5 ± 8.17	26.6 ± 8.77
VO ₂ max (ml/min)	2020.0 ± 356.83	1395.5 ± 213.48

REE; Resting Energy Expenditure, Values are means ± SD

3.3.2 運動習慣の影響

Fig. 6に運動習慣がある群 (A) と運動がない群 (B) の安静時代謝量について示した。値はそれ

それぞれ女性においては、運動習慣のある群で $22.1 \pm 5.26 \text{ kcal/kg/day}$ 、運動習慣のない群では $22.5 \pm 4.38 \text{ kcal/kg/day}$ であった。男性においては、運動習慣のある群で $24.9 \pm 5.40 \text{ kcal/kg/day}$ 、運動習慣のない群では $23.3 \pm 7.08 \text{ kcal/kg/day}$ であり、運動習慣のある群がやや高い値を示した。しかし、体重当たりの安静時代謝量については、男女ともに両群間に有意な差は認められなかった。

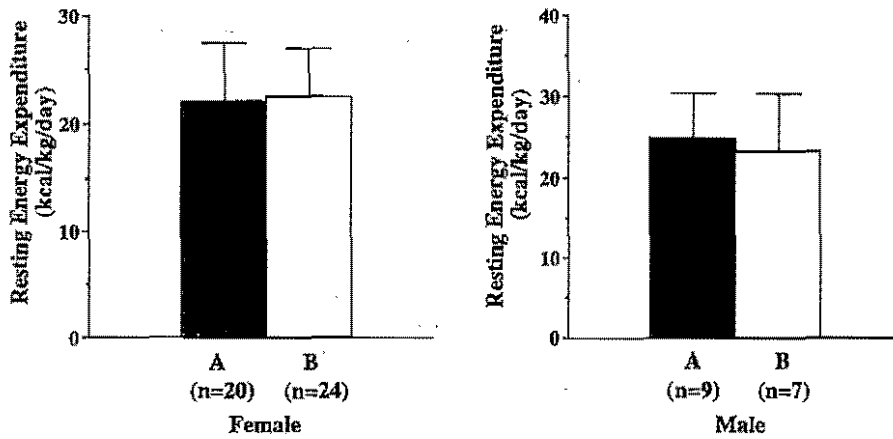


Fig. 6 Comparison of Resting Energy Expenditure in Habit of exercise group and Non-exercise group
A : Habit of exercise group, B : Non-exercise group
Values are means \pm SD

3.3.3 運動頻度

Fig. 7に運動頻度の違いによる安静時代謝量の値を示した。女性は、1-3/wk群 $22.0 \pm 4.51 \text{ kcal/kg/day}$ 、4-7/wk群 $23.2 \pm 6.15 \text{ kcal/kg/day}$ であった。男性は、1-3/wk群 $25.6 \pm 15.8 \text{ kcal/kg/day}$ 、4-7/wk群 $28.6 \pm 22.3 \text{ kcal/kg/day}$ であった。女性においては、両群間に有意な差は認められなかったが、4-7/wk群の値がやや高い傾向を示した。男性においても、4-7/wk群が高い値を示し、さらに両群間に5%水準で有意な差が認められた。

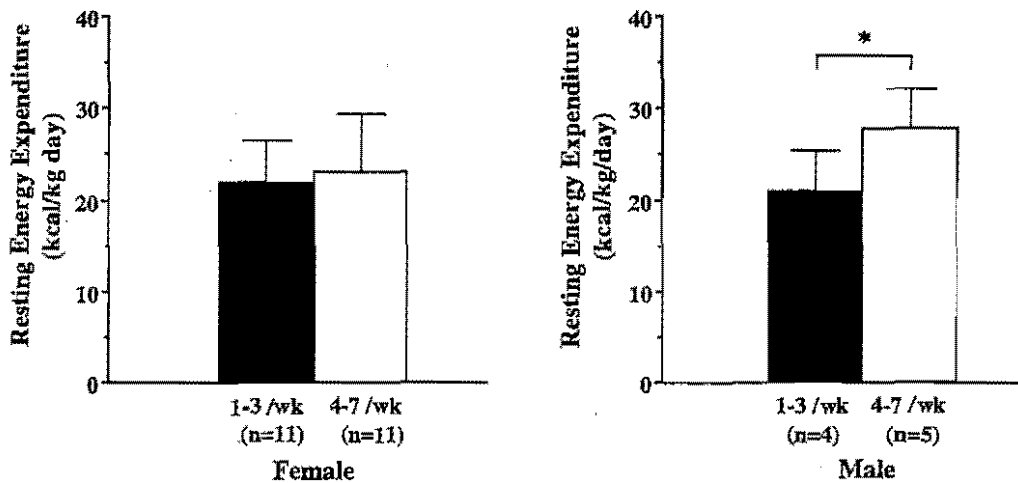


Fig. 7 Comparisons of Resting Energy Expenditure in difference of exercise frequency
Values are means \pm SD
Significantly different (*; $p < 0.05$) from exercise frequency

3.3.4 安静時代謝量とLBM

Fig. 8には、安静時代謝量とLBMの相関図を示した。安静時代謝量とLBMとの間には、1%水準で有意な相関関係が認められた。相関係数は $r=0.40$ であった。

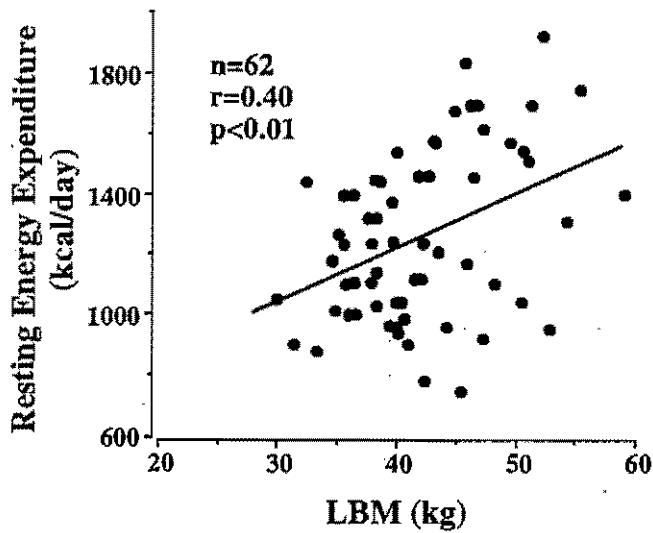


Fig. 8 Relationship between Resting Energy Expenditure and LBM

3.3.5 安静時代謝量と推定最大酸素摂取量

Fig. 9には、安静時代謝量と推定最大酸素摂取量の相関図を示した。Fig. 9-aには推定最大酸素摂取量（単位時間当たり）、Fig. 9-bには推定最大酸素摂取量をLBMによって除した値を独立変数として用いた。両者ともに、有意な相関関係は認められなかった。

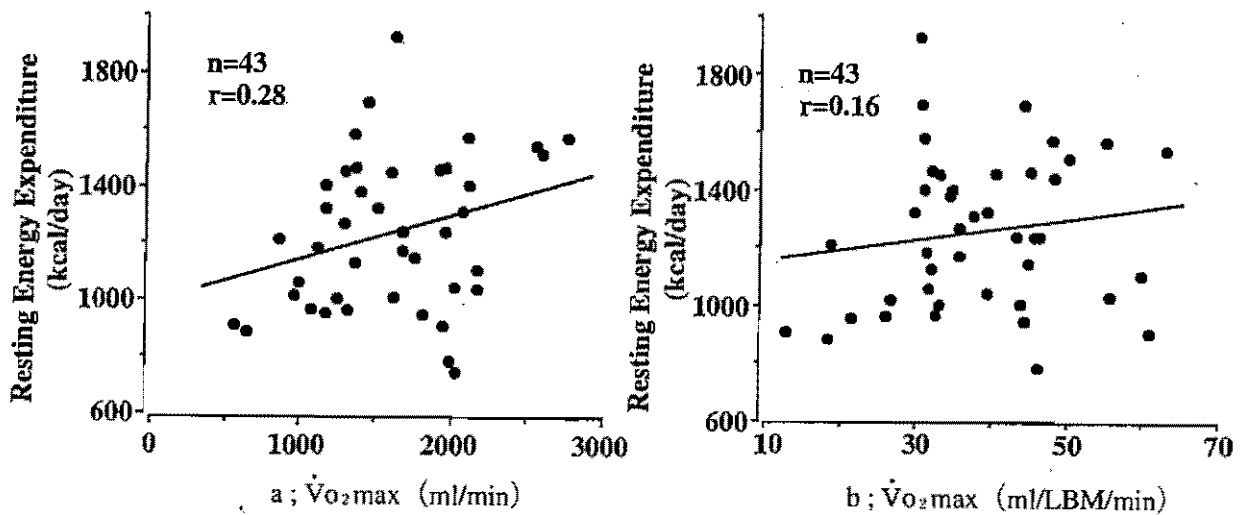


Fig. 9 Relationship between Resting Energy Expenditure (kcal/day) and $\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/min, ml/LBM/min)

3.3.6 推定値と実測値

Fig.10-a (女性)、10-b (男性) に推定値と実測値の関係を示した。その図中に、実測値の平均値と標準偏差をプロットした。平均値は、推定値とほぼ同じ値を示したが、ばらつきが非常に大きいことが認められた。

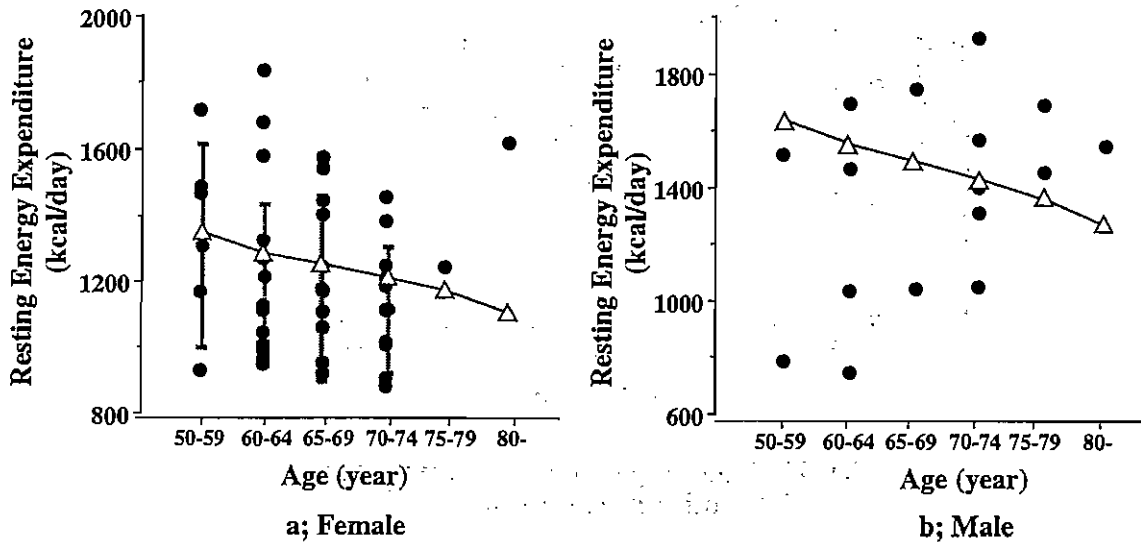


Fig. 10 Relationship of Measured value and Estimate value

—△— Estimated value
● Actual value

4. 考 察

4.1 METAVINEの信頼性の検討

METAVINEは、実験室で精度を重んじる実験系でよく使われている装置とは違い、簡易的な改良型のMixingchamber法を用いて測定している。そのため、本結果METAVINEの測定値は、Benchmarkの測定値と比較するとやや低値を示したが有意差はなく測定値には高い相関関係($r=0.762, p<0.05$)が認められた。

栄養所要量策定委員会会長である細谷憲政先生は、さまざまな講演会において、エネルギー所要量に対する考えを「現場では実験室的な研究のように厳密に測定する必要はなく、簡易に測定し、大まかな数字によって対処していくべきである。実際の現場では、そのようなことが望まれており、今後は安静時代謝量の導入と簡便な熱量測定機器による測定が必要である。」と述べている。

このコンセプトにより開発された細谷式携帯型熱量計METAVINEは、フィールドワークにおいての使用には十分な精度が保証されているといえよう。また、実験室での使用においても、高額で高精度の異測定装置の結果との高い相関が得られていることから、使用目的によっては、実験室での使用にも遜色なく使用できる機器であるといえよう。

4.2 安静時代謝量の測定条件

基礎代謝量の定義は確立されているが、安静時代謝量の測定条件は定義付けされていない。まず、測定前の安静は、作業後の過剰酸素摂取量などの直接の影響を避けるために設けるが、先行研究によると野村は5～20分²⁰⁾としており、沼尻らは30分¹⁹⁾、Allanら¹⁾は45分としている。しかし、本研究においてはFig. 2に示すように、マスクを装着し横たわってからVO₂が安定するために要する時間は、9分から12分程度であった。安静時間が長時間であると、安静不動のままであることが難しく、また眠気を催すこともある。さらに、現場に導入することを考慮すると、激しい労作を行った場合を除き、安静時間は仰臥姿勢で測定の場合には、10分程度が適切ではないかと示唆された。

基礎代謝量の測定は、仰臥姿勢であることが数多くの文献に定められており、世界的にも共通している。しかし、安静時代謝量の測定姿勢に関しては、沼尻が¹⁹⁾椅子座安静で軽く目を閉じている状態と定義しているが、これまで安静時代謝量の研究として測定されてきたものは、検者によって仰臥または椅座姿勢を用いており、一定ではない。

Fig. 5に示すように、本研究においては1回目の測定および2回目の測定ともに、姿勢の違いによる安静時代謝量の値に有意な差は認められなかった。また、椅座姿勢の方がベットの必要がなく、比較的安易に測定できることから現場で用いるには、厳密に測定時の姿勢を定めることは必要がないのではないかと示唆された。

4.3 中高年の安静時代謝量

4.3.1 加齢と除脂肪体重

本研究の女性の体重当たりの安静時代謝量は、平均で22.2kcal/kg/minであった。これは、20歳女性の平均値と比較すると21%の低下が見られた。

老化に伴い生理的機能は低下するが、その低下の度合いは、各組織によって異なる。しかし、骨格筋および内蔵などの活性組織の代謝を包括したものである安静時代謝量は、老化現象の重要な指標でもある。Shockは²¹⁾、30歳を基準とすると90歳では20%低下することを報告しており、また、TzankoffとNorrisは²²⁾、20～97歳の基礎代謝量を検討し、20歳から45歳までには加齢による影響は認められないが、45歳以後加齢に伴い減少すると述べている。このように加齢に伴って基礎代謝量の減少がみられる要因は、身体活動量の低下による身体組成の変化、特に除脂肪体重の減少があげられている¹³⁾。また、一般に基礎代謝量に対する各組織の貢献率は脳(20%)、肝臓・心臓・腎臓(～40%)、筋肉(25～35%)のようになっている。筋肉は、基礎代謝に対して25～35%程度と貢献率は決して支配的ではないが、中年から加速される筋肉量と代謝活性の減退が主因となって基礎代謝の低下がもたらされることが指摘されている¹³⁾²⁸⁾。

本研究においても除脂肪体重と安静時代謝量には、1%水準で有意な相関関係が認められた。

安静時代謝量は筋肉や内蔵などの代謝活性の高い組織に強く左右されるために、代謝活性の比較

的低い脂肪を除いた除脂肪体重との相関が高いと考えられる。このように安静時代謝量とLBMは密接な関係にある。現在はインピーダンス法を用いて簡便に体脂肪の測定を行うことができるので、身長、体重、年齢、性別のみからエネルギー所要量を算出するのではなく、身体組成を考慮し、従来の推定法の再検討を行うことが今後の重要な課題になると示唆された。

4.3.2 運動習慣と安静時代謝量

Poehlmanら²²⁾は、若者、高齢者を対象にし、さらにそれぞれをトレーニング群と非トレーニング群に分け、安静時代謝量を比較している。その結果、若者、高齢者ともにトレーニング群の方が非トレーニング群よりも有意に高い値を示した。しかし、本実験では運動習慣のある群 (A)、運動習慣のない群 (B) の体重当たりの安静時代謝量を比較したところ、男女ともに両群間において有意な差は認められなかった (Fig.6)。これは、Poehlmanらがトレーニング群として用いている高齢者はかなりの持続的トレーニングを積んだ者であり、本実験での対象者はやや弱い運動を行う程度であったことが原因と考えられる。具体的にはPoehlmanらの対象者は、トレーニングを 15.4 ± 4.2 年継続して行っており、走行距離は、 $35-70\text{km/wk}$ であった。それに対して本実験の対象者は、軽い体操やストレッチ等を週に何回か行う程度であり、継続期間にはばらつきが多く見られた。

そこで、運動習慣の頻度別に体重当たりの安静時代謝量を比較した (Fig.7)。女性は、有意な差は認められなかったが、週に4回以上運動習慣がある群においてやや高い値を示した。男性は、週4回以上運動習慣がある群が有意に高い値を示した。このことから、中高年者が行うのに適切な運動は、強度がやや弱いため身体組成的な変化または安静時代謝量に与える影響は少なく、習慣的に運動を週4回以上行うことにより生じる可能性があることと示唆された。しかし、今回はアンケートによって運動内容、頻度、時間の調査を行ったために運動の相対的強度を割り出すことができなかった。行われている運動の種類から、どれもMETS2.0~3.0程度の強度の運動であることは判断できるが、今回の結果がすべての運動にあてはまるわけではないと考えられた。

TzankoffとNorrisは²³⁾、高齢者における基礎代謝量の低下は筋肉量の減少だけでなく、筋自体の酸素摂取量の低下によると指摘している。また、安静時代謝量と加齢、 VO_2 ならびに身体組成との関係を検討し、除脂肪体重が同じでも $\text{VO}_{2\text{max}}$ の高い活動的な人ほど安静時代謝量が高いという報告もある²⁴⁾。さらに、モルモットに無酸素トレーニングを実施した結果、筋繊維の肥大により量的な意味で代謝量が増大し、有酸素トレーニングでは筋の量的増加はないが筋中の毛細血管が増加し、質的な意味で代謝量が増大するという報告もある²⁵⁾。

しかし、本研究においては筋の量的な代謝量の増加を表す最大分時酸素摂取量 (ml/min)、筋の質的な代謝量の増加を表すLBM当たりの最大酸素摂取量 (ml/LBM/min) の両者ともに有意な相関関係は認められなかった (Fig.9)。

これは、最大酸素摂取量の決定要因は、筋肉の質の問題、すなわち有酸素エネルギー代謝活性のみではなく、心肺機能や生化学的な面に関しても値を左右する要因となるからだと考えられる。横

関は、有酸素的能力の多少が高齢者の基礎代謝量に影響を及ぼす重要な要因であると報告しているが、本研究においては、必ずしも重要な要因であるとは限らないのではないかと示唆された。

4.3.3 推定値と実測値

推定値は性別と年齢のみで導き出すために、各年齢層ごとに値がまとまっている。しかし、実測値においては、平均値は推定値とほぼ同じであるが、ばらつきが非常に大きいことが認められた。推定されたエネルギー所要量は、あくまでも平均値であり、個人によって調整が必要であると考えられた。現に、最近では高齢者の栄養問題としてタンパク質・低エネルギー栄養状態がとりあげられており、さらに寝たきり老人の肥満によって介護者の腰痛などの負担が増大するなどの問題もある³⁹⁾。

先行研究においても高齢者のエネルギー代謝量は、同じ性、年齢、身体活動強度であっても個人差が大きいことが認められている。このばらつきは、各個人の労働条件や運動などの生活習慣の違い、またそれらに伴う身体組成の変化、疾病状況等の影響によって生じると考えられる。

以上のことから、一括して従来の推定値を用いるのではなく、個人個人に適切な栄養指導を行うためにもLBMを考慮した式の開発や携帯型熱量計を用いた呼気ガスでの測定が現場に定着することが望まれると考えられた。

5. 要 約

実験1

本実験では、携帯型熱量計の信頼性の検討と測定前の安静時間の検討を行うことを目的とした。被検者は健康な男女20名であった。2種類の呼気ガス分析器を（METAVINE、Benchmark）用いて、比較・検討を行った。

- 1) METAVINEとBenchmarkで測定した安静時代謝量の値は、5%水準で有意な相関関係が認められた ($r=0.762$)。
- 2) VO_2 が安定するまでの時間は、約10分であった。

実験2

本実験は、測定時の姿勢の違いが安静時代謝量に与える影響について検討することを目的とした。被検者は健康な男女21名であった。仰臥姿勢と椅座姿勢の安静時代謝量を携帯型熱量計を用いて測定し、比較した。

- 1) 測定1、2回目ともに、男女とも姿勢の違いによる安静時代謝量の値に有意な差は認められなかった。

実験 3

本実験は、中高年者の安静時代謝量を測定し、運動習慣や身体組成との関係の検討と従来の推定値との比較を目的とした。被検者は中高年の男女62名であった。測定項目は、身長、体重、体脂肪率、安静時代謝量、推定最大酸素摂取量および病歴や運動歴に関するアンケートであった。

- 1) 運動習慣のある群とない群の体重当たりの安静時代謝量は、男女ともに両群間に有意な差は認められなかった。
- 2) 運動頻度の違いによる影響は男女ともに週4回以上運動を行う群において高い値を示した。さらに、男性において5%水準で有意な差が認められた。
- 3) 除脂肪体重と安静時代謝量との間に、1%水準で有意な相関関係が認められた。
- 4) 推定最大酸素摂取量と安静時代謝量との間には、単位時間当たり、LBM当たりの両者に有意な相関関係は認められなかった。
- 5) 実測値の平均値は、推定値とほぼ同じ値を示したが、個人差は非常に大きいことが認められた。

以上のことから、中高年者の安静時代謝量は生活習慣によって個人差が大きいため、今後は従来の推定式を一括して用いるのではなく、身体組成を考慮した推定式の開発や携帯型熱量計を用いて呼気ガスから、個人個人のエネルギー所要量を算出する必要があると示唆された。

6. 参考文献

- 1) Allan Geliebter, Magaret M Maher, Laura Gerace, Bernard Gutin, Steven B Heymsfield, and Sami A Hashim: Effect of strength or aerobic training on body composition, resting metabolic rate, and peak oxygen consumption in obese dieting subjects, *Am J Clin Nutr*, 66, 557-563, (1997)
- 2) Bray, G.: Relationships between oxygen consumption and body composition of obese patients, *Metabolism*, 19, 419-429. (1970)
- 3) Cederholm T, Amer P, Palmblad J.: Low circulating leptin levels in protein-energy malnourished chronically ill elderly patients.
- 4) Corti, M. C., Guralnik et al.: Serum albumin level and physical disability as predictors of mortality in older persons, *JAMA* 272, 1036-1042. (1994)
- 5) Doris Lennon, Francis Nagle, Frederick Stratman, Earl Shrago and Susana Dennis: Diet and exercise training effects on Resting metabolic rate, *International Journal of Obesity*, 9, 39-47. (1985)
- 6) ET Poehlman, PhD; CL Melby, DHSc, MPH, and SF Badylak, DVM, PhD, MD: Resting metabolic rate and postprandial thermogenesis in highly trained and untrained males, *Am J Clin Nutr*, 47, 793-798. (1988)
- 7) Fukagawa, N. K., Bandini, L. G. and Young, J. B.: Effect of age on body composition and resting metabolic rate. *Am. J. Physiol.*, 259, E233. (1990)

- 8) Guigoz y, Vellas BJ: Malnutrition in the elderly: the Mini Nutritional Assessment. *Ther Umsch.* 54 (6), 345-350. (1997)
- 9) 原田邦彦、酒井敏夫：基礎代謝に及ぼす反復運動負荷の影響—(1)ラットの加齢と生涯に亘る長期中等度運動負荷について—、*日本生理誌*、47, 202-212. (1985)
- 10) 原田邦彦、酒井敏夫：ラットの基礎代謝に及ぼす中等度な強度による持久的反復運動負荷の影響、*日本生理誌*、47, 213-218. (1985)
- 11) Harris, J. A., Benedict, F. G.: A biometric study of basal metabolism in man, *Carnegie Inst. Wash. Pub.*, 279, (1919)
- 12) 櫻村修生、中井誠一、芳田哲也、伊藤 孝：種々のスポーツにおける基礎代謝量、*日本衛生学雑誌*、42(4)、809-814. (1987)
- 13) Keys, A., Talyer, H. I. and Grande, F.: *Metabolism*, 22, 579. (1973)
- 14) 厚生省統計協会：厚生 の 指 標 国民衛生の動向 (1997)
- 15) 厚生省保健医療局健康増進栄養課：日本人の栄養所要量 (第五次改訂版). 第一出版 (東京). (1994)
- 16) Miller, A. T. JR. and Blyth, C. S.: Estimation of lean body mass and body fat from basal oxygen consumption and creatinine excretion, *J. Appl. Physion.*, 5, 73-78. (1952)
- 17) 長嶺晋吉：スポーツとエネルギー・栄養、71-99、大修館書店 (東京). (1979)
- 18) 沼尻幸吉：安静代謝および所要栄養量に関する考察、*労働科学*、43(12)、679-982. (1967)
- 19) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝、*労働科学研究所* (東京). (1974)
- 20) 野村秀子：安静時代謝量に関する研究、*労働科学*、43(9)、526-530. (1967)
- 21) Pettren, T., Sjostand, T. and Sylven, B.: Der Einfluss des Trainings auf die Haufigkeit der Kapillaren in Herz und Skeletmuskulatur, *Arbeitsphysiol.*, 9, 367. (1936)
- 22) Poehlman, E. T., McAuliffe, T. L., Van Houten, D. R. and Danforth, E., Jr.: Influence of age and endurance training on metabolic rate and hormones in healthy men. *Am. J. Physiol.*, 259, E66. (1990)
- 23) 佐々木 隆：日本人基礎代謝の推移、*代謝*、16(1)、3-12. (1979)
- 24) Shock, N. W.: *The Physiology of Aging* (Vedder, C. B., ed.), 264 (1971), Charles C. Thomas Pub. (Springfield)
- 25) 杉山みち子：GP net、2、22-26. (1996)
- 26) Sullivan D, Lipschitz D: Evaluating and treating nutritional problems in older patients. *Clin Geriatr Med.* 13(4), 753-768. (1997)
- 27) Tzankoff, S. P., and A. H. Norris.: Effect of muscle mass decrease on age-related BMR changes. *J. Appl. Physiol.*, 43, 1001. (1977)
- 28) Tzankoff, S. P., and A. H. Norris.: Longitudinal changes in basal metabolism in man, *J. Appl. Physion.*, 45, 536-539. (1978)

- 29) 渡辺 孟：医学のあゆみ、147、118. (1988)
- 30) 山田敏男、佐藤 武、辻 忠、吉村磯次郎、三宅義信、長谷川豪志：運動選手の基礎代謝量に関する研究—第一報 運動選手の基礎条件時ならびに安静時における体熱産生の季節変動について、体育学研究、14(2)、82-92. (1969)
- 31) 山田敏男、佐藤 武、辻 忠、吉村磯次郎、三宅義信、長谷川豪志：運動選手の基礎代謝量に関する研究—第二報 女子運動選手の基礎代謝量の季節変動について、体育学研究、14(4)、185-19. (1970)
- 32) 横関利子：高齢者の基礎代謝量と身体活動量、日本栄養・食糧学会誌、46(6)、451-458. (1993)
- 33) 横関利子：寝たきり老人の基礎代謝量とエネルギー所要量、日本栄養・食糧学会誌、46(6)、459-466. (1993)