

「弾性おもり」を保持した運動の生理学的影響

Physiological Influences of Exercise with “Flexible Weights”

蛭田 秀一* 島岡 みどり* 鶴原 清志* 小林 寛道*

Shuichi HIRUTA*, Midori SHIMAOKA*, Kiyoshi TSURUHARA*,
Kando KOBAYASHI*

The purpose of this study was investigate the physiological responses to exercise with a “Flexible Weight”, that is, a weight with elasticity. At experiment I, a stick of flexible weight and a rigid weight of the same shape and weight as a flexible one, were fixed althernately into the tip of a rotary arm. Strain induced on the arm was measured when the arm was suddenly stopped and when the arm was swinging. With flexible weight, the strain became smaller than that with rigid weights when the arm was suddenly stopped, and greater when the arm was on the swing. At experiment II, measurement of oxygen intake and heart rate was made with the following exercises with/without flexible weights; (1) locomotion (walk, jogging), (2) the Japanese radio calisthenics, (3) basic movements, (4) stretching, (5) rhysmic exercises. Oxygen intake and heart rate were heigher during exercises with the weights except stretching. It may be concluded that the flexible weights activate muscles without causing great strain and heighten the effects of aerobic exercise.

目 的

身体トレーニングの処方の基本原則によれば、強化の目的（例えば、筋力、筋持久力、あるいは全身持久力の向上等）の違いに応じて、トレーニングの強度、時間（回数）、頻度の3つの条件が満たされなければならない⁵⁾。そのうち、強度の条件については、身体に適当な重さの重量物（おもり）を保持することによって調整されることが少なくない。これを力学的にみると、例えばおもりを保持したり、鉛直方向に運動させるためには、身体は表1に示すような力をおもりに加える必要がある。そして、このとき身体はおもりから反作用の力を受ける。この他におもりの運動方向を変える場合にも身体はおもりに力を作用させなければならない。すなわち、このための力の発揮が

大きいほど運動強度が大きいといえる。したがって、運動の形態および運動の速さが規定された条件では、運動強度はおもりの重量の大小によって決定される。このため、おもりに求められる最も重要な要件はその「重量」であり、そのためほとんどのおもりは固くて比重の大きな材質でできた塊状のものである。このような固いおもり（以下、剛体おもりと呼ぶ）を用いたトレーニングにおいては、おもりの重量が重すぎた場合や正しいフォームで実施しなかった場合など、筋や腱、靭帯、関節および骨等に大きな力が作用することによってそれらの部位に傷害が発生することも少なくない⁴⁾。そこで、おもりに弾力性をもたせれば、運動中の急激な速度変化（例えば、動作の急停止）の際、保持したおもり自体の変形のために生体に加わる衝撃力は小さくなり、トレーニングの危険性がより低下すると予想される。この他にも運動の種類によっては、その運動中におもりが変形す

*名古屋大学総合保健体育科学センター

*Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

Table 1. Relationship between acceleration ($a[m\cdot sec^{-2}]$) of weight ($m[kg]$) and force ($F[N]$) given to the weight ($a=constant$), in the perpendicular direction.

aの大きさと向き		加速・減速	Fの大きさと向き	
鉛 直 方 向	① $a = 0$	{ 静 止 等 速 }	mg	上向き
	② $a > 0$, 上向き	{ 上向きの加速 下向きの減速 }	$m(g + a)$	上向き
	③ $g > a > 0$, 下向き	{ 上向きの減速 下向きの加速 }	$m(g - a)$	上向き
	④ $a > g$, 下向き	{ 上向きの減速 下向きの加速 }	$m(a - g)$	上向き

*g: 重力加速度

ることが原因となり、身体に作用する力が剛体おもりとは異なる場合も考えられる。このように弾力性を有するおもり（以下、弾性おもりと呼ぶ）の性質が活用されれば、より効果的で安全な筋トレーニング法の開発に役立つことが予想される。

本研究は、弾性おもりが変形することによる力学的な効果とこのおもりを用いた運動が実施者にどのような生理学的反応をもたらすかについて明らかにしようとしたものである。

方 法

(1) 弾性おもりの特徴

本研究で用いた弾性おもり（アルゴ社製）の構造は、直径3.4cm、高さ1.0cmの円柱の鉛片と木片を積み重ね、周囲をゴムラバーで被覆したもので、図1のような棒状（長さ26.5cm）をしている。この構造により、ゴム筒の中で1つ1つの鉛片や木片が動くことができ、力の加え方によって、湾曲やねじり等の変形が可能である。力が除去されれば、ゴムの弾性によって元の形状に復元する。重さは0.75, 1.0, 1.5, 2.0kgの4種類を使用した。

(2) 弾性おもりの力学的特性の検討（実験Ⅰ）

上記のように、弾性おもりは従来の剛体おもりにはない性質を有している。そこで、図2に示した鉄製の回転アーム装置の先端に弾性おもり及びそれと同型、同重量に作製した剛体おもりを装着し、次の2つの条件におけるアームのA部に

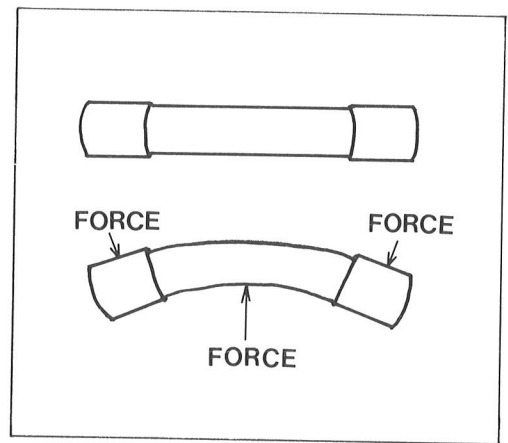


Fig. 1. Flexible weight.

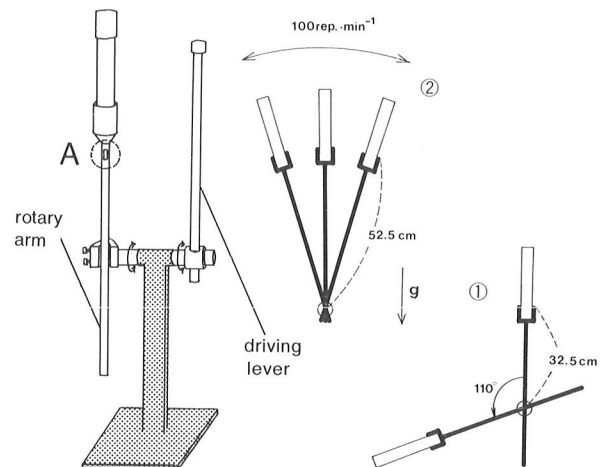


Fig. 2. Rotary arm device (left) and illustration of experiment I (right): ① sudden stop, ② swinging. A strain gauge is stuck on part A of the rotary arm.

Table 2. Physiological characteristics of subjects.

Subject	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Vo ₂ max (l · min ⁻¹)	Vo ₂ max/Weight (l · min ⁻¹ · kg ⁻¹)	HRmax (bpm)
M1	25	170	58	3.48	60.1	184
M2	27	168	68	3.65	53.6	186
M3	41	179	73	—	—	—
F 1	34	155	52	2.14	41.2	192
F 2	30	159	53	2.39	45.1	195

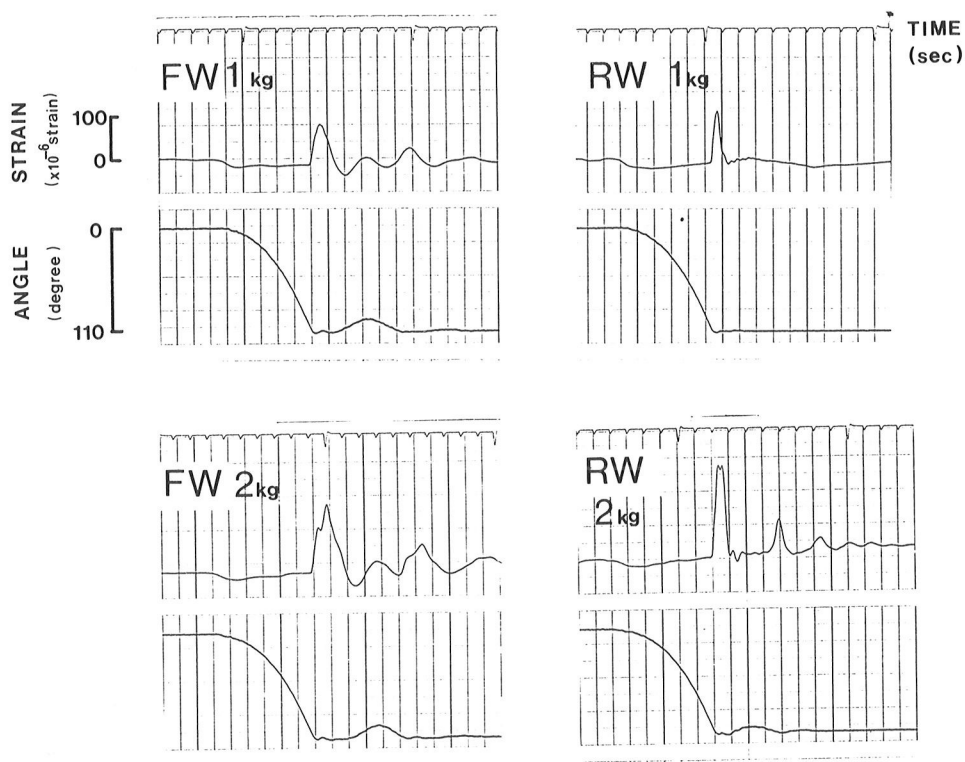


Fig. 3. Strain on rotary arm when stopped suddenly. FW : flexible weight, RW : rigid weight.

加わるひずみを測定した。①アームを回転軸の直上から重力によって110度回転させる。そこで駆動レバーを停止させることによってアームの回転を急停止させる。②アーム及び駆動レバーを回転軸の直上に位置させる。次に駆動レバーを一定のテンポにあわせ左右に繰り返し動かすことによってアームを反復運動させる。

ひずみはストレインゲージ（共和製；回転ア-

ームのA部に貼付）とひずみアンプ（共和製）を用いて測定した。回転アーム装置の回転軸にエレクトロ・ゴニオメーターを取りつけ、アームの回転角を測定した。

(3) 弾性おもりを保持した運動に対する生理学的反応（実験2）

5名の被験者（表2；男子3名，女子2名）に、次の運動を実施させた。①移動運動（歩行，ジョ-

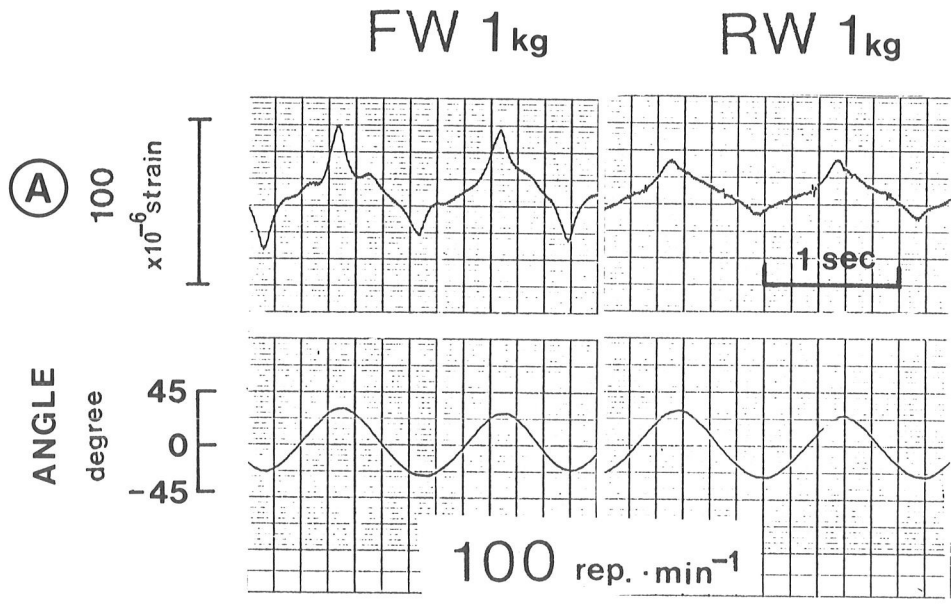


Fig. 4. Strain on swinging rotary arm.

ギング), ②ラジオ体操 (第1, 第2), ③基本の体操動作 (11種目), ④ストレッチング, ⑤リズムにあわせた運動 (4種目)。

それぞれの運動を, 被検者のうち1~4名に実施させ, 弾性おもりを1本ずつ両手に保持した場合と保持しない場合 (実際は, おもりと同型の70gの紙筒を保持させた) の酸素摂取量と心拍数を測定した。被検者はおもりの保持・不保持で運動のフォームおよび速さが同じになるように指示された。同一被検者が連続して複数の試行を行う場合は, 心拍数が最初の試行前の水準に戻るまで試行間に休息をいれた。酸素摂取量はダグラスバッグ法で採取された呼気ガスをモーガン社製のO₂分析器およびコダルト社製CO₂分析器で分析し算出した。心拍数は胸部誘導法で測定された心電図により求めた。

結 果

実験1

図3は, 回転アームが急停止した時に, A部に加わったひずみの時間経過を示したものである。アーム急止時において, ひずみのピーク値は剛体おもりを保持させた場合に比べて弾性おもりを保持させた方が小さく, ひずみの生じている時間は長かった。図4は, アームの反復運動中に図2のA部に加わったひずみの時間経過を示している。アームの反転に際し, 弾性おもりの場合の方がA部に大きなひずみのピーク値を示した。

実験2

①移動運動

a) 歩行

図5は, 1名の被検者に対し, 角度3%のトレッドミル上で, 次の3条件の歩行を実施させたときの運動中の酸素摂取量と心拍数の時間経過を示している。1回目: 速度85m/minでおもり不保持, 10分間。2回目: 速度85m/minで1.5kg×2本のおもり保持, 10分間。3回目: 速度

104m/min でおもり不保持, 10 分間, ひきつづき速度を 114m/min に上昇させ 6 分間。

同速度条件 (1 回目と 2 回目) で比較すると, おもり保持の場合, 不保持の場合より 10 分目の心拍数で 21 拍/分 (+22%), 酸素摂取量で 6.6ml/min/kg (+37%) 高い値を示した。

おもりを保持せずに「おもり 1.5kg×2 本」を保持した場合と運動強度が等しくなる速度を求め意図で実施した, 速度 114m/min (3 回目) の場合, 16 分目の心拍数と酸素摂取量が 2 回目の 10 分目とほぼ等しい値を示した。

図 6 は, 被検者 3 名に対し, やや速い歩行速度 (男子 90m/min, 女子 80m/min) で 6 分間のトレッドミル上の歩行を実施させたときの運動中の酸素摂取量と心拍数を示したものである。各被検者について, それぞれ右側 (W) が 3 分目以降おもりを保持させた条件における値 (5 ~ 6 分の 1 分間値) を示している。酸素摂取量, 心拍

数とも, 全被検者においておもりを保持したときの方が高い値を示した。

b) ジョギング

図 7 は 1 名の被検者に対し, 角度 3 % のトレッドミル上で, 次の 3 条件のジョギングを実施させたときの運動中の酸素摂取量と心拍数の時間経過を示している。1 回目: 速度 110m/min で 1.5kg×2 本のおもり保持, 10 分間。2 回目: 速度 110m/min でおもり不保持, 10 分間, ひきつづき速度を 137m/min に上昇させ 3 分間。

同速度条件 (1 回目と 2 回目) で比較すると, おもり保持の場合, 不保持の場合より 10 分目の心拍数で 10 拍/分 (+8%), 酸素摂取量で 4.7ml/min/kg (+18%) 高い値を示した。

おもりを保持せずに「おもり 1.5kg×2 本」を保持した場合と運動強度が等しくなる速度を求め意図で実施した, 速度 137m/min (3 回目) の場合, 13 分目の心拍数と酸素摂取量が 1 回目の

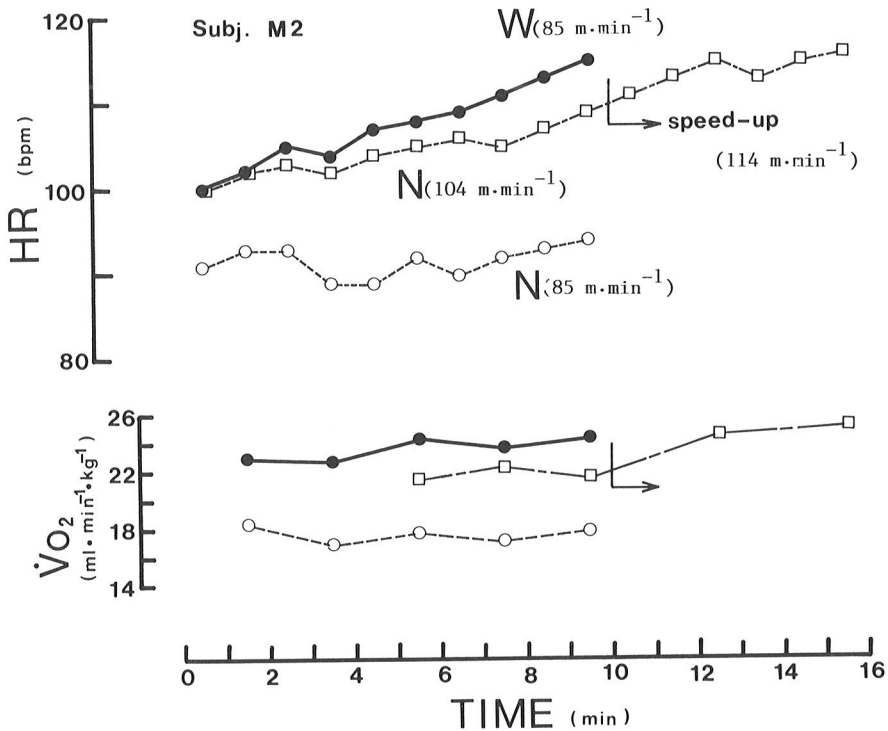


Fig. 5. Oxygen intake and heart rate during walking. W: with two flexible weights (1.5kg), N: without weight.

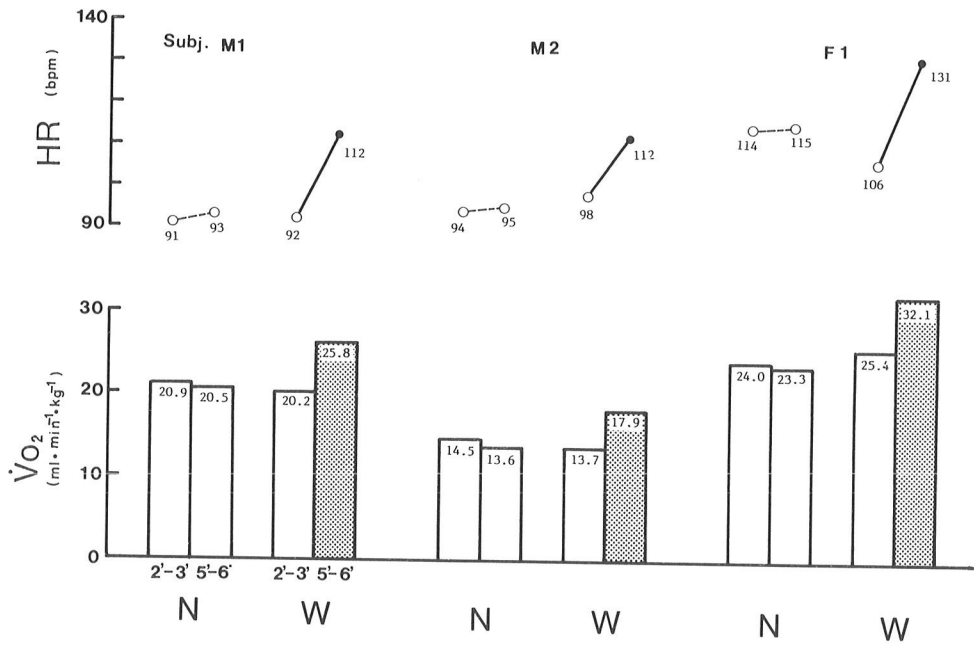


Fig. 6. Oxygen intake and heart rate during walking.

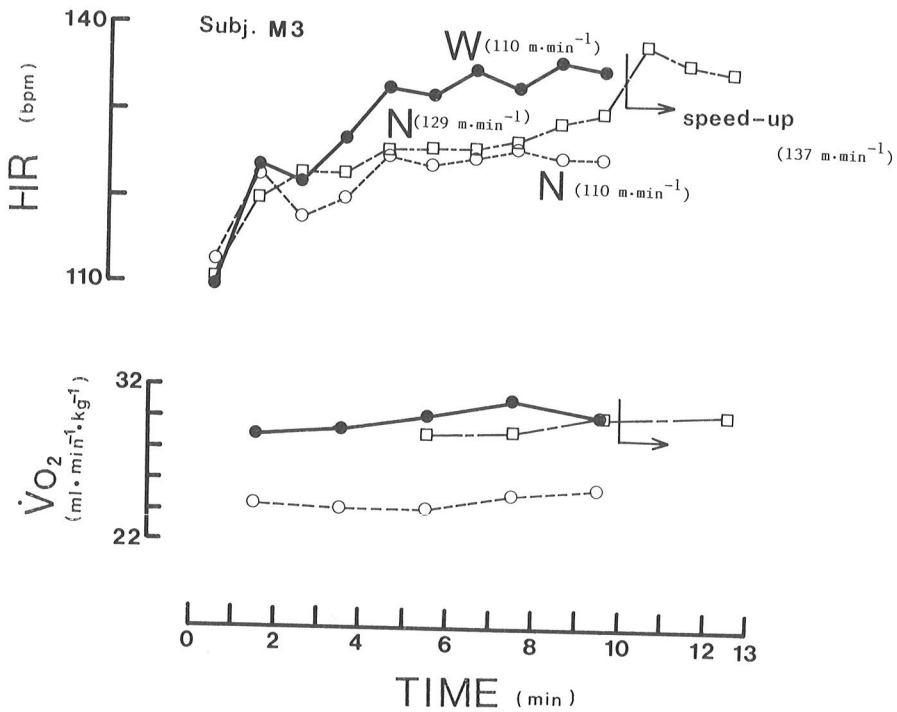


Fig. 7. Oxygen intake and heart rate during jogging.

10分目とほぼ等しい値を示した。

②ラジオ体操

図8は、被検者3名にラジオ体操第1と第2(2名のみ)をおもりを保持する条件と保持しない条件で実施させ、運動中の酸素摂取量を両条件で比較したものである。すべての被検者で酸素摂取量は、おもりを保持したときの方が高い値を示した。図9は、図8のラジオ体操中の心拍数をその構成運動毎に示したものである。酸素摂取量と同様に、すべての被検者についておもり保持の場合のほうが高い値を示した。

③基本の体操動作

表3は、11種類の基本の体操動作について、重さの異なる2種類のおもりを保持したときの運動中の酸素摂取量と心拍数を不保持の条件のときと比較したものである。試行はすべての種目で、1.0kg(被検者F1は0.75kg)2.0kg(1.5kg)、おもり不保持の順に実施された。「腕の回旋」を除いたすべての種目でおもりを保持した場合の方が、酸素摂取量と心拍数が高い値を示し、しかもおもりが重いほど値が高かった。

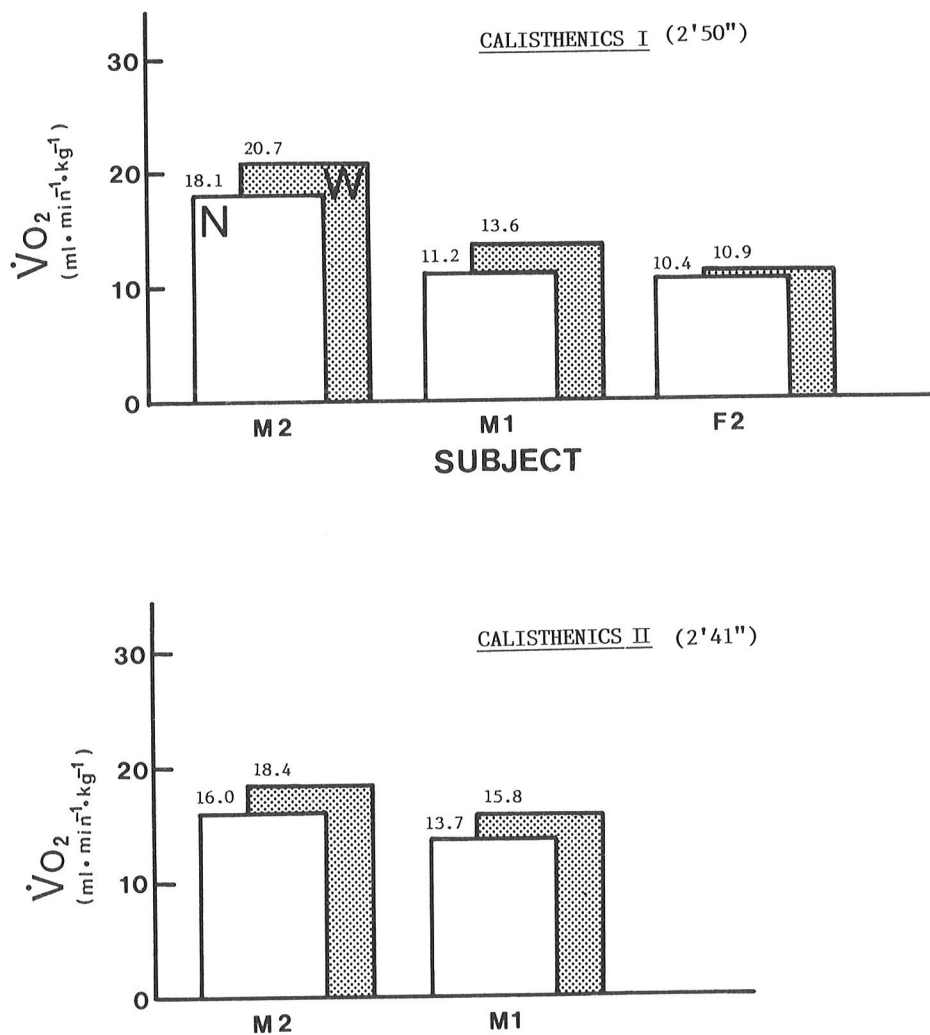


Fig. 8. Oxygen intake during the Japanese radio calisthenics I (upper) and II (lower).

④ストレッチング

図 10 は 1 名の被検者について一連のストレッチング種目を実施させたときの運動中および回復中の酸素摂取量と心拍数, および回復中の酸素摂取量を, おもりの保持・不保持で比較したものである。酸素摂取量, 心拍数は, とともに両条件ではほぼ等しい値を示した。

⑤リズムにあわせた運動

図 11 は, 1 名の被検者にリズムにあわせた運動 (4 種目) を実施させたときの酸素摂取量を, おもりを保持した場合と保持しない場合で比較したものである。すべての種目でおもりを保持したときの方が酸素摂取量が高い値を示した。

図 12 は「リズム体操 2」の実施中の心拍数を構成運動毎に示している。おもりを保持した場合

の方が平均で 23 拍高い値を示した。

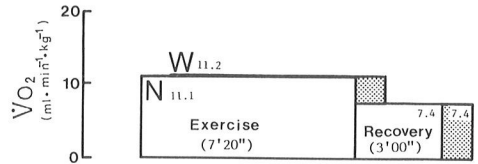
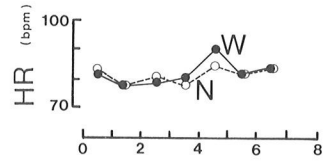


Fig. 10. Oxygen intake and heart rate during stretching.

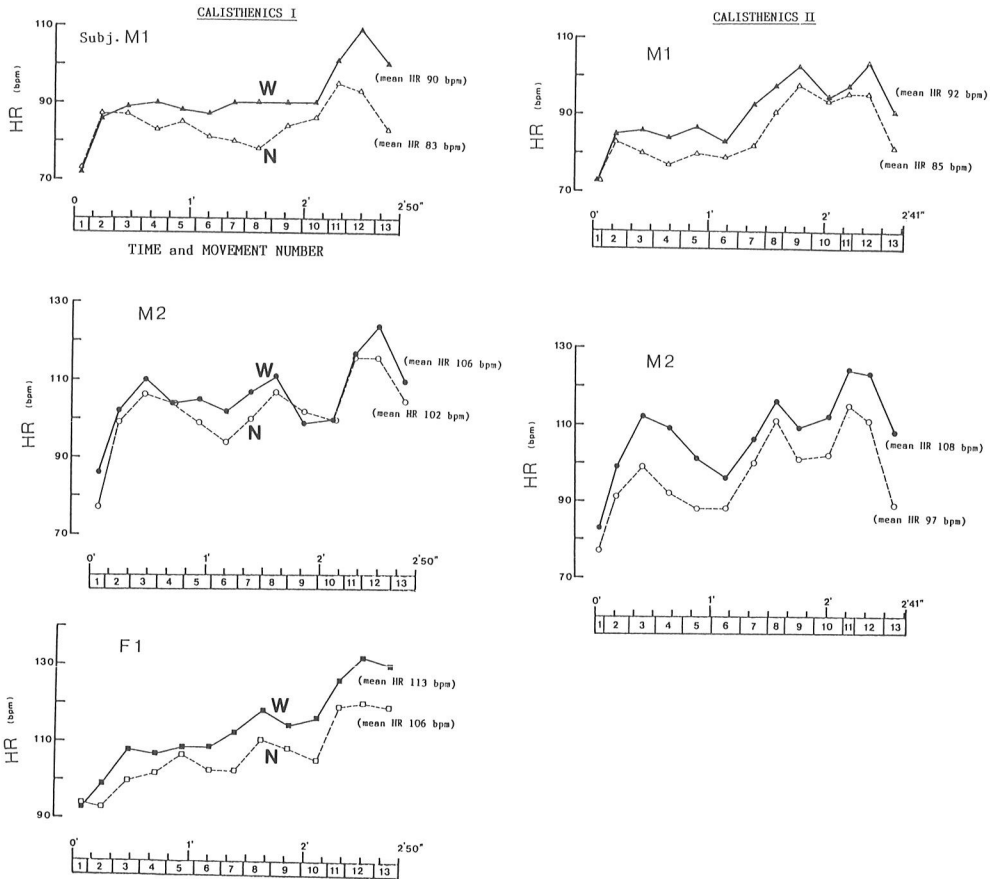


Fig. 9. Heart rate during the Japanese radio calisthenics I (left) and II (right).

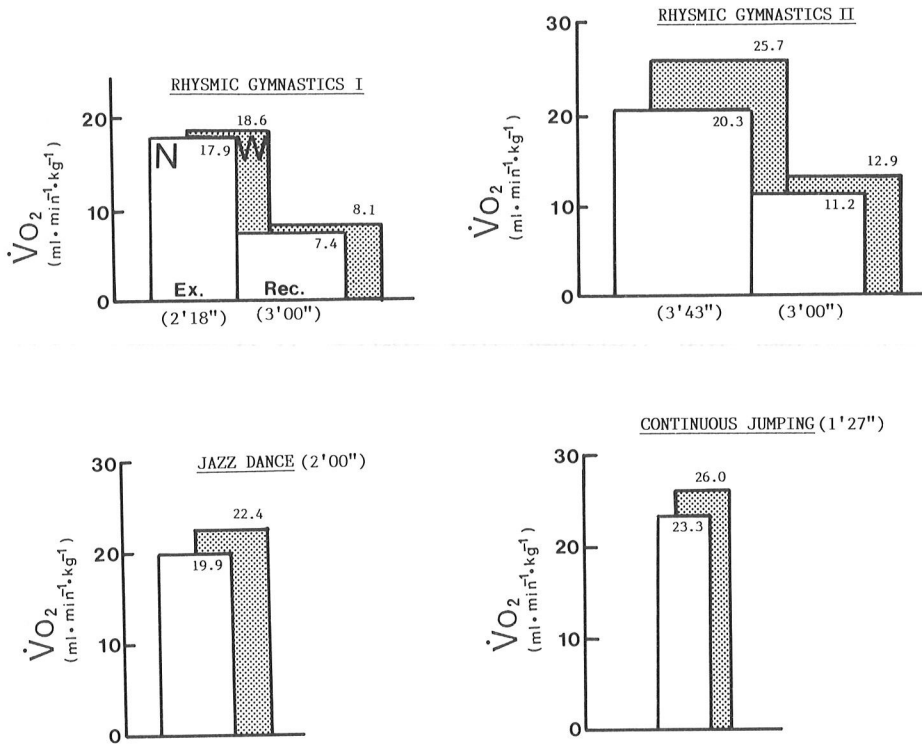


Fig. 11. Oxygen intake during rhythmic exercises (subj. F1).

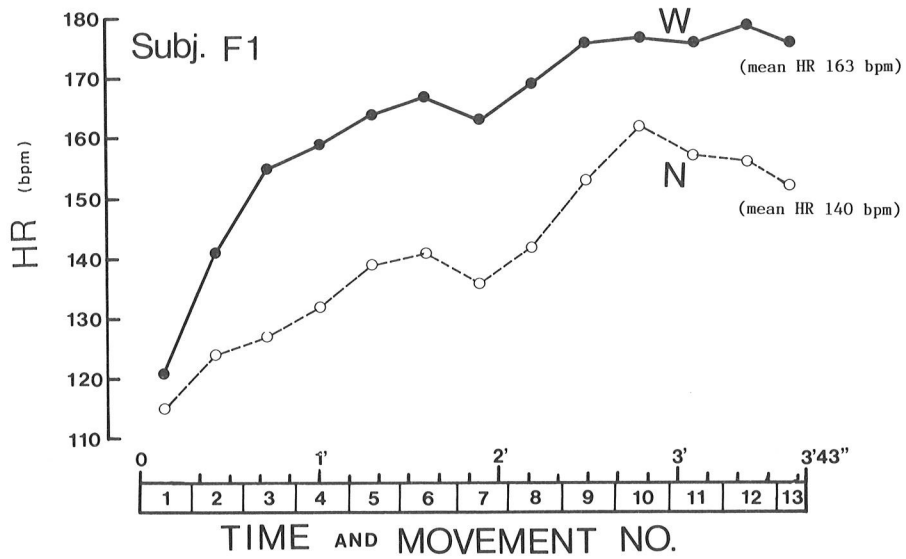


Fig. 12. Heart rate during rhythmic gymnastics II.

Table 3. Effects of flexible weights on basic movements.

	被検者	酸素摂取量 ($ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$)			心拍数 (拍 $\cdot min^{-1}$)			解 説 (図を参照)	(回数/分)
		おもりなし	おもり 0.75 kg	おもり 1.5 kg	おもりなし	おもり 0.75 kg	おもり 1.5 kg		
①腕の回旋	F 1	8.3 (100%)	11.9 (144%)	11.7 (142%)	83 (100%)	103 (120%)	106 (123%)	①  腕を体の正面で外、内まわし	30回
②片膝まげ体側	F 1	10.6 (100)	13.8 (131)	14.8 (140)	93 (100)	104 (112)	106 (114)	②  外側の足を曲げて行なう	35回
③開脚腕横のぼし	F 1	13.7 (100)	15.6 (114)	18.1 (132)	102 (100)	115 (113)	129 (126)	③  ひざをまげ、体をずらして腕をのぼす	71回
		おもりなし	1 kg	2 kg	おもりなし	1 kg	2 kg		
④上体ひねり	M 1	6.4 (100)	8.5 (132)	10.7 (166)	76 (100)	77 (101)	82 (108)	④  上体を捻る	46回
⑤前横プレス	M 1	6.1 (100)	8.4 (139)	9.4 (153)	86 (100)	95 (110)	112 (130)	⑤  前と横につき出す	38回
⑥腕振り前後屈	M 1	12.5 (100)	14.6 (116)	17.3 (138)	105 (100)	109 (104)	118 (112)	⑥  腕を振りながら前後屈	19回
⑦片足かかえ込み	M 1	16.1 (100)	18.3 (114)	19.5 (121)	110 (100)	116 (105)	126 (115)	⑦  片足を胸にひきつけけもの下で腕を交差させる	34回
⑧振り上げ・上体そらし	M 1	18.6 (100)	20.6 (108)	20.8 (112)	118 (100)	132 (112)	150 (127)	⑧  足と腕を勢いよくあげて上体をそらす	30回
⑨腕振り前交叉	M 1	11.9 (100)	18.1 (134)	19.8 (146)	95 (100)	107 (113)	111 (117)	⑨  体の前で腕を水平まであげる	38回
⑩前傾腕振り交叉	M 2	7.6 (100)	10.4 (137)	11.2 (147)	75 (100)	86 (115)	86 (115)	⑩  前屈して腕を体の前でふる	30回
⑪四股上方プレス	M 2	9.6 (100)	11.2 (117)	13.9 (145)	99 (100)	100 (101)	111 (112)	⑪  足を開いてひざをまげ腕を上方へつきあげる	59回
①～⑪の平均 (おもりなし=100%)		100%	124%	140%	100%	107%	117%		

考 察

実験 1 で、回転アームが急停止したときに A 部に加わるひずみのピーク値は弾性おもりの方で小さい値を示した。これは、アームの先端 (おもり装着部) に加わる力のピーク値 (衝撃力) が剛体おもりの場合より小さかったことを意味している。すなわち、弾性おもりの場合、おもりが湾曲することで剛体おもりより長い時間をかけて、アーム全体の回転エネルギーを吸収したと考えら

れる。これにより、剛体おもりを保持した場合には制御できないほど速い速さの動きが、弾性おもりでは制御が可能になる場合もあることが示唆される。

一方、運動範囲およびテンポを規定した反復運動においては、A 部に加わるひずみのピーク値は弾性おもりの方が大きかった (図 4)。これはアームの反転に際して、アームの先端により大きな力が加わっていることを示している。この理由として、弾性おもりは、反転時に湾曲するために

実際の重心の移動距離がみかけより長いことが考えられる。すなわち、一定時間内に長い距離を移動するためには反転時により大きな力を必要とするからである。したがって、傷害防止の観点からも、反復運動に際しては弾性おもりの重さや柔軟度（湾曲のしやすさ）を考慮した独自の速さ（テンポ）が検討されるべきである。

弾性おもりを保持して、各種運動を実施すると、被検者、おもりの重さ、運動の種類によって程度の差はあるが、「ストレッチング」を除いて、酸素摂取量、心拍数ともに不保持の場合よりも高い値を示した。運動のフォームおよび速さは規定されていたので、これはおもりに加える分の力を筋が余計に収縮活動することによって供給したためと説明できる。とくに、Schuwartz⁶⁾の指摘にもあるようにおもりを手を持つことによって上半身の筋の活動がより高められたことが大きな原因の1つと考えられる。「ストレッチング」は静止動作の割合が多かったため、酸素摂取量と心拍数に他の種目でみられたような差が認められなかったと考えられる。

有酸素的作業能力を保持・増進させるために例えば歩行や走運動、水泳などの全身的な反復運動を実施することが有効な手段であることは広く指摘されてきた^{1,2,3,7)}。しかし、必要なエネルギー消費量を得るためには、運動の速さを遅くすると長い時間が、短い時間で達成しようとするると速い動きが必要とされる。これに対して、図5、7に示された結果から、おもりを保持して運動を実施すると、不保持のときと同じ速さ（テンポ）であれば、単位時間あたりのエネルギー消費量が大きくなり比較的短い時間で一定水準のエネルギー消費量を得ることが可能となる。また、不保持のときと同じ単位時間あたりのエネルギー消費量を得るためには、運動の速さ（テンポ）は遅くてよい。これは、速い速度の運動が危険となる場所的および人的条件（狭い場所を実施する場合や中高年令者が実施する場合等）において、必要な運動強度またはエネルギー消費量を確保するのに有効であろう。

今後、この弾性おもりが新しいトレーニング用

具として活用されるには、長さ、柔軟度、重さ、運動のテンポおよび形態等の条件を変えたときの力学的特性や、このおもりを保持した運動の、筋やフォームに与える影響等のより詳細な検討が必要であろう。

ま と め

弾性おもりを保持して、移動運動、ラジオ体操、基本の体操動作、ストレッチング、リズムにあわせた運動をすることが、身体にどのような影響を与えるかについて運動生理学的手法を用いて考察した。

その結果、次の事柄が見い出された。

1. 剛体おもりとの衝撃波形の比較によって、弾性おもりでは衝撃力のピーク値が小さく、力の加わる時間が長いことが明らかとなった。これによって、筋肉や腱、骨に対して、弾性おもりでの力の加わり方が急激でないことが示唆された。

2. おもりをもつての歩行では、おもりなしの歩行に比較して、心拍数は7-24%、酸素摂取量は10-28%増加した。

3. ジョギングでは、おもりを持った場合、心拍数は8%、酸素摂取量は18%増加した。おもりを持った速度110m/minのジョギングは、おもりなしの場合の速度137m/minの生理学的反応に相当した。

4. ラジオ体操第1では、おもりを持った場合、心拍数は4-8%、酸素摂取量は5-21%増加した。ラジオ体操第2では、おもりを持った場合、心拍数は8-11%、酸素摂取量は15%増加した。

5. 基本の体操動作11種目のうち8種目について比較すると、おもり1kg×2本で心拍数は7%、酸素摂取量は24%増加し、2kg×2本では心拍数は17%、酸素摂取量は40%増加した。

6. ストレッチングでは、おもり保持の効果は、心拍数・酸素摂取量の面からは見い出されなかった。

7. リズムにあわせた運動（リズム体操1, 2; ジャズダンス; 連続跳躍）では心拍数は16%増加し、酸素摂取量は4-27%増加した。

以上の結果から、弾性おもりを保持した運動は急激な衝撃を伴わずに、筋の活動をさかんにし、有酸素的運動効果を高めることに有効であることが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) Åstrand, P. O. and K. Rodahl : Textbook of Work Physiology. McGraw-Hill Book Company, 1970.
- 2) Karpovich, P. V. and W. E. Singing : Physiology of Muscular Activity. W. B. Saunders Company, 1971.
- 3) 小林寛道：日本人のエアロビック・パワー。杏林書院, 1982.
- 4) 黒田善雄編著：コーチのためのスポーツ医学, 大修館書店, 1981.
- 5) 松井秀治編著：コーチのためのトレーニングの科学, 大修館書店, 1981.
- 6) Schwartz, L. : Heavyhands the ultimate exercise, Little, Brown and Company, 1982.
- 7) 山地啓司：運動処方のための心拍数の科学. 大修館書店, 1981.

(昭和 60 年 1 月 28 日 受付)