

新しい「おもりウェア」の開発

名古屋大学 蛭田 秀一
(共同研究者) 同 島岡 みどり
同 鶴原 清志
同 小林 寛道

Development of New Weight Jacket

by

Shuichi Hiruta, Midori Shimaoka,
Kiyoshi Tsuruhara and Kando Kobayashi
Nagoya University

ABSTRACT

A new weight-jacket (Weight-Sleeves) was developed for the purpose of increasing intensity of exercise. The Weight-Sleeves was a jacket with short sleeves. As extra weight, flexible weight materials (intertwined lead fibers) were sewed over parts of chests, shoulders and upper arms.

Effects of wearing Weight-Sleeves were examined and compared with traditional weight loads such as weight-vest or weight-band. In order to evaluate intensity of the whole body exercise, oxygen consumption during 10 different exercises was measured under 3 conditions; (1) unloaded, (2) wearing Weight-Sleeves (2kg), (3) wearing weight-vest (2kg). Velocity of the upper limb in horizontal extension was measured with Weight-Sleeves or weight-band of different weight to test the effects of weight on velocity in motion. Reaction force caused by Weight-Sleeves or weight-band during rotation around the long axis of the upper limb was also examined by use of accelerometer stucked on weight load.

The results were as follows:

(1) In exercise mainly using the lower limbs, the rate of increase in oxygen consumption was 5—15% both in wearing Weight-Sleeves and in wearing weight-vest. In exercise concentrating on the upper limbs and/or the trunk, however, the incremental rate of oxygen consumption in wear-

ing Weight-Sleeves showed 8—28% and was larger than in wearing weight-vest by 5—15%.

(2) Winding weight-band around the wrist caused agility of the upper limb to decrease greatly according to increase in weight. As for Weight-Sleeves, however, wearing one-sided sleeve of less than 2kg did not diminished so much agility of the upper limb.

(3) In wearing Weight-Sleeves, reaction force of twist motion of the upper limbs was smaller than in putting on weight-band because of the sleeve structure of Weight-Sleeves.

From these results, it was suggested that wearing Weight-Sleeves could increase intensity of the whole body exercise without any serious restriction of movement of the upper limbs. Therefore, by use of Weight-Sleeves in ordinary skill practice, training effects on aerobic power and muscle strength could be expected as well as skill improvement.

要 旨

練習中における全身の運動強度を高める目的で、新しいウェイトジャケット（ウェイトスリーブ）を開発した。ウェイトスリーブは半袖のジャケットで、その胸、肩、上腕部に柔軟性を有するおもり（からみ合わせた繊維状の鉛）が縫いつけられている。

ウェイトスリーブを着用することによる効果を従来の装着用重量物（ウェイトベストまたはウェイトバンド）と比較した。まず、全身の運動強度を評価するために、10種目の運動についてそれぞれ次の3条件における酸素摂取量を測定した。(1) 無負荷、(2) ウェイトスリーブ(2kg)着用、(3) ウェイトベスト(2kg)着用。次に、動作速度に及ぼす装着重量の影響を調べるために、異なる重量条件でウェイトスリーブ着用時またはウェイトバンド装着時の上肢水平伸度速度を測定した。さらに、上肢長軸回転動作時に、装着したウェイトスリーブまたはウェイトバンドが上肢に及ぼす力をおもりにつけた加速度計によって調べた。

結果は次のとおりであった。

(1) 下肢を主とする運動においては、ウェイトスリーブもウェイトバンドもその着用による酸素摂取量の増加率は5～15%でほぼ同等であった。それに対し、上肢または体幹を主とする運動においては、ウェイトスリーブ着用による酸素摂取量の増加率は8～28%を示し、ウェイトベスト着用による増加率より5～15%大きい値を示した。

(2) 手首に装着したウェイトバンドは、数百グラムでも上肢の動作速度を大きく低下させたのに対し、ウェイトスリーブは片袖2kgまでの着用であれば上肢の敏捷性をあまり低下させなかった。

(3) ウェイトスリーブは袖構造をしているために巻きつけ式のウェイトバンドに比べ上肢をねじる力が小さかった。

以上の結果から、ウェイトスリーブを着用することによって上肢の動作があまり制約を受けずに全身の運動強度を高められることが示唆された。したがって、通常のスキル練習にウェイトスリーブを利用すれば、技術の向上とともに有酸素性パワーや筋力に対するトレーニング効果を期待することができる。

はじめに

巧緻性（スキル）の向上を目的とする練習においては、用いる練習方法によって決定される運動強度水準で運動が実施される。しかし、実際の競技やゲームにおいては、競技レベルが高ければ高いほど、高い運動強度水準で発揮されるスキルが重要となってくる。したがって、スキルの向上を目的とした練習中においても、その運動強度水準を高めておくことは必要なことであろう。

運動強度を高めるためには、動作に関与する筋（群）に負荷をかけなければならない。負荷のかけ方には大きく分けて2つの方法がある。1つは身体に抵抗力をかける方法、もう1つは動作をよりすばやくする方法である。しかし、スキル向上を目的とした練習においては、動作を最大速度で、あるいは最大速度でなくともある特定のすばやさで行うことに意味がある場合が非常に多く、これらの場合、後者の方法をとることはできない。したがって、これらの場合、抵抗力をかける方法を用いることになるが、その際、スキル練習に支障をきたすほど身体が拘束されたり、動作が制限されることは避けなければならない。

抵抗力を利用して簡便に運動強度を高める方法の1つに、身体に重量物（おもり）を負荷として装着する方法がある。この方法は、適切な重量を適切な部位に装着すれば、おもりによって動作が大きく拘束されることなく練習を実施でき、あわせて全身的な運動負荷強度を増加させられるという長所をもつ。

従来、このような目的で用いられてきたおもりのうち代表的なものに、腰のまわりにおもりを装着するチョッキ型のウェイトベスト（別名ウェイトジャケット）と上肢または下肢におもりを巻きつけるウェイトバンドの2つがある（写真1）。

ウェイトベストは、それを着用することによって、装着したおもりより下に位置する下肢の運動

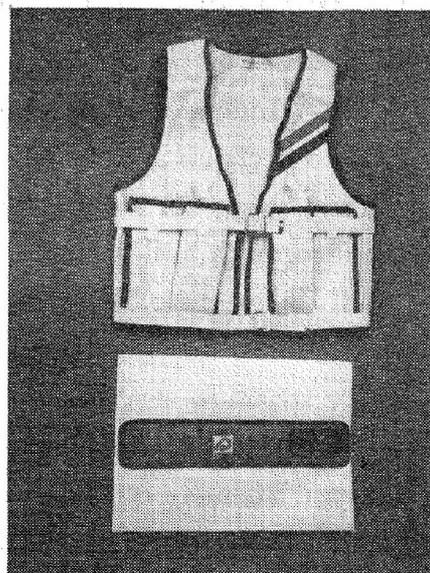


写真1 ウェイトベスト（上）と
ウェイトバンド（下）

に対して負荷をかけることができる。しかし、おもりより上に位置する上肢や体幹の運動にはあまり負荷にはならない。

ウェイトバンドは、主に手首や足首に装着するので、上肢または下肢の比較的小さな筋群に負荷をかけるのに適している。しかし、全身的にバランスのとれた負荷（大筋群には大きな負荷、小筋群には小さな負荷）をかけるのには適さない。その例は、ウェイトバンドを手首に装着する場合に、体幹や下肢の大筋群に大きな負荷をかけようとして負荷重量を大きくすると、上肢の小筋群には負荷が大きくなりすぎて動作が制限されてしまうことなどにみられる。このようにウェイトベスト、ウェイトバンドともに一長一短であるために、有効な使い方となると特定の部位の特定の動作練習に限定され、より全身的でより多様な動きの練習中に使用するには不適當であった。

以上のことから、全身的にバランスのとれた重量負荷のかけ方をすれば、全身的で多様な動きの練習においても動作をあまり制限せずに全身的な運動強度を高めることができると予想される。そのためには人体における質量分布の先ほそりの原則を考慮し、四肢においては体幹側には大きな質

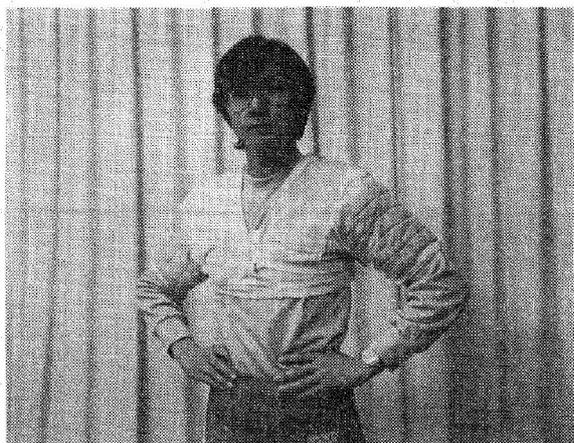
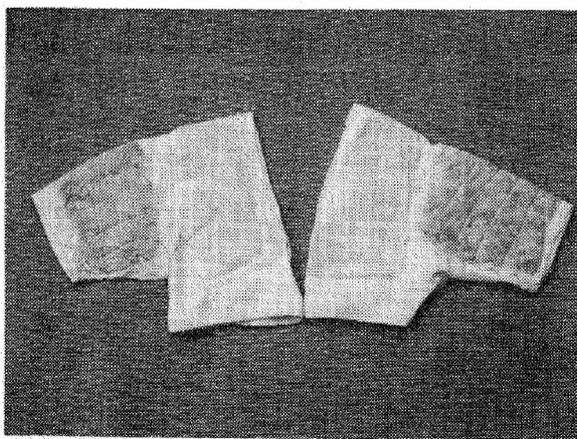


写真2 新しく開発されたウェイトスリーブ(上).
下は装着したところ. 袖, 肩, 胸の部分に
繊維状の鉛がつまっている.

量を, 末端に行くほど小さな質量を装着することが理想的であると考えられる.

そこでわれわれは, その第一歩として上肢と体幹の接合部, すなわち, 胸部, 肩, 上腕にわたっておもりを装着させるための新しい「おもりウェア」(仮にウェイトスリーブと呼ぶ)を考案した(写真2). このウェイトスリーブのおもりの分布は, おもり装着部位より下に位置する胸, 腰, 下肢の運動と肩の運動の両方に対して負荷をかけることをねらいとしている.

本研究は, 次の3つの実験からなる.

実験1: この実験の目的は, ウェイトスリーブを着用することによって, どのような運動においてどの程度の運動強度の増加が見込めるかを調べることである. そのために, ウェイトスリーブを着用して10種目の運動を実施した際の無負荷時に

対するエネルギー消費量の増加率を, ウェイトベスト着用時の増加率と比較する.

実験2: この実験の目的は, ウェイトスリーブ着用時の, 上肢に対する動作の制約の程度を評価することである. そのために, ウェイトスリーブの重量を増した時の上肢伸展動作にみられる動作速度の低下を, ウェイトバンドを手首に装着した場合と比較する.

実験3: この実験の目的は, ウェイトスリーブ着用時, 袖が上腕に対して加えるねじりの力を評価することである. そのために, 上肢長軸まわりの回転動作に伴うおもりの加速度変化をウェイトバンド装着時と比較する.

本研究の目的は, これらの実験を行うことにより, 練習に使用する際のウェイトスリーブの有効性を検討することであった.

方 法

1. 使用したおもり

① ウェイトスリーブ

ウェイトスリーブのおもりには, 日本健商社製のウェイトバンド(商品名「ランニングエルボー」)に使用されている「鉛せんい」を用いた。「鉛せんい」は, 細い繊維状の鉛を通常綿状にからみあわせて使用される. このため非常に柔軟性に富み, 運動時でも装着部位にフィットしやすい特徴をもつ. その「鉛せんい」を不織布で包み, おもりが偏らないように, 縦, 横 3cm の格子状に縫って厚さ約 4mm の「おもりキルト」を作った. 写真2 で示すように, 「おもりキルト」を肩あて用 サポーター (D & M 社製) の袖の部分と肩・胸部分に縫いつけた. これを左右1組つくり, 「ウェイトスリーブ」とした.

② ウェイトベスト

ウェイトベストは日本健商社製で, デニム地で作られたチョッキ型をしている. 着用時に腰のまわりにおもりを装着できるようにポケットがつい

ている。

③ ウェイトバンド

ウェイトバンドは、日本健商社製で鉛せんいを人工皮で包んだ幅 7cm, 厚さ約 5mm のバンドである。長さは、重量に応じて調整した(写真 1)。

2. 実験 1 ; 酸素摂取量からみた全身運動に対する負荷効果

3名の被検者(表 1)に表 2 に示す 10 種目の運動を無負荷, ウェイトベスト着用 (2kg), ウェイ

表 1 被 検 者

被検者	性別	年齢	身長	体重
M 1	男	26	170	58
M 2	男	29	168	68
F 1	女	36	155	53

トスリーブ (2kg) 着用の 3 条件で 1 人 1 種目以上実施させ, その間の心拍数と酸素摂取量を測定した。

運動中の酸素摂取量は, ダグラスバック法により採取された呼気ガス中の O₂ および CO₂ 濃度

表 2 条件別にみた酸素摂取量

運動種目	被検者	酸素摂取量 (l・min ⁻¹)			速さ・テンポ	備 考 (運動時間等)
		無負荷	ウェイト ベスト 2kg	ウェイト スリーブ 2kg		
ランニング	M 1	2.41	2.52 (4.1)	2.57 (6.6)	175m/分	トレッドミル使用。 開始後 8~10 分の 2 分間採気。
	M 2	2.64	2.74 (3.8)	2.74 (3.8)	160m/分	
両足ジャンプ	F 1	1.21	1.34 (11.0)	1.35 (11.7)	60回/分	1 分間。 高さ 10cm の台に連続上がり下り。
踏台昇降運動	F 1	1.05	1.13 (7.0)	1.20 (13.5)	25回/分	2 分間。 高さ 35cm の台を使用。
ラジオ第 1 体操	M 1	0.85	0.82 (-3.5)	0.96 (12.9)		2 分 50 秒間
	M 2	1.19	1.28 (7.6)	1.32 (11.0)		
	F 1	0.76	0.82 (7.9)	0.84 (10.5)		
胸腰部回旋	M 1	1.12	1.15 (2.3)	1.21 (7.8)	100回/分	2 分間。左右交互。
上肢前方挙上	F 1	0.51	0.52 (2.1)	0.58 (14.1)	50回/分	2 分間。 肘伸展位肩関節 0°↔180° 屈伸
胸腰部前屈	F 1	0.67	0.80 (18.4)	0.86 (27.6)	35回/分	1 分間。直立位↔前屈の連続。
バレーボール	M 1	1.00	1.05 (5.0)	1.14 (14.0)	50回/分	2 分間。立位姿勢でスパイク動作 (素振り)。
バドミントン	M 1	1.87	1.93 (3.2)	2.19 (17.1)	50回/分	2 分間。スマッシュ動作 (素振り)。
テニス	M 2	1.21	1.21 (0)	1.26 (4.1)	35回/分	2 分間。フォアハンドストローク動作 (素振り)。
	F 1	0.77	0.76 (-1.0)	0.96 (24.8)	50回/分	1 分 15 秒間。フォアハンドストローク動作 (素振り)。

() 内の値は, 無負荷時の値を 100 とした場合の増加率 (%)。特にことわらない限り運動時間と採気時間は同じ。

を O₂ 分析器（モーガン社製）および CO₂ 分析器（コダルト社製）でそれぞれ分析し算出した。被検者には、鏡やメトロノームを用いることによって各条件で同じ動作になるように指示した。同一被検者が連続した複数の試行を行う場合は、心拍数が安静時の水準に戻るまで試行間に休息を入れた。

3. 実験 2 ; 装着重量を変えたときの 上肢伸展運動に対する負荷の影響

被検者 F1 に以下に示す装着重量を変えた条件で右上肢の水平伸展動作（肘の伸展をともなった肩の水平伸展）を行わせた。(1) 無負荷, (2) ウェイトスリーブ装着 (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0kg), (3) ウェイトバンドを手首に装着 (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0kg)。

動作（図 3 参照）は、座位姿勢で行った。被検者は、左肩斜め左前方のマイクロスイッチ（図の黒三角印）に右手人差し指をあて、右上肢を静止させた状態（破線で示す）から右斜め前方の目標地点（図の星印）の上を手が最高スピードで通過するように指示された。

セルスポットシステム（セルコム社）により、上肢の動作水平面より 1.93m 上のカメラから発光ダイオード（LED）をつけた右の肩、肘、手首、中指の座標を 3.2 ミリ秒ごとに検出した。座標とり込みはマイクロスイッチから指が離れることで開始した。得られた座標から肘と手首の速度を算出した。また動作の開始を決定するために右三角筋の双極表面筋電図を記録し、筋放電開始時刻をもって動作開始時刻とした。手が目標に達するまでの時間を決定するために目標地点に LED を固定し、筋放電開始時から目標地点の LED を手がさえるまでの時間を求めた。

4. 実験 3 ; 上肢長軸まわりの運動に対する負荷の影響

被検者 M1 に ウェイトスリーブ (1kg) と ウェイトバンド (0.3kg) を右上肢に装着させ、図 1

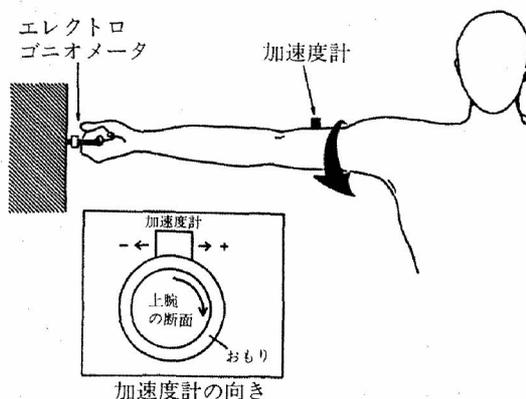


図 1 上肢の長軸まわりの回転（前腕の回内を伴った肩関節の内旋）。加速度計は回転の進行方向の加速が正の値をとるように上腕のおもり上に接着した。

の姿勢から最大努力で上肢の長軸まわりの回転動作（前腕の回内を伴った肩の内旋）を行わせた。

ウェイトバンドは上腕に装着した。

加速度計（共和電業社製 AS-10B）を肘から 8 cm 肩よりの ウェイトスリーブの袖またはウェイトバンド上に接着し上腕表面上のおもりの回転方向の加速度を測定した。同時に壁に取り付けたハンドル式のエレクトロゴニオメータを握ることによって、上肢の長軸まわりの回転運動をモニターした（図 1）。この時、手首がぐらつかないようにガムテープを手首にまきつけた。

結 果

実験 1

表 2 に各運動、各条件別の酸素摂取量を示した。図 2 は、横軸に無負荷時に対するウェイトベスト着用時の酸素摂取量の増加率を、縦軸に無負荷時に対するウェイトスリーブ着用時の酸素摂取量の増加率をとり、表 2 の各運動種目の値をプロットしたものである。複数の被検者が実施した種目は、増加率の平均値をプロットした。なお斜めの破線は、ウェイトスリーブの増加率とウェイトベストの増加率の差を示すもので 5% 差ごとにひいた。

ウェイトベスト着用時の増加率が 5% を越えた

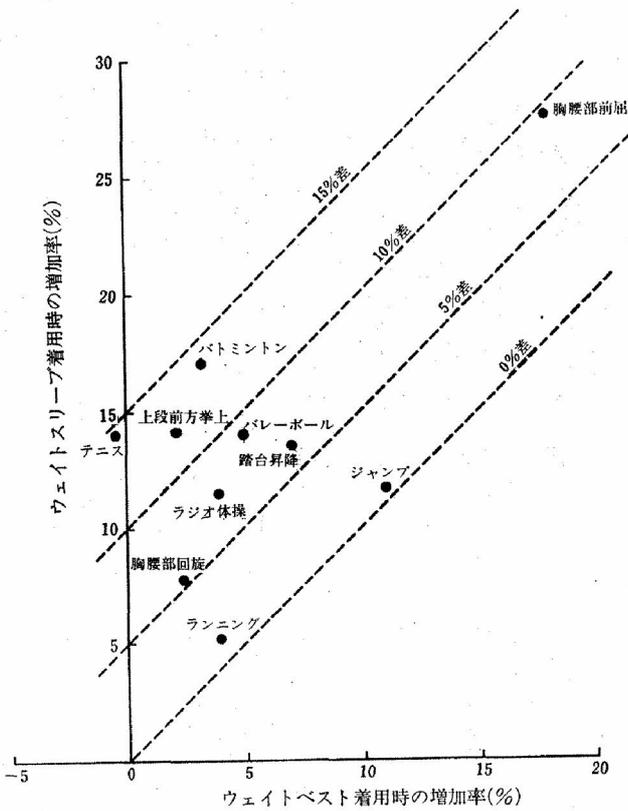


図2 無負荷時に対する酸素摂取量の増加率。破線はウエイトスリーブ着用時とウエイトベスト着用時の増加率の差を5%差ごとに表示している。詳しい動作内容については表2の備考を見よ。

種目は、胸腰部前屈（増加率18.4%）、ジャンプ（11.0%）、踏台昇降運動（7.0%）であった。しかし、残りの7種目の増加率は、5%以下であった。

一方、ウエイトスリーブ着用時では、ウエイトベスト着用時の増加率が5%を越えた3種目について、同等かそれ以上の増加率を示した。また、ウエイトベストで5%以下の増加率であった7種目に対しても5~17%の増加率を示した。

実験2

図3は、無負荷、ウエイトバンド(1kg)を手首に装着、ウエイトスリーブ(1kg)着用の各条件における上肢の水平伸展動作中のスティックピクチャーを示したものである。数字は、筋放電開始からの時間を3.2ミリ秒を単位として示している。ウエイトバンド装着時は、隣りあったスティックピクチャーの間隔が狭いことから他の2条件に

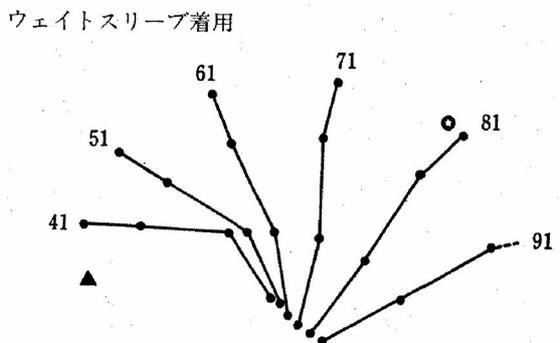
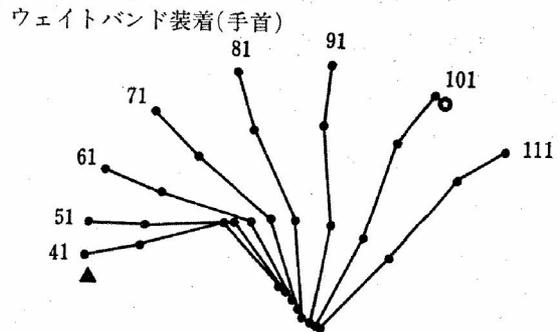
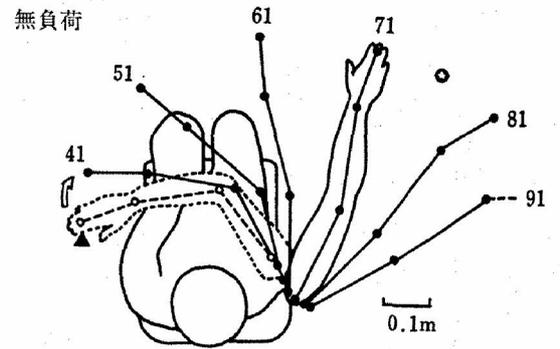


図3 同一被検者における上肢水平伸展動作のパターンの違い。▲印のマイクロスイッチから手が離れると座標の取り込みが開始される。数字は三角筋の筋放電開始からの時間(×3.2ミリ秒)を示す。被検者は、星印の目標に向かって最大努力で動作を行った。装着重量は1kg。

比べて動作が遅いことが示された。それに対してウエイトスリーブは、無負荷時により近い動作パターンを示した。図4に筋放電開始から手が目標点上を通過するまでの時間を示した。ウエイトバンド装着時では、重量が増すにしたがって目標までの到達時間もほぼ直線的に増大したのに対し、ウエイトスリーブ着用時では、重量が増しても目標までの到達時間は、無負荷時とあまり変わらなかった。図5に装着重量と肘および手首の最大速度の関係を示した。どちらも重量が増すと最大速

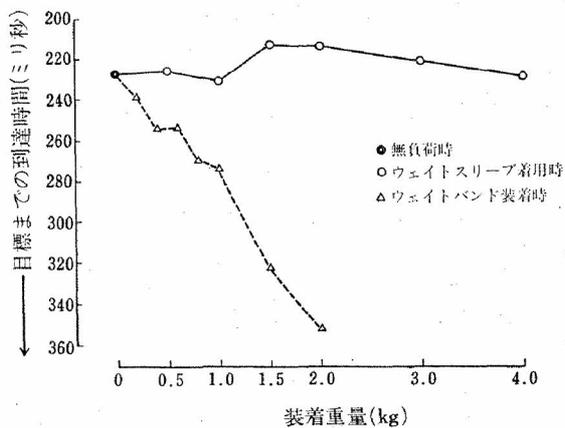


図4 上肢水平伸展動作における装着重量と目標までの到達時間の関係。ウェイトバンドは手首に装着している。

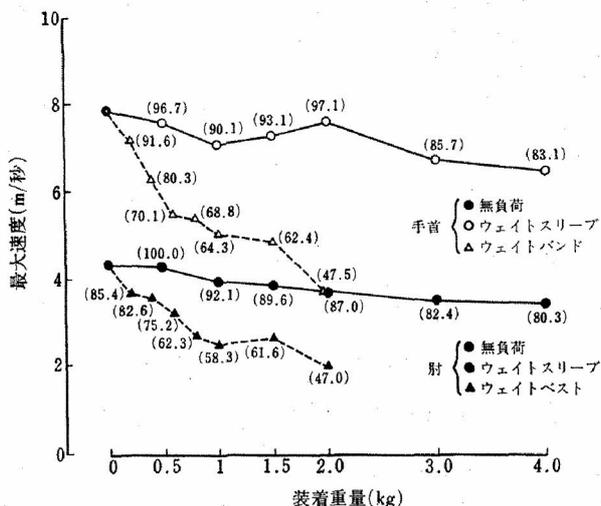


図5 上肢水平伸展動作における装着重量と最大速度(手首および肘)の関係。ウェイトバンドは手首に装着している。()内は無負荷時の値を100としたときの指数を示す。

度は小さくなる傾向を示したが、ウェイトバンド装着時の方が最大速度の低下率が大きかった。すなわち、ウェイトスリーブ着用時の手首の最大速度は、2kgまでは無負荷時の10%程度の低下に止どまったが、ウェイトバンド装着時は、0.4kgですでに20%の低下を示した。

実験3

図6に上肢長軸まわりの回転運動における上腕表面上のおもりの加速度変化(図下)をゴニオグラム(図上)とともに示した。運動開始前と停止後で基線がずれているが、これは加速度計の向きが変わることによる影響であった。

ウェイトバンドでは、上肢の運動開始直後と停止直後に正及び負の大きな加速度のピーク(それぞれ約2G)が出現した。その後、矢印で示した比較的大きな(約0.8G)正方向のピーク値を持った加速度の動揺がみられた。ウェイトスリーブでは、運動中、運動停止後とも加速度変化は、小さく、最大0.5G程度であった。また運動停止後の加速度の動揺は、ウェイトバンドより早く消失した。

考 察

ウェイトスリーブの運動強度増加効果

動きの大きさと速さ(反復のテンポ)を規定し

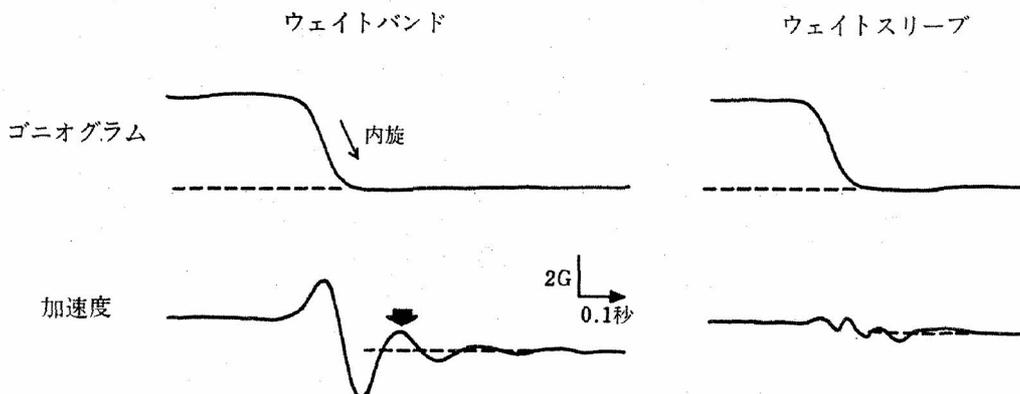


図6 ウェイトスリーブの袖の効果。ウェイトバンドを上腕に巻きつけた条件(左)で、上肢の長軸回転(図1)停止後に見られる加速度の動揺がウェイトスリーブ(右)では小さく、短時間で消失する。

た運動において、等しい重量のウェイトベスト着用とウェイトスリーブ着用とで、無負荷に対する酸素摂取量の増加率に種目の違いに応じた差がみられた(図2)。このことから、おもりの装着部位の違いによって、負荷のかかり方が違うこと、またその違いの程度は、運動の種類によって異なることが考えられる。

一般に、運動中の身体各部は、図7に示すように、静止、加速、減速、静止(あるいは、加速、減速)を繰り返している。静止から次の静止までの時間、あるいは繰り返しの時間が等しい場合、その間に動いた距離が長い部分ほど、一般に加速、減速の割合が大きい。この場合、同じ重量のおもりであれば、速度変化が大きい(したがって動き自体も大きい)部位に装着されたおもりほど、運動エネルギーの変化も大きい。このおもりの運動エネルギーの変化分が身体がおもりに対してした仕事とみなせるので、結局、動きの大きい部位に装着されたおもりは、動きの小さい部位に装着されたおもりに比べて身体に大きな負荷をかけていることになる。このような理由から、同じ重量のおもりを装着した場合の無負荷に対する酸素摂取量の増加率の大小は、おもりを装着した部位の動作の大小に対応すると考えられる。

ウェイトベストでは、おもりの装着部位が腰のまわりだったため、無負荷に対する酸素摂取量の増加率が大きかった種目は、ジャンプ、踏台昇降

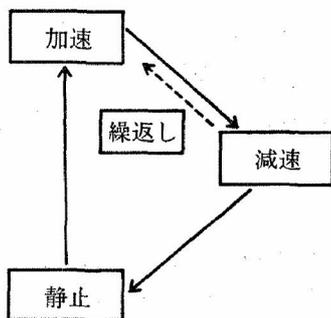


図7 身体各部の動作パターン。静止→加速→減速→静止(一部は減速から再び加速へ)を繰り返している。

運動のように腰の上下動が比較的大きい運動や、胸腰部前屈のように股関節を中心とした腰の屈伸運動に限られた。他の7種目については、腰の動きが比較的小さい動作であったために、酸素摂取量の増加率が低かったと考えられる。

一方、ウェイトスリーブでは、ウェイトベストで酸素摂取量の増加率が高かった3種目に加えて、上肢の素振り(テニス・バドミントン・バレーボール)や肩関節の屈伸、ラジオ体操(3分間に延べ116回の上肢の上げおろしが行われた)、胸腰部のひねりといった、おもりの装着部位である上肢や体幹を動かす運動においても酸素摂取量の増加率は比較的高い値を示した。

スポーツ種目ではないが、Bobet と Norman¹⁾ は、同じ重さの重量物(19.5kg)を肩の高さまたは背部中央に背負って歩行したときの脊柱起立筋の筋電図を測定したところ肩の高さの方が起立筋の活動が有意に大きかったと報告している。すなわち体幹においてはおもりの位置が高い方が上体の姿勢コントロールに対する体幹の関係筋群に余計に負荷がかかっているといえよう。Bobet と Norman の研究結果を本研究にも適用すれば、おもりを装着した時の酸素摂取量の無負荷に対する増加は、おもり装着部を動かす筋群に対する負荷増が原因であると考えられる。速さと大きさが規定された動作におけるこの負荷増は、トレーニングの原則に照らせば、筋力や筋持久力に対するトレーニング効果を期待できるトレーニング刺激にもなることが十分予想される。

以上のことから、ウェイトスリーブは、それを着用することでウェイトベスト着用では難しかった上肢、体幹、下肢を含むより全身的で多様な運動に対して運動強度を高めるのに有用であると考えられる。

ウェイトスリーブの装着重量と動作のすばやさとの関係

① 全身運動

実験1の結果から、速度変化が大きな部位に負荷重量を装着すれば、運動強度を増せることが示された。しかし、一般に、ある部位にかかる力（負荷重量）が増すとその部位の速さは低下する³⁾という事実のために、重すぎる負荷は動作のすばやさをそこなうおそれがある。

重量負荷と全身反応時間との関係については戸茱ら⁴⁾の研究があるが、彼らは筋放電開始時間と反応開始時間について、肩に背負った負荷の増量(0~120kg)による時間の延長はみられなかったと報告している。また春山ら²⁾は、反復横跳におよぼす重量負荷の影響を研究したが、6kg(体重の約10%)を背負った場合でも無負荷時より記録の低下はみられなかったと報告している。

これらの報告によれば、重量負荷を肩または背部に装着する場合、6kg程度までは全身的な敏捷性をそこなうことなく動作を行えると考えられる。したがって、ウェイトスリーブの場合も6kg程度までは練習中に使用したとしても全身的な敏捷性に関する限り支障はないものと推測される。

② 上肢の運動

ウェイトスリーブ着用時は、肩や上腕におもりが分布している。したがって、その重量を重くしていった時、それが上肢の運動のすばやさにとどの程度影響するかを知ることは重要である。なぜなら、上肢のすばやかさは多くの種目において、スキルを構成する最も重要な要素の1つであると考えられるからである。

図4と図5において、ウェイトバンド装着時には装着重量がわずかに増しただけでも、目標までの到達時間は長くなり、手首と肘の最大速度は大きく低下した。これは、次のように説明できるだろう。① 上肢の末端に位置する手首におもりを装着したことで肘および肩まわりの慣性モーメントが大きくなる。② 慣性モーメントが大きくなると無負荷と同じ角加速度で上肢を動かすには、慣性モーメントの増加分に応じて肘および肩関節

の発揮すべきトルクを大きくしなければならない。しかし、肘および肩関節が発揮できるトルクには限界があるので、最大努力の運動の場合には、トルクを大きくできず、結果として角加速度は小さくなる。③ 角加速度が小さいと、肘および手首の速度の増加が抑えられてしまい最大速度が低下する。④ 速度が遅くなるために、目標までの到達時間が遅れる。これらのことは、ボール投においてもみられ、この場合ボールの重量が増すにしたがって最終的にはボールの投射速度が遅くなる⁵⁾。

一方、ウェイトスリーブ着用時のように、上肢でも体幹に近い部位に負荷重量がある場合、無負荷に対する肩関節まわりの上腕の慣性モーメントの増加分は比較的小さく、さらに肘関節まわりの前腕と手の慣性モーメントは無負荷時と同じである。このため、装着重量が増しても、肘や手首の最大速度の低下は小さかったと説明される。これらのことは、伸展動作だけでなく上肢の他の運動に対しても共通に適用できる。

ウェイトスリーブは、2kg(左右では4kg)程度までの装着であれば、上肢のすばやさをあまりそこなうことなく運動ができることが示された。したがって、この程度までの装着重量であれば、上肢の動作に関するタイミングのずれやパフォーマンスの低下などの心配をあまりせずに通常の練習を行うことができると考えられる。

ウェイトスリーブの袖の効果

上肢に重量を装着させる方法には、ウェイトバンドのような巻きつけ式とウェイトスリーブのような袖式とが考えられる。

ウェイトバンドは、図6に示したように上肢の長軸まわりの回転に対し、動きはじめと停止直後に比較的大きな加速度のピークを生じる。これは、おもりに自体が皮膚に巻きついて密着しているために腕といっしょに回転するからである。回転停止後に観察される加速度の動揺は、上腕の弾性

組織とおもりの慣性によるおもりの振動の存在を示すものである。この加速度におもりの質量を乗じたものが、腕をねじる力となるので、運動後上腕は、振動するねじれの力を受けることになる。もし、この振動する力の振幅が大きくなれば、動作に支障をきたすことは十分考えられることである。

ウェイトスリーブにおいて、基線の移動と加速度の動揺がウェイトバンドより小さいことは、腕が回転しても、おもりは摩擦によって若干動く程度であったことを示していると思われる。これは、おもりが肩から布つづきの袖構造をしていることの特徴を示しているといえよう。このために、ウェイトバンドでみられた振動するねじれの力は小さく、動作に及ぼす影響も小さいと考えられる。

以上のことから、上肢や体幹の動きを伴った全身運動において 4~6kg 程度までのウェイトスリーブを着用すれば、上肢や全身の敏捷性があまり損われることなく運動強度を高められることが示唆された。したがって、従来の装着重量物では全身的にバランスのとれた負荷をかけることが難し

かった、全身的で多様な動作を必要とする種目（たとえば球技やラケットスポーツなど）においてウェイトスリーブを利用すれば、通常の練習方法を用いながらも、技術の向上に加えて有酸素性パワーや筋力に対するトレーニング効果が期待できるだろう。

本報告書の作成にあたって、名古屋大学総合保健体育科学センターの池上康男先生にご協力いただきました。深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) Bobet and Norman; Effects of load placement on back muscle activity in load carriage, *Eur. J. Appl. Physiol.* 71-75 (1984)
- 2) 春山国広ら; 急速反復動作の研究, 体育学研究, 14(5): 155 (1970)
- 3) 金子公宥; 「人体筋のダイナミクス」, 杏林書院 (1974)
- 4) 戸蒔晴彦ら; パワーの発揮をとまなう運動と反応時間について, 東京大学教養学部体育学紀要, 7: 61-67 (1973)
- 5) Toyoshima and Miyashita; Force-velocity relation in throwing, *Research Quarterly*, 44: 86-95 (1973)