

ゴム運動とダンベル運動の違いについて

池田 充宏¹⁾ 佐藤 修康²⁾ 澤村 省逸³⁾

A study of the difference between rubber exercise and dumbbell exercise

Mituhiko IKEDA Nobuyasu SATOU Shoitu SAWAMURA

要旨：近年、欧米では筋力の低下から来る日常生活への不適応を防ぐために、重量物等を使用した筋力強化運動が盛んに行われるようになってきた。中でも、ダンベル等の重量物を用いて行うアイソトニック・トレーニングは、トレーニングの目標を重さや回数を用いて具体的に決めやすく、手軽に実施できる利点がある。このような観点から、最近ダンベルを使った運動が手軽に出来る運動として、中高年を中心に盛んに行われ始めている。

しかし、ダンベル運動実践者の中から重量、回数、頻度等の過負荷からくる関節及び筋肉等の運動器の障害が多く見られるようになった。この問題を解決するために、伸縮性の高いゴムバンドを使った運動が行われるようになってきた。

そこで、本研究においてはダンベルを使った運動とゴムバンドを使った運動が生体にどのような影響を及ぼすかについて、力学的に解析することで両運動の特性を明らかにすることとした。

その結果、力学モデルによる比較においてダンベル運動には激力と呼ばれる筋及び関節を傷害する大きな力が作用することが明らかとなった。また、力学モデルに条件を指定して検討した結果からも同様の結果を得た。

従って、筋及び関節への過負荷を防ぎ、運動効果を期待するためにはダンベル等の重量物を使用した運動よりゴムを使用した運動が初心者や中高年には有効であると思われる。

キーワード：ゴム、ダンベル、運動、筋、過負荷

Summary: The purpose of this study is to investigate the difference between rubber exercise and dumbbell exercise by mechanical method. Because injured person is increasing to exercise using dumbbell. Otherwise, in U.S.A. exercise using rubber is popular among older person. It is important that older person is to train their muscle strength, because weakening their muscle strength to lose their ability of adapting daily life. But it is necessary to keep their safety.

The result of our investigation is as follows; (1) Exercise of using dumbbell have a risk of injuring their body muscles. (2) Exercise of using rubber give their body muscles safety benefits. (3) Exercise of using rubber take a safety motor prescription.

【目 的】

近年、成人病の予防、改善を目的として様々な運動が行われるようになった。その中心は、ジョギングからウォーキングに移行している。しかし、運動の習慣化は難しく、高齢化に伴う成人病の予防、改善や健康作りに大きな隘路となっている。一方、欧米では筋力の低下から来る日常生活への不適応を防ぐために、重量物等を使用したウェイト・トレーニングと呼ばれる筋力強化運動が盛ん

に行われるようになってきた。

一般に、ウェイト・トレーニングは、バーベルやダンベルといった重量物あるいは自分の体重を利用して行う筋肉トレーニングのことである。一般的に筋力トレーニングは筋肉の収縮の仕方の違いに基づき、等尺性（アイソメトリック）トレーニング、等張性（アイソトニック）トレーニング、等速性（アイソキネティック）トレーニングの3種類に分けられている。

中でも、ダンベル等の重量物も用いて行うアイソトニック・トレーニングは、通常は重量物や自分の体重を利用して、それらを動かすことがトレーニングとなるので、トレーニングの目標を重

1) 日本赤十字秋田短期大学教授 2) ASLI
3) 岩手大学

さや回数を用いて具体的に決めやすい。したがって動機づけがしやすい。

このような観点から、最近ダンベルを使った体操が手軽に出来る運動として、中高年を中心に盛んに行われ始めている。

しかし、アイソトニック・トレーニングはいくつかの筋肉あるいは関節が共同して働くので、その中で一番弱い筋肉あるいは関節によって、動かすことのできる重さが制限されてしまうという特性があり、ダンベル運動実践者の中から重量、回数、頻度等の過負荷からくる関節及び筋肉等の運動器の障害が多く見られるようになった。この問題を解決するために、伸縮性の高いゴムバンドを使った運動が行われるようになってきた。

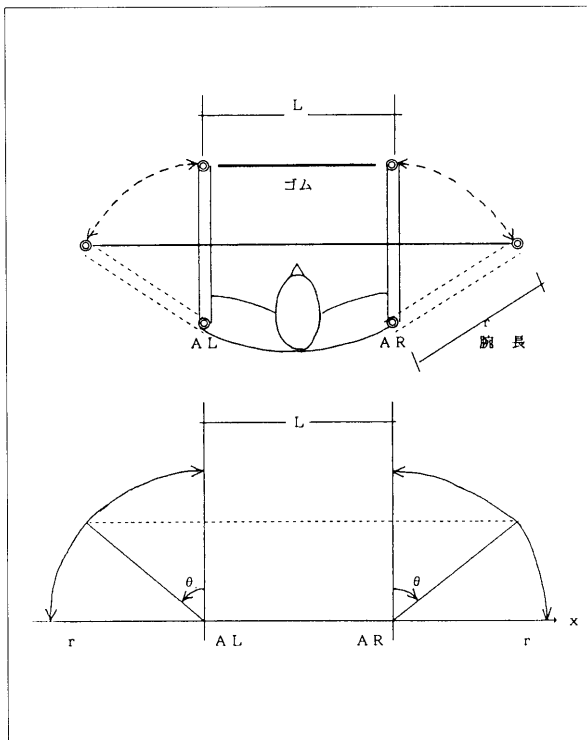
そこで、今回、ダンベルを使った運動とゴムバンドを使った運動が生体にどのような影響を及ぼすかについて、モデルを用い、力学的に解析することで両運動の特性を明らかにすることを目的として、本研究を行った。

【方法】

1. 本研究で用いる動作のモデルについて

動作をシンプルにするために、図1に示したような動作をモデルとして用いることとした。

図1 本研究における運動を上から見たモデル図



この動作は両上肢を前方に肩関節の高さまで挙上し、その状態から上肢を水平に90度移動させ、その後、元の位置に戻すようにする。

このモデルにおける上肢長72cm及び肩関節間の距離37cmは、25歳の女性の平均サイズを用いた。

2. 負荷条件

本研究における負荷は、

- (1) ダンベル
- (2) ゴムバンド

を用いて行うこととした。

【結果及び考察】

I. 力学モデルによる比較

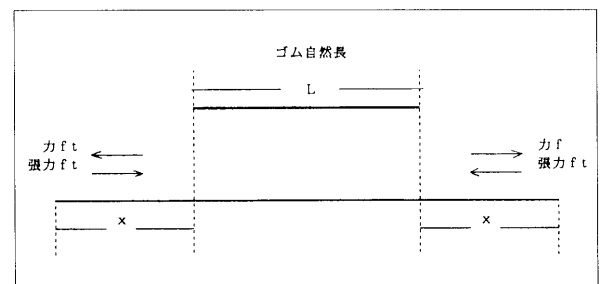
1. ゴムを用いた運動について

(1) ゴム運動における力に対する考察

図1を参照してゴムの伸展運動における各種の力を考えると、この運動は腕のつけ根を軸中心(AL, AR)とした回転運動であることがわかる。

上肢を伸展し、ゴムをつかみ腕を回転させれば回転力 f_r (r:rotation)と腕を伸ばしておく力 f_k (k:keeping)とにより、ゴムは伸ばされ、ゴムに張力 f_t (t:tension)が発生する。この時、生起した f_t に対応する為にゴムを握る握力 f_h (h:hand)の増加が必要となり、同時に f_k の増加も必要となる。この f_h と f_k の両力を確保して、ゴム張力の半回転方向の成分 f_{to} (添字oは半回転方向を意味する)に更に逆らって回転力 f_r を増加してゆけば、ゴムの伸展運動は継続されてゆく。

図2 ゴムの張力 f_t の表示図



次に所定の位置に達したら、腕を伸ばしたまま、腕の回転を停止させ、ゴムを伸ばしたまま姿勢を保持する。ある時間保持し続けた後、腕を伸ばしたまま腕の保持力を弱めれば、ゴムの張力 f_t により腕は、ゴムの最初の位置の所(自然長L)即ち、運動の開始点まで準静的に戻される。こう

して伸展運動の1サイクルが完了する。

以上の考察の下でゴム運動の力学的な解析を行うこととする。

(2) ゴム運動の解析

図3 ARを軸とする回転運動の座標系

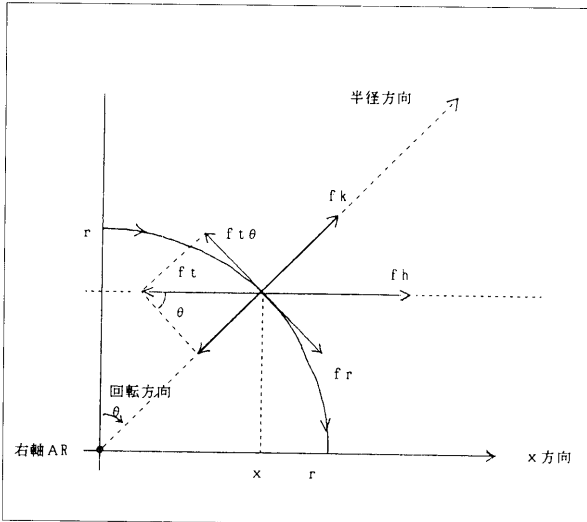


図3は対の右側の運動を単純化してモデルとしたものである。即ち、腕を伸ばして、回転力frを生起して回転運動を行えば、ゴムの張力ftの持続を保証する握力(fh=ft)と腕支持力(fk=ft・sin θ)の増加を招き、そして作用・反作用の法則からfr=ft・cos θの関係を満たすゴムの張力ftを新しく規定してゆくことになる。

この運動を律するのは運動を行う個体が持つ固有の(神経)反射時間と、使用するゴムの固有の値である。

ゴムが自然長Lから回転力fr及び腕支持力fkにより伸展され、停止するまでの状態t=0からt=τd迄の時間で、fh, fkの存在の下、回転力frが回転方向の速度を生じるとする。

$$v_{\theta} = d/dt(r \theta) = r \cdot d \theta / dt \text{ である。}$$

この時ゴムに生じる張力ftは、図3のx方向の速度を√xとすれば、√xは√θの投影であるから、

先ず、√x=√θ・sin θ=r sin θ・dθ/dtから張力ftを与える(片側の)ゴムの伸びxは、

$$x = \int_0^t \tau d \sqrt{x} \cdot dt \text{ より、} x = \int_0^t \theta \tau r \sin \theta \cdot d \theta = r[\cos \theta]_{\theta \tau} = r(1 - \cos \theta \tau) \quad \dots(1) \text{ となる。}$$

ここに、θτはt=τdの時の角度θ=θτfxを意味している。

よって、この時のゴムの張力はゴムの温度変化を無視して、ゴムの特性式より、

$$ft = CoT(\alpha - \alpha^2) \quad \dots(2) \text{ で与えられる。}$$

$$(\alpha = 1 + 2x/L, x = r(1 - \cos \theta))$$

(Co: 係数、T: 温度、α: ゴムの伸び率)

このftを用いて、各力は(1)の考察の結果から以下の様に表せる。

$$\text{腕支持力 } fk \text{ は } fk = ft \cdot \sin \theta \quad \dots(3)$$

$$\text{握力 } fh \text{ は } fh = ft \quad \dots(4)$$

$$\text{回転力 } fr \text{ は } fr = ft \cdot \cos \theta \quad \dots(5)$$

即ち、上記の各力の強調により、ゴムはx=r(1-cos θ)(片側)と伸ばされたのであるから、この運動で消費されたエネルギーはすべてゴムに与えられ貯えられる事になる。このエネルギーをWd(d:dynamic)と記せば、両側で

$$Wd = 2 \int x ft \cdot dx \quad \dots(6) \text{ と表される。}$$

① ゴムをt=τd~t=τs(d: dynamic, s: static)迄、伸ばしたままの状態で保持するとする。

$$\text{腕支持力 } fk \text{ は } fk = ft \cdot \sin \theta \quad \dots(7)$$

$$\text{握力 } fh \text{ は } fh = ft \cdot \cos \theta \quad \dots(8)$$

$$\text{回転力 } fr \text{ は } fr = 0 \quad \dots(9) \text{ の関係となる。}$$

即ち、fkとfhの合力でゴムの張力ftと釣り合いの状態にある。静止状態を保持するエネルギーをWs(s:static)と記せば、単位時間当たりに(6)式のWdのエネルギーを供給し続けねば状態を維持できないのだから、

$$Ws = Wd / (\tau d - 0) \cdot (\tau s - \tau d) = 2(\tau s - \tau d) / \tau d \int_0^s x fx \cdot dx \quad \dots(10) \text{ と表される。}$$

②次に、時間tがt=τsを過ぎた時、腕を伸ばしたまま、ゴムの張力ftに引かれるまま、ゴムに貯えられたエネルギーを準静的にゆっくりと開放して、腕が運動開始点まで引き戻されて行く状態を考えれば、t=τsからt=τe(e:end)迄には、極めてゆっくりだが筋肉は緊張状態を保つので、

$$\text{腕支持力は } fk = ft \cdot \sin \theta \quad \dots(11)$$

$$\text{握力は } fh = ft \cdot \cos \theta \quad \dots(12)$$

$$\text{回転力は } fr = 0 \quad \dots(13) \text{ の形で}$$

減衰してゆく。

この時に消費するエネルギーWe(e:end)は準静的に行われるから、現象的にはコンデンサーの再生と同じく、図4の如くなる。

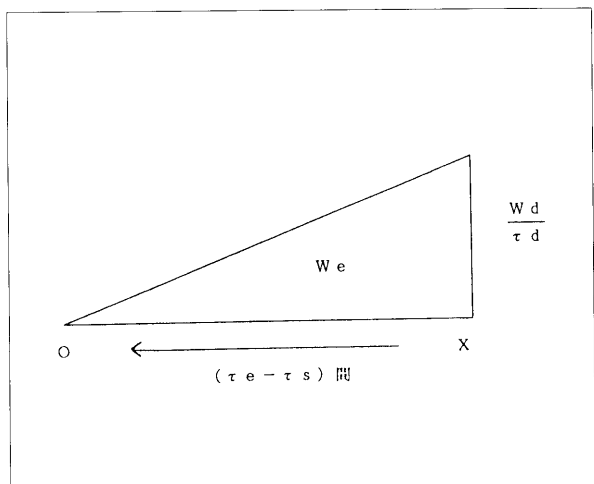
よって

$$We = 1/2 \cdot Wd / \tau d \cdot (\tau e - \tau s) = (\tau e - \tau s) / \tau d \int_0^s x fx \cdot dx \quad \dots(14)$$

即ち、ゴム体操では体操の型を保持するから、戻る過程に於いてもエネルギーを消費する。

③よって、ゴムの伸展運動の1サイクルに必要なエネルギーの総量WT(T:Total)は、(6)、(10)、(14)

図4 消費エネルギー (We) の変化



式より、

$$WT = Wd + Ws + We = (\tau s + \tau e) / \tau d \int_0^x f_x \cdot dx [J] \quad \dots(15) \text{となる。}$$

$$\text{また、} \int_0^x f_t \cdot dx = x^2(3L + 2x)CoT / L(L + 2x) [J] \quad \dots(16)$$

であるから、

$$WT = (\tau s + \tau e) CoT x^2(3L + 2x) / \tau d \cdot L(L + 2x) [J] \quad \dots(17)$$

と具体形を得る。(x = r sin θ)

④以上のことから、ゴム運動においては、各筋力はゴムの特性に応じて滑らかな形で用いられ、かつ、消費エネルギーも時間配分の構成によって、自由に広範囲に渡ってその値を定めることが出来る。

2. ダンベル運動の解析

(1) ダンベルの重量を Md とすると、

$$WD = \int_0^x fD \cdot dx = \int_0^x MD \cdot g dx = Mg \cdot r \cdot \theta \quad (g: \text{重力加速度})$$

ダンベル運動の場合、急加速、急減速を同じ運動軌跡において行うため、激力が発生する。

例えば、激力の大きさを F、定常運動速度を V、ダンベルの重量を MD、g を重力加速度とすれば、力学法則より、力積の形で、 $F \cdot \tau = (MD \cdot g \cdot V - MD \cdot g \cdot 0)$ が成立する。

$$\therefore F = MD \cdot g / \tau \cdot V$$

また、τ は V → 0 迄の停止に到る時間であり、人間の平均的な神経伝導時間が 0.2 秒であるとすると、MD と V が大きければ、F は相乗積で大きくなるために、筋肉を損傷することが考えられる。

II. 力学モデルの解析

1. ゴムを用いた運動について

式(16)及び図1より、腕の長さを 72cm とし、θ を 60° とし、更にゴムの自然長を 37cm とする。また、CoT が 18.58 (温度 T = 20°C) のゴムを使用したとすると、

$$WT = 28.17 [N \cdot m]$$

となり、kg 単位にすると、

$$WT = 2.87 [kg \cdot m / sec^2] \text{となり、両腕では} 5.74 [kg \cdot m / sec^2] \text{となる。}$$

2. ダンベル運動による激力について

ダンベル運動による激力は、 $F = \Delta MV / \Delta \tau$ によって定義される。

1 kg 重のダンベルを保持したとし、上肢の重量を 3 kg 重とする。ダンベルを停止する前の速度を 2 [m/sec] とすると、

$$F = 20 [kg \cdot m / sec^2] \text{となる。}$$

また、重力加速度に換算すると、

$$G = 2.0 [g] \text{となり、}$$

停止 → 運動 → 停止 → 運動のサイクルでは肩関節に 2 倍の F の力がかかり、重力加速度換算ではおよそ 4 [g] に相当する。

3. ゴム運動とダンベル運動の比較

上記 1. 及び 2. の計算結果より、同一条件での運動を行ったときに消費するエネルギー量におよそ 7 倍の差が生じることが明らかとなった。すなわち、ゴム運動に比べてダンベル運動は筋及び関節に過大な負荷をかけ、障害を引き起こす可能性が大きいことを示唆するものと思われる。

【結 論】

以上のことから、ゴム運動においては、各筋力はゴムの特性に応じて滑らかな形で用いられ、かつ、消費エネルギーも時間配分の構成によって、自由に広範囲に亘ってその値を定めることが明らかとなった。

一方、ダンベル運動では、行きと帰りの 2 つの激力が、筋肉運動の最終的な受け場所となる筋及び関節に過負荷を与えるので、適切な負荷を十分に考慮しなければならない。これに対し、ゴム運動は過負荷を与えないゴムの選定が各筋力の式より、得られるので安全に行えることが明らかとなった。