

バーベル運動のエネルギー出力

Weight, kg	Height, cm	Age	Year
66.0	186.6	20	K1
68.0	174.8	20	T1
61.5	173.0	19	H1
64.4	181.0	20	K2

足立 長彦 山本 恵三 福永 哲夫

Energy Output of Barbell Exercise.

Nagahiko Adachi, Keizo Yamamoto, Tetsuo Fukunaga

Department of Sports Sciences College of Arts and Sciences University of Tokyo

Abstract

Energy requirements of barbell exercises (High clean, HC, Bench press, BP, Two arm curl, 2AC, Squat, SQ, and Sit up, SU) were measured for 4 male university weight lifters.

After ten repetition maximum (10RM) was measured for each barbell exercise, five different loads such as 0, 20, 50, 80, and 100% of 10RM were used as the exercise intensity.

The exercises were performed 10 repetitions with tempo of one per 4 seconds by using metronome.

Oxygen uptake was measured during exercise and recovery phase by means of Douglas bag method.

Oxygen requirement (net) at maximum exercise were 4.3l for HC, 1.8l for BP, 2.2l for 2AC, 3.8l for SQ, and 2.8l for SU.

At each exercise oxygen requirement increased significantly linearly with the increment of exercise load (HC: $r=0.85$, BP: $r=0.73$, 2AC: $r=0.94$, SQ: $r=0.87$, SU: $r=0.74$).

The mechanical efficiency which was calculated from mechanical work (distance of barbell moved vertically X weight of barbell) and net oxygen requirement were 5-10% for BP, HC and SQ and 1-3% for SU and 2AC.

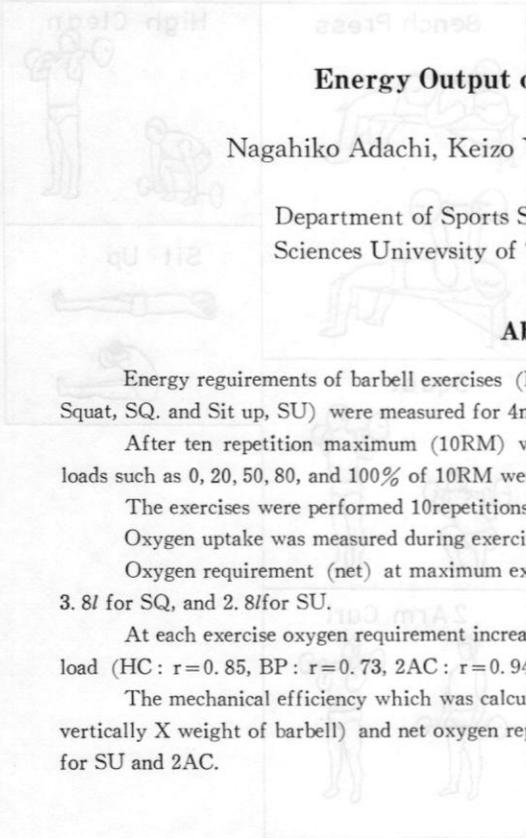


Fig. 1. Five different barbell exercises used in the present study. (A) High Clean (HC), (B) Bench Press (BP), (C) Two Arm Curl (2AC), (D) Squat (SQ), (E) Sit up (SU).

要約
 4名の男子大学生重量挙げ選手を対象として、高懸り（HC）、ベンチプレス（BP）、二腕カール（2AC）、スクワット（SQ）、シットアップ（SU）のバーベル運動のエネルギー要求量を測定した。各運動の10回反復最大（10RM）を測定した後、0、20、50、80、100%の10RMの異なる負荷強度を用いて運動を行った。運動はメトロノームを用いて1回あたり4秒のテンポで10回反復を行った。運動中および回復期の酸素摂取量をダグラスバッグ法で測定した。最大運動時の酸素要求量（ネット）はHCが4.3l、BPが1.8l、2ACが2.2l、SQが3.8l、SUが2.8lであった。各運動の酸素要求量は運動強度の増加に伴って有意に線形に増加した（HC: $r=0.85$, BP: $r=0.73$, 2AC: $r=0.94$, SQ: $r=0.87$, SU: $r=0.74$ ）。機械的効率（バーベルの垂直移動距離×重量）と酸素要求量の比はBP、HC、SQで5-10%、SU、2ACで1-3%であった。

(諸言)

ウェイトトレーニングは筋力および筋肉量の増加を目的として種々のスポーツのトレーニングや健康づくりの運動の手段として広く用いられている。1964年 Hettinger は³⁾、アイソメトリック筋力トレーニングについて研究し、トレーニングの強度、時間、頻度のちがいによる筋力向上の差を明確に示した。それ以後、筋力トレーニングに関する研究は数多くなされてきた。しかし、それらの研究はトレーニング効果に関する報告がほとんどであり、筋力トレーニングの運動種目に関する生理学的特性についての研究は少ない。例えば、Clarke, D. H.²⁾はアイソメトリック筋力発揮の際のエネルギー代謝の報告をし、また Kuroda, E.らは、アイソメトリック筋力発揮の筋放電量と酸素需要量との関係について報告している。McArdle, W. D. と Foglia, G. F.⁶⁾はアイソメトリックな筋力発揮をともなった運動とパーベルを使った筋力運動を行なわせ、この際のエネルギー需要量に関する研究を発表している。

一般にウェイトトレーニングとして用いられている運動は、バーベル運動、トレーニング器具を利用した運動(ノーチラス・マシンやユニバーサルジム)、また油圧や電気的な抵抗を利用したアイソカイネティックな運動などがある。しかし、いずれのトレーニング方法においてもエネルギー出力的な観点から分析を試みたものは少ない。本研究の目的は動的な筋力発揮をともなうバーベル運動時のエネルギー消費量を測定することにより、バーベル運動のエネルギー出力特性を明らかにしウェイトトレーニングやサーキットトレーニングのプログラム作製のための基礎的資料を得ようとするのである。

(方法)

被検者は大学のパワーリフティング部に所属する男子学生4名で、年齢は19歳から20歳、身長は164cmから178cm、体重は64.2kgから68.3kgであった(表1)。彼らはボディビルおよびパワーリフティング競技のためのトレーニングを週3日から5日実施しており、経験年数は約1年であった。したがって実験に用いた運動の動作には充分習熟しているものと考えられる。測定種目は

Table 1 physical characteristic of subjects

Sub.	Age	Height cm	Weight kg
K. T	20	166.6	66.0
T. M	20	174.6	68.3
A. F	19	178.0	64.2
H. S	20	164.0	64.4

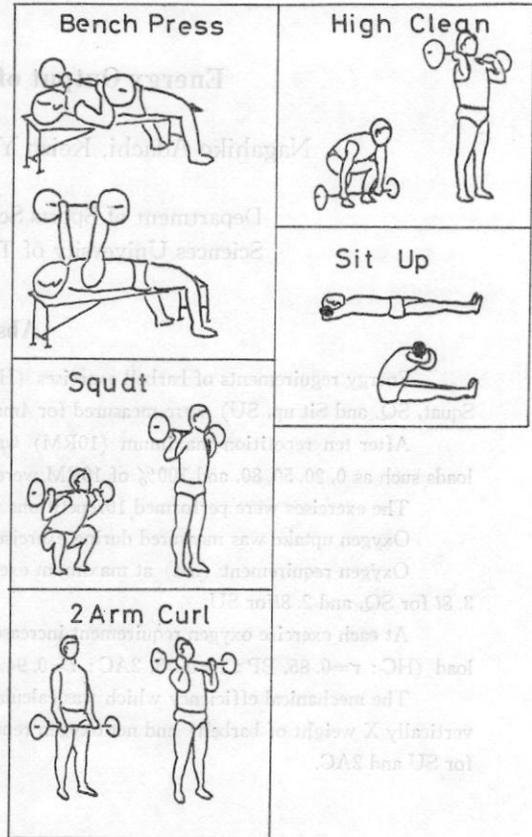


Fig 1 Five different barbell exercises used in the present study

Two Arm Curl (2 AC) Bench Press (BP), Sit Up (SU), High Clean (HC), Squat (S, Q)の5種目である(図1)。2 ACとSUは2名の被検者のみについて測定した。全ての5種目の運動について、あらかじめ4秒に1回のリズムで10回くり返せる重量(10RM)を求めた。用いたバーベル運動は10RMの重量の0%(空振り)、20%、50%、80%、100%の各重量で4秒に1回のリズムで10回反復させた。できるだけ動作に加速をつけないように十分に練習を行なわせた。またHC以外は動作が停止することがないように指示

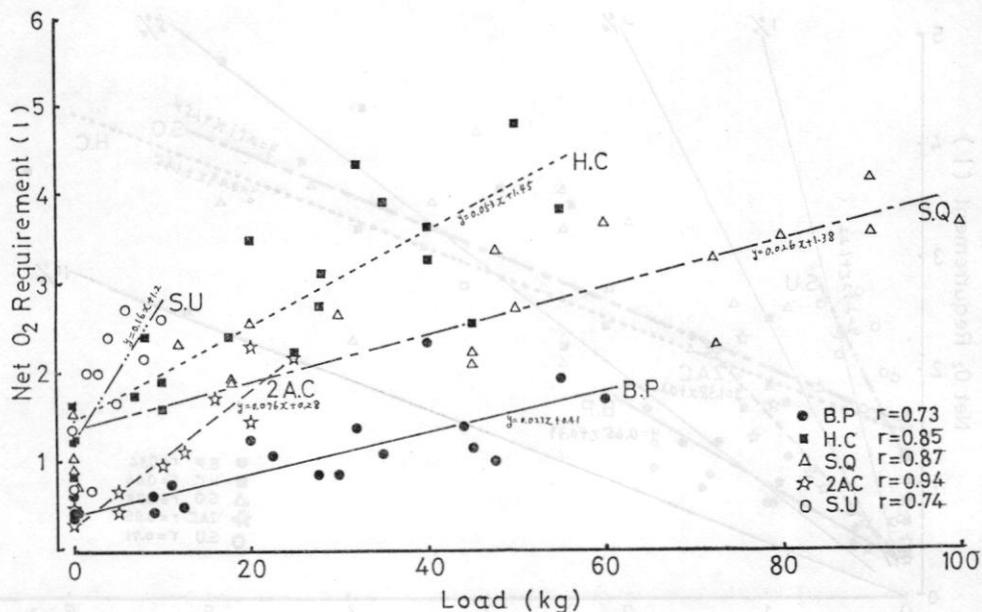


Fig 2 Relationship between exercise load and net oxygen requirement

した。運動のリズムを一定に保つために動作はメトロノームのリズムに合わせて行なうようにした。

呼吸ガスは安静時、運動時及び回復時にダグラスバッグ法で採取した。採気時間は安静時5分、運動時は平均39秒(36秒~41秒)、回復時は安静値にもどるまで採取し採取時間は10分から25分であった。呼吸ガス中の酸素および炭酸ガス濃度は三栄測器製1H02型瞬時ガス分析器で分析した。呼吸ガス量は乾式ガスメーターで測定した。またバーベルの移動による機械的仕事量はバーベルの垂直移動距離とその重量及び回数を乗ずることにより算出した。機械的効率をバーベルの移動による機械的仕事量を酸素需要量(net)で除することによって算出した。

(結果)

各運動種目について負荷の増加に対する酸素需要量の変化についてみると(図2)、各種目とも重量と酸素需要量との間には比例関係がみられた。無負荷と最大負荷時の酸素需要量の差を平均値でみるとHCは2.92l(0負荷-最大負荷:1.23l-4.15l), SQは2.7l(1.04l-3.74l), SUは1.7l(0.98l-2.66l), 2ACは1.8l(0.40l-2.23l), BPは1.3l(0.45l-1.75l)であった。

種目間の酸素需要量を比較してみると, HC,

SQの無負荷(空振り)とBPの最大負荷がほぼ同じ酸素需要量を示した。またSUの最大負荷とHC, SQの50%負荷がほぼ同じ酸素需要量を

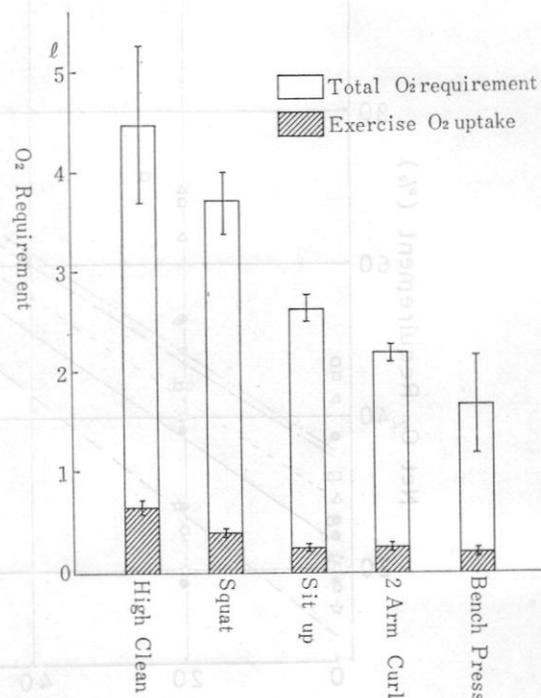


Fig 3 Oxygen requirement and exercise oxygen uptake at each maximal exercise

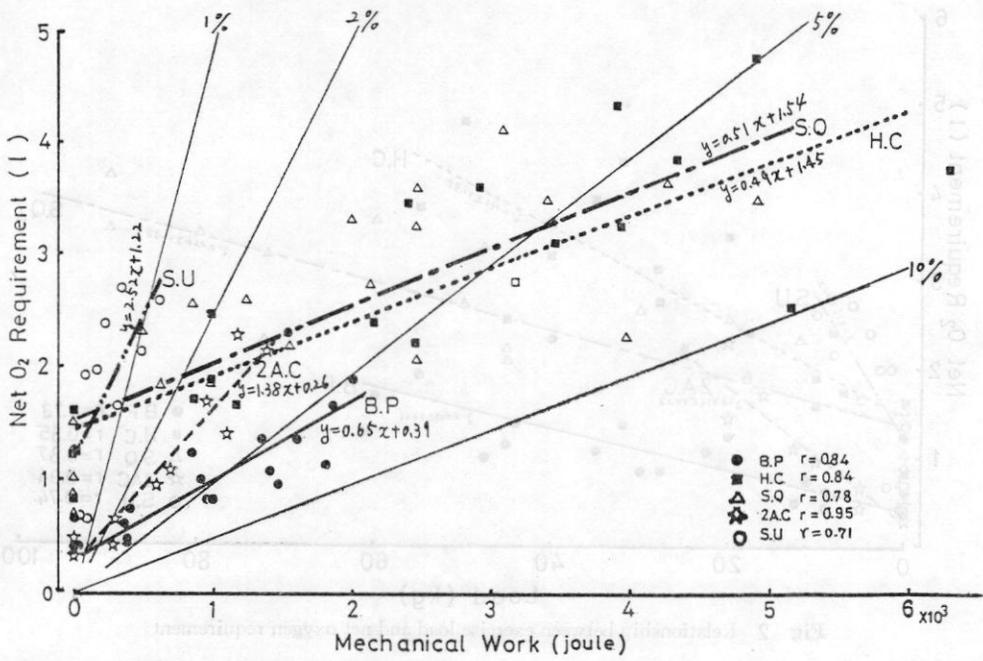


Fig 4 Relationship between mechanical work and net oxygen requirement continuous lines represent mechanical efficiency

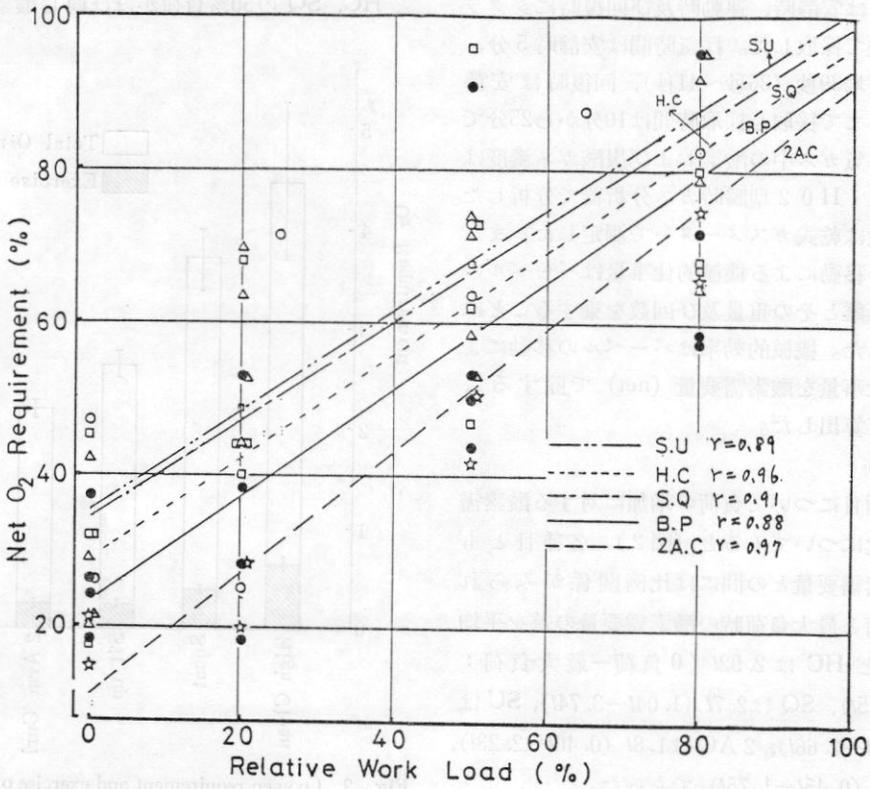


Fig 5 Relationship between relative work load and net oxygen requirement

示した。

挙上重量に対する酸素需要量を比較してみると、負荷が50kgの場合HCが4.0l, SQが2.8l, BPが1.6lとなり、HCはBPの2.5倍であった。SUと2ACの回帰直線の勾配は他の3種目に比較して大である傾向を示した。

各種目について最大負荷重量時における酸素需要量を示したものが図3である。斜線の部分が運動中に摂取した酸素の量を示している。その結果、酸素需要量はHCが4.5lで最も高い値を示し、SQが3.7l, SUが2.7l, 2ACが2.2l, BPが1.7lであった。運動中の酸素摂取量はHCが0.65lで最も大きく、BPは0.22lであった。

バーベルの垂直移動距離から求めた機械的仕事量と酸素需要量との関係を示したのが図4である。いずれの種目についても両者の間の相関係数は0.7以上あり、いずれも統計的に有意であった。HCとSQは、ほぼ同じ回帰直線を示した。BPの挙上重量はHCとほぼ同じ値を示したが、バーベルの移動距離が短いために仕事量は少なくなり酸素需要量も少ない。2ACの仕事量は、主として腕の筋を使用する運動であるBPと比較してほぼ同じであるが、酸素需要量が多い傾向がみられた。SUの仕事量は最も少なかった。

図5は挙上重量を最大負荷に対する比率で示し、また最大負荷時の酸素需要量を100%として、各負荷時の酸素需要量を%で示したものである。両者の間の相関係数をみるといずれの種目についても0.88以上の高い有意な値を示した。0%負荷での酸素需要量をみるとSUとSQは約40%, HCは30%, BPは20%, 2ACは約10%であった。

各運動の機械的効率をみるとBPは挙上重量の大小にかかわらず約7%を示した。HCは6%

から8%, SQは4%から8%と重量の増加にともない効率も増加する傾向を示した。

表2は各種目の負荷別にみた運動中と回復期の酸素摂取量を示したものである。これによると負荷が増加するにともない運動中および回復期ともに酸素摂取量の増加がみられた。しかし、その増加の割合は運動中よりも回復期において大きかった。

運動時と回復期の酸素摂取量の比率は、各負荷で大きな差はみられなかった。

(考察)

各運動種目とも重量が増加するにしたがって酸素需要量が直線的な増加を示すが、中川と熊本はベンチ・プレス実施時の筋電図を記録した報告で重量の増加にともなう参加筋群の増加および筋放電量の増加を明らかにした。このことは挙上重量の増大にともなう酸素需要量の増加傾向は収縮に参加する筋群の増加あるいは主働筋の活動筋線維の収縮の増加を示しているのかもしれない。Kurodaら⁵⁾は、アイソメトリックな筋収縮では筋収縮量の増加にともなって酸素需要量は曲線的に増加すると報告している。一方Clarke²⁾は同様のアイソメトリック運動で酸素需要量は直線的に増加することを報告している。本研究の場合は動的運動であり静的運動をとりあつたこれらの研究とは直接比較することはできないが、発揮筋力の増加がエネルギー消費量と直線関係にあるということではClarkeの報告と一致する。

各種目について無負荷(0%)の場合の酸素需要量を比較すると種目間で大きな差が見られた。すなわち、(2AC:0.40l, HC:1.23l)。このことは、2ACやBPはほとんどが上腕部の運動であるのに対し、SQやHCは下肢や体幹の多くの

Table 2 Oxygen uptake (ml) during exercise and recovery phase at each %max. load

Exercise	0		20		50		80		Max	
	Ex	Rec	Ex	Rec	Ex	Rec	Ex	Rec	Ex	Rec
Bench Press	70±40	380±110	130±80	403±100	100±90	850±320	250±110	980±270	220±60	1530±480
2Arm Curl*	40±10	360±100	70±20	480±180	100±50	930±50	160±40	1390±180	250±40	1980±50
Sit Up*	110±90	870±330	160±70	1130±830	230±50	1590±180	210±60	2050±110	260±80	2400±0
High Clean	170±80	1060±270	250±50	1690±400	440±120	2280±520	570±140	2840±710	650±60	3500±530
Squat	190±30	850±330	240±70	1900±280	340±20	2050±300	360±110	2730±450	390±110	3350±370

* Two subjects

筋を使った、より全身的運動であることによるものと思われる。

同じ酸素需要量でも種目が異なれば挙上重量にかなり大きな差がみられた。例えば BP は 2 AC に比較して同じエネルギー消費量でも約 3 倍の重量を挙上することになる。このことは、2 AC の主働筋は上腕二頭筋のみであるが、立位姿勢で運動を行ったために重量の増加にともなって軀幹および下肢の筋群の参加があったのであろう。HC と SQ の場合は同じエネルギー消費量でほぼ同じ量の仕事が出来るということになる。SU は他の種目の運動に比較して機械的仕事量が少なく酸素需要量が多いことがみとめられた。SU の場合は上半身の重量そのものが負荷となっているために酸素需要量が多くなっているものと思われる。

McArdle と Foglia は⁶⁾ 2 Arm curl, Press, Bench Press, Squat の 4 種目のウェイトトレーニング種目について 8 RM の強度で、平均運動時間が 28 秒 (24—36 秒) の運動を行なわせ、その時の酸素需要量を測定し、Curl 1033ml, Press 1359ml, Bench Press 1066ml, Squat 1596ml を示した。本実験の結果と比較すると McArdle らの値は BP 以外はかなり低い値であった。これは実験の条件が異なるためであると考えられる。つまり本実験は 4 秒に 1 回のリズムで 10 回行なわせ、運動時間は平均 39 秒 (36—41 秒) である。McArdle らの実験と同じ 8 RM としても 32 秒となり本実験の方が約 4 秒長くなる。また、回復時の採気時間が McArdle は 4 分間であり、本実験は 10 分から 20 分とほぼ酸素摂取量が安静値まで回復するまで採気したことである。回復 4 分間では大部分の運動で酸素摂取量は回復しておらず、このことが被検者の体重が McArdle らの場合は 69kg—86kg に比較して、本研究は 64kg—68kg とかなり少ないにもかかわらず酸素需要量が大きくなった理由であろうと思われる。

機械的効率について Asmussen¹⁾らは膝を全屈曲したときおよび 90 度屈曲したときのエネルギー効率を測定し、全屈曲時 26.1%, 半屈曲時 21.9% の値を報告している。又 Thys ら⁸⁾は同様の実験で 18.8% の値を示した。本実験の SQ の効率は 4% から 8% であり大きな違いを示した。これは、

Asmussen らの方法は被検者の体重のみを負荷としたためであると考えられる。石河は⁴⁾腕エルゴメーターを用いて肘関節屈曲運動を行なわせ、その際のエネルギー効率は 2% から 5% であったと報告している。本実験結果についても 2 AC の値が示すように腕のみの運動では石河⁴⁾の値に近い値を示した。石河は前腕屈曲運動の低効率の原因として、負荷のモーメントが大きいために筋にかかる実際の負荷がかなり大きいと述べている。本実験では立位姿勢で行ったために他の筋群の参加が大きかったことも考えられる。

表 2 の最大負荷時での運動中と回復期の酸素摂取量を McArdle らの値と比べると、運動中の SQ の値は本研究の値と非常に近いが BP と 2 AC は McArdle らの値が非常に大きい。

バーベル運動は無酸素的運動の代表的なものと考えられるが、運動時と回復時の酸素摂取量との比率からもこのことがうかがえる。しかし負荷重量が 20% 負荷のように軽い運動では無酸素的運動とは考えにくく、したがって表 3 に示されたように 20% 負荷から max 負荷での運動中の酸素摂取量と酸素負債量の比率が変わらないのは、運動時間が短いことによるものと考えられる。

以上のことから、本実験で用いた 5 種目のバーベル運動では、エネルギー消費量の面からみた場合、HC および SQ は他の種目よりも生体にかかる負荷としては非常に大きく、BP は重量の増加に対してあまり大きい負荷にならないことが確かめられた。

(要 約)

本研究では大学のパワーリフティング部に所属
Table 3 Percentage ratio of oxygen uptake in exercise phase against to total oxygen requirement

Exercise	Load%				
	0	20	50	80	Max
Bench Press	18.4 %	30.2 %	11.8 %	25.5 %	14.4 %
2Arm Curl*	11.1	14.6	10.8	11.5	12.6
Sit Up*	12.6	14.2	14.5	10.2	10.8
High Clean	16.0	14.8	19.3	20.0	18.6
Squat	22.3	12.6	16.6	13.2	11.6
\bar{x}	16.1	17.3	14.6	16.1	13.6
σ	4.08	7.27	3.47	6.48	3.10

* Two subjects

する男子学生4名を対象にバーベル運動の酸素需要量を測定した。運動は4秒に1回の割合で10回くり返した。運動種目は High clean (HC), Bench press (BP), 2 Arm curl (2 AC) Squat (SQ), Sit up (SU) の5種目であった。運動中(39秒)と回復時(10分-20分)の呼気ガスより酸素需要量 (Net) を求めた。負荷重量は各種目について各被検者の10RMの重量を最大負荷重量として、その重量の0, 20, 50, 80%, およびmaxについて測定した。各種目の最大負荷重量での酸素需要量 (Net) は HC: 4.3l, BP: 1.8l, 2 AC: 2.2l, SQ: 3.8l, SU: 2.8l であった。各種目とも負荷重量が増加するにともなって酸素需要量は直線的に増加する傾向を示した。

バーベルの垂直移動距離から算出した機械的効率を算出した結果, BP, HC, SQ, は5%から10%, また SU, 2 AC, は1%から3%であった。

参 考 文 献

- 1) Asmussen E., Bonde-Petersen F.: Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta phsiol. Scand.* 92: 537-545, 1974.
- 2) Clarke. D. H., : Energy cost of isometric exercise. *Res. Quart.*, 31: 3-6, 1960.
- 3) Hettinger (猪飼道夫, 松井秀治訳) アイソメトリックトレーニング大修館書店, 1970.
- 4) 石河利寛: 筋作業の研究, III 前腕屈曲運動の際のエネルギー代謝, *日本生理学雑誌* 14: 494-497, 1952.
- 5) Kuroda E., Klissouras, V., Milsum, J. H., : Electrical and metabolic activities and fatigue in human isometric contraction. *J. Appl. physiol.* 3: 358-367, 1970.
- 6) McArdle, W. D., : Energy cost and cardiorespiratory stress of isometric and weight training exercise. *J. Sports Med.* 9: 23-30, 1969.
- 7) 中川宏, 熊本水頼: ベンチプレスの筋電図学的研究, *体育学研究* 18: 83-89, 1973.
- 8) Thys, H., Faraggiana, T., Margaria, R.: Utilization of muscle elasticity in exercise. *J. Appl. physiol.* 32: 491-494, 1972.