

昭和44年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. III 血液乳酸からみた無酸素的パワーの研究

(財) 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和44年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. III 血液乳酸からみた無酸素的パワーの研究

報告者 スポーツ科学委員会
体力トレーニング研究小委員会

猪 飼 道 夫

I 緒 言

ヒトの作業能力 (work capacity) は、肺の呼吸運動によって大気中の酸素を摂取しながら運動を持続する有酸素的作業能力 (aerobic work capacity) と酸素を全く必要としない無酸素的作業能力 (anaerobic work capacity) の2つに大別される。この2つの作業能力はともに人間の体力には欠かすことのできない大きな要因をしめている。またあらゆる運動競技が有酸素的あるいは無酸素的の要因から成り立っており、運動競技においてすぐれた成績をあげるためには、これらの要因にすぐれていることが必要である。

このような作業能力は、身体活動には多量のエネルギーを必要とするので有酸素的にせよ無酸素的にせよ、このエネルギーを単位時間当りにいかに多く、効率よく発生させるかによってきまってくる。すなわち、有酸素的運動の場合には有酸素的パワー (aerobic power)、無酸素的運動の場合には無酸素的パワー (anaerobic power) として測定される。

有酸素的作業能力についての研究は、最大酸素摂取量^{1),7),8),9),10)}、筋酸素摂取量²²⁾、血流量¹⁹⁾、心拍出量²⁰⁾等の面から、これまでに数多く報告されているが、無酸素的作業能力についての研究は、最大酸素負荷量の測定報告^{12), 18)} などがあるが、まだ明らかにされていない問題がたくさん残されている。最大酸素負荷量の測定にしても、この測定が真に無酸素的運動能力を測定しているかどうか不明にされているのが現状である。

従来の研究から、最大酸素負荷量が出現する時間は、40秒～60秒、全力で走る距離にして300m

～400m であると報告されている。しかし、最近の報告によれば血液が身体内を一循環する循環時間は、激しい運動においては約10秒またはそれ以下と言われている。このことからみて、最大酸素負荷量の出現する40秒～60秒という運動時間は、肺の呼吸運動によって取り入れた酸素が、すでに身体各組織へ到達する時間である。したがって、従来から研究されてきた最大酸素負荷量の測定が、どういう意味を持っているかを探求する必要がある。

われわれの日常生活でのいろいろの身体活動の中には、たくさんの無酸素的パワーを含んだ運動が存在する。例えば、われわれが全速力で走る時、その速度は、数秒で定常状態に達するが¹¹⁾、この運動は無酸素的要素のきわめて強い運動である。スタートして、5～6秒後にはエネルギー発生量が減少して、速度が低下する。この原因は筋収縮の力源であるアデノシン三リン酸 (ATP) やクレアチンリン酸 (CP) などの燐原質が減少するためであるとされている。この減少した燐原質を再合成するためのエネルギーは、筋中のグリコーゲンが乳酸に分解する時に生ずるエネルギーが用いられる。これらの分解と再合成は、いずれも酸素の供給なしに、無酸素的状态で行なわれている。

本実験においては、非常に短い時間内での最大仕事量、すなわち無酸素的パワーについて研究しようとするものである。

II 研究目的

運動競技においては、非常に短い時間に最大限の努力で身体を動かすことが多い。先にも述べ

たように、全力疾走を行なう時、数秒で最高速度に達し、しばらく定常状態を維持する。スタートから最高速度に到達する数秒間は、酸素の供給なしに、高エネルギー磷酸結合物質であるATPの分解によるエネルギーで運動が行なわれる。

筋の単収縮によるパワーの測定は、古くから多くの研究者^{6),10)}が研究を積み重ねてきたが、筋収縮の連続によるパワーの経過が、いかなる様相を示すかを研究した報告は少く、R. Margariaら¹⁷⁾が1966年に「階段を駆けあがる時の垂直方向のスピード」を測定して、「無酸素的的最大パワー」をもとめて発表したものがあるにすぎない。

本研究においては、自転車エルゴメーターを使用して、無酸素的パワーを測定することにした。また、パワーの測定と同時に代謝 (metabolism) の面から血液乳酸量と酸素負債量を測定することによって、無酸素的パワーの生理学的背景をも研究しようとした。

無酸素的パワーと血液乳酸量と酸素負債量の3者を同時に測定することによって無酸素的パワーと血液乳酸量の間に関係が存在するか。また、1924年、1925年に A.V. Hill⁹⁾ たちが酸素負債説を発表して以来、運動によって生じた血液乳酸量と酸素負債量の間に関係があるか、ないかということについて、大いに論議を呼んできたが、これらの研究者^{18), 23)} が行なった実験は、すべて5分~15分という比較的長い時間での、有酸素的運動について行なわれている。本実験においては、90秒以内の非常に短い無酸素的要素の強い運動について行ない、血液乳酸量と酸素負債量の間に関係が存在するかどうかを探求しようとした。また酸素負債量と仕事量との間に関係が存在するかどうかを探求しようとするのが本研究の目的である。

III 実験方法

本実験は、昭和44年12月15日から昭和45年1月30日にかけて、東京大学教育学部体育学研究室において行なわれた。

(1) 被検者——第1表に示す通り、被検者は21歳から31歳までの健康な成人男子8名である。

(2) 運動形態——モナーク製の自転車エルゴメ

表1 被検者の身体的特長と記録

| 被検者 | 年齢 | 身長 (cm) | 体重 (kg) | 最高記録 | |
|-------|----|---------|---------|--------|-----------|
| T. S. | 21 | 164.1 | 63.0 | 100m | 11''1 |
| Y. Y. | 21 | 167.9 | 59.1 | 200m | 23''0 |
| | | | | 400m | 51''6 |
| | | | | 400m H | 55''6 |
| K. N. | 22 | 170.0 | 63.0 | 槍 投 | 59.48m |
| K. Y. | 27 | 164.0 | 58.4 | マラソン | 2°30'16'' |
| K. U. | 24 | 170.6 | 62.2 | 体 操 | |
| T. H. | 28 | 166.5 | 66.5 | ラグビー | |
| M. T. | 31 | 172.8 | 96.9 | 柔 道 | |
| K. W. | 30 | 155.9 | 54.0 | 一般 人 | |

ーターを使用し、運動開始から全力でこがせた。

(3) 運動負荷と運動時間——運動はいずれも、3KP (kilo-pond) の負荷で行なった。運動時間は5秒、10秒、30秒、40秒、60秒、90秒の6種類を選び、各被検者の行なった運動時間は、第2表に示す通りである。

表2 被検者の運動時間

| 被 検 者 | 運 動 時 間 (sec) | | | | | |
|-------|---------------|----|----|----|----|----|
| | 5 | 10 | 30 | 40 | 60 | 90 |
| T. S. | | 10 | | 40 | 60 | |
| Y. Y. | | 10 | | 40 | 60 | |
| K. N. | 5 | 10 | 30 | | 60 | 90 |
| K. U. | 5 | 10 | 30 | | 60 | 90 |
| K. Y. | | | 30 | | 60 | 90 |
| T. H. | | | 30 | | 60 | 90 |
| M. T. | | | 30 | | 60 | 90 |
| K. W. | | | 30 | | 60 | 90 |

(4) 仕事量およびパワーの測定——仕事量およびパワーの測定には、第1図に示すように車輪の両サイドに投光部の豆電球と受光部の光電管セルを設置して、車輪の回転数を電氣的に連続して記録した。そして、車輪の回転数を下記の計算式に代入して、仕事量をもとめた。

$$\text{仕事量} = 3\text{KP} \times 6\text{m} \times 14/52 \times \text{車輪の回転数}$$

KP : 運動の負荷 (kilo-pond)

6m : 車輪の周径

図1 自転車の車輪の回転数測定装置（東大体育学研究室考案）

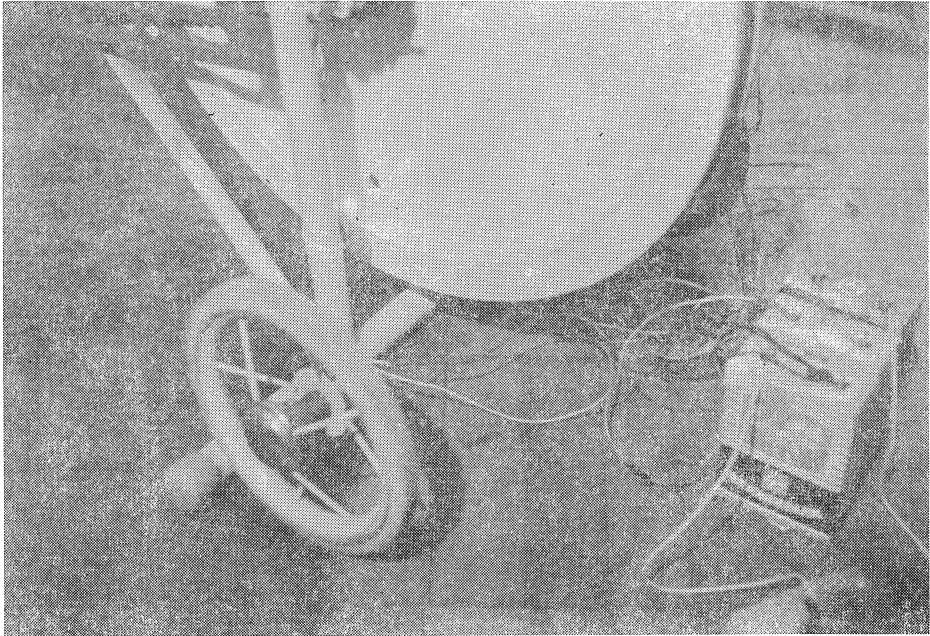
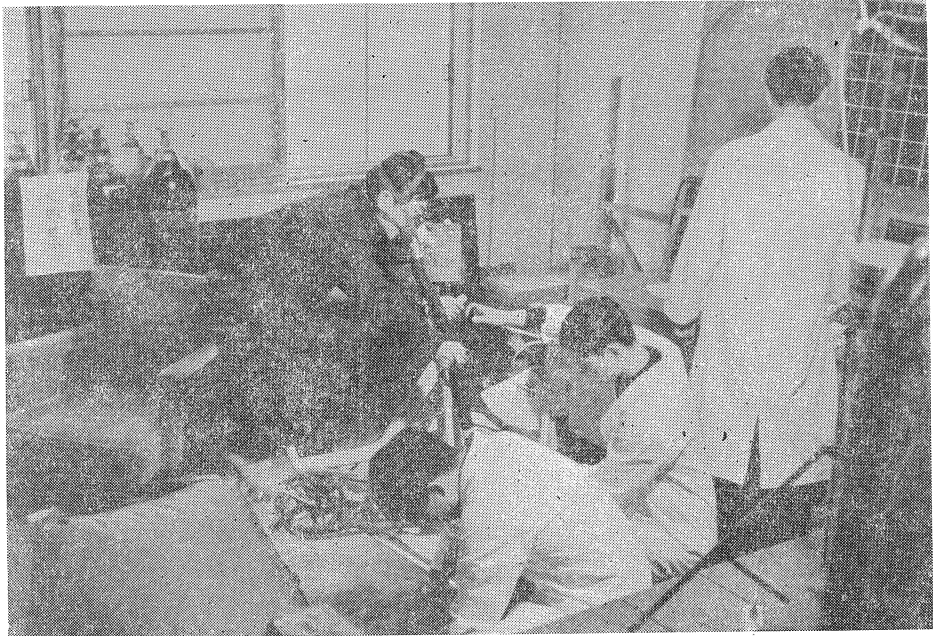


図2 測定現場（東大体育学研究室）



14/52: 自転車エルゴメーターの車輪のギヤとペダルのギヤ比

また、パワーは単位時間当りの仕事量で表わされるので、1秒間当りの仕事量としてもとめた。

(5) 血液乳酸の定量——採血はすべて指先(finger tip)から行ない、血液乳酸の分析は、Ström^{20), 21)}の方法で行なった。

(6) 酸素摂取量の測定——呼気ガスの採集は、ダグラスバック法で行ない、呼気ガスの分析にはScholander 微量ガス分析器を用いた。

(7) 酸素負債量の測定——酸素負債量は回復期中の酸素摂取量から安静時レベルの酸素摂取量をひいてもとめた。

第2図は、本実験中の測定風景を示したものである。

IV 実験結果

1. パワーの経過と回復期の血液乳酸の消長

1) 被検者K. N., K. U. の5秒間の運動の場合

第3図に5秒間の運動と10秒間の運動におけるパワーの経過と回復期の血液乳酸の消長について示した。

5秒間の運動においては、槍投の選手K. N. は

立ちあがりに高いパワーを示し、運動を開始して、2秒～3秒の間に56.2kgm/secの最も高いパワーを記録した。しかし、この高いパワーをそのまま維持することができず、3秒～4秒にかけてかなりの減少を示した。

これに対して、体操の選手K. U. はK. N. に比べて立ちあがりのパワーは低いが、スタートしてから5秒まで徐々に増加して行く傾向を示した。

回復期の血液乳酸量については、2人とも運動終了直後よりも、回復期約3分の時に最も高い値を記録し、K. U. の最も高い値は29.9mg/100mlでK. N. は26.9mg/100mlであり、K. U. の方がわずかに高い値を示した。

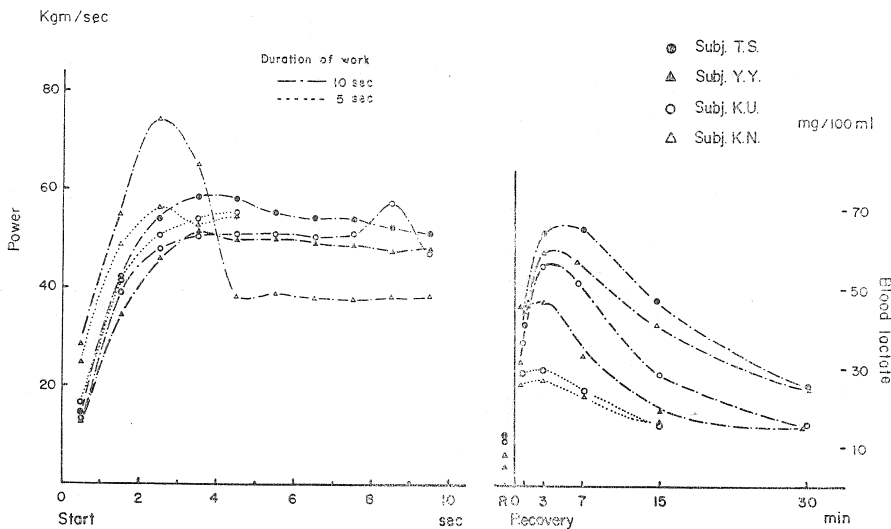
2) 被検者K. N., K. U., T. S., Y. Y. の10秒間の運動の場合

被検者K. N. は、5秒間の運動の時と同様に、運動を開始して2秒～3秒の間に最も高いパワー74.1kgm/secを記録したが、この高い値を維持することができず、3秒～5秒にかけて急激に減少した。

100mランナーのT. S. は、他の被検者に比べて立ちあがりのパワーも高く、3秒～4秒の間に58.6kgm/secの最も高いパワーを記録し、その高いパワーを比較的長く維持した。

400mランナーのY. Y. は、3秒～4秒にかけ

図3 運動中のパワーの経過(左図)、血液乳酸の消長(右図)を示す。



て50.8kgm/secの最も高いパワーを記録したが、この値は4人の被検者中最も低い値であった。

回復期の血液乳酸量については、やはり運動直後よりも、回復期約4分で最高値を記録した。

被検者T. S.は、パワーの最高値が高く、その持続もすぐれていることから、血液乳酸量も最も高い値66.5mg/100mlを記録した。

これに対して、被検者Y. Y.は、パワーの最高値が最も低く、パワーの持続も普通であることから、血液乳酸量も4人の被検者中最も低い値47.0mg/100mlであった。

また、被検者K. N.は、立ち上がりとその最高値に非常に高いパワーを記録したが、パワーの持続の面で劣り、急激にパワーが減少していることから、血液乳酸量もそれ程高い値を示さなかった。

3) 100mランナーT. S.の40秒間と60秒間の運動の場合

第4図に100mランナーT. S.の10秒間、40秒間、60秒間の運動におけるパワーの経過と回復期の血液乳酸の消長について示した。

パワーの経過については、40秒間の運動においても59.1kgm/secの非常に高いパワーを記録した。60秒間の運動においては、パワーの最高値がやや低くなり49.4kgm/secであった。

回復期の血液乳酸量については、運動直後よりも回復期約7分で最も高い値を記録した。そして、血液乳酸量の最も高い値は、40秒間の運動の時に155.4mg/100ml、60秒間の運動では141.5mg/100mlでわずかに低くなり、40秒間の運動の時間が最も高い値であった。

4) マラソンランナーK. Y.の30秒間、60秒間、90秒間の運動の場合

第5図にマラソンランナー(K. Y.)の30秒間、60秒間、90秒間の運動におけるパワーの経過と回復期の血液乳酸の消長について示した。

パワーの経過については、30秒間の運動の時に最も高いパワー50.8kgm/secを記録し、90秒間の運動では46.0kgm/sec、60秒間の運動の時間が最も低く44.5kgm/secであった。これらの値は、他の被検者の場合に比べて、比較的差が少なかった。

回復期の血液乳酸量については、100mランナーT. S.の場合とは逆に、60秒よりも長い運動時間90秒の時に回復期8分において最高値141.5mg/100mlを記録した。

5) 槍投選手K. N.の30秒間、60秒間、90秒間の運動の場合

第6図に槍投選手(K. N.)の30秒間、60秒間、90秒間の運動におけるパワーの経過と回復期の血

図4 100mランナー(T. S.)のパワーと血液乳酸量の経過

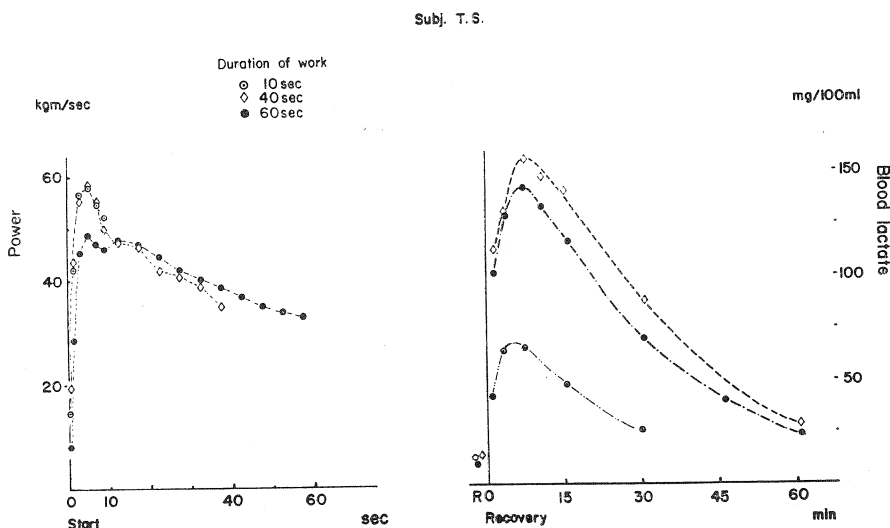


図5 マラソン・ランナー (K. Y.) のパワーと血液乳酸量の経過

Subj K.Y.

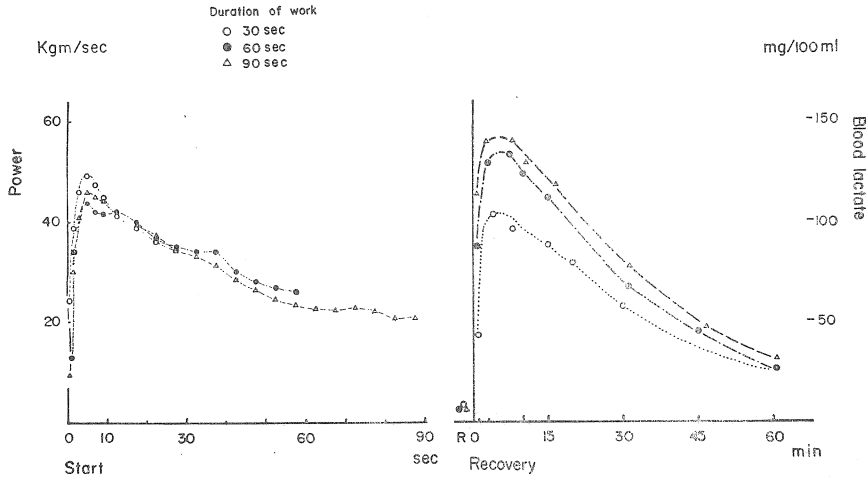
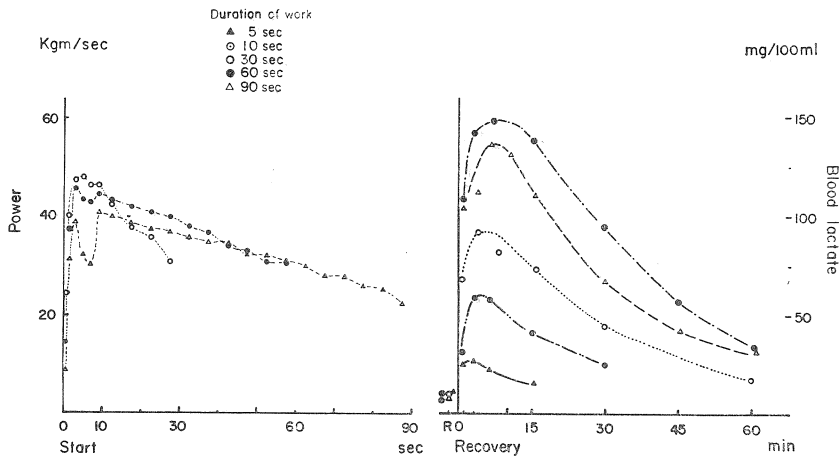


図6 槍投選手 (K. N.) のパワーと血液乳酸量の経過

Subj K.N.



液乳酸の消長について示した。

パワーの経過については、30秒間の運動の時に最も高いパワー 49.4kgm/sec を記録し、次いで60秒間の運動の時に 46.5kgm/sec、90秒間の運動の時に最も低く 39.7kgm/sec であった。

回復期の血液乳酸量については、100m ランナー T. S.、およびマラソンランナー K. Y. の場合と異なり、60秒間の運動の時に回復期 7分において、最も高い値 148.2mg/100ml を記録した。90秒間の運動の時の値は、やや低くなり 136.0mg/

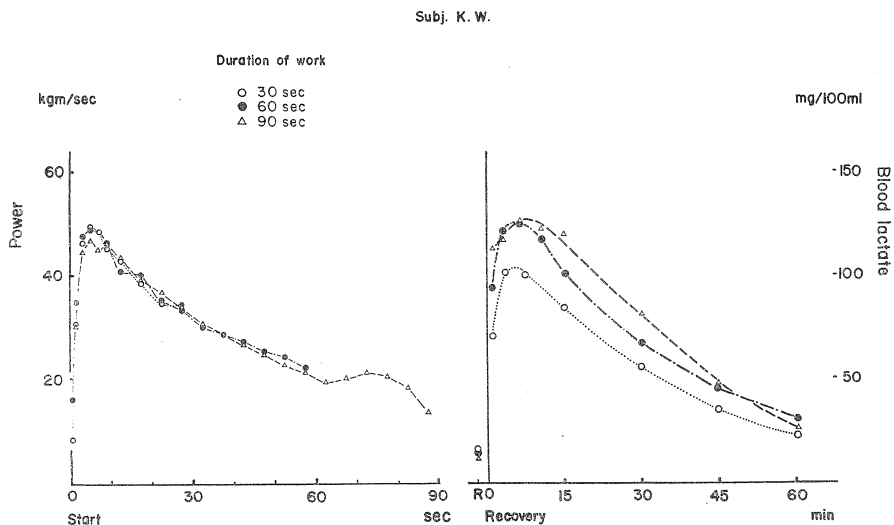
100ml であった。

第6図から、5秒間の運動、10秒間の運動、30秒間の運動、60秒間の運動、90秒間の運動まで運動時間が長くなるにつれて、回復期の血液乳酸が最高値を出現する時間がそれぞれ3分、4分、6分、7分、8分とわずかず遅くなる傾向を示した。

6) 非鍛練者 K. W. の30秒間、60秒間、90秒間の運動の場合

第7図に非鍛練者 K. W. の30秒間、60秒間、90

図7 非鍛練者 (K.W.) のパワーと血液乳酸量の経過



秒間の運動におけるパワーの経過と回復期の血液乳酸の消長について示した。

パワーの経過については、他の被検者に比べて、各運動時間のパワーの最高値も、その持続も非常によく似た傾向を示した。パワーの最高値は、30秒間の運動の時に 49.4kgm/sec であり、この値は、他の被検者に比べるとかなり低い値であった。

回復期の血液乳酸量については、100m ランナー T. S., マラソンランナー K. Y., 槍投選手 K. N. の場合と異なり、血液乳酸の最高値は、60秒間の運動の時と90秒間の運動の時とほとんど同じ値であり、それぞれ 125.0mg/100ml, 126.2 mg/100ml であった。

2. 酸素負債量と血液乳酸量の関係

第8図に、各運動時間の回復期における血液乳酸の最高値と酸素負債量の関係について示した。

この図から明らかなように、酸素負債量が除脂肪体重 (lean body mass) 1kg 当り約 30ml から約 110 ml までは血液乳酸量と直線的関係があった。しかし、酸素負債量が約 110 ml を越すところから血液乳酸量との間に全く関係がなくなった。運動時間にして約60秒までは、酸素負債量が増加するにつれて、血液乳酸量も比例して増加した。しかし、60秒以上の運動になると血液乳酸量と酸素負債量の間に比例的関係がなくなった。

3. 仕事量と血液乳酸量の関係

第9図に、各運動時間の回復期における血液乳酸の最高値と仕事量の関係について示した。

図8 酸素負債量と血液乳酸量との関係

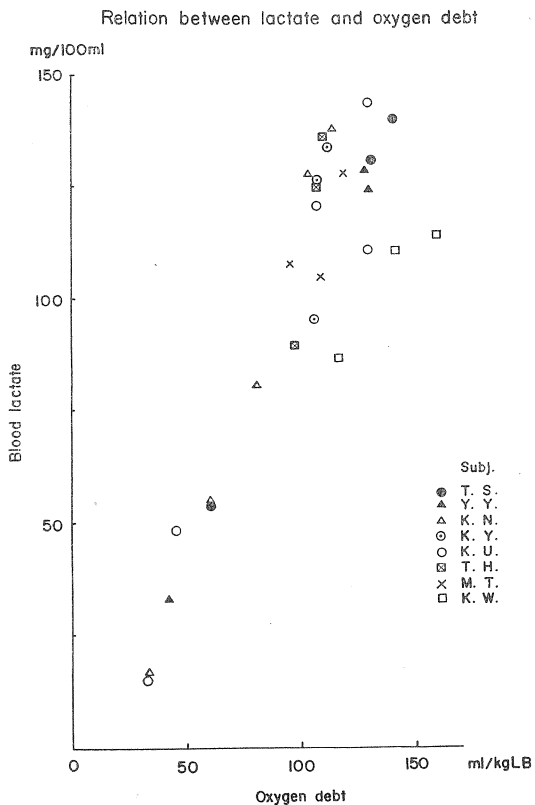


図9 仕事量と血液乳酸量の関係

Relation between lactate and work done

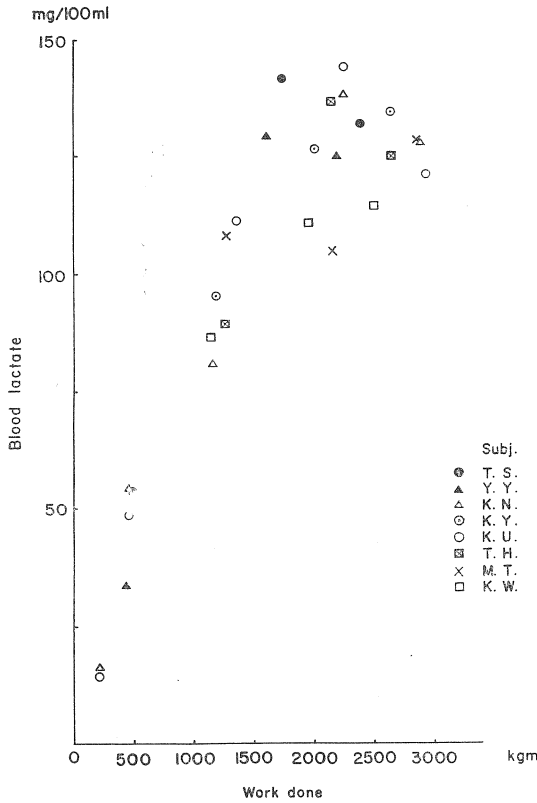
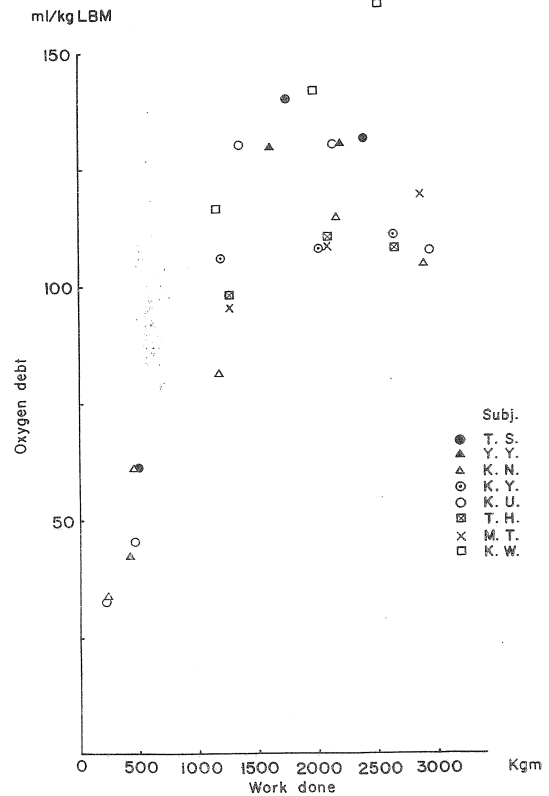


図10 仕事量と酸素負債量との関係

Relation between oxygen debt and work done



この図から明らかなように、仕事量が 2,000 kgm, すなわち運動時間にして約60秒までの運動は、仕事量と血液乳酸量の間で直線関係がみられた。しかし、仕事量が 2,000kgm 以上の運動になると血液乳酸量は、むしろ減少する傾向を示した。

4. 仕事量と酸素負債量との関係

第10図に、酸素負債量と仕事量の関係について示した。

この図から仕事量が 2,000kgm まで、すなわち運動時間にして約60秒までの運動は、仕事量と除脂肪体重 1kg 当りの酸素負債量の間で直線関係があった。仕事量が 2,000kgm 以上の運動になると、仕事量が増加しても、酸素負債量はむしろ減少する傾向を示した。

V 考 察

1. パワーの経過と回復期の血液乳酸の消長に

ついて

本実験においては、自転車エルゴメーターを使用して、パワーを測定した。そして、パワーの経過を調べたが、5秒間の運動から90秒間の運動までに共通して言えることは、運動を開始してから3秒～6秒の間にパワーの最高値を記録することである。そして、それ以後はわずかずつ低下しながら運動を終了している。

槍投の選手 (K. N.) は、5秒間と10秒間の運動において、他の被検者に比べて非常に高いパワーの値を記録した。しかし、この高いパワーを維持することができず、すぐに減少する傾向を示した。このパワーの持続曲線の型は、90秒間の運動においても見られ、他の被検者では見られない特殊な型であった。瞬間的の最大パワーで記録を競う槍投という競技が、繰返しの練習とトレーニングによって、このような型を形成させたということが言えるであろう。

100m ランナー (T. S.) は、他の被検者に比べて、パワーの最高値が高く、しかもその値を比較的長く維持していることから、無酸素的運動能力が高いということが言える。

また、400m ランナー (Y. Y.) は、パワーの最高値が以外に低く、その維持能力もとりわけ優れているとは思われない値であった。被検者 Y. Y. は、ウエイト・トレーニング (weight training) によって、筋力の増強をはかり、高いパワーを発揮できるようになれば、400m の記録をもっと短縮することができるであろう。

また、マラソンランナー (Y. Y.) と非鍛練者 K. W. は、ともに他の運動選手に比べてパワーの最高値が低い。このことは他の運動選手がウエイト・トレーニング等で筋力を強め、高いパワーを発揮できるようになっていることを示しているからであろう。

血液中の乳酸量は、体内における乳酸の総量に比例するということが、古くから知られていた。本実験においては、血液乳酸量を測定することによって、間接的に筋肉で生成された乳酸量を知り、代謝 (metabolism) の面から無酸素的運動の探求に役立てようと試みた。

回復期の血液乳酸の消長については、いずれの運動時間においても血液乳酸量は、運動終了直後よりも2分～8分経過した時の方が高い値を示している⁴⁾。また回復期の血液乳酸量が最高値に達するまでの時間は、5秒間の運動から90秒間の運動まで、運動時間が長くなるにつれて、その発現はわずかずつ遅くなっている¹⁵⁾。このことは筋活動によって、筋肉で生成された乳酸が、毛細血管壁を通して、血液の中に拡散されるのに要する時間が必要であることを示している¹⁵⁾。

パワーの測定結果から、運動を開始して、3秒～6秒でパワーが最高値に達し、それ以後はわずかずつ減少しながら運動を終了するところがあった。

従って、運動を開始して、5秒～6秒後にはエネルギー発生量が減少し、速度が低下する。この原因は、筋収縮の力源であるアデノシン三リン酸 (ATP) の絶対量が減少することとアデノシン三リン酸の再合成に役立つクレアチンリン酸 (CP)

が減少するためであると考えられる。運動によって減少したリン原質の再合成には、グリコーゲンが乳酸に分解する時に発生するエネルギーが使用される。

本実験において、5秒間の運動で約15mg/100mlの過剰乳酸(安静時の乳酸量を減じた値)を測定した。このことは、生体反応からリン原質が底をついてくる5秒～6秒より以前に、減少しつつあるリン原質を補給するために筋肉中のグリコーゲンが分解を開始して、アデノシン三リン酸の再合成にエネルギーを供給していることを示している。

アデノシン三リン酸やクレアチンリン酸などのリン原質の分解や、グリコーゲンの乳酸への分解は、すべて無酸素的に行なわれる。したがって、運動を開始して、最高速度に達する3秒～6秒間の運動は、全く酸素を必要としない無酸素的運動であると言える。

従って、自転車エルゴメーターによって、運動開始時の立ちあがりのパワーを測定することは、無酸素的パワーを測定することになり、無酸素的的最大パワーの測定が可能である。

第11図に、各被検者の各運動時間での運動後の回復期における血液乳酸量の最高値を示した。

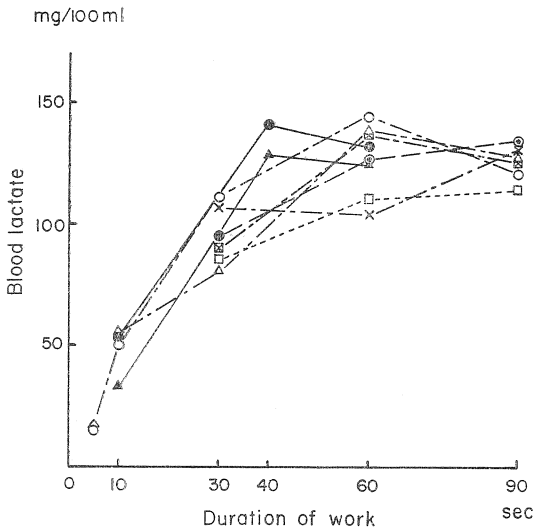
この図から明らかなように、40秒以内の運動においては、運動時間の長くなるにつれて血液乳酸量が増加している。しかし、60秒以上の運動になると血液乳酸量はほぼ一定する²⁾。

無酸素的運動の場合には、筋肉で分解されるグリコーゲンは、ほとんど乳酸になるが、有酸素的運動の場合には、乳酸にならないで、水と炭酸ガスに分解される。このことから、40秒～60秒間の運動を境にして、血液乳酸量がほぼ一定するという現象は、約60秒より長い運動は、有酸素的要素が次第に多くなっていくものと考えられる¹⁴⁾。

2. 酸素負債量と血液乳酸量の関係について

第8図にみられるように、酸素負債量が除脂肪体重1kg当り約30mlから約110mlまでは、酸素負債量が増加するにつれて、血液乳酸量も増加しており、比例的関係にあることを示している。しかし、酸素負債量が110mlを越すところから比例的関係がなくなっている。このことは、既に述べたように酸素負債量が110ml以上の運動、す

図11 各運動時間（横軸）の運動での血液乳酸量（縦軸）を示す。



なわち60秒よりも長い運動では、有酸素的要素がかなり強い運動となる。

立ちあがりのパワーが最高値に達する約3秒～6秒までの運動は、全く酸素の供給なしで行なわれる運動であるから、本実験の結果を総合すると全力の運動では、次のように分類することが可能であろう。

- ① 約6秒までの運動—無酸素的運動
- ② 約6秒から60秒までの運動—無酸素的要素

のきわめて強い有酸素的運動

- ③ 約60秒以上の運動—有酸素的運動

1960年に D.R. Wilkie²⁴⁾は、種々の運動によるパワーを文献から引用して、第12図に示すようなパワーの曲線を作成して、短時間の運動から、長時間の運動まで、例をあげてパワーの大きさを下記のように示した。

- 1) 1秒以内の運動 6 H. P. (Horse Power 馬力)
- 2) 0.1～5分の運動 0.5～2.0 H. P.
- 3) 5～150分あるいはそれ
以上の定常状態の運動 0.4～0.5 H. P.
- 4) 1日中続く長時間の運動 多分 0.2 H. P.

本実験のパワーの測定は、D.R. Wilkie が報告している 0.1～5分の運動 (0.5～2.0 H. P.) の範囲内の非常に短い時間で詳しく行なったものである。その結果は次の通りである。

- 1) 5秒間の運動 0.90 H. P.
- 2) 10秒間の運動 0.90 H. P.
- 3) 30秒間の運動 0.71 H. P.
- 4) 40秒間の運動 0.68 H. P.
- 5) 60秒間の運動 0.60 H. P.
- 6) 90秒間の運動 0.50 H. P.

以上の結果から、本実験における運動選手のパワーの値は、D.R. Wilkie が報告しているパワー曲線の○印の値に比べるとかなり低い値であっ

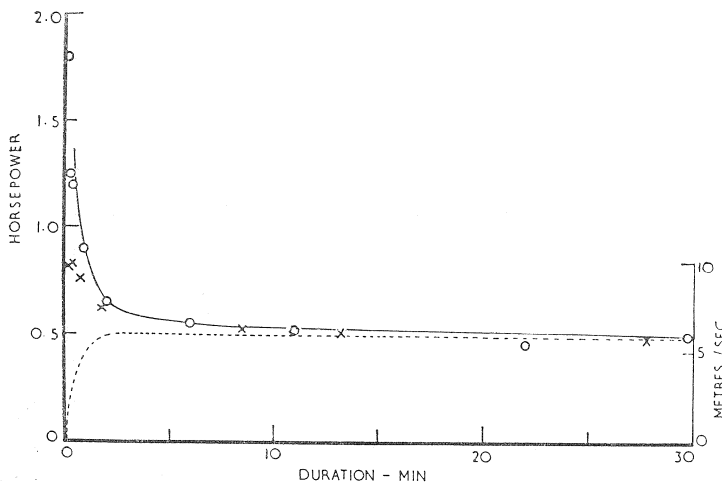


図12 人体の発生するパワー。左軸はパワーであり、○印で示した。右軸は走速度であり、×印で示した。各測定値は競技者のものである。点線の曲線は有酸素性パワー、実線の曲線は無酸素性もふくめたパワー。(Wilkie 1960)

た。。D.R. Wilkie は世界の一流選手の値を引用していることと、また、本実験においては、負荷が、比較的軽く3KPを選んだことの二つの理由によるものと考えられる。

また、第8図の酸素負債量が約30mlから110mlまでの血液乳酸量と比例的関係にある区域の測定値を最小二乗法によって、直線をひいて、酸素負債量を表わす横軸との交点を求めればR. Margariaら¹⁶⁾が報告している非乳酸性の酸素負債量(alactacid oxygen debt)になる。本実験の値は、除脂肪体重1kg当り約23mlで、R. Margariaらが報告している体重1kg当り25mlという数字と非常によく一致した結果と言える。

3. 血液乳酸量と仕事量の関係について

第9図に示すとうり、この関係も既に述べた血液乳酸量と酸素負債量の関係と同様に、仕事量が約2,000kgmまでは、仕事量が多くなるにつれて、血液乳酸量も増加している。しかし、仕事量が約2,000kgm以上になるとむしろ血液乳酸量が低下する傾向を示した。したがってこの関係からも仕事量が約2,000kgm以上の運動になると有酸素的要素が非常に強くなることを示している。

4. 仕事量と酸素負債量との関係について

第10図に示す通り、この関係についても既に述べた血液乳酸量と酸素負債量、血液乳酸量と仕事量の関係と全く同じ結果であった。すなわち、仕事量が約2,000kgmまでは、酸素負債量と仕事量に比例的関係があるが、仕事量が約2,000kgm以上になるとこの関係はなくなってくる。仕事量が約2,000kgmの運動は、時間にして約60秒であることから、酸素負債量と仕事量の関係の面からも60秒以上の運動は、有酸素的要素の強い運動であることを裏付けている。

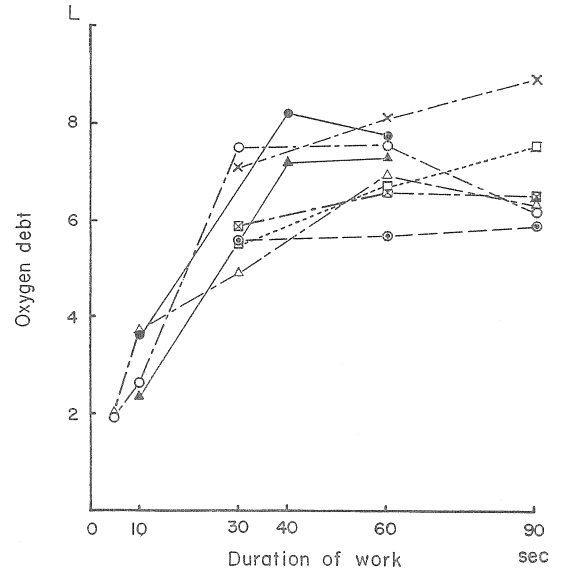
5. 酸素負債量について

第13図は、各運動時間の運動での酸素負債量を示した。

この図から、各被検者について最も高い値を示しているのが、最大酸素負債量である。

短距離の選手では約40秒、マラソンランナーと非鍛練者では約90秒の運動の時に最大酸素負債量を出現している。最大酸素負債量が出現する約40秒から90秒の運動は、血液乳酸量も最高になり先ほぽ一定する傾向がみられた。

図13 各運動時間(横軸)の運動での酸素負債量(縦軸)を示す



にも述べたように、無酸素的要素のきわめて強い運動と有酸素的要素の強い運動との接点ということが言える。この時間での全力の運動は、運動強度が最大であることを表わしている。

VI 結 論

(1) モナーク製の自転車エルゴメーターを使用して、3KPの負荷で最初から全力でこがせ、パワーを測定した。

(2) 運動を開始してから、3秒～6秒で最高のパワーを記録した。約6秒までの運動は、全く酸素の供給なしに行なわれるので、この時に記録される最高のパワーが無酸素的的最大パワーである。

(3) 5秒間の非常に短い時間の運動でも血液中に約15mg/100mlの過剰乳酸が測定された。このことは、アデノシン三磷酸の再合成のために、5秒より前に筋肉中のグリコーゲンが分解され始めることを表わしている。

(4) 回復期の血液乳酸量の最高値は、運動直後よりも、むしろ3分から8分後に出現した。このことは、筋肉で生成された乳酸が、血液中に拡散されるまでに時間が必要であることを示している。

(5) 回復期の血液乳酸量は運動時間が長くなるにつれて高くなるが、約60秒以上の運動になると

(6) 血液乳酸量と酸素負債量とは、除脂肪体重 (lean body mass) 1kg 当り約 30ml の酸素負債量から約 110ml の酸素負債量まで、すなわち運動時間にして、5 秒から約 60 秒までの運動においては比例的関係があった。約 60 秒以上の運動になると比例的関係はなくなった。

(7) 血液乳酸量と酸素負債量の関係から除脂肪体重 1kg 当り、約 23ml の非乳酸性の酸素負債量を測定した。

(8) 血液乳酸量と仕事量の関係は、仕事量が約 200kgm から約 2,000kgm まで、運動時間にして 5 秒から約 60 秒までの運動では、比例的関係にあった。しかし、仕事量が約 2,000kgm、運動時間にして約 60 秒以上の運動になると比例的関係はなくなった。

(9) 酸素負債量と仕事量の関係は、仕事量が約 200kgm から約 2,000kgm まで、運動時間にして 5 秒から約 60 秒までは比例的関係にあった。しかし、仕事量が約 2,000kgm、運動時間にして約 60 秒以上の運動になると比例的関係はなくなった。

(10) 以上の結論から、運動を 3 つに大別することができる。

- ① 約 6 秒までの全力の運動—無酸素的運動。
- ② 約 6 秒から約 60 秒までの全力の運動—無酸素的要素のきわめて強い有酸素的運動。
- ③ 約 60 秒以上の全力の運動—有酸素的運動。

参考文献

- 1) Andersen, K.L.: Physiological working capacity health and fitness in the world. The athletic institute. 365~367. 1961.
- 2) Bang, O.: The lactate content of blood during and after muscular exercise in man. Scand. Arch. Für physiol. 74: 51~82. 1936.
- 3) Barker, S. B. and W. H. Summerson: The calorimetric determination of lactic acid in biological material. J. Biol. Chem. 138: 535~554. 1941.
- 4) Diamant, B., J. Karlsson and B. Saltin: Muscle tissue lactate after maximal exercise in man. Acta. Physiol. Scand. 72: 383~384. 1968.
- 5) Hill A.V., C.N.H. Long and H. Lupton: Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. Proc. Roy. Soc. London B. 96: 438~475. 1924.
- 6) Hill A.V.: The efficiency of mechanical power development during muscular shortening and its relation to load. Proc. Roy. Soc. London. B. 159: 319~325. 1964.
- 7) 猪飼道夫, 進藤宗洋: トレッドミルによる作業能力の研究 I, 体育の科学 17(7), 406~412. 1967.
- 8) 猪飼道夫, 進藤宗洋: トレッドミルによる作業能力の研究 II, 体育の科学 17(8), 456~462. 1967.
- 9) 猪飼道夫, 進藤宗洋: トレッドミルによる作業能力の研究 III, 体育の科学 17(9), 527~530. 1967.
- 10) 猪飼道夫, 金子公有: パワー (瞬発力) の研究, 体育の科学 15(10), 571~576. 1965.
- 11) 猪飼道夫, 芝山秀太郎, 石井喜八: 疾走能力の分析, 体育学研究 7(3), 1~12. 1963.
- 12) 河合正光: 運動選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素債について, 体力科学 5(3), 67, 1955.
- 13) Knuttgen, H.G.: Oxygen debt, lactate, pyruvate, and excess lactate after muscular work. J. Appl. Physiol. 17: 639~644. 1962.
- 14) Lundin, G. and G. Ström: The concentration of blood lactic acid in man during muscular work in relation to the partial pressure of oxygen of the inspired air. Acta. Physiol. Scand. 13: 253~265. 1947.
- 15) Margaria, R., H. T. Edwards and D. B. Dill: The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. Am. J. Physiol. 106: [689~715. 1933.
- 16) Margaria, R., P. Cerretelli, P. E. Di Prampero, C. Massari and G. Torrelli: Kinetic and mechanism of oxygen debt contraction in man. J. Appl. Physiol. 18: 371~377. 1963.
- 17) Margaria, R., P. Aghemo, and E. Rovelli: Measurement of muscular power (anaerobic) in man. J. Appl. Physiol. 21(5): 1662~1664. 1966.
- 18) 中西光雄, 他, Efficiency Tester による Max O₂-intake, Max O₂-debt の測定, 体育学研究 IX-1, 120, 1964.
- 19) 中村淳子: プレティスモグラフによる作業時前腕血流量の測定, 体育学研究 8(3.4), 83~92. 1965.
- 20) 宮村実晴: 心拍出量からみた全身持久性, 体育学研究 11(2), 69~76. 1966.
- 21) Ström, G.: The influence of anoxia on lactate utilization in man after prolonged muscular work. Acta. Physiol. Scand. 17. 440~451. 1949.
- 22) 田口貞善: 筋酸素摂取量からみた筋持久力トレーニング効果の研究, 体育学研究 14(1), 19~27. 1969.
- 23) Wasserman, K., G. G. Burton, and A. L. Van Kessel. Excess lactate and oxygen debt of exercise. J. Appl. Physiol. 20: 1299~1306. 1965.
- 24) Wilkie, D.R.: Man as a source of mechanical power. Ergonomics. 3: 1~8. 1960.