

機関番号：37101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20570232

研究課題名（和文）内的・外的パワー水準に着目した筋の機械的効率の解析

研究課題名（英文）Analysis of the muscular mechanical efficiency focused on internal and external power

研究代表者

得居 雅人（TOKUI MASATO）

九州共立大学・スポーツ学部・教授

研究者番号：00227571

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、走運動時の筋の機械的率を算出し、その影響因子を明らかにすることである。一般成人の市民ランナーを被験者として、機械的効率(内的・外的仕事／エネルギー消費量)を算出し、併せて、走運動と自転車運動の経済性(一定速度に対する酸素消費量)、ジャンプ力および下肢のバネ能力を測定した。これらのデータから、機械的効率に対するバネ能力の影響を推定することが今後の課題である。

研究成果の概要（英文）：The aims of this study were to calculate the muscular mechanical efficiency and to clarify an affect factor during running. Muscular mechanical efficiency was determined as internal and external work for energy consumption from experiments for citizen runners. Running and cycling economy (oxygen consumption for the constant velocity), jump performance and elastic ability were measured. The further problem is to estimate the influence of the elastic ability in the change of the muscular mechanical efficiency.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	300,000	90,000	390,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：運動生理学

科研費の分科・細目：人類学・応用人類学

キーワード：ランニング、動作解析、地面反力、酸素摂取量、バネ能力

1. 研究開始当初の背景

走運動は、日常生活からスポーツに渡るあらゆる身体活動の基礎を成す運動である。走運動時は、エネルギー基質の酸化による化学的エネルギーにより、四肢を回転させ（内的パワー出力）、外界へとパワーを出力して

いる（外的パワー出力）。この時に、身体に入力された化学的エネルギーと出力された機械的パワーの比率は、筋の機械的効率と定義され、この走運動時の化学-機械エネルギー変換過程の機序の解明は、走運動の総合的な理解に基礎的な知見を与えるものである。

我々は、パワーの測定や運動の条件設定の容易な自転車運動を用いて、筋の機械的効率の機序を検討して来た。そして、機械的効率は、発揮張力と筋収縮速度・頻度のバランスの上で変動し、そのバランスには内的パワー水準が鍵を握ることを確認した。そこで、上記の機械的効率の評価の問題を解決し、我々の研究成果を走運動に応用するために本研究を計画した。

走運動の機械的効率の評価のためには出力パワーとエネルギー消費量を同時に計測しなければならない。Arampatzis et al. (2000) らは、走運動の機械的パワーを4種類の方法で測定している。すなわち、①地面反力の機械的パワーの和、②身体重心の機械的エネルギーの変化、③各セグメントの機械的エネルギーの変化、④各関節の機械的パワーの和であるが、②③の映像解析のみによる評価よりも、①④の地面反力の測定と映像解析による方法が適切であると述べている。これらの方法に基づき、多方面から研究が試みられているが (Avogadro et al. 2003, Purkiss and Robertson 2003, Slawinski and Billat 2005) その評価方法は確立されていない。これは、内的パワーの評価が容易でないこと、また同時にエネルギー消費量を測定することが困難であることによる。

さらに、走運動の効率を考える上で、下肢のバネ的要素による弾性エネルギーの利用について考慮しなければならない。ヒトは、ATP 分解時に発生するエネルギーにより筋を収縮させパワーを出力しており、ATP 再合成のために酸素を用いてエネルギー基質を分解している。一方、ヒトの筋腱複合体にはバネ的要素があり、走運動時に着地の衝撃を弾性エネルギーとして蓄え、次のキック力にプラスすることが出来る。弾性エネルギーを利用できれば、ATP 分解エネルギーを節約し、酸素消費を低値に抑えることが出来る。つまり、弾性エネルギーの利用によるパワー発揮には、ATP 消費(酸素消費)を伴わないため、効率よく運動が遂行できる。

2. 研究の目的

- (1) 内的・外的パワーから走運動時の機械的効率を評価する。
- (2) 下肢のバネ的能力に着目し、その変動の要因を明らかにする。

3. 研究の方法

(1)概要

走運動時の筋の機械的効率(内的・外的仕事/エネルギー消費量)を評価し、併せて、走運動と自転車運動の経済性(一定速度に対する酸素消費量)を測定する。下肢のバネ的能力発揮による弾性エネルギーは、走運動時には利用されるが、自転車運動時には利用さ

れないので、効率(走)と経済性(走と自転車)の比較により弾性エネルギーの利用の程度を推定する。さらにジャンプ力とアキレス腱硬度を測定し、下肢のバネ能力の指標とする。

(2)手順および測定項目

①ランニングの効率及び経済性:室内 50m 全天候走路において、最大下速度の漸増負荷走(4分×3段階、計12分)を実施した。呼吸代謝分析器(MetaMax 4B, Cortex社製)および心拍計(Polar社製)を装着し呼気ガスと心拍数を測定した。分析区間ではモーションキャプチャシステム(Mac 3D, Motion Analysis社製)により身体の基準点をキャプチャし地面反力を測定した(フォースプレート, Kistlar社製)。運動の前後に指尖より静脈血を採取し血中乳酸値(Biosen C-Line, EKF Dagnostoc社製)を測定した。

②自転車運動の経済性:自転車エルゴメーター(Corival V2, Load社製)を用いて、最大下の強度の漸増負荷自転車運動(4分×3段階、計12分)を実施した。ランニング同様、呼気ガスと心拍数を、運動前後に血中乳酸値を測定した。

③ジャンプ力:垂直跳び、ドロップジャンプ(台高10cm、20cm)、10回連続ホッピングを実施し、跳躍高、接地時間を測定した(マルチジャンプテスター, DKH社製)。全てのジャンプでは、両手を腰に当て上肢の反動を用いないで行なった。

④アキレス腱硬度:等速性筋力測定器(CybeX NORM,)を用いて等尺性の脚関節底屈運動(10秒間)を実施し、Bモード超音波診断装置(SSD-900, ALOKA社製)を用いて下腿(腓腹筋、アキレス腱)の矢状面動画を撮影し、発揮トルク、筋電図(MQ8, キッセイコムテック社製)を記録した。

(3)データ算出:以下の通り、走運動時の機械的効率を算出し、影響因子を検討する。

- ①パワー出力:地面反力と動作解析から、身体各セグメントの機械的エネルギー・関節力・関節トルクを算出し、内的・外的パワー及び総パワーを算出する。
- ②エネルギー消費量:有酸素エネルギーは呼吸交換比と酸素摂取量より、無酸素エネルギーは血中乳酸蓄積量から求める。
- ③機械的効率:安静時以上のエネルギー消費量に対する総パワーの割合として算出する。
- ④ジャンプインデックス、アキレス腱の伸張量からバネ能力を評価する。

4. 研究成果

3種類の速度における $\dot{V}O_2$ を表1(Run)および2(Bicycle)に示した。安静時と比較して、運動時には $\dot{V}O_2$ は大きく増大した。

表 1. 3 種類の一定速度走における酸素摂取量

Sub.	Rest	Lower	Middle	Higher
A	7.9	35.1	40.4	48.2
B	7.0	43.7	48.6	53.7
C	8.5	40.8	42.3	47.3
D	8.9	38.2	42.3	48.2
E	6.9	40.1	41.7	43.7
F	5.8	44.5	46.8	53.3
G	4.8	44.8	49.6	53.1

表 2. 3 種類の一定負荷ペダリングにおける酸素摂取量

	Rest	Lower	Middle	Higher
A	5.2	24.6	33.8	50.3
B	5.6	26.8	37.6	49.1
C	6.1	25.8	32.0	39.5
D	4.6	21.7	27.9	34.6
E	6.1	19.7	20.3	24.0

表 3. 血中乳酸値

Sub	Run			Bicycle		
	①	②	③	①	②	③
A	1.18	1.61	0.43	0.85	3.76	2.91
B	2.15	6.83	4.68	2.05	9.54	7.49
C	1.73	8.14	6.41	4.21	7.86	3.65
D	1.43	4.30	2.87	1.64	2.66	1.02
E	1.35	2.70	1.35	2.58	3.10	0.52
F	3.63	5.01	1.38	1.67	4.80	3.13
G	2.31	2.54	1.23	1.09	2.57	1.48

①:Pre, ②:Post, ③:Accumulation

表 3 には、Run および Bicycle の運動前後における血中乳酸値と蓄積量を示した。運動強度が高ければ (VO₂ が高ければ)、血中乳酸蓄積量も大きいと予想されるが、結果は必ずしもそうではなかった。すなわち、同程度の VO₂ であった Sub.A および B では、Bicycle において高い乳酸値を示した。また、図 1、2 に示した Run および Bicycle における酸素摂取量と血中乳酸蓄積量関係において、Bicycle では両者には比例の傾向が見られたが、Run では一定の関係は認められなかった。Bicycle は脚筋のコンセントリックな局所的運動であり、Run はストレッチ-ショートニングサイクル(SSC)が動員された全身運動である。このような、筋・腱の活動様式の違いがエネルギー代謝に影響し、効率を変化させる要因になる可能性が指摘できる。

図 3 に、各種ジャンプ (垂直跳び、10cm および 20cm からのドロップジャンプ、10 回連続ホッピング) の跳躍高を示した。どのジャンプが最も高い値を示すのか、それは被験者毎に異なっており、これが筋腱の使い方、バネ能力の発揮の仕方を反映したものであると考えられる。

図 4 には、Run および Bicycle における酸素摂取量の増加率 ((VO₂@higher-VO₂@Lower)/VO₂@Lower) を示した。Bicycle がより高負荷で

あったと推測されるが、Run と Bicycle の増加率には個人差が見られた。このことも両者の筋・腱の活動様式の違いに起因し効率の影響因子になると考えられる。

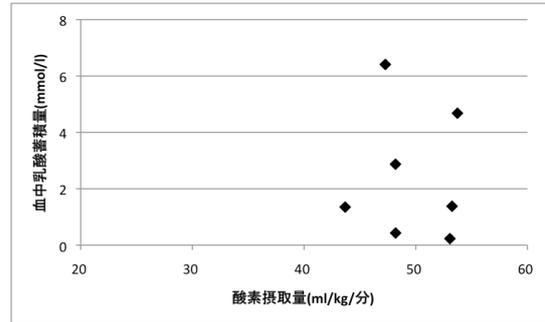


図 1. Run における酸素摂取量と血中乳酸蓄積量の関係

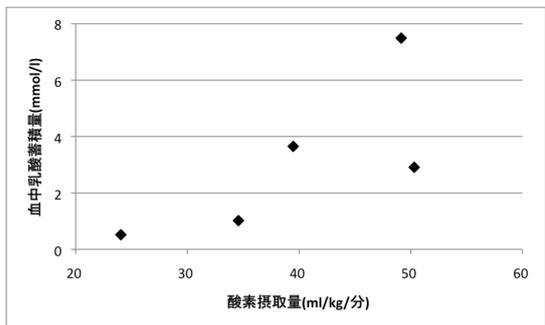


図 2. Bicycle における酸素摂取量と血中乳酸蓄積量関係

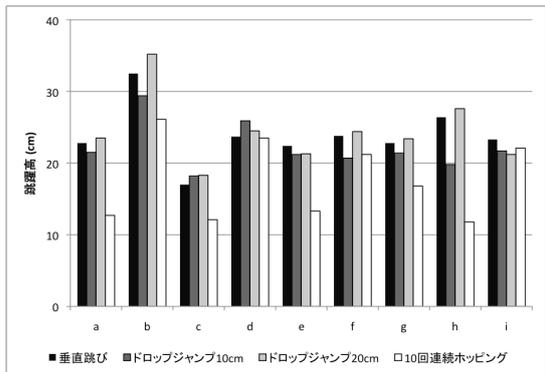


図 3. 各種ジャンプの跳躍高

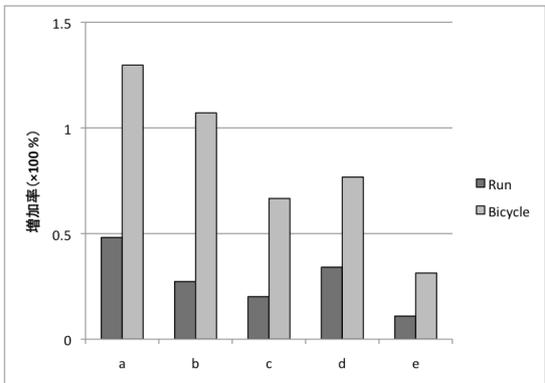


図 4. Bicycle における酸素摂取量と血中乳酸蓄積量

5. 主な発表論文等
なし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

得居 雅人 (TOKUI MASATO)

九州共立大学・スポーツ学部・教授

研究者番号：00227571