

## 機械的パワーからみた疾走における 下肢筋群の機能および貢献度

阿 江 通 良・宮 下 憲・横 井 孝 志\*  
大 木 昭一郎・渋 川 侃 二

### Mechanical powers and contributions of the lower limb muscles during running at different speeds

Michiyoshi AE, Ken MIYASHITA, Takashi YOKOI,  
Shoichiro OOKI, and Kanji SHIBUKAWA

The purposes of this study were to examine changes in mechanical powers and works at each of the lower limb joints with increase in running speed, and to identify the functions of the lower limb muscles and their contributions to running speed, stride length(SL) and stride frequency(SF).

Five male sprinters were instructed to run at different speeds(ca. 3 m/s to 10 m/s) and contact with a force platform, and were filmed with a high speed camera. A link segment modelling was used to compute joint torques of the lower limb. Mechanical absolute, positive, and negative works(ABW, PW,NW) done by the muscles were calculated by integrating mechanical power(product of joint torque and joint angular velocity) during each of eight phases(phase 1, right foot contact to mid support of the right foot; phase 2, to right toe-off; phase 3, to the end of follow-through of the right foot; phase 4, to left foot contact; phase 5, to mid support of the left foot; phase 6, to left toe-off; phase 7, to the start of backward swing of the right foot; phase 8, to right foot contact).

With increase in running speed, total ABW of the lower limb muscles increased and that of max. speed was 3.1 times of slow speed. ABW done by the hip muscles most remarkably increased(5.2 times of slow speed), while those of the ankle and knee were 1.7 and 2.8 times, respectively. With running speed, the mechanical works remarkably increased at phases 1(NW) and 2(PW) for the ankle, at phases 1, 4, and 7(NW) for the knee, and at phases 2(NW) and 4, 7, 8(PW) for the hip.

The major functions and the contributions of the lower limb muscles could be summarized as follows;

- 1) Plantarflexors exerted both positive and negative mechanical powers and primarily did work during support period.
- 2) Knee extensors absorbed energy at the former half of support period. Knee flexors decelerated the shank rotating forward prior to contact and thereby helped to increase SF.
- 3) Hip flexors played an important role in pulling the recovery leg in the former half of recovery period. Hip extensors, especially at fast speed, swung the recovery leg backward prior to contact.
- 4) Plantarflexors contributed to SL during support period and to SF in the phases prior to contact. The muscles about the knee and hip joints contributed to both SL and SF, exerting negative power at the knee and positive power at the hip when increasing running speed.

---

\*筑波大学大学院博士課程体育科学研究科

## I 結 言

走運動は人間の代表的な移動運動の一群であり、これまでにも様々な観点から多くの研究が行なわれている<sup>5,19,22)</sup>。このうち、身体各部の機能や疾走スピードへの貢献度を生力学的観点から研究することは、走運動の生力学的メカニズムを明らかにしたり、走技術や走能力のトレーニング法を確立するうえでの基礎的知見を提供すると考えられる。

松下ら<sup>12)</sup>、後藤ら<sup>7)</sup>は、筋電図を用いて身体各部の筋群の機能を、Ae, et al.<sup>11)</sup>は疾走中の身体各部の貢献度を運動量や加速度に着目して検討している。一方、走運動は生理的エネルギー(発生パワー)が身体各部の動作により出力パワーに変換され、機械的仕事をするにより生じると考えると、疾走中に身体、特に下肢の各関節まわりの筋群の活動により生じるトルク、パワー、仕事を検討することは、疾走における身体各部の機能や貢献度を究明するのに役立つであろう。

Mann<sup>14)</sup>はスプリントにおける腰、膝、足のトルクの経時的変化を記述している。下肢関節のトルク、パワー、仕事に関しては、Elftman<sup>6)</sup>がスプリントについて、Winter<sup>21)</sup>がジョギングについて、Robertson<sup>16)</sup>が中速疾走(秒速5~6m)における支持期についてそれぞれ検討している。また、Chapman and Caldwell<sup>3,4)</sup>は、6.71m/sから9.49m/sまでのトレッドミル走における回復脚の関節力パワー(joint force power)や筋群のパワー(moment power)の変化を検討し、接地に先立つ膝のpeak eccentric muscle momentの大きさが疾走スピードを限定することを示唆している。しかし、彼らは回復期について検討したのみで、支持期における地面反力やトルクを研究する必要があると述べている。

Chapman and Caldwell<sup>3,4)</sup>が述べているように、関節のトルク、パワー、仕事は疾走スピードの影響を大きく受けるので、走運動における身体各部の機能や貢献度を明らかにするには、これらを疾走スピードと関連づけて検討する必要がある。また、疾走スピードはストライドとピッチの積であるので、疾走の1サイクルの各局面で下肢筋群によってなされた仕事とストライドやピッチとの関係を知ることは、走技術や疾走スピードのトレーニングへの示唆を得るのに役立つと考えられる。

本研究の目的は、疾走スピードの増加にとりま

う下肢関節まわりの筋群のパワーや仕事の変化、および仕事とストライドやピッチとの関係を検討し、疾走における下肢筋群の機能や貢献度を生力学的観点から明らかにすることにある。

## II 方 法

### 1. 実 験

被験者には、5名の熟練した男子短距離走者(身長 1.728±0.051 m, 体重 599.8±45.1 N, 100m最高記録 10.6±0.2秒)を用いた。

被験者に3 m/sから全速までの異なる5種のスピードで走らせ、その疾走フォームを被験者の右側方25mの地点から16mm高速度カメラ(Milliken DBM-5D)により、疾走スピードが5 m/s以下の試技では128コマ/秒で、それ以上では250コマ/秒で撮影した。なお、フィルムスピードは、パルスジェネレーターからのパルスをフィルムに写し込むことにより校正した。撮影と同時に、地面反力を測定するため、疾走中にforce platform(Kistler AG,9281型)を自然なフォームを保って右足で踏むように指示した。

実験試技に際しては、無理なく指示した疾走スピードが得られるようにランニングスタートを用い、最大35mの加速距離をとらせた。疾走スピードは、force platformの中心から前後2.5mに設置した光電管セルを用いたスピードメーターによりモニターし、指示したスピードが得られない場合にはやり直しをさせた。16mmフィルムの分析から得られた5種の実験試技における身体重心の水平速度は、2.68±0.42, 3.89±0.20, 6.52±0.53, 7.86±0.53, 9.59±0.38 m/sで(以下、これらを速度の小さいものから、低速、中低速、中速、中高速、全速という)、統計的には有意差があった。

### 2. データーの処理

地面反力のデーター(水平前後、水平左右、鉛直方向の力および力の作用点)は、電磁オシログラフにより記録した。これらの波形をデジタイザーを用いて読み取り、得られたデーターを3方向の力およびforce platformの中心を基準にした力の作用点の値に換算して4 msごとにフロッピーディスクに保存した。

kinematicなデーターを得るため、フィルムのコマごとに23個の分析点の座標をデジタイザーにより読み取った。フィルム分析は少なくとも2歩にわたって行ったが、後の平滑化や微分演算など

を考慮して分析範囲の前後10コマを加えた。フィルムに写し込んだスケールマークをもとに各点の座標を実長に換算したのち、デジタルフィルター<sup>20)</sup>により低速および中低速の場合は8 Hzで、それ以上のスピードでは9 Hzで平滑化した。

以上のようにして得られた地面反力およびフィルムのデーターを右足接地時を基準にして同期したのち、Fig. 1に示した下肢の平面リンクモデルに入力し、足、膝、腰の各関節まわりのトルク、パワー、仕事を算出した。なお、これらの計算に必要な各部分の質量、重心位置、慣性モーメントはChandler, et al.<sup>2)</sup>のものを用いた。

筋群によってなされた機械的仕事は、Fig. 2~6に示した8区間について求め、符号に着目して、正負および絶対仕事（正および負仕事の絶対値の和）に分けた。これらの区間は、接地および離地、右大転子に対する右足先の位置に着目して次のように設定した。

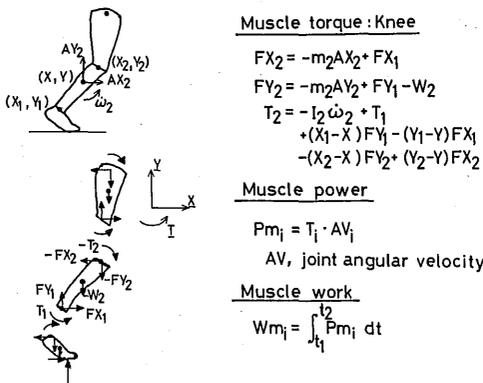


Fig. 1 Planar link segment model used to compute joint muscle torques, muscle powers, and muscle works. (X, Y, coordinates of segment endpoints and center of gravity; AX, AY, accelerations of the segment c.g.;  $\omega_2$ , angular accelerations of the segment; W, segment weight; m, segment mass; FX, FY, joint forces; T, joint torque; I, segment moment of inertia; AV, joint angular velocity; Pm, mechanical muscle power; Wm, mechanical work done by the muscles)

区間 1 : 右足接地から身体重心が右足先上を通過する時点まで (支持期前半)

区間 2 : 区間 1 終了から右足離地まで (支持期

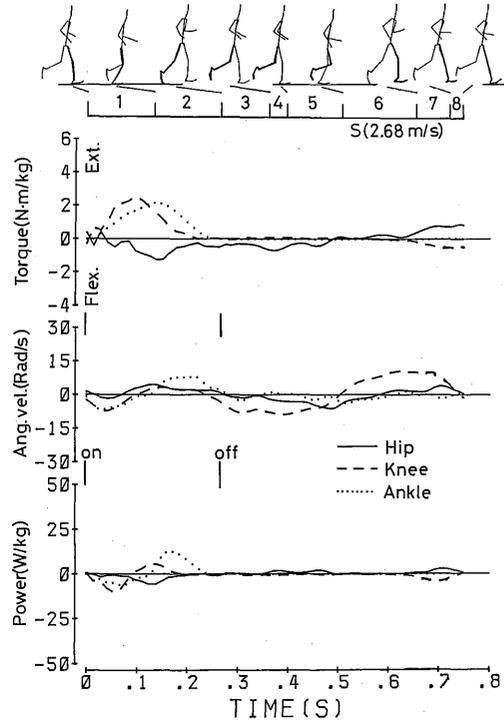


Fig. 2 Average joint torques, joint angular velocities, and muscle mechanical powers at the hip, knee and ankle of the right leg during one cycle of running at slow speed. Numerals 1 to 8 represent movement phases of running. Thick lines in the stick pictures represent the right leg. Data were normalized to the time of the support period and by the body mass of each subject.

後半)

区間 3 : 区間 2 終了から右足のフォロースルー終了まで

区間 4 : 区間 3 終了から左足接地まで

区間 5 : 区間 4 終了から、身体重心が左足上を通過する時点まで

区間 6 : 区間 5 終了から左足離地まで

区間 7 : 区間 6 終了から右足の振出し終了まで

区間 8 : 区間 7 終了から右足接地まで

### III 結 果

#### 1. 下肢関節におけるパワーの変化パターン

Fig. 2は低速疾走における右の腰、膝、足の各関節におけるトルク、関節角速度、パワーの経時的

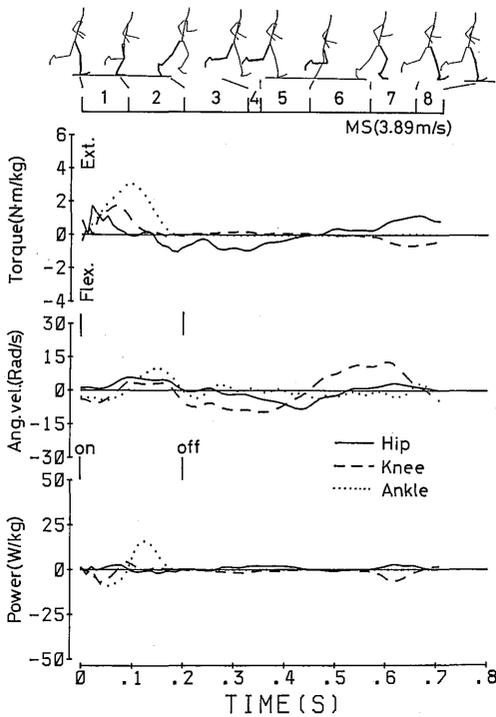


Fig. 3 Average joint torques, joint angular velocities, and muscle mechanical powers at the hip, knee and ankle of the right leg during one cycle of running at medium-slow speed. Presentation of figure is same as Fig. 2.

変化を5名の被験者の平均で1サイクルにわたって示したものである。同様に、Fig. 3~6はそれぞれ順に中低速、中速、中高速、全速の場合を示す。これらの図において、正のトルクは伸筋群（ただし、足関節では足底屈筋群）が優位であることを、正の関節角速度は関節の伸展（足関節では足底屈曲）を、正のパワーはエネルギーの発生を示している。また、最上段のスティックピクチャーの数字1~8は、前章で述べた8つの区間を示し、区間1および2は支持期、区間3~8は回復期である。

支持期のパワーは、足ではいずれのスピードでも前半の負から後半では正に変化し、膝では多少の変動はみられるが、足と同様に負から正へ変化した。しかし、腰では異なり、その変化のしかたは低速の場合、中低速、中速および中高速の場合、全速の場合の3つに分けられた。すなわち、腰のパワーは、低速では支持期全体にわたって負であ

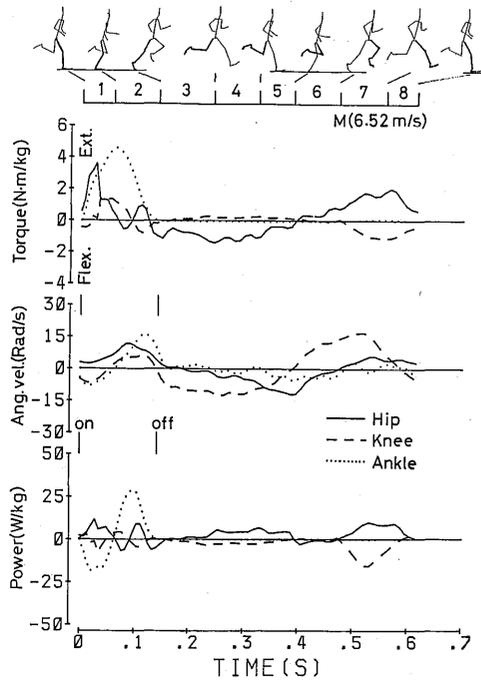


Fig. 4 Average joint torques, joint angular velocities, and muscle mechanical powers at the hip, knee and ankle of the right leg during one cycle of running at medium speed. Presentation of figure is same as Fig. 2.

り、中低速、中速および中高速の場合は前半では正、後半では負となったが、全速の場合はトルクの変動と呼応して、接地直後では負、その後は正となり、後半では再び負となった。

回復期におけるパワーの変動パターンには、疾走スピード間に本質的な相違はなかった。すなわち、回復期における足のパワーには見るべき変動はないが、膝は回復期のほぼ全体にわたって二峰性の負パワーを、腰は逆に二峰性の正パワーを示した。

一方、回復期におけるパワーの大きさには疾走スピード間に著しい相違がみられ、足を除けば、疾走スピードの増加にともなって膝では負パワーが、腰では正パワーが著しく増加した。

## 2. 下肢関節における最大パワーおよび仕事

Fig. 7は5種の疾走スピードにおける右の腰、膝、足の正および負の最大パワーを、支持期と回復期について平均値で示したものである。

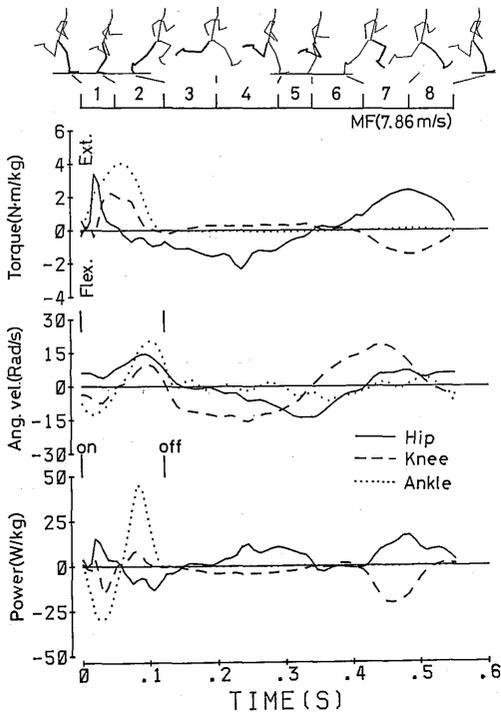


Fig. 5 Average joint torques, joint angular velocities, and muscle mechanical powers at the hip, knee and ankle of the right leg during one cycle of running at medium-fast speed. Presentation of figure is same as Fig. 2.

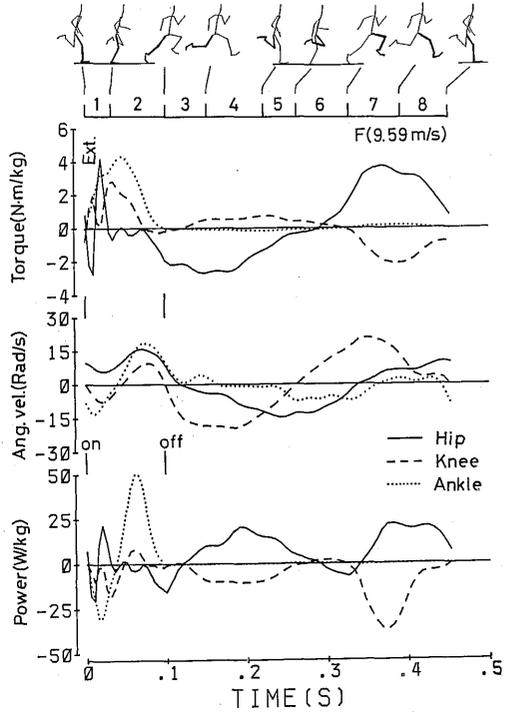


Fig. 6 Average joint torques, joint angular velocities, and muscle mechanical powers at the hip, knee and ankle of the right leg during one cycle of running at fast speed (maximal sprinting). Presentation of figure is same as Fig. 2.

支持期における最大パワーは、低速ではやや異なるが、正、負のパワーとも足が最も大きかった。疾走スピードの増加にともなって、下肢関節の最大パワーも増加し、増加の程度は正パワーでは足が大きいが、膝は小さく、負パワーでは3関節ともほぼ同じであった。

回復期における最大パワーは、いずれの疾走スピードでも、正のパワーでは腰が、負のパワーでは膝、ついで腰が大きかった。また、疾走スピードにともなう増加は、腰の正パワーおよび膝の負パワーにおいて大きかった。

Fig. 8は1サイクル中に右の腰、膝、足の各関節まわりの筋群によってなされた正負および絶対仕事を平均値で示したものである。

仕事の大きさは、絶対仕事では腰、膝、足の順で、正仕事では腰、足、膝の順で大きく、負仕事では膝が大きく、腰と足は同程度であった。

疾走スピードの増加にともなって、腰および膝の絶対仕事は大きく増加したが、足では全速の場合には、中高速よりもわずかに減少した。また、腰の正仕事および膝の負仕事の増加が著しく、それぞれ全速では低速の約8.5倍および約3.6倍であった。

### 3. 各区分間においてなされた仕事と疾走スピード、ストライド、ピッチとの関係

本研究でみられた疾走スピードの増加にともなうストライドおよびピッチの変化は、これまでの報告と同様に<sup>5,8,10,11,17,18</sup>、中高速まではストライドの増加が大きく、全速ではストライドが減少し、ピッチは著しく増加した。

1サイクルにおける各関節の総仕事と疾走スピード、ストライド、ピッチとの相関は、正仕事では腰 ( $r = 0.835 \sim 0.944$ ) と足 ( $r = 0.462 \sim 0.560$ ) において有意であったが、膝では

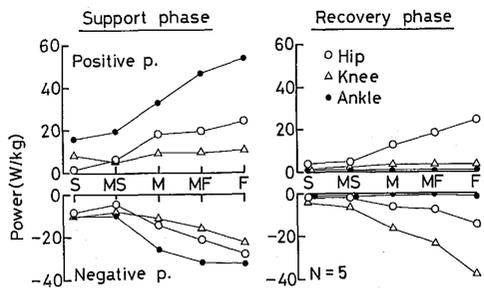


Fig. 7 Average maximal positive and negative powers exerted by the lower limb muscles at support and recovery periods. Characters S, MS, M, MF, and F represent running speeds at 2.68, 3.89, 6.52, 7.86, and 9.59 m/s, respectively.

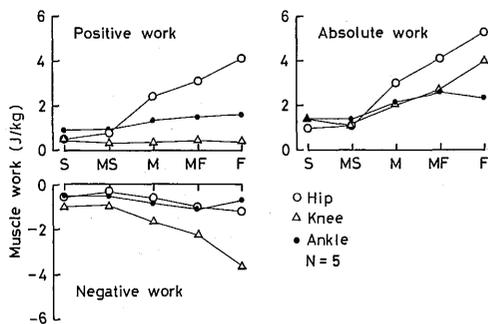


Fig. 8 Average absolute, positive and negative works done by the lower limb muscles of the right leg during one cycle of running at different speeds. Characters are same as Fig. 7.

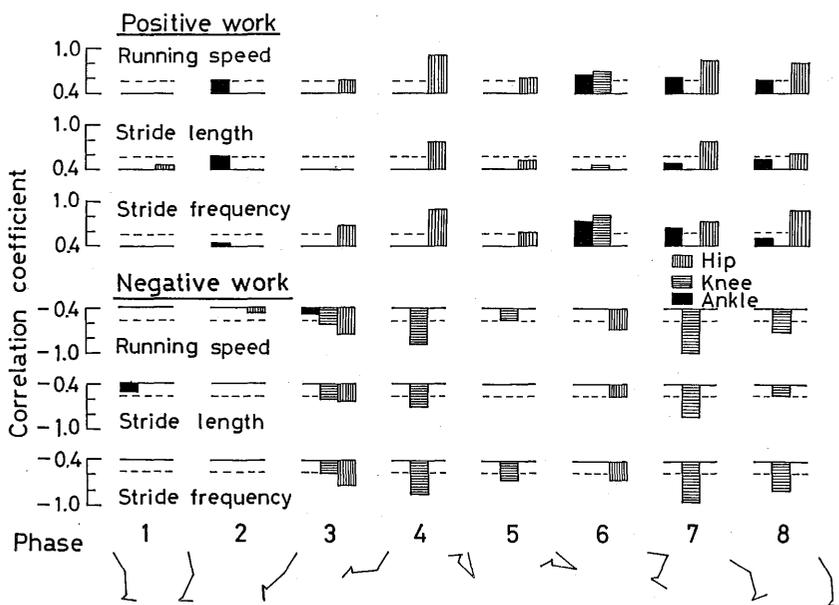


Fig. 9 Correlation coefficients of positive and negative works done by the lower limb muscles of the right leg during each phase to running speed, stride length, and stride frequency. Numerals 1 to 8 represent movement phases as in Fig. 2. Broken lines represent significant level at 1%.

いずれの項目においても有意ではなかった。しかし、負仕事では膝が高く ( $r = -0.728 \sim -0.941$ ), ついで腰 ( $r = -0.444 \sim -0.613$ ) であり、足ではストライドとの間にのみ有意な相関があった。

Fig. 9は、疾走の各区間における正および負の

仕事と疾走スピード、ストライド、ピッチとの間に見られた有意な相関係数を示したもので、図中の破線は1%の有意水準を示している。

正仕事では、疾走スピードに対する高い相関が回復期(区間6を除く)における腰、区間6にお

ける膝、回復期後半における足にみられたが、支持期では足にしかみられなかった。これと同様の傾向は、ストライドおよびピッチについてもみられた。

負仕事では、疾走スピードに対する有意な相関は、区間2, 3, 6で腰に、区間6を除く回復期で膝にみられたが、足に関しては区間3でみられたのみであった。これと同様の傾向は、ストライドおよびピッチにもみられた。

#### IV 考 察

##### 1. 疾走中の下肢筋群の機能

疾走スピードを約3 m/sから10 m/sまで変化させたにもかかわらず、支持期における腰を除けば、パワーの変動パターンには著しい相違はなかった。このことは、疾走スピードが異なってもパワーからみた下肢筋群の機能には、共通するものがあることを示していると考えられる。

##### (1) 足関節まわりの筋群

足のパワーは、主として支持期において発揮された。支持期では腓腹筋などの足底屈筋群の放電が顕著であること<sup>7,12)</sup>を考えると、このパワーは足底屈筋群によって発揮されたものであるといえよう。トルクやパワーの変化から、足底屈筋群は、支持期前半ではeccentricな筋収縮により負パワーを生じて、足接地にともなう衝撃力や身体の機械的エネルギーを吸収し、後半ではconcentricな筋収縮により正パワーを生じて身体を推進させていることがわかる。また、これらの機能には、疾走スピードによる相違はないことがわかる。

足の最大パワーは疾走スピードの増加とともに増し、また全速の場合の支持期における正仕事は、腰や膝よりも大きかった。しかし、疾走スピードにともなう、正および負の仕事の増加は小さかった。

これらのことから、足底屈筋群はいかなる疾走スピードにおいても、支持期における最も大きなパワーの発生源であると考えられるが、1サイクル中に発揮するエネルギーは疾走スピードが増加してもあまり大きく増加しないことがわかる。

##### (2) 膝関節まわりの筋群

膝のパワーを発揮する筋群は、接地直後では屈筋群が優位な局面もあるが、支持期前半では伸筋群が負パワーを生じ、後半では正パワーを生じた。このことから、支持期前半では、伸筋群は

eccentricな筋収縮により衝撃力や身体の機械的エネルギーを吸収し、後半ではconcentricな筋収縮により機械的エネルギーを増し推進力を得るのに働くことがわかる。

一方、回復期前半では、膝関節は屈曲を続けるが、伸筋群が下腿の機械的エネルギーを吸収する。後半では、逆に膝関節は伸展し下腿が振出されるが、屈筋群が下腿の機械的エネルギーを吸収する。これらの活動は、下腿の過度な回転を抑制して脚の回復を早め、足の接地位置が身体重心に近くなるようにして、支持期におけるブレーキを小さくするのに役立つ<sup>3,4)</sup>と考えられる。

以上のことから、膝関節まわりの筋群の主な機能は、伸筋群、屈筋群ともに負パワーを発揮することにあることがわかる。このうち、屈筋群の負パワーや負仕事は疾走スピードとともに著しく増加していたことから、大きなスピードで疾走するには、膝伸筋群よりも屈筋群のほうが重要になると考えられる。

##### (3) 腰関節まわりの筋群

回復期前半では、屈筋群が後方へ回転している大腿の機械的エネルギーを吸収し、次いでそれを前方へ回転させるための正パワーを生じる。後半では、伸筋群が前方へ回転している大腿の機械的エネルギーを吸収し、接地に先立って大腿を後方へ振りもどす。筋電図によると<sup>7,12)</sup>、この局面では、大腿二頭筋や大殿筋の活動が大きい。このうち、二関節筋である大腿二頭筋は、同時に膝屈曲にも関与するので、Mann<sup>13,14)</sup>がスプリントに関して、Winter<sup>21)</sup>がジョギングに関して指摘したように、この筋には極めて大きな負荷が加わっていると考えられる。

支持期では、低速の場合は、ほぼ支持期全体にわたって腰屈筋群が負パワーを発揮した。これは、大腿あるいは体幹の機械的エネルギーを吸収していることを示し、同時に発揮される大きな膝伸筋群の正パワーに対するスピードコントロールのための代償作用や、体幹を安定させるため<sup>21)</sup>と考えられる。

一方、中低速、中速および中高速の場合では、前半は正の、後半は負のパワーがみられた。これは、前半では腰伸筋群がブレーキを小さくし、後半では屈筋群が過度な大腿の伸展や体幹の後傾を抑制する働き<sup>9)</sup>を示すことを示すと考えられる。したがって、腰伸筋群は支持期後半ではあまり大

大きく身体を加速していないと考えられる。ここで述べた筋群の機能は、中高速までは、疾走スピードが大きいかほど明確になることから、合理的な疾走フォームにおける腰関節まわりの筋群はこのようなパワーの変動パターンを示すものと推測される。

衝撃的なトルクやパワーの変動を論じる場合には、データのsampling rateや平滑化の影響などを考慮する必要がある。本研究で示したトルクやパワーは、9 Hzで平滑化されたフィルムデータと平滑化されていない地面反力のデータを用いて求めたものである。しかし地面反力のデータを9 Hzで平滑化してトルクを計算すると、接地直後の腰の屈曲トルクはみられなくなった (Fig. 10)。いずれの方法を用いるかは今後さらに検討すべきであろうが、本研究では、疾走スピードの増加による地面反力、トルク、パワーの変化の過程を考慮して力のデータを平滑化しない場合のものについて考察をすすめることにした。

全速の場合では、支持期の前半後期から後半では中高速の場合と同様の傾向がみられたが、接地直後では著しく異なり、負パワーが膝や足の負パワーとともに出現した。このパワーの変動は、接地直後では、腰、膝、足の筋群が協働して身体の機械的エネルギーを吸収していることを意味していると考えられる。言い換えると、全速疾走では、支持期前半において大きな機械的エネルギーや衝撃力を短時間で吸収するために、多くの筋群が協働する必要があることを示すものと考えられる。

しかし、このとき大腿および体幹は後方へ回転しており、機械的エネルギーの流れ (Energy flow) <sup>15)</sup>から考えると、腰屈筋群は負パワーを生じて大腿と体幹から機械的エネルギーを吸収していることになる。このような機械的エネルギーの流れは、大腿を短時間に大きな速度で伸展するという観点からは望ましいとは考えられない。Elftman<sup>9)</sup>の報告にも、本研究と同様の支持期における腰のトルクパターンがみられる。Mann<sup>13)</sup>はElftmanのデータについて言及し、接地直後の腰屈曲トルクの出現は、接地距離、地面反力の鉛直/水平比が関係すると述べている。本研究でも、接地直後の腰の屈曲トルクや負パワーの大きい被験者では、そうでないものよりも接地距離や支持期前半の時間が短く、鉛直/水平比が小さかった。また、いずれの被験者においても、接地直後の腰

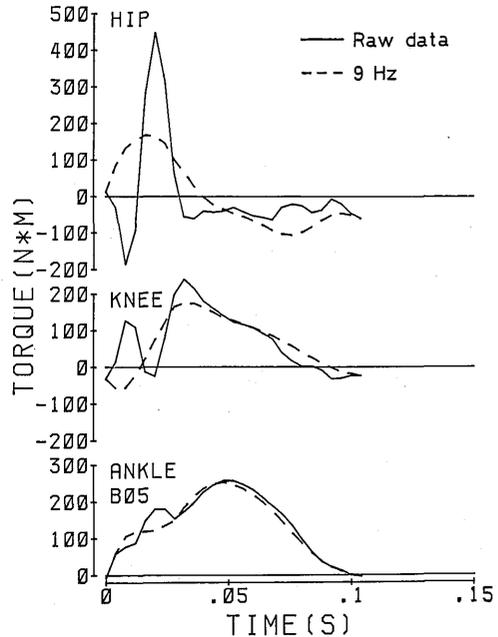


Fig. 10 Joint muscle torques of the hip, knee and ankle computed from raw ground reaction force data and from data filtered at 9 Hz.

の屈曲トルクのピークと支持期前半の水平地面反力のピークがほぼ一致していた。これらのことから、疾走フォームを改善して接地距離や地面反力の鉛直/水平比を適切にすれば、上述したような望ましくないエネルギーの流れを最小限にとどめることができると考えられる。

## 2. 疾走スピード、ストライド、ピッチへの下肢筋群の貢献度

### (1) 足関節まわりの筋群

支持期における足の最大パワーは、疾走スピードとともに著増したが、仕事は絶対、正、負のいずれも腰や膝ほど増加しなかった。これは、足底屈筋群が主として支持期で働くことによると考えられる。また、支持期における足の仕事とスピードやストライドの間にみられた有意な相関は、足底屈筋群がストライドを大きくするのに貢献していることを示すと考えられる。

これに対して、足のトルクやパワーが著しく小さい回復期後半 (区間6~8) において、足の正仕事と疾走スピード、ストライド、ピッチの間に高い相関がみられたことは興味深い。走の筋電図

的研究<sup>7,1218)</sup>によれば、区間6あたりでは前脛骨筋が、区間7～8では腓腹筋と前脛骨筋が同時放電し、これらが離地後の足底屈を早く回復し、接地前の予備緊張を引出して支持期における急激な力の発揮を助けるとされている。前述した結果はこのことを反映したものであろう。

## (2) 膝関節まわりの筋群

Chapman and Caldwell<sup>3,4)</sup>は、スプリントでは膝屈筋群の発揮する負パワーが下腿の振りもどしに大きく関係し、これがスプリントにおける疾走スピードの限定因子になると述べている。本研究でも、膝における負の最大パワーや仕事は、疾走スピード、ストライド、ピッチの増加に大きく関係していた。また、1サイクル中に膝でなされた負仕事に対する区間7および8における膝の負仕事は、低速では21%だが、中高速や全速では約57%であった。これらのことから、疾走スピードの向上には、膝屈筋群の発揮する負パワーの大きいことが極めて重要になることがわかる。

筋力やパワーのトレーニング手段には、膝伸筋群を対象としたものが多いが、屈筋群のeccentricな筋収縮による筋力やパワーを高めるものは比較的少ないようである。しかし、上述したことから、短距離走者のための筋力・パワーのトレーニングでは、eccentricな手段による膝屈筋群のトレーニング法を工夫する必要のあることが示唆される。

## (3) 腰関節まわりの筋群

疾走スピードの増加による回復期における腰の正仕事および正の最大パワーの増加、正仕事とストライドおよびピッチとの高い相関は、回復期前半では腰屈筋群が、後半では伸筋群が大きな正パワーを発揮することが疾走スピードを高めるのに重要であることを示すものであろう。

しかし、回復期の区間3および6では、負仕事と疾走スピード、ストライド、ピッチとの間にも有意な相関がみられた。これら両区間で発揮される負パワーは、いずれの疾走スピードにおいても小さかったが、疾走スピードの増加にともなう増加は全速の場合に著しく大きかった。区間3は大腿の動きが伸展から屈曲へ、区間6は屈曲から伸展へと切り換わる局面を含むことを考えると、ここで大きな負パワーを発揮することは大腿の動きの切り換えを促進することになり、特にピッチを高めるのに役立つと考えられる。

なお、支持期における腰のトルクは疾走スピー

ドとともに増加し、全速の場合には足と同じほど大きくなったが、最大パワーは小さかった。これは、腰関節まわりの筋群が、支持期では身体の中心部を固定したり、上体と下肢間の力、運動量、エネルギーを伝達したりする役割をはたすことを意味すると考えられる。

## V 結 論

以上の結果および考察から、疾走中の下肢関節まわりの筋群の機能および疾走スピードへの貢献度に関して、次のような結論を引出すことができよう。

- 1) 足底屈筋群は、いかなるスピードにおいても、支持期における最も大きなパワーの発生源である。支持期前半では負パワーを発揮して衝撃力や身体の機械的エネルギーを吸収し、後半では正パワーを発揮して身体を推進させる。
- 2) 膝関節まわりの筋群の主な機能は、負パワーを発揮することである。  
膝伸筋群は支持期前半では衝撃力や身体エネルギーを吸収し(負パワー)、後半では身体を推進させる(正パワー)。また、回復期前半では下腿の過度の回転を抑制する(負パワー)。  
膝屈筋群は、回復期後半では振出された下腿を接地に先立って後方に振りもどすために大きな負パワーを生じる。大きな疾走スピードでは、この局面における屈筋群の負パワーが重要である。
- 3) 腰まわりの筋群の主な機能は、正パワーを発揮することである。

腰伸筋群は支持期前半では身体を加速する(正パワー)。しかし、後半では身体を大きく加速することはなく、この傾向は疾走スピードが大きい場合には著しい。また、回復期後半では、大腿を接地に先立って後方へ回転させる(正パワー)。

腰屈筋群は、支持期後半では大腿を引きついたり、体幹の後傾を押さえ(負パワー)、回復期前半では回復脚の大腿を引きつける(正パワー)。しかし、疾走スピードが大きい場合には、接地直後に大きな衝撃力や身体の機械的エネルギーを吸収するために、屈筋群の働きが優位になることがある。

- 4) 疾走スピードの増加には、腰や膝の筋群がストライドおよびピッチを増すことによって貢献する。

足底屈筋群は、支持期ではストライドを、回復期後半の接地に先立つ局面ではピッチを増すことによって貢献する。

- 5) これらのことから、現在用いられている筋力・パワーのトレーニング法に加えて、腰まわりの筋群のトレーニングや膝屈筋群のeccentricな筋収縮によるトレーニングを様々な動きのなかで行なうことが、短距離疾走能力を高めるのに役立つと考えられる。

本研究の一部は、第10回国際バイオメカニクス学会(1985, Umea, Sweden)において発表した。

#### 参 考 文 献

- 1) Ae, M., K.Miyashita, K.Shibukawa, T.Yokoi, and Y.Hashihara: Body segment contributions during the support phase while running at different velocities. *Biomechanics IX-B*, D.A. Winter, R.W.Norman, R.P.Wells, K.C.Hayes, and A.E.Patla(Eds.), Human Kinetics Publishers, Champaign, 343-349, 1985.
- 2) Chandler, R.F., C.E.Clauser, J.T.McConville, H. M.Reynolds, and J.W.Young: Investigation of inertia properties of the human body. Wright-Patterson Air Force Base, OH, Aerospace Medical Research Laboratory, 1975.
- 3) Chapman, A.E. and G.E.Caldwell: Factors determining changes in lower limb energy during swing in treadmill running. *J. of Biomechanics*, 16:69-77, 1983.
- 4) Chapman, A.E. and G.E.Caldwell: Kinetic limitations of maximal sprinting speed. *J. of Biomechanics*, 16:79-83, 1983.
- 5) Dillman, C.J.: Kinematic analysis of running. *Exercise and Sport Sciences Reviews* Vol.3, J. H.Wilmore and J.F.Keogh(Eds.), Academic Press, New York, 193-218, 1975.
- 6) Elftman, H: The work done by muscles in running. *The American Journal of Physiology*, 129:672-684, 1940.
- 7) 後藤幸弘, 松下健二, 本間聖康, 辻野 昭: 筋電図による走の分析——歩幅・歩数の変化を中心として——, 身体運動の科学—I V—, 日本バイオメカニクス学会 編, 杏林書院, 15-33, 1983.
- 8) 星川 保, 宮下充正, 松井秀治: 歩及び走における歩幅と歩数に関する研究——各種速度における歩幅と歩数の関係——*体育学研究*, 16:157-162, 1972.
- 9) Korneljuk, A.O.: Scientific basis of sprinting speed development, *Track and Field Quarterly Review*, 82-2:6-9, 1982.
- 10) Luhtanen, P. and P.V.Komi: Mechanical factors influencing running speed, *Biomechanics IV-B*, E.Asmussen and K.Jorgensen(Eds.), University Park Press, Baltimore, 23-29, 1978.
- 11) 松井秀治: 走運動におけるピッチと歩巾について, *体育の科学*, 16:582-585, 1966.
- 12) 松下健二, 後藤幸弘, 岡本 勉, 辻野 昭, 熊本水頼: 走の筋電図的分析, *体育学研究*, 19: 147-156, 1974.
- 13) Mann, R.V. and P.Sprague: A kinetic analysis of the ground leg during sprint, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51:334-348, 1980.
- 14) Mann, R.V.: A kinetic analysis of sprinting, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 13:325-328, 1981.
- 15) Robertson, D.G.E. and D.A.Winter: Mechanical energy generation, absorption and transfer amongst segments during walking, *J. of Biomechanics*, 13:845-854, 1980.
- 16) Robertson, D.G.E.: Functions of the leg muscles during stance phase of running, A paper presented at the Xth Congress of the International Society of Biomechanics, Umeå, Sweden, 1985.
- 17) Saito, M., K.Kobayashi, M.Miyashita, and T. Hoshikawa: Temporal patterns in running, *Biomechanics IV*, R.C.Nelson and C.A. Morehouse(Eds.), University Park Press, Baltimore, 106-111, 1974.
- 18) 鈴木秀次, 渡辺士郎, 鈴木正隆, 阿部 馨: ランニングスピード増大に伴って変化する下肢の動きとEMG活動, 第7回日本バイオメカニクス学会大会論集, 55-61, 1984.
- 19) Vaughan, C.L.: *Biomechanics of running gait*, CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering, 12:1-48, 1984.
- 20) Wilcock, A.H. and R.L.G.Kirsner: A digital filter for biological data, *Medical and Biological Engineering and Computing*, 7: 653-660, 1969.
- 21) Winter, D.A.: Moments of force and mechanical power in jogging, *J. of Biomechanics*, 16:91-97, 1983.
- 22) Williams, K.R.: *Biomechanics of running*,

Exercise and Sport Sciences Reviews, R.L.  
Terjung(Ed.), Macmillan, New York, 13:  
389-441, 1985.