

6. 移動速度の影響からみた男性高齢者の下肢動作の特徴

本章では、これまでに行った歩（第4章）および走（第5章）の各動作のバイオメカニクスの分析をもとに、移動速度を共通の変数として、男性高齢者の移動運動における下肢動作の kinematics および kinetics の特徴を総括し、高齢者の移動能力維持に関する示唆を引き出す。なお、本章で考察の対象としたのは、4種類の速度での歩行動作と3種類の速度での走動作の全てにおいてデータが得られた34名（男性高齢者22名、青年12名）である。

6.1 身体動作について

図6-1は男性高齢者と青年の歩および走動作における移動速度とステップ長、ステップ頻度、SL/SF（歩行比とランニング比を総称してステップ比と呼ぶ）の関係を示したものである。

両群とも、移動速度の増加にともない、ステップ長およびステップ頻度とも増大したが、同程度の速度では、男性高齢者は青年よりもステップ長およびステップ比が小さく、ステップ頻度が大きかった。また、これらの両群間の差は移動速度が高いほど大きかった。このように、ステップ長が短く、ステップ頻度が高いことは移動運動の形態や速度に関わらずにみられる男性高齢者の特徴であるといえる。

図6-2は男性高齢者と青年の歩および走動作における移動速度と1サイクルでの下肢関節の角変位の関係を示したものである。

足関節では、両群とも、移動速度の増加にともなう底屈および背屈の角変位の変化は他の関節よりも小さかった。また、これらは、同程度の速度では青年よりも男性高齢者で小さかった。膝関節では、歩行動作において

- ELDERLY (walking) ▲ ELDERLY (running)
- YOUNG (walking) △ YOUNG (running)

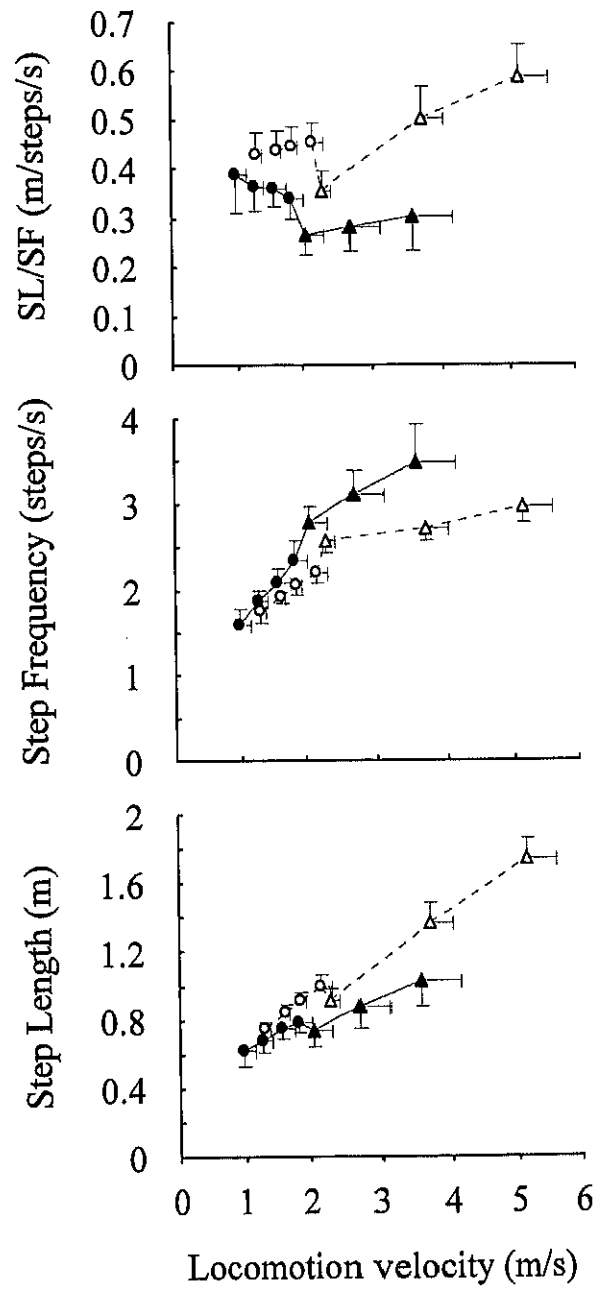


Figure 6-1
 Step length, step frequency and SL/SF(step ratio) in locomotion of different type (walking and running).

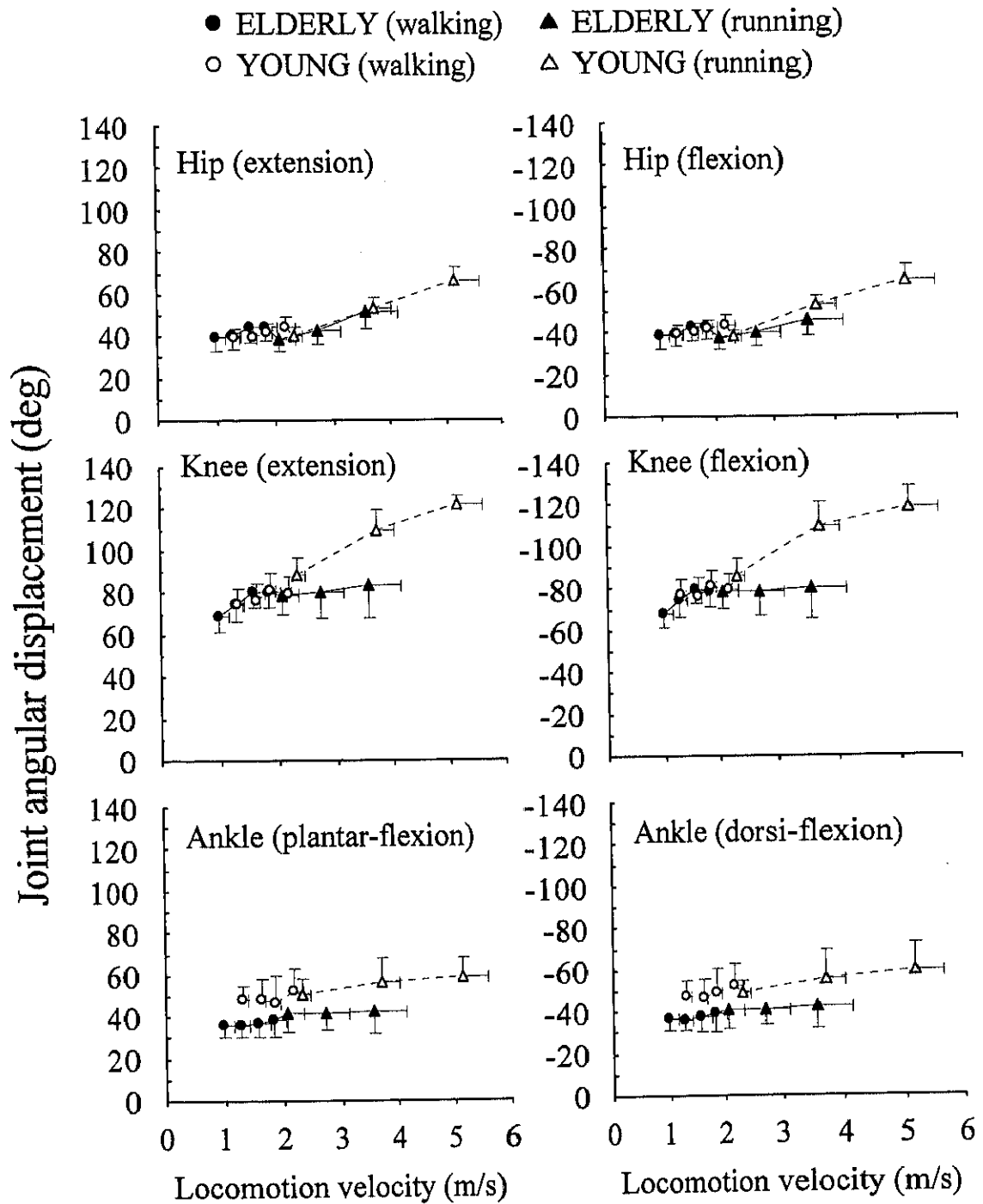


Figure 6-2

Joint angular displacement of the ankle, knee and hip joint during a locomotion cycle in walking and running. Positive value means extension or plantar-flexion and negative value means flexion or dorsi-flexion.

は、両群の伸展および屈曲の角変位には差がみられなかったが、走動作においては、青年では移動速度の増加にともない伸展および屈曲の角変位が増大していたのに対して、男性高齢者ではほとんど変化がみられず、両群間の差は走速度が高いほど大きかった。股関節では、移動速度の増加にともなう変化は両群とも歩行動作では小さく、走動作では大きかった。また、同程度の速度における両群の差は足関節、膝関節に比べると小さかった。

図 6-3 は男性高齢者と青年の歩および走動作における移動速度と下肢関節角速度の最大値の関係を示したものである。

両群とも、移動速度の増加にともない、いずれの関節角速度も増大する傾向がみられた。同程度の速度では、男性高齢者は青年よりも足関節底屈角速度が小さく、膝関節伸展角速度および膝関節屈曲角速度が大きかった。なお、歩および走とも、足関節底屈、膝関節伸展、膝関節屈曲の角速度の最大値は、それぞれ離地前、接地前、離地前後にみられた（図 4-12、図 5-9 参照）

以上のことから、男性高齢者では、移動運動の形態や速度に関わらず、足関節の角変位や離地前の足関節底屈角速度が小さく、走動作では、膝関節の角変位は小さいが、膝関節伸展および屈曲角速度が大きい傾向にあるといえる。そして、男性高齢者では、足関節および膝関節の角変位が小さいことが、ステップ長の減少を裏付けていると考えられる。

6.2 関節トルクおよび関節トルクパワーについて

図 6-4 は男性高齢者と青年の歩および走動作における移動速度と下肢関節トルクの最大値の関係を示したものである。

両群とも、いずれの関節も伸展トルクが屈曲トルクよりも顕著に大きかった。足関節では、歩および走とも、男性高齢者の底屈トルクは同程度の

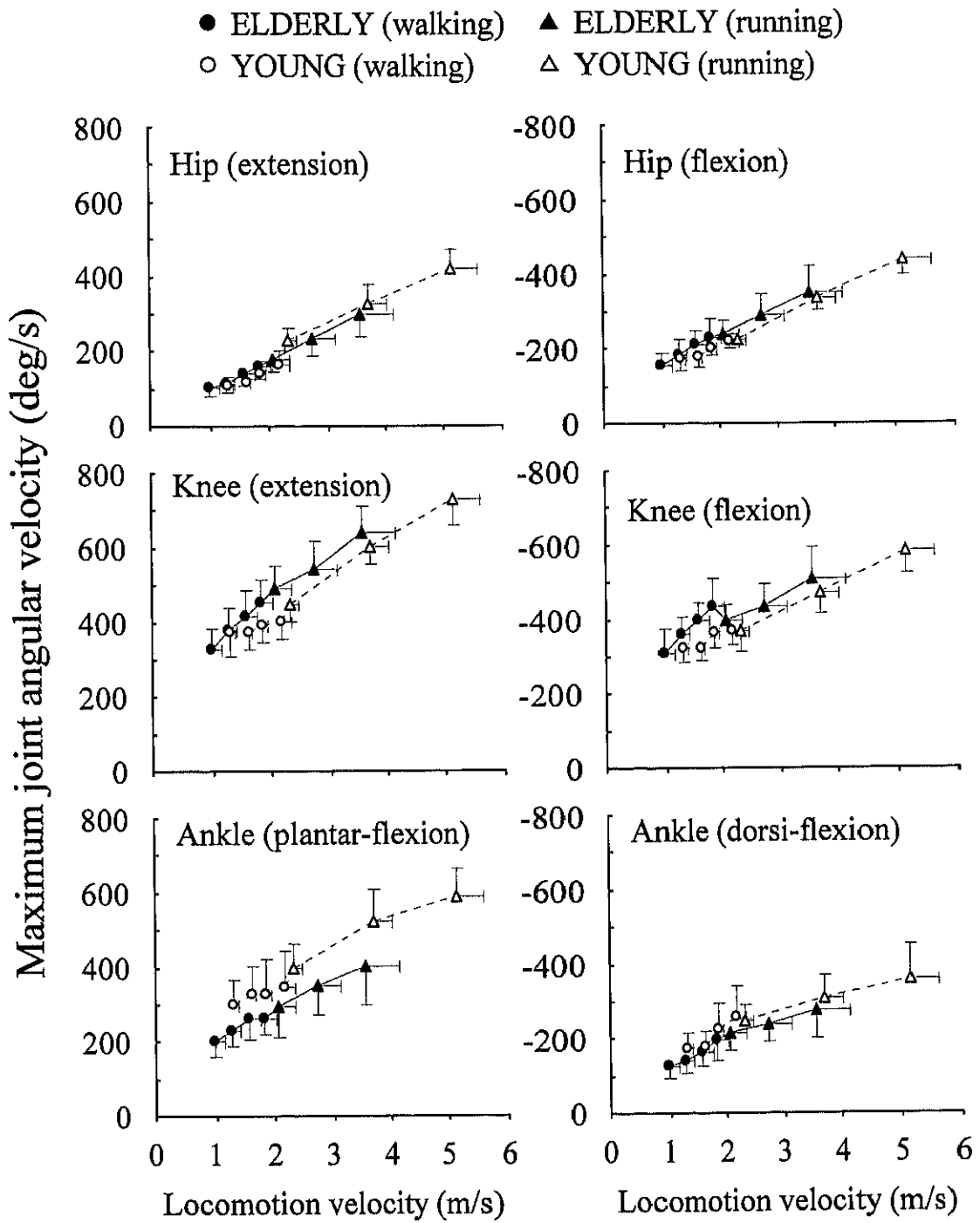


Figure 6-3

Maximum joint angular velocity of the ankle, knee and hip joint in locomotion of different type (walking and running). Positive value means extension or plantar-flexion and negative value means flexion or dorsi-flexion.

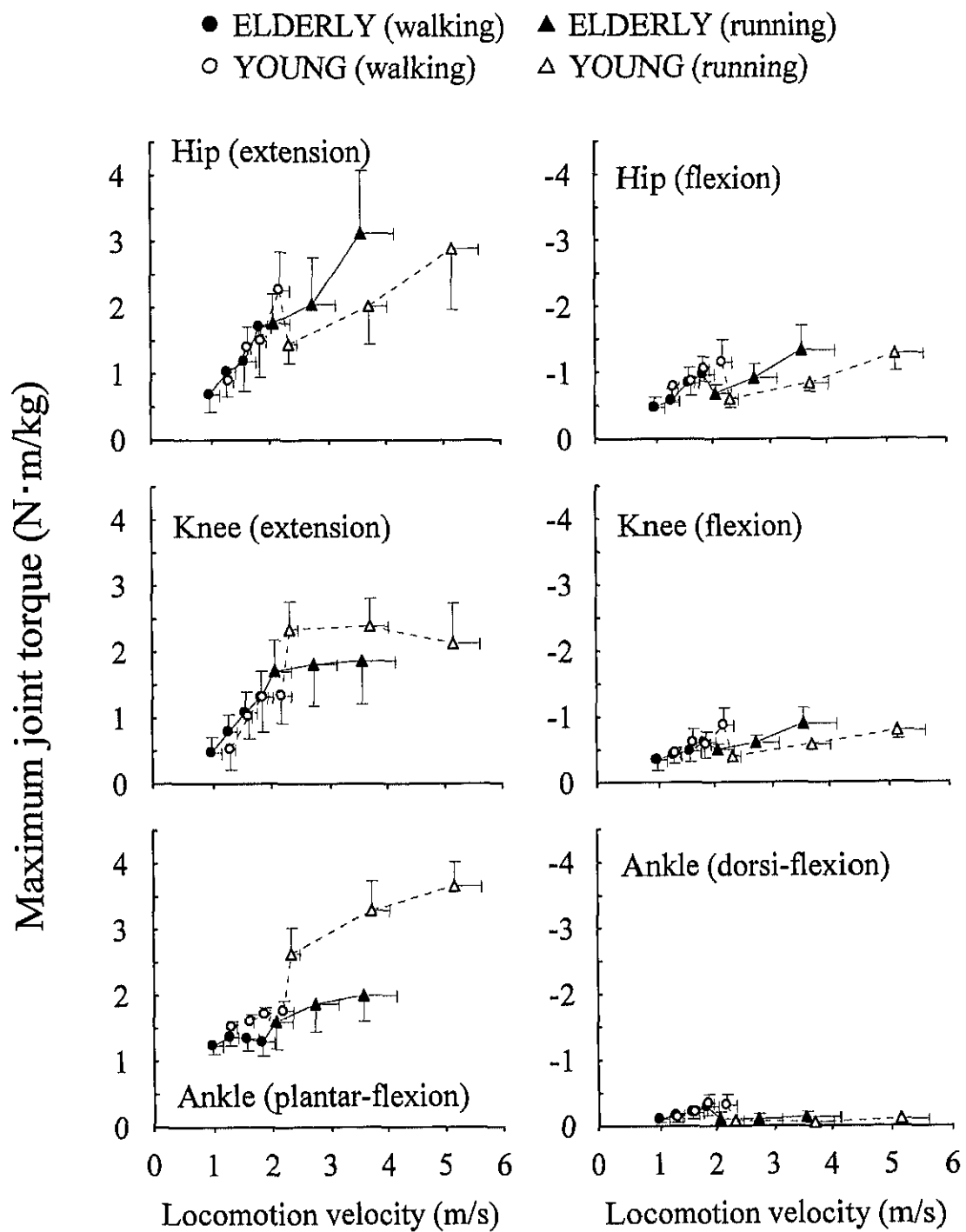


Figure 6-4

Maximum joint torque of the ankle, knee and hip joint in locomotion of different types (walking and running). Positive value means extension or plantar-flexion torque and negative value means flexion or dorsi-flexion torque.

速度における青年よりも小さかった。膝関節では、走動作においては、男性高齢者の伸展トルクは同程度の速度における青年よりも小さかった。股関節では、走動作においては、男性高齢者の伸展トルクおよび屈曲トルクは同程度の速度における青年よりも大きかった。

図 6-5 は男性高齢者と青年の歩および走動作における移動速度と下肢関節トルクパワーの最大値の関係を示したものである。

足関節では、歩および走とも、男性高齢者の足関節底屈トルクによる正および負のパワーは同程度の速度における青年よりも小さかった。膝関節では、走動作においては、男性高齢者の膝関節伸展トルクによる正および負のパワーは同程度の速度における青年よりも小さかった。また、歩および走とも、男性高齢者の膝関節屈曲トルクによる負のパワーは、同程度の速度における青年よりも大きかった。股関節では、歩および走とも、男性高齢者の股関節伸展トルクおよび屈曲トルクによる正のパワーは、同程度の速度における青年よりも大きかった。

このように、男性高齢者では移動運動の形態や速度に関わらず、足関節底屈トルク、足関節底屈トルクによるパワーが小さかった。膝関節では、歩行動作においては青年と大きな差がみられなかったが、走動作においては、膝関節伸展トルク、膝関節伸展トルクによるパワーが小さく、膝関節屈曲トルクによる負のパワーが大きかった。また、股関節では、歩行動作においては青年と大きな差がみられなかったが、走動作においては、股関節伸展および屈曲トルク、股関節伸展および屈曲トルクによる正のパワーが大きいという特徴がみられた。

6.3 関節の力学的仕事および貢献度について

図 6-6 は男性高齢者と青年の歩および走動作における移動速度と下肢

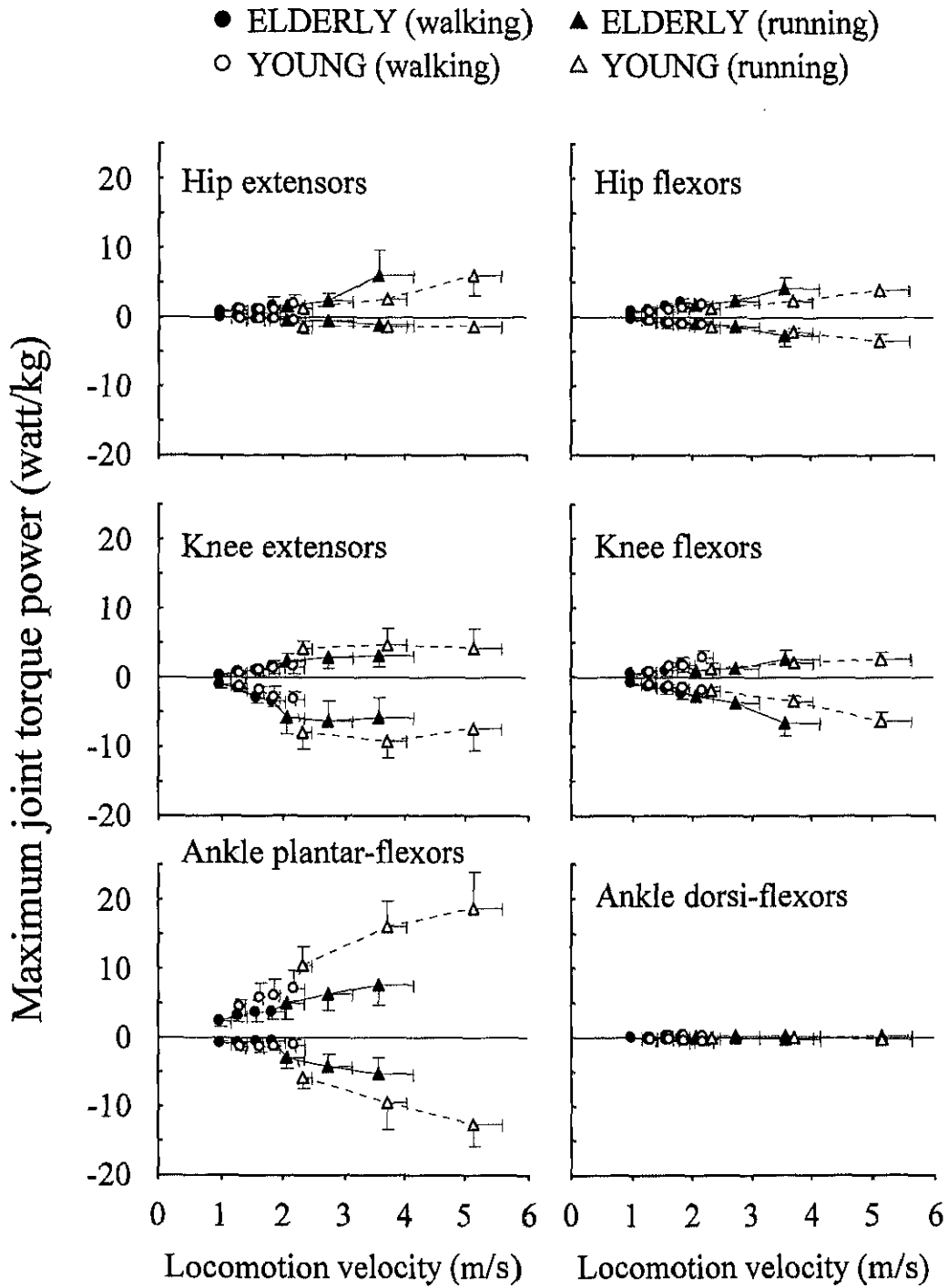


Figure 6-5

Maximum joint torque power of the ankle, knee and hip joint in locomotion of different types (walking and running). Positive value means generation of power and negative value means absorption of it.

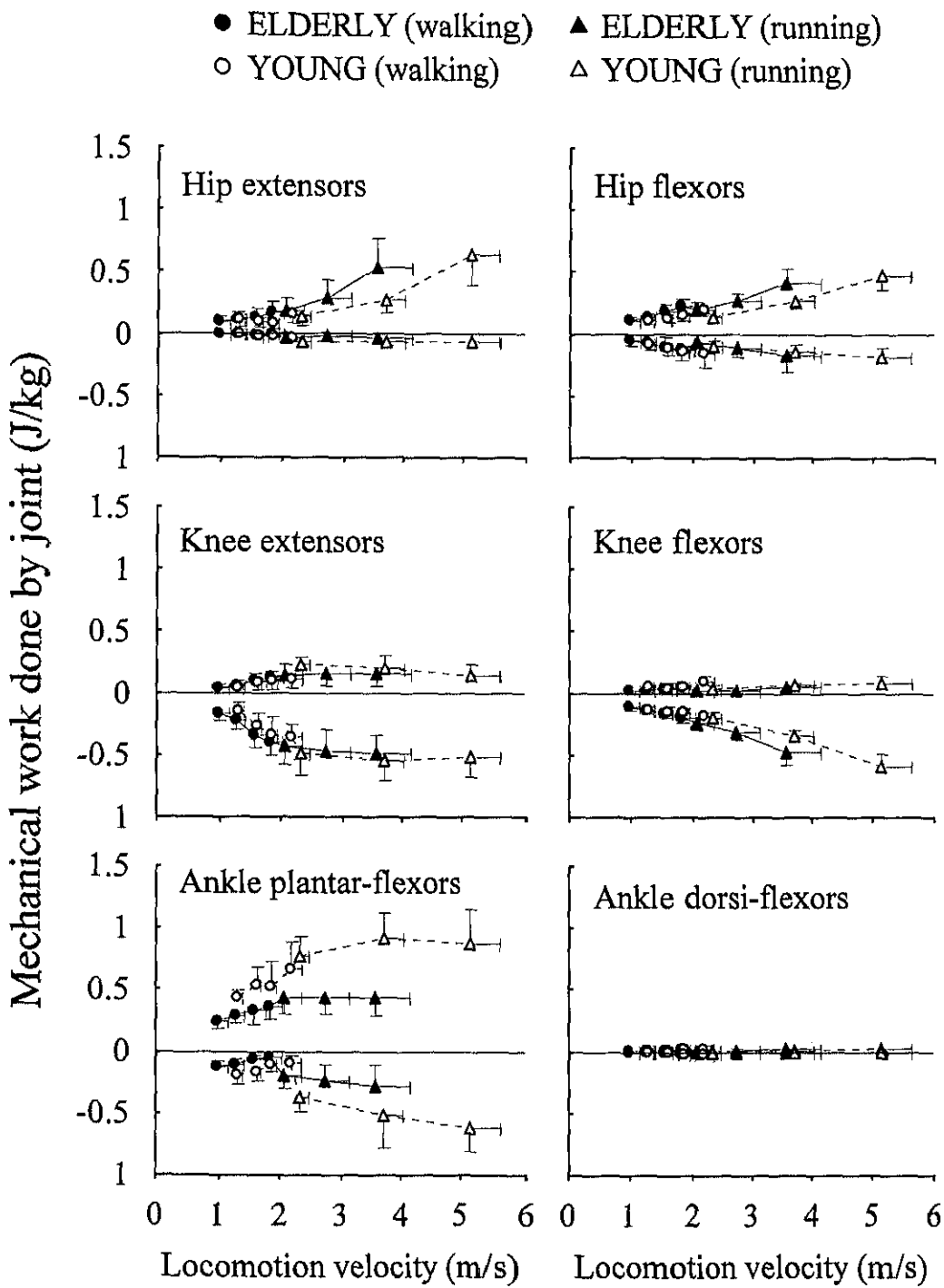


Figure 6-6

Mechanical work done by ankle, knee and hip joint during a locomotion cycle in walking and running. Positive value means generation of mechanical energy and negative value means absorption of it.

関節でなされた力学的仕事の関係を示したものである。

両群とも、正の仕事では足関節底屈トルクによる仕事が最も大きく、次いで、股関節伸展トルク、股関節屈曲トルクによる仕事が大きかった。また、負の仕事では足関節底屈トルク、膝関節伸展トルク、膝関節屈曲トルクによる仕事が大きかった。

このことから、移動運動においては、足関節底屈筋群、股関節の伸展筋群および屈曲筋群が主にエネルギー発生に関わり、足関節底屈筋群、膝関節の伸展筋群および屈曲筋群が主にエネルギー吸収に関わっているといえる。特に、足関節底屈筋群はエネルギーの発生と吸収の両方において大きな役割を果たしており、移動運動では足関節底屈筋群の働きが特に重要であると考えられる。

また、歩および走とも、同程度の速度では、男性高齢者は青年よりも足関節底屈トルクによる正および負の仕事が小さく、膝関節屈曲トルクによる負の仕事、股関節伸展トルクによる正の仕事、股関節屈曲トルクによる正の仕事が大きかった。このことは、先に述べた関節トルクや関節トルクパワーにみられた男性高齢者の特徴を反映していると考えられる。

図 6-7 は男性高齢者と青年の歩および走動作における移動速度と正および負仕事への関節の貢献度の関係を示したものである。

正仕事への貢献度では、移動運動の形態や速度に関わらず、男性高齢者は青年よりも足関節底屈トルクの貢献度が小さく、股関節伸展トルクおよび股関節屈曲トルクの貢献度が大きかった。負仕事への貢献度では、歩および走とも、男性高齢者は青年よりも足関節底屈トルクの貢献度が小さく、歩では膝関節伸展トルク、走では膝関節屈曲トルクの貢献度が大きかった。

以上のことから、男性高齢者では、移動運動の形態や速度に関わらず、足関節底屈トルクによる正および負の仕事が青年よりも小さく、膝関節屈

- ELDERLY (walking)
- YOUNG (walking)
- ▲ ELDERLY (running)
- △ YOUNG (running)

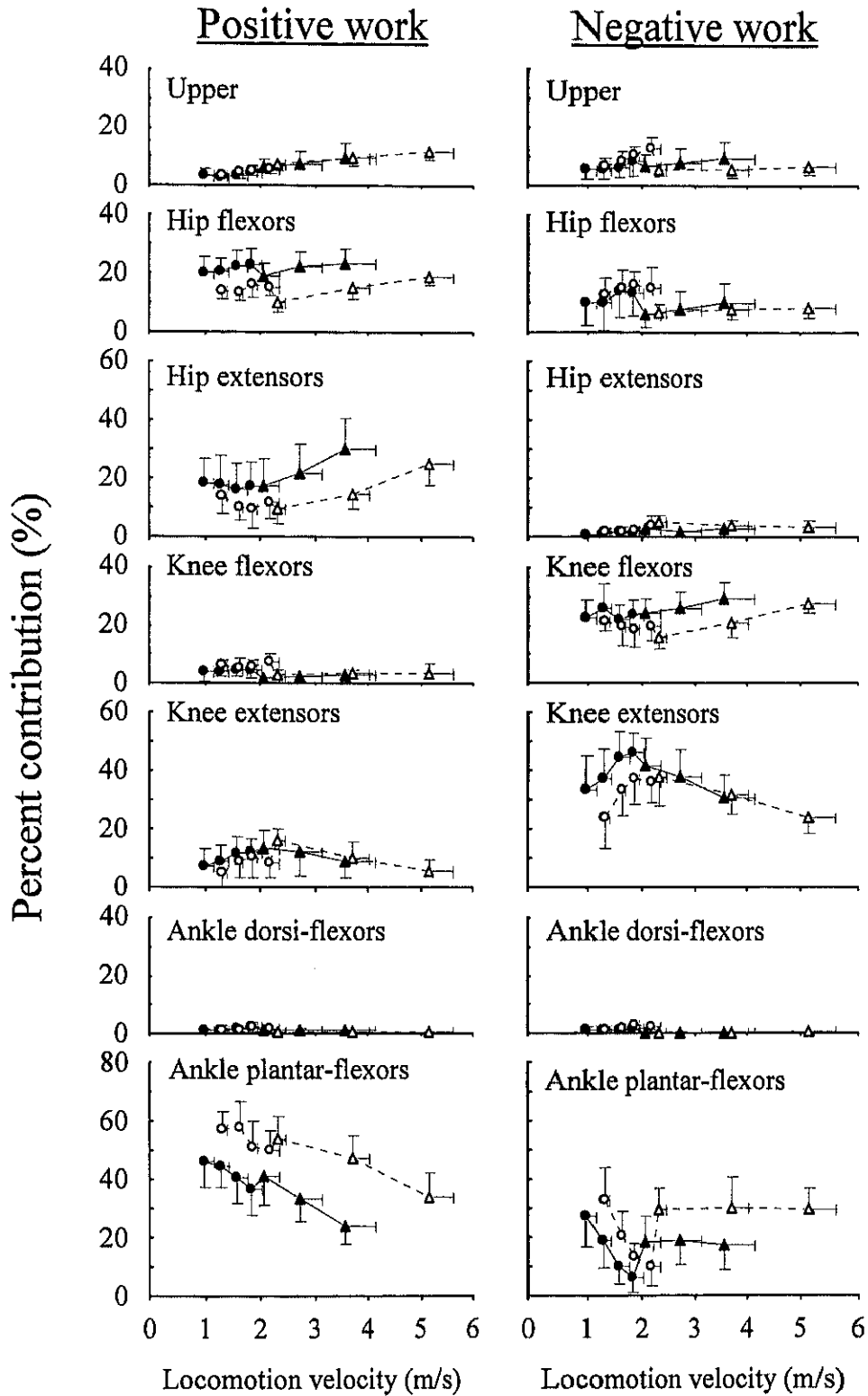


Figure 6-7

Percent contributions of each joint to the positive and negative mechanical work in locomotion of different types (walking and running). “Upper” means the total work of wrists, elbows, shoulders, and neck joint.

曲トルクによる負仕事，股関節伸展トルクによる正仕事，股関節屈曲トルクによる正仕事が大きいことが特徴であるといえる．また，男性高齢者では，足関節底屈筋群によるエネルギー発生・吸収の機能が低下しており，エネルギー発生に関しては股関節が，吸収に関しては膝関節が足関節の機能低下を補うように働いていると考えられる．

6.4 力学的エネルギー利用の有効性について

図 6-8 は男性高齢者と青年の歩および走動作における移動速度と全身の平均パワー（体重あたり）の関係を示したものである．全身の平均パワーは，歩および走の 1 サイクルにおける全身の力学的仕事（全関節の絶対仕事の総和， ABW_{tot} ）を 1 サイクルに要した時間（サイクル時間）で除したものである．図中には各群の累乗近似の結果を示した．ここで，直線近似や多項式近似でなく，累乗近似を用いた理由は，理論的には速度が 0 であれば，平均パワーも 0 であることを考慮したためである．また，この図において，各プロットの x 座標を y 座標で除した値は力学的エネルギー利用の有効性指数（EI，第 4 章式 4.9 参照）に相当する．

全身の平均パワーは，両群とも移動速度の増加にともない増大した．そして，両群の近似曲線の交点の x 座標は 1.47m/s となった．これは，男性高齢者の平均パワーは，概ね 1.47m/s 以下の速度では青年より小さく，それ以上の速度では青年より大きいことを意味している．すなわち，男性高齢者では， 1.47m/s 以上の速度では青年より大きなパワーが必要となり，同程度の速度での移動でも青年より身体への負担が大きく，力学的エネルギー利用の有効性が低いといえる．なお，男性高齢者の自由歩行（NW）の速度は $1.27 \pm 0.16\text{m/s}$ ，速歩（FW）は $1.57 \pm 0.19\text{m/s}$ であり， 1.47m/s は男性高齢者の自由歩行と速歩の間に位置する．

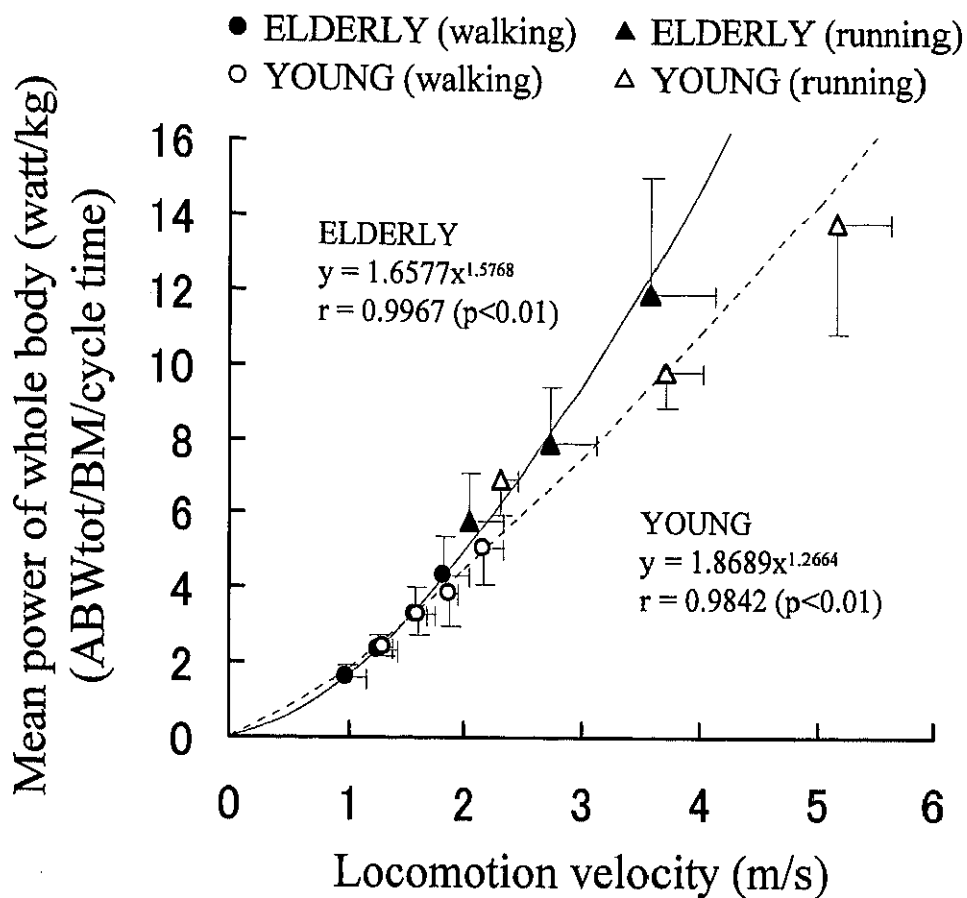


Figure 6-8

Relationship between locomotion velocity and mean power of whole body

図 6-9 は図 6-8 で示した近似曲線をもとに、各速度における男性高齢者の全身の平均パワーを青年に対するパーセンテージで示したものである。

男性高齢者の自由歩行では、青年が同速度で歩くよりも平均パワーは小さい(青年の 95.5%)が、速度が 1.47m/s を超えると平均パワーの比は 100% 以上になり、高い速度での走動作 (FR, 3.58±0.56m/s) では、平均パワーは青年が同速度で走った場合の 131.8%にもなる。そして、加齢にともなう筋力の低下により、男性高齢者ではパワー発揮能力も低下していると予想されるため、同程度の速度での移動に必要な平均パワーを最大パワーに対する相対値で考えると、男性高齢者と青年の差はさらに大きくなると考えられる。したがって、男性高齢者が高い速度で移動するには、青年と比較して身体により大きな負担がかかると推察できる。

これらのことを考えると、男性高齢者が自由歩行で選択した速度 (1.27±0.16m/s) は、力学的エネルギーからみた身体への負担が適度なものであることがわかる。また、男性高齢者の自由歩行の速度 1.27m/s は時速約 4.6km、1.47m/s は時速約 5.3km であるが、エクササイズとして長時間歩く場合の目安としては時速 4.5km 未満が、比較的大きな力学的エネルギーを発揮し、身体にやや大きなトレーニング負荷をかけるには時速 5.5km 以上が適切な歩行速度と考えられる。

力学的エネルギーを移動運動のために有効に利用するためには、力学的エネルギーが効果的に隣接する身体部分に伝達される必要がある。阿江ら (2000) は、一流スプリンターの下肢の力学的エネルギーの流れについて分析し、遊脚の大腿の引き出しを速めるためには、体幹から大腿へのエネルギーの流入が重要であることを示している。また、榎本ら (1999) は、長距離ランナーの身体各部の力学的エネルギー変化の分析から、左右の大腿を前後ではさみ込むような動作が力学的エネルギー利用の有効性を高め

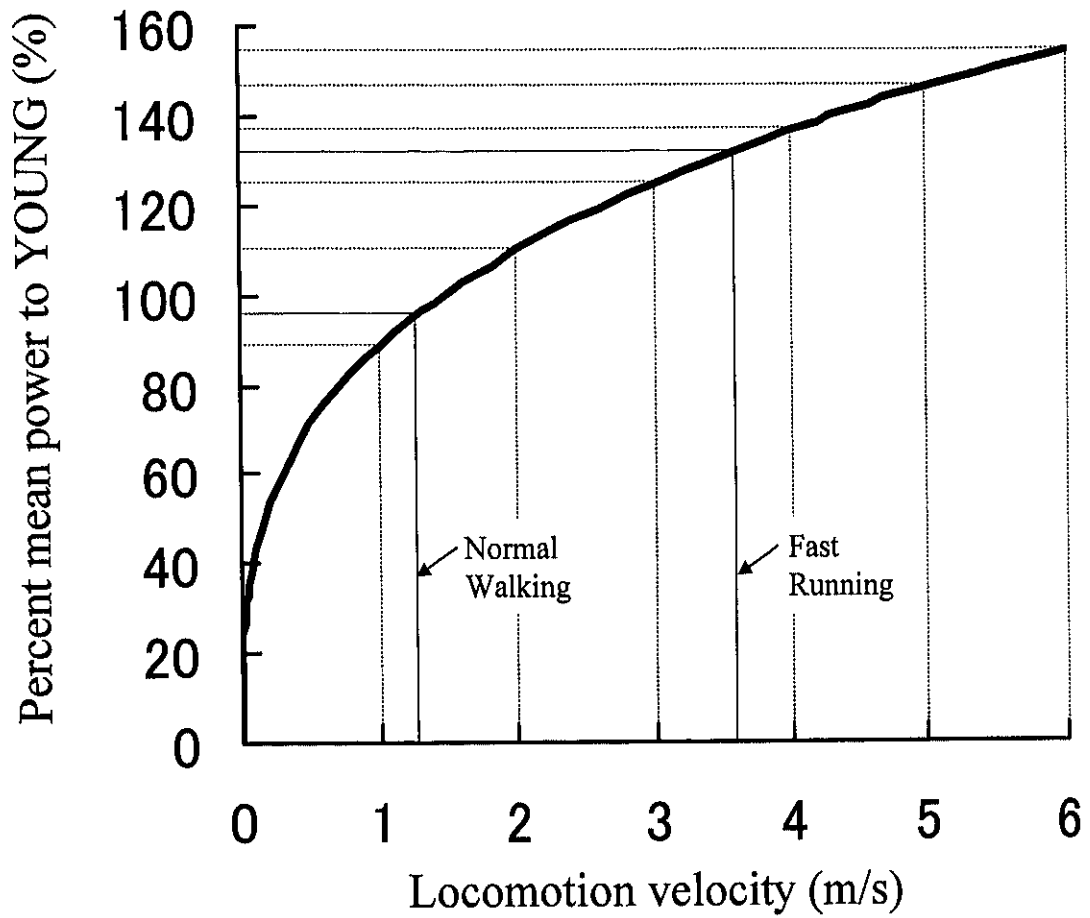


Figure 6-9

Relationship between locomotion velocity and percent mean power

る技術的要因であることを示唆している。一流選手のスプリント走や長距離走と同様に、通常の歩行動作や走動作においても、身体部分間の力学的エネルギーの伝達は力学的エネルギー利用の有効性を高めるために重要であると考えられる。これらのことから、男性高齢者において力学的エネルギー利用の有効性が低かったのは、1つには身体部分間の力学的エネルギー伝達が効果的に行えなかったためと考えられる。したがって、男性高齢者が力学的エネルギー利用の有効性を高めるためには、身体部分間の力学的エネルギー伝達を効果的に行うための歩および走の技術が必要であると考えられる。

以上のように、男性高齢者では速歩あたりの移動速度から力学的エネルギー利用の有効性が青年よりも低くなり、同程度の速度においても身体への負担が大きくなると考えられる。このことから、男性高齢者の移動能力の低下はトルクやパワーの発揮能力の低下だけでなく、力学的エネルギー利用の有効性の低下にも影響を受けると考えられる。したがって、男性高齢者が移動能力の低下を防ぐためには、パワー発揮能力の維持だけでなく、有効に力学的エネルギーを利用するための技術も重要であるといえる。

6.5 高齢者の移動能力を維持するための示唆

本研究では、男性高齢者と青年を比較することによって、男性高齢者の移動運動のバイオメカニクス的特徴を明らかにした。質の高い活力ある生活を送るためには、年齢を重ねてもある程度の移動能力（本研究では歩と走の能力）を維持することが不可欠である。日常生活においては速く歩くことや走ることは必ずしも必要でなく、遅くても安全に移動するということが、高齢者では優先されるべきことはいうまでもない。それでは、高齢者にとって、ある程度速く歩くことができる、ある程度の速度で走るこ

ができるということはどういう意味を持つのであろうか？

速く歩ける、あるいは走れることは移動能力の評価基準の1つであるといえる。また、予備力の指標ともとらえることができ、これらのことがより高い身体活動への参加を可能にすると考えられる。これは、身体の機能の維持、あるいは低下の防止を図り、より充実した生活が営めるような能動的・積極的な健康を追求するという Positive health の立場からみると、非常に重要であると考えられる。

本研究の結果に基づくと、男性高齢者と青年の移動動作の相違は、足関節底屈機能に最も強く表れていた。そして、男性高齢者では、足関節底屈筋群によるエネルギー発生・吸収の機能の低下を、エネルギー発生に関しては股関節で、吸収に関しては膝関節で補償していると考えられる現象もみられた。したがって、高齢者の移動能力を維持するためには足関節底屈機能を維持するとともに、予備力を保持するという観点から、膝関節伸展筋群および屈曲筋群のエネルギー吸収機能、股関節伸展筋群および屈曲筋群のエネルギー発生機能を維持することも重要であると考えられる。本研究の結果から、これらの機能の維持のために以下のことが示唆できるであろう。

- ① 近年、中高年の健康のためのエクササイズとして、歩行が推奨されており、多くの場合はゆっくり長く歩くという指導がされているようである。しかし、動作の中で筋力やパワーの維持を図るようなエクササイズも重要である。例えば、短い距離を足底屈による地面の蹴りを強く意識し、大腿で歩くことにより、足底屈の機能を維持したり、改善していくことができると考えられる。また、体重を支えながらの足底屈運動である爪先立ちや、それを連続して行うカーフレイズは足底屈機能の改善に有効であると考えられ

る。

- ② ゆっくり長く歩くには時速 4.5km (1km を 13 分 20 秒, 100m を 80 秒) 未満が, 身体にやや大きな負荷をかけるには時速 5.5km (1km を 10 分 55 秒, 100m を 66 秒) 以上が適切な歩行速度であろう。
- ③ 移動運動における男性高齢者の足関節パワーの低下は, 関節トルクの低下のみでなく, 関節角速度の低下や動作範囲の減少も原因の一つと考えられる。したがって, ストレッチ, PNF などにより足関節周りの筋の柔軟性を高め, 足関節の底屈可動域を維持することが重要である。
- ④ 膝関節伸展筋群および屈曲筋群のエネルギー吸収機能, 股関節伸展筋群および屈曲筋群のエネルギー発生機能は足関節底屈機能を補償する役目を担っている。特に, 高い移動速度ではこれらの役割は大きく, ある程度の移動能力を維持するためには, 予備力としてこれらの機能を維持することが重要である。
- ⑤ 高齢者が移動能力を維持するためには, 関節トルクや関節トルクパワーの発揮能力だけでなく, 力学的エネルギー利用の有効性を高めることも必要である。そのためには, 身体部分間の力学的エネルギーの伝達が効果的に行えるような歩や走における合理的な動き方 (技術) を身につけておくことが重要である。