

5. 男性高齢者の走動作の特徴

5.1 目的

走は歩行と異なり、両脚支持期が存在せず、片脚支持期と空中期のみから運動が構成される。走では空中に投げ出された身体を片脚で受け止めるため、身体は不安定な状態になる。さらに、着地の衝撃力や加速のための推進力は歩行時よりも増大するため、より大きなパワー発揮が要求される。このように、走では歩行と比べると、より高度なバランス能力やパワー発揮能力が要求されるものと考えられる。加齢にともなうこれらの機能の低下は、高齢者の走動作を困難にすると考えられるが、高齢者が走においてどのように身体を動かし、力を発揮しているのか検討することは、高齢者の加齢にともなう移動能力低下の原因を考える上で重要であろう。しかし、これまで高齢者の走動作の研究はマスターズ選手の kinematics に関するもののみであり (Hamilton, 1993; 岡田ら, 1994)、一般の高齢者を対象としたものや kinetics についての報告はみられない。

本研究の目的は、3 種類の速度による男性高齢者と青年の走動作を kinematics および kinetics 的観点から比較し、男性高齢者の走動作の特徴をバイオメカニクスの観点から明らかにすることである。

5.2 方法

5.2.1 被験者および実験試技

被験者は第 4 章で述べた歩行実験に参加した高齢男性 25 名のうち 22 名と青年男性 12 名全員であった。被験者には 3 種類の速度での走動作を行わせたが、高齢男性 25 名のうち 3 名は 3 種類の速度におけるデータが全ては得られなかった。したがって、高齢男性 25 名のうち 3 種類の走動

作全てのデータが得られた 22 名を分析の対象とした。表 5-1 に分析の対象となった高齢男性（以下，男性高齢者）と青年男性（以下，青年）の身体的特性を示した。

被験者に 3 種類の速度での走動作すなわち，①低い速度での走動作（Slow Running (SR)），②中程度の速度での走動作（Moderate Running (MR)），③高い速度での走動作（Fast Running (FR)）を行わせた。最大速度歩行（第 4 章第 2 節方法参照）と同程度の速度での走動作を SR とし，それよりも高い速度での走動作を MR，MR よりさらに高い速度での走動作を FR とした。被験者には最大速度歩行の後に SR を行わせ「最大速度歩行と同じ位の速さで走ってください」という指示を与えた。また，MR では「SR よりも 5 割くらい速く走ってください」，FR では「MR よりも 5 割くらい速く走って下さい」という指示を与えた。また，走動作時の視線は前方に向けるように指示した。

5.2.2 データ収集，データ処理および算出項目

データの収集法および処理法は第 4 章で述べた歩行実験と同様である（第 4 章第 2 節第 2 項データ収集，第 3 項データ処理および算出項目を参照）。歩行実験と同様に以下の項目を算出した。なお，残差分析法により得られた各点の最適遮断周波数は，x 座標では 1.5～7Hz，y 座標では 3～7Hz の範囲内であった。

5.2.2.1 performance descriptors

① 走速度，ステップ長，ステップ頻度，ランニング比

右足接地から次の右足接地までの間（1 ランニング周期）の右つま先の水平（前方）変位の 1/2 をステップ長，1 歩に要する時間の逆数

Table 5-1 Characteristics of the subjects

	n	Age (yr.)	Standing height (m)	Body mass (kg)
ELDERLY	22	73.7±6.8	1.612±0.063	59.7±9.3
YOUNG	12	24.5±1.8	1.766±0.051	70.9±7.9

(steps/s) をステップ頻度，これらの積を走速度とした．また，ステップ長とステップ頻度の比（ステップ長／ステップ頻度）をランニング比とした．

② 時間的要因

1 ランニング周期に要する時間の内訳として，VTR のコマ数から支持期時間（STT），遊脚期時間(SWT)，空中期時間(ART)，空中期時間の支持期時間に対する比（ART/STT 比）を算出した．

5.2.2.2 kinematics

第 4 章と同様の方法で以下の項目を算出した．

- ① 関節角度および部分角度（図 4-1 参照）
- ② 関節角速度

5.2.2.3 kinetics

第 4 章と同様の方法で以下の項目を算出した．

- ① 関節力および関節トルク
- ② 関節力パワーおよび関節トルクパワー
- ③ 関節の力学的仕事
- ④ 力学的エネルギー利用の有効性

5.2.3 ランニング周期の局面分け

走動作の 1 周期を接地および離地，大転子に対する足部（第 5 中足骨粗面）の位置に基づいて，6 つの動作局面に分けた．図 5-1 は 1 歩行周期における動作区分時点と局面を示したものである．各動作区分時点の説明は以下の通りである．

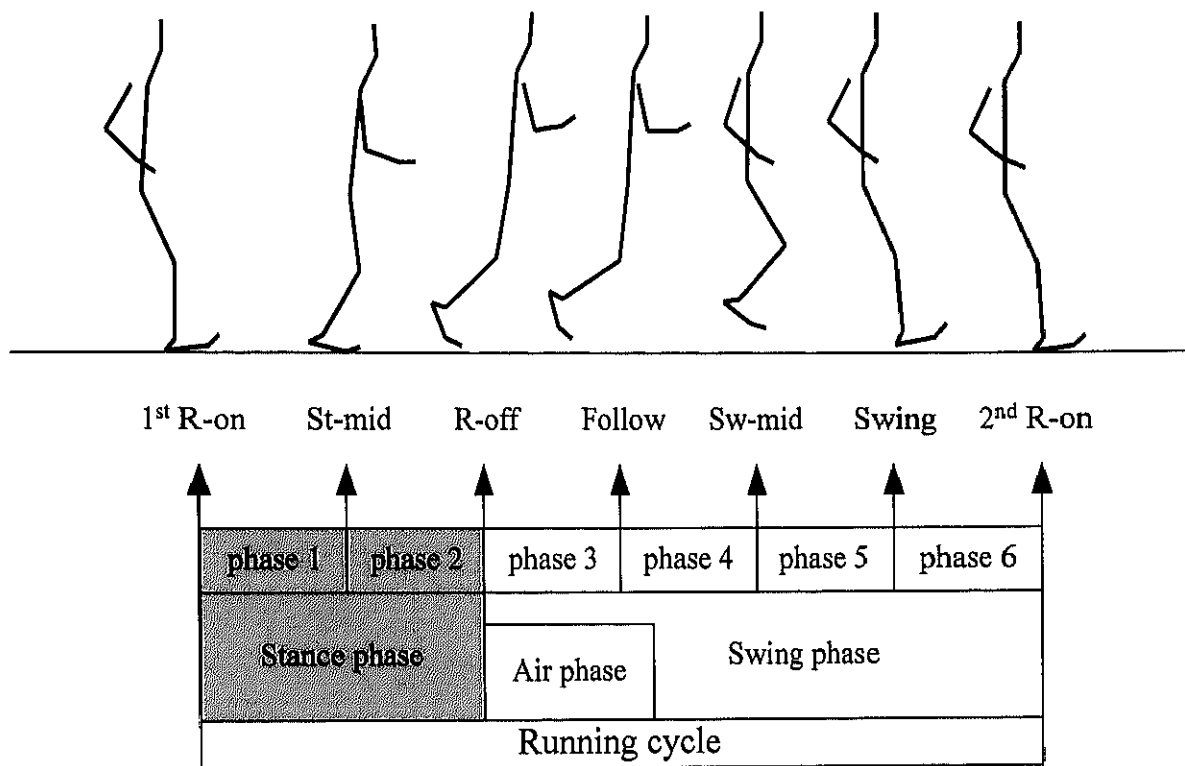


Figure 5-1

Definition of movement phases of the right leg. Abbreviations for seven event points are as follows.

1st R-on : 1st right foot contact on the ground

St-mid : midpoint of the stance phase (instant the hip passes over the foot)

R-off : right foot off

Follow : instant the foot is the furthest behind the hip.

Sw-mid : midpoint of the swing phase (instant the foot passes over the hip)

Swing : instant the foot is the furthest from the hip in front.

2nd R-on : 2nd right foot contact on the ground

- ① 1st R-on 右足（分析脚）の接地（分析脚の遊脚期の終了，分析脚の支持期の開始）
- ② St-mid 支持期中点（大転子が右足の第 5 中足骨粗面の真上を通過する時点）
- ③ R-off 右足（分析脚）の離地（分析脚の支持期の終了，分析脚の遊脚期の開始，空中期の開始）
- ④ Follow 右足の第 5 中足骨粗面が大転子からみて最も後方に位置した時点
- ⑤ Sw-mid 遊脚期中点（右足の第 5 中足骨粗面が大転子の真下を通過する時点）
- ⑥ Swing 右足の第 5 中足骨粗面が大転子からみて最も前方に位置した時点
- ⑦ 2nd R-on 次の R-on

5.2.4 統計処理

各パラメータの群間比較には第 4 章と同様の方法を用いた。すなわち，走速度を走動作に強い影響を持つ要因としてとらえ，男性高齢者と青年における各パラメータの有意差検定には走速度を共変量とする共分散分析（ANCOVA）を用いた。また，共分散分析を行うための条件を満たさないパラメータについては他の検定を行った（図 4-4 および第 4 章本文参照）。なお，いずれの検定の場合も，有意水準は危険率 5%未満とした。

5.3 結果

5.3.1 走速度を規定する要因

表 5-2(a)は走速度，ステップ長，ステップ頻度，ランニング比の平均と

Table 5-2(a)
Performance descriptors of running (Step length and Step frequency)

	running speed	YOUNG		ELDERLY		relationship with running velocity (horizontal axis:m/s) and the result of statistics
		M	SD	M	SD	
Running velocity (m/s)	SR	2.33	0.15	2.06	0.29	-
	MR	3.71	0.31	2.73	0.40	
	FR	5.16	0.47	3.58	0.56	
Step length (SL) (m)	SR	0.91	0.07	0.74	0.10	
	MR	1.37	0.12	0.88	0.13	
	FR	1.74	0.13	1.03	0.16	
Step length /Standing height	SR	0.51	0.04	0.46	0.06	
	MR	0.77	0.06	0.54	0.07	
	FR	0.98	0.06	0.64	0.09	
Step frequency (SF) (steps/s)	SR	2.57	0.15	2.78	0.19	
	MR	2.72	0.16	3.12	0.28	
	FR	2.97	0.20	3.48	0.45	
Running ratio (SL/SF) (m/(step/s))	SR	0.35	0.04	0.27	0.04	
	MR	0.50	0.06	0.28	0.05	
	FR	0.59	0.07	0.30	0.07	

Abbreviation: SR=Slow Running, MR=Moderate Running, FR=Fast Running.

※ S-marks (∩, ∪) mean significant differences between the age groups in the test of regression slopes in which the running velocity is an independent variable (∩ p<0.05, ∪ p<0.01).

標準偏差を示したものである。また、表の右端には走速度と各パラメータの関係および統計処理の結果を図示した。

男性高齢者の走速度は青年の走速度の 69.3～88.5%(SR 88.5%,MR 73.5%,FR 69.3%) であり、いずれの走動作においても男性高齢者は青年よりも低い速度を示した。

ステップ長は 3 種類の速度のいずれにおいても、男性高齢者では青年よりも小さかった。このことは同程度の走速度で比較しても同様であった。両群とも走速度の増加にともないステップ長は増大したが、増大の程度は男性高齢者で有意に小さく ($p<0.01$)、走速度が高いほど両群の差が大きかった。以上のことは身長あたりのステップ長においても同様であった。

ステップ頻度は 3 種類の速度のいずれにおいても男性高齢者では青年よりも高かった。このことは同程度の走速度で比較しても同様であった。両群とも走速度の増加にともないステップ頻度は増大したが、増大の程度は男性高齢者で有意に大きく ($p<0.01$)、走速度が高いほど両群の差が大きかった。

ランニング比は 3 種類の速度のいずれにおいても男性高齢者では青年よりも小さかった。このことは同程度の走速度で比較しても同様であった。両群とも走速度の増加にともないランニング比は増大したが、増大の程度は男性高齢者で有意に小さく ($p<0.01$)、走速度が高いほど両群の差が大きかった。

図 5-2 はステップ長とステップ頻度の関係を示したものである。ここで、破線で描いた曲線は等速度曲線を、直線は等ランニング比線を表す。この図からも、男性高齢者は青年よりも同程度の速度におけるステップ長が小さく、ステップ頻度が高いことがわかる。また、各歩行の平均のプロットから、両群とも走速度の増加にともないランニング比が増大していること

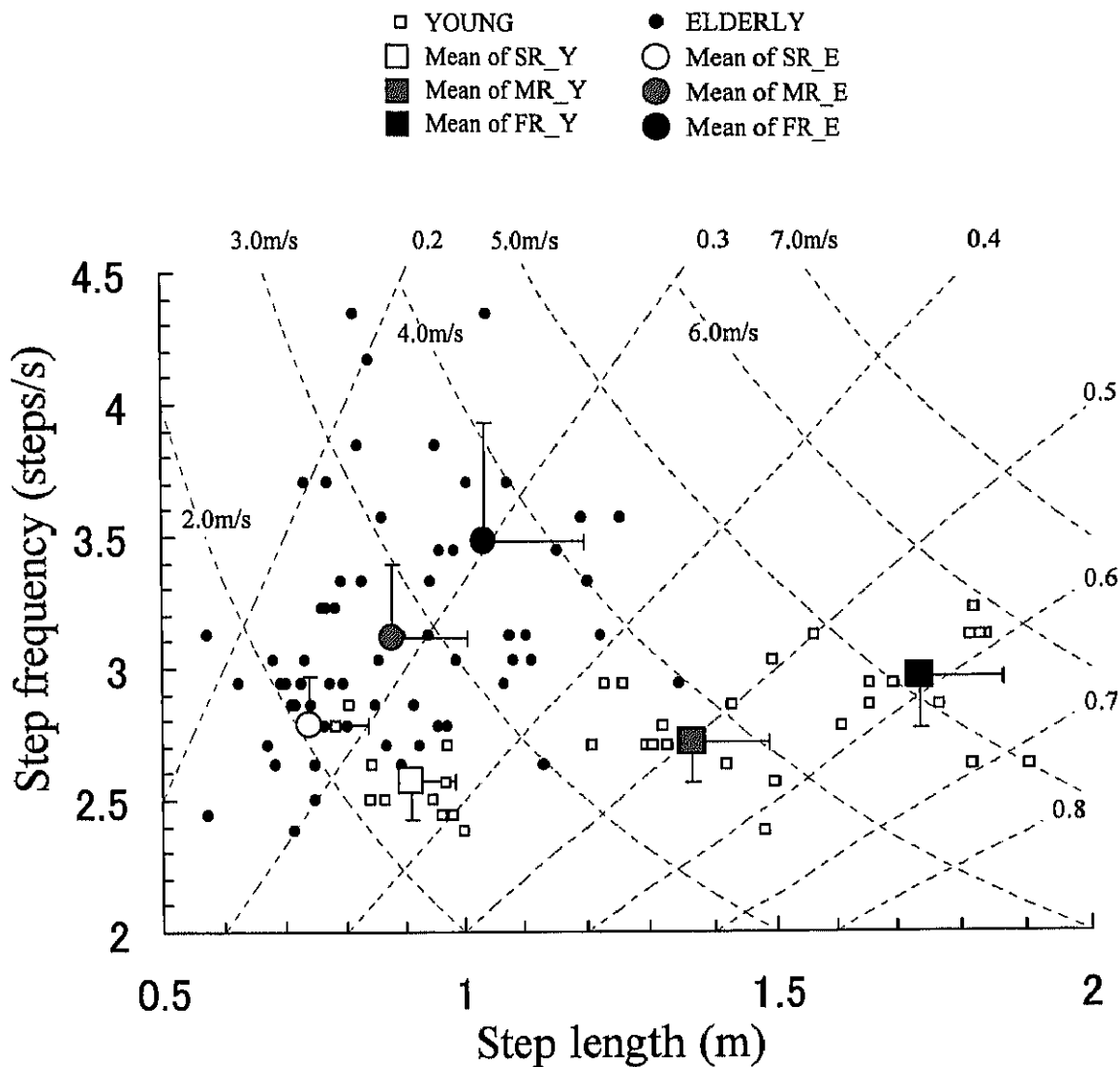


Figure 5-2

Relationship between step length and step frequency in running. Each broken straight line expresses a same running ratio(SL/SF) and each broken curved line expresses a same running velocity. SR_Y=Slow Running for YOUNG, MR_Y=Moderate Running for YOUNG, FR_Y=Fast Running for YOUNG, SR_E=Slow Running for ELDERLY, MR_E=Moderate Running for ELDERLY, FR_E=Fast Running for ELDERLY.

がわかるが、青年のランニング比の変化が顕著であるのに対して男性高齢者のランニング比の変化はわずかであった。

表 5-2(b)は走速度を規定する要因のうち、走動作の時間的要因（ステップ頻度の決定要因）を表 5-2(a)と同様の方法で示したものである。表中の%STT, %SWT, %ART はそれぞれ、支持期時間（STT）、遊脚期時間（SWT）、空中期時間（ART）の1歩行周期時間に占める割合をパーセントで示したものである。

支持期時間は両群とも走速度の増加にともない減少し、同程度の走速度においては両群でほぼ同等の値を示した。遊脚期時間は両群とも走速度の増加にともなう有意な変化はみられず、走速度に関わらず男性高齢者では青年よりも有意に短かった（ $p<0.01$ ）。空中期時間は両群とも走速度の増加にともない増大し、同程度の走速度では男性高齢者では青年よりも有意に短かった（ $p<0.01$ ）。

これらの1歩行周期に占める割合（%STT, %SWT, %ART）は、両群とも歩行速度の増加にともない%STTは減少し、%SWTと%ARTは増大した。同程度の走速度では、%STTは男性高齢者が青年よりも大きく、%SWTと%ARTは男性高齢者が青年よりも小さかった。

空中期時間の支持期時間に対する比（ART/STT比）は両群とも走速度の増加にともない増大し、同程度の走速度では男性高齢者では青年よりも小さかった。また、増大の程度は男性高齢者で有意に小さく（ $p<0.05$ ）、走速度が高いほど両群の差が大きかった。

以上のことから、同程度の走速度では男性高齢者は青年よりもステップ長が小さく、ステップ頻度が高いこと、青年では走速度の増加にともないランニング比が顕著に増大するのに対して、男性高齢者では増大がわずかであることがわかった。また、ステップ頻度を規定する時間的要因のう

Table 5-2(b)

Performance descriptors of running (Determinants of running cycle)

	Kind of running	YOUNG		ELDERLY		relationship with running velocity (horizontal axis:m/s) and the result of statistics
		M	SD	M	SD	
Stance time (STT) (s)	SR	0.34	0.03	0.38	0.06	
	MR	0.24	0.03	0.29	0.05	
	FR	0.20	0.01	0.25	0.03	
Swing time (SWT) (s)	SR	0.45	0.04	0.34	0.03	
	MR	0.50	0.04	0.35	0.04	
	FR	0.48	0.04	0.34	0.06	
Air time (ART) (s)	SR	0.06	0.03	0.01	0.02	
	MR	0.13	0.03	0.04	0.03	
	FR	0.15	0.02	0.05	0.03	
%STT (%)	SR	43.0	3.7	52.4	5.2	
	MR	32.6	3.2	45.5	5.5	
	FR	29.4	1.8	42.4	4.5	
%SWT (%)	SR	57.0	3.7	47.6	5.2	
	MR	67.4	3.2	54.5	5.5	
	FR	70.6	1.8	57.6	4.5	
%ART (%)	SR	8.1	4.0	1.7	2.8	
	MR	17.6	3.2	5.9	5.1	
	FR	22.4	2.4	9.1	4.5	
ART/STT ratio	SR	0.20	0.11	0.04	0.06	
	MR	0.55	0.16	0.14	0.14	
	FR	0.77	0.10	0.23	0.13	

Abbreviation: SR=Slow Running, MR=Moderate Running, FR=Fast Running.

※ Asterisks mean significant differences between the age groups in ANCOVA with running velocity as a covariate (* p<0.05, ** p<0.01). Crosses (†, ‡) mean significant differences between the age groups in unpaired t-test (†<0.05, ‡ p<0.01). S-marks (‡, ††) mean significant differences between the age groups in the test of regression slopes in which the running velocity is an independent variable (‡ p<0.05, †† p<0.01).

ち、男性高齢者の支持期時間は同程度の走速度では青年と同等であったが、遊脚期時間と空中期時間は青年よりも短いことがわかった。

5.3.2 下肢および体幹の kinematics

5.3.2.1 下肢関節の関節角度と動作範囲

図 5-3 は 1 ランニング周期中の下肢関節角度の変化を各群の平均で示したものである。横軸は 1 ランニング周期 (Running Cycle, 以下 RC) を 100% として正規化した時間を表し, 0%RC および 100%RC の時点が踵接地, 29~52%RC 付近 (青年/SR: $43.0 \pm 3.7\%$, MR: $32.6 \pm 3.2\%$, FR: $29.4 \pm 1.8\%$; 男性高齢者/SR: $52.4 \pm 5.2\%$, MR: $45.5 \pm 5.5\%$, FR: $42.4 \pm 4.5\%$) がつま先離地である。図中の矢印 (太線, 点線, 細線) はそれぞれ FR, MR, SR におけるつま先離地を示している。

両群ともランニング周期中の関節角度の変化パターンは類似していたが、各時点における関節角度には差がみられた。全体的には、男性高齢者では青年と比べて、股関節の最大伸展が小さく、最大屈曲が大きい、膝関節の最大伸展および最大屈曲が小さい、足関節の最大底屈が小さいなどの傾向がみられた。

図 5-4 は走速度と各動作区分時点での下肢関節角度の関係を各群の平均と標準偏差で示したものである。各グラフは横軸が走速度、縦軸が関節角度であり、丸は男性高齢者、四角は青年を示している。また、図中には統計処理の結果を図 4-4 に記したマーク (*,**, †, ‡, §, §§) で示した。

図 5-5 は支持期および遊脚期における下肢関節角度の最大値, 最小値および関節の動作範囲を各群の平均と標準偏差で示したものである。ここで、関節角度の最大値は関節の最大伸展位 (足関節では最大底屈位) を、最小値は最大屈曲位 (足関節では最大背屈位) を意味する。また、図中には図

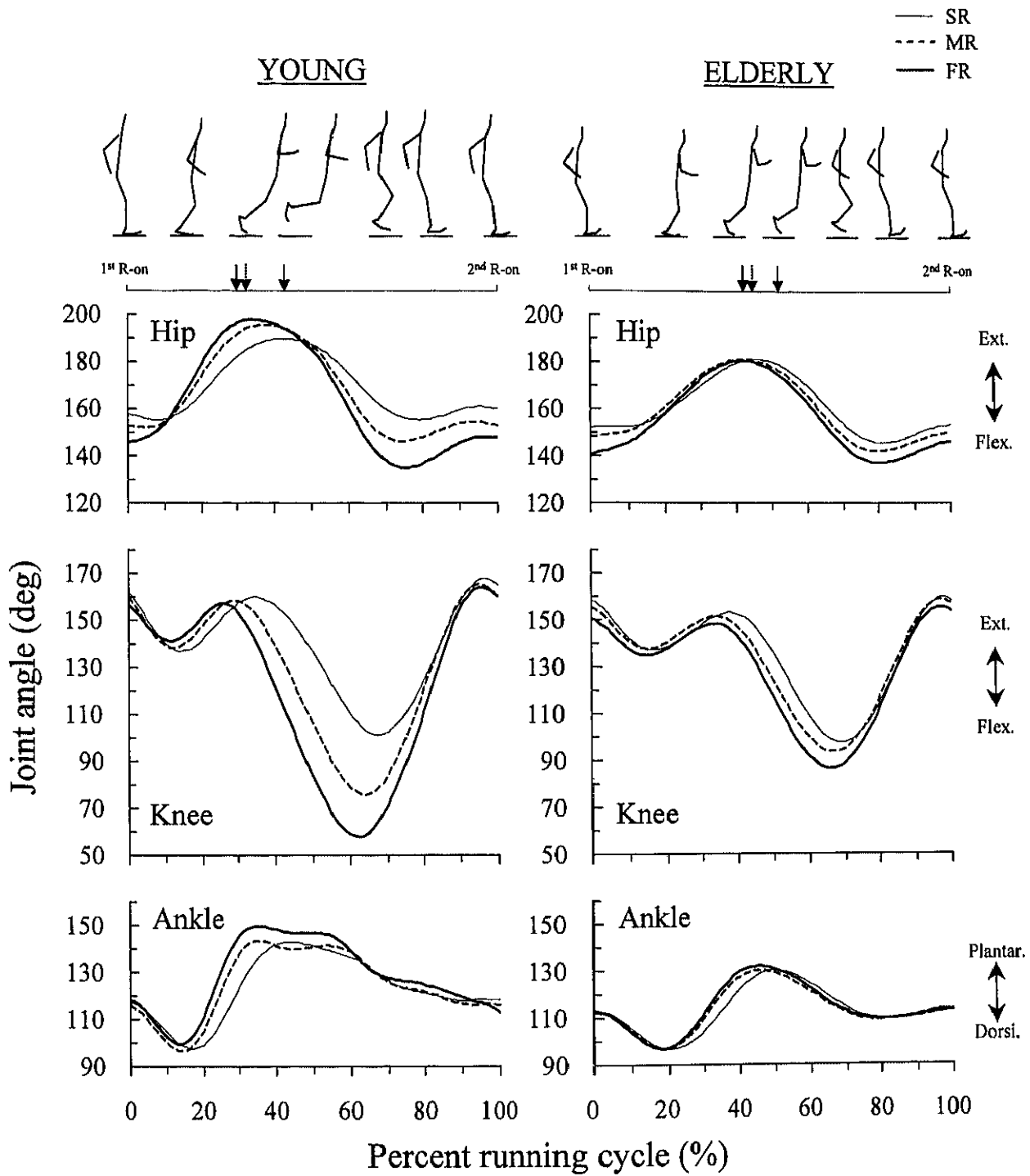


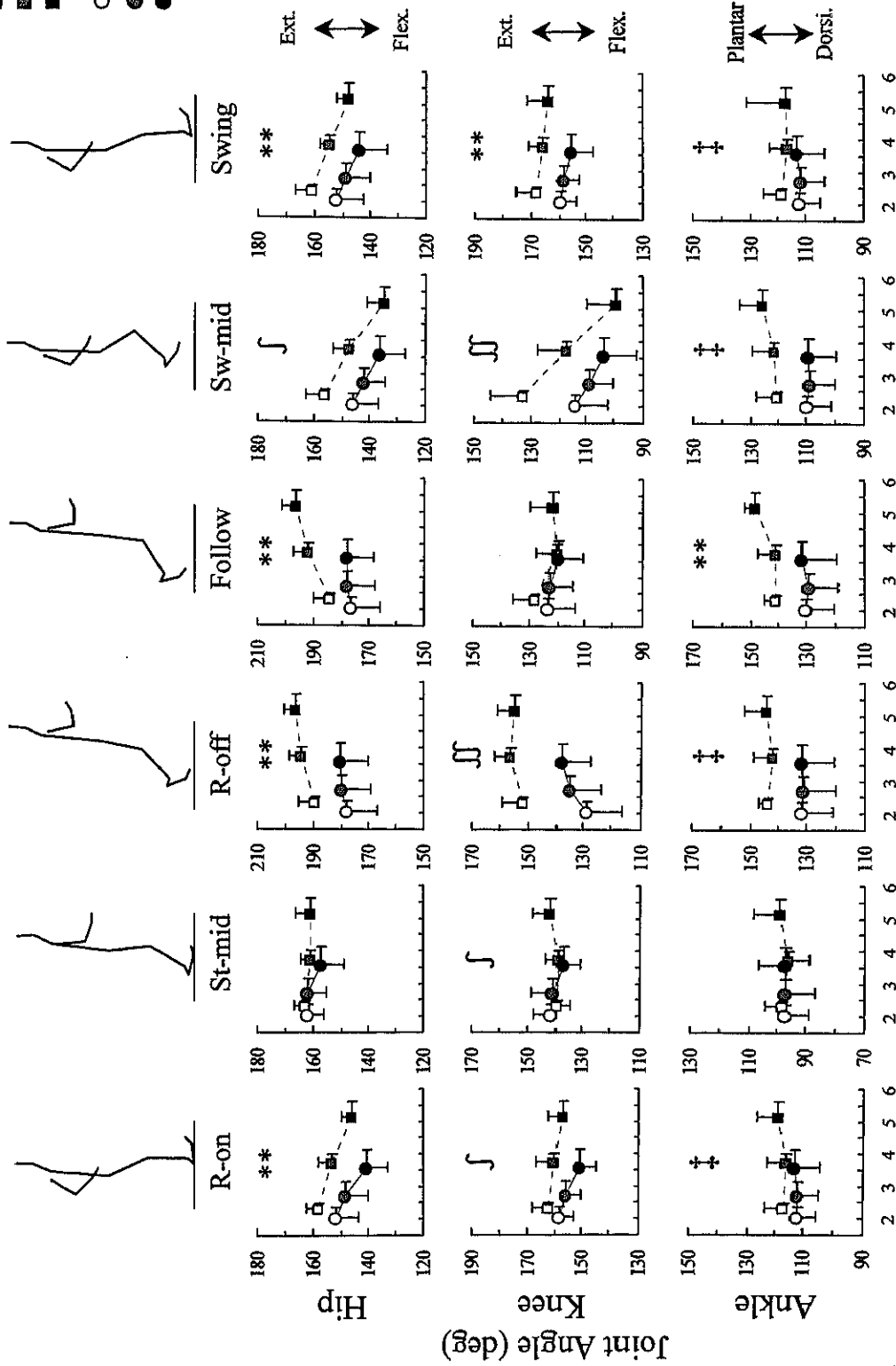
Figure 5-3

Changes in lower limb joint angles in running.

SR=Slow Running, MR=Moderate Running, FR=Fast Running.

Thick, broken and thin line arrow indicate the foot-off of FR, MR and SR, respectively.

□ SR_Y
 ■ MR_Y
 ■ FR_Y
 ○ SR_E
 ● MR_E
 ● FR_E

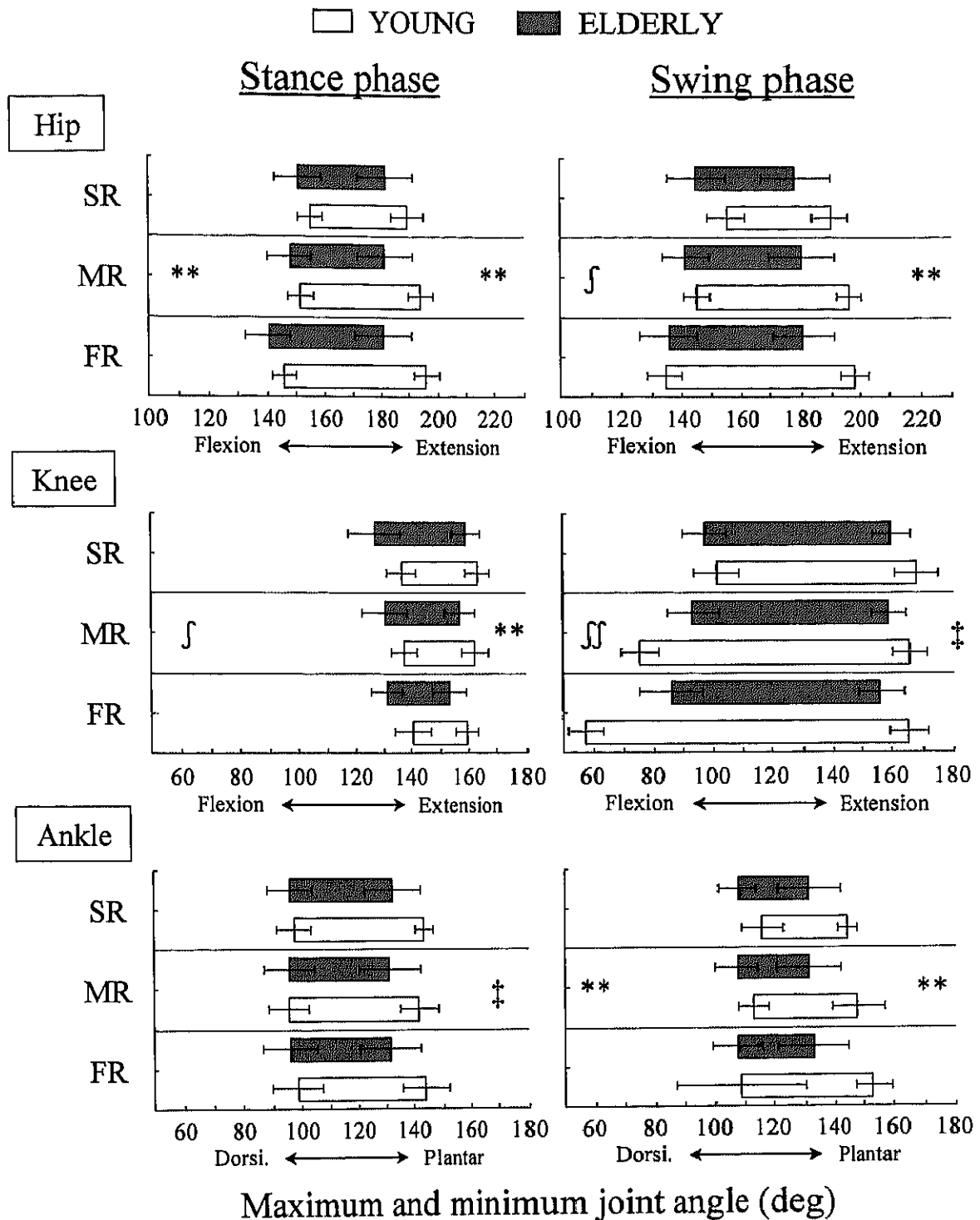


Running Velocity (m/s)

Figure 5-4

Lower limb joint angles at each event point for ELDERLY and YOUNG in various running velocities.

SR_Y=Slow Running for YOUNG, MR_Y=Moderate Running for YOUNG, FR_Y=Fast Running for YOUNG, SR_E=Slow Running for ELDERLY, MR_E=Moderate Running for ELDERLY, FR_E=Fast Running for ELDERLY. Asterisks mean significant differences between the age groups in ANCOVA with running velocity as a covariate (* p<0.05, ** p<0.01). Crosses (†, ‡) mean significant differences between the age groups in unpaired t-test († p<0.05, ‡ p<0.01). S-marks (Ⓝ, Ⓞ) mean significant differences between the age groups in the test of regression slopes in which the running velocity is an independent variable (Ⓝ p<0.05, Ⓞ p<0.01).



ROM: Hip(stance) n.s., Hip(swing) n.s., Knee(stance) ∫∫, Knee(swing) ∫∫, Ankle(stance) †, Ankle(swing) *

Figure 5-5

Maximum and minimum joint angles and ranges of joint angular motion(ROM) during stance and swing phases. SR=Slow Running, MR=Moderate Running, FR=Fast Running. Asterisks mean significant differences between the age groups in ANCOVA with running velocity as a covariate (* p<0.05, ** p<0.01). Crosses (†, ‡) mean significant differences between the age groups in unpaired t-test (†<0.05, ‡ p<0.01). S-marks (∫, ∫∫) mean significant differences between the age groups in the test of regression slopes in which the running velocity is an independent variable (∫ p<0.05, ∫∫ p<0.01).

5-4と同様に統計処理の結果を示した。下肢関節角度および関節の動作範囲について両群間に以下のような違いがみられた。

①股関節角度

同程度の走速度では、St-midを除く全ての動作区分時点で男性高齢者は青年よりも股関節角度が小さく、股関節がより屈曲位であった。このうちR-on, R-off, Follow, Swingにおける両群の差は有意であった(いずれも $p<0.01$)。Sw-midでは走速度の増加にともなう股関節角度の変化が両群間で有意に異なっていた($p<0.05$)。また、支持期の最大・最小値、遊脚期の最大値は同程度の走速度では男性高齢者が青年よりも有意に小さかった(いずれも $p<0.01$)。遊脚期の最小値は走速度の増加にともなう変化が両群間で有意に異なっていた($p<0.05$)。同程度の走速度では、支持期および遊脚期とも動作範囲には両群間で有意な差がみられなかった。

②膝関節角度

同程度の走速度では、St-midとFollowを除く全ての動作区分時点で男性高齢者は青年よりも膝関節角度が小さく、膝関節がより屈曲位であった。このうちSwingにおける両群の差は有意であった($p<0.01$)。R-on, St-mid, R-off, Sw-midでは走速度の増加にともなう膝関節角度の変化が両群間で有意に異なっていた(R-on, St-mid: $p<0.05$, R-off, Sw-mid: $p<0.01$)。また、支持期の最大値は同程度の走速度では男性高齢者が青年よりも有意に小さく、遊脚期の最大値は走速度に関わらず男性高齢者が青年よりも有意に小さかった(いずれも $p<0.01$)。支持期および遊脚期の最小値と動作範囲は走速度の増加にともなう変化が両群間で有意に異なっていた(支持期最小値: $p<0.05$, 支持期動作範囲, 遊脚期最小値, 遊脚期動作範囲: $p<0.01$)。

③ 足関節角度

Follow における足関節角度は同程度の走速度では男性高齢者が青年よりも有意に小さく、足関節がより背屈位であった ($p<0.01$)。また、R-on, R-off, Sw-mid, Swing における足関節角度は走速度に関わらず男性高齢者が青年よりも有意に小さく、足関節がより背屈位であった (いずれも $p<0.01$)。支持期の最大値および動作範囲は走速度に関わらず男性高齢者が青年よりも有意に小さく (いずれも $p<0.01$)、遊脚期の最大・最小値および動作範囲は、同程度の走速度では男性高齢者が青年よりも有意に小さかった (最大・最小値： $p<0.01$ ，動作範囲： $p<0.05$)。

以上のことから、同程度の走速度においては、男性高齢者は青年と比較して、St-mid を除くランニング周期のほぼ全体にわたり股関節がより屈曲位にあり、St-mid と Follow を除くランニング周期のほぼ全体にわたり膝関節がより屈曲位にあることがわかった。また、足関節角度は走速度の増加にともなう変化があまりみられず、St-mid 以外では、走速度に関わらず男性高齢者では青年よりも足関節がより背屈位にあり、支持期および遊脚期における足関節動作範囲も小さいことがわかった。

5.3.2.2 下肢および体幹の部分角度と動作範囲

図 5-6 は 1 ランニング周期中の下肢および体幹の部分角度変化を図 5-3 と同様に各群の平均で示したものである。両群ともランニング周期中の各部分角度の変化パターンは類似していたが、各時点における部分角度には差がみられた。全体的な傾向として、男性高齢者は青年と比べて大腿、下腿および足部の最大前傾（後方への蹴り）が小さく、体幹の最大前傾と大腿の最大後傾（腿の挙上）が大きかった。

図 5-7 は走速度と各動作区分時点での下肢および体幹の部分角度の関

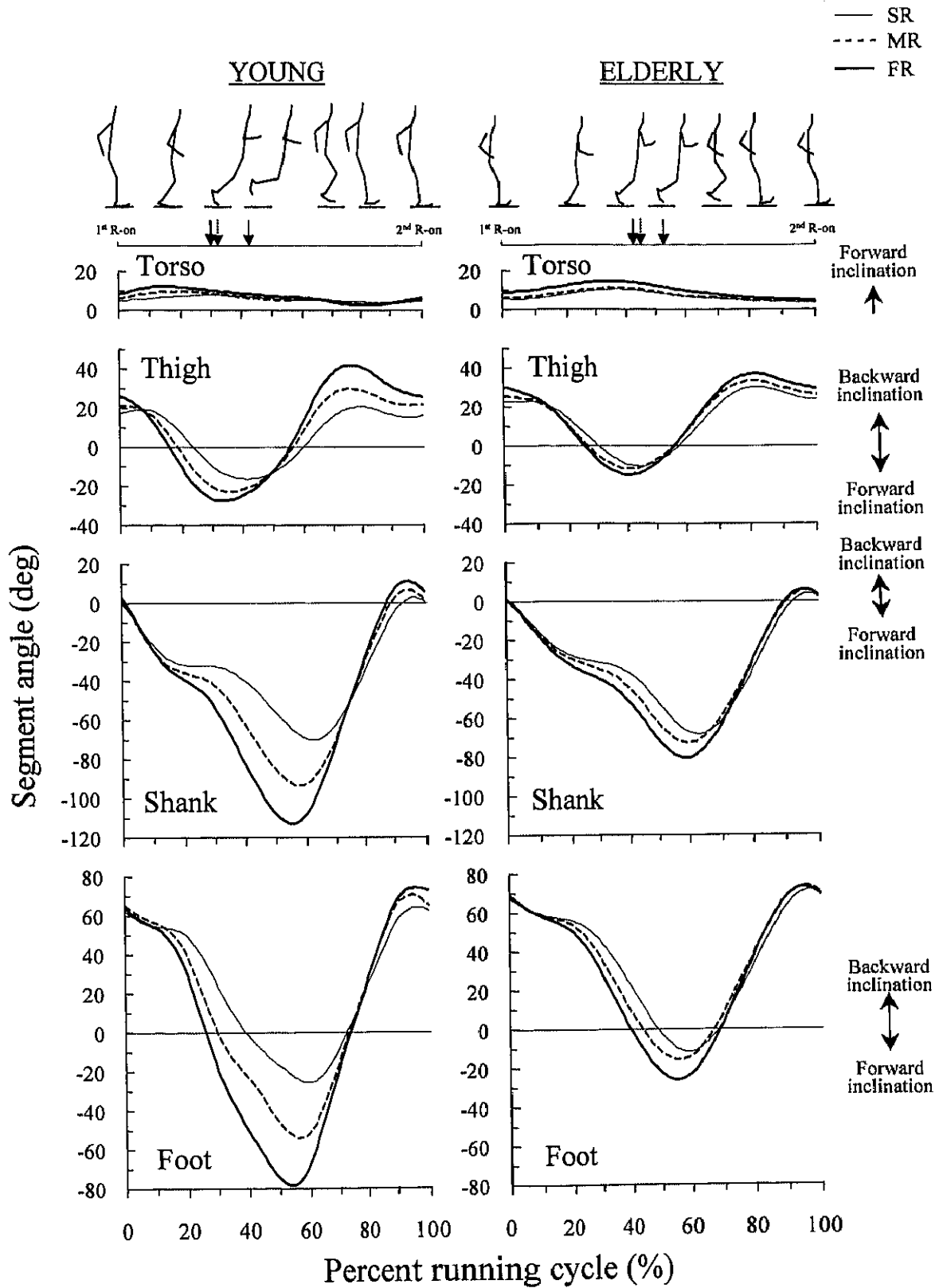


Figure 5-6
 Changes in segment angles of lower extremity and torso in running.
 SR=Slow Running, MR=Moderate Running, FR=Fast Running.
 Thick, broken and thin line arrows indicate the foot-off of FR, MR
 and SR, respectively.

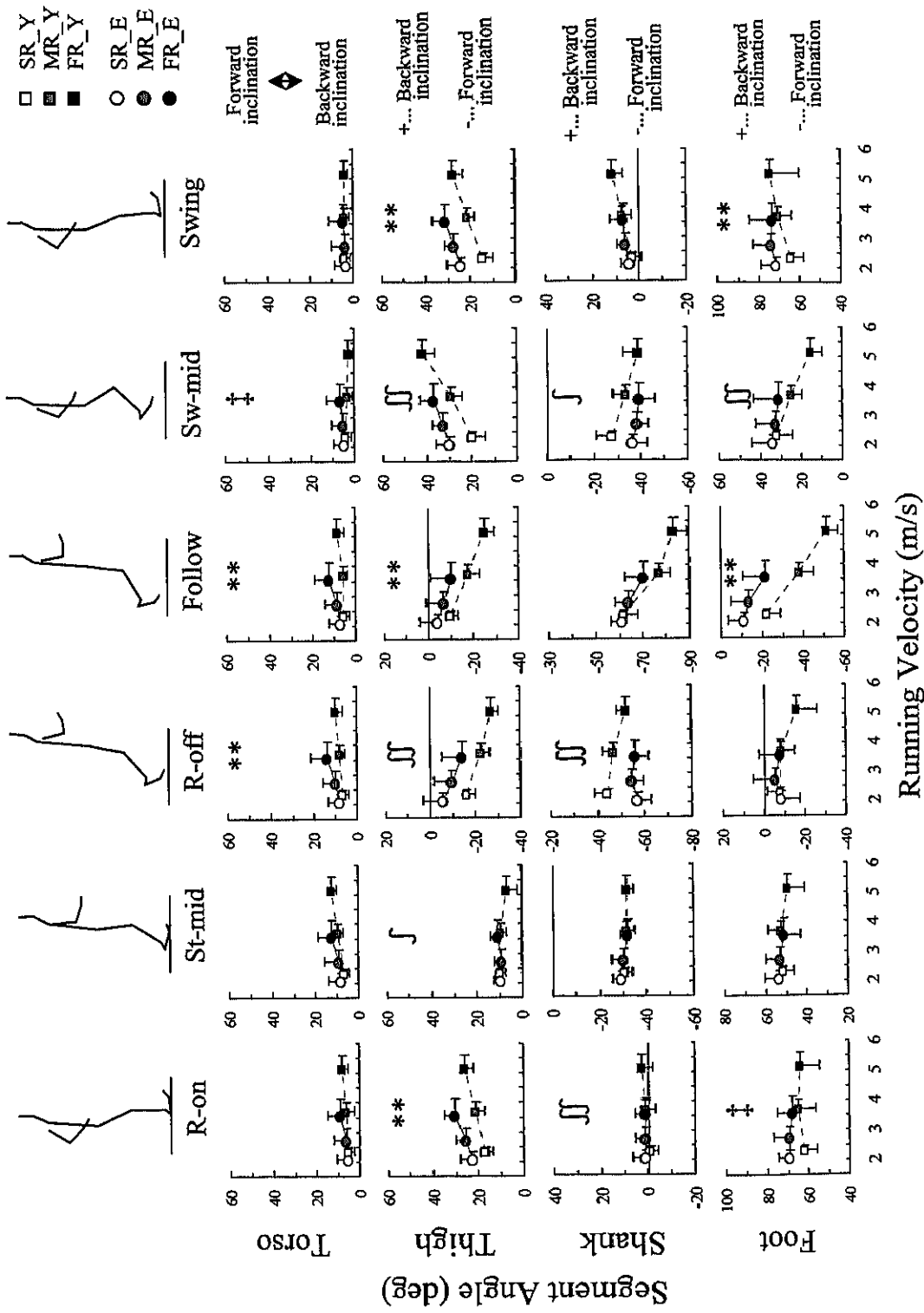


Figure 5-7 Lower extremity and torso segment angles at each event point for ELDERLY and YOUNG in various running velocities. SR_Y=Slow Running for YOUNG, MR_Y=Moderate Running for YOUNG, FR_Y=Fast Running for YOUNG, SR_E=Slow Running for ELDERLY, MR_E=Moderate Running for ELDERLY, FR_E=Fast Running for ELDERLY. Asterisks mean significant differences between the age groups in ANCOVA with running velocity as a covariate (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$). Crosses (†, ‡) mean significant differences between the age groups in unpaired t-test († $p < 0.05$, ‡ $p < 0.01$). S-marks (∩, ∪) mean significant differences between the age groups in the test of regression slopes in which the running velocity is an independent variable (∩ $p < 0.05$, ∪ $p < 0.01$).

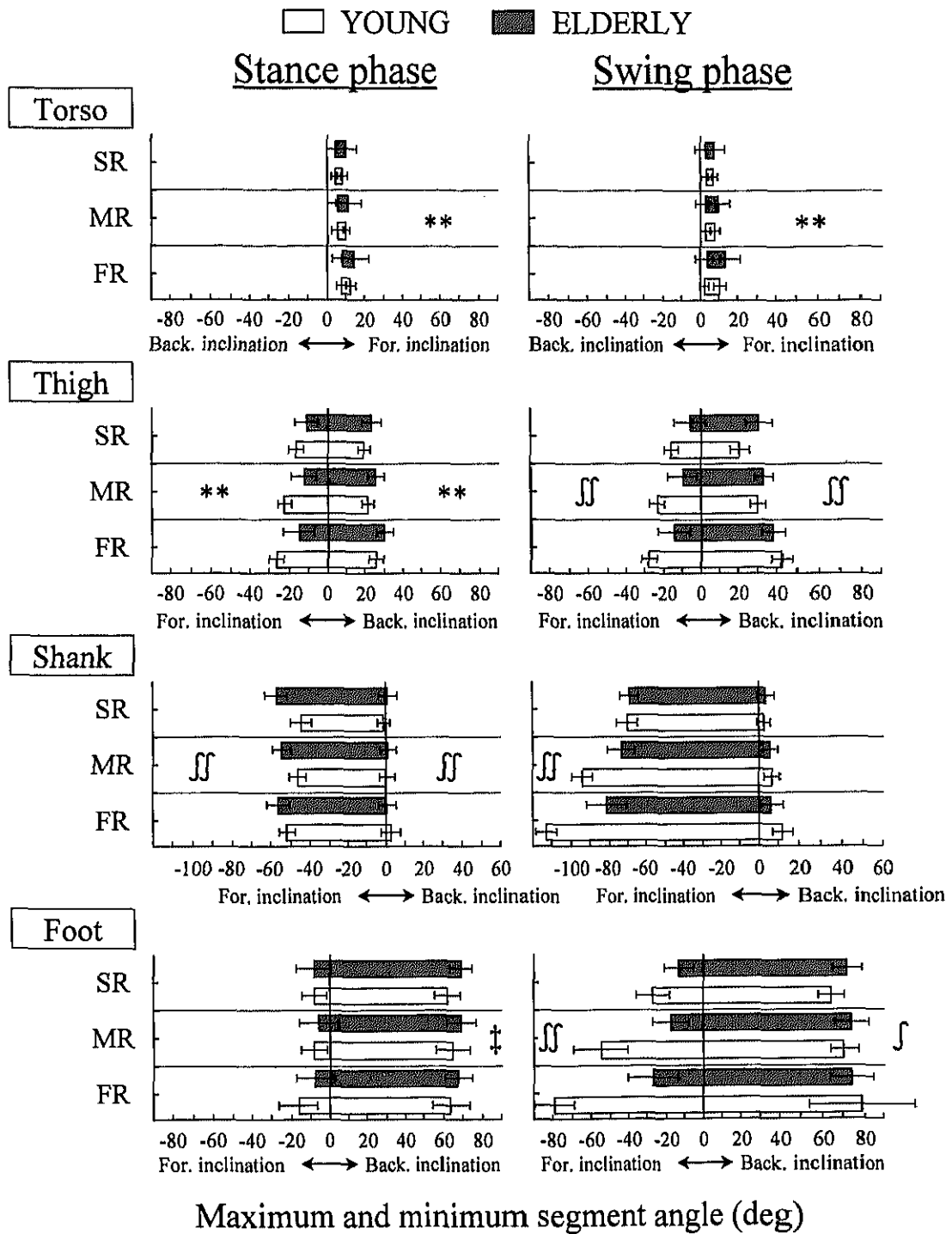
係を図 5-4 と同様に示したものである。ここで、体幹角度の正の値は前傾、負の値は後傾を表し、大腿角度、下腿角度、足部角度の正の値は後傾（前方への挙上）、負の値は前傾（後方への挙上）を表す（図 4-1 参照）。図 5-8 は支持期および遊脚期における下肢および体幹の部分角度の最大値、最小値および部分の動作範囲を図 5-5 と同様に示したものである。部分角度および部分の動作範囲について、両群間に以下のような違いがみられた。

① 体幹角度

体幹は、両群ともランニング周期全体を通じて前傾していた。同程度の走速度では、R-off および Follow における体幹角度は男性高齢者が青年よりも有意に大きく、Sw-mid における体幹角度は走速度に関わらず男性高齢者が青年よりも有意に大きかった（いずれも $p<0.01$ ）。支持期の最大値および遊脚期の最大値と動作範囲は同程度の走速度では男性高齢者が青年よりも有意に大きかった（いずれも $p<0.01$ ）。また、支持期の動作範囲は走速度に関わらず男性高齢者が青年よりも有意に大きかった（ $p<0.01$ ）。

② 大腿角度

大腿は、両群とも R-on, St-mid, Sw-mid, Swing では後傾を、R-off, Follow では前傾を示した。同程度の走速度では、男性高齢者は青年よりも R-on, Sw-mid, Swing での大腿の後傾が大きく、R-off, Follow での大腿の前傾が小さかった。これらのうち、R-on, Follow, Swing における両群の差は有意であった（いずれも $p<0.01$ ）。St-mid, R-off, Sw-mid では走速度の増加にともなう大腿角度の変化が両群間で有意に異なっていた（St-mid : $p<0.05$, R-off, Sw-mid : $p<0.01$ ）。また、支持期の最大・最小値は同程度の走速度では男性高齢者が青年よりも有意に大きかった（いずれも $p<0.01$ ）。遊脚期の最大・最小値は走速度の増加にともなう変化が両



ROM: Torso(stance) †, Torso(swing) **, Thigh(stance) n.s., Thigh(swing) n.s.,
 Shank(stance) ‡, Shank(swing) ‡, Foot(stance) †, Foot(swing) ‡

Figure 5-8

Maximum and minimum segment angles and ranges of segment angular motion(ROM) during stance and swing phases. SR=Slow Running, MR=Moderate Running, FR=Fast Running. Asterisks mean significant differences between the age groups in ANCOVA with running velocity as a covariate (* p<0.05, ** p<0.01). Crosses (†, ‡) mean significant differences between the age groups in unpaired t-test (†<0.05, ‡ p<0.01). S-marks (‡, †) mean significant differences between the age groups in the test of regression slopes in which the running velocity is an independent variable (‡ p<0.05, † p<0.01).

群間で有意に異なっていた（いずれも $p<0.01$ ）。支持期および遊脚期の動作範囲は同程度の走速度においては両群間に有意な差がみられなかった。

③ 下腿角度

下腿は、両群とも R-on, Swing では後傾を、St-mid, R-off, Follow, Sw-mid では前傾を示した。同程度の走速度では、男性高齢者は青年よりも R-off および Sw-mid での下腿の前傾が大きかった。R-on, R-off, Sw-mid では走速度の増加にともなう下腿角度の変化が両群間で有意に異なっていた（R-on, R-off： $p<0.01$, Sw-mid： $p<0.05$ ）。また、支持期の最大・最小値と動作範囲および遊脚期の最小値と動作範囲は走速度の増加にともなう変化が両群間で有意に異なっていた（いずれも $p<0.01$ ）。

④ 足部角度

足部は、両群とも R-on, St-mid, Sw-mid, Swing では後傾を、R-off, Follow では前傾を示した。同程度の走速度では、男性高齢者は青年よりも Follow における足部の前傾が小さく、Sw-mid, Swing における足部の後傾が大きかった。これらのうち、Follow, Swing における両群の差は有意であった（いずれも $p<0.01$ ）。Sw-mid では走速度の増加にともなう足部角度の変化が両群間で有意に異なっていた（ $p<0.01$ ）。R-on における足部角度は走速度に関わらず、男性高齢者が青年よりも有意に大きかった（ $p<0.01$ ）。また、支持期の最大値は走速度に関わらず、男性高齢者が青年よりも有意に大きかった（ $p<0.01$ ）。支持期の動作範囲および遊脚期の最大・最小値と動作範囲は走速度の増加にともなう変化が両群間で有意に異なっていた（支持期の動作範囲、遊脚期の最大値： $p<0.05$, 遊脚期の最小値、遊脚期の動作範囲： $p<0.01$ ）。

以上のことから、同程度の走速度においては、男性高齢者は青年と比較

して、R-off～Sw-midにおける体幹の前傾が大きいこと、ランニング周期を通じて大腿の後傾が大きく、前傾が小さいこと、R-off, Sw-midでの下腿の前傾が大きいこと、R-on, Sw-mid, Swingでの足部の後傾が大きく、Followでの足部の前傾が小さいことがわかった。また、男性高齢者では青年よりも体幹の動作範囲が大きいこと、高い速度では遊脚期の下腿および足部の動作範囲が小さいことがわかった。

5.3.2.3 下肢関節の関節角速度

図 5-9 は 1 ランニング周期中の足、膝、股関節の角速度の変化を図 5-3 と同様に各群の平均で示したものである。各グラフの縦軸の正の値は伸展速度（足関節では底屈速度）を、負の値は屈曲速度（足関節では背屈速度）を表す。

股および膝関節の伸展および屈曲の変化パターンは両群でほぼ同様であったが、足関節では接地前（80～100%RC 付近）の角速度パターンに両群間で違いがみられた。また、両群とも走速度の増加にともない各関節の角速度のピーク値が増大する傾向がみられた。同程度の走速度（男性高齢者の SR と青年の SR、男性高齢者の FR と青年の MR）で比較すると、両群間には以下のような違いがみられた。

① 股関節角速度

男性高齢者は青年よりも支持期中盤～後半（10～30%RC 付近）での股関節伸展速度が小さかった。

② 膝関節角速度

男性高齢者は青年よりも R-on 直後（0～10%RC 付近）の膝関節屈曲速度、支持期中盤～後半（15～30%RC 付近）の膝関節伸展速度が小さく、遊脚期前半（40～60%RC 付近）の膝関節屈曲速度、遊脚期後半（70～90%RC

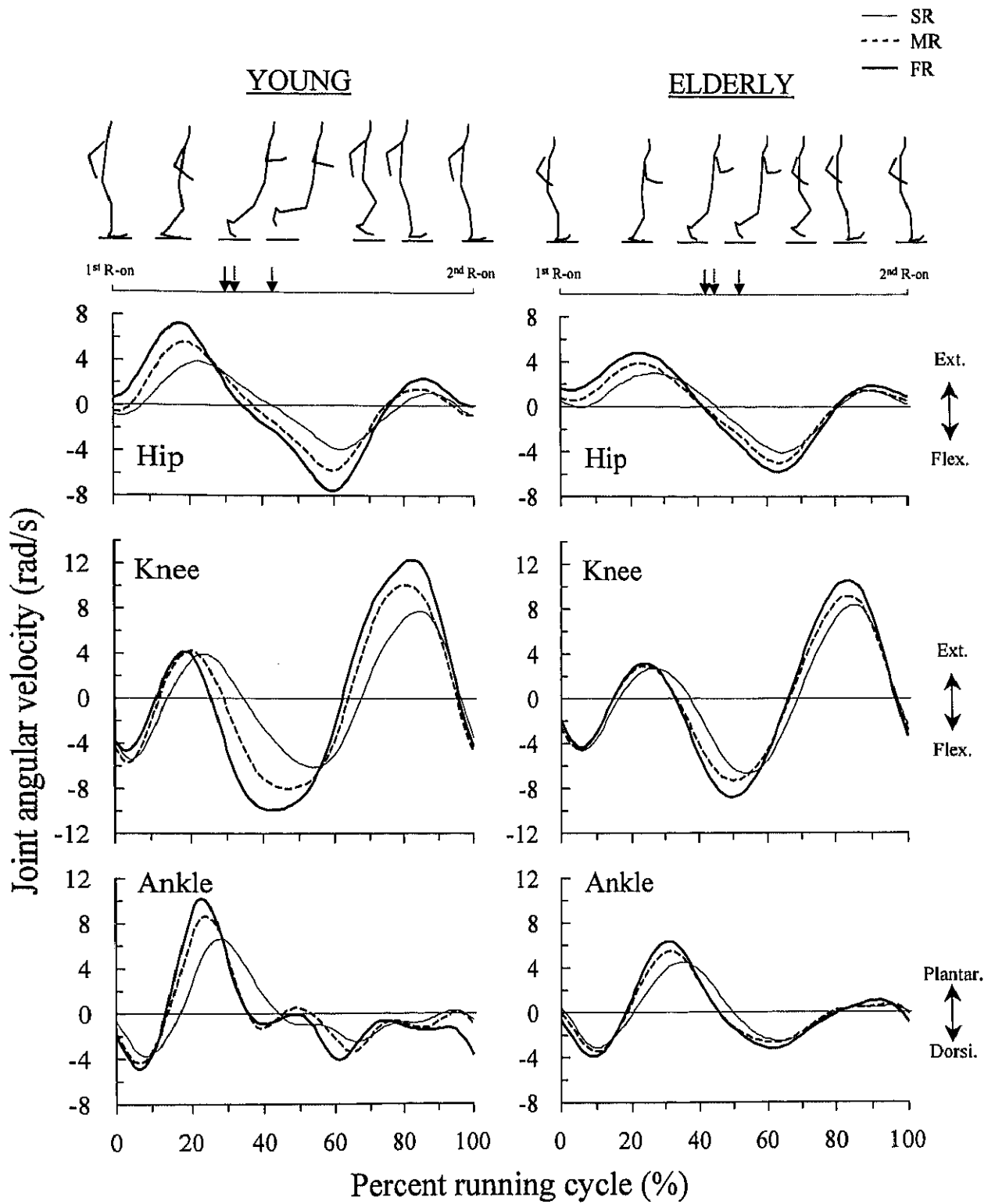


Figure 5-9

Joint angular velocity of lower limb joint in running.

SR=Slow Running, MR=Moderate Running, FR=Fast Running.

Thick, broken and thin line arrows indicate the foot-off of FR, MR and SR, respectively.

付近)の膝関節伸展速度が大きかった。

③ 足関節角速度

男性高齢者は青年よりも支持期後半(15~40%RC付近)の足関節底屈速度が顕著に小さかった。また、接地前(80%RC~100%RC付近)では青年は足関節が背屈していたのに対して、男性高齢者では底屈していた。

以上のことから、同程度の走速度においては支持期の股、膝、足関節の角速度は男性高齢者では青年よりも小さく、遊脚期前半の膝関節の屈曲速度、遊脚期後半の膝関節の伸展速度は男性高齢者が青年よりも大きいことがわかった。

5.3.3 下肢の kinetics について

5.3.3.1 関節トルク

図 5-10 は 1 ランニング周期における足、膝、股関節の体重あたりの関節トルクの変化を図 5-3 と同様に各群の平均で示したものである。各グラフの縦軸の正の値は伸展トルク(足関節では底屈トルク)が優位であることを、負の値は屈曲トルク(足関節では背屈トルク)が優位であることを表す。

股および足関節の伸展トルク(足関節では底屈トルク)および屈曲トルク(足関節では背屈トルク)の変化パターンは両群でほぼ同様であったが、膝関節では支持期中盤から後半(20~30%RC付近)におけるトルクのパターンに両群間で違いがみられた。走速度の増加にともなう関節トルクの変化および両群間の関節トルクの違いは以下のものであった。

① 股関節トルク

両群とも走速度の増加にともない股関節トルクが増大した。同程度の走速度では、男性高齢者は青年に比べて、接地直後(0~10%RC付近)お

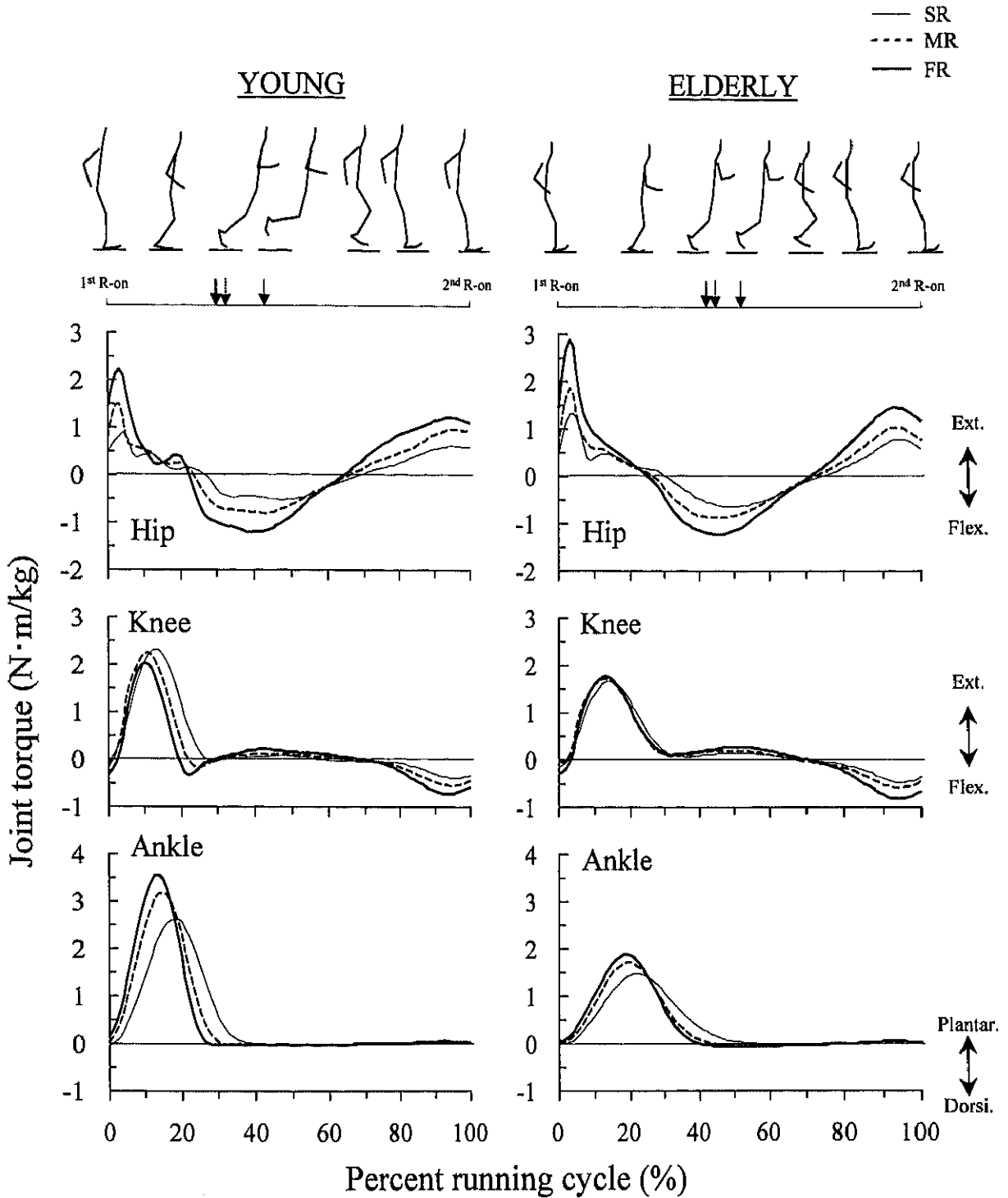


Figure 5-10

Joint torque of lower limb joint in running. The data are shown as per body mass. SR=Slow Running, MR=Moderate Running, FR=Fast Running. Thick, broken and thin line arrows indicate the foot-off of FR, MR and SR, respectively.

よび接地前（90～100%RC 付近）の股関節伸展トルク，離地前後（30～60%RC 付近）の股関節屈曲トルクが大きかった。

② 膝関節トルク

支持期前半（5～20%RC 付近）の膝関節伸展トルクは青年では走速度の増加にともない減少していたが，男性高齢者では速度の増加にともなう変化がみられなかった。また，青年の MR および FR では支持期中盤から後半（20～30%RC 付近）で膝関節屈曲トルクがみられたが，男性高齢者ではみられなかった。接地前（80～100%RC 付近）の膝関節屈曲トルクは両群とも走速度の増加にともない増大した。同程度の走速度では，男性高齢者は青年に比べて，支持期前半（5～20%RC 付近）の膝関節伸展トルクは小さく，接地前（80～100%RC 付近）の膝関節屈曲トルクは大きかった。

③ 足関節トルク

両群とも走速度の増加にともない，支持期（0～40%RC 付近）の足関節底屈トルクが増大した。同程度の走速度では，男性高齢者は青年に比べて，支持期（0～40%RC 付近）の足関節底屈トルクが顕著に小さかった。

以上のことから，同程度の走速度においては，男性高齢者では青年よりも股関節の伸展および屈曲トルクが大きいこと，接地前の膝関節屈曲トルクが大きいこと，支持期の膝関節伸展トルクおよび足関節底屈トルクが小さいことがわかった。

5.3.3.2 関節トルクパワー

図 5-11 は 1 ランニング周期における足，膝，股関節の体重あたりの関節トルクパワーの変化を図 5-3 と同様に各群の平均で示したものである。各グラフの縦軸の正の値は関節トルクによるパワーの発生を，負の値は吸収を表す。

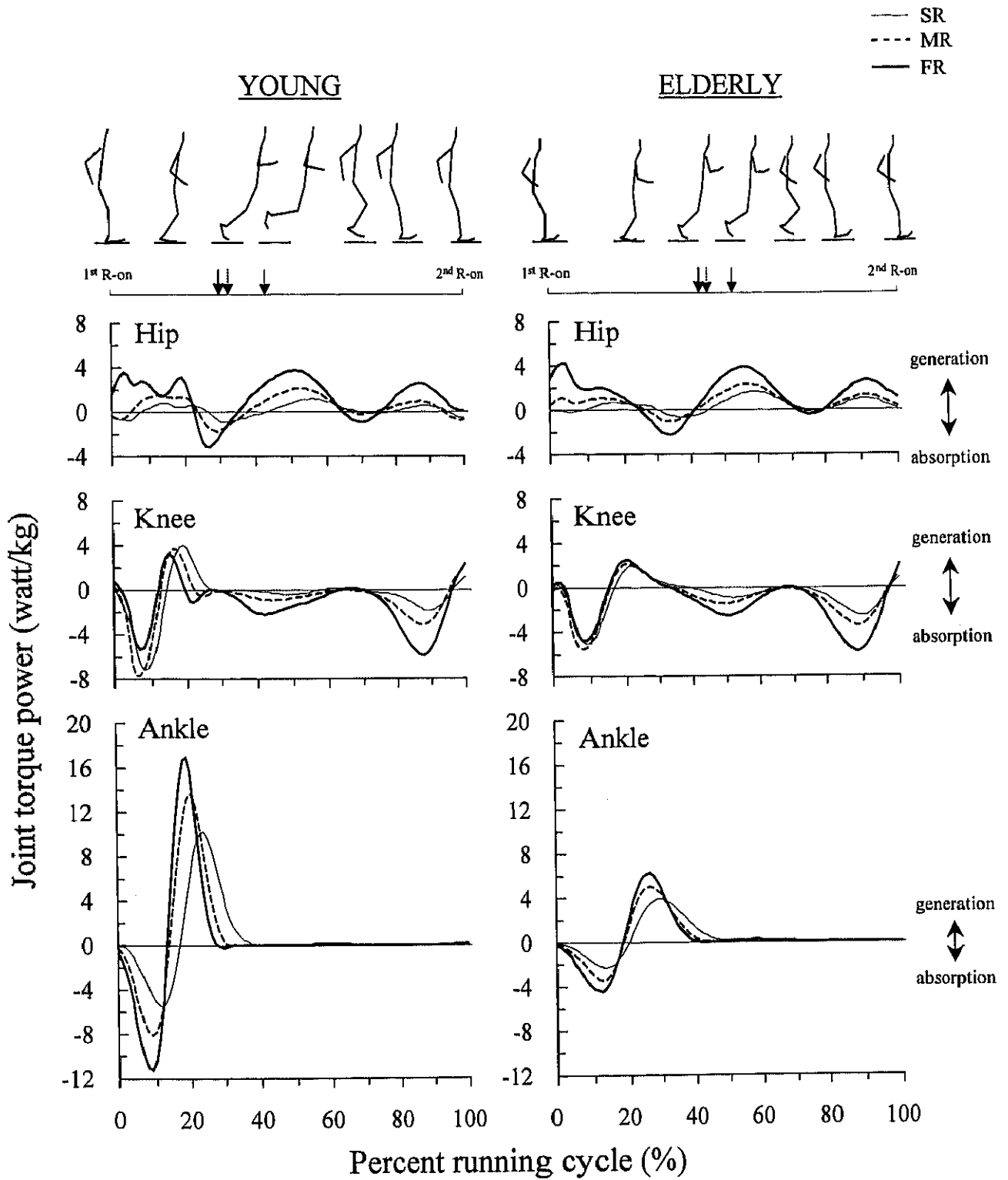


Figure 5-11
 Joint torque power of lower limb joint in running. The data are shown as per body mass. SR=Slow Running, MR=Moderate Running, FR=Fast Running. Thick, broken and thin line arrows indicate the foot-off of FR, MR and SR, respectively.

股および足関節の正のパワーおよび負のパワーの変化パターンは両群で同様であったが、膝関節では支持期中盤から後半（20～30%RC 付近）におけるトルクパワーのパターンに両群間で違いがみられた。走速度の増加にともなう関節トルクパワーの変化および両群間の関節トルクパワーの違いは以下のものであった。

① 股関節トルクパワー

両群とも走速度の増加にともない股関節トルクパワーが増大した。同程度の走速度では、男性高齢者は青年と比べて、遊脚期前半（40～60%RC 付近）の股関節屈曲トルクによる正のパワー、接地前（80～100%RC 付近）の股関節伸展トルクによる正のパワーが大きかった。支持期前半（0～20%RC 付近）の股関節伸展トルクによる正のパワーおよび支持期後半（20～40%RC 付近）の股関節屈曲トルクによる負のパワーは低い速度（青年の SR と男性高齢者の SR）では両群間に差がみられなかったが、高い速度（青年の MR と男性高齢者の FR）ではいずれも男性高齢者の方が大きかった。

② 膝関節トルクパワー

支持期後半から遊脚期全般（30～100%RC）における膝関節の関節トルクパワーは両群とも走速度の増加にともない増大した。一方、接地から支持期前半（0～15%RC）の負のパワー、支持期後半（15～30%RC）の正のパワーは青年では走速度の増加にともない減少し、男性高齢者ではほとんど変化がみられなかった。また、青年の MR および FR では支持期中盤から後半（20～30%RC 付近）で膝関節屈曲トルクによる負のパワーがみられたが、男性高齢者ではみられなかった。同程度の走速度では、男性高齢者は青年と比べて、支持期前半（5～10%RC 付近）の膝関節伸展トルクによる負のパワーおよび支持期中盤（15～25%RC 付近）の膝関節伸展トル

クによる正のパワーが小さく，離地前後（40～60%RC 付近）の膝関節伸展トルクによる負のパワーおよび遊脚期後半（80～95%RC 付近）の膝関節屈曲トルクによる負のパワーが大きかった。

③ 足関節トルクパワー

両群とも走速度の増加にともない足関節トルクパワーは増大した。同程度の走速度では，男性高齢者は青年と比べて，接地後（0～15%RC 付近）の足関節底屈トルクによる負のパワーおよび支持期中盤（15～40%RC 付近）の足関節底屈トルクによる正のパワーが著しく小さかった。

以上のことから，同程度の走速度においては，男性高齢者は青年よりも離地前から遊脚期全般にかけての股および膝関節の関節トルクパワーが大きく，支持期の膝および足関節の関節トルクパワーが小さいことがわかった。そして，支持期の足関節トルクパワーは両群間の差が特に顕著であった。

5.3.3.3 関節の力学的仕事および貢献度

図 5-12 は 1 ランニング周期における関節の体重当たりの力学的仕事（以下，単に仕事とする）を各群の平均で示したものである。足，膝，股関節は両脚の値（ランニング 1 周期における左右の関節の力学的仕事は等しいと仮定して右側の値を 2 倍した）であり，図中の Upper は両手首，両肘，両肩，頸の合計（以下，上半身）である。

両群とも走速度の増加にともない，全身の力学的仕事は正仕事，負仕事，絶対仕事（ABW_{tot}）のいずれもが増大した。関節ごとにみると，両群とも股関節および上半身の正仕事と足，膝，股関節および上半身の負仕事は走速度の増加にともない増大した。同程度の走速度では，足関節の正仕事および負仕事は男性高齢者が青年よりも有意に小さく（いずれも

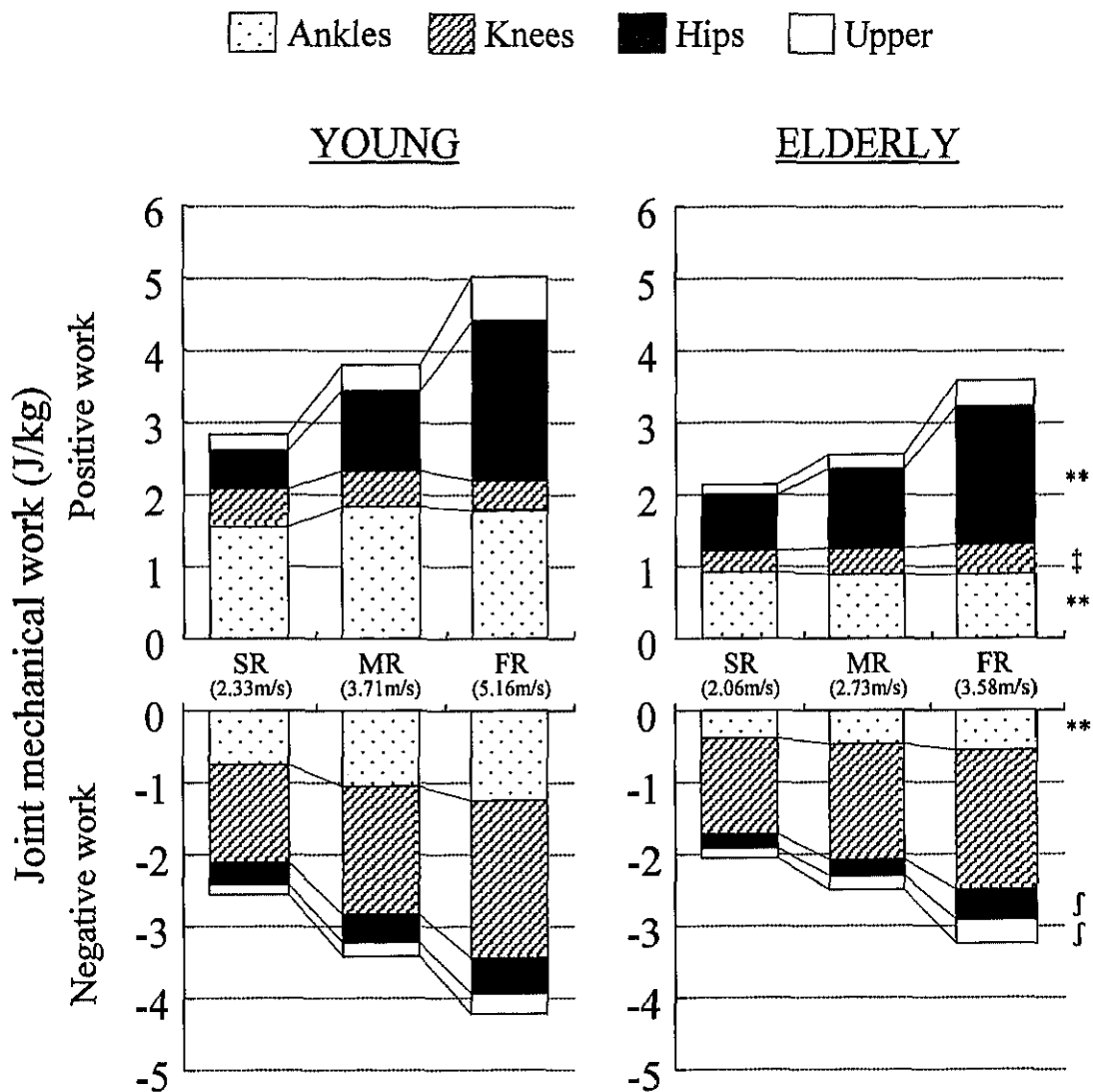


Figure 5-12

Mechanical work done by the joints in running. The data are shown as per body mass. SR=Slow Running, MR=Moderate Running, FR=Fast Running. The figures in parenthesis are mean walking velocities. "Upper" means the sum of wrists, elbows, shoulders, and neck joint. Data for the lower limb joints are shown as the sum of both legs. Asterisks mean significant differences between the age groups in ANCOVA with running velocity as a covariate (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$). S-marks (†, ‡) mean significant differences between the age groups in the test of regression slopes in which the running velocity is an independent variable († $p < 0.05$, ‡ $p < 0.01$).

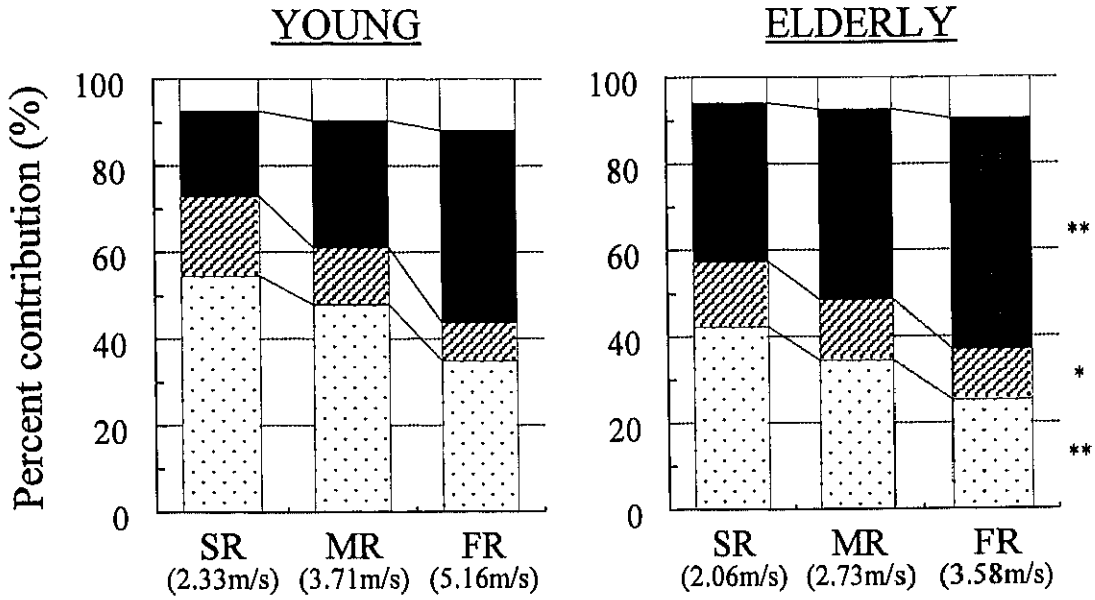
$p<0.01$)，股関節の正仕事は有意に大きかった ($p<0.01$)。膝関節の正仕事は走速度に関わらず，男性高齢者が青年よりも有意に小さかった ($p<0.01$)。また，股関節および上半身の負仕事は走速度の増加にともなう変化に両群間で有意差がみられた (いずれも $p<0.05$)。

図 5-13 は 1 ランニング周期中の正仕事および負仕事における各関節の貢献度 (全身の正仕事 (負仕事) に対する各関節の正仕事 (負仕事) の割合) を各群の平均で示したものである。両群とも，走速度の増加にともない正仕事における足関節および膝関節の貢献度は減少し，股関節および上半身の貢献度は増大した。また，負仕事では，両群とも走速度の増加にともなう貢献度の変化があまりみられなかったが，上半身の貢献度は増大する傾向にあった。同程度の走速度では，正仕事における足関節および膝関節の貢献度は男性高齢者が青年よりも有意に小さく (足関節： $p<0.01$ ，膝関節： $p<0.05$)，正仕事における股関節の貢献度および負仕事における上半身の貢献度は有意に大きかった (いずれも $p<0.01$)。負仕事における足関節の貢献度は走速度に関わらず，男性高齢者が青年よりも有意に小さかった ($p<0.01$)。また，負仕事における膝関節の貢献度は同じ速度においては男性高齢者が青年よりも大きい傾向にあり，走速度の増加にともなう変化が両群で有意に異なっていた ($p<0.05$)。

以上のことから，同程度の走速度においては，男性高齢者は青年よりも足関節の正仕事と負仕事，膝関節の正仕事が小さく，股関節の正仕事が大きいくことがわかった。また，男性高齢者は青年と比較して，同程度の走速度では，正仕事においては足関節および膝関節の貢献度が小さく，股関節の貢献度が大きいこと，負仕事においては足関節の貢献度が小さく，膝関節および上半身の貢献度が大きいことがわかった。

Ankles
 Knees
 Hips
 Upper

Positive work



Negative work

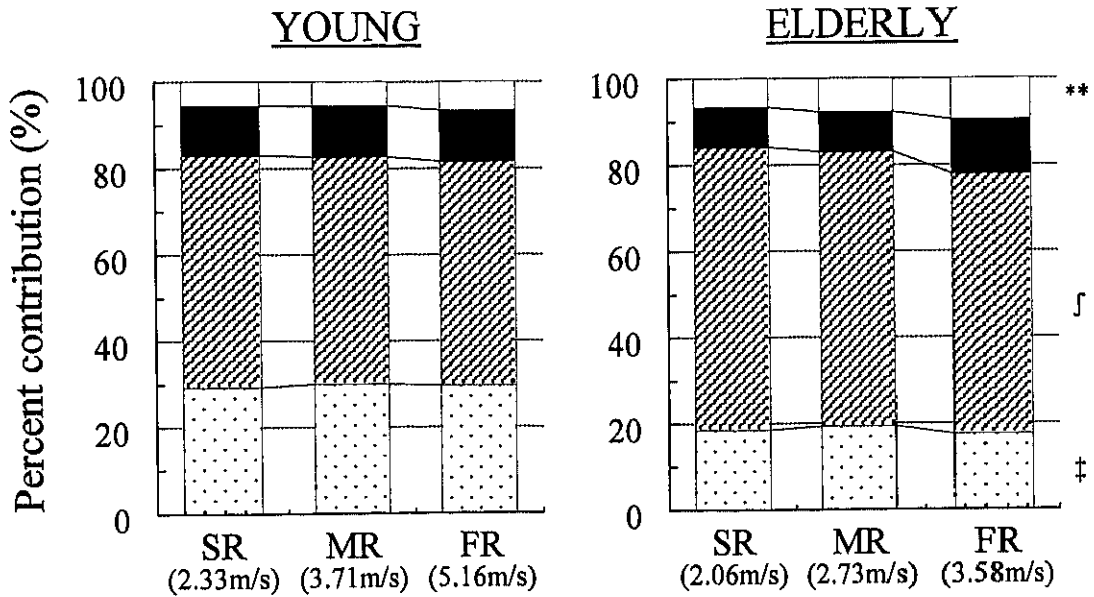


Figure 5-13

Percent contributions of each joint to the positive and negative mechanical work in running. SR=Slow Running, MR=Moderate Running, FR=Fast Running. The figures in parenthesis are mean running velocities. "Upper" means the sum of wrists, elbows, shoulders, and neck joint. Data for the lower limb joints are the sum of both legs. Asterisks mean significant differences between the age groups in ANCOVA with running velocity as a covariate (* p<0.05, ** p<0.01). Crosses (†, ‡) mean significant differences between the age groups in unpaired t-test (†<0.05, ‡<0.01). S-marks (∫, ∫∫) mean significant differences between the age groups in the test of regression slopes in which the running velocity is an independent variable (∫ p<0.05, ∫∫ p<0.01).

5.3.3.4 力学的エネルギー利用の有効性

図 5-14 は走速度と力学的エネルギー利用の有効性指数(以下, EI)の関係を各群の平均と標準偏差で示したものである。走速度の増加にともなう EI の変化は両群で有意に異なっていた ($p<0.01$)。EI は, 青年では走速度の増加にともない増大したが, 男性高齢者では低下した。

5.4 考察

5.4.1 ステップ長, ステップ頻度からみた男性高齢者の走動作の特徴

本研究の結果から, 歩行と同様に走動作でも同程度の走速度では男性高齢者は青年よりもステップ長が小さく, ステップ頻度が高いことが示された。また, ステップ長とステップ頻度は男性高齢者, 青年ともに, 走速度の増加にともなって増大し, 両群とも走速度とステップ長, ステップ頻度との相関は高かった (青年/ステップ長 $0.97(p<0.01)$, ステップ頻度 $0.76(p<0.01)$; 男性高齢者/ステップ長 $0.88(p<0.01)$, ステップ頻度 $0.71(p<0.01)$)。しかし, 走速度の増加にともなうステップ長とステップ頻度の増大の程度には両群間に差がみられ, ステップ長の増大は青年で, ステップ頻度の増大は男性高齢者でより大きかった (表 5-2(a), 図 5-2)。図 5-2 からわかるように, 両群とも走速度の増加にともないランニング比が増大していた。このことは, 両群とも走速度の増加にともなうステップ長の増大率がステップ頻度の増大率よりも大きいことを意味する。しかし, 走速度の増加にともなうランニング比の増大は青年で顕著であったのに対して, 男性高齢者ではわずかであった。

以上のことから, 走においては歩行と異なり, 両群とも走速度の増加はステップ頻度よりもステップ長により依存しているが, 歩行と同様に男性高齢者は青年ほどステップ長を増大しておらず, 青年との相対的な比較に

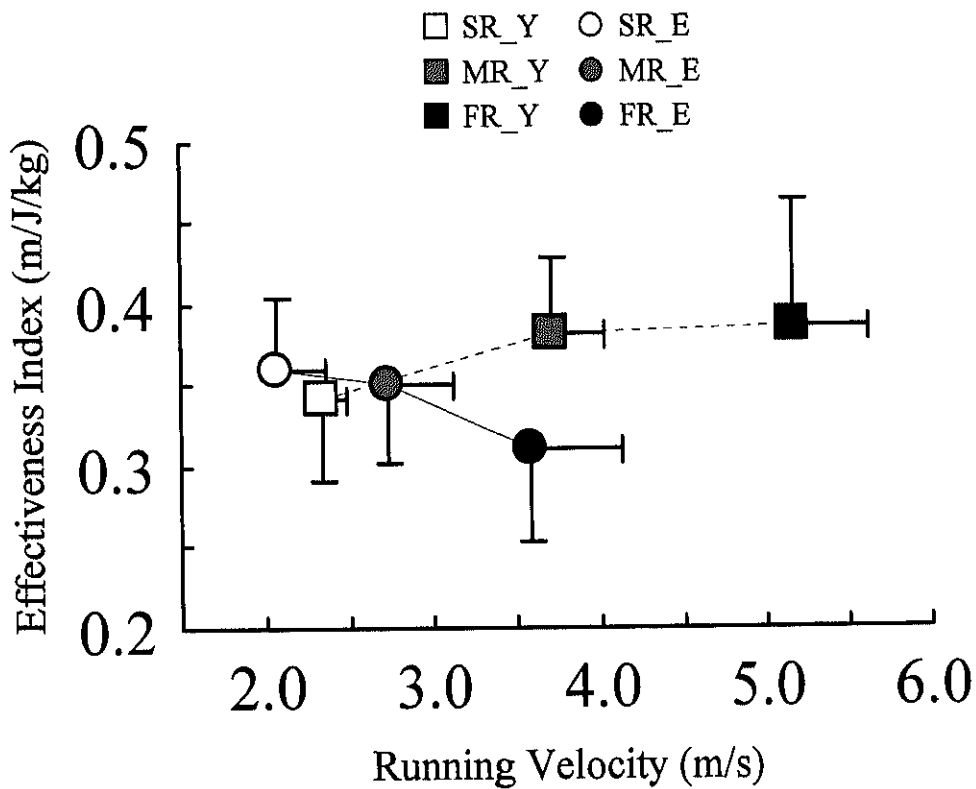


Figure 5-14

Effectiveness Index (EI) of mechanical energy utilization for the forward transition of the body in running. SR_Y=Slow Running for YOUNG, MR_Y=Moderate Running for YOUNG, FR_Y=Fast Running for YOUNG, SR_E=Slow Running for ELDERLY, MR_E=Moderate Running for ELDERLY, FR_E=Fast Running for ELDERLY. Regression slopes in which running velocity is an independent variable is significantly different between the ELDERLY and YOUNG ($t(98)=-3.56, p<0.01$).

おいては，ステップ頻度により依存しているといえる。

歩行と異なり，両脚支持期がない走は，左右の脚による交互の片脚跳躍の連続であるといえる。表 5-2(b)に示したように，同程度の走速度では支持期時間には両群で差がみられなかったが，空中期時間は男性高齢者で有意に短かった。また，それらのランニング周期に占める割合（%STT，%ART）は男性高齢者では青年よりも%STTが大きく，%ARTが小さかった。さらに男性高齢者では青年よりも空中期時間の支持期時間に対する比（ART/STT 比）が小さかった。Hamilton(1993)はマスターズスプリンターを対象とした研究において，加齢にともなう支持期時間の延長と空中期時間の短縮を報告している。Hamilton の研究は全力疾走動作の分析であり，高齢群ほど疾走速度が低かったが，本研究の結果から，同程度の走速度においても，空中期時間は青年よりも男性高齢者で短いことが示された。一方，支持期時間には同程度の走速度では男性高齢者と青年に差がなかった。

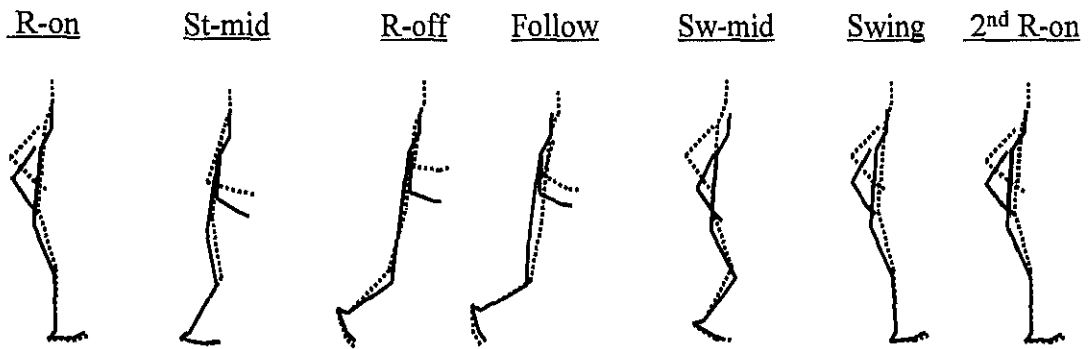
これらのことから，男性高齢者におけるステップ頻度の増大は空中期時間の短縮によるものであり，男性高齢者では青年と同じ時間をかけて地面をキックしても，滞空時間が短いといえる。また，これらは男性高齢者の跳躍力の低下を示すものであり，そのため青年よりも短いステップ長と高いステップ頻度が生じたと考えられる。

5.4.2 下肢および体幹の kinematics からみた男性高齢者の走動作の特徴

図 5-15 は男性高齢者と青年の走動作をスティックピクチャーを用いて示したものである。これらのスティックピクチャーは，男性高齢者，青年のそれぞれにおいて，各被験者の座標データを身長と時間で正規化し，平均したものを元に描かれたものである。

..... YOUNG
 ——— ELDERLY

SR_Y ($2.33 \pm 0.15\text{m/s}$) vs. SR_E ($2.06 \pm 0.29\text{m/s}$)



MR_Y ($3.71 \pm 0.31\text{m/s}$) vs. FR_E ($3.58 \pm 0.56\text{m/s}$)

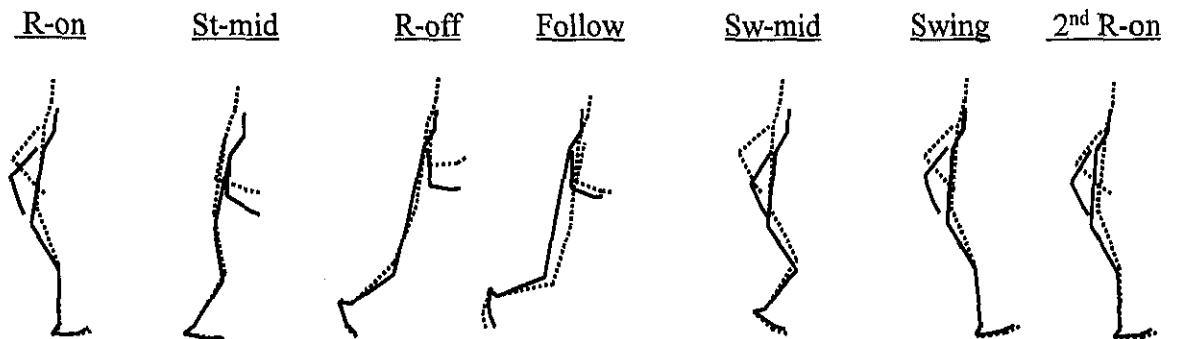


Figure 5-15

Comparison of body kinematics between YOUNG and ELDERLY during running in similar velocity. SR_Y=Slow running for YOUNG, MR_Y=Moderate running for YOUNG, SR_E=Slow running for ELDERLY, FR_E=Fast running for ELDERLY.

歩行と同様に、同程度の走速度では、男性高齢者は青年よりも股関節および膝関節がより屈曲位に、足関節がより背屈位にあり、足関節の動作範囲が小さかった（図 5-3, 図 5-4, 図 5-5）。したがって、歩行と同じく高齢者の走における姿勢は、体幹と下肢が近づき、前かがみの姿勢であるといえる。

一方、走動作中の下肢関節の角速度は同程度の走速度で比較すると、支持期の股および足関節の底屈角速度と膝関節の屈曲および伸展角速度は男性高齢者では青年よりも小さく、遊脚期の膝関節の屈曲および伸展角速度は男性高齢者が青年よりも大きかった（図 5-9）。遊脚期の関節角速度が大きいことは遊脚期時間の短縮と関係し、男性高齢者でみられた遊脚期の膝関節の速い関節運動は歩行と同様、ステップ頻度を増大させることに貢献したと考えられる。

また、高い走速度では男性高齢者は青年よりも遊脚期の足および膝関節の動作範囲が小さかった。このことは、高い走速度においては遊脚期の膝関節速度が青年よりも大きいだけでなく、動作範囲が小さいことも男性高齢者のステップ頻度を増大させる要因となっていることを示している。また、男性高齢者では支持期の関節の伸展角速度が小さいことから、下肢関節の伸展パワーの低下がうかがえる。

5.4.3 kinetics からみた男性高齢者の走動作の特徴

走動作において身体を加速するためには、支持期における下肢関節の正のパワー発揮が必要である。男性高齢者と青年の支持期における正の関節トルクパワーを比較すると、膝および足関節においては男性高齢者の方がパワーが小さい傾向がみられ（図 5-11 参照）、特に、男性高齢者の足関節の正のパワーは青年よりも著しく小さかった。歩行では、男性高齢者の

支持期の足関節の正のパワーは青年の約 55～70%であったが、走動作ではさらに小さく、40～45%であった。このことは、男性高齢者の走動作中の正のパワー発揮能力の低下を示しており、歩行と同様に走動作でもみられた高齢者の短いステップ長は、加齢にともなう足関節底屈筋群のパワーの低下が反映されたものであるといえる。

足関節では、支持期前半の負のパワーと後半の正のパワーが速度の増加にともない増大したが、男性高齢者では青年よりも顕著に小さかった。また、青年では速度の増加にともない膝関節の支持期前半の負のパワーと後半の正のパワーが減少していたのに対して、男性高齢者では走速度の増加にともなう変化があまりみられなかった。これは、高齢者では走速度が増加しても足関節の負のパワーを十分に増大させることができず、そのため、高い速度においても膝関節が低い速度の時と同レベルの負のパワーを発揮していたとみることができる。したがって、走動作の支持期においては、高齢者は足関節の正のパワーだけでなく、接地後の体重の受け止めにかかわる負のパワー発揮能力も低下しているといえる。

一方、支持期の股関節の正のパワーは、高い速度においては青年よりも男性高齢者のほうが大きい傾向がみられた。このことから、高齢者では、支持期の股関節伸展筋群のパワーを増すことにより身体を加速していると考えられる。

遊脚期では股関節の正のパワーと膝関節の負のパワーは青年よりも男性高齢者の方が大きかった。これらも歩行でみられた結果と同様であり、遊脚期のパワーが大きいことがステップ頻度を増すことに貢献していると考えられる。

本研究では走動作における各関節の役割や仕事に対する各関節の貢献度を検討した（図 5-13 参照）。走速度によって各関節の貢献度は変化し

たが、男性高齢者、青年とも、どの速度でも正仕事では股および足関節の貢献度が大きく、負仕事では膝関節の貢献度が大きかった。このことは、走動作においては速度や年齢に関わらず、股および足関節は主にエネルギージェネレーターとして働き、膝関節は主にエネルギーアブソーバーとして働いていることを示している。

正仕事については、両群とも走速度の増加にともない足関節の貢献度が減少し、股関節の貢献度が増大していた。股関節まわりの筋群は、他の関節まわりの筋群より大きな力学的仕事能(力学的仕事を行うための潜在的な能力)があるといわれている(阿江ら, 1994)。このことから、走動作では走速度の増加に対応して、より大きな仕事能をもつ股関節の貢献が高まったと考えられる。一方、股関節が動員された場合には、体幹や大腿の慣性モーメントが大きいため、他の関節に比べると負担度(関節で接合されるセグメントの慣性モーメントの和/力学的仕事能)も大きい(阿江ら, 1994)。同程度の速度では、青年よりも男性高齢者において股関節の貢献度がより大きかった。股関節の動員が負担度の増大をとまなうものであるにも関わらず、男性高齢者で股関節の貢献度がより大きかったのは、足関節の機能低下を代償したためと考えられる。一方、男性高齢者では股関節と膝関節の屈曲が大きいために足関節の働きを制限した可能性も考えられる。しかし、足関節が大きなパワーを発揮する支持期中盤では、両群の関節角度に大きな差がみられなかったことなどから、両群の股および膝関節の姿勢の相違は足関節のパワー発揮に大きく影響を及ぼすほどではなかったと考えられる。しかし、この点については今後、さらに検討していく必要がある。いずれにしろ、同程度の走速度において男性高齢者が青年よりも股関節の貢献度が大きいことは、同程度の速度での走動作中の負担が青年よりも大きく、男性高齢者にとっては相対的には高い強度の運動

となっていることを示している。

これらのことから、男性高齢者では足関節底屈筋群のパワー発揮能力の低下が大きいと考えられるので、青年と同程度の速度で走るにはより大きな関節である膝関節や股関節の出力で足関節の機能を補償せざるを得ず、その結果、貢献度に差を生じたと考えられる。

5.4.4 力学的エネルギー利用の有効性からみた男性高齢者の走動作の特徴

力学的エネルギー利用の有効性指数 (EI) は青年では走速度の増加にともない増大し、男性高齢者では低下していた (図 5-14)。このことは青年では走速度の増加にともなう移動距離 (ステップ長) の増大率が ABW_{tot} の増大率よりも大きく、男性高齢者では小さいことを意味する。このことから、歩行と同様、男性高齢者では関節トルクによって生み出された力学的エネルギーがステップ長の増大よりもステップ頻度の増大に利用されたと考えることができる。したがって、大きい速度になるほど高齢者の EI が青年よりも小さいのは、力学的エネルギーが四肢の加速や減速をより必要とするステップ頻度の増大に使われたためと推察される。

5.5 要約

ここでは、男性高齢者の走動作のバイオメカニクスの特徴を明らかにするため、男性高齢者と青年を比較した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 走速度、ステップ長、ステップ頻度に関して

- ① 同程度の走速度では、男性高齢者は青年よりもステップ長が小さく、ステップ頻度が高かった。その結果、ランニング比 (ステップ長/ス

テップ頻度) が小さかった。

- ②同程度の走速度では，支持期時間は男性高齢者と青年で同等であったが，遊脚期時間，空中期時間は男性高齢者が青年よりも短かった。そのため，空中期時間の支持期時間に対する比 (ART/STT 比) は男性高齢者で小さかった。
- ③男性高齢者，青年とも走速度の増加にともないランニング比が増大していた。しかし，青年ではランニング比の増大が著しかったのに対して，男性高齢者では小さかった。

(2) kinematics に関して

- ①男性高齢者では，ランニング周期のほぼ全般を通じて股関節および膝関節がより屈曲位に，足関節がより背屈位にあった。
- ②これらは，体幹の前傾が大きいこと，大腿の後傾が大きく，前傾が小さいこと，下腿の前傾が大きいこと，足部の後傾が大きく，前傾が小さいことにより生じていた。
- ③男性高齢者は青年と比較して，支持期および遊脚期における最大足底屈が小さいため，支持期および遊脚期における足関節の動作範囲が小さかった。
- ④支持期の下肢関節の角速度は男性高齢者の方が青年よりも小さかった。しかし，遊脚期前半の膝関節の屈曲速度，遊脚期後半の膝関節の伸展速度は男性高齢者の方が青年よりも大きかった。

(3) kinetics に関して

- ①男性高齢者では，離地前から遊脚期全般にわたる股および膝関節の関節トルクパワーが大きく，支持期の膝および足関節の関節トルクパワ

ーが小さかった。

- ②走速度の増加にともない、青年では支持期における膝関節の負および正のパワーが低下したが、男性高齢者ではほとんど変化がなかった。
- ③大きい速度では、支持期の股関節の正のパワーは青年よりも男性高齢者のほうが大きい傾向がみられた。
- ④男性高齢者と青年では総正仕事および総負仕事に占める各関節の仕事の比率（貢献度）が異なっていた。男性高齢者では青年よりも正仕事における膝および足関節の貢献度が小さく、股関節の貢献度が大きかった。また、負仕事における足関節の貢献度が小さく、膝関節および上半身の貢献度が大きかった。
- ⑤力学的エネルギー利用の有効性は青年では走速度の増加にともない増大したが、男性高齢者では低下した。

以上のことから、男性高齢者の走動作のバイオメカニクスの特徴として、歩行と同様に、短いステップ長、前かがみの姿勢、支持期後半の足関節の正のパワーの低下などがあげられる。また、支持期前半の足関節の負のパワーの低下もみられ、接地後の身体の受け止め能力の低下がうかがえた。