

DA  
580  
1987  
(H)

寄	昭和
横井孝志氏	年
	月
	日

昭和62年度教育学博士学位論文

形態的要因が走動作におよぼす影響に関する生力学的研究

筑波大学体育科学研究科

横井孝志

89001649

# 目次

第1章 結論	.....(1)
第1節 体育科学における本研究の意義	.....(1)
1. 形態的要因が動作におよぼす影響に関する研究の重要性	
2. 形態的要因が走動作におよぼす影響に関する研究の意義	
第2節 形態的要因が走動作におよぼす影響に関する生力学的研究.....(3)	
1. 形態的要因の走動作への影響に関する生力学的研究課題	
2. 動力学的研究と身体部分係数	
3. シミュレーションと試技実験	
研究目的	.....(6)
第2章 文献研究	.....(7)
第1節 走の定義と分類	.....(7)
第2節 形態に着目した走技術に関する生力学的研究について	.....(9)
1. 形態的要因が走のパフォーマンス、ストライド、ピッチにおよぼす影響	
2. 形態的要因が走動作におよぼす影響	
(第2節まとめ)	
第3節 形態的要因が身体部分係数におよぼす影響に関する研究について	.....(15)
1. 長さに関する要因が身体部分係数におよぼす影響	
2. 太さ・重量に関する要因が身体部分係数におよぼす影響	
(第3節まとめ)	
第3章 問題	.....(21)
第1節 研究課題および仮説	.....(21)
第2節 用語の定義	.....(23)
第3節 作業仮説	.....(26)
1. 被験者に関する作業仮説	
2. 身体部分係数に関する作業仮説	
3. 走に影響する形態的要因に関する作業仮説	
4. 走動作の解析に関する作業仮説	
5. シミュレーションに関する作業仮説	

第4節	研究の限界	.....(28)
1.	方法および結果の解釈に関する限界	
2.	一般化・普遍化に関する限界	
第5節	本研究の独自性	.....(30)
第4章	研究方法	.....(32)
第1節	各課題の検討方法	.....(32)
1.	形態的要因が身体部分係数 (BSP) におよぼす影響の把握 (課題1)	
2.	形態に差のある走者固有の走動作の特徴の把握 (課題2)	
3.	形態的要因が走動作におよぼす影響の究明 (課題3)	
4.	形態的特徴に適した走動作の究明 (課題4)	
第2節	測定および実験	.....(35)
1.	被験者群A, B	
2.	形態測定	
3.	BSPに関する測定	
4.	被験者固有の走動作をとらえる実験 (実験1)	
5.	走フォームを変えた走動作をとらえる実験 (実験2)	
第3節	実験データの分析	.....(41)
1.	形態測定データ	
2.	BSP算出のための基礎データの収集	
3.	実験1, 2における基礎データの収集	
第4節	算出項目とその算出法	.....(46)
1.	形態に関する算出項目と算出法	
2.	BSPに関する算出項目と算出法	
3.	走に関する算出項目と算出法	
4.	被験者の分類	
5.	走に関するデータの規格化と平均化	
第5節	走動作のシミュレーション	.....(51)
1.	シミュレーションのねらいおよび推定した走動作	
2.	身体モデル	
3.	入力データ	
4.	シミュレーションの手順および基礎方程式	
5.	シミュレーションの妥当性	

第5章 形態的要因が身体部分係数におよぼす影響	.....(58)
第1節 身長が身体部分係数におよぼす影響	.....(58)
1. TA群とSH群における形態的相違	
2. 身長がBSPにおよぼす影響	
3. 第1節まとめ	
第2節 体型が身体部分係数におよぼす影響	.....(62)
1. MU群とSK群における形態的相違	
2. 体型がBSPにおよぼす影響	
3. 第2節まとめ	
第6章 形態に差のある走者固有の走動作の特徴	.....(65)
第1節 TA群, SH群における固有の走動作の特徴	.....(65)
1. ストライド, ピッチなどにおける相違	
2. 疾走中の身体各部分の動きにおける相違	
3. TA群, SH群における固有の走動作の特徴 (第1節まとめ)	
第2節 MU群, SK群における固有の走動作の特徴	.....(72)
1. ストライド, ピッチなどにおける相違	
2. 疾走中の各部分の動きにおける相違	
3. MU群, SK群における固有の走動作の特徴 (第2節まとめ)	
第7章 形態的要因が走動作におよぼす影響	.....(79)
第1節 身長が走動作におよぼす影響	.....(79)
1. ストライド, ピッチなどへの影響	
2. 各部分の動きへの影響	
3. 脚関節筋群の機能への影響	
4. 身長が走動作におよぼす影響 (第1節まとめ)	
第2節 体型が走動作におよぼす影響	.....(89)
1. ストライド, ピッチなどへの影響	
2. 各部分の動きへの影響	
3. 脚関節筋群の機能への影響	
4. 体型が走動作におよぼす影響 (第2節まとめ)	
(第7章まとめ)	.....(98)



第8章 形態的特徴に適した走動作	.....(99)
第1節 各身長に適した走動作	.....(99)
1. 各身長に適した走動作の判定	
2. 長身者が用いるべき走動作	
3. 短身者が用いるべき走動作	
4. 第1節まとめ	
第2節 各体型に適した走動作	.....(109)
1. 各体型に適した走動作の判定	
2. 骨格・筋の発達したものが用いるべき走動作	
3. 痩身者が用いるべき走動作	
4. 第2節まとめ	
(第8章まとめ)	.....(116)
第9章 要約および結論	.....(118)
第1節 要約	.....(118)
1. 研究目的および研究課題	
2. 研究手順	
3. 得られた知見のまとめ	
第2節 結論および今後の課題	.....(124)
1. 結論	
2. 今後の課題	
謝辞	.....(129)
参考文献	.....(130)
図	.....(140)
表	.....(308)
資料	.....(379)
資料 A Heath-Carterの方法による体型指数の算出法	.....(379)
資料 B 身体部分係数(比)を用いた各部分の質量、重心位置、慣性モーメントの算出式	.....(382)

# 第 1 章 結 論

## 第 1 節 体育科学における本研究の意義

### 1. 形態的要因が動作におよぼす影響に関する研究の重要性

体育のねらいとして、生活・生存の場に必要とされる運動を含む各種身体運動の習得、およびそれによって生活環境への心身の適応能力を保持・増進させたり、充実した運動生活を行えるようにすることなどがあげられている<sup>1, 74, 76, 80)</sup>。従って、体育のねらいを効果的に達成するための基礎的あるいは実践的課題を究明し、得られた知見の体系的蓄積や提供をねらいとする体育科学では、体育手段として用いられる身体運動（体育運動）の改善や体系的確立が重要な課題の1つとなろう<sup>1, 74, 76, 139)</sup>。

金原は、体育のねらいを効果的に達成できるような体育運動を体系的に確立するためには、①現在および未来の生活・生存の場で用いられる、あるいは用いられると見られる基礎的動きの体系的な明確化、②それらの合目的的・合理的運動過程（運動技術）の究明、③発育・発達段階、体格・体型に応じた基礎的動きの合理的配列、④段階①～③のそれぞれにおいて得られた知見をもとにした実際の体育運動の改善や創造、という過程を経る必要があるとしている<sup>78, 80, 81, 82)</sup>。

人間を含む動物によって発現される運動は、エネルギーの発生や調節などの機能的要因だけでなく、身体各部分の長さ、太さ、重量などの形態的要因の影響も<sup>8, 18, 31, 130, 131, 132, 144, 145, 146, 148, 164)</sup>受ける。即ち、生体各部分の長さや太さなどは、筋・骨格系による力の伝達の仕方などに影響し、その結果、発現された動作にも違いが生じると考えられる<sup>130, 140, 146, 164, 165)</sup>。このうち人間の場合には、形態的特徴の経年齢的变化、身長、身体各部分の太さや重量などが、身体の動きに影響をおよぼすことが指摘されている<sup>8, 12, 13, 15, 151, 164, 165)</sup>。

これらのことは、上述の体育運動を確立する段階③、④において基礎的動きの合理的配列、体育運動の改善や創造を効果的に行うために、段階②では、形態的要因をも考慮して基礎的動きにおける運動技術を究明する必要があることを示唆するものであろう。そして、このための基礎的知見を得るには、運動技術と密接な関係がある動作などを手がかりに、形態的要因が動作におよぼす影響や形態に適した動作を明らかにすることが課題となろう<sup>78, 79, 84, 165)</sup>。

ところが、これまでの研究では、形態測定値とパフォーマンスとの関係から各種スポーツに適した形態について検討したものが大部分であり、<sup>23, 24, 101, 143, 166, 174, 175)</sup>形態の影響を動作の中でとらえたものは少ない。<sup>20, 113, 151, 164)</sup>さらに、形態の特徴によって動作が異なることが指摘されながらも、形態の特徴に適した動作などについて検討し、実践に役立つ知見を提供したものはほとんど見られない。<sup>115)</sup>その結果、学校体育、スポーツなどの現場では、形態などの個人の特性を重要視しながらも、この点を考慮した各種身体運動の指導法の数多くが、教師やコーチの経験や直感に依存したものにならざるを得ないのが現状であろう。

また、基礎的動きは、幼少年から老人に至るあらゆる年齢の、様々な形態的特徴を持つ人々が、そのねらいを効果的に達成できるかたちで身につけておくべき重要なものである。従って、基礎的動きを対象にしてこのような検討を行うことは特に重要であると考えられる。

## 2. 形態的要因が走動作におよぼす影響に関する研究の意義

人間の代表的な移動運動の1つである走は、系統発生的に獲得されるものであり、心身に障害のないかぎり誰もが身につけることができる。<sup>115, 116, 120, 121)</sup>また、日常生活や体育・スポーツの場において、様々なかたちで頻繁に用いられる基礎的動きの1群であることから、<sup>69, 104, 119,</sup>体育運動に含まれる身体運動の中でも重要なものと考えられる。<sup>139)</sup>

このような走は、方向に着目すると、前後あるいは左右への方向変換走などに、<sup>18, 77, 78)</sup>走行距離や速度に着目すると短距離走、中距離走、長距離走などに分類できよう。さらに、このように分類した一連の走は、走行中の速度変化に着目すると、<sup>77)</sup>加速走、定速走、減速走から構成されると言えよう。走が移動運動の1つであることを考慮すると、これらの分類された走の主なねらいは、ある距離を短時間で移動することにある。このとき、身体が発揮し得るエネルギー量や走速度にもおのずと限界があることから、走行距離が長いほど定速走の区間が長くなる。従って、<sup>77, 78)</sup>定速走における動作は走動作の代表的なものと言えよう。

定速走のパフォーマンスの指標の一つである走速度は、一般にストライドとピッチの積として表わすことができる。走能力がほぼ同じ場合には、同じ速度で疾

走る際のストライドとピッチの関係は、身長、脚長などの影響を大きく受け、<sup>9, 10, 13, 16, 17, 45, 46, 124, 125)</sup> 身長（脚長）が大きい者ほどストライドは長く、逆にピッチは低いと言われている。そして、身長、脚長などの長さの違いに伴って変化するストライドやピッチは、身体各部分の動きと相互に影響しあうことが指摘されている。<sup>113, 124)</sup> また、ストライドやピッチに明確な相違は見られないが、体重や身体各部分の太さ・重量の相違によって走動作が異なることが指摘されている。<sup>125)</sup>

このように、走の代表的運動形態である定速走の動作は、長さや太さ・重量などの形態的要因の影響を大きく受けると考えられる。従って、形態に着目した走技術を究明することは、走を含む体育運動の確立のための重要な課題の1つであり、形態的要因の走動作への影響や形態に適した走動作を明らかにすることによって、この課題を達成するための有効な知見を提供できると考えられる。

## 第2節 形態的要因が走動作におよぼす影響に関する生力学的研究

身体運動は、関節の可動範囲や筋の出力などにおける人体特有の制限を受けながらも力学的法則に支配されている。<sup>1, 31, 134, 163)</sup> また、形態は重心位置、質量、慣性モーメントなどのかたちで各種力学量に影響すると考えられる。<sup>168)</sup> これらのことから、形態的要因の走動作への影響などは、運動生力学(Sport biomechanics)の手法を用いた研究によってとらえることができよう。

### 1. 形態的要因の走動作への影響に関する生力学的研究課題

運動生力学は、体育・スポーツにおいて用いられる各種身体運動を、人体特有の制限条件を考慮しながら力学的に研究する科学であり、体育科学の研究分野の1つとして位置づけられている。<sup>3, 84, 103, 110, 152)</sup>

これまで、形態的要因の走動作への影響を生力学的にとらえた研究は少なく、形態に差のある走者固有の走動作の特徴さえも明らかにされていない。また、これまでの研究を概観すると、取扱われている走の多くが全速疾走であり、<sup>43, 87, 113)</sup> 日常生活や体育の場で比較的多く用いられる低速走、中速走などについてはわずかしが触れられていないことがわかる。さらに、資料収集法などの制限のために、スト

ライドやピッチに着目した定性的な観察や理論的な考察が大部分であり、これらの結果を裏付ける実験的な検証はほとんど行われていない。

この様な現状をみると、生力学的研究から、形態に着目して走技術を究明するための科学的基礎を得るには、生活・生存の場あるいは体育・スポーツの場での各種条件を考慮し、形態に差のある走者固有の走動作の特徴をとらえたり、形態の走動作への影響や形態に適した走動作を明らかにすることなどが必要であろう。

## 2. 動力学的研究と身体部分係数

生力学は、取扱う力学量に着目して、動作そのものを扱う運動学(Kinematics)と、動作の原因となる力や関節トルクなどを扱う動力学(Kinetics)に分けられて<sup>134, 152)</sup>いる。

物体の運動は、その物体に作用した力によって変化し、人間の運動の場合には、筋収縮などによって生じた力が骨格系を介して伝達されて運動が引き起こされる。従って、動作を変位、速度、加速度などの運動学的観点からだけでなく、力、関節トルクなどの動力学的観点からもとらえることにより、形態の走動作への生力学的影響や形態に適した走動作はより明確になると考えられる。

身体各部分の力学量を知るためには、各部分の質量、重心位置、慣性半径などの身体部分係数(Body segment parameters)<sup>28, 39)</sup>が必要不可欠である。また、これらの身体部分係数は身長、体型などの形態的特徴を反映していると考えられる。<sup>168)</sup>

従って、形態の走動作への影響に関する動力学的観点からの検討をより精度良く行うためには、被験者の形態に適した身体部分係数を測定し、それを用いて動力学の変量を算出することが有効であろう。さらに、動力学的検討によって得られた結果を形態と関連付けて考察するためには、形態が身体部分係数そのものにおよぼす影響、あるいは形態と身体部分係数との関係をも明確にしておく必要があると考えられる。

## 3. シミュレーションと試技実験

一般に、身体運動は形態を含む様々な要因の影響を受けることから、形態の走

動作への影響をより明確にするためには、形態以外の要因の影響を可能な限り等しくする必要がある。また、形態の特徴に適した走動作を明確にするためには、走動作のみを変えた検討が必要であろう。

走フォームは、一般に、走動作におけるまとまりを持った動きの型とされている<sup>12, 13)</sup>。定速走では、2歩を1周期として走動作が繰り返されていることから、それぞれの1周期における動きの型を定速走のフォームとしてとらえることができ<sup>14)</sup>よう。そして、走フォームに着目して、走動作の発達や走能力と走動作の関係をと<sup>14, 15, 16, 17)</sup>らえた研究も多い。このことは、走フォームそのものが、形態以外の要因の影響を反映し得ることを示している。従って、同じ走速度において走フォームが等しい場合には、形態以外の要因の影響が等しいと考えられる。また、特定の形態の走者が同じ走速度において走フォームを変えることは、走動作を変えることと同じ意味を持つと考えられる。

従って、形態以外の要因の影響を可能な限り等しくしたり、走動作のみを変えたりするためには、身長などの形態に違いのある走者に同じ走速度や走フォームを用いて走行させたり、特定の形態的特徴を持つ走者に、同じ走速度、異なる走フォームで走行させたりすることが有効であろう。

図1-1は、このことを模式的に示したものである。ただし、 $A + a$ は、形態の特徴Aを持つ者が、形態の特徴Aを持つ者の走フォームaを用いて走行することによって生じる走動作を示す。図に示したように、形態のみを変えた走動作を比較( $A + a$ と $B + a$ 、あるいは $A + b$ と $B + b$ を比較)することによって形態の動作への影響を、また、走フォームのみを変えた動作を比較( $A + a$ と $A + b$ 、あるいは $B + a$ と $B + b$ を比較)することによって形態に適した走動作をより明確にできると考えられる。

この様な走動作は、形態に差のある被験者(長身者、短身者など)に、実際に走フォームを変えて走行させる実験(以後、試技実験という)、あるいは数学モデルをもとにしてコンピュータによってこれらの試技における動作を数値的に再現するデジタル・シミュレーション(以後、シミュレーションという)などによってとらえることができる。

ところが試技実験では、用いる被験者の形態以外の要因を等しくすることは極めて難しい。また、走動作が被験者固有の走フォームなどの影響を大きく受ける

ために、被験者が試技の課題を十分に達成できない可能性が大きい。しかし、シミュレーションでは、用いるモデルや手法そのものの妥当性を十分に検証しておく必要はあるが、意図した現象を理想的な状態で再現あるいは推定することが可能である。<sup>150, 151)</sup> このことから、シミュレーションの結果を試技実験によって補足するなどして問題点を補うならば、図1-1に示したそれぞれの走動作において推定した各種力学量、およびそれらの比較から得られた結果は十分な信頼性を持つと考えられる。

### 研究目的

本研究では、先に述べたことをも考慮しながら、定速走を対象に、長さ、太さ・重量などの形態的要因が走動作におよぼす影響、および形態に適した走動作を生力学的観点から明らかにすることを目的とした。

## 第2章 文献研究

### 第1節 走の定義と分類

ここでは、いくつかの走に関する文献を概括し、本研究を進めるのに必要な走の定義、および本研究において取扱う走について検討する。

<sup>138)</sup>  
Sounder and Hillは、著書 "Basic movement"のRunning, starting, stoppingという項目のなかで、走を、より大きな速度で移動することをねらいとした移動運動の基礎的運動形態の1つであると定義し、両足支持局面がなく、非支持局面がある点で歩とは異なると述べた。そして走を、①加速走、減速走、定速走などの直線上の走、②左右などへの方向変換走、③ボールなどの物体をコントロールしながらの走などに分類している。

<sup>34)</sup> <sup>138)</sup>  
Godfrey and Kephartは、走をSounder and Hillと同様に定義し、両足支持局面がなく、非支持局面があること、動きがより速いことなどの点で歩とは異なると述べた。

<sup>154)</sup>  
Wickstromは、走を移動運動の中の力強いものであり、歩における基礎技能(Basic skill)の自然な延長であると定義し、上述の研究と同様なかたちで歩との区別を行っている。

<sup>12)</sup>  
Brore and Zernickeは、走を日常生活やスポーツなどの場で頻繁に用いられる基本的技能(Fundamental skill)と定義し、両足支持局面がなく、非支持局面があること、足が重心の真下近くに接地するために移動速度の減少がより小さいこと、身体が空中に投射されるために支持脚による力の緩衝や発揮がより大きくなること、重心がより大きく前方に押出されることなどの点で歩とは異なると述べた。そして、走を、①直線上の定速走、②曲線上の走、③スタート(静止状態からの加速)、④ストップ(移動している状態からの減速)などに分類し、これらの力学的メカニズムについても論じている。

<sup>30)</sup>  
Dillmanは、走を、道具や器具を用いない人間の移動運動の中でも速いものであり、脚を交互に蹴って、短時間ではあるが、身体を空中に投射する運動と定義している。同様に、<sup>138)</sup> Slocum and James, <sup>90)</sup> Latchaw and Egstromらも両足支持期が消失



し、非支持期が現われる移動運動として走を定義している。

これらの走の定義の共通点は、両足支持期が消失し、非支持期が現われる移動運動であるということにあらう。しかし、跳にも非支持期（身体の空中への投射）が現われることから、これだけでは走を明確に定義することはできない。<sup>108)</sup>三浦は、跳と走とは、それぞれの目的が遠くへとか高くということにあるのか、速くということにあるのかによって区別されると述べている。このことから、走の定義には、歩や跳などと明確に区別できるように、走のねらいをも含めておく必要があらう。そして、Sounder and Hill,<sup>138)</sup> Godfrey and Kephart,<sup>14)</sup> 三浦らの述べた走のねらいの共通点として、より大きな速度で移動すること、即ち、ある距離を短い時間で移動することがあげられよう。

Schmidtは、<sup>129)</sup>この点をも考慮して、走を、前方への大きな速度を得ることをねらいとし、脚で交互に地面を蹴ることによって、身体の投射、および支持を繰返す移動運動であると定義している。また、走の身体的効果として呼吸循環器系の機能や筋力の向上、新陳代謝の促進などをあげ、走を全速疾走、長距離走、加速走、障害走などに分類した。彼が走の身体的効果をあげることによって、先に述べた報告ではほとんど触れられていない体育運動としての走の価値について言及している点は注目に値する。

金原は、走が日常生活や各種スポーツにおいて頻繁に用いられること、生活・生存がおびやかされる危機の場から逃れる手段として極めて重要であることなどによって体育運動としての走の重要性を示し、<sup>77, 78, 79)</sup>体育の場における指導内容として確立すべき走を、<sup>77)</sup>図2-1に示した3群に分類している。

金原の走の分類の優れている点は、体育運動としての走の価値を念頭におき、実用性が高いとみられるものを選択し、それぞれのねらいによって走を分類したことであらう。また、金原の分類に従えば、先述の分類に含まれている走を全て包括することができる。さらに、環境要因による走形態の変形（斜面上での走など）は、これらの走を組合せたものとしてとらえることができよう。そこで、本研究では金原の走の分類を採用し、これをもとに、本研究において取扱う走を選択することにした。

金原は、<sup>78)</sup>疾走フォームに関する研究において、定速走の1つである全速走を、<sup>100)</sup>走の最も基本的なものにとらえている。また、松井は学校体育において走運動を

学習するねらいとして、より速く走る能力を身につけること、より長く走る能力を身につけることをあげ、短距離走、中距離走、長距離走などの定速走の重要性を示唆している。さらに、実際の間人では発揮できるエネルギー量や走速度に限界があることから、走行距離が長いほど定速区間が長くなると考えられる。これらのことや、走本来のねらいが、ある距離を短時間に移動する点にあることを考慮すると、定速走は図2-1における走の中の代表的なものと考えられる。

以上のことを考慮して、本研究では、走を「脚で交互に地面を蹴りながら身体の支持と空中への投射を繰返すことによってある距離を短時間に移動するための基礎的動きの1群」と定義する。そして、図2-1に示した走のうち、その代表的なものと考えられる低速、中速、全速の3種の速度による定速走を対象に研究を行うことにした。3種の速度の走を用いたのは、体育・スポーツの場では全速走だけでなく、低速走、中速走も頻繁に用いられていることなどによる。

## 第2節 形態に着目した走技術に関する生力学的研究について

これまで、形態に着目した走技術に関する研究は、代表的な走である定速走を対象に、パフォーマンスやそれと密接な関係があるストライド、ピッチ、あるいは身体各部分の動きなどに着目して、主に生力学的観点から行われてきた。ここでは、これらの研究を概括し、走に影響すると考えられる形態的要因、およびこれまでの研究における問題点を明らかにする。

### 1. 形態的要因が走のパフォーマンス、ストライド、ピッチにおよぼす影響

定速走のパフォーマンスの指標の1つである走速度がストライドとピッチの積として表わされることから、パフォーマンスを向上させるために、これらの適切な関係を見出すことが1つの研究課題とされてきた<sup>2)</sup>。この様な理由から、形態と走速度、ストライド、ピッチなどとの関係について検討した報告は比較的多い。

<sup>4)</sup> Hill, <sup>9)</sup> Asmussen and Nielsenは走速度と形態との関係を、力学の原則に基づいたディメンジョン的観点から検討した(表2-1)。彼らは、身体を相似形と仮

定し、表に示した関係から、走によって獲得し得る最高速度は、身長的大小にかかわらず等しくなると述べている。またこのとき、ストライドは身長に比例し、逆にピッチは反比例することをも示した。

同様の指摘は、Thompson<sup>145)</sup>、Close<sup>28)</sup>、Åstrand<sup>13)</sup>、小野<sup>124)</sup>、Tricker<sup>148)</sup>、McMahon<sup>94)</sup>らの理論的研究においても見られる。さらに、これらの研究では、ストライドには長さそのものの違いが、ピッチには長さの違いに伴う重量や慣性モーメントなどの違いが原因して相違が生じると述べられている。

形態と走速度、ストライド、ピッチとの関係は、実際の走の観察や実験によっても検討されている。

Asmussen<sup>11)</sup>は、10歳から20歳までの男女を対象に、全速疾走中の走速度を測定し、性差や加齢に伴う速度の増加は見られるが、年齢が同じならば、走速度と身長との間に顕著な関係がないことを示した。

Hoffmann<sup>45,46)</sup>は、オリンピック選手を含む世界の男女一流短距離選手の試合中のフィルムなどを観察することによって、身長、脚長と100m疾走中のストライド、ピッチとの関係について検討した。そして、一流選手では、疾走速度に性差はあるが、男女それぞれにおいては、身長的大小は疾走速度にほとんど影響しないことを示した。また、平均ストライドおよび最大ストライドは、身長と正の相関があること(図2-2)、平均ピッチは、ストライドの場合ほど高くはないが、身長と負の相関があること(図2-3)などを報告した。さらに、100mの記録が10.7秒以下の一流選手では、

$$\text{最大ストライド[m]} = 1.3 \times \text{身長[m]}, \quad 2.35 \times \text{脚長[m]}$$

$$\text{平均ストライド[m]} = 1.2 \times \text{身長[m]}, \quad 2.15 \times \text{脚長[m]}$$

$$\text{平均ピッチ[歩/秒]} = \frac{8.0}{\text{身長[m]}}, \quad \frac{4.45}{\text{脚長[m]}}$$

などの顕著な関係があることを見出した。Baumann and Groh<sup>16,17)</sup>も、Hoffmannのデータを再検討し、同様の結果を報告している。

Rompotti<sup>125)</sup>、Gundlach<sup>35)</sup>、Dillman<sup>30)</sup>、Williams<sup>156)</sup>らも、実験や観察の結果をもとに、身長や脚長とストライド、ピッチとの関係について言及しているが、いずれもHoffmann<sup>16,17)</sup>と同様の結論を得ている。さらに、Rompotti<sup>125)</sup>は、ストライドと体重との間には低い負の相関( $r = -0.20$ )があることも報告している。

この様に、実験や観察から得られた結果は、先に述べた理論的研究の結果とほぼ一致している。

これらの研究結果から、年齢、性、あるいはトレーニング水準が同じならば、身長、脚長などの長さの要因は発揮し得る最高速度にはほとんど影響しないが、その要素としてのストライドやピッチには大きく影響すると考えられる。また、体重などの太さ・重量に関する要因も、ストライドやピッチになんらかの影響をおよぼしていると推測される。

長距離走、マラソンなどの走行距離の長い走において高いパフォーマンスを得るためには、ある大きさの速度を長時間にわたって維持すること、あるいは身体が発揮したエネルギーを効果的に用いることが必要であろう。<sup>77, 83, 115)</sup>

Sakajev<sup>128)</sup>は、形態的要因と長距離走の経済性との関係について検討し、①体重/身長、およびトレーニング水準が同じならば、脚長が長いほど走の経済性は高まる、②身長や脚長が同じならば、体重が重いほど酸素消費量は増加すると述べている。また、彼は、走行中に疲労が蓄積されても形態的要因は変わらないことから、疲労を克服しながら経済的な走行を維持するために、形態の特徴に適した経済的走動作を身につける必要があることを示唆している。

Sakajevの研究は、経済性という観点から見ると、トレーニング水準や走速度が同じでも、長さや太さなどの形態的要因が大きく影響し、そのため形態に適した動きを身につける必要があることを指摘した点で注目に値すると言えよう。

以上のことから、形態的要因は、疾走中のストライド、ピッチ、走の経済性などに大きく影響すると考えられる。しかし、これらの要素は走動作の結果として得られたものである。従って、これらと形態との関係について検討するのみでは、走のねらいを効果的に達成するための身体各部分の使い方、あるいは動き方を明らかにすることは難しく、そのため、形態に着目した走技術の究明に役立つ有効な知見を十分に得ることはできないと考えられる。そして、これらの問題点は、走技術と密接な関係がある走動作そのものに着目して形態的要因の影響をとらえること、さらには形態の特徴に適した走動作をも明らかにすることなどによって克服できよう。

## 2. 形態的要因が走動作におよぼす影響

形態の走動作への影響に関する研究は、主に定性的あるいは理論的観点から行われてきた。

小野は、<sup>(23, 24)</sup>走能力や速度が同じ場合には、身長によってストライドやピッチが異なっても、非支持期における時間や重心の水平変位はほぼ等しいであろうと述べ、このことから、長身者が、非支持期に慣性モーメントの大きな脚を前方に運び、次の接地の姿勢をとるためには、短身者と同じ脚の動きではあり得ないと推測した。さらに、非支持期に、長身者は脚を滑かに運び、次の接地までの動作が遅れないことを、短身者は脚を大きく回し、脚の引きつけや振りもどしを強調することを意識すべきであろうと述べている。

また彼は、ディメンジョン的な観点からとらえた場合にはストライドやピッチに明確な相違は現われないが、体重や各部分の重量に違いのある走者間では、脚などの動きや走行中の意識の持ち方が異なるであろうと述べている。

久内と小林、<sup>(25)</sup>小林は、<sup>(26)</sup>疾走中の身体重心と脚の動きに着目してモデルを作成し、走運動を力学的に検討した。そして、瞬間的に獲得できる重心の最高速度、静止状態での最大キック力などが同じならば、①脚長などによって支持中の重心の水平変位が制限された状態で走速度を大きくするには、非支持距離を短くし、大きく跳ばない走法が良い、②脚の引つけがうまくできない者は、非支持距離/支持距離を大きくすることが良い、などの示唆を得た。これまでに述べた各形態の走者の特徴を考慮すると、間接的にはあるが、久内と小林らの示唆の①は短身者に、②は長身者あるいは脚の重い者にあてはまると考えられる。

渡辺と山崎は、<sup>(27)</sup>生物の移動速度を向上させるための形態的条件についてモデル的に検討し、①脚が長いことによってストライドは大きくなるが、逆にピッチは低下することから、脚の長い人間では、走行中の回復期に脚の重心を十分腰に近づけながら前方に送る必要があること、②脚長や重量が等しいならば、大腿骨が短く、筋がより腰に近い部分で発達している場合にピッチは高まることなどを示唆した。

これらの報告は、長さ、太さ・重量などの形態の違いによって、走行中の脚などの動きが異なり、各形態に適した動きがあることを示唆していると考えられる。

小林は、<sup>(28)</sup>走では脚の回転によって身体を前進させることから、大腿と下腿をそ

れぞれ剛体とみなしたモデルを用い、慣性モーメントや角速度などに着目しながら、疾走中の回復期における脚の動きについて理論的に検討した。そして、回復期に、脚を効果的に回すためには、腰、膝の各関節の屈曲あるいは伸展速度を、タイミング良く変化させることが重要であろうと述べている。

小林の結果を考慮すると、形態の差に伴う動きの違いは、角速度の発生や変化に必要な各関節トルクの大きさや発揮のタイミングにも影響すると考えられる。また、形態は、質量、重心位置、慣性モーメントなどのかたちでこれらの力学量に影響すると推測される。

これらの研究とは別に、形態の相違に伴う走動作の相違を実態調査的な実験によってとらえようと試みた研究もいくつかある。

宮丸<sup>113)</sup>は、下肢長の違いに伴う疾走フォームの違いをとらえるために、100m走において12秒台の記録を持つ女子短距離選手8名の疾走フォームを撮影し、得られたフォームを選手の比下肢長(下肢長/身長)によって2群に分けて比較した。

そして、①比下肢長の長い群内では、ほぼ同じフォームで疾走が行なわれている、②比下肢長の短い群のフォームには、脚を大きく回して非支持時間やストライドを大きくするタイプ、脚の振幅を小さくしてピッチを高めるタイプがある、などの結果から、脚長の違いによって走法に違いがあると述べた。さらに、これらの走法にはそれぞれ利点があることから、走のパフォーマンスを向上させるためには、各走法に応じたトレーニング課題を持つ必要があることを示唆した。一般に身長が高い者ほど比下肢長が長いことを考慮すると、宮丸の結果①は長身者に、結果②は短身者にあてはまると考えられる。また、②の知見をもとにすると、現実の走者では、必ずしも小林<sup>93, 97)</sup>らが示唆した動きが行われていないことがわかる。

しかし彼の研究では、分析方法などの制限のために、動作を十分定量化できておらず、さらに、その本来の目的である下肢長の違いに伴う疾走フォームの違いについては、十分に言及されているとは言えない。

Frederick and Clark<sup>33)</sup>は、ニューヨークマラソン参加者1468名の地面反力や形態の測定を行い、身長などの違いに伴う緩衝能の違いについて検討した。そして、体重や地面反力は身長の2.5乗に、足底面積は身長の2乗にそれぞれ比例することを見出し、このことから、身長の高いものほど足底圧は高くなると述べた。この研究は、間接的にはあるが、身長の高い(体重の重い)者ほど、力の緩衝を強

調した動きを用いて走を行う必要があることを示唆するものであろう。

宮丸、Frederickらの研究は、身長に差のある走者間の走動作の相違を実態調査的な実験によって運動学的あるいは動力学的観点からとらえようと試みた数少ない研究として注目すべきものであろう。しかし、これらの研究では、形態に差のある走者の間の走動作そのものの相違が明確にされているとは言えない。さらに、実態調査的研究によって、各形態の走者が身につけている固有の走動作を抽出することはできるが、その結果のみでは走動作がそれぞれの形態に適したものかどうかを明確にできない可能性がある。

また、先に述べた理論的研究では、形態の走動作への影響や形態の特徴に適した走動作に関する示唆はなされているが、簡略化された身体モデルをもとに検討しており、モデルそのものやそれを用いて得られた結果の検証が十分になされているとは言えない。従って、これらの理論的研究では信頼性の高い結果が得られていない可能性があり、それぞれの形態の特徴に適した走動作の有無さえも明確されてはいないと考えられる。

以上のことから、これまで形態の走動作への影響や形態の特徴に適した走動作があると言われながらも、用いた方法上の問題点などのために、この様な影響などが十分明らかにされているとは言えない。

これらのことから、形態に着目して走技術を明らかにするためには、まず、形態に差のある走者固有の走動作の特徴を、ストライドやピッチだけでなく、走フォーム、あるいは各部分の動きにも着目して把握しておく必要がある。また、走動作は走速度や形態を含む様々な要因の影響を受けることから、形態の走動作への影響を明確にするためには、なんらかの方法によって形態以外の要因の影響を可能な限り等しくしておく必要があると考えられる。

また、固有の走動作や形態の走動作への影響を明らかにするのみでは、各形態の走者固有の走動作がそれぞれの形態に適しているかどうか、あるいは形態の影響によって動作をどの様に変えるべきかを明確にはできない。従って、それぞれの形態的特徴を持つ走者に適した走動作をより明確にするためには、これらの走者に動作を変えて走行させ、その結果などをもとに最適の走動作を選択し、その動作における特徴を明らかにすることが有効であろう。

さらに、日常生活や体育・スポーツの場では、中速走、低速走なども頻繁に用

いられているにもかかわらず、上述の研究において対象とされた走の大部分は全速走であり、得られた知見の適用範囲にもかなりの制限が伴うと考えられる。このことから、より適用範囲の広い知見を得るためには、全速走、中速走、低速走など、いくつかの速度段階の走を対象にした検討が必要であろう。

## (第2節まとめ)

(1) 形態的要因は走速度には影響しないが、経済性、ストライドやピッチ、動作には大きく影響する。

(2) 走に影響する形態的要因として、長さに関するものと太さ・重量に関するものがある。

(3) 形態に着目して走技術を究明するためには、各形態の走者固有の走動作を把握したり、形態の走動作への影響や形態に適した走動作を明らかにする必要があると考えられるが、動作そのものに着目して行われた研究は少ない。さらに、これらの研究では、用いた手法などに問題点があり、信頼性の高い結果が得られていない可能性がある。

(4) 形態の走動作への影響をより明確にするためには、形態以外の要因の影響を等しくする必要もある。また、形態に適した走動作をより明確にするためには、それぞれの形態的特徴を持つ走者が動作を変えて走行したときの走を比較・検討することが有効である。

(5) 全速走を対象とした研究が大部分であり、得られた結果の適用範囲にはかなり制限がある。より適用範囲の広い知見を得るためには、中速走、低速走などをも対象に検討する必要があるだろう。

## 第3節 形態的要因が身体部分係数におよぼす影響に関する研究について

身体各部分の質量、重心位置、慣性モーメント（または慣性半径）などの身体部分係数(Body segment parameters, B S P)は、運動中の身体各部分に作用する力や関節トルクなどの算出に用いられており、身体運動を動力的観点からとらえるために不可欠なものと考えられている。<sup>38, 39, 110)</sup>



一方、これらのBSPは形態的特徴を反映すると考えられる。また、BSPの相違がそれを用いて算出した各種力学量にも影響することが指摘されている。従って、形態的要因の走動作への影響などを動力学的観点から検討するためには、まずその基礎として形態的要因がBSPにおよぼす影響を明らかにしておくことが有効であろう。

前節で示したように、走に影響する形態的要因は、長さに関するものと太さ・重量に関するものに大別できる。そこで、ここでは、これまでの身体重心やBSPに関する研究のうち、これらの形態的要因がBSPにおよぼす影響について検討したものを概括し、これまでの研究の問題点、これまでの知見を形態の走動作への影響などの生力学的研究に適用する際の問題点について検討する。

### 1. 長さに関する要因が身体部分係数におよぼす影響

秋田<sup>7)</sup>は、重心測定板(Reaction board)を用いて3歳から55歳までの日本人男女885名の身体重心高を測定した。その結果、20歳以前では、比重心高(足底から重心までの高さの身長に対する比)は、加齢に伴う身長の伸びとともに減少すると述べている。同様な結果は、1歳から20歳までの日本人男女の身体重心高を測定した石河<sup>59)</sup>らの研究でも見られる。

Yokoi, et al.<sup>169, 170)</sup>は3歳から15歳までの日本人幼少年255名のBSPを数学モデルを用いて測定し、幼少年のBSPにおける年齢、性、体型の影響について検討した。そして、加齢にともない、①各部分の質量比(身体質量に対する比)は、頭部では減少し、逆に大腿、下腿では増加する、②各部分の比重心位置(部分長に対する中枢端側からの比)は、頭部では頭頂に近づき、上腕、大腿、下腿では中枢端に近づく、③各部分の長軸まわりの比慣性半径(部分長に対する比)は胴部、下腿では減少する、などの結果を報告している。さらに、これらの経年的な変化は、加齢に伴うプロポーションやいくつかの部分の形状の変化などによると述べている。同様な結果は、Jensen<sup>64, 65, 66)</sup>が12名の幼少年のBSPを縦断的に測定した研究にも示されている。

幼少年期には加齢とともに身長が著しく変化することから、この時期のプロポーションや部分の形状の変化は身長の伸びと密接な関係があると考えられる。従

って、Yokoi, et al.の結果のうち、特に①、③は発育に伴う身長伸びの影響によるものと言えよう。そして、秋田、石河らの報告に見られた比重心高の経年齢的な減少は、1つには身長伸びにともない頭部質量比が減少し、逆に脚の質量比が増加したことによると推察される。

これらのことから、幼少年のBSPは、身長伸びや、それに伴う身体部分の形状、プロポーションなどの変化の影響を受けていると考えられる。

Clauser, et al.<sup>27)</sup>は、12体の成人男子屍体を用いてBSPを測定し、屍体の各種形態測定値から各部分の質量、重心位置を推定する回帰式を求めた(表2-2)。またHinrichs<sup>42)</sup>は、6体の屍体を用いたChandler, et al.<sup>25)</sup>のBSPに関する報告をもとに、形態測定値から、各部分の横軸(L<sub>T</sub>)および長軸(L<sub>L</sub>)回りの慣性モーメントを推定する回帰式を報告した(表2-3)。

長さの要因が各部分の質量、重心位置、慣性モーメントに影響することから、これら2つの報告における回帰式には、独立変数として各部分の長さ、足底からの高さなどが含まれている。

Zatsiorsky and Seluyanov<sup>116)</sup>は、放射線による方法(Radiation technique)を用いて100名の成人男子を対象に生体のBSPを測定し、これらをもとに身長および体重を用いてBSP(絶対値)を推定する回帰式を報告している(表2-4)。これらの回帰式における相関係数(R)は、重心位置以外のBSPを推定する式において比較的大きく、このことから、身長とこれらの係数との間になんらかの関係があることがわかる。

Kaleps, et al.<sup>12)</sup>も、三次元写真撮影法(Stereophotometric technique)を用いて成人男子31名、成人女子46名のBSPを測定し、Zatsiorsky and Seluyanovと同様な報告を行っている。

また、Zatsiorsky and Seluyanov<sup>177)</sup>は、その後の研究において、上述の報告で得られたBSPと形態測定値をもとに、各部分長、周囲長などから精度良くBSPの絶対値を推定するための回帰式を報告している(表2-5(a), (b), (c))。

これらの成人を対象にした報告から、身長や身体各部分の長さは成人のBSPの絶対値に影響すると考えられる。

しかし、Clauser, et al., Hinrichs, Zatsiorsky and Seluyanov, Kaleps, et al.らの報告では、係数の絶対値を推定する回帰式を求めるにとどまっており、

身長や各部分長がBSPにおよぼす影響やその原因について十分に検討されていない。

また、身長の高いものほど脚長の比率が大きくなるという報告もあり、係数の絶対値を検討するのみでは、この様な影響を十分にとらえられない。さらに、上述した成人のBSPに関する報告において用いられた被験者は、日本人成人とは形態的特徴が異なると考えられることから、得られた回帰式をそのまま日本人に適用することには問題があろう。しかし、日本人成人を対象としたBSPは松井の報告<sup>98, 99)</sup>に見られるのみであり、さらに、形態の影響などについて検討したものはない。

以上のことから、長さの要因が走動作におよぼす生力学的影響をより明確にするためには、この様な要因を考慮したBSPを用いる必要があると考えられる。また、成人のBSPにおける長さの要因の影響を明確にし、この様な影響を考慮した日本人成人のBSPを実用化することは今後の課題と言えよう。さらに、BSPにおけるこれらの影響をより明確にするためには、BSPを身体質量や各部分長に対する比で表示するなどして検討することも必要であろう。

## 2. 太さ・重量に関する要因が身体部分係数におよぼす影響

Jensen<sup>62)</sup>は、数学モデルによる方法を用いて、体型の異なる3名の少年のBSPの絶対値を算出し、体型がBSPにおよぼす影響について報告した。そして、胴部、大腿などの部分の質量や左右軸まわりの慣性モーメントにおいて体型による差が大きく、これは、単に体重の差だけでなく、各体型間のからだつきの違いにも影響を受けるためであろうと述べている。

Yokoi, et al.<sup>169, 170)</sup>は、先に述べた研究のなかで、幼少年のBSPのうち、胴部、上腕、大腿の長軸まわりの比慣性半径（それぞれの部分の長さで割った値）には体型（Body type: Kaup指数で分類）差の影響が見られ、さらに、部分長に対する周囲長の割合が増すにつれて長軸まわりの比慣性半径の値も増加すると報告している。

これらのことから、幼少年のBSPは、体型の差に伴うからだつきや各部分の形状の違いによって影響を受けると考えられる。

島口と真柄は、男子大学生62名の体型(Somatotype)と身体重心位置を測定し、これらの関係について検討した。そして、内胚葉(Endomorphy)、中胚葉(Mesomorphy)、外胚葉(Ectomorphy)などの体型の違いは比重心高に影響し、特に中胚葉の成分が大きくなるにつれて身体重心位置はより頭部に近づくと述べている。この様な傾向は、中胚葉の成分の大きい者ほど胴体の筋が良く発達しているという事実からも裏付けられる。<sup>22)</sup>

石河<sup>58)</sup>、石井<sup>57)</sup>と高島らは、各種スポーツ選手の身体重心高を測定した結果から、体操競技、水泳などの上半身を多く使うスポーツを行っている選手の比重心高は高く、逆に、ラグビー、サッカーなどの下半身を多く使うスポーツを行っている選手の比重心高は低いと述べている。この様な傾向は、各スポーツ種目における形態的特徴が反映された結果生じたものであろう。

この様に、成人の身体重心位置も、太さ・重量の影響を受けると考えられることから、体重、周囲長などをもとにBSPを推定する回帰式がいくつか報告されている。

先に述べたClauser, et al.<sup>27)</sup>やHinrichs<sup>42)</sup>の回帰式では、部分長だけでなく、周囲長、直径、体重(体重はClauser, et al.のみ)をも独立変数として用いている。

またBarter<sup>15)</sup>、Chandler, et al.<sup>25)</sup>らは、成人男子の屍体のBSPを測定し、屍体の質量から、各部分の質量や慣性モーメントの絶対値を推定する回帰式を報告している(表2-6, 2-7)。Chandler, et al.の式における相関係数は全体的に大きく、用いた屍体標本数が少ない(6体)ことを考慮しても、明らかに身体質量は各部分の質量や慣性モーメントの絶対値に関係することがわかる。

生体のBSPについては、先に述べたZatsiorsky and Seluyanov<sup>176, 177)</sup>(表2-4, 2-5(a), (b), (c)), Kaleps, et al.<sup>68)</sup>らが、独立変数のなかに体重、皮下脂肪重量、周囲長などを含めた回帰式を報告している。

これらの回帰式はいずれもBSPの絶対値を推定するものではあるが、各部分の質量や慣性モーメントは身体質量、周囲長などと関係があることがわかる。即ち成人においても、Jensen<sup>62)</sup>やYokoi, et al.<sup>169, 170)</sup>が指摘したのと同様に、太さ・重量の要因はBSPに影響すると言えよう。

しかし、1.においても述べたように、これまでの報告では絶対値を推定する回帰式の報告にとどまっており、太さ・重量の要因の影響について十分に検討した

ものはほとんど見られない。また、人種間の形態的特徴の相違を考慮すると、これらの回帰式をそのまま日本人に適用することには問題があると考えられるが、<sup>48, 49, 55)</sup> 前述のように日本人成人を対象として形態の影響などを検討したものはない。

身長はほぼ等しいが身体質量や体型が大きく異なる人間を観察すると、体幹に近い部分における形や太さの違<sup>97, 143)</sup>いが著しい。このことは、身体質量や体型が異なることによって各部分間の質量の配分にも違いがあることを示唆するものであろう。従って、これらの要因の影響をとらえる場合にも、BSPを身体質量や部分長に対する比で表示して検討することが有効であろう。

以上のことから、成人のBSPにおける太さ・重量の要因の影響を明らかにしたり、これらの要因を考慮した日本の成人のBSPを実用化することは今後の課題と言えよう。また、太さや重量に関する要因が走動作におよぼす影響を生力学的に検討する場合には、このような要因の影響を考慮したBSPを用いる必要がある。

### (第3節まとめ)

(1) 長さ、および太さ・重量に関する形態的要因はBSPに影響する。従って、形態の走動作への影響を動力学的観点から検討する際には、対象とする被験者の形態に適したBSPを力学量の算出に用いる必要がある。また、形態のBSPへの影響をも明らかにしておく必要がある。

(2) 形態的要因のBSPへの影響そのものは十分明確にされておらず、このような影響を考慮した日本の成人のBSPもない。

(3) 形態のBSPへの影響を明確にするためには、絶対値だけでなく、各部分の長さや身体質量に対する比などの相対値をも対象に検討することが有効である。

### 第3章 問題

ここでは、①本研究において取り扱う研究課題とそれに関する仮説、②用語の定義、③作業仮説、④研究の限界、⑤本研究の独自性について述べる。

#### 第1節 研究課題および仮説

これまで走に影響する形態的要因として、身長、脚長などの長さに関するものと、各部分の太さや重量に関するものがあげられていることから、本研究においてもこれら2つを取扱った。

本研究では、このうちの長さに関するものを身長でとらえた。これは、これまでの形態に関する報告から、身長と各部分長との相関は高く、身長の等しい成人であれば部分長/身長における違いは少ないと考えられることによる。<sup>141, 147)</sup>

太さ・重量に関する代表的指標とされている体重は身長と高い相関があり、重量に関する要因を体重でとらえた場合には、重量の影響を身長の影響と明確に区別できない可能性がある。一方、体型(Somatotype)は身長とは独立したものとされており、中でも、体型と身体の発達との関係を明らかにするために開発された<sup>40, 118)</sup> Heath-Carter体型判定法は、<sup>22, 40)</sup> ①体型の判定に主観的要素が入らない、②判定に用いる体型指数は身長との相関が低く、体型を身長の影響を除いてとらえることができる、③体型指数の算出に必要な項目の測定が容易である、④妥当性や客観性の高さが広く認められていることなどの特徴を持つ。また、この方法を用いて、日本人の体型を分類した研究もいくつか見られる。<sup>14, 142)</sup>

これらのことから、太さ・重量に関するものを身長の影響を除去してとらえるために、Heath-Carter体型測定法にもとづいた体型を用いることにした。以後、文中の形態は、主に身長、体型を示すものとする。

また本研究では、取り扱う走として低速、中速、全速の3種 of 速度による定速走を選択した。これらの走を対象としたのは、①定速走の動作は、走動作の代表的なものと考えられること、②日常生活や体育・スポーツの場では最高速度の走だけでなく、低速走や中速走も頻繁に見られること、③実験条件のコントロールが容易であることなどの理由による。

本研究の目的を達成するためには、文献研究によって明らかになった諸課題のうち、以下に述べる4つの研究課題を究明し、それに関する仮説を検証する必要がある。

課題1. 形態的要因が身体部分係数におよぼす影響を明らかにすること。

形態の相違によって身体部分係数に相違が生じ、その結果、算出した各種力学量にも形態の影響が反映される。従って、形態的要因の走動作への影響などを動力学的観点から検討するためには、あらかじめ、用いる被験者の形態や身体部分係数の特徴、あるいは形態と身体部分係数との関係を明らかにしておく必要があると考えられる。そこで、本研究において扱う被験者を対象に上述の課題を検討した。

課題2. 形態に差のある走者固有の走動作の特徴を把握すること。

形態に着目して走技術を明らかにするためには、まず形態（身長あるいは体型）に差のある走者が身につけている固有の走動作における特徴を定量的に把握しておく必要がある。このような理由から、課題2を設けた。

課題3. 形態的要因が走動作におよぼす生力学的影響を明らかにすること。

形態に着目して走技術を究明するためには、課題2に加えて、形態が走動作にどのような影響をおよぼしているかを、課題1によって得られた知見をも考慮しながら明らかにしておく必要がある。

課題3に関する仮説。

- ①形態は、各部分の長さ、慣性モーメント、質量などのかたちで走動作に影響する。
- ②走速度が大きいほど、これらの影響は大きくなる。

課題4. 形態的特徴に適した走動作を力学的に明らかにすること。

課題2, 3の結果のみでは, 各形態の走者における固有の走動作がそれぞれの形態に適したものかどうか, あるいは, 形態の走動作への影響によってどのような動作を用いるべきかを明確にすることはできない。そこでこの課題を設けた。

課題4に関する仮説。

形態の特徴に適した走動作がある。

- a. 身長の高い者ほど, 動作の範囲を小さくし, ピッチを高める動きを強調して走行する。
- b. 各部分が太い(重い)者ほど, 支持脚による力の緩衝を強調して走行する。

## 第2節 用語の定義

ここでは, 本論文において使用する主な用語の定義を示す。

(1) 形態(Physique): 一般に, 身長, 体重, 体型, 身体各部分の長さや太さなどの, 身体を外的に計測してとらえたからだつきを<sup>141, 147)</sup>いう。このうち本研究では, 走動作への影響が大きいと考えられる身長および体型を形態とする。

(2) 体型(Somatotype): 個人のある時点での形態的構成(Morphological conformation), 即ち, 身体各部分のプロポーションにもとづいたからだつきを<sup>20, 22, 40, 118)</sup>いう。本研究では, 太さ・重量の要因を, 長さの要因を除去してとらえるための指標として体型を用いた。

(3) Heath-Carter体型判定法(Heath-Carter somatotype method): 体型と身体の発達などとの関係を明らかにするために, Heath and Carterが<sup>40)</sup>従来<sup>40)</sup>の判定法における問題点を改善して得た方法。この判定法には, ①年齢, 性, 身長などの異なる被験者の体型を直接比較できる(用いる体型指数が身長と独立している), ②体型判定に主観的要素が入らない, ③体型指数の算出に必要な項目の測定が容易である, などの特徴がある。また, 体型指数として内胚葉値, 中胚葉値, 外胚葉値(後述)の3成分を用いている。

(4) 内胚葉値(Score of Endomorphy): 相対的な肥満の程度を示す成分。この



値が大きいほど肥満度が高いことを示す。

(5) 中胚葉値(Score of Mesomorphy)：骨格・筋の身長に対する相対的な発達  
の程度を示す成分。この値が大きいほど骨格・筋がよく発達していることを示す。

(6) 外胚葉値(Score of Ectomorphy)：身体部分の相対的な細さを示す成分。  
この値が大きいほど各部分の形状が細長いことを示す。

(7) 身体部分(Body segments)：関節で連結された身体各部分のうち、頭部、  
胴部、上腕、前腕、手、大腿、下腿、足をいう。

(8) 身体部分係数(Body segment parameters, BSP)：身体部分の質量、重心  
位置、慣性半径（または慣性モーメント）をいう。ただし、これらの係数を絶対  
値で現したものを身体部分係数の絶対値、部分長や身体質量などに対する比で表  
わしたものを身体部分係数の相対値（または比）として区別する。

(9) 身体の数学モデル(Mathematical model of the human body)：数学モデ  
ルは、模型 (Model) の1つであり、一般に現象の特徴や本質を数学的に表わした  
ものとされている。本研究では、身体<sup>の</sup>力学的な特徴やその運動を数式によって  
表現できるように、身体各部分を幾何学的な図形によって表わしたものを身体の  
数学モデルとする。

(10) 走(Running)：脚で地面を交互に蹴りながら、身体の支持と空中への投  
射を繰返すことによって、ある距離を短時間で移動するための基礎的動きの1群。

(11) 走の1歩(One step of running)：疾走中に足が離地してから、次に反  
対足が離地するまでの区間。

(12) 走の1周期(One cycle of running)：疾走中の2歩の区間。

(13) ストライド(Stride length)：疾走中の1歩の区間の開始時と終了時に  
地面から離れる足の間足の先点の距離。

(14) ピッチ(Stride frequency)：疾走中の1秒間の歩数。

(15) 走速度(Running velocity)：一般に、走速度は1歩間の身体重心の平  
均水平速度、あるいはストライドとピッチの積によって表わされてきた。本研究  
では、走速度をストライドとピッチの積とする。

(16) 走動作(Running motion)：走におけるストライドやピッチ、およびそ  
れに関与する身体各部分の動きなどを総合的にとらえたもの。

(17) 走フォーム(Running form)：走動作における動きの型。定速走では2

歩を1周期として動作が繰り返されることから、走の1周期における動きの型を走フォームとする。

(18) 支持期(Support phase): 疾走中に足が地面と接し、身体が支持されている局面。

(19) 支持脚と支持足(Support leg and support foot): 支持期に地面と接し、身体を支持する脚およびその足を、それぞれ支持脚、支持足とする。

(20) 支持期前半と後半 (First half and second half of the support phase): 支持期開始から身体重心が支持脚の足先の真上を通過するまでを支持期前半、それから支持期終了までを支持期後半とする。

(21) 支持期中間点 (Mid-point of the support phase): 支持期前半と支持期後半の境界点 (身体重心が支持足先の真上を通過する時点)。

(22) 接地(Touchdown): 支持足が地面と接すること。

(23) 離地(Toe-off): 支持足が地面から離れること。

(24) 非支持期(Nonsupport phase): 疾走中に足が地面と接しておらず、身体が支持されていない局面。

(25) 回復期(Recovery phase): 足が離地してから再びその足が接地するまでの局面。

(26) 回復前期, 中期, 後期(First, second and third recovery phase): 回復期開始から逆足が接地するまでを回復前期, それから逆足が離地するまでを回復中期, それから回復期終了までを回復後期とする。

(27) 走動作の技能効率(Skill efficiency of running motion): 効率は、あるシステムにおける目標の達成程度を評価するための1つの指標であり、一般にシステムへの入力に対する出力の比をいう。本研究では、ある速度を維持するための形態に適した走動作を評価するために、維持すべきエネルギー

$$\frac{\text{身体質量} \cdot (\text{走速度})^2}{2}$$

と、それを維持するために必要な身体の仕事との比を走の技能効率と定義する。走では脚の回転やその変化に必要な関節のトルクや筋パワーが重要であることから、身体の仕事として関節筋パワーを時間で積分して求めた関節筋群の仕事を用いる。

(28) シミュレーション(Simulation): シミュレーションは現象のモデルによる再現であり、広義には、一般的な実験もシミュレーションに含まれる。本研究では、複雑なシステムを数学的にモデル化し、ある期間のふるまいをデジタル・コンピュータで数値的に再現するような手法(デジタル・シミュレーション<sup>4, 48)</sup>、Digital simulation)をシミュレーションと定義する。

(29) 運動技術(Technique of human movement): 身体運動における課題を達成するための合目的的、経済的な運動過程。

(30) 基礎的動き(Basic movement): 走、跳、投などは、日常生活や体育、スポーツにおいて用いられる各種身体運動を構成する基礎的な運動と考えられる。これらの運動を基礎的動きと定義する。

(31) 運動生力学(Sport biomechanics): 体育・スポーツの場で用いられる各種身体運動を、人体特有の制限条件を考慮しながら力学的に研究する科学であり、体育科学の基礎的研究領域の1つ。

### 第3節 作業仮説

先に述べた研究課題を究明するために、以下に列挙する作業仮説を設けた。

#### 1. 被験者に関する作業仮説

(1) 被験者は優れた走技術を身につけており、その固有の走動作には、それぞれの形態的特徴に伴う動きの特徴が現われている。

(2) 被験者は、指示した試技を正確に行うことができる。

#### 2. 身体部分係数に関する作業仮説

(1) 身体は、剛体でできた14個の各部分が、それぞれの関節の1点を介して連結された剛体系としてとらえることができる。

(2) 各部分内の密度は均一である。従って、各部分の重心位置は、それぞれの部分の体積中心と一致する。また、密度はClauser, et al.<sup>27)</sup>の報告した成人男子

の値と等しい。

(3) 身体部分は、厚さ2cmの楕円板が、部分の長軸に添って重ねられたものであり、その形状は左右対称である。ただし足は、楕円板を足底面と平行に重ねたものである。

### 3. 走に影響する形態的要因に関する作業仮説

走に影響する形態的要因のうち、長さに関するものは身長で、太さ・重量に関するものは体型で代表することができる。

### 4. 走動作の解析に関する作業仮説

(1) 選択された3種の速度による定速走は走の代表的なものである。従って、先に述べた課題を定速走を対象に検討することにより、形態の走動作への影響や、形態に適した走動作の本質をとらえることができる。

(2) 実際の走動作は3次元的であるが、これを矢状面内で生じる2次元的な動作としてもとらえられる。したがって、解析の際には、一般の平面力学を適用することができる。

(3) とらえたい現象に応じて、全身、腕、脚、体幹などを、それぞれ1個の質点あるいは剛体として取扱うことができる。分析や各種力学量の算出では、算出する値の精度を高めるために身体を14個の剛体系と見なした。しかし、結果を検討する際の身体の過度の細分化は、重要な身体部分やとらえたい現象の特徴を不明確にする可能性がある。そこで、本研究では、走において重要な役割を果たすと考えられる脚全体、大腿、下腿、足、質量は小さいが動作範囲や速度の大きい腕、動作範囲は小さいが質量の大きい体幹に着目して、それぞれの部分を質点あるいは剛体とみなし、これらに関する力学量を用いて結果を検討した。

(4) 走では、位相の違いを除けば、腕や脚の動きにおける左右差は小さいと考えられることから、主に右腕、体幹、右脚の動きに着目して検討した。

(5) 走フォームは、個々の時刻における身体部分間の角度の関係を、それが生じた時刻の順序に従って並べたものとしてとらえることができる。

## 5. シミュレーションに関する作業仮説

### (1) 走フォーム、形態に関する作業仮説

①非支持時間/支持時間、および1歩の時間を100%としたときの各時刻における身体各部分の角度がそれぞれ等しい場合に、走フォームが等しいとする。

②身長、各部分の長さ、身体質量、身体部分係数が等しい場合に、形態が等しいとする。

### (2) 身体モデルに関する作業仮説

①身体を、剛体でできた14個の身体部分が、各関節の1点を介して連結された剛体系と見なす。ただし、両股関節の相対位置、両股関節の midpoint に対する胸骨上点の位置、胸骨上点に対する両肩関節の位置は疾走中に変化する。また、足は、母指球において折れる(図4-27参照)。

②支持足における、足先、母指球、踵のうち、最も低い部位は地面と同じ高さにある。

③位相の違いを除けば、疾走中の四肢の動きにおける左右差は無い。

## 第4節 研究の限界

本研究には、以下に列挙する方法および結果の解釈に関する限界、得られた知見の一般化・普遍化に関する限界があろう。

### 1. 方法および結果の解釈に関する限界

(1) 走運動は全て矢状面内で行われると仮定したため、体幹、肩、腰などの捻りへの形態的要因の影響については、スティックピクチャーなどから推測するにとどまる。しかし、これまでの走に関する大部分の生力学的研究では走を矢状面内の運動としてとらえていること<sup>30, 156)</sup>、2次元的分析と3次元的分析との結果に大きな違いがないという報告<sup>157)</sup>などを考慮すると、腰や肩の捻りへの影響を無視しても形態的要因の影響は十分に把握でき、結果の解釈が左右されることはないと考え

られる。

(2) 左右の四肢のうち右腕，右脚のみに着目し，左腕，左脚における形態的要因の影響をとらえていない。しかし，走は循環運動の1つでもあり，位相の違いを除けば走行中の腕，脚の動きにおける左右差はわずかであることから，右腕，右脚の動きへの形態的要因の影響を左腕，左脚にあてはめても，本質的な誤りは無いと考えられる。

(3) 本研究では，形態的要因が走動作におよぼす影響を，力学の法則を用いて生力学的手法により分析した。従って，これらの要因が，力を発揮する個々の筋の働き方におよぼす影響などについては明確にできない。しかし，関節トルクや関節パワーなどを手がかりにして各関節の屈筋群と伸筋群との相対的な働き方について検討することにより，ある程度推測が可能であろう。

(4) 本研究では，先に定義した技能効率によって，ある走速度を維持する際の身体の仕事が少ない動作を，形態的特徴に適した走動作とした。従って，本研究の結果から，より大きな速度を得ることをねらいとした走における形態に適した走動作などについて言及することはできない。

## 2. 一般化・普遍化に関する限界

(1) 被験者として，高度に鍛練され，全速疾走能力に優れた陸上競技選手を用いた。従って，形態の身体部分係数や走動作への影響，あるいは形態に適した走動作に関する知見を，一般成人，児童・生徒などにそのまま適用するには限界がある。

(2) 本研究で得られた走に関する知見は，走のうち，走条件（走速度）を変えた定速走を対象としたものである。したがって，運動形態の異なる走（加速走，減速走など）や，他の走条件を変えた場合（斜面上での走など）には，得られた知見をそのまま適用できない可能性がある。

(3) 本研究では，身長や体型を相対的にとらえることから，得られた知見もきわめて相対的なものになる。従って，例えば，特定の身長の走者が用いるべき絶対的な走動作については，本研究の知見からは十分言及することはできない。

## 第5節 本研究の独自性

本研究には、以下に列挙する独自性があると考えられる。

(1) これまで、形態の相違によって走動作にも相違が生じると言われながらも、形態に差のある走者間の固有の走動作における動きの相違すら明確にはされていない。本研究において、高度に鍛錬された被験者を対象にして明らかになった各群固有の走動作の特徴は、形態に着目した走技術究明のための基礎的知見として役立つと考えられる。

(2) これまでの研究では、形態と走動作との関係について、速度条件を変えて検討したものは極めて少ない。したがって、本研究で得られた知見は、これまでの知見に比べて適用範囲の広い、より一般化されたものだと考えられ、形態に着目して走技術を究明する際の基礎的資料として、さらには移動運動における形態の意義を考えるうえでも極めて重要なものとなろう。

(3) 身体運動は、形態を含む様々な要因の影響を受けるが、その方法上の問題のために、これまで形態以外の要因の影響を等しくしたり、各走者固有の走動作の影響を取り除いたりして、形態と動作との関係について検討した研究はほとんどみられない。従って、本研究によって形態と動作との関係がより明確にできたと考えられる。また、本研究のシミュレーションの結果をもとに、形態の影響のみを抽出する方法あるいは各走者固有の走動作の影響を取り除く方法は、走だけでなく他の身体運動の場合にも十分適用できると考えられる。

(4) 本研究において作成したシミュレーションは、形態のパラメータを自由に換え得ること、この手法を一部変更するだけで跳、投などを対象に形態の動作への影響についても検討できることなどの理由で、極めて汎用性の高い手法と考えられる。また、走フォームや走速度を変えることによって、各種走速度に適した走動作についても検討することが可能であろう。

(5) 定速走では、ある速度を維持するために必要な身体の力学的仕事が少ないことが、技術の1つの条件であろう。したがって、本研究において定義した走の技能効率 $\eta$ は、身につけている、あるいは身につけるべき走技術を評価するための1つの指標として実用性が高いと考えられる。

(6) 本研究において明らかになった成人の身体部分係数における身長，体型の影響に関する知見は，日本人成人の身体部分係数における形態の影響を明らかにしたり，それぞれの形態に応じた身体部分係数を実用化するための基礎的資料として役立つと考えられる。



## 第4章 研究方法

図4-1は前章に示した各課題の相互関係、およびそれぞれの課題を検討する際に必要となる基礎データの収集手段を示したものである。ここでは、①本研究において設けた各課題の検討方法、および②測定・実験、③データの分析、④測定項目とその算出、⑤走動作シミュレーションなどに関する方法について述べる。

### 第1節 各課題の検討方法

本研究の課題を究明するために、被験者群A、Bを用い、あらかじめ、それぞれの群の被験者を長身(TA)群と短身(SH)群、およびMuscular(MU)群とSkinny(SK)群に分類しておいた。被験者の特性や分類方法については、それぞれ第2節、第4節において述べる。本研究では、以下に示した方法で各課題を検討した。

#### 1. 形態的要因が身体部分係数(BSP)におよぼす影響の究明(課題1)

身長がBSPにおよぼす影響を明らかにするために、TA群、SH群のそれぞれにおけるいくつかの形態測定値の平均値や標準偏差、身長と各部分長や周囲長との相関係数などを算出し、これらをもとに身長によって分類した各群の形態的特徴や身長が各形態測定値におよぼす影響を明らかにした。取り扱った形態測定値は各部分の長さ、周囲長などであった。

次いで、各群における身体部分係数(絶対値および相対値)の平均値、標準偏差、および身長と各部分係数との間の相関係数を算出し、上述の検討によって明らかになった身長の各形態測定値への影響をも考慮しながら、身長の身体部分係数への影響を検討した。

体型がBSPにおよぼす影響を明らかにする際にも、MU群、SK群の形態測定値やBSPを用いて、身長の影響を明らかにする場合と同様の方法を用いて行った。

## 2. 形態に差のある走者固有の走動作の特徴の把握（課題2）

この課題の究明に必要な基礎データを得るために、低、中、高速の各速度段階における被験者固有の走動作をとらえる実験（実験1）を行い、得られた力学量をもとに、TA群とSH群との比較、MU群とSK群との比較によってそれぞれの群固有の走動作における特徴を把握した。

検討の際には、ストライド、ピッチ、部分および関節角度、角速度などを用い、低速、中速、高速のそれぞれの速度段階におけるこれらの変量の相違に着目して運動学的観点から特徴を把握した。

## 3. 形態的要因が走動作におよぼす影響の究明（課題3）

形態的要因が走動作におよぼす影響を究明する際には、形態以外の要因の影響を可能なかぎり等しくする必要がある。そこで、本研究ではシミュレーションによって得られたデータを用いて、図4-2に示したように、形態に差のある走者が同じ走フォーム、同じ速度で走行した場合の走における力学量を比較・検討した。ただし、図中のTA、SH、MU、SKはそれぞれTA群、SH群、MU群、SK群の形態を、 $t_a$ 、 $s_h$ 、 $m_u$ 、 $s_k$ は、それぞれの群の走者固有の走フォームを示す。また、 $TA+t_a$ は、形態TAを持つ走者が走フォーム $t_a$ を用いて走行したときの動作を表わす。

このときのシミュレーションにおける入力データは、被験者群Aを対象に行った形態やBSPの測定、および実験1から得た。

形態的要因のうち身長の影響については、 $TA+t_a$ と $SH+t_a$ との比較、 $TA+s_h$ と $SH+s_h$ との比較を行い、課題1において得られた知見をも考慮しながら、ストライド、ピッチ、およびこれらに関係した重心の運動に関する変量、部分および関節角速度に着目して運動学的観点から検討した。さらに、関節トルクや関節筋パワーなどの動力学変量に着目して関節筋群の機能の点からも検討した。体型の影響も同様にして検討した。また、実験2の結果を、シミュレーションから得られた結果を補足するために用いた。

#### 4. 形態的特徴に適した走動作の究明（課題4）

課題4を究明する際には、走フォーム以外の要因の影響を可能な限り等しくする必要があるので、この課題においてもシミュレーションによって得られたデータを用いて、図4-2に示したように、形態の等しい走者が同じ速度で、異なる走フォームを用いて走行した場合の走における力学量を比較・検討した。

長身者、短身者に適した走動作については、それぞれTA+taとTA+shとの比較、およびSH+taとSH+shとの比較を行い、課題1～3において得られた知見をも考慮しながら検討した。体型に適した走動作に関する検討も同様の方法で行った。ただし、実験2の結果は、課題3の場合と同様に、シミュレーションから得られた結果を補足するために用いた。

走のパフォーマンスを向上させるためには、①より大きなエネルギーを発揮すること、②発揮したエネルギーを効果的に用いることなどが重要な課題とされて<sup>77, 83, 115)</sup>いる。このうち、①は呼吸循環器系や筋の機能などの影響を、②は走動作の影響を大きく受ける。

定速走では、ある大きさの速度を維持することがねらいとなる。従って、走行中に速度維持のための身体が行う仕事が少なくなる動作を用いる（発揮したエネルギーを効果的に用いる）ことが、走速度を効率良く維持するための1つの条件であろう。さらに走動作は、速度、発揮し得るエネルギー量（単位質量あたり）、習熟度、形態などの影響を受けるが、速度、発揮し得るエネルギー量、習熟度が等しい場合には、動作の効率は、形態に適した走動作を用いているか否かに依存すると考えられる。

そこで本研究では、上述の②に着目して定義した走の技能効率を用いて形態的特徴に適した走動作を判定し、さらに、運動学的変量や効率と関係が深い関節トルク、関節筋群の仕事などをもとに、各形態に適した走動作における特徴を明らかにした。

一般に定義されている走の効率は、身体が取り込んだエネルギーに対する行った仕事の比で表されるが、<sup>71, 109, 135)</sup>この場合には、行った仕事が効果的に走速度の維持に用いられているかどうかを判定することが難しい。ところが、本研究において定義した走の技能効率は、ある速度で走行する際に維持すべきエネルギーと身体の

行った仕事との比であり、これによって、行った仕事が効果的に走速度の維持に用いられているかどうかを判定することが可能であろう。

## 第2節 測定および実験

### 1. 被験者群A, B

本研究では、2つの被験者群A, Bを用いて、測定および実験を行った。それぞれの群における各被験者の特性を表4-1(a), (b), および表4-2に示す。

図4-1に示した測定および実験のうち、形態測定, BSPの測定は両群の被験者について行った。また実験1では被験者群Aを、実験2では被験者群Bをそれぞれ用いた。

課題2を究明したり、課題3, 4の究明に必要な基礎データを得たりするためには、形態の相違が大きく、BSPや走動作に形態の相違が反映し得る被験者を用いる必要がある。そこで被験者群Aとして、十分にトレーニングを積んだ男子陸上競技選手のうち、パワー系の種目を専門とし、形態的な違いが大きく、比較的全速疾走能力に優れている短距離選手20名(SA~SU), 跳躍選手6名(JA~JF), 投擲選手7名(TA~TG)を選んだ。これらの被験者は、いずれもトレーニング手段として全速疾走を行っている。

走能力に優れている鍛練者を被験者として用いたのは、身につけている走動作が一般人に比べて洗練されたものであるために、形態に差のある被験者間の固有の走動作における相違の中に、形態の相違によって生じる動作の相違が現れやすい考えられることによる。

また実験2では、走フォームを変えた走試技を用いるため、上述した被験者の諸条件に加えて、指示した動きの課題を十分に達成できることが必要である。そこで被験者群Bとして、日頃のトレーニングにおいて様々な走動作を経験し、走動作に関する明確なイメージを持っていると考えられる短距離選手の中から、形態の差が大きいと見られる者8名を選んだ。さらにB群の被験者を、A群の形態による分類基準(後述)に従って、あらかじめ長身(TA)群と短身(SH)群、および骨格・筋がよく発達した(MU)群と痩身(SK)群に分類しておいた。

ところが、A群に含まれる短距離選手の身長と中胚葉値との相関係数は-0.4451( $p<0.05$ )であり、B群として選択した短距離選手にもこの様な傾向がみられた。従って、B群の分類では、まず身長によって2群に分け、それぞれの群を体型によって2名ずつに分けることにした。結果の解釈においては、この点を考慮しておく必要がある。

## 2. 形態測定

20)

被験者の体型を、Heath-Carter体型判定法において用いられる内胚葉値、中胚葉値、外胚葉値をもとに判定した。これらの値の算出において必要とされる各形態測定項目(資料A)の測定方法は次のとおりである。ただしこれらの測定では、全ての被験者に競泳用水着のみを着用させた。

### (1) 身長および体重

身長は、各被験者に直立姿勢をとらせて、1mmの精度で測定可能な木製身長計を用いて測定した。また体重は、0.1kgの精度で測定可能な台ばかりを用いて測定した。

### (2) 皮下脂肪

皮下脂肪は、1mmの精度で測定可能な栄研式キャリパーを用いて測定した。ただし上腕三頭筋部(Triceps)、肩甲骨下部(Subscapular)、腸骨上部(Suprailiac)の皮下脂肪は、直立し、両腕を脱力して体側におろした姿勢で測定した。また下腿(Calf)内側部の皮下脂肪は、脱力して椅子に腰をおろし、下腿を鉛直にして足裏全体が床につく姿勢で測定した。

### (3) 骨幅

骨幅は、1mmの精度で測定可能なノギスを用いて測定した。ただし上腕骨端(Humerus)幅では、前腕を回外し、肘を肩の高さまで上げ90度に屈曲してリラックスした姿勢で測した。また大腿骨端(Femur)幅では、リラックスして椅子に腰をおろし、下腿を鉛直にして足裏全体が床につく姿勢で測定した。

#### (4) 周径

周径は、1mmの精度で測定可能な巻尺を用いて測定した。ただし上腕(Biceps)屈曲最大囲は、前腕を回外し、肘を最大努力で屈曲した状態で測定した。また下腿最大囲は、足を平行にして約20cm開き、体重を両足に均等にかけて姿勢で測定した。

### 3. BSPに関する測定

形態的要因が走動作におよぼす影響を力学的観点からより詳細に検討できるように、各被験者のBSPを求めた。BSPは、Yokoi, et al.<sup>17b)</sup>の数学モデルによる方法を用いて算出した。この方法に必要な基礎データを得るための写真撮影、および算出したBSPの精度を確認するための身体重心高の測定方法を以下に示す。

#### (1) 写真撮影

写真撮影の際の設定を図4-3に示す。

##### ① 測定姿勢

撮影時には、被験者に図4-4に示した姿勢をとらせた。このとき、被験者は肘を伸して体側につけ、手首を回内し、両足は平行にして約15cm開いている。

##### ② 写真計測用フレーム

撮影時に、被験者を上述した姿勢で自作の写真計測用フレーム(図4-5)内の定位置に立たせた。このフレームは鉄製であり、カメラに面する2面に2cm間隔で水平に黒糸を張ってある。

##### ③ 撮影

撮影のために、200mm望遠レンズ(Ricoh XR lens, 200mm)を装着した2台の35mmスチールカメラ(Ricoh XR500)を、被験者の前方および側方に光軸が直交するように設置した。このとき、撮影の際に生ずる像の歪みを小さくするために、カメラから被写体までの距離を24m、カメラ高を0.9mに設定した。

撮影では、被験者の姿勢の動揺による誤差を小さくするために、同時に2台のカメラのシャッターを押した。露出時間は1/125秒、使用フィルムはスライド用カラ

-フィルム (Kodak echtachrome, ASA200) であった。

#### ④ その他

撮影時には、フィルム上に識別板を写し込み、被験者の識別に用いた。

また、各被験者にスイムキャップ、競泳用パンツを着用させ、身体にマークを貼りつけ、腕と胴部の境界にマーカーで線を引いた (図4-4)。

### (2) 身体重心高の測定

身体重心高の測定の模式図を図4-7に示す。

#### ① 測定姿勢

身体重心高の測定では、被験者に仰臥位で図4-4に示した姿勢をとらせた。

#### ② 重心測定板

2つの支点を有する重心測定板を厚さ4cmのベニヤ板で作成し、一方の支点の下に台ばかりを置いて水平に保ち、これを重心測定に用いた (図4-6)。

図4-7に示した位置で被験者に仰臥位をとらせ、台ばかりの読み値  $F$  を測定した。この値を図中の式に代入して得られた足底から重心までの水平距離  $X$  を、身体重心高とした。ただし、 $L$  は重心測定板の両支点間の距離、 $BW$  は被験者の質量、 $F_0$  は重心測定板のみのはかりの読み値である。

#### ③ その他

測定時には、各被験者に競泳用パンツを着用させた。

### 4. 被験者固有の走動作をとらえる実験 (実験1)

課題2の究明、および課題3、4の究明に必要な基礎データの収集のために被験者群Aを用いて、各被験者固有の走動作をとらえる実験を行った。

#### (1) 速度条件および被験者への指示

実験試技として、3種の速度による定速走を用いた。各速度の範囲は、低速では2.0~3.5m/s、中速では5.0~7.5m/s、高速では8.5m/s以上とした。定速走を用いた理由、走速度を大きく3段階に分けた理由などは、第3章第1節に示したとおりである。

被験者は、指示した走速度で数回練習を行った後、練習時に設定したスタートマーク位置に立って任意に加速を開始し、各被験者固有の走動作を用いて走った。このとき被験者に、低速走では10m、中速走では30m、高速走では40m以上の加速区間を設けさせた。また撮影範囲内では、走速度を一定に保持し、各被験者固有の動作を保ちながら右足で走路に埋め込んだ力量台を踏んで走りぬけるように指示した。これらの試技を、十分な休息をはさみながら行わせ、指示した走速度で走れなかった場合（走速度は光電管を用いて測定（後述））、力量台を右足で踏めなかった場合、フォームをくずした場合などには再度試技を行わせた。

## （2）実験装置とその配置

実験1の設定を図4-8に示す。

### ① 走路

実験は、筑波大学陸上競技トラックにおいて行った（図4-9）。この走路には、地面と同じ高さに力量台を埋め込むことができるように、力量台固定用マウント（図4-10）が備え付けられている。ただし、被験者がスパイクシューズを着用するため、力量台の上面に厚さ約15mmの合成ゴム板を両面接着テープで貼り付けた。

### ② 力量台

疾走中の地面反力（鉛直、および水平の前後・左右方向）の測定には、力量台（Kistler AG, 9281 type, 600×400×100mm, 固有振動数800Hz以上）を用いた。ただし、大きな水平分力による力量台のずれを防ぐために、力量台をコンクリートに埋め込まれた専用取り付け台にボルトで固定した。

力量台からの信号は、6チャンネルユニット（9803 type）を介し、ラビコーダ（Kyowa Electric Instrument Co. LTD., RMV-520A type）を用いて出力（紙送り速度1m/秒）した。

### ③ 16mmシネカメラ

走動作をとらえるために、力量台中央から45mの地点に16mmシネカメラ（Photo-sonics, 1PL, 装着レンズ：Angenieux 200M type, 10×12 A）を、レンズの光軸が力量台上面から1.0mの高さで被験者の動作面（矢状面）と直角になるように設置した。走の1サイクルをカバーできるように、8mの区間をこのときの撮影範囲



とした。

撮影速度は、低速走、中速走では100コマ/秒、全速走では200コマ/秒であり、露出時間はそれぞれ1/1200秒、1/2400秒であった。撮影速度の較正のために、パルスジェネレーターから出力される100Hzの信号をフィルムに記録した。

また、距離較正のために、図4-9に示したように走路の両側に1m間隔で木製のマークを置いた。

#### ④ 光電管

走速度の確認のために、走路の左右に力量台を中心として前後5mの間隔をあけて光電管(Omron Co. LTD., E3S-3L)をセットし(図4-9)、この区間の通過に要した時間を測定した。得られた時間から平均走速度を計算し、それぞれの試技の走速度をモニターした。

#### ⑤ その他

被験者の四肢の各関節に、黒ビニールテープを用いてランドマークを付けた。

### 5. 走フォームを変えた走動作をとらえる実験(実験2)

形態以外の要因の影響を可能なかぎり等しくして形態の動作への影響をとらえたり、形態に適した走動作を明らかにしたりするために、被験者群Bを用いて以下のような実験を行った。

#### (1) 実験試技

実験2における試技を表4-3に示す。これらの試技は、実験1において得られたそれぞれの群の被験者の走フォームに基づいて決定した。先に分類した各群の被験者の試技として、これら5種の試技から表4-4に示した2試技を選択し、高速、中速、低速(速度条件は実験1と同じ)の各速度において試技を行わせた。あらかじめ被験者にこれらの試技を説明し、試技を正確に行なえるように1週間にわたって練習を行わせた。実験中の被験者への指示などは、実験1と同じであった。

#### (2) 実験装置とその配置

実験2における実験装置やその配置のうち、実験1と異なる点について述べる。

#### ① 力量台

力量台からの出力は、A/Dコンバータ(N.C.C. Co. LTD, Mark 1)によって1/1000秒毎に数値化したのち、マイクロコンピュータ(Sharp MZ-80 B)を介してミニフロッピーディスクに格納した。

#### ② 16mmシネカメラ

撮影速度は、低速走では50コマ/秒、中速走では80コマ/秒、全速走では150コマ/秒に設定した。

#### ③ その他

実験2では、16mmシネカメラとともにビデオカメラを設置して全ての試技を撮影し、指示した動作が正確に行われているかどうかを確認した。

### 第3節 実験データの分析

ここでは、前節に示した測定および実験から得られたデータの分析方法について述べる。

#### 1. 形態測定データ

形態測定データは、各被験者ごとに、マイクロコンピュータ(Sharp MZ-80 B)を介してミニフロッピーディスクに格納した。

#### 2. BSP算出のための基礎データの収集

フィルムを、35mmフィルム用拡大機(Fujimoto photo industrial Co. LTD)を用いてディジタイザー(Summagraphic Co. LTD, Bit Pad One)上に投影し、分析を行った。このとき、前方、側方から撮影したフィルムの投影像(図4-11)において、身体各部分の境界線と水平に張った糸との交点(各部分を構成する楕円板の頂点)、身体上のランドマーク、および距離較正用のマークの位置座標を読み取り、被験者ごとにミニフロッピーディスクに格納した。

### 3. 実験1, 2における基礎データの収集

#### (1) 分析試技の決定

実験条件を満足し、撮影フィルムや地面反力などの実験資料が完全なものから分析試技を選択した。

実験1では、96試技(全速走31試技, 中速走32試技, 低速走33試技)を分析試技として選択した。実験1の撮影試技のうち、低速走では全ての被験者の試技を分析することが可能であったが、撮影フィルムが完全でなかったために全速走では被験者SB, SDの試技を、中速走ではSCの試技を分析できなかった。

実験2では、48試技(全速走24試技, 中速走24試技)を分析試技として選択した。実験2の撮影試技のうち、低速走は露光条件が悪く、分析できるほど鮮明な像を得ることができなかった。

しかし、実験1の結果では、走速度が大きいほど形態に差のある被験者間の走動作の相違が大きくなっていったことから、走速度が大きいほど形態の動作への影響は大きいと考えられた。このような理由から、中速走, 全速走の試技のみを扱っても形態の走動作への影響は十分把握できると考えられる。

#### (2) 地面反力の分析

実験1においてビジグラフ上に出力した地面反力の信号は、ディジタイザー(Summagraphic Co. LTD, Bit Pad One)を用いて以下の手順で分析した。

まず、ディジタイザー上に記録紙を貼り付け、地面反力の信号の水平前後, 水平左右, 鉛直方向の成分を5msecごとに読みとり、マイクロコンピューター内に入力した。ただし分析範囲は、鉛直方向の力が立ち上がる25msec前から、基線にもどった25msec後までとした。次いで、あらかじめ計算しておいた換算係数を用いて力の単位に変換した。さらに、これらの値から、それぞれの被験者の単位質量あたりの地面反力も求め、フロッピーディスクに格納した。

実験2においてフロッピーディスクに格納した地面反力の信号は、あらかじめ計算しておいた換算係数を用いて力の単位に変換した。その後の処理は、実験1の場合と同じであった。

### (3) フィルムデータの分析

実験1, 2におけるフィルムデータを以下の方法で分析した。

#### ① 分析装置と分析手順

図4-12は、フィルム分析装置を示したものである。

フィルムを、分析台後方に固定した16mmフィルムプロジェクタ (Nac, DF-16B) にセットし、分析台の前下方にセットしたディジタイザ (Summagraphic Co. LTD, Bit Pad One) 上に投影した。次いで、図4-13に示した身体各部位、および距離較正用マーク(4個)の位置座標(X, Y)を読みとり、フロッピーディスクに格納した。ただし分析は、後に行う平滑化、数値微分などの演算処理を考慮して、左足離地の10コマ前から次の左足離地の10コマ後までの各コマについて行った。

得られた位置座標をもとに、後述する各種演算処理を行った。

#### ② 変位データの周波数特性と平滑化

##### a. データの周波数特性と遮断周波数の決定

フィルム分析で得られた位置座標には、撮影や位置の読みとりの際に生じたなんらかのノイズが混入している。そして、これらの座標をもとにして数値微分を行うとノイズは増幅され、特に加速度では真の値と著しく異なったものとなる。従って、数値微分を行う際には、位置座標に含まれるこの様なノイズを除去しておく必要がある。

このためには、まず位置座標の周波数特性を知り、真の値がどのような周波数の範囲に分布するかを明確にし、遮断周波数を決定しておく必要がある。そこで本研究では、各速度の試技を無作為に選択し、身体各部位の位置座標の時間的変化をフーリエ変換し、パワースペクトル密度を計算した。

図4-14は全速走、中速走、低速走におけるパワースペクトル密度(最大値を100%として表示)と周波数の関係を示したものである。

これらの図から、走行中に最も高い周波数を持つと考えられる足先あるいは手においてさえ10Hz以上の周波数成分のパワー密度は、相対的にかなり小さくなっていることがわかる。さらに、これらの部位では走速度が低くなるにつれて、高いパワー密度を示す周波数成分はより低い周波数帯域へと移行している。ところが、走行中の変位が比較的小さな頭頂、肩、腰などの部位では、いずれの速度に

においても、かなり高い周波数帯域までパワー密度が高くなっており、このことは相対的に大きな誤差あるいはノイズの混入を示していると考えられる。従って、走行中の身体各部位の位置データの少なくとも15Hz以上の成分はノイズとして除去しておく必要がある。

そこで本研究では、遮断周波数として全速走、中速走では15Hz、低速走では10Hzを用いることにした。

#### b. 平滑化

離散的データの平滑化には、デジタルフィルター、多項式近似、スプライン関数などが用いられている。<sup>1, 127, 158)</sup>

本研究では、これらのうち、歩行などのデータの平滑化でその有効性が知られ、遮断周波数を任意に選択できるButterworth型digital filter<sup>127)</sup> (以下、フィルターとする)を用いて位置データを平滑化した。フィルターの形式を以下に示す。

$$y_j = A \cdot (x_j + 2 \cdot x_{j-1} + x_{j-2}) + B \cdot y_{j-1} + C \cdot y_{j-2} \quad \dots \dots (1)$$

ただし、 $j$  : フィルムのコマ番号,  $y_j$  : 平滑化データ,

$x_j$  : 未平滑化データ,  $A$  :  $W^2/D$ ,

$B$  :  $2 \cdot (1 - W^2)/D$ ,  $C$  :  $(W \cdot \sqrt{2} - 1 - W^2)/D$ ,

$D$  :  $1 + \sqrt{2} \cdot W + W^2$ ,  $W$  :  $\sqrt{(\sqrt{(\sqrt{2} + 1))} \cdot \tan(\pi \cdot f_c / f_s))}$ ,

$f_c$  : 遮断周波数(Hz),  $f_s$  : サンプルング周波数(Hz),

$\pi$  : 円周率.

図4-15に、本研究で用いたフィルターの応答特性を遮断周波数( $f_c$ )を基準に示した。

#### ③ 数値微分

位置データの変化から数値微分によって速度、加速度などを求める際には、差分に伴い有効桁数が減少するために、ノイズの要素が強調される。特に、サンプルング周波数が高い場合には、この様な傾向が著しい。従って、速度、加速度などを求めるための数値微分では、これらの影響をできるだけ小さくする必要がある。

本研究ではこのことを考慮して、サンプルング周波数が100Hz以下の場合には、以下に示した式(2)、サンプルング周波数が150Hz以上の場合には式(3)を用いて数値微分を行った。

$$D_j = \frac{1}{10} (2 \cdot x_{j+2} + x_{j+1} - x_{j-1} - 2 \cdot x_{j-2}) \cdot f_s \quad \dots\dots(2)$$

$$D_j = \frac{1}{20} (2 \cdot x_{j+4} + x_{j+2} - x_{j-2} - 2 \cdot x_{j-4}) \cdot f_s \quad \dots\dots(3)$$

ただし、 $j$  : フィルムのコマ番号、 $D_j$  : 速度あるいは加速度、  
 $x_j$  : 位置あるいは速度、 $f_s$  : サンプルング周波数(Hz).

#### ④ 平滑化および微分の影響

図4-16, 17, 18は、それぞれ全速疾走、中速走、低速走における走行中の身体重心の位置、速度、加速度を、位置データを平滑化した場合としない場合について比較したものである。加速度の図には、地面反力から求めた加速度の値も示した。

全体的に見ると、平滑化によってノイズがかなり除去され、2階微分後の加速度のパターンにおいても、地面反力から算出したものとある程度一致していることがわかる。しかし、位置データから算出した走行中の非支持局面における身体重心の加速度は、水平方向、鉛直方向とも一定ではなかった。また、支持期の加速度は、地面反力から得たものに比べて滑かであり、位相のずれが見られる。これらの誤差は、接地、離地の瞬間における滑かに変化しない位置データを、連続的に平滑化および微分したことなどによって生じたと考えられる。

運動中の位置座標は、身体と他の物体（地面など）との衝突の瞬間には滑かに変化しない。従って、この様な微分可能でない点の前後では別々に平滑化や数値微分を行う必要がある。しかし走では、接地あるいは離地の瞬間に位置が滑かに変化しない部位は主に支持足であり、その他の部位ではほぼ滑かに変化するとみなせる。さらに、平滑化や数値微分で用いる式などによってデータの端点（分析開始点、あるいは終了点）の値を精度良く推定することはかなり難しく、仮に微分可能でない点の影響を考慮しても、これらの点の前後ではより大きな誤差が混入する恐れがある。

そこで本研究では、接地あるいは離地の瞬間においても各部位の位置は滑かに変化するとみなして、平滑化あるいは数値微分を行った。ただし、結果の解釈ではこれらのことを考慮しておく必要がある。

#### (4) 身体各部分の重心位置，慣性モーメントの求め方

走行中の各時刻における身体各部分の重心位置，慣性モーメントなどは，各被験者について求めたBSP（比）を用い，資料Bに示した式によって計算した。

### 第4節 算出項目とその算出方法

ここでは，本研究で取り扱った①形態，②BSP，③走などに関する算出項目とその算出法，④被験者の分類方法，⑤データの規格化・平均化の方法について述べる。

#### 1. 形態に関する算出項目と算出法

本研究では，形態的要因として，身長，体型をとりあげた。以下にこれらの要因に関連した形態の算出項目およびその算出法について述べる。

##### (1) 体型指数(Somatotype index)

本研究では，Heath-Carter体型判定法<sup>20)</sup>において用いられる体型指数算出式（資料A）に従って，内胚葉（Endomorphy），中胚葉（Mesomorphy），外胚葉（Ectomorphy）の各体型指数，およびソマトチャートを作成する際に必要となる座標(X, Y)を算出した。

##### (2) 身体部分の長さ(Segment length)

BSPの算出のために行ったフィルム分析で得られたデータをもとに，各部分の両端の関節中心間の距離を算出し，この値をそれぞれの部分の長さとした。ただし，頭長は頭頂点から両耳珠点の中点までの距離，頸長は両耳珠点の中点から胸骨上点までの距離，胴長は胸骨上点から両転子点の中点までの距離，手長は手関節中心から中指第三関節中心までの距離，足長は踵点から足先点までの距離とした。また，側方より見た胸骨上点の位置は，胸骨上縁の高さにおける胴部の前後幅の中心とした。

##### (3) 肩幅および腰幅 (Shoulder breadth and hip breadth)

部分長の算出に用いたデータをもとに、肩幅と腰幅を求めた。ただし、肩幅は左右の肩峰点間の距離、腰幅は左右の転子点間の距離とした。

(4) 身体部分の周囲長および断面積 (Girth and cross-sectional area of the body segment)

部分長の算出に用いたデータをもとに、手、足を除く各部分の最大周囲長、最大断面積を計算し、それぞれ、各部分の周囲長、断面積とした。ただし、腕、脚では、右腕、右脚の各部分の値を用いた。

## 2. BSPに関する算出項目と算出法

本研究ではBSPとして、身体各部分の質量、重心位置、および各部分の重心を通る前後軸、左右軸、長軸まわりの慣性半径などを算出した。ここでは、これらの値の算出法および表示法について述べる。

### (1) BSPの算出法

BSPは、Yokoi, et al.<sup>17)</sup>の数学モデルによる方法を用いて算出した。このモデル(図4-19)に関する仮定は前章に述べたとうりである。BSPの算出式を図4-20に示した。算出手順は次のとうりである。

① フィルム分析によって得られた、前方、側方より見た各楕円板の頂点A, B, C, D, A', B', C', D'の座標をもとに、それぞれの部分を構成する楕円板 $j(j=1, \dots, n)$ の2つの径 $r_j, r'_j$ および厚さ $h_j$ を求める(式1~3)。

② ①において求めた値と部分の密度 $d$ から、各楕円板の質量 $m_j$ 、重心位置 $(x_j, y_j, z_j)$ 、主慣性モーメント $I_{x_j}, I_{y_j}, I_{z_j}$ を得る(式4~10)。ただし、 $\pi$ は円周率を、X軸、Y軸、Z軸は、それぞれ身体の左右軸、前後軸、長軸を示している。また、このとき各部分の密度 $d$ として、Clauser, et al.<sup>27)</sup>が成人男子12名の屍体標本から得た値の平均値(表4-5)を用いた。

③ ②において得られた各値をもとに、それぞれの部分の質量 $M$ 、重心位置 $(X, Y, Z)$ 、慣性半径 $K_x, K_y, K_z$ を計算する(式11~13)。

### (2) BSPの表示法



得られたBSPは、絶対値および比で表示した。

絶対値で表示する場合の各部分の重心位置は、それぞれの部分の中樞端側からの距離で示した。ただし頭部重心位置は頭頂から、胴部重心は胸骨上縁から、足の重心は足先からの距離とした。これらの値を比で表示する場合には、各部分の質量は身体質量に対する比（質量比）で、重心位置および慣性半径はそれぞれの部分の長さに対する比（比重心位置，比慣性半径）で示した。

### 3. 走に関する算出項目と算出法

#### （1）走周期の区分（Division of a running cycle）

走の1周期を左足離地から、次の左足離地までとした。さらに、図4-21に示すように、走行中の足先と身体重心との位置関係などに着目して、走の1周期を左足離地(1)、右足振り戻し開始(2)、右足接地(3)、右足支持期中間点(4)、右足離地(5)、右足フォロースルー終了(6)、左足接地(7)、左足支持期中間点(8)の8時点で区分し、次のような局面を設けた；①支持期（3～5）、②支持期前半（3～4）、③支持期後半（4～5）、④非支持期（5～7）、⑤回復期（5～1、1～3）：右足離地から次に右足が接地するまで、⑥回復前期（5～7）、⑦回復中期（7～1）、⑧回復後期（1～3）。

#### （2）ストライド、ピッチ（Stride length, stride frequency）

定速走では一般にストライド、ピッチにおける左右差は小さく、一定時間内の各歩の歩幅や時間もほぼ等しい。このとき、1秒間の歩数は1歩に要した時間の逆数に等しいと見なせる。そこでストライドは、右足接地から左足接地までの1歩の間の歩幅とし、ピッチはこの1歩に要した時間の逆数とした。

#### （3）走速度（Running velocity）

ストライドとピッチの積を計算し、これを走速度とした。

#### （4）地面反力（Ground reaction force）

第3節において述べた方法により、支持期の鉛直、および水平前後方向の単位質量あたりの地面反力を求めた。

#### （5）各局面に要した時間（Time consumed in each phase）

1コマ当たりの時間を（1）に示した各局面における撮影コマ数に掛て、それ

それぞれの局面に要した時間を求めた。

(6) 身体重心の水平変位 (Horizontal displacement of the whole body center of gravity, HDcg)

走の1周期を区分して得られた各局面における身体重心の水平変位を求めた。

(7) 離地時の身体重心高 (Height of the center of gravity at toe-off)  
離地時における身体重心と地面との鉛直距離を、離地時の身体重心高とした。

(8) 離地角 (Take-off angle)

右足離地時の身体重心の速度ベクトルが地面となす角度を求め、これを離地角とした。

(9) 後傾角および前傾角 (Backward lean angle and forward lean angle)

図4-22に示したように、接地時、離地時において身体重心と支持足先とを結ぶ線分が支持足先を通る鉛直線となす角度(鋭角)を、それぞれ後傾角、前傾角とした。

(10) 部分角度および関節角度 (Segment angles and joint angles)

図4-23A, Bに示した角度を、それぞれ部分角度、関節角度とした。

(11) 足先、脚重心の軌跡 (Loci of the the toe, and the leg CG)

走の1周期中の各コマにおける右大転子の位置座標に対する右足先および右脚重心の位置座標を求め、それぞれ足先、脚重心の軌跡とした。

(12) 関節トルクおよび関節筋パワー (Joint torque and joint muscle power)

図4-23, Bに示した各関節におけるトルク、筋パワーを、地面反力のデータをも用い、図4-24に示したモデルおよび式によって求めた。

(13) 関節筋群の仕事 (Muscle work)

各関節の筋群によってなされた疾走中の正、負の仕事を、関節筋パワーを時間積分することによって求めた。

(14) 走の技能効率 (Skill efficiency of running,  $\eta$ )

走の技能効率 $\eta$ を、以下の式によって求め、形態の特徴に適した走動作を判定するための指標として用いた。

$$\eta = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot (|PW| + |NW|)}$$

ただし、PW, NWはそれぞれ全身の関節筋群における1歩間の正、および負の仕事、 $m$ は身体質量、 $v$ は走速度を表す。

#### 4. 被験者の分類

図4-25は、被験者群Aにおける被験者の体型分布および各体型指数の平均値を示したものである。平均的に見ると被験者は、骨格、筋のよく発達した体型であることがわかる。さらに、内胚葉値に比べて中胚葉値、外胚葉値における被験者間の相違が大きく、中胚葉値と身長との間には有意な相関は見られなかった(表4-6)。また、これらの被験者の身長、中胚葉値の分布は、それぞれ正規分布とみなすことができた( $p < 0.05$ )。

Heath and Carter<sup>20)</sup>の方法では、体型の分類が3個の体型指数の値をもとに総合的に行われている。しかし本研究では、太さ・重量の要因を長さの要因と区別してとらえるための指標として体型を用いるので、身長との間に相関がある指数、被験者間のばらつきの小さい指数などを含めて、彼女らと同じ方法で体型を分類することには問題があろう。

これらのことから本研究では、体型を、被験者間のばらつきが大きく、身長とは独立していると考えられる中胚葉値、即ち骨格・筋の発達の程度に着目してとらえた。そして、被験者群Aを対象に、同一被験者群を独立した2種の基準によって以下のように分類し、BSPおよび実験1の結果を比較・検討した。

① 被験者群Aの身長の平均値(174.8cm)を基準に、身長がこの値以上の被験者を長身(TA)群、この値未満の被験者を短身(SH)群とする。

② 被験者群Aの中胚葉値の平均値(5.037)を基準に、中胚葉値がこの値以上の被験者をMuscular(MU)群、この値未満の被験者をSkinny(SK)群とする。ただし、Muscular, Skinnyという用語はHeath and Carterの分類法では用いられていないが、本研究では、中胚葉値の大小によって分類された各群の体型の特徴を的確に表わすためにこれらの用語を用いた。

また、被験者群Bの分類は第4章第2節1.に示したかたちで行い、実験2における結果を検討した。

## 5. 走に関するデータの規格化と平均化

形態に差のある走者間の固有の走動作の相違をとらえるために、実験1における各被験者のデータを、それぞれの実験において分類した2群間で比較した。各群における走の時系列データをより簡略な方法で示し、さらに比較すべき両群間における変量の相違をとらえやすくするためには、適当な基準を設けて各群内のデータを規格化、平均化することが1つの有効な手法であろう。<sup>1)</sup>

本研究では、走の2歩の時間、即ち、左足離地から次の同足離地までの時間を200%とし、足の接地や離地の%時刻をそろえ、移動3次多項式を用いて2.5%毎に補間し、それぞれの時刻におけるデータの平均値と標準偏差を各群ごとに求めた。ただし、各足の接地時刻は全被験者の平均値とした。

また、関節および部分角度、角速度などのデータでは、比較すべき両群間の各%時刻における平均値の差を求め、それぞれの時刻における平均値の有意差検定を行った。これらのデータは、図4-26のようなかたちで表示した。ただし、横軸は規格化した時刻であり、図中の1~7の数字は走周期を区分する各時点を示す。また、MEANは比較すべき両群の平均値を、DIFFは両群の平均値の差を示す。さらに、DIFFの図における縦の線分は、線の長い順に1%、5%、10%水準の有意差があることを示している。ただし、MEANにおける実線はTA群あるいはMU群の平均値を、破線はSH群あるいはSK群の平均値を表わし、DIFFでは(SH群)-(TA群)あるいは(SK群)-(MU群)の値を示す。

この様なデータの表示法を用いることにより、各群内の平均的な傾向、両群間の相違の大きさや相違が生ずる局面などをとらえやすくなると考えられる。

### 第5節 走動作のシミュレーション

本研究の課題3、4の究明において、被験者を実際に走行させる実験(実験2)の結果を用いた場合には、被験者が各試技における課題を十分に達成できない可能性が大きいこと、あるいは形態以外の要因の影響を等しくできないことなどの問題点が生じるために結果の解釈に曖昧さを伴う。そこで、マイクロコンピュータ(Sharp MZ-80 B)を用いて以下のようなシミュレーションを行い、この結果を

実験2の結果で裏付けながら課題3, 4に関する検討を行った。シミュレーションにおいて用いた仮定は、第3章第3節に示した。

#### 1. シミュレーションのねらいおよび推定した走動作

本研究のシミュレーションでは、先に分類したそれぞれの群の形態的特徴を有するものが、低速、中速、全速の各速度段階において、同じ速度で走フォームを変えて走行したときの走動作を推定し、このときの各種力学量を算出することをねらいとした。シミュレーションにおいて推定した走動作を表4-7に示す。

#### 2. 身体モデル

シミュレーションにおいて用いた身体モデルを図4-27に示す。ただし、シミュレーションでは、走を矢状面上に投影されたものとして2次元的にとらえるために、肩や腰における左右の位置は一致しない。また図中の破線の区間は、質量のない棒で連結されている。

#### 3. 入力データ

シミュレーションにおける入力データを表4-8に示す。ただし、疾走中の肩、腰、足などの相対位置は、シミュレーションを行う際に、形態測定値をもとに、各形態に合うように換算した。

シミュレーションにおけるこれらのデータとして、被験者群Aを身長、体型によって分類した各群における平均値を用いた。このうち、支持期の身体重心の平均水平速度は、実験1から得られたそれぞれの速度段階の走における全被験者の平均値とした。また、非支持時間/支持時間、各部分の角度、相対位置は、速度段階ごとに規格化・平均化して得られたそれぞれの群の平均値を用いた。

#### 4. シミュレーションの手順および基礎方程式

シミュレーションの手順を図4-28に示す。

左足離地から、次の左足離地までの動作を推定する。このときのコマ数をn, 左足離地, 右足接地, 右足離地, 左足接地, 次の左足離地のコマ番号を, それぞれn1, n2, n3, n4, n5とする。

### (1) 連結点および重心の位置座標の算出

身体各部分の角度, 長さを表4-9に示した記号によって表わす。右足先の座標を原点とすると, 身体各連結点kの座標( $X_k, Y_k$ ),  $k=1, \dots, 23$  は, 仮定をもとに表4-10に示した式によって求まる。これらの計算を全てのコマに対して行い, 得られた連結点の座標を( $X'_{kj}, Y'_{kj}$ ),  $j=1, \dots, n$  とする。次いで, 身体各部分の質量比 ( $m_i$ ), 比重心位置 ( $p_i$ ), および連結点kjの座標の値を資料Bの式に代入して, 各部分重心の座標( $GX'_{ij}, GY'_{ij}$ ),  $i=1, \dots, 14$  および身体重心の座標( $GX'_j, GY'_j$ )を求める。ただし, X座標は水平を, Y座標は鉛直を示す。

### (2) 各コマの時間間隔

支持足の踵, 母指球, 足先のうち最も低い部位のY座標を0として, 右足支持期における身体重心の位置座標を修正し, これを( $GX'_j, GY'_j$ ),  $j=n2, \dots, n3$  とする。このとき接地時, 離地時の身体重心のX座標 $GX_{n2}, GX_{n3}$ , および支持期の平均水平速度Vから, 各コマの時間間隔 $\Delta t$ は,

$$\Delta t = \frac{GX_{n3} - GX_{n2}}{V \cdot (n3 - n2)}$$

によって求まる。

### (3) 右足接地時, 右足離地時の身体重心の水平および鉛直速度の算出

右足の接地時, 離地時の各時刻における身体重心の水平速度 $VH_{n2}, VH_{n3}$ は, 支持期の身体重心のX座標を $\Delta t$ をもとに数値微分し, 外挿することによって求めた。また, それぞれの時刻における身体重心の鉛直速度 $VV_{n2}, VV_{n3}$ は,

$$VV_{n2} = \frac{GY_{n2} - GY_{n1}}{\Delta t \cdot (n2 - n1)} - \frac{g \cdot \Delta t \cdot (n2 - n1)}{2}$$

$$VV_{n3} = \frac{GY_{n4} - GY_{n3}}{\Delta t \cdot (n4 - n3)} - \frac{g \cdot \Delta t \cdot (n4 - n3)}{2}$$

によって求まる。ただし  $g$  は重力加速度 ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ )。

さらに、支持期の身体重心の Y 座標を数値微分し、これを外挿して得られた接地時、離地時の重心の鉛直速度  $VV'_{n2}$ ,  $VV'_{n3}$  と  $VV_{n2}$ ,  $VV_{n3}$  とに違いがある (速度が滑かに変化しない) 場合には、 $V$  を修正して (2) から再計算を行う。

#### (4) 非支持期、左足支持期の身体重心の位置座標の修正

非支持期における身体重心の水平、鉛直の加速度はそれぞれ  $0 \text{ m/s}^2$ ,  $g$  (下向き) である。従って、 $n1+1 \sim n2-1$  の区間における修正した身体重心の位置座標 ( $GX_j$ ,  $GY_j$ ),  $j=n1, \dots, n2-1$  は、

$$GX_j = GX'_{n2} + VH_{n2} \cdot \Delta t \cdot (j - n2)$$

$$GY_j = GY_{n2} - VV_{n2} \cdot \Delta t \cdot (j - n2) - \frac{1}{2} \cdot g \cdot \{\Delta t \cdot (j - n2)\}^2.$$

同様に、 $n3+1 \sim n4$  の区間における修正した身体重心の位置座標 ( $GX_j$ ,  $GY_j$ ),  $j=n3+1, \dots, n4$  は、

$$GX_j = GX'_{n3} + VH_{n3} \cdot \Delta t \cdot (j - n3)$$

$$GY_j = GY_{n3} + VV_{n3} \cdot \Delta t \cdot (j - n3) - \frac{1}{2} \cdot g \cdot \{\Delta t \cdot (j - n3)\}^2.$$

また、左足支持期における修正した身体重心の位置座標 ( $GX_j$ ,  $GY_j$ ),  $j=n4+1, \dots, n5$  は、

$$GX_j = GX_{n4} + (GX'_j - X'_{kj}) - (GX'_l - X'_{kl})$$

$$GY_j = GY_{n4} + (GY'_j - Y'_{mj}) - (GY'_l - Y'_{ml}), \quad (k=15, l=n4),$$

ただし、 $m$  は左足の踵、母指球、足先のうち、最も低い部位の番号。

#### (5) 連結点および部分重心位置の修正

修正した身体重心の位置座標をもとにすると、各コマにおける修正した連結点の座標 ( $X_{kj}$ ,  $Y_{kj}$ ), および部分重心の座標 ( $GX_{ij}$ ,  $GY_{ij}$ ) は、それぞれ、

$$X_{kj} = X'_{kj} - GX_j, \quad Y_{kj} = Y'_{kj} - GY_j,$$

$$GX_{ij} = GX'_{ij} - GX_j, \quad GY_{ij} = GY'_{ij} - GY_j,$$

によって求まる。

## (6) 各種力学量の算出

以上の計算によって得られた連結点の座標( $X_{kj}$ ,  $Y_{kj}$ ), 部分重心の座標( $GX_{ij}$ ,  $GY_{ij}$ )などをもとに, 前節において示した各種力学量を算出する。

## 5. シミュレーションの妥当性

シミュレーションの妥当性を, フィルム分析などから得た各種力学量の実測値とシミュレーションによる推定値との間の相互相関係数や標準誤差などをもとにして検証する。

表4-11は, シミュレーション(SIM)とフィルム分析(FLM: 実験1のデータ)におけるストライド, ピッチ, 走速度を, 分類した各群ごとに比較したものである。全速走, 中速走, 低速走とも, シミュレーションにおける各群のストライド, ピッチ, 走速度は, フィルム分析から得られた値の平均値 $\pm 0.5 \cdot$ 標準偏差の範囲内であった。従って, シミュレーションによって得られた各種力学量の推定精度は, 全ての試技において同程度だと考えられる。

そこで, ここでは, TA群の固有の走フォームを用いた全速走動作における実測値(14名の平均値)と推定値とを比較しながら, シミュレーションの精度について検討する。

### (1) 走フォーム, 走速度, ストライド, ピッチ

シミュレーション(SIM), フィルム分析(FLM)から得られたそれぞれの走動作を, 図4-29に示す。図からわかるように, SIMから得た走動作は, FLMから得られたものとよく一致していた。また, ストライド, ピッチ, 走速度も, FLMによるそれぞれの値の平均値 $\pm 0.5 \cdot$ 標準偏差の範囲内であった(表4-11)。従って, 各コマの時間間隔や, それぞれの時刻における身体各部分の位置に関しては, SIMとFLMとの一致度は高いと言えよう。

### (2) 身体各部分の角加速度および重心加速度

本研究のシミュレーションでは, 支持期における身体重心の平均水平速度を入力データとしたことから, 速度, 角速度などの変量におけるSIMとFLMとの一致度



はおのずと高くなっていた（表4-12, 13）。この様な理由から、SIMによる推定精度を更に厳しく評価するために、次に角加速度、加速度を対象に検討する。

表4-14は、身体各部分の角加速度におけるSIMとFLMとの相互相関係数、および標準誤差を示したものである。四肢の各部分におけるSIM-FLM間の相互相関係数は、いずれも0.91以上であったが、頭部や胴部ではかなり低く、これらの部分の角加速度では、SIMとFLMとの一致度は悪いことがわかる。

図4-30は、SIMとFLMのそれぞれによって得た四肢、体幹、全身の重心の水平および鉛直加速度を比較したものである。ただし、FLMから得た各値では、14名の平均値および平均値±標準偏差を示した。また、SIMおよびFLMから得られた全身の重心加速度のそれぞれと、地面反力（GRF）から算出した値との間の相互相関係数、標準誤差を表4-15に示す。

四肢の各部分における重心加速度（図4-30）では、SIMとFLMとは変動範囲やパターンが良く一致していた。実際、これらの変量ではSIM-FLM間の相互相関係数は0.91以上であり、標準誤差も各変量の変動範囲に比べて小さかった。しかし、体幹や全身における水平成分では、SIM-FLM間の相互相関係数は0.80以下であり、パターンの一致度が悪かった。

一方、全身の重心の水平加速度におけるSIM-GRF間の相互相関係数は0.86以上であり、FLM-GRF間に比べてかなり高い一致度を示した（表4-15）。

体幹では疾走中の速度変化が小さいことから、フィルム分析によって得られた体幹重心の水平加速度には、相対的に大きな誤差が混入している可能性がある。さらに、体幹の質量が大きいため、この様な誤差の全身の重心加速度への影響は大きく、その結果、これらの変量におけるSIM-FLM間、あるいはFLM-GRF間の相互相関係数が低くなったと考えられる。GRFから得た全身の重心加速度に含まれる誤差がFLMの場合に比べてかなり小さいことを考え合わせると、SIMから得た体幹や全身の重心加速度に含まれる誤差もFLMの場合に比べて小さいと考えられる。

また、上述のことを考慮すると、フィルム分析では体幹の各測定点の位置座標に混入した誤差も大きいと考えられ、このことが、頭部や胴部の角加速度において、SIM-FLM間の一致度が悪くなった原因の1つと推測される。

以上のことから、シミュレーションにおける位置や角度、およびそれらの変化

を微分して得られた速度，角速度，加速度，角加速度の推定値は，フィルム分析から得られたそれぞれの値に比べて高い精度を持つと考えられる．従って，これらの値を用いれば，関節筋トルクなどの動力学的変量をも精度良く推定することが可能であろう．

このことから，本研究のシミュレーションにおいて形態や走フォームを変えた場合にも，各変量を精度良く推定でき，これらの変量を用いることによって，形態の走動作への影響や形態の特徴に適した走動作を明確にすることができよう．

## 第5章 形態的要因が身体部分係数におよぼす影響

形態的要因が走動作におよぼす影響や形態に適した走動作を生力学的観点から究明するためには、まずその基礎として、各種力学量の算出に必要な身体部分係数(BSP)に、形態的要因がどのような影響をおよぼしているかを明らかにしておく必要がある。ここでは、前章に示した基準に従って分類した長身(TA)群と短身(SH)群、Muscular(MU)群とSkinny(SK)群における各種形態測定値をもとに、形態的要因がBSPにおよぼす影響について検討し、さらに身長あるいは体型によって分類した各群の形態やBSPの特徴などを明らかにした。

### 第1節 身長が身体部分係数におよぼす影響

#### 1. TA群とSH群における形態的相違

TA群とSH群における身長、身体質量、中胚葉値、身体重心高(身長に対する足底からの比)を表5-1に示す。両群間には、身長において約10cm、身体質量において約7.7kgの有意な差が見られたが、中胚葉値、身体重心高には明確な差は見られなかった。

図5-1は、身体各部分の長さ、周囲長の絶対値および相対値における平均値と標準偏差をもとに、TA群、SH群の形態を模式的に表示して比較したものである。相対値については、長さを身長に対する比で、周囲長を部分長に対する比で表わした。また、両群間の平均値に関する有意差( $p < 0.1$ )を、線の種類によって区別した。即ち、対応する部分の長さの違いは実線(より長い)と破線(より短い)によって、周囲長の違いは線の太さ(太い線:周囲がより長い、細い線:周囲がより短い)によって区別した。

また、被験者群Aの形態測定値から求めた各部分の長さや周囲長の絶対値および相対値と身長との相関係数を表5-2に示す。

図5-1からわかるように、絶対値では各部分の長さにおいてTA群がより大きく、相対値では、大腿の長さにおいてTA群がより大きくなっていた。また、

平均値に明確な差は現れていないが、各部分の周囲長と身長の間にも正の相関が見られた(表5-2)。

これらの結果から、本研究の被験者では、身長の高い者ほど各部分長や大腿の相対長は長く、TA群とSH群の間の身体のプロポーションには相違があると言えよう。一方、周囲長は身長の高い者ほど絶対値が大きい傾向はあるが、体型の差が小さい場合には、その相対値に明確な差は現われず、TA群とSH群におけるそれぞれの身体部分はほぼ相似形と見なすことができると考えられる。従って、身体質量における両群間の相違は、身長そのものの相違に伴う各部分の大きさの相違によると言えよう。

上述した傾向は、Martin and Saller,<sup>96,97)</sup> Kouchi<sup>89)</sup>の報告に見られる長身者と短身者との間の各種形態測定値の相違とも一致するものであった。

## 2. 身長がBSPにおよぼす影響

TA群とSH群におけるBSPの絶対値を表5-3に、相対値を表5-4に示す。また図5-2は、本研究の被験者群Aのデータをもとに得られたBSPの絶対値、相対値と身長との相関係数を示したものである。ただし相対値では、各部分の質量を身体質量に対する比(質量比)で、重心位置をそれぞれの部分の長さに対する中枢端側からの比(比重心位置)で、慣性半径をそれぞれの部分の長さに対する比(比慣性半径)で示した。

### (1) 各部分の質量

絶対値では頭部、胸部、上腕、大腿、足においてTA群がより大きくなっていた(表5-3)。同様な傾向は、質量の絶対値と身長との相関係数(図5-2)からもうかがうことができる。従って、身長が大きいものほど各部分の質量は大きいと考えられ、このことは、TA群とSH群における身体質量の相違が、部分の大きさの相違によるという1.の結果を裏付けるものであろう。

一方、相対値(質量比)では、平均値に顕著な相違は見られず(表5-4)、大腿の質量比と身長との間に正の相関が見られるのみであった(図5-2)。大腿におけるこの様な傾向は、身長の高い者ほど大腿の質量比が大きくなること

を示している。これは、長身者ほど大腿が相対的に長いことによって生じたと考えられる。しかし、大腿の質量比では、標準偏差が比較的大きいことによって、両群間の平均値には明確な相違は現われなかった。

### (2) 各部分の重心位置

絶対値では頭部、胴部、上腕、大腿、下腿、足においてTA群がより大きくなっており(表5-3)、同様な傾向は、身長との相関係数(図5-2)においても見られた。しかし相対値(比重心位置)では、短身者ほど前腕や手における値が大きくなる傾向が見られるのみであり、質量の大きな部分では明確な相違は見られなかった(表5-4、図5-2)。

各部分の重心位置は、部分の長さやそれぞれの部分内の質量の分布状態(部分の形)に影響される。図5-1からわかるように、各部分ともTA群がSH群に比べて有意に長く、このことが部分重心の絶対値における両群間の相違の1つの原因と考えられる。

図5-3は上腕、体幹、脚の各部分内の質量の分布状態を、長さの影響を除去してとらえるために、それぞれの部分の長さを100%として2.5%毎に示したものである。ただし、図中のMEANはTA群、SH群の平均値を、DIFFはSH群の平均値からTA群の平均値を引いた値を示している。また、DIFFにおける縦の線分は、長いものから順に1%、5%、10%水準の有意差があることを示している。

図から、各部分内に分布する質量の大きさにはいくぶん差が見られるが、分布の形そのものに明確な相違は見られないことがわかる。このことは、両群間の部分重心の絶対値における相違が主に長さの相違によることを示しており、さらに、両群間の比重心位置に明確な差が生じなかった原因の1つとも考えられる。

### (3) 各部分の慣性半径

絶対値では、上腕、手、足を除いた部分の前後軸、左右軸回り( $k_x$ ,  $k_y$ )において、TA群がSH群に比べて大きくなっていった(表5-3)。しかし長軸回り( $k_z$ )では、上腕を除く各部分に明確な差は見られなかった。また相対値(比慣性半径)では、下腿の $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$ 、大腿の $k_z$ においてSH群がより大きくなっていった(表5-4)。これらの傾向は、身長との相関係数(図5-2)からもうかがえる。

慣性半径の絶対値は長さに影響されることを考慮すると、絶対値に見られた上述の相違は、前章に示した各部分長における両群間の相違によって生じたと考えられる。

各部分における比慣性半径は、それぞれの部分内の質量の分布状態や相対的な太さに影響される。そして図5-3に示した質量分布を見ると、SH群はTA群に比べて大腿や下腿が太く、さらに下腿では膝関節や足関節側の質量がやや大きいことがわかる。質量分布や太さのこのような相違によって、両群間の下腿や大腿の比慣性半径に相違が生じたと考えられる。しかし、TA群とSH群におけるそれぞれの部分がほぼ相似形であることにより、全体的に見ると絶対値の場合に比べて、両群間の相違が現われた部分は少なかった。

以上のことから、身長は各部分の長さとは密接な関係があり、それによって各部分の質量、重心位置、前後軸、左右軸回りの慣性半径に影響すると言えよう。また、長身者ほど大腿が相対的に長く、各部分が相対的に細いために、大腿の質量比は大きく、下肢の比慣性半径は小さくなると考えられる。

### 3. 第1節まとめ

上述の検討によって得られたTA群、SH群の形態やBSPの特徴、あるいは身長がBSPにおよぼす影響に関する知見をまとめると以下のようなになる。

(1) 身長の高いものほど身体質量は大きい。また、各部分長や大腿の相対長は長く、TA群とSH群の間の身体のプロポーションには相違がある。しかし、体型の差が小さいことから、両群のそれぞれの身体部分はほぼ相似形と見なすことができる。

(2) (1)において見られた形態の相違により、身長が高いものほど各部分の質量、前後軸、左右軸回りの慣性半径は大きい。また、身長によって大腿の相対長や各部分の相対的な太さが異なるために、長身者では大腿の質量比が大きく、下肢の比慣性半径が小さい。

## 第2節 体型が身体部分係数におよぼす影響

### 1. MU群とSK群における形態的相違

MU群とSK群における身長、身体質量、中胚葉値、身体重心高（身長に対する足底からの比）を表5-5に示す。両群間には、身体質量において約10kg、中胚葉値において約1.7の有意な差が見られたが、身長、身体重心高には明確な差が見られなかった。

図5-4は、MU群とSK群の形態を、図5-1と同様な方法で模式的に表示して比較したものである。

図に示したように、絶対値、相対値とも、肩幅、腰幅、各部分の周囲長においてMU群がより大きくなっていた。このような傾向は、これらの部分の長さ、周囲長の絶対値および相対値と、中胚葉値との相関係数（表5-6）にも現われていた。また、値を示してはいないが各身体部分の断面積においても、周囲長の場合とほぼ同様の傾向が見られた。しかし部分長（絶対値、相対値）では、中胚葉値との相関、両群間の相違は見られなかった。

これらの結果は、MU群ではSK群に比べて各部分が相対的に太いが、各部分の長さやその身長に対する比は両群ともほぼ等しいことを示している。従って、身長がほぼ同じ場合における体型（中胚葉値）の差は、骨格・筋の発達の優劣に伴う部分の形状あるいは相対的な太さの相違として現われると言えよう。そしてその結果、身体質量に約10kgの相違が生じたと考えられる。

### 2. 体型がBSPにおよぼす影響

MU群とSK群におけるBSPの絶対値を表5-7に、相対値を表5-8に示す。また、図5-5は、本研究の被験者群Aのデータをもとに得られたBSPの絶対値、相対値と中胚葉値との相関係数を示したものである。

#### （1）各部分の質量

絶対値では足を除く全ての部分においてMU群がより大きくなっており（表5-

7), 明らかに, 中胚葉値が大きいものほど各部分の質量は大きいことがわかる. 同様な傾向は, BSPの絶対値および相対値と中胚葉値との相関係数(図5-5)からもうかがうことができる. 両群間の各部分長に明確な差がないことを考慮すると, 上述の結果は, 部分の太さそのものの相違によって生じたと言えよう.

一方, 質量比では, 全ての部分において両群間の平均値に明確な相違はなかったが(表5-8), 中胚葉値との間に前腕では正の, 頭部および足では負の相関が見られた(図5-5). 相関係数に見られたこの様な傾向は, 骨格や筋の発達した者ほど体幹に近い部分の筋量が多く, 逆に抹消部分の質量が相対的に小さいことを示している. 相関係数が有意にもかかわらず両群間の前腕, 頭部, 足における質量比の平均値に明確な相違が現われなかったのは, これらに関する標準偏差が比較的大きかったことなどによると考えられる.

### (2) 各部分の重心位置

絶対値では全ての部分において両群間の平均値に明確な相違がなく, 比重心位置においても, 上腕を除いた全ての部分に差は見られなかった(表5-7, 8). しかし, 比重心位置と中胚葉値との相関係数(図5-5)では, 頭部, 上腕に正の, 足に負の相関が見られた. 相関係数に見られたこの様な傾向は, 骨格や筋の発達に伴い, 頸部や上腕中央部が太くなったことによって生じたと考えられる. 実際, 腕, 体幹, 脚の質量分布(図5-6)を見ると, MU群の部分内の質量は, 頭部ではより頸部側に, 上腕ではより肘側に, 足ではより足関節側に偏っていることがわかる.

### (3) 各部分の慣性半径

$k_x$ ,  $k_y$ では, 絶対値, 相対値とも明確な差はほとんど見られなかったが,  $k_z$ では, ほとんどの部分において絶対値, 相対値ともMU群がより大きな値を示した(表5-7, 8). 中胚葉値との相関係数(図5-5)においても, 骨格・筋の発達したもののほど $k_z$ が大きくなる傾向が見られた.

形態測定の結果を考慮すると, 慣性半径に見られたこの様な傾向は, 両群間の各部分の長さに差が無いにもかかわらず, MU群では各部分がより太いことによって生じたと考えられる(図5-4). これらの結果はYokoi, et al., Jensenら<sup>(69, 170)</sup><sup>(62)</sup>



が幼少年を対象にして行った身体部分係数に関する研究の結果ともほぼ一致するものであった。

また、MU群では脚の質量分布がより大腿側に偏っていることから(図5-6)、脚のそれぞれの部分における慣性半径や質量比に両群間の相違は現れないが、このときの股関節の前後軸、左右軸回りの脚全体の慣性半径は、MU群においてより小さいと考えられる。

以上のことから、骨格・筋の発達に着目した体型は、身体質量や各部分の太さと密接な関係があり、それによってそれぞれの部分の質量や長軸回りの慣性半径に影響すると言えよう。また、体型によって各部分間の質量の配分、部分の形状や相対的な太さが異なり、その結果、頭部や前腕などの質量比、頭部や上腕の比重心位置、各部分の長軸回りの比慣性半径に相違が生じると考えられる。さらに、脚が伸展された状態では、股関節の前後軸、左右軸回りの脚全体の慣性半径(絶対値および相対値)は、骨格・筋の発達したものほど小さくなると考えられる。

### 3. 第2節まとめ

上述の検討によって得られたMU群、SK群の形態やBSPの特徴、あるいは体型がBSPにおよぼす影響に関する知見をまとめると以下のようになる。

(1) MU群はSK群に比べて各部分が相対的に太いが、各部分の長さやその身長に対する比は両群ともほぼ等しい。従って体型(中胚葉値)の差は、骨格・筋の発達の優劣に伴う部分の形状あるいは相対的な太さの相違として現われる。

(2) (1)においてみられた形態の相違により、骨格・筋の発達したものほど、各部分の質量や長軸回りの慣性半径は大きい。また、体型の相違によって各部分間の質量の配分、部分の形状、相対的な太さなども異なり、そのために頭部や前腕などの質量比、頭部や上腕の比重心位置、各部分の長軸回りの比慣性半径に相違が生じる。さらに、脚の各部分間の質量配分の相違によって、SK群は股関節回りの脚全体の慣性半径(前後軸、左右軸回り)がより大きい。

## 第6章 形態に差のある走者固有の走動作の特徴

形態的要因が走動作におよぼす影響や形態に適した走動作を、第4章第1節に示した方法を用いて明らかにするためには、それぞれの形態的特徴を持つ走者の、固有の走動作におけるフォームを定量化しておく必要がある。また、これまでの実態調査的研究では、形態に差のある走者間の走動作の相違が明確にされているとは言えない。

ここでは、実験1から得られた結果をもとに、身長、あるいは体型（中胚葉値）によって分類した各群の走者の、固有の走動作（走フォームを含む）の特徴を、TA群とSH群、あるいはMU群とSK群の間の走動作における相違をもとにして、運動学的観点から把握する。

ただし、本研究では、走動作をいくつかの変量を用いて定量化してとらえたことから、それぞれの群内において計算した各変量の平均値によって表される走動作を各群固有の走動作とした。

### 第1節 TA群、SH群における固有の走動作の特徴

#### 1. ストライド、ピッチなどにおける相違

##### (1) ストライド、ピッチ

表6-1はTA群、SH群の低速、中速、全速走における走速度、ストライド、ピッチを、表6-2は速度段階の増加に伴う両群のストライド、ピッチの変化量を示したものである。また、各走速度におけるストライド、ピッチと身長との相関係数を表6-3に示した。

全ての速度段階において、TA群とSH群の走速度には明確な相違は見られなかった。またストライドやピッチでは、身長に約10cmの相違があるにもかかわらず、各速度段階とも両群間の平均値に明確な相違はなく、身長との相関も有意ではなかった。ストライド、ピッチに見られたこの様な結果は、これまでの報告に<sup>16, 17, 45, 46)</sup>見られた身長の相違に伴うストライドやピッチの相違とは異なっていた。

## (2) ストライド、ピッチに関係した変量

ストライドやピッチは、身体重心の高さ、支持時間、非支持時間、さらには後傾角、前傾角、離地角などと密接な関係がある。そこで、各速度段階におけるこれらの値を表6-4に、速度段階の増加に伴う各値の変化量を表6-5に示した。

接地時の身体重心高（身長に対する比）は両群とも走速度の増加に伴って低くなる傾向が見られたが、低速から高速にかけての減少量はSH群がより大きかった。その結果、両群間の直立安静時の身体重心高に差がない（表5-1）にもかかわらず、中速、全速走では、SH群の重心高が有意に低い値を示した。表に示してはいないが、このような傾向は、疾走中の全ての局面において見られた。

離地角では、各速度段階における値、速度段階の増加に伴う変化量とも両群間に明確な相違は見られなかった。

支持時間、非支持時間、跳躍比（非支持時間/支持時間）では、各速度段階の値に両群間の明確な差は見られなかった。両群の走速度に相違がないことから、支持時間、非支持時間に見られたこの結果は、それぞれの期間の重心の水平変位も両群間に差がないことを示している。

後傾角では、いずれの速度段階においても両群間に明確な差は見られなかったが、前傾角では、いずれの速度段階においてもSH群が大きく、特に低速走、全速走では有意な差が見られた。このことは、SH群は身体重心をより前方に押し出した姿勢で離地することを示している。

従って、脚が短いにもかかわらず、SH群がTA群と同程度のストライドを得たのは、いずれの速度段階においても、SH群が身体重心を前方に押し出した姿勢で離地することによって、TA群と同程度の支持期の重心の水平変位を得たことに起因すると考えられる。また、中速走、全速走では身体重心高（身長比）がTA群に比べて低いことによって、より大きな前傾角や支持期の重心の水平変位を獲得できたと考えられる。

身長に差があるにもかかわらず、両群間のストライドやピッチに明確な差が現れなかったことから、両群の疾走中の各部分の動きは異なると推測される。そこで、次にTA群とSH群の間の各部分の動きの相違を明らかにする。

## 2. 疾走中の身体各部分の動きにおける相違

TA群, SH群の疾走中の各部分の動きを脚, 体幹, 腕の各部分および各関節角度, 角速度などを用いて検討する.

図6-1は, 各速度段階におけるTA群, SH群の疾走フォームを示したものである. ただし, いずれのフォームも, それぞれの速度段階において平均化したものであり, 脚や腕における実線は右側を, 破線は左側を表す. また, 図中の番号1~8の各時点は, 順に左足離地, 右足振り戻し開始, 右足接地, 右足支持期中間点, 右足離地, 右足フォロースルー終了, 左足接地, 左足支持期中間点を示す.

### (1) 脚の動き

図6-2は, 各速度段階におけるTA群(実線)とSH群(破線)の疾走中の右脚の動きを, 右転子点をそろえてスティックピクチャーで示したものである. ただし, A図には足先の軌跡を, B図には脚重心の軌跡を併記し, 図中の番号1~8は図6-1における番号と対応して疾走中の各時点を表わす.

また, 図6-3は, 低速走におけるTA群とSH群の疾走中の右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角度(図6-3(a)), 角速度(図6-3(b))の変化を示したものである. 同様にして, 中速走, 全速走におけるこれらの値の変化を, それぞれ図6-4, 5に示した. これらの図中において, 大腿角度の正の値は膝が腰の前方にあることを, 角速度の正の値は膝が前方に送られることを示し, 各関節角速度における正の値はそれぞれの関節が伸展されることを示す. ただし, 図中に示した番号1~7は, 図6-1における番号と対応し, 疾走中の各時点を表し, 局面1-3は回復後期を, 局面3-5は支持期を, 局面5-7は回復前期を, 局面7-1は回復中期を表す.

#### ① 大腿角

図6-3(a), 図6-4(a), 図6-5(a)を見ると, 走速度が大きいほど回復期の大腿角度における両群間の相違は大きくなっていった.

低速走ではTA群の回復中期における値がSH群に比べて大きく, これはTA

群が大腿を前方により大きく送っていることを示している。さらに中速走では、TA群の回復前期における大腿角度がより大きく、右足離地後のより早期に大腿の引きつけが始まることがわかる。そして回復中期には、低速走の場合と同様にTA群の大腿はより大きく前方に送られている。また全速走では、TA群の離地時や回復前期、回復後期後半における大腿角度が大きく、大腿の前後への回転範囲がSH群に比べて小さいことがわかる。

一方、角速度（図6-3（b）、図6-4（b）、図6-5（b））を見ると、低速走、中速走とも、TA群の回復前期中半の前方への角速度がSH群に比べて大きくなっていた。しかし、中速走における回復後期の大腿の後方への角速度、および全速走における右足接地前後、支持期後半における後方への角速度、回復中期前半の角速度では、SH群がより大きくなっていた。これらのことから、速度段階が増すに連れて、SH群の大腿の引きつけや振り戻しの速度はTA群に比べて大きくなることがわかる。

このような相違は、図6-2に示した脚のスティックピクチャーからもうかがうことができる。

## ② 膝関節角

低速走では両群間の膝角度に明確な相違が見られなかった（図6-3（a））。

中速走では、接地時、離地時の膝角度に差がないにもかかわらず、SH群の支持期中半の膝関節角度はTA群に比べて小さかった（図6-4（a））。このことは、SH群の支持期における支持脚膝の屈曲・伸展の範囲がより大きいことを示している。また全速走では、回復後期後半においてTA群の膝角度はより大きくなっていた（図6-5（a））。さらに、これらのことから、走速度が増すにつれて、TA群は、SH群に比べて膝を伸展した状態で接地するようになることもわかる。

一方、角速度（図6-3（b）、図6-4（b）、図6-5（b））を見ると、低速走では、回復前期のTA群の屈曲速度がSH群に比べて大きくなっていた。中速走では、回復前期の屈曲速度、回復後期の伸展速度においてTA群が大きく、支持期後半の伸展速度においてSH群が大きくなっていた。全速走では、支持期前半の屈曲速度、支持期後半の伸展速度、回復期の屈曲速度に両群間の相違が見られたが、中速、低速走の場合ほど明確ではなかった。

### ③ 足関節

足は、質量そのものは小さいが支持期において地面と接し、大きな力を直接的に受けることから、支持中の足関節の角度や角速度の変化が特に重要だと考えられる。そこで、支持期における足関節角に着目して両群間の相違などを検討する。

図6-3(a)、図6-4(a)、図6-5(a)を見ると、低速走では、SH群の支持期における足関節の伸展がより早期に行われていることがわかる。また中速走では、TA群はより足関節を伸展した状態で接地している。しかし、全速では両群間に明確な相違は見られなかった。

角速度(図6-3(b)、図6-4(b)、図6-5(b))では、低速走においてSH群の支持中の屈曲速度、伸展速度がより急激に変化していたのみで、中速走、全速走では両群間に相違は見られなかった。

これらのことは、低速走では、支持中の足関節の伸展範囲、屈曲や伸展の速度に両群間の相違はあるが、走速度の増加に伴い、このような相違は小さくなることを示している。

①、②、③において述べたことから、両群の角度や角速度の変化の仕方はほぼ同じであり、両群間の相違は各変量の大きさに現われると考えられる。また、これらの相違は大腿角、膝関節角において大きく、走速度が大きいほど顕著に現われると言えよう。

このような相違から、TA群では、疾走中の大腿の動作範囲を小さくし、長い脚をより早期に前方に送り、その結果、SH群とほぼ同じ時間内に適切な接地姿勢をとることができたと考えられる。また、身体重心をより高く保ち、支持脚膝を伸ばした姿勢で接地すること、および脚がより長いこと(図5-1)によって、支持脚大腿の動作範囲が小さいにもかかわらず、SH群と同程度の水平変位を獲得できたと考えられる。そして、このような脚の動きによって、ピッチにおいて不利とされているTA群においても、ストライドを低下させることなくピッチを高めることが可能になると考えられる。

一方、SH群では、疾走中の大腿の動作範囲を大きくし、脚全体を大きく回して前方に送り、次の接地姿勢をとっている。さらに、走速度が大きいほど、支持脚の膝をTA群に比べて屈曲した姿勢で接地し、支持脚大腿の回転の範囲や速度を大きくすることによって、脚が短いにもかかわらず、支持期にTA群と同程度

の水平変位が獲得できたと考えられる。また、脚を大きく回しているにもかかわらず、TA群と同程度の時間内に適切な接地姿勢をとることができたのは、脚の各部分における慣性半径や質量がより小さい（表5-3）のために、大腿のより速い回転が可能になったことによるものであろう。この様な動きによって、SH群はストライドにおいて不利にもかかわらず、ピッチを低下させることなくストライドを大きくすることが可能になると考えられる。

## （2）腕の動き

図6-6は、低速走におけるTA群とSH群の疾走中の右上腕および肘関節の角度（図6-6（a））、および角速度（図6-6（b））の変化を示したものである。また、図6-7、8は、それぞれ中速走、全速走におけるこれらの値を図6-6と同様にして示したものである。これらこれらの図中において、上腕角度の正の値は肘が肩の前方にあることを、角速度の正の値は肘が前方に送られることを示し、肘関節角速度における正の値は関節が伸展されることを示す。

低速走、中速走では、上腕、肘関節における角度や角速度の変化に、両群間の明確な相違は見られなかった（図6-6、7）。

全速走では、回復前期および中期においてSH群の上腕の角度がTA群に比べて大きく、この局面にSH群の肘はより前方に出されていることがわかる。また肘関節角の変動範囲もSH群においてより大きかった（図6-8（a））。一方、上腕の角速度は、回復中期（負）および後期（正）においてSH群がより大きくなっていった。しかし、両群の肘関節角速度には、明確な相違は現われなかった（図6-8（b））。

上腕や肘関節の角度、角速度に見られた両群間の相違は、脚の場合と同様に、走速度が大きいほど顕著に現われていた。

一般に、走における腕の役割は、身体<sup>115)</sup>のバランスの保持や脚の動きを助けることにある。このことを考慮すると、上述の結果から、SH群は腕を前方に大きく、速く振っており、それによって、支持期後半や回復前期における脚の大きく速い回転を助けていると考えられる。一方、TA群では前方への振りが小さく、これは支持期や回復期における脚の回転範囲を制限することに役立つと考えられる。

### (3) 体幹

体幹は疾走中の姿勢やその変化が少ないことから、離地時の胴部の角度に着目して、体幹の姿勢における両群の特徴を明らかにする。表6-6は低速、中速、全速走における、TA群、SH群の離地時の胴部の角度を示したものである。また表6-7は、速度段階の増加に伴う、両群の胴部角度の変化量を示したものである。

両群とも走速度が大きいほど、胴部を起こしていた。しかし、両群間の胴部角度の相違は走速度が大きいほど大きく、特に全速走ではSH群が有意に大きな前傾を示していた。しかし、速度段階の増加に伴う変化量には、両群間の明確な相違は見られなかった。

これらのことから、走速度が大きいほど、SH群はTA群に比べて体幹を前傾した姿勢で走行すると考えられる。股関節の前後の可動範囲<sup>(102)</sup>を考慮すると、SH群の胴部のより大きな前傾は、支持中の支持脚大腿の動作範囲を大きくするのに役立つと考えられる。また、TA群の胴部のより小さな前傾は、支持期後半や回復前期における大腿の動作範囲を小さくするのに役立つと考えられる。

### 3. TA群、SH群における固有の走動作の特徴(第1節まとめ)

これまでの検討から、TA群とSH群の間のストライド、ピッチに関する変量、各部分の動きなどにおける相違が明らかになった。また、各群の動きの相違は脚において最も顕著であり、体幹や腕の動きにおける相違はそれぞれの群における脚の動きを効果的に助けるために生じたものと考えられた。

さらに、これらの相違は、走速度が大きいほど大きくなっていった。従って、走速度が大きいほど身長<sup>(103)</sup>の走動作への影響は大きくなると推測される。

図6-9は、これらの相違をもとに、TA群、SH群の固有の走動作を模式的に示したものである。それぞれの群の走動作の特徴をまとめると次のようになる。

#### (1) TA群の固有の走動作における特徴

① 疾走中に大腿の動作範囲を制限し、回復期に膝の屈曲・伸展の速度を大きくすることによって、長い脚をより早期に前方に送り、SH群とほぼ同じ時間内



に適切な接地姿勢をとる。

② 疾走中に身体重心をより高く保ち、支持脚の膝を伸ばした姿勢で接地することによって支持期の重心の水平変位の減少を少なくする。

③ 体幹を起こし、支持期後半から回復期前期にかけての腕の前方への振りを小さくすることによってこの期間の脚の回転範囲を制限する。

④ この様な動作は、走速度が大きいほど顕著に現われる。

## (2) SH群の固有の走動作における特徴

① 疾走中に身体重心を低くし、支持脚の膝を屈曲した姿勢で接地するとともに、支持脚大腿の動作範囲や速度を大きくすることによって、支持期にTA群と同程度の重心の水平変位を獲得する。

② 離地時に重心をより前方に押し出すことによって、回復前期に大腿の動作範囲が大きくなり、脚全体は大きく回される。しかし回復期における大腿の回転の速度を大きくすることによって、TA群と同程度の時間内に適切な接地姿勢がとられる。

③ 体幹を前傾し、支持期後半から回復期前期にかけての腕の前方への振りを大きくすることによって、支持脚の回転範囲を大きくするのを助ける。

④ この様な動作は、走速度が大きいほど顕著に現われる。

## 第2節 MU群、SK群における固有の走動作の特徴

### 1. ストライド、ピッチなどにおける相違

#### (1) ストライド、ピッチ

表6-8は、MU群、SK群の低速、中速、全速走における走速度、ストライド、ピッチを、表6-9は、速度段階の増加に伴うこれらの値の変化量を示したものである。また、各速度段階におけるストライド、ピッチと中胚葉値との相関係数を表6-10に示した。

いずれの速度段階においてもMU群とSK群の間の走速度、ピッチに明確な相違は見られなかった。またストライドでは、低速走においてSK群が大きな値を

示し、中胚葉値との間にも負の相関が見られたが、他の速度段階や速度段階の増加に伴う変化量に両群間の相違は見られなかった。

## (2) ストライド、ピッチに関係した変量

表6-11, 12は、それぞれMU群とSK群のストライドやピッチと関係の深い変量の各速度段階における値、速度段階の増加に伴うこれらの変化量を、表6-4, 5と同様なかたちで示したものである。

身体重心高や離地角では、各速度段階における値や速度段階の増加に伴う変化量に両群間の相違は見られなかった。

一方、走速度が大きいほど支持時間はMU群が、非支持時間はSK群が大なる値を示す傾向が見られ、このため、SK群の跳躍比(非支持時間/支持時間)もMU群に比べて大きくなっていった。特に全速走では、支持時間や跳躍比に有意な差が見られた。両群の各部分の長さはほぼ等しく(図5-4)、走速度にも明確な差がないことを考慮すると、上述の結果は、走速度が大きいほど支持期の重心の水平変位はMU群が、非支持期の水平変位はSK群がより大きいことを示している。

また、速度段階の増加につれて後傾角における両群間の相違が大きくなり、全速走ではMU群が有意に大きな値を示していた。逆に前傾角では、低速走において有意差は見られたものの、速度段階の増加に伴って両群間の相違は小さくなっていった。後傾角における上述の結果は、走速度の増加に伴ってMU群では支持足がより重心の前方に接地して支持期前半の重心の水平変位がより長くなることを、逆にSK群ではより重心の真下近くに接地し支持期前半の水平変位がより短くなることを示している。このことによって、MU群はSK群に比べて支持期の重心の水平変位が大きく、非支持期の水平変位が小さくなったと考えられる。

(1), (2)に示した結果から、ストライドやピッチに明確な差はないが、走速度の増加に伴い、MU群は重心のより前方に接地し、支持期の身体重心の水平変位(支持時間)がSK群に比べて長くなると考えられる。逆にSK群は、より重心の真下近くに接地することにより、非支持期の水平変位(非支持時間)がMU群に比べて長くなると考えられる。

両群間のこのような相違は、動作そのものにも反映されることが考えられることから、

次に各部分の動きにおける両群間の相違を明らかにする。

## 2. 疾走中の身体各部分の動きにおける相違

MU群、SK群の疾走中の各部分の動きを脚、体幹、腕の各部分および各関節角度、角速度などを用いて検討する。

図6-10は、各速度段階におけるMU群、SK群の疾走フォームを、図6-1と同様にして示したものである。

### (1) 脚の動き

図6-11は、各速度段階におけるMU群(実線)とSK群(破線)の疾走中の右脚の動きのスティックピクチャーを、図6-2と同様にして示したものである。

図6-12は、低速走におけるMU群とSK群の疾走中の右脚の大腿、膝関節、足関節の角度(図6-12(a))、角速度(図6-12(b))の変化を、図6-3などと同様にして示したものである。また図6-13、14は、それぞれ中速、全速走におけるこれらの値の変化を、図6-12と同様にして示したものである。

#### ① 大腿角

角度(図6-12(a)、図6-13(a)、図6-14(a))を見ると、いずれの速度段階においても、SK群の回復前期、中期における大腿角は、MU群に比べて小さな値を示す傾向が見られた。特に、低速走の回復中期後半、全速走の離地時前後および回復中期では有意な差が見られた。これらのことは、SK群では離地後の大腿の後方への送りが小さく、大腿をより早期に引きつけ、前方へ大きく送っていることを示している。また、このような傾向は速度段階の増加に伴って顕著に現われていた。大腿の動きにおけるこの様な相違は、図6-11に示した脚のスティックピクチャーからもうかがうことができる。

一方、角速度(図6-12(b)、図6-13(b)、図6-14(b))を見ると、いずれの速度段階でもSK群における回復期の大腿の引きつけおよび振り戻し速度は、MU群に比べて大きな値を示す傾向が見られたが、走速度が大きいほどこの様な相違は小さくなっていた。

#### ② 膝関節角

SK群の膝角度（図6-12（a），図6-13（a），図6-14（a））は，いずれの速度段階でも回復期においてより小さく，特に，中速走における回復期全体，全速走における回復中期において顕著であった．このことは，これらの期間にSK群がMU群に比べて膝をよく屈曲して走行することを示している．

また，中速走では支持期の膝角度に明確な差は見られなかったが，低速走における支持期中間点前後，全速走における接地，離地の前後の膝角度は，SK群がより小さくなっていた．このことは，SK群はMU群に比べて膝を曲げた状態で接地や離地を行い，さらに支持期の膝の屈曲・伸展が小さいことを示している．

一方，角速度（図6-12（b），図6-13（b），図6-14（b））を見ると，低速走では，支持期の伸展速度および回復前期の屈曲速度においてSK群がより大きくなっていたが，中速走，全速走では両群間に明確な相違は現われなかった．

### ③ 足関節

図6-12～14を見ると，いずれの速度段階でも，両群間の支持期における足関節角度，角速度に明確な差は見られなかった．

①，②，③において述べたことから，TA群とSH群の場合と同様に，両群の角度や角速度の変化の仕方はほぼ同じであり，両群間の相違は各変量の大きさに現われていることがわかる．また，これらの相違は大腿角，膝関節角において見られ，しかも速度段階の増加に伴って大きくなっていた．

即ちMU群では，回復期に大腿を身体の後方で大きく回転した後，膝をSK群に比べて伸展した状態で接地し，さらに支持期に膝の屈曲・伸展の範囲を大きくしている．一方，SK群では，回復期に膝をよく曲げ，大腿を身体の前方で大きく回転し，膝の屈曲を大きくして接地しているが，支持期の膝の屈曲・伸展の範囲は小さい．その結果，図6-11からわかるように，MU群では速度が大きいほど，足先が腰の後方で大きく回されるのに対し，SK群では腰の前方で大きく回され，回復中期，後期には足先の進行方向がよりなめらかに変化して次の接地に至っている．

また，速度段階の増加につれてMU群の後傾角がより大きくなったのは，MU群では支持脚膝がより伸展されて接地していたこと，およびこのとき回復脚が身体より後方にあったことによるものであろう．これによって，支持期前半の時

間が長くなり、身体質量が大きいMU群においても支持期前半の地面からの衝撃力を効果的に軽減できると考えられる。実際、MU群の支持期前半の鉛直地面反力（単位質量あたり）は、いずれの速度においてもSK群に比べて小さな値を示す傾向が見られた（図6-15）。

一方、SK群におけるより長い非支持時間や上述の脚の動きは、回復期における足先の加速時間を長くするのに役立つと考えられる。これによって、股関節の左右軸回りの脚全体の慣性半径が大きいSK群においても、回復期終了時にMU群とほぼ同じ大きさの足先速度（重心に対する足先の水平速度）を得ることができよう。

## （2）腕の動き

図6-16（a），（b）は、低速走におけるMU群とSK群の疾走中の右上腕および肘関節の角度，および角速度の変化を，図6-6などと同様にして示したものである。また，図6-17，18は，それぞれ中速走，全速走におけるこれらの値を図6-16と同様にして示したものである。

角度（図6-16（a），図6-17（a），図6-18（a））を見ると，いずれの速度段階においても，SK群は支持期後半から回復前期前半にかけての上腕角度が大きく，回復後期の肘角度が小さくなっていた。また角速度（図6-16（b），図6-17（b），図6-18（b））では，上腕の前方および後方への速度がSK群においてより大きい傾向を示していたが，肘関節角速度に明確な相違は見られなかった。

これらのことから，いずれの速度段階においても，SK群は肘をより屈曲して，腕を肩の前方で大きく，速く振っていることがわかる。一方，MU群では肘角度が大きく，腕の肩の前方での振りは小さい。このような傾向は，脚の場合と同様に，走速度が大きいほど顕著に現われていた。

## （3）体幹

体幹は疾走中の姿勢やその変化が少ないことから，TA群とSH群の場合と同様に，離地時の胴部の角度に着目して，体幹の姿勢における両群の特徴を明らかにする。表6-13は低速，中速，全速走におけるMU群，SK群の離地時の胴

部の角度を、表6-14は速度段階の増加に伴う両群の胴部角度の変化量を示したものである。

両群とも走速度が大きいほど、胴部を起こしていたが、低速、中速間の胴部角度の変化量はSK群が大きく、中速、全速間の変化量はMU群がより大きくなっていた。その結果、中速走における両群間の胴部角度には有意な差が見られた。

胴部が起こされているほど、大腿の後方への可動範囲が小さくなることを考慮<sup>102)</sup>すると、SK群では、胴部をより起こすことによって中速走の段階ですでに大腿の後方への送りが制限されていると考えられる。

### 3. MU群、SK群における固有の走動作の特徴（第2節まとめ）

これまでの検討から、TA群とSH群の間の相違に比べて小さいが、MU群とSK群の走においてもストライド、ピッチに関する変量、各部分の動きなどに相違があることが明らかになった。また、各群の動きの相違は脚において最も顕著であった。

さらに、上述の相違は走速度が大きいほど大きくなっていった。このことから、走速度が大きいほど体型の走動作への影響は大きいと推測される。

図6-19は、これらの相違をもとに、MU群、SK群における固有の走動作を模式的に示したものである。それぞれの群の走動作の特徴をまとめると次のようになる。

#### （1）MU群の固有の走動作における特徴

① 支持時間を長くし、支持期前半の地面からの衝撃力を軽減できる動きを用いて走行する。

② 回復脚大腿を身体の後方で大きく回した後、より膝を伸ばして重心のより前方に接地する。さらに、支持脚膝の屈曲・伸展の範囲を大きくすることによって支持期前半の時間を長くする。

③ この様な動作は、走速度が大きいほど顕著に現われる。

#### （1）SK群の固有の走動作における特徴

- ① 回復脚足先の振り戻し時間を長くできる走法を用いて走行する。
- ② 離地後の回復脚大腿の後方への動きが小さく、その後、大腿を身体の前方で大きく回し、より膝を曲げて接地する。支持脚膝の屈曲・伸展の範囲は小さい。
- ③ 体幹を起こして走行することによって、離地後の脚の後方への動きを制限したり脚をより早期に前方へ送ることを助ける。
- ④ この様な動作は、走速度が大きいほど顕著に現われる。

## 第7章 形態的要因が走動作におよぼす影響

前章において、TA群、SH群、MU群、SK群のそれぞれにおける固有の走動作やそのフォームの特徴が明らかになった。そしてこれらの特徴は、形態が走動作に影響するために動作などが変容した結果生じたと推測された。

しかし、それぞれの群から得られた固有の走フォームが異なるために、前章の結果のみでは形態の走動作への影響そのものを明確にすることは難しい。そこで、ここでは、形態に差のある走者が同じ走フォームを用いて行った走動作を比較することによって、形態的要因が走動作におよぼす影響を明らかにする。

ただし、この課題を明らかにする際には、シミュレーションによって推定したデータを用い、実験2のデータによってシミュレーションから得られた結果を補足しながら検討を行う。

### 第1節 身長が走動作におよぼす影響

走者TA(TA群の形態を持つ走者)、走者SH(SH群の形態を持つ走者)が、走フォーム $t_a$ (TA群固有の走フォーム)および走フォーム $s_h$ (SH群固有の走フォーム)を用いて行った走動作( $TA+t_a$ ,  $TA+s_h$ ,  $SH+t_a$ ,  $SH+s_h$ )における各種力学量をもとに、TAとSHの同じ走速度、走フォームによる走動作を比較すること( $TA+t_a$ と $SH+t_a$ の比較、および $TA+s_h$ と $SH+s_h$ の比較)によって、身長の走動作への影響を明らかにする。

シミュレーションによって推定したそれぞれの走における走速度を、表7-1に示した。いずれの速度段階においても、4種の走における走速度はほぼ等しいと考えられた。ただしシミュレーションでは、TA、SHの形態に関するデータとして被験者群Aの値(第5章第1節に示したTA群、SH群の値)を、走フォーム $t_a$ ,  $s_h$ に関するデータとして実験1から得たもの(第6章第1節に示したもの)を用いた。

表7-2は実験2におけるTA群とSH群の身体的特性を、表7-3は両群の各試技における走速度を示したものである。また、図7-1はそれぞれの群が走



フォーム t a, s h を用いて走行したときの右脚の動きのスティックピクチャーを、図 6-2 などと同様なかたちで示したものである。

実験 2 における被験者の身体的特性では、身長において両群間に有意な差が見られたが、他の項目では明確な差は見られなかった。このような結果は、第 5 章において述べた T A 群と S H 群の間の身体的特性の相違とほぼ一致していた。従って、実験 2 の被験者として用いた T A 群、S H 群の形態や B S P に対して、第 5 章第 1 節において述べた結果を適用することができると考えられる。

また、実験 2 のそれぞれの速度段階における各試技の走速度は、必ずしも等しいとは言えず、シミュレーションにおける走速度と大きく異なっているものもいくつかあった。しかし、図 7-1 から、いずれの群においても、走フォーム t a, s h の間の脚の動きにおける相違は、実験 1 における T A 群と S H 群の間の脚の動きの相違（図 6-2）とある程度一致するものであった。

従って、実験 2 から得られた結果のうち、少なくとも運動学的変量については、シミュレーションから得られた結果を確認するためのデータとして用いることが可能であろう。

## 1. ストライド、ピッチなどへの影響

### (1) ストライド、ピッチ

図 7-2 (a) はシミュレーションから得た低速、中速、全速走における、走フォーム t a を用いた疾走中のストライド、ピッチを、図 7-2 (b) は走フォーム s h を用いた走におけるこれらの値を比較したものである。

いずれのフォームの場合にも、走者 T A は S H に比べてストライドが大きく、逆にピッチは低くなっていた。これらの結果は、これまでに報告された長身者と短身者の間のストライドやピッチにおける相違と一致するものであった。<sup>16, 17, 45, 46)</sup> また、走速度が大きいほどストライドやピッチの相違は大きくなっていた。

図 7-3 (a), (b) は、実験 2 の中速、全速走において、T A 群、S H 群が同じ走フォームで走行したときの走速度、ストライド、ピッチを比較したものである。いずれの速度段階、走フォームの場合にも、シミュレーションの結果と同様にストライドは T A 群が、ピッチは S H 群がより大きな値を示す傾向が見ら

れた。しかし、走フォーム s h を用いた全速走 (TA + s h, SH + s h) では、TA 群と SH 群の間の走速度にも有意な差が見られた。

一般に、走速度が大きい場合には、速度の増加に伴いピッチは急激に増加するが、ストライドの増加はわずか<sup>30, 92, 156)</sup>である。このことを考慮すると、実験 2 の全速走の走フォーム s h の試技において、TA 群が SH 群と同じ走速度で走行したとすれば両群のピッチの相違は小さくなるが、ストライドの相違は変化しないと推測される。従って、両群が同じ速度で走行したとしても、明らかにストライドは TA 群が大きいと考えられる。

## (2) ストライド、ピッチに関係した変量

図 7-4~8 は、シミュレーションから得られた各速度段階におけるストライドやピッチに関係した変量を、走フォームごとにまとめて示したものである。

身長に対する比でみた場合には、各速度段階における離地時の身体重心高 (図 7-4) や支持期、非支持期における身体重心の水平変位 (図 7-5, 6) には、いずれの走フォームの場合にも走者 TA と SH の間に明確な差は見られなかった。

また、それぞれの速度段階の後傾角、前傾角においても、身長比でみた重心高や水平変位の場合と同様に、両走者間に明確な差は見られなかった (図 7-7, 8)。

表 7-4 は、実験 2 において TA 群と SH 群が同じフォームで走行したときのストライドやピッチに関係した変量を、速度段階ごとに比較したものである。

離地時の重心高 (身長に対する比) は、中速走における走フォーム s h の場合には SH 群が大きな値を示していたが、他の場合には両群間に明確な差は見られなかった。支持期および非支持期の重心の水平変位 (いずれも身長に対する比) では、全速走における両群の値の間に有意差は見られなかったが、中速走においては TA 群がより大きな値を示していた。これは、中速走における TA 群のストライドが SH 群に比べて著しく大きかったためと考えられる (図 7-3)。一方、後傾角 (BLA) や前傾角 (FLA) では両群間に明確な差は見られなかった。従って、実験 2 におけるこれらの結果は、多少の相違はあるものの、シミュレーションから得られた両走者間の相違とある程度一致すると考えられた。

シミュレーションの結果をもとにすると、いずれの走フォームの場合にも離地

時の身体重心高や支持期、非支持期における身体重心の水平変位（いずれも身長に対する比）に、走者TAとSHの間の明確な相違が見られなかったことは、逆にこれらの値の絶対値では走者TAがより大きいことを示している。また、走速度はほぼ等しいが、支持期、非支持期における重心の水平変位の絶対値では走者TAがより大きいことから、それぞれの区間に要した時間もTAが長いと考えられる。

離地時の身体重心高、後傾角、前傾角などは、支持足先と身体重心との鉛直あるいは水平距離によって決まる。しかし、TAとSHの間の身長に約10cmの相違があっても、身体のプロポーション、各部分の質量比や比重心位置における両者の相違は小さい（第5章第1節）。これらのことを考え合わせると、接地時、離地時における両者の姿勢が同じ場合には、支持足先と身体重心との水平および鉛直距離の相違が身長や脚長のみの相違によって生じることがわかる。この様な理由から、後傾角、前傾角、さらには身長比でみた身体重心高や水平変位におけるTAとSHの値はほぼ等しくなったと考えられる。

(1)、(2)において述べたことから、走速度や走フォームが同じ場合には、身長が高いほどストライドや支持時間、非支持時間は長く、逆にピッチは低くなり、さらに、この様な影響は走速度が大きいほど大きくなると言えよう。そして、ストライド、ピッチやこれらに関する変量には長さそのものが影響すると考えられる。また、身長差が約10cmあっても、それに伴うプロポーション、質量比や比重心位置などにおける相違がわずかであるために、これら相違の、ストライドやピッチなどへの影響は小さいと考えられる。

## 2. 各部分の動きへの影響

図7-9は、シミュレーションから得た走者TA、SHの走フォーム $t_a$ による疾走中のスティックピクチャーを、図6-1などと同様にして、速度段階ごとに示したものである。同様に、走者TA、SHが走フォーム $s_h$ を用いた疾走中のスティックピクチャーを図7-10に示した。

シミュレーションの仮定から、いずれのフォームを用いた場合にもTAとSH

の各時刻（走の1周期の時間を200%とした）における各部分の角度は等しい。また、体幹は疾走中の姿勢の変化が他の部分に比べて小さい。これらのことから、脚や腕を対象に、足先の軌跡、部分および関節の角速度などをもとに、身長各部分の動きへの影響を検討する。

図7-11~13は、それぞれ低速、中速、全速走において、走者TAとSHが走フォームtaを用いた疾走中の右腕の上腕、肘関節、右脚の大腿、膝関節、足関節の角速度の変化（シミュレーションから得た値）を示したものである。同様にして、各速度段階において走フォームshを用いた場合のこれらの値の変化を、図7-14~16に示した。これらの図中において、上腕、大腿の正の角速度は肘あるいは膝が前方に送られることを示し、各関節の正の角速度はそれぞれの関節が伸展されていることを示す。ただし、図中に示した番号1~7は、図7-9における番号と対応して疾走中の各時点を表し、局面1-3は回復後期を、局面3-5は支持期を、局面5-7は回復前期を、局面7-1は回復中期を表す。

また、表7-5, 6は、それぞれ実験2から得た、中速、全速走における走フォームtaを用いた疾走中の各局面の右脚の大腿、膝関節、足関節の平均角速度を示したものである。同様に走フォームshを用いた場合におけるこれらの値を表7-7, 8に示した。ただし、これらの表においても、大腿の正の角速度は膝が前方に送られることを示し、各関節の正の角速度はそれぞれの関節が伸展されていることを示している。また局面1-3は回復後期を、局面3-4は支持期前半を、局面4-5は支持期後半を、局面5-7は回復前期を、局面7-1は回復中期を表す。

### (1) 脚の動き

各速度段階における角速度を見ると、シミュレーションによる推定値では、いずれの走フォームを用いた場合にも、走者SHの大腿、膝関節、足関節における正および負の角速度やそれらの変化は、全ての局面において、それぞれのフォームを用いて走行した走者TAの値より大きいことがわかる（図7-11~16）。

また、走実験2の結果では、いずれの速度段階、走フォームの場合にも、有意差は少ないが、シミュレーションと同様に大腿、膝関節、足関節ともSH群が大部分の局面においてより大きな角速度を示す傾向が見られた（表7-5~8）。

これらの結果は、同じフォームで走行した場合には、走者SHはより大きな角速度、角加速度を発揮して大腿の回転や膝関節、足関節の屈曲・伸展を行うことを示している。

図7-17は、シミュレーションから得た走者TA（実線）とSH（破線）の、走フォームtaによる疾走中の右脚の動きを、図6-2などと同様にして示したものである。同様に、これらの走者がフォームshを用いて行った走における右脚の動きを図7-18に示した。また、実験2から得た両群の疾走中の右脚の動きを、走フォームごとに図7-19に示した。

実験2の場合にはTA群とSH群が全く同じ走フォームで走行できたとは言えない（図7-19）。しかし、シミュレーションや実験2では、いずれの速度段階、走フォームを用いて走行した場合にも、走者TA（またはTA群）は、走者SH（またはSH群）がそれぞれのフォームを用いた場合に比べて足先や脚重心を腰のより下方で大きく回していた（図7-17～19）。

角速度に見られた両走者間の相違は、SHのピッチがより高いにもかかわらず、両走者の部分および関節の角変位が等しいことによって生じたと考えられる。また、両走者間の脚の各部分長に相違はあるが、重心位置や質量の相違は小さいことによって、部分長のみの影響が軌跡に現われた結果、図7-17～19に示した相違が生じたと考えられる。さらに身長の高いものほどピッチが高いことを考慮すると、足先や脚重心の速度、加速度における走者TAとSHの間の相違は小さいと考えられる。

また、シミュレーションと実験2の角速度に関する結果が必ずしも完全に一致しなかったのは、実験2において、TA群とSH群がほぼ等しい速度、走フォームで走行できなかったためと推測される。従って、それぞれの群が試技の課題を完全に達成できたとすれば、シミュレーションから得られた両走者間の相違との一致度はさらに高まると考えられる。

## （2）腕の動き

走フォームが等しい場合には、腕の各部分および関節の角度や角変位も等しいことから、上腕や肘関節の角速度においても、脚の各部分および関節の角速度の場合と同様な相違が現われた（図7-11～16）。即ち、同じフォームで走行

した場合には、走者SHは、走者TAに比べて大きな角速度、角加速度を発揮して上腕の回転や肘関節の屈曲・伸展を行っていた。

また、腕が長いことによって、いずれのフォームを用いた場合にも、疾走中の肩関節から腕の重心までの距離はTAが2~3cm大きくなっていた。このことから、走者TAの腕の重心は、SHに比べて肩の下方でより大きな距離にわたって前後に動くと考えられる。しかし、走者SHの支持時間や非支持時間がより短いために、脚の場合と同様に、重心の速度、加速度における両者の相違は小さいと考えられる。

(1)、(2)において述べたことから、身長に差のある走者が同じフォームで走行した場合には、部分の長さが異なることによって、身長の高いものほど、部分重心や部位の軌跡の長さは長いが、逆に部分あるいは関節の角速度や角加速度は小さくなると考えられる。

また、両走者間の各部分重心の加速度における相違が小さいために、身長に差があっても単位質量あたりの地面反力における相違は小さいと考えられる。

### 3. 脚関節筋群の機能への影響

身長に相違に伴う部分長や身体部分係数の相違は、上述の運動学的変数だけでなく、動力学変数にも影響すると考えられる。一方、定速走では脚の動きが最も重要であり、各関節筋群の収縮によって脚の各部分の回転やその変化が起こり、走速度が維持されている。そこで、ここでは脚に着目し、各部分の回転と密接な関係がある関節トルクや筋パワーなどをもとに、各関節筋群の機能における身長の影響を検討する。

#### (1) 関節トルク

図7-20~22は、それぞれシミュレーションから得た低速、中速、全速走における走者TA、SHの、走フォームtaによる疾走中の足関節、膝関節、股関節の各局面における平均トルク(単位質量あたり)を示したものである。同様に、それぞれの速度段階において、走フォームshを用いて走行したときのこれ

らの値を図7-23~25に示した。また、表7-9, 10は、それぞれ実験2から得た中速、全速走におけるTA群、SH群の、走フォームtaによる疾走中の各局面の平均トルクを示したものである。同様に、走フォームshを用いた場合におけるこれらの値を表7-11, 12に示した。

ただし、これらの図や表における正のトルクは伸筋群（足関節では足底屈筋群）が優位であることを示す。また、局面1-3, 3-4, 4-5, 5-7, 7-1は、表7-5の場合と同様な局面を表す。

シミュレーションでは、いずれの速度段階、走フォームの場合にも、TAとSHのそれぞれの局面における各関節の単位質量あたりの平均トルクの符号は一致していた。実験2においても同様の結果が得られた。

トルクの値そのものでは、シミュレーションの場合には、走者TAはSHに比べて大きな値を示す傾向が見られたが、その差はわずかであった。しかし、TAの質量がSHに比べて大きいことを考慮すると、トルクの絶対値（身体質量で除さない値）における両者の相違はさらに大きくなると考えられる。

一方、実験2の場合には、必ずしもシミュレーションと同様な結果は得られなかった。即ち、有意差は少ないが、SH群の脚の各関節トルクがTA群に比べて大きくなっている局面が見られた（表7-9~12）。しかし、この様な傾向は特定の局面に現れてはいなかった。

トルクが慣性モーメント（または慣性半径）だけでなく、部分重心の加速度、角加速度にも大きく影響されることを考慮すると、実験2ではTA群とSH群の走フォームや走速度が必ずしも等しいとは言えないために、この様な相違が加速度や角加速度にも大きく影響し、トルクに上述の結果が生じたと考えられる。

シミュレーションの結果において、脚の各部分における慣性半径（絶対値）に差があるにもかかわらず、単位質量あたりの関節トルクにおける両者の差が比較的小さかったのは、走者SHの脚の各部分の角加速度がより大きかったことによると考えられる。

## （2）関節筋パワー

図7-26は、シミュレーションから得た走者TA, SHの、走フォームtaによる疾走中の支持期、回復期における足関節筋群の正、負の最大パワーを示し

たものである。同様に膝関節、股関節筋群におけるこれらの値を、それぞれ図7-27, 28に示した。さらに走フォームshを用いた場合におけるこれらの値を、それぞれ図7-29~31に示した。また表7-13は、実験2から得た中速、全速走における、走フォームtaを用いた疾走中の支持期、回復期の各関節筋群（右脚）の正、負の最大パワーを示したものである。同様に走フォームshを用いた場合におけるこれらの値を表7-14に示した。

ただし、これらの図や表において、正のパワーはエネルギーの発生を、負のパワーは吸収を意味する。

シミュレーションの場合には、いずれの走速度、走フォームを用いた場合にも、支持期、回復期における走者SHの股関節、膝関節、足関節の正、負の最大パワーは、走者TAに比べて大きくなっていった。また、このような傾向は、低速走の場合に比べて、中速走、全速走において顕著であった。

ところが、実験2における正、負の最大パワーでは、必ずしもシミュレーションと同様な傾向は見られなかった。特に走フォームshでは、回復期、支持期ともTA群においてより大きな正、負の最大パワーを生じた関節筋群がかなり見られた。これは、実験2における両群の走速度や走フォームなどの相違が、関節トルクや関節角速度に影響したことによって生じたと推測される。従って、トルクの場合と同様に、両群が試技の課題を完全に遂行し得た場合には、シミュレーションの場合と同様な両群間の相違が生じると考えられる。

上述のシミュレーションの結果は、同じフォームを用いた場合には、支持期においても回復期においても、走者SHがより大きな単位質量あたりのパワーを発揮していることを示している。しかし、トルクの場合と同様に、走者TAの身体質量がより大きいことから、パワーの絶対値（身体質量で除さない値）における両者の差は小さくなると考えられる。

関節筋パワーが関節のトルクと角速度の積であることを考慮すると、各関節トルクでは走者TAがやや大きな値を示したにもかかわらず、単位質量あたりのパワーの最大値では走者SHが大きな値を示したことは、走者SHにおける各関節の屈曲および伸展の速度がより大きかったためと考えられる。

(1), (2)において述べたことから、走フォームが等しい場合には、身長



に差があっても各局面における脚の関節筋群の役割には明確な相違は現れないと言えよう。また、身長が高いものほど、身体質量が大きいことによって関節トルク（身体質量で除さない値）は大きく、関節角速度が小さいことによって単位質量あたりの筋パワーは小さくなると考えられる。しかし、身長の低いものほど部分や関節の角速度、角加速度などが大きいため、単位質量あたりの関節トルクや、筋パワーの絶対値（身体質量で除さない値）における長身者との相違は小さくなると考えられる。そして、走者TAとSHの間の腕の各部分における角速度、角加速度、長さや慣性半径にも、脚の場合と同様な相違があることから、脚において得られた上述の結果を、腕の各関節トルクや筋パワーにも適用できよう。

また、運動学的変量の場合に比べて、関節トルクや筋パワーなどの動力学的変量では、実験2から得た両群間の相違とシミュレーションから得た相違との一致度が悪かった。これは、実験2における両群の走フォームや速度の微妙な相違が、位置や角度のデータを2回微分して得られる加速度、角加速度などに大きく影響したことによって生じたと考えられる。従って、実験2の結果から、身長が動力学的変量におよぼす影響を正確に把握することは難しいと考えられる。しかし、先に述べた身長の運動学的変量への影響に関するシミュレーションと実験2の結果がある程度一致していたこと、さらには、シミュレーションによる地面反力の推定精度がフィルム分析の場合に比べてかなり良いこと（第4章第5節）などを考慮すると、シミュレーションから得られた結果から、身長が動力学的変量あるいは関節筋群の機能におよぼす影響を正確に把握できたと考えられる。

#### 4. 身長が走動作におよぼす影響（第1節まとめ）

これまでの検討から、身長はストライド、ピッチ、各部分の動きだけでなく、各関節筋群の機能にも影響することが明らかになった。これまでに述べた結果をもとに、身長の走動作への影響をまとめると以下のようなになる。

(1) 身長は、各部分の長さなどのかたちで走動作に影響する。また、身長が高いものほど身体質量が大きく、このことも走動作に影響する。しかし、身長に差があっても、それに伴う各部分の質量比や比重心位置の相違は小さいために、

これらの係数の身長差に伴う相違が走動作におよぼす影響は小さい。

(2) 身長が高いものほど、脚が長いことによってストライドは大きく、それに伴い足先や脚重心もより大きく回される。しかし、部分や関節の角変位が等しいにもかかわらず、身長の相違によってピッチに相違が生じるために、各部分の回転や関節の屈曲・伸展に関する角速度、角加速度は身長の高いものほど小さくなる。

(3) 身長に差があっても疾走中の各関節筋群の役割に相違は現れない。また、身長が高いものほど、身体質量が大きいため各関節の屈曲・伸展トルクは大きくなるが、関節角速度が小さくなるためにパワーの絶対値(身体質量で除さない値)における短身者との相違は小さい。一方、身長が低いものほど部分の角速度、角加速度などが大きいため、慣性半径などに長身者との相違があるにもかかわらず単位質量あたりのトルクにおける差は小さく、単位質量あたりの最大パワーは長身者に比べて大きくなる。

(4) 走速度が大きいほど、身長が走動作におよぼす影響は大きくなる。

## 第2節 体型が走動作におよぼす影響

走者MU(MU群の形態を持つ走者)、走者SK(SK群の形態を持つ走者)が、走フォーム $m_u$ (MU群固有の走フォーム)および走フォーム $s_k$ (SK群固有の走フォーム)を用いて行った走動作(MU+ $m_u$ , MU+ $s_k$ , SK+ $m_u$ , SK+ $s_k$ )における各種力学量をもとに、MUとSKの同じ走速度、走フォームによる走動作を比較すること(MU+ $m_u$ とSK+ $m_u$ の比較、およびMU+ $s_k$ とSK+ $s_k$ の比較)によって、体型の走動作への影響を明らかにする。

シミュレーションによって推定した各走における走速度を、表7-15に示した。いずれの速度段階においても、4種の走における走速度はほぼ等しいと考えられる。ただし、このときのシミュレーションでは、MU、SKの形態に関するデータとして被験者群Aの値(第5章第2節に示したMU群、SK群の値)を、走フォーム $m_u$ ,  $s_k$ に関するデータとして実験1から得たもの(第6章第2節に示したもの)を用いた。

表7-16は実験2におけるMU群とSK群の身体的特性を、表7-17は両

群の各試技における走速度を示したものである。また、図7-32はそれぞれの群が走フォーム  $mu$ 、 $sk$  を用いて走行したときの右脚の動きのスティックピクチャーを、図7-1などと同様なかたちで示したものである。

身体的特性では、相違そのものは小さいが身体質量、中胚葉値において両群間に有意な差が見られた。このような結果は、第5章第2節において述べたMU群とSK群の間の身体的特性の相違とある程度一致していると考えられた。従って、実験2の被験者として用いたMU群、SK群の形態やBSPに対しても、第5章第1節において述べた結果を適用することができると考えられる。

また、それぞれの速度段階における各試技の走速度は、TA群、SH群の場合と同様に必ずしも等しくなかった。しかし、図7-32から、走フォーム  $ta$  と  $sh$  の場合ほど明確ではないが、いずれの群においても走フォーム  $mu$  と  $sk$  の間の脚の動きにおける相違は、実験1におけるMU群とSK群の間の脚の動きの相違（図6-11）とある程度は一致していると考えられた。

従って、前節の場合と同様に、少なくとも実験2におけるMU群、SK群の走の運動学的変量については、シミュレーションから得られた結果を確認するためのデータとして用いることが可能であろう。

## 1. ストライド、ピッチなどへの影響

### (1) ストライド、ピッチ

図7-33(a)はシミュレーションから得た低速、中速、全速走における、走フォーム  $mu$  を用いた疾走中のストライド、ピッチを、図7-33(b)は走フォーム  $sk$  を用いた走におけるこれらの値を比較したものである。

図から、全ての速度段階のいずれのフォームにおいても、両走者のストライド、ピッチ、および走速度の増加に伴うこれらの値の変化パターンに明確な差がないことがわかる。

図7-34(a)、(b)は、実験2の中速、全速走において、MU群、SK群が同じ走フォームで走行したときの走速度、ストライド、ピッチを比較したものである。走フォーム  $sk$  を用いて走行した全速走（図7-34(b)：MU+ $sk$ 、SK+ $sk$ ）を除いて、それぞれの速度段階において同じフォームを用い

た走の走速度、ストライド、ピッチに両群間の有意な差は見られなかった。

一般に、走速度が大きい場合には、速度がわずかに増加してもピッチは急激に増加するが、ストライドの増加は少ない。このことを考慮すると、全速走の走フォーム s k による試技において、MU 群が S K 群と同じ走速度で走行したとすれば、両群のピッチの相違は小さくなるが、ストライドの相違はわずかしき変化しないと推測される。従って、両群が同じ速度で走行したとすれば、ピッチの相違は図に示した値よりも小さくなると考えられる。

## (2) ストライド、ピッチに関係した変量

図 7-35~39 は、シミュレーションから得られた各速度段階におけるストライドやピッチに関係した変量を、走フォームごとにまとめて示したものである。

身長に対する比で表した各速度段階における離地時の身体重心高 (図 7-35) や支持期、非支持期における身体重心の水平変位 (図 7-36, 37) には、いずれの走フォームの場合にも MU と S K の間に明確な差は見られなかった。また、それぞれの速度段階の後傾角、前傾角においても、身長比でみた重心高や水平変位の場合と同様に、MU と S K の間に明確な差は見られなかった (図 7-38, 39)。

表 7-18 は、実験 2 において MU 群と S K 群が同じフォームで走行したときのストライドやピッチに関係した変量を、速度段階ごとに比較したものである。

実験 2 の場合、離地時の重心高 (身長に対する比) は、全速走における走フォーム s k の場合には S K 群が大きな値を示していたが、他の場合には両群間に明確な差は見られなかった。支持期および非支持期の重心の水平変位 (いずれも身長に対する比)、後傾角 (BLA)、前傾角 (FLA) では、中速走、全速走のいずれの走フォームにおいても、両群間に有意な差は見られなかった。従って、実験 2 におけるこれらの結果は、シミュレーションから得られた両走者間の相違とある程度一致すると考えられる。

走者 MU と S K の間の各部分長における相違が小さいことを考慮すると、シミュレーションから得られた結果から、両者の重心高や水平変位における絶対値もほぼ等しいことがわかる。また両者の走速度や支持期、非支持期における重心の水平変位がほぼ等しいことから、それぞれの局面に要した時間における両者の差

は小さいと考えられる。さらに、両群の後傾角や前傾角もほぼ等しいことから、支持期前半、後半に要した時間あるいは水平変位においても両群間に相違は生じないと考えられる。

また、各部分長や各部分の質量比、比重心位置における走者MUとSKの間の相違が小さいことから、接地時、離地時における両者の姿勢が同じ場合には、それぞれの時点における支持足先と身体重心との水平および鉛直距離の相違も小さいと考えられる。その結果、後傾角、前傾角、さらには身長比でみた身体重心高や水平変位におけるMUとSKの値はほぼ等しくなったと考えられる。

(1)、(2)において述べたことから、走速度や走フォームが同じ場合には、体型の相違やそれに伴う各部分の質量や重心位置の相違は、ストライドやピッチ、およびそれらに関係した変量にはほとんど影響しないと考えられる。前節の結果をも考え合わせると、ストライドやピッチなどは、形態的要因の中でも身長などの長さに関する要因の影響をより大きく受けると言えよう。

## 2. 各部分の動きへの影響

図7-40は、シミュレーションから得た走者MU、SKの走フォーム $m_u$ を用いた走における疾走中のスティックピクチャーを、図7-9などと同様にして、速度段階ごとに示したものである。同様に、走者MU、SKが走フォーム $s_k$ を用いて走行したときの走のスティックピクチャーを図7-41に示した。

前節の場合と同様に、シミュレーションでは、いずれのフォームの場合にも、MUとSKの各%時刻(走の1周期の時間を200%とした)における各部分の角度は等しいと仮定している。また、体幹は疾走中の姿勢の変化が他の部分に比べて小さい。これらのことから、脚や腕に着目し、足先の軌跡、部分および関節の角速度などをもとに、体型の各部分の動きへの影響を検討する。

図7-42~44は、それぞれ低速、中速、全速走において、走者MUとSKが走フォーム $m_u$ を用いた疾走中の右腕の上腕、肘関節、右脚の大腿、膝関節、足関節の角速度の変化を、図7-11などと同様にして示したものである。同様にして、各速度段階において走フォーム $s_k$ を用いた場合のこれらの値の変化を、

図7-45~47に示した。

また、表7-19、20は、それぞれ実験2から得た中速、全速走における、走フォームmuを用いた疾走中の各局面の右脚の大腿、膝関節、足関節の平均角速度を、表7-5などと同様なかたちで示したものである。同様にフォームskを用いた場合におけるこれらの値を表7-21、22に示した。

#### (1) 脚の動き

各速度段階における角速度を見ると、シミュレーションによる推定値では、いずれの走フォームを用いた場合にも、両走者の大腿、膝関節、足関節における角速度やそれらの変化の大きさは、全ての局面においてほぼ完全に一致していた(図7-42~47)。

ところが、表7-19~22に示した実験2の結果では、両群の角速度に、わずかながら有意差が見られた。しかし、これらの有意差は、特定の部分(または関節)や局面において生じてはいなかった。しかも、両群間の走速度における相違が比較的小さい全速走(図7-34)では、走フォームskの試技の回復後期における膝の伸展速度にのみ有意差が見られ、走フォームmuの試技では、大腿、膝関節、足関節とも、各局面における両群間の平均角速度に有意差は見られなかった。このことから、実験2における平均各速度において有意差が生じた原因の1つとして、両群間の走速度が異なっていたこと(図7-34)が考えられる。従って、両群がほぼ等しい速度で走行したとすれば、中速走においても、シミュレーションと同様に、両群間の角速度には有意差が生じないと推測される。

図7-48は、各速度段階において、走者MU(実線)とSK(破線)が走フォームmuを用いて行った走における疾走中の右脚の動きを、図7-17などと同様にして示したものである。同様に、これらの走者がフォームskを用いて行った走における右脚の動きを図7-49に示した。また実験2から得た、走フォームmu、skを用いた走における疾走中の右脚の動きを図7-50に示した。

シミュレーションでは、いずれの走速度、走フォームを用いて走行した場合にも、走者MUとSKの間の足先や脚重心の軌跡はほぼ一致していた(図7-48、49)。

一方、実験2では、いずれの速度段階、走フォームにおいてもMU群とSK群

が必ずしも同じ脚の動きで走行しているとは言えない(図7-50)。しかし、比較的脚の動きが等しいと考えられる試技(走フォームmuを用いた全速走、および走フォームskを用いた中速走)を見ると、両群の足先や脚重心の軌跡はある程度一致していることがわかる。

## (2) 腕の動き

走フォームが等しい場合には、腕の各部分および関節の角度や角変位も等しいことから、上腕や肘関節の角速度においても、脚の場合と同様な相違が現われた。即ち、同じ走速度、走フォームで走行した場合には、両走者とも、ほぼ等しい大きさの角速度、角加速度を発揮して上腕の回転や肘関節の屈曲・伸展を行っていた(図7-42~47)。

さらに、腕の各部分の長さや質量比、比重心位置などにおける相違が小さいために、疾走中の肩関節から腕の重心までの距離における両者の相違も小さかった(いずれのフォームにおいても1cm以内)。また、両走者の支持時間や非支持時間に差がないことをも考え合わせると、脚の場合と同様に、重心の速度、加速度における両者の相違は小さいと考えられる。

(1)、(2)において述べたことから、体型に差のある走者が同じ走速度、走フォームで走行した場合には、各部分の長さ、質量比、比重心位置、ストライドやピッチへの体型の影響が小さいために、両者の各部位や部分重心の軌跡の長さや速度、各部分および関節の角速度、角加速度に相違は生じないと考えられる。さらに、支持期前半や後半の時間、各部分重心の加速度などにおける相違が小さいために、単位質量あたりの地面反力においても両群間に相違は生じないと考えられる。

## 3. 脚関節筋群の機能への影響

これまでの検討から、体型が走の運動学的変量におよぼす影響は小さいことが明らかになった。しかし、体型の相違によって各部分の質量や慣性モーメントなどには大きな相違が生じるために、動力学的変量における体型の影響は大きいと

考えられる。

ここでは走において最も重要な役割を果たすと考えられる脚に着目し、各部分の回転やその変化と密接な関係がある関節トルクや筋パワーなどをもとに、各関節筋群の機能における体型の影響を検討する。

#### (1) 関節トルク

図7-51~53は、シミュレーションから得た底速、中速、全速走における走者MU、SKの、走フォーム $m_u$ を用いた疾走中の足関節、膝関節、股関節の各局面における平均トルク（単位質量あたり）を、図7-20などと同様なかたちで示したものである。同様に、それぞれの速度において、走フォーム $s_k$ を用いて走行したときのこれらの値を、図7-54~56に示した。また、表7-23、24は、それぞれ実験2から得た中速、全速走における、MU群、SK群の走フォーム $m_u$ を用いた疾走中の各局面の平均トルクを示したものである。同様に、走フォーム $s_k$ を用いた場合におけるこれらの値を表7-25、26に示した。

シミュレーション、実験2の場合とも、いずれの速度段階、走フォームでも、それぞれの局面の各関節の単位質量あたりの平均トルクの符号は一致していた。従って、同じフォームを用いた場合には、体型に差があっても、それぞれの関節の伸筋群、屈筋群によって発揮されたトルク大小関係に相違は現われないと考えられる。これは、両者の脚の各部分における角速度や角加速度の大きさや変化パターンがほぼ一致していたために、各局面におけるそれぞれの関節筋群の役割も一致していたことによると考えられる。

一方、トルクの値そのものでは、シミュレーションの場合には、両走者間に明確な相違が見られなかった（図7-51~56）。また、両走者間の直立安静時の脚全体の慣性半径に差がある（第5章第2節）にもかかわらず、この様な相違のトルクへの影響は明確ではなかった。

実験2のトルクの値では、両群間にいくぶん相違が見られた（表7-23~26）。しかし、いずれの走速度、走フォームにおいても、両群間の有意差が見られた関節あるいは局面はわずかであった。さらに、有意差は特定の関節や局面に現れてもいなかった。従って、実験2においても両群の単位質量あたりの関節



トルクにおける相違は小さいと言えよう。また、実験2のトルクに関する結果がシミュレーションの場合と必ずしも一致しなかったのは、前節と同様の理由によると思われる。

シミュレーションや実験2において両者の単位質量あたりの関節トルクの差が小さかったのは、脚の各部分における左右軸回りの慣性半径（絶対値）、重心の加速度、角加速度などにおける両者の相違が小さかったことによると考えられる。また、脚全体の慣性半径の相違がトルクにおよぼす影響も小さいと言えよう。

## （2）関節筋パワー

図7-57は、シミュレーションから得た走者MU、SKの、走フォームmuによる疾走中の支持期、回復期における足関節筋群の正、負の最大パワーを、図7-26などと同様にして示したものである。同様に膝関節、股関節筋群におけるこれらの値を、それぞれ図7-58、59に示した。さらに走フォームskを用いた場合におけるこれらの値を、それぞれ図7-60~62に示した。また表7-27は、実験2から得た中速、全速走における、走フォームmuを用いた疾走中の支持期、回復期における右脚の各関節筋群の正、負の最大パワーを、表7-13などと同様なかたちで示したものである。同様に走フォームskを用いた場合におけるこれらの値を表7-28に示した。

シミュレーションでは、支持期、回復期における各関節筋群の最大パワーは、走者MUがやや大きな値を示す傾向が見られた。しかし両走者間の相違はわずかであり、両群のパワーの値はほぼ等しいと考えられた。

一方、実験2における正、負の最大パワーでは、必ずしもシミュレーションと同様な傾向は見られなかったが、両群間の有意差は少なく、特定の関節あるいは局面において有意差が生じてもいなかった。このような結果は、前節の場合と同様に、両群の走速度や走フォームなどが必ずしも同じでないために、関節のトルクや関節角速度がこれらの影響を受けたことによって生じたと推測される。従って、両群が試技の課題を完全に行えた場合には、シミュレーションから得た両走者間の相違と同様な相違が生じると考えられる。

関節筋パワーが関節のトルクと角速度の積であることなどを考慮すると、シミュレーションの結果において、単位質量あたりの正、負の最大パワーの相違が小

さかったのは、単位質量あたりの関節トルクの相違が小さく、しかも関節角速度がほぼ一致したことによると考えられる。しかし、トルクの場合と同様に、身体質量の相違のために、MUのパワーの絶対値（身体質量で除さない値）は、SKに比べて大きくなると考えられる。

(1)、(2)において述べたことから、体型に差があっても、脚の各関節筋群の役割には明確な相違は現れないと言えよう。しかし、骨格・筋がよく発達したもののほど、身体質量が大きいために各関節のトルクや筋パワー（身体質量で除さない値）は大きくなると考えられる。ところが、各部分の長さや慣性半径、部分や関節の角速度、角加速度などにおける体型の影響が小さいために、単位質量あたりの関節トルクや筋パワーの値への体型の影響は小さいと考えられる。そして、腕の各部分における角速度、角加速度、長さや慣性モーメントなどにおいても、脚の場合と同様に走者MUとSKの間の相違が小さいことから、上述の結果を腕の各関節におけるトルクや筋パワーにも適用できよう。

#### 4. 体型が走動作におよぼす影響（第2節まとめ）

これまでの検討から、体型は、ストライド、ピッチに関する変量や各部分の動きにはほとんど影響しないが、関節筋群の機能には大きく影響することが明らかになった。これまでに述べた結果をもとに、体型の走動作への影響をまとめると以下のようなになる。

(1) 体型は、質量のかたちで走動作に影響するが、走速度が異なっても、体型の影響の程度は変化しない。

(2) 体型の相違が大きくても、各部分の長さ、質量比、比重心位置における相違が小さいために、ストライドやピッチ、および各部分の動きやその速度、加速度における体型の影響は小さい。

(4) 体型の相違に伴う身体質量の相違によって、骨格筋が発達した（身体質量の大きい）もののほど、関節トルクや筋パワー、さらには地面反力が大きくなる。しかし、各部分の慣性半径、部分や関節の角速度、角加速度などにおける体

型の影響が小さいために、体型に差があっても、単位質量あたりの関節トルクや筋パワーなどの値そのものの相違は小さい。

(第7章まとめ)

図7-63は、第1節、第2節において得られた知見をもとに、形態の走動作への影響を模式的に示したものである。得られた知見をまとめると以下のようになる。

(1) 長さの要因は、長さそのものや、長さの相違に伴う身体質量の相違として走動作に影響する。太さ・重量に関する要因は、質量のかたちで走動作に影響する。

(2) ストライド、ピッチ、各部分の回転や関節の屈曲・伸展の際の角速度、角加速度などの運動学的変量は、身長などの長さそのものの影響を大きく受ける。しかし、長さ、太さ・重量の相違に伴う身体質量やBSP(比)の相違が運動学的変量におよぼす影響は小さい。

(3) 各関節筋群の役割そのものは形態の影響を受けない。

(4) 長さや太さ・重量の相違に伴う身体質量の相違は、地面反力、各関節のトルクや筋パワーなどの動力学変量の大きさ(身体質量で除さない値)に影響する。しかし、長さそのものが各部分の角加速度や関節角速度などに影響するために、関節筋群のパワー(身体質量で除さない値)における長さの要因の影響は小さい。

(5) 走速度が大きいほど長さに関する要因の影響は大きくなるが、太さ・重量に関する要因の影響の大きさは、いずれの速度段階においても同程度である。

## 第8章 形態的特徴に適した走動作

これまでの検討によって、形態に差のあるそれぞれの群の走者における固有の走動作の特徴、および形態の走動作への影響が明らかになった。

しかし、これらの知見のみでは、特定の形態的特徴を持つ走者の固有の走動作が、それぞれの形態に適しているかどうかを明確にすることはできない。また、仮に固有の走動作がそれぞれの形態に適しているとしても、第6章においてとらえた各群固有の走動作の特徴では、特徴の中に形態の相違に伴う動作の特徴とフォームの相違に伴う動作の特徴の両方が含まれるために、それぞれの形態の走者が用いるべき走動作がどのようなものを明確に把握することは難しい。

そこで、ここでは、特定の形態的特徴を持つ走者が、同じ速度、異なる走フォームを用いて行った場合における2つの走動作の比較を行い、その形態的特徴に適した走動作を判定し、それぞれの形態の走者が用いるべき走動作の特徴を明らかにする。

ただし、本研究では、形態に適した走動作を判定する基準として、第3章第2節において定義した走の技能効率を用い、走速度を維持する際に行った全身の関節筋群の仕事が小さい走動作を形態に適した走動作として選択する。

前章において示したように、実験2では、それぞれの被験者が試技の課題を必ずしも十分に達成できたとは言えない。また、同一被験者群の2種の試技間の走速度もいくぶん異なっていた(表7-3, 17)。しかし、第4章第5節で示したように、シミュレーションによる推定精度がフィルム分析から得た値の精度に比べて良いと考えられることから、この課題を究明する際には、主にシミュレーションによって推定したデータを用いる。

### 第1節 各身長に適した走動作

走者TA、走者SHのそれぞれが、同じ走速度において、2種の走フォームを用いて行った走動作を比較すること(TA + t aとTA + s hの比較、およびSH + t aとSH + s hの比較)によって、それぞれの身長に適した走動作を判定し、それぞれの走者が用いるべき走動作の特徴を明らかにする。

ただし、シミュレーションでは、前章と同様にTA、SHの形態として第5章第1節に示したTA群、SH群の値を、走フォームta、shとして第6章第1節に示したものをを用いた。

また、シミュレーションにおける走速度、実験2における被験者の形態や各試技の走速度は、それぞれ表7-1~3に示したとうりである。

## 1. 各身長に適した走動作の判定

### (1) 技能効率と関節筋群の仕事

図8-1(a)は、シミュレーションから得た走フォームta、shによる低速、中速、全速走の技能効率を走者ごとに示したものである。同様にして、実験2から得られた技能効率を図8-1(b)に示した。また、走者TAの、このときの全身、脚、腕および頸部の関節筋群が行った単位質量あたりの絶対仕事(= |正の仕事| + |負の仕事|)を図8-2に、走者SHの絶対仕事を図8-3に示した。さらに、実験2のTA群、SH群における絶対仕事を、速度段階ごとに表8-1に示した。

シミュレーションと実験2との間の効率の値にはいくぶん相違が見られるが、いずれの場合にも、走動作TA+ta、SH+shの効率がより高い値を示す傾向が見られた(図8-1)。さらに、いずれの走者においても、速度段階の増加に伴って効率は増加していた。また、シミュレーションの場合には、TA+ta、SH+shにおける全身および脚の絶対仕事がより小さくなっていた(図8-2, 3)。

技能効率の値そのものが走速度の影響を受けることから、実験2のそれぞれの群では、走速度が異なったために2種の走フォームによる走の間の効率に相違が生じた可能性もある。実際、全速走のそれぞれの群の試技では、走速度、技能効率、全身の絶対仕事ともTA+ta、SH+shにおいてより大きくなっていた(表7-3, 図8-1(b), 表8-1)。しかし、実験2の中速走におけるTA群の試技では、動作TA+shにおける速度がより大きいにもかかわらず、効率はTA+taにおいて大きくなっていた。また、中速走のSH群の試技では、走速度はSH+shにおいてより大きい、全身や脚の絶対仕事はSH+taにお

いてより大きく、その結果、効率は動作SH + shの場合に著しく高い値を示した。従って、実験2の場合にも、同じ速度で走行したとすれば、効率の相違は動作の相違に伴う関節筋群の仕事の相違の影響を大きく受けると考えられる。

## (2) 脚の各関節筋群の仕事

図8-4は、シミュレーションから得た、各速度段階における走者TAの、走フォームta, shを用いた走の股関節、膝関節、足関節の絶対仕事を示したものである。同様に、走者SHにおけるこれらの値を図8-5に示した。

必ずしも明確ではないが、走者TAの走では、膝関節の絶対仕事はTA + taにおいて、股関節、足関節の絶対仕事はTA + shにおいてより大きな値を示す傾向が見られた。また、走者SHの走では、股関節、膝関節の絶対仕事ともTA + taにおいてより大きな値を示していた。さらに、いずれの走者においても、上述の傾向は速度段階が大きいほど顕著に現れていた。

従って、速度段階が変化しても各走者の脚の各関節筋群の絶対仕事における動作間の相違のパターンは変化しないが、走速度が大きいほど相違そのものは大きくなると言えよう。

(1)、(2)において述べたことから、各走者固有の走動作、即ち走者TAにはフォームtaを用いた走動作が、走者SHにはフォームshを用いた走動作が、それぞれの形態に適した走動作と言えよう。また効率の相違は、主に脚全体の関節筋群の絶対仕事の相違によって生じると考えられる。さらに、効率や絶対仕事における走フォーム間の相違は、速度段階の増加に伴って大きくなると考えられる。

速度段階の増加に伴って技能効率、脚全体や脚の各関節筋群の絶対仕事などにおける走フォーム間の相違が大きくなったのは、速度段階の増加に伴い走フォームそのもの(特に脚の動き)の相違が大きくなったことによると考えられる(第6章第1節)。そして、効率に見られた結果を考慮すると、速度段階の増加に伴う走フォームの相違の増大は、走速度が大きいほど身長に走動作への影響が大きい(第7章第1節)ために、動作がそれぞれの身長に適したかたちへとより大きく変容することによって生じたと考えられる。

一方、速度段階が変化しても、走フォームそのものの相違のパターンや、最も大きなエネルギーの発生源である脚の各関節筋群の絶対仕事におけるフォーム間の相違のパターンに変化がないことを考慮すると、いずれの速度段階においても、走動作が身長に適したかたちへと変容する際のパターンは同じだと考えられる。このことは、動作の変容が最も著しいと考えられる全速走を対象にして、それぞれの身長に適した走動作の特徴を明らかにすれば、得られた知見を低速、中速走にも適用できることを示している。

また、技能効率や図8-2~5に示した絶対仕事は、走の1周期全体に対するものであり、個々の局面の各関節筋群における仕事や、それと密接な関係がある関節トルクには、必ずしも上述した動作間の相違が現れない可能性がある。さらに、各局面における関節筋群の仕事、時間、関節角速度などは、疾走中に発揮されたトルクに大きく依存する。従って、効率に差のある走動作間において、ストライド、ピッチ、各部分の動きなどにおける相違だけでなく、関節トルクに差が生じる局面や関節、およびこのときのトルクの相違をも明らかにすれば、それぞれの身長に適した走動作における関節筋群の使い方も明確にできよう。

これらのことを考慮しながら、次に、全速走を対象に、それぞれの身長の走者がどのような走動作を用いるべきかを検討する。

## 2. 長身者が用いるべき走動作

技能効率から見ると、長身者には走フォーム  $t_a$  を用いた走動作 ( $TA + t_a$ ) がより適している。ここでは、走動作  $TA + t_a$  と  $TA + s_h$  の間のストライドやピッチ、各部分の動き、関節トルクなどの相違をもとに、長身者がより効率よく走行するために用いるべき走動作を明らかにする。

### (1) ストライド、ピッチ

図8-6(a), (b) は、シミュレーションから得た走動作  $TA + t_a$ ,  $TA + s_h$  による全速疾走中のストライド、ピッチ、およびこれらに関係した変量を示したものである。また、実験2から得たこれらの変量を図8-7に示した。

シミュレーション、実験2とも、ストライド、ピッチなどにおける動作間の相

達のパターンはほぼ同じであった。即ち、ストライドや支持期、非支持期の身体重心の水平変位は  $TA + sh$  において、ピッチや離地時の身体重心高は  $TA + ta$  においてより大きくなっていた。

一方、シミュレーションの場合、後傾角は  $TA + ta$  においてやや大きかったが両動作間の相違そのものは小さく、前傾角は  $TA + sh$  において大きかった。ところが、実験2の場合には、相違のパターンそのものはシミュレーションの場合と同じであったが、後傾角では有意差が見られたのに対し、前傾角では差は小さかった。

実験2では、両試技の間の走速度に差が見られる（表7-3； $TA+ta=9.320\pm 0.173\text{m/s}$ ， $TA+sh=8.972\pm 0.210\text{m/s}$ ， $p<0.05$ ）。ところが、走速度が大きい場合には、速度の増加に伴いピッチは急激に増加するが、ストライドの増加はわずか<sup>30</sup>（ $92, 156$ ）である。従って、両試技が同じ速度で行われたとしても、ピッチの相違は小さくなる可能性はあるものの、ストライドの相違はほとんど変化しないと推測される。また、このとき、後傾角は減少し、前傾角は増加する（表6-4）ことを考慮すると、実験2において両試技が同じ速度で行われたとすれば、試技間の後傾角における相違は小さく、前傾角における相違は大きくなると推測される。従って、両試技が同じ速度で行われた場合には、実験2から得られたストライドやピッチなどの変数における動作間の相違は、シミュレーションにおいて見られた相違とほぼ一致すると考えられる。

これらの結果をもとにすると、同じ速度で走行する際に、 $TA + ta$  では支持時間や非支持時間が短く、それに伴ってピッチは増加すると言えよう。しかし、疾走中に重心が高い位置に保たれるために、ストライドの減少は小さいと考えられる。

$TA + ta$  において支持時間が短かったのは、主に前傾角の相違に伴い支持期後半の時間がより短かったことによると考えられる。また、非支持時間における動作間の相違が支持時間における相違に比べて大きいことを考慮すると、ピッチの相違は非支持時間の相違に大きく依存すると考えられる。さらに、走速度がほぼ等しいにもかかわらず非支持時間に差があることから、離地時における身体重心の鉛直速度（上向き）は動作  $TA + ta$  の場合により小さいことがわかる。

以上のことから、長身者がより効率よく走行するためには、身体重心高を高く



保ち、離地時の前傾角や重心の鉛直速度をより小さくして、支持期後半や非支持期の時間を短くする必要があるだろう。その結果、ストライドを小さくすることなく、ピッチが高まると考えられる。ストライドやピッチなどに関する変量を上述の様に変えるためには、各部分の動きやその速さなどを変える必要があるだろう。そこで、次に各部分の動きの特徴を明らかにする。

## (2) 脚の各部分の動き

疾走中の関節筋群の仕事が最も大きく、しかも両動作間の仕事の相違も大きい脚に着目して、各部分の動きを明らかにする。

図8-8は、シミュレーションから得られた、走動作 $TA+ta$ 、 $TA+sh$ による全速疾走中の各時点のフォーム、およびこのときの右脚の動きをスティックピクチャーによって示したものである。図中の1~8の数字は、これまでの図と同様に、疾走中の各時点を表す。

シミュレーションでは、それぞれの走フォームを、第6章第1節に示した $TA$ 群、 $SH$ 群の固有の走動作における部分の角度をもとに決定した。従って、 $TA+ta$ 、 $TA+sh$ における部分や関節の角度は、それぞれ第6章第1節に示した $TA$ 群、 $SH$ 群の固有の走動作における角度と一致する(図6-5(a)、図8-8、表6-6)。そこで、ここでは、主に脚の各部分あるいは関節の角速度をもとに、第6章第1節の検討ではとらえられなかったものを中心に述べる。

図8-9は、シミュレーションから得た走者 $TA$ の、それぞれの走フォームによる全速走中の右脚の大腿、膝関節、足関節の角速度の変化を、図7-11などと同様にして示したものである。両動作間の相違は、大腿、膝関節において現れていた。即ち、 $TA+ta$ では、接地前後から支持期前半にかけての大腿の後方への回転速度がより小さく、膝の屈曲速度がより大きくなっている。

図6-5(a)から得られた結果や支持脚の各部分の姿勢(図8-8)をも考え合わせると、動作 $TA+ta$ では、支持脚下腿の大きく速い回転によって身体が前方に送られることを示している。

第6章において得られた知見をも考慮すると、長身者は、疾走中に身体重心を高くし、体幹をより起こした姿勢を保ちながら、回復期の大腿の動作範囲を制限し、支持脚下腿の速く大きな回転によって身体を前方に送る必要があるだろう。この

様な動きによってストライドを小さくすることなく、ピッチを高めることが可能になると考えられる。

### (3) 脚関節トルクの発揮の仕方

長身者が上述した脚の動きによって走行した場合には、各部分の動きを生み出すために必要な関節トルクの発揮の仕方にも変わると考えられる。

図8-10は、シミュレーションから得た、動作 $TA+ta$ 、 $TA+sh$ による全速疾走中の各局面における股関節、膝関節、足関節の平均トルクを示したものである。

両動作間のトルクの相違は、支持期前半および後半において顕著であった。支持期前半では、 $TA+ta$ における膝関節の屈曲トルクはより大きく、股関節、足関節の伸展トルクはより小さい。また、支持期後半では、股関節屈曲トルクがより大きく、足関節伸展トルクがより小さくなっていた。

このことから、長身者がその形態に適した走動作を行うためには、支持期前半に膝関節の屈曲トルクを、後半に股関節屈曲トルクをより大きくする必要があろう。これによって、支持期前半に支持脚下腿の大きく速い回転を生み出したり、支持期後半から回復前期にかけての大腿の後方への回転を制限したりすることが可能になると考えられる。

また、この様なトルクの発揮の仕方によって先に述べた動きが行われた場合には、膝関節筋群などにおける絶対仕事が大きくなる局面が生じる(図8-11)。しかし、1周期全体としてみた場合には、脚関節筋群の仕事はより小さくなると考えられる(図8-2)。

### 3. 短身者が用いるべき走動作

技能効率から見ると、短身者には走フォーム $sh$ を用いた走動作( $SH+sh$ )がより適している。ここでは、走動作 $SH+sh$ と $SH+ta$ の間のストライドやピッチ、各部分の動き、関節トルクなどの相違をもとに、短身者がより効率よく走行するために用いるべき走動作を明らかにする。

## (1) ストライド, ピッチ

図8-12(a), (b)は, シミュレーションから得た走動作SH+sh, SH+taによる全速疾走中のストライド, ピッチ, およびこれらに関係した変量を示したものである. また, 実験2から得たこれらの変量を図8-13に示した.

これらの図や表を見ると, ピッチを除いてシミュレーションと実験2における動作間の相違のパターンはほぼ同じであった. 即ち, ストライド, 支持期, 非支持期の身体重心の水平変位, 前傾角はSH+shにおいて, 身体重心高はSH+taにおいてより大きくなっていった.

実験2における両試技の間の走速度にはいくぶん相違がみられた(表7-3; SH+ta=9.206±0.288m/s, SH+sh=9.534±0.183m/s). しかし, 走速度が大きい場合には, わずかな速度の増加でピッチが急激に増加することを考慮すると, 実験2における両試技が同じ速度で行われたとすれば, ピッチにおいても, シミュレーションの場合と同様な相違が得られると推測される.

これらのことから, 同じ速度で走行する際にSH+shでは, 支持時間や非支持時間が長く, 疾走中に重心がより低いことによってストライドは増加し, 逆にピッチは減少すると言えよう.

また, SH+shにおけるより長い支持時間は, 主に前傾角の増加に伴う支持期後半の時間の増加によって生じていた. また, 非支持時間における両動作間の相違が支持時間における相違に比べて小さいことから, ストライドやピッチの相違は主に支持期後半の時間(重心の水平変位)の相違によって生じたと考えられる.

以上のことを考慮すると, 短身者がより効率よく走行するためには, 身体重心高を低く保ちながら離地時の前傾角をより大きくし, 支持期後半の重心の水平変位を大きくすることによって, ストライドを大きくする必要があるだろう. ピッチが非支持時間に大きく依存することを考慮すると, 両動作間の非支持時間の相違が支持時間の相違に比べて小さいことから, このときのピッチの減少は小さいと考えられる.

次に, 短身者に適した走動作における脚の各部分の動きの特徴を明らかにする.

## (2) 脚の各部分の動き

図8-14は、シミュレーションから得られた走動作SH+sh, SH+taによる全速疾走中の各時点のフォーム、およびこのときの右脚の動きをスティックピクチャーによって、図8-8と同様なかたちで示したものである。

SH+sh, SH+taにおける部分や関節の角度は、それぞれ第6章第1節に示したSH群, TA群の固有の走動作における角度と一致する(図6-5(a), 図8-14, 表6-6)。

図8-15は、シミュレーションから得た走者SHの、それぞれの走フォームによる全速走における右脚の大腿、膝関節、足関節の角速度の変化を、図8-9などと同様にして示したものである。SH+shでは、接地直前から支持期前半にかけての大腿の回転はより速く、膝の屈曲速度はより小さいことがわかる。

図6-5(a)から得られた結果や支持脚の各部分の姿勢(図8-14)をも考え合わせると、SH+shでは、支持期前半の大腿の回転をより速くすることによって、股関節を中心とした支持脚全体の大きく速い後方への回転が生み出され、それによって身体が前方に運ばれると考えられる。

第6章において得られた知見をも考慮すると、短身者は、疾走中に身体重心を低くし、体幹をより前傾した姿勢を保ちながら、上述した脚の動きを行うことによって、支持期の重心の水平変位やストライドを大きくすることが可能になると考えられる。

### (3) 脚関節トルクの発揮の仕方

図8-16は、シミュレーションから得た、動作SH+sh, SH+taによる全速疾走中の各局面における股関節、膝関節、足関節の平均トルクを示したものである。

両動作間のトルクの相違は、支持期前半、後半において顕著であった。SH+shでは、支持期前半および後半における各関節のトルクがSH+taに比べて小さかった。しかし、SH+shの支持期前半における股関節伸展トルクは、膝関節屈曲トルクに比べてより大きかった(SH+shでは約2.0倍、SH+taでは約1.2倍)。

このことから、短身者がその形態に適した走動作を行う場合には、支持期における脚の各関節の平均トルクをより小さくしながらも、支持期前半には股関節伸

展トルクを相対的に大きくする必要があろう。これによって、股関節を中心にした支持脚のより大きく速い回転が可能になると考えられる。

また、先に述べた動きの中でこの様なトルクが生み出された場合には、支持期、回復前期における各関節の絶対仕事は小さくなり（図8-17）、その結果、走の1周期全体の脚の仕事も小さくなったと考えられる（図8-3）。

#### 4. 身長に適した走動作（第1節まとめ）

これまでの検討から、効率から見ると身長に適した走動作があること、および、それぞれの身長の走者が用いるべき走動作の特徴が明らかになった。そして、それぞれの動作における脚の動きの特徴などは、各群固有の走動作の比較（第6章第1節）のみでは十分に見いだすことができないものであった。

図8-18は、各身長の走者に適した走動作（より効率良く走行するために用いるべき走動作）の特徴を示したものである。得られた知見をまとめると以下のようになる。

(1) 身長の高いものほどストライドの低下を小さくしながらピッチを高めることができる走動作を、逆に身長の低いものほどピッチの低下を小さくしながらストライドを大きくできる走動作を用いることによって効率はよくなる。

(2) 長身者は、疾走中に身体重心を高くし、体幹をより起こした姿勢を保ちながら、支持脚下腿の大きく速い回転によって身体を前方に送る必要がある。このとき、支持期前半には支持脚膝の屈曲トルクを、後半には股関節屈曲トルクをより大きくすることなどによって、脚の動きが効果的に引き出される。

(3) 短身者は、疾走中に身体重心を低くし、体幹をより前傾した姿勢を保ちながら、股関節を中心とした支持脚の大きく速い回転によって身体を前方に送る必要がある。このとき、支持期前半には支持脚股関節伸展トルクを大きくし、後半には股関節屈曲トルクを小さくすることによって脚の動きが効果的に引き出される。

(4) これらのことから、各身長の走者のより効率良い走動作は、それぞれの身長が走動作におよぼす不利な影響（ストライドあるいはピッチの減少）を、

脚の動きを変えることなどによって緩和した動作と言えよう。

## 第2節 各体型に適した走動作

走者MU、走者SKのそれぞれが同じ速度において、2種の走フォームを用いて行った走動作を比較すること（MU+ $m_u$ とMU+ $s_k$ の比較、およびSK+ $m_u$ とSK+ $s_k$ の比較）によって、それぞれの体型に適した走動作を判定し、それぞれの体型の走者が用いるべき走動作の特徴を明らかにする。

ただし、シミュレーションでは、前章と同様にMU、SKの形態として第5章第2節に示したMU群、SK群の値を、フォーム $m_u$ 、 $s_k$ として第6章第2節に示したものをを用いた。

また、シミュレーションにおける走速度、実験2における被験者の形態や各試技の走速度は、それぞれ表7-15~17に示したとおりである。

### 1. 各体型に適した走動作の判定

#### (1) 技能効率と関節筋群の仕事

図8-19(a)は、シミュレーションから得た走フォーム $m_u$ 、 $s_k$ による低速、中速、全速走の技能効率を走者ごとに示したものである。同様にして、実験2から得られた技能効率を図8-19(b)に示した。また、走者MUのこのときの全身、脚、腕および頸部の関節筋群が行った単位質量あたりの絶対仕事を図8-20に、走者SKの絶対仕事を図8-21に示した。さらに実験2のMU群、SK群における技能効率や絶対仕事を、速度段階ごとに表8-2に示した。

シミュレーションと実験2との間の効率の値にはいくぶん相違が見られるが、いずれの場合にも、走動作MU+ $m_u$ 、SK+ $s_k$ の効率がより高い値を示す傾向が見られた(図8-19)。さらに、いずれの走者においても、速度段階の増加に伴って効率は増加していた。また、シミュレーションの場合には、前節と同様に、各走者が固有の走フォームで走行したときの全身および脚の絶対仕事がより小さくなっていた(図8-20, 21)。

前節においても述べたように、技能効率の値そのものが走速度の影響を受ける

ことから、実験2のそれぞれの群では、走速度が異なったために2種の走フォームによる走の間の効率に相違が生じた可能性がある。ところが、走速度の差が大きいと見られる全速走の試技では、それぞれの群が固有の走フォームで走行した場合（MU + m u, SK + s k）に走速度がより大きな値を示した（表7-17）にもかかわらず、このときの全身や脚の絶対仕事は逆に小さかった（表8-2）。従って、実験2におけるMU群、SK群の試技の場合にも、効率の相違は、主に動作の相違に伴う関節筋群の仕事の相違によって生じたと考えられる。

## （2）脚の各関節筋群の仕事

図8-22は、シミュレーションから得た、各速度段階における走者MUの、走フォームm u, s kを用いた走における股関節、膝関節、足関節の絶対仕事を示したものである。同様に、走者SKにおけるこれらの値を図8-23に示した。

いずれの走者のにおいても、股関節の絶対仕事は走フォームs kの場合に、膝関節の絶対仕事は走フォームm uの場合により大きな値を示す傾向が見られた。さらに、この様な傾向は走速度が大きいほど顕著に現れていた。しかし、足関節の絶対仕事には、動作間の明確な相違は見られなかった。

これらのことから、前節の場合と同様に、速度段階が変化しても、それぞれの走者の脚の各関節筋群の絶対仕事における動作間の相違のパターンは変化しないと考えられる。

（1）、（2）において述べたことから、各走者固有の走動作、即ち走者MUにはフォームm uを用いた走動作が、走者SKにはフォームs kを用いた走動作が、それぞれの形態に適した走動作と言えよう。また効率の相違は、主に脚関節筋群の絶対仕事の相違によって生じると考えられる。

速度段階の増加に伴って技能効率、脚全体や脚の各関節筋群の絶対仕事などにおける走フォーム間の相違が大きくなったのは、前節の場合と同様に、速度段階の増加に伴い走フォームそのもの（特に脚の動き）の相違が大きくなったことによると考えられる（第6章第2節）。従って、体型の走動作への影響の大きさは、速度段階が増しても変化しないが（第7章第2節）、各走者の走動作は、速度段階の増加に伴って、それぞれの体型に適したかたちへとより大きく変容すると考

えられる。

また、体型に差のある各走者が用いるべき走動作の特徴を明らかにする場合にも、全速走を対象に検討すれば、得られた知見を低速、中速走にも適用できると考えられる。そこで次に、全速走を対象にして、それぞれの体型の走者が用いるべき走動作の特徴を明らかにする。

## 2. 骨格・筋の発達したものが用いるべき走動作

技能効率から見ると、骨格・筋の発達したものには走フォーム  $mu$  を用いた走動作 ( $MU + mu$ ) がより適している。ここでは、走動作  $MU + mu$ 、 $MU + sk$  におけるストライドやピッチ、各部分の動き、関節トルクなどの相違をもとに、骨格・筋の発達したものがより効率よく走行するために用いるべき走動作を明らかにする。

### (1) ストライド、ピッチ

図 8-24 (a), (b) は、シミュレーションから得た走動作  $MU + mu$ 、 $MU + sk$  による全速疾走中のストライド、ピッチ、およびこれらに関係した変量を示したものである。また、実験 2 から得た  $MU$  群におけるこれらの変量を図 8-25 に示した。

シミュレーション、実験 2 とも、ストライド、ピッチなどにおけるフォーム間の相違のパターンはほぼ同じであった。即ち、ストライドやピッチ、離地時の身体重心高では両動作間に明確な相違はなく、支持期の身体重心の水平変位や後傾角、前傾角は  $MU + mu$  において、非支持期の水平変位は  $MU + sk$  において大きくなっていた。

これらのことから、 $MU + mu$  では、支持時間（支持期前半および後半の時間）がより長く、非支持時間がより短くなることがわかる。また、走速度がほぼ等しいにもかかわらず非支持時間に差があることから、 $MU + mu$  では、離地時における身体重心の鉛直速度（上向き）がより小さいことがわかる。

以上のことを考慮すると、骨格・筋の発達したものがその形態に適した走動作を行った場合には、前傾角や後傾角をより大きく、離地時の重心の鉛直速度をよ



り小さくすることによって、支持期前半の時間をより長く、非支持時間をより短くする必要がある。

骨格・筋の発達したものは身体質量が大きく、しかも脚の末端部は相対的に細い(第5章第2節)。しかし、支持期前半の時間が長いことによって、この期間の地面からの衝撃力は小さくなり、支持脚などの負担が軽減されると考えられる。

次に、骨格・筋の発達したものに適した走動作における各部分の動きの特徴を明らかにする。

### (2) 脚の各部分の動き

疾走中の関節筋群の仕事が最も大きく、しかも両動作間の仕事の相違も大きい脚に着目して、各部分の動きを明らかにする。

図8-26は、シミュレーションから得られた走動作MU+mu, MU+skによる全速走中の各時点のフォーム、およびこのときの右脚の動きをスティックピクチャーによって示したものである。

シミュレーションでは、それぞれの走フォームを、第6章第2節に示したMU群, SK群の固有の走動作における部分の角度をもとに決定した。従って、MU+mu, MU+skにおける部分や関節の角度は、それぞれ第6章第2節に示したMU群, SK群の固有の走動作における角度と一致する(図6-14(a), 図8-26, 表6-13)。

図8-27は、シミュレーションから得た走者MUの、それぞれの走フォームによる全速走における右脚の大腿、膝関節、足関節の角速度の変化を示したものである。両動作間では、右足接地の直前から支持期前半にかけて相違が現れていた。即ち、MU+muでは、接地直前から支持期前半にかけての大腿の後方への回転速度がより小さく、膝の屈曲速度がより大きくなっている。

以上のことから、骨格・筋の発達したものは、支持期前半には支持脚膝の屈曲範囲や速度を大きくし、後半には膝の伸展範囲や大腿の後方への送りを大きくする必要があろう。これによって、接地に伴う地面からの衝撃力を効果的に軽減できると考えられる。

### (3) 脚関節トルクの発揮の仕方

走者MUが上述した脚の動きによって走行した場合には、各部分の動きやその変化を生み出すために必要な関節トルクの発揮の仕方も変わると考えられる。

図8-28は、シミュレーションから得た、動作MU+mu, MU+skによる全速疾走中の、各局面における股関節、膝関節、足関節の平均トルクを示したものである。

両動作間のトルクの相違は、支持期前半、後半において顕著であった。即ち、MU+muでは、支持期前半における膝関節屈曲トルク、足関節伸展トルクがより小さく、後半における股関節屈曲トルク、膝関節、足関節の伸展トルクがより大きくなっていた。

支持脚の姿勢を考慮すると、骨格・筋の発達したものがその形態に適した走動作を行う場合には、支持脚足関節の伸展トルクを小さくすることによって膝の屈曲範囲や速度を大きくする必要があると考えられる。また、後半には、足関節や膝関節のより大きな伸展トルクの発揮によって、脚全体を後方に大きく送る必要がある。

また、この様なトルクの発揮の仕方によって先に述べた動きが行われた場合には、支持脚の各関節筋群の絶対仕事はやや大きくなるが、非支持時間が短いことなどによって回復期の仕事はかなり小さくなる(図8-29)。その結果、走の1周期全体の脚の仕事もより小さくなったと考えられる(図8-20)。

### 3. 瘦身者が用いるべき走動作

技能効率から見ると、瘦身者には走フォームskを用いた走動作(SK+sk)がより適している。ここでは、走動作SK+sk, SK+muにおけるストライドやピッチ、各部分の動き、関節トルクなどの相違をもとに、瘦身者がより効率よく走行するために用いるべき走動作を明らかにする。

#### (1) ストライド、ピッチ

図8-30(a), (b)は、シミュレーションから得た走動作SK+sk, SK+muによる全速疾走中のストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量を示したものである。また、実験2から得たSK群におけるこれらの変量を図

8-31に示した。

シミュレーションの結果を見ると、ストライドやピッチ、離地時の身体重心高に両動作間の明確な相違はなく、支持期の身体重心の水平変位や後傾角、前傾角はSK+muにおいて、非支持期の水平変位はSK+skにおいてより大きくなっていた(図8-30)。

ところが実験2の結果では、必ずしもシミュレーションの場合と同様な両動作間の相違は見られなかった(図8-31)。これまでの実験2の結果に関する検討をもとにすると、両動作間の相違がシミュレーションの場合と一致しなかったのは、走速度に差があったこと、SK群の走者が試技の課題を十分達成できなかったことなどによると考えられる。

シミュレーションの結果をもとにすると、SK+skでは、支持時間(支持期前半および後半の時間)がより短く、非支持時間がより長くなることがわかる。さらに、走速度がほぼ等しいにもかかわらず非支持時間に差があることから、離地時における身体重心の鉛直速度(上向き)はより大きいことがわかる。

以上のことを考慮すると、痩身者がより効率よく走行するためには、前傾角や後傾角をより小さくすることなどによって、支持時間をより短く、逆に非支持時間をより長くする必要があろう。

走者MUとSKの間の脚全体の質量比には明確な差はないが、SKの脚ではより末端部分(足に近い部分)に質量が多く配分されている(図5-6、表5-8)。このことは、SKが接地時にある大きさの支持足先の相対速度(重心に対する速度)を得るためには、単位質量あたりの筋力が走者MUと等しくても、足先の加速時間をより長くする必要のあることを示している。このことを考慮すると、痩身者に適した動作において非支持時間が長いことは、足先の加速時間をより長くするのに役立つと考えられる。

次に、痩身者に適した走動作における脚の各部分の動きの特徴を明らかにする。

## (2) 脚の各部分の動き

図8-32は、シミュレーションから得られた走動作SK+sk、SK+muによる全速疾走中の各時点のフォーム、およびこのときの右脚の動きをスティックピクチャーによって示したものである。

SK + sk, SK + muにおける部分や関節の角度は、それぞれ第6章第2節に示したMU群、SK群の固有の走動作における角度と一致する(図6-14(a)、図8-32、表6-13)。

図8-33は、シミュレーションから得た走者SKの、それぞれの走フォームによる全速走における右脚の大腿、膝関節、足関節の角速度の変化を示したものである。SK + skでは、接地直前から支持期前半にかけての大腿の後方への回転がより速く、このときの膝の屈曲速度はより小さいことがわかる。

以上のことから、痩身者は、回復期のより早期に脚を前方へ運び、脚を振り戻す時間(距離)を長くするとともに、支持期前半の大腿の回転をより速くする必要があろう。このような動きによって、痩身者は股関節回りの脚全体の慣性半径(左右軸回り)が大きくても、回復脚を振り戻す際に、足先を効果的に加速できると考えられる。

### (3) 脚関節トルクの発揮の仕方

図8-34は、シミュレーションから得た走者SKの各走フォームによる全速疾走中の、各局面における股関節、膝関節、足関節の平均トルクを示したものである。両動作間のトルクの相違は、支持期後半において顕著であった。即ち、SK + skでは、前半の股関節、足関節伸展トルクがより大きく、後半におけるトルクは、いずれの関節においても小さかった。

上述の脚の動きを考慮すると、痩身者がその形態に適した走動作を行う場合には、支持期後半の膝関節、足関節の伸展トルクを小さくする必要があろう。これによって、より早期に脚を前方に運ぶことができると考えられる。

また、先に述べた動きの中でこの様なトルクが発揮された場合には、各局面の股関節筋群の仕事は大きくなる(図8-35)。しかし、膝関節筋群の仕事がより小さいことなどによって、走の1周期全体の脚の仕事は小さくなると考えられる(図8-21)。

## 4. 体型に適した走動作(第2節まとめ)

これまでの検討から、効率から見ると体型に適した走動作があること、および

それぞれの体型の走者が用いるべき走動作の特徴が明らかになった。また、それぞれの動作における脚の動きの特徴は、前節の場合と同様に、各群固有の走動作の比較（第6章第2節）のみでは十分に見いだすことができないものであった。

図8-36は、各体型の走者に適した走動作（より効率良く走行するために用いるべき走動作）の特徴を示したものである。得られた知見をまとめると以下のようになる。

（1） 骨格・筋の発達したもののほど地面からの衝撃力を小さくできる走動作を用いることによって、逆に瘦身者ほど回復脚足先の振り戻し（股関節に対する後方への振り戻し）の時間を長くできる走動作を用いることによって効率はよくなる。

（2） 骨格・筋の発達したものは、膝を伸展した状態で接地し、支持脚足関節の伸展トルクを小さくすることによって、前半の膝関節の屈曲範囲や速度を大きくし、後半には支持脚の膝関節や即関節の伸展トルクを大きくすることによって、支持期後半から回復前期にかけての脚の後方への送りを大きくする必要がある。これによって、支持期前半の時間は長くなり、地面からの衝撃力を効果的に軽減できる。

（3） 瘦身者は、離地時の重心の鉛直速度をやや大きくしながら回復期のより早期に脚を前方へ運ぶことによって、脚を振り戻す距離や時間を長くするとともに、支持期後半に支持脚膝関節、足関節の伸展トルクを小さくして、脚の後方への送りを制限する必要がある。これによって、接地時の支持足先の相対速度（股関節に対する足先の水平速度）を効果的に獲得できる。

（4） これらのことから、各体型の走者のより効率よい動作は、それぞれの体型が走動作におよぼす不利な影響（衝撃力の増加、足先の加速時間の減少）を、脚の動きを変えることなどによって緩和した動作と言えよう。

#### （第8章まとめ）

図8-37は、第1節、第2節において得られた知見をもとに、形態の特徴に適した走動作について模式的に示したものである。得られた知見をまとめると以下のようなになる。

(1) 技能効率から見ると、身長、体型などの形態的特徴に適した走動作がある。それぞれの形態には、その形態の走動作への不利な影響を緩和できる動作が適しており、各動作は、部分の長さ、身体質量、脚全体の慣性半径などによって決まる。

(2) 身長の高いものほど、ピッチを効果的に高めることができる動作が適している。また、身長の低いものほど、ストライドを効果的に大きくできる動作が適している。

(3) 骨格・筋の発達したものほど、地面からの衝撃力を軽減できる動作が適している。痩身者ほど、回復脚足先の振り戻し時間を長くできる動作が適している。

(4) 各形態に適した走動作を行うためには、脚の動きや関節トルクの発揮の仕方を変える必要がある。

(5) いずれの速度段階においても、それぞれの形態的特徴を持つ走者には、上述した走動作が適しており、走速度が大きいほど、上述した動作を強調する必要がある。

## 第9章 要約および結論

### 第1節 要約

#### 1. 研究目的および課題

本研究の目的は、長さ、太さ・重量などの形態的要因が走動作におよぼす影響、および形態に適した走動作を生力学的観点から明らかにすることにあつた。

この目的を達成するために、①形態的要因の身体部分係数(BSP)への影響の把握(課題1)、②形態に差のある走者における固有の走動作の特徴の把握(課題2)、③形態的要因の走動作への生力学的影響の究明(課題3)、④形態的特徴に適した走動作の生力学的究明(課題4)、の4課題を設定した。

#### 2. 研究手順

##### (1) 取り扱う走および形態的要因の選択

研究対象とする走として低速、中速、全速の3種の色度段階の定速走を選択した。また、形態的要因のうち長さに関するものを身長で、太さ・重量に関するものを中胚葉値にもとづく体型でとらえた。

##### (2) 基礎データの収集法

各課題の検討に必要な基礎データを収集するために、形態測定、BSPに関する測定、被験者固有の走動作をとらえる実験(実験1)、走フォームを変えた走動作を推定するシミュレーション、走フォームを変えた走動作をとらえる実験(実験2)を行った。

##### ① 被験者群A, B

本研究では、2つの被験者群A, Bを用いて、測定および実験を行った。

被験者群Aとして、全速疾走能力に優れている短距離選手、跳躍選手、投擲選手(計33名)を選んだ。また被験者群Bとして、日頃のトレーニングにおいて様々な走動作を経験し、走動作に関する明確なイメージを持っていると考えられる

短距離選手の中から、形態の差が大きいと見られる者8名を選んだ。

上述の測定および実験のうち、形態測定、身体部分係数の測定は両群の被験者について行った。また実験1では被験者群Aを、実験2では被験者群Bを用いた。

## ② 形態測定

体型指数の算出などに必要な形態測定を行い、得られた値をもとに、被験者群A、Bを、それぞれ身長<sup>(170)</sup>の平均値によって長身(TA)群と短身(SH)群に、中胚葉値の平均値によってMuscular(MU)群とSkinny(SK)群に分類した。

## ③ BSPの測定

Yokoi, et al.<sup>(170)</sup>の数学モデルによる方法を用いて身体各部分の質量、重心位置、慣性半径、および各部分の長さ、周囲長などを算出した。

## ④ 被験者固有の走動作をとらえる実験(実験1)

3種の速度による定速走において、各被験者に固有の走動作を用いて走行させ、16mmシネカメラによる側方からの撮影、および力量台による地面反力の測定を行った。そして、ストライド、ピッチ、関節角度などを算出した。

## ⑤ 走動作のシミュレーション

課題3、4の検討では、形態に差のある走者の同じフォームによる走、あるいは特定の形態の走者の異なるフォームによる走に関する力学量が必要となる。しかし、現実の被験者にこれらの試技を正確に行わせることはきわめて難しい。

そこで、実験1における被験者の形態や走フォームに関するデータを入力して、各群の形態的特徴を持つものが、走フォームを変えて行った走動作を推定するシミュレーションを作成し、これらの動作における各種力学量を算出した。シミュレーションによる推定値と実測値との一致度は高かった。

## ⑥ 走フォームを変えた走動作をとらえる実験(実験2)

被験者群Bに、シミュレーションと同様な試技を行わせ、実験1と同様な方法によってデータを収集した。得られた結果を、シミュレーションから得られた知見を補足するために用いた。

## (3) 各課題の検討方法

### ① 形態的要因のBSPへの影響(課題1)

被験者群Aの形態測定値やBSPをもとに、分類した各群の形態的特徴や形態



のBSPへの影響をとらえた。

② 形態に差のある走者固有の走動作の特徴（課題2）

実験1の分析によって得られたデータをもとに、TA群とSH群、あるいはMU群とSK群の間で走動作を比較し、その相違をもとに各群の走者固有の走動作の特徴を把握した。

③ 形態的要因の走動作への生力学的影響（課題3）

形態的要因の走動作への生力学的影響を、形態に差のある走者が同じ走フォームで走行した場合の走動作を比較することによってとらえた。この課題の検討では、シミュレーションから得られた力学量を用い、実験2から得た結果によって、シミュレーションにもとづく検討の結果を確認した。

④ 形態的特徴に適した走動作（課題4）

形態的特徴に適した走動作を、特定の形態の走者が異なる走フォームで走行した場合の走を比較することによって明らかにした。形態に適した走動作の選択には本研究で定義した技能効率を用いた。さらに、各形態の走者がより効率よく走行するために用いるべき走動作について検討した。ただし、これらの検討においても、課題3の場合と同様に、主にシミュレーションから得られたデータを用い、実験2の結果によってシミュレーションにもとづく検討の結果を確認した。

### 3. 得られた知見のまとめ

上述した実験などの結果とその考察から得られた知見を、課題ごとにまとめると以下のようなになる。

（1）形態的要因のBSPへの影響（課題1）

① 身長がBSPにおよぼす影響

a. 身長の高いものほど身体質量は大きい。また、各部分長や大腿の相対長は長く、TA群とSH群の間の身体のプロポーションには相違がある。しかし体型の差が小さいことから、両群のそれぞれの身体部分はほぼ相似形と見なすことができる。

b. a.においてみられた形態の相違により、身長が高いものほど各部分の質量、

前後軸，左右軸回りの慣性半径は大きい。また，身長によって大腿の相対長や各部分の相対的な太さが異なるために，大腿の質量比や下肢の比慣性半径にも相違が生じる。

② 体型がBSPにおよぼす影響

a. MU群はSK群に比べて各部分が相対的に太いが，各部分の長さやその身長に対する比は両群ともほぼ等しい。したがって体型（中胚葉値）の差は，骨格・筋の発達の優劣に伴う部分の形状あるいは相対的な太さの相違として現われる。

b. a.において見られた形態の相違により，骨格・筋の発達したもののほど，各部分の質量や長軸回りの慣性半径は大きい。また，体型の相違によって各部分間の質量の配分や部分の形状や相対的な太さも異なり，そのために頭部や前腕などの質量比，頭部や上腕の比重心位置，各部分の長軸回りの比慣性半径に相違が生じる。さらに，脚の各部分間の質量配分の相違によって，SK群は股関節回りの脚全体の慣性半径（前後軸，左右軸回り）がより大きい。

（2）形態に差のある走者固有の走動作の特徴（課題2）

① TA群の固有の走動作における特徴

疾走中に大腿の動作範囲を制限し，回復脚膝の屈曲・伸展の速度を大きくすることによって，SH群とほぼ同じ時間内に適切な接地姿勢をとる。また，疾走中に身体重心をより高く保ち，支持脚の膝を伸ばした姿勢で接地することによって支持期の重心の水平変位の減少を少なくする。

② SH群の固有の走動作における特徴

疾走中の身体重心を低くし，支持脚の膝を屈曲した姿勢で接地するとともに，支持脚大腿の動作範囲や速度を大きくすることによって，支持期にTA群と同程度の重心の水平変位を獲得する。また，離地時に重心をより前方に押し出すことによって，回復前期に大腿の動作範囲が大きくなり，脚全体は大きく回される。しかし回復脚大腿の回転の速度を大きくすることによって，TA群と同程度の時間内に適切な接地姿勢がとられる。

③ MU群の固有の走動作における特徴

a. 支持時間を長くし，支持期前半の地面からの衝撃力を緩衝できる動きを用いて走行する。

b. 回復脚大腿を腰の後方で大きく回した後、より膝を伸ばして重心のより前方に接地する。さらに支持脚膝の屈曲・伸展の範囲を大きくすることによって支持期前半の時間を長くし、それに伴って支持期前半の地面からの衝撃力は小さくなる。

④ SK群の固有の走動作における特徴

a. 回復脚足先の振り戻し時間を長くできる走法を用いて走行する。

b. 離地後の回復脚大腿の後方への動きが小さく、その後、大腿を身体の前方で大きく回し、より膝を曲げて接地する。また、支持脚膝の屈曲・伸展の範囲は小さい。

(3) 形態的要因の走動作への生力学的影響 (課題3)

① 身長が走動作におよぼす影響

a. 身長は、各部分の長さなどのかたちで走動作に影響する。また、身長が高いものほど身体質量が大きく、このことも走動作に影響する。しかし、身長に差があっても、それに伴う各部分の質量比や比重心位置の相違は小さいために、これらの係数が走動作におよぼす影響は小さい。

b. 身長が高いものほど、脚が長いことによってストライドは大きく、それに伴い足先や脚重心もより大きく回される。しかし、部分や関節の角変位が等しいにもかかわらず、身長の相違によってピッチに相違が生じるために、各部分の回転や関節の屈曲・伸展に関する角速度、角加速度は身長の高いものほど小さくなる。

c. 身長に差があっても疾走中の各関節筋群の役割に相違は現れない。また、身長が高いものほど、身体質量が大きいために各関節の屈曲・伸展トルクは大きくなるが、関節角速度が小さくなるためにパワーの絶対値(身体質量で除さない値)における短身者との相違は小さい。一方、身長が低いものほど部分の角速度、角加速度などが大きいために、慣性半径などに長身者との相違があるにもかかわらず単位質量あたりのトルクにおける差は小さく、単位質量あたりの最大パワーは長身者に比べて大きくなる。

d. 走速度が大きいほど、身長が走動作におよぼす影響は大きくなる。

② 体型が走動作におよぼす影響

- a. 体型は、身体質量などのかたちで走動作に影響するが、走速度が異なっても体型の影響の程度は変化しない。
- b. 体型の相違が大きくても、各部分の長さ、質量比、比重心位置における相違が小さいために、ストライドやピッチ、および各部分の動きやその速度、加速度における体型の影響は小さい。
- c. 体型の相違に伴う身体質量の相違によって、骨格・筋が発達した（身体質量の大きい）ものほど、関節トルクや筋パワー、さらには地面反力が大きくなる。しかし、各部分の慣性半径、部分や関節の角速度、角加速度などにおける体型の影響が小さいために、体型に差があっても、単位質量あたりの関節トルクや筋パワーなどの値そのものの相違は小さい。

#### （４）形態的特徴に適した走動作（課題４）

技能効率から見ると、身長、体型に適した走動作がある。

##### ① 各身長に適した走動作

- a. 身長の高いものほどストライドの低下を小さくしながらピッチを高めることができる走動作を、逆に身長の低いものほどピッチの低下を小さくしながらストライドを大きくできる走動作を用いることによって効率はよくなる。
- b. 長身者が効率よく走行するためには、疾走中に身体重心を高くし、体幹を起こした姿勢を保ちながら、支持脚下腿の大きく速い回転によって身体を前方に送る必要がある。このとき、支持期前半には支持脚膝の屈曲トルクを、後半には股関節屈曲トルクをより大きくすることなどによって、脚の動きが効果的に引き出される。
- c. 短身者が効率よく走行するためには、疾走中に身体重心を低くし、体幹を前傾した姿勢を保ちながら、股関節を中心とした支持脚の大きく速い回転によって身体を前方に送る必要がある。このとき、支持期前半には支持脚股関節伸展トルクを大きくし、後半には股関節屈曲トルクを小さくすることによって脚の動きが効果的に引き出される。
- d. これらのことから、各身長の走者のより効率良い走動作は、それぞれの身長が走動作におよぼす不利な影響（ストライドあるいはピッチの減少）を、脚の動きを変えることなどによって緩和した動作と言えよう。

## ② 各体型に適した走動作

a. 骨格・筋の発達したもののほど地面からの衝撃力を小さくできる走動作を用いることによって、逆に瘦身者ほど回復脚足先の振り戻し時間を長くできる走動作を用いることによって効率はよくなる。

b. 骨格・筋の発達したものが効率よく走行するためには、膝を伸展した状態で接地し、支持脚足関節の伸展トルクを小さくすることによって、前半の支持脚膝関節の屈曲範囲や速度を大きくし、後半には支持脚の膝関節や足関節の伸展トルクを大きくすることによって、支持期後半から回復前期にかけての脚の後方への送りを大きくする必要がある。

c. 瘦身者が効率よく走行するためには、離地時の重心の鉛直速度をやや大きくしながら回復期のより早期に脚を前方へ運ぶことによって、脚を振り戻す距離や時間を長くするとともに、支持期後半に支持脚膝関節、足関節の伸展トルクを小さくして、脚の後方への送りを制限する必要がある。

d. これらのことから、各体型の走者のより効率よい動作は、それぞれの体型が走動作におよぼす不利な影響（衝撃力の増加、足先の加速時間の減少）を、脚の動きを変えることなどによって緩和した動作と言えよう。

## 第2節 結論および今後の課題

### 1. 結論

各課題の検討から得られた知見をもとにすると、定速走における形態的要因の走動作への影響や、形態的特徴に適した走動作（効率のよい走動作）について、以下のような結論を引き出すことができよう。

#### (1) 形態的要因が走動作におよぼす影響

① 長さの要因は、長さそのものや、長さの相違に伴う身体質量の相違として走動作に影響する。太さ・重量に関する要因は、質量のかたちで走動作に影響する。

② ストライド、ピッチ、各部分の回転や関節の屈曲・伸展の際の角速度、角

加速度などの運動学的変量は、身長などの長さそのものの影響を大きく受ける。しかし、長さ、太さ・重量の相違に伴う身体質量やBSP（比）の相違が運動学的変量におよぼす影響は小さい。

③ 各関節筋群の役割そのものは形態の影響を受けない。

④ 長さや太さ・重量の相違に伴う身体質量の相違は、地面反力、各関節のトルクや筋パワーなどの動力学変量の大きさ（身体質量で除さない値）に影響する。しかし、長さそのものが各部分の角加速度や関節角速度などに影響するため、関節筋群のパワー（身体質量で除さない値）における長さの要因の影響は小さい。

⑤ 走速度が大きいほど長さに関する要因の影響は大きくなるが、太さ・重量に関する要因の影響の程度は、走速度が増しても変化しない。

## （２） 形態的特徴に適した走動作

① 技能効率から見ると身長、体型などの形態的特徴に適した走動作がある。各形態には、その形態の走動作への不利な影響を緩和できる動作が適しており、それぞれの動作は部分の長さ、身体質量、脚全体の慣性半径などによって決まる。

② 身長の高いものほど、ピッチを効果的に高めることができる動作が適している。また、身長の低いものほど、ストライドを効果的に大きくできる動作が適している。

③ 骨格・筋の発達したものほど、地面からの衝撃力を軽減できる動作が適している。痩身者ほど、回復脚足先の振り戻し時間を長くできる動作が適している。

④ 各形態に適した走動作を行うためには、脚の動きや関節トルクの発揮の仕方を変える必要がある。

⑤ いずれの速度段階においても、それぞれの形態的特徴を持つ走者には、上述した走動作が適しており、走速度が大きいほど、上述した動作を強調する必要がある。

以上のことから、形態に着目して、身につけている走技術を改善する場合には、それぞれの形態が走動作におよぼす不利な影響を緩和するかたちで動作を改善すればよいと考えられる。また、走動作の指導やトレーニングの際には、形態の特

徴をも考慮し、それぞれの形態に応じた指導法やトレーニング課題を設ける必要がある。

## 2. 今後の課題

### (1) 形態の走動作への影響や形態に適した走動作をより明確にするための課題

① 本研究では、各走者が、それぞれの形態に適した走動作を用いて走行した場合に効率がよくなる原因については明確にできなかった。今後、この原因を明らかにする必要がある。

② 本研究では、形態的要因としての長さに関するものと、太さ・重量に関するものを個々に扱った。しかし、現実には、例えば身長が高く、しかも骨格・筋が発達した人間が存在する。そしてこの様な人間に適した走動作は、必ずしも長身者に適した動作と骨格・筋の発達した者に適した動作を単純に合成した動作にはならないと考えられる。今後、長さ太さ・重量を組み合わせた形態をも対象に、それぞれの形態に適した走動作を明らかにする必要がある。

③ ②に加えて、身長や体型の差がさらに大きい被験者をも対象に検討する必要がある。

④ 本研究において、形態の特徴に適した走動作を明らかにする際に選択の対象とした走動作は、それぞれの走者に対して2例であった。従って、各形態に最も適した動作が他に存在する可能性がある。今後、一流選手から走フォームを抽出するなどして、選択の対象となる走動作を増やして検討を行う必要がある。

⑤ 本研究のシミュレーションでは、走動作を矢状面内で2次元的にとらえるために、疾走中の肩や腰、あるいは体幹の捻りなどの平面的にはとらえられない動きにおける形態の影響を明確にすることはできない。今後、3次元的な動きをとらえられるようにシミュレーションを改良するなどして、この様な動きにおける形態の影響を明らかにする必要がある。

⑥ 本研究の結果から、形態の特徴に適した効率のよい走動作の存在が明らかになった。しかし、体育運動としての走では、傷害が少ないことも、身につけるべき技術の重要な条件の1つだと考えられる。また、スポーツにおいて用いられ

る走では、より大きな走速度を生み出すことが技術の重要なねらいの1つであろう。従って、今後なんらかの方法によって、この様な観点からも形態に適した走動作を明らかにする必要がある。

## (2) 本研究から得られた知見の一般化や形態に着目した走技術の究明に必要な基礎知見を提供するための課題

① 本研究では、定速走を対象に形態の影響や形態に適した走動作を検討した。従って、より一般化し得る知見を得るためには、加速走、減速走などの運動形態が異なる走をも対象に形態の走動作への影響を検討する必要がある。

② ①において得られる知見と本研究の知見を統合し、走における形態の影響や、形態の影響に伴う最適動作への変容のしかたに関して、共通に内在する原則を明らかにする必要がある。

③ 本研究では、高度に鍛錬された成人男子の走動作を対象にして検討を行った。従って、これらの知見を一般成人などにそのまま適用することには問題がある。このことから、一般の成人男女や子供の走動作をも対象にして、形態の走動作への影響などを検討することが必要であろう。

④ 本研究では、形態を相対的にとらえた（例えば長身者、短身者）ために、得られた知見も相対的に表されている。従って、より実践的な知見を提供するには、今後、特定の形態の走者（例えば身長170cmの走者）が用いるべき走動作を絶対的なかたちで明確にする必要がある。

## (3) 形態的要因の動作への影響などを究明するための基礎的研究課題

① 形態的要因は、走だけでなく、他の身体運動においても動作などに大きく影響すると考えられる。従って、本研究において用いた方法や手法を各種身体運動に適用し、それぞれの運動における形態的要因の動作への影響などを明らかにする必要がある。

② 本研究において作成したシミュレーションは、形態の動作への影響や形態に適した動作を究明するための有効な手法だと考えられる。従って、①に述べた課題を究明するためには、シミュレーションの手法そのものをさらに改善し、様々な運動に対応し得る汎用性を持たせる必要がある。



③ 上述のシミュレーションを、様々な身体形態、様々な運動に適用するには、これらの形態や運動を対象に、シミュレーションの入力データである形態測定値や身体部分係数、フォームに関するデータを収集しておく必要がある。

④ シミュレーションなどから得た結果をもとに、形態の動作への影響を効果的に導き引き出すためには、形態における様々な要因と身体部分係数との関係を明らかにしておく必要がある。また、各種形態測定値やそれに対応できるBSPの実用化、さらには、それぞれの運動に大きく影響する形態の要因をも明確にしておく必要があろう。

⑤ 本研究では、シミュレーションに用いる走フォームのデータを現実の被験者の動作から収集した。これは、部分的な動きの変化が他の部分の動きにおよぼす影響などについての明確な知見が得られていないためであったが、収集に要する時間はきわめて膨大なものであった。今後、身体運動における特定の身体部分の動きの変化が、他の部分の動きにおよぼす影響についての一般原則が明確にできれば、計算機内でフォームに関するデータを作成することが可能であろう。これによって、シミュレーションや④に示した研究を効果的に行えるだけでなく、身体運動における技術、動きの原則などを明らかにするためのきわめて重要な基礎知見をも提供することができよう。

## 謝辞

本研究は、指導教官である渋谷侃二先生をはじめ、松浦義行先生、古藤高良先生、阿江通良先生、高松薫先生、斉藤慎一先生、石島繁先生らのご指導と励ましのもとで行われたものである。特に、渋谷侃二先生、高松薫先生、阿江通良先生、石島繁先生には、大学院入学以前から研究に対する姿勢や様々な手法をご教授いただいただけでなく、本研究に関する実験や分析、構成などについての数えきれない貴重な助言をいただいた。

また、筑波大学体育科学系の宮丸凱史先生、村木征人先生、宮下憲先生には陸上競技の立場から本研究への助言を、岡田守彦先生には解剖学や人類学の立場からの助言を、朝岡正雄先生には運動学（*Bewegungslehre*）の立場から用語に関する助言をいただいた。いずれも本論文に欠かせない貴重な助言であり、私自身の無学を痛感させられるものばかりであった。

さらに、橋原孝博学兄（現広島大学講師）、研究仲間である本学大学院生湯海騰君、褰永相学兄、金高宏文君らには、暖かい励ましに加え、実験や分析、資料整理などに関して多大な協力をいただいた。また、筑波大学陸上競技部員の方々には、非常に難しい実験にもかかわらず快く被験者を引き受けていただいた。

上記の方々以外にも、数多くの方々が、えてして挫折しそうになる私を叱咤激励して下さいました。これらの方々の存在も決して忘れることはできない。

ここに記して、皆様に心から感謝致します。

昭和62年12月

## 参考文献

- 1) 阿江通良, 高く跳ぶための跳に関する運動生力学的研究—踏切における身体各部の貢献とメカニズムについて—, 昭和56年度筑波大学大学院博士論文, 1981.
- 2) 阿江通良 他「走速度の増大による下肢の動きの変化—走速度と足先および膝の速度, 加速度との関係に着目して—」日本体育学会第34回大会号, 1983. pp.372.
- 3) 阿江通良「陸上競技のバイオメカニクス」, 日本陸上競技連盟公認コーチ養成講習会座学資料, 1984.
- 4) 阿江通良「走跳投のモデリングとシミュレーション」 Japanese J. of Sports Sciences, 5-7:435-42, 1986.
- 5) 阿江通良 他「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」筑波大学体育科学系紀要, 9:229-39, 1986.
- 6) Ae, M., et al., "Mechanical power and work done by the muscle of the lower limb during running at different speed," in Jonson, B. (Ed.), Biomechanics X-B, Human Kinetics Publishers: Champaign, 1987. pp.895-99.
- 7) 秋田善雄「日本人體ノ質量比例ニ就テ—重心ニ關スル統計的研究—」東京医学会雑誌, 43:149-207, 1929.
- 8) 浅見俊雄 他, 「パネルディスカッション—体育・スポーツにおける科学と実践の接点—」広田公一, 浅見俊雄(編), 人間と身体運動, 杏林書院, 1984. pp.77-113.
- 9) Asmussen, E. and Nielsen, K., "A dimensional analysis of physical performance and growth in boys," J. of Applied Physiology, 7:593-603, 1955.
- 10) Asmussen, E. and Nielsen, K.H., "Physiological performance and growth in children - influence of sex, age and intelligence," J. of Applied Physiology, 8-4:371-80, 1956.
- 11) Asmussen, E., "Growth and athletic performance," FIEP Bulletin, 34-4:22-26, 1964.
- 12) Asmussen, E., "Dimensions and physical performance capacity," J. of Physical Fitness Japan, 29:133-42, 1980.
- 13) オストランド, P. O., ラダール, K. (朝比奈一男, 浅野勝己 訳), 「運動生理学」大修館書店, 1976. pp.236-53. (Åstrand, P.O. and Radahl, K., Textbook of work physiology, McGraw-Hill: New York, 1970.)
- 14) 坂東隆男, スポーツ選手における体型と姿勢の特徴及びその関連性について, 昭和57年度筑波大学大学院修士論文, 1983.
- 15) Barter, J.T., "Estimation of the mass of body segments," Wright Air Development Center, TR-57-260, Wright Patterson Air Force Base, Ohio, 1957. (文献38から引用).
- 16) Baumann, W. and Groh, H., "Über die Bedeutung des Körperbaues (Beinlänge für die Laufgeschwindigkeit des 100-m-Laufes)," Leichtathletik, 21: 625-27, 1966.
- 17) Baumann, W. and Groh, H., "Zur Schrittgestaltung beim 100-m-Lauf," Leichtathletik, 25:740, 1966.

- 18) Brore, M.R. and Zernicke, R.F., Efficiency of human movement, Sounders College Publishing: Philadelphia, 1979. pp.185-91.
- 19) Calder III, W.A., Size, function, and life history, Harvard University Press, Cambridge, 1984. pp.162-98.
- 20) Carter, J.E.L. and Heath, B.H., "Somatotype methodology and kinesiology research," Kinesiology review, AAHPER, 1971. pp.10-19.
- 21) Carter, J.E.L., Hebbelink, M. and DeGaray, A., "Anthropometric profiles of Olympic athletes at Mexico City," in Landy, F. and Orban, W. A.R.(Eds.), Biomechanics of Sports and Kinanthropometry, Symposia Specialists Inc.: Miami, 1978. pp.305-12.
- 22) Carter, J.E.L., The Heath-Carter somatotype method, 3d ed., A San Diego State University Syllabus: San Diego, 1980.
- 23) Carter, J.E.L., Aubry, S.P. and Sleet, D.A., "Somatotypes of Montreal Olympic athletes," in Carter, J.E.L.(Ed.), Physical structure of Olympic Athletes, Part I, Medicine & Sport, vol.16, S.Karger: Basel, 1982. pp.53-80.
- 24) Carter, J.E.L., et al., "Anthropometry of Montreal Olympic athletes," in Carter, J.E.L.(Ed.), Physical structure of Olympic Athletes, Part II, Medicine & Sport, vol.16, S.Karger: Basel, 1982. pp.25-52.
- 25) Chandler, R.F., et al., "Investigation of inertia properties of the human body," Aerospace Medical Research Laboratory Technical Report 74-137, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, USA, 1975.
- 26) Chapman, A.E., et al., "Mechanical energy and the preferred style of running," in Jonson, B.(Ed.), Biomechanics X-B, Human Kinetics Publishers: Champaign, 1987. pp.875-79.
- 27) Clauser, C.E., et al., "Weight, volume and center of mass of segments of the human body," Aerospace Medical Research Laboratory Technical Report 69-70, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, USA, 1969.
- 28) Close, R.L., "Dynamic properties of mammalian skeletal muscles," Physiological Reviews, 52-1:129-97, 1972.
- 29) Dempster, W.T., "Space requirements of the seated operator - Geometrical, kinematic, and mechanical aspects of the body with special reference to the limbs - ," Wright Air Development Center Technical Report 55-159, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, USA, 1955.
- 30) Dillman, C.J., "Kinematic analysis of running," in Wilmore, J.H. and Keogh, J.F.(Eds.), Exercise and Sport Sciences Reviews, 3, Academic Press: New York, 1975. pp.193-218.
- 31) 遠藤萬里, 「バイオメカニクスと人類学」日本人類学会(編), 人類学, 日経サイエンス社, 1984. pp.110-13.
- 32) Forwood, M.R., Jensen, R.K. and Wilson, B.D., "Scaling segmental moments of inertia for individual subjects," J. of Biomechanics, 18-10:755-61, 1985.
- 33) Frederic, E.C. and Clarke, T.E., "Body size and biomechanical consequence for runners," in Canut, R.C. and Gillespie, W.J.(Eds.), Sports medicine, sports science, The Collamore Press: Tront, 1982. pp.

- 47-57.
- 34) Godfrey, B.B. and Kephart, N.C., Movement patterns and motor education, Prince-Hall Inc., Engelwood Cliffs: New Jersey, 1969. pp.61-66.
  - 35) Gundlach, H., 「歩幅・歩数からみた走の研究(抄録)」, オリンピア, 20:303-305, 1963. (Gundlach, H., Theory und Praxis der Korperkultur, 3:245-62, 4:346-59, 5:418-25, 1963.)
  - 36) Hanavan, E.P., "A mathematical model of the human body," Aerospace Medical Research Laboratory Technical Report 64-102, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, USA, 1964.
  - 37) Harrison, N.D., et al., "Bioengineering analysis of muscle and joint force acting in the human leg during running," in Jonson, B. (Ed.), Biomechanics X-B, Human Kinetics Publishers: Champaign, 1987. pp.855-61.
  - 38) Hay, J.G., "The center of gravity of the human body," Kinesiology III, American Association for Health, Physical Education and Recreation, 1973, pp.20-40.
  - 39) Hay, J.G., "Moment of inertia of the human body," Kinesiology IV, American Association for Health, Physical Education and Recreation, 1974, pp.43-52.
  - 40) Heath, B.H. and Carter, J.E.L., "A modified somatotype method," American J. of Physical Anthropometry, 27:57-74, 1966.
  - 41) Hill, A.V., "The dimensions of animals and their muscular dynamics," Pro. Royal. Inst. Great Britain, 34: 450-71, 1950.
  - 42) Hinrichs, R.H., "Regression equation to predict segmental moments of inertia from anthropometric measurements: an extension of the data of Cahndler et al. (1975)," J. of Biomechanics, 18-8:621-24, 1985.
  - 43) 久内 武, 小林一敏「走運動のキネシオロジー的考察」, 順天堂大学体育学部紀要, 10:33-37, 1968.
  - 44) Hochmuth, G., Biomechanik der sportlicher Bewegungen, Sportverlag: Berlin, 1974.
  - 45) Hoffman, K., "Stature, leg length, and stride frequency," Track Technique, 48:1468-69, 1972. (Summary of Kultura Fizyczna, 9, 1964.)
  - 46) Hoffman, K., "Stride length and stride frequency of female sprinter," Track Technique, 48:1522-24, 1972. (Translated from Treatises, Texts and Documents WSWF in Poznan Series, 17, 1972.)
  - 47) ホメンコフ, L. S. (織田幹雄, 小野耕三 訳), 「陸上競技トレーナー用教科書」, ベースボールマガジン社, 1978. pp.133-233. (Хоменков, Л. С., Учебник тренера по легкой атлетике, Физкультура и спорт, 1974.)
  - 48) 保志 宏「『日本人の体格調査報告書』からみた日本人の体格・体形の所見」, 人類学雑誌, 92-4:281-93, 1984.
  - 49) 保志 宏, 「人種特徴」人類学講座編纂委員会(編), 人種, 人類学講座7, 雄山閣出版, 1977. pp.27-145.
  - 50) 星川 保「バイオメカニクスにおける『巧みさ』」体育の科学, 35-12: 906-12, 1985.

- 51) Hoshikawa, T., Matsui, H. and Miyashita, M., "Analysis of running pattern in relation to speed," in Cerquiglini, S., Venerando, A. and Wartenweiler, J. (Eds.), *Biomechanics III (Medicine and Sport, vol. 8)*, Karger, A.G.: New York, 1973. pp. 342-48.
- 52) Housh, T.J., et al., "Anthropometric and body build variables as discriminators of event participation in elite adolescent male track and field athletes," *J. of Sports Sciences*, 2:3-11, 1984.
- 53) イオーノフ, D. (岡本正己 訳) 「ピッチとストライドがスピードにおよぼす影響」月刊陸上競技, 2-7:51-53, 1968. (ソ連「陸上競技」1968, より).
- 54) 猪飼道夫「生理学からみた体力と技術」*体育の科学*, 18-5:291-94, 1968.
- 55) 池田次郎, 「日本人の生体計測」人類学講座編纂委員会(編), 日本人, 人類学講座6, 雄山閣出版, 1978. pp. 101-41.
- 56) Inman, V.T., Ralston, H.J. and Todd, F., *Human walking*, Williams and Wilkins: Baltimore, 1981.
- 57) 石井喜八, 高島慎助「人体重心と運動効果」*大阪体育大学紀要*, 3:1-6, 1971.
- 58) 石河利寛, 「運動選手と重心の高さ」*体育の科学*, 18-8:348-50, 1958.
- 59) 石河利寛, 山川純子, 宮内節子「日本人の重心に関する研究—特に発育に伴う重心の変化について—」*民族衛生*, 26-4:350-69, 1960.
- 60) 糸満盛憲「臨床からみた生体組織の機能と問題点—1. 骨の構造と骨折の治癒—」*バイオメカニズム学会誌*, 10-2:84-92, 1986.
- 61) Jensen, R.K., "Model for body segment parameters," in Komi, P.V. (Ed.), *Biomechanics V-B*, University Park Press: Baltimore, 1976. pp. 380-86.
- 62) Jensen, R.K., "Estimation of the biomechanical properties of the three body types using photogrammetric method," *J. of Biomechanics*, 11:349-58, 1978.
- 63) Jensen, R.K., "The effect of differences in body segment inertias on segmental force vector patterns for children jumping," in Morecki, et al. (Eds.), *Biomechanics VIII-B*, University Park Press: Baltimore, 1980. pp. 277-83.
- 64) Jensen, R.K., "The effect of a 12-month growth period on the body moment of inertia of children," *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 13-4:238-42, 1981.
- 65) Jensen, R.K., "Body segment mass, radius and radius of gyration proportions of children," *J. of Biomechanics*, 19-5:359-68, 1986.
- 66) Jensen, R.K., "The growth of children's moment of inertia," *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18-4:440-45, 1986.
- 67) Johnston, F.E., "Relationships between body composition and anthropometry," *Human Biology*, 54-2:221-45, 1982.
- 68) Kaleps, I.K., et al., "Investigation into the mass distribution properties of the human body and its segments," *Ergonomics*, 27-12: 1225-37, 1984.
- 69) 金子明友「基本運動はどのように分類されるか」, *学校体育*, 30-5:39-45, 1977.
- 70) 金子明友, 「運動技術論」岸野雄三, 松田岩男, 宇土正彦(編), 序説運

- 動学, 現代保健体育学体系, 9, 第11版, 大修館書店, 1980. pp.117-44.
- 71) 金子公有「筋運動と効率」Japanese J. of Sports Science, 4-1:3-8, 1985.
- 72) 柏原健三「運動技術の学習過程」体育の科学, 18-5:302-305, 1968.
- 73) 木村邦彦, 人体解剖学, 現代保健体育学体系, 18, 大修館書店, 1976. pp.49-105.
- 74) 金原 勇, 「体育運動学の理論体系」体育原理研究会(編), 序説体育学体系, 体育の原理, 第4号, 不昧堂出版, 1969. pp.111-21.
- 75) 金原 勇, 「運動技術の本質」体育原理研究会(編), 体育における体力論・技術論, 体育の原理, 第5号, 不昧堂出版, 1970. pp.105-23.
- 76) 金原 勇, 「体育学研究の分化・総合の方向」体育原理研究会(編), 体育研究の分化と総合, 体育の原理, 第7号, 不昧堂出版, 1972. pp.147-62.
- 77) 金原 勇「ランニング・フォーム」体育の科学, 21-2:102-106, 1971.
- 78) 金原 勇「短距離疾走フォームの実験的研究」東京教育大学スポーツ研究所報, 11:43-55, 1973.
- 79) 金原 勇「スポーツ技術が身につく指導法」学校体育, 30-1:48-52, 1977.
- 80) 金原 勇「授業の効率を高める運動環境の工夫—子どもの体力づくりに関して—」体育科教育, 27-11:26-29, 1979.
- 81) 金原 勇「運動実践における着眼点の違い」学校体育, 32:53-57, 1979.
- 82) 金原 勇「『基本の運動』, 『ゲーム』への批判と提言—子どもの体力育成の立場から—」体育科教育5月増刊号, 28-6:36-38, 1980.
- 83) 金原 勇(編著), 陸上競技のコーチング(I), 第6版, 大修館書店, 1982. pp.1-298.
- 84) 金原 勇, 「運動生力学(スポーツバイオメカニクス)の体育学における位置づけ」日本バイオメカニクス学会(編), 身体運動の科学—スポーツバイオメカニクスへの挑戦—, 杏林書院, 1983. pp.43-49.
- 85) 金原 勇, 「体育・スポーツ領域でのバイオメカニクス研究」浅見俊雄, 宮下充正, 渡辺 融(編), 現代体育・スポーツ体系, 第7巻, 講談社, 1984. pp.29-32.
- 86) 小林一敏「走運動の力学」体育の科学, 10-5:268-70, 1960.
- 87) 小林一敏「走運動のキネシオロジー」体育の科学, 17-5:264-67, 1967.
- 88) 近藤次郎, 数学モデル—現象の数式化—, 丸善, 1979.
- 89) Kouchi, M., "Principal component analysis of somatometric data with special reference to the effect of selection of measurement items," J. of The Anthropological Society of Nippon, 85-2:95-121, 1977.
- 90) Latchaw, M and Egstrom, G., Human movement - with concepts applied to children's movement activities - , Prentice-Hall, Inc.:Englewood Cliffs, 1969.
- 91) Lee, A., "An optimized film analysis method based on finite difference techniques," J. of Human Movement Studies, 6:165-80, 1980.
- 92) Luhtanen, P. and Komi, P.V., "Mechanical factors influencing running speed," Asmussen, E. and Jørgensen, K.(Eds.), Biomechanics VI-B, University Park Press: Baltimore, 1978. pp.23-29.
- 93) Mann, R.V., "A kinetic analysis of sprinting," Medicine and Science in Sports and Exercise, 13-5:325-28, 1981.
- 94) McMahon, T.A., Muscles, reflexes, and locomotion, Princeton

- University Press:Princeton, 1984.
- 95) マイネル, K. (金子明友 訳), スポーツ運動学, 大修館書店, 1981.  
(Meinel, K., Bewegungslehre, Volk und Wissen Volkseigner Verlag:  
Berlin, 1960.)
  - 96) Martin, R, and Saller, K., Lehrbuch der Anthropologie, Band I,  
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1957.
  - 97) Martin, R, and Saller, K., Lehrbuch der Anthropologie, Band II,  
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1959.
  - 98) 松井秀治「各種姿勢の重心位置に関する研究—(1)身体各部の簡易質量計  
算とその質量比による重心位置の合成—」体育学研究, 2-2:65-76, 1956.
  - 99) 松井秀治, 運動と身体重心—各種姿勢の重心に関する研究—, 体育の科学  
社, 1958.
  - 100) 松井秀治「走運動のカリキュラム」体育の科学, 21-2:96-101, 1971.
  - 101) 松井秀治「陸上競技の適性」体育の科学, 28-11:774-75, 1978.
  - 102) 松井秀治, 身体運動学入門—基礎篇—, 第7版, 杏林書院, 1979.
  - 103) 松井秀治, 「キネシオロジープロムナード」キネシオロジー研究会(編),  
身体運動の科学—Human powerの研究—, 第2版, 杏林書院, 1976. pp.1-6.
  - 104) 松延 博「体育における基本の動き」体育の科学, 18-1:650-53, 1968.
  - 105) Miller, D.I. and Nelson, R.C., Biomechanics of sports, Lea&Febiger:  
Philadelphia, 1973. pp.88-117.
  - 106) 三浦望慶, 金原 勇, 渋川侃二「短距離疾走フォームについて」体育の科  
学, 16-10:571-74, 1966.
  - 107) 三浦望慶, 池上康男, 松井秀治「部分及び合成重心係数を用いての座標測  
定方式による合成重心の算出」体育の科学, 31-8:517-22, 1974.
  - 108) 三浦望慶「跳ぶ」浅見俊雄 他(編), 身体運動学概論, 大修館書店, 1976.  
pp.191-203.
  - 109) 三浦望慶「運動のパフォーマンスと効率」 Japanese J. of Sports  
Science, 4-1:22-28, 1985.
  - 110) 宮畑虎彦「キネシオロジーの領域と課題」体育の科学, 6-20:337-40,  
1970.
  - 111) 宮畑虎彦, 高木公三郎, 小林一敏, スポーツとキネシオロジー, スポー  
ツ科学講座, 8, 第27版, 1983. pp.208-12.
  - 112) 宮下充正「スポーツ適性を考える」体育の科学, 28-11:770-73, 1978.
  - 113) 宮丸凱史「短距離疾走フォームに関する実験的研究—脚長と疾走フォー  
ムについての考察—」東京女子体育大学紀要, 6:22-33, 1971.
  - 114) 宮丸凱史, 「幼児の基礎的運動技能におけるmotor patternの発達過程—  
running patternとjumping patternについて—」日本バイオメカニクス学会  
(編), 身体運動の科学 II, 杏林書院, 1976. pp.96-114.
  - 115) 宮丸凱史, 「走る」浅見俊雄 他(編), 身体運動学概論, 大修館書店,  
1976. pp.153-90.
  - 116) 宮丸凱史「走る動作の発達」体育の科学, 28-5:306-13, 1978.
  - 117) 森口繁一, 初等力学, 培風館, 1977.
  - 118) 中尾喜保「体形測定」人間工学, 17-5:199-202, 1981.
  - 119) 中山 仁「人間の基本運動」学校体育, 30-5:16-23, 1977.
  - 120) 岡田守彦「4足歩行から2足歩行へ」体育の科学, 29-1:5-11, 1979.
  - 121) 岡田守彦, 「ヒトにおける二足歩行の意義」, 起立・歩行・姿勢の異常,



- 臨床症状シリーズ15, 南江堂, 1981. pp.2-24.
- 122) 沖 武夫「Sports選手の身体適性に関する研究(第4報)」福井大学教育学部紀要, 6:35-65, 1972.
- 123) 小野勝次, 陸上競技の力学, 同文書院, 1963.
- 124) 小野勝次, ランニングフォーム, 講談社, 1972.
- 125) Rompotti, K., A study of stride length in running, *Int. Track and Field Dig.*, 1956. pp.249-56.
- 126) 齊藤満 他「走速度増加に対応する下肢関節の動きについて」体育学研究, 16-5:265-71, 1971.
- 127) 齊藤慎一, 横井孝志「スプラインとデジタルフィルターによるデータスムージングのためのBASIC プログラム」筑波大学体育科学系紀要, 5:201-206, 1982.
- 128) Sakajev, V., "Anthropometric criteria - economy of running -," *Soviet Sports Reviews*, 8-4:182-84, 1983. (Translated from *Legkaya Athretika*, 7-6, 1982.)
- 129) Schmidt, F.A., *Unser Körper*, R. Voightlander Verlag:Leipzig, 1920. pp.496-520.
- 130) Schmidt-Nielsen, K., "Problem of scaling: locomotion and physiological correlates," in Pedly, T.J. (Ed.), *Scale effects in animal locomotion*, Academic Press:New York, 1977. pp.1-21.
- 131) Schmidt-Nielsen, K., *Scaling: why is animal size so important?*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984. pp.42-55.
- 132) Schmidt-Nielsen, K., *Scaling: why is animal size so important?*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984. pp.165-81.
- 133) Selbie, W.S. and Chapman, A.E., "A mathematical simulation of running," in Jonson, B. (Ed.), *Biomechanics X-B. Human Kinetics Publishers:Champaign*, 1987. pp.831-41.
- 134) 渋川侃二, 運動力学, 第7版, 現代保健体育学体系, 6, 大修館書店, 1976.
- 135) 渋川侃二「工学的にみた効率」*Japanese J. of Sports Sciences*, 4-1:16-21, 1985.
- 136) 島口貞夫, 真柄 浩「体型と重心の関係」, 順天堂大学体育学部紀要, 10:85-89, 1967.
- 137) Slocum, D.B. and James, S.L., "Biomechanics of running," *J. of American Medical Association*, 205-11:97-104, 1968.
- 138) Sounder, M.A. and Hill, P.J., *Basic movement—foundation of physical education—*, Ronald Press Company:New York, 1963. pp.124-25.
- 139) 高田典衛「基本の運動」*体育の科学*, 31-6:378-79, 1981.
- 140) 高木公三郎, 身体運動の基礎(図解筋機能), 学芸出版社, 1975.
- 141) 高石昌弘, 樋口 満, 小島武次, からだの発達—身体発達学へのアプローチ—, 大修館書店, 1982.
- 142) 高月英夫「慢性疾患患者の体型学的研究」*昭和医学会雑誌*, 41-3:321-36, 1981.
- 143) Tanner, J.M., *The physique of the Olympic athletes*, Gorge Allen & University LTD.: London, 1964.
- 144) Taylor, C.R., Schmidt-Nielsen, K. and Raab, J., "Scaling of energetic cost of running to body size in mammals," *American J. of Physiology*,

- 219-4:1104-1107, 1970.
- 145) Thompson, D., On growth and form, Cambridge University Press, London, 1961.
  - 146) Tittle, K., "Tendencies of sports anthropometry's development," in Landy, F. and Orban, W.A.R. (Eds.), Biomechanics of sports and kinanthropometry, 6, Symposia Specialists: Miami, 1978. pp.283-96.
  - 147) 東京都立大学身体適性学研究室 (編), 日本人の体力標準値, 第三版, 不昧堂書店, 1980.
  - 148) Tricker, R.A.R. and Tricker, B.J.K., The science of movement, Mills & Boon Limited: London, 1967.
  - 149) Vaughan, C.L., "Biomechanics of running gait," CRC Critical Reviews in Biomechanical Engineering, 12:1-48, 1984.
  - 150) Vaughan, C.L., "Simulation of human motion in sports biomechanics," in Terjung, R.L. (Ed.), Exercise and Sport Sciences Reviews, vol.12, Macmillan Publishing Company: New York, 1984. pp.389-441.
  - 151) 渡部康一, 山崎信寿, 「歩行系の解析に関する研究(歩行を支配する要因)」バイオメカニズム学会 (編), バイオメカニズム2, 東京大学出版会, 1973. pp.280-88.
  - 152) Wartenweiler, J., "Status report on biomechanics," Biomechanics III, Medicine and Sport 8, Karger: Barsels, 1973. pp.65-72.
  - 153) Weinbach, A.P., "Contour maps, center of gravity, moment of inertia and surface area of the human body," Human Biology, 10-13:356-71, 1938.
  - 154) Wickstrom, R.L., Fundamental motor pattern, 3d ed., Lea & Febiger: Philadelphia, 1983.
  - 155) Williams, K.R., "A model for the calculation of mechanical power during distance running," J. of Biomechanics 16-2:115-28, 1983.
  - 156) Williams, K.R., "Biomechanics of running," in Terjung, R.L. (Ed.), Exercise and Sport Sciences reviews, vol.13, Macmillan Publishing Company: New York, 1985. pp.389-441.
  - 157) Williams, K.R., "A comparison of 2-D versus 3-D analysis of distance running kinematics," in Winter, D.A. et al. (Eds.), Biomechanics IX-B, Human Kinetics Publishers: Champaign, 1985. pp.331-36.
  - 158) Winter, D.A., Biomechanics of human movement, John Wiley & Sons: New York, 1979.
  - 159) Winter, D.A., "Moments of force and mechanical power in jogging," J. of Biomechanics 16-1:91-97, 1983.
  - 160) Wood, G.A., Marshall, R.N. and Jennings, L.S., "Optimal requirements and injury propensity of lower mechanics in sprint running," in Jonson, B. (Ed.), Biomechanics X-B, Human Kinetics Publishers: Champaign, 1987. pp.869-73.
  - 161) 柳田為正, 「動物のいろいろな形態」赤堀四郎 他 (編), 生命のしくみ, 生命と科学, 2, 共立出版株式会社, 1972. pp.146.
  - 162) 山口 敏, 「日本人の骨」人類学講座編纂委員会 (編), 日本人, 人類学講座6, 雄山閣出版, 1978. pp.143-174.
  - 163) 山崎信寿「計算機シミュレーションによる生物の歩行の研究」昭和50年

- 度慶応大学博士論文, 1975.
- 164) 山崎信寿, 「ヒトの体形と歩行運動」バイオメカニズム学会(編), バイオメカニズム, 7, 東京大学出版会, 1984. pp.287-94.
  - 165) 山崎信寿「巧みさの運動力学」体育の科学, 35-9:661-65, 1985.
  - 166) 横堀栄, 沢田良雄, スポーツ適性, スポーツ科学講座5, 大修館書店, 1965.
  - 167) 横井孝志, 日本人幼少年の身体部分係数, 昭和58年度筑波大学大学院修士論文, 1983.
  - 168) 横井孝志 他「身体部分係数の相違が各種力学量におよぼす影響」日本体育学会第34回大会号, 1983. pp.350.
  - 169) Yokoi, T., et al., "Body-segment parameters of Japanese children," in Winter, D.A., et al. (Eds.), Biomechanics IX-B, Human Kinetics Publishers: Champaign, 1985. pp.227-32.
  - 170) Yokoi, T., Shibukawa, K. and Ae, M., "Body segment parameters of Japanese children," Japanese J. of Physical Education, 31-1: 53-66, 1986.
  - 171) Yokoi, T., Shibukawa, K. and Ae M., "Biomechanical study of the effects of anthropometric factors on sprinting motion," J. of the Anthropological Society of Nippon, 94-2:249, 1986.
  - 172) 横井孝志 他「シミュレーションによる形態の走動作への生力学的影響の検討 -シミュレーション手法の開発-」日本体育学会第37回大会号, 1986. pp.790.
  - 173) Yokoi, T., et al., "Effects of stature difference on sprint running," in Jonsson, B. (Ed.), Biomechanics X-B, Human Kinetics Publishers: Champaign, 1987. pp.881-85.
  - 174) 米村昌二「運動選手の体型」慶応義塾大学体育研究所紀要, 1-1:27-43, 1961.
  - 175) 米村昌二「第18回東京オリンピック大会に参加した陸上競技選手についての一考察」慶応義塾大学体育研究所紀要, 5-1:41-77, 1965.
  - 176) Zatsiorsky, V. and Seluyanov, V., "The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body," in Matsui, H. and Kobayashi, K. (Eds.), Biomechanics VIII-B, Human Kinetics Publishers: Champaign, 1983. pp.1152-59.
  - 177) Zatsiorsky, V. and Seluyanov, V., "Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of best predicting regression equation," in Winter, D.A., et al. (Eds.), Biomechanics IX-B, Human Kinetics Publishers: Champaign, 1985. pp.233-39.



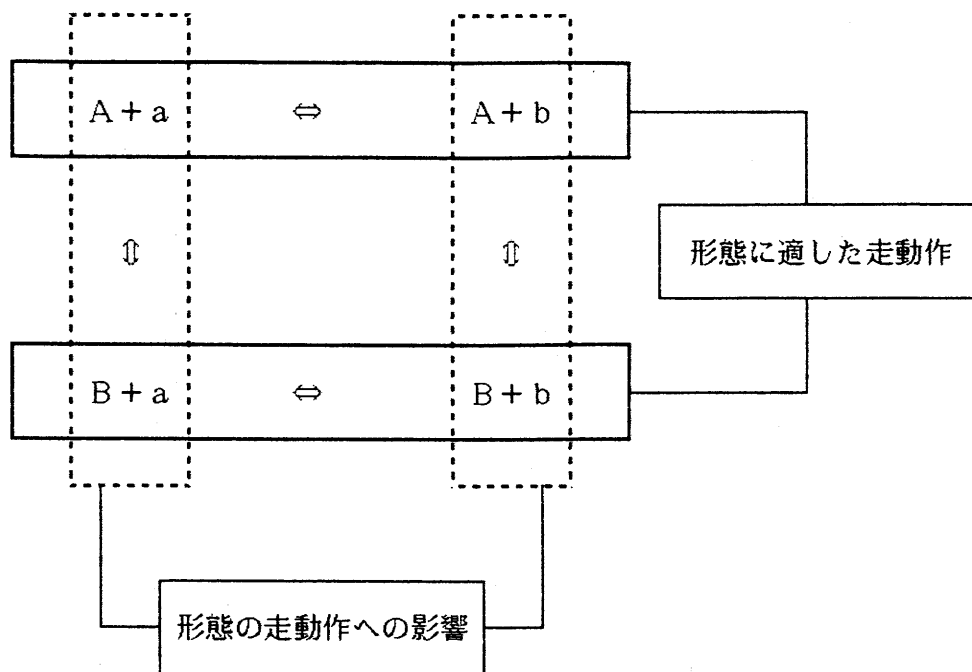


図1-1 形態の走動作への影響や形態に適した走動作の検討方法

A, B : 走者の形態

a : 形態Aを持つ走者の固有の走フォーム

b : 形態Bを持つ走者の固有の走フォーム

A+a : 形態Aの走者がフォームaを用いて走行したときの走動作

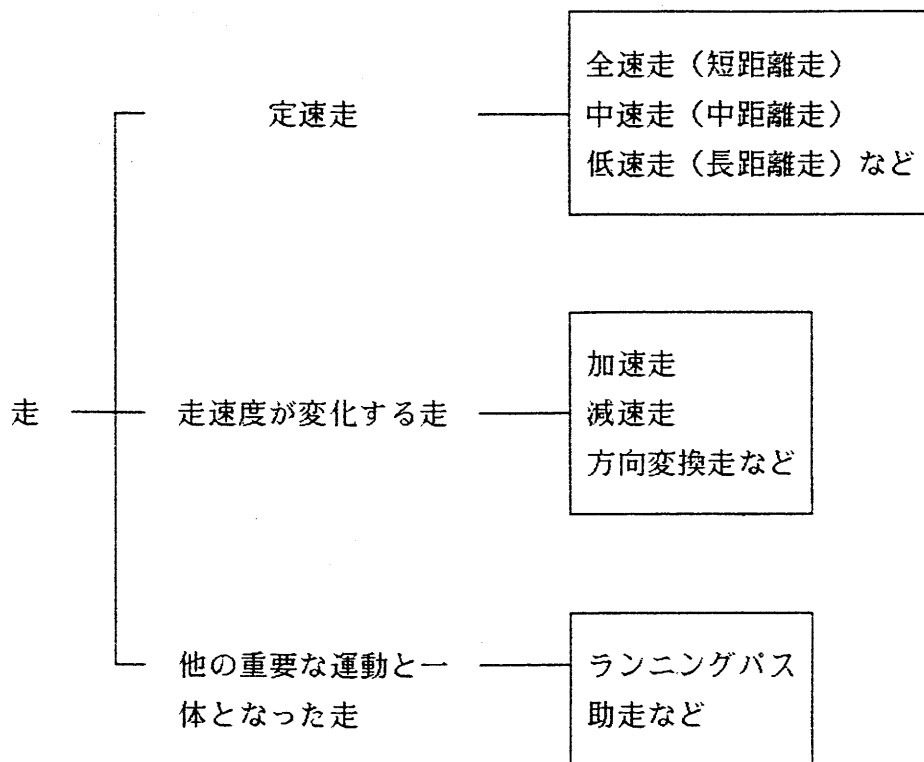


図2-1 体育の場における指導内容として確立すべき走の分類  
 (金原, 1971)<sup>77)</sup>

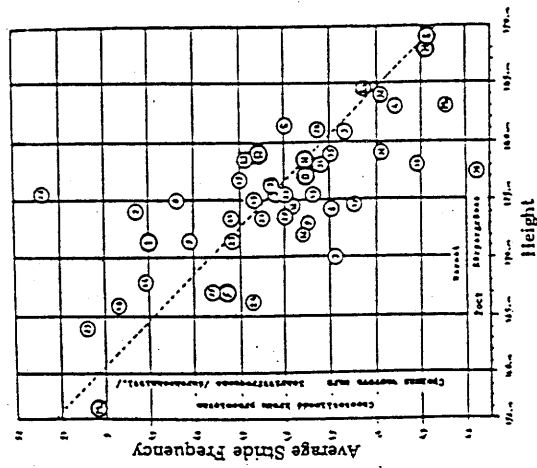
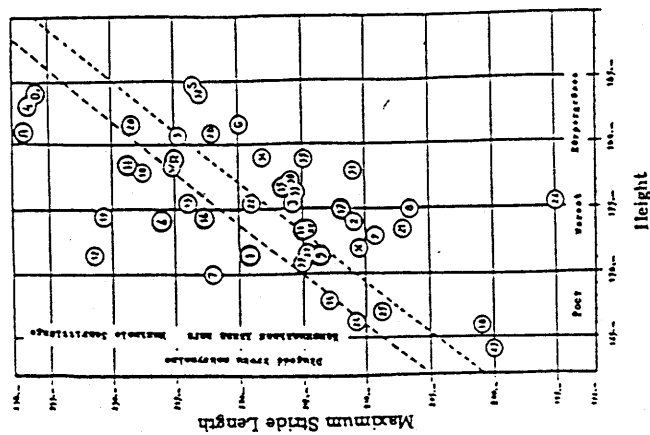
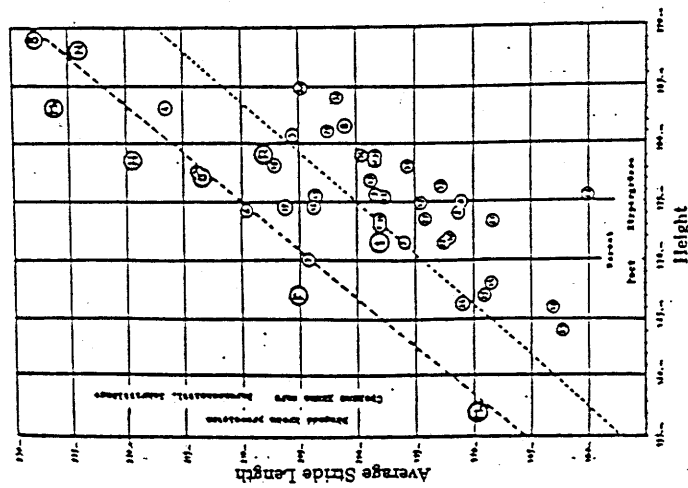


図 2-2 身長と100m疾走中の最大ストライド、平均ストライドとの関係  
(Hoffmann, 1964)<sup>45)</sup>

図 2-3 身長と100m疾走中の平均ピッチとの関係 (Hoffmann, 1964)<sup>45)</sup>

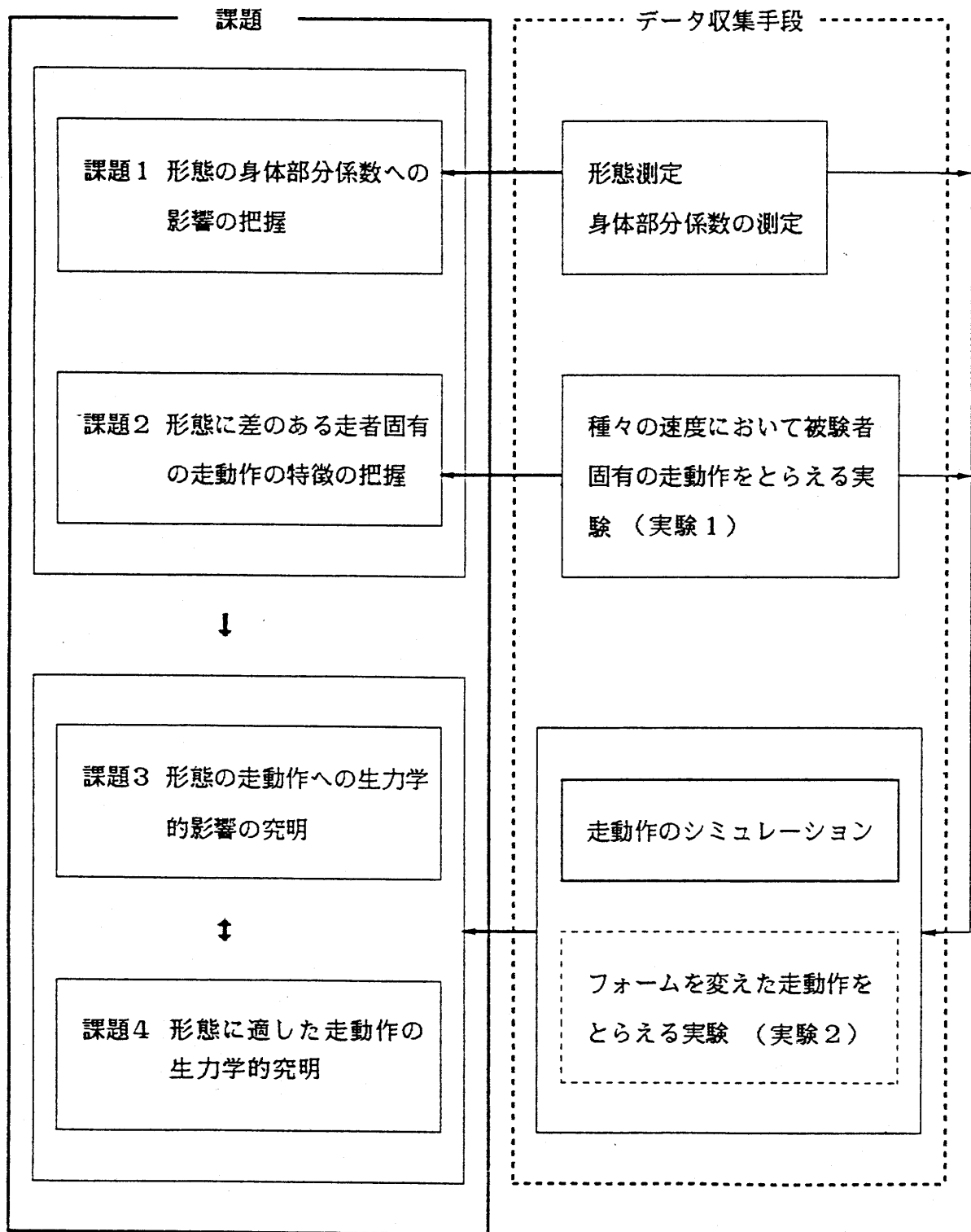


図4-1 各課題の相互関係とそれぞれの課題の検討に必要な基礎データの収集手段



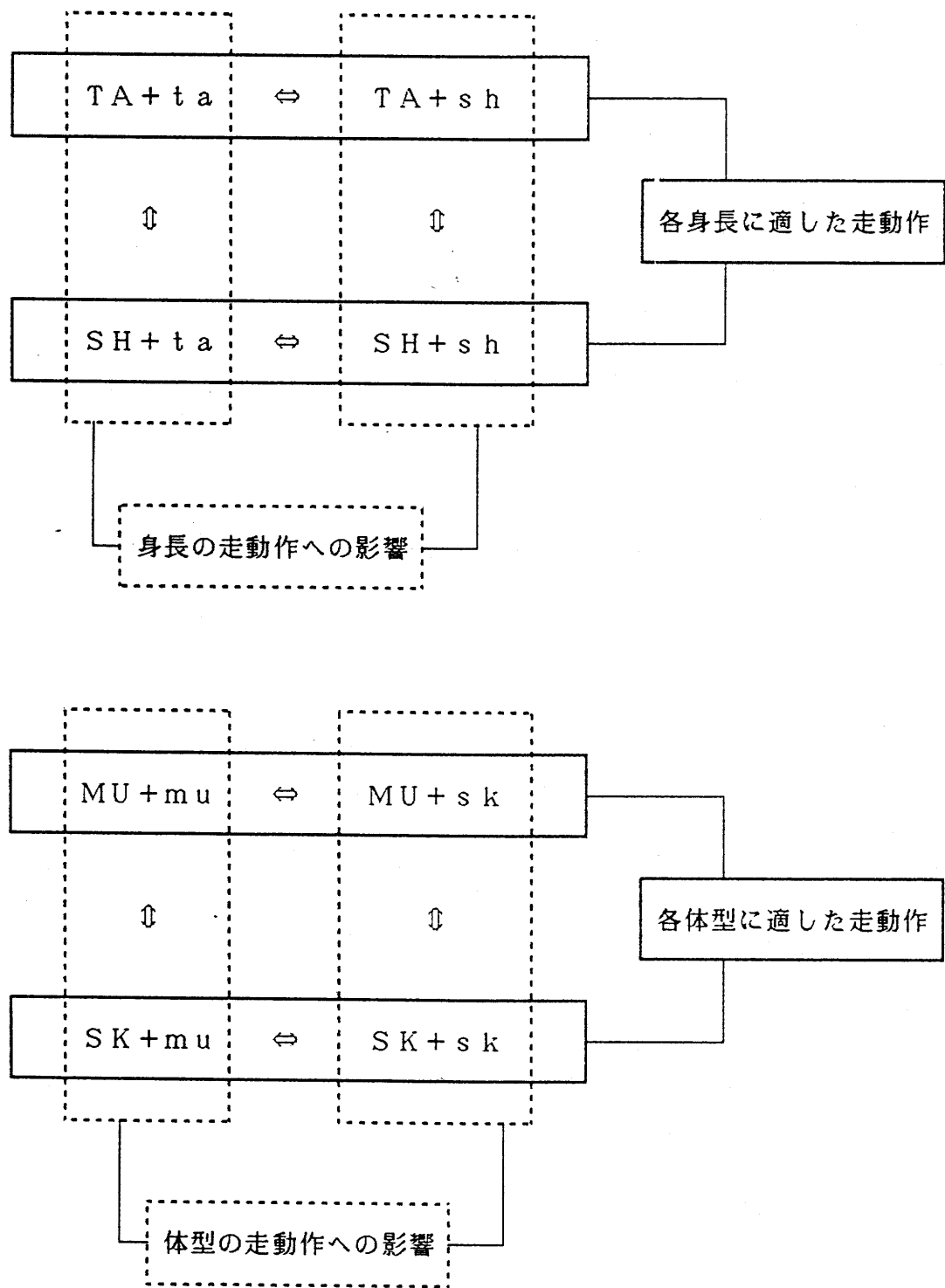


図4-2 課題3, 4の検討方法

TA, SH, MU, SK: TA群, SH群, MU群, SK群の形態

ta, sh, mu, sk: 各群固有の走フォーム

TA+ta: 形態TAを持つ走者の走フォームtaによる走動作

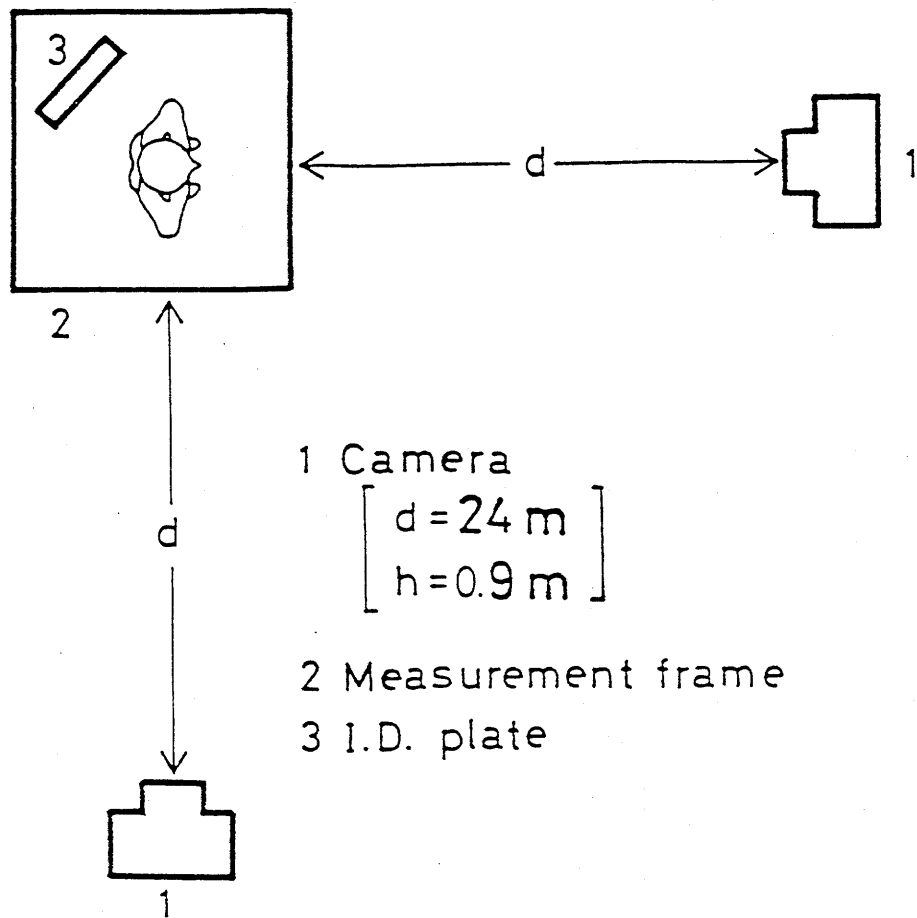


図 4 - 3 身体部分係数算出のための写真撮影における設定

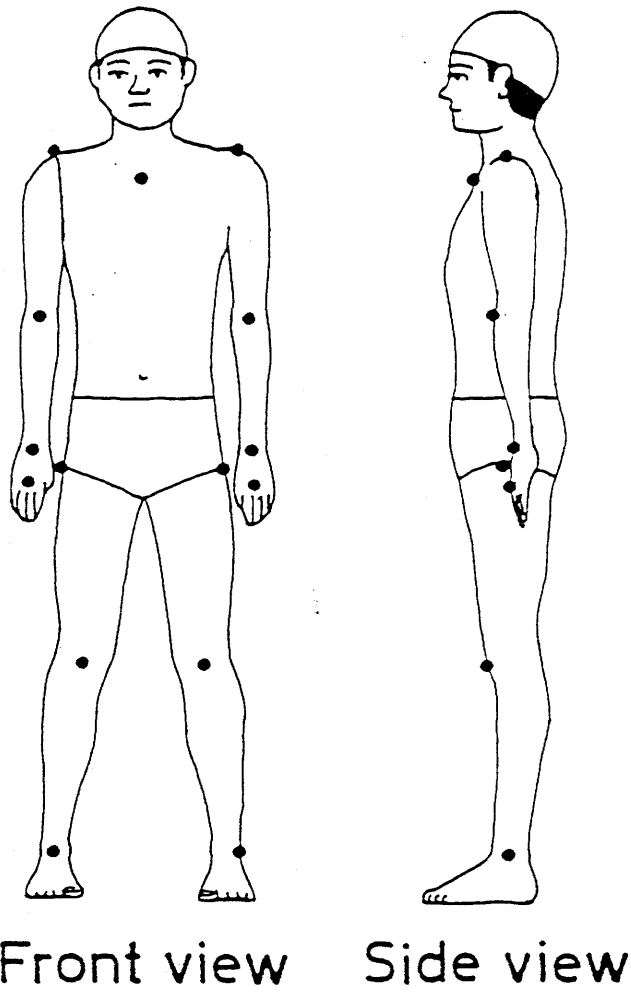


図 4 - 4 撮影姿勢およびランドマークの位置

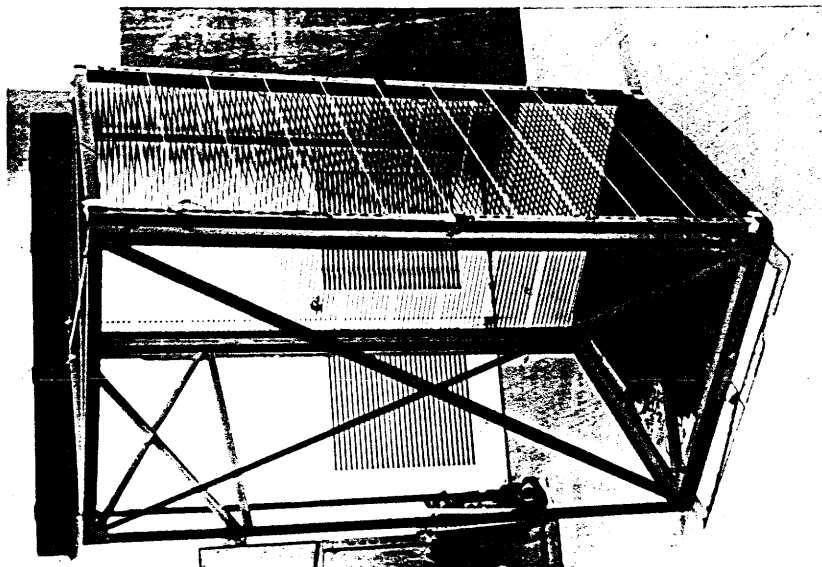
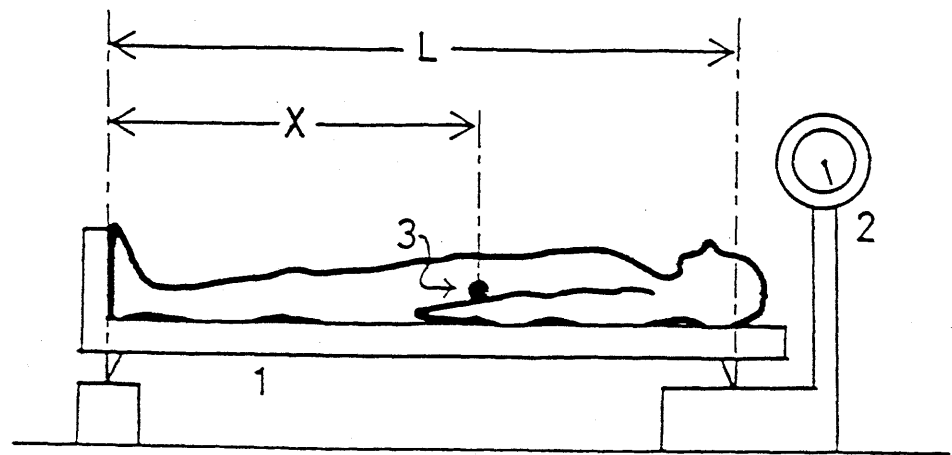


図 4 - 5 写真計測用フレーム



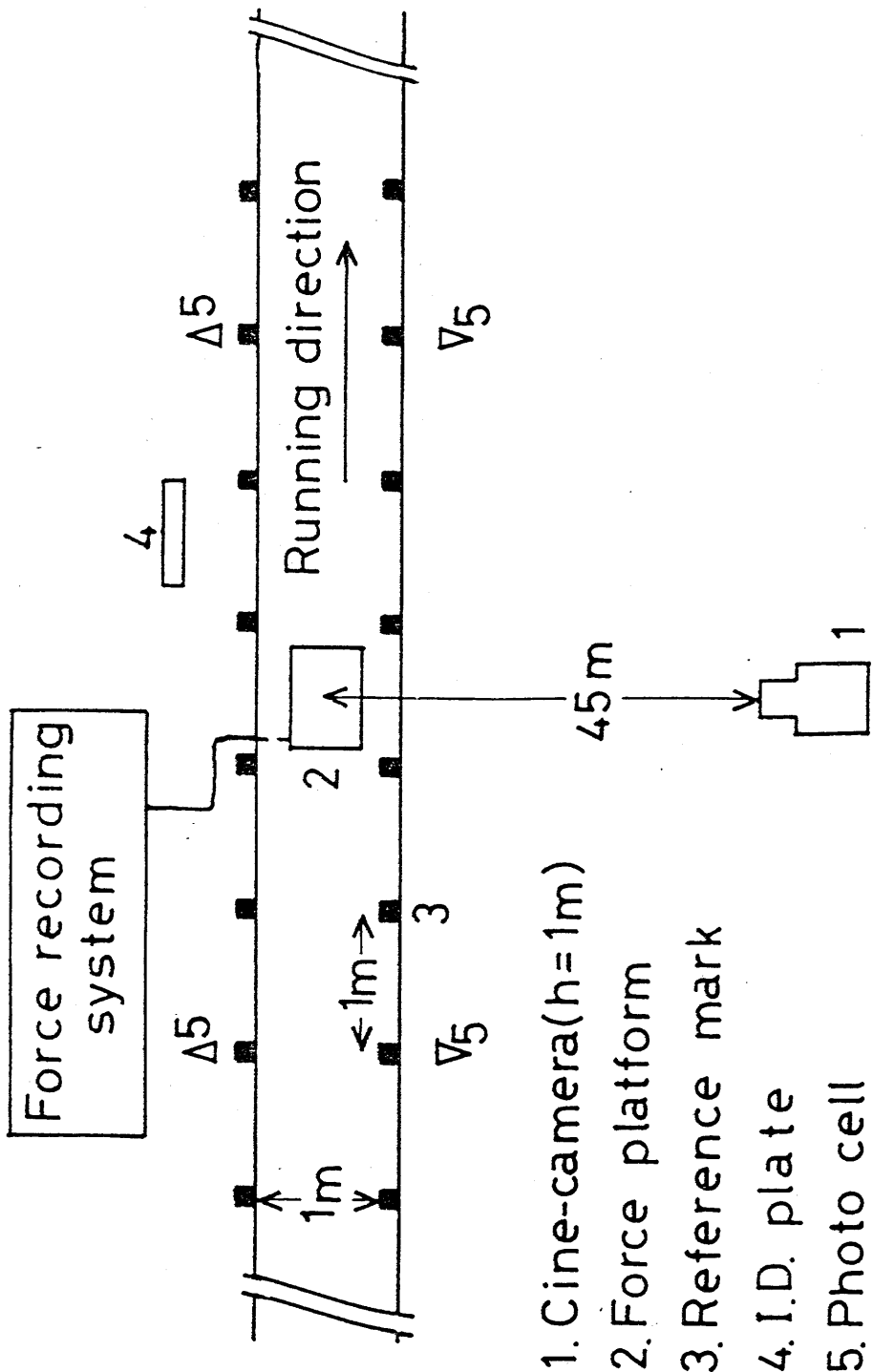
図 4 - 6 重心測定板



- 1 Reaction board
- 2 Scale
- 3 Center of gravity

$$X = L \cdot (F - F_0) / BW$$

図 4 - 7 身体重心高測定の様式図



1. Cine-camera (h=1m)
2. Force platform
3. Reference mark
4. I.D. plate
5. Photo cell

図4-8 実験1における設定

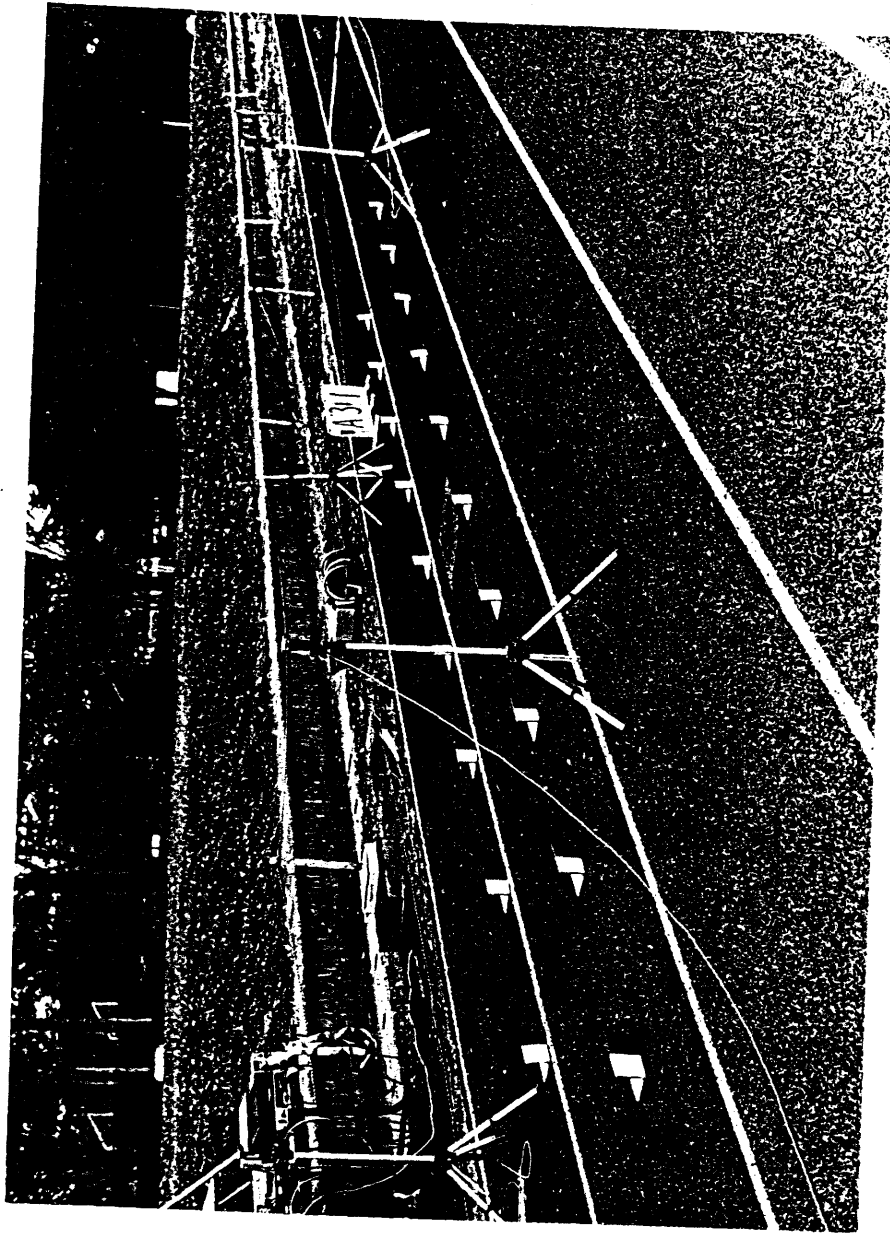


图 4 - 9 实验用走路

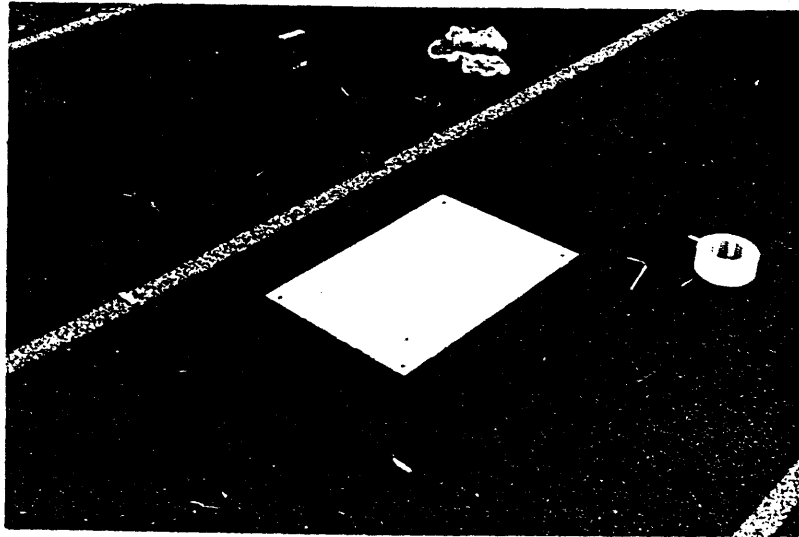
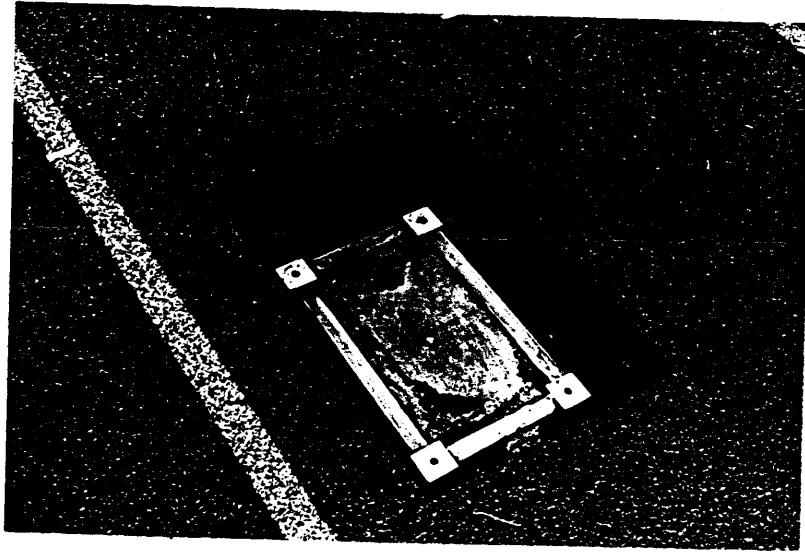
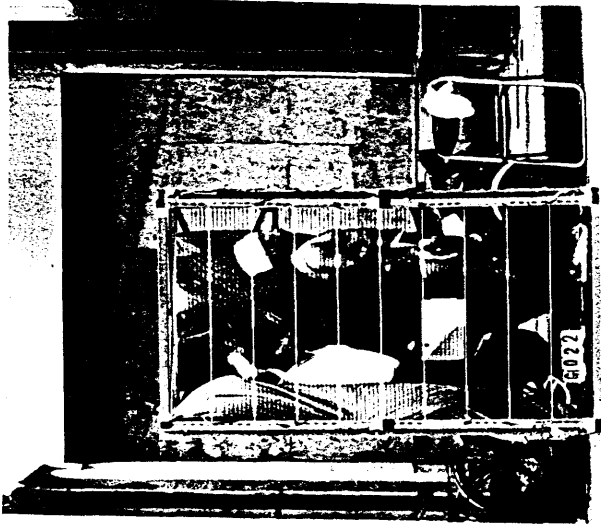
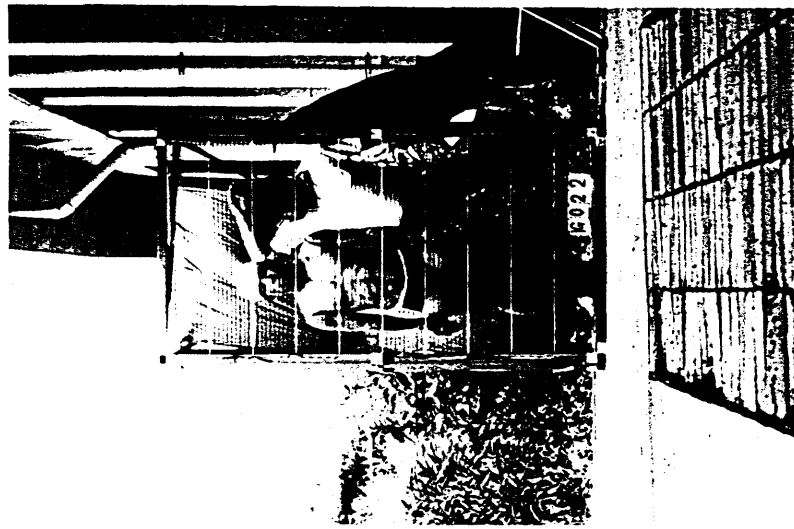


図 4 - 1 0 走路に設置した力量台固定用マウント





Side view



Front view

図 4 - 1 1 座標読取りに用いたフィルムの一例

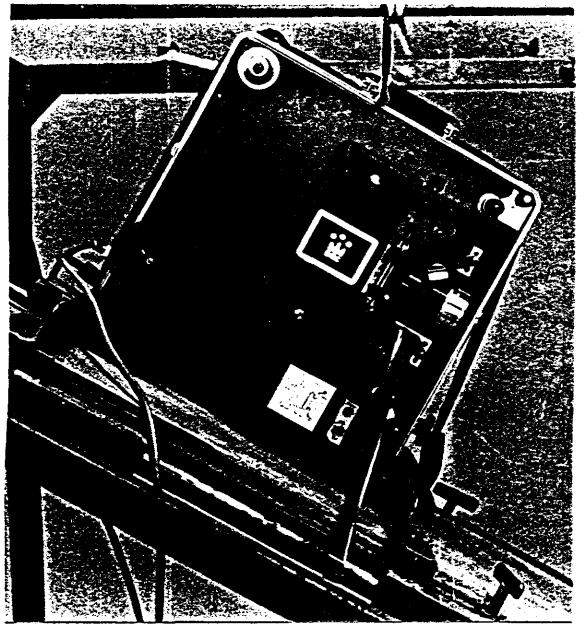
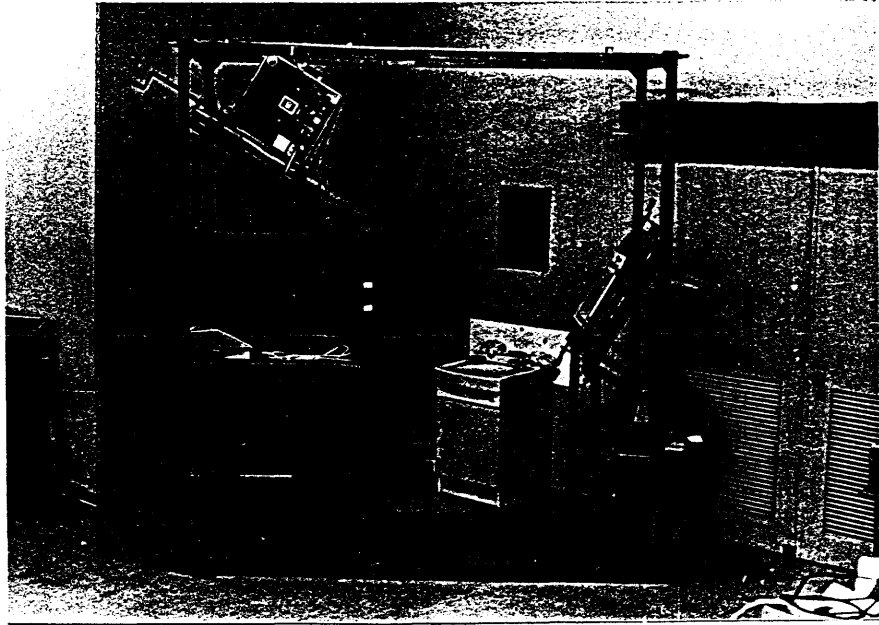
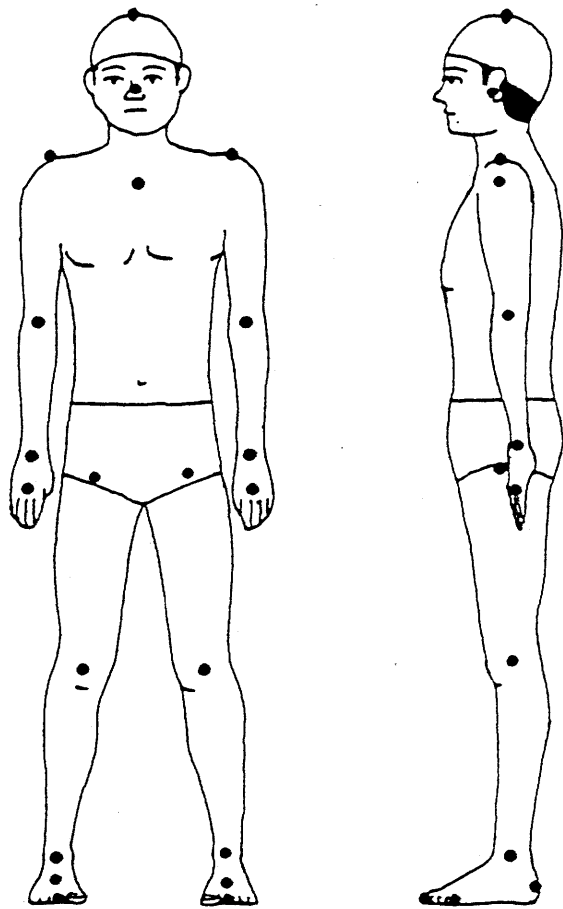


図 4 - 1 2 16mmフィルム分析装置



Front view    Side view

図 4 - 1 3 身体上の座標読取り点

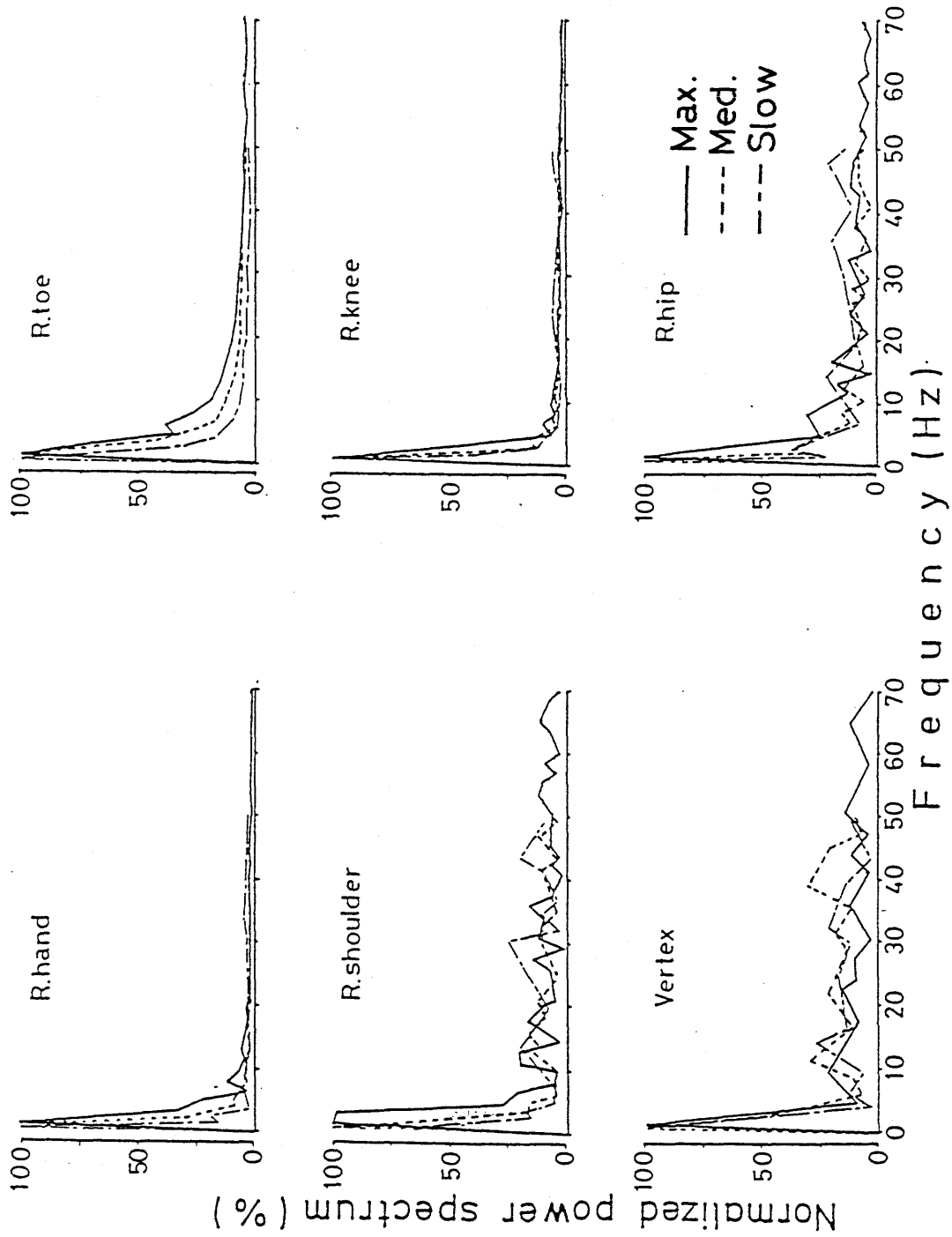


図 4-14 疾走中の各部分のパワースペクトル密度

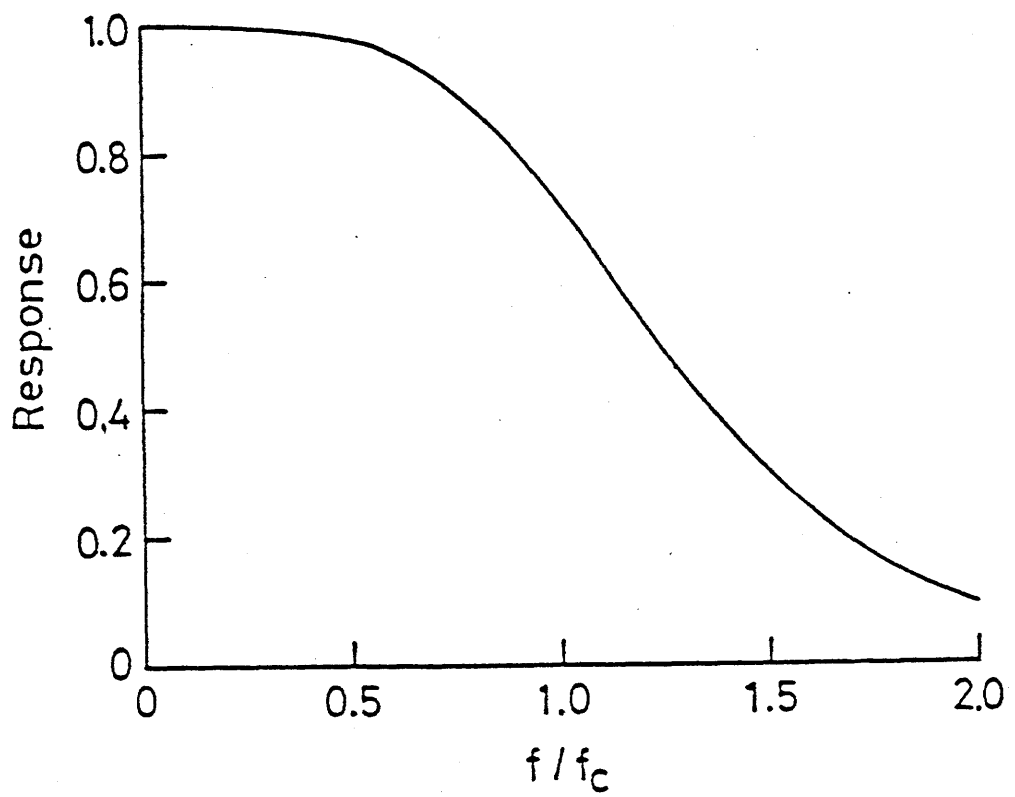


図 4 - 1 5 本研究において用いたButterworth 型デジタルフィルターの周波数応答特性

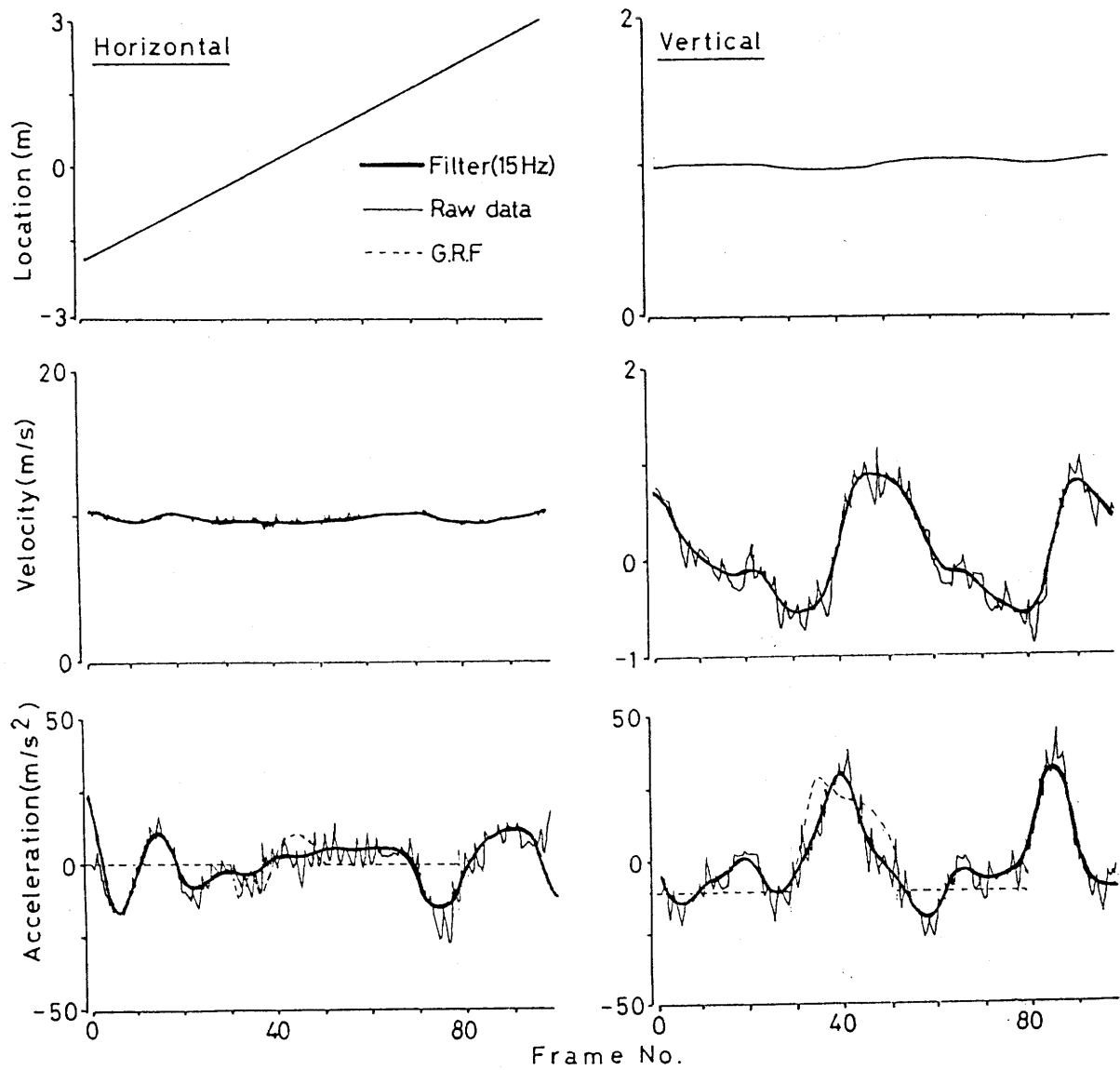


図 4 - 1 6 平滑化前，平滑化後のそれぞれの位置データ，および地面反力から求めた疾走中の身体重心の加速度の比較（全速疾走）

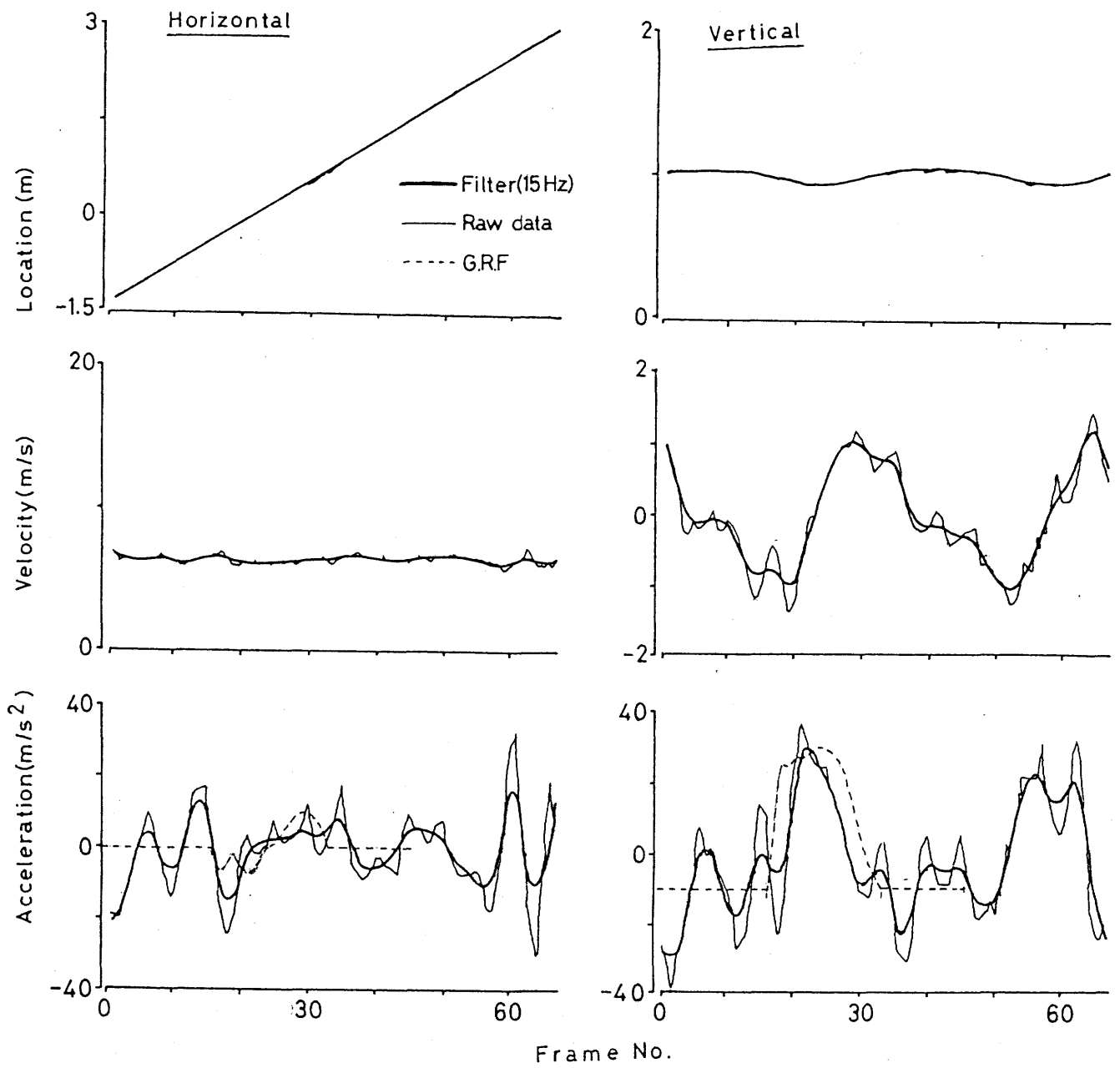


図 4 - 1 7 平滑化前, 平滑化後のそれぞれの位置データ, および地面反力から求めた疾走中の身体重心の加速度の比較 (中速走)

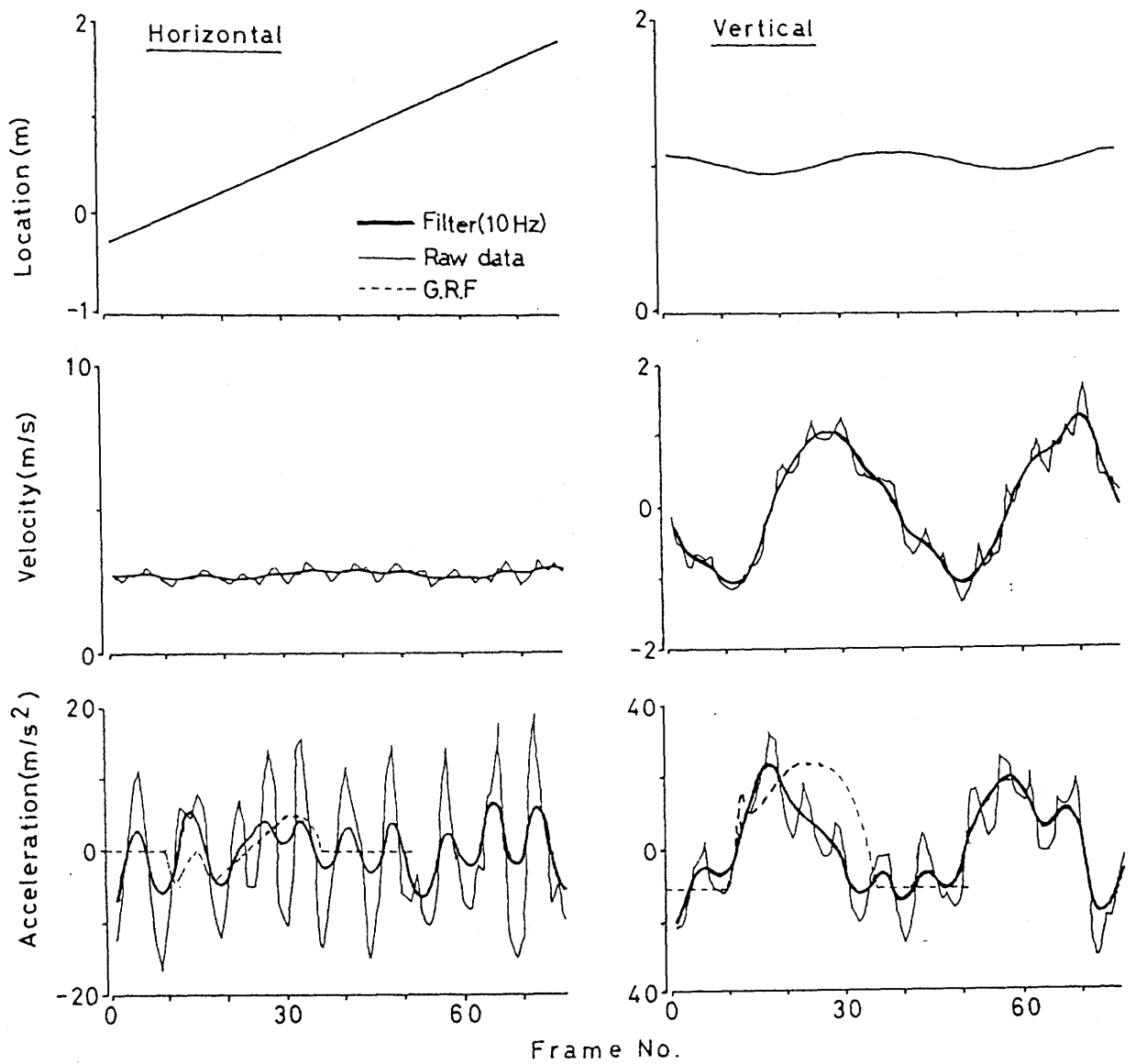


図 4 - 1 8 平滑化前, 平滑化後のそれぞれの位置データ, および地面反力から求めた疾走中の身体重心の加速度の比較 (低速走)



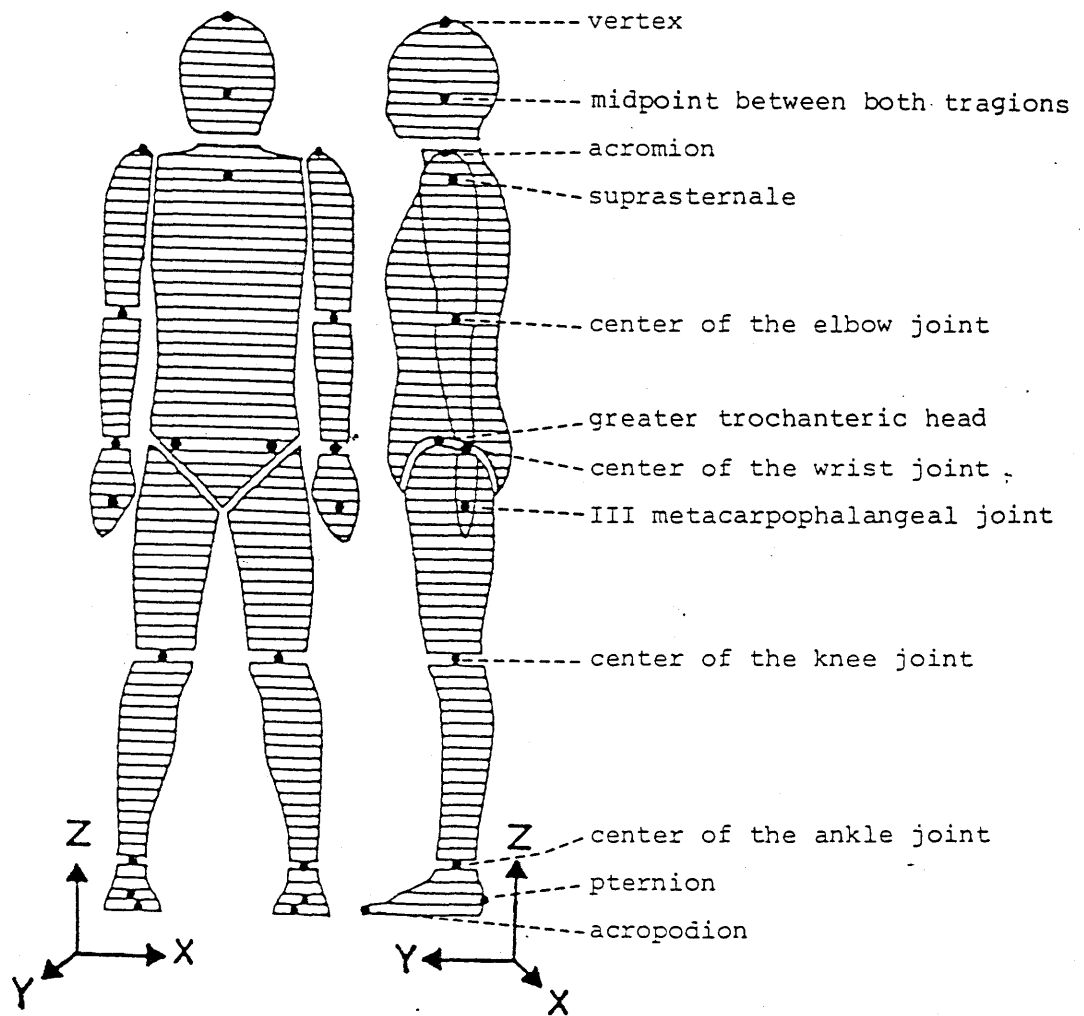
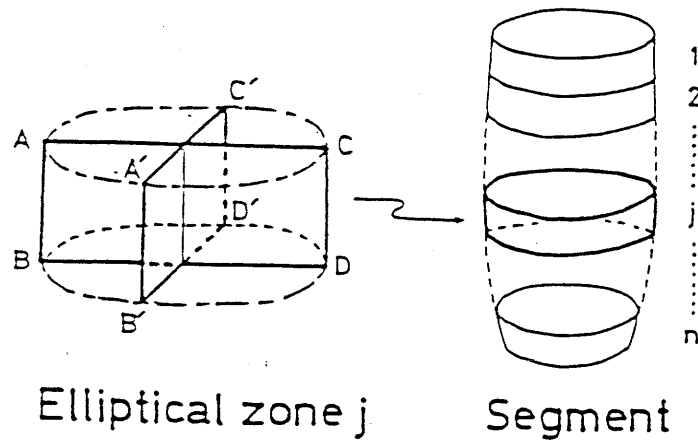


図 4 - 1 9 身体部分係数算出において用いた身体の数学モデルおよび基準点



$$A=(x_{1j}, z_{1j}), \quad A'=(y_{1j}, z_{3j}), \quad B=(x_{2j}, z_{2j}), \quad B'=(y_{2j}, z_{4j})$$

$$C=(x'_{1j}, z'_{1j}), \quad C'=(y'_{1j}, z'_{3j}), \quad D=(x'_{2j}, z'_{2j}), \quad D'=(y'_{2j}, z'_{4j})$$

$$r_j = \frac{1}{2} ( |x_{1j} - x'_{1j}| + |x_{2j} - x'_{2j}| ) \quad \dots\dots(1)$$

$$r'_j = \frac{1}{2} ( |y_{1j} - y'_{1j}| + |y_{2j} - y'_{2j}| ) \quad \dots\dots(2)$$

$$h_j = \frac{1}{4} ( |z_{1j} + z_{3j} + z'_{1j} + z'_{3j}| - |z_{2j} + z_{4j} + z'_{2j} + z'_{4j}| ) \quad \dots\dots(3)$$

$$m_j = \frac{1}{4} \pi \cdot r_j \cdot r'_j \cdot h_j \quad \dots\dots(4)$$

$$x_j = \frac{1}{4} (x_{1j} + x_{2j} + x'_{1j} + x'_{2j}) \quad \dots\dots(5)$$

$$y_j = \frac{1}{4} (y_{1j} + y_{2j} + y'_{1j} + y'_{2j}) \quad \dots\dots(6)$$

$$z_j = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^4 (z_{ij} + z'_{ij}) \quad \dots\dots(7)$$

$$|x_j| = m_j \cdot \left( \frac{r'_j{}^2}{16} + \frac{h_j^2}{12} \right) \quad \dots\dots(8)$$

$$|y_j| = m_j \cdot \left( \frac{r_j^2}{16} + \frac{h_j^2}{12} \right) \quad \dots\dots(9)$$

$$|z_j| = \frac{1}{16} m_j \cdot (r_j^2 + r'_j{}^2) \quad \dots\dots(10)$$

$$M = \sum_{j=1}^n m_j \quad \dots\dots(11)$$

$$X = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^n m_j \cdot x_j \quad \dots\dots(12)$$

$$kX = \left( \sum_{j=1}^n ( |x_j| + m_j \cdot ((y_j - Y)^2 + (z_j - Z)^2) ) \right)^{1/2} \quad \dots\dots(13)$$

図4-20 身体部分係数の算出式

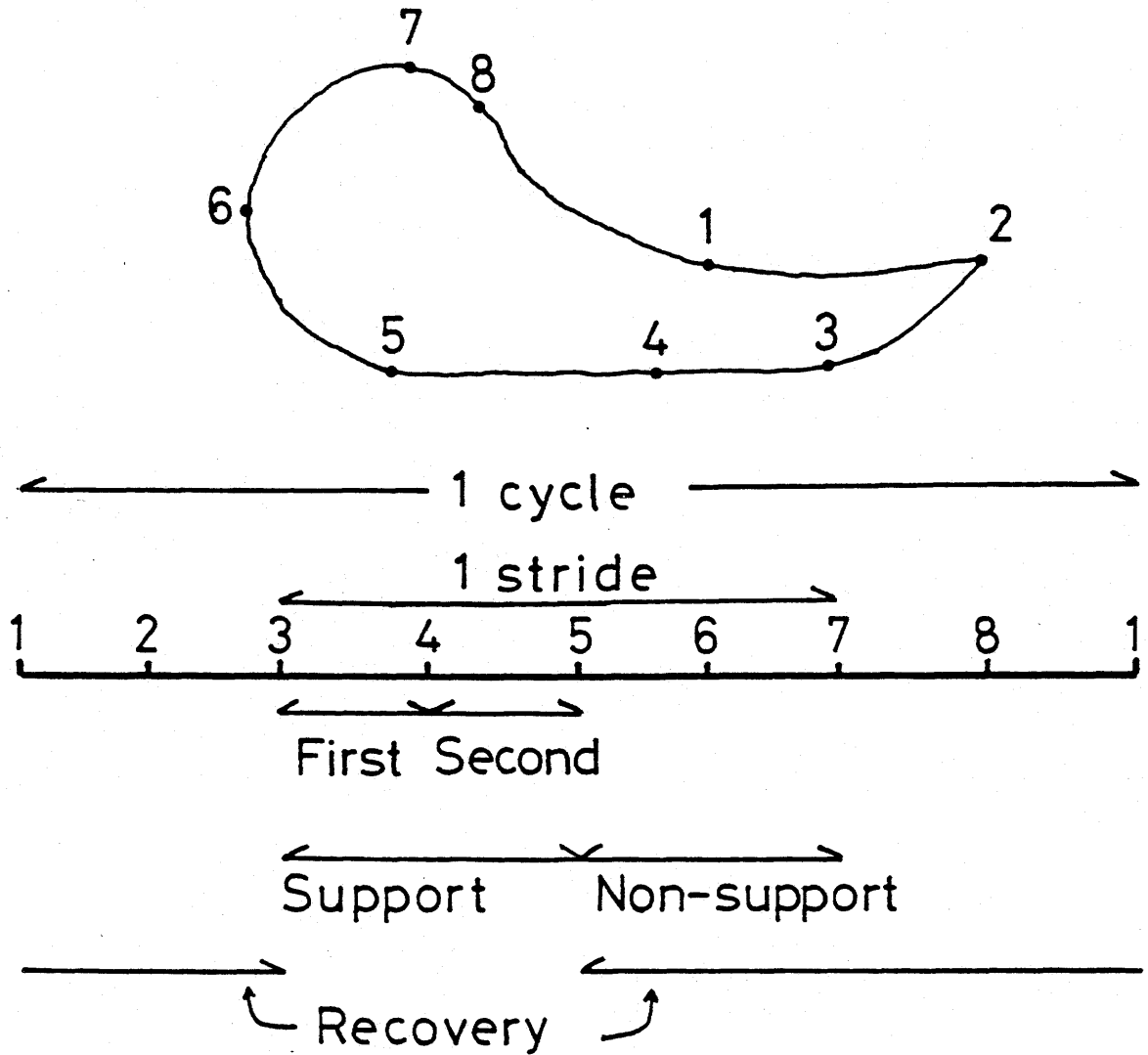


図4-21 走周期の区分と局面

1:左足離地, 2:右足振り戻し開始, 3:右足接地, 4:右足支持期中間点, 5:右足離地, 6:右足フォロースルー終了, 7:左足接地, 8:左足支持期中間点; 3~5:支持期, 3~4:支持期前半, 4~5:支持期後半, 5~7:非支持期, 5~7:回復前期, 7~1:回復中期, 1~3:回復後期.

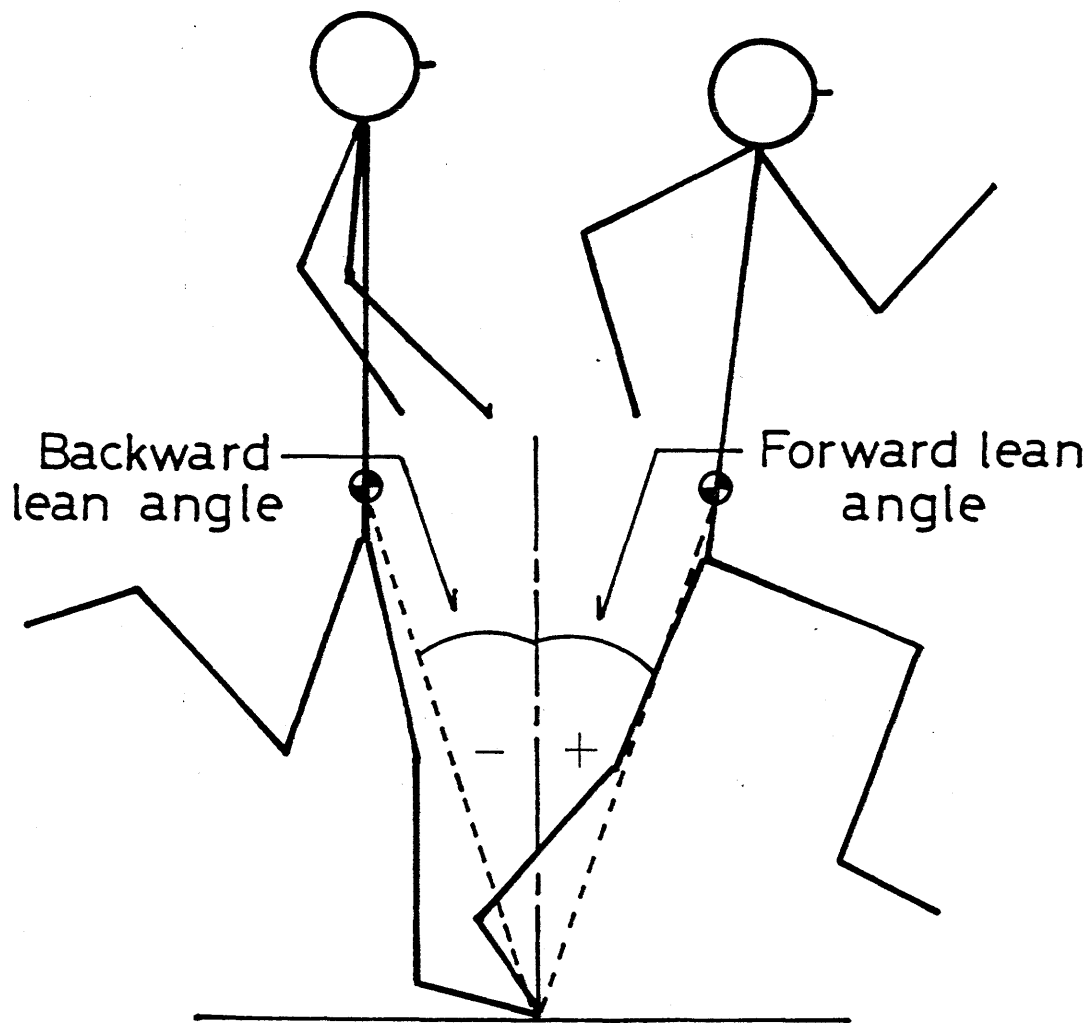


図 4 - 2 2 前傾角および後傾角

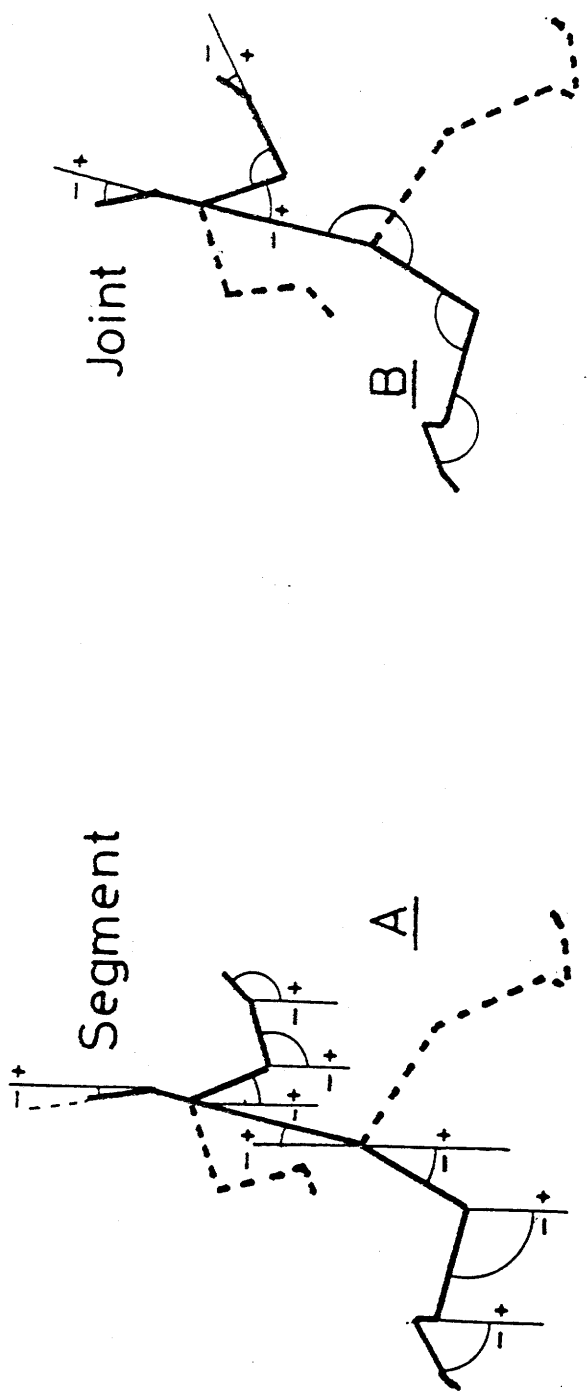
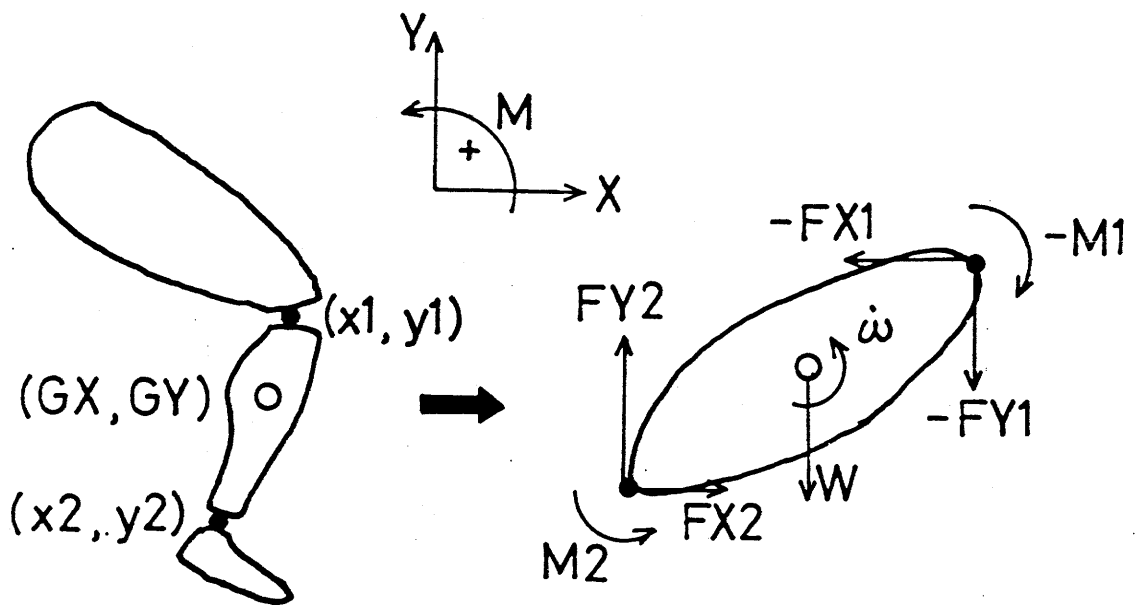


図 4 - 2 3 身体各部分および各関節の角度



$$M_2 = I \cdot \ddot{\omega} + M_1 + F_{Y1} \cdot (x_1 - G_X) - F_{X1} \cdot (y_1 - G_Y) - F_{Y2} \cdot (x_2 - G_X) + F_{X2} \cdot (y_2 - G_Y) \dots\dots(i)$$

$$P_j = M_j \cdot \dot{\omega}_j, \quad (j=1, 2) \dots\dots(ii)$$

where  $(x_j, y_j)$  : Joint location,

$(G_X, G_Y)$  : Location of the segment CG,

$F_{Xj}, F_{Yj}$  : Joint force,

$\ddot{\omega}$  : Segment angular acceleration,

$I$  : Moment of inertia of the segment,

$\dot{\omega}_j$  : Joint angular velocity.

図4-24 関節トルク、関節パワーの算出におけるモデルおよび算出式

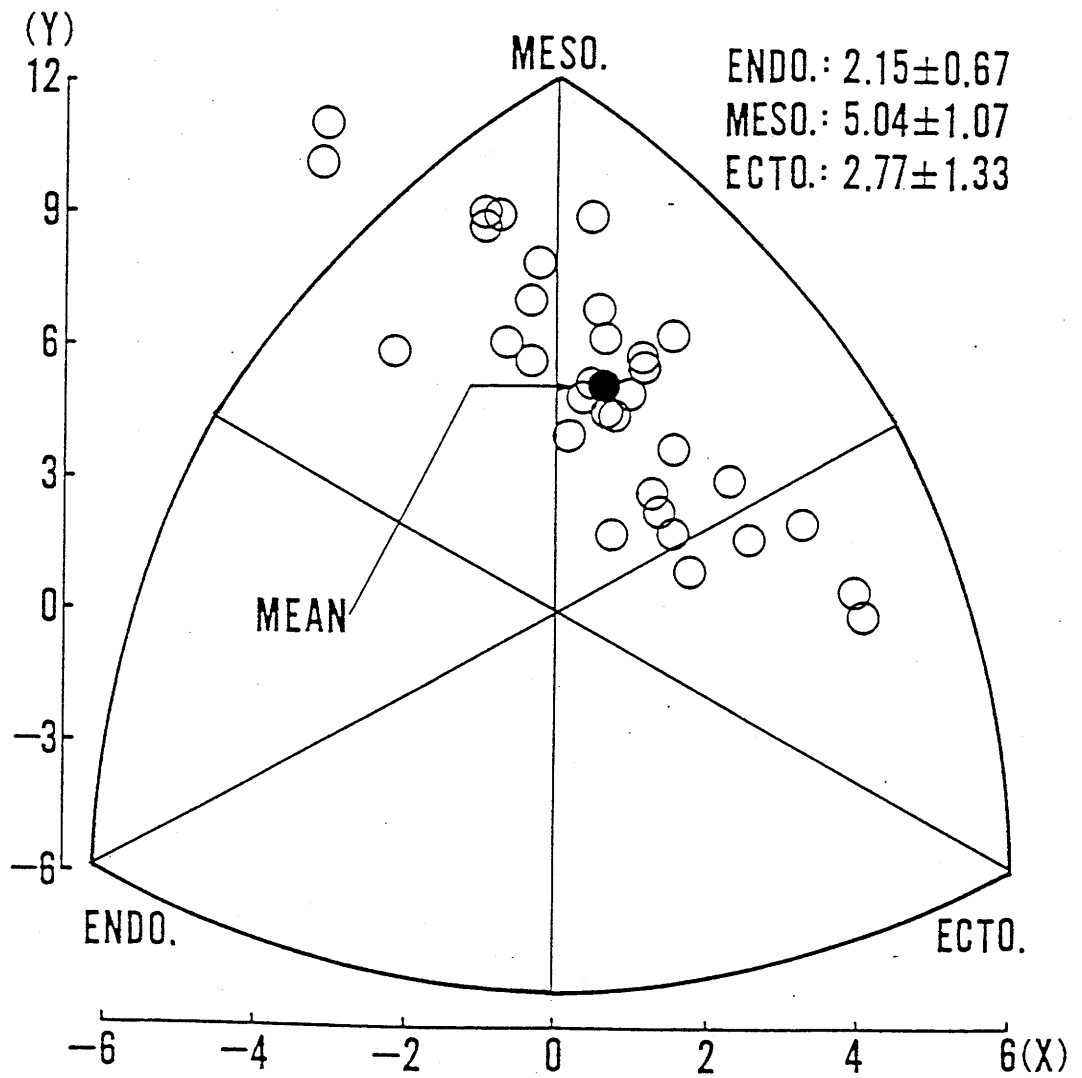


図 4 - 2 5 被験者群 A における体型分布および各体型指数の平均値と標準偏差

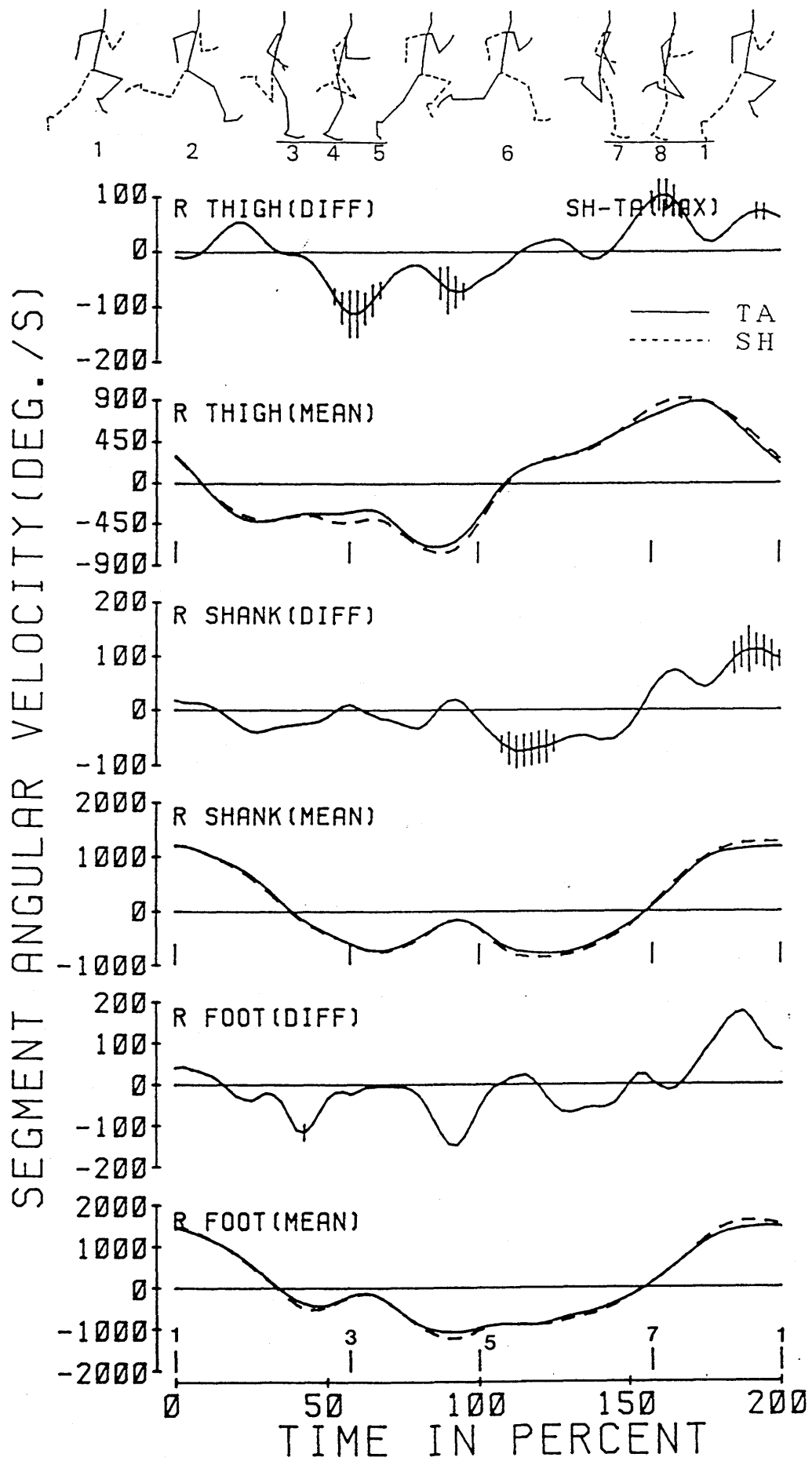


図4-26 平均化したデータの表示法の一例



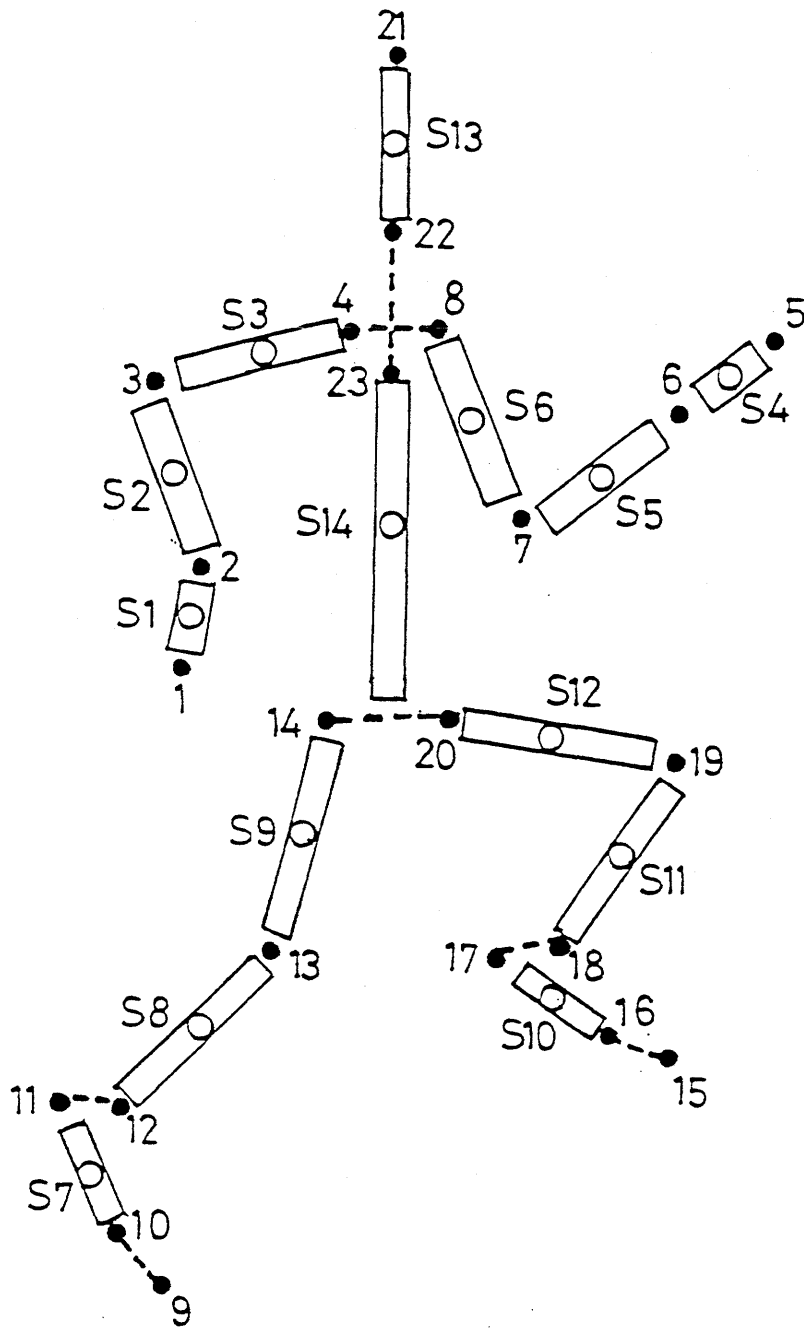


図4-27 シミュレーションにおける身体モデル。

●：連結点（1,5：中指根部，2,6：手首関節中心，3,7：肘関節中心，4,8：肩関節中心，9,15：足先，10,16：母指球，11,17：踵点，12,18：足首関節中心，13,19：膝関節中心，14,20：転子点，21：頭頂，22：左右耳珠点の中点，23：胸骨上点）。

○：身体部分（s1,s4：手，s2,s5：前腕，s3,s6：上腕，s7,s10：足，s8,s11：下腿，s9,s11：大腿，s13：頭部，s14：胸部）。

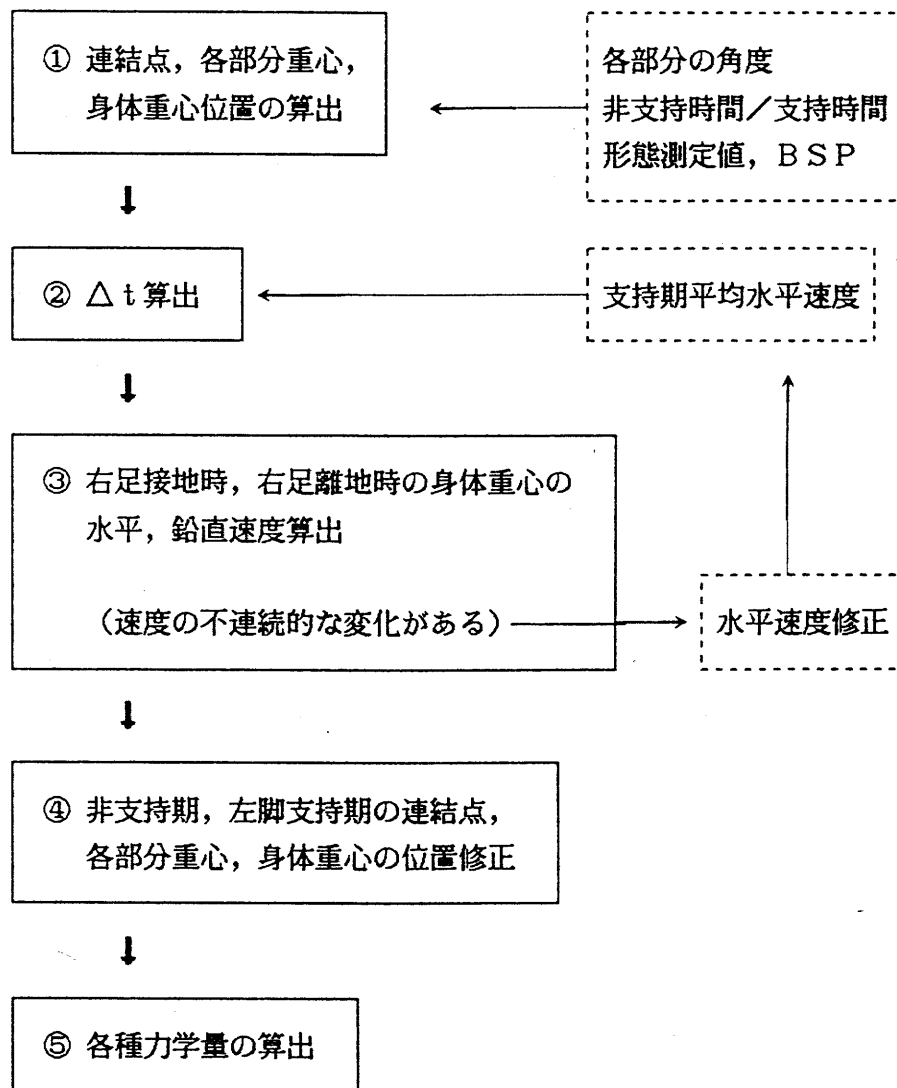
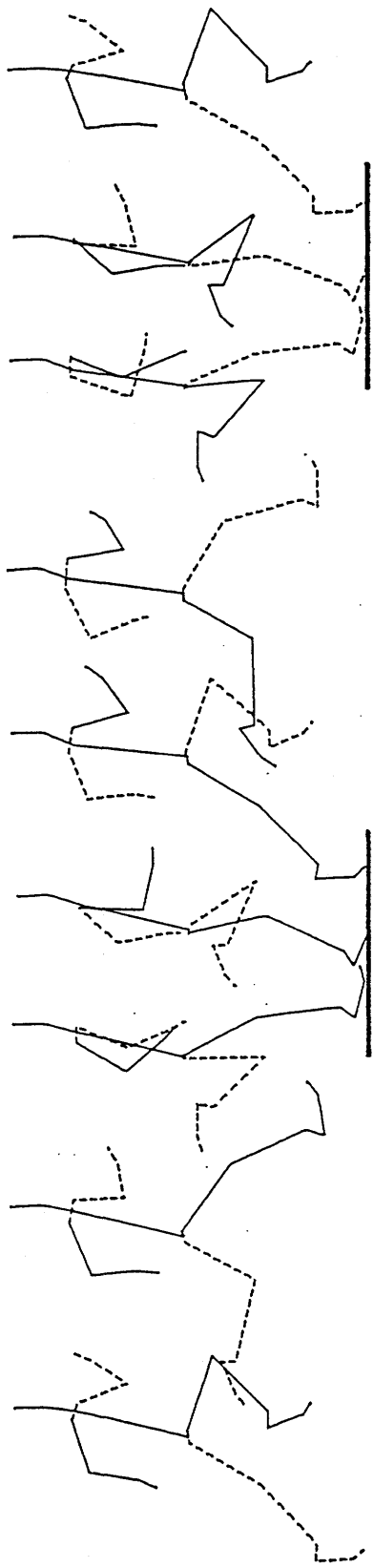
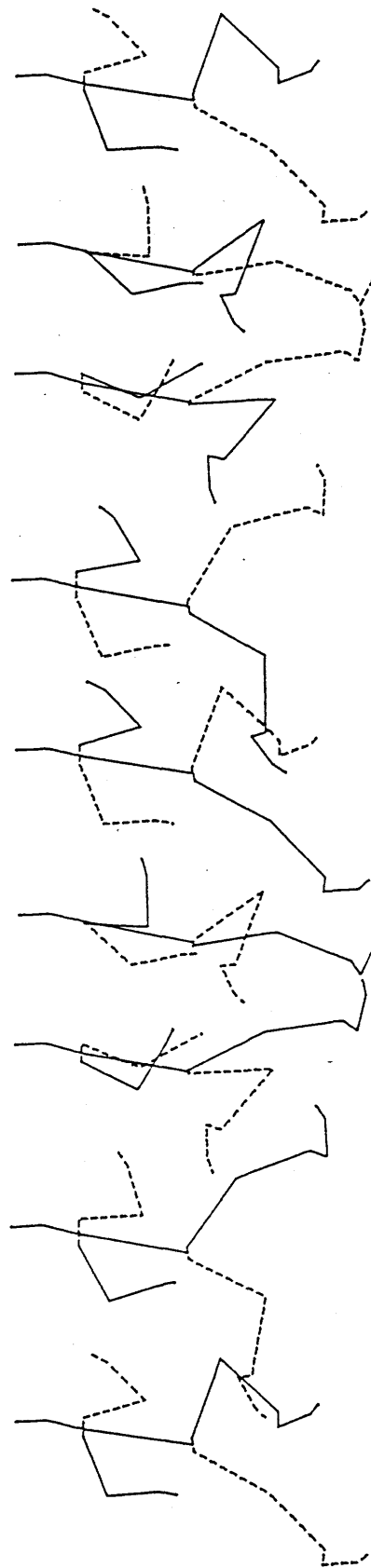


図4-28 シミュレーションの手順



FLM



SIM

図4-29 シミュレーション(SIM)とフィルム分析(FLM)における疾走フォームの比較

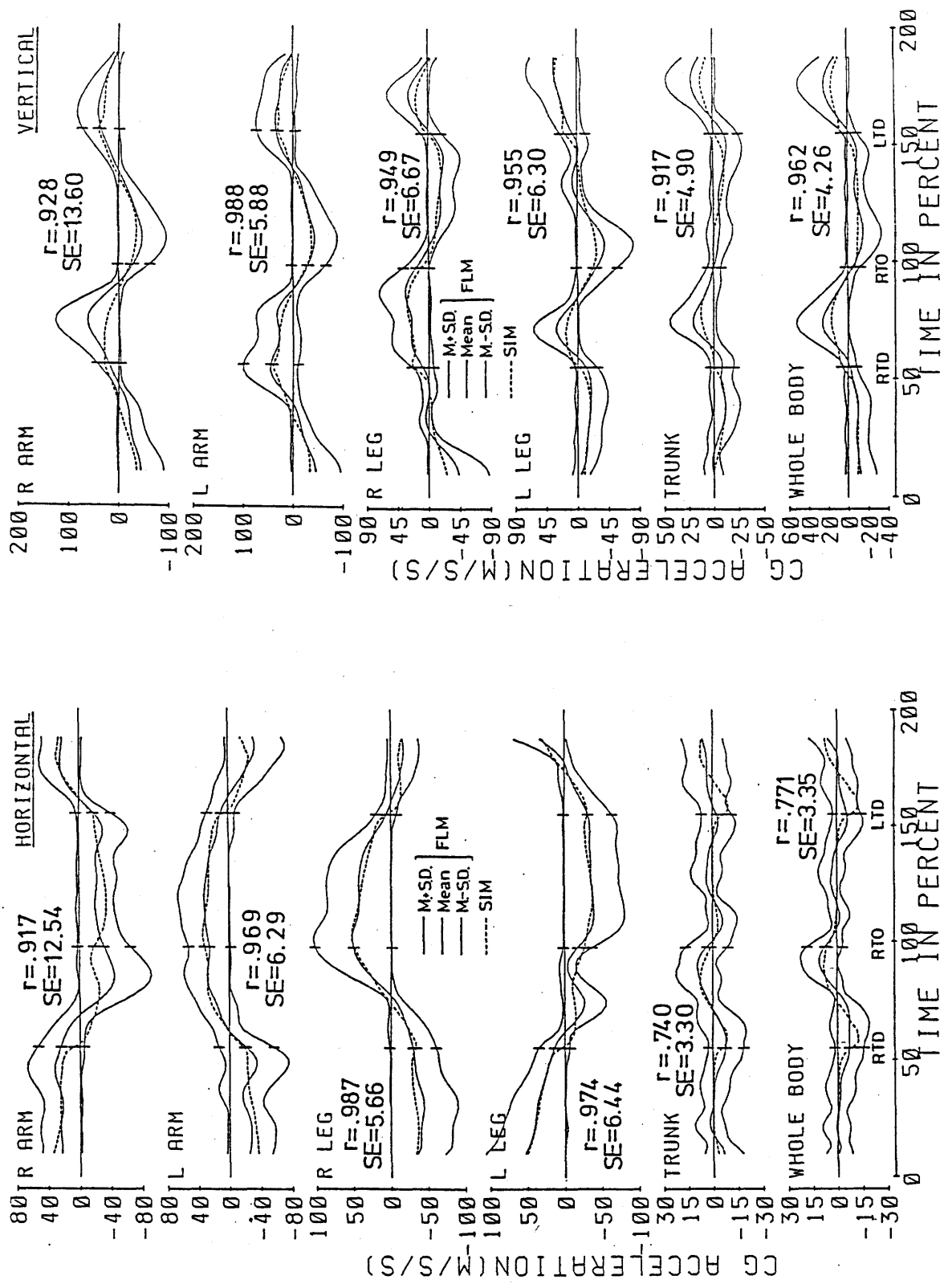


図4-30 シミュレーション(SIM)とフィルム分析(FLM)における各部分の身体重心加  
 速度の比較 (  $r$  : 相互相関係数, SE : 標準誤差 (  $m/s^2$  ) )

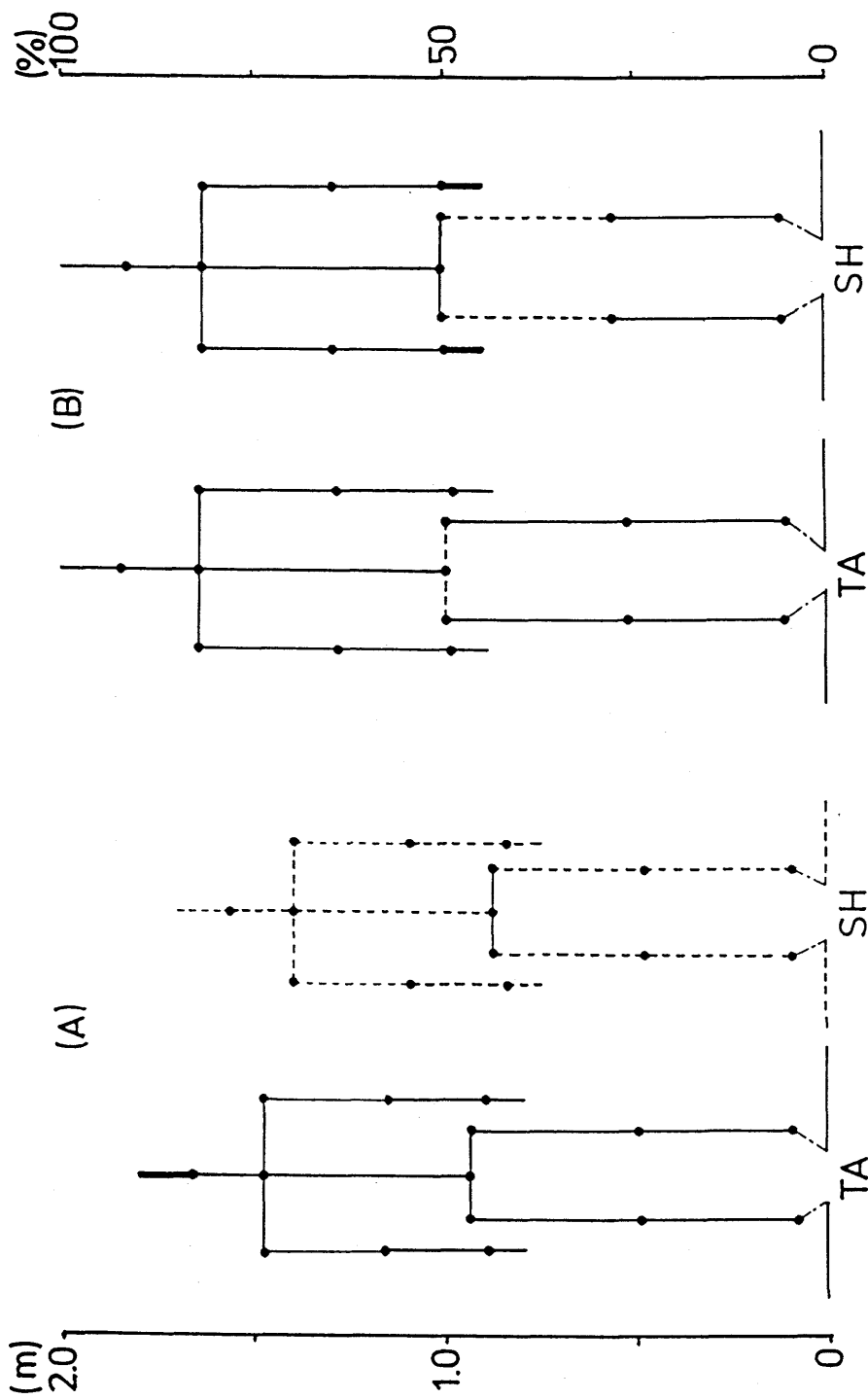


図5-1 TA群とSH群における各部分の長さ、周囲長、肩幅、腰幅の比較

(A)：絶対値。(B)：相対値(各部分の長さ、肩幅、腰幅は身長に対する比で、周囲長はそれぞれの部分の長さに対する比で示した)。

ただし、両群間の平均値に10%水準で有意差を示した項目については、線の種類(実線：部分がより長い、破線：部分がより短い)や太さ(太い線：周囲長がより長い)によって相違を表わした。

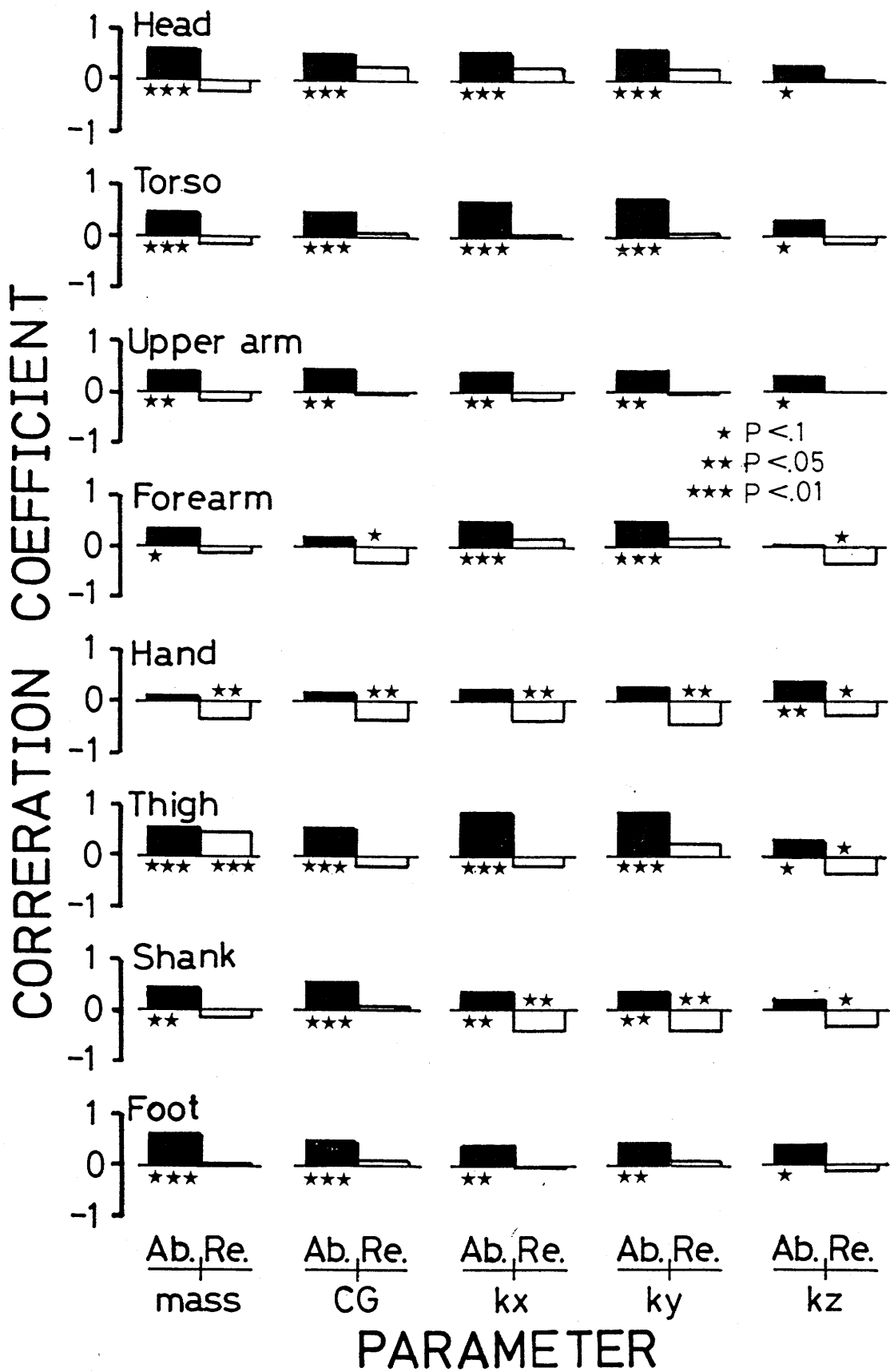


図5-2 身長と身体部分係数の絶対値 (Ab.) , 相対値 (Re.) との相関係数 (N=30)

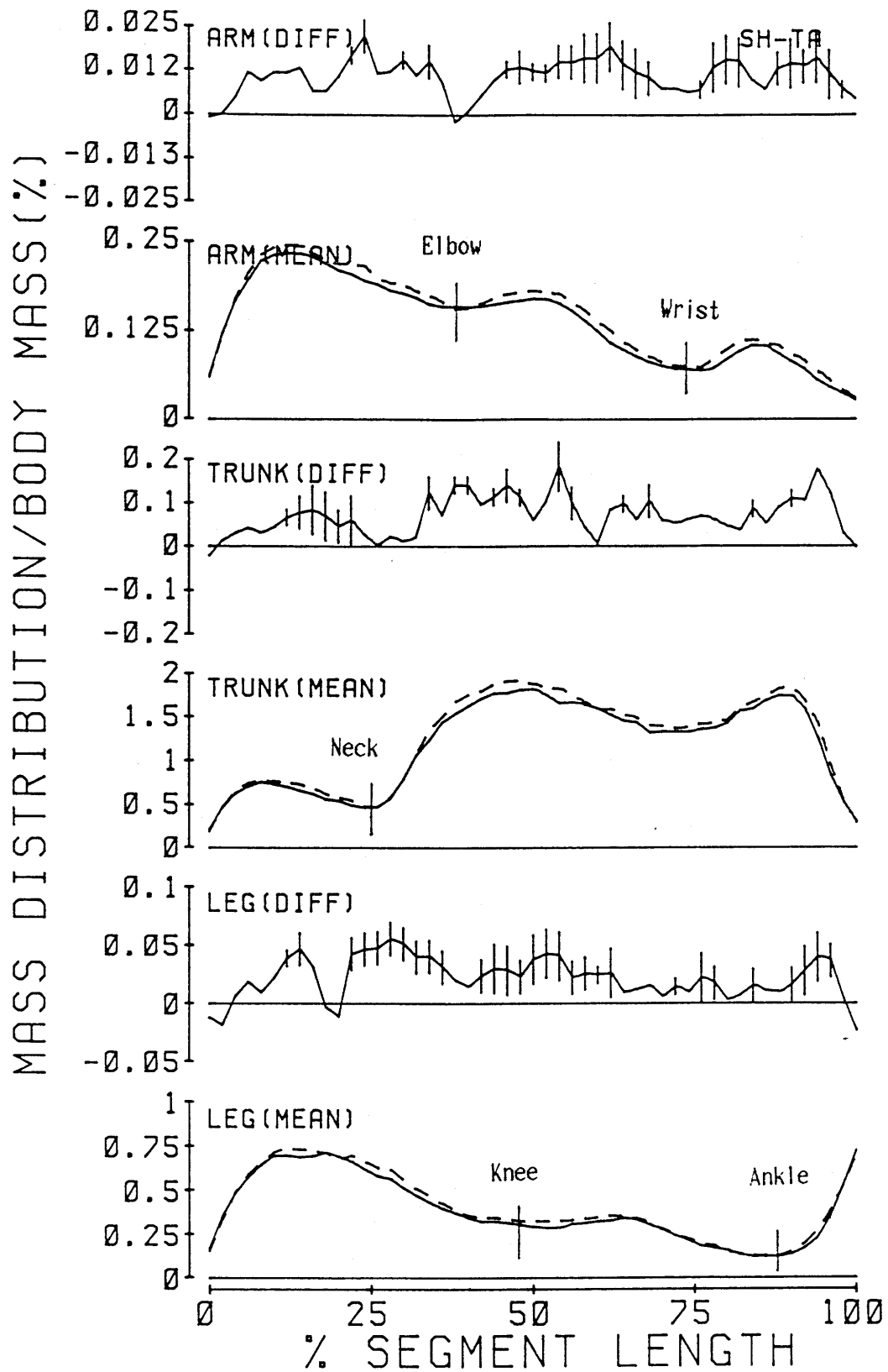


図5-3 TA群(実線), SH群(破線)における腕, 体幹, 脚の質量分布

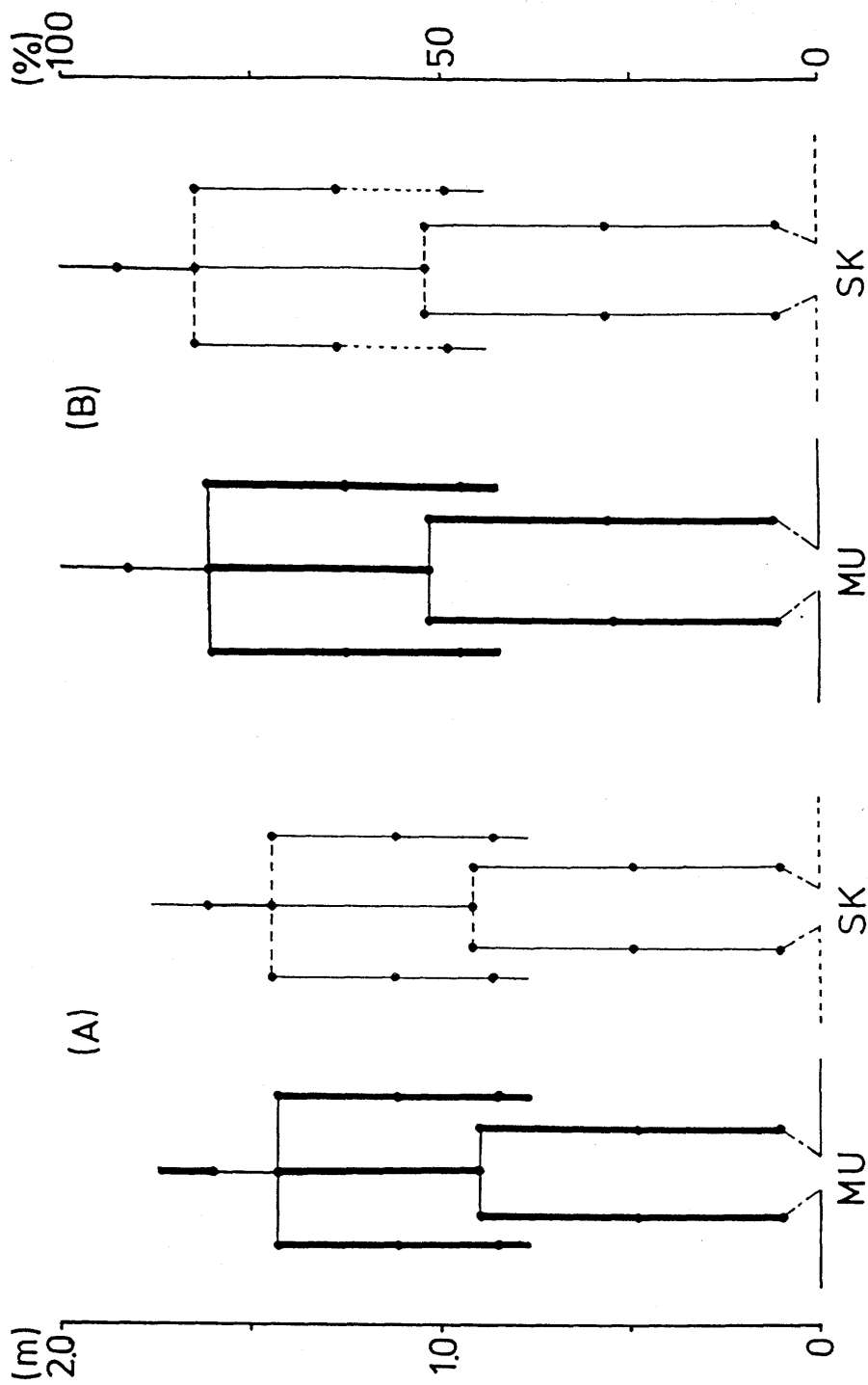


図5-4 MU群とSK群における各部分の長さ、周囲長、肩幅、腰幅の比較

(A)：絶対値、(B)：相対値（各部分の長さ、肩幅、腰幅は身長に対する比で、周囲長はそれぞれの部分の長さに対する比で示した）。

ただし、両群間の平均値に10%水準で有意差を示した項目については、線の種類（実線：部分がより長い、破線：部分がより短い）や太さ（太い線：周囲長がより長い）によって相違を表わした。



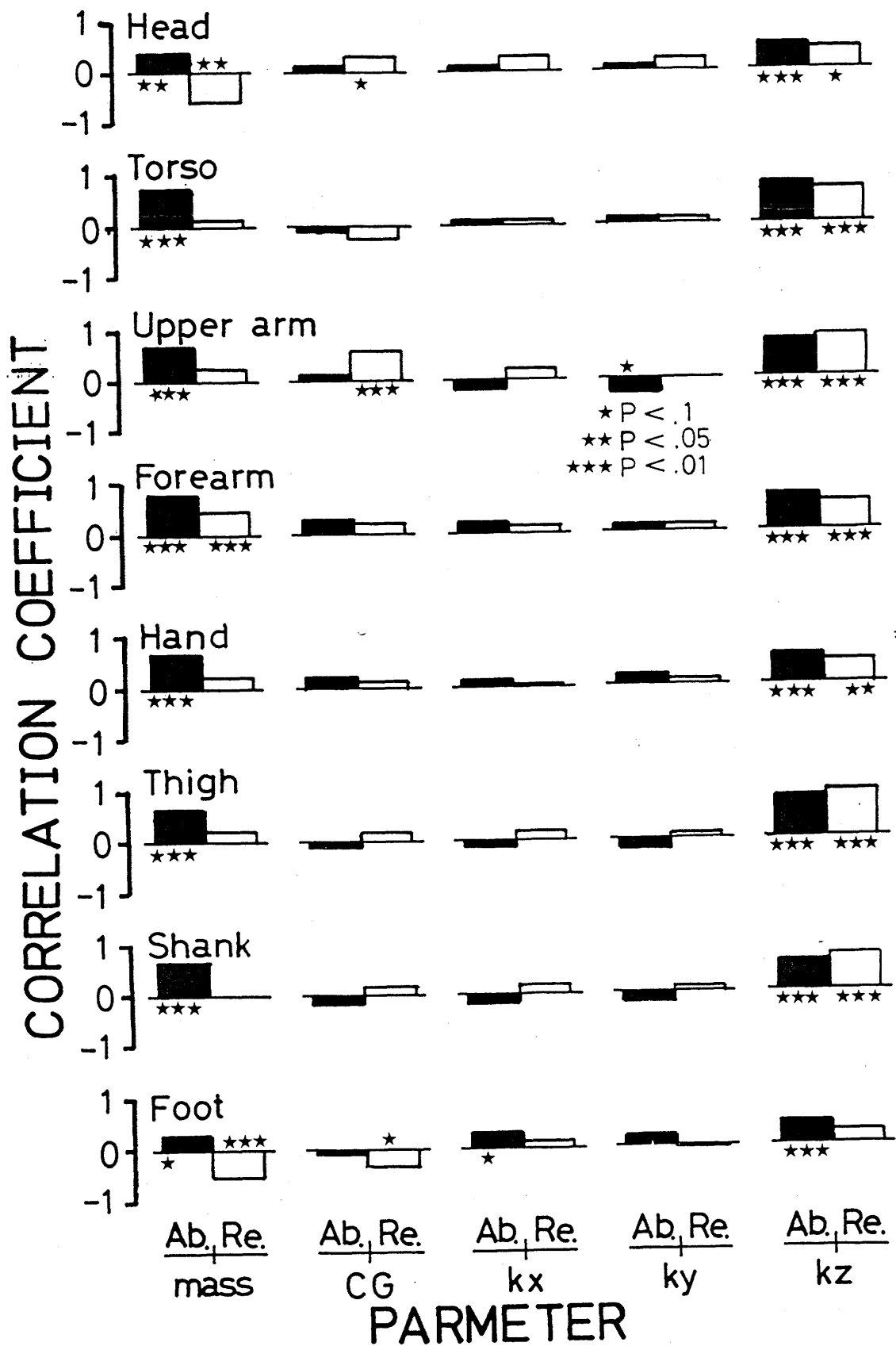


図5-5 中胚葉値と身体部分係数の絶対値 (Ab.) , 相対値 (Re.) との相関係数 (N=30)

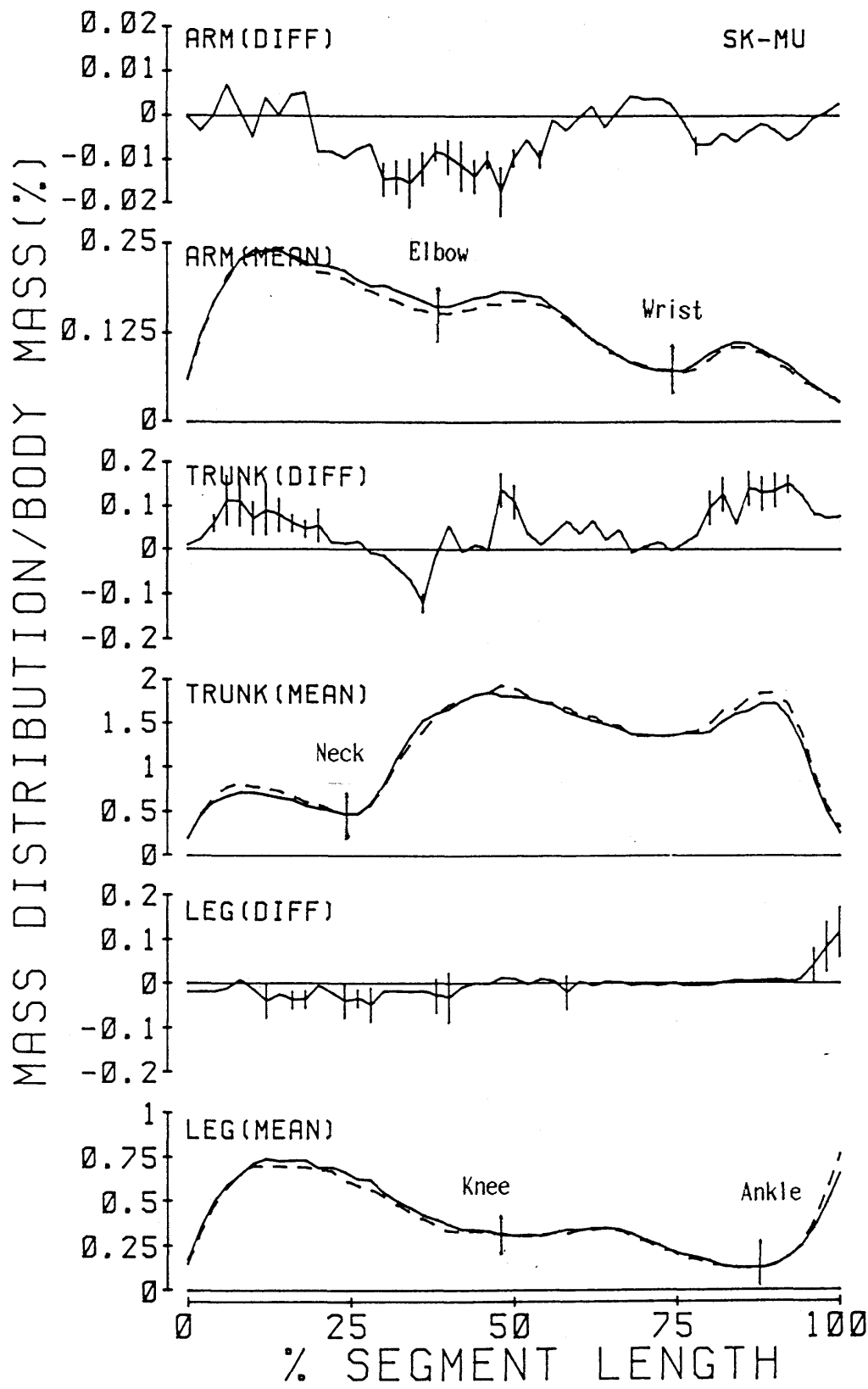


図5-6 MU群(実線), SK群(破線)における腕, 体幹, 脚の質量分布

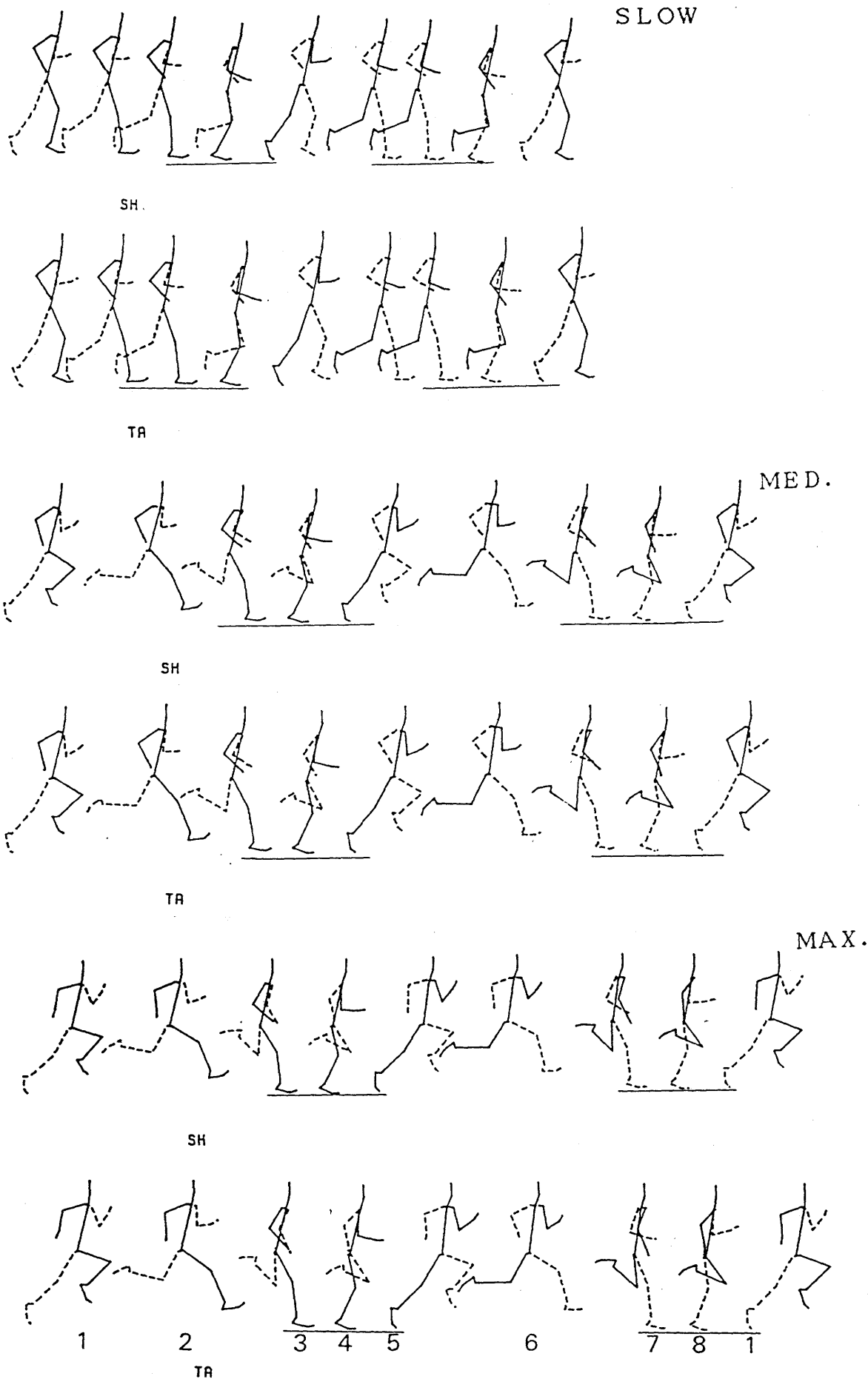
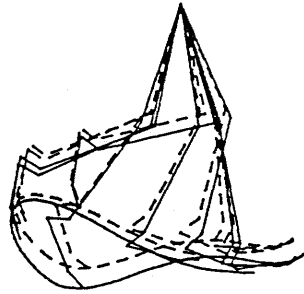
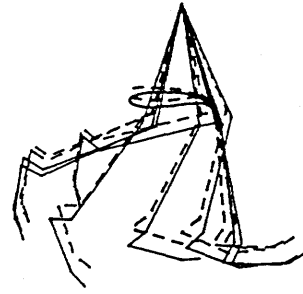


図6-1 各速度段階におけるTA群, SH群の疾走フォーム  
 1:左足離地, 2:右足振り戻し開始, 3:右足接地, 4:右足支持期中間点,  
 5:右足離地, 6:右足フォロースルー終了, 7:左足接地, 8:左足支持期  
 中間点.

SLOW

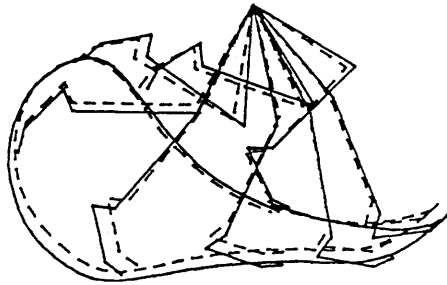


A

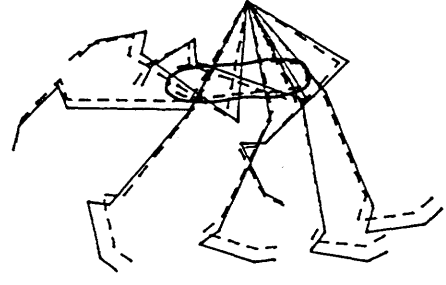


B

MED.

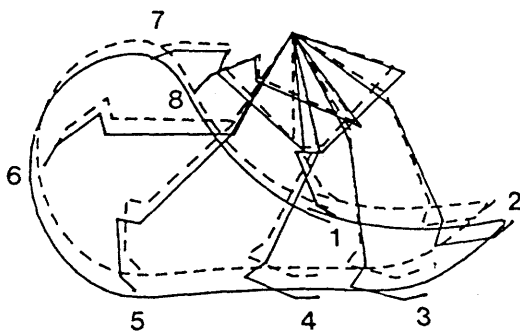


A

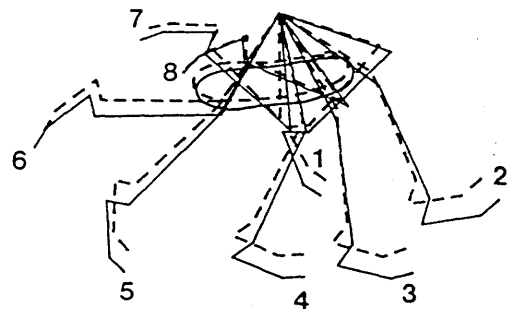


B

MAX.



A



B

図6-2 各速度段階におけるTA群(実線)とSH群(破線)の疾走中の右脚の動き。ただしAには足先の軌跡を、Bには脚重心の軌跡を併記。

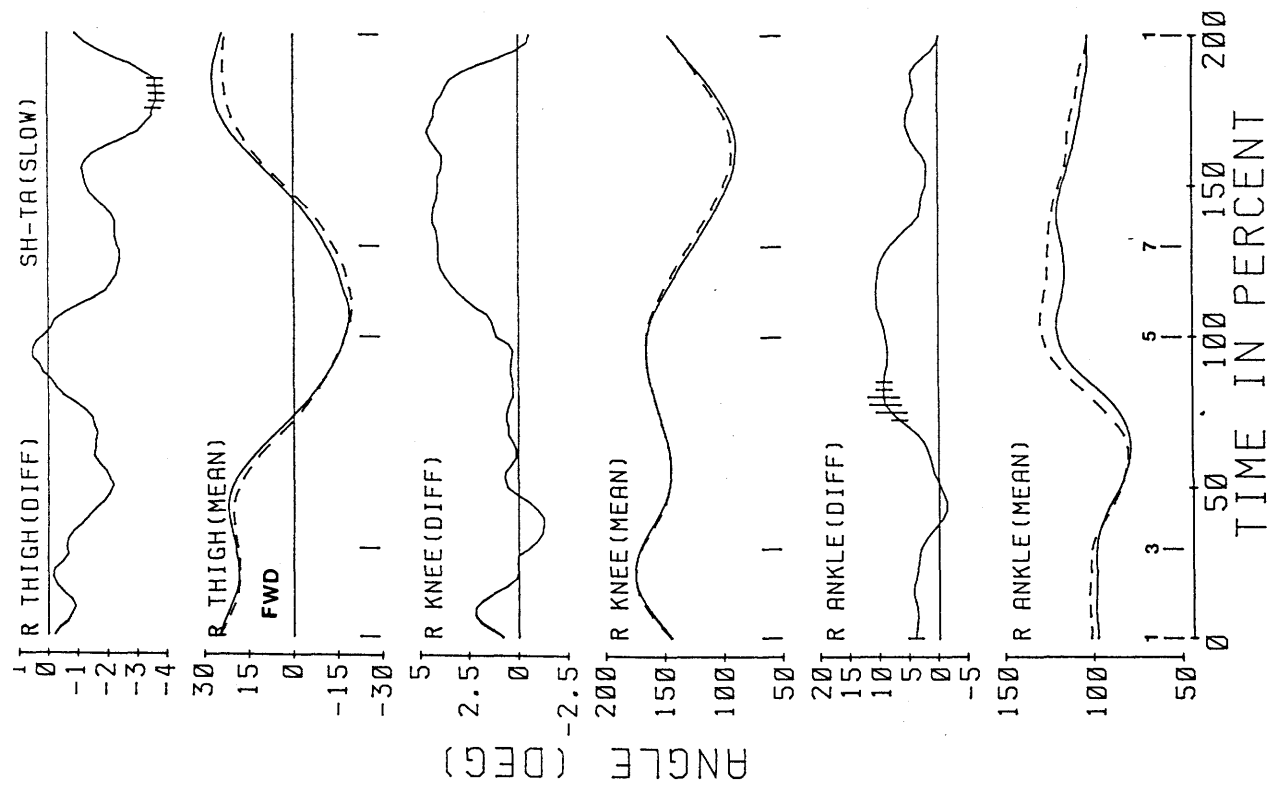


図6-3 (a) TA群 (実線) とSH群 (破線) における疾走中の右大腿, 膝関節, 足関節の角速度変化 (低速走)  
 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

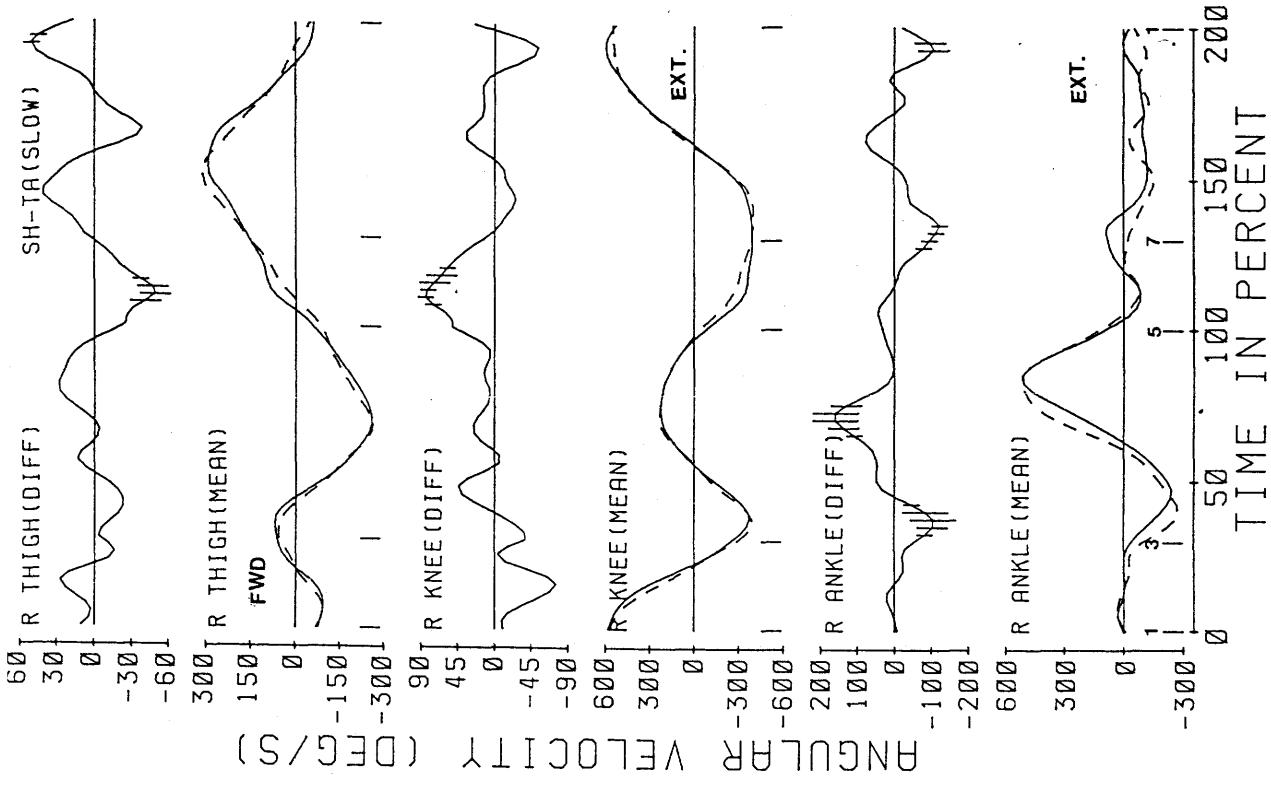


図6-3 (b) TA群 (実線) とSH群 (破線) における疾走中の右大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (低速走)  
 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

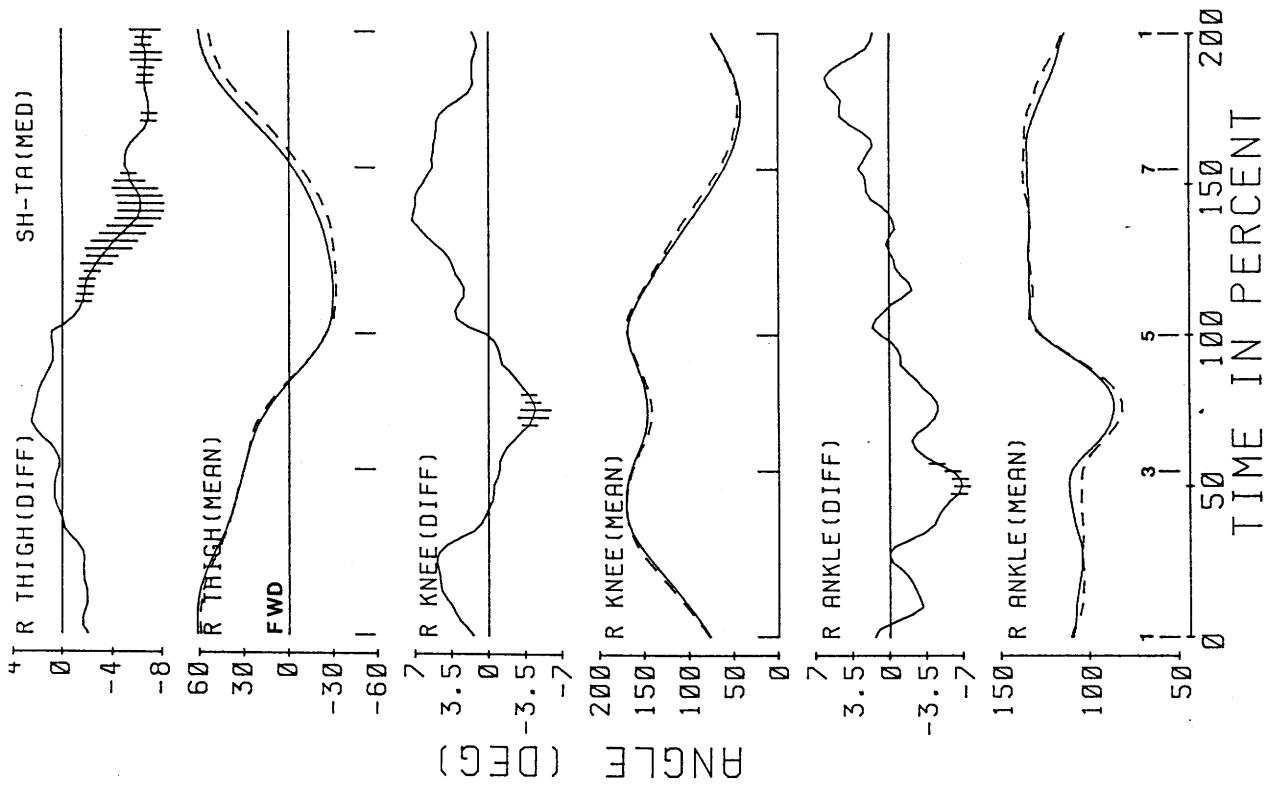


図6-4 (a) TA群 (実線) とSH群 (破線) における疾走中の右大腿, 膝関節, 足関節の角速度変化 (中速走)  
 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

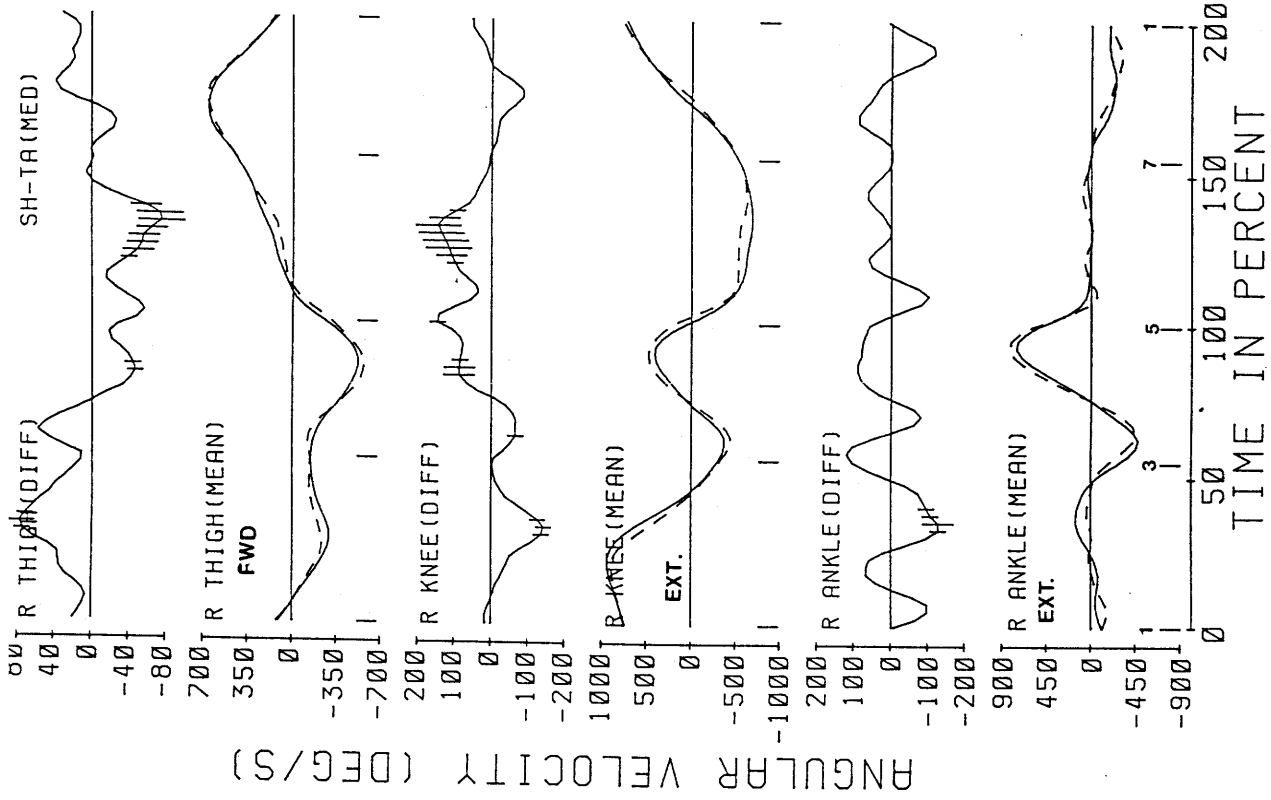


図6-4 (b) TA群 (実線) とSH群 (破線) における疾走中の右大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (中速走)  
 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

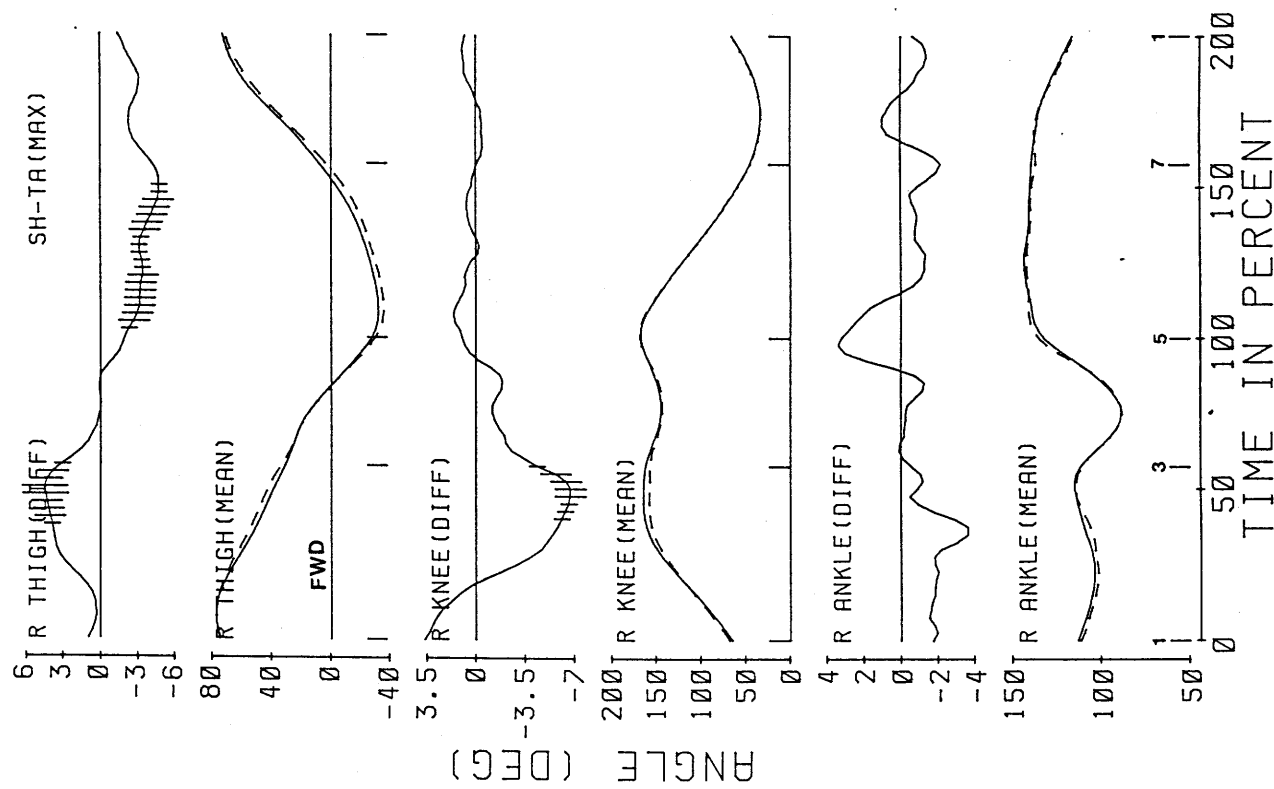


図6-5 (a) TA群 (実線) とSH群 (破線) における疾走中の右大腿、膝関節、足関節の角速度変化 (全速走) 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

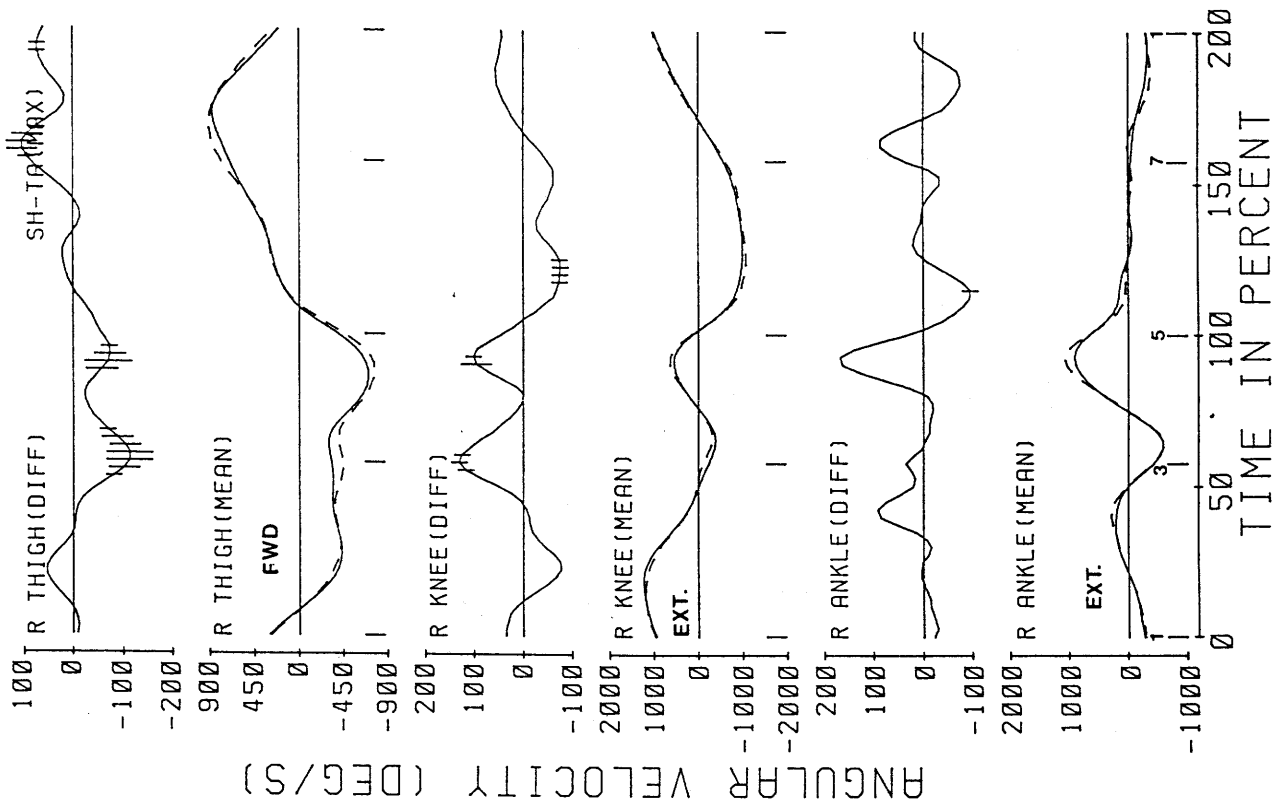


図6-5 (b) TA群 (実線) とSH群 (破線) における疾走中の右大腿、膝関節、足関節の角速度の変化 (全速走) 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

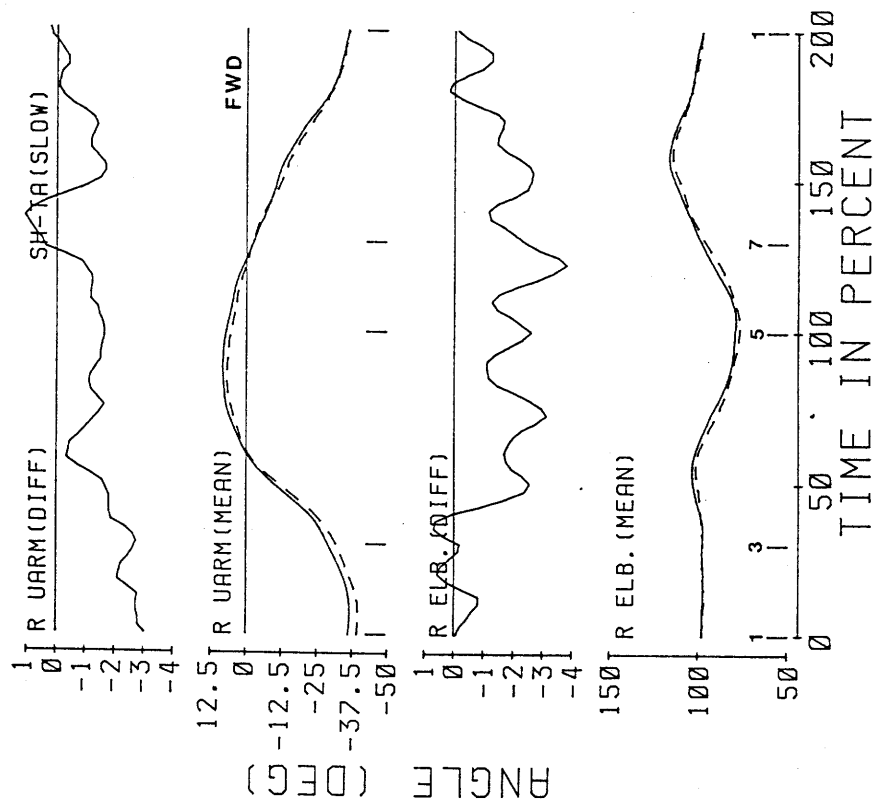


図6-6 (a) TA群 (実線) とSH群 (破線) における疾走中の右腕、肘関節の角度変化 (低速走)  
 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

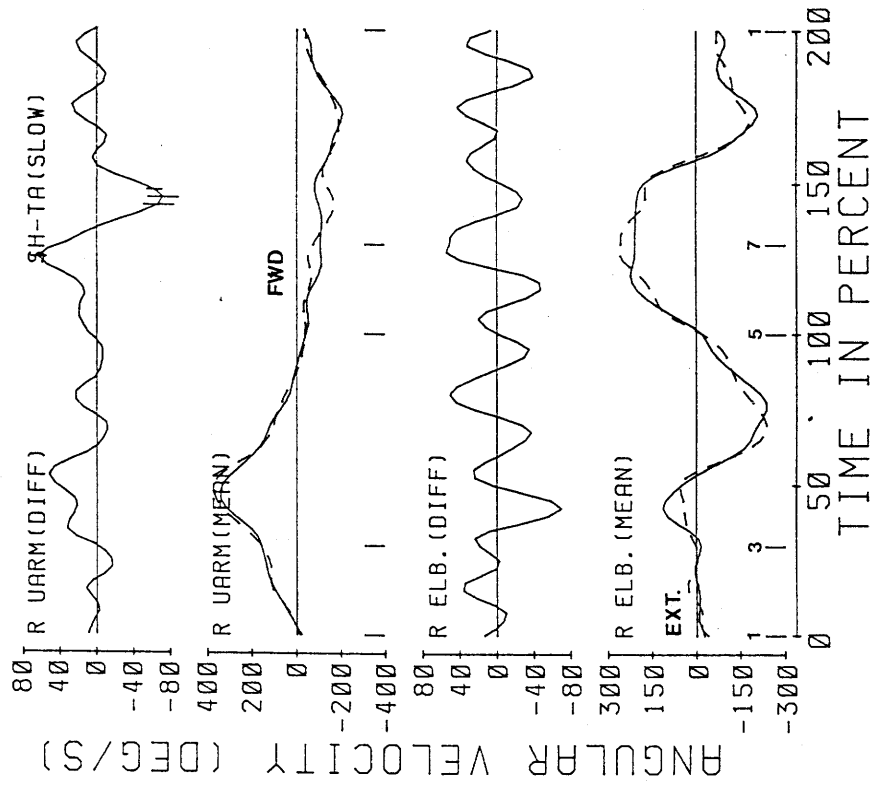


図6-6 (b) TA群 (実線) とSH群 (破線) における疾走中の右腕、肘関節の角速度の変化 (低速走)  
 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.



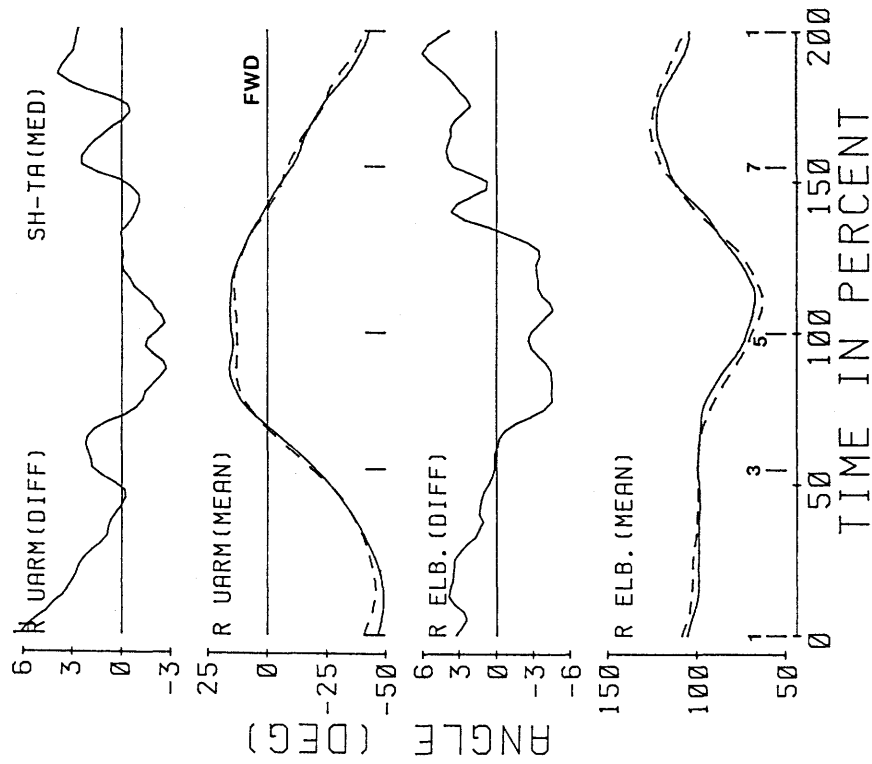


図6-7 (a) TA群(実線)とSH群(破線)における疾走中の右腕上腕, 肘関節の角度変化(中速走)  
 1~3:回復後期, 3~5:支持期, 5~7:回復前期, 7~1:回復中期.

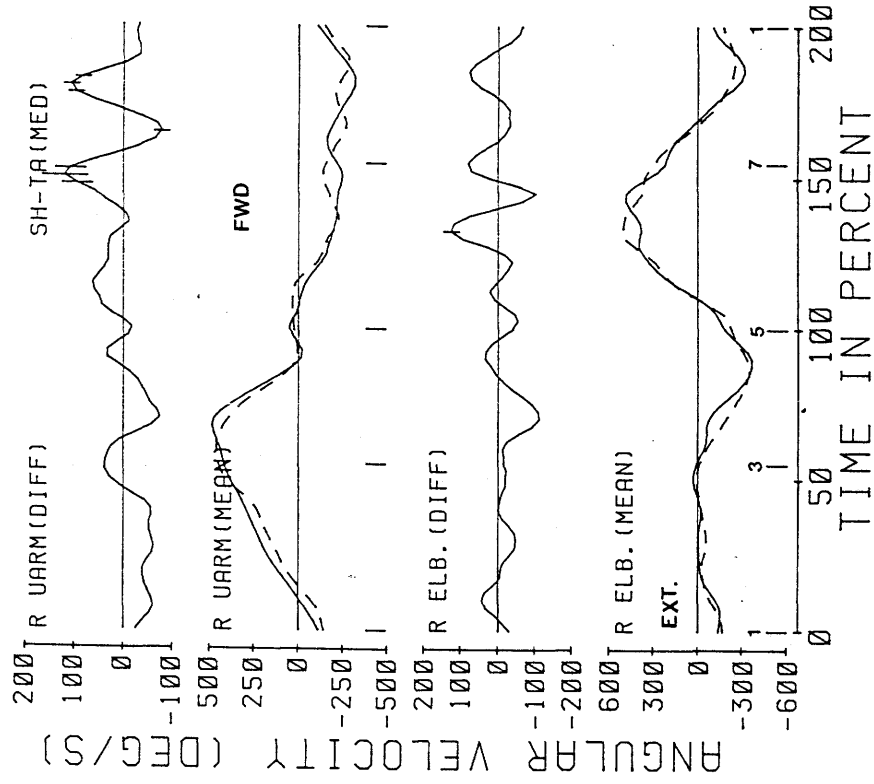


図6-7 (b) TA群(実線)とSH群(破線)における疾走中の右腕上腕, 肘関節の角速度の変化(中速走)  
 1~3:回復後期, 3~5:支持期, 5~7:回復前期, 7~1:回復中期.

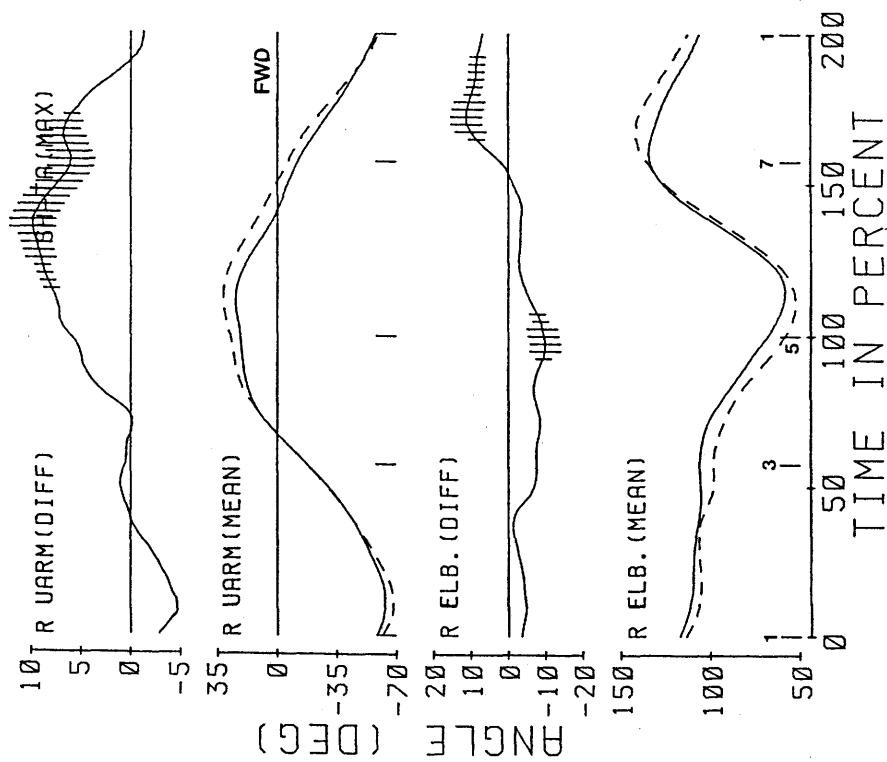


図6-8 (a) TA群 (実線) とSH群 (破線) における疾走中の右腕、肘関節の角度変化 (全速走)  
 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

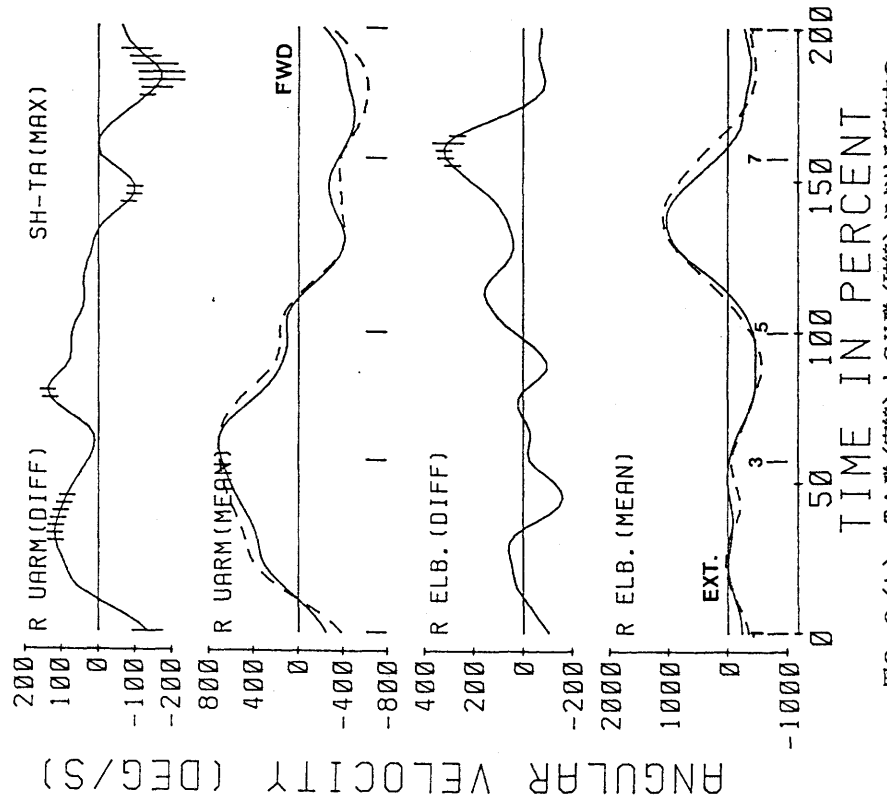


図6-8 (b) TA群 (実線) とSH群 (破線) における疾走中の右腕、肘関節の角度変化 (全速走)  
 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

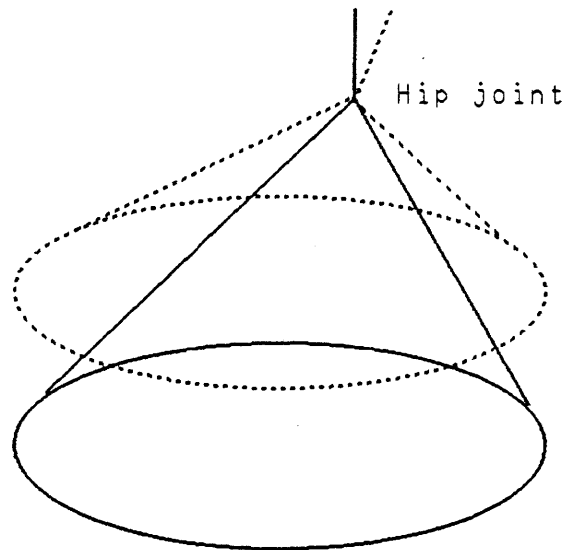
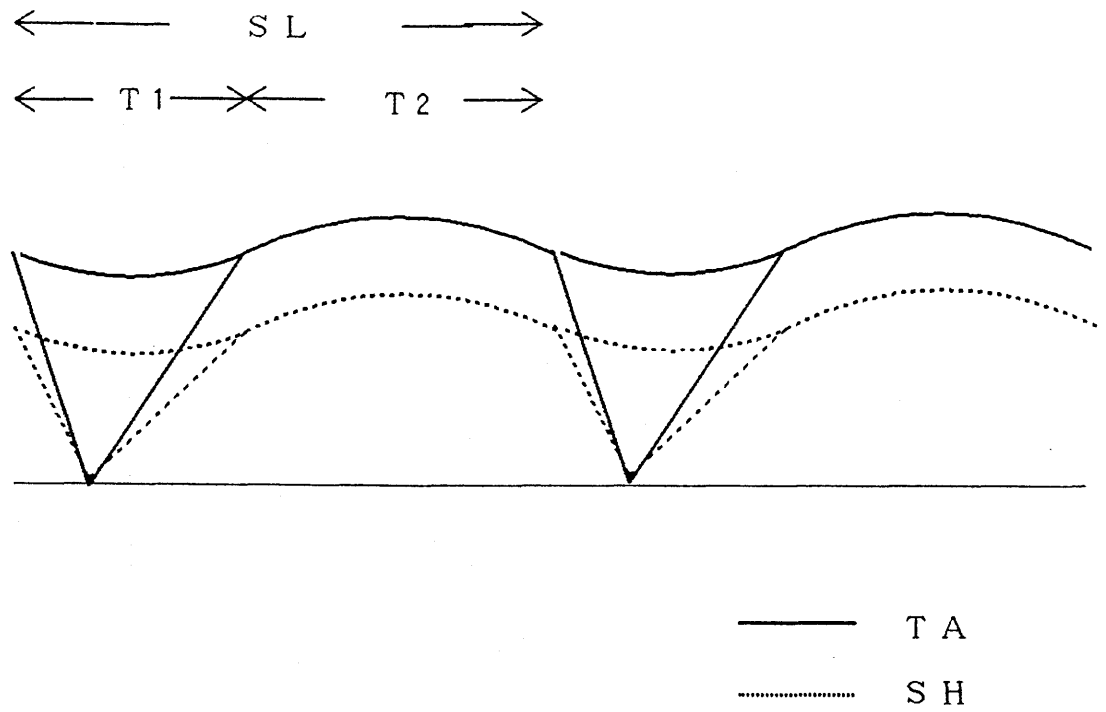


図6-9 TA群, SH群における固有の走動作の特徴  
 (SL: ストライド, T1: 支持時間, T2: 非支持時間)

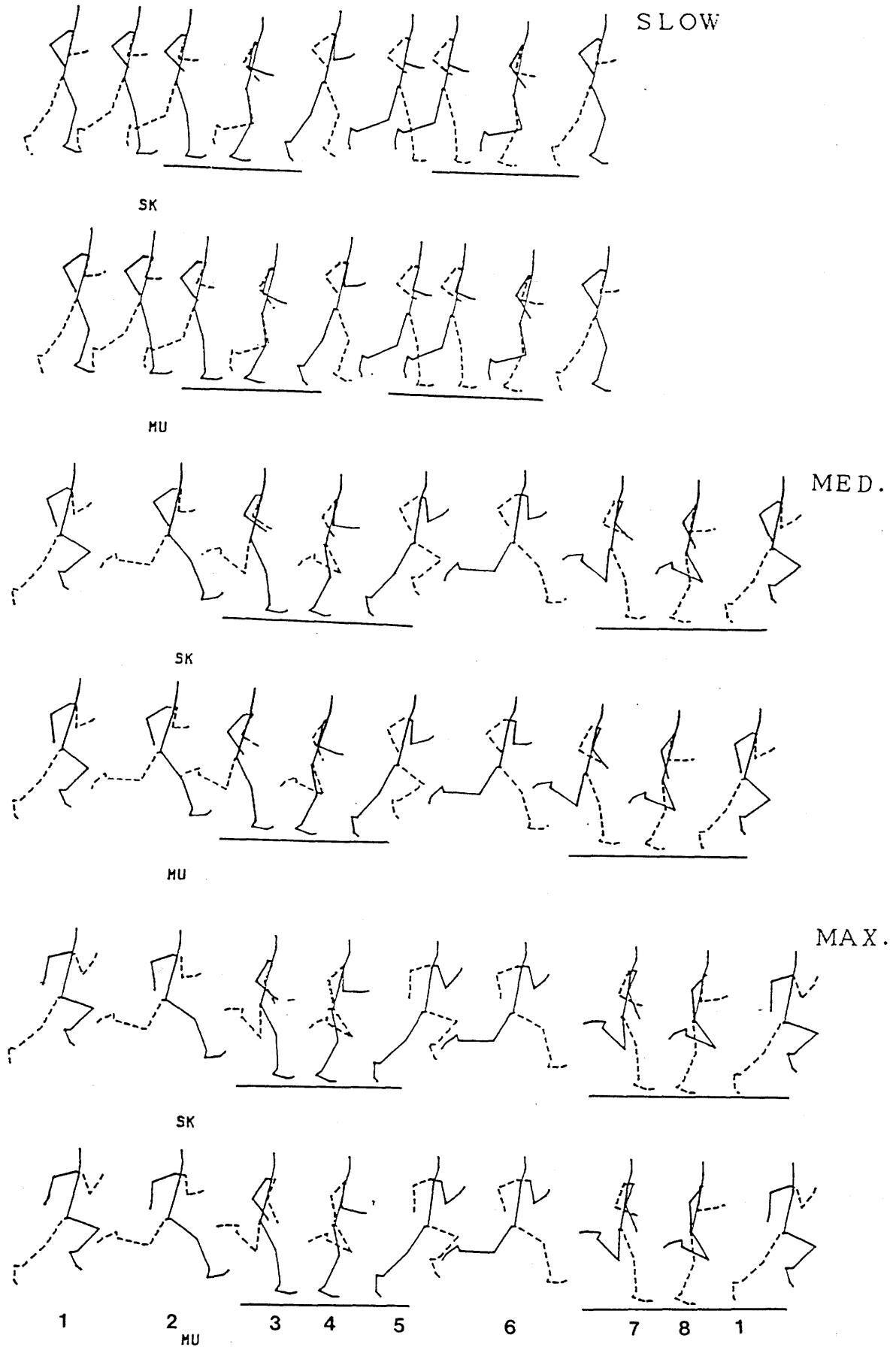
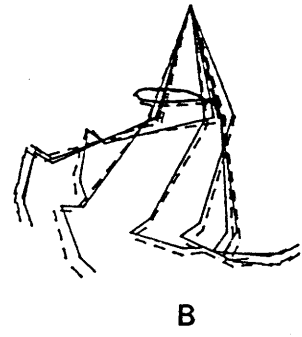
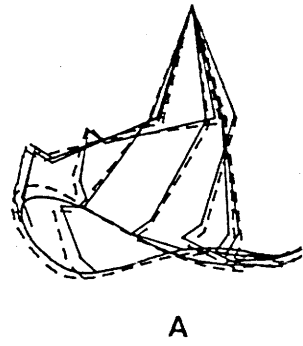
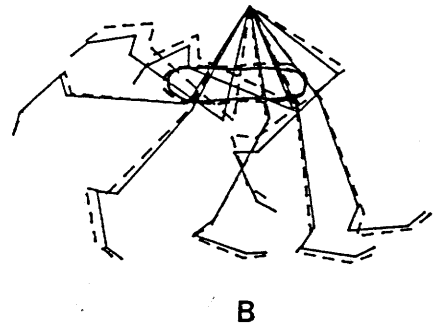
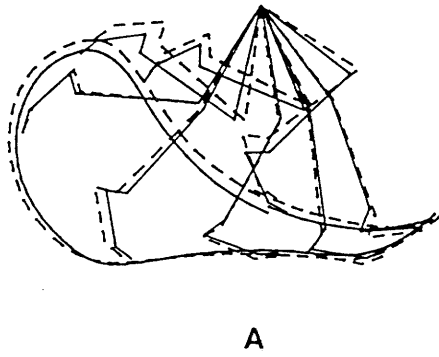


図6-10 各速度段階におけるMU群, SK群の疾走フォーム  
 1:左足離地, 2:右足振り戻し開始, 3:右足接地, 4:右足支持期中間点, 5:右足離地, 6:右足フォロースルー終了, 7:左足接地, 8:左足支持期中間点.

SLOW



MED.



MAX.

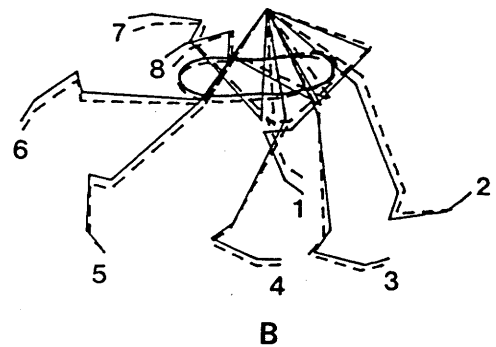
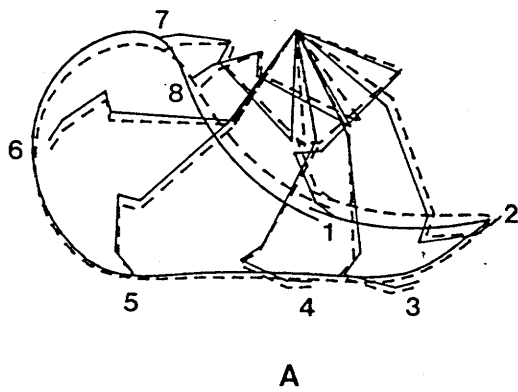


図6-11 各速度段階におけるMU群（実線）とSK群（破線）の疾走中の右脚の動き。ただしAには足先の軌跡を、Bには脚重心の軌跡を併記。

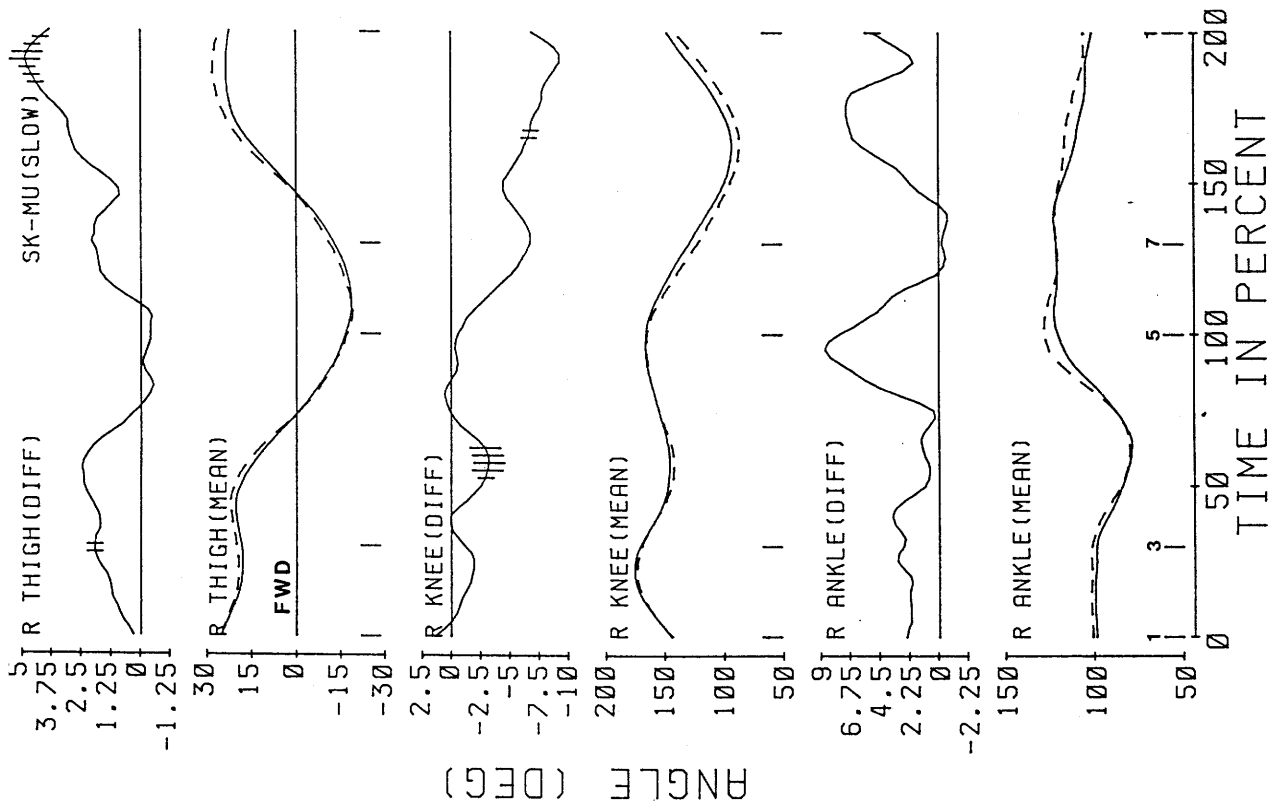


図6-12 (a) MU群 (実線) とSK群 (破線) における疾走中の右大腿, 膝関節, 足関節の角速度変化 (低速走) 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

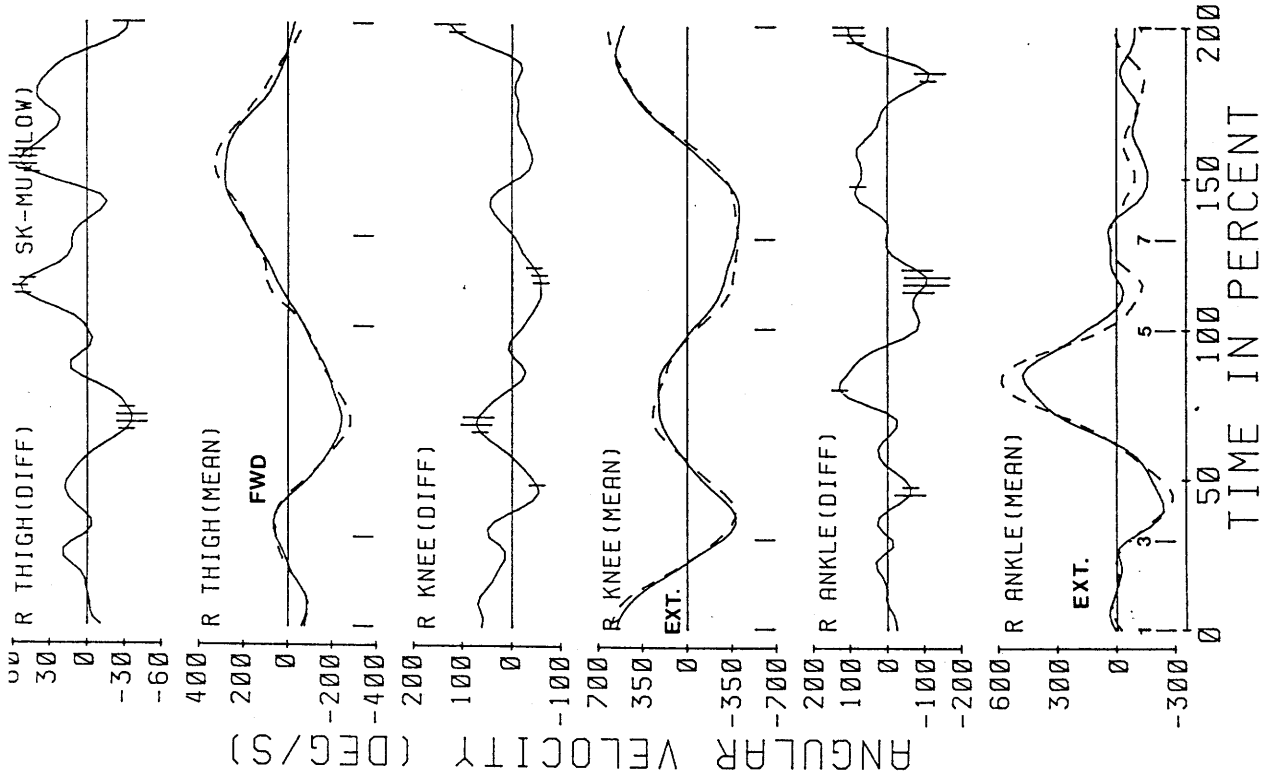


図6-12 (b) MU群 (実線) とSK群 (破線) における疾走中の右大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (低速走) 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

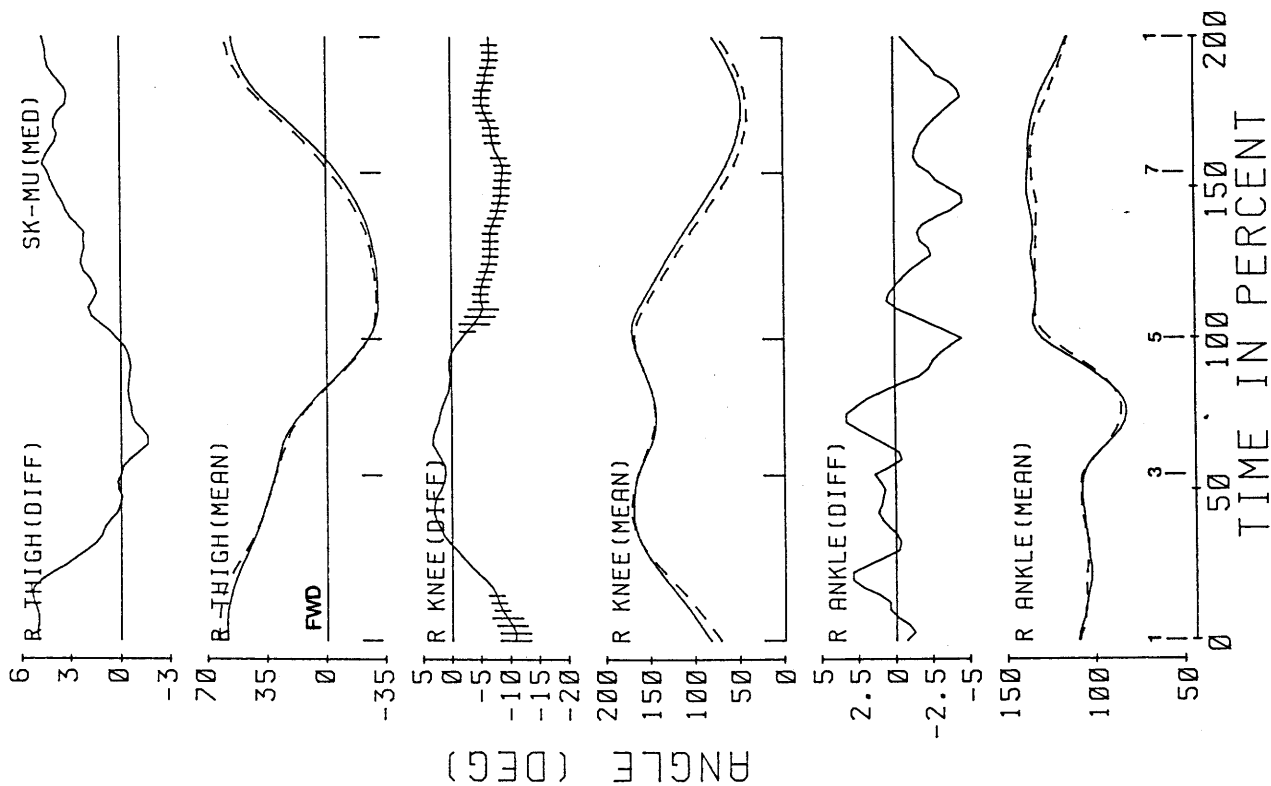


図6-13 (a) MU群 (実線) とSK群 (破線) における疾走中の右大腿, 膝関節, 足関節の角速度変化 (中速走) 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

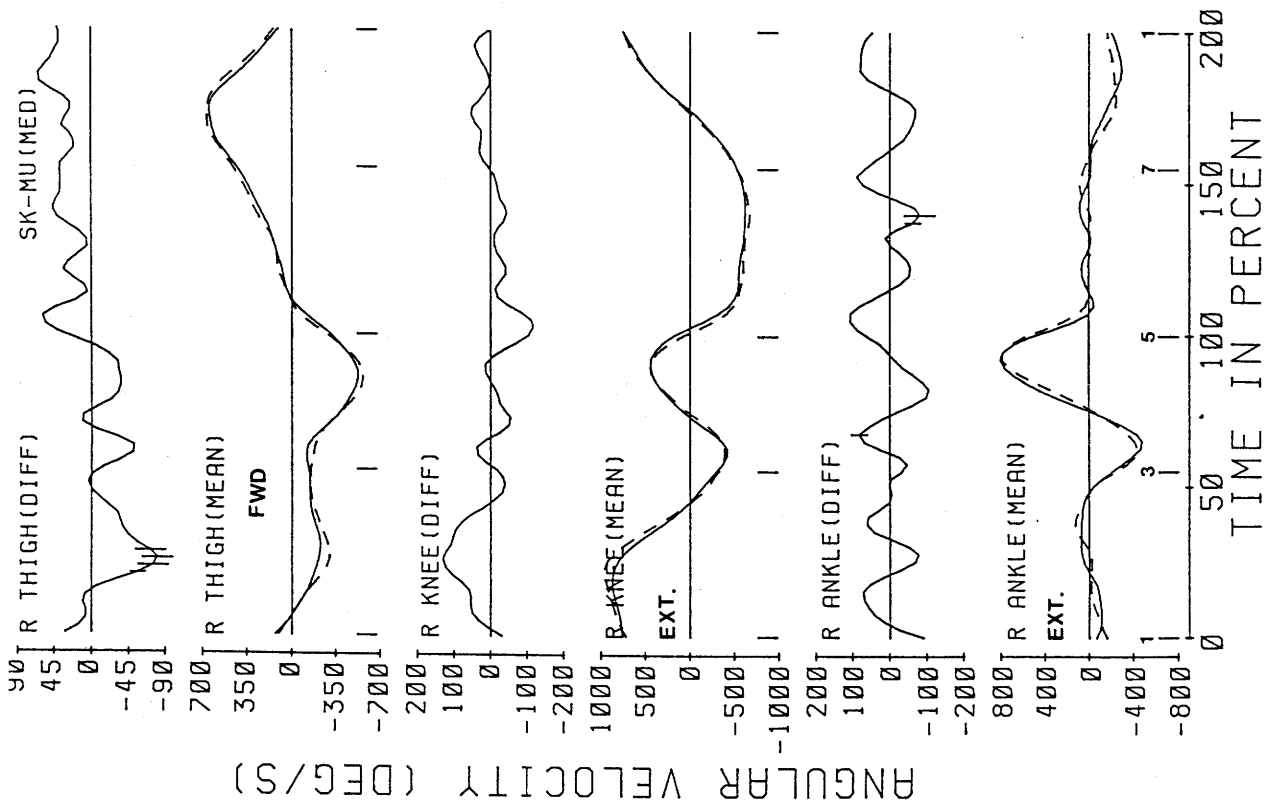


図6-13 (b) MU群 (実線) とSK群 (破線) における疾走中の右大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (中速走) 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

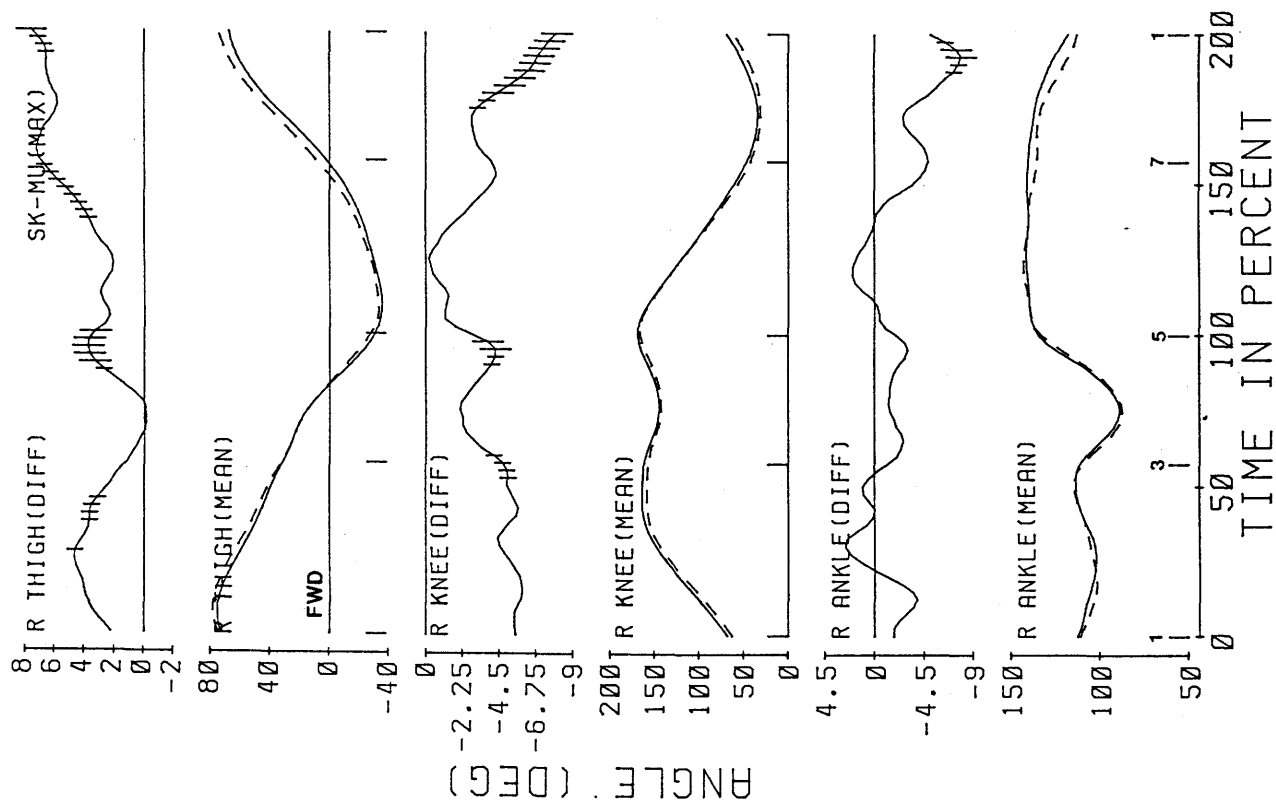


図6-14 (a) MU群 (実線) とSK群 (破線) における疾走中の右大腿, 膝関節, 足関節の角速度変化 (全速走)  
1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

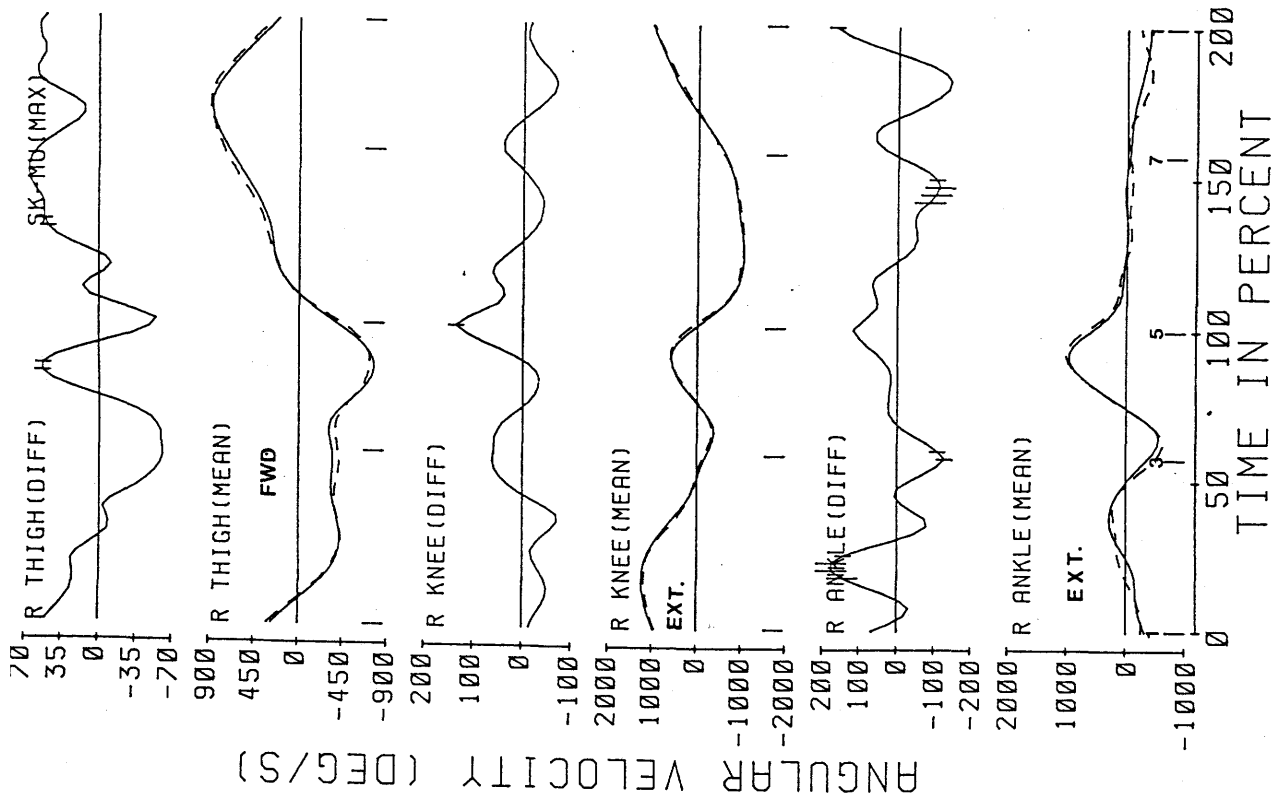


図6-14 (b) MU群 (実線) とSK群 (破線) における疾走中の右大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (全速走)  
1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.



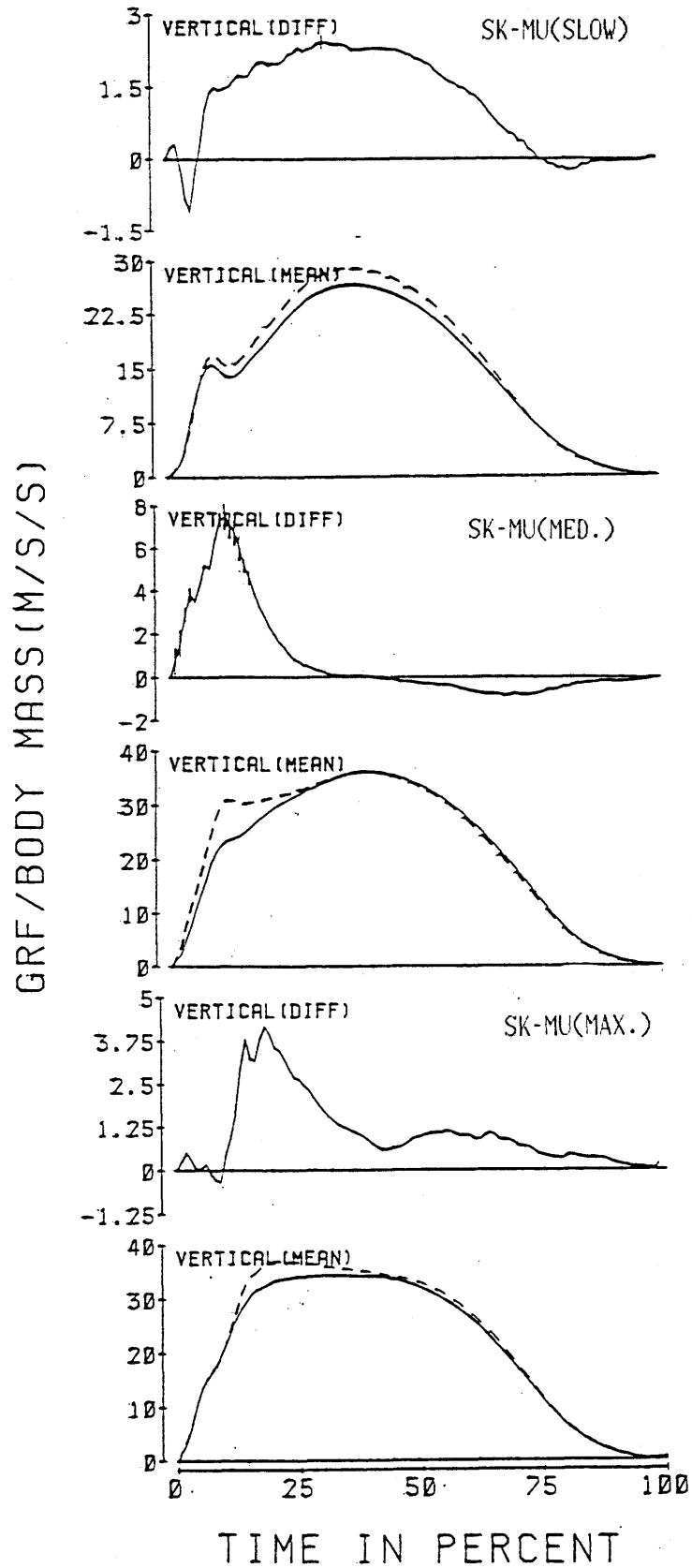


図6-15 MU群(実線), SK群(破線)における疾走中の単位質量あたりの鉛直地面反力の変化。ただし, これらの値は支持時間を100%として各群ごとに平均化したもの。

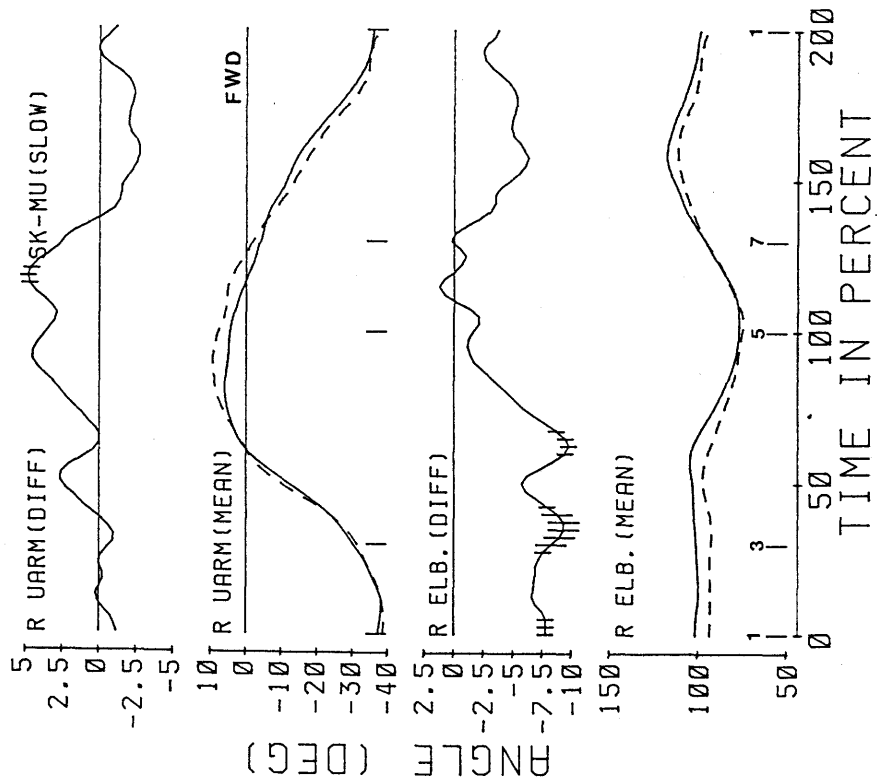


図6-16(a) MU群(実線)とSK群(破線)における疾走中の右腕、肘関節の角度変化(低速走)  
 1~3:回復後期, 3~5:支持期, 5~7:回復前期, 7~1:回復中期.

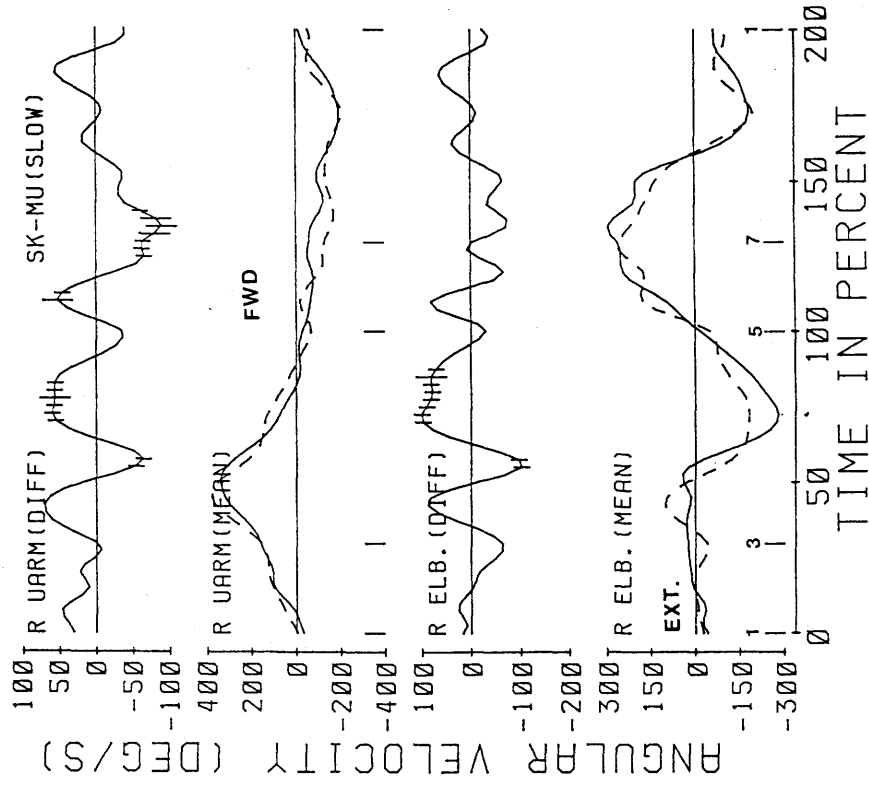


図6-16(b) MU群(実線)とSK群(破線)における疾走中の右腕、肘関節の角速度の変化(低速走)  
 1~3:回復後期, 3~5:支持期, 5~7:回復前期, 7~1:回復中期.

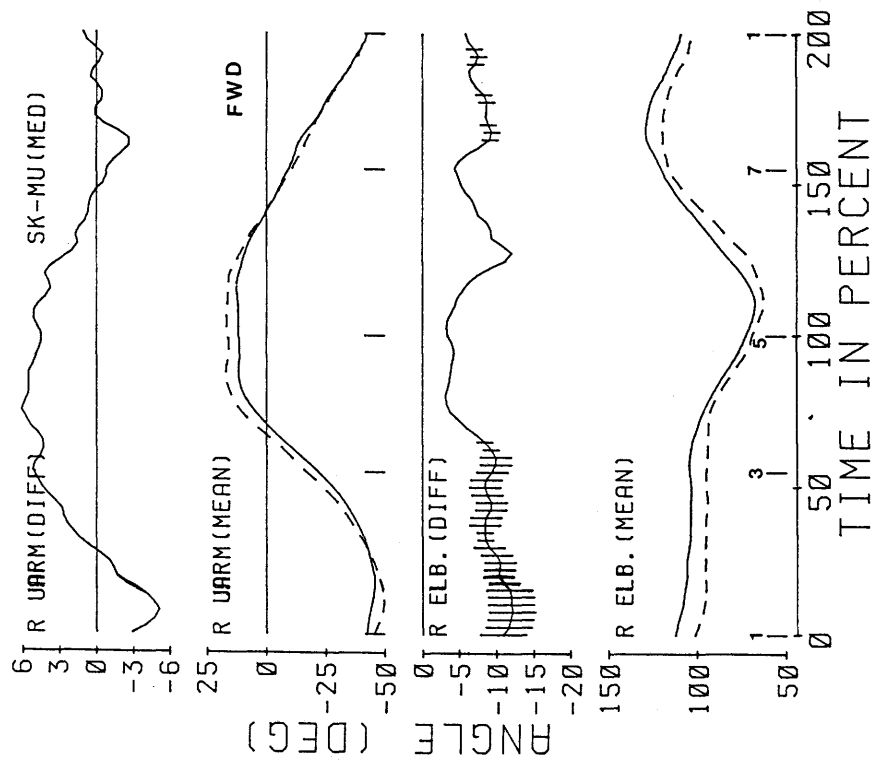


図6-17 (a) MU群 (実線) とSK群 (破線) における疾走中の  
右腕上腕, 肘関節の角速度変化 (中速走)  
1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期,  
7~1: 回復中期.

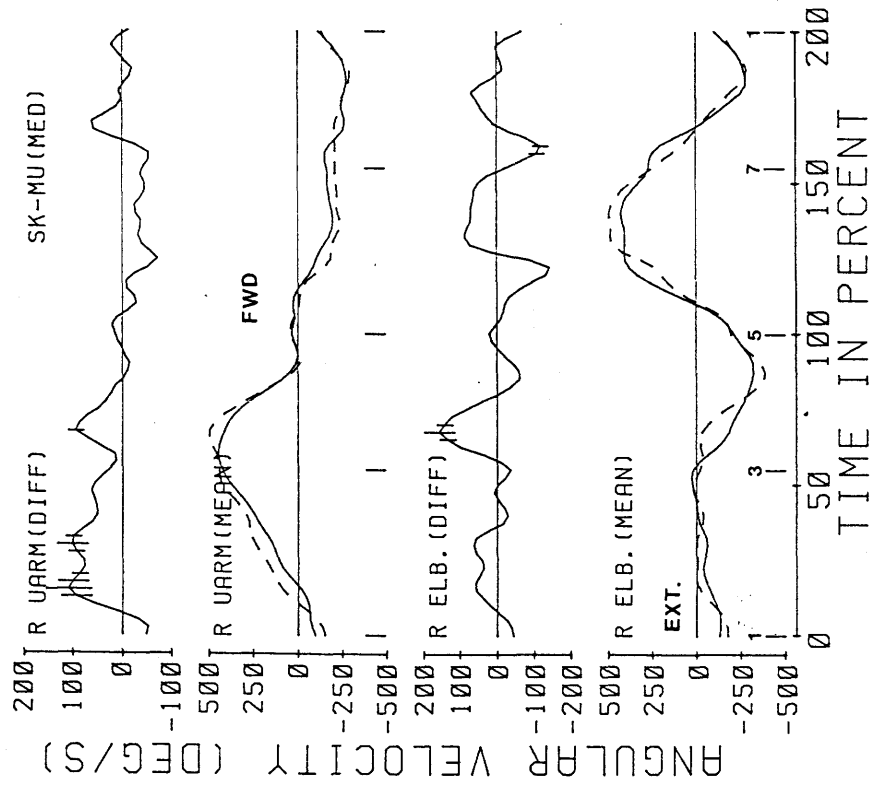


図6-17 (b) MU群 (実線) とSK群 (破線) における疾走中の  
右腕上腕, 肘関節の角速度の変化 (中速走)  
1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期,  
7~1: 回復中期.

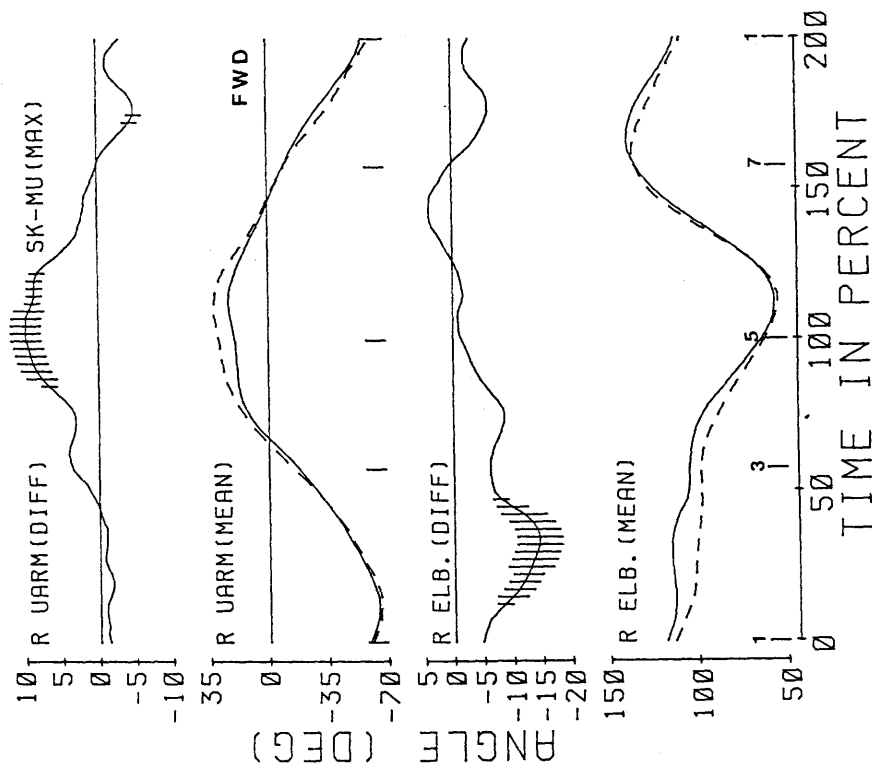


図6-18 (a) MU群 (実線) とSK群 (破線) における疾走中の  
右腕、肘関節の角度変化 (全速走)  
1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期,  
7~1: 回復中期.

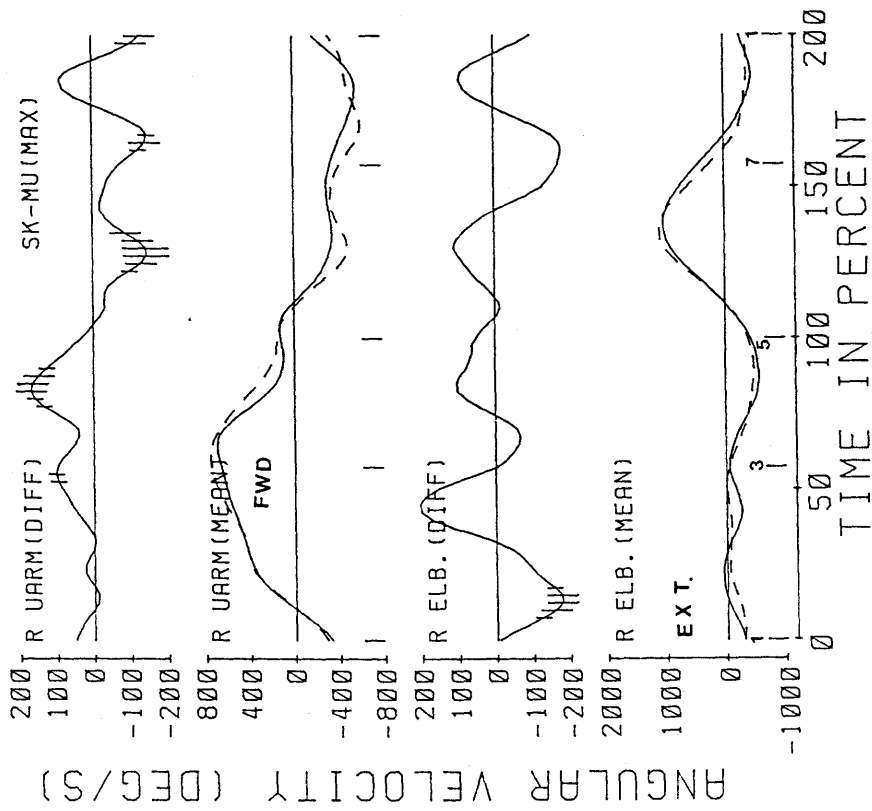
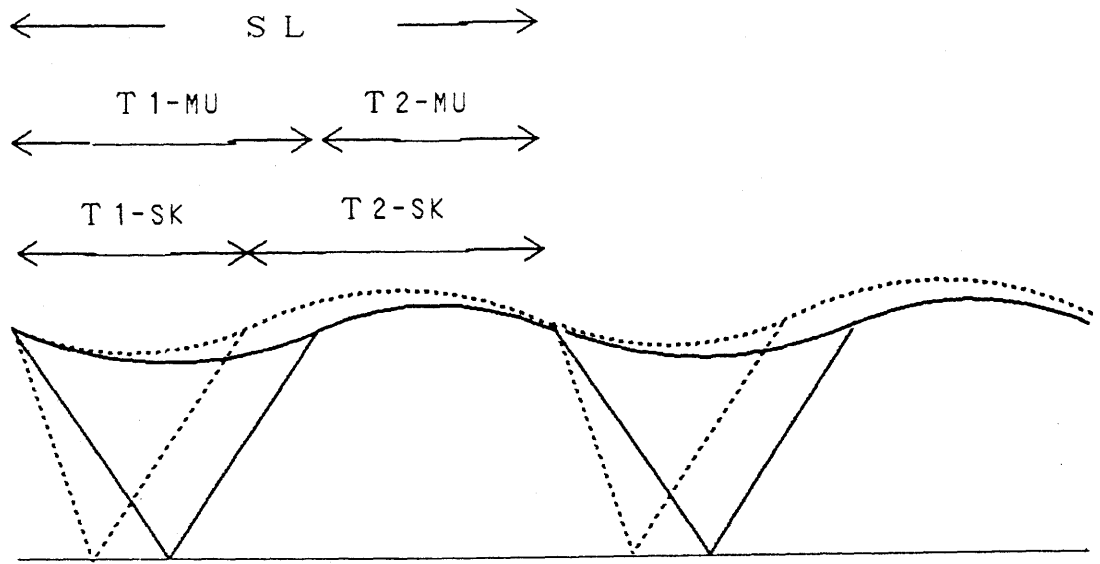


図6-18 (b) MU群 (実線) とSK群 (破線) における疾走中の  
右腕、肘関節の角速度の変化 (全速走)  
1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期,  
7~1: 回復中期.



— MU  
 ..... SK

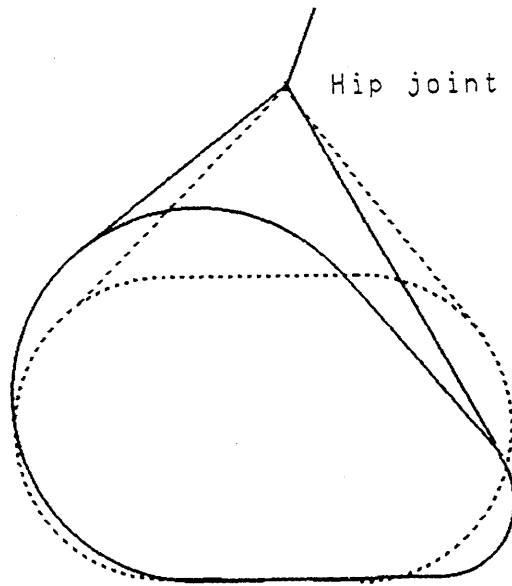
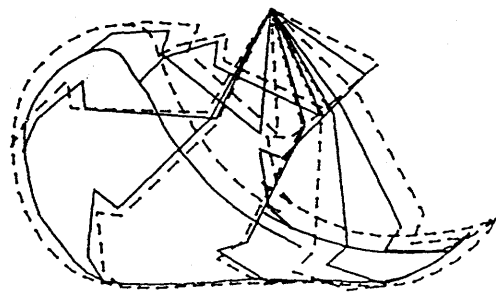
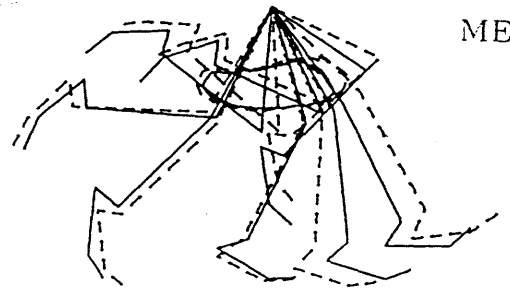


図6-19 MU群, SK群における固有の走動作の特徴  
 (SL:ストライド, T1:支持時間, T2:非支持時間)

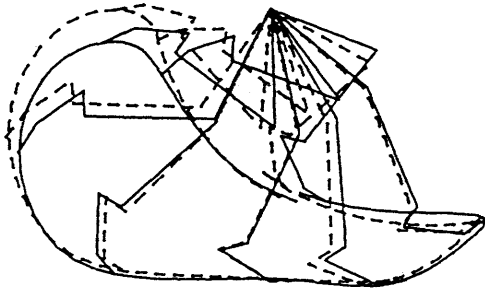


A

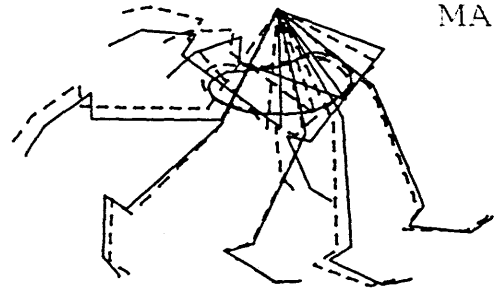


B

MED.



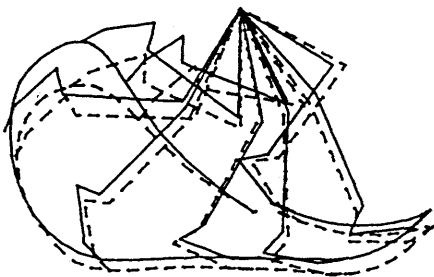
A



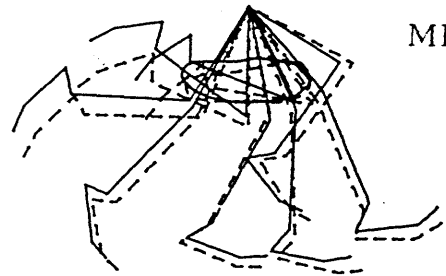
B

MAX.

(a) TA群 (実線：走フォームta, 破線：走フォームsh)

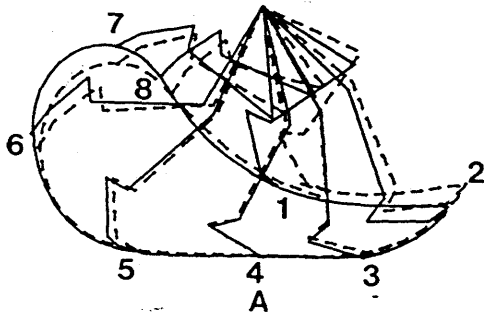


A

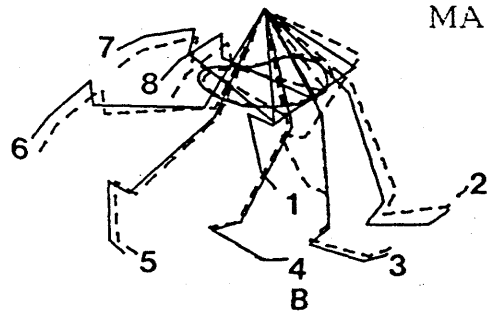


B

MED.



A



B

MAX.

(b) SH群 (実線：走フォームsh, 破線：走フォームta)

図7-1 実験2の各試技におけるTA群, SH群の右脚の動き  
ただし, A図には足先の軌跡を, B図には脚重心の軌跡を併記.

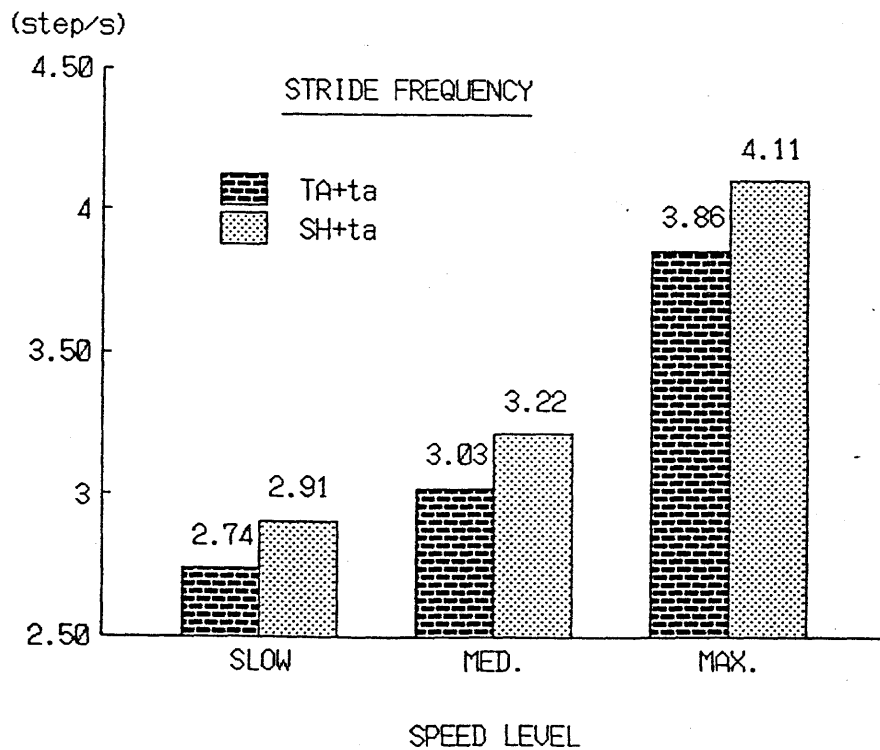
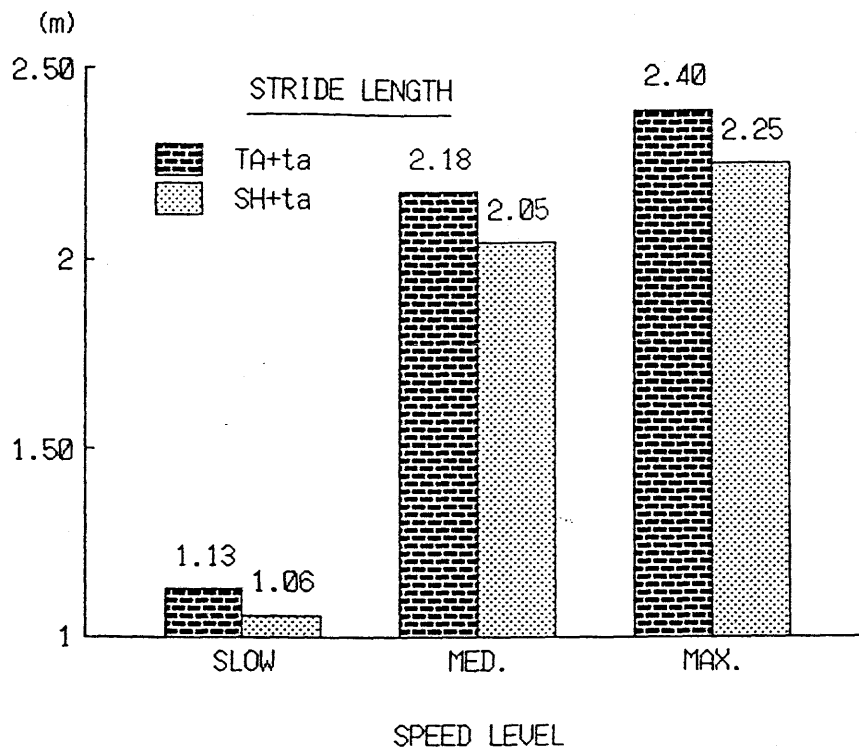


図7-2 (a) シミュレーションから得た各速度段階における走者TA, SHのストライド, ピッチ (走フォーム  $t_a$ )

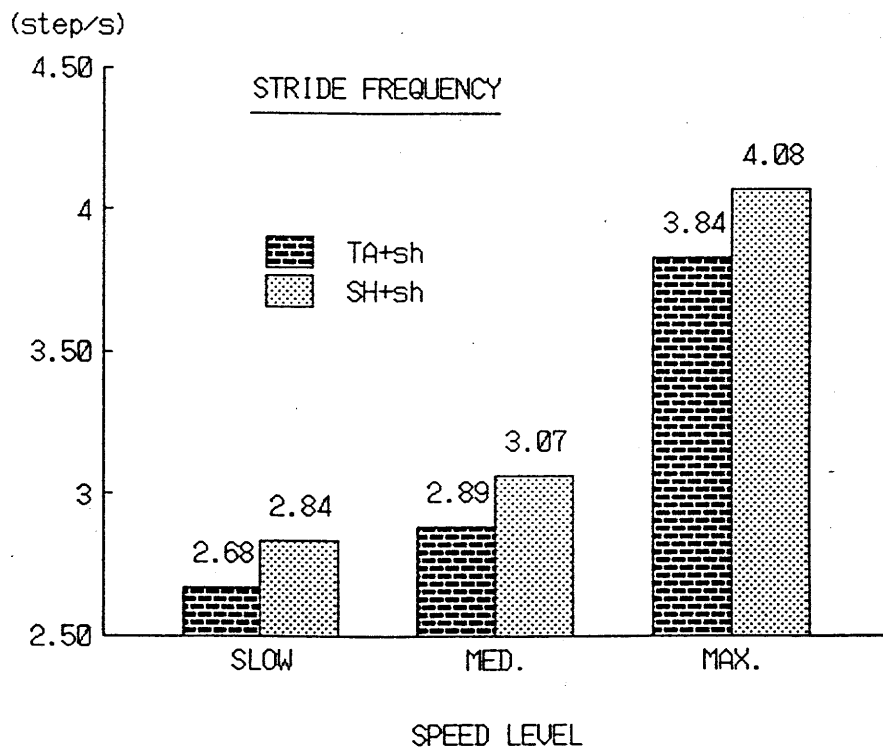
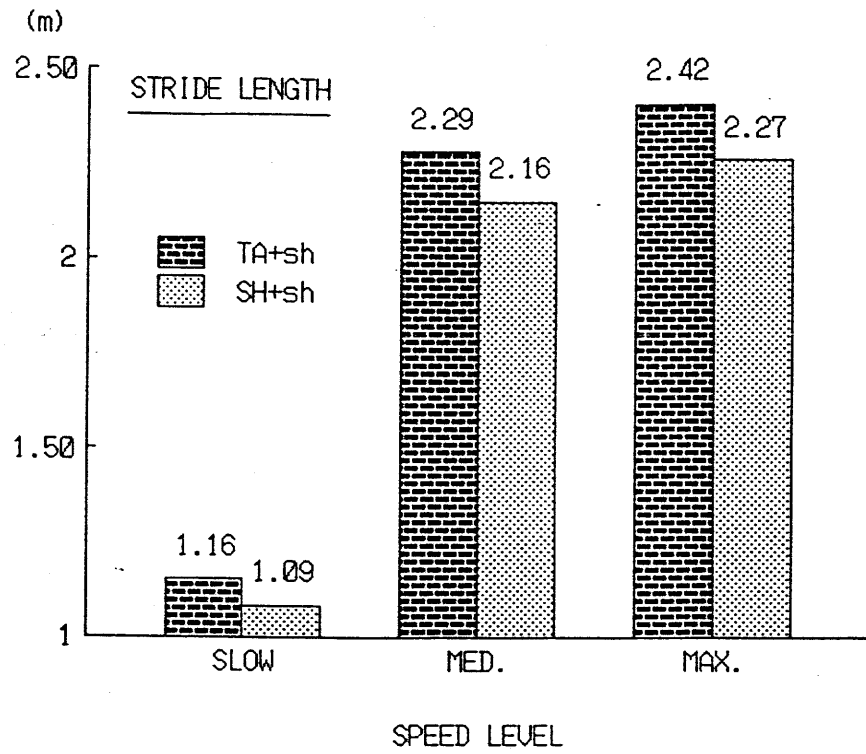


図7-2 (b) シミュレーションから得た各速度段階における走者TA, SHのストライド, ピッチ (走フォームsh)



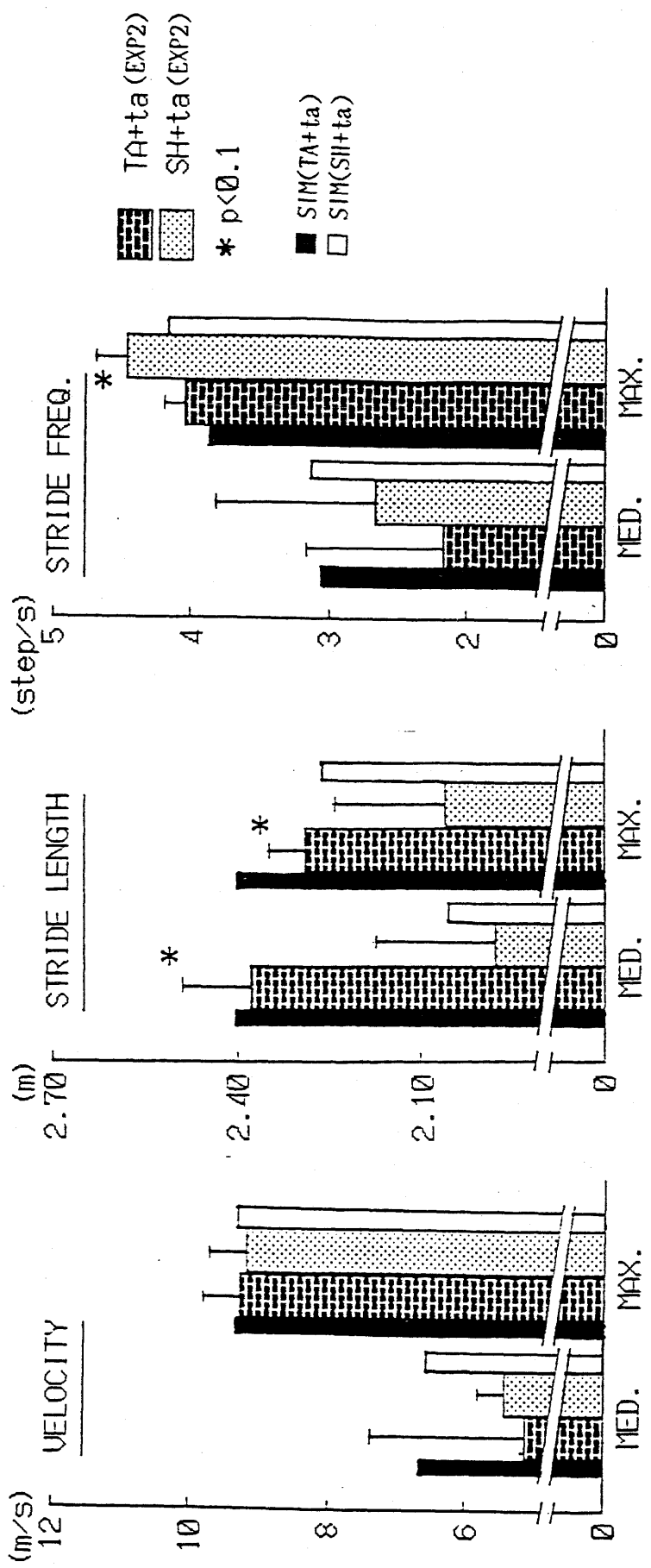


図7-3 (a) 実験2(EXP2)から得た各速度段階におけるTA群(N=4), SH群(N=4)の走速度, ストライド, ピッチ(走フォームta). ただし, シミュレーションから得た値(SIM)も併記した.

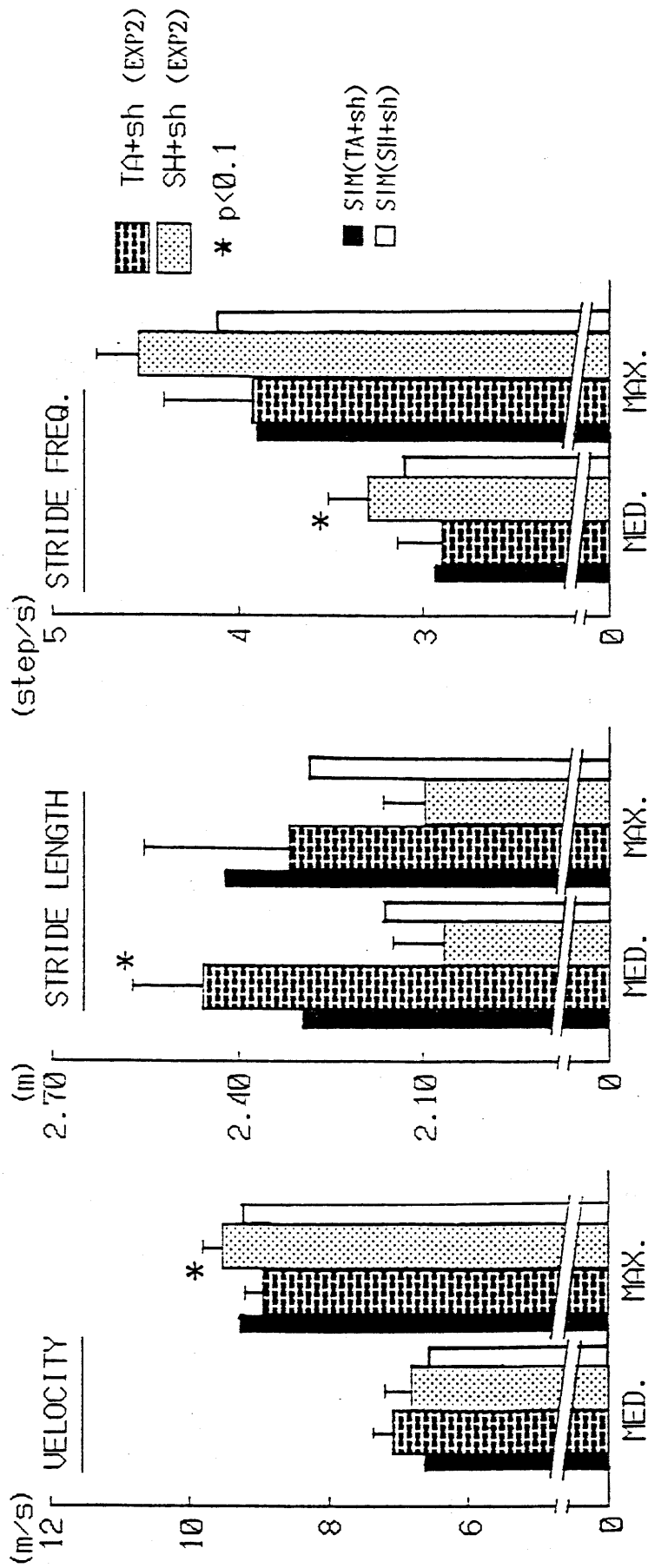


図7-3 (b) 実験2 (EXP2) から得た各速度段階におけるTA群 (N=4), SH群 (n=4) の走速度, ストライド, ピッチ (走フォームsh). ただし, シミュレーションから得た値 (SIM) も併記した.

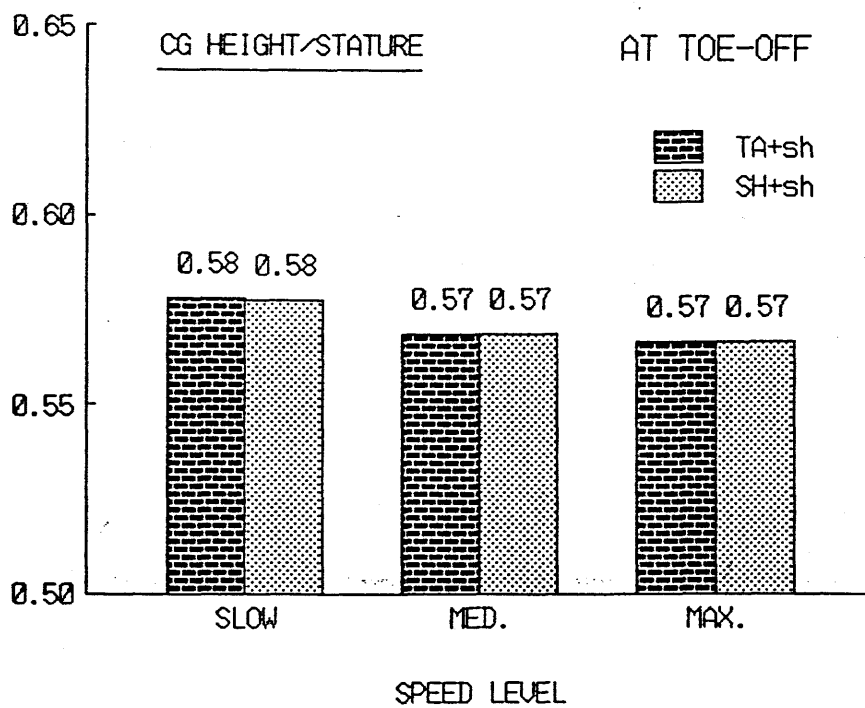
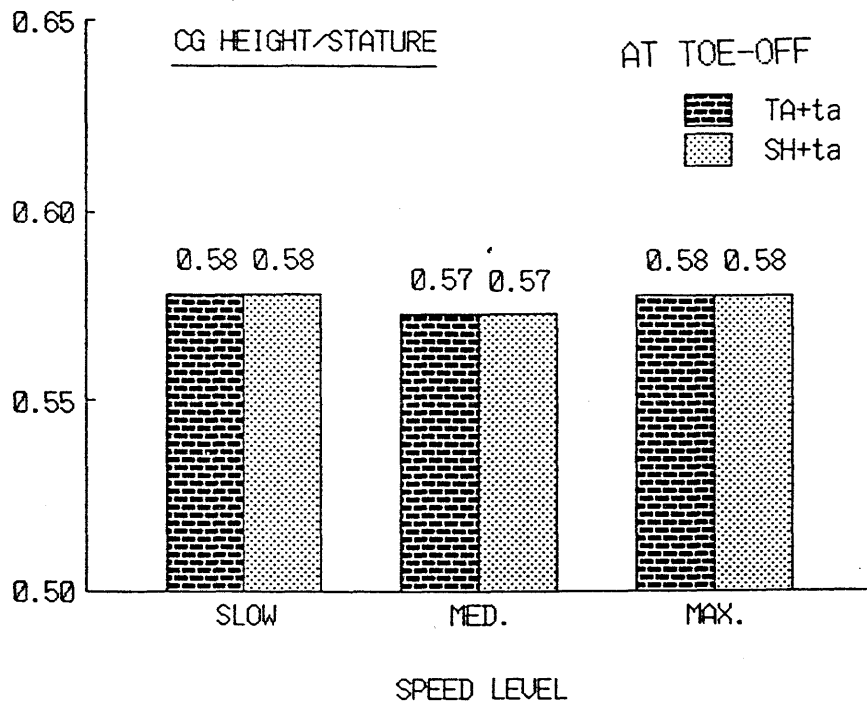


図7-4 シミュレーションから得た走者TA, SHの各速度段階における離地時の身体重心高(身長比). 上図:走フォームta, 下図:走フォームsh

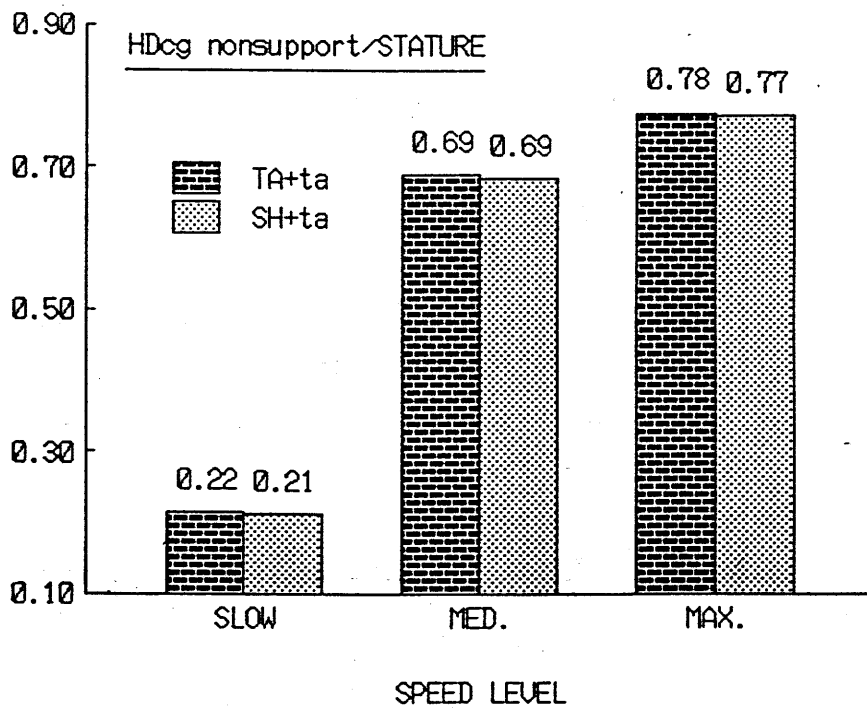
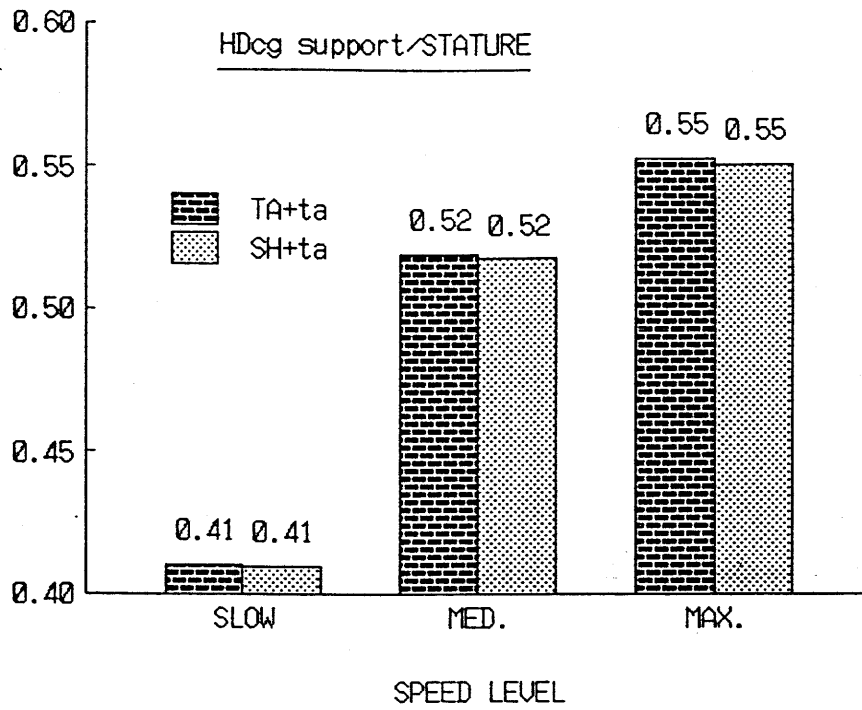


図7-5 シミュレーションから得た走者TA, SHの各速度段階における支持期, 非支持期の身体重心の水平変位(身長比)(走フォームta)

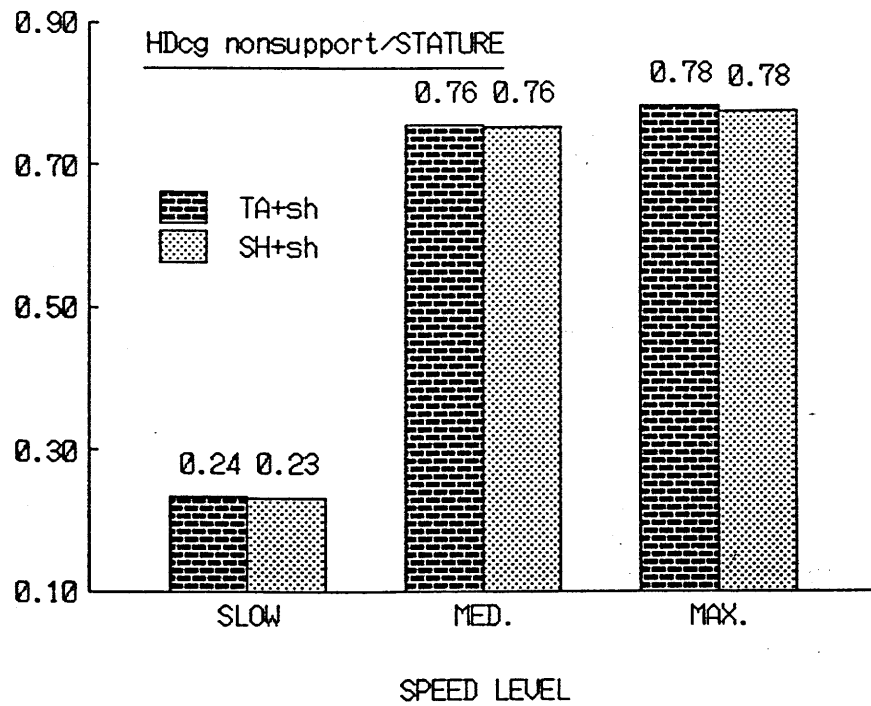
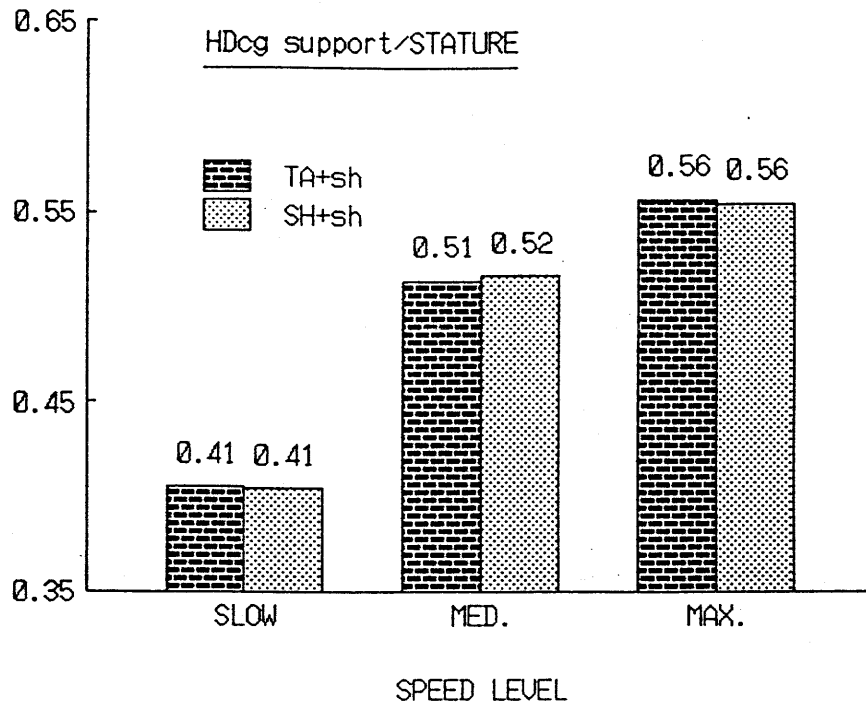


図7-6 シミュレーションから得た走者TA, SHの各速度段階における支持期, 非支持期の身体重心の水平変位(身長比)(走フォームsh)

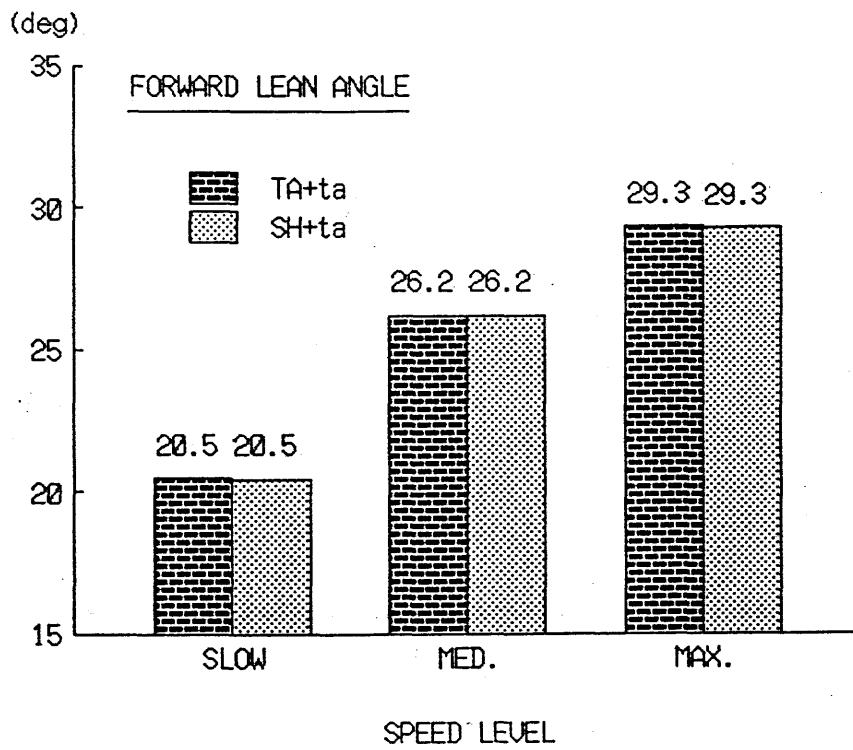
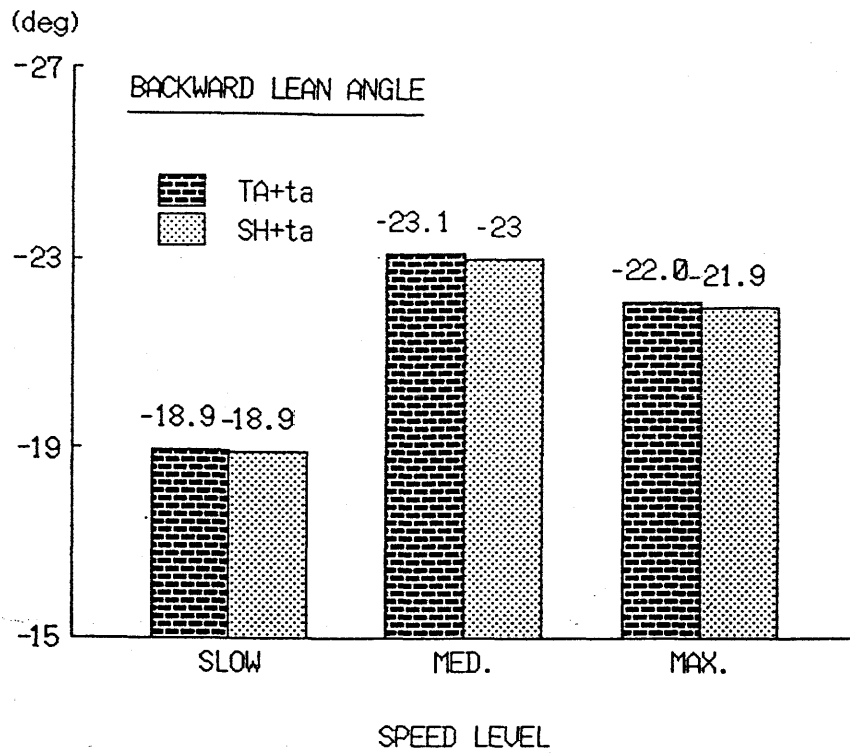


図7-7 シミュレーションから得た走者TA, SHの各速度段階における後傾角, 前傾角(走フォームta)

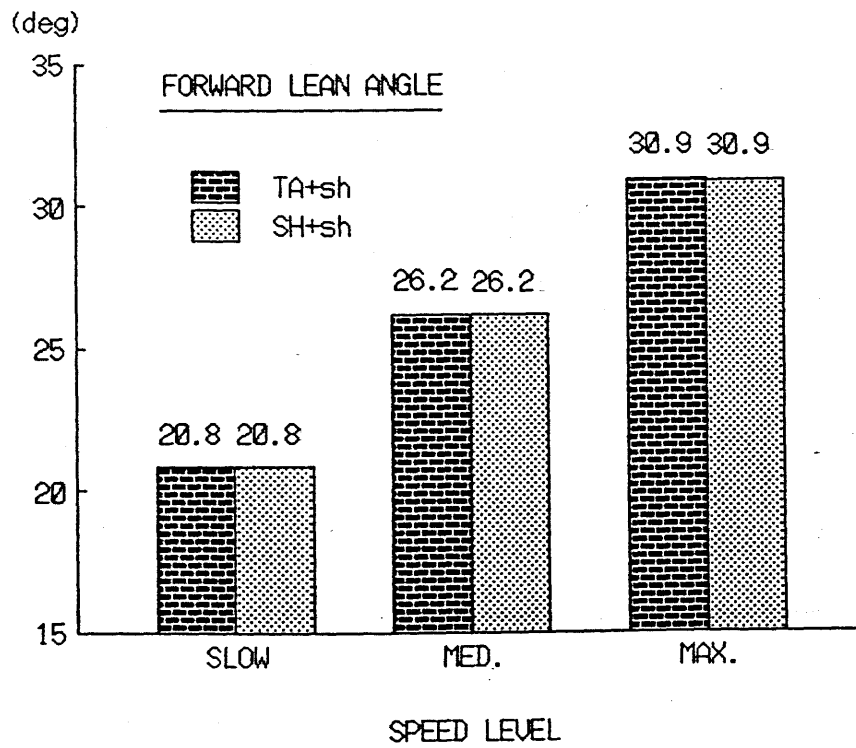
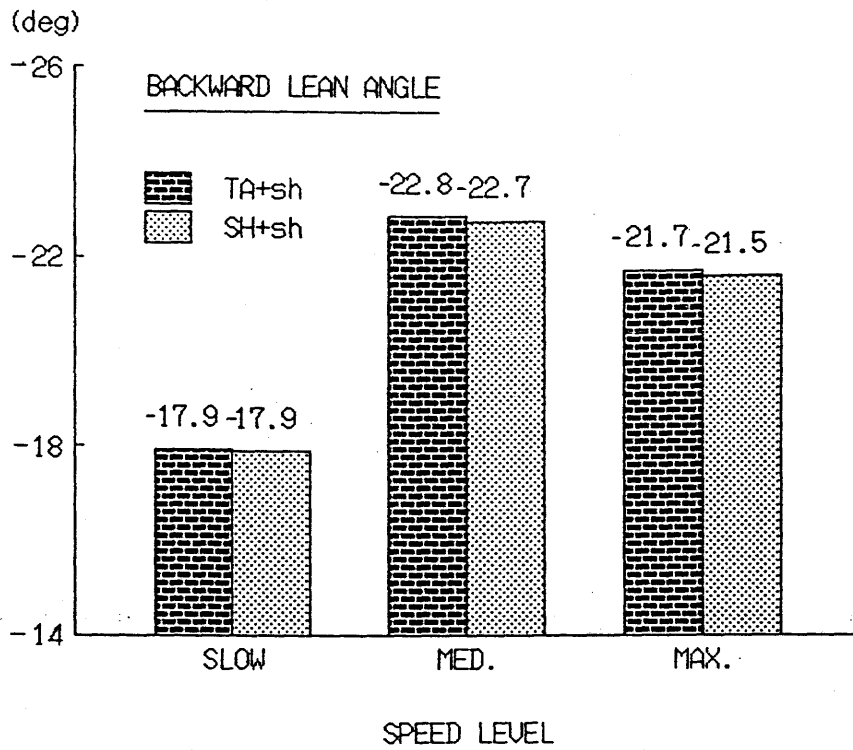


図7-8 シミュレーションから得た走者TA, SHの各速度段階における後傾角, 前傾角(走フォームsh)

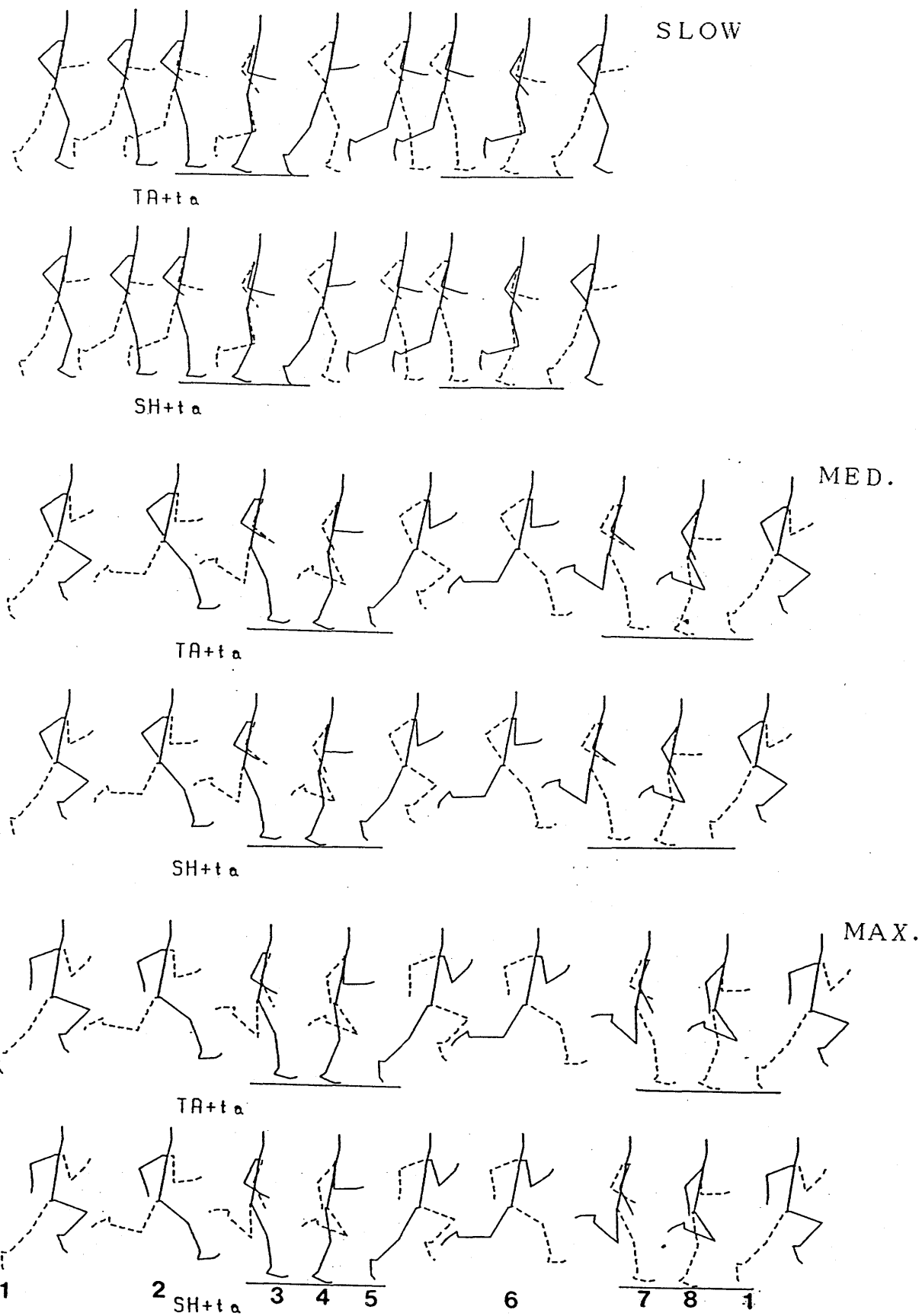
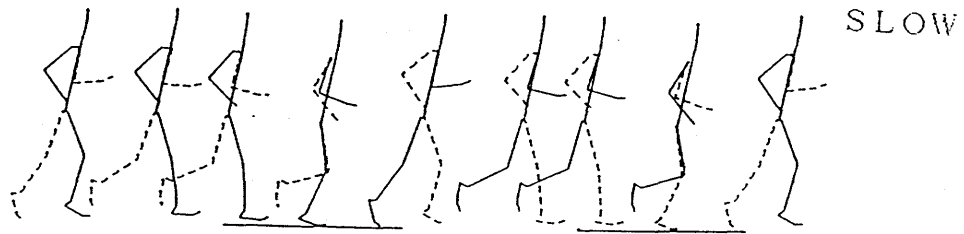
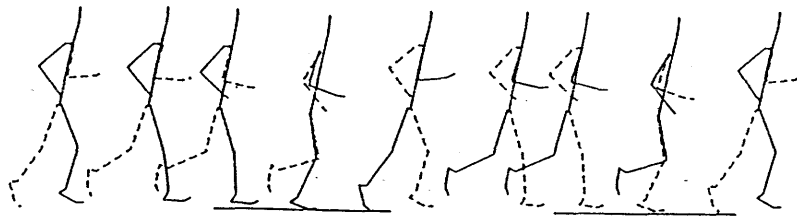


図7-9 シミュレーションから得た走者TA, SHの各速度段階における疾走フォーム(走フォームta). 1:左足離地, 2:右足振り戻し開始, 3:右足接地, 4:右足支持期中間点, 5:右足離地, 6:右足フォロースルー終了, 7:左足接地, 8:左足支持期中間点.

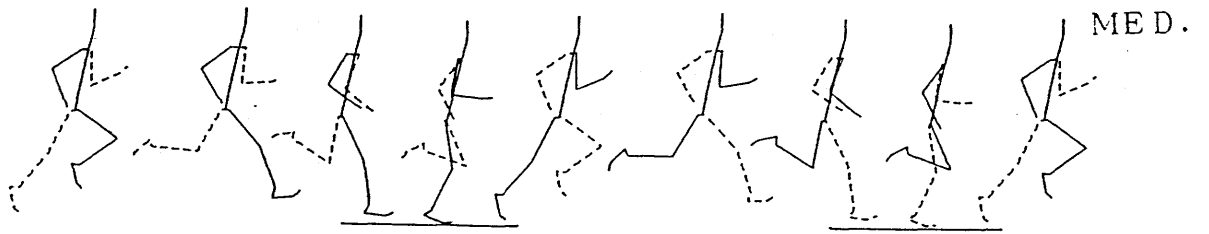




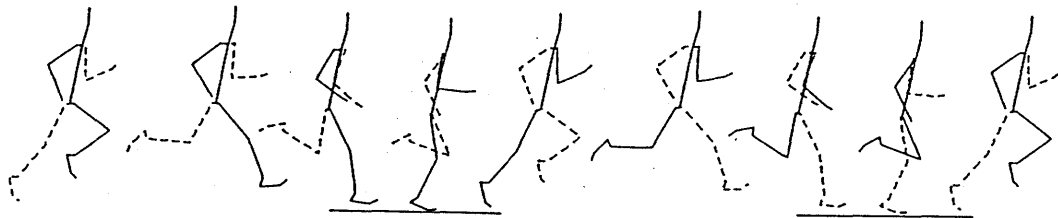
TA+sh



SH+sh



TA+sh



SH+sh



TA+sh

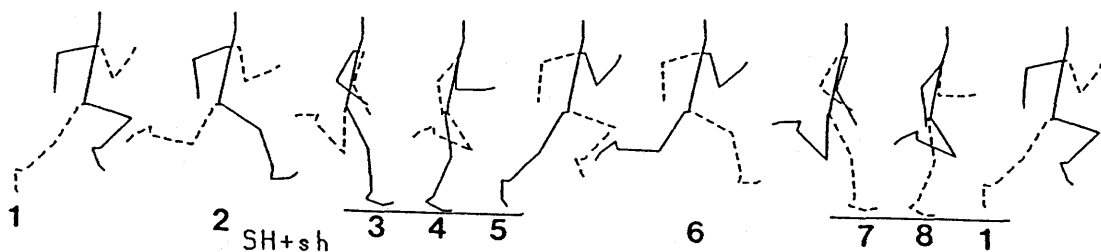


図7-10 シミュレーションから得た走者TA, SHの各速度段階における疾走フォーム(走フォームsh). 1:左足離地, 2:右足振り戻し開始, 3:右足接地, 4:右足支持期中間点, 5:右足離地, 6:右足フォローステップ終了, 7:左足接地, 8:左足支持期中間点.

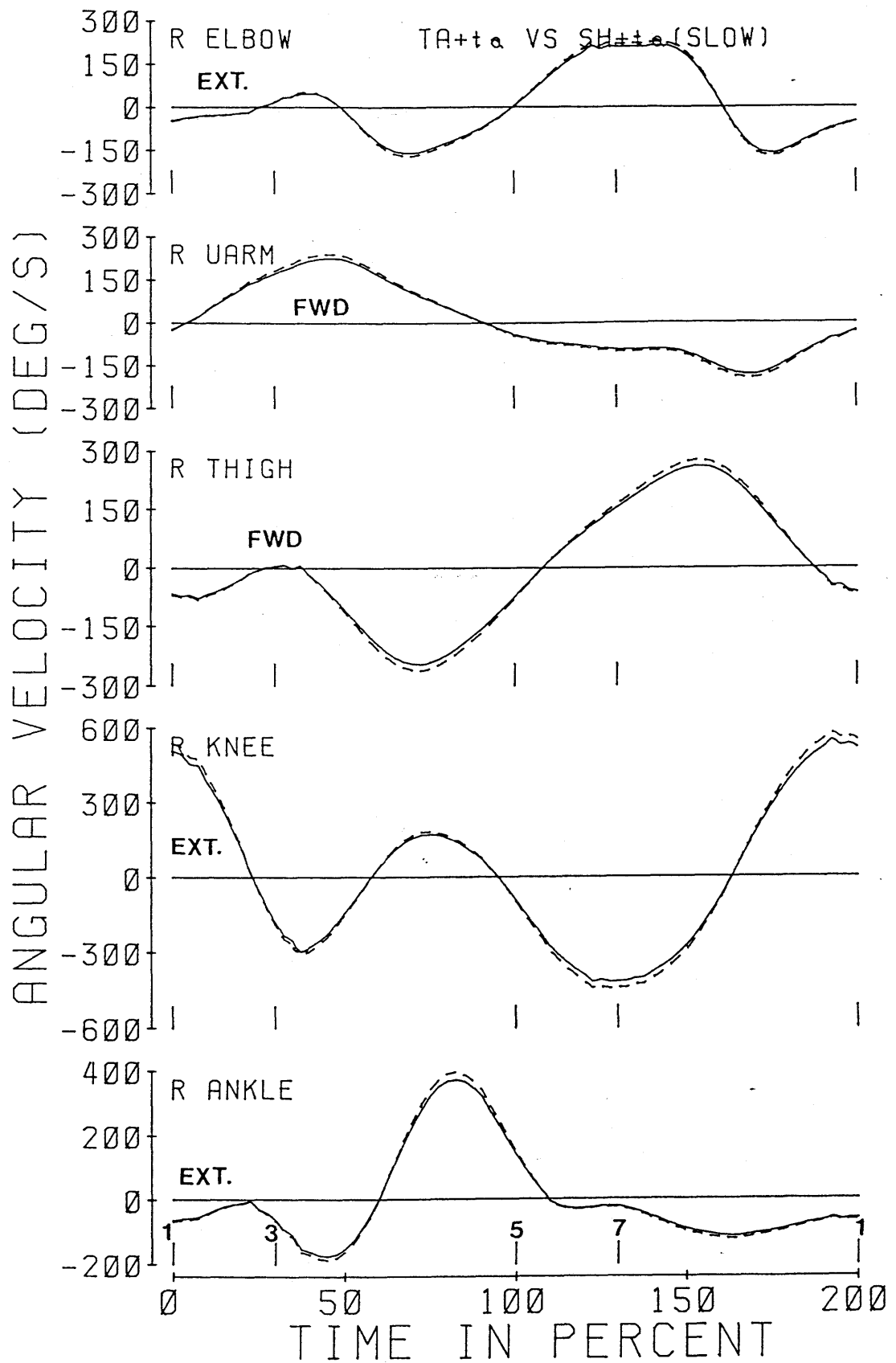


図7-11 シミュレーションから得た走者TA (実線), SH (破線) の低速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (走フォーム t a). 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

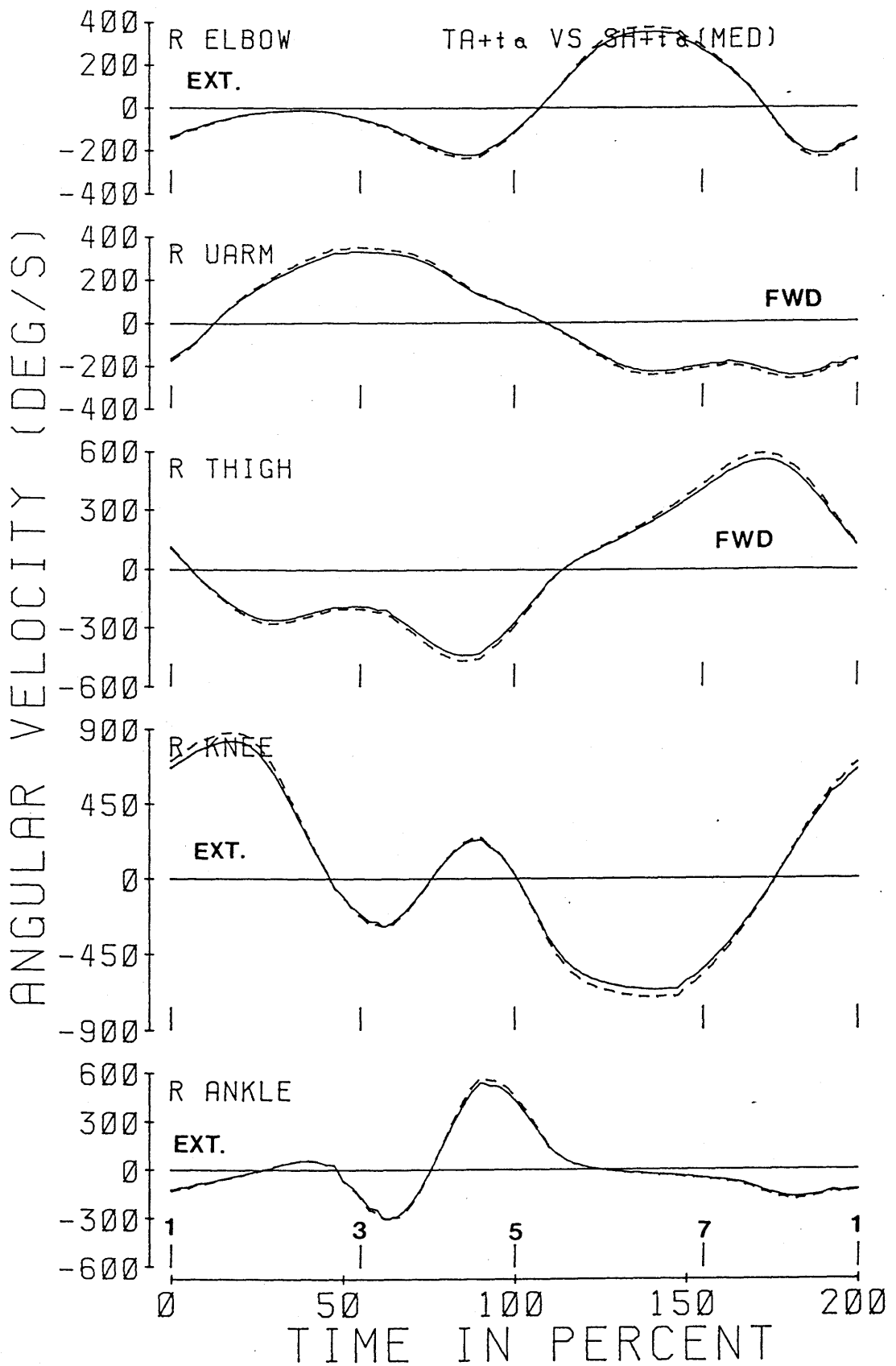


図7-12 シミュレーションから得た走者TA (実線), SH (破線) の中速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (走フォーム  $t_a$ ). 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

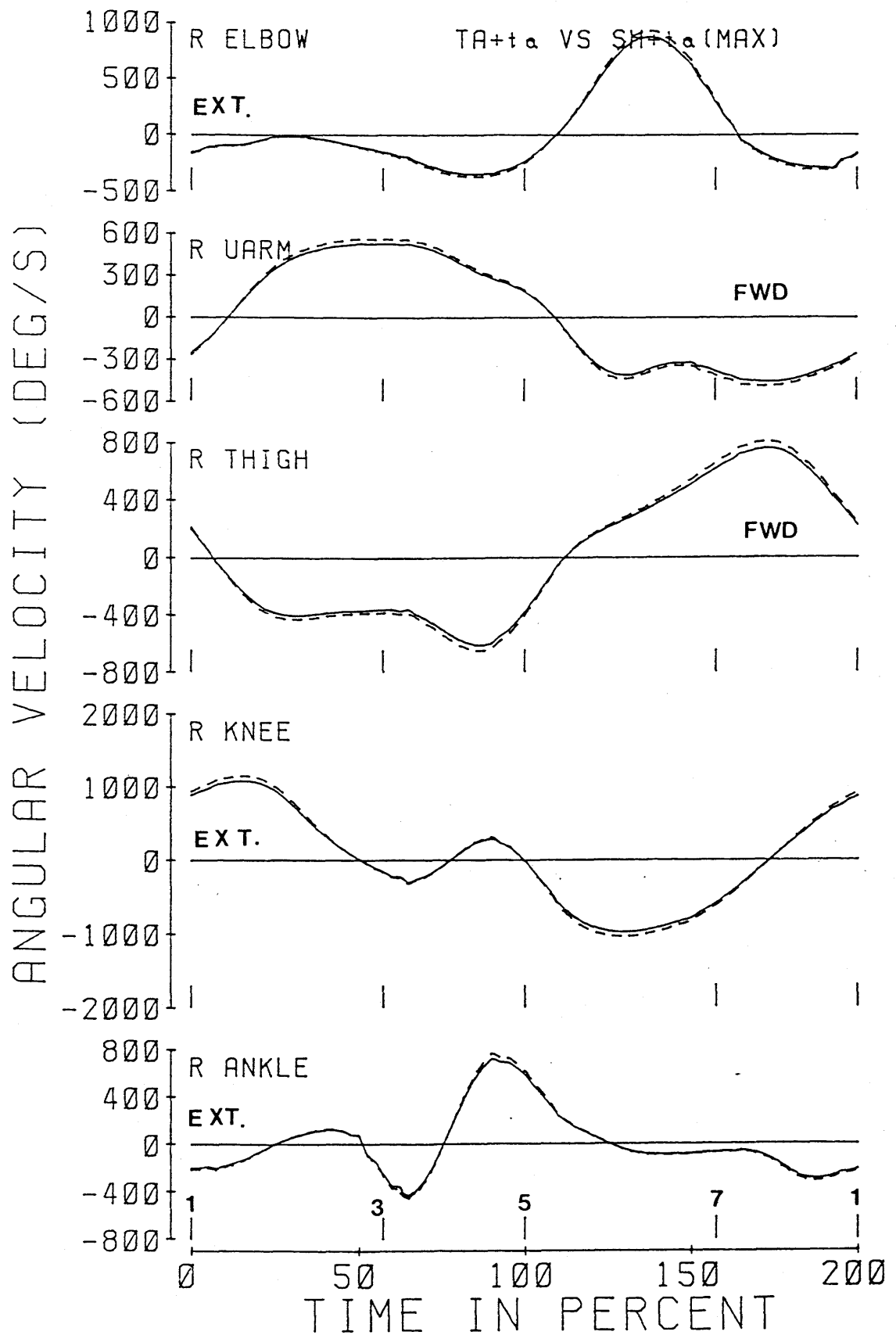


図7-13 シミュレーションから得た走者TA (実線), SH (破線) の全速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (走フォーム  $t_a$ ). 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

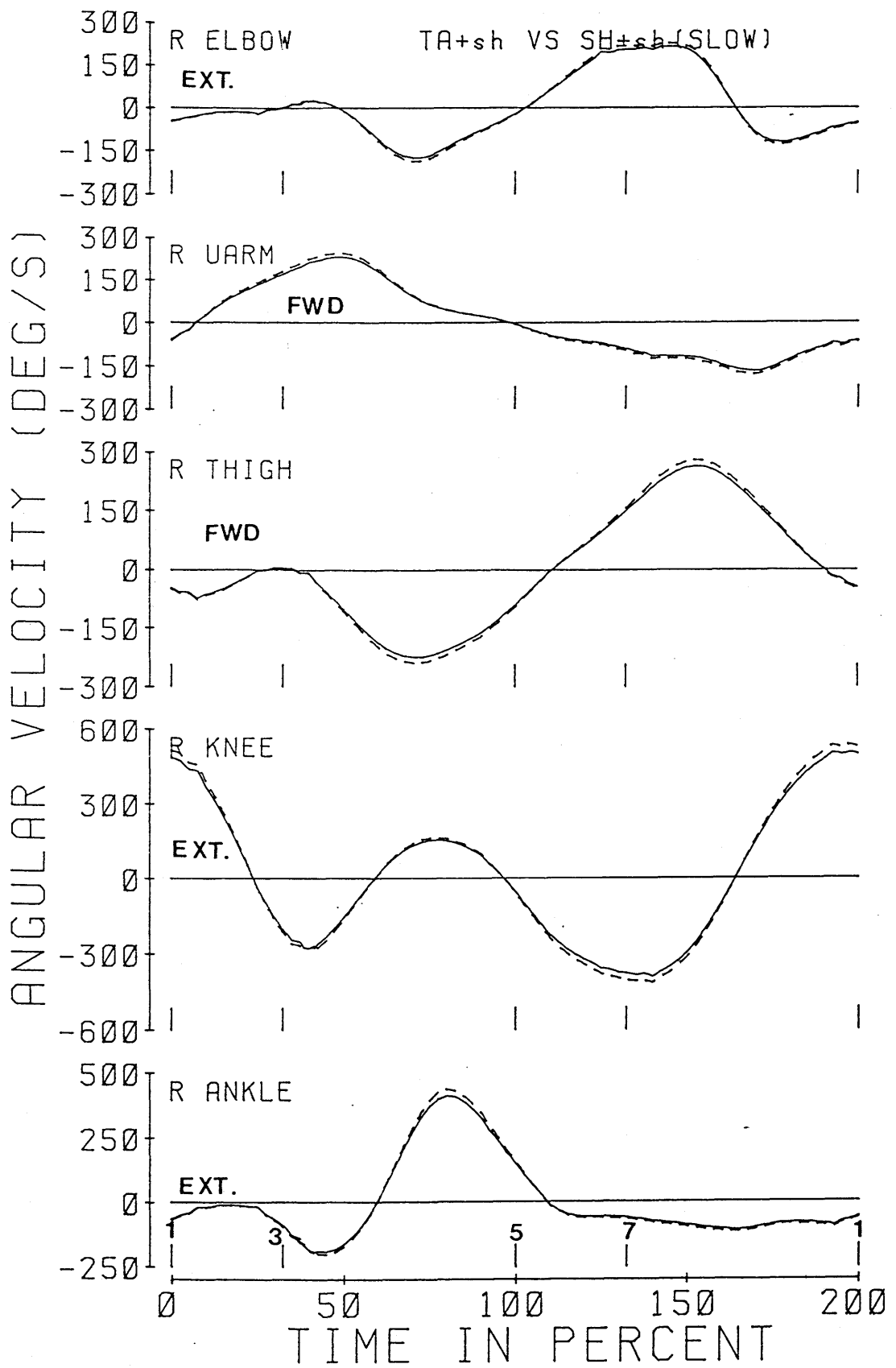


図7-14 シミュレーションから得た走者TA (実線), SH (破線) の低速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (走フォームsh). 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

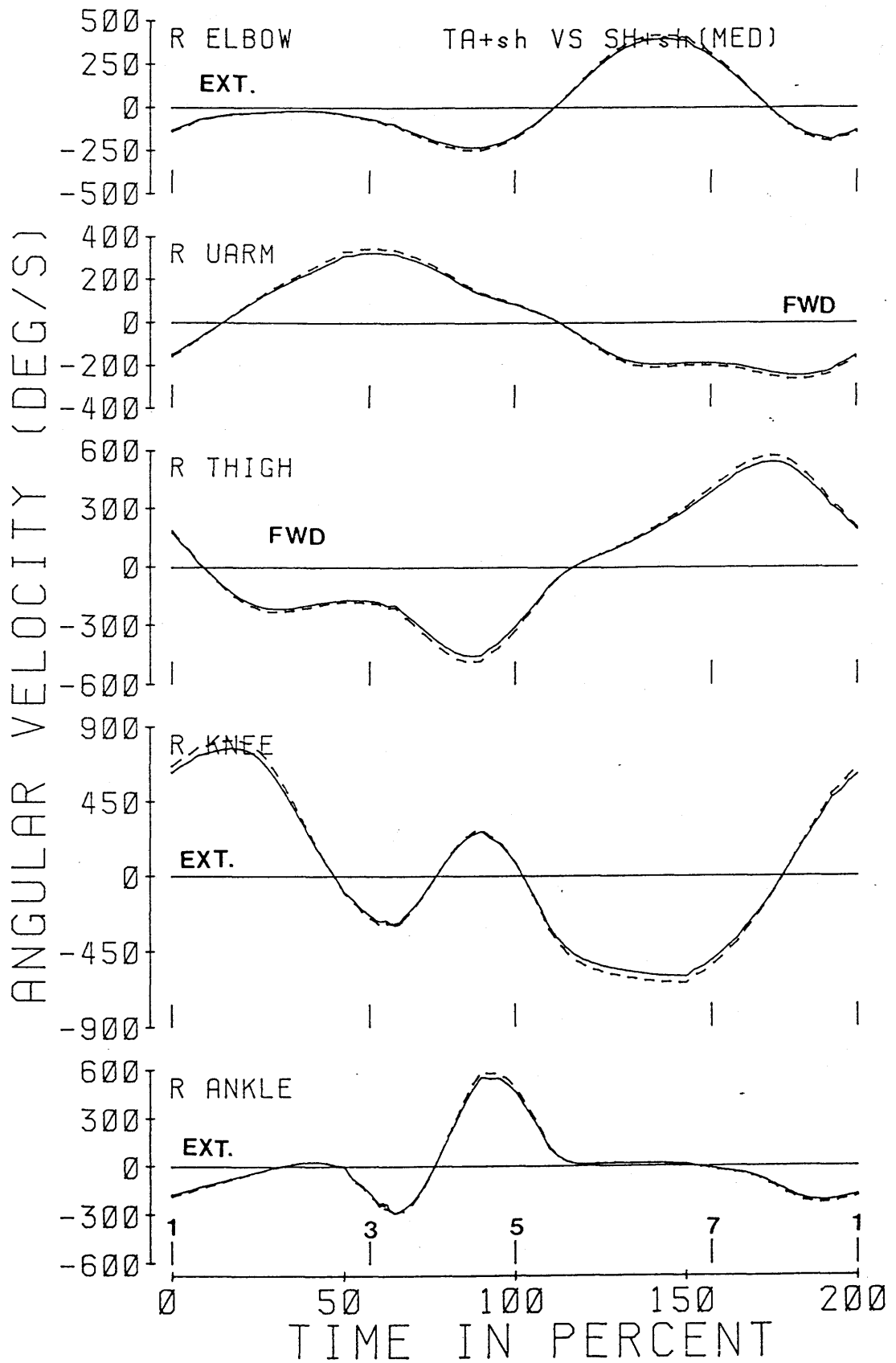


図7-15 シミュレーションから得た走者TA (実線), SH (破線) の中速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (走フォームsh). 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

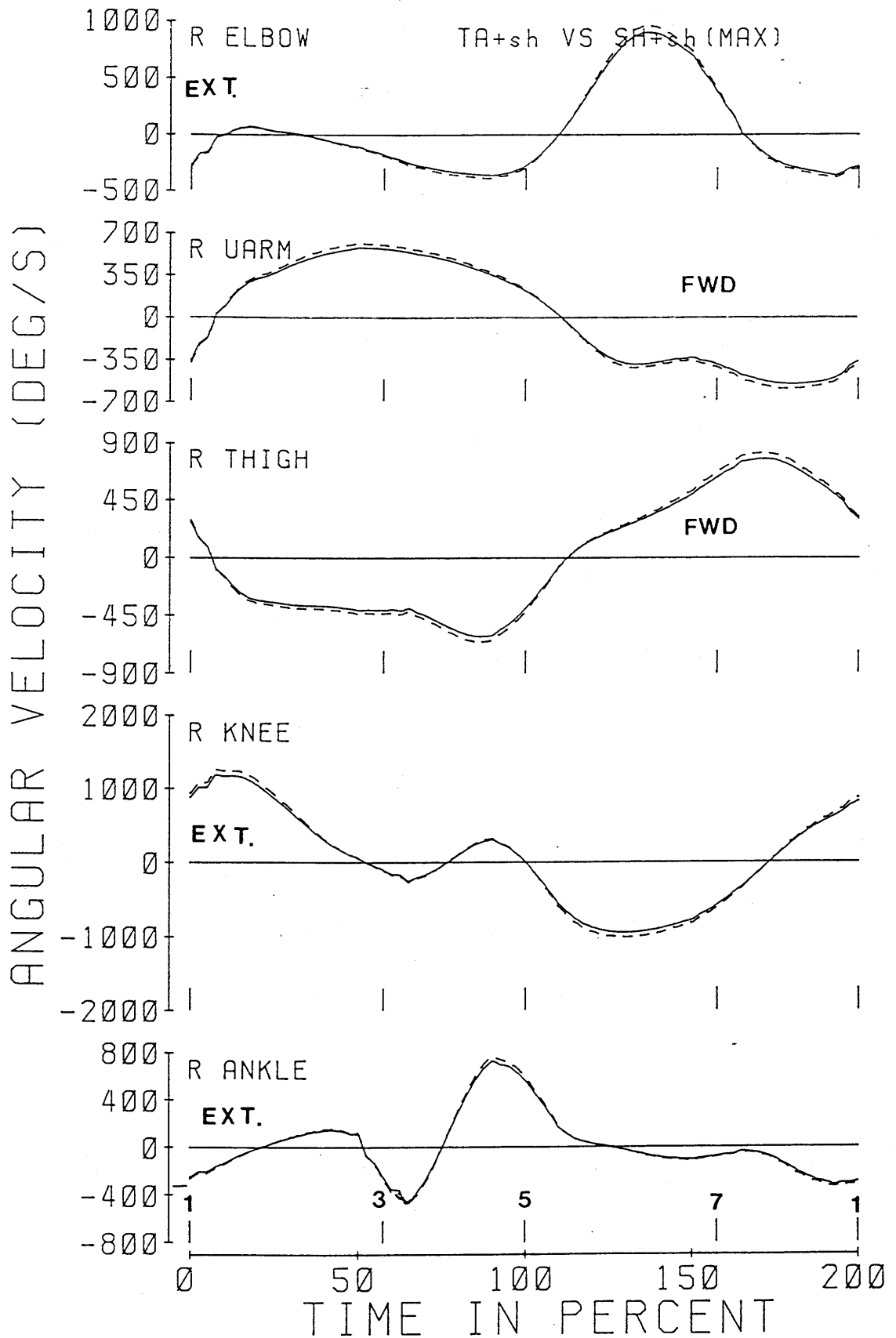


図7-16 シミュレーションから得た走者TA(実線), SH(破線)の全速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化(走フォームsh). 1~3:回復後期, 3~5:支持期, 5~7:回復前期, 7~1:回復中期.

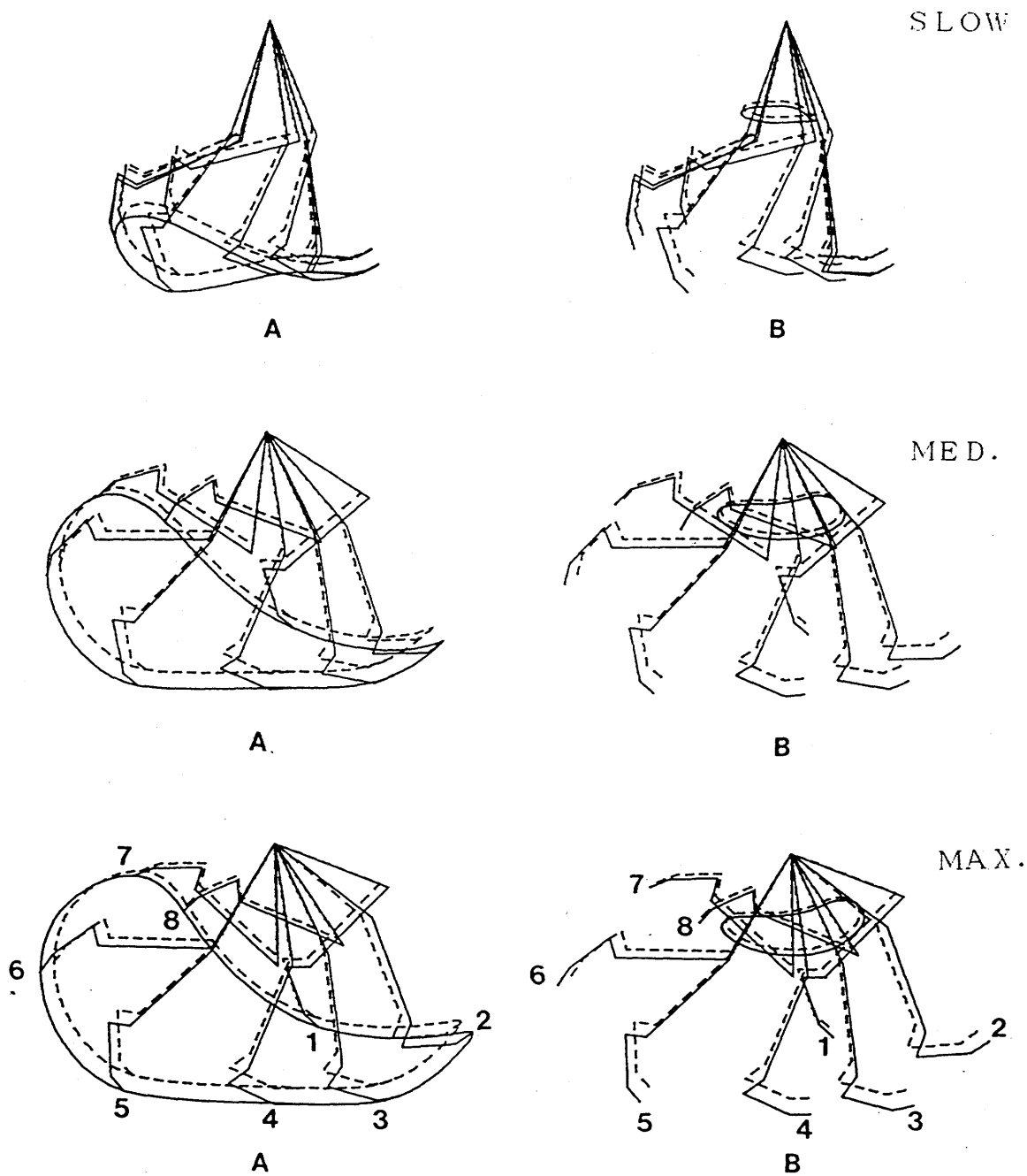


図7-17 シミュレーションから得た走者TA（実線），SH（破線）の各速度段階における疾走中の右脚の動き（走フォームt a）  
 ただし，A図には足先の軌跡を，B図には脚重心の軌跡を併記．



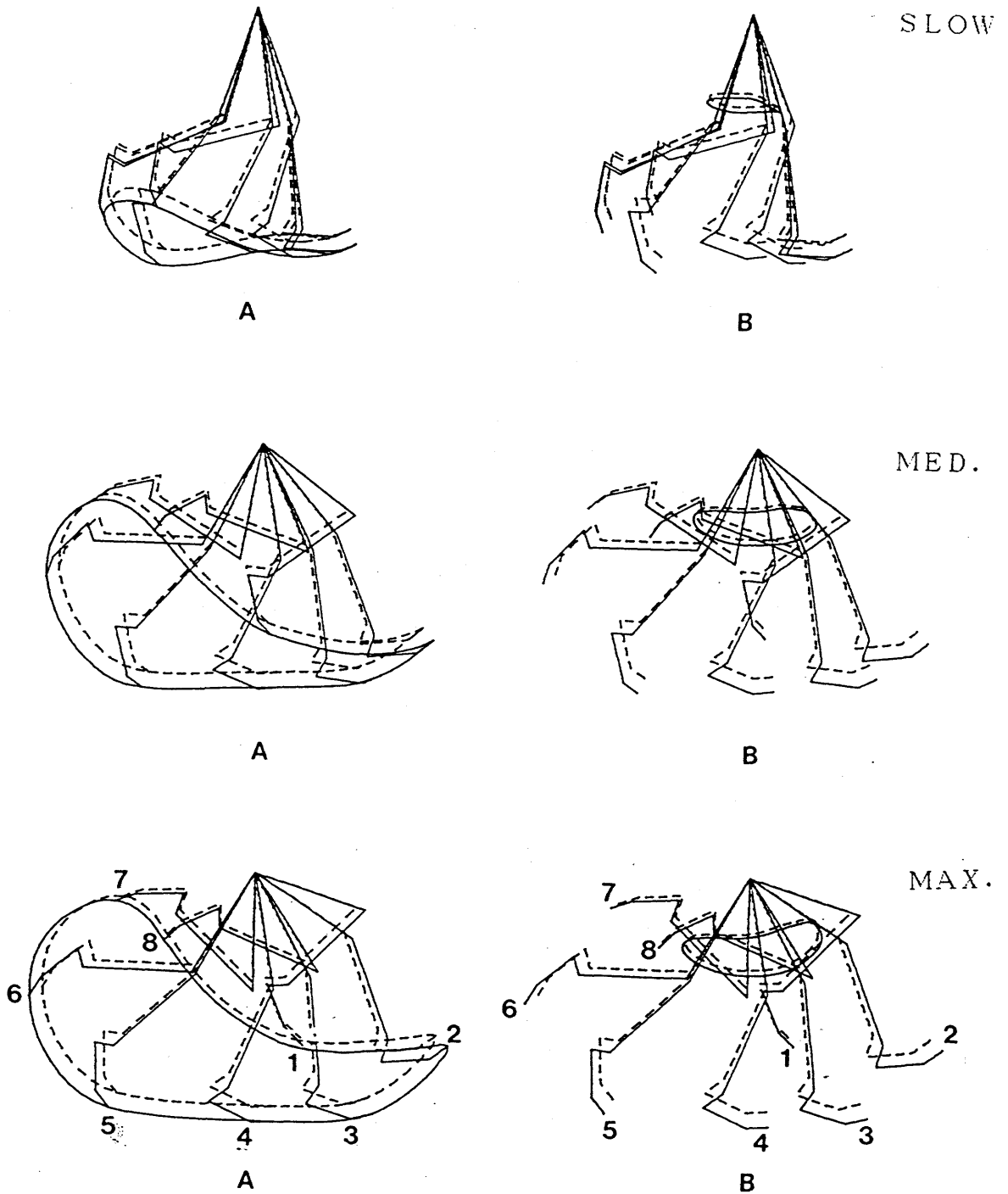


図7-18 シミュレーションから得た走者TA（実線），SH（破線）の各速度段階における疾走中の右脚の動き（走フォームsh）  
ただし、A図には足先の軌跡を、B図には脚重心の軌跡を併記。

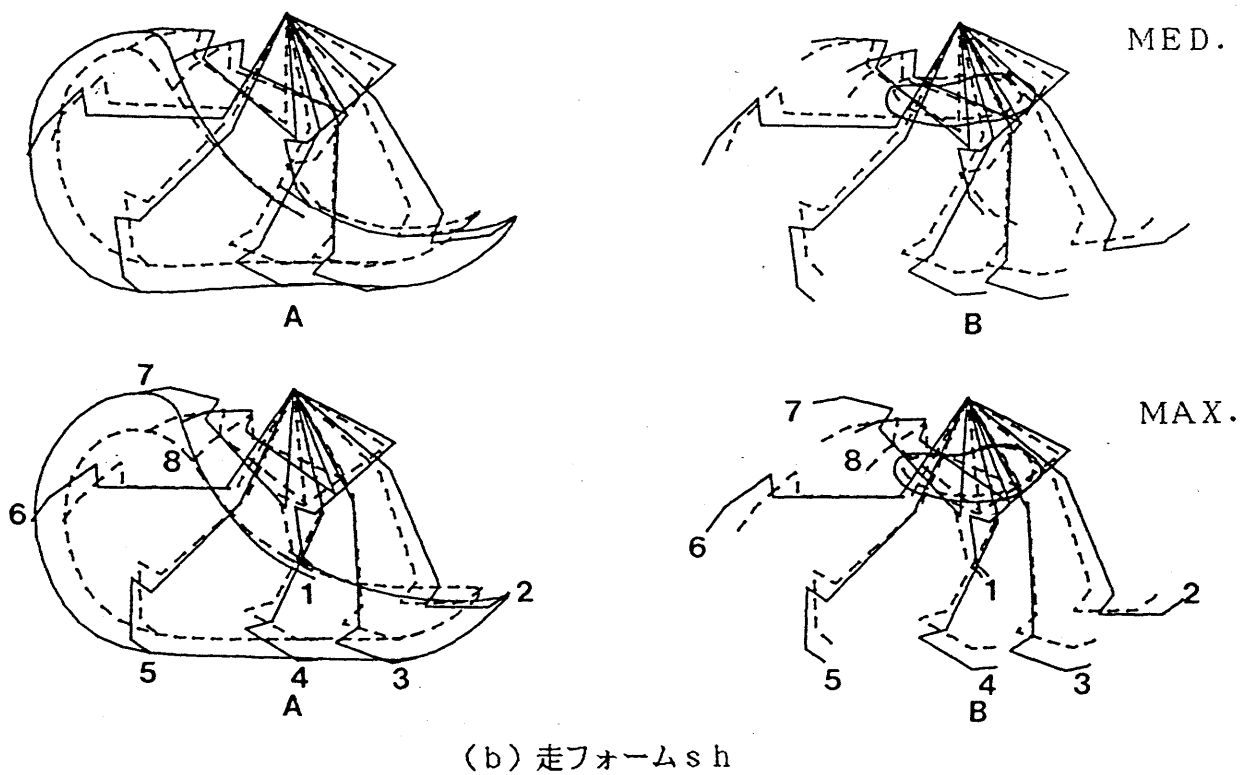
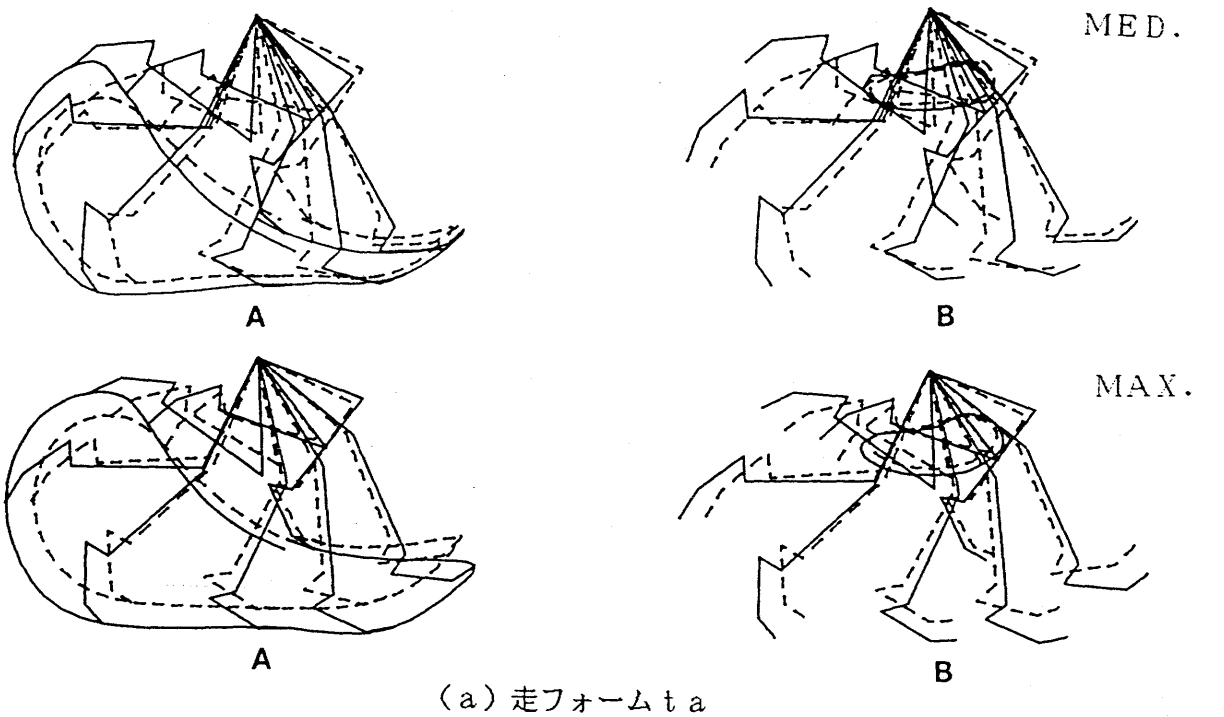


図7-19 実験2から得たTA群(実線), SH群(破線)の各速度段階における疾走中の右脚の動き  
ただし, A図には足先の軌跡を, B図には脚重心の軌跡を併記.

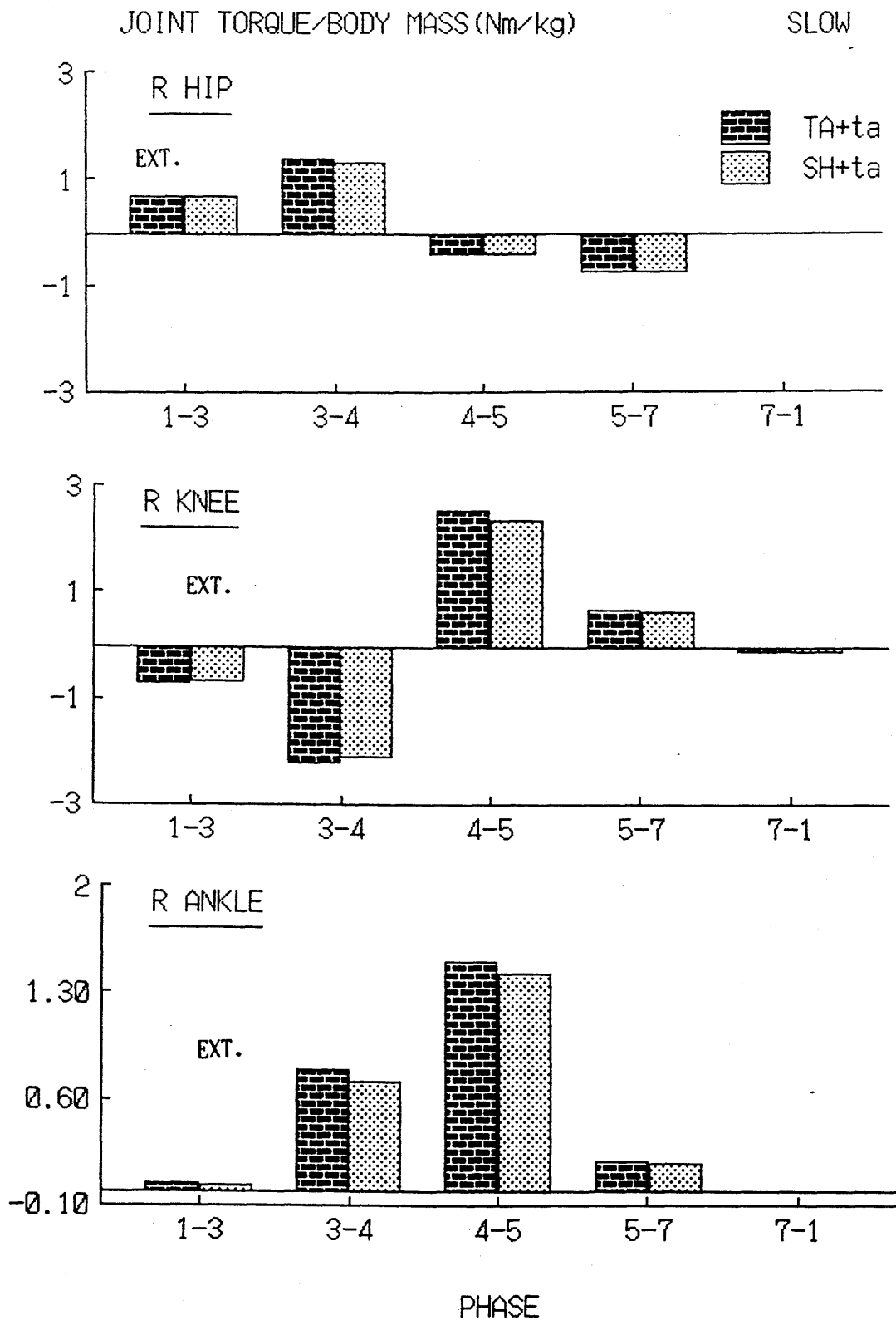


図7-20 シミュレーションから得た走者TA, SHの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (低速走, 走フォームta)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

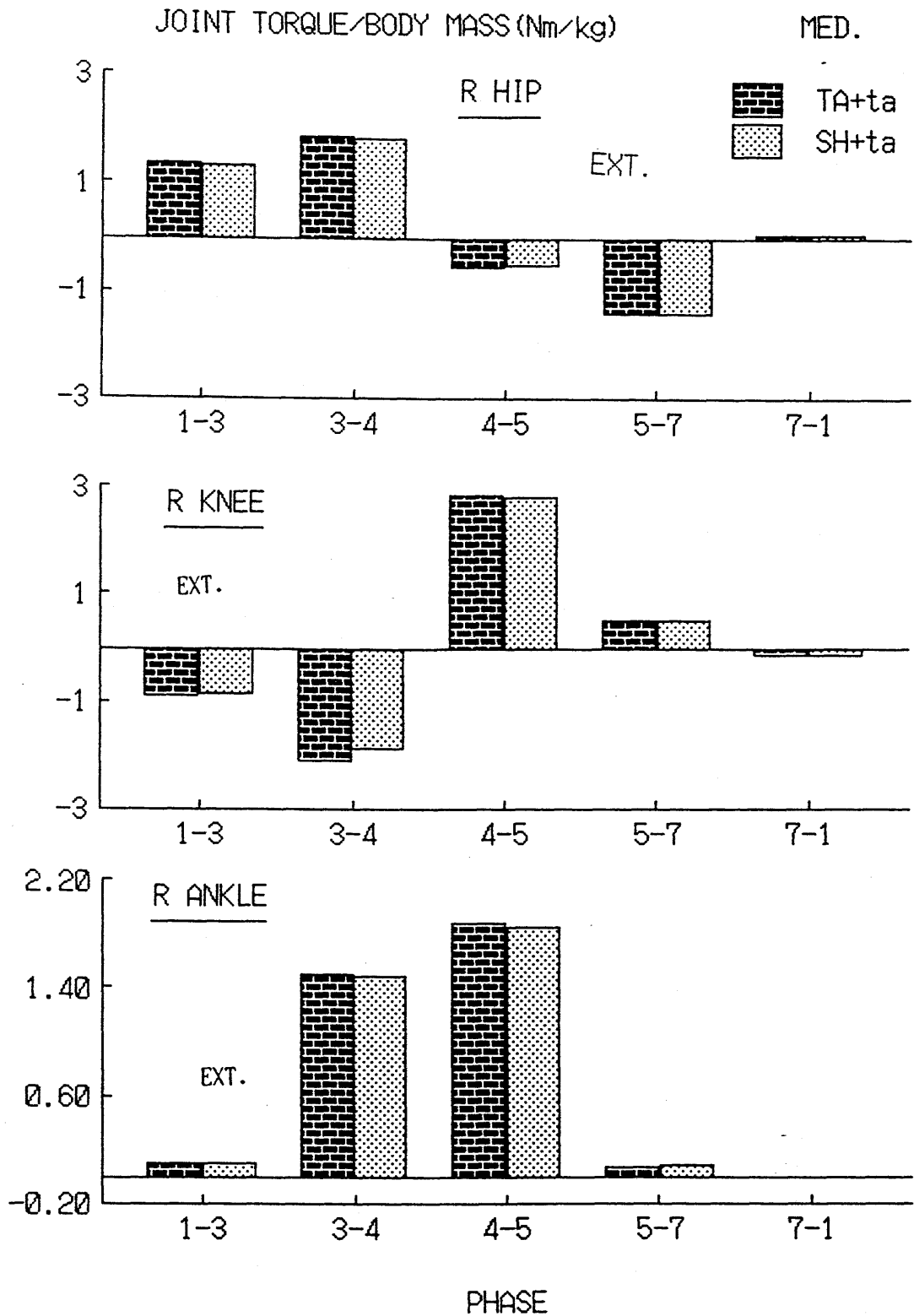


図7-21 シミュレーションから得た走者TA, SHの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (中速走, 走フォームta)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

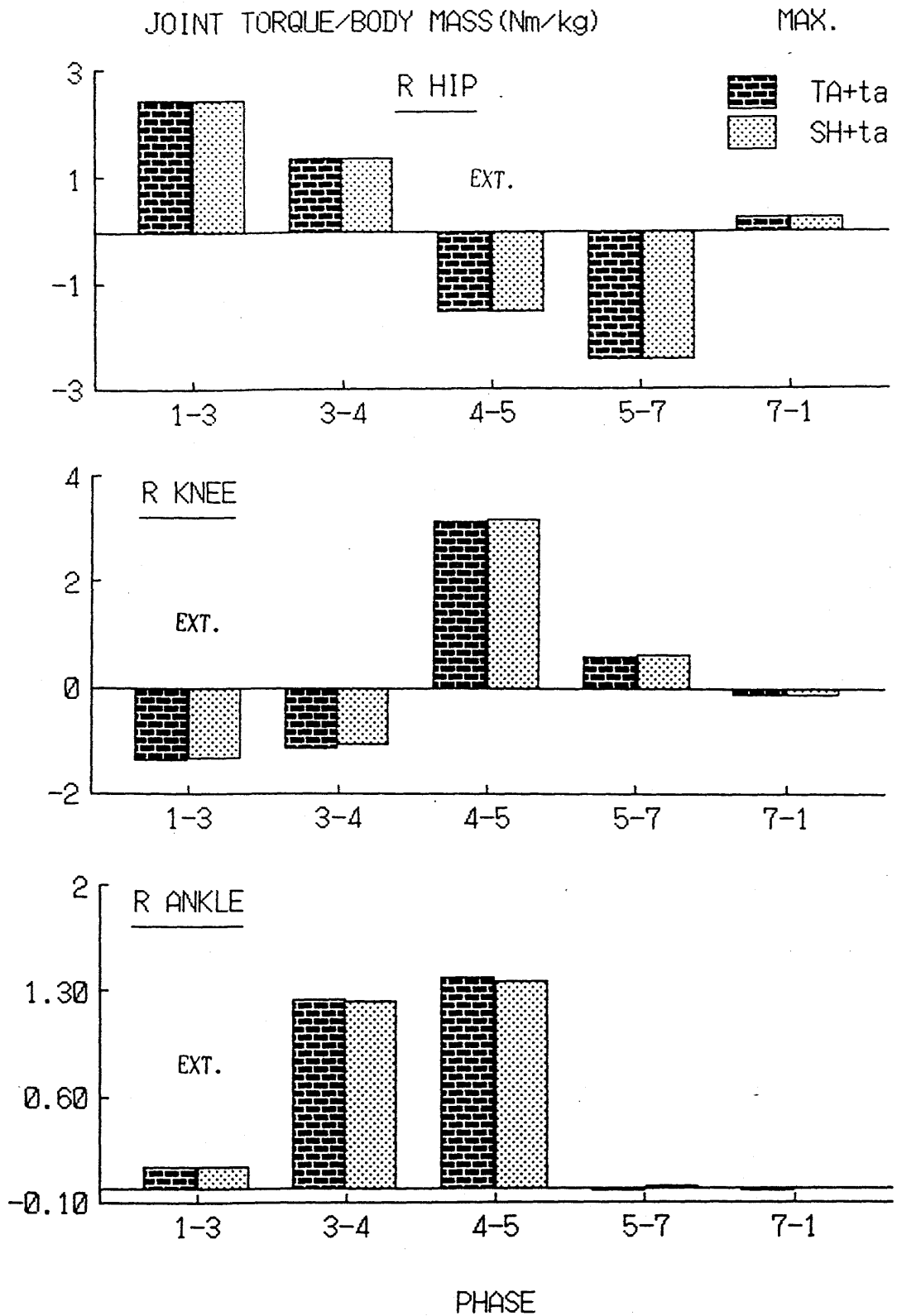


図7-22 シミュレーションから得た走者TA, SHの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (全速走, 走フォームta)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

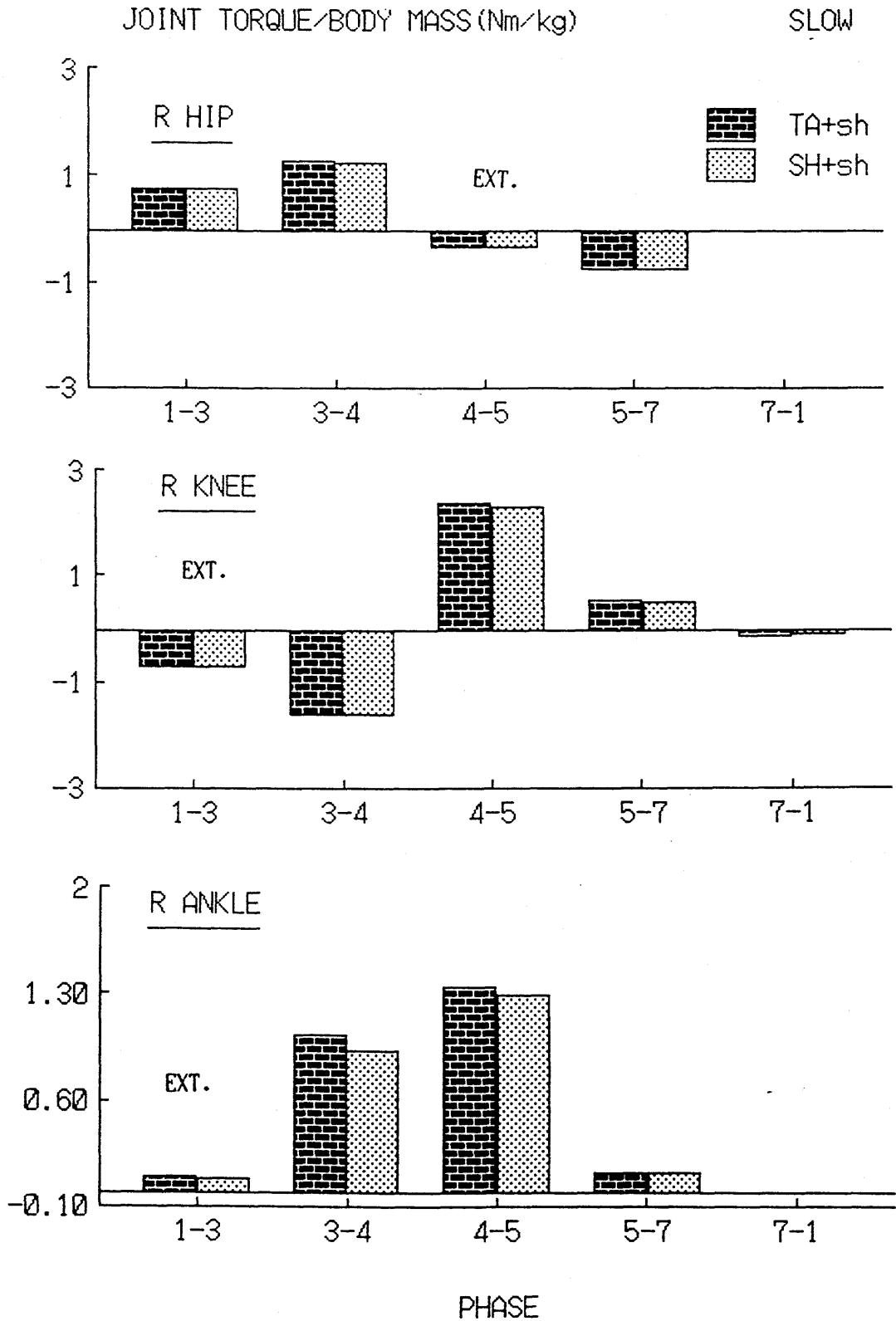


図7-23 シミュレーションから得た走者TA, SHの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (低速走, 走フォームsh)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

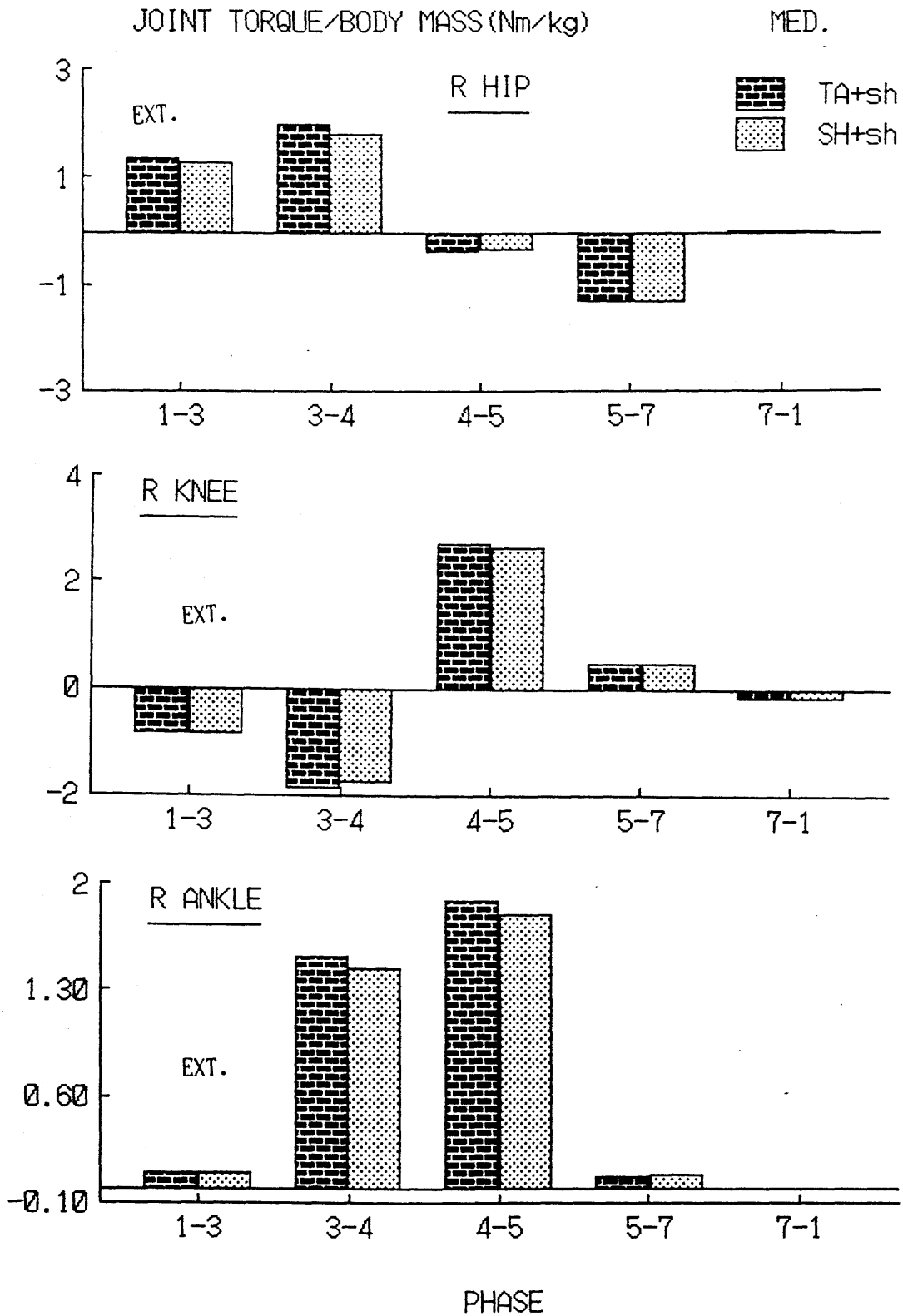


図7-24 シミュレーションから得た走者TA, SHの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (中速走, 走フォームsh)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

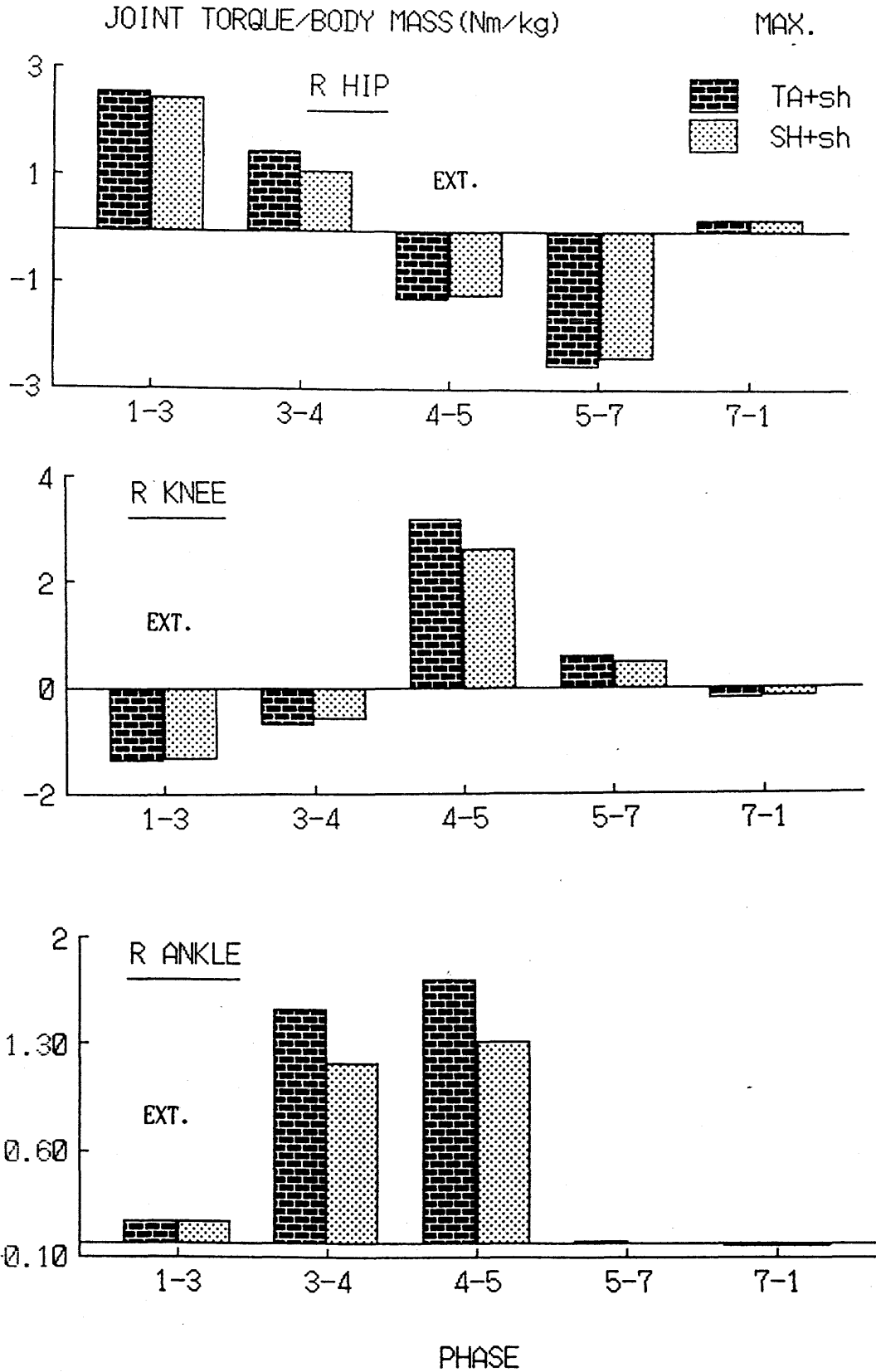


図7-25 シミュレーションから得た走者TA, SHの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (全速走, 走フォームsh)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.



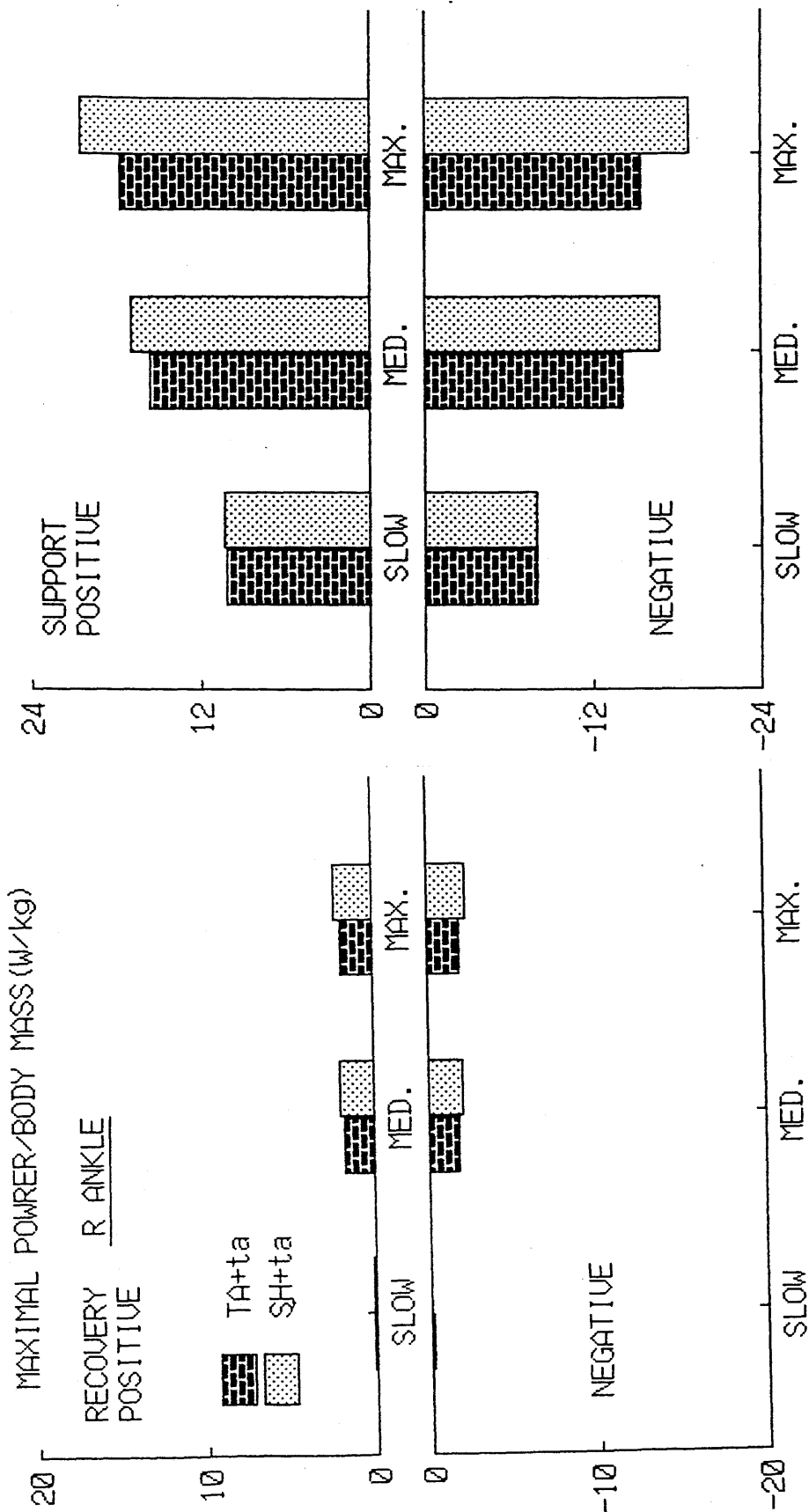


図7-26 シミュレーションから得た各速度段階における走者TA, SHの足関節筋群による正, 負の最大パワー(走フォームta). 左図:回復期, 右図:支持期

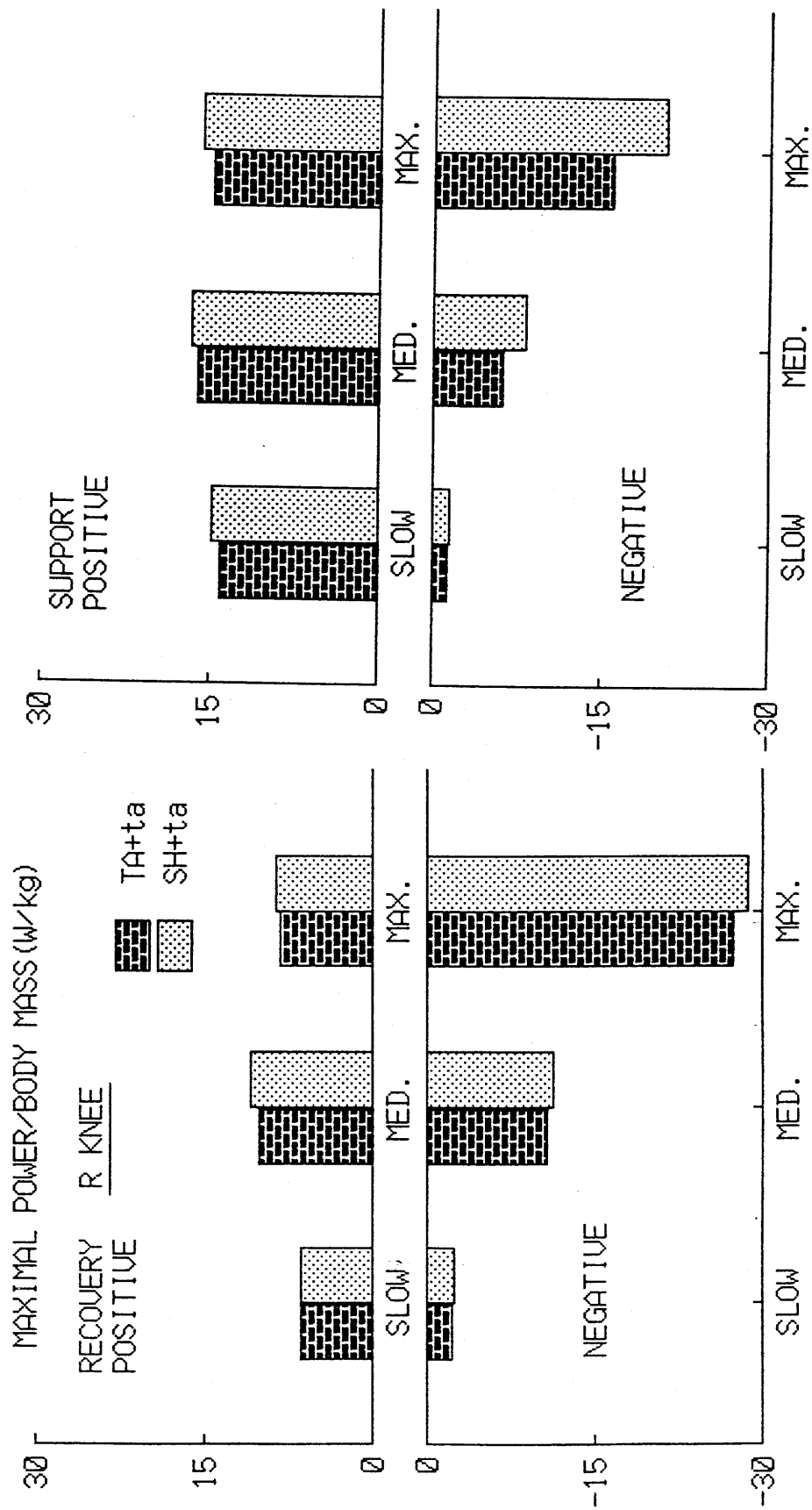


図7-27 シミュレーションから得た各速度段階における走者TA, SHの膝関節筋群による正, 負の最大パワー(走フォームta). 左図: 回復期, 右図: 支持期

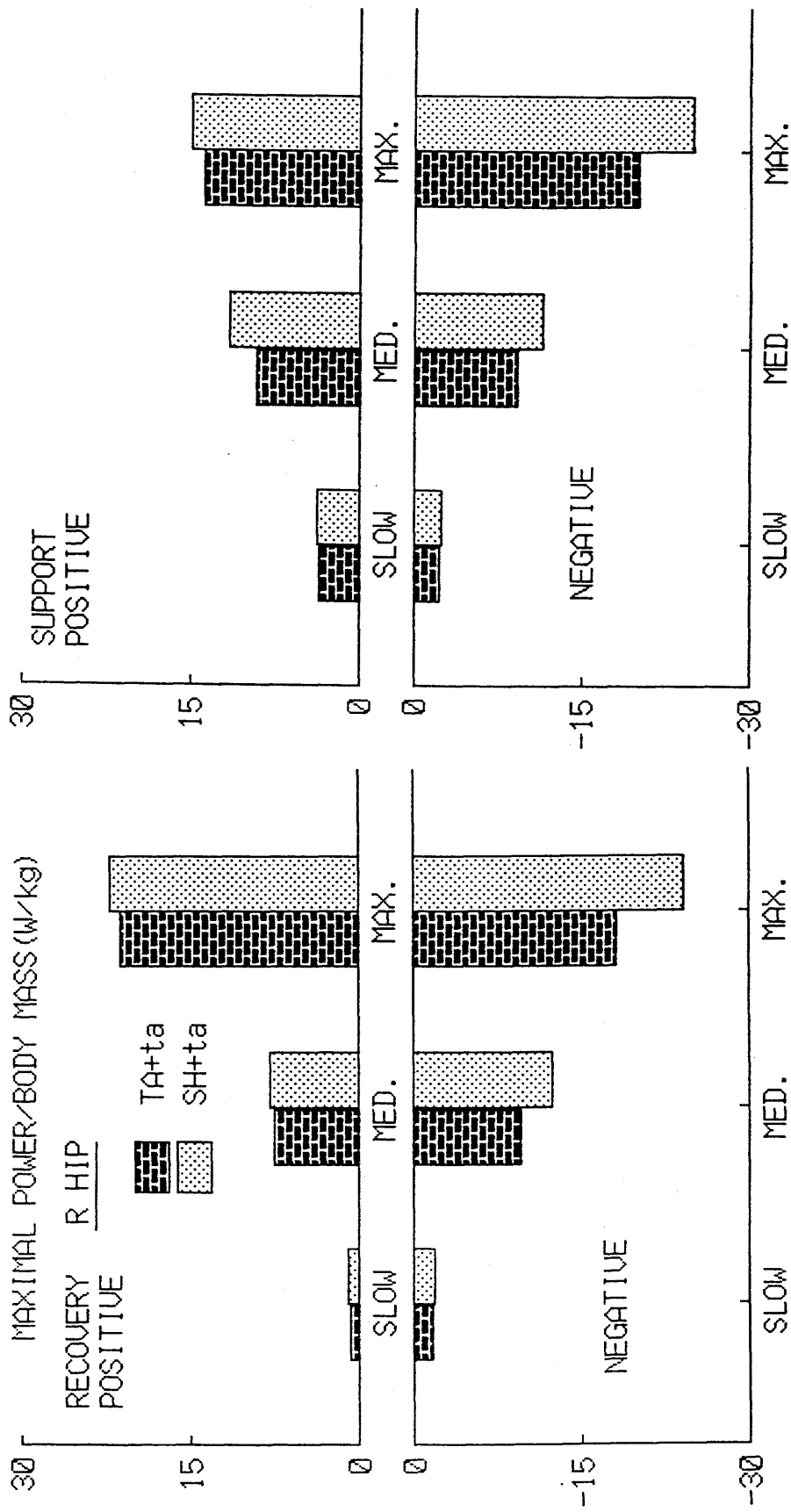


図7-28 シミュレーションから得た各速度段階における走者TA, SHの股関節筋群による正, 負の最大パワー(走フォームta). 左図:回復期, 右図:支持期

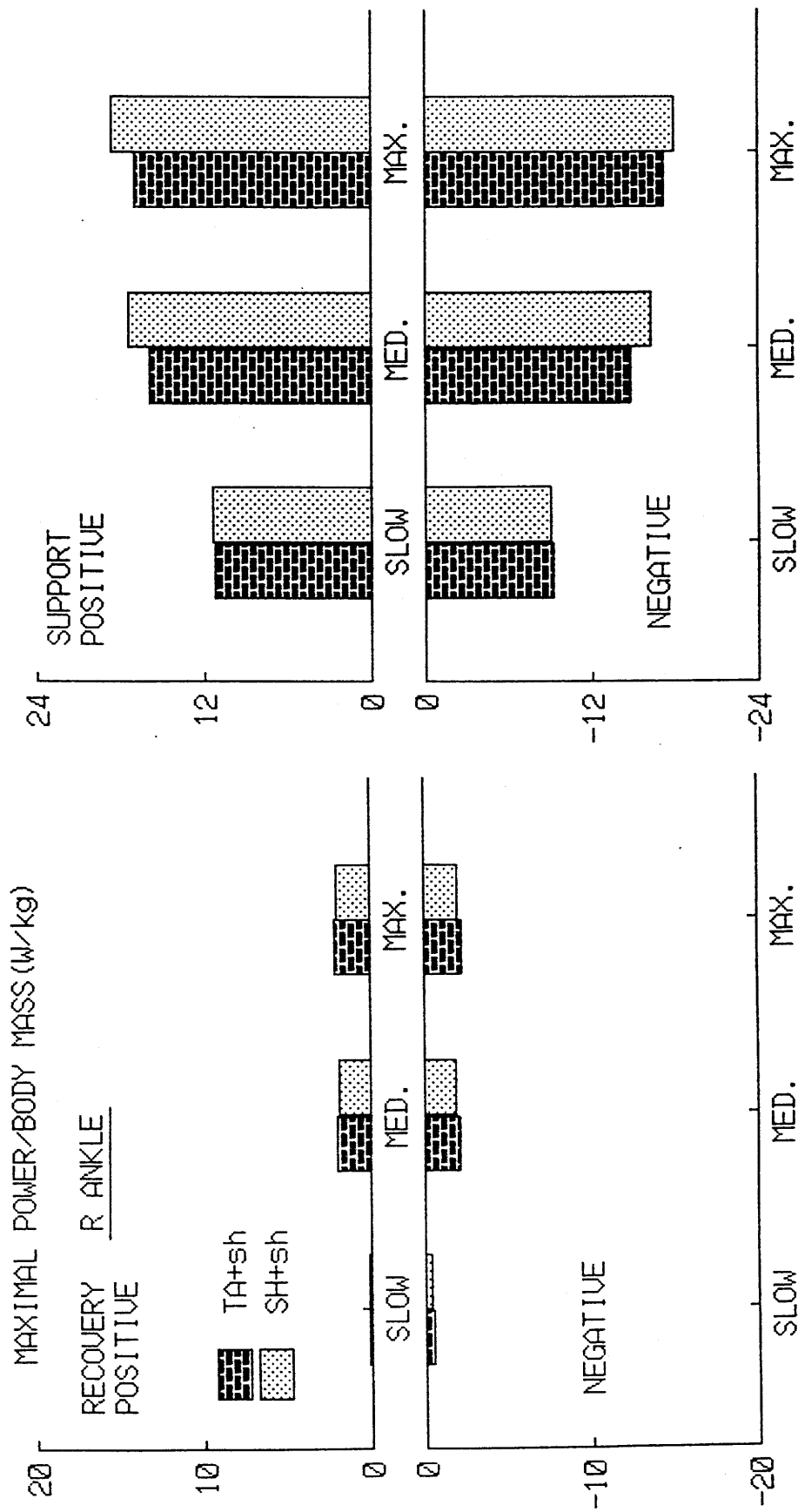


図7-29 シミュレーションから得た各速度段階における走者TA, SHの足関節筋群による正, 負の最大パワー(走フォームsh). 左図:回復期, 右図:支持期

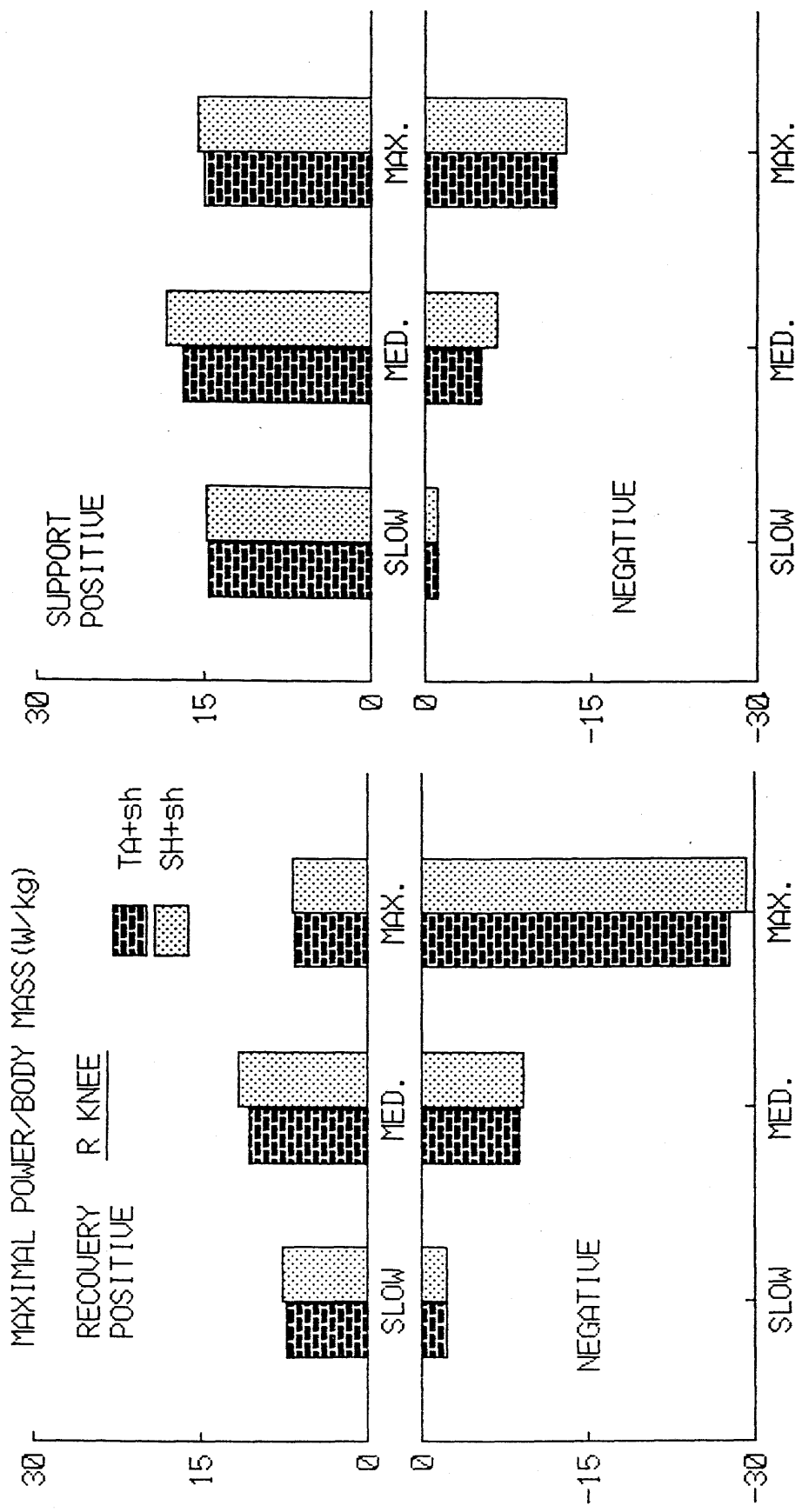


図7-30 シミュレーションから得た各速度段階における走者TA, SHの膝関節筋群による正, 負の最大パワー(走フォームsh). 左図:回復期, 右図:支持期

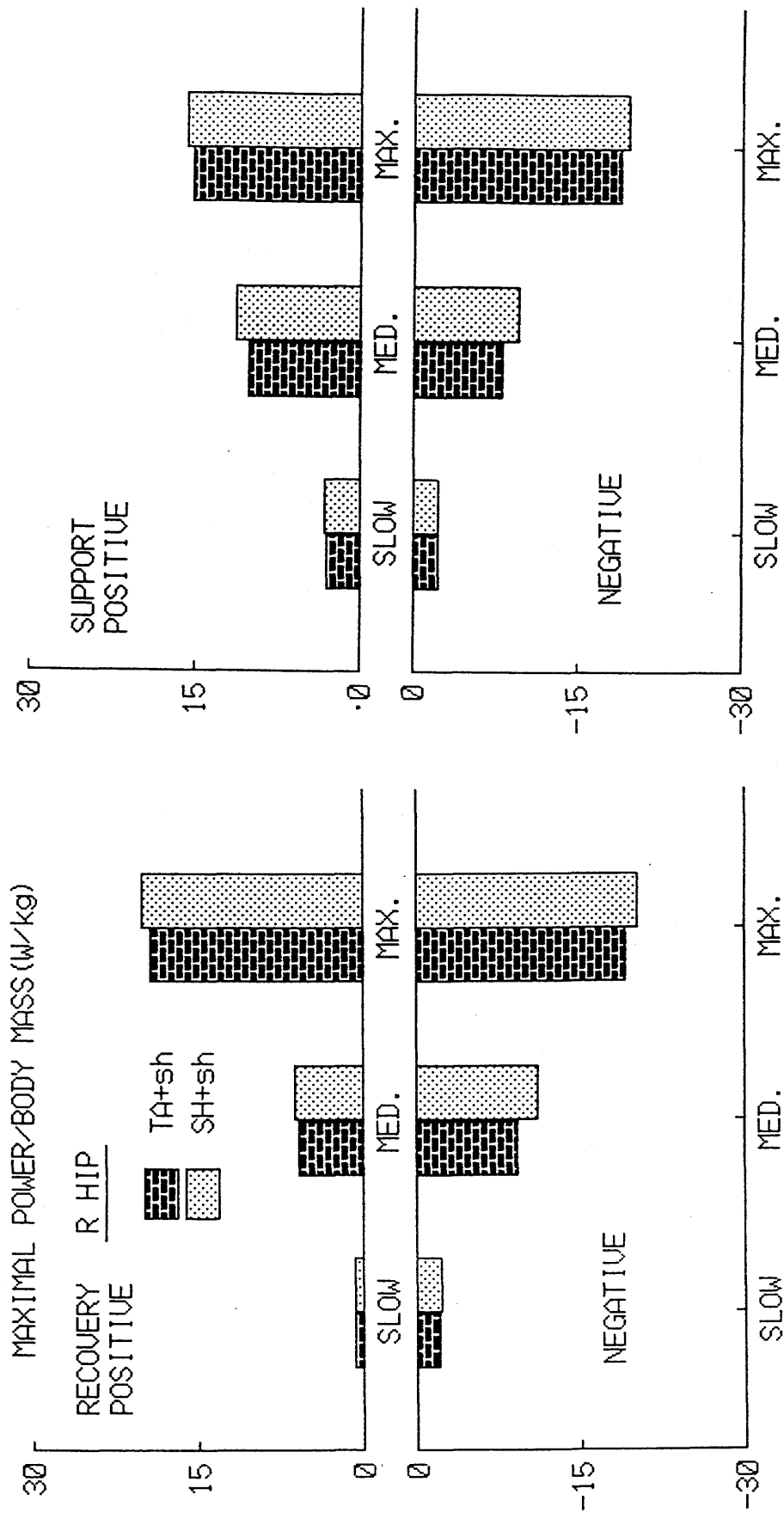
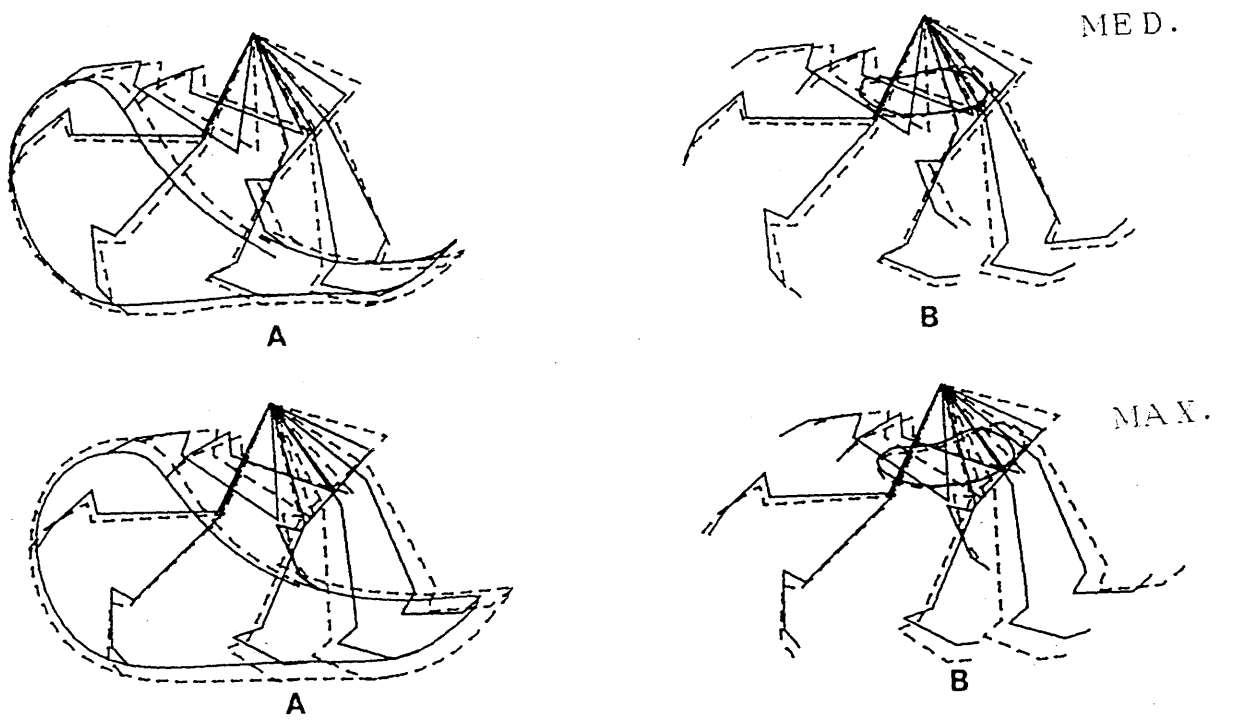
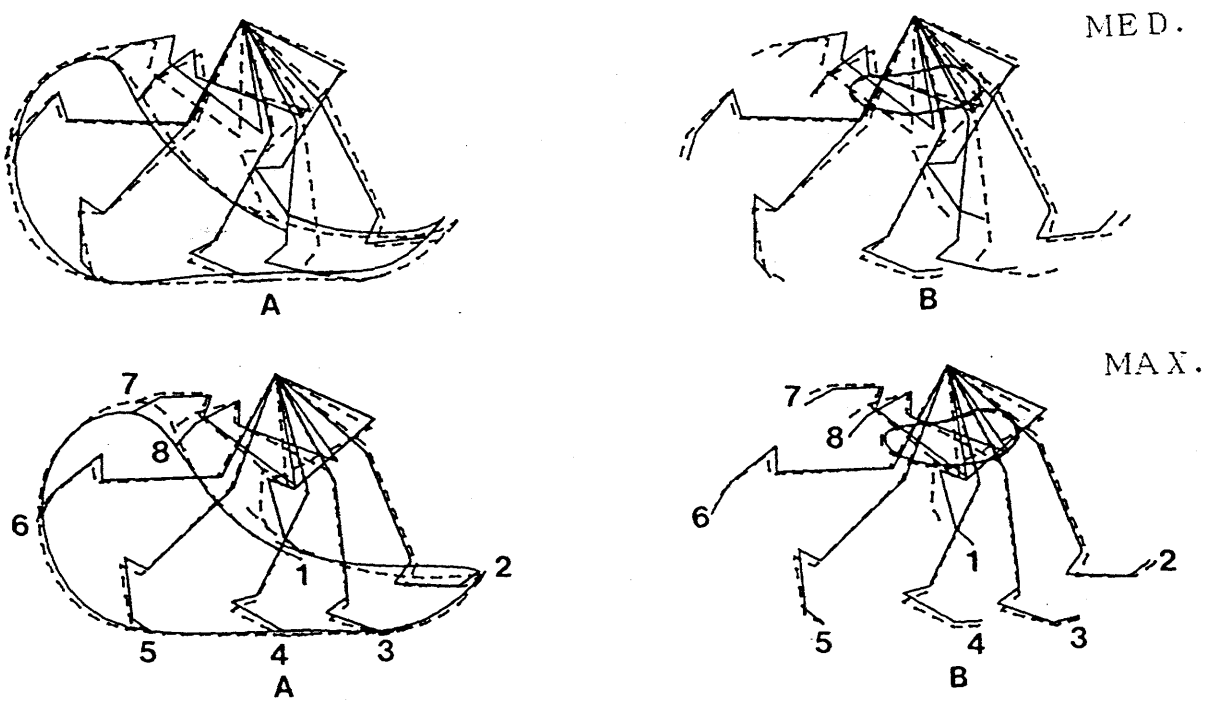


図7-3.1 シミュレーションから得た各速度段階における走者TA, SHの股関節筋群による正, 負の最大パワー(走フォームsh). 左図: 回復期, 右図: 支持期



(a) MU群 (実線：走フォームmu, 破線：走フォームsk)



(b) SK群 (実線：走フォームsk, 破線：走フォームmu)

図7-32 実験2の各試技におけるMU群, SK群の右脚の動き  
ただし, A図には足先の軌跡を, B図には脚重心の軌跡を併記.

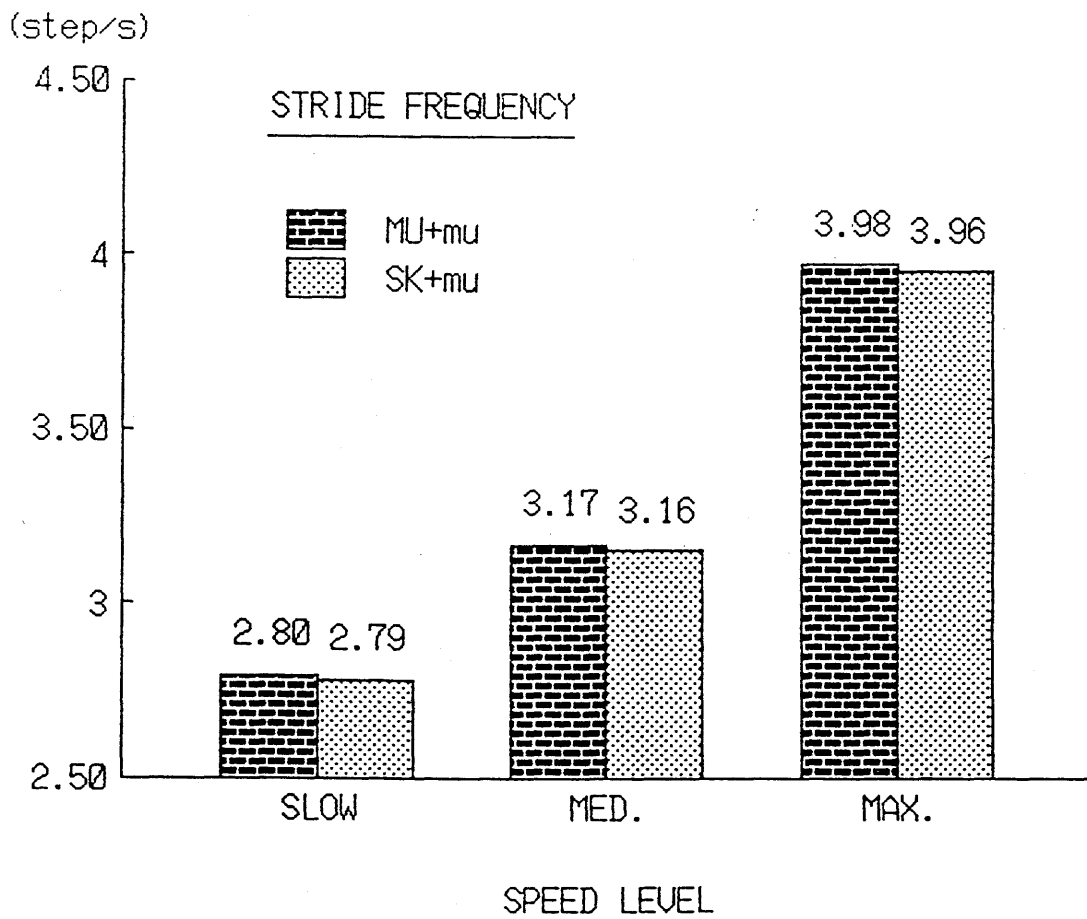
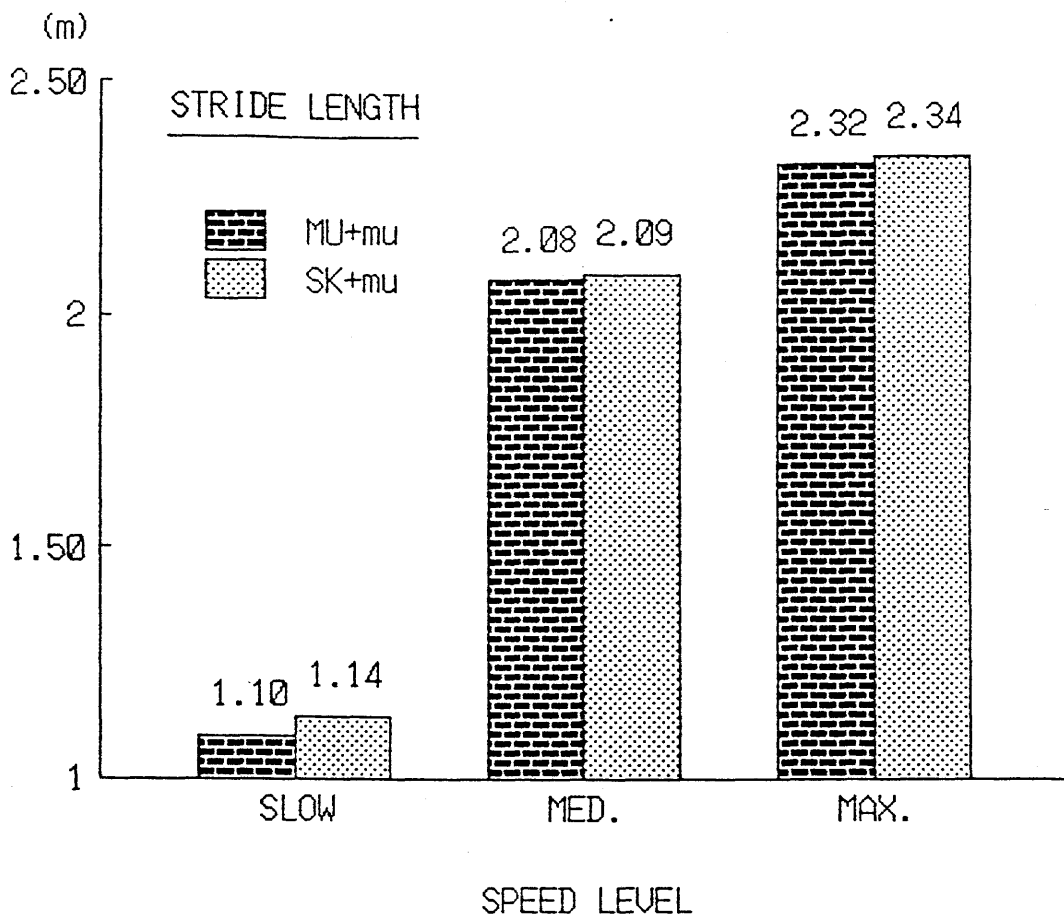


図7-33 (a) シミュレーションから得た各速度段階における走者MU, SKのストライド, ピッチ (走フォームmu)



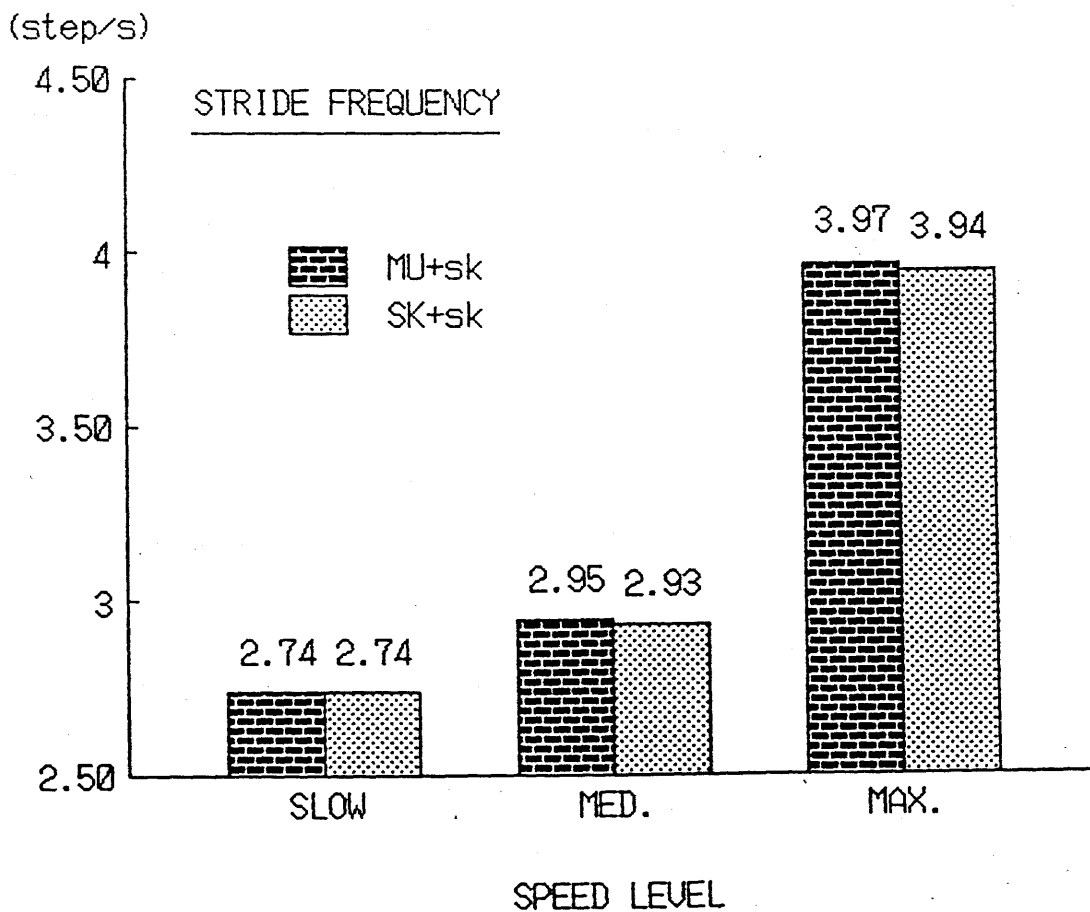
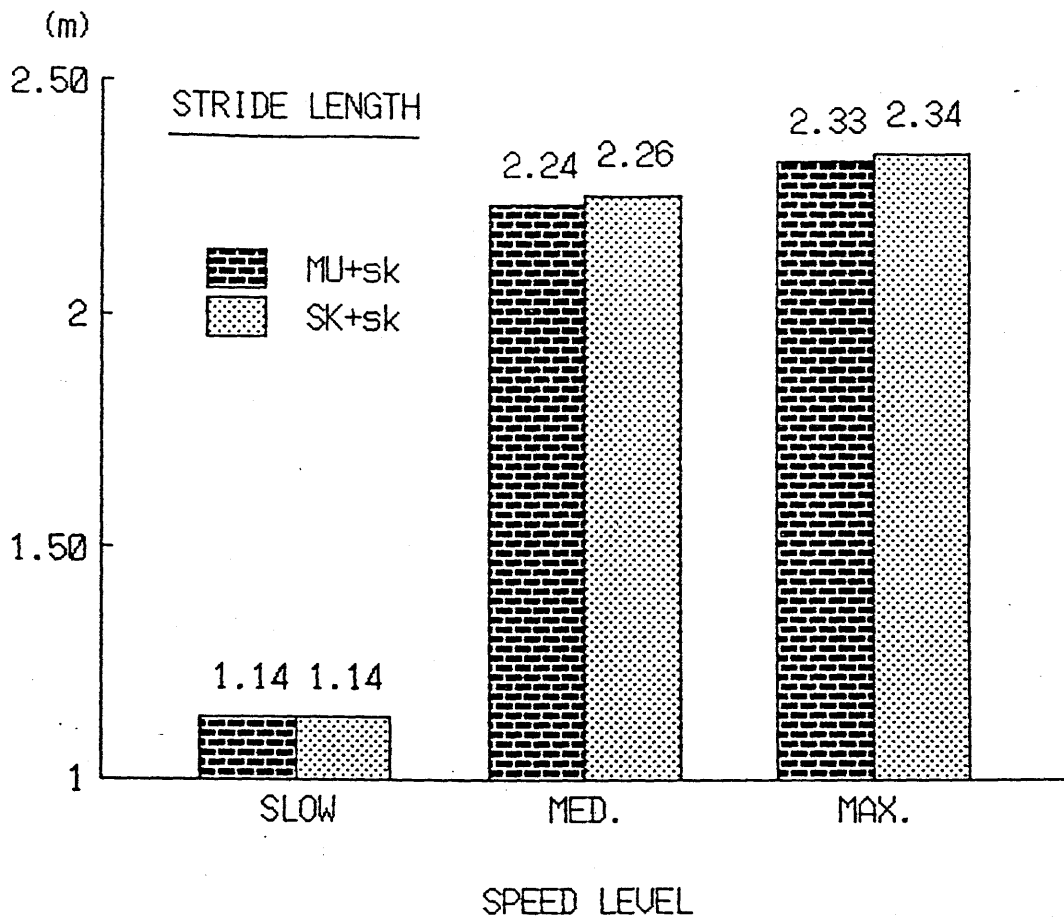


図7-33 (b) シミュレーションから得た各速度段階における走者MU, SKのストライド, ピッチ (走フォームsk)

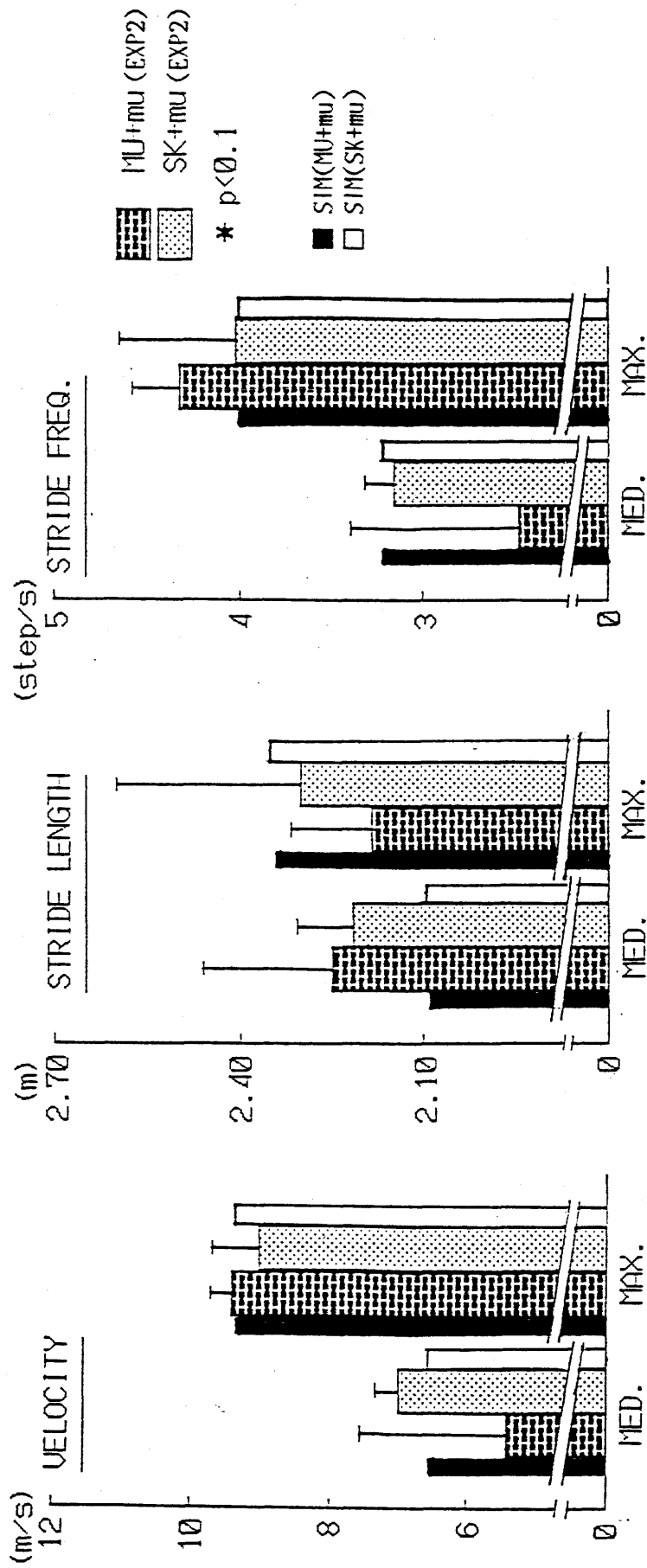


図7-34 (a) 実験2 (EXP2)から得た各速度段階におけるMU群(N=4), SK群(N=4)の走速度, ストライド, ピッチ (走フォームmu). ただし, シミュレーションから得た値 (SIM) も併記した.

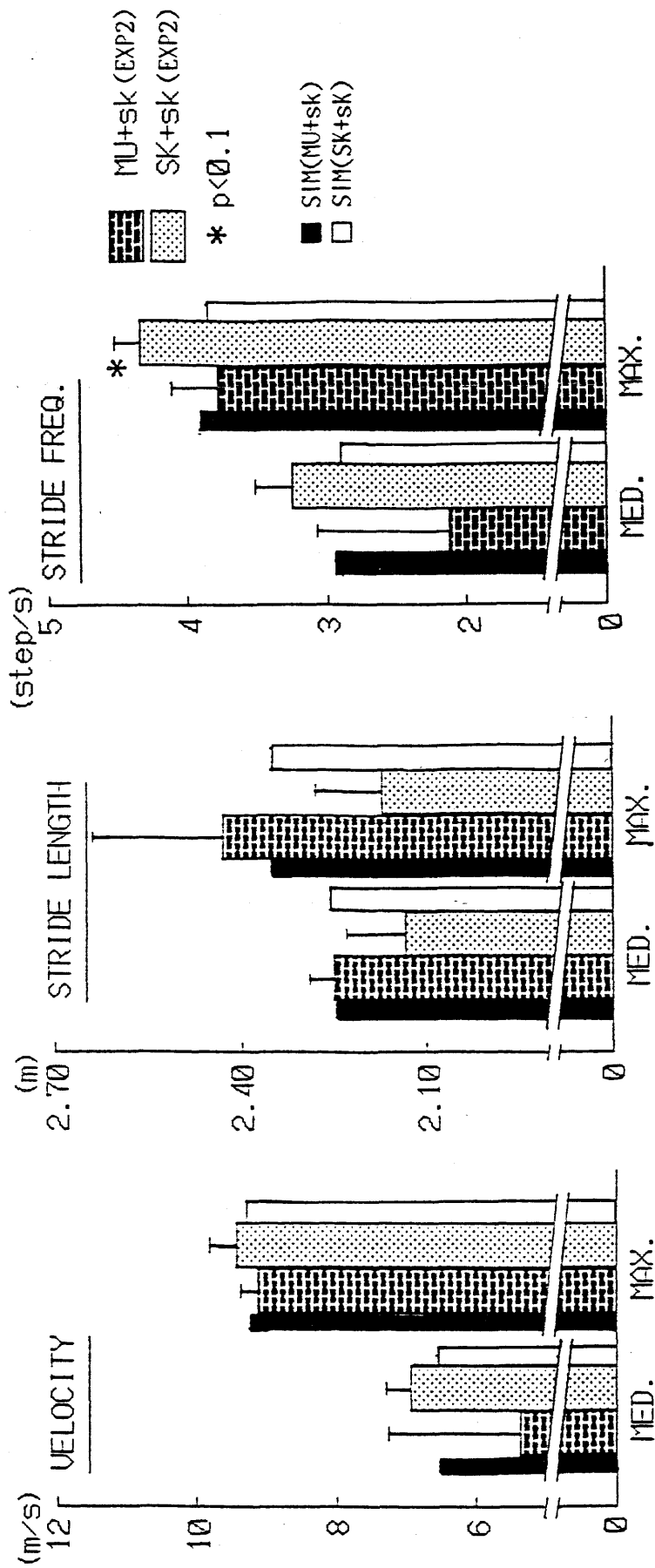


図7-34 (b) 実験2(EXP2)から得た各速度段階におけるMU群(N=4), SK群(N=4)の走速度, ストライド, ピッチ(走フォームsk). ただし, シミュレーションから得た値(SIM)も併記した.

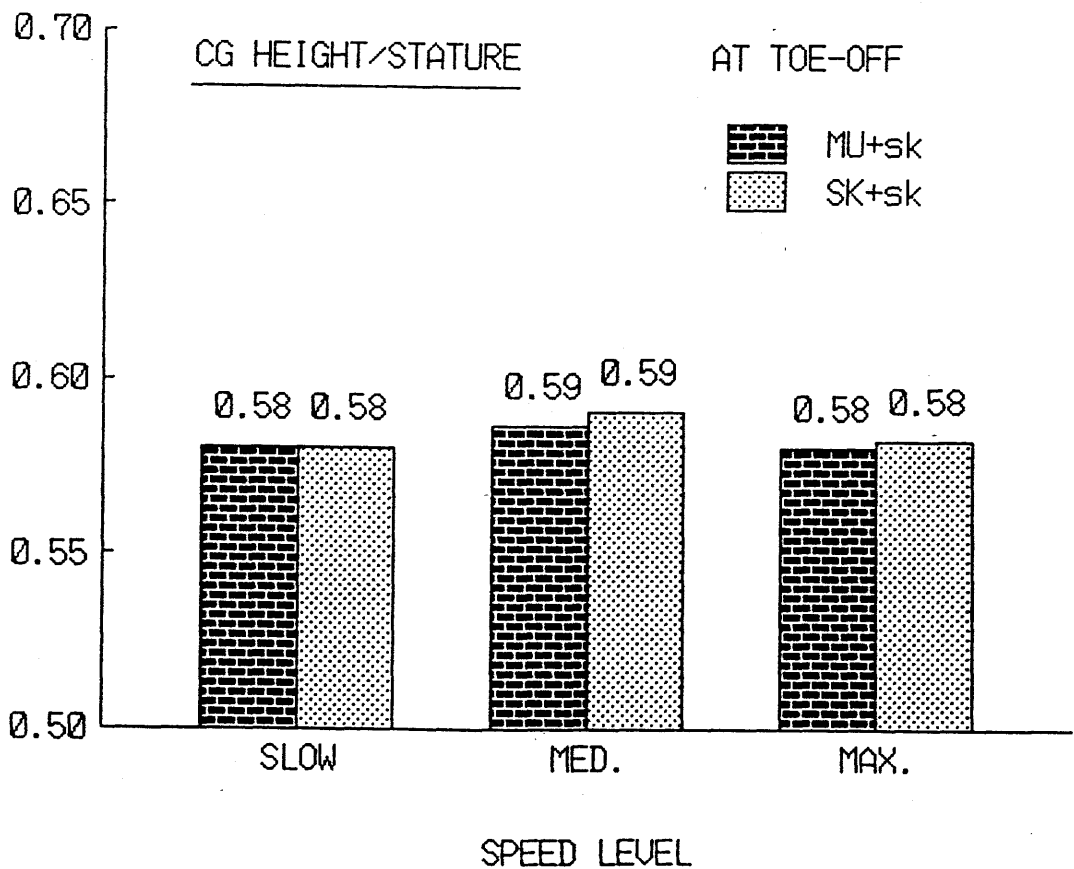
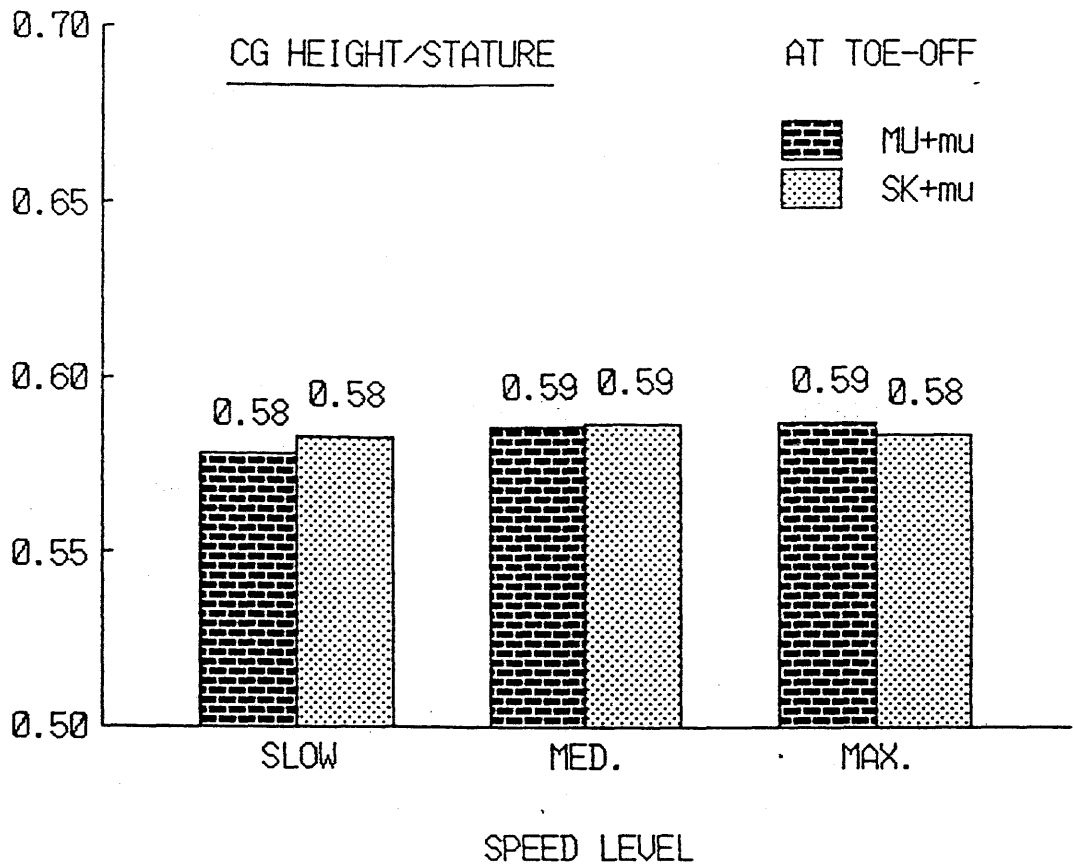


図7-35 シミュレーションから得た走者MU, SKの各速度段階における離地時の身体重心高(身長比)。上図:走フォームmu, 下図:走フォームsk

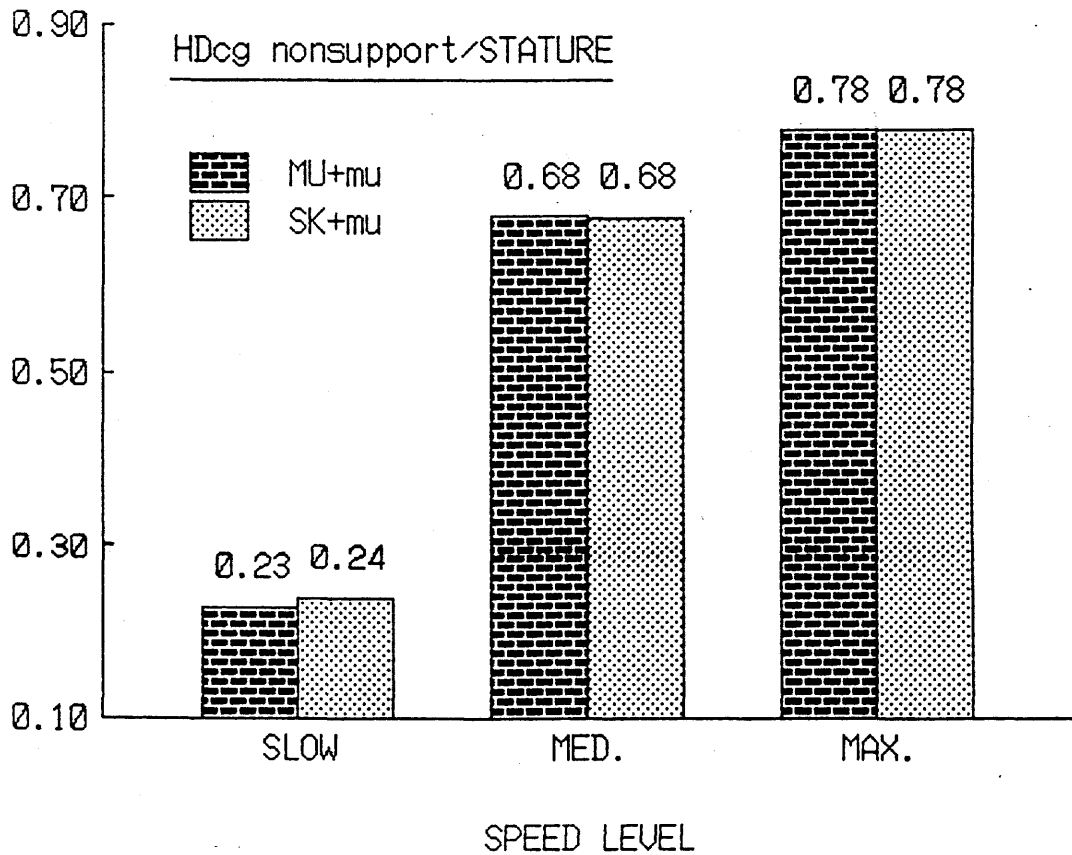
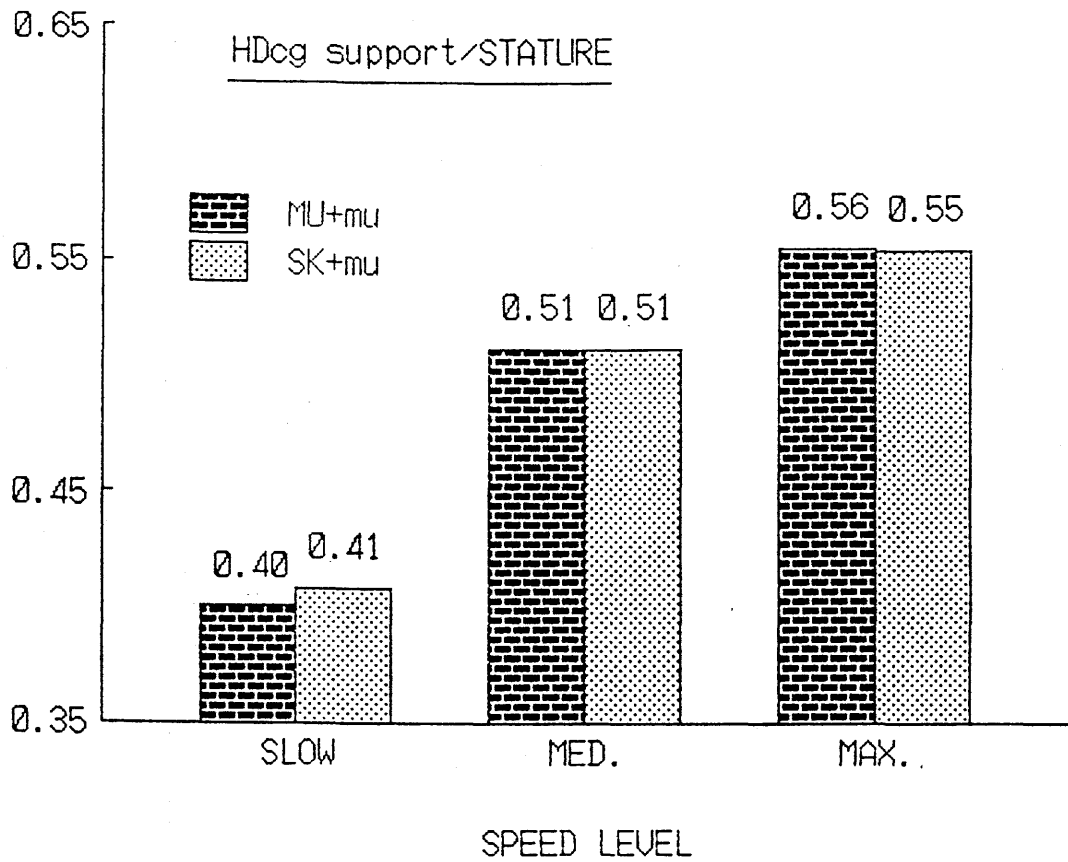


図7-36 シミュレーションから得た走者MU, SKの各速度段階における支持期, 非支持期の身体重心の水平変位(身長比)(走フォームmu)

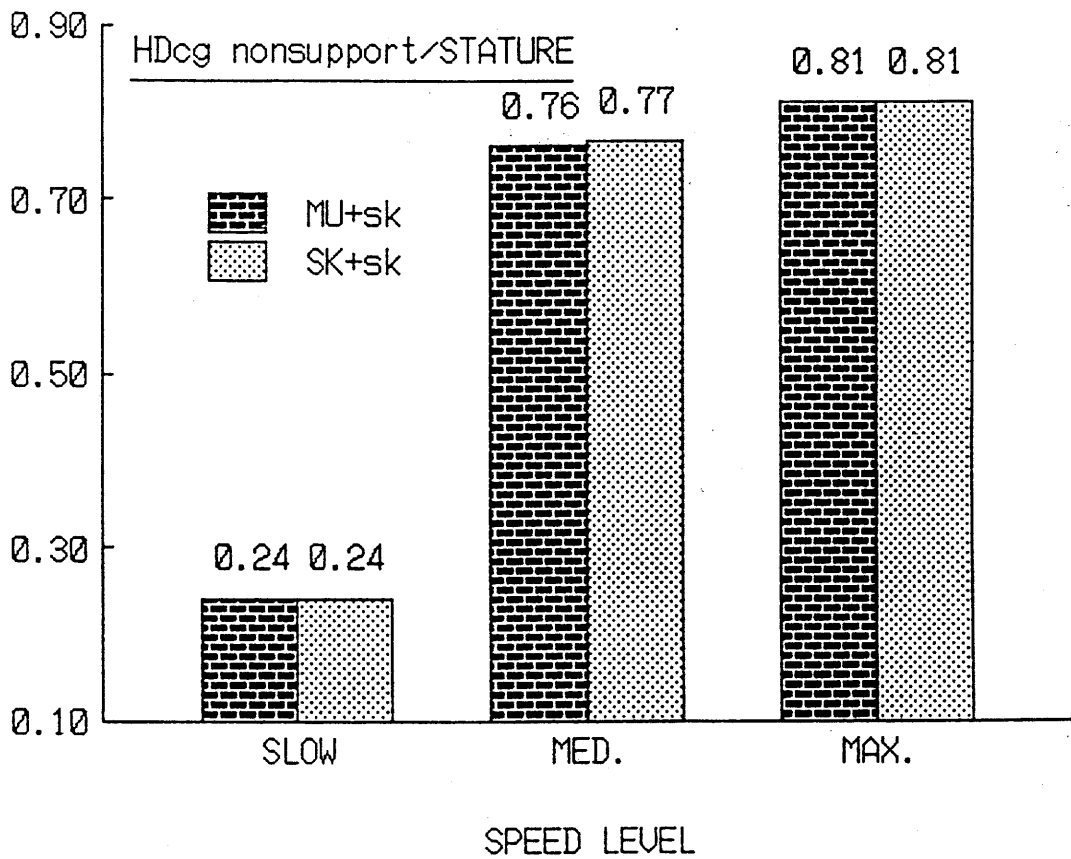
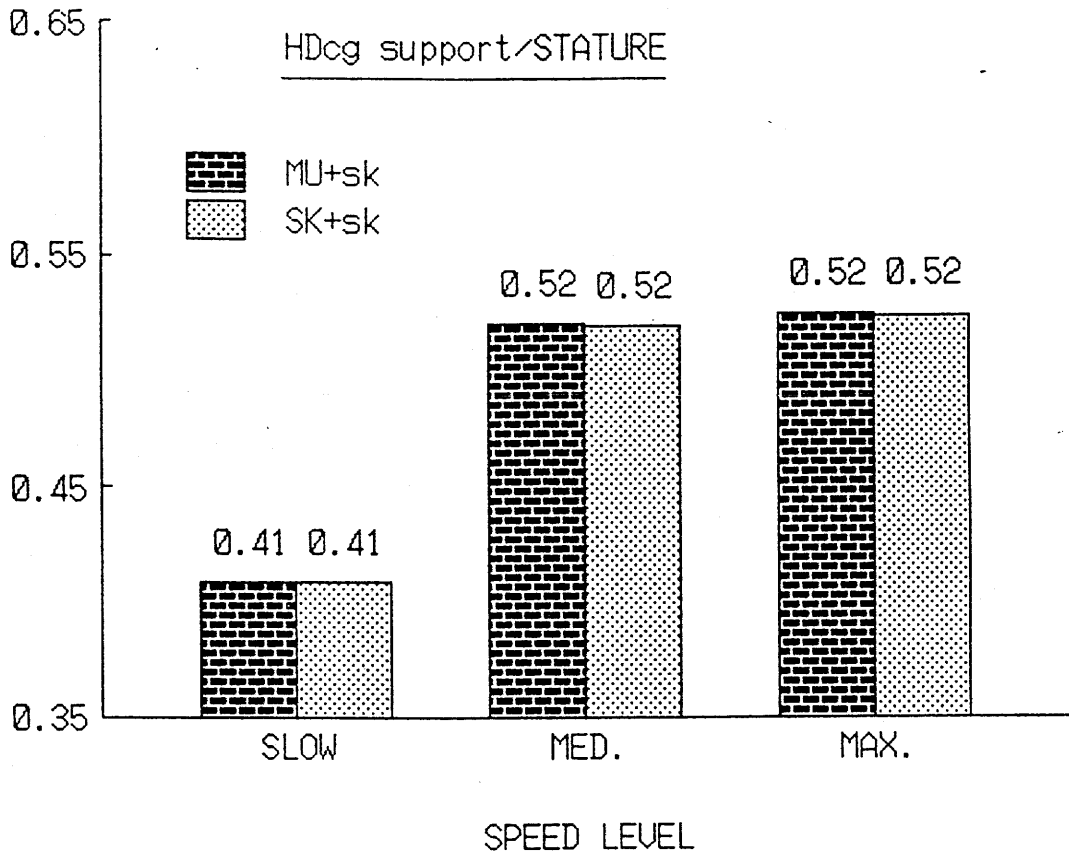


図7-37 シミュレーションから得た走者MU, SKの各速度段階における支持期, 非支持期の身体重心の水平変位(身長比)(走フォームsk)

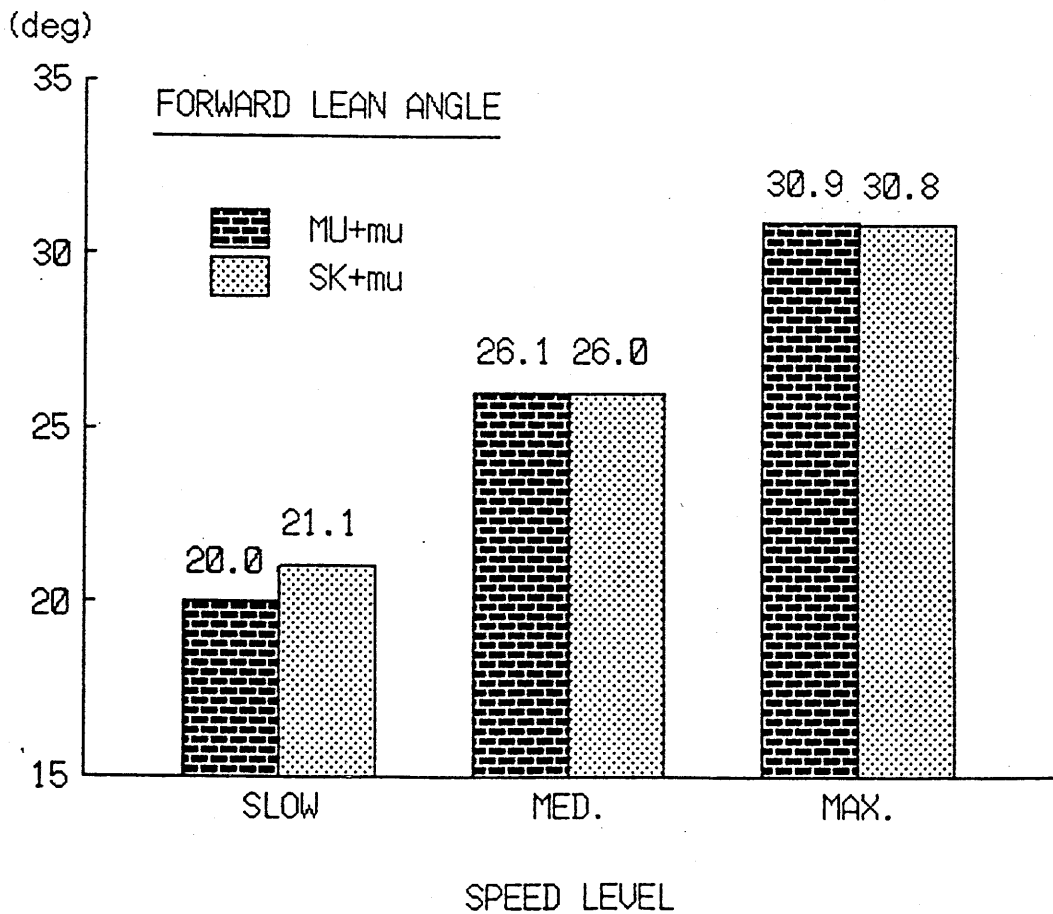
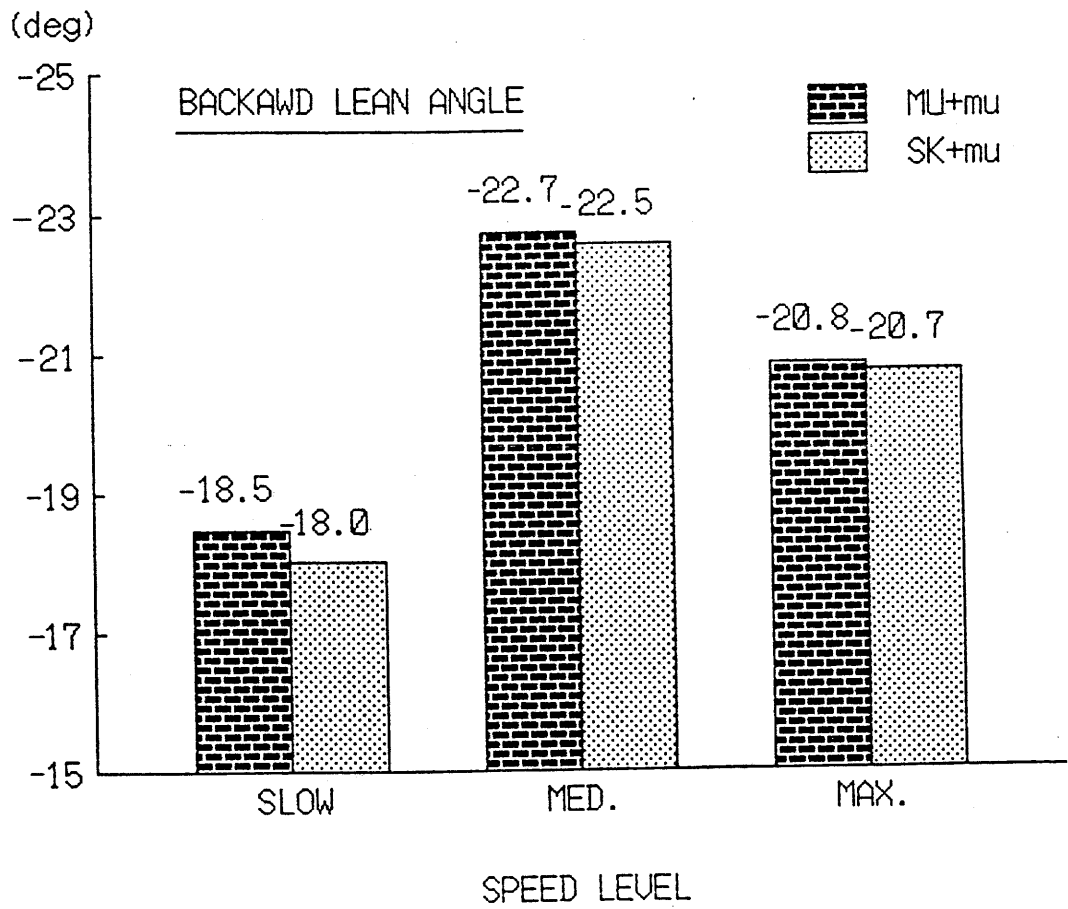


図7-38 シミュレーションから得た走者MU, SKの各速度段階における後傾角, 前傾角 (走フォーム $\mu$ )

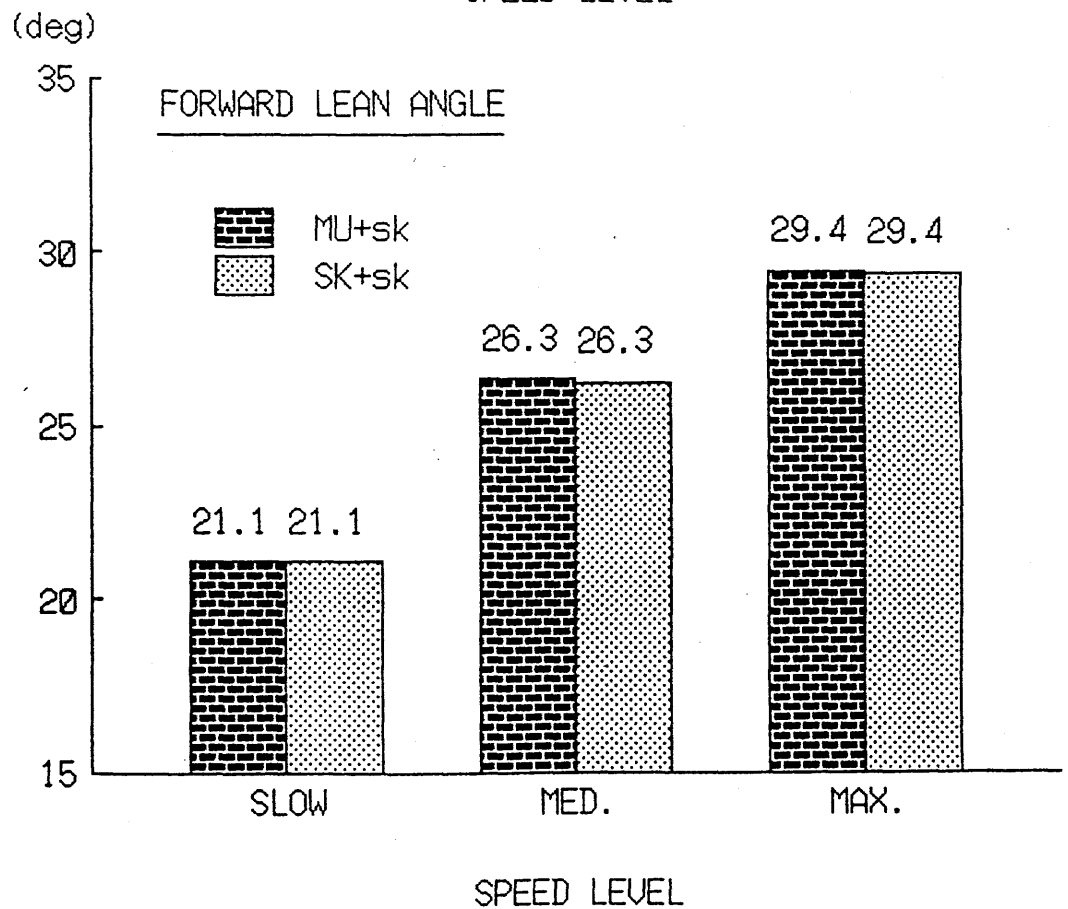
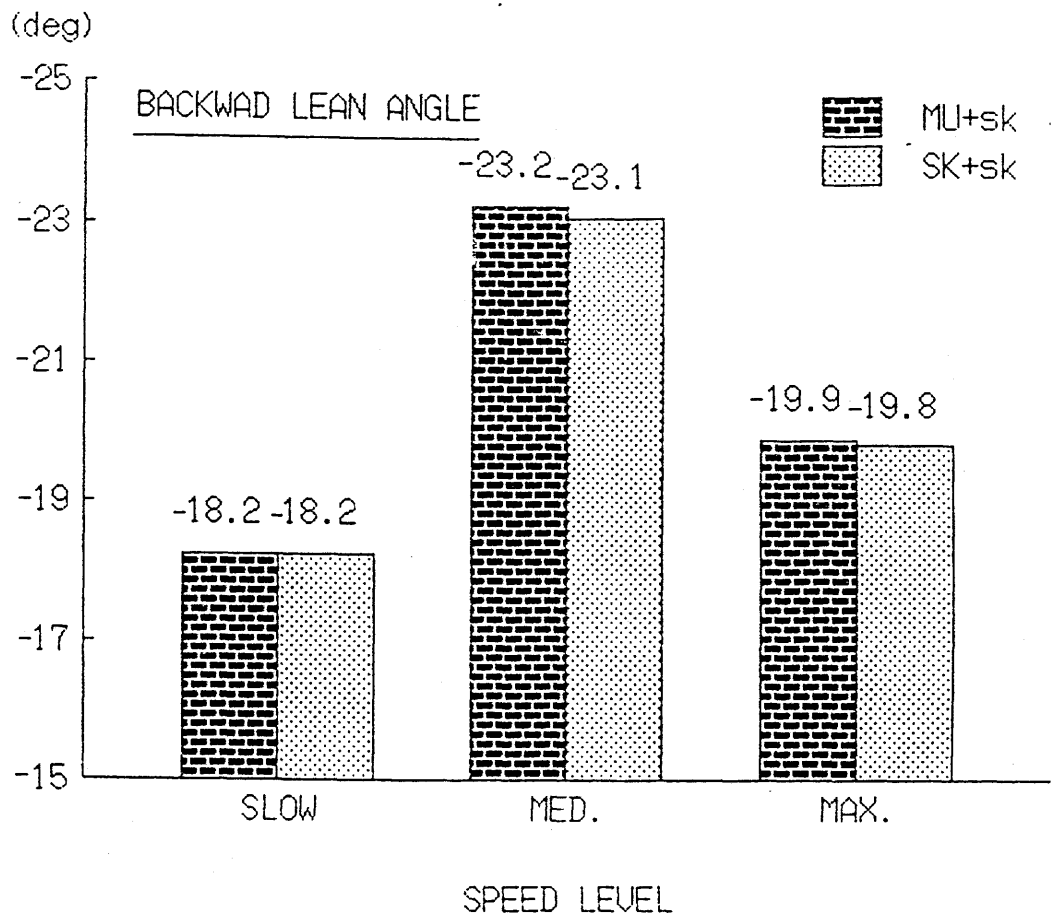


図7-39 シミュレーションから得た走者MU, SKの各速度段階における後傾角, 前傾角 (走フォームsk)



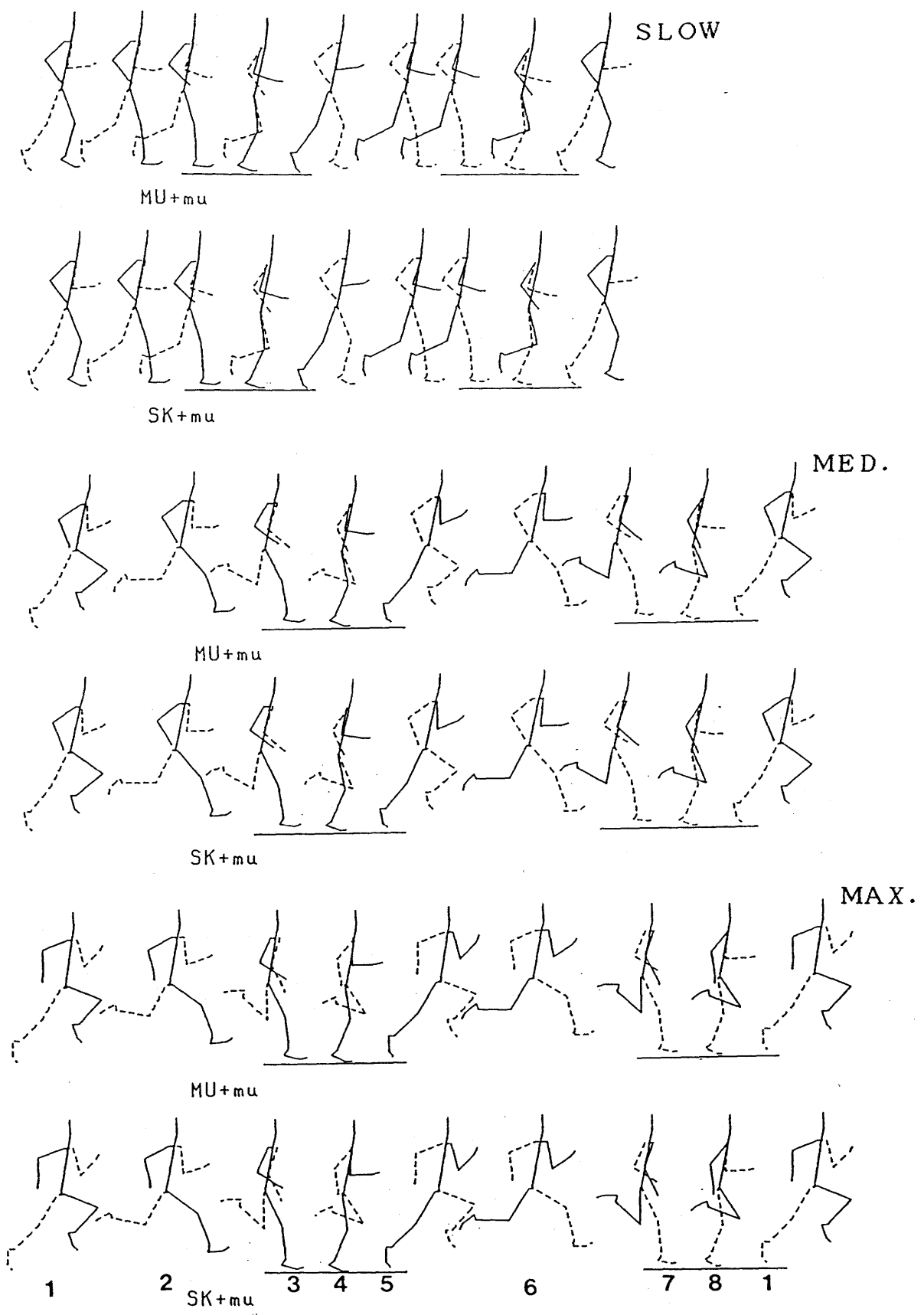


図7-40 シミュレーションから得た走者MU, SKの各速度段階における疾走フォーム(走フォームmu). 1:左足離地, 2:右足振り戻し開始, 3:右足接地, 4:右足支持期中間点, 5:右足離地, 6:右足フォロー終了, 7:左足接地, 8:左足支持期中間点.

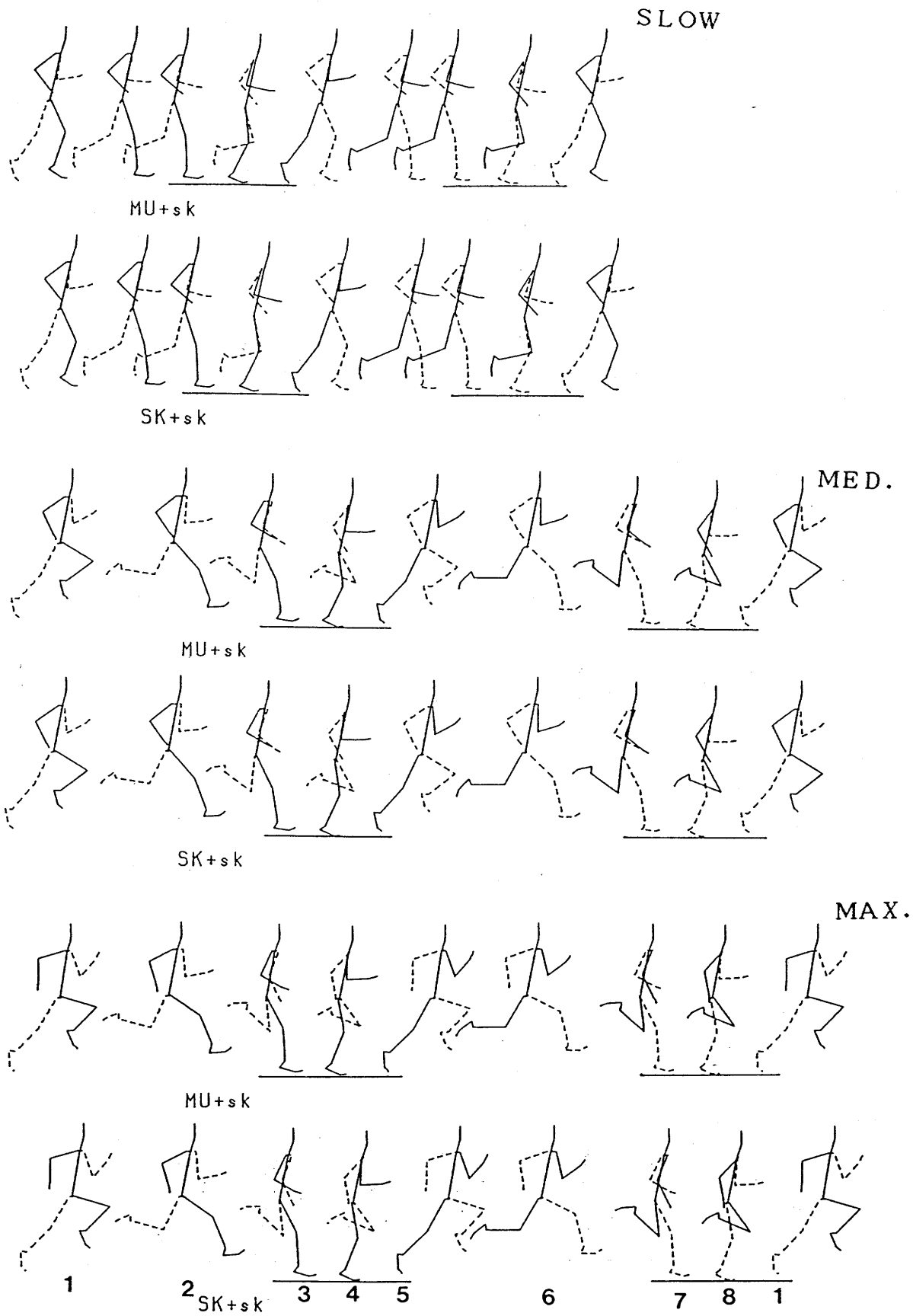


図7-41 シミュレーションから得た走者MU, SKの各速度段階における疾走フォーム(走フォームsk). 1:左足離地, 2:右足振り戻し開始, 3:右足接地, 4:右足支持期中間点, 5:右足離地, 6:右足フォロースルー終了, 7:左足接地, 8:左足支持期中間点.

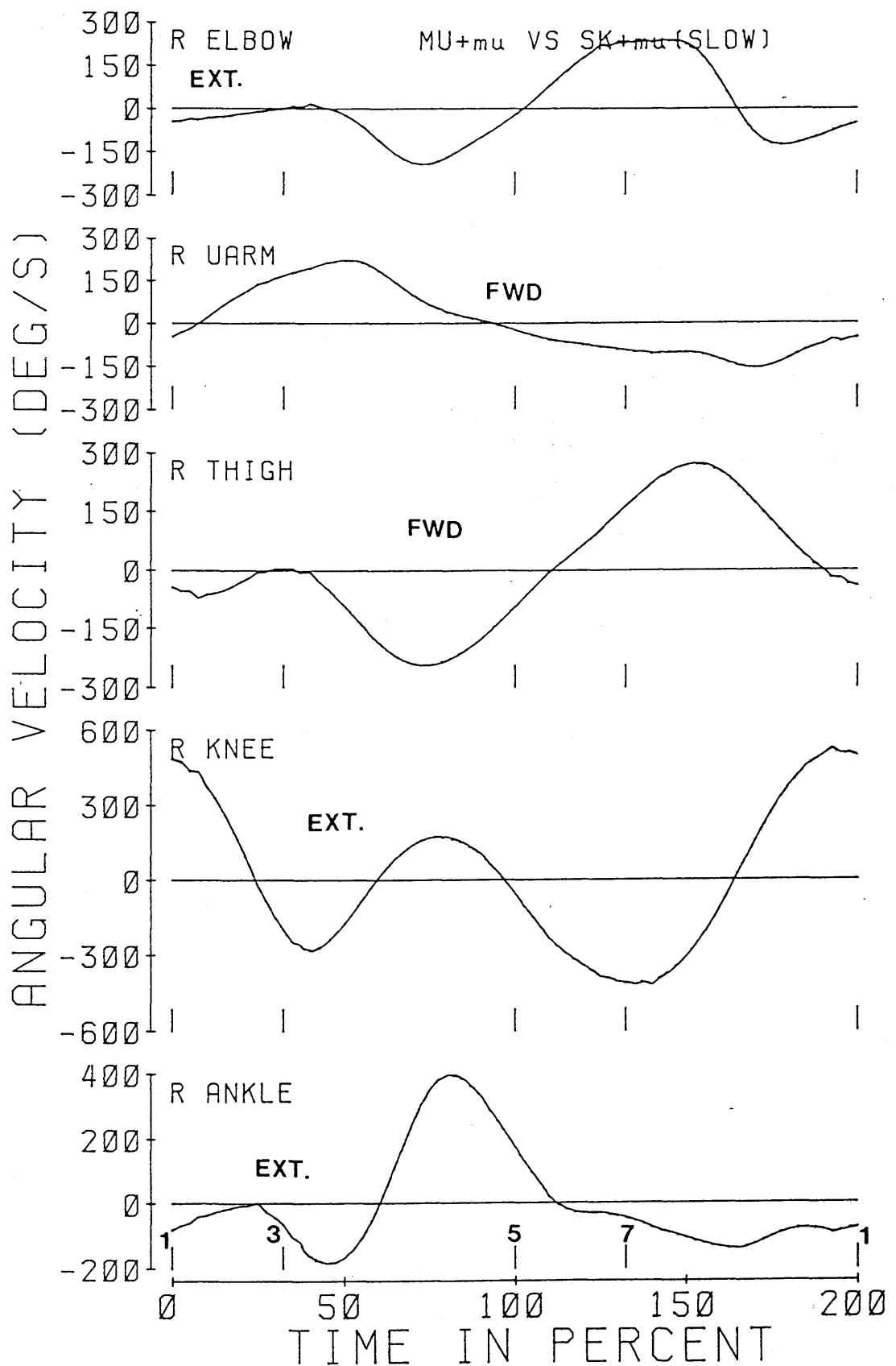


図7-42 シミュレーションから得た走者MU (実線), SK (破線) の低速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (走フォームmu). 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

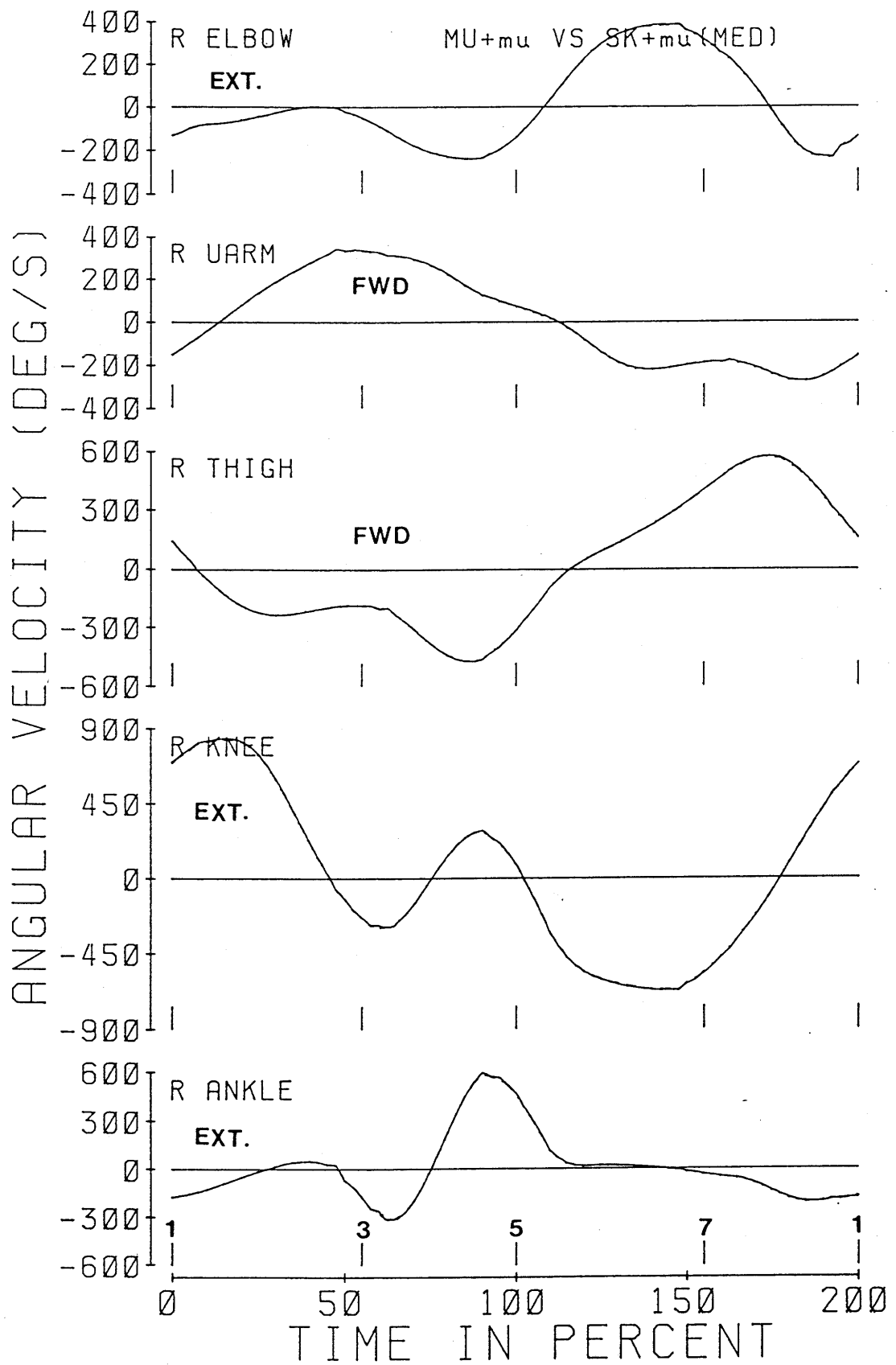


図7-43 シミュレーションから得た走者MU (実線), SK (破線) の中速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (走フォームmu). 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

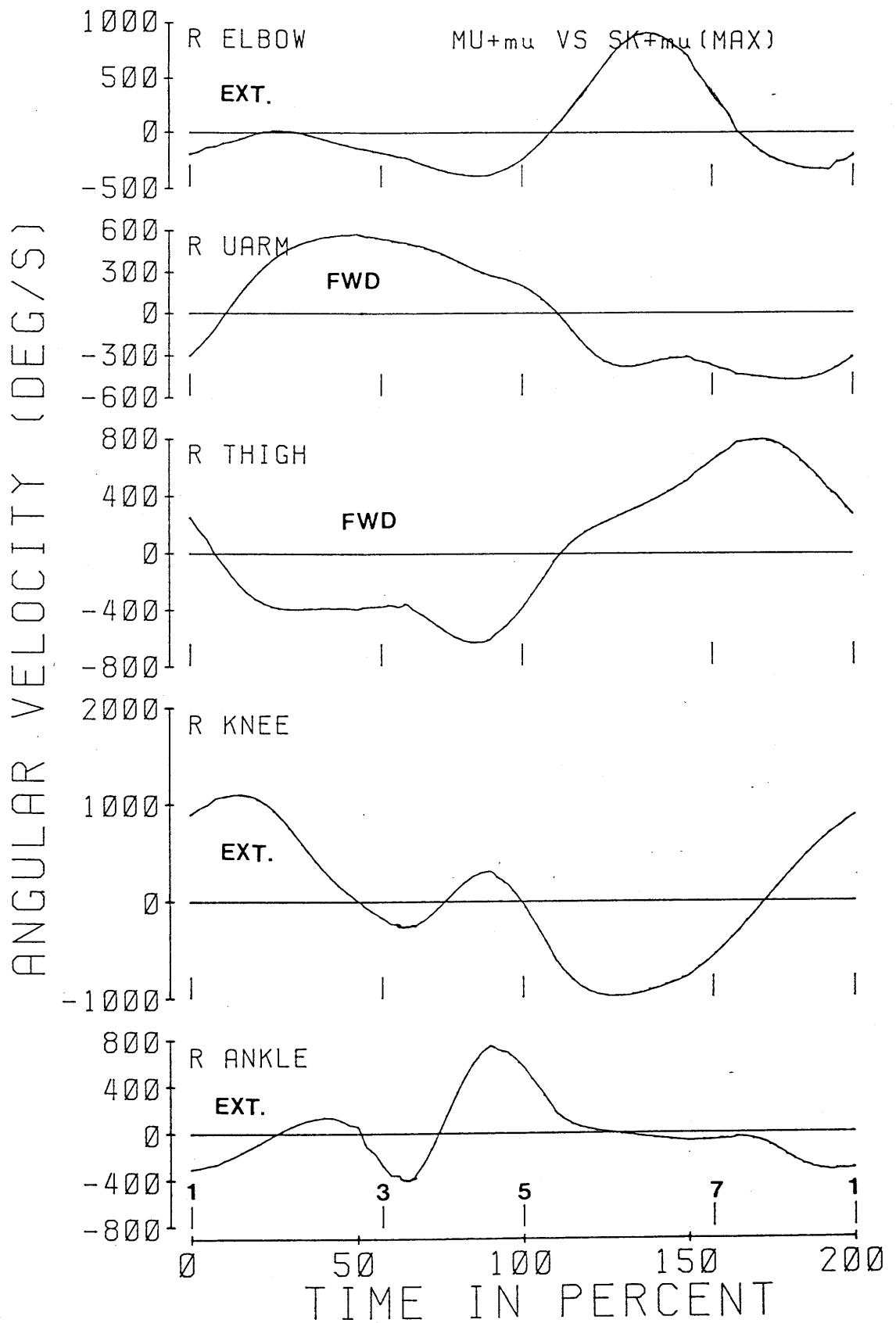


図7-44 シミュレーションから得た走者MU (実線), SK (破線) の全速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (走フォームmu). 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

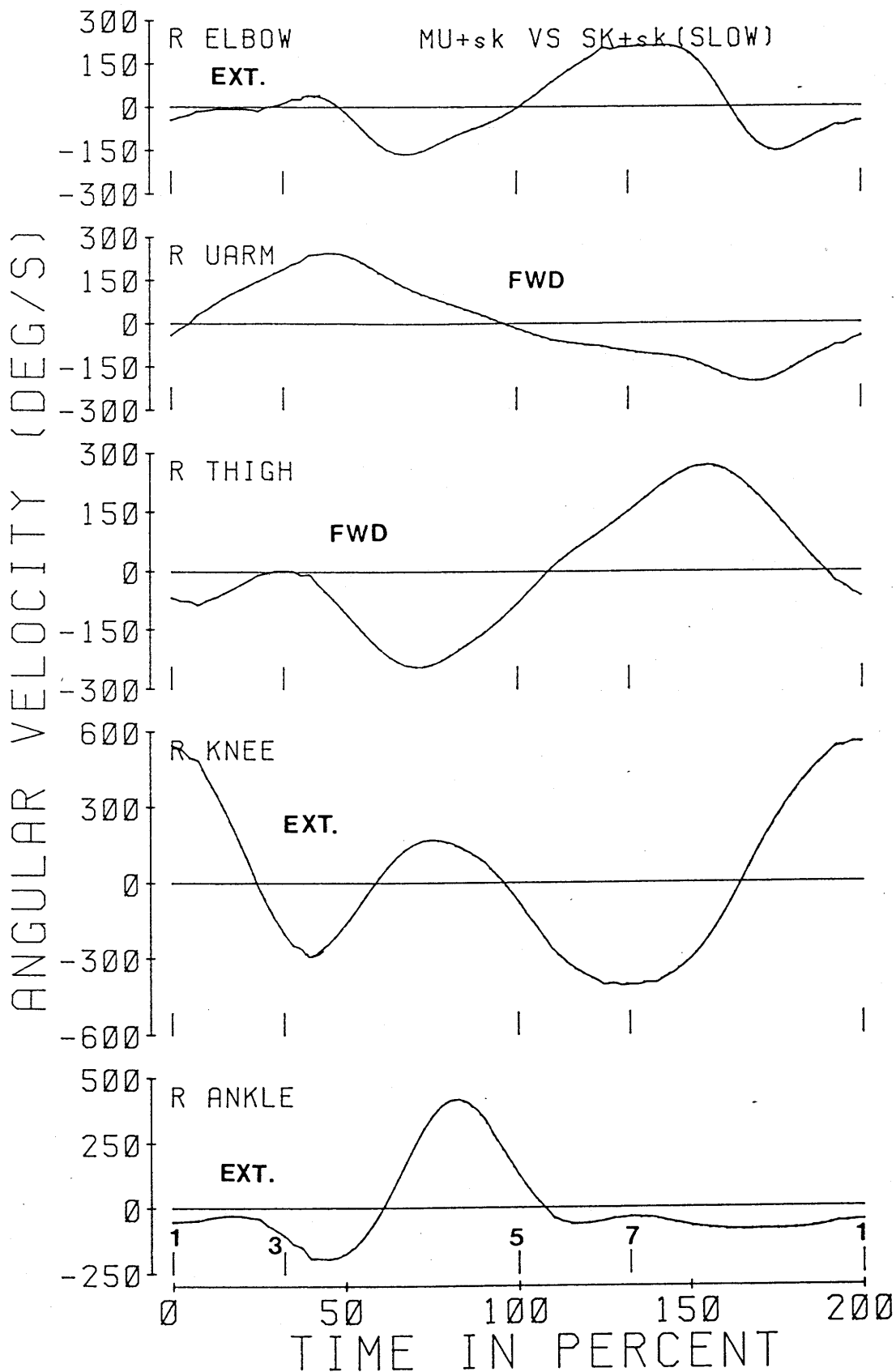


図7-45 シミュレーションから得た走者MU (実線), SK (破線) の低速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (走フォームsk). 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

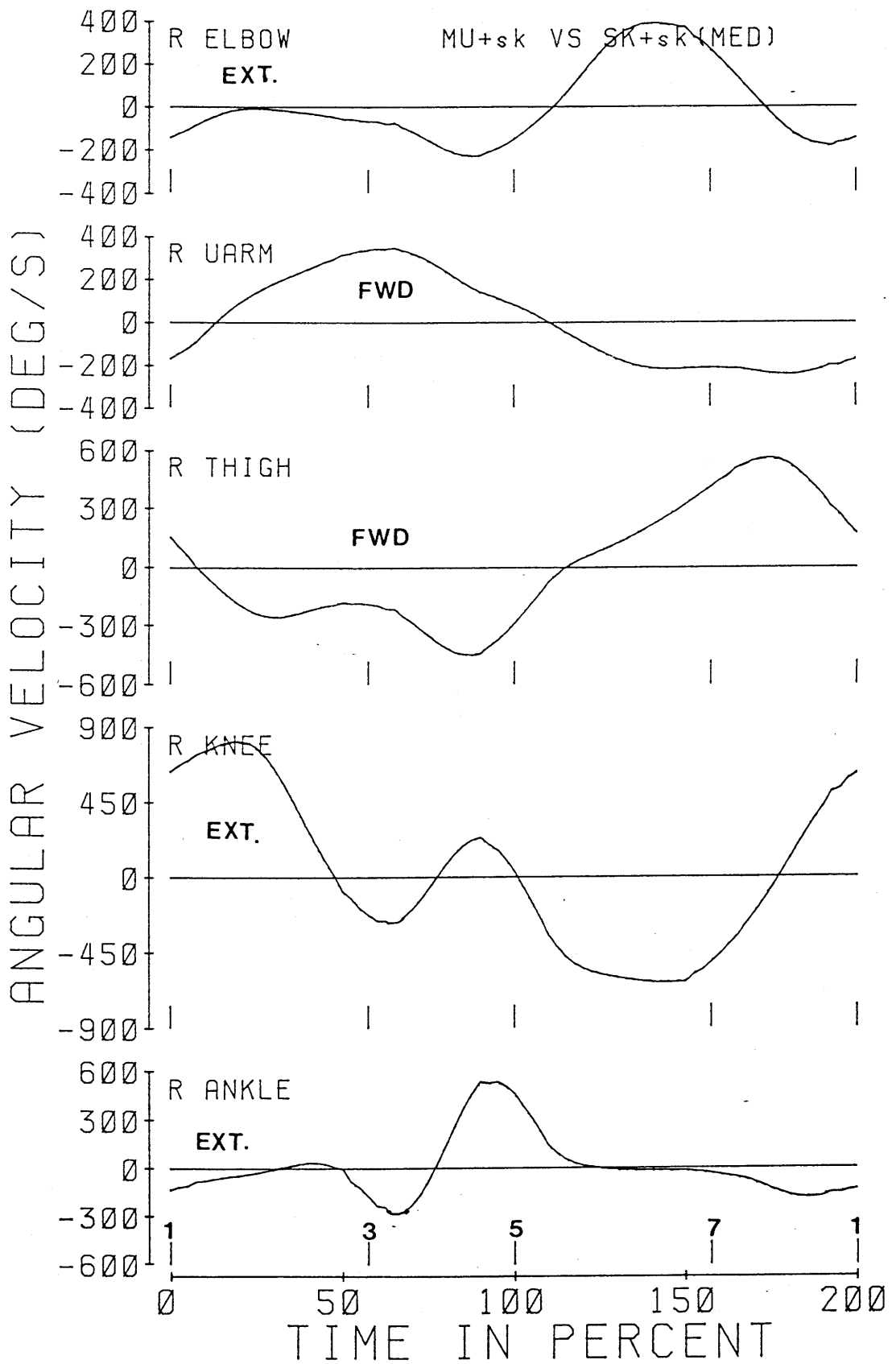


図7-46 シミュレーションから得た走者MU (実線), SK (破線) の中速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (走フォームsk). 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

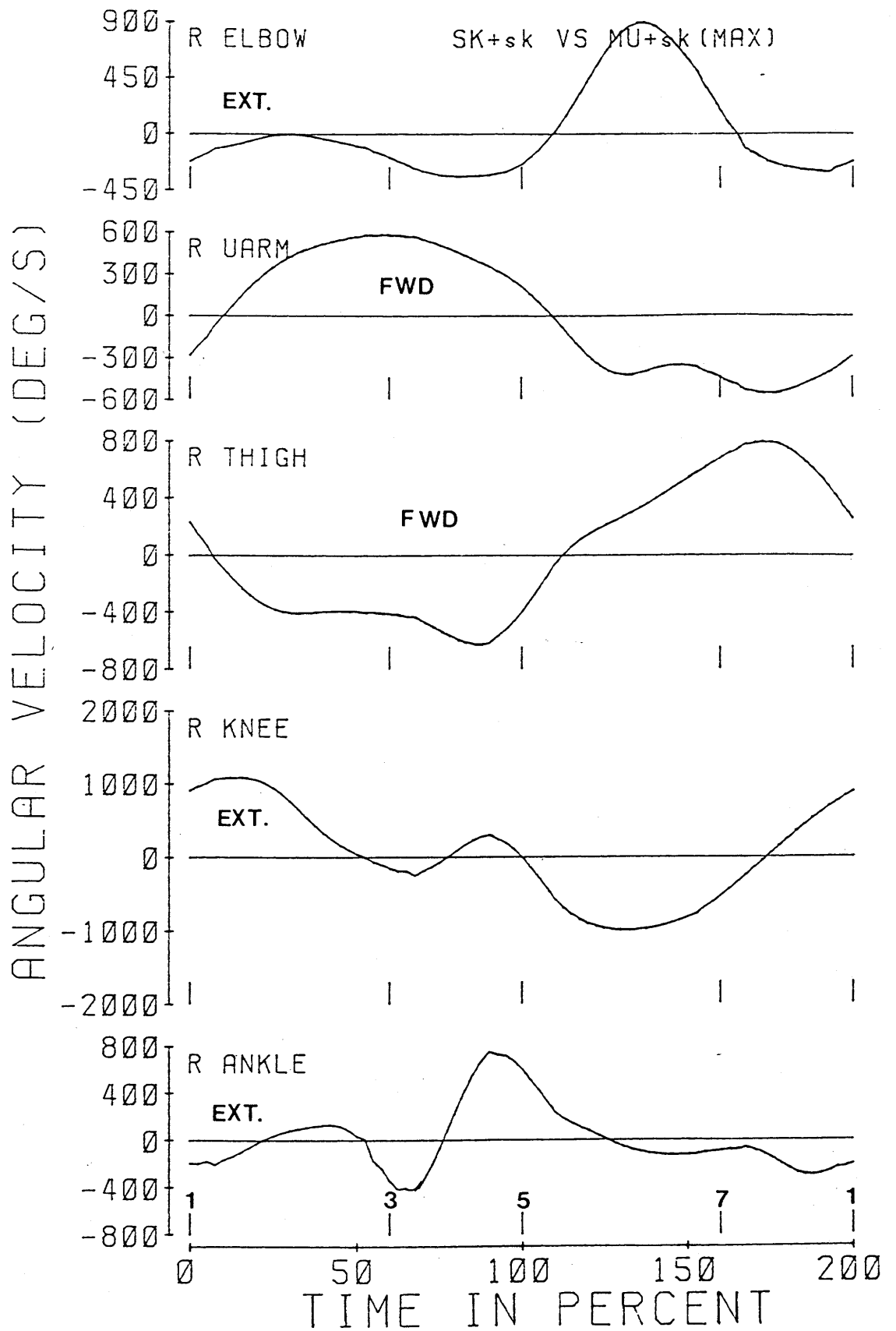
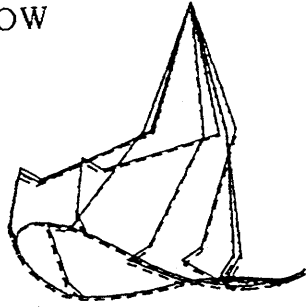


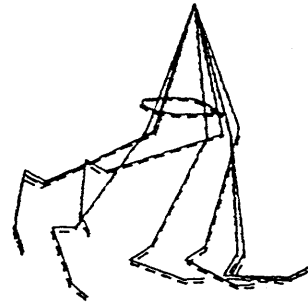
図7-47 シミュレーションから得た走者MU (実線), SK (破線) の全速走における右腕の上腕, 肘, 右脚の大腿, 膝関節, 足関節の角速度の変化 (走フォームsk). 1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.



SLOW

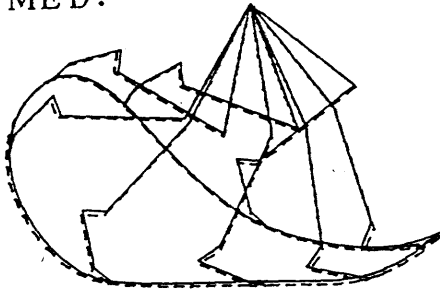


A

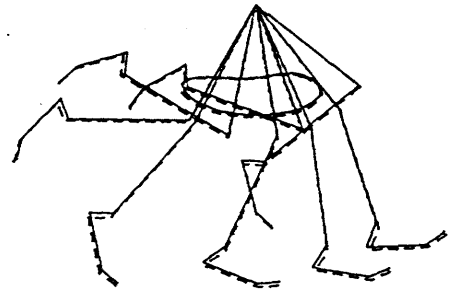


B

MED.

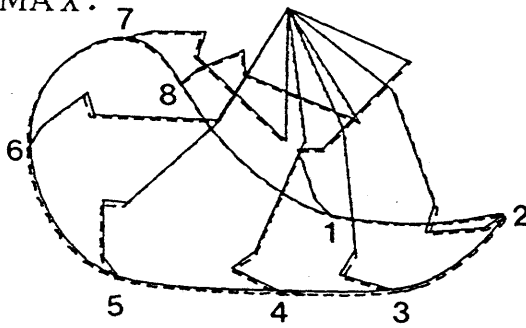


A

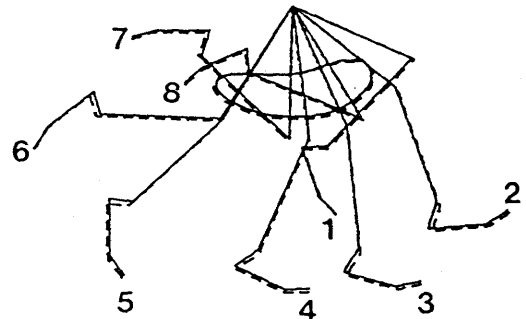


B

MAX.



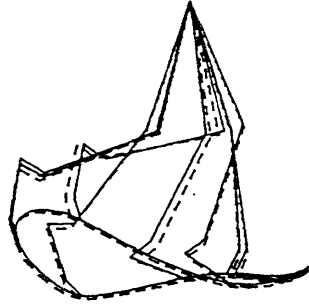
A



B

図7-48 シミュレーションから得た走者MU（実線），SK（破線）の各速度段階における疾走中の右脚の動き（走フォーム $\mu$ ）  
ただし，A図には足先の軌跡を，B図には脚重心の軌跡を併記．

SLOW

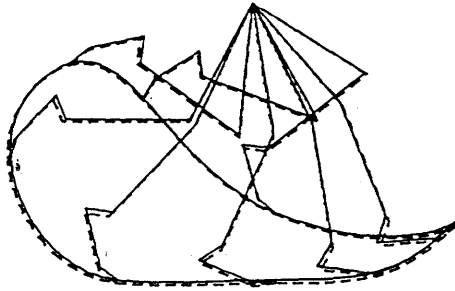


A

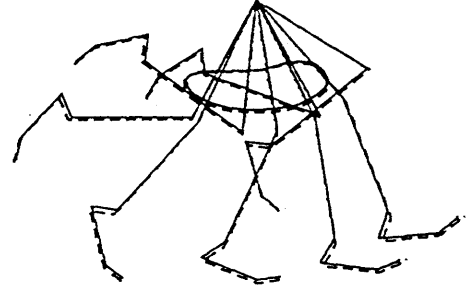


B

MED.

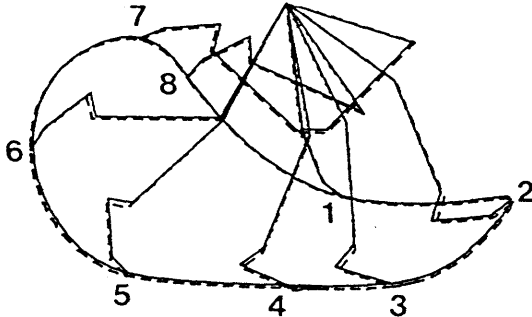


A

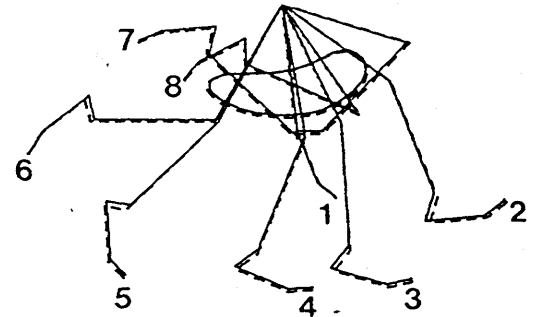


B

MAX.

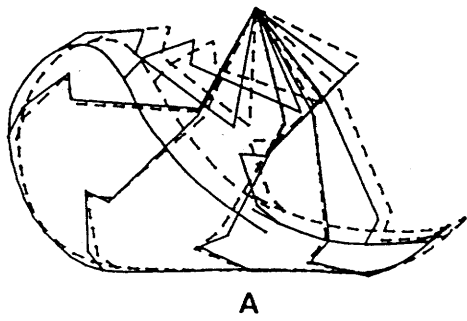


A

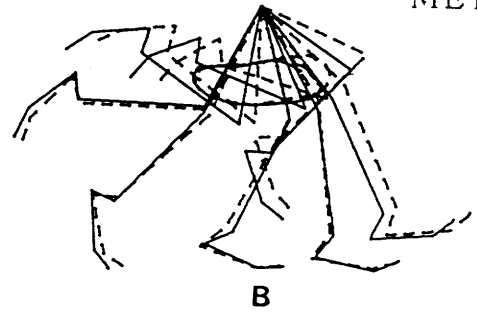


B

図7-49 シミュレーションから得た走者MU（実線），SK（破線）の各速度段階における疾走中の右脚の動き（走フォームsk）  
ただし、A図には足先の軌跡を、B図には脚重心の軌跡を併記。

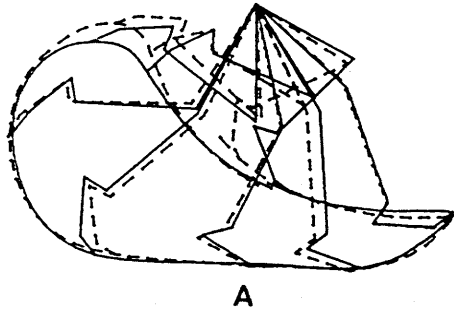


A

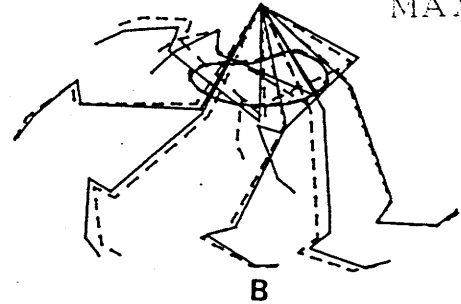


B

MED.



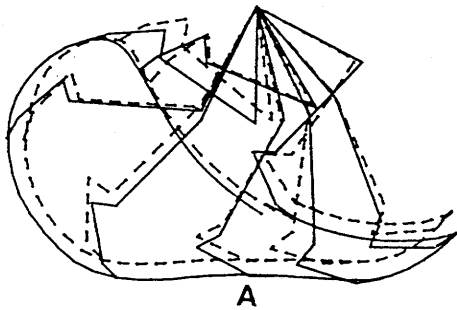
A



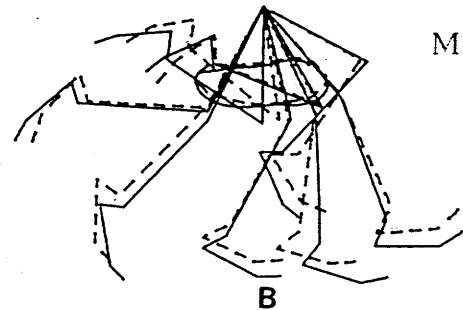
B

MAX.

(a) 走フォーム  $\mu$

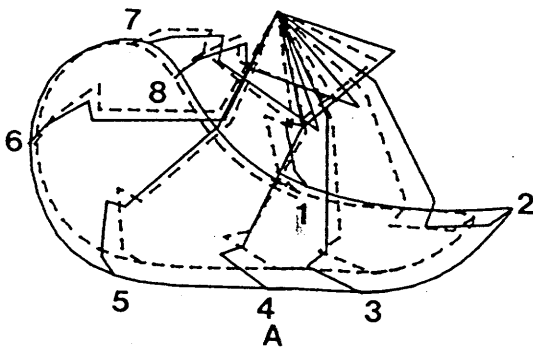


A

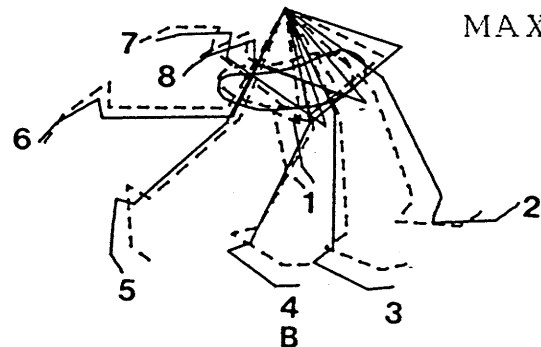


B

MED.



A



B

MAX.

(b) 走フォーム  $sk$

図7-50 実験2から得たMU群(実線), SK群(破線)の各速度段階における疾走中の右脚の動き  
ただし, A図には足先の軌跡を, B図には脚重心の軌跡を併記.

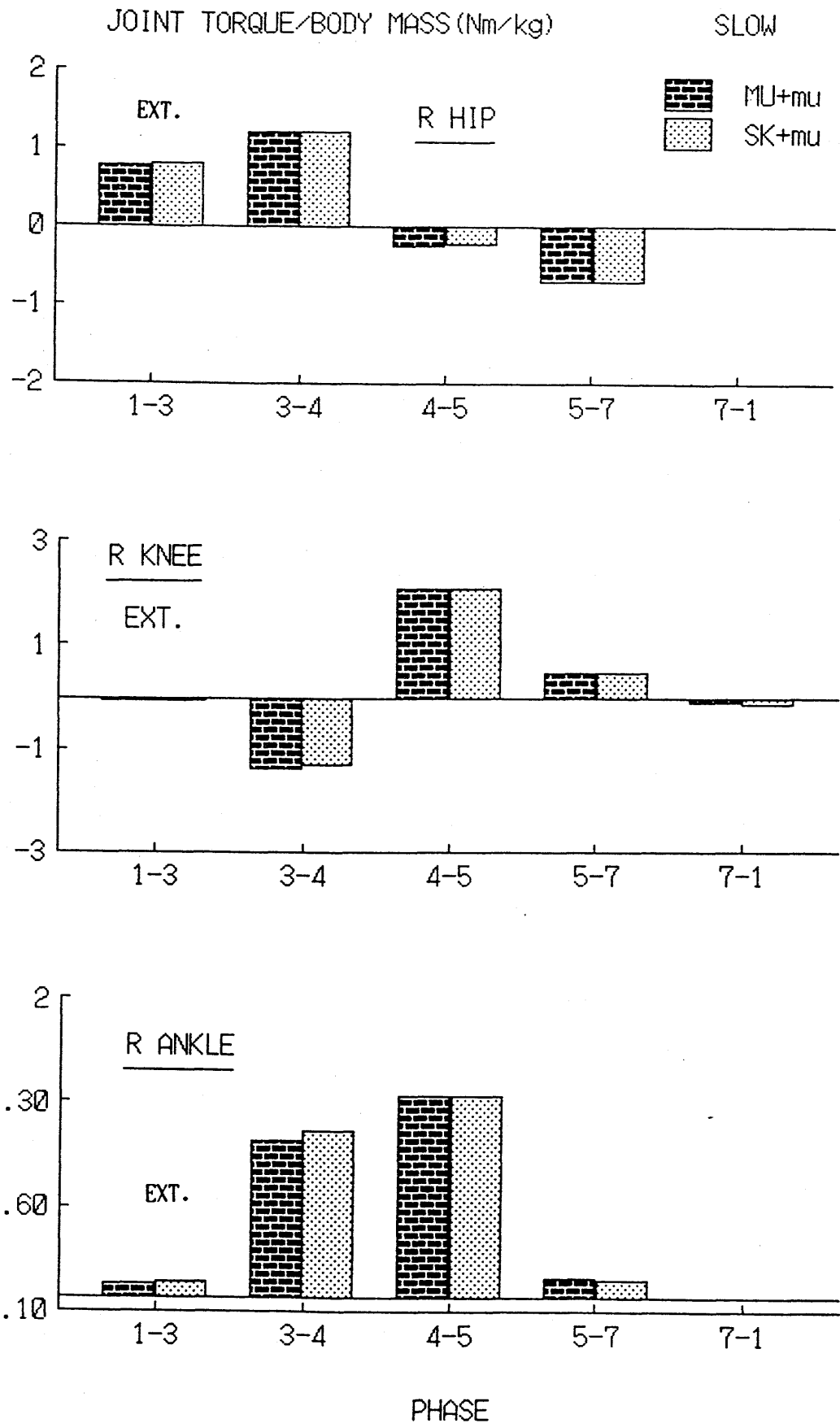


図7-51 シミュレーションから得た走者MU, SKの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (低速走, 走フォームmu)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

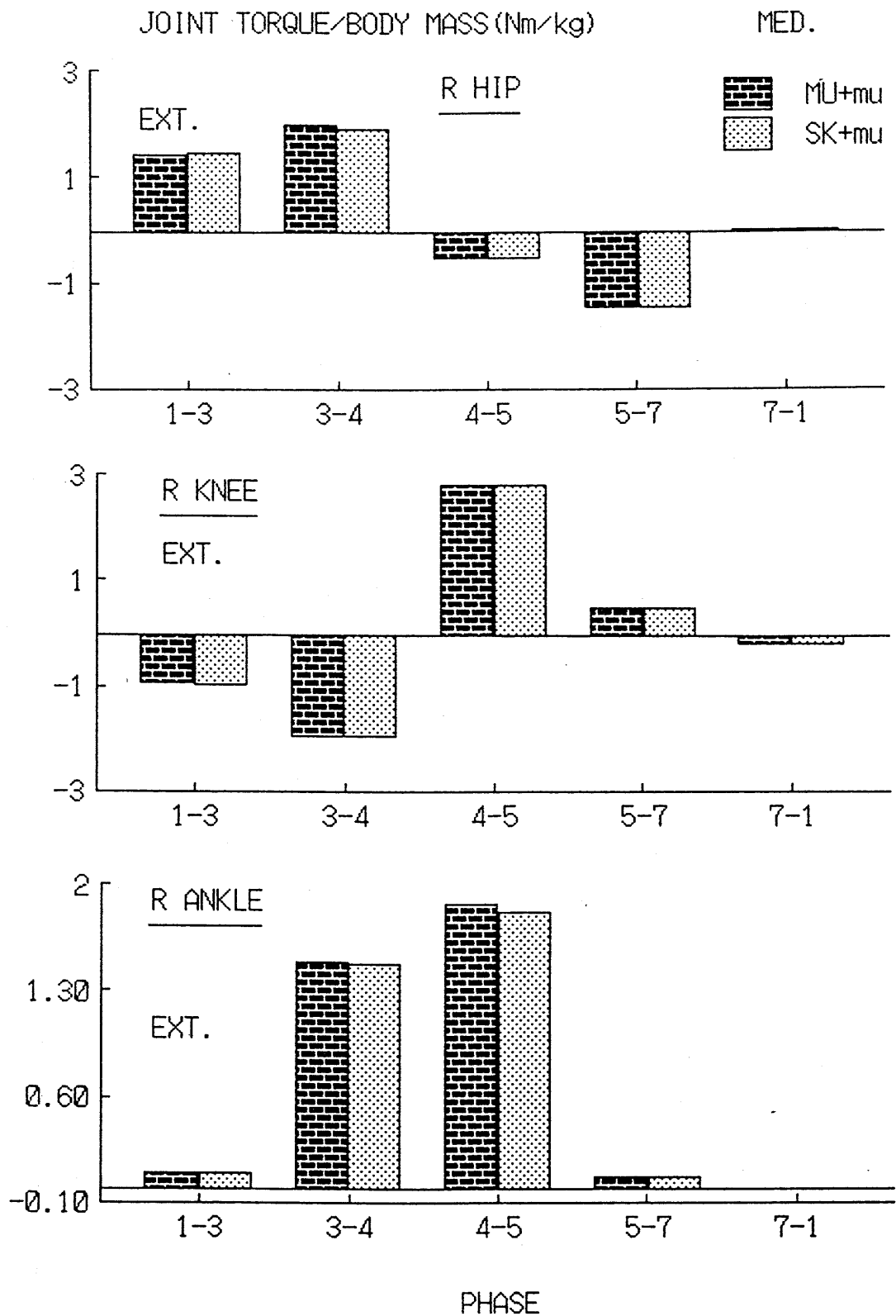


図7-52 シミュレーションから得た走者MU, SKの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (中速走, 走フォームmu)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

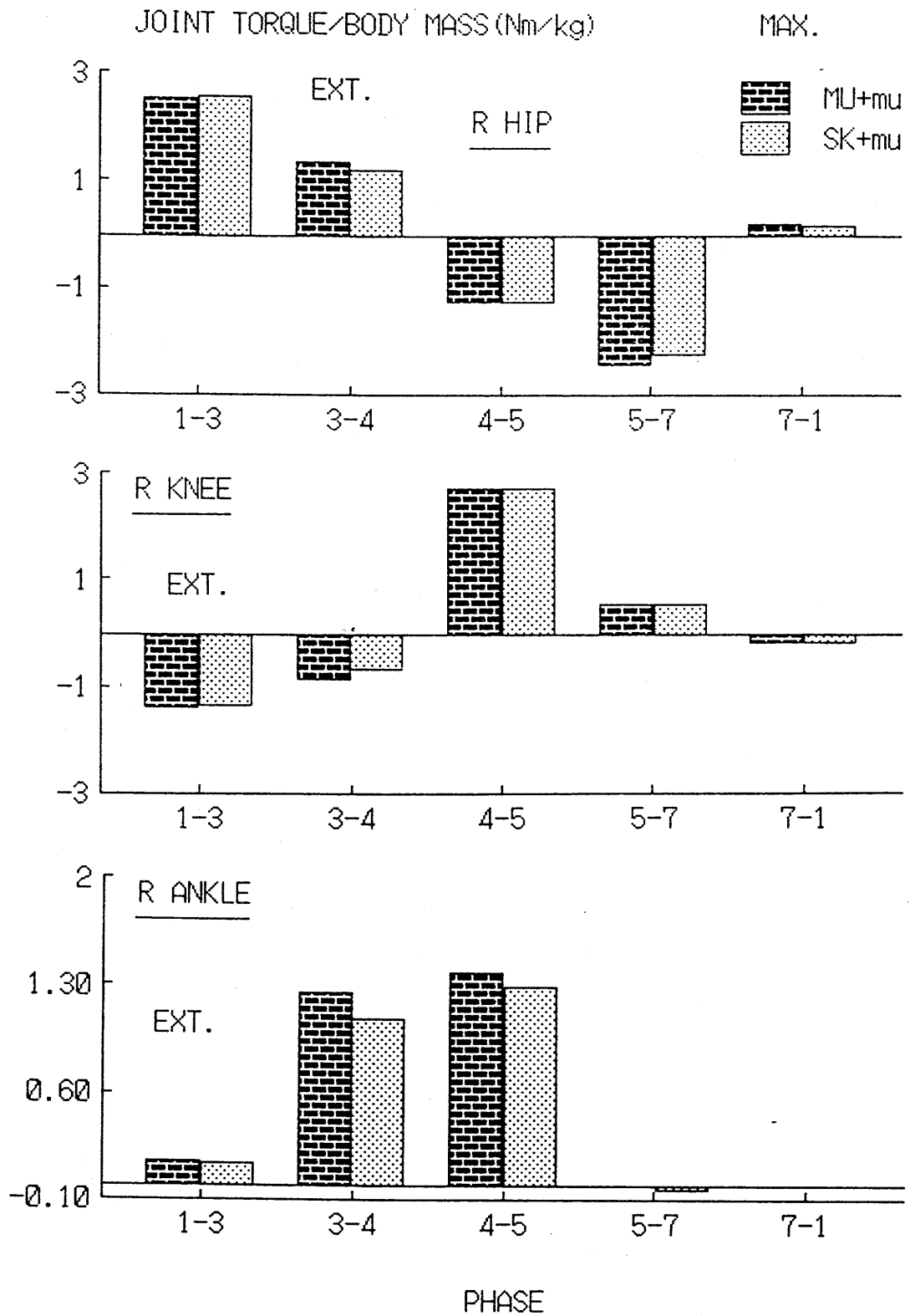


図7-53 シミュレーションから得た走者MU, SKの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (全速走, 走フォームmu)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

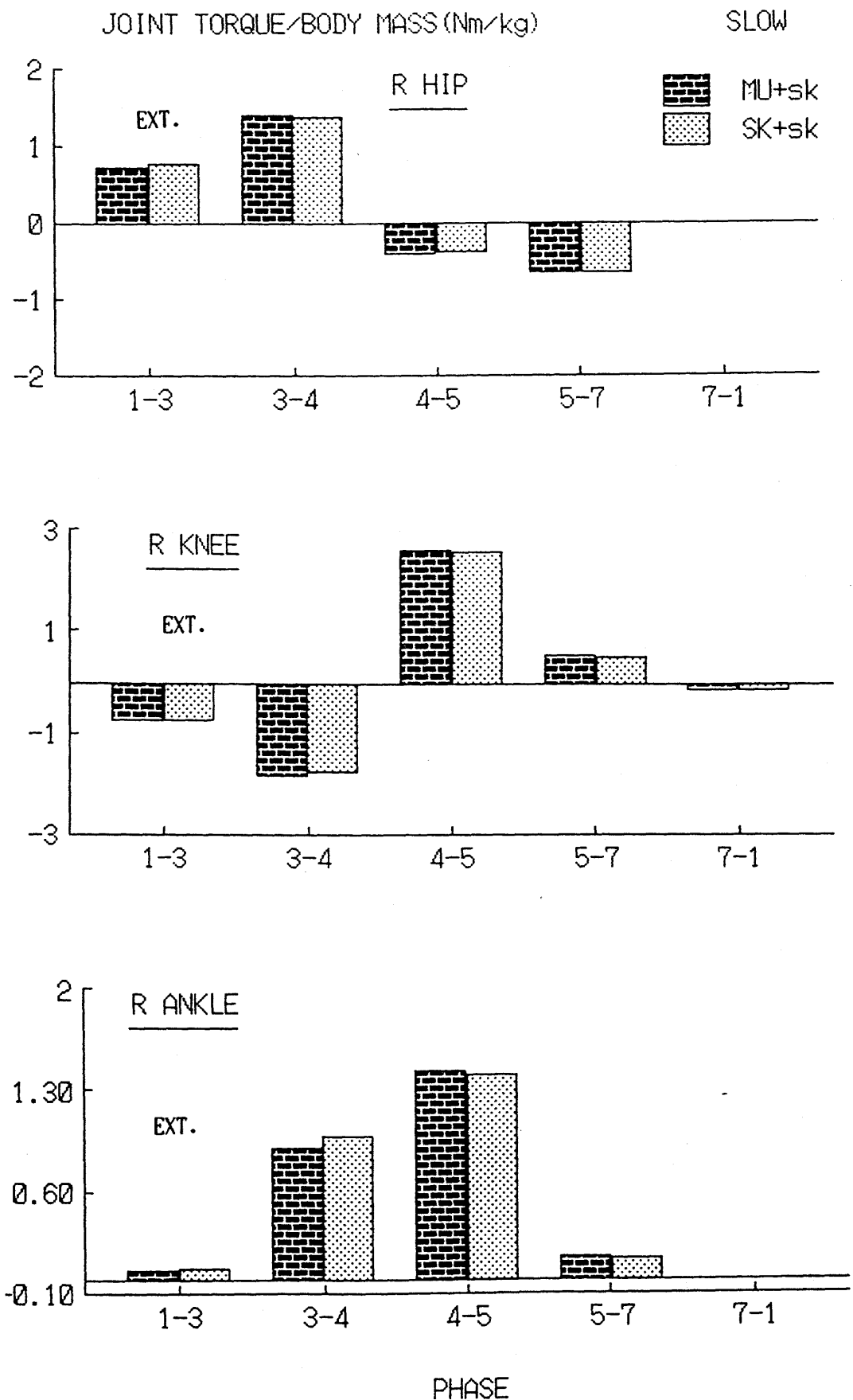


図7-54 シミュレーションから得た走者MU, SKの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (低速走, 走フォームsk)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

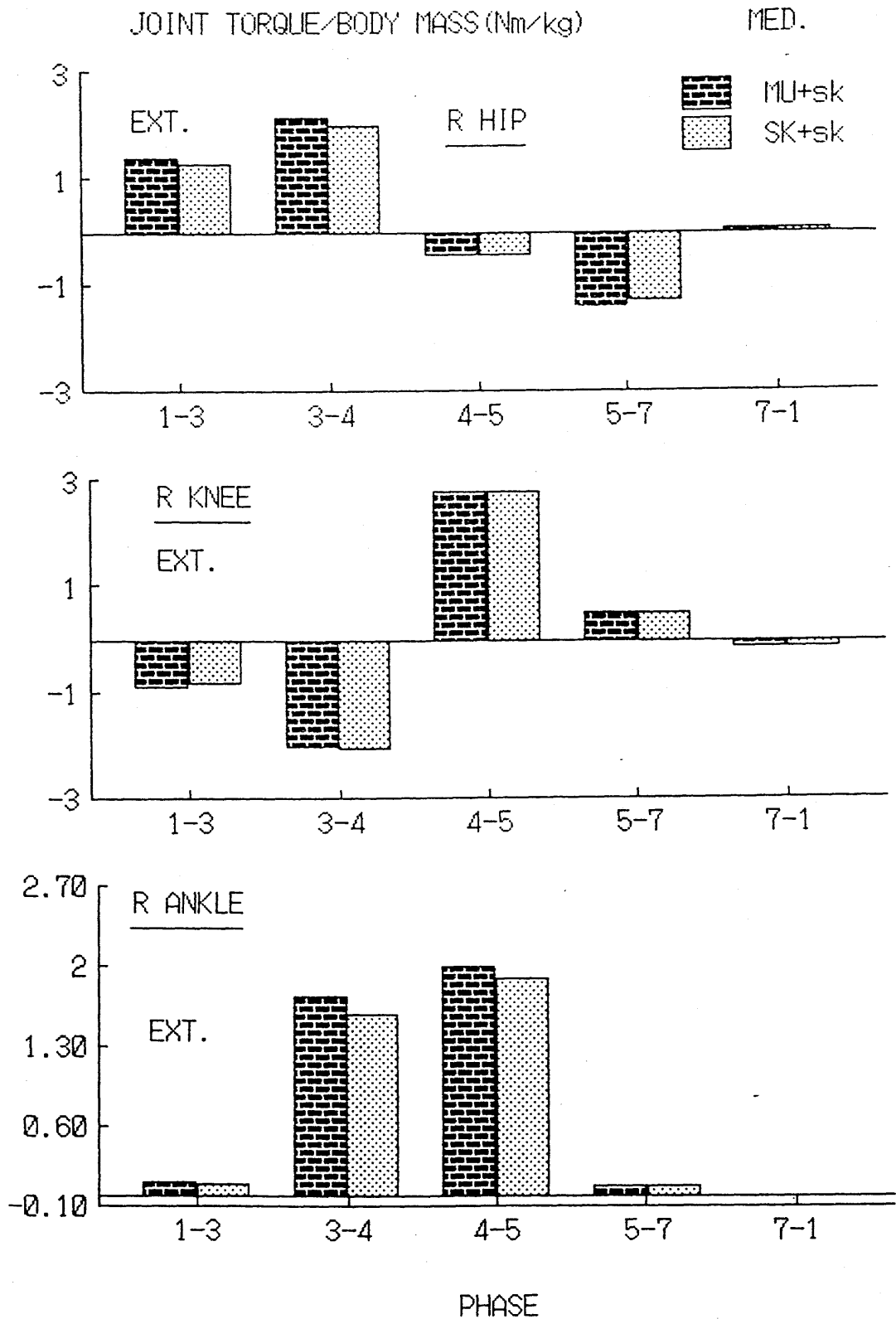


図7-55 シミュレーションから得た走者MU, SKの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (中速走, 走フォームsk)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.



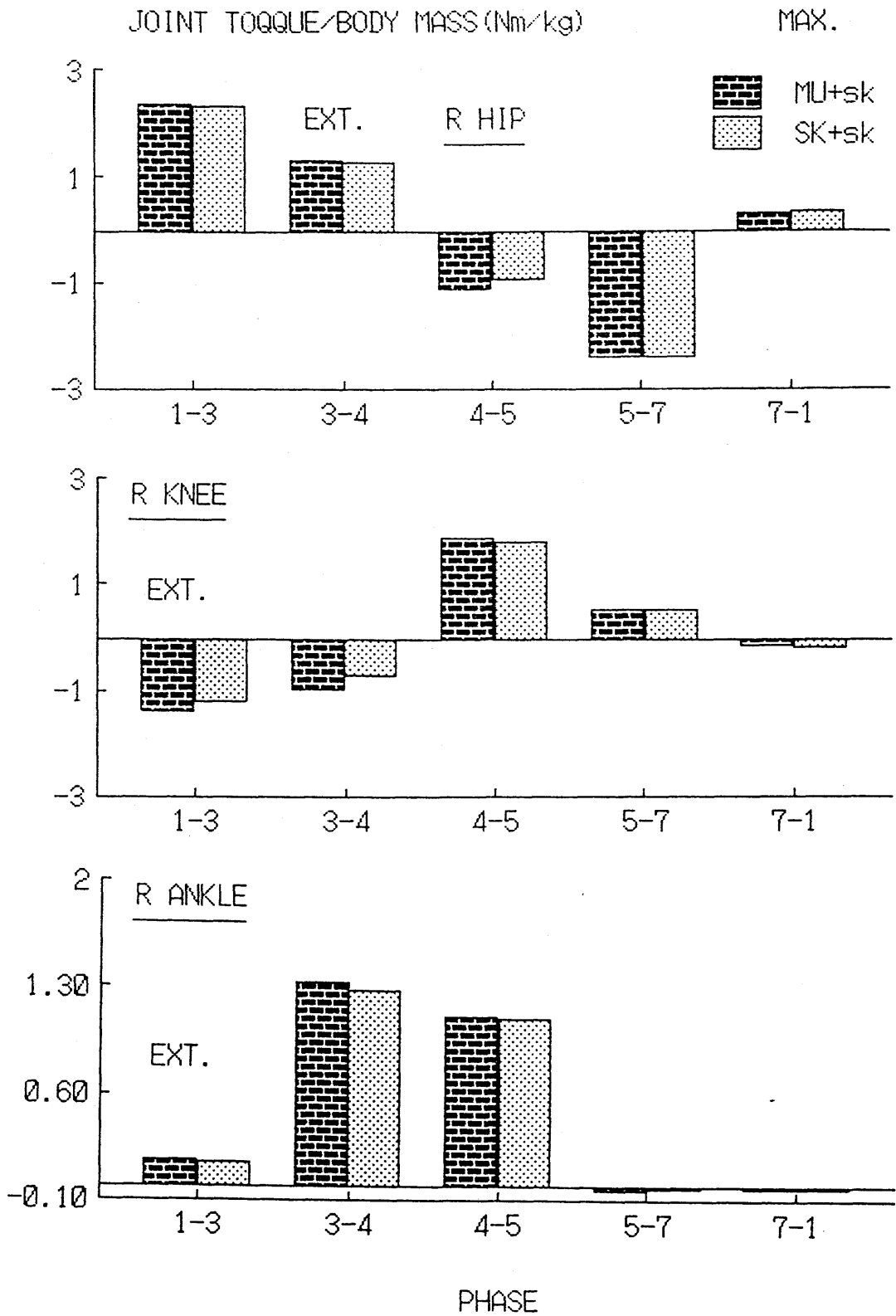


図7-56 シミュレーションから得た走者MU, SKの疾走中の各局面における股関節, 膝関節, 足関節の単位質量あたりの平均トルク (全速走, 走フォームsk)  
 1~3: 回復後期, 3~4: 支持期前半, 4~5: 支持期後半, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

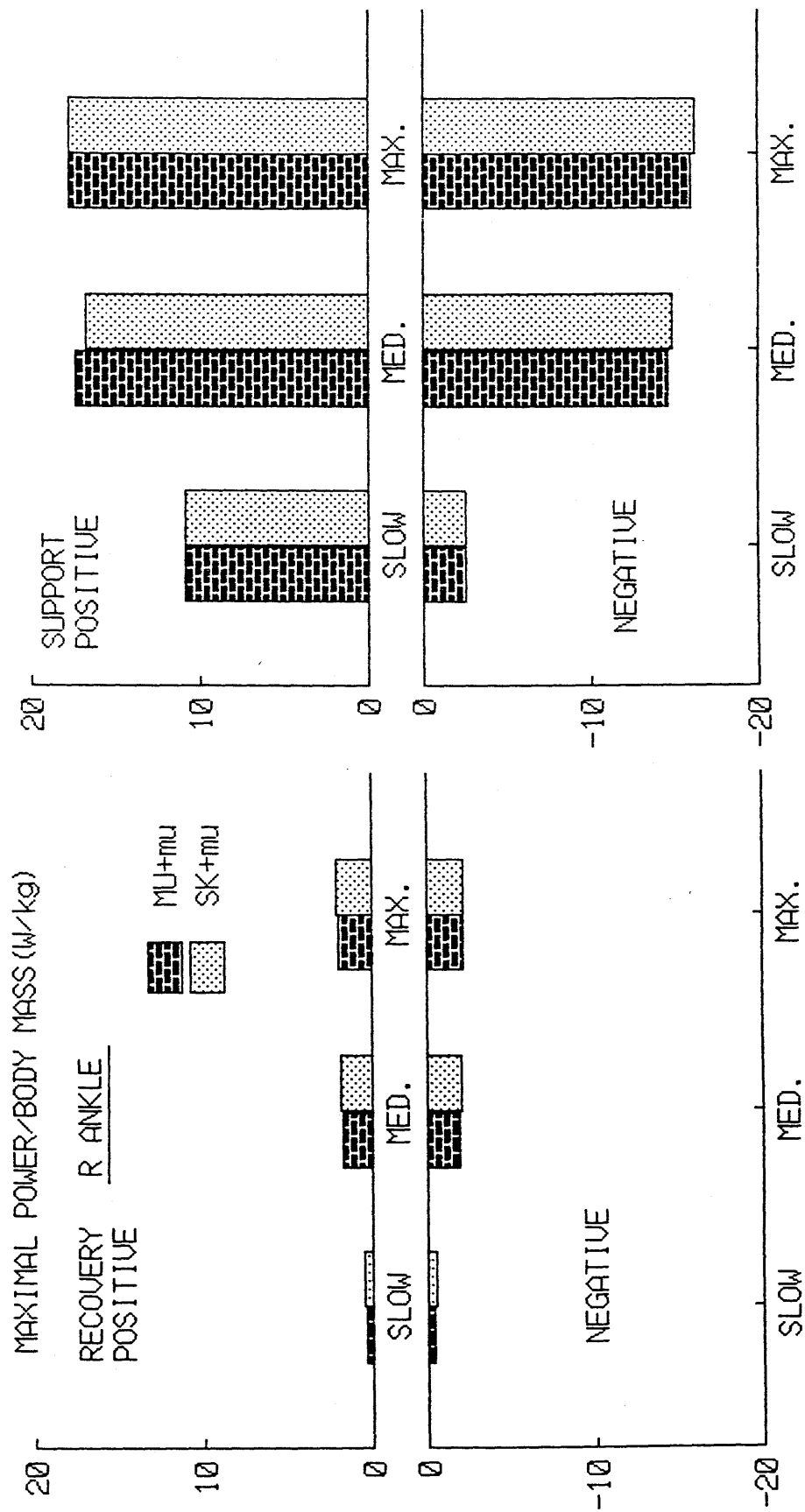


図7-57 シミュレーションから得た各速度段階における走者MU, SKの足関節筋群による正, 負の最大パワー(走フォームmu). 左図: 回復期, 右図: 支持期

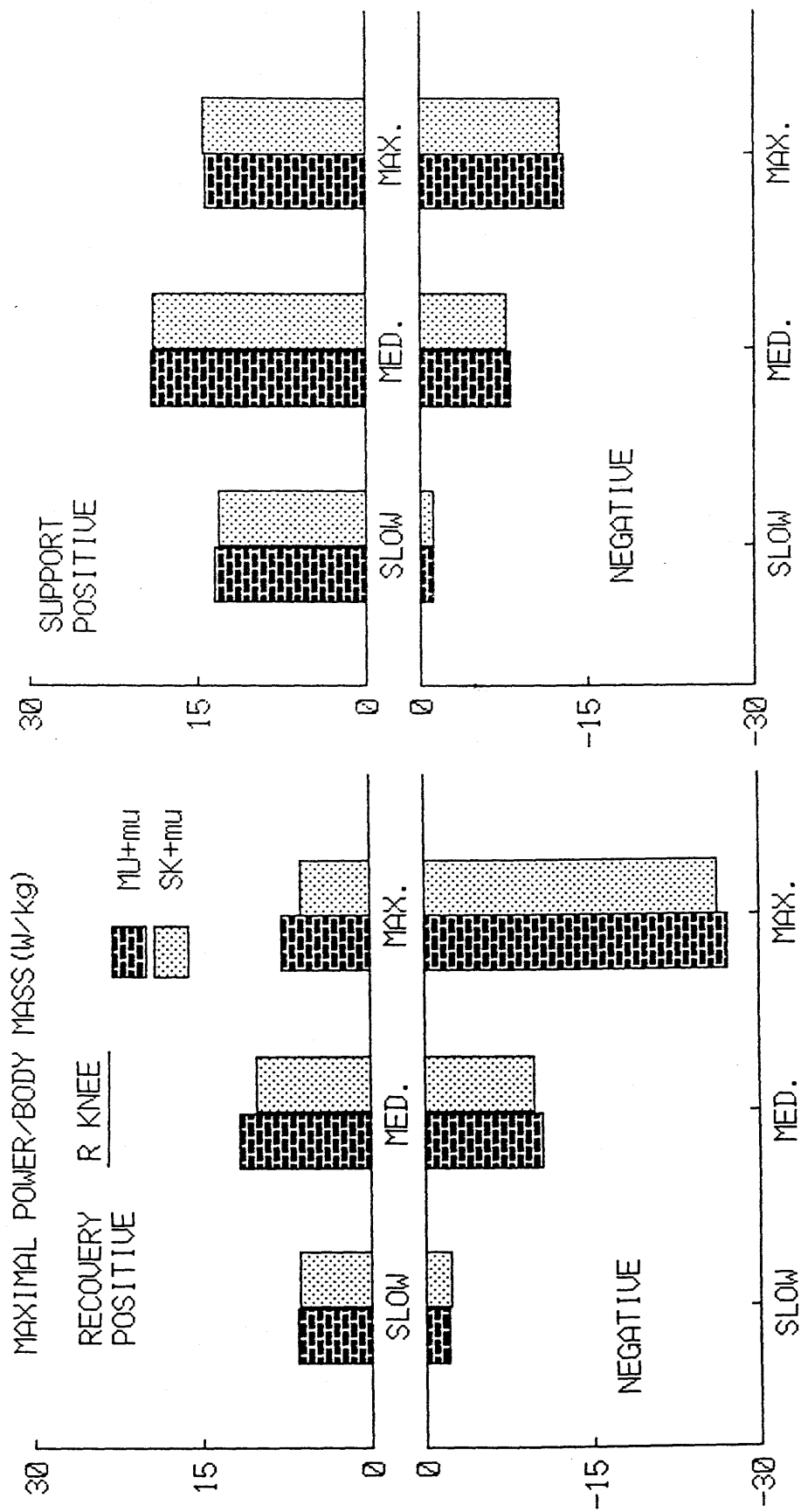


図7-58 シミュレーションから得た各速度段階における走者MU, SKの膝関節筋群による正, 負の最大パワー(走フォームmu). 左図: 回復期, 右図: 支持期

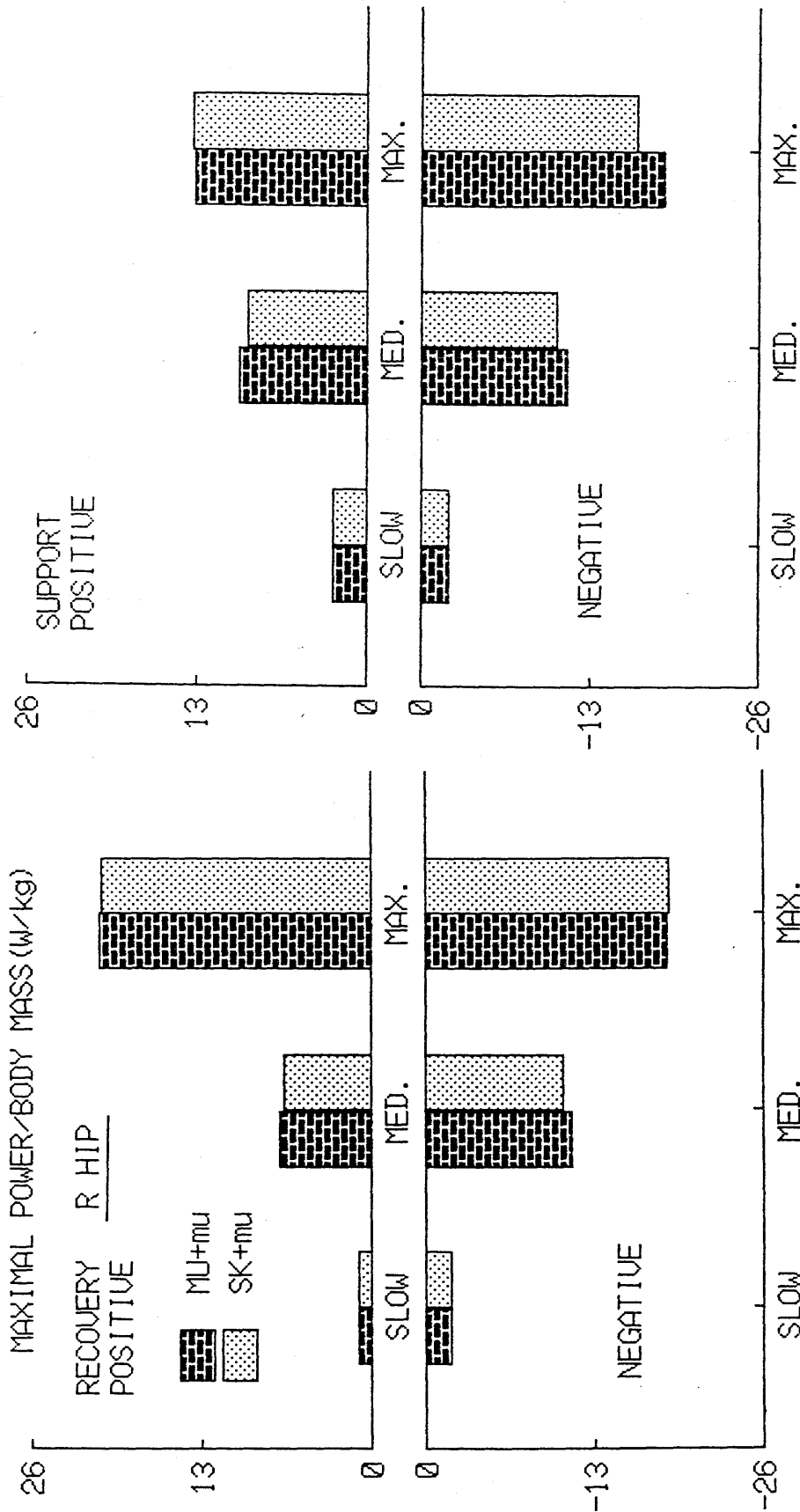


図7-59 シミュレーションから得た各速度段階における走者MU, SKの股関節筋群による正, 負の最大パワー (走フォームmu). 左図: 回復期, 右図: 支持期

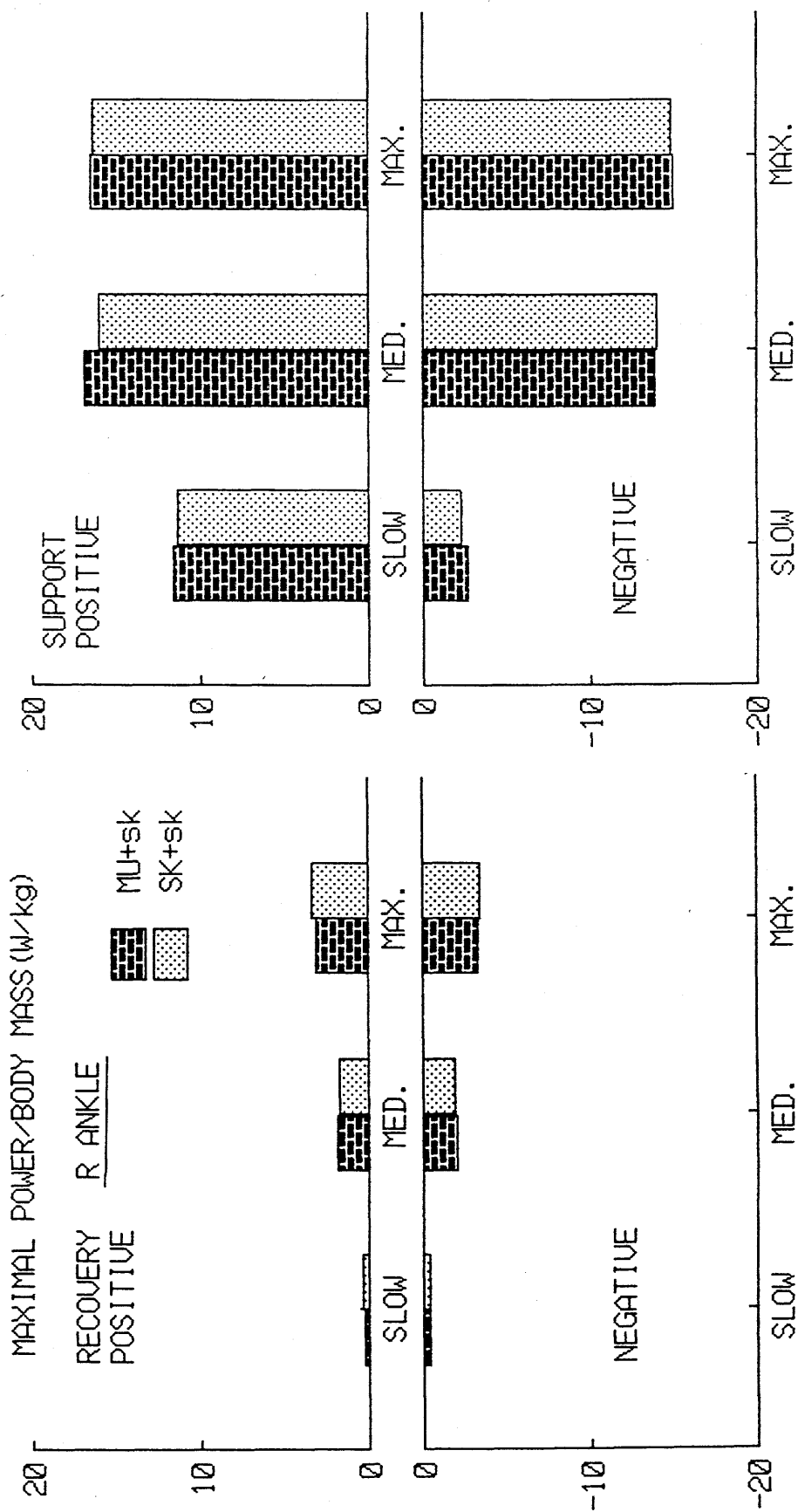


図7-60 シミュレーションから得た各速度段階における走者MU, SKの足関節筋群による正, 負の最大パワー(走フォームsk). 左図: 回復期, 右図: 支持期

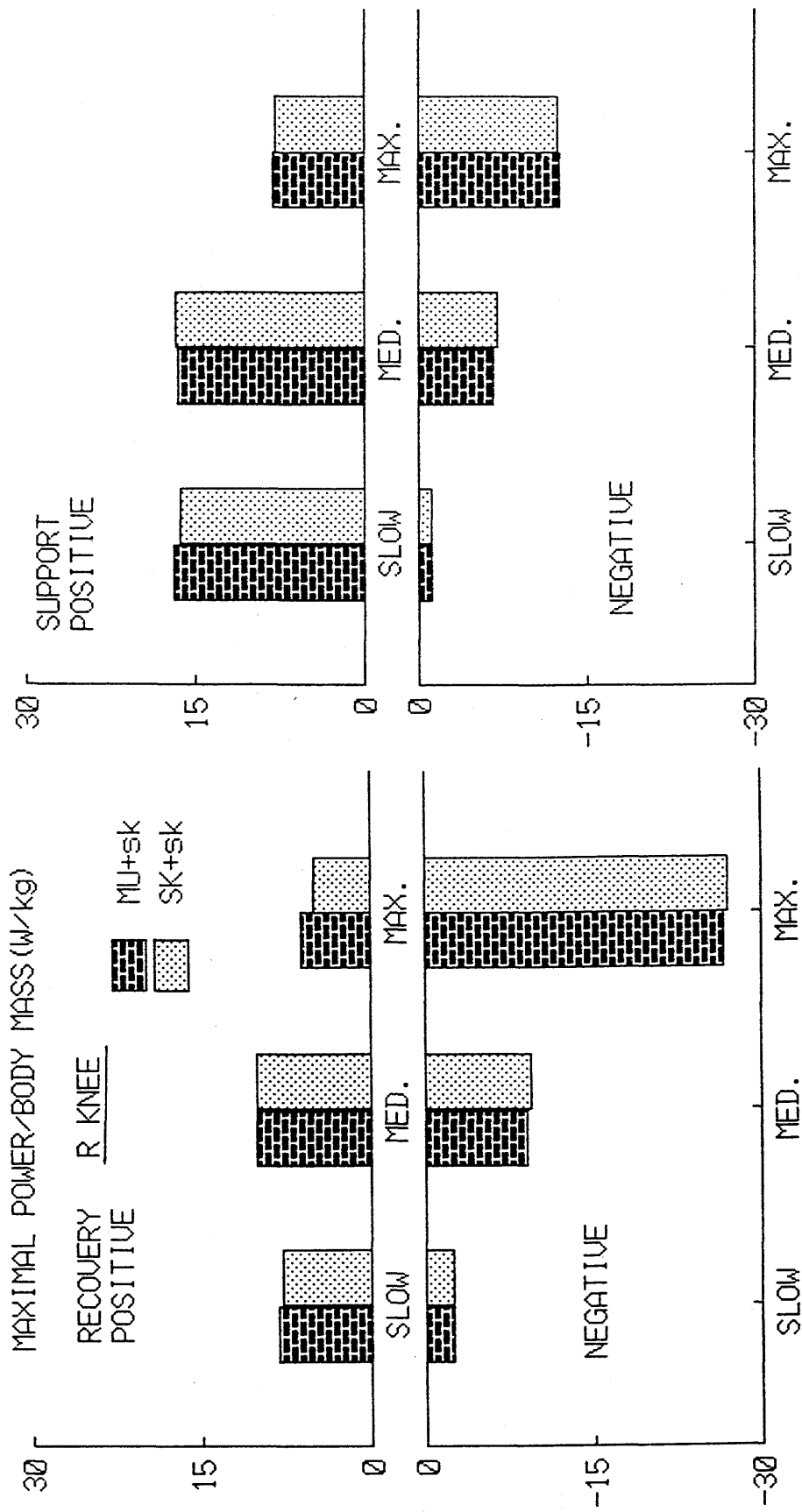


図7-61 シミュレーションから得た各速度段階における走者MU, SKの膝関節筋群による正, 負の最大パワー(走フォームsk). 左図: 回復期, 右図: 支持期

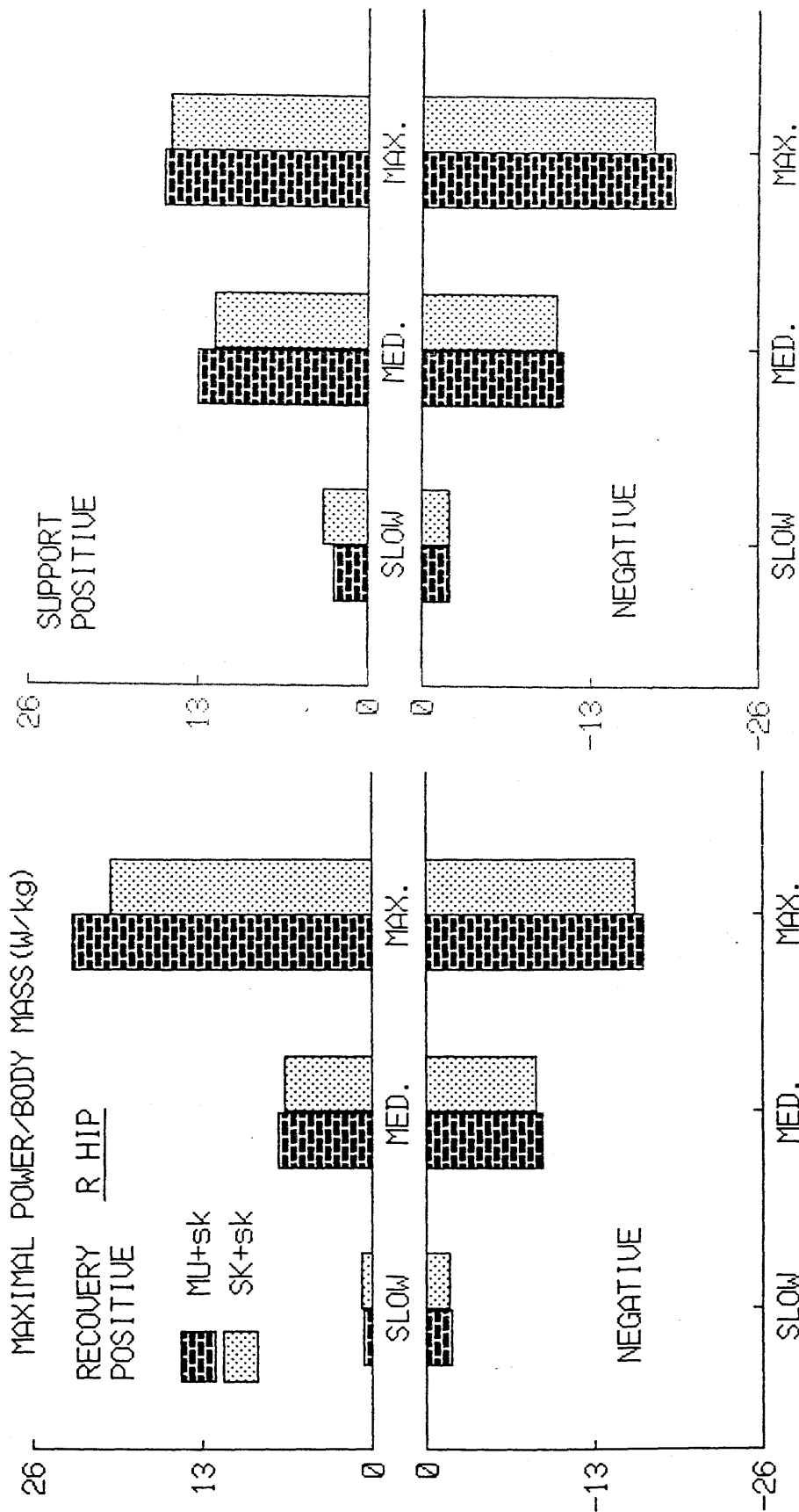


図7-62 シミュレーションから得た各速度段階における走者MU, SKの股関節筋群による正, 負の最大パワー(走フォームsk). 左図:回復期, 右図:支持期

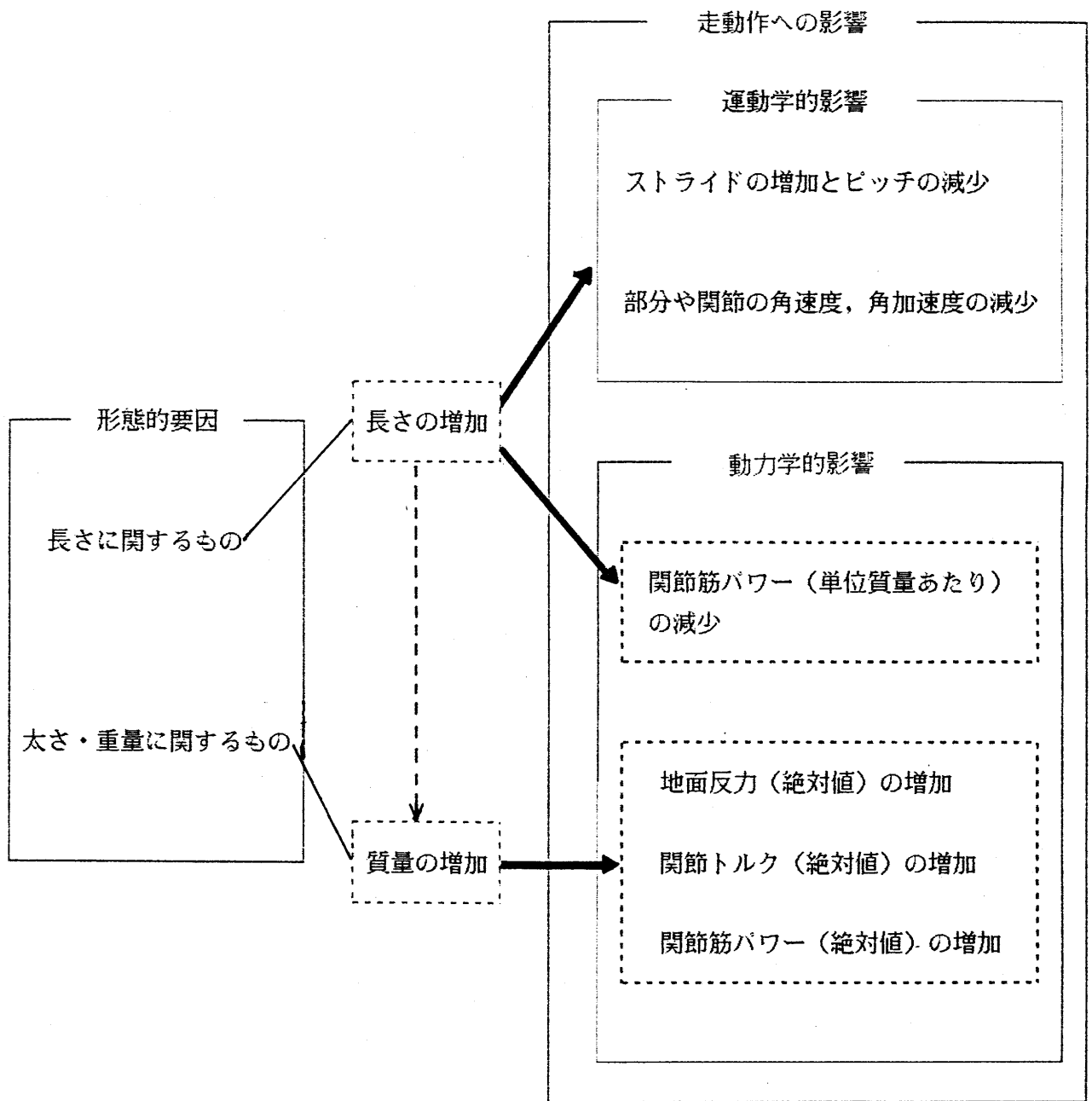


図7-63 形態的要因が走動作におよぼす影響に関する模式図



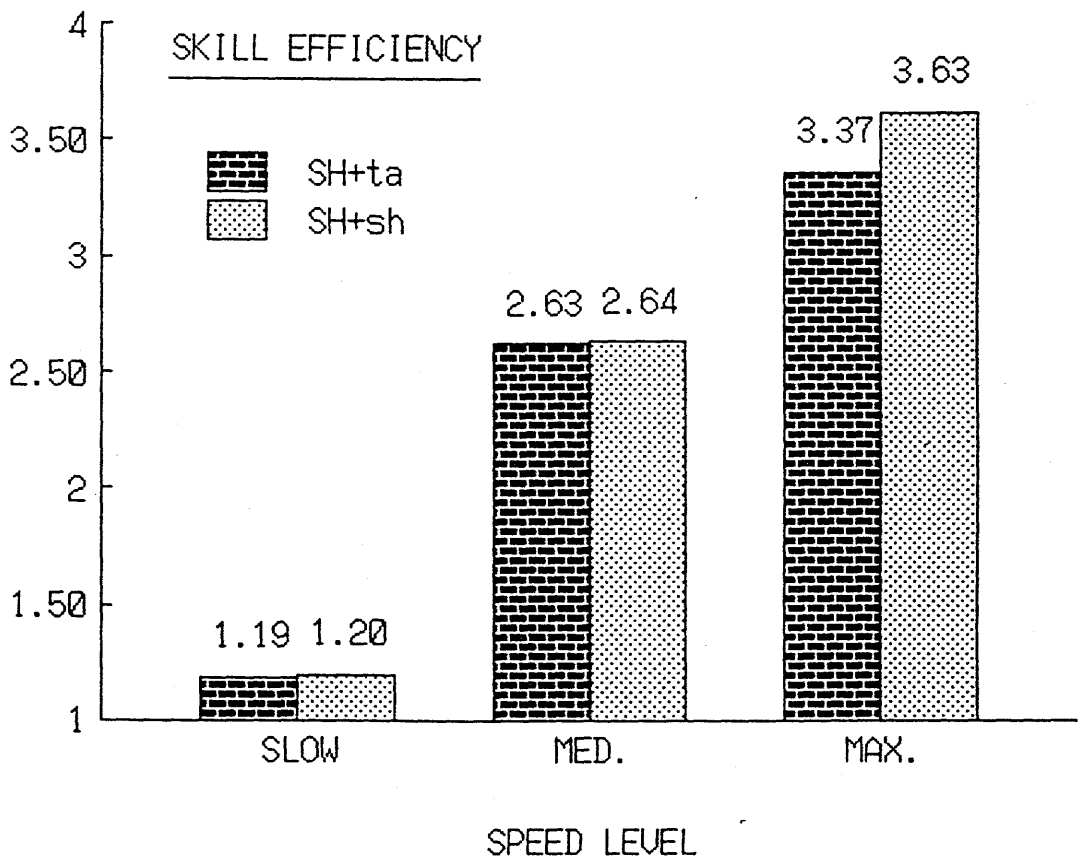
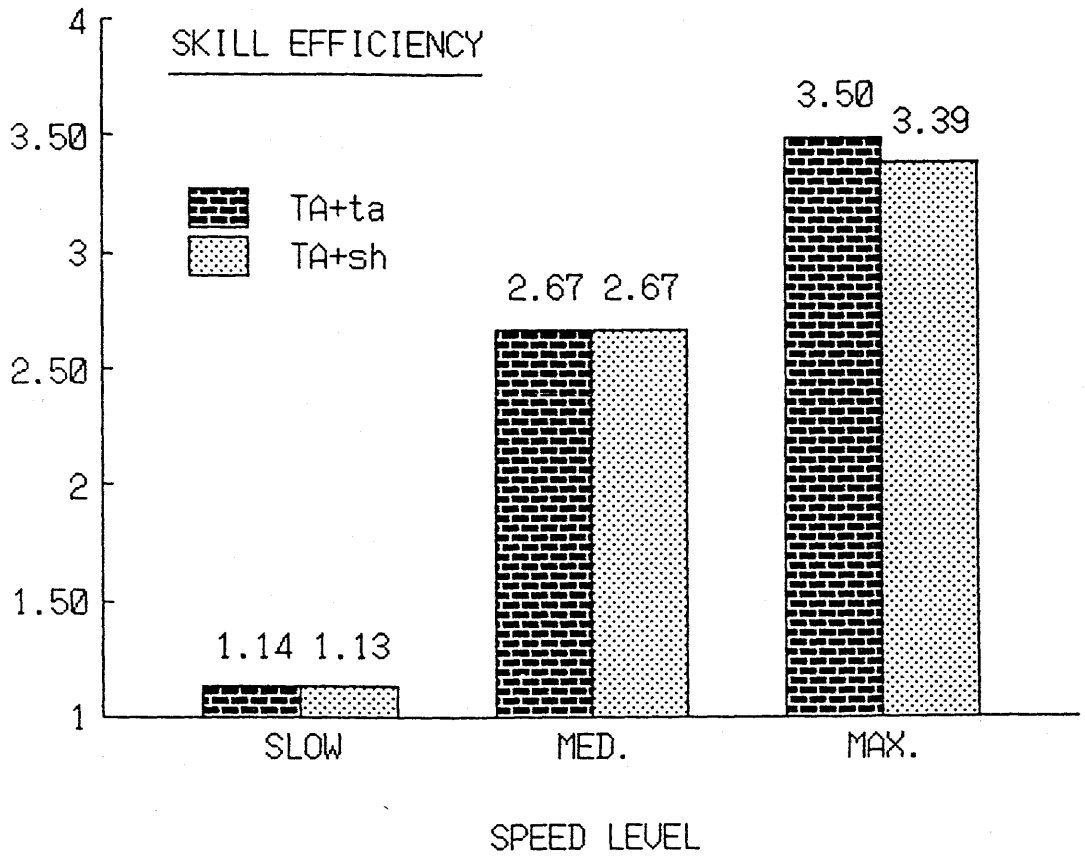


図8-1 (a) シミュレーションから得た各速度段階における、走者TA, SHの走の技能効率(走フォームta, sh)

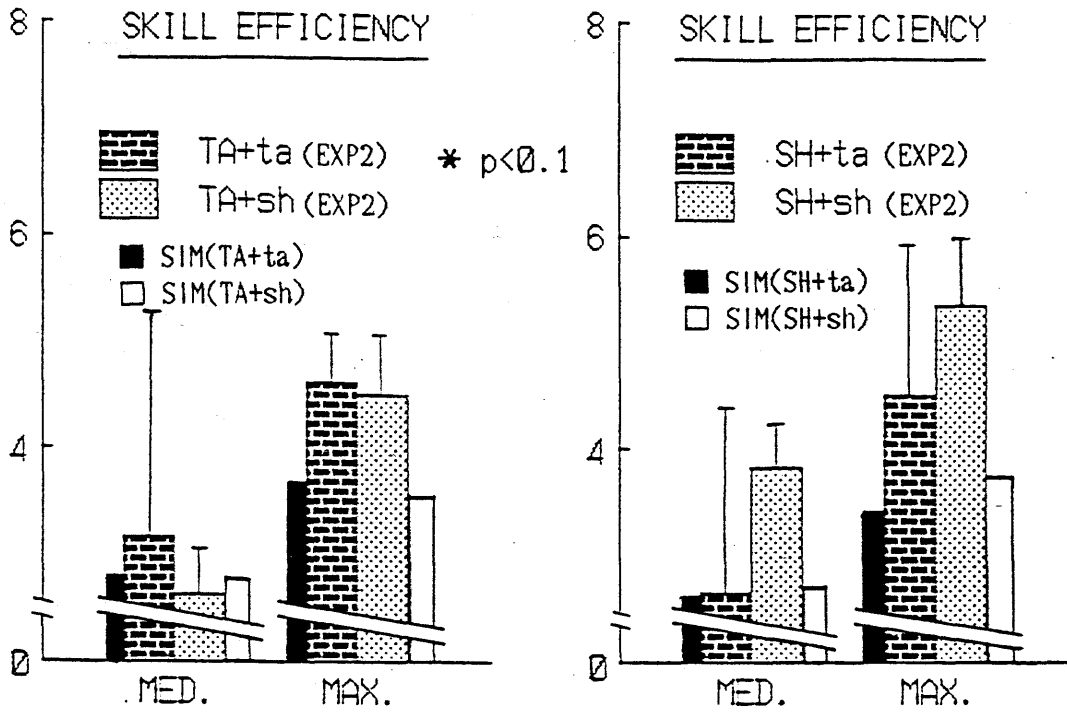


図8-1 (b) 実験2 (EXP2) から得た各速度段階におけるTA群 (N=4), SH群 (N=4) の技能効率 (走フォーム ta, sh).  
ただし、シミュレーションから得た値 (SIM) も併記した。

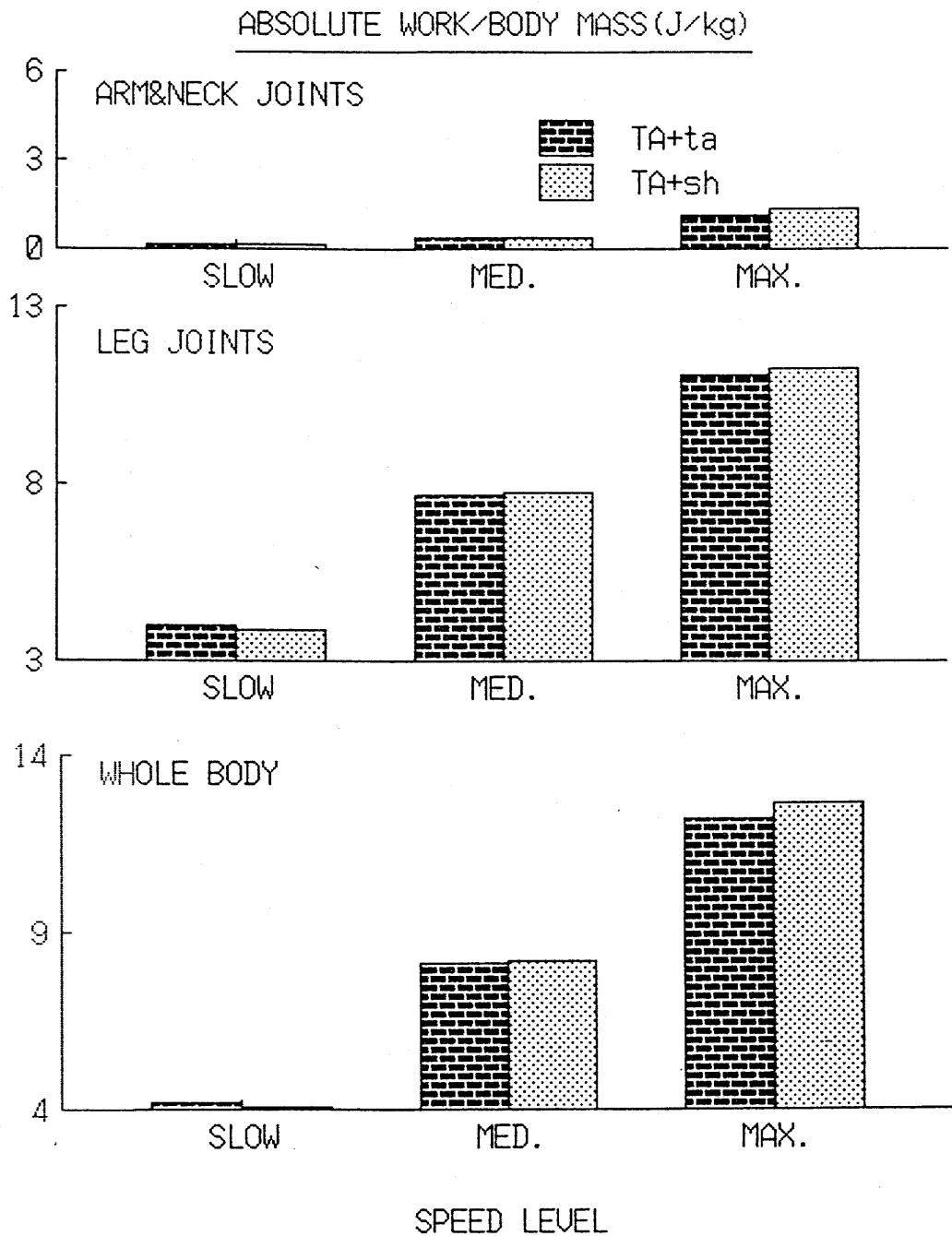


図8-2 シミュレーションから得た各速度段階の走における，走者TAの腕と頸部，脚，全身の関節筋群の絶対仕事（走フォーム t a, s h）

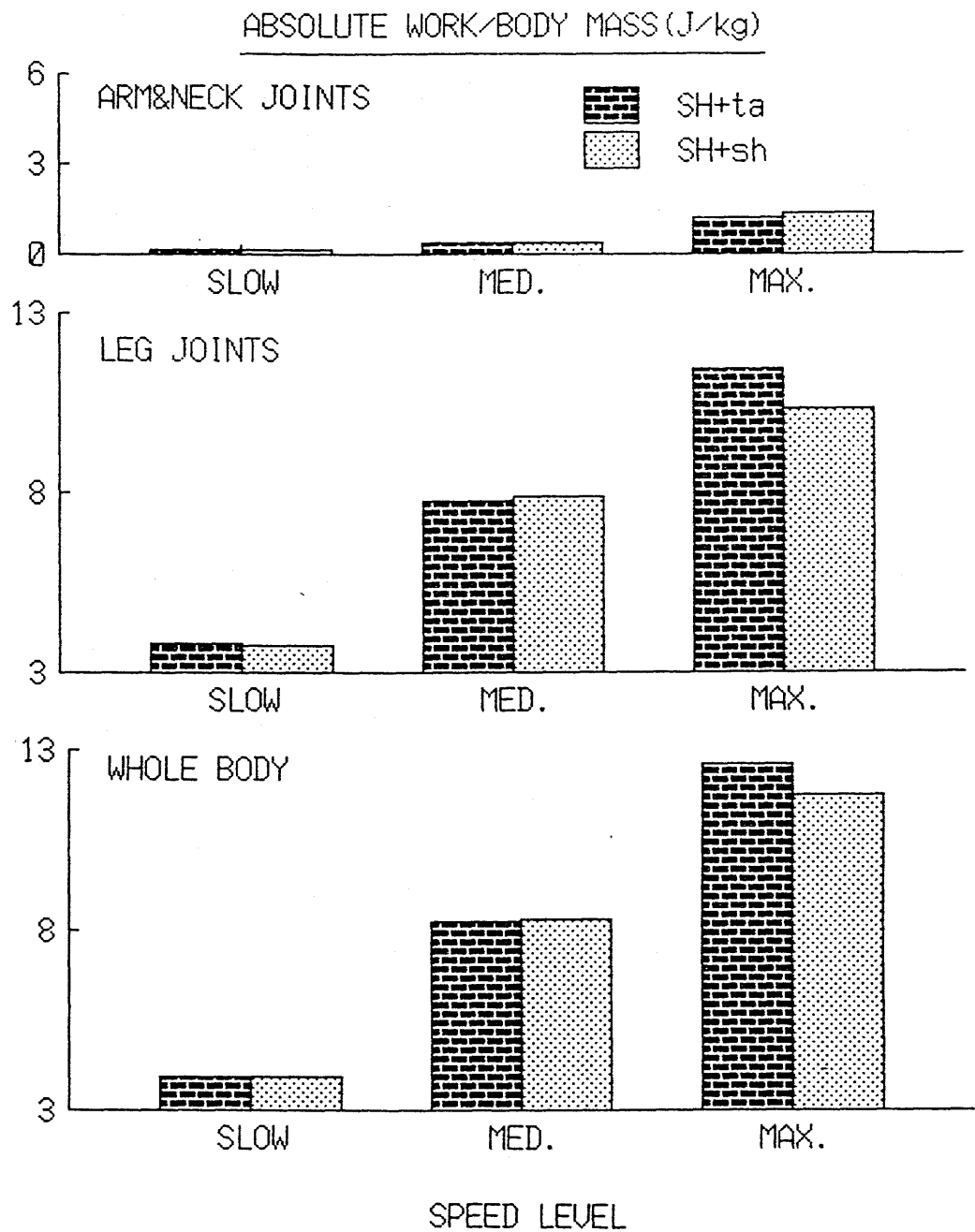


図8-3 シミュレーションから得た各速度段階の走における、走者SHの腕と頭部、脚、全身の関節筋群の絶対仕事(走フォーム ta, sh)

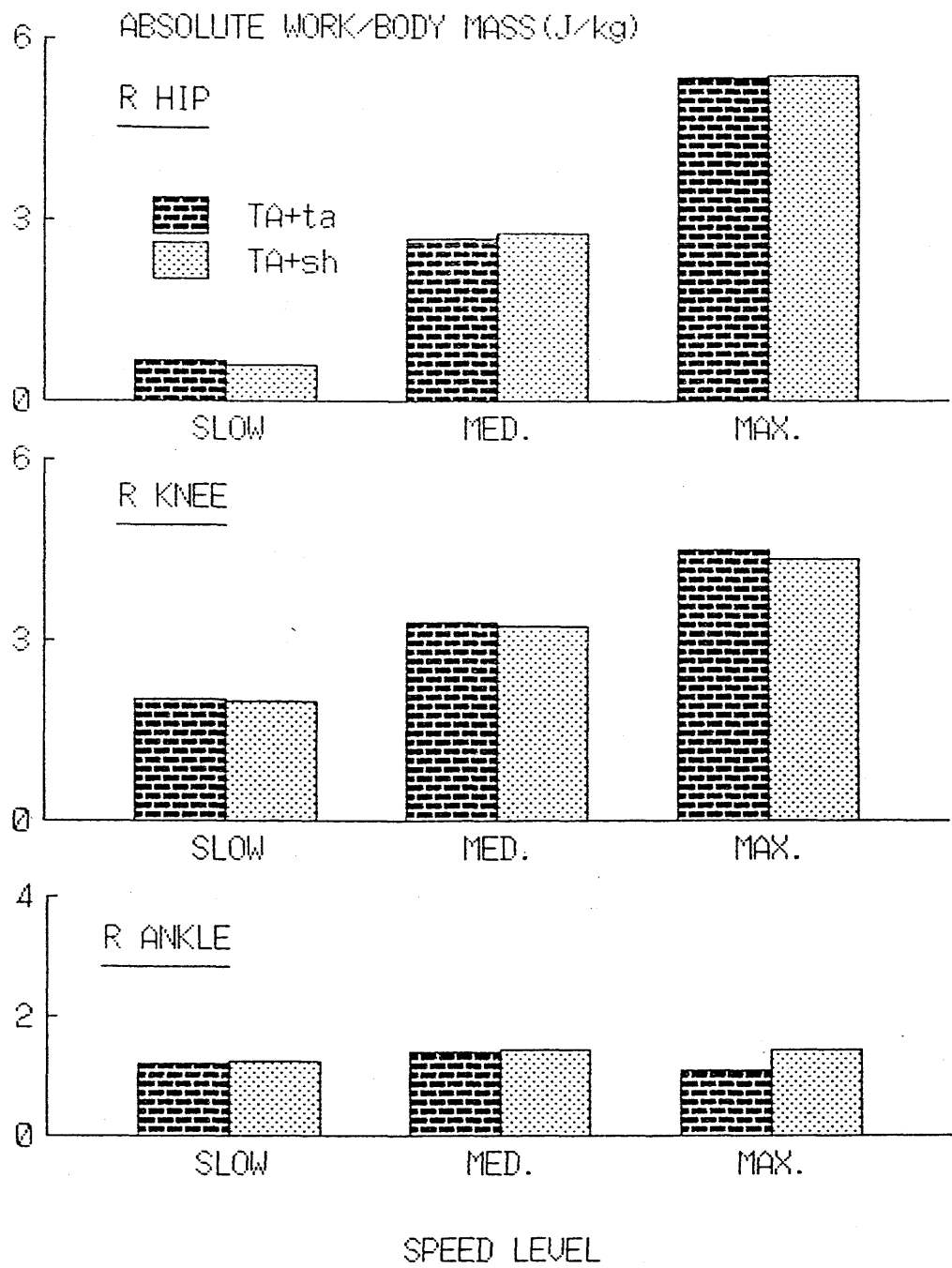


図8-4 シミュレーションから得た走者TAの各速度段階の走における脚の各関節筋群の絶対仕事(走フォームta, sh)

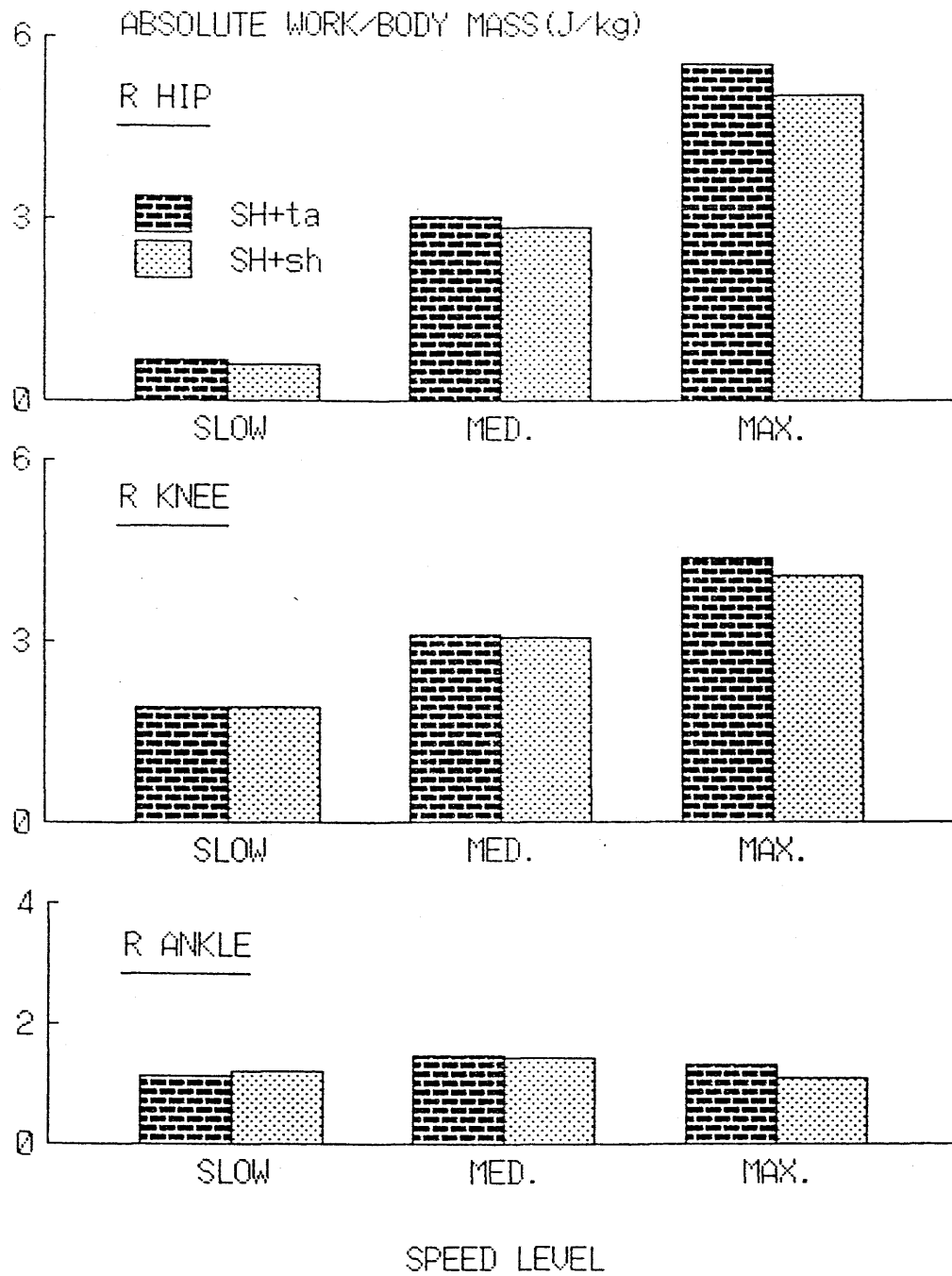


図8-5 シミュレーションから得た走者SHの各速度段階の走における脚の各関節筋群の絶対仕事(走フォームta, sh)

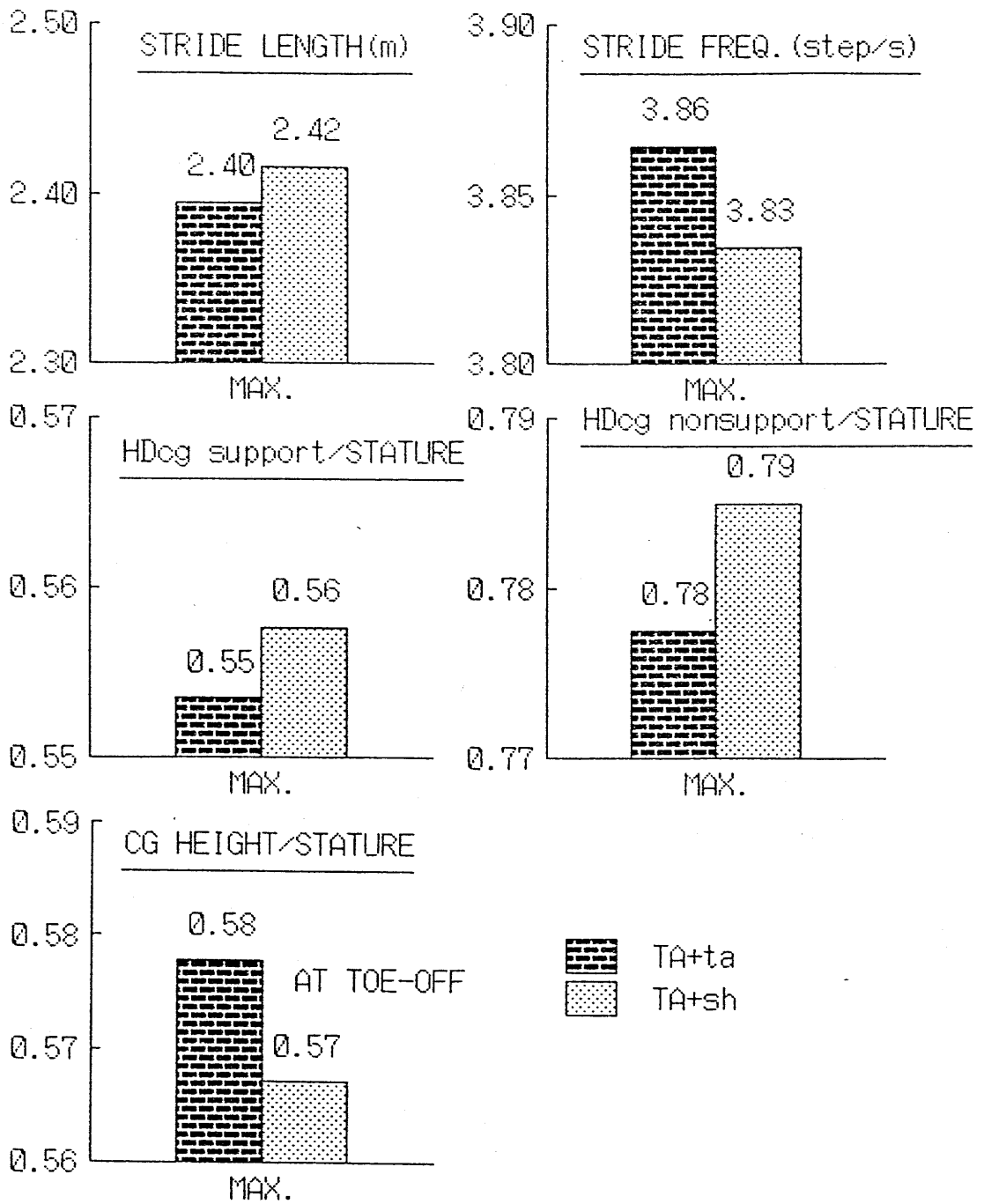


図8-6 (a) シミュレーションから得た走者TAの全速走におけるストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量(走フォーム  $t_a$ ,  $s_h$ )

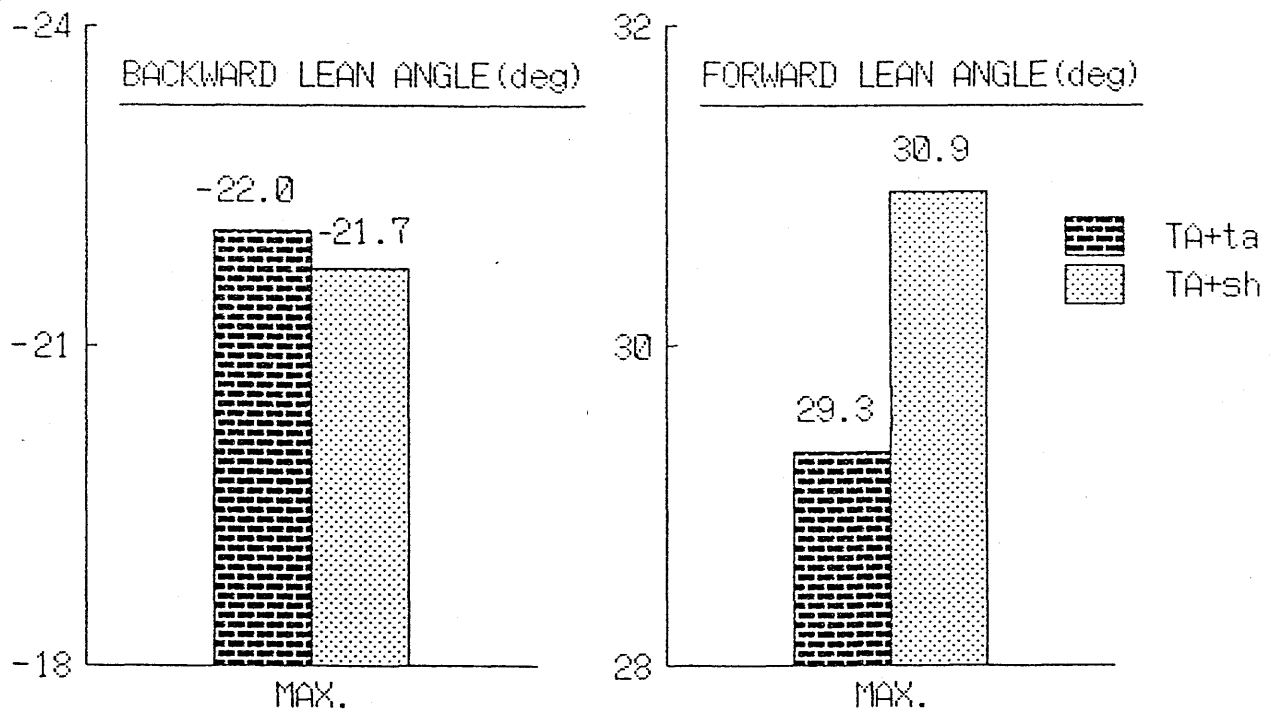


図8-6 (b) シミュレーションから得た走者TAの全速走におけるストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量(走フォーム $t_a$ ,  $s_h$ ) (続き)



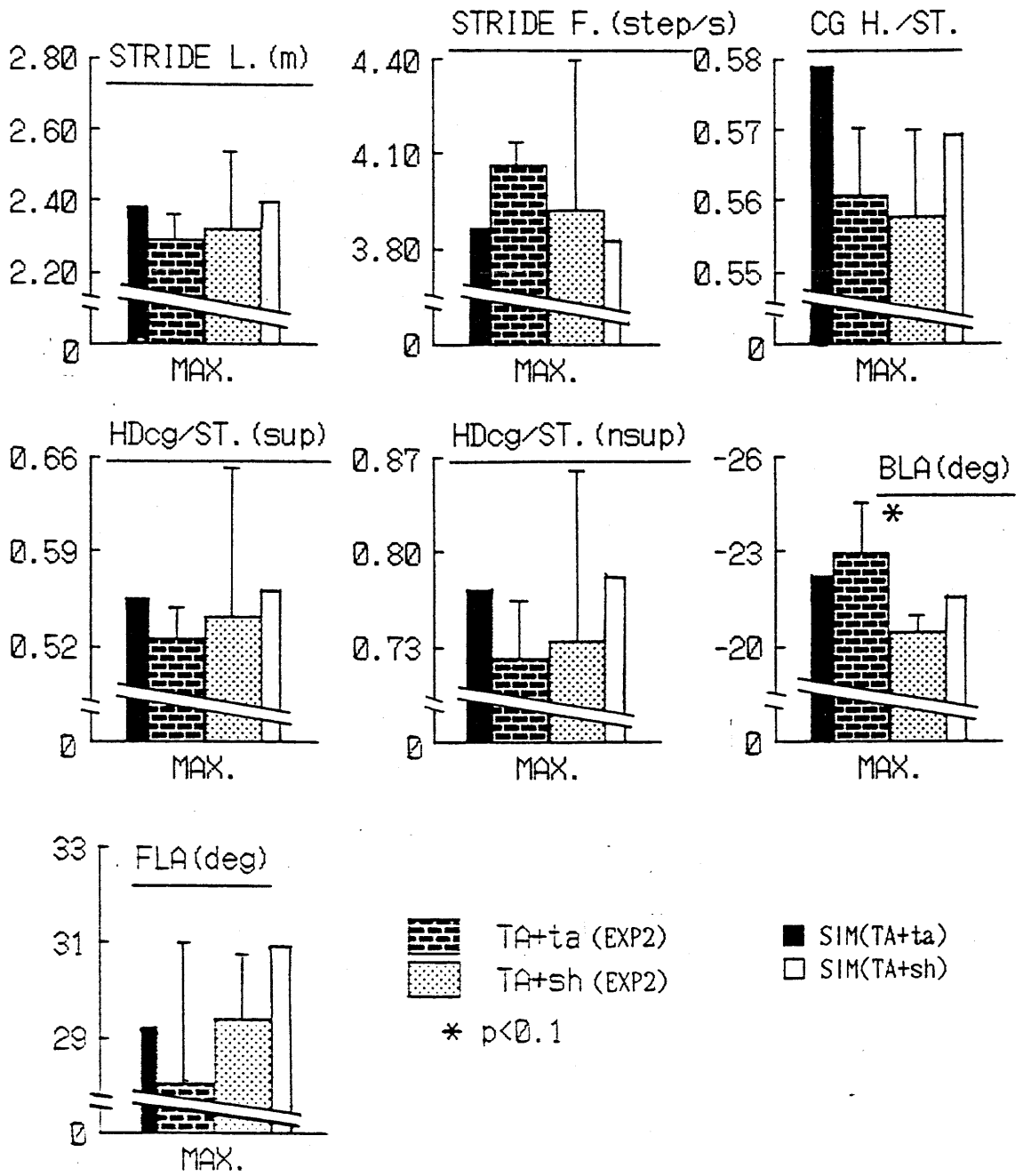
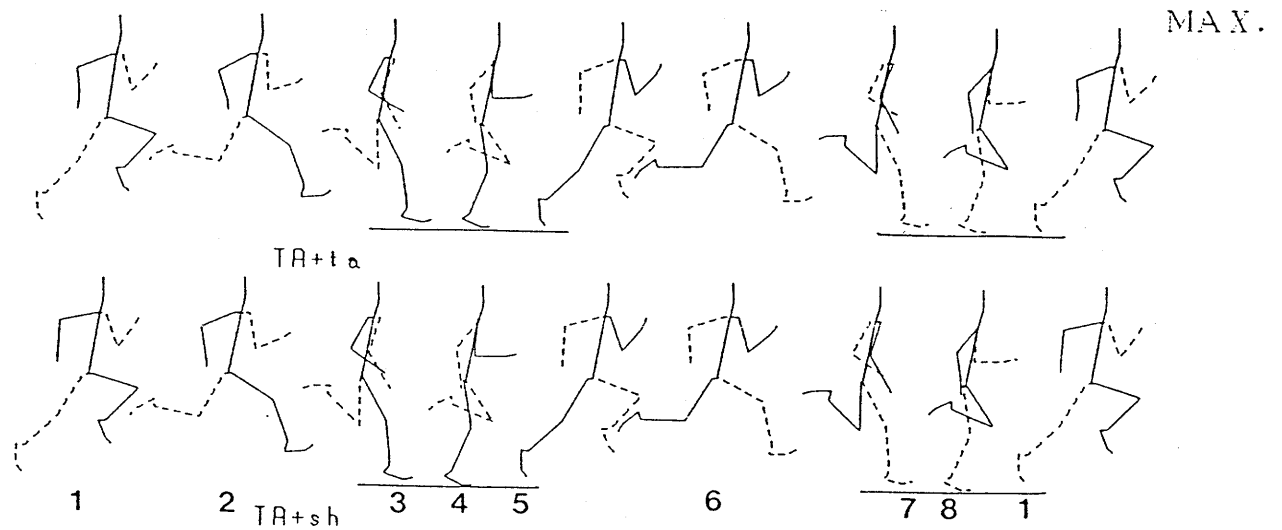
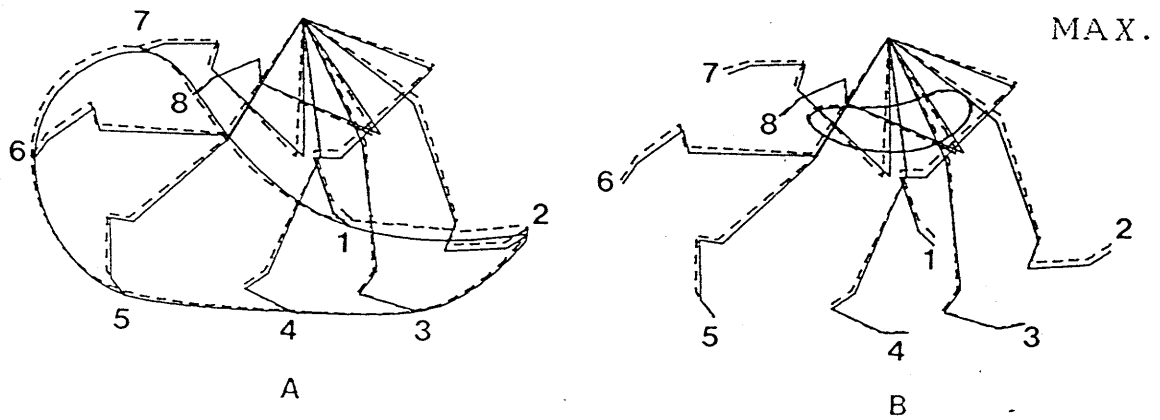


図8-7 実験2(EXP2)から得たTA群(N=4)の全速走におけるストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量(走フォーム ta, sh)。ただし、シミュレーションから得た値(SIM)も併記した。



(a) 走フォーム



(b) 右脚の動き (実線：走フォーム t a、破線：走フォーム s h)

図8-8 シミュレーションから得た走者TAの全速走における走フォームおよび右脚の動きのスティックピクチャー (走フォーム t a, s h)  
 1:左足離地, 2:右足振り戻し開始, 3:右足接地, 4:右足支持期中間点,  
 5:右足離地, 6:右足フォロースルー終了, 7:左足接地, 8:左足支持期中間点.

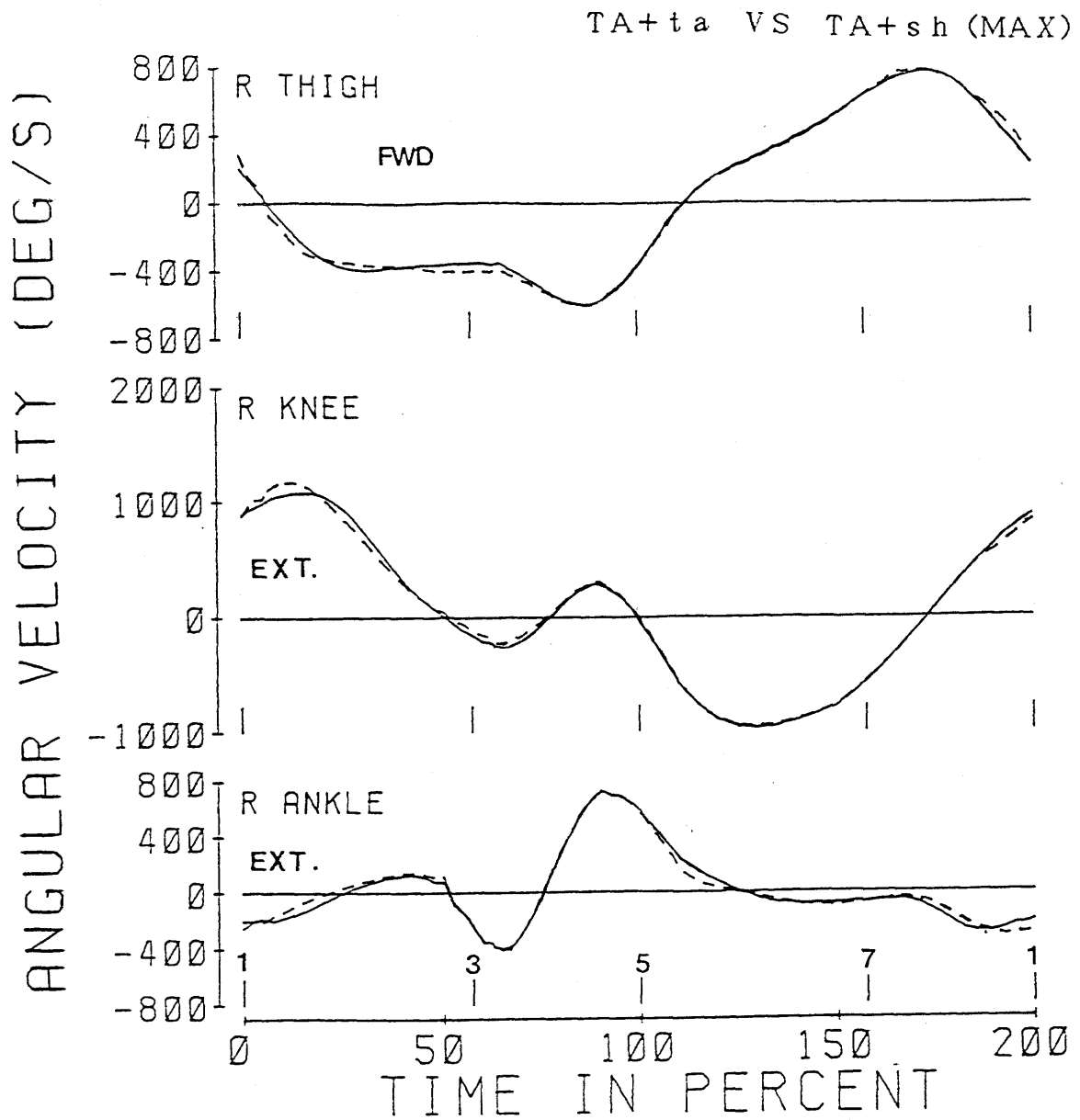


図8-9 シミュレーションから得た走者TAの全速走における右脚の大腿，膝関節，足関節の角速度の変化(実線：走フォームta，破線：走フォームsh)  
1~3：回復後期，3~5：支持期，5~7：回復前期，7~1：回復中期。

JOINT TORQUE/BODY MASS (Nm/kg)

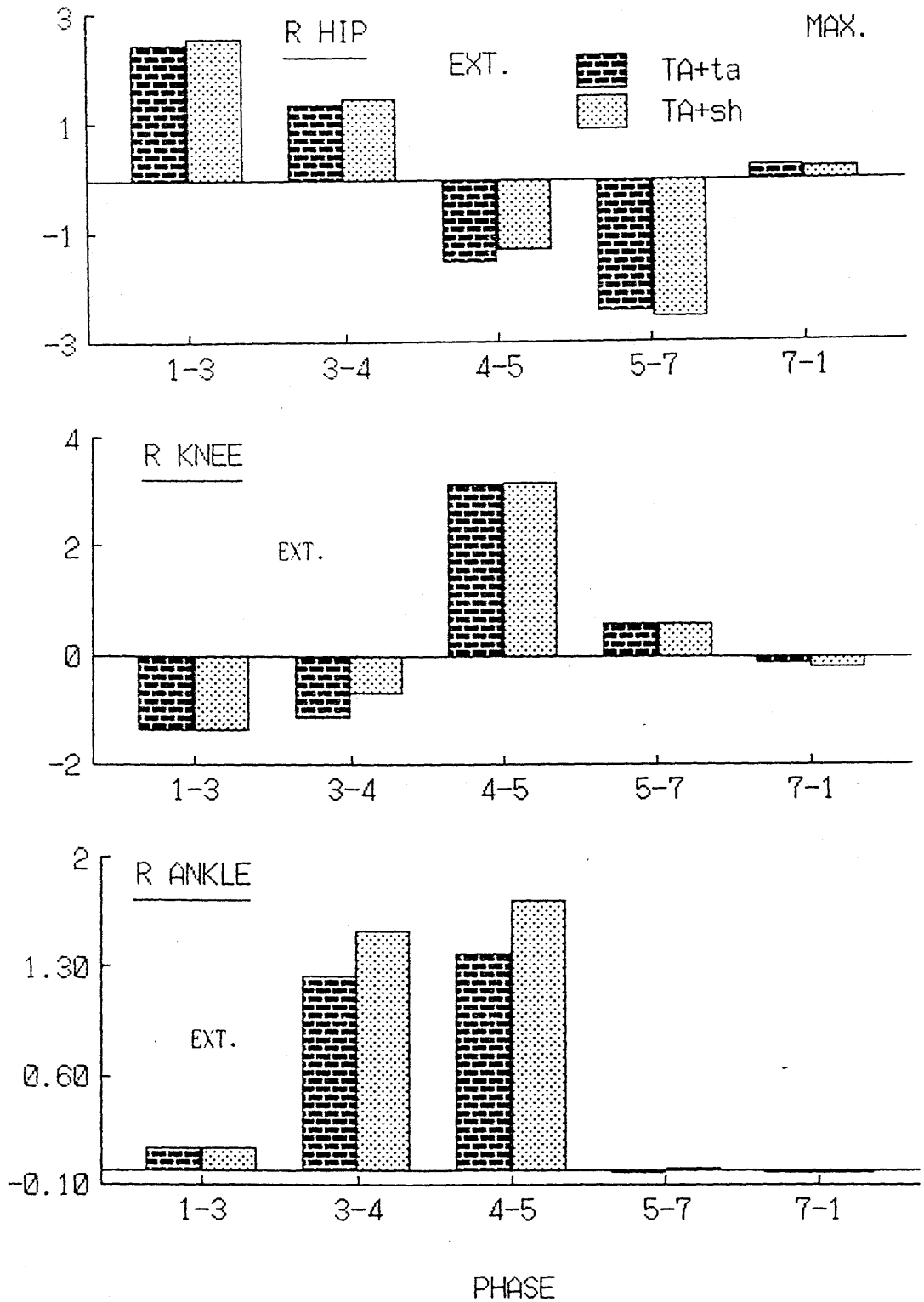


図8-10 シミュレーションから得た走者TAの全速疾走中の各局面における股関節、膝関節、足関節の平均トルク(走フォームta, sh)  
 1~3:回復後期, 3~4:支持期前半, 4~5:支持期後半, 5~7:回復前期, 7~1:回復中期.

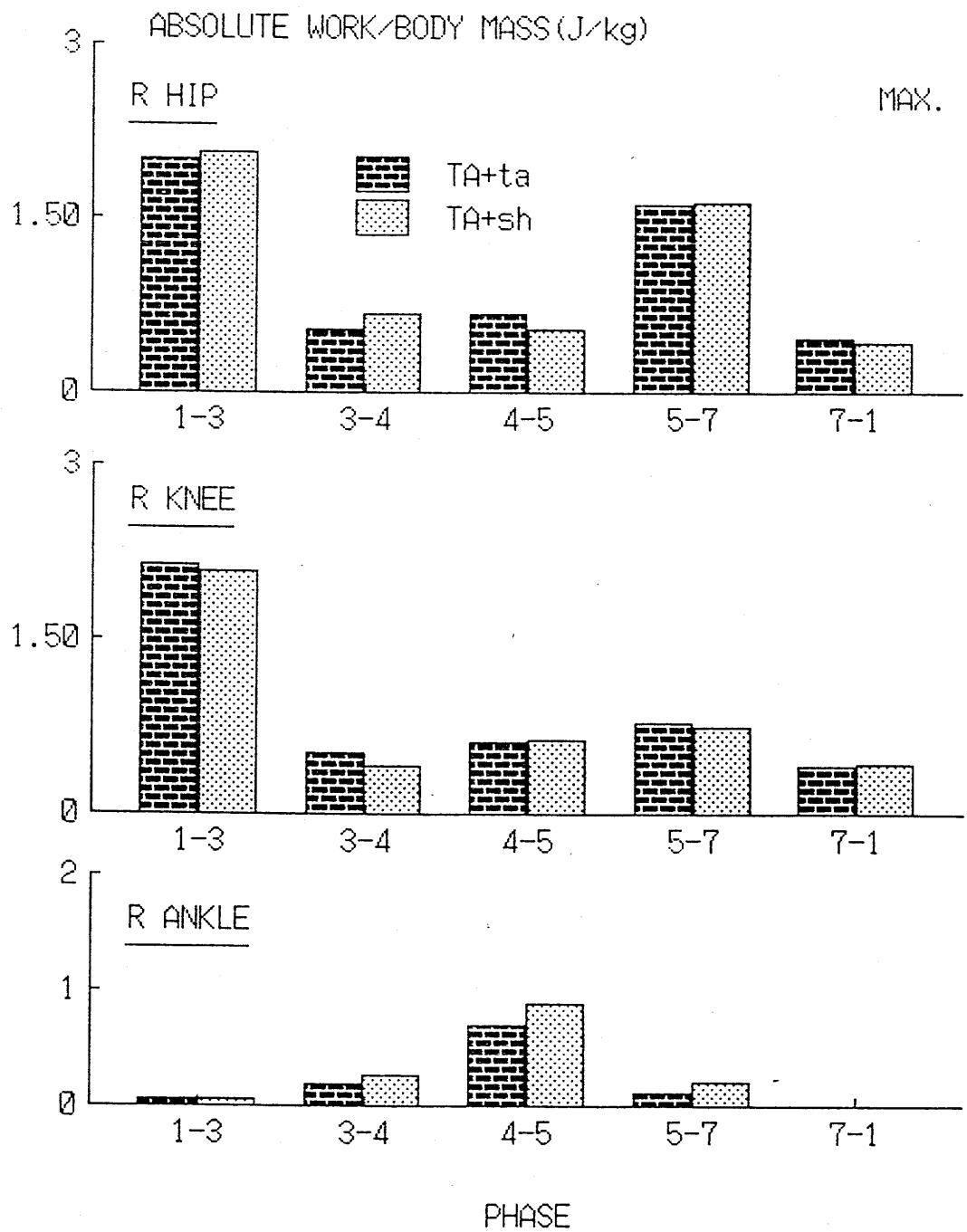


図8-11 シミュレーションから得た走者TAの全速疾走中の各局面における股関節、膝関節、足関節筋群の絶対仕事（走フォームta, sh）  
 1~3：回復後期，3~4：支持期前半，4~5：支持期後半，5~7：回復前期，7~1：回復中期。

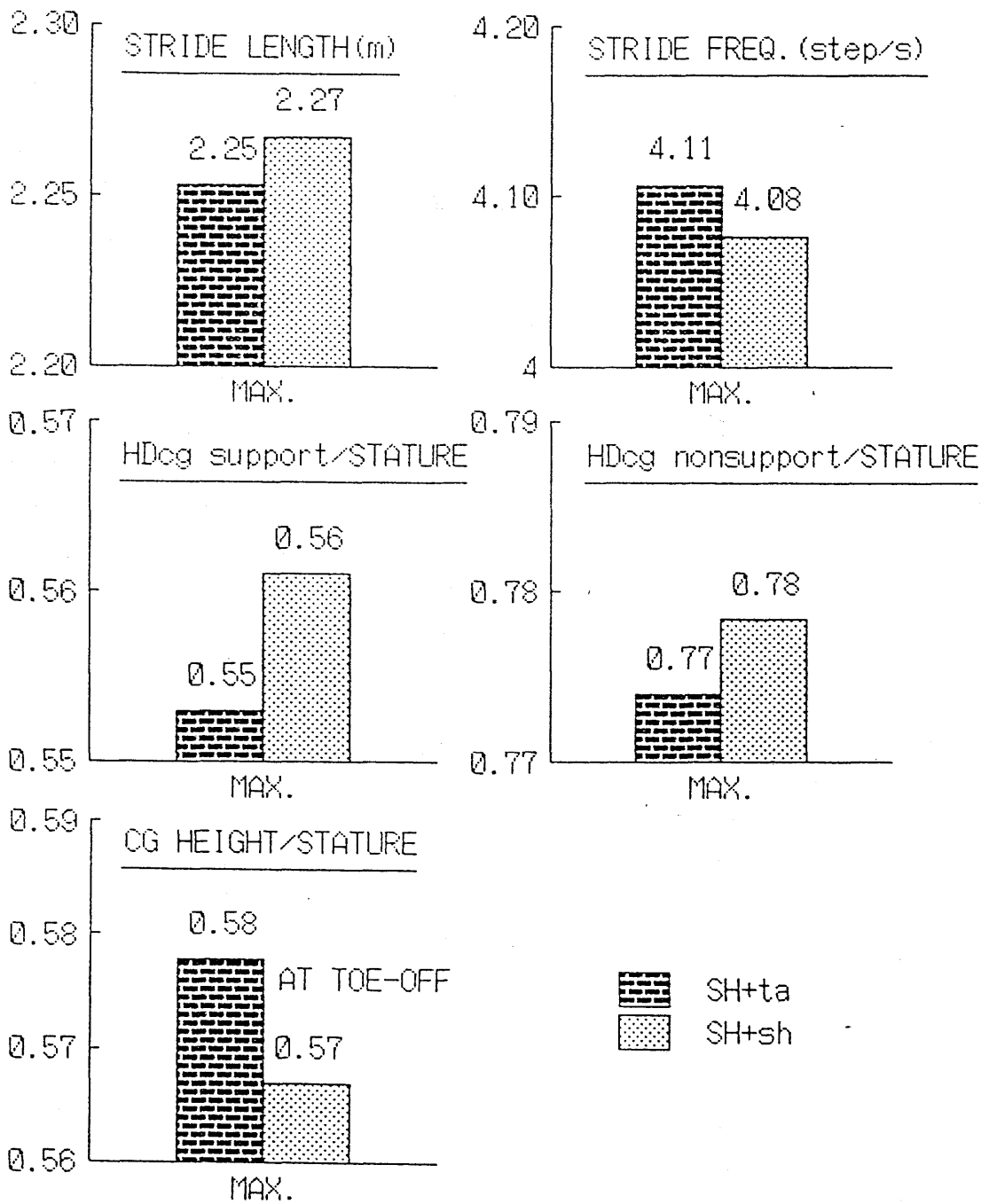


図8-12 (a) シミュレーションから得た走者SHの全速走におけるストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量(走フォーム  $t_a$ ,  $s_h$ )

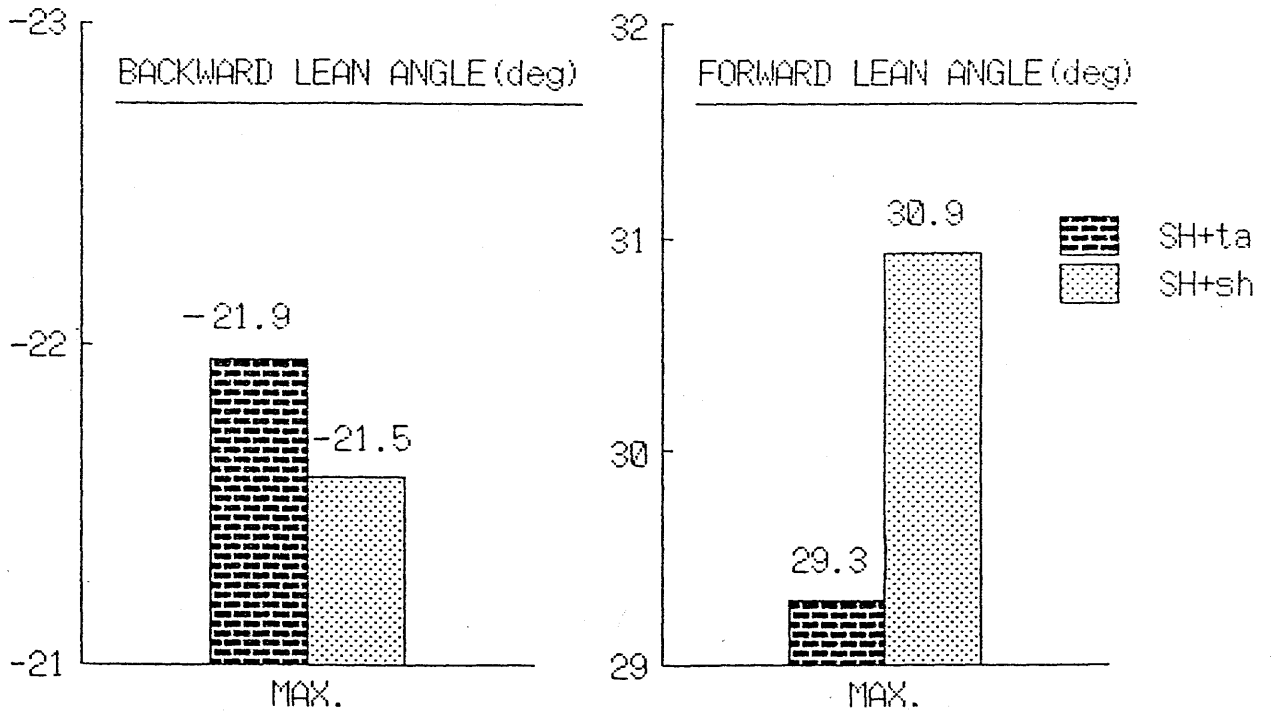


図8-12 (b) シミュレーションから得た走者SHの全速走におけるストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量(走フォーム  $t a$ ,  $s h$ ) (続き)

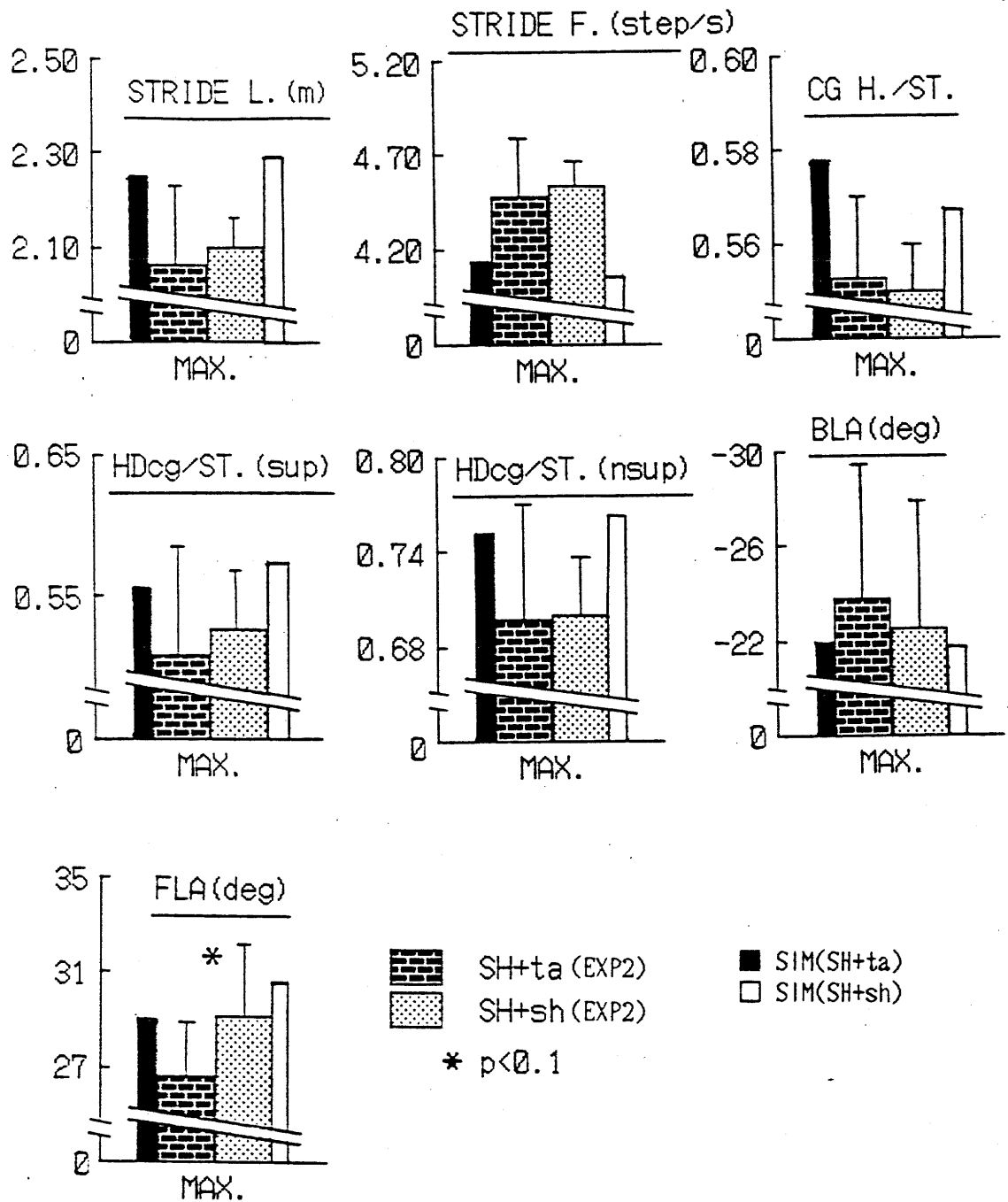
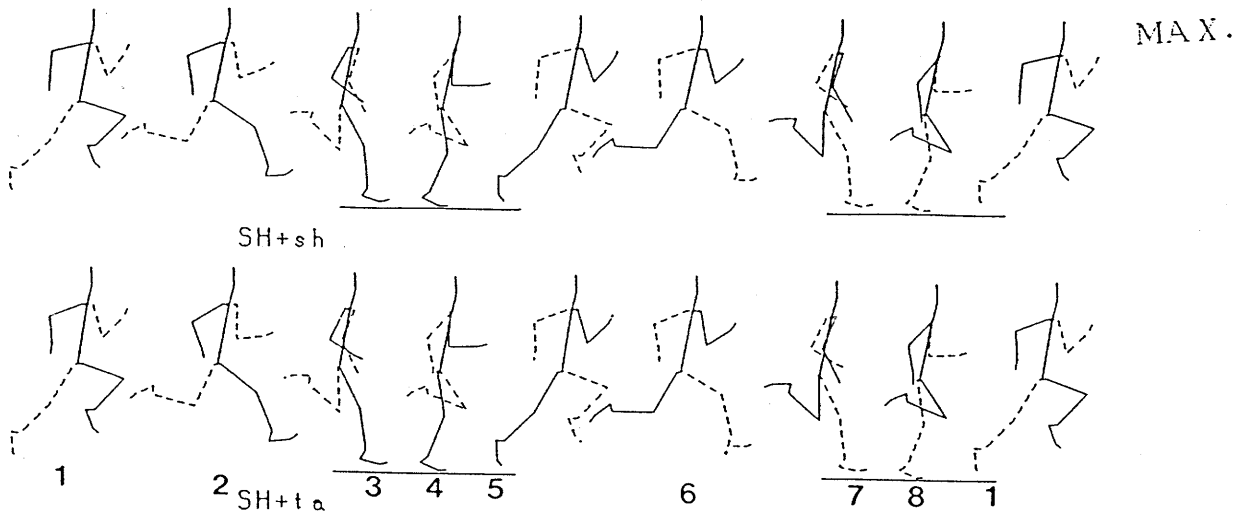
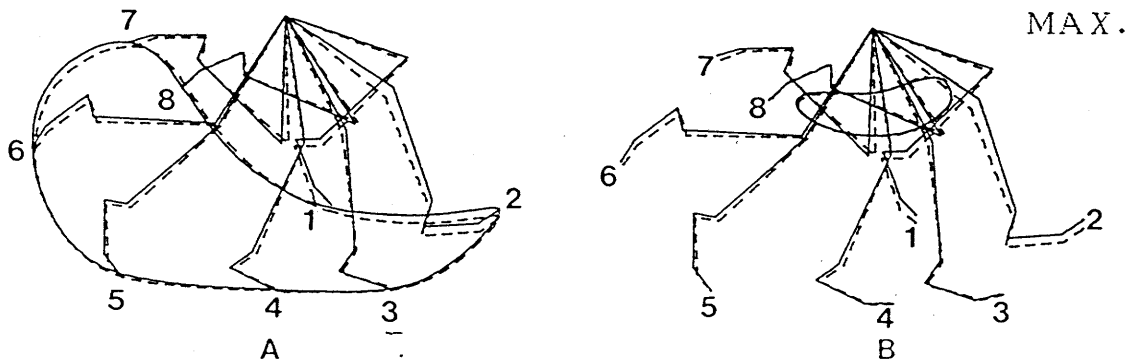


図8-13 実験2(EXP2)から得たSH群(N=4)の全速走におけるストライド, ピッチ, およびこれらに関連した変量(走フォーム  $t_a$ ,  $s_h$ ). ただし, シミュレーションから得た値(SIM)も併記した.





(a) 走フォーム



(b) 右脚の動き (実線: 走フォーム sh, 破線: 走フォーム ta)

図8-14 シミュレーションから得た走者SHの全速走における走フォームおよび右脚の動きのスティックピクチャー (走フォーム ta, sh)  
 1: 左足離地, 2: 右足振り戻し開始, 3: 右足接地, 4: 右足支持期中間点, 5: 右足離地, 6: 右足フォロースルー終了, 7: 左足接地, 8: 左足支持期中間点.

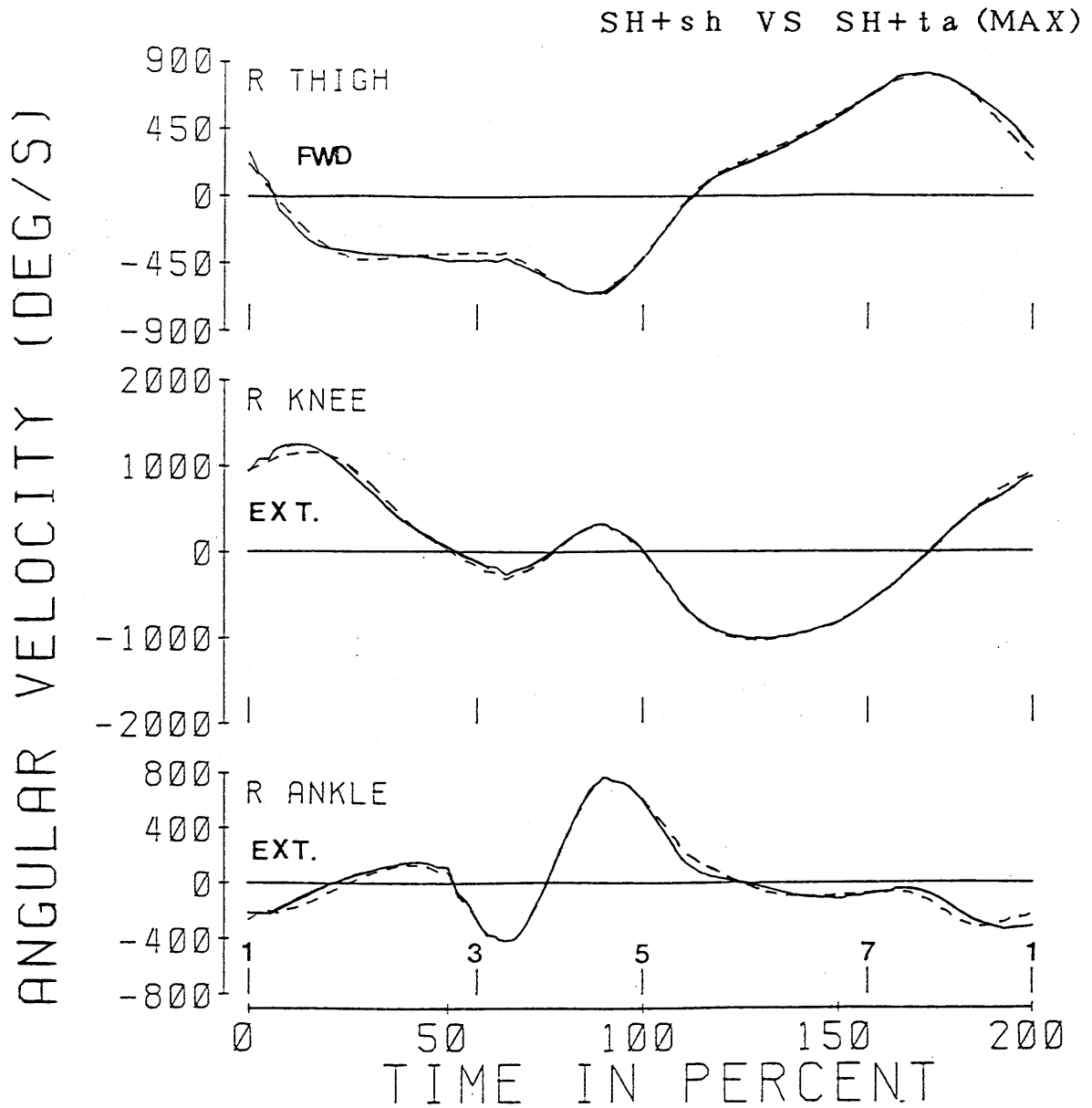


図8-15 シミュレーションから得た走者SHの全速走における右脚の大腿、膝関節、足関節の角速度の変化(実線：走フォームsh, 破線：走フォームta)  
1~3: 回復後期, 3~5: 支持期, 5~7: 回復前期, 7~1: 回復中期.

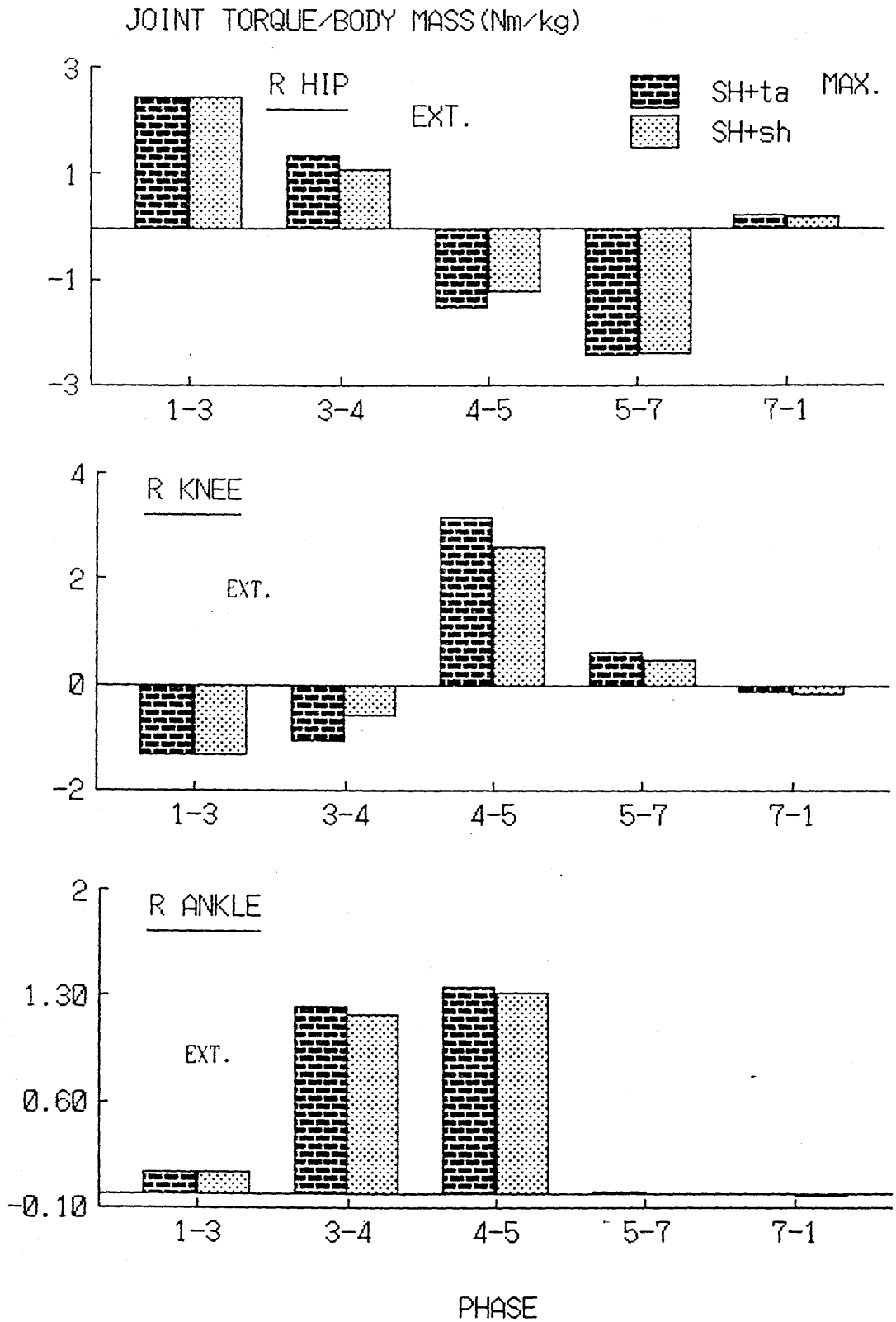


図8-16 シミュレーションから得た走者SHの全速疾走中の各局面における股関節、膝関節、足関節の平均トルク(走フォームta, sh).  
 1~3:回復後期, 3~4:支持期前半, 4~5:支持期後半, 5~7:回復前期, 7~1:回復中期.

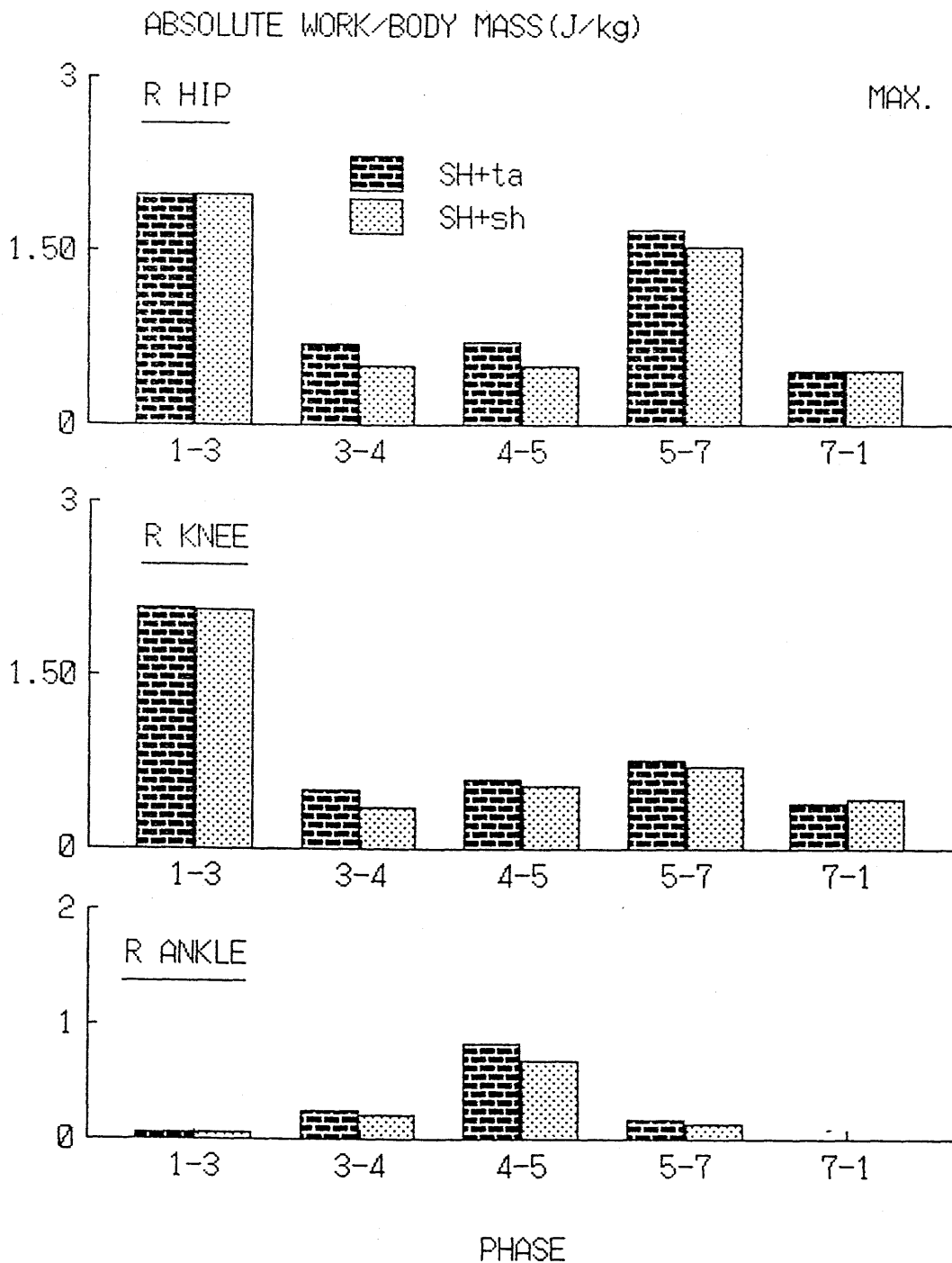


図8-17 シミュレーションから得た走者SHの全速疾走中の各局面における股関節、膝関節、足関節筋群の絶対仕事（走フォームta, sh）  
 1~3：回復後期，3~4：支持期前半，4~5：支持期後半，5~7：回復前期，7~1：回復中期。

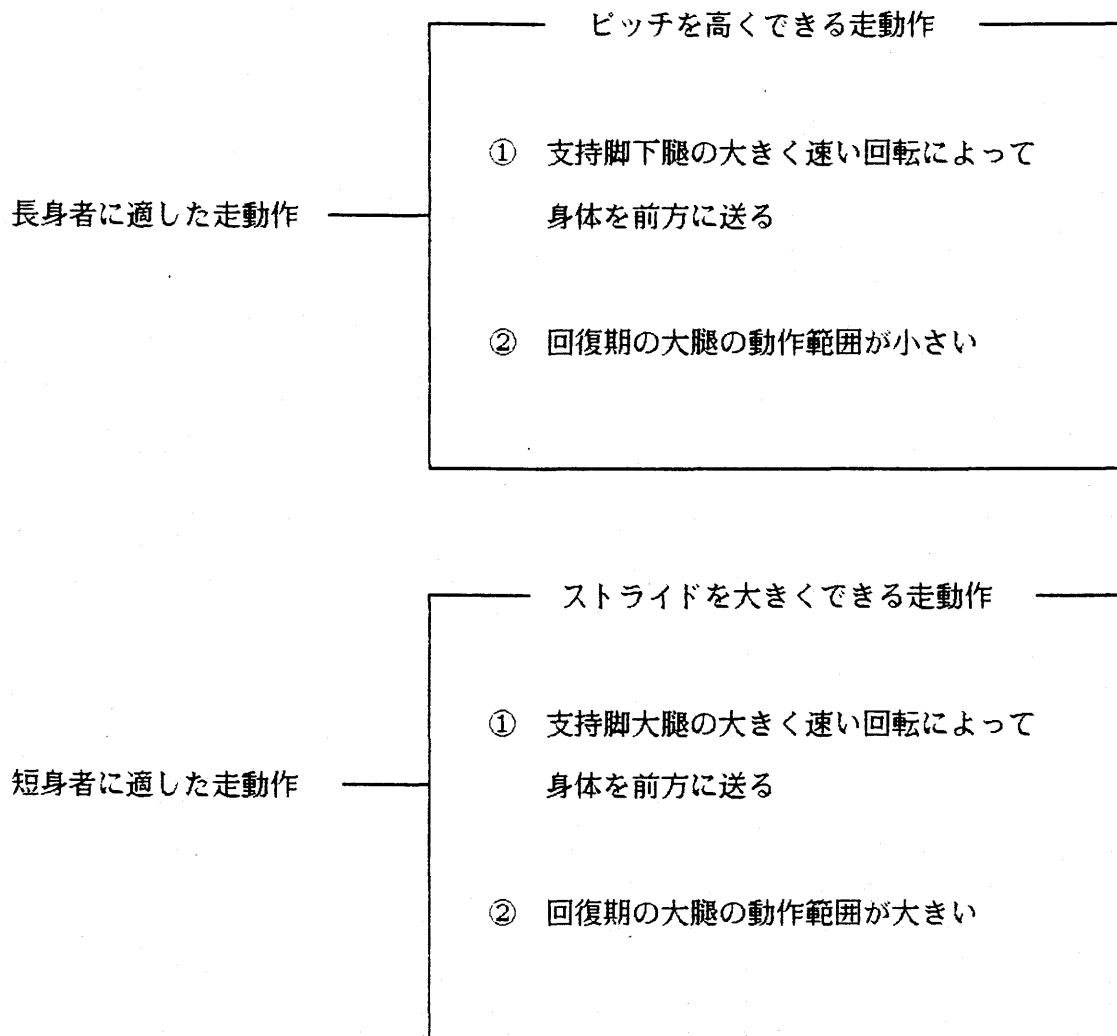


図8-18 長身者、短身者の形態に適した走動作の特徴

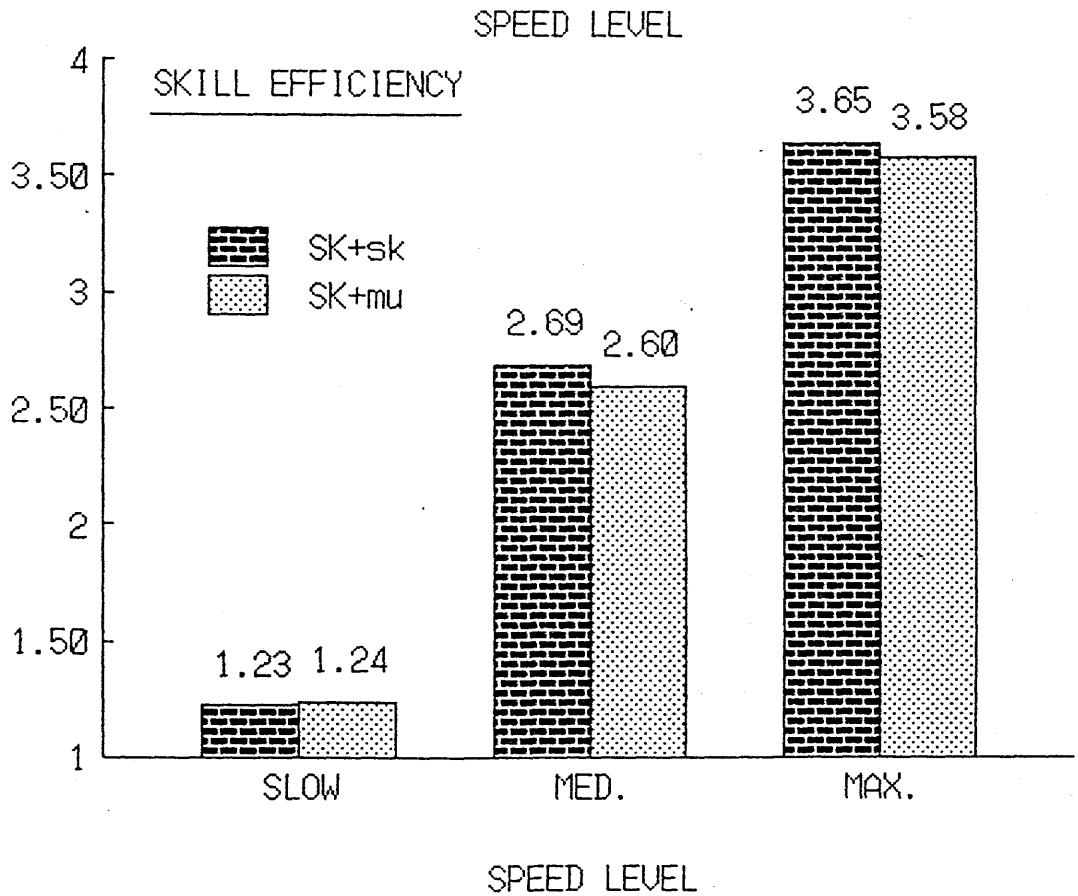
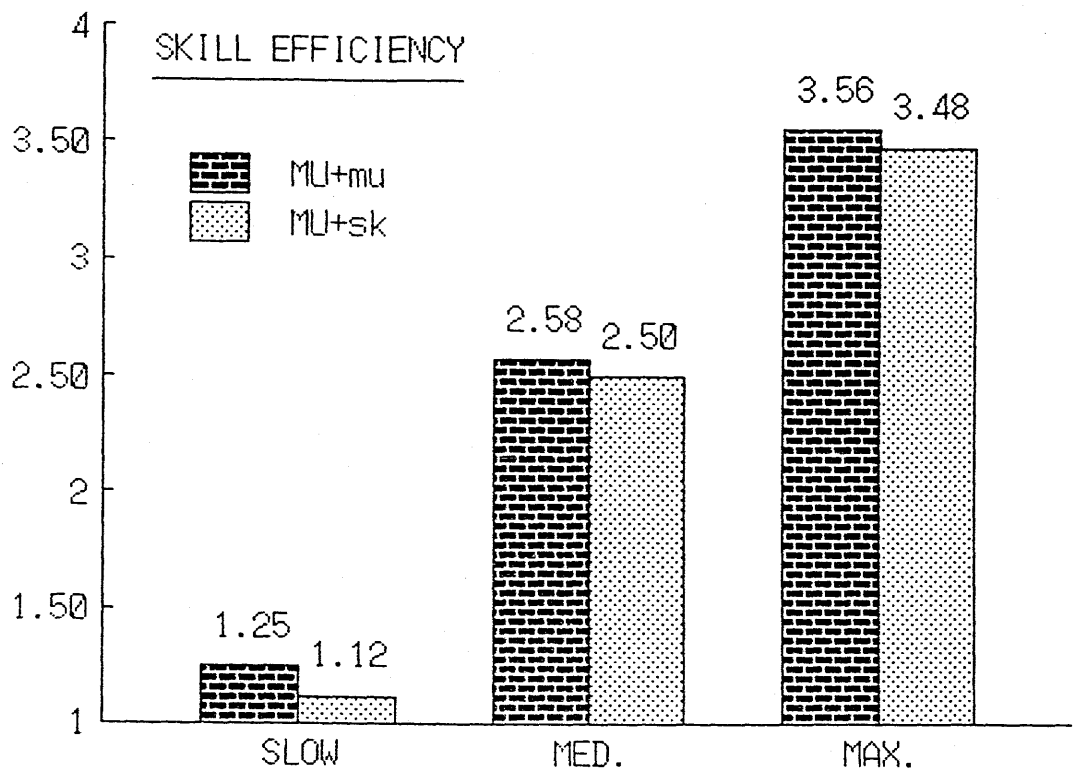


図8-19 (a) シミュレーションから得た各速度段階における、走者MU, SKの走の技能効率(走フォームmu, sk)

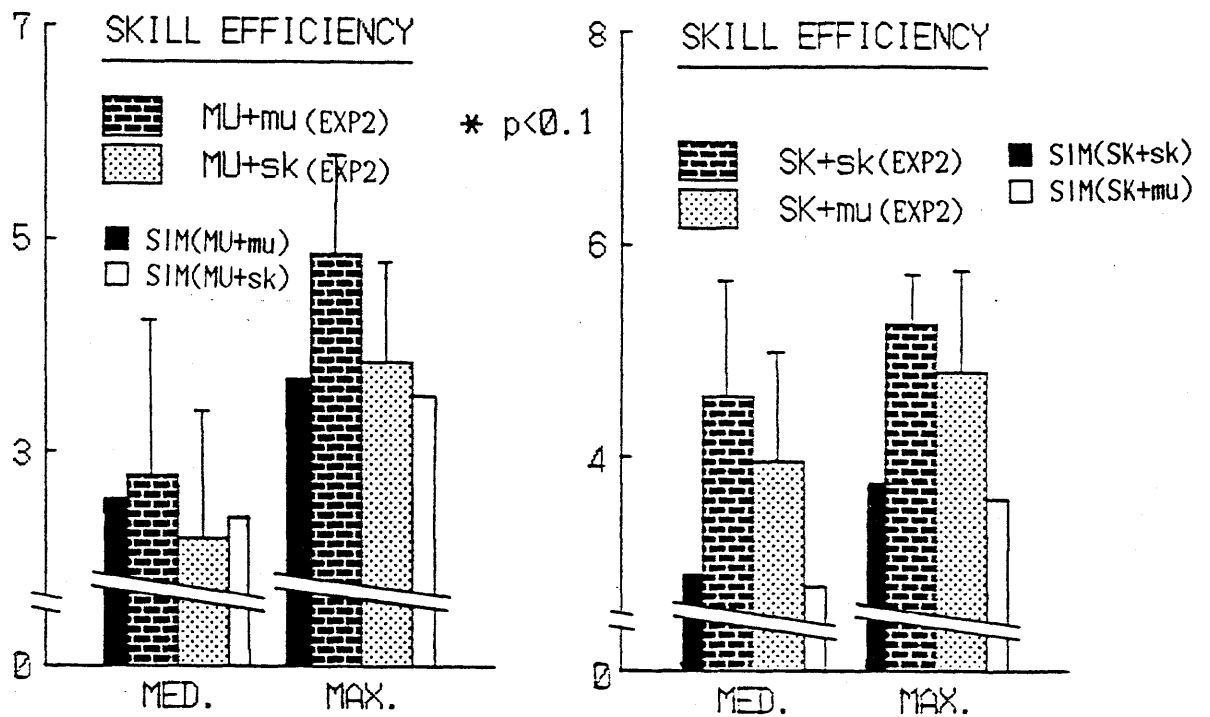


図8-19 (b) 実験2 (EXP2) から得た各速度段階におけるMU群 (N=4), SK群 (N=4) の技能効率 (走フォーム  $\mu$ ,  $s_k$ ) .  
ただし, シミュレーションから得た値 (SIM) も併記した.

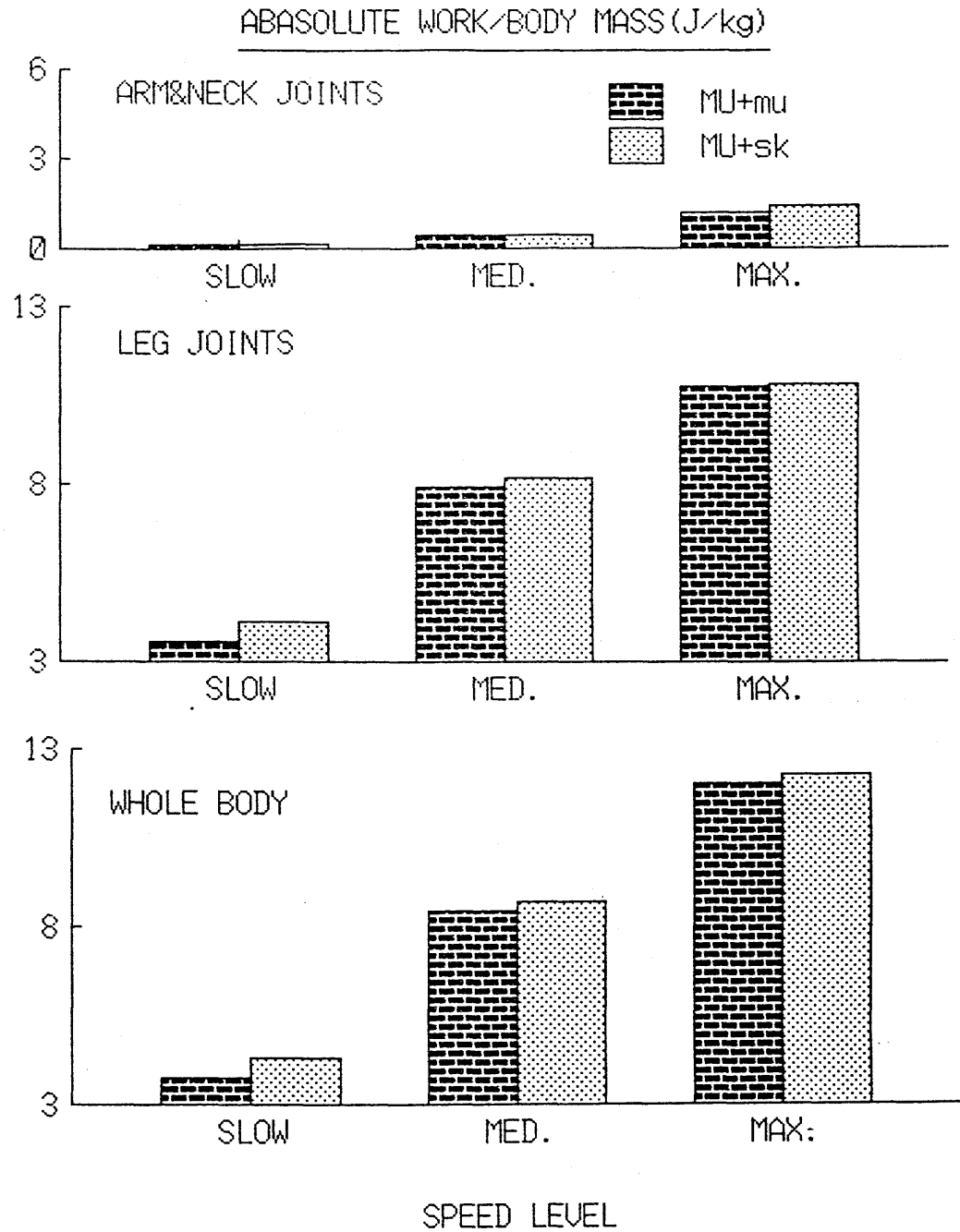


図8-20 シミュレーションから得た各速度段階の走における、走者MUの腕と頸部、脚、全身の関節筋群の絶対仕事（走フォーム $\mu, sk$ ）



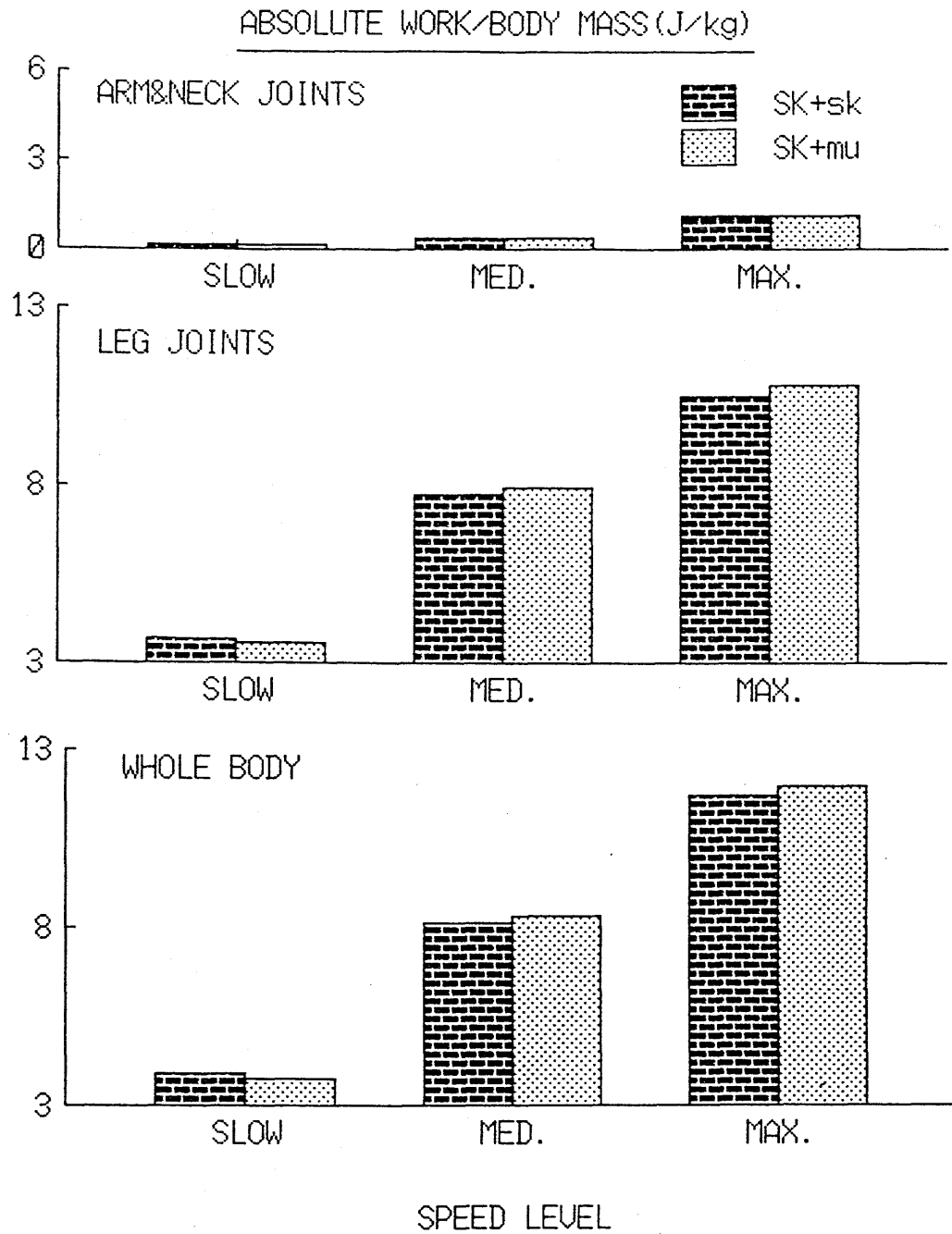


図8-21 シミュレーションから得た各速度段階の走における、走者SKの腕と頸部、脚、全身の関節筋群の絶対仕事（走フォームmu, sk）

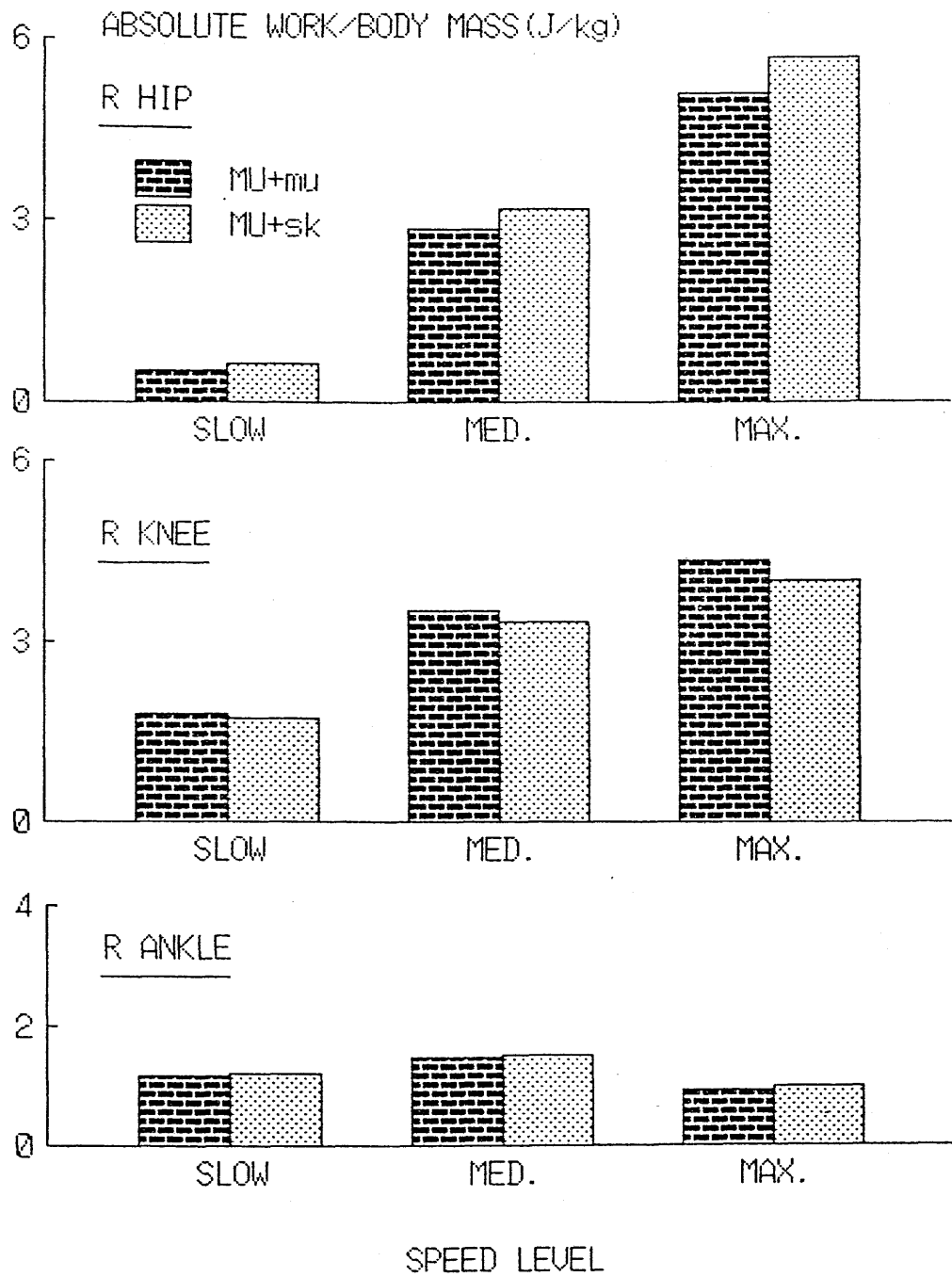


図8-22 シミュレーションから得た走者MUの各速度段階の走における脚の各関節筋群の絶対仕事(走フォームmu, sk)

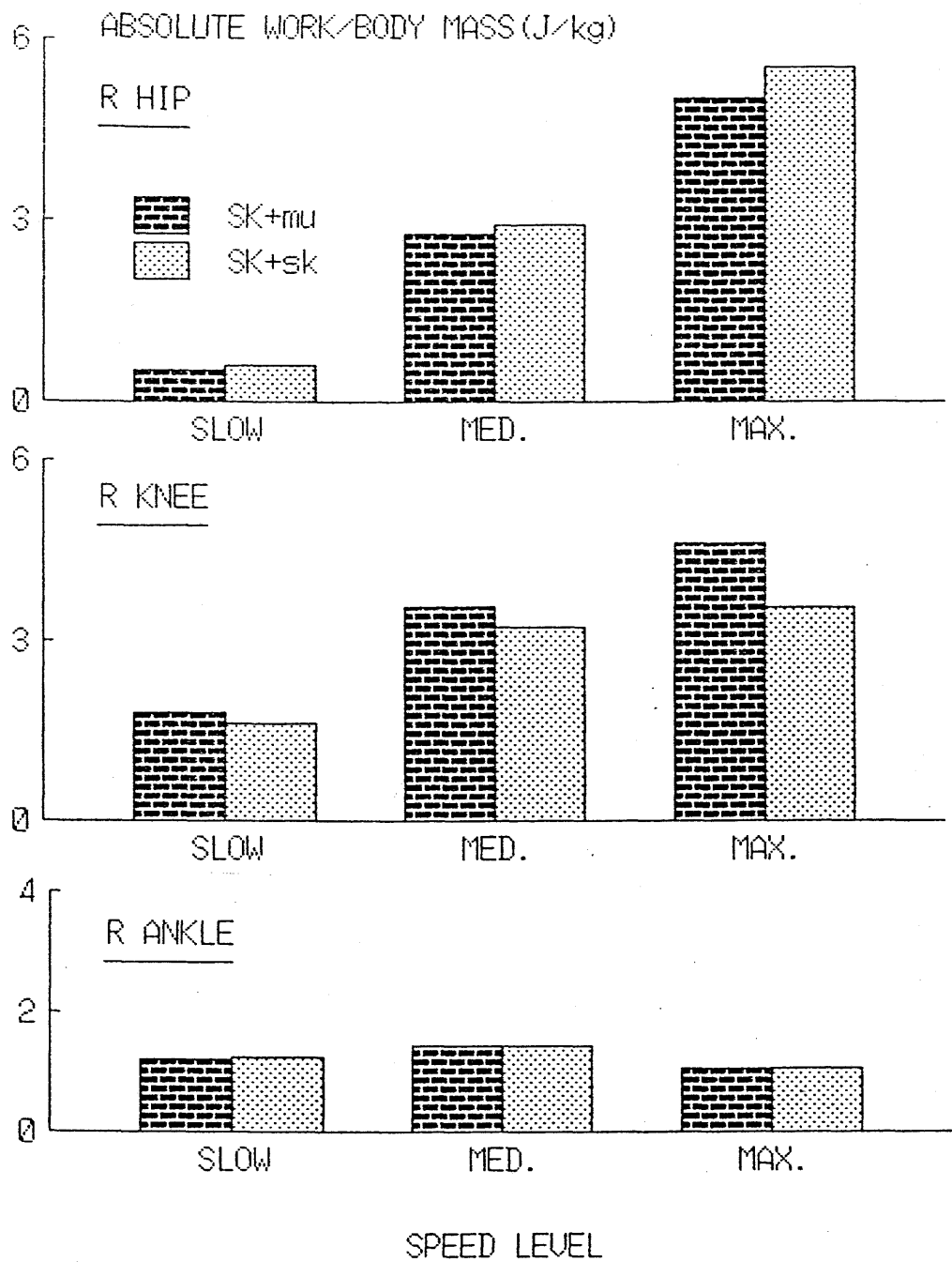


図8-23 シミュレーションから得た走者SKの各速度段階の走における脚の各関節筋群の絶対仕事（走フォームmu, sk）

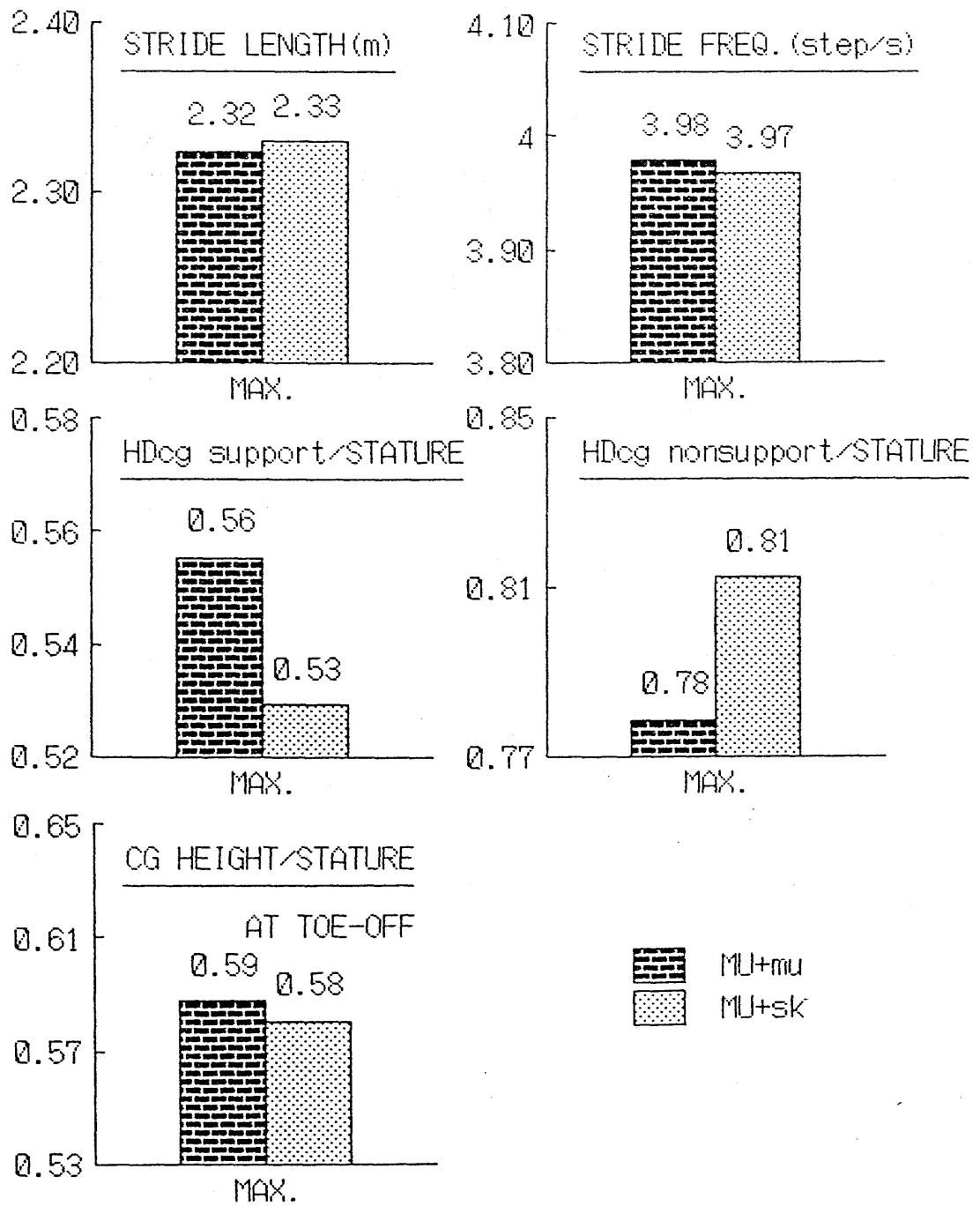


図8-24 (a) シミュレーションから得た走者MUの全速走におけるストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量（走フォーム $\mu$ ,  $s k$ ）

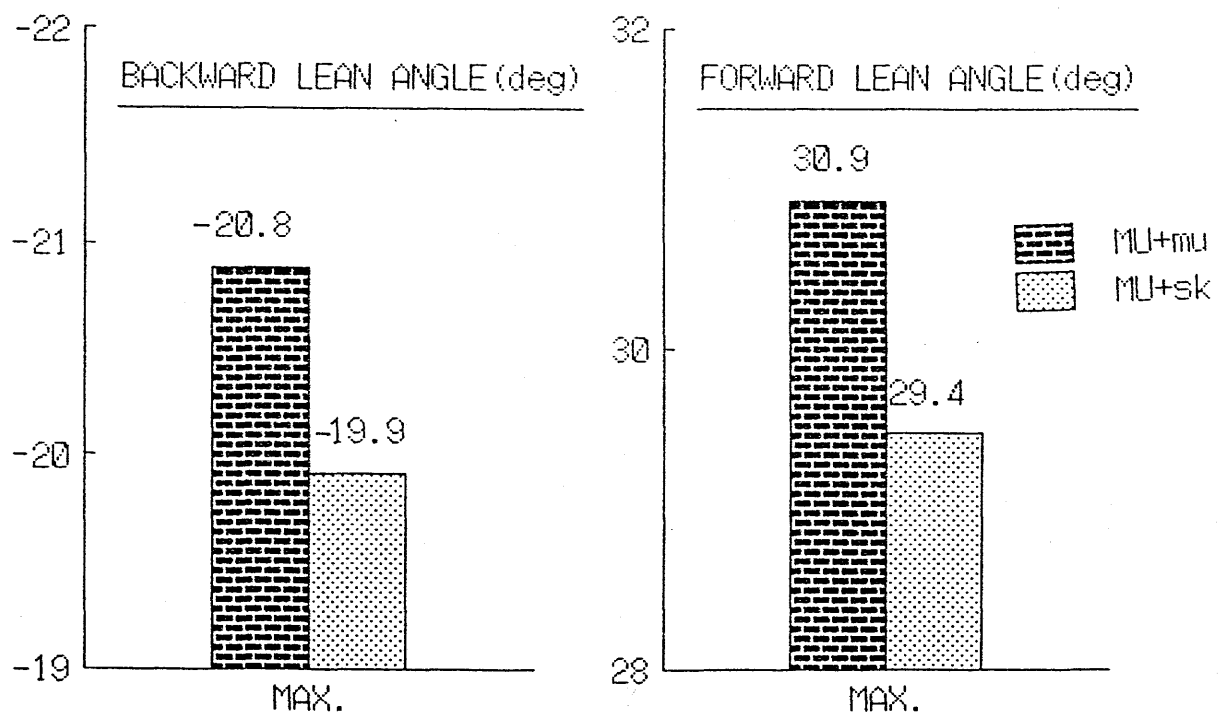


図8-24 (b) シミュレーションから得た走者MUの全速走におけるストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量(走フォーム $\mu$ ,  $s_k$ ) (続き)

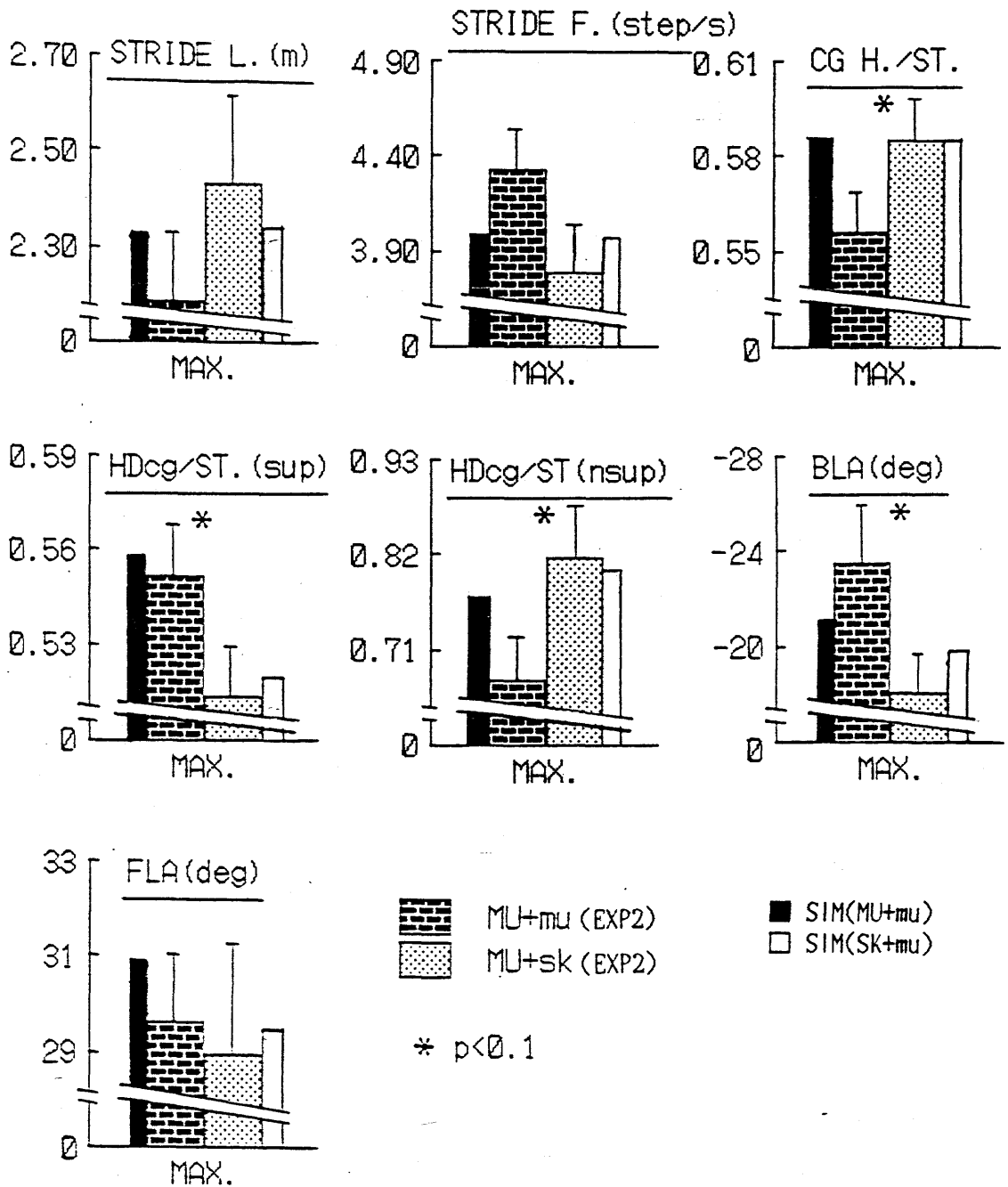
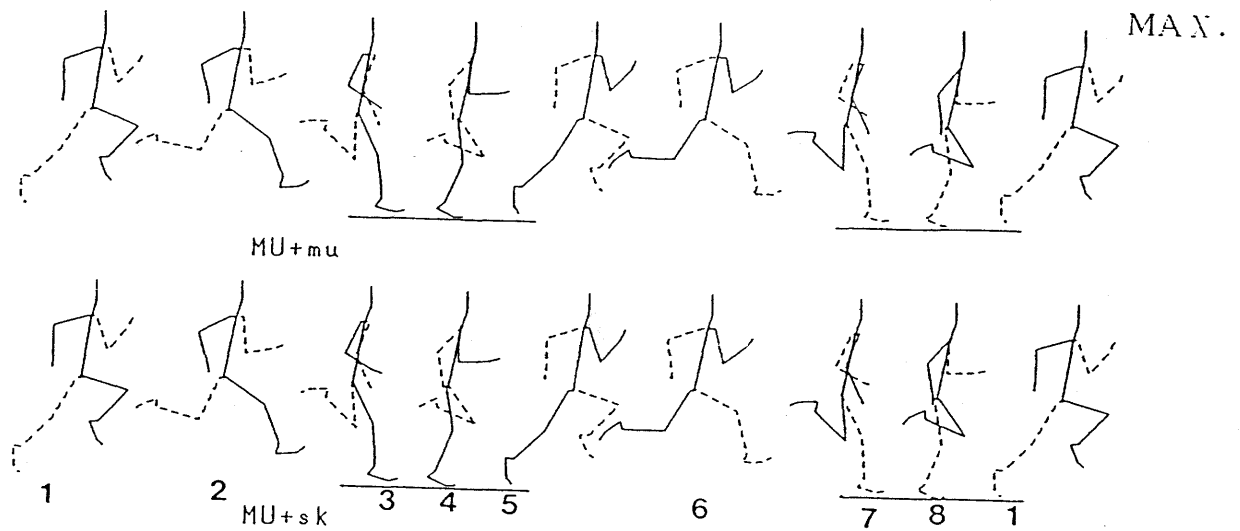
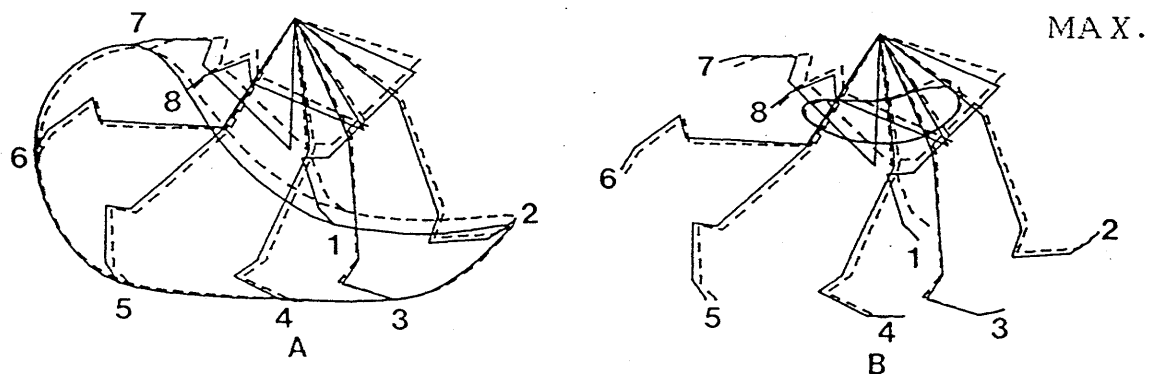


図8-25 実験2(EXP2)から得たMU群(N=4)の全速走におけるストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量(走フォーム $\mu$ ,  $sk$ )。ただし、シミュレーションから得た値(SIM)も併記した。



(a) 走フォーム



(b) 右脚の動き (実線：走フォームmu, 破線：走フォームsk)

図8-26 シミュレーションから得た走者MUの全速走における走フォームおよび右脚の動きのスティックピクチャー (走フォームmu, sk)  
 1:左足離地, 2:右足振り戻し開始, 3:右足接地, 4:右足支持期中間点, 5:右足離地, 6:右足フォロースルー終了, 7:左足接地, 8:左足支持期中間点.

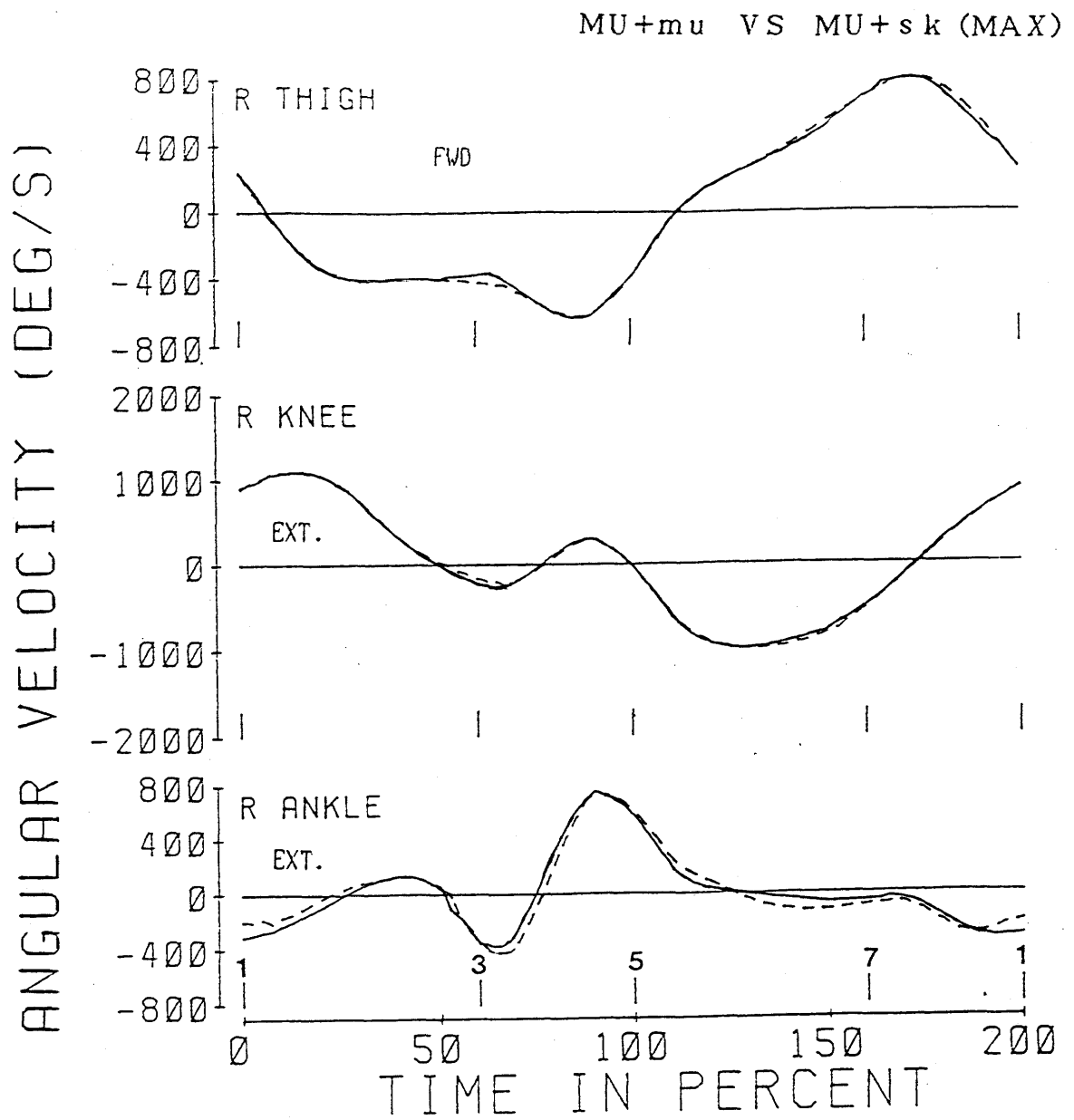


図8-27 シミュレーションから得た走者MUの全速走における右脚の大腿，膝関節，足関節の角速度の変化(実線：走フォームmu，破線：走フォームsk)  
 1~3：回復後期，3~5：支持期，5~7：回復前期，7~1：回復中期。



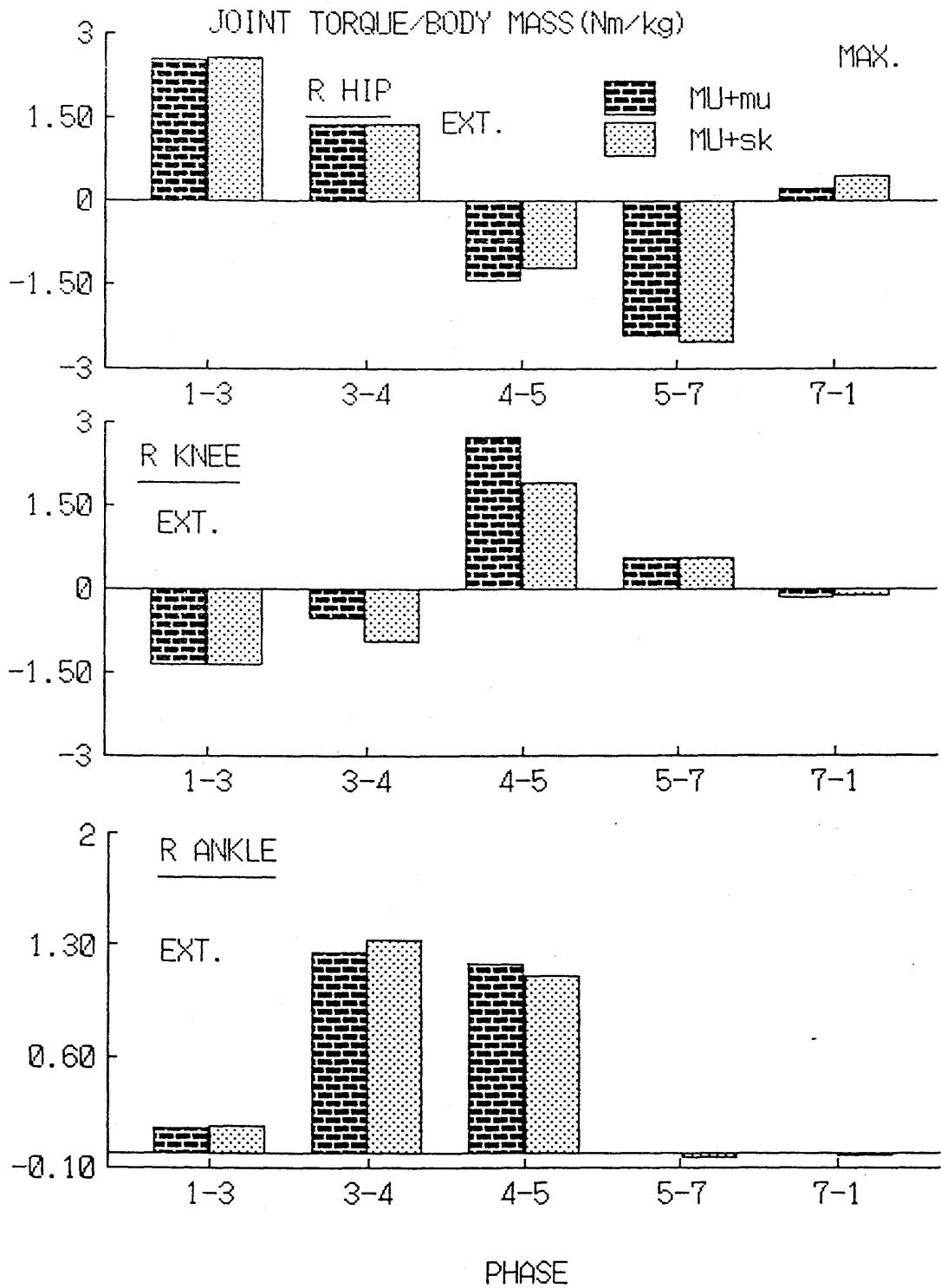


図8-28 シミュレーションから得た走者MUの全速疾走中の各局面における股関節、膝関節、足関節の平均トルク（走フォームmu, sk）  
 1~3：回復後期，3~4：支持期前半，4~5：支持期後半，5~7：回復前期，7~1：回復中期。

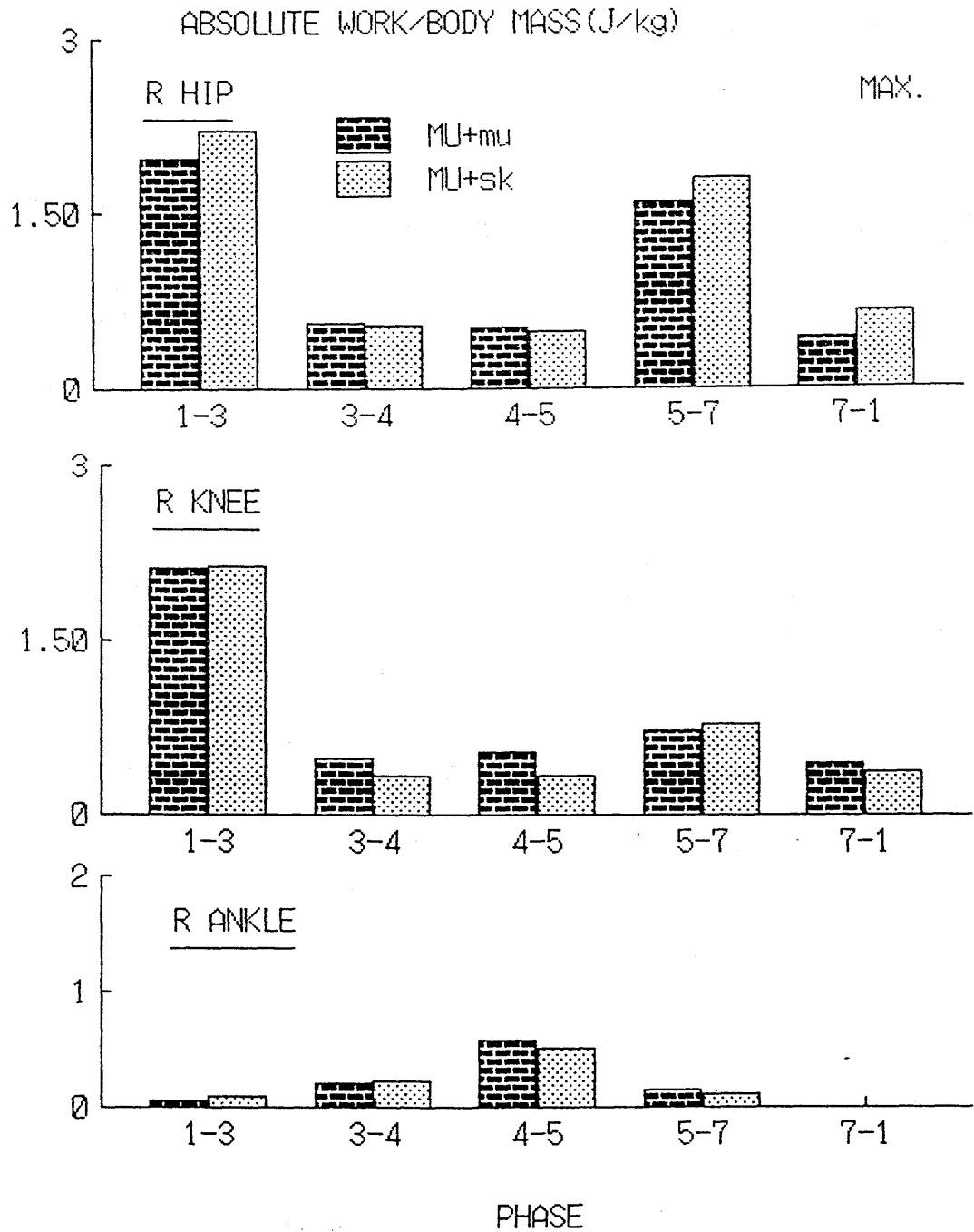


図8-29 シミュレーションから得た走者MUの全速疾走中の各局面における股関節、膝関節、足関節筋群の絶対仕事(走フォームmu, sk)  
 1~3:回復後期, 3~4:支持期前半, 4~5:支持期後半, 5~7:回復前期, 7~1:回復中期.

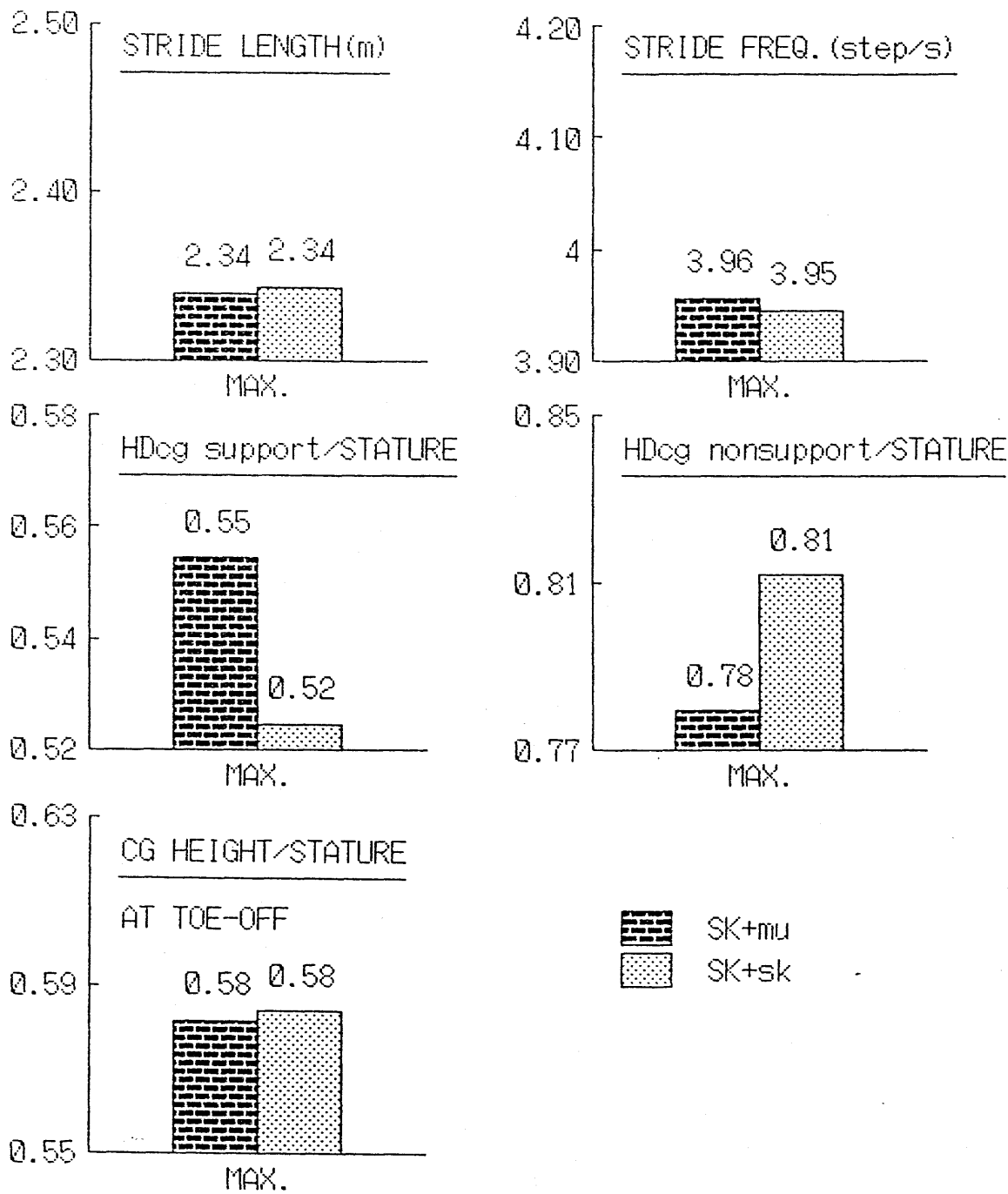


図8-30 (a) シミュレーションから得た走者SKの全速走におけるストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量（走フォーム $\mu$ ,  $s_k$ ）

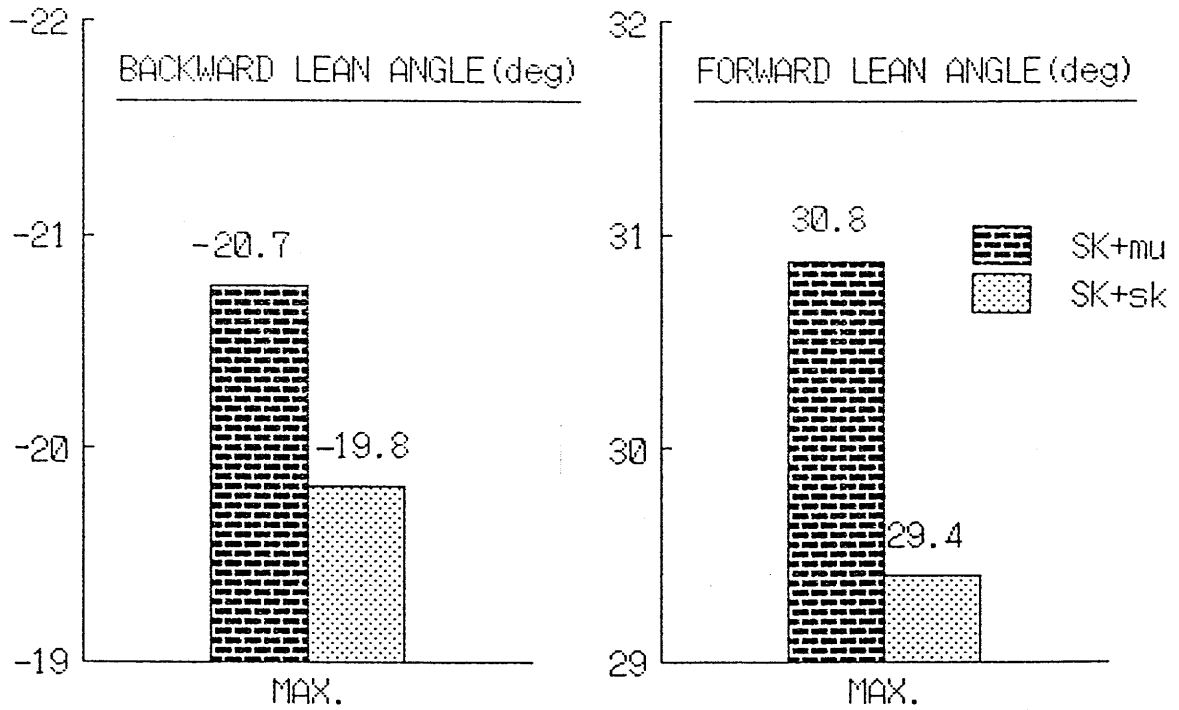


図8-30 (b) シミュレーションから得た走者SKの全速走におけるストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量(走フォーム $\mu$ ,  $s_k$ ) (続き)

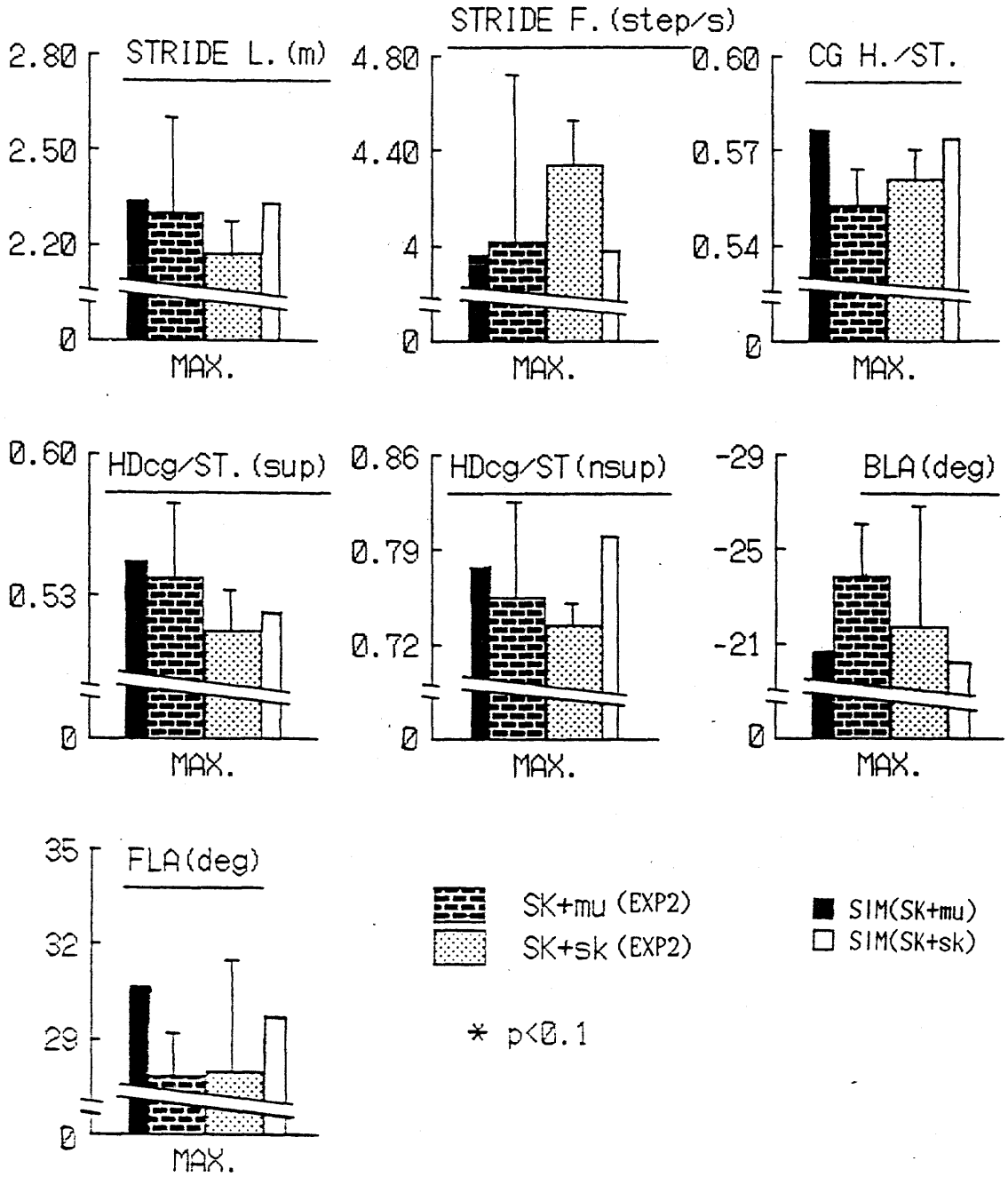
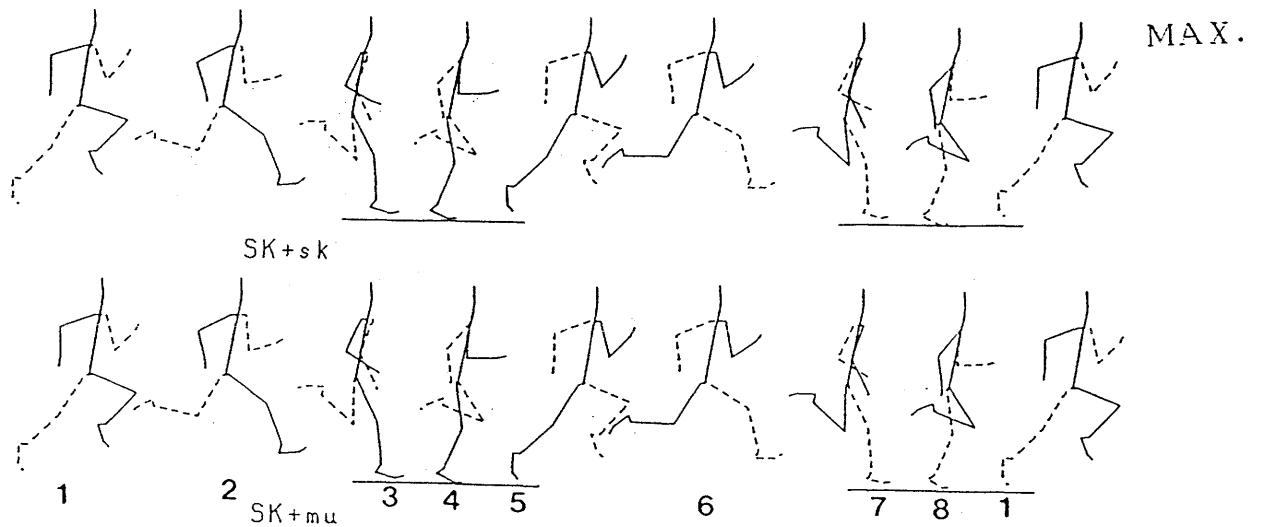
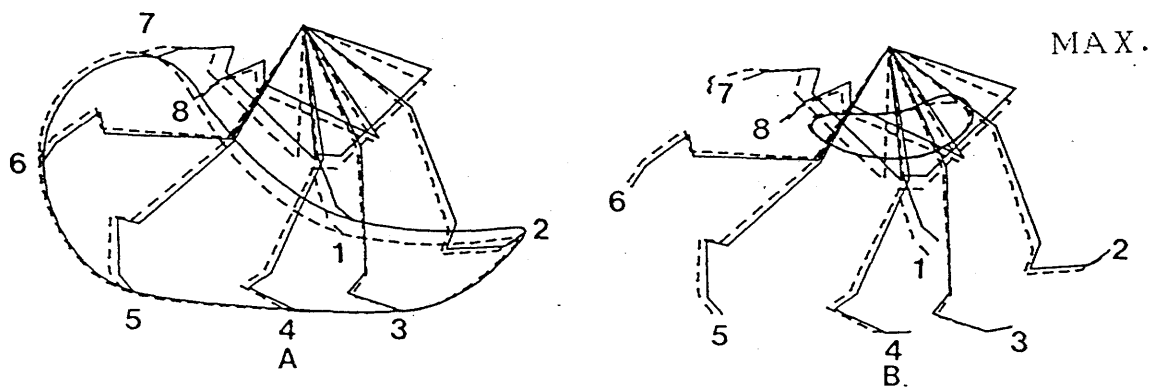


図8-31 実験2 (EXP2)から得たSK群(N=4)の全速走におけるストライド、ピッチ、およびこれらに関連した変量(走フォーム $\mu$ ,  $s_k$ )。ただし、シミュレーションから得た値(SIM)も併記した。



(a) 走フォーム



(b) 右脚の動き (実線: 走フォームsk, 破線: 走フォームmu)

図8-32 シミュレーションから得た走者SKの全速走における走フォームおよび右脚の動きのスティックピクチャー (走フォームmu, sk)  
 1: 左足離地, 2: 右足振り戻し開始, 3: 右足接地, 4: 右足支持期中間点, 5: 右足離地, 6: 右足フォロースルー終了, 7: 左足接地, 8: 左足支持期中間点.

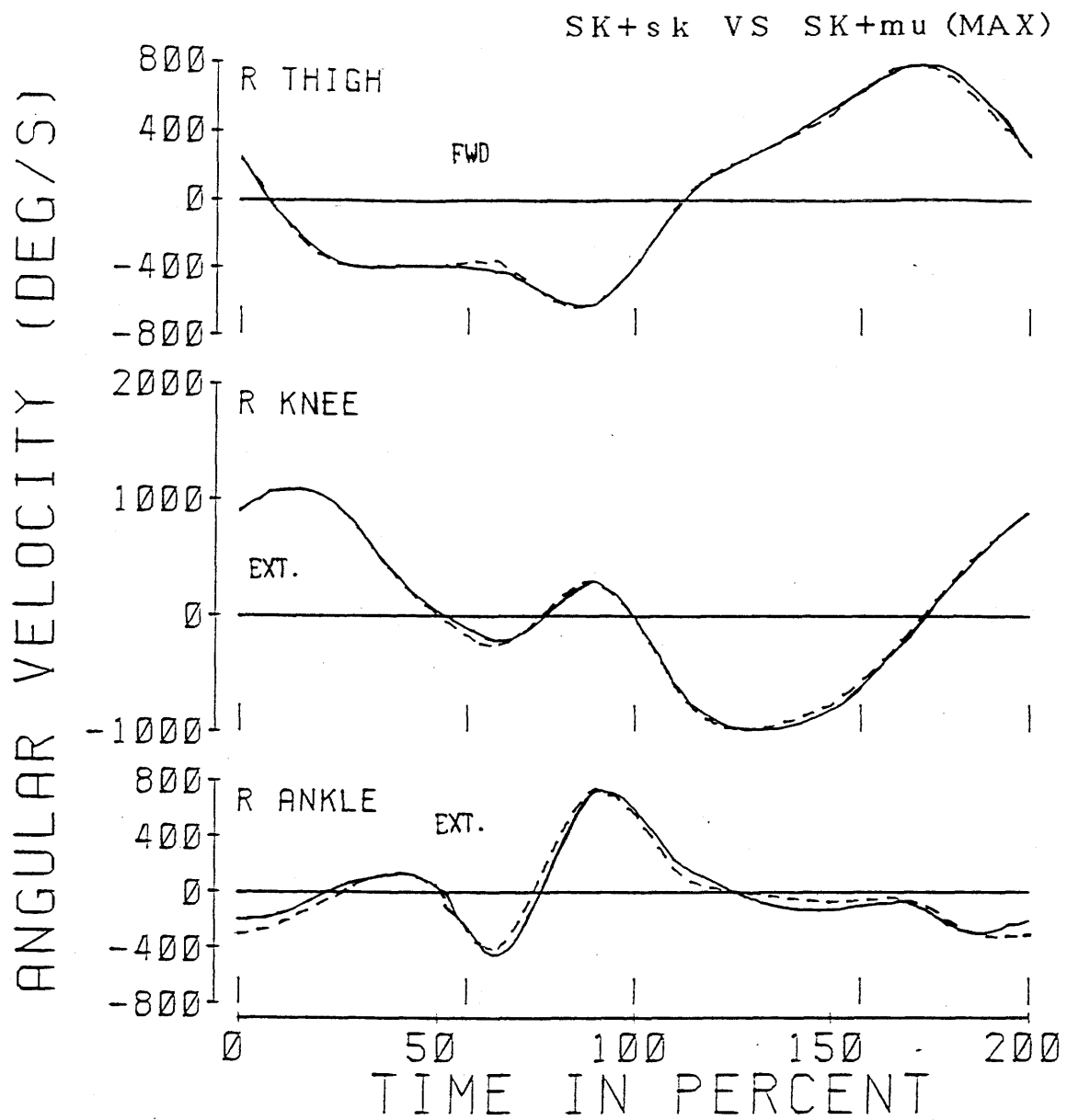


図8-33 シミュレーションから得た走者SKの全速走における右脚の大腿、膝関節、足関節の角速度の変化（実線：走フォームsk，破線：走フォームmu）  
 1~3：回復後期，3~5：支持期，5~7：回復前期，7~1：回復中期。

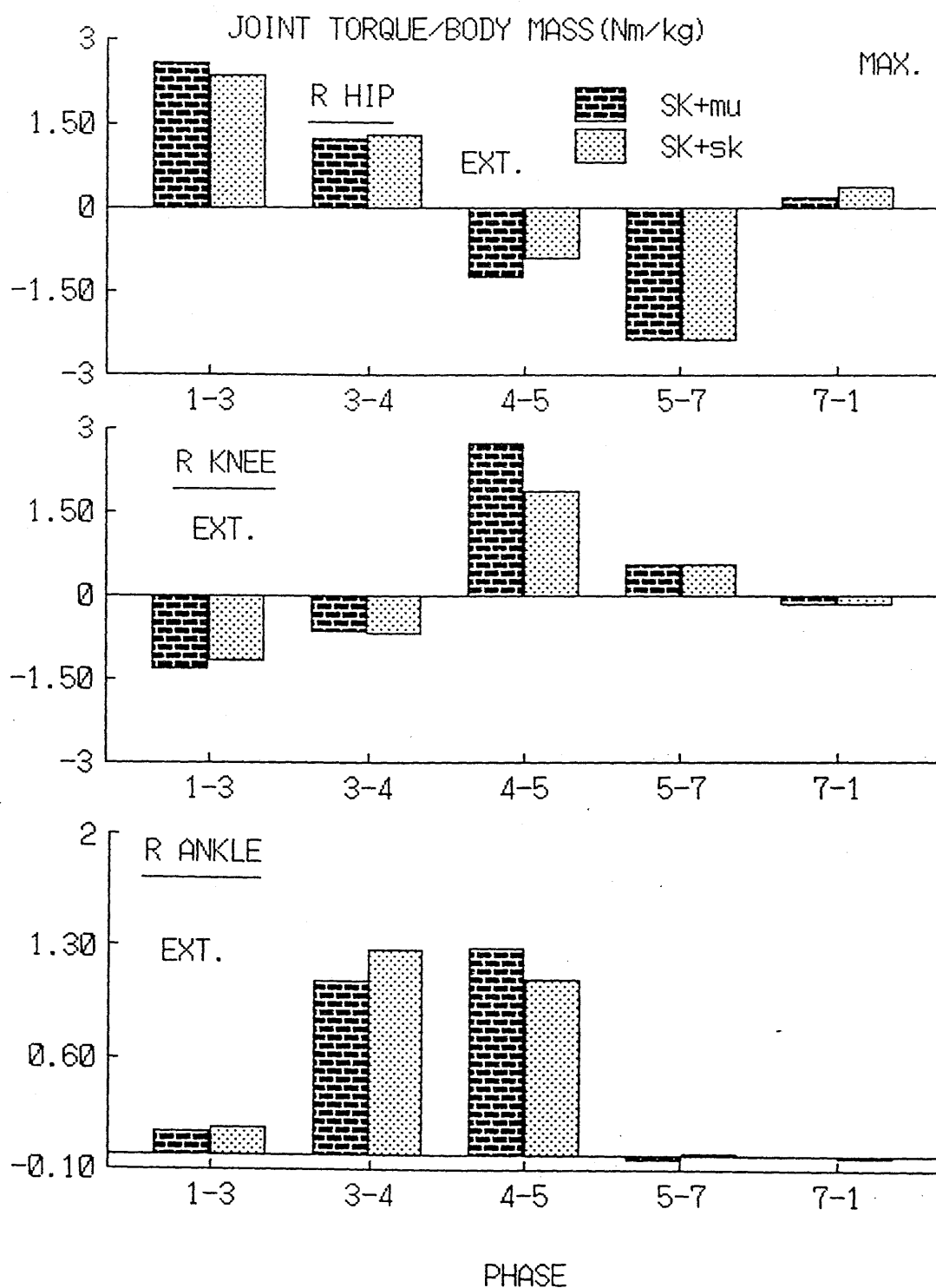


図8-34 シミュレーションから得た走者SKの全速疾走中の各局面における股関節、膝関節、足関節の平均トルク(走フォームmu, sk)  
 1~3:回復後期, 3~4:支持期前半, 4~5:支持期後半, 5~7:回復前期, 7~1:回復中期.



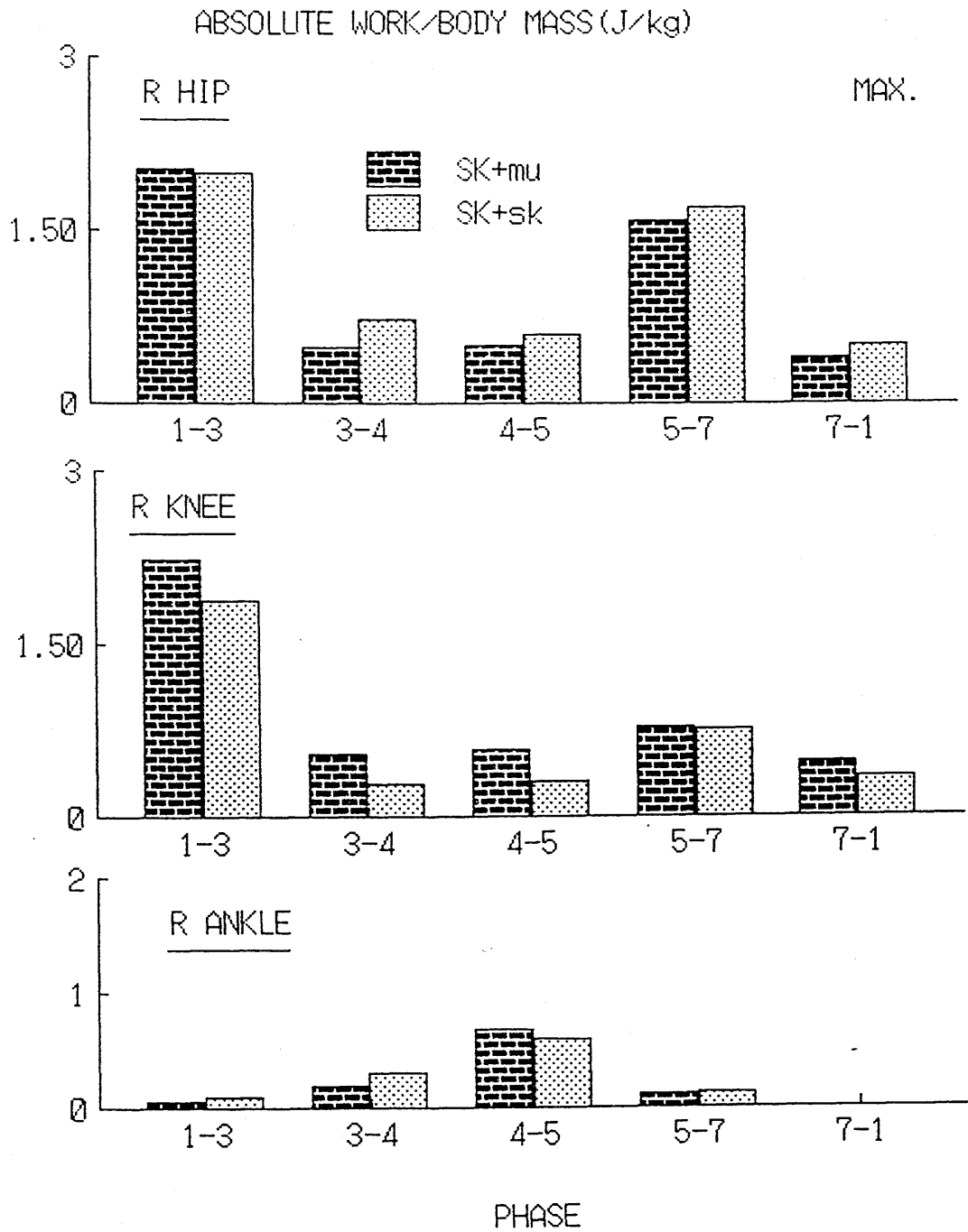


図8-35 シミュレーションから得た走者SKの全速疾走中の各局面における股関節、膝関節、足関節筋群の絶対仕事(走フォームmu, sk) 1~3:回復後期, 3~4:支持期前半, 4~5:支持期後半, 5~7:回復前期, 7~1:回復中期。

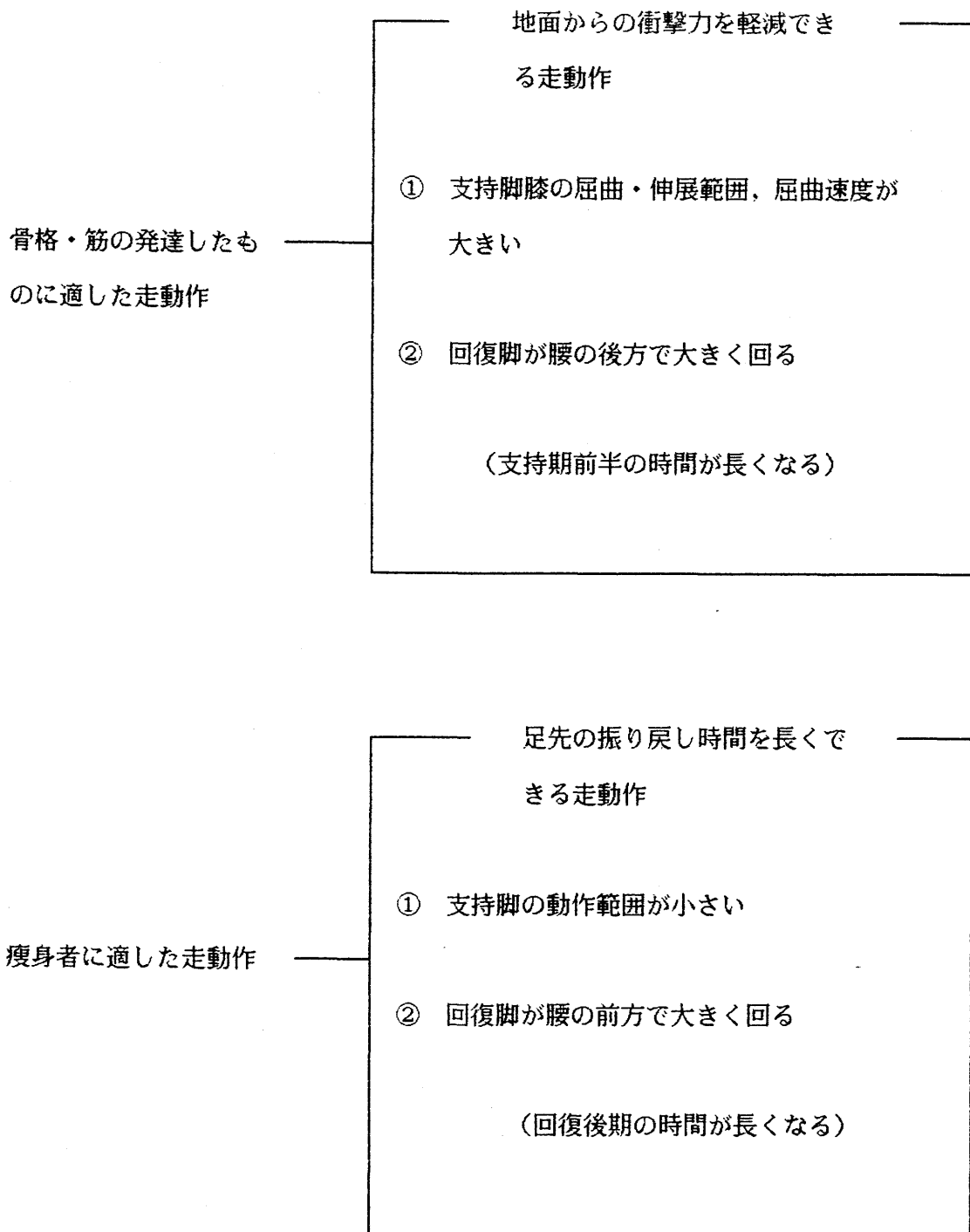


図8-36 骨格・筋の発達したもの、痩身者の形態に適した走動作の特徴

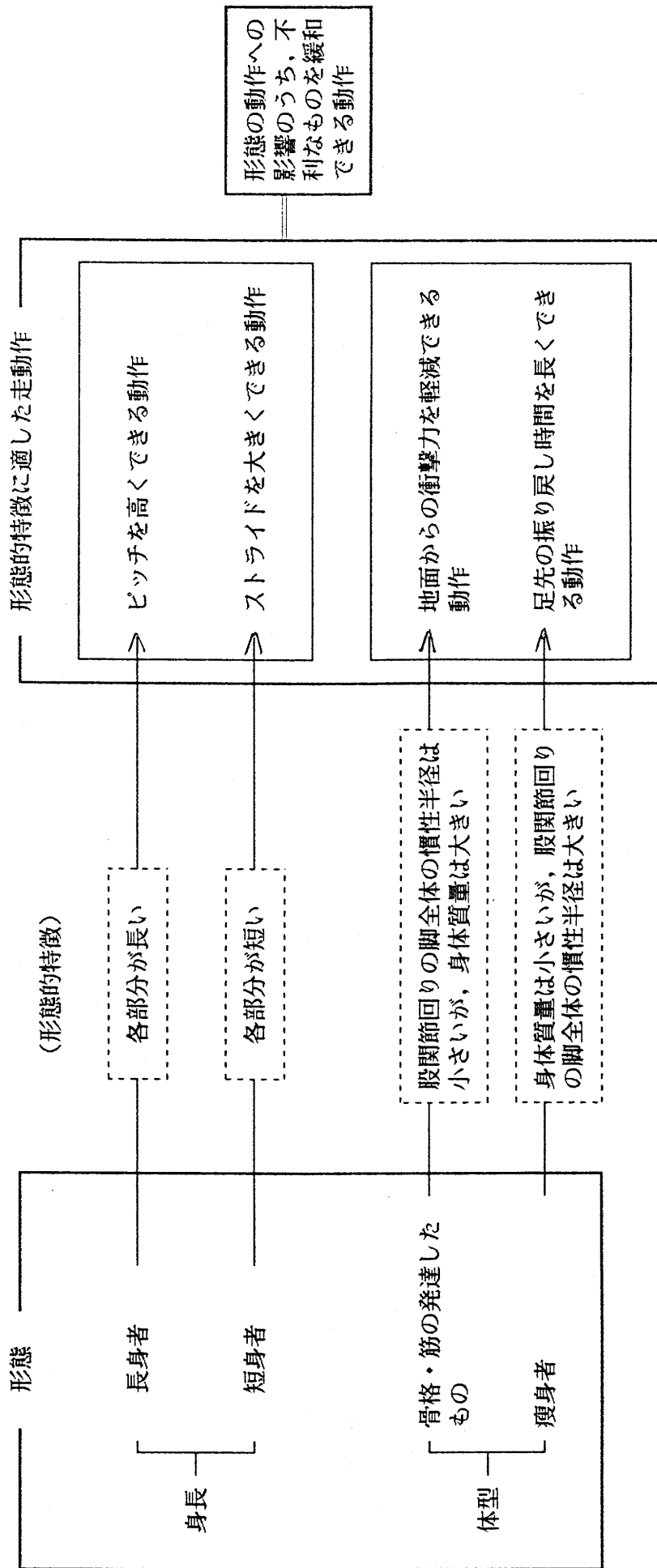


図8-37 形態的特徴に適した走動作に関する模式図

表

表 2-1 ディメンジョン的にみた身長と、走速度、ストライド、ピッチとの関係  
 (Hill, 1950<sup>4)</sup> ; Asmussen and Nielsen, 1955)<sup>9)</sup>

$$\text{身長} = L \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{変位} \propto L \quad \dots\dots(2)$$

$$\text{筋力} \propto L^2 \quad \dots\dots(3)$$

$$\text{質量} \propto L^3 \quad \dots\dots(4)$$

加速度 = 変位 / (時間)<sup>2</sup> = 筋力 / 質量なので、式(1), (2), (3), (4) より、

$$\text{時間} \propto (L^3 \cdot L / L^2)^{1/2} = L \quad \dots\dots(5)$$

式(2), (5) より、

$$\text{速度} = \text{変位} / \text{時間} \propto L / L = 1$$

また、

$$\text{ストライド} \propto \text{変位} \propto L$$

$$\text{ピッチ} \propto 1 / \text{時間} \propto 1 / L$$

表2-2 身体各部分の重量、重心位置を推定するための回帰式  
(Clauser, et al., 1969)<sup>27)</sup>

(a) Weight of Segment

Segment	Regression equation	Standard error of estimation
Head	$=0.104(\text{Head C})+0.015(\text{W})-2.189$	0.17
Trunk	$=0.149(\text{W})+0.423(\text{Trunk L})$ $+0.229(\text{Chest C})-35.46$	0.92
Upper arm	$=0.007(\text{W})+0.092(\text{Arm C})$ $+0.05(\text{Acromion-Radiale L})$ $-3.101$	0.09
Forearm	$=0.081(\text{Wrist C})+0.052(\text{Forearm C})$ $-1.65$	0.06
Hand	$=0.029(\text{Wrist C})+0.075(\text{Wrist B})$ $+0.031(\text{Hand B})-0.746$	0.02
Thigh	$=0.074(\text{W})+0.123(\text{Upper thigh C})$ $+0.027(\text{Iliac crest fat})-4.216$	0.43
Calf	$=0.111(\text{Calf C})+0.047(\text{Tibiale H})$ $+0.074(\text{Ankle C})-4.208$	0.08
Foot	$=0.003(\text{W})+0.048(\text{Ankle C})$ $+0.027(\text{Foot L})-0.869$	0.04

B=Breadth, C=Circumference, H=Height, L=Length, W=Body weight  
Weight in kilograms, body fat in millimeters, all other  
dimensions in centimeters.

(b) Location of Center of Gravity of Segment

Segment	Regression equation	Standard error of estimation
Head (CG-Vertex)	$=0.246(\text{Head C})+0.159(\text{H of Head})$ $-6.711$	0.55
Trunk (CG-Suprasternale)	$=0.471(\text{Bi-spinous B})+0.166(\text{Trunk L})$ $-0.058(\text{Iliac crest fat})+1.683$	0.61
Upper arm (CG-Acromino)	$=0.329(\text{Humerous-Radiale L})-0.25$ $(\text{Arm C})+2.872(\text{Elbow B})-6.168$	0.72
Forearm (CG-Radiale)	$=0.44(\text{Radiale-Styilion L})+0.761$ $(\text{Wrist B})-5.645$	0.51
Hand (CG-Meta III)	$=0.657(\text{Wrist B})-0.202(\text{Hand C})$ $+2.13$	0.37
Thigh (CG-Torchanter)	$=0.227(\text{Torchanter H})+0.989(\text{Knee B})$ $-0.033(\text{Iliac crest fat})-13.362$	0.49
Calf (CG-Tibiale)	$=0.309(\text{Tibia H})-0.558(\text{Knee B})+5.786$	0.43
Foot (CG-Heel)	$=0.153(\text{Foot L})+0.137(\text{Ankle C})$ $+0.444(\text{Lateral Malleolus H})+1.403$	0.25

B=Breadth, C=Circumference, H=Height, W=Body weight,  
CG=Center of gravity  
Weight in kilograms, body fat in millimeters, all other dimensions  
in centimeters

表2-3 Chandler et al. (1975) のデータから作成した各部分の慣性モーメントを推定する回帰式(Hinrichs, 1985)<sup>42)</sup>

(a) : 回帰式,

(b) : 回帰式における独立変数の説明とChandler et al. (1975) の用いた屍体におけるその範囲

(a)

(b)

	$R^2$
Head	
$I_T = I_L = 24.114(\text{HEADC}) - 1200.4$	0.908
$= 25.102(\text{HEADC}) - 6.4805(\text{HEADL}) - 1122.6$	0.964
Torso	
$I_T = 1098.3(\text{TORSL}) - 59448.0$	0.874
$= 754.38(\text{TORSL}) + 241.94(\text{CHSTC}) - 59445.0$	0.984
$= 707.62(\text{TORSL}) + 302.71(\text{WASTC}) - 58455.0$	0.990
$I_L = 173.73(\text{CHSTC}) - 12623.0$	0.858
$= 206.61(\text{WASTC}) - 13339.0$	0.909
Upper arm	
$I_T = 13.443(\text{ACRDL}) - 310.99$	0.882
$= 13.264(\text{ACRDL}) + 1.8217(\text{AXARC}) - 360.79$	0.974
$= 12.687(\text{ACRDL}) + 2.1155(\text{BICPC}) - 349.16$	0.988
$= 10.268(\text{ACRDL}) + 5.0655(\text{ELBOC}) - 349.71$	0.992
$I_L = 2.1744(\text{BICPC}) - 42.810$	0.924
$= 4.3701(\text{ELBOC}) - 102.63$	0.957
$= 2.6797(\text{ELBOC}) + 0.94597(\text{BICPC}) - 82.643$	0.989
$= 1.3707(\text{ACRDL}) + 2.0758(\text{BICPC}) - 85.725$	0.996
Forearm	
$I_T = 8.2423(\text{ELBOC}) - 171.09$	0.648
$= 5.5319(\text{FARMC}) + 8.0066(\text{RDSTL}) - 298.94$	0.865
$= 9.5544(\text{WRISC}) + 10.452(\text{RDSTL}) - 371.11$	0.904
$I_L = 2.2490(\text{ELBOC}) - 55.691$	0.855
$= 1.7060(\text{FARMC}) - 39.014$	0.875
$= 1.7258(\text{FARMC}) + 0.92023(\text{RDSTL}) - 63.602$	0.964
Hand	
$I_T = 2.7501(\text{STMCL}) - 15.968$	0.788
$= 1.2064(\text{HANDC}) - 19.059$	0.824
$= 2.7443(\text{HANDB}) - 16.832$	0.891
$I_L = 1.3703(\text{STMCL}) - 9.2416$	0.796
$= 1.3387(\text{HANDB}) - 9.4514$	0.862
$= 0.62016(\text{HANDC}) - 11.185$	0.886
Thigh	
$I_T = 326.80(\text{KNEEB}) - 2279.2$	0.598
$= 90.039(\text{THIGL}) + 45.439(\text{UTHIC}) - 5093.3$	0.875
$= 78.072(\text{THIGL}) + 37.800(\text{MTHIC}) - 3960.5$	0.881
$= 80.589(\text{THIGL}) + 381.74(\text{KNEEB}) - 6525.7$	0.944
$I_L = 16.958(\text{UTHIC}) - 598.00$	0.855
$= 143.26(\text{KNEEB}) - 1301.2$	0.906
$= 89.242(\text{KNEEB}) + 7.8926(\text{UTHIC}) - 1108.7$	0.962
Calf	
$I_T = 66.879(\text{ANKLC}) - 975.51$	0.694
$= 30.629(\text{CALFL}) + 40.922(\text{KNEEC}) - 2261.3$	0.899
$= 265.94(\text{ANKLC}) - 61.797(\text{CALFC}) - 3110.0$	0.971
$I_L = 3.5868(\text{CALFC}) - 83.550$	0.863
$= 8.0795(\text{KNEEC}) - 267.68$	0.946
$= 12.049(\text{ANKLC}) - 2.7994(\text{CALFL}) - 112.30$	0.959
Foot	
$I_T = 3.8538(\text{BOFTC}) - 57.257$	0.905
$= 3.5538(\text{FOOTL}) + 2.3132(\text{ARCHC}) - 114.76$	0.916
$= 6.7508(\text{FOOTL}) - 4.2725(\text{LMALH}) - 105.42$	0.942
$I_L = 1.2988(\text{ARCHC}) - 26.708$	0.855
$= 1.2663(\text{BOFTC}) - 22.019$	0.926

Abbreviation	Dimension	Range (cm)
1. ACRDL	Acromion-radial length	31.3-35.4
2. ANKLC	Ankle circumference	19.4-22.6
3. ARCHC	Arch circumference	23.8-28.1
4. ASISH	Anterior-superior iliac spine height	90.8-102.9
5. AXARC	Arm circumference, axillary	24.9-35.5
6. BICPC	Biceps circumference	25.6-35.7
7. BOFTC	Ball of foot circumference	20.8-25.9
8. CALFC	Calf circumference	27.4-38.8
9. CALFL	Calf length	34.0-40.4
10. CHNKH	Chin-neck intersect height	140.6-152.4
11. CHSTC	Chest circumference	83.1-105.5
12. ELBOC	Elbow circumference	27.1-31.6
13. FABMC	Forearm circumference	26.1-32.0
14. FOOTL	Foot length	22.8-26.3
15. HANDB	Hand breadth	8.0-9.4
16. HANDC	Hand circumference	19.7-23.2
17. HEADC	Head circumference	54.7-59.1
18. HEADL	Head length	19.2-23.4
19. KNEEB	Knee breadth	10.0-12.0
20. KNEEC	Knee circumference	34.4-39.7
21. LMALH	Lateral malleolus height	4.9-7.1
22. MTHIC	Mid-thigh circumference	33.8-54.0
23. RDSTL	Radiale-styilion length	24.4-28.2
24. SPHRH	Sphyron height	5.7-7.4
25. STMCL	Styilion-metacarpale III length	7.6-9.2
26. THIGL	Thigh length	42.9-49.2
27. TIBLH	Tibiale height	40.8-47.7
28. TORSL	Torso segment length	61.8-71.7
29. TROCH	Trochanter height	85.7-96.9
30. UTHIC	Upper thigh circumference	41.1-58.5
31. WASTC	Waist circumference	73.5-93.3
32. WRSTC	Wrist circumference	15.1-19.0

\*Moments of inertia in  $\text{kg cm}^2$ , anthropometric dimensions in cm.

表2-4 身体各部分の質量, 重心位置, 慣性モーメントを推定する回帰式  
(Zatsiorsky and Seluyanov, 1983)<sup>176)</sup>

Coefficients of Multiple Regression Equations for Estimating the Mass of Segments of the Body\*

Segment	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R	SD
Foot	-0.829	0.0077	0.0073	0.702	0.101
Shank	-1.592	0.0362	0.0121	0.872	0.219
Hip	-2.649	0.1463	0.0137	0.891	0.721
Hand	-0.1165	0.0036	0.00175	0.516	0.063
Forearm	0.3185	0.01445	-0.00114	0.786	0.101
Upper arm	0.250	0.03012	-0.0027	0.837	0.178
Head	1.296	0.0171	0.0143	0.591	0.322
Upper part of the torso	8.2144	0.1862	-0.0584	0.798	1.142
Middle part of the torso	7.181	0.2234	-0.0663	0.828	1.238
Lower part of the torso	-7.498	0.0976	0.04896	0.743	1.020

\*Multiple regression equations are in the form,  $y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2$ , where  $X_1$  = body weight in kg,  $X_2$  = body height in cm., and  $y$  = predicted mass of segment in kg.

Coefficients of Multiple Regression Equations for Estimating the Principal Moment of Inertia about the Transverse Axis (kg · cm<sup>2</sup>)<sup>a</sup>

Segment	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R	SD
Foot	-97.09	0.414	0.614	0.77	5.77
Shank	-1152.	4.594	6.815	0.85	49.
Hip	-3690.	32.02	19.24	0.85	244.
Hand	-13.68	0.088	0.092	0.43	2.7
Forearm	-67.9	0.855	0.376	0.71	9.6
Upper arm	-232.	1.525	1.343	0.62	26.6
Head	-112.	1.43	1.73	0.49	40.
Upper part of the torso	367.	18.3	-5.73	0.66	171.
Middle part of the torso	263.	26.7	-8.0	0.78	175.
Lower part of the torso	-934.	11.8	3.44	0.73	117.

\*The form of the multiple regression equation is the same as in Table 3.

Coefficients of Multiple Regression Equations for Estimating the Center of Gravity of Segments along the Longitudinal Axis\*

Segment	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R	SD
Foot	3.767	0.065	0.033	0.530	1.1
Shank	-6.05	-0.039	0.142	0.510	1.25
Hip	-2.42	0.038	0.135	0.600	1.31
Hand	4.11	0.026	0.033	0.383	1.12
Forearm	0.192	-0.028	0.093	0.371	1.14
Upper arm	1.67	0.03	0.054	0.368	1.4
Head	8.357	-0.0025	0.023	0.288	0.69
Upper part of the torso	3.32	0.0076	0.047	0.258	1.19
Middle part of the torso	1.398	0.0058	0.045	0.437	1.18
Lower part of the torso	1.182	0.0018	0.0434	0.320	1.0

\*The form of the multiple regression equation is the same as in Table 3.

Coefficients of Multiple Regression Equations for Estimating the Principal Moment of Inertia about Longitudinal Axis (kg · cm<sup>2</sup>)<sup>a</sup>

Segment	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R	SD
Foot	-15.48	0.144	0.088	0.55	2.7
Shank	-70.5	1.134	0.3	0.47	22.
Hip	-13.5	11.3	-2.28	0.89	49.
Hand	-6.26	0.0762	0.0347	0.43	1.8
Forearm	5.66	0.306	-0.088	0.66	2.9
Upper arm	-16.9	0.662	0.0435	0.44	12.5
Head	61.6	1.72	0.0814	0.42	35.6
Upper part of the torso	561.	36.03	-9.98	0.81	212.
Middle part of the torso	1501.	43.14	-19.8	0.87	188.
Lower part of the torso	-775.	14.7	1.685	0.78	116.

\*The form of the multiple regression equation is the same as in Table 3.

Coefficients of the Multiple Regression Equations for Estimating the Principal Moment of Inertia about the Anteroposterior Axis (kg · cm<sup>2</sup>)<sup>a</sup>

Segment	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R	SD
Foot	-100.	0.480	0.626	0.75	6.8
Shank	-1105.	4.59	6.63	0.85	48.6
Hip	-3557.	31.7	18.61	0.84	248.
Hand	-19.5	0.17	0.116	0.50	3.7
Forearm	-64.	0.95	0.34	0.71	10.2
Upper arm	-250.7	1.56	1.512	0.62	27.6
Head	-78.	1.171	1.519	0.40	42.5
Upper part of the torso	81.2	36.73	-5.97	0.73	297.
Middle part of the torso	618.5	39.8	-12.87	0.81	237.
Lower part of the torso	-1568.	12.	7.741	0.69	156.

\*The form of the multiple regression equation is the same as in Table 3.



表 2-5 (a) 身体各部分の質量、重心位置、慣性モーメントを推定する  
 回歸式 (Zatsiorsky and Seluyanov, 1985)<sup>17)</sup>

Properties of the Foot<sup>a</sup>

	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	R	σ
M	- 0.6286	0.066	- 0.0136	0.0048	-	0.723	0.099
C.G.	- 1.267	0.519	0.176	0.061	-	0.711	0.92
I <sub>1</sub>	- 91.17	5.25	0.335	0.386	-	0.810	6.0
I <sub>2</sub>	- 89.1	4.788	0.477	0.271	-	0.835	5.0
I <sub>3</sub>	- 11.9	0.771	0.047	0.243	-	0.518	2.8

Center of gravity is determined from the end of the second toe.  
 x<sub>1</sub>-length of the foot, cm  
 x<sub>2</sub>-width of the foot, cm  
 x<sub>3</sub>-fat, kg

<sup>a</sup>Coefficients of linear multiple regression equations  $y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3 + B_4 x_4$  for calculating the mass and inertial characteristics of the body.

M-mass, kg

C.G.-center of gravity locations on the longitudinal axis, cm

I<sub>1</sub>-the principal moment of inertia about anteroposterior axis, kg cm<sup>2</sup>

I<sub>2</sub>-the principal moment of inertia about transverse axis, kg cm<sup>2</sup>

I<sub>3</sub>-the principal moment of inertia about longitudinal axis, kg cm<sup>2</sup>

Properties of the Thigh<sup>a</sup>

	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	R	σ
M	- 17.819	0.153	0.230	0.367	-	0.933	0.572
C.G.	- 3.655	0.478	- 0.07	0.068	-	0.800	0.99
I <sub>1</sub>	-6729	87.8	50.3	75.3	-	0.893	206
I <sub>2</sub>	-6774	88.4	38.6	78	-	0.896	205
I <sub>3</sub>	-1173	4.06	6.0	26.8	-	0.878	52

Center of gravity is determined from the anterior superior iliac spine.  
 x<sub>1</sub>-length of the thigh, cm  
 x<sub>2</sub>-lower diameter of the thigh, cm  
 x<sub>3</sub>-mean circumference of the thigh, cm:  $x_3 = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3}$ , where  
 D<sub>1</sub>-the distal circumference of the thigh, cm  
 D<sub>2</sub>-the middle circumference of the thigh, cm  
 D<sub>3</sub>-the circumference of the thigh at the infragluteal fold, cm

Properties of the Leg<sup>a</sup>

	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	R	σ
M	- 6.017	0.0675	0.0145	0.205	-	0.963	0.121
C.G.	- 0.0937	0.396	0.064	- 0.041	-	0.645	1.1
I <sub>1</sub>	-1437	28.64	3.202	21.6	-	0.964	24.3
I <sub>2</sub>	-1489	28.97	6.48	21.5	-	0.968	23.1
I <sub>3</sub>	- 194.8	0.214	- 3.64	8.9	-	0.583	20.5

Center of gravity is determined from the supratibial point.  
 x<sub>1</sub>-length of the leg, cm  
 x<sub>2</sub>-lower diameter of the leg, cm  
 x<sub>3</sub> =  $\frac{D_1 + D_2 + D_3}{3}$ , where  
 D<sub>1</sub>-proximal circumference of the leg, cm  
 D<sub>2</sub>-distal circumference of the leg, cm  
 D<sub>3</sub>-maximal circumference of the leg, cm

Properties of the Hand<sup>a</sup>

	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	R	σ
M	- 0.594	0.941	0.035	0.029	-	0.744	0.054
C.G.	- 3.055	0.596	0.264	0.091	-	0.687	0.887
I <sub>1</sub>	- 41.05	2.29	01.62	1.27	-	0.743	2.9
I <sub>2</sub>	- 26.6	1.818	- 1.083	0.527	-	0.782	1.85
I <sub>3</sub>	- 14.9	0.596	- 0.814	0.818	-	0.540	1.72

Center of gravity is determined from the end of the third digit.  
 x<sub>1</sub>-length of the straight hand, cm  
 x<sub>2</sub>-width of the hand, cm  
 x<sub>3</sub>-mean circumference, cm  
 x<sub>4</sub> =  $\frac{D_1 + D_2}{2}$ , where  
 D<sub>1</sub>-circumference of the hand, cm  
 D<sub>2</sub>-the smallest circumference of the distal forearm, cm

表 2-5 (b) 身体各部分の質量, 重心位置, 慣性モーメントを推定する  
 回歸式 (続き)

Properties of the Forearm<sup>a</sup>

	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	R	σ
M	- 2.04	0.05	- 0.0049	0.087	-	0.874	0.08
C.G.	0.732	0.588	- 0.0857	- 0.0187	-	0.691	0.89
l <sub>1</sub>	- 229	7.12	- 0.049	5.066	-	0.910	6.0
l <sub>2</sub>	- 220	7.06	- 0.082	4.544	-	0.930	5.1
l <sub>3</sub>	- 39.2	0.560	- 0.972	1.996	-	0.676	2.7

Center of gravity is determined from the styloid process.  
 x<sub>1</sub>-length of the forearm, cm  
 x<sub>2</sub>-width of the hand, cm  
 x<sub>3</sub>-mean circumference of the forearm, cm  
 $x_3 = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3}$ , where  
 D<sub>1</sub>-the least circumference of the distal forearm, cm  
 D<sub>2</sub>-middle circumference of the forearm, cm  
 D<sub>3</sub>-maximum circumference of the proximal forearm, cm

Properties of the Head<sup>a</sup>

	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	R	σ
M	- 7.385	0.146	0.071	0.0356	0.199	0.791	0.245
C.G.	0.210	0.503	0.027	0.043	- 0.158	0.752	0.53
l <sub>1</sub>	- 987	23.74	3.97	3.46	18.58	0.754	31.1
l <sub>2</sub>	- 983	19.9	8.43	3.22	10.2	0.748	30.9
l <sub>3</sub>	- 721	7.36	6.14	2.28	18.25	0.603	31.6

Center of gravity is determined from vertex, cm.  
 x<sub>1</sub>-the length of the segment from the vertex to the cervical point, cm  
 x<sub>2</sub>-The circumference of the head, cm  
 $x_3 = \frac{D_1 + D_2}{2}$ , where  
 D<sub>1</sub>-circumference of the head, cm  
 D<sub>2</sub>-circumference of the neck, cm  
 x<sub>4</sub>-diameter of the head, cm

Properties of the Upper Arm<sup>a</sup>

	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	R	σ
M	- 2.58	0.0471	0.104	0.0651	-	0.889	0.144
C.G.	- 2.004	0.566	0.056	- 0.016	-	0.924	0.618
l <sub>1</sub>	- 359	10.2	6.4	8.5	-	0.913	14.4
l <sub>2</sub>	- 331	10.3	5.5	5.6	-	0.927	13.6
l <sub>3</sub>	- 106	0.4	3.8	4.5	-	0.647	11.2

Center of gravity is determined from the head of the radius, cm.  
 x<sub>1</sub>-biomechanic length of the upper arm, cm  
 x<sub>2</sub>-circumference of the relaxed upper arm, cm  
 $x_3 = \frac{D_1 + D_2}{2}$ , where  
 D<sub>1</sub>-lower diameter of the upper arm, cm  
 D<sub>2</sub>-lower diameter of the forearm, cm

Properties of the Upper Part of the Torso<sup>a</sup>

	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	R	σ
M	- 18.91	0.421	0.199	0.078	0.065	0.928	0.715
C.G.	- 2.854	0.567	0.0067	0.0321	0.0152	0.927	0.51
l <sub>1</sub>	- 5175	105.4	45.8	4.01	8.65	0.888	201
l <sub>2</sub>	- 2650	65.6	17.12	5.84	9.8	0.908	96
l <sub>3</sub>	- 4149	54.8	43.7	8.88	9.63	0.867	184

Center of gravity is determined from the cervical point, cm.  
 x<sub>1</sub>-the length of the segment from cervical point to the xiphoid process, cm  
 x<sub>2</sub>-circumference of the chest, cm  
 x<sub>3</sub>-the mesosternal diameter of the chest, cm  
 x<sub>4</sub>-fat, kg

表 2-5 (c) 身体各部分の質量, 重心位置, 慣性モーメントを推定する  
 回歸式 (続き)

Properties of the Middle Part of the Torso<sup>a</sup>

	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	R	σ
M	- 13.62	0.444	0.195	- 0.017	0.0887	0.931	0.694
C.G.	- 0.742	0.485	0.0007	- 0.002	0.001	0.931	0.44
I <sub>1</sub>	-3271	76.7	30.3	10.2	18.3	0.914	141
I <sub>2</sub>	-2354	65.3	21.5	- 2.3	10.57	0.945	82
I <sub>3</sub>	-2657	43.0	33.3	1.6	20.6	0.887	145

Center of gravity is determined from the xiphoid process, cm.  
 x<sub>1</sub>-the length of the middle part of the torso in the lying position, cm  
 x<sub>2</sub>-circumference of the stomach at the navel, cm  
 x<sub>3</sub>-diameter coxae, cm  
 x<sub>4</sub>-fat, kg

Properties of the Lower Part of the Torso<sup>a</sup>

	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	R	σ
M	- 15.18	0.182	0.243	0.0216	-	0.791	0.938
C.G.	0.205	0.064	0.134	- 0.08	-	0.388	0.970
I <sub>1</sub>	-2354	22.6	34.37	4.41	-	0.745	144
I <sub>2</sub>	-1816	18.0	23.6	7.29	-	0.766	111
I <sub>3</sub>	-2009	20.1	24.9	11.2	-	0.824	105

Center of gravity is determined from the navel, cm.  
 x<sub>1</sub>-circumference of the buttock, cm  
 x<sub>2</sub>-bicristal diameter (distance between left and right anterior superior iliac spines), cm  
 x<sub>3</sub>-fat, kg

15)  
表2-6 各部分の重量を推定する回帰式 (Barter, 1957)

Body segment	Regression equation	Standard error of estimation
Head, neck, and trunk	= 0.47 x Total body wt. + 12.0	(± 6.4)
Total upper extremities	= 0.13 x Total body wt. - 3.0	(± 2.1)
Both upper arms	= 0.08 x Total body wt. - 2.9	(± 1.0)
Forearms and hands	= 0.06 x Total body wt. - 1.4	(± 1.2)
Both forearms	= 0.04 x Total body wt. - 0.5	(± 1.0)
Both hands	= 0.01 x Total body wt. + 0.7	(± 0.4)
Total lower extremities	= 0.31 x Total body wt. + 2.7	(± 4.9)
Both upper legs	= 0.18 x Total body wt. + 3.2	(± 3.6)
Both lower legs and feet	= 0.13 x Total body wt. - 0.5	(± 2.0)
Both lower legs	= 0.11 x Total body wt. - 1.9	(± 1.6)
Both feet	= 0.02 x Total body wt. + 1.5	(± 0.6)

表2-7 各部分の重量, 主慣性モーメントを推定する回帰式  
(Chandler, et al., 1975)<sup>25)</sup>

(a) Weight of Segment(gram)

Segment	Regression equation	r	SE
Head	= 0.032 x BW + 1906	0.873	288
Torso	= 0.532 x BW - 706	0.987	1605
Upper arm(R)	= 0.016 x BW + 809	0.960	74
Upper arm(L)	= 0.022 x BW + 485	0.951	113
Forearm(R)	= 0.020 x BW - 218	0.994	35
Forearm(L)	= 0.013 x BW + 246	0.920	89
Hand(R)	= 0.007 x BW - 30	0.959	32
Hand(L)	= 0.005 x BW + 76	0.967	19
Thigh(R)	= 0.126 x BW - 1688	0.941	734
Thigh(L)	= 0.127 x BW - 1511	0.997	166
Shank(R)	= 0.038 x BW + 179	0.917	271
Shank(L)	= 0.044 x BW - 178	0.987	114
Foot(R)	= 0.008 x BW + 343	0.784	97
Foot(L)	= 0.009 x BW + 253	0.831	97

(b) Principal Moment of Inertia<sup>\*\*</sup>(gram·cm<sup>2</sup>)

Segment	regression equation	r	SE
Head	= 1.676 x BW + 54818	0.639	32590
Torso	= 284.493 x BW - 7664880	0.938	698647
Upper arm(R)	= 0.661 x BW + 89662	0.607	-
Upper arm(L)	= 1.352 x BW + 49572	0.741	19802
Forearm(R)	= 1.397 x BW - 26562	0.938	8357
Forearm(L)	= 0.727 x BW + 15672	0.841	7554
Hand(R)	= 0.134 x BW - 2599	0.880	1174
Hand(L)	= 0.100 x BW - 920	0.869	918
Thigh(R)	= 21.186 x BW - 222796	0.865	198494
Thigh(L)	= 23.633 x BW - 319070	0.898	186889
Shank(R)	= 5.341 x BW + 44749	0.850	53568
Shank(L)	= 5.350 x BW + 40974	0.831	57972
Foot(R)	= 0.355 x BW + 7296	0.696	5912
Foot(L)	= 0.391 x BW + 4959	0.703	6396

\*\* About transverse axes through centers of gravity of segments.

表4-1 (a) 被験者群Aにおける各被験者の特性

Sprinter(N=20)

ID	Name	Sex	Age (yr.)	Stature (cm)	Body mass (kg)	Somatotype indexes			100m best record(sec.)	Remark
						Endo.	Meso.	Ecto.		
SA	H.A.	♂	24	170.2	63.7	1.497	5.036	2.615	10.38	100m sprinter
SB	K.K.	♂	19	172.9	66.1	1.156	5.063	2.722	10.51	100m sprinter
SC	H.K.	♂	21	174.5	63.3	2.765	4.014	3.471	10.70	400m sprinter(46.88sec.)
SD	T.I.	♂	21	172.4	58.8	2.127	3.442	3.873	10.70	400m sprinter(46.32sec.)
SE	M.U.	♂	20	174.8	71.4	2.597	5.349	2.263	10.76	100m sprinter
SF	A.K.	♂	21	182.5	76.0	2.473	5.345	2.958	11.20	110m hurdler(14.4sec.)
SG	S.O.	♂	19	163.3	56.2	1.454	4.874	2.627	10.82	100m sprinter
SH	S.H.	♂	22	168.6	71.3	2.125	6.223	1.195	10.20	100m sprinter
SI	M.F.	♂	21	165.5	59.8	1.743	5.213	2.400	11.00	400m sprinter(49.9sec.)
SJ	M.A.	♂	21	167.8	65.3	1.463	6.232	1.922	11.00	100m sprinter
SK	M.M.	♂	19	186.9	77.5	1.927	4.567	3.509	11.00	400m hurdler(52.32sec.)
SL	K.S.	♂	18	179.0	65.1	2.474	4.109	3.991	11.10	400m sprinter(47.85sec.)
SM	M.N.	♂	20	179.0	58.3	1.157	3.181	5.212	11.20	400m hurdler(51.81sec.)
SN	H.S.	♂	19	177.0	62.8	1.418	3.567	4.016	11.40	400m hurdler(54.50sec.)
SO	K.N.	♂	19	168.7	61.1	2.064	4.723	2.773	11.00	100m sprinter
SP	M.Y.	♂	19	170.3	69.1	2.158	5.521	1.799	10.70	100m sprinter
SQ	K.A.	♂	23	166.7	59.7	2.332	4.959	2.642	10.60	400m sprinter(46.80sec.)
SR	H.K.	♂	23	177.0	58.0	1.166	3.312	5.081	10.60	110m hurdler(13.9sec.)
ST	H.T.	♂	23	167.0	58.0	2.327	4.913	3.000	10.40	100m sprinter
SU	M.S.	♂	21	179.0	68.0	2.255	4.246	3.522	11.00	110m hurdler(13.9sec.)
	Mean			173.2	64.5	1.934	4.694	3.080	10.81	
	S.D.			6.1	6.0	0.501	0.865	0.999	0.30	

表4-1 (b) 被験者群Aにおける各被験者の特性 (続き)

Jumper(N=6)

ID	Name	Sex	Age (yr.)	Stature (cm)	Body mass (kg)	Somatotype indexes			100m best record(sec.)	Remark
						Endo.	Meso.	Ecto.		
JA	S.S.	♂	22	179.2	75.0	2.417	4.493	2.525	11.00	Long jumper(7.23m)
JB	Y.O.	♂	20	179.9	71.6	2.187	5.084	3.133	11.00	Long jumper(7.58m)
JC	N.I.	♂	20	182.7	71.2	1.415	4.020	3.687	11.00	Long jumper(7.81m)
JD	H.H.	♂	19	178.4	61.1	1.343	3.970	4.576	10.90	Triple jumper(14.77m)
JE	I.O.	♂	23	180.1	68.8	2.239	4.102	3.593	10.90	Long jumper(7.82m)
JF	H.T.	♂	18	170.2	65.5	1.805	5.562	2.327	11.30	Long jumper(7.23m)
	Mean			178.4	68.9	1.901	4.539	3.080	11.02	
	S.D.			3.9	4.5	0.412	0.596	0.757	0.13	

Thrower(N=7)

ID	Name	Sex	Age (yr.)	Stature (cm)	Body mass (kg)	Somatotype indexes			100m best record(sec.)	Remark
						Endo.	Meso.	Ecto.		
TA	N.U.	♂	20	180.8	78.8	2.920	5.650	2.290	11.70	Javelin thrower(64.8m)
TB	H.B.	♂	20	176.4	89.1	3.756	7.229	0.650	11.70	Shot putter(15.48m)
TC	A.W.	♂	20	179.1	80.1	2.740	6.689	1.795	11.40	Javelin thrower(73.5m)
TD	A.I.	♂	20	168.5	68.6	2.303	6.434	1.550	11.60	Javelin thrower(65.8m)
TE	S.M.	♂	19	174.6	72.2	2.265	6.123	2.043	12.50	Javelin thrower(63.9m)
TF	I.Y.	♂	19	173.7	75.7	3.665	5.534	1.477	12.30	Javelin thrower(65.8m)
TG	Y.U.	♂	24	182.1	103.5	3.349	7.377	0.327	11.50	Shot putter(17.16m)
	Mean			176.5	81.1	3.000	6.434	1.447	11.81	
	S.D.			4.3	10.9	0.565	0.666	0.664	0.39	

表4-2 被験者群Bにおける各被験者の特性, および身長, 体型による分類

ID	Name	Sex	Age (yr.)	Stature (cm)	Body mass (kg)	Score of Mesomorphy	100m best record(sec.)	Group ID classified by stature	Group ID classified by the score of Mesomorphy
AA	M.M.	♂	21	186.9	75.7	4.535	10.9	TA	MU
BB	M.M.	♂	20	185.9	73.2	4.738	11.0	TA	MU
CC	M.N.	♂	21	177.9	57.5	3.372	11.9	TA	SK
DD	K.I.	♂	19	181.5	70.1	3.566	11.2	TA	SK
EE	M.U.	♂	21	174.5	73.4	6.417	10.7	SH	MU
FF	N.S.	♂	20	165.1	64.4	6.781	10.9	SH	MU
GG	M.K.	♂	19	171.1	61.7	4.303	11.1	SH	SK
HH	H.S.	♂	20	173.9	67.2	4.216	10.9	SH	SK

Note) TA:tall, SH:short, MU:muscular, SK:skinny, N=8



表4-3 実験2における試技内容

試技番号	試技内容
①	各被験者の身につけている固有の走。
②	TA群の走フォームを用いた走：1)体幹をよく起こして腰を高い位置に維持する，2)回復脚の動作範囲を小さくして離地後の脚の引つけを素早く行う，3)ピッチを高める動きをイメージして走る。
③	SH群の走フォームを用いた走：1)体幹の前傾を大きくし，脚を前後によく開く，2)支持期の移動距離を大きくする動きをイメージして走る。
④	MU群の走フォームを用いた走：1)支持期前半の衝撃力の緩衝を強調する，2)脚を腰の後方で大きく回し，腰のより前方で接地する。
⑤	SK群の走フォームを用いた走：1)脚を滑かに回す，2)脚の引きつけを素早く行い，腰の前方で脚を大きく回す。

表4-4 実験2において各群の被験者に行わせた試技と速度条件

群	試技番号	速度条件
TA	①, ③	低速走 (2.0~3.5m/s)
SH	①, ②	
MU	①, ⑤	中速走 (5.0~7.5m/s)
SK	①, ④	全速走 (8.5m/s以上)

表4-5 身体部分係数の算出において用いた各部分の密度(Clauser, et al., 1969)<sup>27)</sup>

Segment	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Head	1.070
Torso	1.019
Upper arm	1.056
Forearm	1.098
Hand	1.109
Thigh	1.044
Shank	1.085
Foot	1.042

表4-6 被験者群Aにおける身長、身体質量、内胚葉値、中胚葉値、外胚葉値の間の相関係数

Item	1	2	3	4	5
1. Stature	-	0.5256 ***	0.1749	-0.1775	0.2912 *
2. Body mass		-	0.6891 ***	0.6844 ***	-0.6437 ***
3. Score of Endomorphy			-	0.5649 ***	-0.6223 ***
4. Score of Mesomorphy				-	-0.9309 ***
5. Score of Ectomorphy					-

\*\*\* p<0.01, \* p<0.1

表4-7 シミュレーションによって推定した走動作

動作番号	推定した走動作	形態	フォーム
①	TA+ta	TA	ta
②	TA+sh	TA	sh
③	SH+ta	SH	ta
④	SH+sh	SH	sh
⑤	MU+mu	MU	mu
⑥	MU+sk	MU	sk
⑦	SK+mu	SK	mu
⑧	SK+sk	SK	sk

(注) TA, SH, MU, SKは、それぞれ長身群, 短身群, Muscular群, Skinny群の形態を, ta, sh, mu, skは、それぞれの群固有の走フォームを示す。

表4-8 シミュレーションにおける入力データ

1. 形態測定値

- ①身体各部分の長さ, 身体質量
- ②身体部分係数
- ③相対位置の換算係数(足, 肩, 胸骨上点, 転子点)

2. 走フォームに関するデータ

- ①非支持時間/支持時間
- ②疾走中の各部分の角度
- ③右足の足先に対する母指球, 踵, 足首関節の相対位置
- ④左足の足首関節に対する足先, 母指球, 踵の相対位置
- ⑤右転子点に対する左転子点の相対位置
- ⑥左右大転子の midpoint に対する胸骨上点の相対位置
- ⑦胸骨上点に対する左右の肩の相対位置

3. 支持期の身体重心平均水平速度

表4-9 各部分の長さおよび角度を示す記号

No.	segment	length	angle
1	Right hand	$l_1$	$\theta_1$
2	Right forearm	$l_2$	$\theta_2$
3	Right upper arm	$l_3$	$\theta_3$
4	Left hand	$l_1$	$\theta_4$
5	Left forearm	$l_2$	$\theta_5$
6	Left upper arm	$l_3$	$\theta_6$
7	Right foot	$l_4$	—
8	Right shank	$l_5$	$\theta_8$
9	Right thigh	$l_6$	$\theta_9$
10	Left foot	$l_4$	—
11	Left shank	$l_5$	$\theta_{11}$
12	Left thigh	$l_6$	$\theta_{12}$
13	Head	$l_7$	$\theta_{13}$
14	Neck	$l_8$	$\theta_{14}$
15	Torso	$l_9$	—

表4-10 各連結点の算出式

$x_9=0$ $x_i=x_9+R_1 \cdot x'_i$ $x_{13}=x_{12}-l_5 \cdot \sin \theta_8$ $x_{14}=x_{13}-l_6 \cdot \sin \theta_9$ $x_{20}=x_{14}+R_2 \cdot x'_{20}$ $x_{19}=x_{20}+l_6 \cdot \sin \theta_{12}$ $x_{18}=x_{19}+l_5 \cdot \sin \theta_{11}$ $x_i=x_{18}+R_1 \cdot x'_i$ $x_{23}=\frac{1}{2}(x_{14}+x_{20})+R_3 \cdot x'_{23}$ $x_{22}=x_{23}+l_8 \cdot \sin \theta_{14}$ $x_{21}=x_{22}+l_7 \cdot \sin \theta_{13}$ $x_4=x_{23}+R_4 \cdot x'_4$ $x_8=x_{23}+R_4 \cdot x'_8$ $x_3=x_4+l_3 \cdot \sin \theta_3$ $x_2=x_3+l_2 \cdot \sin \theta_2$ $x_1=x_2+l_1 \cdot \sin \theta_1$ $x_7=x_8+l_3 \cdot \sin \theta_6$ $x_6=x_7+l_2 \cdot \sin \theta_5$ $x_5=x_6+l_1 \cdot \sin \theta_4$	$y_9=0$ $y_i=y_9+R_1 \cdot y'_i \quad (i=10, \dots, 12)$ $y_{13}=y_{12}+l_5 \cdot \cos \theta_8$ $y_{14}=y_{13}+l_6 \cdot \cos \theta_9$ $y_{20}=y_{14}+R_2 \cdot y'_{20}$ $y_{19}=y_{20}-l_6 \cdot \cos \theta_{12}$ $y_{18}=y_{19}-l_5 \cdot \cos \theta_{11}$ $y_i=y_{18}+R_1 \cdot y'_i \quad (i=15, \dots, 17)$ $y_{23}=\frac{1}{2}(y_{14}+y_{20})+R_3 \cdot y'_{23}$ $y_{22}=y_{23}+l_8 \cdot \cos \theta_{14}$ $x_{21}=x_{22}+l_7 \cdot \cos \theta_{13}$ $y_4=y_{23}+R_4 \cdot y'_4$ $y_8=y_{23}+R_4 \cdot y'_8$ $y_3=y_4-l_3 \cdot \cos \theta_3$ $y_2=y_3-l_2 \cdot \cos \theta_2$ $y_1=y_2-l_1 \cdot \cos \theta_1$ $y_7=y_8-l_3 \cdot \cos \theta_6$ $y_6=y_7-l_2 \cdot \cos \theta_5$ $y_5=y_6-l_1 \cdot \cos \theta_4$
--	--

ただし、 $(x'_i, y'_i)$   $i=10, \dots, 12$  は、順に右の母指球、踵、足首関節の相対位置、 $(x'_i, y'_i)$   $i=15, \dots, 17$  は、順に左の足先、母指球、踵の相対位置、 $(x'_{23}, y'_{23})$  は胸骨上点の相対位置、 $(x'_i, y'_i)$   $i=4, 8$  は、左右の肩関節の相対位置を示す。また、 $R_i$ 、 $i=1, \dots, 4$  は、それぞれの部分の長さの換算係数。



表4-11 シミュレーション(SIM)とフィルム分析(FLM)におけるストライド(SL), ピッチ(SF), 走速度(Vel.)の比較

Maximum speed								
Variable	TA+ta		SH+sh		MU+mu		SK+sk	
	SIM	FLM	SIM	FLM	SIM	FLM	SIM	FLM
SL	2.396	2.295 (0.193)	2.267	2.231 (0.177)	2.325	2.246 (0.169)	2.345	2.289 (0.167)
SF	3.865	4.032 (0.197)	4.077	4.197 (0.322)	3.979	4.106 (0.260)	3.945	4.140 (0.296)
Vel.	9.260	9.240 (0.243)	9.245	9.317 (0.466)	9.250	9.198 (0.378)	9.253	9.403 (0.293)

Medium speed								
Variable	TA+ta		SH+sh		MU+mu		SK+sk	
	SIM	FLM	SIM	FLM	SIM	FLM	SIM	FLM
SL	2.181	2.187 (0.218)	2.045	2.160 (0.268)	2.077	2.119 (0.287)	2.090	2.228 (0.235)
SF	3.092	3.075 (0.251)	3.220	2.952 (0.229)	3.175	2.949 (0.289)	3.156	3.077 (0.281)
Vel.	6.605	6.734 (0.931)	6.585	6.384 (0.960)	6.595	6.267 (1.044)	6.634	6.851 (1.039)

Slow speed								
Variable	TA+ta		SH+sh		MU+mu		SK+sk	
	SIM	FLM	SIM	FLM	SIM	FLM	SIM	FLM
SL	1.130	1.160 (0.195)	1.087	1.085 (0.119)	1.097	1.072 (0.231)	1.138	1.184 (0.132)
SF	2.743	2.597 (0.127)	2.841	2.628 (0.146)	2.802	2.631 (0.136)	2.732	2.599 (0.135)
Vel.	3.099	3.018 (0.556)	3.090	2.847 (0.325)	3.074	2.815 (0.546)	3.109	3.075 (0.361)

Values for FLM are mean(S.D.).

表4-12 各部分の重心速度におけるシミュレーション(SIM)とフィルム分析(FLM)との間の相互相関係数(r)および標準誤差(SE(m/s))

Segment	Horizontal		Vertical	
	r	SE(m/s)	r	SE(m/s)
R Arm	0.9786	0.465	0.9267	0.502
R Arm	0.9964	0.264	0.9927	0.167
R Leg	0.9954	0.244	0.9928	0.132
L Leg	0.9978	0.171	0.9866	0.162
Trunk	0.7856	0.126	0.9510	0.126
Whole body	0.8647	0.098	0.9871	0.097

表4-13 各部分の角速度におけるシミュレーション(SIM)とフィルム分析(FLM)との間の相互相関係数(r)および標準誤差(SE(rad/s))

Segment	r	SE(rad/s)
R Forearm	0.9870	2.216
R Upper arm	0.9863	1.317
L Forearm	0.9944	1.794
L Upper arm	0.9904	1.092
R Foot	0.9962	1.338
R Shank	0.9937	1.418
R Thigh	0.9961	1.007
L Foot	0.9941	1.783
L Shank	0.9973	1.450
L Thigh	0.9960	0.882
Head	0.6288	0.549
Torso	0.5896	0.671

表4-14 各部分の角加速度におけるシミュレーション(SIM)とフィルム分析(FLM)との間の相互相関係数(r)および標準誤差(SE(rad/s<sup>2</sup>))

Segment	r	SE(rad/s <sup>2</sup> )
R Forearm	0.9648	68.929
R Upper arm	0.9296	39.046
L Forearm	0.9602	60.831
L Upper arm	0.9190	44.678
R Foot	0.9925	50.078
R Shank	0.9817	50.438
R Thigh	0.9723	40.942
L Foot	0.9674	77.983
L Shank	0.9862	44.302
L Thigh	0.9805	30.511
Head	0.5516	27.184
Torso	0.7229	18.727

表4-15 地面反力(GRF)から算出した重心加速度と、シミュレーション(SIM)、フィルム分析(FLM)から得たそれぞれの重心加速度との間の相互相関係数(r)および標準誤差(SE(m/s<sup>2</sup>))

Acceleration of whole body CG	SIM vs GRF		FLM vs GRF	
	r	SE(m/s <sup>2</sup> )	r	SE(m/s <sup>2</sup> )
Horizontal	0.8693	2.921	0.2236	12.301
Vertical	0.9536	10.099	0.9501	8.275

表5-1 TA群, SH群における身体的特性

Item	TA		SH	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Stature(cm)	180.01	2.49	169.98	3.33
Body mass(kg)	72.83	11.48	65.08	5.56
Score of Mesomorphy	4.813	1.290	5.248	0.761
CG height/stature(%)	55.92	0.66	55.98	1.00

(Note) \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05. (TA:N=14, SH:N=16)

表5-2 身長と各部分の長さ、部分長/身長、周囲長、周囲長/部分長との相関係数

Segment	Length	Length/Stature	Girth	Girth/Length
Head	0.2291 *	-0.4043 ***	0.4386 ***	0.0640
Neck	0.6895 ***	0.3414 **	-	-
Torso	0.5631 ***	-0.1037	0.3205 **	-0.1191
Upper arm	0.4554 ***	-0.1222	0.3625 **	-0.0076
Forearm	0.4576 ***	-0.0890	0.3192 **	-0.0778
Hand	0.5291 ***	0.1699	0.0662	-0.4102 ***
Thigh	0.8455 ***	0.4256 ***	0.3301 **	-0.2824 *
Shank	0.5910 ***	-0.0367	0.3589 **	-0.1062
Foot	0.6451 ***	-0.1685	-	-

(Note) \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1. (N=30).

表5-3 TA群, SH群における身体部分係数(絶対値)

Segment	Mass(kg)		CG(cm)			Radius of gyration(cm)										
	TA	SH	TA	SH	SHI	kx			ky			kz				
						TA	SH	SHI	TA	SH	SHI	TA	SH	SHI		
Head	5.024 (0.395)	*** 4.564 (0.296)	12.4 (0.6)	*** 11.7 (0.4)	11.7 (0.4)	7.6 (0.2)	*** 7.2 (0.3)	7.3 (0.2)	*** 6.9 (0.2)	5.4 (0.2)	5.3 (0.1)					
Torso	35.332 (5.861)	** 31.72 (2.776)	25.1 <sup>a</sup> (1.5)	** 23.8 <sup>a</sup> (1.4)	23.8 <sup>a</sup> (1.4)	19.2 (0.6)	*** 18.3 (0.6)	19.9 (0.6)	*** 19.0 (0.7)	9.4 (0.6)	9.1 (0.3)					
Upper arm	2.077 (0.382)	** 1.888 (0.218)	16.3 (1.0)	15.8 (0.9)	15.8 (0.9)	8.7 (0.5)	8.4 (0.5)	8.5 (0.5)	8.2 (0.5)	3.4 (0.3)	3.2 (0.2)				**	
Forearm	1.168 (0.258)	1.059 (0.139)	10.7 (0.7)	10.5 (0.8)	10.5 (0.8)	7.5 (0.4)	** 7.1 (0.5)	7.4 (0.4)	** 7.0 (0.5)	2.8 (0.3)	2.7 (0.2)					
Hand	0.426 (0.099)	0.423 (0.052)	7.5 (0.5)	7.2 (0.6)	7.2 (0.6)	4.1 (0.3)	4.0 (0.3)	4.4 (0.2)	4.3 (0.3)	2.3 (0.2)	2.2 (0.1)					
Thigh	8.186 (1.511)	** 7.035 (0.929)	19.4 (1.2)	** 18.3 (1.1)	18.3 (1.1)	12.0 (0.4)	*** 11.0 (0.6)	11.8 (0.3)	*** 10.8 (0.6)	5.7 (0.5)	5.6 (0.3)					
Shank	3.281 (0.512)	3.032 (0.299)	16.3 (0.7)	*** 15.2 (1.0)	15.2 (1.0)	10.7 (0.5)	** 10.3 (0.6)	10.6 (0.5)	** 10.2 (0.5)	3.9 (0.2)	3.9 (0.2)					
Foot	1.129 (0.123)	*** 1.007 (0.093)	15.1 <sup>b</sup> (1.0)	** 14.3 <sup>b</sup> (1.1)	14.3 <sup>b</sup> (1.1)	4.2 (0.3)	4.1 (0.3)	2.3 (0.2)	*** 2.1 (0.1)	4.1 (0.3)	4.0 (0.3)					

(Note) Values are mean(S.D.). CGs are expressed as the lengths measured from proximal end(a:from supasternale level, b:from toe).  
 \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1. (TA:N=14, SH:N=16).

表5-4 TA群, SH群における身体部分係数(相対値)

Segment	Mass		CG		kx			ky			kz		
	TA	SH	TA	SH	TA	SH	TA	SH	TA	SH	TA	SH	
Head	0.070 (0.007)	0.070 (0.006)	0.876 (0.040)	0.859 (0.036)	0.542 (0.033)	0.530 (0.021)	0.521 (0.031)	0.510 (0.023)	0.385 (0.027)	0.390 (0.020)			
Torso	0.484 (0.014)	0.487 (0.015)	0.461 <sup>a</sup> (0.015)	0.459 <sup>a</sup> (0.013)	0.353 (0.008)	0.354 (0.009)	0.367 (0.010)	0.368 (0.011)	0.172 (0.014)	0.175 (0.007)			
Upper arm	0.029 (0.002)	0.029 (0.022)	0.503 (0.023)	0.508 (0.016)	0.267 (0.006)	0.269 (0.006)	0.263 (0.007)	0.264 (0.006)	0.105 (0.013)	0.106 (0.007)			
Forearm	0.016 (0.002)	0.016 (0.001)	0.402 (0.015)	0.415 (0.019)	0.281 (0.011)	0.278 (0.010)	0.279 (0.010)	0.276 (0.010)	0.104 (0.009)	0.109 (0.009)			
Hand	0.006 (0.001)	0.007 (0.001)	0.782 (0.043)	0.837 (0.070)	0.430 (0.033)	0.458 (0.020)	0.463 (0.032)	0.493 (0.020)	0.238 (0.017)	0.255 (0.024)	**	**	
Thigh	0.112 (0.005)	0.108 (0.008)	0.450 (0.015)	0.459 (0.025)	0.278 (0.006)	0.275 (0.010)	0.275 (0.007)	0.271 (0.009)	0.133 (0.012)	0.140 (0.008)	**	**	
Shank	0.045 (0.003)	0.047 (0.004)	0.411 (0.014)	0.408 (0.016)	0.268 (0.009)	0.276 (0.008)	0.267 (0.009)	0.274 (0.007)	0.098 (0.007)	0.105 (0.005)	**	**	
Foot	0.016 (0.002)	0.016 (0.001)	0.582 <sup>b</sup> (0.033)	0.579 <sup>b</sup> (0.038)	0.161 (0.009)	0.164 (0.009)	0.087 (0.006)	0.086 (0.006)	0.159 (0.010)	0.163 (0.010)			

(Note) Values are mean(S.D.). Masses are expressed as ratios of body mass. CGs are expressed as ratios of the segment lengths measured from proximal end(a:From supasternale level, b:from toe). Radii of gyration are expressed as ratios of the segment lengths. \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1. (TA:N=14, SH:N=16).



表5-5 MU群, SK群における身体的特性

Item	MU		SK	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Stature(cm)	174.23	5.31	175.42	6.20
Body mass(kg)	74.06	10.17	63.92	6.06
Score of Mesomorphy	5.919	0.716	4.207	0.577
CG height/stature(%)	55.85	1.12	56.05	0.462

(Note) \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05. (MU:N=14, SK:N=16)

表5-6 中胚葉値と各部分の長さ、部分長/身長、周囲長、周囲長/部分長との相関係数

Segment	Length	Length/Stature	Girth	Girth/Length
Head	-0.1807	-0.0535	0.2822 *	0.3205 **
Neck	0.1999	0.3557 **	-	-
Torso	0.0247	0.1723	0.7416 ***	0.6439 ***
Upper arm	-0.3246 **	-0.2433 *	0.7265 ***	0.7775 ***
Forearm	0.1633	0.2848 *	0.7925 ***	0.5864 ***
Hand	0.1067	0.1939	0.7161 ***	0.4648 ***
Thigh	-0.2547 *	-0.2560 *	0.7403 ***	0.7993 ***
Shank	-0.2874 *	-0.2199	0.7241 ***	0.7589 ***
Foot	0.3795 **	0.6659 ***	-	-

(Note) \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1. (N=30).

表5-7 MU群, SK群における身体部分係数(絶対値)

Segment	Mass(kg)		CG(cm)		Radius of gyration(cm)					
	MU	SK	MU	SK	kx		ky		kz	
Head	4.935 (0.408)	** 4.468 (0.375)	12.0 (0.6)	12.0 (0.6)	7.5 (0.3)	7.4 (0.3)	7.2 (0.3)	7.1 (0.3)	5.4 (0.2)	5.3 (0.1)
Torso	36.001 (5.429)	*** 31.095 (2.633)	24.5 <sup>a</sup> (1.8)	24.3 <sup>a</sup> (1.3)	18.9 (0.7)	18.6 (0.8)	19.6 (0.7)	19.3 (0.9)	9.5 (0.6)	** 9.0 (0.3)
Upper arm	2.142 (0.210)	*** 1.827 (0.175)	16.1 (1.1)	16.1 (0.9)	8.7 (0.5)	8.6 (0.5)	8.2 (0.5)	8.5 (0.5)	3.5 (0.3)	*** 3.2 (0.1)
Forearm	1.253 (0.076)	*** 0.980 (0.101)	10.8 (0.9)	10.4 (0.6)	7.4 (0.6)	7.1 (0.3)	7.4 (0.6)	7.0 (0.4)	2.9 (0.2)	*** 2.6 (0.1)
Hand	0.468 (0.076)	*** 0.383 (0.054)	7.4 (0.7)	7.3 (0.4)	4.0 (0.3)	4.0 (0.3)	4.4 (0.3)	4.3 (0.3)	2.3 (0.2)	2.2 (0.1)
Thigh	8.219 (1.397)	*** 7.004 (1.050)	18.8 (1.4)	18.8 (1.2)	11.4 (0.7)	11.5 (0.8)	11.2 (0.7)	11.4 (0.7)	5.9 (0.3)	*** 5.4 (0.2)
Shank	3.394 (0.358)	*** 2.926 (0.374)	15.6 (0.1)	15.9 (1.0)	10.4 (0.6)	10.6 (0.5)	10.3 (0.6)	10.5 (0.5)	4.0 (0.2)	*** 3.8 (0.2)
Foot	1.084 (0.135)	1.049 (0.113)	14.7 <sup>b</sup> (1.0)	14.7 <sup>b</sup> (1.2)	4.2 (0.3)	4.1 (0.2)	2.2 (0.2)	2.2 (0.1)	4.2 (0.3)	** 4.0 (0.2)

(Note) Values are mean(S.D.). CGs are expressed as the lengths measured from proximal end(a:From supasternale level, b:From toe).  
 \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1. (MU:N=14, SK:N=16).

表5-8 MU群, SK群における身体部分係数(相対値)

Segment	Mass		CG		kx			ky			kz		
	MU	SK	MU	SK	MU	SK	MU	SK	MU	SK	MU	SK	
Head	0.067 (0.006)	*** (0.006)	0.070 (0.006)	0.874 (0.040)	0.861 (0.036)	0.543 (0.025)	0.530 (0.029)	0.523 (0.025)	0.508 (0.028)	0.394 (0.021)	0.381 (0.024)		
Torso	0.486 (0.014)	0.486 (0.015)	0.460 <sup>a</sup> (0.015)	0.460 <sup>a</sup> (0.015)	0.459 <sup>a</sup> (0.013)	0.355 (0.010)	0.352 (0.007)	0.369 (0.011)	0.365 (0.009)	0.178 (0.012)	** (0.008)		
Upper arm	0.029 (0.002)	0.029 (0.019)	0.029 (0.019)	0.512 (0.021)	*** (0.015)	0.269 (0.006)	0.267 (0.006)	0.263 (0.007)	0.264 (0.006)	0.111 (0.009)	*** (0.006)		
Forearm	0.017 (0.002)	*** (0.001)	0.015 (0.001)	0.401 (0.015)	0.408 (0.019)	0.281 (0.010)	0.278 (0.082)	0.279 (0.011)	0.277 (0.008)	0.110 (0.009)	** (0.008)		
Hand	0.006 (0.001)	0.006 (0.001)	0.006 (0.001)	0.826 (0.070)	0.795 (0.055)	0.449 (0.034)	0.439 (0.026)	0.485 (0.035)	0.472 (0.024)	0.259 (0.021)	** (0.017)		
Thigh	0.111 (0.006)	0.109 (0.007)	0.109 (0.007)	0.459 (0.023)	0.450 (0.018)	0.277 (0.008)	0.276 (0.009)	0.272 (0.009)	0.273 (0.008)	0.145 (0.010)	*** (0.007)		
Shank	0.046 (0.004)	0.046 (0.003)	0.046 (0.003)	0.410 (0.014)	0.408 (0.016)	0.273 (0.006)	0.272 (0.011)	0.271 (0.061)	0.270 (0.011)	0.106 (0.005)	*** (0.006)		
Foot	0.015 (0.002)	*** (0.001)	0.016 (0.001)	0.574 <sup>b</sup> (0.034)	0.587 <sup>b</sup> (0.036)	0.163 (0.010)	0.163 (0.009)	0.086 (0.007)	0.087 (0.006)	0.162 (0.010)	0.160 (0.009)		

(Note) Values are mean(S.D.). Masses are expressed as ratios of body mass. CGs are expressed as ratios of the segment lengths measured from proximal end(a:From supasternale level, b:From toe). Radii of gyration are expressed as ratios of the segment lengths. \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1. (MU:N=14, SK:N=16).

表6-1 各速度段階における走速度, ストライド, ピッチ (TA群, SH群)

Variable	Slow		Med.		Max.	
	TA	SH	TA	SH	TA	SH
Velocity (m/s)	3.018 (0.556)	2.847 (0.325)	6.734 (0.931)	6.384 (0.960)	9.240 (0.243)	9.317 (0.463)
Stride length (m)	1.160 (0.195)	1.085 (0.119)	2.187 (0.218)	2.160 (0.268)	2.295 (0.193)	2.231 (0.177)
Stride frequency (step/s)	2.597 (0.127)	2.628 (0.146)	3.075 (0.251)	2.952 (0.229)	4.032 (0.197)	4.197 (0.322)

(Note) Values are mean(S.D.). \* p<0.1. (TA:N=14, SH:N=16).

表6-2 速度段階の増加に伴うストライド, ピッチの変化 (TA群, SH群)

	Slow → Med.		Med. → Max.	
	TA	SH	TA	SH
Stride length (m)	1.027 (0.189)	1.075 (0.262)	0.108 (0.201)	0.071 (0.322)
Stride frequency (step/s)	0.478 (0.198)	0.325 (0.267)	0.958 (0.287)	** 1.246 (0.417)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1. (TA:N=14, SH:N=16).

表6-3 各速度段階におけるストライド, ピッチと身長との相関係数

	Slow	Med.	Max.
Stride length	0.1489	0.0454	0.3001
Stride frequency	-0.0879	0.1998	-0.3043

(Note) \* p<0.1. (N=30).

表6-4 各速度段階における身体重心高, 離地角, 支持・非支持時間, 後傾角, 前傾角  
(TA群, SH群)

Variable	Slow		Med.		Max.	
	TA	SH	TA	SH	TA	SH
(a) CG height/Stature <sup>a)</sup>	0.571 (0.009)	0.567 (0.010)	0.567 ** (0.011)	0.558 (0.012)	0.564 *** (0.014)	0.553 (0.012)
(b) Take-off angle (deg.)	6.41 (7.00)	6.54 (4.11)	7.03 (1.92)	7.80 (2.00)	4.62 (1.61)	4.27 (1.10)
(c) Support time (sec)	0.266 (0.047)	0.252 (0.030)	0.143 (0.024)	0.143 (0.022)	0.105 (0.009)	0.102 (0.011)
(d) Nonsupport time (sec)	0.120 (0.040)	0.130 (0.032)	0.184 (0.022)	0.198 (0.021)	0.143 (0.009)	0.138 (0.019)
(e) (d)/(c)	0.488 (0.219)	0.531 (0.164)	1.325 (0.258)	1.477 (0.298)	1.374 (0.156)	1.370 (0.273)
(f) Backward lean angle (deg.)	-19.66 (2.23)	-18.53 (2.96)	-23.01 (4.84)	-22.63 (2.77)	-21.52 (2.97)	-21.85 (3.11)
(g) Forward lean angle (deg.)	19.17 * (2.79)	20.75 (2.30)	25.87 (3.56)	26.03 (3.76)	28.95 *** (1.72)	30.88 (1.92)

(Note) Values are mean(S.D.). <sup>a)</sup> at touchdown. \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1.  
(TA:N=14, SH:N=16).

表6-5 速度段階の増加に伴う身体重心高，離地角，支持・非支持時間，後傾角，前傾角の変化 (TA群，SH群)

Variable	Slow → Med.		Med. → Max.	
	TA	SH	TA	SH
(a) CG height/Stature <sup>a)</sup>	-0.003 (0.012)	-0.008 (0.009)	-0.003 (0.013)	-0.005 (0.011)
(b) Take-off angle (deg.)	0.68 (7.14)	1.26 (4.62)	-2.41 (2.26)	-3.53 (2.31)
(c) Support time (sec)	-0.123 (0.040)	-0.109 (0.036)	-0.038 (0.022)	-0.041 (0.018)
(d) Nonsupport time (sec)	0.064 (0.042)	0.068 (0.037)	-0.042 (0.016)	* -0.060 (0.035)
(e) (d)/(c)	0.814 (0.281)	0.938 (0.321)	0.050 (0.226)	-0.092 (0.393)
(f) Backward lean angle (deg.)	-3.36 (4.33)	-4.10 (3.61)	1.49 (3.57)	1.22 (3.22)
(g) Forward lean angle (deg.)	6.70 (3.45)	5.75 (3.37)	3.08 (3.63)	4.85 (3.67)

(Note) Values are mean(S.D.). <sup>a)</sup> at touchdown. \* p<0.1. (TA:N=14, SH:N=16).

表6-6 各速度段階における離地時の胸部角度(deg.) (TA群, SH群)

Slow		Med.		Max.	
TA	SH	TA	SH	TA	SH
11.49 (3.80)	11.45 (3.45)	9.84 (3.73)	10.53 (2.95)	5.68 (2.50)	** 8.47 (3.04)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05. (TA:N=14, SH:N=16).

表6-7 速度段階の増加に伴う胸部角度の変化(deg.) (TA群, SH群)

Slow → Med.		Med. → Max.	
TA	SH	TA	SH
-1.65 (4.85)	-0.92 (4.40)	-4.16 (4.29)	-2.06 (4.31)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.  
(TA:N=14, SH:N=16).



表6-8 各速度段階における走速度, ストライド, ピッチ (MU群, SK群)

Variable	Slow		Med.		Max.	
	MU	SK	MU	SK	MU	SK
Velocity (m/s)	2.815 (0.546)	3.075 (0.461)	6.267 (1.044)	6.851 (1.039)	9.253 (0.378)	9.403 (0.293)
Stride length (m)	1.072 * (0.137)	1.184 (0.132)	2.119 (0.287)	2.228 (0.235)	2.246 (0.169)	2.289 (0.167)
Stride frequency (step/s)	2.631 (0.136)	2.599 (0.135)	2.949 (0.289)	3.077 (0.281)	4.106 (0.260)	4.140 (0.296)

(Note) Values are mean(S.D.). \* p<0.1. (MU:N=14, SK:N=16).

表6-9 速度段階の増加に伴うストライド, ピッチの変化 (MU群, SK群)

	Slow → Med.		Med. → Max.	
	MU	SK	MU	SK
Stride length (m)	1.039 (0.264)	1.091 (0.185)	0.123 (0.201)	0.041 (0.322)
Stride frequency (step/s)	0.303 (0.177)	0.465 (0.290)	1.138 (0.263)	1.092 (0.482)

(Note) Values are mean(S.D.). \* p<0.1. (MU:N=14, SK:N=16).

表6-10 各速度段階におけるストライド, ピッチと中胚葉値との相関係数

	Slow	Med.	Max.
Stride length	-0.3623*	-0.3050	-0.1302
Stride frequency	0.0272	-0.2302	-0.0142

(Note) \* p<0.1. (N=30).

表6-11 各速度段階における身体重心高, 離地角, 支持・非支持時間, 後傾角, 前傾角  
(MU群, SK群)

Variable	Slow		Med.		Max.	
	MU	SK	MU	SK	MU	SK
(a) CG height/Stature <sup>a)</sup>	0.566 (0.010)	0.568 (0.008)	0.565 (0.013)	0.559 (0.011)	0.556 (0.016)	0.561 (0.013)
(b) Take-off angle (deg.)	8.16 (5.62)	6.47 (3.80)	8.38 (2.04)	7.44 (2.16)	4.78 (1.50)	4.08 (1.23)
(c) Support time (sec)	0.253 (0.033)	0.255 (0.031)	0.148 (0.025)	0.135 (0.019)	0.107 (0.009)	** 0.100 (0.009)
(d) Nonsupport time (sec)	0.128 (0.038)	0.131 (0.024)	0.193 (0.016)	0.193 (0.025)	0.137 (0.012)	0.142 (0.017)
(e) (d)/(c)	0.526 (0.194)	0.564 (0.147)	1.346 (0.286)	1.456 (0.281)	1.293 (0.163)	** 1.436 (0.251)
(f) Backward lean angl (deg.)	-18.77 (2.83)	-19.05 (2.87)	-23.11 (4.41)	-22.53 (3.74)	-22.86 (2.81)	* -20.75 (2.93)
(g) Forward lean angle (deg.)	19.38 *** (1.71)	21.22 (2.14)	25.60 (3.32)	25.79 (3.98)	30.37 (2.03)	29.53 (2.06)

(Note) Values are mean(S.D.). <sup>a)</sup> at touchdown. \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1.  
(MU:N=14, SK:N=16).

表6-12 速度段階の増加に伴う身体重心高，離地角，支持・非支持時間，後傾角，前傾角の変化 (MU群, SK群)

Variable	Slow → Med.		Med. → Max.	
	MU	SK	MU	SK
(a) CG height/Stature <sup>a)</sup>	-0.008 (0.010)	-0.002 (0.007)	-0.002 (0.012)	-0.003 (0.012)
(b) Take-off angle (deg.)	0.34 (6.21)	0.88 (4.07)	-3.25 (2.33)	-3.64 (2.48)
(c) Support time (sec)	-0.103 (0.025)	-0.119 (0.025)	-0.041 (0.021)	-0.036 (0.018)
(d) Nonsupport time (sec)	0.064 (0.032)	0.063 (0.038)	-0.053 (0.019)	-0.052 (0.036)
(e) (d)/(c)	0.782 (0.198)	0.920 (0.318)	-0.036 (0.271)	-0.021 (0.374)
(f) Backward lean angle (deg.)	-5.22 (4.17)	-4.63 (3.37)	0.25 (3.35)	2.38 (3.20)
(g) Forward lean angle (deg.)	6.33 (3.31)	4.21 (3.45)	4.24 (3.14)	3.94 (4.06)

(Note) Values are mean(S.D.). <sup>a)</sup> at touchdown. \* p<0.1. (MU:N=14, SK:N=16).

表6-13 各速度段階における離地時の胸部角度(deg.) (MU群, SK群)

Slow		Med.		Max.	
MU	SK	MU	SK	MU	SK
11.70 (4.01)	12.08 (3.43)	11.69 ** (3.30)	8.68 (2.73)	6.72 (3.37)	7.47 (2.91)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.  
(MU:N=14, SK:N=16).

表6-14 速度段階の増加に伴う胸部角度の変化(deg.) (MU群, SK群)

Slow → Med.		Med. → Max.	
MU	SK	MU	SK
-0.01 ** (4.85)	-3.40 (4.40)	-4.97 ** (4.29)	-1.21 (4.31)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.  
(MU:N=14, SK:N=16).

表7-1 シミュレーションにおける走速度(m/s)  
 (走者TA, SHによる走フォーム  $t_a$ ,  $s_h$ を用いた走)

Speed level	TA+ $t_a$	TA+ $s_h$	SH+ $t_a$	SH+ $s_h$
Slow	3.099	3.093	3.089	3.090
Medium	6.605	6.619	6.590	6.585
Maximum	9.260	9.270	9.254	9.245

表7-2 実験2におけるTA群, SH群の身体的特性

Item	TA(N=4)			SH(N=4)	
	Mean	S.D.		Mean	S.D.
Stature(cm)	183.05	3.61	**	171.15	3.72
Body mass(kg)	69.12	6.99		66.66	4.35
Score of Mesomorphy	4.05	0.59		5.42	0.68
CG height/stature(%)	58.91	0.91		58.92	0.63

(Note) \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-3 実験2におけるTA群, SH群の各試技の走速度(m/s)

Speed level	TA+ta	TA+sh	SH+ta	SH+sh
Medium	5.147 (2.327)	7.123 (0.612)	5.463 (0.226)	6.839 (0.396)
Maximum	9.320 (0.173)	8.972 (0.210)	9.206 (0.288)	9.534 (0.183)

(Note) Values are mean(S.D.).

表7-4 実験2から得たTA群, SH群の同じ走フォームによる疾走中のスト  
ライド, ピッチに関連した変量 (走フォーム ta, sh)

Med.

Trial	CG height/St. <sup>a)</sup>	HDcg/St.(sup.)	HDcg/St.(nonsup.)	BLA(deg)	FLA(deg)
TA+ta (N=4)	0.574 (0.027) **	0.503 (0.069)	0.792 (0.039) *	-22.31 (4.77)	26.96 (1.55)
SH+ta (N=4)	0.587 (0.003)	0.481 (0.042)	0.677 (0.114)	-20.85 (3.79)	24.73 (1.90)
TA+sh (N=4)	0.561 (0.013)	0.521 (0.018) *	0.809 (0.085) *	-18.15 (1.63)	30.26 (1.36)
SH+sh (N=4)	0.567 (0.010)	0.487 (0.016)	0.723 (0.073)	-18.72 (2.92)	28.47 (2.72)

Max.

Trial	CG height/St. <sup>a)</sup>	HDcg/St.(sup.)	HDcg/St.(nonsup.)	BLA(deg)	FLA(deg)
TA+ta (N=4)	0.561 (0.009)	0.526 (0.017)	0.723 (0.044)	-23.00 (1.69)	28.04 (2.93)
SH+ta (N=4)	0.553 (0.016)	0.509 (0.077)	0.698 (0.073)	-23.83 (5.83)	26.63 (2.54)
TA+sh (N=4)	0.558 (0.011)	0.542 (0.125)	0.735 (0.175)	-20.47 (0.66)	29.41 (1.73)
SH+sh (N=4)	0.550 (0.008)	0.528 (0.032)	0.700 (0.037)	-22.60 (5.67)	29.15 (2.94)

(Note) Values are mean(S.D.). <sup>a)</sup> at toe-off. \*\* p<0.05, \* p<0.1.



表7-5 実験2から得たTA群, SH群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の平均角速度(deg/s) (中速走, 走フォームt a.)

Segment and/or joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Thigh	TA+ta (N=4)	-82.09 ( 23.96)	-207.17 (135.27)	-370.84 (172.63)	91.00 ( 36.53)	303.21 (138.39)
	SH+ta (N=4)	-182.85 ( 71.29) *	-196.20 (107.78)	-403.87 (156.50)	129.80 ( 70.84)	402.92 (169.59)
Knee	TA+ta (N=4)	283.96 (116.17)	-175.67 (115.89)	238.91 (135.49)	-398.15 (171.64)	126.61 ( 66.30)
	SH+ta (N=4)	370.11 (145.57)	-256.63 (111.56)	213.05 ( 89.57)	-450.97 (182.18)	92.34 ( 77.81)
Ankle	TA+ta (N=4)	-55.71 ( 31.07)	-221.22 (106.58)	394.64 (210.88)	7.12 ( 8.94)	-60.04 ( 12.13)
	SH+ta (N=4)	-29.78 ( 38.40)	-326.36 (153.26)	490.18 (209.71)	59.17 ( 52.47)	-156.29 ( 87.38)

(Note) Values are mean(S.D.). \* p<0.1.

表7-6 実験2から得たTA群, SH群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の平均角速度(deg/s) (全速走, 走フォーム t a)

Segment and/or joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Thigh	TA+ta (N=4)	-278.39 ( 32.27)	-415.32 ( 91.43)	-630.61 ( 63.56)	209.50 ( 37.13)	629.24 ( 56.32)
	SH+ta (N=4)	-281.20 ( 66.49)	-414.11 ( 60.81)	-675.09 ( 40.33)	217.31 ( 69.76)	570.67 ( 40.73)
knee	TA+ta (N=4)	595.66 ( 54.19)	-257.43 (140.77)	273.94 ( 72.25)	-783.39 ( 59.82)	204.10 (128.84)
	SH+ta (N=4)	589.90 (106.44)	-335.80 ( 91.95)	311.92 ( 38.67)	-800.22 ( 52.80)	281.36 (167.45)
Ankle	TA+ta (N=4)	20.41 ( 30.47)	-481.02 ( 56.14)	586.66 ( 45.74)	95.83 (100.85)	-172.23 ( 58.56)
	SH+ta (N=4)	-53.46 ( 72.06)	-345.07 ( 29.89)	720.88 ( 73.45)	43.58 ( 57.27)	-225.05 ( 36.56)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, p<0.1.

表7-7 実験2から得たTA群, SH群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の平均角速度(deg/s) (中速走, 走ブォームsh)

Segment and/or joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Thigh	TA+sh (N=4)	-176.56 ( 19.64)	-231.82 ( 26.72) **	-528.14 ( 51.38)	141.73 ( 14.67)	536.03 ( 21.29)
	SH+sh (N=4)	-189.04 ( 55.94)	-302.43 ( 30.14)	-523.14 ( 53.05)	144.37 ( 50.05)	488.70 ( 50.26)
Knee	TA+sh (N=4)	387.22 ( 34.76)	-333.46 ( 36.26)	301.72 ( 60.65)	-526.99 ( 27.94)	188.60 ( 78.64)
	SH+sh (N=4)	370.98 ( 54.79)	-277.31 ( 47.74)	325.34 ( 22.91)	-574.99 ( 62.66)	151.84 (125.24)
Ankle	TA+sh (N=4)	-67.94 ( 50.04)	-346.65 ( 88.80)	485.71 (110.36)	46.41 ( 37.75)	-162.25 ( 58.79)
	SH+sh (N=4)	-47.06 ( 43.31)	-364.16 ( 55.11)	621.28 (144.77)	12.18 ( 38.44)	-140.78 ( 22.57)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-8 実験2から得たT.A群, SH群の大腿, 膝関節, 足関節における各局  
面の平均角速度(deg/s) (全速走, 走ブォームsh)

Segment and/or joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Thigh	TA+sh (N=4)	-231.19 ( 42.55)	-355.80 ( 36.41)	-644.96 ( 36.40)	155.01 ( 29.15)	662.02 ( 45.05)
	SH+sh (N=4)	-233.16 ( 56.37)	-389.27 ( 49.85)	-698.57 ( 83.63)	204.60 ( 27.10)	587.90 ( 43.16)
Knee	TA+sh (N=4)	550.39 ( 16.90)	-336.52 ( 81.94)	331.49 ( 72.86)	-710.41 ( 88.01)	117.07 (161.23)
	SH+sh (N=4)	708.50 ( 68.69)	-394.85 ( 94.01)	319.75 ( 92.93)	-797.39 ( 42.05)	226.90 (150.97)
Ankle	TA+sh (N=4)	-85.00 ( 75.57)	-399.12 ( 61.64)	687.34 ( 86.97)	68.74 ( 78.83)	-115.15 ( 38.46)
	SH+sh (N=4)	-17.93 ( 62.19)	-446.77 (117.21)	711.64 ( 45.23)	77.03 ( 35.36)	-196.15 (122.10)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-9 実験2から得たTA群, SH群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の単位質量あたりの平均トルク(Nm/kg) (中速走, 走フォームt a.)

Joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Hip	TA+ta (N=4)	0.759 (0.666)	1.108 (0.392) **	-0.589 (0.380)	-0.511 (0.541)	0.035 (0.140)
	SH+ta (N=4)	0.854 (0.597)	0.445 (0.392)	-0.462 (0.585)	-0.761 (0.587)	0.022 (0.109)
Knee	TA+ta (N=4)	-0.371 (0.239)	-0.804 (0.442)	0.344 (0.417)	0.074 (0.210)	-0.150 (0.048)
	SH+ta (N=4)	-0.479 (0.274)	-1.380 (0.738)	0.388 (1.290)	0.173 (0.310)	-0.199 (0.044)
Ankle	TA+ta (N=4)	0.100 (0.023)	1.591 (0.435)	0.352 (0.277) **	-0.068 (0.018) **	0.013 (0.007)
	SH+ta (N=4)	0.140 (0.035)	2.329 (0.649)	0.850 (0.240)	-0.002 (0.037)	0.002 (0.014)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, p<0.1.

表7-10 実験2から得たTA群, SH群の大腿, 膝関節, 足関節における各  
局面の単位質量あたりの平均トルク(Nm/kg) (全速走, 走ブフォーム  
t a)

Joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Hip	TA+ta (N=4)	2.327 (0.170)	0.661 (0.319)	-0.513 (0.572)	-1.958 (0.284)	0.354 (0.130)
	SH+ta (N=4)	2.245 (0.284)	1.582 (1.110)	-0.488 (0.292)	-1.574 (0.148)	0.146 (0.158)
Knee	TA+ta (N=4)	-1.047 (0.129)	-2.761 (0.185)	0.727 (0.837)	0.349 (0.127)	-0.034 (0.048)
	SH+ta (N=4)	-0.870 (0.209)	-4.017 (3.983)	2.211 (1.415)	0.299 (0.168)	-0.071 (0.042)
Ankle	TA+ta (N=4)	0.142 (0.038)	2.233 (0.498)	1.042 (0.133)	-0.073 (0.037)	-0.013 (0.004)
	SH+ta (N=4)	0.208 (0.045)	3.038 (0.770)	1.178 (0.599)	** -0.154 (0.060)	** 0.001 (0.007)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-11 実験2から得たTA群, SH群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の単位質量あたりの平均トルク(Nm/kg) (中速走, 走ブフォームsh)

Joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Hip	TA+sh (N=4)	1.358 (0.268)	2.022 (0.828)	-0.386 (0.649)	-1.162 (0.066)	0.083 (0.077)
	SH+sh (N=4)	1.127 (0.155)	1.268 (0.329)	-0.566 (0.300)	-1.023 (0.249)	0.203 (0.091)
Knee	TA+sh (N=4)	-0.811 (0.188)	-0.059 (0.700)	2.268 (2.185)	0.361 (0.142)	-0.076 (0.029)
	SH+sh (N=4)	** -0.585 (0.033)	** -1.314 (0.613)	0.591 (0.922)	0.158 (0.178)	** -0.149 (0.040)
Ankle	TA+sh (N=4)	0.107 (0.022)	2.020 (0.285)	1.337 (0.361)	-0.010 (0.080)	-0.017 (0.008)
	SH+sh (N=4)	0.146 (0.029)	2.454 (0.466)	1.022 (0.560)	-0.089 (0.021)	-0.002 (0.013)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-12 実験2から得たTA群, SH群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の単位質量あたりの平均トルク(Nm/kg) (全速走, 走フホームsh)

Joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Hip	TA+sh (N=4)	2.153 (0.501)	1.582 (0.644)	-0.488 (0.548)	-1.574 (0.049) ***	0.146 (0.060) **
	SH+sh (N=4)	2.399 (0.168)	0.844 (0.334)	-0.322 (0.148)	-2.104 (0.134)	0.407 (0.137)
Knee	TA+sh (N=4)	-1.098 (0.355)	-0.820 (1.671)	2.358 (0.791) **	0.167 (0.072) **	-0.039 (0.038) **
	SH+sh (N=4)	-1.028 (0.125)	-1.697 (1.389)	0.852 (1.067)	0.377 (0.098)	-0.136 (0.072)
Ankle	TA+sh (N=4)	0.110 (0.041)	2.105 (0.504)	1.557 (0.373) **	-0.088 (0.011)	-0.017 (0.005)
	SH+sh (N=4)	0.165 (0.071)	2.101 (0.503)	0.872 (0.216)	-0.105 (0.035)	0.005 (0.020)

(Note) Values are mean(S.D.). \* p<0.1.



表7-13 実験2から得た各速度段階の回復期, 支持期におけるTA群, SH群の股関節, 膝関節, 足関節筋群による正, 負の最大パワー(W/kg) (走フォームta)

Med.

Joint	Trial	Recovery phase		Support phase	
		Positive	Negative	Positive	Negative
Hip	TA+ta (N=4)	5.047 (0.991) **	-2.442 (0.863) **	11.656 (1.512)	-0.527 (2.044)
	SH+ta (N=4)	11.630 (4.618)	-7.167 (3.581)	12.496 (7.466)	-7.679 (0.284)
Knee	TA+ta (N=4)	4.055 (0.666)	-7.433 (4.058)	4.536 (3.808)	-4.946 (4.346) **
	SH+ta (N=4)	3.049 (1.262)	-10.240 (2.645)	10.776 (9.257)	-17.798 (9.933)
Ankle	TA+ta (N=4)	0.102 (0.048)	-1.441 (1.093)	6.877 (2.477) **	-8.391 (6.055) **
	SH+ta (N=4)	6.516 (6.140)	-0.260 (0.032)	13.077 (4.332)	-23.462 (7.377)

Max.

Joint	Trial	Recovery phase		Support phase	
		Positive	Negative	Positive	Negative
Hip	TA+ta (N=4)	21.136 (2.961)	-13.038 (2.180)	13.405 (3.919)	-6.289 (5.720)
	SH+ta (N=4)	21.511 (1.772)	-19.281 (5.310)	11.696 (4.047)	-14.484 (6.752)
Knee	TA+ta (N=4)	4.459 (1.230)	-29.176 (4.367)	3.932 (3.920) **	-14.018 (5.993)
	SH+ta (N=4)	4.879 (2.474)	-24.053 (3.391)	14.915 (4.646)	-23.646 (23.784)
Ankle	TA+ta (N=4)	3.524 (2.653)	-0.510 (0.131)	10.739 (0.851)	-19.245 (5.686)
	SH+ta (N=4)	3.911 (4.896)	-3.412 (3.954)	14.113 (5.759)	-16.993 (5.162)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-14 実験2から得た各速度段階の回復期、支持期におけるTA群、SH群の股関節、膝関節、足関節筋群による正、負の最大パワー(W/kg) (走フォームsh)

Med.

Joint	Trial	Recovery phase		Support phase	
		Positive	Negative	Positive	Negative
Hip	TA+sh (N=4)	9.802 (0.875)	-11.626 (4.619) **	18.223 (5.890)	-4.455 (8.443)
	SH+sh (N=4)	7.922 (2.399)	-4.093 (2.002)	12.053 (3.198)	-2.753 (7.055)
Knee	TA+sh (N=4)	6.656 (2.732) **	-12.510 (3.311)	25.623 (17.174)	-12.929 (4.049)
	SH+sh (N=4)	2.790 (0.728)	-10.596 (2.626)	11.325 (4.022)	-9.299 (5.670)
Ankle	TA+sh (N=4)	5.151 (3.533) **	-4.527 (5.688)	16.639 (4.502)	-14.274 (1.811)
	SH+sh (N=4)	0.599 (0.673)	-3.979 (2.436)	14.213 (4.219)	-15.436 (4.155)

Max.

Joint	Trial	Recovery phase		Support phase	
		Positive	Negative	Positive	Negative
Hip	TA+sh (N=4)	16.149 (2.470)	-9.848 (1.870) **	15.672 (1.944)	-1.533 (4.269)
	SH+sh (N=4)	18.689 (3.672)	-18.828 (7.603)	11.784 (3.840)	-8.003 (7.303)
Knee	TA+sh (N=4)	4.609 (3.188)	-21.924 (3.242)	19.540 (10.096)	-12.465 (6.396)
	SH+sh (N=4)	5.428 (3.321)	-27.577 (4.988)	11.268 (4.403)	-11.708 (4.881)
Ankle	TA+sh (N=4)	0.574 (0.245) **	-1.645 (0.306)	20.317 (8.165)	-14.199 (5.349)
	SH+sh (N=4)	2.407 (1.497)	-2.322 (3.353)	11.070 (3.595)	-12.651 (7.414)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-15 シミュレーションにおける走速度(m/s)  
 (走者MU, SKによる走フォームmu, skを用いた走)

Speed level	MU+mu	MU+sk	SK+mu	SK+sk
Slow	3.074	3.117	3.070	3.109
Medium	6.595	6.601	6.596	6.634
Maximum	9.250	9.244	9.264	9.253

表7-16 実験2におけるMU群, SK群の身体的特性

Item	MU(N=4)			SK(N=4)	
	Mean	S.D.		Mean	S.D.
Stature(cm)	178.10	8.94		176.10	3.95
Body mass(kg)	71.68	4.31	*	64.11	4.88
Score of Mesomorphy	5.62	0.99	**	3.86	0.40
CG height/stature(%)	58.91	0.91		58.92	0.63

(Note) \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-17 実験2におけるMU群、SK群の各試技の走速度(m/s)

Speed level	MU+mu	MU+sk	SK+mu	SK+sk
Medium	5.472 (2.105)	5.405 (1.973)	7.013 (0.217)	6.970 (0.268)
Maximum	9.438 (0.162)	9.158 (0.138)	9.048 (0.618)	9.445 (0.255)

(Note) Values are mean(S.D.).

表7-18 実験2から得たMU群, SK群の同じ走フォームによる疾走中のストライド, ピッチに関連した変量 (走フォーム $\mu$ , s k)

Med.						
Trial	CG height/St. <sup>a)</sup>	HDcg/St.(sup.)	HDcg/St.(nonsup.)	BLA(deg)	FLA(deg)	
MU+ $\mu$ (N=4)	0.573 (0.010)	0.557 (0.072)	0.705 (0.063)	-24.53 (3.16)	28.81 (3.16)	
SK+ $\mu$ (N=4)	0.571 (0.018)	0.522 (0.025)	0.738 (0.051)	-23.65 (2.19)	27.13 (1.89)	
-----						
MU+sk (N=4)	0.589 (0.013)	0.493 (0.040)	0.710 (0.031)	-18.24 (1.91)	29.39 (1.90)	
SK+sk (N=4)	0.567 (0.001)	0.486 (0.017)	0.740 (0.041)	-16.56 (1.51)	30.39 (1.10)	
Max.						
Trial	CG height/St. <sup>a)</sup>	HDcg/St.(sup.)	HDcg/St.(nonsup.)	BLA(deg)	FLA(deg)	
MU+ $\mu$ (N=4)	0.556 (0.011)	0.552 (0.021)	0.676 (0.036)	-23.56 (2.44)	29.66 (1.49)	
SK+ $\mu$ (N=4)	0.553 (0.006)	0.540 (0.044)	0.755 (0.184)	-23.87 (2.14)	27.87 (1.28)	
-----						
MU+sk (N=4)	0.585 (0.011) *	0.514 (0.023)	0.817 (0.108)	-18.14 (1.87)	28.97 (1.63)	
SK+sk (N=4)	0.561 (0.004)	0.513 (0.019)	0.735 (0.005)	-21.71 (5.99)	28.02 (3.68)	

(Note) Values are mean(S.D.). <sup>a)</sup> at toe-off. \* p<0.1.

表7-19 実験2から得たMU群, SK群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の平均角速度(deg/s) (中速走, 走フォームmu)

Segment and/or joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Thigh	MU+mu (N=4)	-101.00 ( 36.10)	-207.22 (105.37)	-412.36 (173.38)	84.29 ( 22.50)	358.88 (151.37)
	SK+mu (N=4)	-186.23 ( 71.29) *	-273.04 (107.78)	-561.66 (156.50)	132.79 ( 70.84) **	520.12 (169.59)
Knee	MU+mu (N=4)	330.15 (121.59)	-239.87 ( 98.23)	250.18 (115.69)	-421.45 (152.52)	74.79 ( 47.06)
	SK+mu (N=4)	467.92 ( 38.82)	-308.61 ( 12.06)	315.49 ( 47.23)	-561.69 ( 8.68)	90.34 (116.93)
Ankle	MU+mu (N=4)	-23.19 ( 29.23)	-305.07 (135.41)	439.92 (232.73)	20.28 ( 29.10)	-95.33 ( 36.16)
	SK+mu (N=4)	-50.60 ( 68.39)	-398.07 ( 39.50)	560.34 ( 76.44)	51.29 ( 43.09)	-97.93 ( 38.64)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-20 実験2から得たMU群, SK群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の平均角速度(deg/s) (全速走, 走ブフォーム)

Segment and/or joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Thigh	MU+mu (N=4)	-233.96 ( 63.20)	-440.79 ( 44.37)	-671.13 (104.15)	208.90 ( 37.54)	618.37 ( 54.96)
	SK+mu (N=4)	-230.04 ( 93.11)	-327.32 (112.99)	-652.41 ( 39.71)	157.01 ( 70.60)	615.86 ( 48.49)
Knee	MU+mu (N=4)	640.73 ( 90.08)	-253.13 (98.447)	299.78 (114.57)	-811.01 ( 23.31)	188.17 (111.22)
	SK+mu (N=4)	677.17 (129.95)	-412.34 (117.43)	296.63 ( 26.29)	-726.70 (138.43)	230.58 (157.40)
Ankle	MU+mu (N=4)	4.89 ( 47.94)	-416.96 ( 84.51)	664.91 ( 92.66)	62.14 ( 45.47)	-186.08 ( 72.37)
	SK+mu (N=4)	-59.25 ( 85.12)	-482.79 ( 8.88)	605.76 ( 74.47)	110.35 ( 73.83)	-198.23 ( 39.86)

(Note) Values are mean(S.D.). \* p<0.1.



表7-21 実験2から得たMU群, SK群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の平均角速度(deg/s) (中速走, 走フォームsk)

Segment and/or joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Thigh	MU+sk (N=4)	-160.79 ( 67.25)	-157.94 ( 55.10)	-430.12 (162.05)	101.99 ( 44.15)	399.61 (138.79)
	SK+sk (N=4)	-199.48 ( 63.33)	-334.11 ( 26.29)	-518.56 ( 16.84)	171.10 ( 37.16)	476.30 ( 61.24)
Knee	MU+sk (N=4)	348.47 (112.46)	-277.71 (133.91)	273.96 (144.55)	-428.54 (149.89)	50.17 ( 43.43)
	SK+sk (N=4)	338.40 ( 45.54)	-225.59 ( 96.91)	578.39 ( 30.98)	-602.86 ( 52.34)	229.34 ( 95.23)
Ankle	MU+sk (N=4)	-23.29 ( 17.23)	-290.66 (133.07)	429.18 (194.34)	42.57 ( 17.37)	-94.54 ( 34.04)
	SK+sk (N=4)	-87.54 ( 1.82)	-300.00 ( 57.79)	636.45 ( 86.68)	-3.68 ( 24.66)	-120.64 ( 49.43)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-22 実験2から得たMU群, SK群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の平均角速度(deg/s) (全速走, 走フォームsk)

Segment and/or joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Thigh	MU+sk (N=4)	-288.54 ( 40.74)	-359.23 ( 20.58)	-624.66 ( 77.52)	200.59 ( 22.93)	631.75 ( 14.86)
	SK+sk (N=4)	-277.33 ( 6.82)	-346.61 ( 66.09)	-667.19 ( 39.15)	203.77 ( 21.94)	588.61 ( 45.81)
Knee	MU+sk (N=4)	592.20 ( 49.53)	-365.14 ( 34.37)	271.77 ( 91.24)	-711.08 ( 78.43)	278.48 ( 96.09)
	SK+sk (N=4)	686.01 ( 67.18)	-446.39 ( 90.17)	300.56 ( 20.82)	-765.23 ( 64.24)	255.75 ( 167.89)
Ankle	MU+sk (N=4)	-30.36 ( 36.15)	-433.70 ( 30.96)	609.19 ( 41.17)	71.60 ( 24.05)	-192.67 ( 62.30)
	SK+sk (N=4)	-10.01 ( 61.10)	-520.77 ( 80.37)	648.97 ( 46.39)	115.68 ( 87.44)	-185.66 ( 129.04)

(Note) Values are mean(S.D.). \* p<0.1.

表7-23 実験2から得たMU群, SK群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の単位質量あたりの平均トルク(Nm/kg) (中速走, 走フォームmu)

Joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Hip	MU+mu (N=4)	0.863 (0.605)	1.011 (0.290)	-0.645 (0.417)	-0.592 (0.490)	0.027 (0.094)
	SK+mu (N=4)	1.210 (0.063)	1.146 (0.247)	-0.653 (0.238)	-1.018 (0.144)	0.129 (0.061)
Knee	MU+mu (N=4)	-0.436 (0.231)	-1.193 (0.637)	0.593 (0.618)	0.036 (0.191)	-0.146 (0.042)
	SK+mu (N=4)	-0.726 (0.130)	-1.178 (1.055)	1.002 (0.822)	0.077 (0.104)	-0.108 (0.047)
Ankle	MU+mu (N=4)	0.110 (0.028)	2.089 (0.762)	0.734 (0.588)	-0.084 (0.028)	-0.006 (0.012)
	SK+mu (N=4)	0.106 (0.047)	2.178 (0.191)	1.262 (0.321)	-0.097 (0.049)	-0.006 (0.011)

(Note) Values are mean(S.D.). \* p<0.1.

表7-24 実験2から得たMU群, SK群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の単位質量あたりの平均トルク(Nm/kg) (全速走, 走フォームmu)

Joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Hip	MU+mu (N=4)	2.438 (0.157)	1.027 (0.170)	-0.217 (0.238)	-2.118 (0.245)	0.371 (0.122)
	SK+mu (N=4)	2.027 (0.537) **	1.266 (0.798)	-0.316 (0.509)	-1.850 (0.374)	0.371 (0.221)
Knee	MU+mu (N=4)	-1.082 (0.104)	-1.938 (0.918)	1.328 (0.956)	0.403 (0.127)	-0.065 (0.067)
	SK+mu (N=4)	-1.011 (0.231)	-1.364 (1.594)	0.163 (0.441)	0.235 (0.131)	-0.024 (0.038)
Ankle	MU+mu (N=4)	0.166 (0.046)	2.186 (0.404)	0.976 (0.209)	-0.088 (0.028)	-0.006 (0.009)
	SK+mu (N=4)	0.122 (0.016)	2.137 (0.410)	0.813 (0.365)	-0.120 (0.022)	-0.007 (0.016)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-25 実験2から得たMU群, SK群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の単位質量あたりの平均トルク(Nm/kg) (中速走, 走フォームsk)

Joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Hip	MU+sk (N=4)	0.884 (0.583)	0.866 (0.330)	-0.699 (0.649)	-0.686 (0.066)	0.055 (0.077)
	SK+sk (N=4)	1.301 (0.161)	1.450 (0.302)	-0.485 (0.133)	-1.086 (0.258)	0.270 (0.036)
Knee	MU+sk (N=4)	-0.535 (0.332)	-1.155 (1.332)	0.397 (0.767)	0.081 (0.215)	-0.103 (0.026)
	SK+sk (N=4)	-0.570 (0.059)	-0.965 (0.523)	0.341 (0.893)	0.229 (0.141)	-0.153 (0.046)
Ankle	MU+sk (N=4)	0.103 (0.043)	2.207 (0.690)	1.054 (0.472)	-0.036 (0.042)	-0.003 (0.010)
	SK+sk (N=4)	0.148 (0.031)	2.078 (0.361)	0.736 (0.539)	-0.074 (0.008)	** -0.002 (0.014)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-26 実験2から得たMU群, SK群の大腿, 膝関節, 足関節における各局面の単位質量あたりの平均トルク(Nm/kg) (全速走, 走フォームsk)

Joint	Trial	Phase				
		1-3	3-4	4-5	5-7	7-1
Hip	MU+sk (N=4)	1.929 (0.131)	0.852 (0.175)	-0.268 (0.350)	-1.915 (0.083)	1.033 (0.986)
	SK+sk (N=4)	2.274 (0.145)	0.418 (0.139)	-0.653 (0.439)	-1.939 (0.137)	0.401 (0.153)
Knee	MU+sk (N=4)	-0.937 (0.125)	-1.167 (0.440)	0.632 (0.599)	0.463 (0.084)	-0.081 (0.030) **
	SK+sk (N=4)	-0.976 (0.131)	-2.440 (1.409)	0.091 (0.367)	0.315 (0.058)	-0.129 (0.082)
Ankle	MU+sk (N=4)	0.132 (0.018)	2.106 (0.135)	0.833 (0.124)	-0.072 (0.035)	-0.010 (0.008)
	SK+sk (N=4)	0.141 (0.073)	2.120 (0.612)	0.904 (0.189)	-0.095 (0.050)	0.002 (0.025)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, # p<0.1.

表7-27 実験2から得た各速度段階の回復期、支持期におけるMU群、SK群の股関節、膝関節、足関節筋群による正、負の最大パワー(W/kg) (走フォームmu)

Med.

Joint	Trial	Recovery phase		Support phase	
		Positive	Negative	Positive	Negative
Hip	MU+mu (N=4)	5.116 (1.134)	-2.668 (0.950)	11.352 (1.512)	-1.697 (6.902)
	SK+mu (N=4)	3.215 (3.439)	-1.827 (1.982)	4.838 (4.977)	-0.029 (2.547)
Knee	MU+mu (N=4)	3.575 (0.603) **	-7.412 (3.392)	6.607 (4.065)	-7.009 (2.980)
	SK+mu (N=4)	1.291 (1.311)	-3.831 (3.864)	8.386 (11.794)	-6.481 (8.502)
Ankle	MU+mu (N=4)	0.139 (0.117)	-3.932 (2.628)	9.419 (5.670)	-13.488 (6.055) **
	SK+mu (N=4)	0.069 (0.057)	-1.999 (2.566)	5.030 (5.293)	-5.195 (5.482)

Max.

Joint	Trial	Recovery phase		Support phase	
		Positive	Negative	Positive	Negative
Hip	MU+mu (N=4)	19.883 (4.263)	-17.900 (8.200)	12.253 (3.747)	-9.983 (6.524)
	SK+mu (N=4)	19.669 (1.479)	-12.176 (1.501)	11.815 (5.203)	-1.944 (3.013)
Knee	MU+mu (N=4)	5.655 (3.141)	-29.271 (3.936)	9.526 (5.039)	-8.574 (2.286) **
	SK+mu (N=4)	3.127 (3.012)	-24.457 (7.385)	7.947 (4.170)	-12.565 (2.396)
Ankle	MU+mu (N=4)	2.307 (1.579)	-0.406 (0.091)	12.191 (3.107)	-14.585 (9.559)
	SK+mu (N=4)	0.483 (0.064)	-3.916 (2.699)	8.085 (3.677)	-16.650 (1.875)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.

表7-28 実験2から得た各速度段階の回復期, 支持期におけるMU群, SK群の股関節, 膝関節, 足関節筋群による正, 負の最大パワー(W/kg) (走フォームsk)

Med.

Joint	Trial	Recovery phase		Support phase	
		Positive	Negative	Positive	Negative
Hip	MU+sk (N=4)	4.645 (5.158)	-2.699 (3.071)	6.607 (4.729)	-2.541 (2.767)
	SK+sk (N=4)	6.483 (1.963)	-3.206 (1.788)	9.045 (3.066)	-1.460 (2.353)
Knee	MU+sk (N=4)	4.645 (5.158)	-5.217 (5.538)	10.065 (7.122)	-5.817 (6.756)
	SK+sk (N=4)	2.091 (0.657)	-8.565 (2.172)	8.079 (1.765)	-5.882 (5.945)
Ankle	MU+sk (N=4)	0.859 (1.024)	-0.851 (2.025)	6.900 (4.332)	-6.007 (1.811)
	SK+sk (N=4)	0.054 (0.575)	-1.077 (0.183)	9.829 (4.108)	-6.481 (8.502)

Max.

Joint	Trial	Recovery phase		Support phase	
		Positive	Negative	Positive	Negative
Hip	MU+sk (N=4)	24.452 (2.738)	-23.193 (12.580)	15.961 (7.875)	-9.337 (3.157)
	SK+sk (N=4)	19.544 (2.424)	-14.275 (1.954)	12.779 (4.201)	-3.649 (5.083)
Knee	MU+sk (N=4)	3.819 (0.846)	-31.309 (1.988)	6.742 (2.727)	-8.279 (8.271)
	SK+sk (N=4)	4.156 (1.522)	-26.917 (5.467)	6.255 (5.657)	-18.197 (3.294)
Ankle	MU+sk (N=4)	4.460 (2.369)	-1.365 (1.123)	9.033 (1.171)	-16.113 (2.337)
	SK+sk (N=4)	3.657 (2.525)	-3.065 (3.582)	9.245 (0.433)	-16.666 (2.481)

(Note) Values are mean(S.D.). \*\* p<0.05, \* p<0.1.



表 8 - 1 実験 2 から得た T A 群, S H 群の各走における全身, 脚, 腕と頸部の絶対仕事 (走フォーム t a, s h)

Med.			
Trial	Absolute work/body mass(W/kg)		
	Whole body	Leg	Arm and Neck
TA+ta (N=4)	7.070 (2.863)	6.658 (2.629)	0.412 (0.235) *
TA+sh (N=4)	9.817 (1.833)	9.052 (2.030)	0.764 (0.203)
SH+ta (N=4)	7.407 (1.856)	7.018 (1.813)	0.389 (0.064)
SH+sh (N=4)	6.161 (0.834)	5.746 (0.722)	0.416 (0.123)
Max.			
Trial	Absolute work/body mass(W/kg)		
	Whole body	Leg	Arm and Neck
TA+ta (N=4)	9.602 (1.344)	8.458 (1.010)	1.144 (0.364)
TA+sh (N=4)	9.154 (1.334)	8.224 (1.130)	0.928 (0.216)
SH+ta (N=4)	8.527 (1.306)	7.574 (1.138)	0.946 (0.186)
SH+sh (N=4)	8.616 (1.148)	7.542 (1.044)	1.076 (0.144)

(Note) Values are mean(S.D.). \* p<0.1.

表 8 - 2 実験 2 から得た MU 群, SK 群の各走における全身, 脚, 腕と頸部の絶対仕事 (走フォーム  $\mu$ ,  $sk$ )

Med.			
Trial	Absolute work/body mass(W/kg)		
	Whole body	Leg	Arm and Neck
MU+ $\mu$ (N=4)	7.262 (2.071)	6.796 (1.925)	0.466 (0.158)
MU+ $sk$ (N=4)	7.584 (0.928)	7.129 (0.865)	0.455 (0.077)
SK+ $\mu$ (N=4)	6.418 (1.212)	6.006 (1.140)	0.412 (0.150)
SK+ $sk$ (N=4)	5.604 (1.519)	5.260 (1.337)	0.344 (0.182)
Max.			
Trial	Absolute work/body mass(W/kg)		
	Whole body	Leg	Arm and Neck
MU+ $\mu$ (N=4)	9.426 (1.516)	8.248 (1.290)	1.178 (0.282)
MU+ $sk$ (N=4)	11.318 (2.294)	10.032 (2.048)	1.286 (0.278)
SK+ $\mu$ (N=4)	8.604 (0.672)	7.608 (0.620)	0.996 (0.052)
SK+ $sk$ (N=4)	8.524 (0.768)	7.518 (0.658)	1.006 (0.172)

(Note) Values are mean(S.D.). \*  $p < 0.1$ .

## 資料

## 資料 A

### Heath-Carterの方法による 体型指数の算出法

Heath-Carterの体型判定法<sup>20)</sup>では、内胚葉値、中胚葉値、外胚葉値の3個の体型指数によって個人の体型を判定する。

それぞれの体型指数の算出に必要なパラメータを表A-1に示した。これらのパラメータを用いて各体型指数を算出する式を、表A-2の式(1)～(3)に示した。また、3次元的に表わされた個人の体型を、ソマトチャートによって2次元的に表わすための変換式を、表A-2の式(4)、(5)に示した。

表A-1 各体型指数の算出に必要なパラメータ

Parameter	
1. Stature (cm)	
2. Body mass (kg)	
3. Skinfold(mm)	Triceps
	Subscapular
	Suprailiac
	Calf
4. Girth(cm)	Biceps
	Calf
5. Diameter(cm)	Humerus
	Femur

表A-2 各体型指数の算出式

$$\text{Endomorphy} = -0.7182 + 0.1451 \cdot xx - 0.00068 \cdot xx^2, \quad \dots\dots(1)$$

where  $xx = \text{Triceps skinfold} + \text{Subscapular skinfold}$   
 $+ \text{Suprailiac skinfold}.$

$$\begin{aligned} \text{Mesomorphy} = & 0.858 \cdot \text{Humerus diameter} + 0.601 \cdot \text{Femur diameter} \\ & + 0.188 \cdot \text{Corrected biceps girth} + 0.161 \cdot \text{Corrected calf girth} \\ & - 0.131 \cdot \text{Stature} + 4.50 \quad \dots\dots(2) \end{aligned}$$

$$\text{Ectomorphy} = 0.732 \cdot \text{HWR} - 28.58 \quad \dots\dots(3)$$

where  $\text{HWR} = \text{Stature} / (\text{Body mass})^{1/3}.$

If  $38.25 < \text{HWR} < 40.75$ , then  $\text{Ectomorphy} = 0.463 \cdot \text{HWR} - 17.63.$

If  $\text{HWR} \leq 38.25$ , then  $\text{Ectomorphy} = 0.1.$

$$X = \text{Ectomorphy} - \text{Endomorphy} \quad \dots\dots(4)$$

$$Y = 2 \cdot \text{Mesomorphy} - \text{Endomorphy} - \text{Ectomorphy} \quad \dots\dots(5)$$

## 資料 B

### 身体部分係数 (比) を用いた各部分の質量， 重心位置，慣性モーメントの算出式

身体部分係数 (BSP) は、その実用性を考慮して、一般に身体質量や各部分長に対する比 (質量比，比重心位置，比慣性半径) として表示されている。ここでは、フィルム分析などから得られた身体各部位の 2 次元的位置座標と BSP を用いて、運動中の各部分の身体質量，重心位置，慣性モーメントを算出する式を示す。

算出に必要な身体上の測定点 (図 B-1) の位置座標を  $(x_j, y_j)$ ， $(j=1, \dots, 21)$  とする。また BSP では、質量を  $m_i$ ，重心を  $p_i$ ，左右軸回りの慣性半径を  $k_i$  ( $i=1, \dots, 8$ ) とおく (表 B-1)。ただし、BSP は全て比で表わされているものとする。

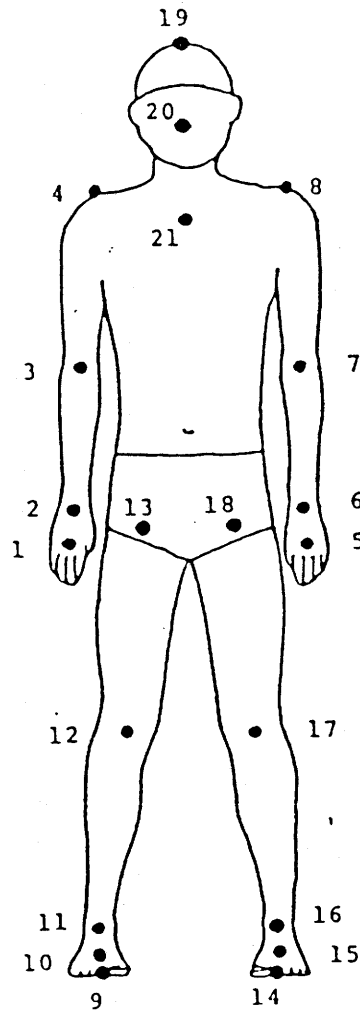
各部分の質量  $M_i$  は、係数  $m_i$  と身体質量  $BM$  を以下の式に代入して求める。

$$M_i = m_i \cdot BM, \quad M_A = m_3 + m_4 + m_5,$$

$$M_L = m_6 + m_7 + m_8, \quad M_T = m_1 + m_2.$$

ただし添字  $i$  は表 B-1 の各部分の番号と一致する。また  $M_A$ ， $M_L$ ， $M_T$  はそれぞれ腕，脚，体幹の質量を示す。

各部分の重心位置，慣性モーメントは、各部位の位置座標と BSP を表 B-2，3 の式に代入することによって求まる。



- |                 |                    |              |
|-----------------|--------------------|--------------|
| 1, 5: 中指根部,     | 2, 6: 手首関節中心,      | 3, 7: 肘関節中心  |
| 4, 8: 肩峰点,      | 9, 14: 足先点,        | 10, 15: 踵点   |
| 11, 16: 足首関節中心, | 12, 17: 膝関節中心,     | 13, 18: 大腿骨頭 |
| 19: 頭頂点,        | 20: 耳珠点 (両耳珠点の中点), | 21: 胸骨上点     |

図B-1 身体上の座標読取り点



表B-1 身体部分系数(比)

Segment	Mass	CG	kx
Head	$m_1$	$p_1$	$k_1$
Torso	$m_2$	$p_2$	$k_2$
Upper arm	$m_3$	$p_3$	$k_3$
Forearm	$m_4$	$p_4$	$k_4$
Hand	$m_5$	$p_5$	$k_5$
Thigh	$m_6$	$p_6$	$k_6$
Shank	$m_7$	$p_7$	$k_7$
foot	$m_8$	$p_8$	$k_8$

表B-2 各部分の重心位置の算出式

Arm      Hand       $GX_k = p_5 \cdot X_j + (1-p_5) \cdot X_{j+1}$   
             Forearm       $GX_{k+1} = p_4 \cdot X_{j+1} + (1-p_4) \cdot X_{j+2}$   
             Upper arm       $GX_{k+2} = p_3 \cdot X_{j+2} + (1-p_3) \cdot X_{j+3}$   
             Arm       $GX_l = \frac{1}{M_a} (M_5 \cdot GX_k + M_4 \cdot GX_{k+1} + M_3 \cdot GX_{k+2})$

(Right side:k=1,j=1,l=15 ; Left side:k=4,j=5,l=16)

Leg      Foot       $GX_k = p_8 \cdot X_j + (1-p_8) \cdot X_{j+1}$   
             Shank       $GX_{k+1} = p_7 \cdot X_{j+2} + (1-p_7) \cdot X_{j+3}$   
             Thigh       $GX_{k+2} = p_6 \cdot X_{j+3} + (1-p_6) \cdot X_{j+4}$   
             Leg       $GX_l = \frac{1}{M_L} (M_8 \cdot GX_k + M_7 \cdot GX_{k+1} + M_6 \cdot GX_{k+2})$

(Right side:k=7,j=9,l=17 ; Left side:k=10,j=14,l=18)

Trunk      Head       $GX_{13} = p_1 \cdot X_{20} + (1-p_1) \cdot X_{19}$   
             Torso       $GX_{14} = \frac{1}{2} \cdot p_2 \cdot (X_{13} + X_{18}) / 2 + (1-p_2) \cdot X_{21}$   
             Trunk       $GX_{19} = \frac{1}{M_T} (M_1 \cdot GX_{13} + M_2 \cdot GX_{14})$

Whole body       $GX_{20} = \frac{1}{M} \{ M_a \cdot (GX_{15} + GX_{16}) + M_L \cdot (GX_{17} + GX_{18}) + M_T \cdot GX_{19} \}$

(GY<sub>j</sub> is the same manner as GX<sub>j</sub> (j=1, ..., 20).)

表B-3 身体各部分の左右軸回りの慣性モーメント

Arm

Hand	$I_{X_k} = M_5 \cdot \{(x_j - x_{j+1})^2 + (y_j - y_{j+1})^2\} \cdot k_5^2$
Forearm	$I_{X_{k+1}} = M_4 \cdot \{(x_{j+1} - x_{j+2})^2 + (y_{j+1} - y_{j+2})^2\} \cdot k_4^2$
Upper arm	$I_{X_{k+2}} = M_3 \cdot \{(x_{j+2} - x_{j+3})^2 + (y_{j+2} - y_{j+3})^2\} \cdot k_3^2$

(Right side:k=1,j=1 ; Left side:k=4,j=5)

Leg

Foot	$I_{X_k} = M_8 \cdot \{(x_j - x_{j+1})^2 + (y_j - y_{j+1})^2\} \cdot k_8^2$
Shank	$I_{X_{k+1}} = M_7 \cdot \{(x_{j+2} - x_{j+3})^2 + (y_{j+2} - y_{j+3})^2\} \cdot k_7^2$
Thigh	$I_{X_{k+2}} = M_6 \cdot \{(x_{j+3} - x_{j+4})^2 + (y_{j+3} - y_{j+4})^2\} \cdot k_6^2$

(Right side:k=7,j=9 ; Left side:k=10,j=14)

Trunk

Head	$I_{X_{13}} = M_1 \cdot \{(x_{19} - x_{20})^2 + (y_{19} - y_{20})^2\} \cdot k_1^2$
Torso	$I_{X_{14}} = M_2 \cdot \{(x_{21} - x)^2 + (y_{21} - y)^2\} \cdot k_2^2$

where  $x = \frac{1}{2} (x_{13} + x_{18})$ ,  $y = \frac{1}{2} (y_{13} + y_{18})$ .