

平成 23 年度

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 修士論文

短距離走者における主観的努力度と疾走速度の関係について
～腕振り動作の筋活動に着目して～

スポーツ科学領域

コーチング科学 専門分野

大西 正裕

論文指導教員 中島 宣行 教授

合格年月日 平成 24 年 2 月 27 日

論文審査員 主査 青木 和浩

副査 伊藤 隆巳

副査 中島 宣行

目次

第1章緒言.....	1
第2章文献考証.....	3
第1節 主観的努力度に関する研究.....	3
第1節主観的努力度と短距離走に関する研究.....	4
第2節短距離走に関する研究.....	6
(1)短距離走について.....	6
(2)短距離走の腕振り動作について.....	7
第3章目的.....	10
第4章方法.....	11
第1節被験者.....	11
第2節期間及び場所.....	11
第3節実験デザイン.....	11
第4節測定項目及び分析項目.....	12
(1)疾走速度.....	12
(2)疾走動作の記録と分析.....	12
(3)筋活動の記録と分析.....	13
(4)分析局面の定義.....	14
第5節統計処理.....	14
第5章結果.....	15
第1節主観的努力度と下肢キネマティクスについて.....	15
第2節主観的努力度と腕振り動作について.....	16
第3節主観的努力度と腕振り動作の筋活動について.....	17
第6章考察.....	19
第1節主観的努力度と下肢キネマティクス変量について.....	19
第2節主観的努力度と腕振り動作について.....	21
第3節主観的努力度と腕振り動作の筋活動について.....	22
第4節総合的考察.....	24
第7章今後の課題.....	26
第8章結論.....	27

第9章要約.....	28
謝辞.....	29
参考及び引用文献.....	30

第1章 緒言

運動は遂行者の意志や意図を反映することが一般的に知られている。自己の感覚に基づいて動作を調節することは、競技場面やトレーニング場面で多くみられる。このような自己の感覚によって力を調節することを主観的努力度と呼び、客観的出力との関係について検討がなされている^{2) 6) 12) 13) 14) 16) 17) 18) 20) 21) 29) 30) 31) 32) 36) 37) 38) 39) 40)}。主観的努力度と客観的出力の関係については、陸上競技短距離走を運動課題として両者の関係について多くの知見が報告されており^{6) 12) 13) 14) 30) 36)}、それらの結果を概観するとタイムや角度、角速度といったキネマティクス変量と主観的努力度との間にはある一定の関係が認められることが明らかにされている。

陸上競技短距離走はゴール地点までの身体の移動の速さを競う競技であり、なかでも、100m 走は最も疾走速度が高く秒速 12m/sec を超える。現在、世界記録は Usain・Bolt 選手によって 9[」]58 まで短縮されており、近年著しいパフォーマンスの向上がみられている。短距離走のパフォーマンスを決定する要因として、最大疾走速度がある。この最大疾走速度と 100m 走タイムには高い正の相関($r=.970$)があることが明らかにされている²⁶⁾。高い疾走速度を得るために競技力の高い選手にみられる共通の動作を抽出し、合理的な疾走動作の検討がなされている。その結果、脚動作の特徴としてキック動作時の膝関節及び足関節の動作範囲が小さいことや股関節の伸展速度が高いことが報告されている¹⁰⁾。また、腕振り動作は股関節の伸展角速度を増加させ、ストライド長や疾走速度の獲得に重要な役割を持つことが明らかにされている^{8) 19) 23) 43) 46)}。さらに、腕振り動作は脚動作と連動しており過度の股関節伸展動作を抑制することが報告されている⁴³⁾。しかし、このような理想とされる疾走動作の知見は、動作を習得しなければパフォーマンスの向上のために活かされない。

このような技術的な課題の改善に、最大下努力度でのトレーニングの有効性が示されている^{25) 47)}。これは最大下努力度で行うことによって緊張の凡化と運動の制限現象を防止され、技術的な課題に気を配る余裕を持つことが出来ると述べられている⁴⁹⁾。最大下で行う運動には力の調節が不可欠であり、主観的努力度によって力の調節を行うことが求められる。短距離走では、主観的努力度の変化によって股関節伸展角速度が変化したことが報告されており、主観的努力度は疾走動作といった下肢キネマティクス変量にも反映されることが明らかにされている¹⁴⁾。

しかしながら、短距離走における主観的努力度と客観的出力の関係は、疾走速度など

のキネマティクス変量との検討にとどまり、動作を生起させる筋活動に着目した研究はなされていない。主観的努力度と筋活動の関係については、これまで報告されているキネマティクス変量と同様に、主観的努力度の増加に伴い筋活動が増加することが明らかにされている^{38) 39) 40)}。これらの研究では脚伸展筋力や前腕屈曲といった単関節運動が運動課題に用いられており、多関節運動について検討はされていない。これらのことから、短距離走中の主観的努力度はキネマティクス変量だけでなく筋活動にも反映されることが推察される。

これまで下肢のキネマティクス変量に着目したものが多く、腕振り動作に着目したものはない。腕振り動作は下肢に比較して質量や慣性モーメントが小さいためコントロールしやすいことが報告されている^{15) 43)}。このことから、腕振り動作は主観的努力度を反映しやすい動作と考えられ、筋電図を用いて定量することによって、主観的努力度と客観的な出力との関係に新たな知見を得ることが可能だと考える。

第2章 文献考証

本論文では、短距離走の主観的努力度と疾走速度の関係を検証するにあたり、以下の観点から先行研究を考証する。

1) 主観的努力度に関する研究を考証し、短距離走における主観的努力度と客観的出力の関係を検討している先行研究を考証する。

2) 短距離走のこれまでに報告されている疾走動作、疾走中の筋活動について先行研究を考証する。

第1節 主観的努力度に関する研究

人間が行う運動の多くは、運動者の感覚を頼りに遂行されており、運動者の「感覚」が運動遂行の際きわめて重要であることは古くから認識されてきた³⁴⁾。このように運動者が目的とする運動を行うために力の調節や修正を行い、より効率的・合理的に運動を遂行することが可能である。成瀬³³⁾はこのような身体動作の生起の過程は「意図—努力—身体運動」を辿ると説明している。さらに、意図された動作に対して、どのくらい力が必要であるかを認識し、必要とされる力を努力(出力)することで身体運動は構成されると述べている。このような目的とする動作に必要なとされる出力を感覚的・心理的に判断し主観的に出力の調節を行うことを「主観的努力度」¹⁶⁾と呼び、出力された客観的事実との関係性について多くの議論がなされている^{2) 14) 12) 14) 16) 17) 18) 20) 21) 30) 31) 32) 37) 38) 39) 40)}。それらの研究では、主観的努力度の定義について統一されていないものの、自己の感覚に基づき力の出力(発揮)をすることや百分率(%)を用いて主観的努力度を数値化するという点では共通している。

この主観的努力度と客観的出力との関係性については、スポーツ場面におけるトレーニングの管理や技術の習熟など選手、指導者の双方に重要な役割をもつと考えられている。主観的努力度と客観的出力の関係を明らかにするために、様々な運動課題が用いられている。

主観的努力度と全身持久性を検討した研究では、主観的努力度と最大酸素摂取量、心拍数との間に高い正の相関がみられたことが報告されている³⁷⁾。また、主観的努力度とドロップジャンプなどの単純な跳躍運動の関係を検討した研究では、主観的努力度の増加に伴い客観的出力である跳躍高も増大していくことが明らかにされ、さらに主観的努力度と客観的出力の誤差は小さくなることが報告されている^{2) 20) 21) 31)}。これらの知

見から、運動課題の相違はあるものの主観的努力度の増加に伴い客観的出力が増加する傾向は一致していた。

一方で、スポーツは速度や力強さだけでなく正確性などの動作を調節する能力も競技特性によってパフォーマンスに反映される。その種目の一つに、バドミントンが挙げられる。金子¹⁶⁾は、バドミントンのスマッシュを運動課題に用いて主観的努力度とパフォーマンスの関係性を検討した。その結果、主観的努力度の増加に伴いシャトル速度は増加し、正確性は低下したことが報告されている。これらのことから主観的努力度は動作などのキネマティクス変量に影響を及ぼすことが明らかにされている。さらに、動作を生起させる筋活動にも主観的努力度は反映されることが明らかにされている³⁸⁾³⁹⁾⁴⁰⁾。しかしながら、これらの筋活動に着目した研究では単関節運動での検討にとどまり、多関節運動において検討する余地がある。

主観的努力度と客観的出力の関係は競技特性や運動課題によって、最大努力で行うことが必ずしもパフォーマンスに結びつかないことがある。また、最大努力ではなく最大努力よりもマイナス数%の余裕が緊張の凡化と運動抑制現象を防止すること⁴⁹⁾が明らかにされており、相対的にやや低めの主観的努力度の時によりパフォーマンスが引き出される可能性を示唆している³¹⁾。そのため、自己の主観的な感覚とそれに伴って表出する客観的な出力との関係を知ることは、パフォーマンスの向上に有益な情報となりえると考えられる。

また、福永⁵⁾は「主観と客観的事実には“ずれ”が生じることを指導者はあらかじめ把握していなければならず、選手の主観的に出力しやすい言語指示を与えることが優れた指導者に求められている」と述べている。指導者にとっても選手が持つ主観的な“感じ”がどの程度客観的出力と対応しているかを把握していることは、指導の際に有益な情報となることが考えられる。

第2節 主観的努力度と短距離走に関する研究

短距離走の指導場面では、時間や距離、重量といった客観的な数値による指示も行われている一方で、指導者が選手に対し「〇〇%くらいの力で」「全力の〇割で」という指示がしばしばなされている。これは客観的な数値による指示よりも、このような主観的な感覚的な表現を用いることで選手が運動を調節しやすいため用いられていると推測される。そのため、主観的努力度の変化と疾走速度などの客観的出力の関係を明らかに

することは指導場面で有益な情報となると考えられる。

この両者の関係性の検討には様々な運動課題が用いられているが、中でも短距離走に着目した研究は多くなされている。短距離走における両者の関係性については、変化させる努力度の範囲や運動者の特性は異なるものの、概観すれば、タイムやスピードといったパフォーマンスと努力度との間に、努力度 90%で全力時の約 95%、努力度 60%で全力時の約 80%というように、ある一定の対応関係が認められることを示している¹⁴⁾³⁰⁾³⁶⁾。加えて、村木²⁹⁾は速度強度の違いによる下肢の動作範囲を中心とした疾走動作の変化を検討している。そこでは、速度の増加に伴い大腿、下腿の角度変化の最大振幅(動作範囲)が主観的努力度 70~80%をピークに増加から減少に変わったこと、足先の軌跡が主観的強度 90%を境界として全体に扁平なものから縦に丸みを帯びたものに変化したことを報告している。この研究は主観的努力度の変化による動作の変化を引き出す可能性を提示したものであるが、分析内容が身体文節の角度変化や足先の軌跡などの部分的な動作変量の独立的な検討に止まっており、さらに動作を生起させる筋活動に着目し主観的努力度と客観的出力の関係を詳細に検討する余地があると考えられる。

短距離走における疾走速度の向上に関する課題には、全力に対して 80%程度の速度強度の有効性が示されている⁴⁷⁾。このことから、指導者は選手の主観的努力度がどの程度の時に、客観的出力が 80%程度になるのかという関係性を把握しておくことは重要であると考えられる。伊藤¹⁴⁾は疾走中の下肢キネマティクスと主観的努力度の関係性を検討した。その結果、主観的努力度の増加に伴い接地直前の脚全体の後方スイング速度及び支持期中の股関節伸展角速度は主観的努力度と正の相関関係があることが報告されている。また、これらの変量は疾走速度と高い正の相関関係にある⁹⁾ことが指摘されていることから、主観的努力度が疾走動作に直接反映されたことが推察される。

これらの結果から、主観的努力度の増加に伴って疾走速度、大腿部の後方スイング速度(股関節伸展角速度)及びピッチの増加、接地時間の減少が示された。このように主観的努力度によるキネマティクス変量の変化は、短距離走の質的な相違があることを示唆している。このような質的变化が起こる点をスプリント走とランニング走の相違だと述べている研究¹⁴⁾もある。

下肢のキネマティクスの変量と疾走速度に関する報告は多くなされているが、動作の生起する筋活動の観点から主観的努力度と疾走速度の関係について検討されている研究はない。主観的努力度の変化によってキネマティクス変量に相違があるならば、キネテ

イクスの変数である筋活動にも相違があることが予測される。このことから、動作に起因する筋活動に着目し、主観的努力度をどのように反映しているのかは興味深い点である。また、疾走中にストライド長、疾走速度の増加に関与する腕振り動作と主観的努力度との関連性は散見される程度である。しかしながら、腕振り動作は下肢に比べて慣性モーメントや質量が小さくコントロールしやすいこと^{15) 43)}や腕振り動作を意識的に変化させ疾走速度を調節している⁴²⁾ことが報告されている。このことから、主観的努力度は腕振り動作にも反映されていることが予測される。

短距離走における主観的努力度と客観的出力との関係はキネマティクス変数の検討にとどまり、主観的努力度が力発揮にどのような影響を及ぼしているかは検討されていない。そのため、選手はどのように主観的努力度を利用し疾走速度を段階づけているのは明らかにされていない。また、先行研究で用いられている実走^{6) 12) 13) 14) 30)}での測定では、提示された主観的努力度にどの局面で達しているかを判断することは困難であると考えられる。また、分析するために抽出されるサイクルによって差がみられることが考えられる。そのため、疾走動作を複数サイクル抽出することができ、主観的努力度に達したことを確認できる条件での検討が必要であると考えられる。

第3節 短距離走に関する研究

(1)短距離走について

短距離走の種目の一つに100m走がある。この競技の特徴として秒速12m/secを超え、100分の1秒の差が結果に影響を及ぼす競技である。また、最大疾走速度とゴールタイムは極めて高い負の相関($r=-.970$)があることが報告されておりパフォーマンスを決定する要因である²⁶⁾。そのため、高い疾走速度を得るための動作の特徴について検討され、競技レベルの高い選手に共通してみられる動作の特徴を抽出することが行われている。疾走動作の研究に関しては古くはFenn⁴⁾が行っており、接地期におけるブレーキ成分を少なくすることの重要性を述べている。そのため、重心の真下で接地することが求められ、競技力が高い者ほどこの動作がみられることを報告している²²⁾。また、日本人選手と比較して競技力の高い外国人選手の疾走動作の比較した研究では、外国人選手は大腿部を腰よりも前方で動かしていることや離地後に大腿部の後方への振幅が小さいことが明らかとなった。さらに、膝関節をあまり大きく伸展せず、そのことがピッチの増加を生み出していると報告している²⁸⁾。しかし、これまでの研究は競技レベ

ルでの比較であり、疾走動作と疾走速度の検討ではない。そこで、伊藤¹⁰⁾は、最大疾走速度の動作の特徴を明らかにするためにレースの分析、実験的な分析から検討を行った。その結果、接地直前の脚の最大振り戻し角速度は、疾走速度と有意な高い正の相関を示し、続く接地局面の脚全体のスイング速度をあらかじめ高めておくために重要な動作であることを明らかにしている。また、その際に膝関節の伸展動作を少なくすることが、股関節の伸展速度をキック動作に転換されると述べられており、宮下²⁸⁾の結果を支持するものであった。

合理的な動作や動作速度を向上させるには筋の機能が重要となってくる。そこで、短距離走中の筋活動を明らかにするために、筋電図を用いた研究が多くなされている。これらの研究では、疾走動作を接地期、スイング期などに局面分けをして動作に関与する筋の活動パターンを検討している。それらで共通している筋活動パターンは以下の通りである。

大臀筋はスイング期後半から接地期前半にかけて強く放電するが、スタート後徐々に低下する傾向を示す。外側広筋はスタート後のどの歩数においてもスイング期後半と接地期前半に放電が見られるが、スイング期前半と接地期前半に放電が見られる大腿直筋は、接地期前半の放電についてはスタート後の歩数の増加とともに低下する傾向を示す。大腿二頭筋はスイング期中間から接地期終了まで強い放電が見られ、その傾向はスタート後のどの歩数でも同じである。腓腹筋はスタート後のどの歩数でもスイング期後半から接地期全体にわたり強い放電が見られることが明らかにされている^{3) 9) 27)}。

短距離走における脚動作の筋活動パターンについては、多くの知見が得られている^{3) 9) 27)}。脚動作は疾走速度を得るために重要な役割を持つことを示している。しかしながら、短距離走は全身を使う動作であり体幹部や上肢が疾走速度に影響を及ぼしていることも示唆されている^{8) 24) 35)}。

(2)短距離走の腕振り動作について

最大疾走速度を得るための下肢の筋力特性や動作に関する研究と比較して、上肢の動きである腕振り動作に着目した研究は少ない。これは下肢の脚動作とは異なり、地面に対し直接力を作用させる局面がなく、直接的に疾走速度に影響しないことがその一つとして考えられる。しかしながら、短距離走中の腕振り動作は、ストライド長の獲得や疾走速度の獲得に間接的に関与し重要な動作として認識されている。また、短距離走に関

する指導書でも腕振り動作については触れられており、「進行方向に対してまっすぐ振る」「脇をしめる」「肘を 90° にして振る」などの内容が記されている。

これらの腕振り動作の指導に関する科学的根拠は、脚動作に比較して多くの知見は得られていない。そこで、腕振り動作が疾走動作や疾走速度にどのような影響を及ぼすか検証するために、上肢を固定し腕振り動作を制限して短距離走を行わせた^{23) 46)}。その結果、ストライド長が減少し、疾走速度が低下することが明らかとなった。さらに、腕振りを制限することで通常の走行に比較し、股関節の伸展角度・角速度が減少し、肩、腰の回旋角度、角速度に相違がみられたことを報告している。また、腕振り動作が制限されることで、滞空期終盤で膝関節の伸展を抑えきらず、振り出すように接地することによって接地距離が増大し、大腿部のスイングを脚全体のスイングに十分に転換できないことが疾走速度の低下につながったと示唆している²³⁾。これらのことから、腕振り動作は高い疾走速度を得るための脚動作を補助しており、短距離走において不可欠な動作であることが明らかにされている。

また、腕振り動作は肩関節中心を前額軸とした回転運動して考えることができるため、肘関節・肩関節角度に着目し、腕振り動作の検討が行われている。その中で、最高疾走速度と腕振り動作の関係を肘関節・肩関節に着目し検討した研究では、肩関節屈曲角速度と疾走速度に負の相関が見られ、ストライド長も同様な関係が認められた。この結果から、最大疾走速度が高い選手ほど最大努力で疾走しながらも腕振り動作をコントロールしている可能性が示唆された。また、肩関節と股関節の関係について関連性は見られなかったが、離地後の過度な肩関節伸展動作は過度の股関節伸展動作を招き、疾走速度に関与する股関節伸展角速度が低下することが示唆されている⁴³⁾。これらのことから、最高疾走速度を得るために運動者はどのような意識をもって腕振り動作を行っているかを検討するために腕振り動作の筋活動を定量する必要があると考える。

腕振り動作の筋活動を定量した研究は散見される程度であり、脚動作に比較して十分な知見は得られていない。全力疾走中の腕振り動作の筋活動を定量した研究では、離地期後半に三角筋前部の筋活動が見られ、接地期前半に三角筋後部の筋活動が見られたことが報告されている²⁷⁾。また、腕振り動作が脚動作にどのような影響を及ぼすかを検討するために、下肢をギプスとポールで固定し腕振り動作を行わせた。その結果、腕振りの頻度と強度の増加によって固定されている下肢にも筋放電が見られたことから、腕振り動作は下肢の筋活動を発現させ協応動作であることが明らかとなった。さらに、競

技レベルの異なる選手の腕振り動作の筋活動の比較では、高い競技レベルの選手の方が筋活動の少ない腕振り動作が行われていたことが報告されている⁴¹⁾。さらに、最大疾走速度と肩関節屈曲角速度に負の相関があったことが報告されている⁴³⁾。最大努力で疾走しながらも腕振り動作の速度を低下させていたことから、主観的に腕振り動作を調節していたことが考えられる。これらのことから、脚動作と同様に腕振り動作は主観的 effort を反映し、それに伴う筋活動の変化がみられることが推察される。

第3章 目的

本研究の目的は疾走中の主観的努力度と、それに対応する腕振り動作の筋活動及び疾走速度との関係を検討することである。

本研究では仮説を以下の通りとした。

1. 主観的努力度は腕振り動作に反映される
2. 疾走速度の調節に腕振り動作が関与している

第4章 方法

第1節 被験者

被験者は陸上競技短距離種目を専門とする男子学生 6 名とした。被験者の年齢(22.7 ± 1.37 歳)、身長($1.74 \pm 0.04\text{m}$)、体重($66.7 \pm 3.38\text{kg}$)、競技歴(9.5 ± 2.03 年)、100m 走の公認記録($10.81 \pm 0.28\text{sec}$)、専門種目の公認記録及び成績を表 1 に示した。本実験に先立ち、被験者に対して研究の目的、意義、方法及び参加に際しての危険性などに関する説明を口頭および文書にて十分行い、書面にて研究への参加同意を得た。実験で得られたデータは個人情報保護法を考慮し、取り扱うようにした。また、測定データは特定の個人が予想されないように処理を施した。なお、本実験は順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科における倫理委員会により、倫理審査受付番号院 23-15 をもって認可を受けた上で実施された。

第2節 期間及び場所

実験はシーズンオフ直後の 2011 年 11 月中旬に行った。実施場所は J 大学バイオメカニクス実験室で行った。実験時の室温は 20°C に設定した。

第3節 実験デザイン

実験に先立ち、被験者は自走式トレッドミルを用いて走練習を行い、事前に十分に慣れてからプロトコルを行った。また、十分なウォーミングアップを行い、本実験を行った。実験環境は図 1 に示した。

被験者は、自走式トレッドミルを用いて各主観的努力度(60%、70%、80%、90%、100%)の 5 条件を各 1 本ずつランダムに走行させた。試技の際、被験者に対して、実験試技として指示された主観的努力度で走行すること、到達した速度を 3 秒間維持するように指示を与えた。これは分析を行う際に、複数サイクル用いるためである。分析には疾走速度の結果から疾走速度が増加せず一定な局面を抽出し用いた。試技間は十分な休息時間を設け、疲労の影響が出ないように配慮した。休息時間の間に行った試技についての内省報告をアンケートにて行った(資料 1)。

実験中には、被験者の出力に関するフィードバック情報は一切与えず、各自の感覚のみを頼りに出力の段階づけをさせた。

第4節 測定項目及び分析項目

(1) 疾走速度

疾走速度は自走式トレッドミル(CURVE WWT- 100 , WOODWAY 社製)から出力される信号を A/D コンバータ(PowerLab16, ADInstruments)を介してパーソナルコンピュータに取り込み、1.0V/4.0km/h として疾走速度を算出した。この算出した速度(km/h)を秒速(m/sec)に変換し本研究でのデータとして扱った。また、分析対象となる 5 サイクル分を、1 サイクル毎に標準化し、5%時間平均の疾走速度を算出した。

(2) 疾走動作の記録と分析

a) 疾走動作の記録

矢状面における二次元動作分析用の映像を得るため、被験者右側方にデジタルビデオカメラ(EXILIM EX-F1, CASIO 社製)を設置した。デジタルビデオカメラは每秒 300 フレームに設定し撮影を行い、映像とマルチテレメーターシステム (WEB-5000、NIHON KOU DEN Corp. Japan) と同期させるためのシンクナイザー(PH-101,DKH 社製)を用いた。映像画角における二次元座標の校正は、校正器(高さ 180cm、反射マーカは 45cm 毎に貼付)をトレッドミル上に垂直に立て行った。

被験者には二次元分析に使用する阿江¹⁾のアスリートを対象とした身体部分慣性係数を参考に腕振り動作の分析に必要とされる部位(肩峰、肘関節中心、手関節、大転子)に貼付した。なお、反射マーカの貼付は映像に映る右側のみとした。

b) 疾走動作の分析

撮影した映像をコンピュータソフトウェア(Frame-Dias II for Windows Version III、DKH CO .Japan)を用いて身体分析点を二次元分析した。二次元座標の算出には二次元 DLT 法を用い、デジタイズによって得られた身体分析点の座標を校正の相対座標から実長換算することで算出した。

ピッチ、ストライド長は 5 サイクル分を 1 サイクル毎に算出しそれぞれ平均値を求めた。ピッチは、1 ランニングサイクル毎に要した時間を 2(歩)で除しその逆数にすることにより疾走中の平均ピッチを算出した。また、ストライド長は 1 サイクル毎の疾走速度を平均ピッチで除し算出した。

c) 角度定義

関節角度(deg)及び関節角速度(deg/sec)は二次元座標値で求められた肩、大転子、肘関節中心、手関節の座標から各関節角度は以下のように定義した。

- ・肘関節角度：肩—肘関節、肘関節—手関節を結ぶベクトルの角度
- ・肩関節角度：大転子—肩、肩—肘関節を結ぶベクトルの角度

角速度は、それぞれの角度変化のデータを数値を微分し算出した。

(3) 筋活動の記録と分析

a) 筋活動の記録

疾走中の腕振り動作の筋活動を記録するために、先行研究を参考とし腕振り動作の被験筋を特定した。実験を行う際には、各被験者の被験筋を超音波画像から特定し筋活動を記録した。右腕の上腕二頭筋短頭(以下、BB)、上腕三頭筋外側頭(以下、TB)、三角筋前部(以下、DEL_F)、三角筋中部(以下、DEL_M)、三角筋後部(以下、DEL_B)、僧帽筋中部(以下、TRA)を被験筋した。また、筋電図は表面筋電図法を用いてテレメータ方式(WEB-5000、NIHON KOU DEN Corp. Japan)により導出した。テレメータ信号はA/D変換装置(Power Lab16/sp、ADInstruments. Australia)を用い、サンプリング周波数1kHzでデジタル化し、コンピュータ(PP12L、DELL Inc. U.S.A)に取り込んだ。その際、電極接触部位の電気抵抗を取り除くために、電極の貼付部位を剃毛し、さらに、皮膚前処理クリームを用いて皮膚表面の角質を除去した。なお、リファレンスとして腸骨棘にも電極を貼付した。腰に付けた送信機までのリード線は疾走動作によって動かないようにテープによってできるだけ身体に固定した。各筋の表面電極の貼付部位は、徒手抵抗による負荷に対する筋電図反応を確認した。

b) 筋活動の分析

デジタル信号化された疾走中の各筋の筋電図は、8Hzの高域デジタルフィルタを通した後に全波整流した。また、各被験者は全試技終了後に徒手抵抗による最大随意筋力 maximum voluntary contraction (以下、MVC)をもとに各被験者の筋放電量を%MVCに規格化した。得られた筋電図のデータは、それぞれに要した時間を正規化した。正規化した時間に従って、5%時間毎に被験者6名分の積分筋電図(iEMG)の平均値と標準偏差を算出した。

(4)分析局面の定義

疾走中の腕振り動作を右肩関節最大屈曲位から次の右肩関節最大屈曲位までを 1 サイクルとし分析を行った(図 2)。脚動作は左足の接地から次の左足の接地までを 1 サイクルとして定義した。また、それぞれ 5 サイクル分を平均した値を分析に用いた。

第 5 節 統計処理

本研究では、主観的努力度と疾走中の客観的出力の関係を検討するために統計処理ソフトウェア(SPSS18 .0J for Windows)を用いて Spearman の順位相関分析を行った。この際、疾走能力の違いから被験者ごとに各努力度で発揮される疾走速度は異なる。また、同一努力度でもあっても、各キネマティクス変量は被験者間でばらつきが大きい。したがって、努力度間の比較を行うために、腕振り動作に関する変量は努力度 100%時に対する相対値を用いて分析した。また、下肢のキネマティクス変量は先行研究と比較するために測定値で分析を行った。

主観的努力度間の統計的有意差の検定には統計処理ソフトウェアを用いて、繰り返しのある一元配置の分散分析を用いた。分散分析で有意な差が認められた変量に関しては、努力度 100%に対する最大下努力の差として Bonferroni の方法による多重比較を行った。なお、本研究では相関分析及び分散分析と共に、危険率 5%をもって統計的な有意水準とした。

第5章 結果

第1節 主観的努力度と下肢キネマティクスについて

表2には各試行における疾走速度(m/sec)、ストライド長(m)、ピッチ(sec/step)、滞空時間(sec)、接地時間(sec)、滞空時間と接地時間の和を1サイクルに要した時間(sec)として示した。表3には主観的努力度と客観的出力である下肢キネマティクス変量の関係を検討するために相関分析の結果を示した。なお、主観的努力度間の比較を行たために分散分析を行いその結果を表4に、その後の検定の結果を図3にそれぞれ示した。

主観的努力度と疾走速度($r=0.888$, $p<0.001$)及びピッチ($r=0.872$, $p<0.001$)との間に有意な正の相関関係がみられた。また、滞空時間($r=-0.526$, $p<0.01$)、接地時間($r=-0.587$, $p<0.01$)及び1サイクルに要した時間($r=-0.727$, $p<0.001$)との間に有意な負の相関関係がみられた。主観的努力度とストライド長には有意な関係はみられなかった。

疾走速度は主観的努力度70%時よりも100%時に5%水準($F(2, 10)=10.46$, $p<0.05$)で有意に増加した。ピッチは主観的努力度60%時よりも80%時に1%水準($F(4, 20)=51.83$, $p<0.01$)で有意に増加し、90%時及び100%時にはそれぞれ0.1%水準($F(4, 20)=51.83$, $p<0.001$)で有意に増加した。主観的努力度70%時よりも90%時及び100%時にはそれぞれ5%水準($F(4, 20)=51.83$, $p<0.05$)で有意に増加した。主観的努力度80%時よりも90%時及び100%時にはそれぞれ5%水準($F(4, 20)=51.83$, $p<0.05$)で有意に増加した。主観的努力度90%時よりも100%時に5%水準($F(4, 20)=51.83$, $p<0.05$)で有意に増加した。

接地時間は主観的努力度70%時よりも100%時に5%水準($F(1, 6)=7.21$, $p<0.05$)で有意に減少した。主観的努力度90%時よりも100%時に1%水準($F(1, 6)=7.21$, $p<0.01$)で有意に減少した。

1サイクルに要した時間は主観的努力度60%時よりも100%時に5%水準($F(2, 8)=13.99$, $p<0.05$)で有意に減少した。主観的努力度70%時よりも80%時及び100%時でそれぞれ5%水準($F(2, 8)=13.99$, $p<0.05$)で有意に減少した。主観的努力度90%時よりも100%時に1%水準($F(2, 8)=13.99$, $p<0.01$)で有意に減少した。

ストライド長、滞空時間では有意な差は見られなかった。

第2節 主観的努力度と腕振り動作について

表5には各試行における主観的努力度と腕振り動作中の肘関節、肩関節の角度・角速度の変化を示した。これらの変数を比較するために最大努力時(主観的努力度 100%)の値を 100%とし、各主観的努力度で比較した。表6には主観的努力度と客観的出力である腕振り動作の関節角度及び角速度の関係を検討するために相関分析の結果を示した。なお、主観的努力度間の比較を行つために分散分析を行いその結果を表7に、その後の検定の結果を図4にそれぞれ示した。その際、肩関節については伸展方向の角度を負の値として表した。

主観的努力度と肘関節屈曲角速度($r=0.675$, $p<0.001$)、肘関節伸展角速度($r=0.767$, $p<0.001$)、肩関節屈曲角度($r=0.541$, $p<0.01$)、肩関節伸展角度($r=0.571$, $p<0.01$)、肩関節屈曲角速度($r=0.856$, $p<0.001$)、肩関節伸展角速度($r=0.864$, $p<0.001$)との間に有意な正の相関関係がみられた。肘関節屈曲角度、肘関節伸展角度については有意な関係はみられなかった。

肘関節屈曲角速度は、分散分析の結果平均値には有意な差はみられたが、その後の検定では有意な差は見られなかった。

肘関節伸展角速度は、主観的努力度 60%時よりも 90%時及び 100%時にそれぞれ 1%水準($F(4, 20)=18.13$, $p<0.01$)で有意に増加した。主観的努力度 70%時よりも 90%時及び 100%時にそれぞれ 5%水準($F(4, 20)=14.38$, $p<0.05$)で有意に増加した。

肩関節屈曲角度は、主観的努力度 60%時よりも 90%時に 1%水準($F(4, 20)=5.79$, $p<0.01$)で有意に減少した。主観的努力度 70%時よりも 90%時に 1%水準($F(4, 20)=5.79$, $p<0.01$)で有意に減少した。

肩関節屈曲角速度は、主観的努力度 60%時よりも 90%時及び 100%時それぞれ 1%水準($F(4, 20)=23.43$, $p<0.01$)で有意に増加した。主観的努力度 70%時よりも 90%時に 5%水準($F(4, 20)=23.43$, $p<0.01$)で有意に増加した。

肩関節伸展角度は、分散分析の結果平均値には有意な差はみられたが、その後の検定では有意な差は見られなかった。

肩関節伸展角速度は、主観的努力度 60%時よりも 80%時及び 90%で 1%水準($F(4, 20)=27.52$, $p<0.01$)で有意に増加し、100%時に 0.1%水準($F(4, 20)=27.52$, $p<0.001$)で有意に増加した。主観的努力度 80%時よりも 100%時に 5%水準($F(4, 20)=27.52$, $p<0.05$)で有意に増加した。

第3節 主観的努力度と腕振り動作の筋活動について

表8には、各試行における主観的努力度と腕振り動作中の筋活動積分値の変化を示した。また、疾走動作と各筋の活動パターンを図5に示した。表9には主観的努力度と客観的出力である腕振り動作の筋活動の関係を検討するために相関分析の結果を示した。なお、主観的努力度間の比較を行たために分散分析を行い表10に分散分析の結果、図6にその後の検定の結果をそれぞれ示した。

主観的努力度と上腕二頭筋 ($r=0.673$, $p<0.001$)、上腕三頭筋($r=0.713$, $p<0.001$)、三角筋前部($r=0.793$, $p<0.001$)、三角筋中部($r=0.550$, $p<0.01$)、三角筋後部($r=0.541$, $p<0.01$)、僧帽筋($r=0.746$, $p<0.001$)との間に有意な正の相関関係がみられた。

上腕二頭筋では、主観的努力度60%時よりも70%時に5%水準($F(4, 20)=12.82$, $p<0.05$)で有意に増加し、80%時及び90%時、100%時にそれぞれ1%水準($F(4, 20)=12.82$, $p<0.01$)で有意に増加した。主観的努力度70%時よりも80%時に1%水準($F(4, 20)=12.82$, $p<0.01$)で有意に増加し、90%時及び100%時にそれぞれ5%水準($F(4, 20)=12.82$, $p<0.05$)で有意に増加した。

上腕三頭筋では、主観的努力度が60%時よりも90%時に1%水準($F(4, 20)=15.68$, $p<0.01$)で有意に増加し、100%時に0.1%水準($F(4, 20)=15.68$, $p<0.001$)で有意に増加した。主観的努力度70%時よりも90%時及び100%時にそれぞれ1%水準($F(4, 20)=15.68$, $p<0.01$)で有意に増加した。主観的努力度80%時よりも100%時に5%水準($F(4, 20)=15.68$, $p<0.05$)で有意に増加した。主観的努力90%時よりも100%時に5%水準($F(4, 20)=15.68$, $p<0.05$)で有意に増加した。

三角筋前部では、主観的努力度60%時よりも70%時及び90%時に5%水準($F(4, 20)=18.55$, $p<0.05$)で有意に増加し、80%時で1%水準($F(4, 9)=18.55$, $p<0.01$)で有意に増加し、100%時に0.1水準($F(4, 20)=18.55$, $p<0.001$)で有意に増加した。

三角筋中部では、主観的努力度60%時よりも100%時に5%水準($F(4, 20)=10.57$, $p<0.05$)で有意に増加した。主観的努力度70%時よりも90%時に5%水準($F(4, 20)=10.57$, $p<0.05$)で有意に増加し、100%時に1%水準($F(4, 20)=10.57$, $p<0.01$)で有意に増加した。主観的努力度80%時よりも100%時に5%水準($F(4, 20)=10.57$, $p<0.05$)で有意に増加した。

三角筋後部では、主観的努力度60%時よりも80%時及び90%時、100%時にそれぞれ1%水準($F(4, 20)=4.71$, $p<0.01$)で有意に増加した。

僧帽筋では、主観的努力度 60%時よりも 90%時に 5%水準($F(4, 20)=26.14, p<0.05$)で、100%時に 0.1%水準($F(4, 20)=26.14, p<0.001$)で有意に増加した。主観的努力度 70%時よりも 90%時に 5%水準($F(4, 20)=26.14, p<0.05$)で有意に増加し、100%時に 1%水準($F(4, 20)=26.14, p<0.01$)で有意に増加した。主観的努力度 80%時よりも 100%時に 1%水準($F(4, 20)=26.14, p<0.01$)で有意に増加した。主観的努力度 90%時よりも 100%時に 1%水準($F(4, 20)=26.14, p<0.01$)で有意に増加した。

第6章 考察

第1節 主観的努力度と下肢キネマティクス変量について

主観的努力度と下肢キネマティクス変量の関係について検討を行った。その結果、主観的努力度と疾走速度及びピッチは正の相関関係にあり、滞空時間、接地時間及び1サイクルに要する時間(滞空時間+接地時間)は負の相関関係にあることが明らかになった。

さらに、主観的努力度間での客観的出力の関係を検討した結果、疾走速度、ピッチ、接地時間及び1サイクルに要した時間に主観的努力度間に有意な差が見られた。

これまでの報告と同様に、主観的努力の変化によって下肢キネマティクス変量に変化がみられた。疾走速度の増加は、ストライド長の変化によるものではなくピッチの増加によってなされていた。このことから、主観的努力度はピッチに反映され、ストライド長に比べ主観的にコントロールしやすいことが示唆され、先行研究の¹⁴⁾³⁰⁾の結果を支持するものであった。しかしながら、主観的努力度がどのようにピッチを増加させていたかは明らかにされていない。そこで、本研究では脚動作と対の動作である腕振り動作に着目し、どのようにピッチを増加させていたかを詳細に検討することとした。

本研究では、自走式トレッドミルを用いて疾走能力を客観的出力として評価した。自走式トレッドミルは、実走と同様に自己の主観的な感覚によって疾走速度の調節が可能である。しかしながら、実走で行われた研究¹⁴⁾と比較して疾走速度及びストライド長は低い値であった。実走で行われた最大努力時の疾走速度の平均値は9.50m/secであり、ストライド長は2.16mであった。それに対して、自走式トレッドミルを用いた場合の最大努力時の疾走速度の平均値は8.01m/secであり、ストライド長は1.76mであった。本研究の被験者の競技レベルは100m 10.81±0.38secと比較的高いものであったが、この被験者たちが最大努力で疾走しても実走に比べ低い速度になった。これは、自走式トレッドミルの構造が原因として考えられる。本研究で用いた自走式トレッドミルは、トレッドミル前部が力を伝達しやすいように湾曲した構造になっている。そのため、実走に比較し接地する局面が早く訪れるため、滞空時間が実走時よりも短くなると考えられる。ストライド長は滞空時間に依存していることから、トレッドミルの構造が影響したと考えられる。また、疾走速度についてはピッチとストライド長の積であるため、トレッドミルの構造によってストライド長が短くなった影響を受けていたことが考えられる。

これらのことから、実走時よりも疾走速度は低いものの、最大努力で疾走を行ったこ

とやピッチが実走時とほぼ変わらず同程度であったことから最大努力での疾走動作であると考えられる。

第2節 主観的努力度と腕振り動作について

主観的努力度と疾走中の腕振り動作の角度、角速度の変化の検討を行った。その結果、主観的努力度と肘関節角速度、肩関節角度及び肩関節角速度には有意な正の相関関係がみられた。さらに、主観的努力度間での客観的出力の関係を検討した結果、肘及び肩関節の角度変化には有意な差はみられなかった。また、角速度については、肘関節伸展角速度及び肩関節屈曲角速度、肩関節伸展角速度に主観的努力度毎に有意な差がみられた。関節角度の変化については主観的努力度毎の有意な差は見られなかったものの、主観的努力度が増加するにつれ肘関節屈曲角度は小さくなり、肘関節伸展角度、肩関節屈曲角度、肩関節伸展角度は大きくなる傾向が見られた。

これらの結果から、主観的努力度の増加に伴い腕振り動作を前後に大きく腕を振り、腕振り動作速度を高めていたことが明らかになった。また、試技後に行なった内省報告においても、疾走速度を高めるために腕振り動作に意識をおいていることが報告されている。これらのことから、腕振り動作は指導書や指導場面でアドバイスされる「腕を前後に大きく振る」という内容を一部支持し、選手自身もコントロールしやすい動作であり疾走速度の獲得に重要な動作であることが先行研究^{23) 43)}と同様に示唆された。

主観的努力度の増加に伴いピッチ及び腕振り動作速度は増加していたことから、主観的努力度の増加による疾走速度の増加は腕振り動作が関与していることが推察される。このことから、主観的努力度は腕振り動作にも反映され、客観的出力を段階づけていたことが予測される。腕振り動作を構成する上肢は、下肢に比較し自由度が高く、質量が小さいためコントロールしやすいことが報告されている^{15) 43)}。本研究の結果からもこの報告を一部支持することが可能である。

これらのことから、腕振り動作に主観的努力度が反映されるという仮説は支持され、主観的努力度によって客観的出力を段階づけること可能であることが明らかになった。しかしながら、主観的努力度と客観的出力を一致させるまでには至らなかった。腕振り動作は多関節動作であるため、力発揮を調節することが可能であっても動作として主観的努力度を上回る客観的出力になったことが考えられる。そこで、主観的努力度と客観的出力の関係を筋活動から評価し詳細に検討することとする。

第3節 主観的努力度と腕振り動作の筋活動について

主観的努力度と疾走中の腕振り動作の筋活動について検討を行った。その結果、主観的努力度と腕振り動作に関与するすべての筋に有意な正の相関関係がみられた。さらに、主観的努力度間での客観的出力の関係を検討した結果、各筋で概ね主観的努力度 60%の低出力時と 90%以上の高出力時に主観的努力度間には有意な差がみられた。

これらのことから、動作と同様に主観的努力度は筋活動にも反映されるが、主観的努力度と客観的出力は一致しないことが明らかになった。

腕振り動作及び筋活動は主観的努力度 100%(最大努力)の値で正規化し相対値で表した。腕振り動作の変量は脚動作と同様に客観的出力は主観的努力度をやや上回る傾向が見られた、筋活動は対応するかやや下回るものであった。このことから、腕振り動作は多関節運動であることから主観的努力度に対応した筋出力を行っても、動作には協働筋の影響を受け主観的努力度をやや上回る客観的出力になることが考えられる。

腕振り動作がどのように行われているかを筋活動の結果から検討する。肩関節を中心とする動作であることから、腕振り動作の腕を前方に振る動作は、肩関節屈曲動作であり三角筋前部が主働筋である。また、前方への腕振りの際、肘関節を屈曲させながら振るため、上腕二頭筋にも筋活動がみられた。三角筋前部は低い主観的努力度に比較し、高い主観的努力度で有意な差がみられた。上腕二頭筋も三角筋前部と同様な傾向であったことから、ある一定の速度からは三角筋前部と上腕二頭筋が主となって前方への腕振り動作が行われている。そのため、正の相関関係が見られたものの主観的努力度 70%以上の客観的出力間では有意な差が見られなかった。

一方、後方への腕振り動作も前方への腕振り動作と同様に主観的努力度と正の相関関係にあった。この動作は肩関節伸展動作であり三角筋後部が主働筋である。この動作は、肘関節屈曲位から後方に腕を振るために、肘関節角度を伸展させながら後方へ振る。そのため、上腕三頭筋が後方への腕振り動作の協働筋として筋活動が見られた。上腕三頭筋の筋活動は、主観的努力度 100%時と比較して最大下努力度すべてと有意な差がみられた。最大努力での腕振り動作では、上腕三頭筋が大きく関与していることが考えられる。後方への腕振り動作も前方への腕振り動作と同様に主観的努力度と正の相関関係にあった。それぞれ主観的努力度は腕振り動作の筋活動にも反映され、先行研究⁴³⁾で述べられている腕振り動作によって疾走速度を変化させることは可能であることが明ら

かになった。しかしながら、筋活動においても主観的努力度毎に調節することは困難であることが示唆された。

本研究の腕振り動作の筋活動の増加は主観的努力度によるものなのか疾走速度の増加に伴って筋活動が増加したのかこの因果関係までは明らかにすることはできなかった。しかし、このことを成瀬³³⁾の身体運動の機序を説明するモデルに当てはめると、疾走速度を増加させようと被験者が「意図」することによって「努力」が行われる。すなわち、この「努力」は筋がどのくらい出力を出すかを段階づけさせる過程であると考えられる。このから、疾走速度を増加させようと被験者が意図したことによって、腕振り動作の筋活動が増加し、疾走速度も増加したことが示唆される。腕振り動作は下肢動作に比較し、力を作用させる局面がない。そのため、腕振り動作の筋活動には主観的努力度が顕著に表れていると推察される。

腕振り動作の筋活動の増加に伴い疾走速度は増加していたことから、先行研究で得られた知見と同様に疾走速度を獲得するのに腕振り動作は重要な役割を持つことが支持された。これらのことから、主観的努力度は下肢キネマティクス変量だけでなく、腕振り動作にも主観的努力度は反映されていたことが示された。

第4節 総合的考察

主観的努力度と客観的出力の関係を検討するための運動課題として短距離走が多く用いられてきた^{12) 13) 14) 30)}。これらの研究では、疾走動作や下肢のキネマティクス変量に着目しており、主観的努力度と客観的出力の間にはある一定の対応した関係が見られることを報告している。主観的努力度の増加に伴い疾走速度は増加し、特にピッチの増加の影響を受けていたことを明らかにしている^{14) 30)}。しかしながら、どのようにピッチを増加させ疾走速度を増加させていたかは検討されておらず、主観的努力度の増加に伴い下肢キネマティクス変量が変化したことが報告されている。

一方で、主観的努力度と客観的出力の関係を腕振り動作に着目した研究はなされていない。腕振り動作は疾走速度の獲得に重要であることが報告されており^{8) 19) 43)}、脚動作と同様に主観的努力度の影響が反映されることが予測された。また、主観的努力度と客観的出力の関係はキネマティクス変量での検討にとどまり、動作を生起させる筋活動に着目した報告は見受けられない。そこで、本研究では短距離走における主観的努力度と疾走速度の関係を腕振り動作に着目し、キネマティクス変量及び筋活動の観点から主観的努力度と客観的出力との関係について検討を行った。その結果、主観的努力度と腕振り動作の動作速度及び筋活動に正の相関関係が認められた。これらのことから、主観的努力度は腕振り動作にも反映されており、疾走速度を変化させるために腕振り動作が関与していることが明らかになった。

しかしながら、腕振り動作においても主観的努力度と客観的出力は必ずしも一致しないことが示された。これは腕振り動作が多関節運動であることが考えられる。動作は筋の力発揮によって生起される。そのため、多関節運動では主働筋だけではなく協働筋の働きも動作には反映されることから、力発揮が一致していても表出する動作は主観的努力度をやや上回ることが考えられる。そこで、筋の力発揮は主観的に調節できるものとして筋活動に着目した詳細な検討を行った。筋活動では、動作とは異なり主観的努力度と対応するか下回る傾向がみられた。このことから、腕振り動作などの多関節運動では意図的に筋の出力を一致させることは困難であることが示唆された。

これらの結果は指導場面での有益な情報になることが考えられる。本研究の結果から、選手は指導者から支持された強度と一致させることは困難であるが、最大努力に対して力の発揮を段階づけることは可能であることが示された。これは、指導者と選手の間に見える感覚的なずれを表すものと考えられる。このずれは動作を生起させる筋の力発揮

によるものであり、腕振り動作のような多関節運動では力発揮を調節することは困難である。そのため、指導者はダイナミクスな運動では選手は筋の力発揮においてもずれが生じることを把握しておくことが必要であると考えられる。

主観的努力度と客観的出力の関係については、トレーニングの負荷の強度管理や技術的な習熟を目的とした際に運動を調節することが求められることから多くの検討が行われてきた。運動における技術的トレーニングでは「最大速度に近いがそれよりもやや低い速度では、最大速度とほとんど変わらないスピード—筋力機構が現出されると同時に技術習得に気を配る余裕がある」といった指摘⁴⁹⁾がなされている。これは、全力マイナス数%が緊張の凡化と運動の制限現象を防止するとの示唆²⁹⁾³²⁾がこうした理論的根拠を与えている。また、短距離走における主観的努力度を用いた技術の習熟には、全力時に対して80%程度の速度強度が有効であること⁴⁷⁾や神経科学的には実際の競技中に求められるのと同じ感覚でのトレーニングの重要性が述べられている。このような最大下努力の短距離走における技術的な習熟については、松尾²⁵⁾は競技中と類似した感覚で行うことで、最大努力時よりも高いスピードを実現できる技術の向上が期待できると報告している。

本研究で得られた知見を利用し、指導の目的に応じた指示やアドバイスが可能であると考えられる。これまで脚動作が多く着目されてきたが、どのような意識によって動作が変化しているかは報告されていない。そのため、本研究では主観的努力度がどのように反映されているか明らかにし、選手の内省報告と関連づけ検討した。腕振り動作はピッチを増加させ疾走速度を高めるために貢献しており、選手の内省報告と一致した。このことから、指導場面において腕振り動作に着目しアドバイスを与えることは有効であると考えられる。

第7章 今後の課題

研究では短距離走中の腕振り動作に着目し、主観的努力度と疾走速度の関係について検討を行った。今回は、複数サイクルを抽出することで主観的努力度と客観的出力の関係を詳細に検討することとし、先行研究で用いられている実走ではなく自走式トレッドミルを用いて疾走速度を定量した。その結果、先行研究と同様の結果が得られたが、疾走速度及びストライド長は先行研究に比較し低い値であった。自走式トレッドミルを用いることで1サイクル毎の分析が可能であるが、より競技場面に近い状況での検討が今後望まれる。また、短距離走は全身運動であることから腕振り動作と脚動作のそれぞれに着目するだけでなく、双方に着目し主観的努力度と客観的出力の関連性を検討する必要があると考える。

第8章 結論

本研究では短距離走中の主観的努力度と、それに対応する腕振り動作の筋活動及び疾走速度との関係を検討した。その結果、得られた知見は以下の通りであった。

1. 主観的努力度と疾走速度及びピッチとの間に正の相関関係がみられた。
2. 主観的努力度と腕振り動作の肩関節角速度及び筋活動との間に正の相関関係がみられた。
3. 主観的努力度は腕振り動作に反映され、疾走速度の調節に関与していることが明らかとなった

第9章 要約

【目的】

陸上競技短距離走では主観的努力度と疾走速度との間に正の相関関係が示され、特に脚の動作に着目されている。しかし、動作は生み出す力は筋によって発揮され、下肢の身ならず腕振り動作も重要であることが予想される。そこで、本研究の目的は、疾走における主観的努力度とキネマティクスに関連する客観的指標との対応関係について、主として腕振り動作に着目して検討することであった。

【方法】

被験者は陸上競技短距離種目を専門とする男子学生競技者6名(年齢:22.7±1.37歳 身長:1.74±0.38m 体重:66.7±3.83kg 100mPB10.81±0.28sec)であった。被験者は、自走式トレッドミルを5つの主観的努力度(60%、70%、80%、90%、100%)でランダムに走行した。その際、右矢状面からデジタルビデオカメラを用いて疾走動作を記録した。また、右腕の上腕二頭筋(BB)、上腕三頭筋(TB)、三角筋前部(DEL_F)、三角筋中部(DEL_M)、三角筋後部(DEL_B)、僧帽筋(TRA)に電極を貼付し筋活動を記録した。

分析項目の値は5サイクル分の平均値とし、映像から腕振り動作の関節角度及び関節角速度を求めた。また、筋活動は主観的努力度100%時の値を基準に相対値化した。

【結果】

主観的努力度と客観的出力である肩関節屈曲及び伸展角速度、筋活動は有意な正の相関関係あった。主観的努力度間における比較では、肩関節屈曲角速度では主観的努力度60%時よりも90%時及び100%時で有意に増加し、肩関節伸展角速度は主観的努力度60%時よりも80%以上の努力度の時にそれぞれ有意に増加した。

筋活動では、肩関節屈曲動作に関与するBB及びDEL_Fにおいて、主観的努力度60%時よりも70%以上の努力度の時にそれぞれ有意に増加した。肩関節伸展動作に関与するTBは主観的努力度60%時よりも80%以上の努力度の時にそれぞれ有意に増加し、DEL_Bは、主観的努力度60%時よりも80%以上の努力度時にそれぞれ有意に増加した。

【結論】

主観的努力度の増加に伴い腕振り動作の筋活動は増加することが明らかになった。腕振り動作の主観的努力度が疾走速度の調節に関与することが示唆された。

謝辞

本論文を作成するにあたり検者を快くご支援いただいた陸上競技研究室、バイオメカニクス研究室の皆さん、被験者として協力してくださった陸上競技部の皆さんに多大なる感謝を申し上げます。また、実験および論文の作成に際し、アドバイスいただいた小山桂史さん、渡辺圭佑さん、加藤恭章さん、審査していただいた青木和浩先生、原田睦巳先生、修士論文作成にあたり最後まで支えていただいた中島宣行先生に心から感謝申し上げます。

参考及び引用文献

- 1) 阿江通良(1991) .画像データによる動作解析法. *Jpn. J. Sports Sci*,
- 2) 青山清英,小倉幸雄,安井年文,濱松亜紀,澤村博(1996) .ドロップジャンプにおける主観的強度と客観的達成度の関係に関する一考察. *スプリント研究*, 6, 15-25.
- 3) 馬場崇豪,和田幸洋,伊藤章(2000) .短距離走の筋活動様式 .*体育學研究*, 45(2), 186-200.
- 4) Fenn,W,O(1930) .Work against gravity and work due to velocity change in running. *Am .JofPhysiol*,93,433-462.
- 5) 福永哲夫,湯浅景元(1986) .コーチングの科学 (現代の体育・スポーツ科学) ,5-8.
- 6) 本道慎吾,安井年文,澤村博,青山清英(2007) .ロングスプリント(300m 走)における主観的努力度合いが客観的出力に与える影響に関する研究 - 疾走速度,ピッチ,ストライドの変化から - .*陸上競技研究*, 3, 30-36.
- 7) 福永哲夫, 湯浅景元(1986) .コーチングの科学 .朝倉書店, 東京, 2-5.
- 8) 伊藤章(1991) .走りにおける腕の役割 (ヒトの運動--腕と脚の役割). *体育の科学*, 41,688-692.
- 9) 伊藤章,斉藤昌久,淵本隆文(1997) .スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワー,および筋放電パターンの変化 .*体育學研究* ,42, 71-83.
- 10) 伊藤章,市川博啓,斉藤昌久,佐川和則,伊藤道郎,小林寛道(1998) :100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係 .*体育學研究*, 43, 260-273.
- 11) 伊藤章(2003) .短距離走に関する研究 : コーチングに役立つ科学的根拠を求めて .*体育學研究*,48(4), 355-367
- 12) 伊藤浩志, 村木征人(1997) .走,跳,投動作のグレーディング能力に関する研究 .*スポーツ方法学研究* , 10(1), 17-24.
- 13) 伊藤浩志, 村木征人, 金子元彦(2001) .スプリント走加速局面における主観的努力度の変化がパフォーマンスに及ぼす影響, *スポーツ方法学研究*, 14(1), 65-76.
- 14) 伊藤浩志, 村木征人(2005) .スプリント走における主観的努力度の違いが疾走速度,ピッチ・ストライド,下肢動作に及ぼす影響 .*スポーツ方法学研究*, 18(1), 61-73.
- 15) 伊藤新太郎,尾縣貢,大山下圭悟,宮下憲,梶矢英昭,永井純(2000) .400m 走における上肢の役割 .*陸上競技研究*,40, 8-15.

- 16) 金子元彦(2000) .バドミントンの打動作における主観的努力度と客観的達成度の対応関係 : 主観的努力度に指示語を用いて .順天堂医療短期大学紀要,11, 51-62,
- 17) 金子元彦(2007) .バドミントンにおける打つ強さの調節--主観的努力度とシャトル速度の対応関係から (特集打動作) .バイオメカニクス研究 ,11(3), 229-234.
- 18) 金子元彦,村木征人,古川覚(2007) .異なる二種類の打動作における主観的努力度と客観的達成度の対応関係--中級から初級レベルのバドミントン・プレーヤーの場合, スポーツ方法学研究,20(1),57-70.
- 19) 笠井達哉(1981) .走における腕振り動作の効果 .国士舘大学体育研究所報,2,61-66.
- 20) 加藤史夫,小山裕三,濱松亜紀,小倉幸雄,五十嵐聡,澤村博(1981) .スポーツ競技者と跳躍運動における主観的強度と客観的達成度の対応性に関する一考察 .陸上競技研究,(23)4,18-24.
- 21) 小山裕三,今井公一,川井昂,阿部信博,安井年文(2002) .高強度領域における主観的強度の変化が客観的出力に与える影響 .陸上競技研究,(3), 32-38.
- 22) Kunz and Kaufmann (1981) .Biomechanical analysis of sprinting : decathletes versus champions .Br J Sports Med ,15,177-181.
- 23) 前田正登,三木健嗣(2010) .スプリント走における腕振りの役割 .陸上競技研究 80(1),13-19.
- 24) 松尾彰文(2006) .走動作の骨盤と肩の動き .体育の科学,56(3),162-167.
- 25) 松尾彰文(2008) .最大下スピード練習の効果を高めるための提案ランニングパフォーマンスへの応用 (特集スピードを生み出すからだの動き) .体育の科学,58(11), 756-764,
- 26) 松尾彰文,広川龍太郎,柳谷登志雄,土江寛裕,杉田正明(2009) .男女 100m レースのスピード変化 .陸上競技研究紀要,5, 50-62.
- 27) 松下健二,後藤幸弘,岡本勉,辻野昭,熊本,水頼(1974) .走の筋電図的研究 .体育学研究,19(3),147-156.
- 28) 宮下憲,阿江通良,横井孝志,橋原孝博,大木昭一郎 (1986) .世界一流スプリンターの疾走フォームの分析 . J. J. Sports Sci.,5, 892-898.
- 29) 村木征人(1983) .スプリント走における速度強度及び歩幅と歩数に関する研究—スプリント走の各種客観的速度強度と主観速度および歩幅の関係—.「身体運動の科学V」日本バイオメカニクス学会編 .東京, 杏林書院.75-83

- 30) 村木征人,伊藤浩志,半田佳之,金子元彦,成万祥(1999) .高強度領域での主観的努力度の変化がスプリント・パフォーマンスに与える影響 .スポーツ方法学研究,12(1), 59-67.
- 31) 村木征人,稲岡純史(1996) .跳躍運動における主観的強度(努力度合)と客観的出力との対応関係 .スポーツ方法学研究,9(1), 73-79
- 32) 村木征人,岡戸隆浩,日下部光(1995) .主観的強度(努力度合)と基本運動パフォーマンスの対応関係 .日本体育学会大会号,(46), 533.
- 33) 成瀬悟策(2000) .臨床動作学基礎第 2 版 .東京,学苑社,25-98
- 34) N.G.オゾーリン・A.O.ロマノフ,岡本正巳訳(1966) .スポーツマン教科書, 講談社
- 35) 小木曾一之,関岡康雄,安井年文,西垣和彦,森田正利(1991) .全力疾走中の上肢における機械的エネルギーの流れ .陸上競技研究,7,12-20
- 36) 太田涼,有川秀之(1998) .短距離走における主観的強度と客観的強度の対応関係に関する研究 .陸上競技研究 ,32, 2-14.
- 37) 小野寺孝一,宮下充正(1976) .全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性 : Rating of perceived exertion の観点から .体育学研究,21(4), 191-203.
- 38) 小野寺孝一,岩岡研典(2003) .脚伸展筋力と主観的強度 .体力科学,52(6),823
- 39) 小野寺孝一,岩岡研典(2006) .主観的強度を指標とした筋力トレーニングの効果(トレーニング, 第 61 回日本体力医学会大会) .体力科学,55(6), 773.
- 40) 小野寺孝一,岩岡研典(2007) .主観的強度を指標とした筋力トレーニングにおける EMG の所見について(トレーニング,第 62 回日本体力医学大会) .体力科学,56(6), 746.
- 41) 佐藤光浩,中川功哉,関岡康雄(2004) .400m 走における腕振りの効果に関する研究 . 仙台大学大学院スポーツ科学研究科研究論文集,5, 71-78.
- 42) 高野進(1993) .私の 400m .スプリント研究,3,57-69.
- 43) 田村孝洋,久保田康毅(2004) .100m 走の最高速度局面における腕動作機能 .陸上競技研究,59(4), 13-19.
- 44) 土江寛裕(2004) .アテネオリンピックに向けての「走りの改革」の取り組み .スポーツ科学研究,1, 10-17.
- 45) 土江寛裕(2008) .負荷可変走エルゴメーターの開発とその応用 .早稲田大学人間科学研究科 2008 年度博士論文.

- 46) 辻本典央,水藤弘吏,新海宏成,布目寛幸,池上康男(2009) .腕振りの制約が走動作に及ぼす影響 .バイオメカニクス研究 ,13(2), 38-50.
- 47) Usho B ,Vilcow I(1990) .The stucture of sprint training . Modern athlete and coach,28(3),31-34.
- 48) 柳谷登志雄(2002) .ヒトの歩・走パワー発揮能力に関する研究 .早稲田大学人間科学研究科 2002 年度博士論文.
- 49) ザチオルスキーVM：渡辺謙訳：スポーツマンと体力トレーニングの理論と方法. 東京ベースボールマガジン社,119-121 (1972)

Relationship between the subjective effort and velocity in sprinter

The focused on arm swing muscle activity

Masahiro Ohnishi

Summary

【Purposes】 The purpose of this study is the subjective effort sprint running is to examine the relationship between velocity and muscle activity and the corresponding arm swing operation.

【Methods】 Six subjects were male student athlete who are specialized in sprint track events (age 22.7 ± 1.37 yrs, height 1.74 ± 0.38 m, weight 66.7 ± 3.83 kg, 100mPB 10.81 ± 0.28 sec), respectively. In the experiment, each time using a subjective effort self-propelled treadmill (60%, 70%, 80%, 90% and 100%) were run randomly of five conditions. At that time, the right arm (biceps, triceps, anterior deltoid, middle deltoid, posterior deltoid, trapezius muscle) muscle activity was recorded by using electrodes attached. Also, subjects were recorded the racing operation by digital video camera to calculate kinematic variables lower extremity, joint angles and joint angular velocity were calculated arm swing operation.

【Results and Discussion】 There were difference in joint angle arm swing, However elbow and shoulder's joint angular velocity was significantly increased, as did muscle activity. There were accompanied with subjective efforts. Angular velocity of arm swing was observed, whereas the output is greater than the subjective effort, muscle activity tended to correspond with the effort or less subjective. From this, an exercise that power based on the sense of oneself is possible but, when a movement is appearing as the SSC and the operation is multi-joint movement has been suggested that such affected.

【Conclusion】 Subjects' accompanied by subjective effort, muscle activity and joint velocities of arm swing operation are increased, the increase in sprint speed. For this reason, subjective effort behavior suggests that there is a swing arm can affect the rate of disappearance.

表1. 被験者の形態的特徴,100m走の記録及び専門種目の成績

被験者	年齢(yrs)	身長(m)	体重(kg)	競技歴(year)	100mPB(sec)	100mSB(sec)	専門種目(PB)
A	24	1.77	63.0	9	10.89	—	400mH(49"27)
B	24	1.76	62.0	10	11.21	—	400mH(49"87)
C	23	1.80	70.0	11	10.83	10.95	200m(21"40)
D	23	1.72	65.0	12	10.33	10.33	
E	21	1.71	69.0	9	10.73	10.85	
F	21	1.80	71.0	6	10.86	10.86	400m(47"97)
mean±SD	22.7±1.37	1.74±0.04	66.7±3.83	9.5±2.03	10.81±0.28		

各被験者の身体的特徴、100m走及び専門種目の成績を示した。なお、PB(Personal Best)は自己記録し、SB(Season Best)は2011年シーズンにおける最高記録をそれぞれ示す。また、被験者A、Bは2011年シーズンの100m走の公認記録がないことを示している。

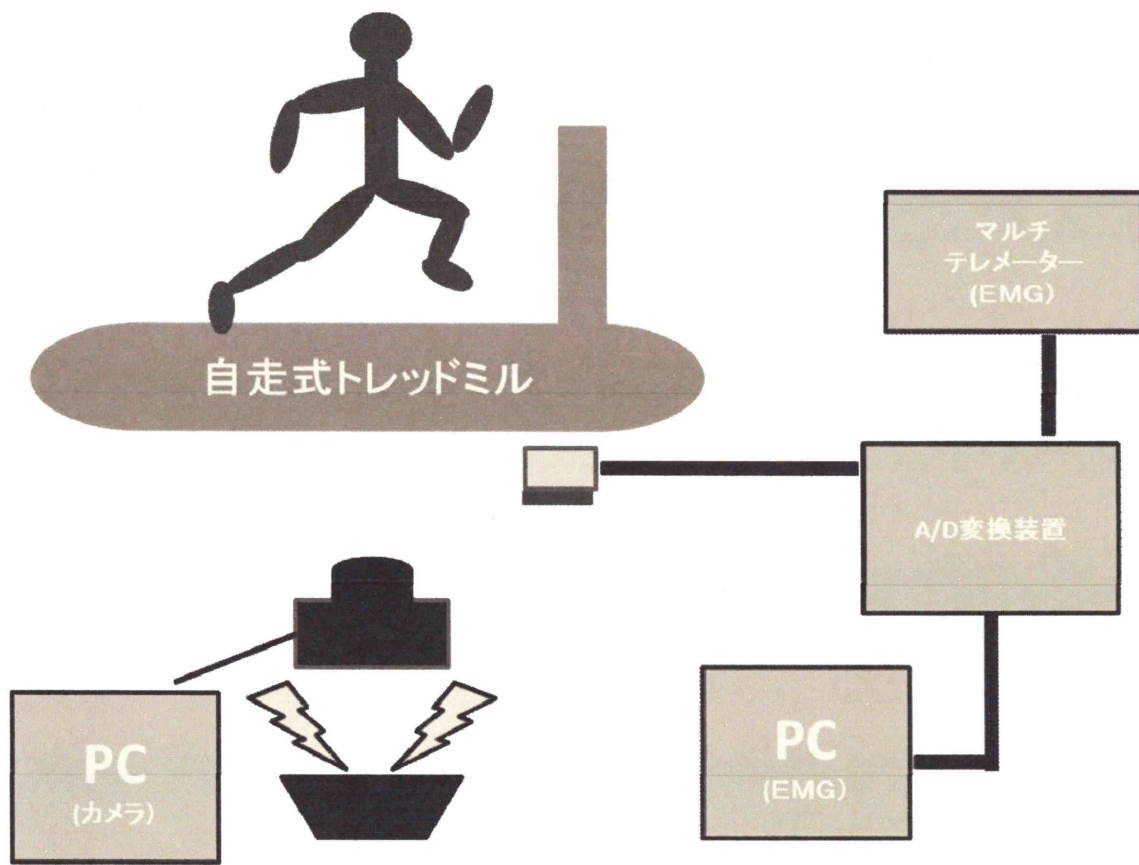


図 1. 実験概要図

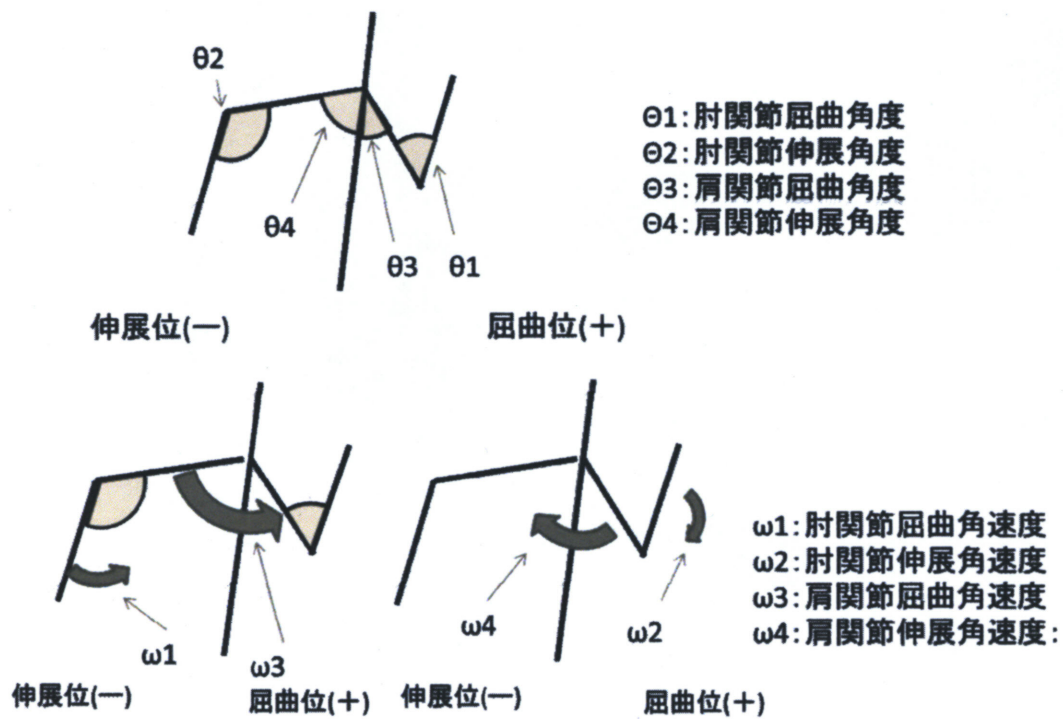


図2. 関節角度及び角速度の定義

表2. 各主観的努力度と下肢のキネマティクス変量

主観的努力度	速度(m/sec)		ストライド長(m)		ピッチ(sec/step)		滞空時間(sec)		接地時間(sec)		1サイクル(sec)	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
60%	6.61	0.73	1.82	0.16	3.42	0.12	0.13	0.01	0.15	0.03	0.28	0.03
70%	7.05	0.40	1.86	0.07	3.82	0.31	0.13	0.02	0.14	0.02	0.26	0.02
80%	7.19	0.41	1.76	0.15	4.12	0.29	0.11	0.02	0.13	0.01	0.24	0.02
90%	7.63	0.13	1.77	0.10	4.36	0.21	0.11	0.02	0.12	0.01	0.23	0.01
100%	8.01	0.19	1.76	0.09	4.57	0.17	0.10	0.02	0.12	0.01	0.22	0.01

Mean±SD

表3.主観的努力度と各下肢キネマティクス変量

	客観的出力(%)					
	速度(m/sec)	ストライド長(m)	ピッチ(Hz)	滞空時間(sec)	接地時間(sec)	1サイクル(sec)
主観的努力度(%)	.888 ***	-.231	.872 ***	-.572 ***	-.587 ***	-.727 ***

*p<.05 **p<.01 ***p<.001

表4. 各主観的努力度と下肢のキネマティクス変量の分散分析表

各主観的努力度と速度(m/sec)						各主観的努力度とストライド長(m)					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率	要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)						(被験者内要因)					
主観的努力度	9.754	4	2.439	22.77	.001	主観的努力度	0.049	2	0.029	2.10	1.84
誤差	2.142	20	0.107			誤差	0.116	8	0.024		

各主観的努力度とピッチ(Hz)						各主観的努力度と滞空時間(sec)					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率	要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)						(被験者内要因)					
主観的努力度	4.903	4	1.226	51.81	.001	主観的努力度	0.003	4	0.001	7.79	.001
誤差	0.473	20	0.024			誤差	0.002	20	0.000		

各主観的努力度と接地時間(sec)						各主観的努力度と1サイクルに要した時間(sec)					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率	要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)						(被験者内要因)					
主観的努力度	0.004	1	0.003	7.21	.031	主観的努力度	0.013	2	0.008	13.99	.010
誤差	0.002	6	0.000			誤差	0.005	8	0.001		

図 3.各主観的努力度の下肢キネマティクス変量の比較

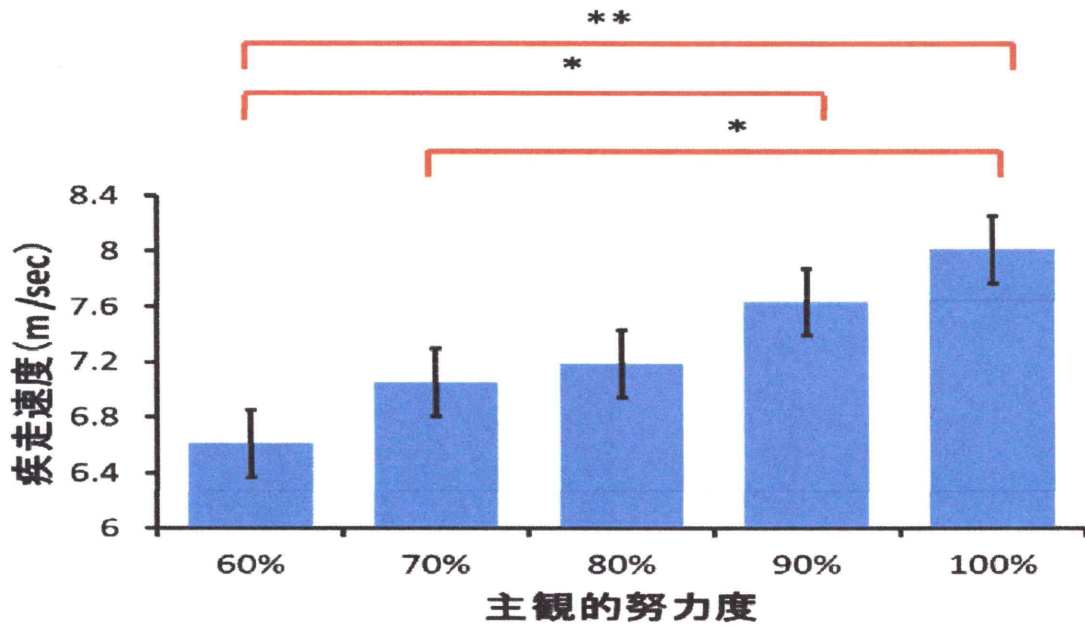


図 3-1 各主観的努力度と疾走速度の比較

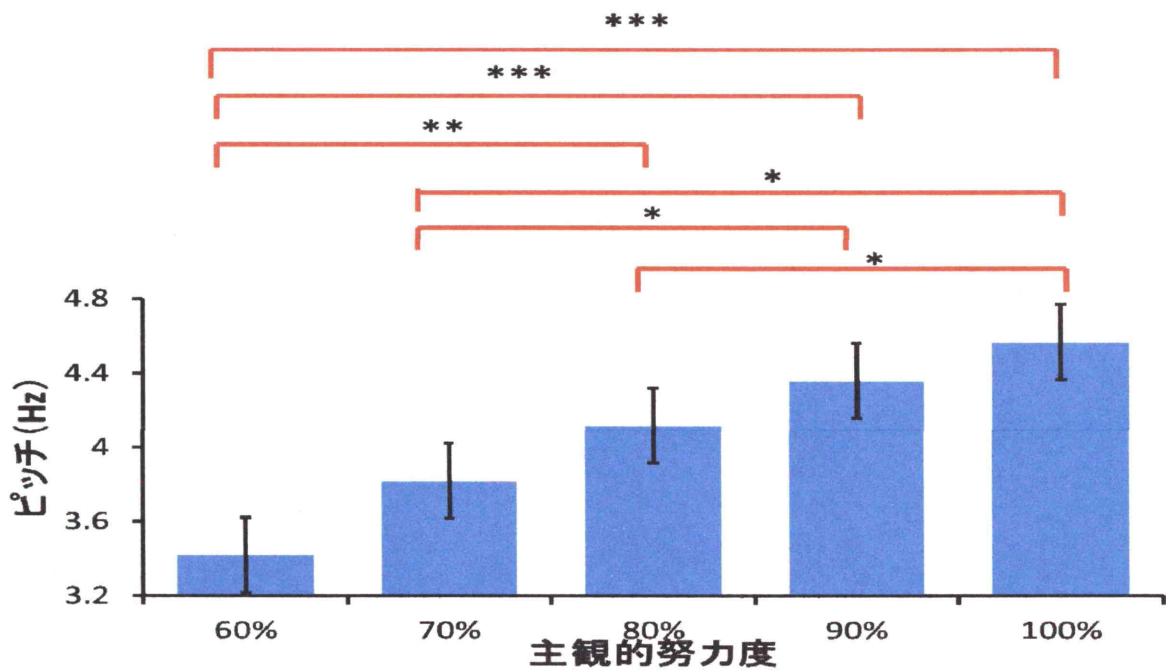


図 3-2 各主観的努力度とピッチの比較

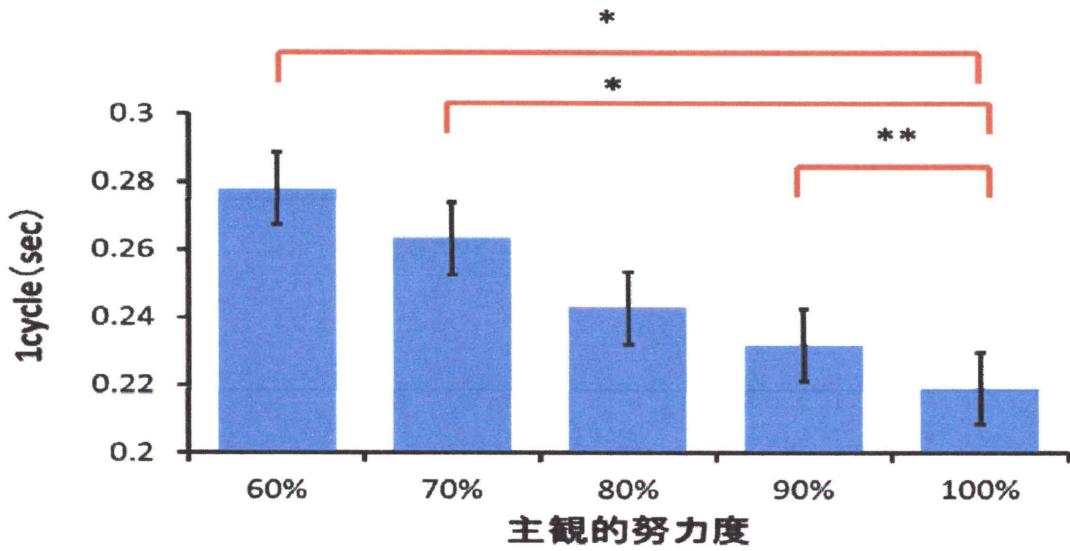
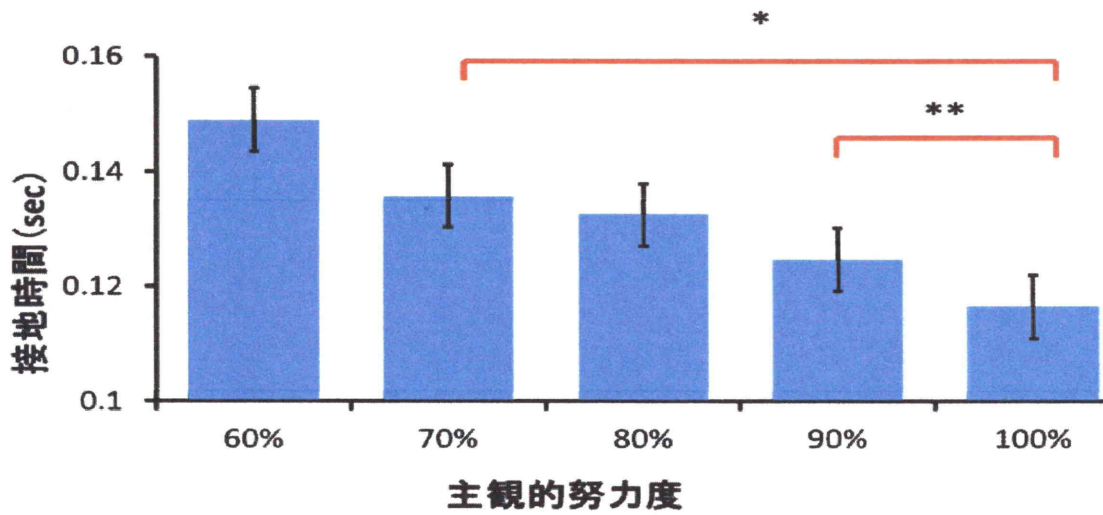


図 3-3 各主観的努力度と 1cycle の比較



*p<.05 **p<.01 ***p<.001

図 3-4 各主観的努力度と接地時間の比較

表5 各主観的努力度と各関節角度及び関節角速度の相対値

肘関節								
主観的努力度	屈曲位(deg)		屈曲角速度(deg/sec)		伸展位(deg)		伸展角速度(deg/sec)	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
60%	115.6	26.80	74.8	15.03	92.9	8.79	61.0	12.21
70%	115.8	21.36	80.3	11.22	93.5	9.68	68.2	12.13
80%	111.5	26.30	88.0	17.34	95.5	7.27	80.8	20.58
90%	97.0	7.63	103.9	25.55	98.0	8.49	97.8	12.23
100%	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-

肩関節								
主観的努力度	屈曲位(deg)		屈曲角速度(deg/sec)		伸展位(deg)		伸展角速度(deg/sec)	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
60%	79.7	25.67	67.9	7.71	84.2	12.57	66.0	4.96
70%	83.2	19.31	75.6	12.72	87.3	10.01	78.2	11.25
80%	100.4	14.81	87.0	7.68	90.7	5.64	86.0	5.85
90%	107.7	20.00	96.5	10.24	97.2	8.60	93.2	7.78
100%	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-

Mean±SD

表6. 主観の努力度と各関節角度及び関節角速度(相対値)

客観の出力(%)				
肘関節				
	屈曲角度(deg)	屈曲角速度(deg/sec)	伸展角度(deg)	伸展角速度(deg/sec)
主観の努力度(%)	-0.351	.675 ***	.395 *	.767 ***
*p<.05 **p<.01 ***p<.001				
客観の出力(%)				
肩関節				
	屈曲角度(deg)	屈曲角速度(deg/sec)	伸展角度(deg)	伸展角速度(deg/sec)
主観の努力度(%)	.541 **	.856 ***	.571 **	.864 ***
*p<.05 **p<.01 ***p<.001				

表7. 各主観的努力度と各関節角度及び関節角速度(相対値)の分散分析

各主観的努力度と肘関節屈曲角度						各主観的努力度と肩関節屈曲角度					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率	要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)						(被験者内要因)					
主観的努力度	272.822	2	180.960	2.63	.141	主観的努力度	496.612	4	124.153	5.788	.010
誤差	518.592	8	68.795			誤差	429.018	20	21.451		

各主観的努力度と肘関節屈曲角速度						各主観的努力度と肩関節屈曲角速度					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率	要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)						(被験者内要因)					
主観的努力度	1373341.031	4	34335.258	5.36	.010	主観的努力度	347287.684	4	86821.921	22.70	.001
誤差	128175.616	20	6408.781			誤差	76489.754	20	3824.488		

各主観的努力度と肘関節伸展角度						各主観的努力度と肩関節伸展角度					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率	要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)						(被験者内要因)					
主観的努力度	399.142	4	99.786	2.50	.075	主観的努力度	725.607	4	181.402	6.13	.010
誤差	797.393	20	39.870			誤差	592.143	20	29.607		

各主観的努力度と肘関節伸展角速度						各主観的努力度と肩関節伸展角速度					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率	要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)						(被験者内要因)					
主観的努力度	1302446.170	4	325611.543	14.375	.001	主観的努力度	361986.603	4	90496.651	24.64	.001
誤差	453023.364	20	22651.168			誤差	73468.922	20	3637.446		

図 4. 各主観的努力度間の関節角度変位及び角速度の比較

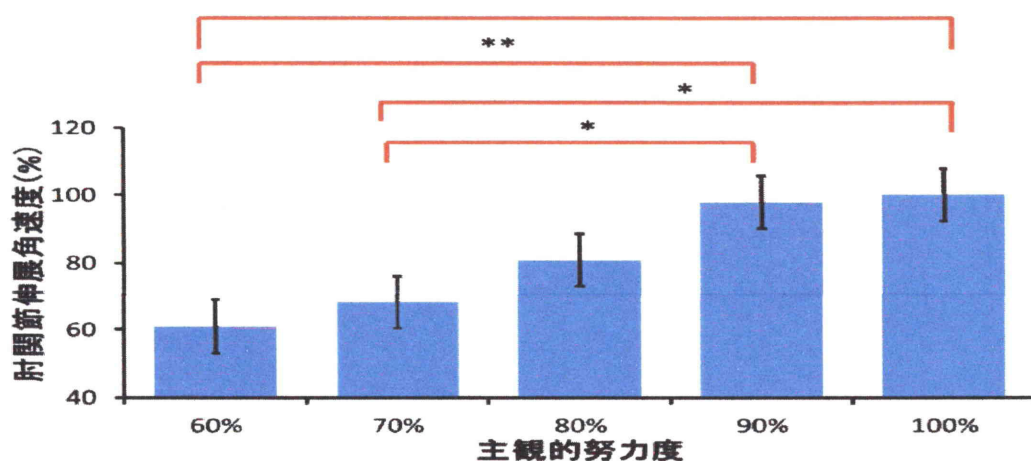


図 4-1 各主観的努力度と肘関節伸展角速度の比較

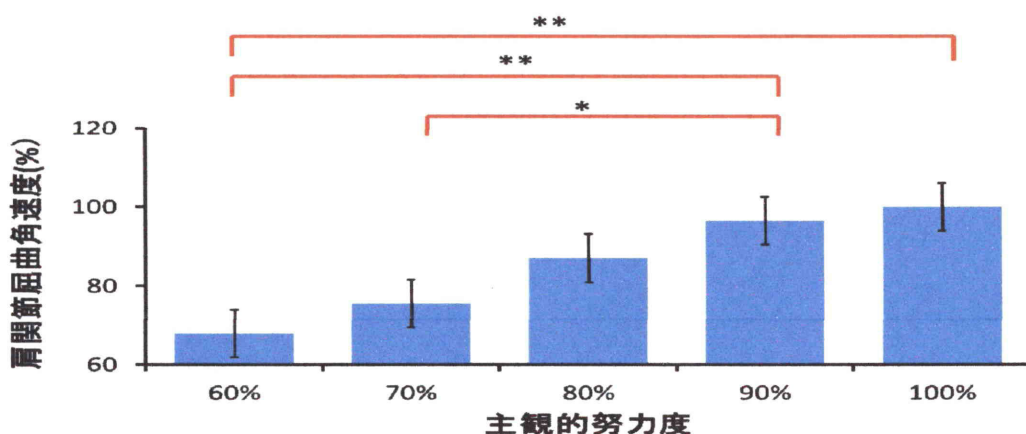
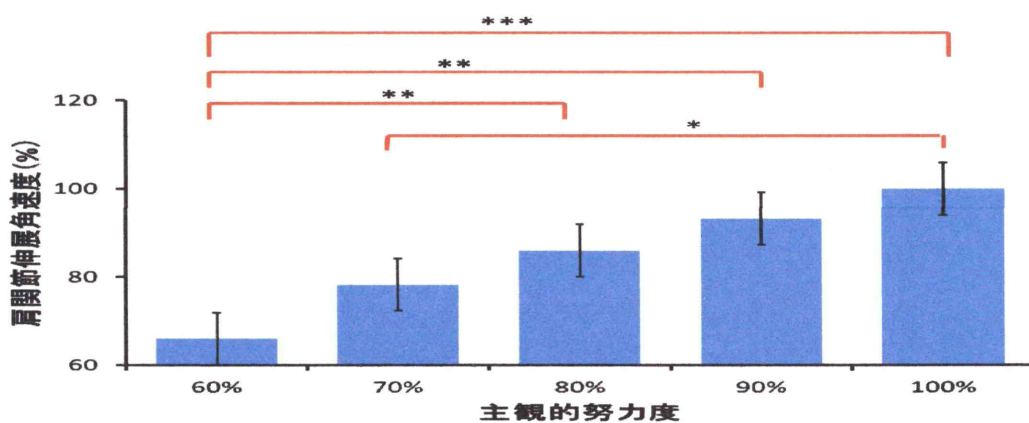


図 4-2 各主観的努力度と肩関節屈曲角速度の比較



*p<.05 **p<.01 ***p<.001

図 4-3 各主観的努力度と肩関節伸展角速度の比較

表8. 各主観的努力度の腕振り動作の筋活動(相対値)

主観的努力度	上腕二頭筋		上腕三頭筋		三角筋前部		三角筋中部		三角筋後部		僧帽筋	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
60%	56.2	16.14	46.9	15.18	44.1	14.75	52.2	33.42	60.6	27.55	53.2	10.84
70%	68.6	21.78	54.9	21.40	65.6	13.47	50.0	27.29	72.6	31.29	56.3	13.44
80%	79.1	21.84	62.8	23.04	75.7	19.76	57.1	31.06	78.9	32.56	60.0	13.48
90%	86.0	25.57	75.7	21.63	77.0	11.13	71.8	29.33	86.1	23.56	71.8	11.51
100%	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-

Mean±SD

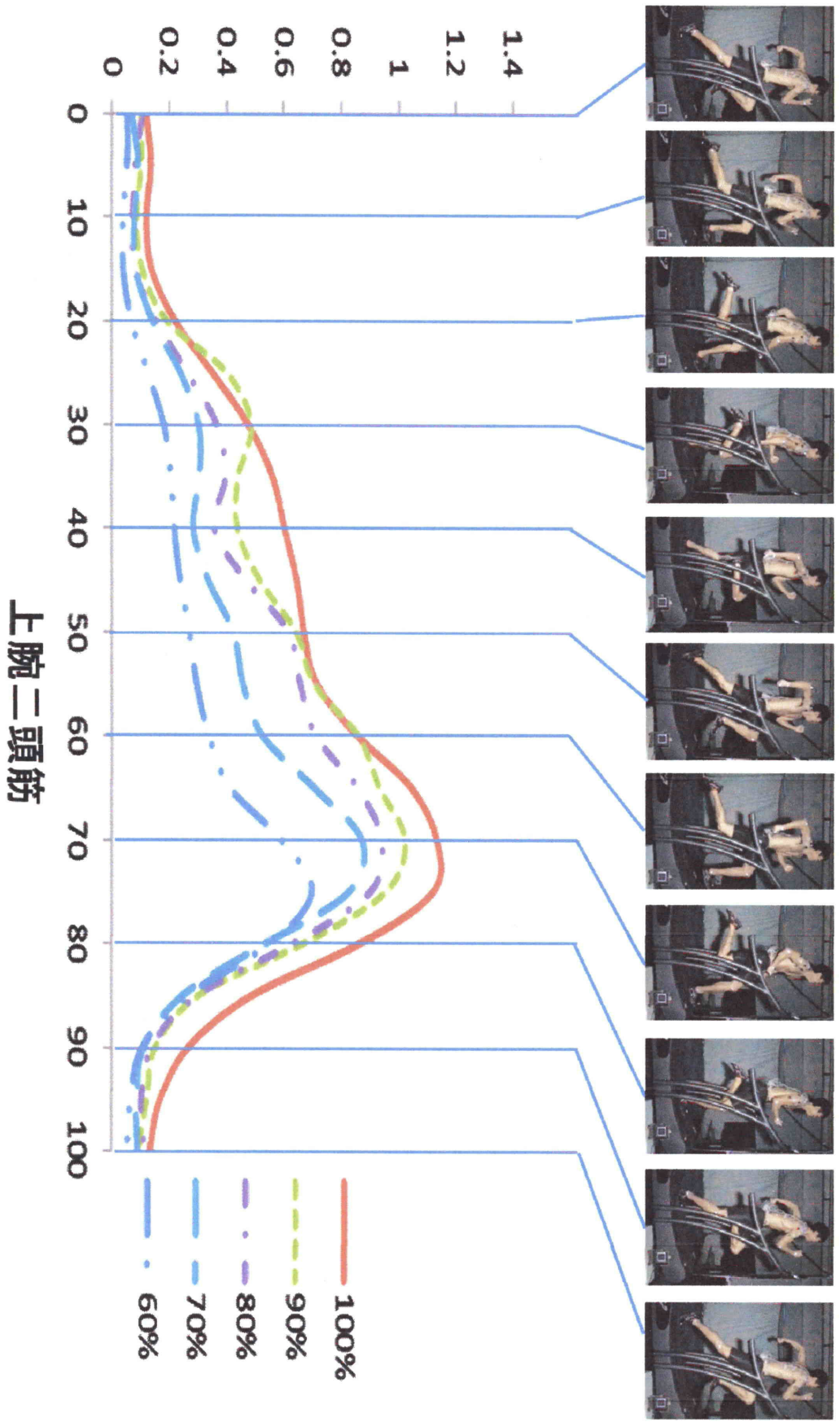


図 5-1 疾走動作と筋活動パターン

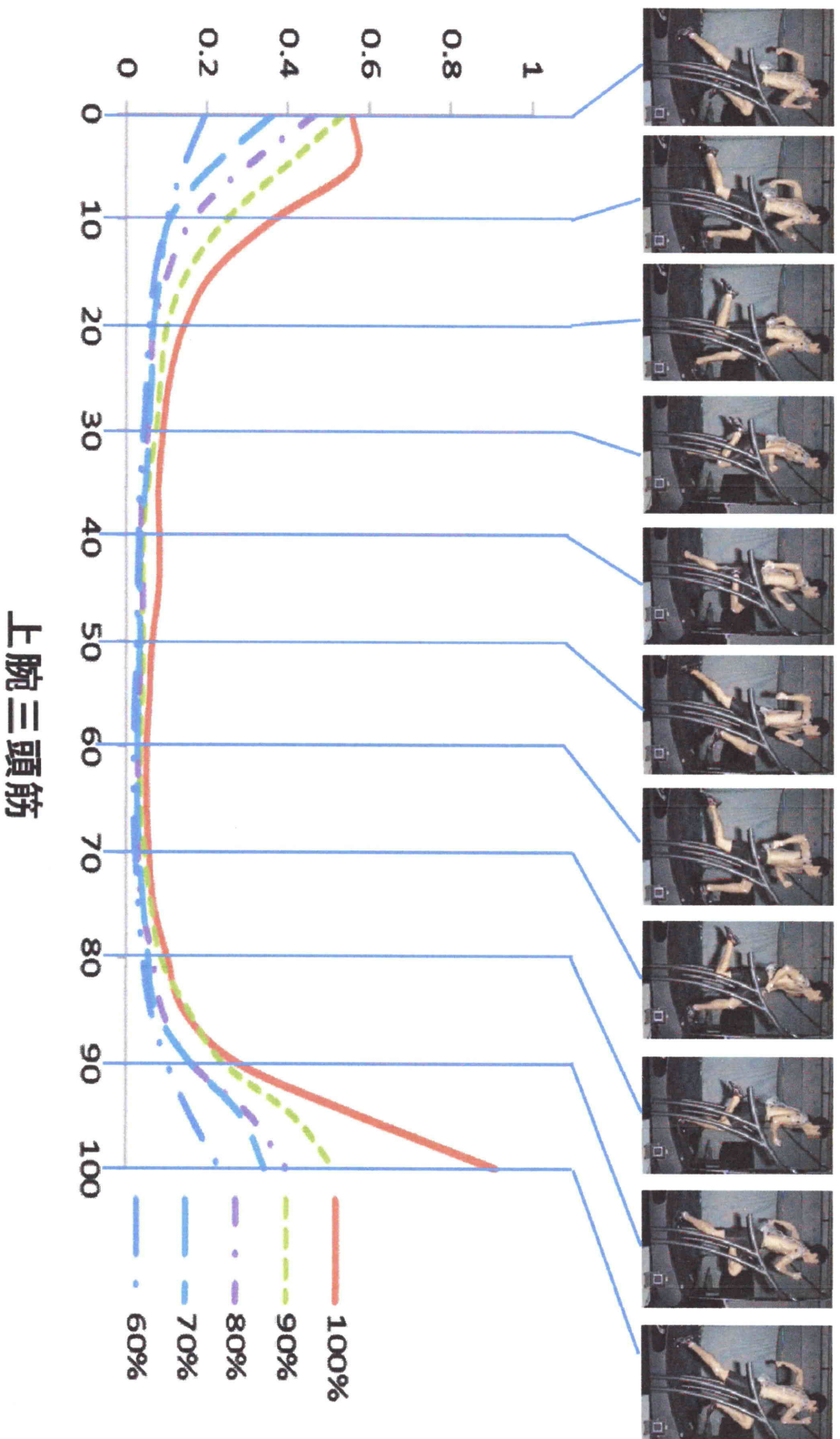


図5-2 疾走動作と筋活動パターン

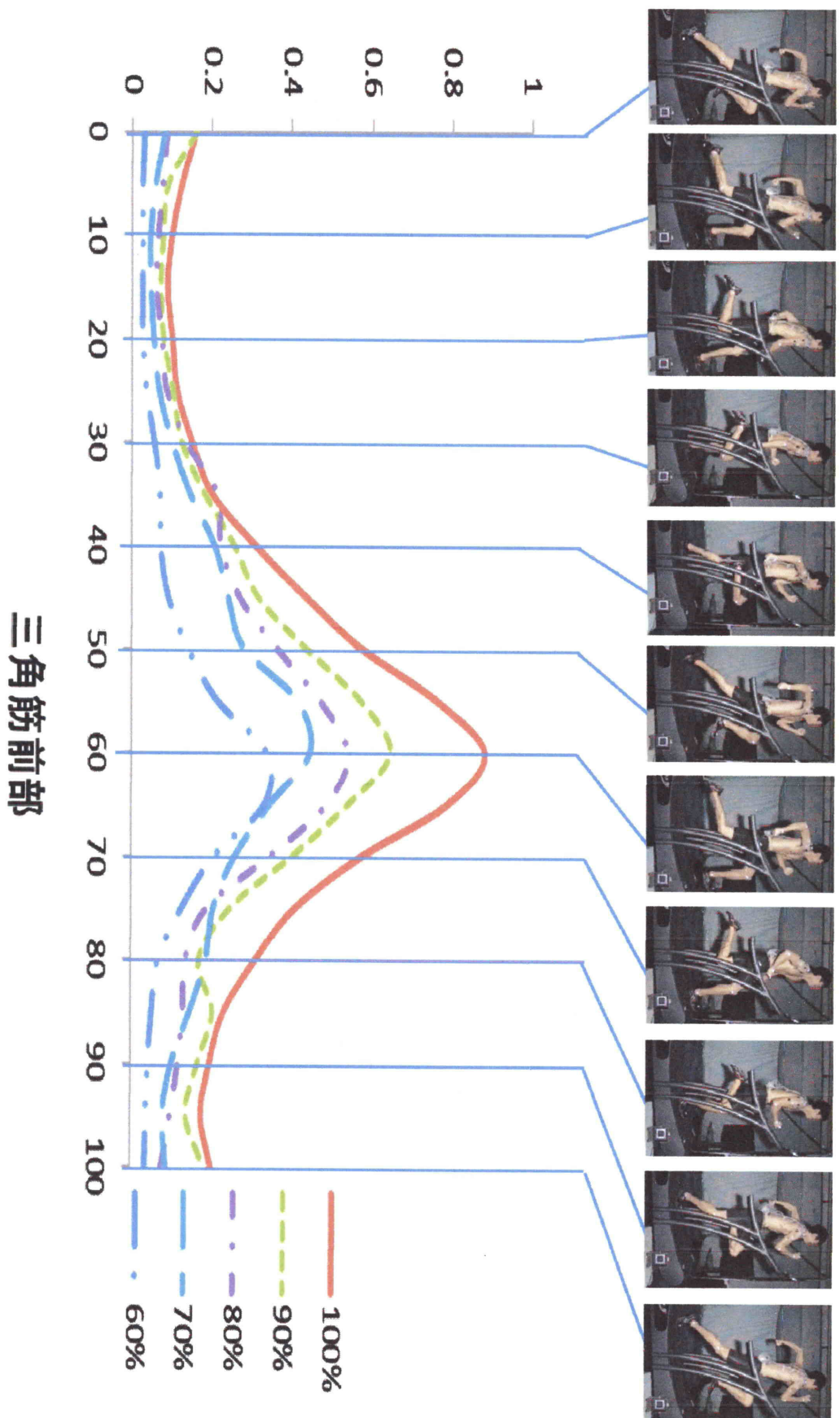


図5-3 矢走動作と筋活動パターン

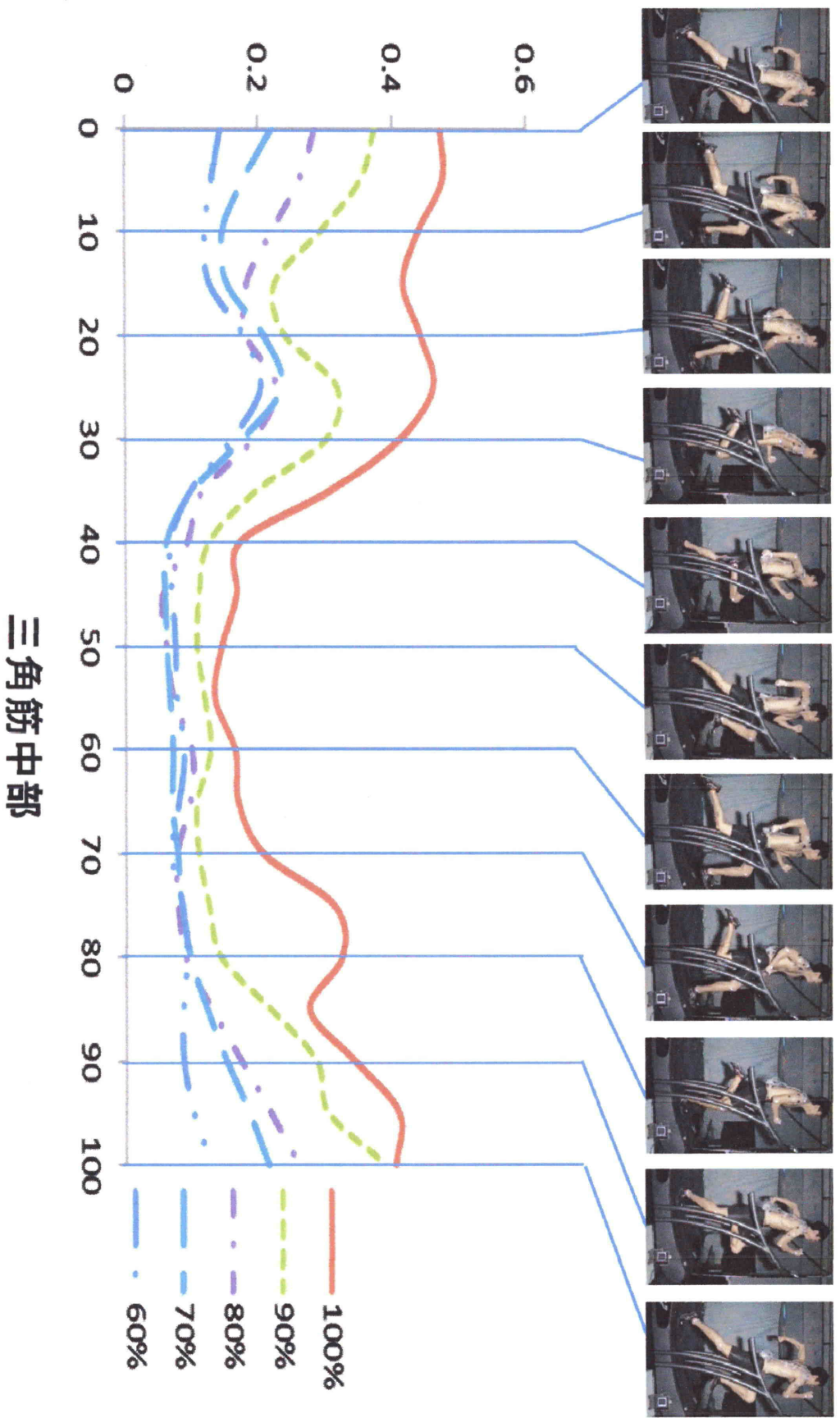


図5-4 走動作と筋活動パターン

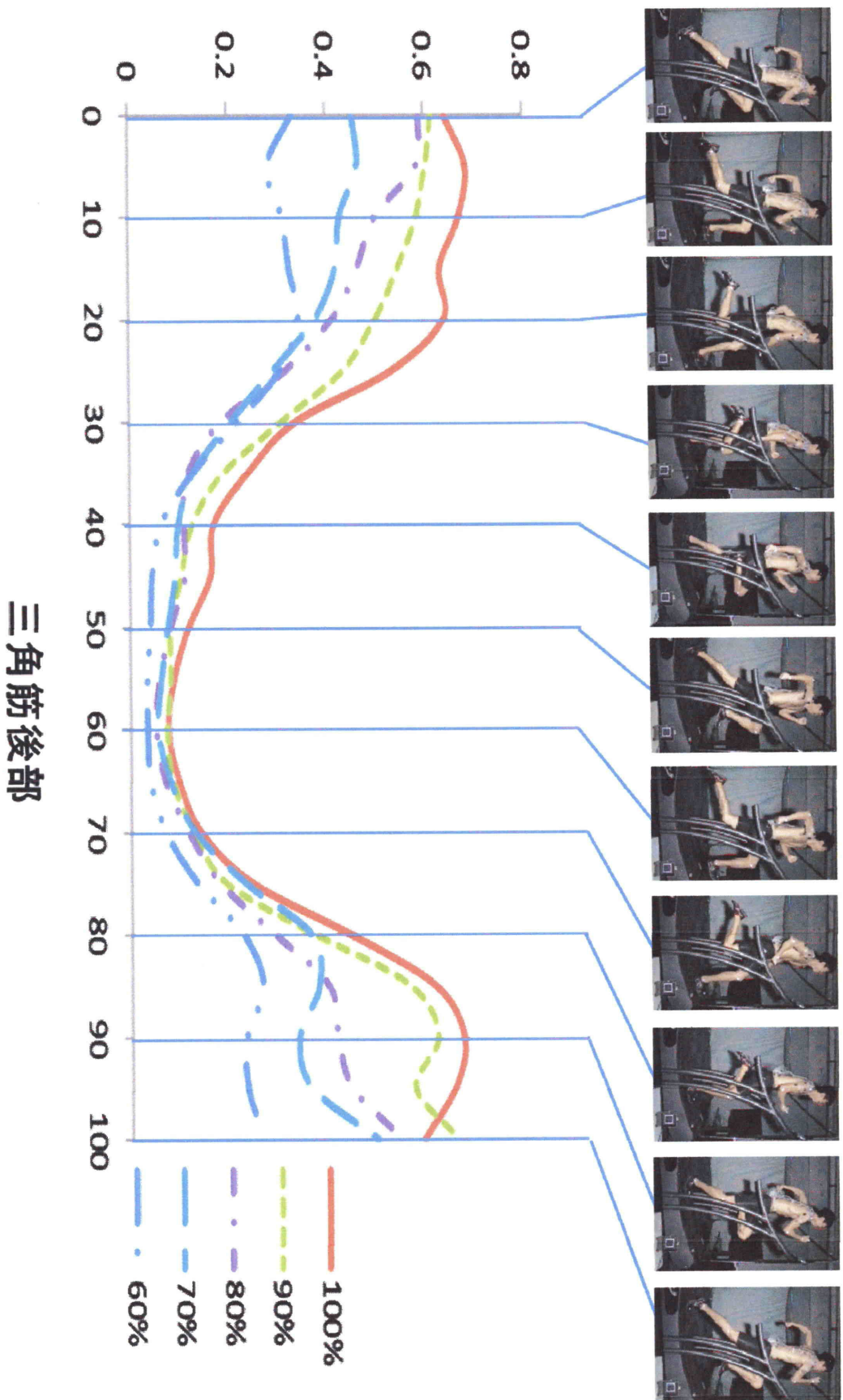


図5-5 疾走動作と筋活動パターン

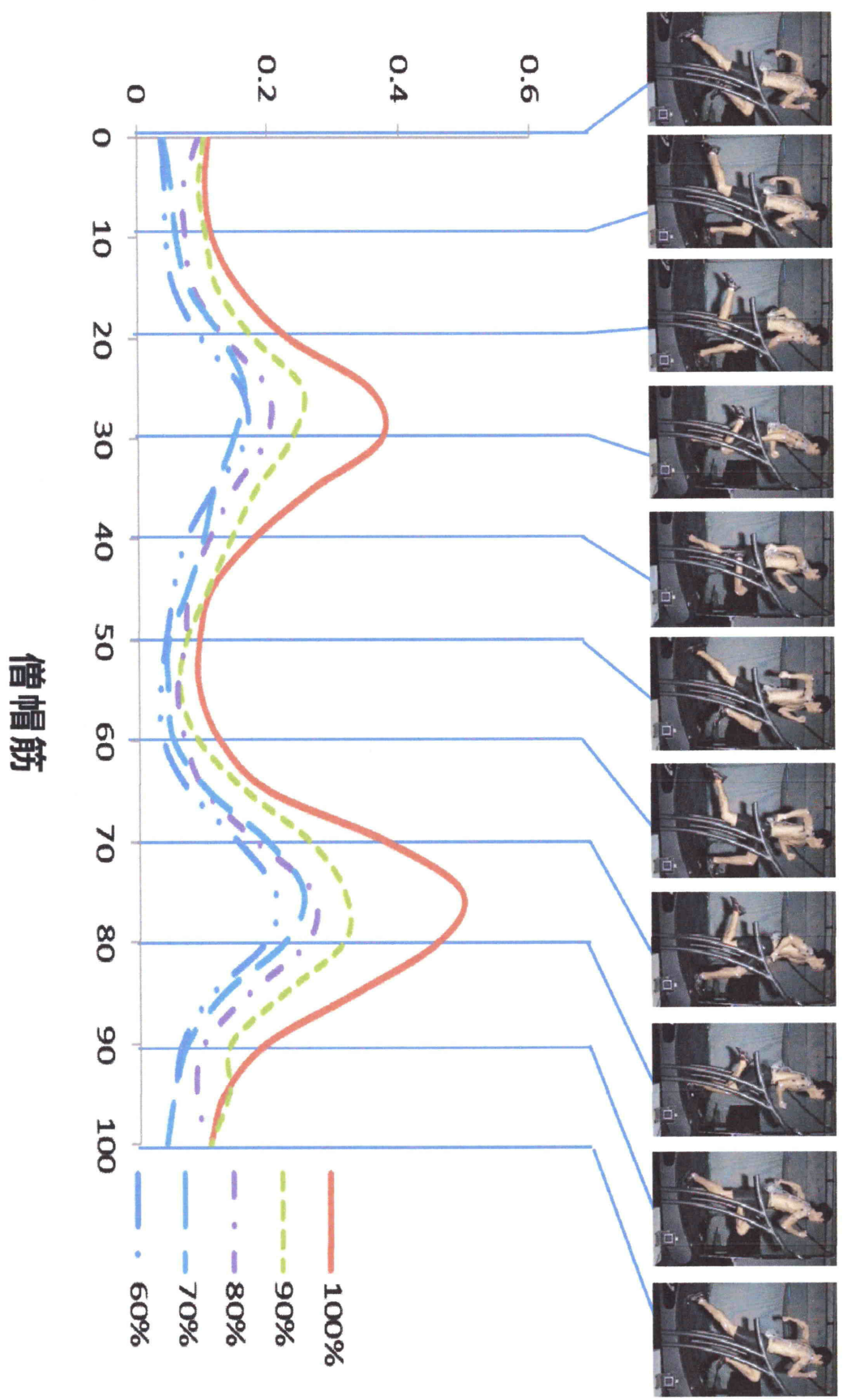


図5-6 疾走動作と筋活動パターン

表9. 各主観的努力度の腕振り動作の筋活動(相対値)

	客観的出力(%)					
	上腕二頭筋	上腕三頭筋	三角筋前部	三角筋中部	三角筋後部	僧帽筋
主観的努力度(%)	.673 ***	.713 ***	.793 ***	.550 **	.541 **	.746 ***

*p<.05 **p<.01 ***p<.001

表10. 各被験筋と主観的努力度の分散分析

各主観的努力度と上腕二頭筋の筋活動					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)					
主観的努力度	6663.708	4	1665.927	12.78	.001
誤差	2606.696	20	130.335		

各主観的努力度と三角筋前部の筋活動					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)					
主観的努力度	9862.957	4	2465.739	18.55	.001
誤差	2659.132	20	132.957		

各主観的努力度と上腕三頭筋の筋活動					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)					
主観的努力度	10370.18	4	2592.545	15.68	.001
誤差	3307.442	20	165.372		

各主観的努力度と三角筋中部の筋活動					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)					
主観的努力度	10297.497	2	5900.337	10.57	.001
誤差	4870.338	9	558.129		

各主観的努力度と僧帽筋の筋活動					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)					
主観的努力度	8748.421	4	2187.105	26.14	.001
誤差	1673.663	20	83.683		

各主観的努力度と三角筋後部の筋活動					
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
(被験者内要因)					
主観的努力度	5505.634	4	1301.409	4.71	.010
誤差	5525.657	20	276.283		

図 6. 各被験筋と主観的努力度間の比較

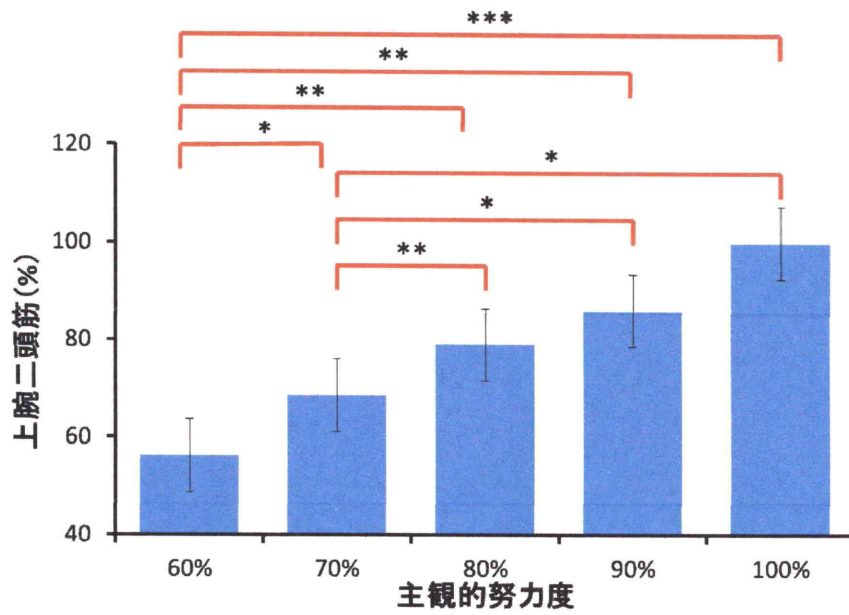


図 6-1 各主観的努力度と上腕二頭筋の筋活動の比較

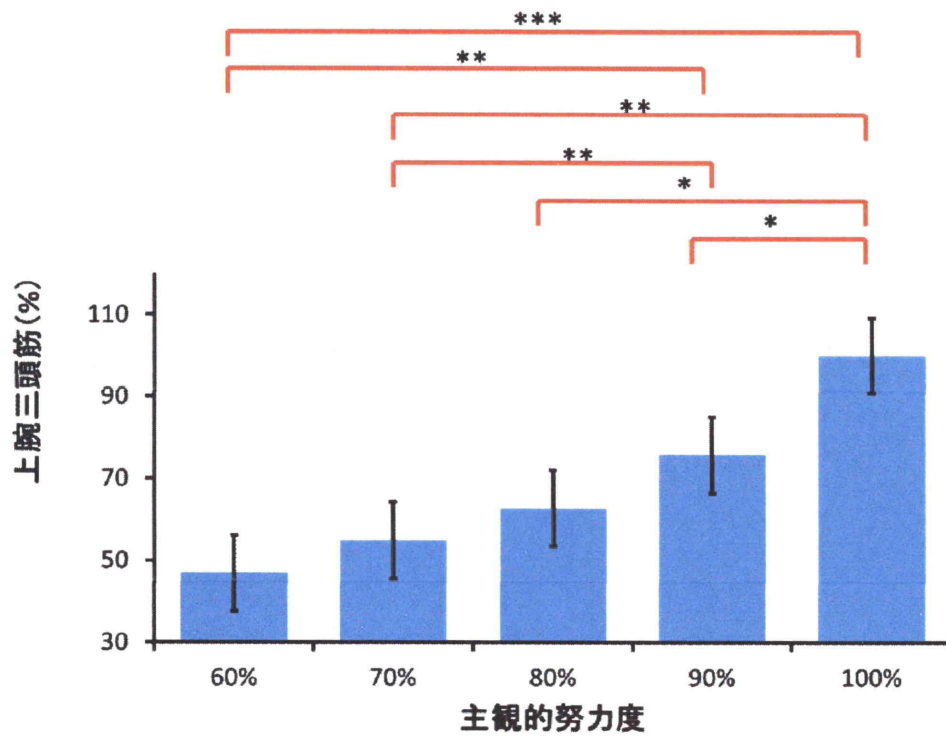


図 6-2 各主観的努力度と上腕三頭筋の筋活動の比較

図 6-2 各主観的努力度と上腕三頭筋の筋活動の比較

図 6-2 各主観的努力度と上腕三頭筋の筋活動の比較

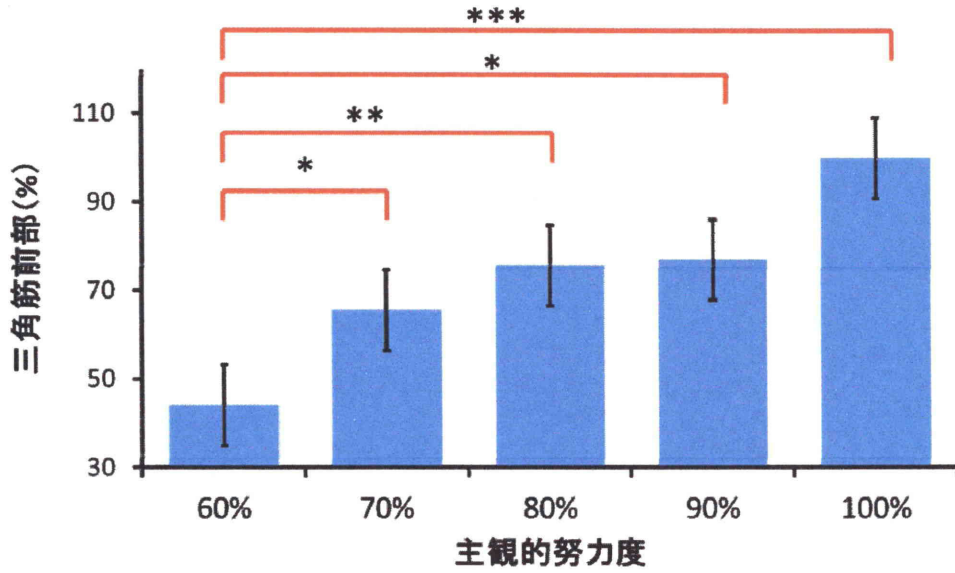


図 6-3 各主観的努力度と三角筋前部の筋活動の比較

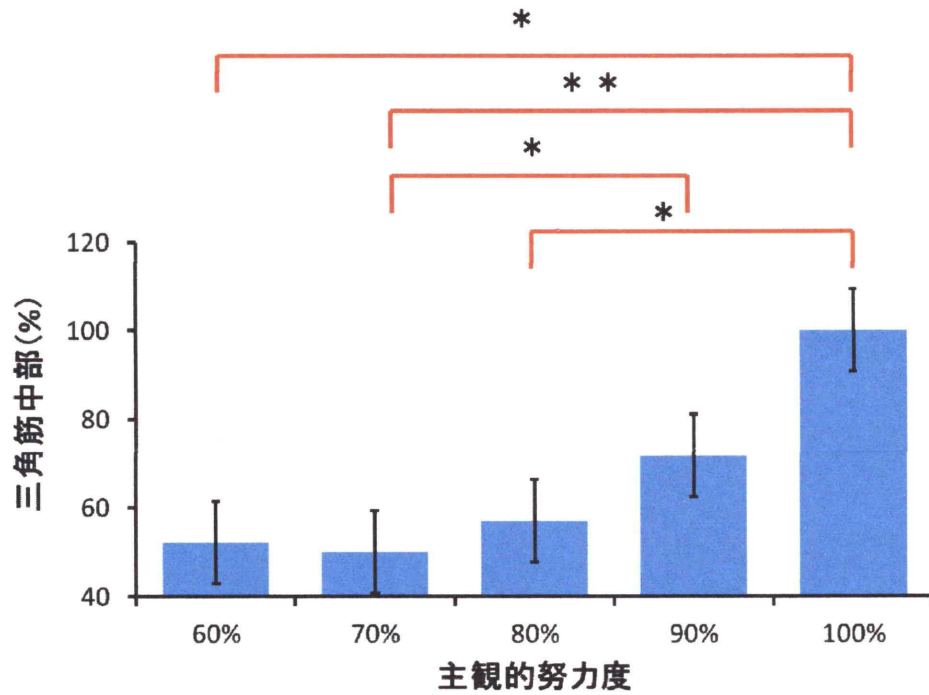


図 6-4 各主観的努力度と三角筋中部の筋活動の比較

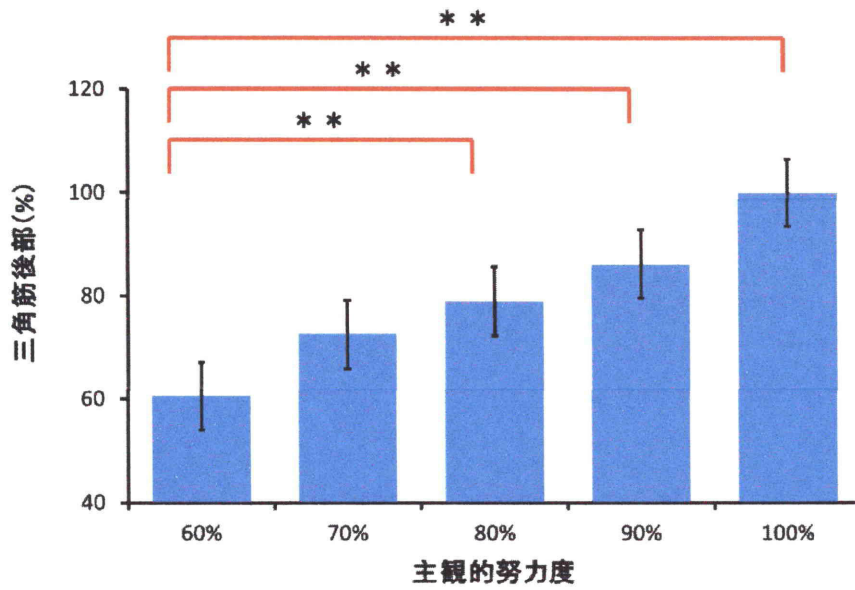
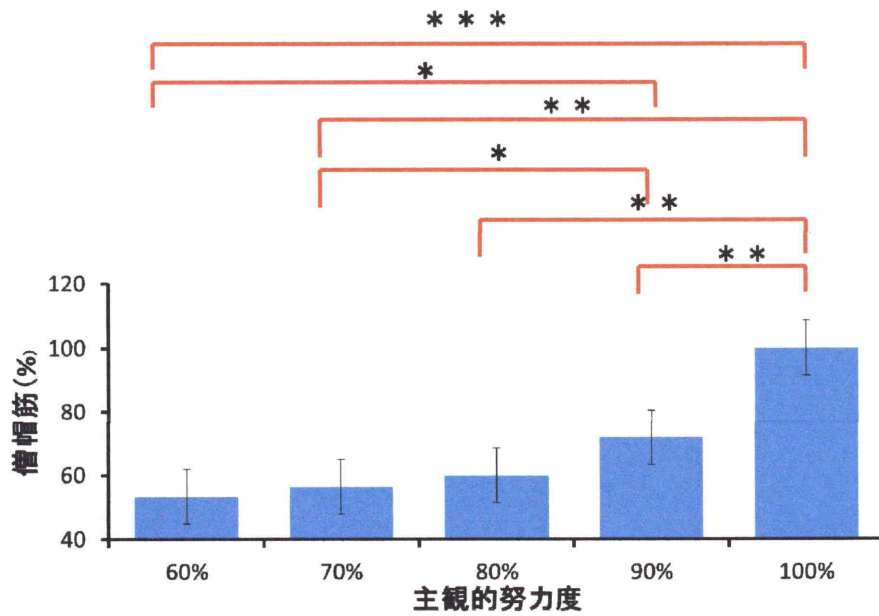


図 6-5 各主観的努力度と三角筋後部の筋活動の比較



*p<.05 **p<.01 ***p<.001

図 6-4 各主観的努力度と僧帽筋の筋活動の比較

内省報告

試技	主観的評価	カミ	意識部位	動作のイメージ
60%	59%	1	上肢・下肢×4 上肢 下肢	腕振りリズムとる、軽い接地、足を大きく運ぶ
70%	70%	1.5	上肢・下肢×2 下肢×4	ピッチを高める、接地時に力を加えすぎない、腕振りリリース
80%	80.80%	1.5	上肢・下肢×4 上肢 下肢	腕振りをコンパクトに素早く、下肢との連動
90%	86.50%	2.17	上肢・下肢×2 下肢×3 体幹・下肢	足が流れないように、力強い接地、ピッチを早く、上肢と下肢の連動
100%	98.33%	2.83	上肢・下肢×5 下肢	腕振りを力強く、コンパクトに素早く振る、ピッチを早く、上肢と下肢の連動、股関節の伸展速度