

国士舘大学審査学位論文

「博士学位請求論文の内容の要旨及び審査結果の要旨」

「多関節動作でのヒト骨格筋パワー計測法の開発と
スポーツ科学への応用」

船渡 和男

氏 名 船渡 和男
学位の種類 博士 (体育科学)
報告番号 乙 第46号
学位授与年月日 平成30年9月15日
学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当
学位論文題目 多関節動作でのヒト骨格筋パワー計測法の開発とスポーツ科学への応用
論文審査委員 (主査) 教 授 角田 直也
(副査) 教 授 池田 延行
(副査) 特任教授 渡會 公治 (帝京科学大学総合教育センター)

博士論文の要旨

多関節動作でのヒト骨格筋パワー計測法の開発とスポーツ科学
への応用

船渡 和男

論文の和文概要

学位申請者氏名	船渡 和男
学位論文題目	多関節動作でのヒト骨格筋パワー計測法の開発とスポーツ科学への応用
<p>今日まで骨格筋の収縮自体の力学的特性は、動物の摘出筋への電気刺激やヒトの比較的主働筋が明確な単関節動作（主に肘あるいは膝関節の屈筋や伸筋などを対象とした屈曲あるいは伸展動作）において、Muscle Power を解明するために研究が遂行されてきた。力学的特性としてのパワーは、筋がなした仕事（力×短縮距離）の時間率、すなわち仕事率として位置づけられる。従って計算上ではパワーは力×速度（距離/時間）で求められることになるが、筋収縮力が原因となって、その結果出力される速度という因果関係からみると、パワーとはスピードをひきおこすために力がなした仕事の能率を表すものといえる。</p> <p>1938年 A. V. Hill によって報告されたカエルの骨格筋の収縮時の熱発生に関する研究から、短縮スピードは、筋が発揮する力（負荷）が大きくなるほど低下を示すという、筋収縮の力学的特性に関する基礎理論が打ち立てられた。両者の関係は直角双曲線あるいはHillの方程式として、その後ヒトの筋群でも多く検証されてきた。この関係からパワーを求めてみると、最大速度（力がゼロ）および最大の力（スピードがゼロ）発揮時のパワーはゼロであり、最大パワーの出現は双曲線の曲り具合すなわち、最大スピードおよび最大筋力の約35%で出現する結果となる。一方ヒトの関節動作や自転車運動のような多関節動作でのスピードと力の関係は、曲線ではなく直線的傾向（反比例）を示し、そこでの最大パワーの出現は、最大スピードおよび最大筋力の50%付近という報告もある。</p> <p>このように筋収縮においては、負荷（力）が変われば、そこで発揮できる最大の短縮スピードも変わってしまうので、力学的特性を評価するためには、力が一定の条件でスピードを測る（等張力性条件）か、スピードが一定の条件で力を測る（等速性条件）という研究・測定手法が開発されてきた。このような見地から1970年代に等速性ダイナモメーターの開発という概念が筋出力測定に導入され、関節運動の速度を一定にしてそこで発揮される筋出力（トルク）を評価し、筋自体の力—速度—パワー関係や筋の活動様式の違いによるパワー出力の特徴などが多く検討されてきた。</p> <p>一方ヒトや動物の動きは、Muscle Power 研究で設定されたような一筋群とか一関節の運動の場合には少なく、多くの筋群やかつ多関節が関与した複合関節運動で遂行されている場合がほとんど</p>	

である。このような複合関節動作中に個々の筋は筋自体が持つ Muscle Power の法則に従ってパワーを発揮していることが考えられるが、個々の筋群や関節運動が複合関節動作全体として出力されるパワー (Movement Power) にどのように貢献しているかや Movement Power への力とスピードへの関与に関する疑問については不明の点が多い。ヒトのウォーキング、ランニング、ペダリングなどに共通する動きは、本研究で中心的に対象とする、股、膝および足関節での多関節動作 (脚伸展動作) である。多関節動作によってどの位のパワーが出力され、負荷や速度条件でどのように変化し、かつ動作中にどの関節の出力が優位に働くかを解明することは、学術的に意義がある。加えて最大パワー出現のための力と速度の条件を決定することなどによって、一般人を対象とした ADL (Activity of daily living) や競技者を対象とした競技力向上のためのトレーニングに貢献することも意図として本研究を実施した。

本研究では、多関節かつ複合関節動作を対象に、単発 (一回) の筋収縮で発揮されるパワーおよび数秒間の最大繰り返し収縮で発揮されるパワーを計測することにより、筋の収縮様式、単関節と多関節動作、上肢と下肢動作、発育発達と加齢、スポーツの競技成績さらにはウェイトトレーニングとの関連から筋出力特性の違いを示すことを目的とした。

第 1 章総論では、筋収縮によってなされる機械的仕事やパワー研究の学術的意義と、スポーツ・健康科学および体育科教育への貢献から本研究の範囲を示した。またその話題に限定して研究小史を示した。

第 2 章実験研究 I では、下肢三関節の動きが規定される脚伸展パワー測定装置を考案作成して、そこでの力発揮と筋放電の特徴を等尺性および等張性収縮と比較して特性を示すと同時に、テスト方法の信頼性を検討したうえで、発育、加齢および競技者による違いを示した。第 2 章実験研究 II 章では、上肢や下肢の様々複合関節動作で発揮されるパワー (Specific Movement Power: SMP) を計測するためにパワープロセッサを考案作成し、短関節と多関節動作あるいは動作の違いによる力-速度関係、パワーの競技者特性および加齢や身体不活動による影響を検討した。多関節動作で繰り返し筋収縮で発揮されるパワーの計測に関して第 2 章実験研究 III 章では、歩、走、スプリントランニングを対象に、自走式トレッドミルによるパワー計測を行い、実走との違いから検討を行った。同様に第 2 章実験研究 IV 章では、自転車ペダリングでは下肢 3 関節の発揮トルクやパワーに注目して、短関節等速性最大筋力発揮の測定で得られた力-速度関係との比較を行う

と同時に、最大全力ペダリング中の下肢3関節のトルクやパワー発揮の変化の推移に注目した。

その結果以下の結論が得られた。

第2章実験研究Iの脚伸展動作では、等速性の負荷設定条件では荷重負荷による等張力性の場合と比べて、脚伸展の角度と変化に伴う力発揮パターンが異なり、等速性では等尺性条件に類似した筋力発揮がみられた。また脚伸展力の大きな力発揮時には、大臀筋や大腿二頭筋の筋活動が増大した。脚伸展パワーの発育および加齢変化をとらえたと同時に日本の一線級競技者のパワー発揮を評価することが可能となった。また単関節の膝関節伸展力と脚伸展力の相関関係では、一般人では両者の間には必ずしも一律的な関係はみられず、競技者においては両者の関係性がみられることから、トレーニングによる脚伸展力への膝関節伸展力の貢献が増すことが推察された。

第2章実験研究II章では、ヒトの上下肢関節あるいは複合関節動作で発揮されるSPMの信頼性を検討した。下肢における大きなパワー発揮には力の貢献が、一方上肢におけるパワーには速度の貢献が関与した。ウェイトリフターで競技模擬動作によるSMPは競技力と強い相関関係が示された。またスクワット動作で発揮されるパワーは、ウェイトリフターでは動作速度、一方とボディービルダーでは力発揮の関与があり競技者特性がみられた。ベッドレストおよび加齢によるパワーの低下は、下肢筋群や下肢のSMPに大きく、その要因は力発揮の低下であった。従って、身体不活動や加齢に伴う動作パワーの低下を抑制するためには最大筋力向上のためのトレーニングの導入が推奨された。

第2章実験研究III章では、ヒトの歩・走動作を対象として、自走式トレッドミルによるパワー計測法を考案し、同時に圧力盤で求めたパワーを比較した。その結果自走式トレッドミルから求めたパワーの信頼性が認められたと同時に、各種フィールドテストから得られた値と有意な相関関係が示されたことから、ヒトのロコモーション中のパワーを測定評価するうえでの本トレッドミルの有用性が示された。

第2章実験研究IV章では、自転車ペダリング動作中の下肢3関節モーメントとそれぞれ関節を単独で測定した等速性最大トルクとの比較を行った。全力ペダリング動作の加速初期時には膝関節伸展モーメントが優位に作用し、その後加速が増し回転速度が上がるにしたがって、膝関節は屈曲モーメントに転じ、股関節伸展モーメントが優位になってくることが示された。ペダリングの力と速度条件の違いによって、ペダリングパワーに貢献する関節モーメントが異なるという知見

が得られた。

第3章では総括的議論として得られた結果をもとに、I. 多関節動作でパワーを測る意義、II. トレーニングに活かすための特異動作パワーの測定、III. 多関節動作でのパワー発揮に関与する個々の筋群や関節の力発揮の推定、IV. 中高年齢者のパワー低下と運動実践によるトレーナビリティへの貢献について言及した。またV. 多関節動作での Human Power 測定と研究と題して、スポーツにおける「力」と「技」を含めた Specific Movement Power の研究および測定の意義と、本研究の将来の位置付けについて議論を発展させた。

氏 名 船渡 和男
学位の種類 博士 (体育科学)
報告番号 乙 第46号
学位授与年月日 平成30年9月15日
学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当
学位論文題目 多関節動作でのヒト骨格筋パワー計測法の開発とスポーツ科学への応用
論文審査委員 (主査) 教 授 角田 直也
(副査) 教 授 池田 延行
(副査) 特任教授 渡會 公治 (帝京科学大学総合教育センター)

博士論文審査結果の要旨

多関節動作でのヒト骨格筋パワー計測法の開発とスポーツ科学
への応用

船渡 和男

国土館大学

学 長 佐 藤 圭 一 殿

主任審査員

氏 名 角 田 直 也



論文審査結果の要旨

学位申請者名	船渡 和男	申請日	平成 30 年 6 月 12 日
学位論文題目	多関節動作でのヒト骨格筋パワー計測法の開発とスポーツ科学への応用		
最終学歴	東京大学大学院教育学研究科博士課程体育学専攻 単位取得退学		
論 文 審 査 結 果 の 要 旨	<p>研究目的</p> <p>本論文は、股関節および膝関節、足関節での多関節動作（脚伸展動作）が対象とされた研究である。1970 年代に等速性ダイナモメーターが開発されたことにより、関節運動の速度を一定にし、そこで発揮される筋出力（トルク）を評価するという、筋自体の力-速度-パワー関係や筋の活動様式の違いによるパワー出力の特徴などが検討されるようになった。しかし、ヒトや動物の動作は、一筋群や一関節の運動の場合は僅かであり、多くの場合、複数の筋群と複数の関節が関与した複合関節運動で遂行されている。本論文では、この多関節かつ複合関節が関与した動作を対象に、単発（一回）の筋収縮で発揮されるパワーおよび数秒間の最大繰り返し収縮で発揮される骨格筋パワーを計測する方法の開発とそのスポーツ科学への応用が目的とされている。</p> <p>研究結果</p> <p>第 2 章実験研究 I では、脚伸展動作における等速性の負荷設定条件では荷重負荷による等張力性の場合と比べて、脚伸展の角度と変化に伴う力発揮パターンが異なり、等速性では等尺性条件に類似した筋力発揮であることが示された。また、脚伸展力の大きな力発揮時には、大臀筋や大腿二頭筋の筋活動が増大することも示された。さらには、脚伸展パワーの発育および加齢変化をとらえたと同時に日本のトップアスリーのパワー発揮を評価することができることを明らかにしている。単関節の膝関節伸展力と脚伸展力の相関関係では、一般人では両者の間には必ずしも一律的な関係はみられず、アスリートにおいては両者の関係性がみられることから、トレーニングによる脚伸展力への膝関節伸展力の貢献が増すという示唆も見出している。</p> <p>第 2 章実験研究 II では、下肢における大きなパワー発揮には力の貢献が、上肢におけるパワー発揮には速度の貢献が関与していることを明らかにしている。また、ウエイトリフターで競技模擬動作による SMP は競技力と強い相関関係があることを示し</p>		

ており、スクワット動作で発揮されるパワーは、ウェイトリフターでは動作速度、ボディービルダーでは力発揮の関与があり競技特性がみられることを明らかにしている。さらには、ベッドレストおよび加齢によるパワーの低下は、下肢度筋群や下肢のSMPに大きく、その要因は力発揮の低下であることを示したうえで、身体不活動や加齢に伴う動作パワーの低下を抑制するためには最大筋力向上のためのトレーニングの導入が望まれるという見解を示している。

第2章実験研究Ⅲでは、ヒトの歩・走動作を対象として、自走式トレッドミルによるパワー計測法を考案し、同時に圧力盤で求めたパワーと比較を試みている。その結果、自走式トレッドミルから求めたパワーの信頼性が認められたと同時に、各種フィールドテストから得られた値と有意な相関関係も示されたことから、ヒトのロコモーション中のパワーを測定評価するうえで本論文が採用しているトレッドミルの有用性を示している。

第2章実験研究Ⅳでは、全力ペダリング動作の加速初期時には膝関節伸展モーメントが優位に作用し、その後加速が増し回転速度が上がるにしたがって、膝関節は屈曲モーメントに転じ、股関節伸展モーメントが優位になってくることを明らかにしている。ペダリングの力と速度条件の違いによって、ペダリングパワーに貢献する関節モーメントが異なるという知見を示した。

第3章では、これまでの結果をもとに、スポーツ科学分野への貢献として多関節動作でパワーを測る意義やトレーニングに活かすための特異動作パワーの測定、多関節動作でのパワー発揮に関与する個々の筋群や関節の力発揮の推定、中高年齢者のパワー低下と運動実践によるトレーナビリティへの貢献について示されている。さらに、多関節動作での Human Power 測定とスポーツにおける「力」と「技」を含めた Specific Movement Power 測定の意義から多関節動作パワーを測定することが将来的にスポーツ科学研究に及ぼす影響についても言及がなされ、その展望が示されている。

評価判定

本論文において特出した点は、多関節および複合関節動作を対象に、単発（一回）の筋収縮で発揮されるパワーおよび数秒間の最大繰り返し収縮で発揮されるパワーを計測できる骨格筋パワー測定法を開発したことにある。さらには、筋の収縮様式、単関節と多関節動作、上肢と下肢動作、生長と加齢、スポーツの競技成績さらにはウェイトトレーニングとの関連から筋出力特性の違いを示し、スポーツ科学分野の発展へ大きく貢献を果たしたことに意義があったといえる。

これらの研究成果は、独創性が高く、スポーツ科学及びスポーツ実践の発展に大きく寄与するものであるといえる。従って、博士学位論文として価値を認めた。