

## 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名：吉岡伸輔

ヒトは、進化の過程で、力発揮やバランス能力などの点で高い身体能力を持つに至った。例えば、他の動物やヒューマノイドロボットの様な機械にとっては、力や制御の面で非常に難しい二足歩行・走行や上肢を用いて道具を作成するなどの動作を、ヒトは容易に行い得る。特に、大きな力発揮やパワー発揮が必要なダイナミックな動作において、その差は顕著である。つまり、ヒトは進化の過程で、大きな力発揮を必要とするダイナミックな動作を行うためのメカニズムを獲得してきたが、そのメカニズムの全容が明らかになっているわけではない。そこで、本博士論文では、ヒト動作の中で、力学的に最も負荷の高い動作の1つである重力に抗した下肢伸展動作、具体的には椅子立ち上がり動作および垂直跳びを対象に、そのメカニズムを明らかにする事を目的として、コンピュータシミュレーションを用いて研究を行った。シミュレーション研究は、下肢骨格モデルに複数個の筋腱複合体モデルを取り付けた筋骨格モデルを構築して研究を行った。これらの動作のメカニズムを明らかにする事は、ヒトのメカニズムを対象とした純粋科学的な知見に加えて、日常生活およびスポーツ動作に示唆を与える、応用科学的な面での知見も得る事が期待できる。

1：椅子立ち上がり動作の実験およびシミュレーション研究では、ヒトが椅子から立ち上がるために最低限必要とされる下肢関節モーメントおよび下肢筋力について明らかにした。その結果、(1) 立ち上がり動作を達成するための最小下肢関節モーメントは、股関節と膝関節については個別に考えるよりも股関節と膝関節の合計値で考えた方が適切で、合計値が 1.56 Nm/kg 以上であれば力学的に立ち上がり可能である事が明らかとなった。足関節モーメントは必ずしも必要ではないことが明らかとなった。また、(2) 立ち上がり動作を達成するための最小下肢筋力についても、下肢 8 筋（腸腰筋、大殿筋、ハムストリングス、大腿直筋、広筋群、腓腹筋、ヒラメ筋、前脛骨筋）を個別に考えるよりも合計で考えた方が適切で、各筋の等尺性最大筋張力の合計値が 50 N/kg 以上であれば力学的に立ち上がり可能である事が明らかとなった。これらの研究を通して、椅子立ち上がり動作における下肢の関節や筋において、運動達成には、関節間（股関節と膝関節）もしくは筋間（大殿筋、ハムストリングス、大腿直筋、広筋群）で相補的な関係を持つ事が定量的に示された。

2：垂直跳びについて、次の3つのシミュレーション研究を行った。(1) 初期姿勢が垂直跳びの跳躍高に与える影響を調べた研究では、初期姿勢の股関節角度が変化するとパフォーマンス（跳躍高）もそれに合わせて変化する事が明らかとなった。その理由は、筋の力-長さ関係において使用される筋長範囲が変化する事および神経入力パターンが変化する事であった。また、(2) 筋力の左右不均衡が反動を用いない垂直跳びに与える影響を調べた研究では、筋力の左右不均衡が 10% であれば、パフォーマンス（跳躍高）に影響がでない事が明らかとなった。つまり、ヒトが垂直跳びの跳躍高を向上しようとする場合、総筋力を向上する事が重要であり、数%程度の筋力の左右不均衡はほと

んど考慮しなくとも良い事が示唆された。この筋力の左右不均衡の結果は、(3)反動を用いる垂直跳びにおいても同様であった。

これらの研究をまとめると、椅子立ち上がり動作の研究を通して、下肢筋骨格系には、関節や筋において何らかの不具合が生じた場合でも、力学的に補償が可能な柔軟なメカニズムが組み込まれている事が定量的に示された。椅子立ち上がり動作は、一般的な健常成人にとって最大下努力の動作であり、筋骨格系にとって余裕があるため、不具合に対して柔軟に対応できる事は容易に理解できる。また、最大努力の動作では、そのメカニズムの柔軟性が大幅に減少する事も容易に推察される。しかし、最大努力の動作である垂直跳びの研究を通して、筋力の左右不均衡があっても、下肢全筋の最大等尺性筋張力の和が一定であれば、身体内部での筋出力の調整もしくは動作ストラテジーの調整によって、パフォーマンスが変化しない事が明らかとなった。つまり、下肢には、最大努力の動作においてさえも、筋の特性の変化に対して有効に機能する柔軟なメカニズムが備えられている事が明らかとなったのである。ただし、その様な補償メカニズムには限界があり、動作を行う条件や環境によってはパフォーマンスが低下する事も明らかとなった。

以上より、本博士論文を通して、下肢の筋骨格系には、身体内部や外部の様々な状況変化に対応できる柔軟なメカニズムが備えられている事、その下肢筋骨格系が関節間および筋間の相補的な関係によって築かれている事が、シミュレーション研究によって明らかとなった。また、関節や筋に相補的な関係が存在するため、動作を分析するという観点では、各関節や各筋を個別に考えるだけでなく、全体として考えた方が良い場合がある事も明らかとなった。つまり、身体運動を解析する際、要素還元的な立場から進めるだけでなく、各要素間のつながりに重点を置いた立場から進める事も重要である事が定量的に示された。本研究の身体運動科学分野における意義は大きく、したがって、本審査委員会は博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。