

2008年1月9日

人間科学研究科長 殿

久保田 潤氏 博士学位申請論文審査報告書

久保田 潤氏の学位申請論文を下記の審査委員会は、人間科学研究科の委嘱を受け審査してきましたが2007年11月29日に審査を終了しましたのでここにその結果をご報告します。

1. 申請者：久保田 潤

2. 論文題名：**Architectural and functional properties of the semitendinosus muscle in the hamstring muscles**

(ハムストリングスにおける半腱様筋の構造的および機能的意義に関する研究)

3. 本文

ハムストリングスの形態や機能に関する基礎的研究は数多く行われており、スポーツ現場でパフォーマンスの向上や肉離れ発生の予防、受傷後のリハビリテーションといったスポーツ生理学、スポーツ医学分野に対して大きく貢献している。特に筋の運動機能の詳細や外傷発生メカニズムを十分に理解するにあたり、骨格筋固有の形態的および機能的特徴に関する知見を得ることはきわめて重要であると言える。ハムストリングスは、繰り返し強大な筋力を出力することにより高いパフォーマンス発揮に大きく関与しており、スポーツ活動において非常に重要な筋群で。その反面、ダッシュやジャンプなどの動作中に外傷、特に肉離れの発生頻度が高いことが知られている。しかし、マクロでの解剖学的検索はいざ知らず、人ハムストリングス各筋の解剖学的・機能的特徴を最新のMRI、超音波や筋電的検査により総合的に把握しようとした研究は少ない。

このような現状において久保田氏はハムストリングスの中でも半腱様筋が非常に興味深い形態的特徴を有している事に着目し、その意義を解明しようと試みた。半腱様筋は大腿二頭筋長頭、半膜様筋とともに二関節筋ではあるものの、半腱様筋のみ紡錘状筋であり筋線維長は大腿二頭筋や半膜様筋の二〜三倍の長さを有する。さらに筋腹には腱画と呼ばれる腱状組織が存在し、筋を二分している。また二分される近位部・遠位部は

それぞれ別の神経枝によって支配されている。これらの解剖学的諸特徴が明らかなのにも関わらず、半腱様筋が有する機能的特徴、さらには半腱様筋の形態と機能との関係について今まだ不明な点が多い。そのような現状の中で久保田氏は最新の MRI や筋電図、超音波といった機材を用いて半腱様筋の形態や機能を評価することを目的とし、さらにハムストリングスにおける半腱様筋の機能的意義について検討している。

久保田氏の博士論文は独立した三種類の実験から構成されており第一の実験の骨子は *Eur J Appl Physiol* に、第二の実験の骨子は体力科学に掲載されている。

第一の実験では、膝関節屈曲筋群に対する高強度の伸張性収縮運動後にハムストリングス各筋の断面積や T2 値がどのように変化をするのかが検討されている。その結果、運動前と比べて 2 日後以降に半腱様筋の近位部および中央部の断面積は有意に増大した。また、T2 値は運動直後に大腿二頭筋長頭・短頭および半腱様筋で増大するものの、半腱様筋のみ 3 日後以降においても大きく増大した状態が続いた。さらに、半腱様筋の近位部および中央部は遠位部と比べて T2 値が有意に増大した。この結果、半腱様筋内において伸張性運動の前後での断面積および T2 値の変化に部位差が生じ、腱画付近で大きく変化することが示されたとしている。

第二の実験では、従来の表面筋電計の曖昧さを除外し、より正確な筋の部位別の反応を見る目的で微小ワイヤー電極を用いての筋電図学的検索を行っている。半腱様筋の近位部および遠位部に微小なワイヤ電極を挿入し、股関節および膝関節の角度を変えた 4 肢位において、半腱様筋各部位の神経筋活動がどのような動態を示すか検討した。その結果、最大筋力発揮時の筋活動は筋の長さに依存して変化し、筋が伸長した状態（股関節 90 度屈曲位、膝関節 0 度位）では他の肢位と比べて小さい筋活動が示された。また、筋が伸長した状態および短縮した状態（股関節 0 度位、膝関節 90 度屈曲位）において近位部と遠位部とで筋活動に差異が生じたとしている。

第三の実験では、超音波断層装置を用いて膝関節等尺性収縮時の腱画の形状変化を観察することにより、半腱様筋がどのような収縮動態（筋線維収縮、筋厚増大）を示すのか、また腱画がそれにどのように関与するのかを検討している。その結果、中央層と比べて筋膜に近い表層の方が尺性収縮時に筋線維の移動量が大きく、表層と中央層で筋線維の短縮動態が異なることが示されたとしている。また浅層、中央層では筋厚は増大するものの、深層では筋厚は増大せず、半腱様筋内の各層で筋厚の増大の程度が異なり、半腱様筋の収縮 動態は筋内では一様ではないことが示されたとしている。

以上の実験結果より、久保田氏はハムストリングスの中でも半腱様筋は大腿二頭筋や半膜様筋と異なり、伸張性収縮時に大きな役割を果たしうる事を証明し、また半腱様筋内に見られた運動負荷に対する反応の部位差は、筋腹に位置し筋を二分する腱画の存在と関係していることが考えられ、神経筋活動の部位差は、腱画を挟んで近位部と遠位部とで異なる神経枝の支配により肢位によって異なる活動動態をとる可能性が示されると推定されるとしたとしている。このような半腱様筋の機能に関する詳細な考察は今ま

でなされたことがなく、新しい学説として大変貴重な推察であると審査委員会は考える。半腱様筋の腱画を隔てての作用機序の差異についてはさておくとしても、半腱様筋が他のハムストリングスと異なる機能を有する事を MRI を用いて証明し得た一番目の実験は学問的価値が高い研究判断され、博士論文としての意義を認められる内容であると本委員会は判断する。

また久保田氏は半腱様筋の筋腹付近に見られた筋の長軸方向および短軸方向への収縮動態の非一様性が認められた事、半腱様筋は異なる三点から始まっており、筋の遠位部には深部腱膜を有している紡錘状筋であることを考え、半腱様筋の腱画の機能として半腱様筋の収縮時に筋束間のひずみを緩衝し、発揮筋力の伝達効率を高めていることが考えられるとした。半腱様筋の筋腹に腱画が“V字状”に存在することによって、筋内に存在する半腱様筋の構造的・機能的短所を補間し、筋収縮時において筋線維配列の不均一性を助長させない役割を担い、発揮筋力の伝達効率を高めていることが示唆されるとしている。この説はまだ論理的に煮詰めなければいけない諸点も含んではあるが、腹直筋を始め、筋画を有する筋に対して、筋画の生物学的意義を問うきわめて重要な問題であると考えられる。

本研究によりハムストリングスにおける半腱様筋固有の形態的および機能的特徴を十分に示し得た。得られた知見がランニングやジャンプなどのスポーツ動作における半腱様筋を初めとしたハムストリングスの役割を明らかにすると共に、肉離れなどの外傷発症メカニズムの解明および予防法の確立といった臨床応用のための基礎的知見となることが期待される。

以上の理由にて本研究論文は学位に相応しい内容をもった論文であると審査委員会は認定した。本論文の各章の研究は申請者が主体的に行ったものでありその貢献度はきわめて高い。また審査委員会での最終評価でも合格とされた。したがって、本審査委員会は博士（人間科学）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。

4. 久保田 潤氏 博士学位申請論文審査委員会

主任審査員	早稲田大学	教授	博士（医学）（筑波大学）	福林 徹
審査員	早稲田大学	教授	博士（教育学）（東京大学）	川上 康雄
審査員	早稲田大学	教授	医学博士（東京医科歯科大学）	加藤 清忠