

学 位 論 文 要 旨
SUMMARY OF DOCTORAL THESIS

氏名 Name: 山野 聖子

題目 Title: サラブレッド中殿筋における筋細胞の発育変化と動員様式

ウマは、人間と共存してきた歴史の中で、家畜としてのみならずアスリートとしての役割も担ってきた。ウマの中でもサラブレッドは、速く走ることを目的に 300 年以上改良を加えられてきており、現存する陸上動物中で最も優れたスピードと持久力を兼ね備えた最高の競走動物であると言える。そのため、サラブレッドの体力要素に関する科学的知見は、競走馬の世界のみならず、ヒトを含む哺乳類の運動生理学や健康科学の分野に大きく貢献することが期待される。

ウマに関する研究は、他の哺乳動物や家畜と同様の臨床学や栄養学の他に、歩行動作、呼吸・循環器系、筋骨格系など、様々な分野で多角的な視点から行われてきた。特に、筋に関する研究としては、中殿筋の特徴や筋線維タイプの分類法に焦点を当てたものから、慣習的・非慣習的トレーニングの効果や発育の影響を検討したものまで幅広く行われている。これらの研究テーマの中で、著者は、サラブレッド競走馬の骨格筋の発育変化および運動に対する反応と適応に関する研究を行ってきた。トレーニングの効果を正しく評価するためには、その期間の発育変化を把握しておく必要がある。また、トレーニングプログラムを考えるためには、運動に伴う筋線維の動員様式を知ることが重要である。本稿では、1) 生後 2 か月齢から 24 か月齢までの発育に伴う骨格筋線維の組織・生化学的特性の変化について、2) 運動様式の変化に伴う骨格筋線維の動員様式について検討した。

ウマの筋線維タイプにおける、発育に関連した代謝的および形態的特性の変化を、ハイブリッド線維を含めて評価した。被験動物として、2 か月齢、6 か月齢、12 か月齢、24 か月齢の牝のサラブレッドを各 6 頭、合計 24 頭用いた。筋サンプルは、ニードルバイオプシー法によって、全てのウマの中殿筋から採取された。各筋線維中に発現するミオシン重鎖 (Myosin heavy chain; MHC) 分子種を同定するために、4 種類のモノクローナル抗体を用いて免疫組織化学染色を行った。BA-D5 は MHC-I を、SC-71 は MHC-IIa を、BF-F3 は MHC-IIb を、そして BF-35 は MHC-IIx をそれぞれ識別する。これらの染色画像をもとに、筋線維タイプは 5 種類 (type I, I/IIA, IIA, IIA/IIIX, IIIX 線維) に分類された。各筋線維タイプの横断面積とコハク酸脱水素酵素 (Succinate dehydrogenase; SDH) 活性は、定量的な組織化学染色の画像分析によって測定された。2 か月齢から 24 か月齢までの発育に伴って、type IIA 線維の割合は有意に増加し、type IIA/IIIX 線維の割合は有意に減少した。一方で、type I 線維と type IIIX 線維の割合は、発育に伴って変化しなかった。発育に

伴う type IIA 線維の割合の増加は、type IIX 線維ではなく type IIA/IIX 線維からの移行に起因すると考えられる。また、ハイブリッド線維タイプの横断面積および SDH 活性は、それぞれの単一の分子種を発現する線維タイプの中間の値を示した。これらの結果から、ハイブリッド線維は 24 か月齢までのウマの筋線維タイプの割合を決定づける重要な要因であることが示唆された。

次に、サラブレッド競走馬の最適なトレーニングプログラムを考慮するために、よくトレーニングされたサラブレッドを用いて、ハイブリッド線維を含む筋線維の動員様式を調査した。ウマは 10%の傾斜の付いたトレッドミル上で、3つの異なる強度と持続時間、すなわち、1) $100\%\dot{V}O_{2\max}$ (最大酸素摂取量) で 4 分間の走行、2) $80\%\dot{V}O_{2\max}$ で 8 分間の走行、3) $60\%\dot{V}O_{2\max}$ で 8 分間の走行で、運動試験を行った。筋サンプルは、運動前、運動中 (80% および $60\%\dot{V}O_{2\max}$ の 4 分)、運動後に中殿筋から採取された。免疫組織化学的分析によって、4 種類の筋線維タイプ (type I, IIA, IIA/IIX, IIX 線維) が同定された。また、組織化学的手法によって各筋線維タイプの過ヨウ素酸 Schiff 染色の染色強度 (Optical density-Periodic acid-Schiff; OD-PAS) が、生化学的手法によって筋中のグリコーゲン含有量が測定された。OD-PAS の変化は、各運動試験の最終段階 (すなわち、 $100\%\dot{V}O_{2\max}$ で 4 分間、 80% および $60\%\dot{V}O_{2\max}$ で 8 分間の走行後) において、全ての筋線維タイプが同程度に動員されたことを示した。type IIA/IIX 線維の OD-PAS の変化は、type IIX 線維の変化と類似していた。Type IIA/IIX および IIX 線維の動員は、 80% または $60\%\dot{V}O_{2\max}$ で 4 分間の走行より、 $100\%\dot{V}O_{2\max}$ で 4 分間の走行によって有意に促進された。 $100\%\dot{V}O_{2\max}$ で 4 分間や、 80% および $60\%\dot{V}O_{2\max}$ で 8 分間のような運動様式は、速い収縮速度を有する type IIX 線維および type IIA/IIX 線維を刺激するのに効果的であると結論される。

以上の研究は、サラブレッド競走馬の発育や適切なトレーニングに関して、type IIX (IIA/IIX) 線維の重要性を強く指摘した。type IIX 線維の効率的なトレーニングは、競走馬のみならず、ヒトのアスリートにとっても重要な課題である。また、加齢に伴う筋力および収縮速度の低下を抑制するためにも、速筋線維の萎縮を防止または軽減する運動様式を提案することが求められる。サラブレッドの運動様式の変化に伴う筋線維動員様式のデータを蓄積することによって、これらの問題を解決するための重要な示唆を与えることが可能となるかもしれない。