

氏 名	いの うえ よしのぶ 井 上 喜 信
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	論 農 博 第 2634 号
学位授与の日付	平 成 19 年 1 月 23 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	Studies on the Mineral and Bone Metabolism with Growth and during Exercise in Thoroughbred Horses (サラブレッド種馬の育成期および運動時におけるミネラルならびに骨代謝 に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 矢 野 秀 雄 教 授 久 米 新 一 教 授 廣 岡 博 之

論 文 内 容 の 要 旨

競走馬は走ることを目的として飼育されている動物である。運動は身体的活動をともなうため、形態学的特性ばかりでなく、栄養に関連する物質代謝特性にも影響してくる。とくにミネラルはカルシウム (Ca)、リン (P)、マグネシウム (Mg) など骨の成分、鉄 (Fe)、亜鉛 (Zn)、銅 (Cu) など生体機能に関わり、運動に大きく影響を受ける。このため、運動時のミネラル代謝特性を把握し、ミネラル補給をすることは必須である。また競走馬の骨疾患はミネラルを含めた栄養も発症の一要因とされ、骨代謝を基軸とした栄養学的アプローチが求められている。育成期の正常な骨発育、あるいは運動が骨代謝に及ぼす影響を把握し飼養管理に役立てることは必須である。本研究は、サラブレッド種馬の育成期および運動時におけるミネラルならびに骨代謝について検討し、その成績をまとめたものである。

第1章では、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、本研究で取り上げる課題についての従来の研究動向について概説した。

第3章では、運動時のミネラル代謝について検討するため、1節では運動時の血清ミネラル濃度の変化を明らかにしている。トレッドミルを用いた規定運動負荷前中後において、ヘモグロビンと血清 Zn と Cu 濃度は運動時に上昇し、運動後に回復した。血清無機 P, Mg, Fe 濃度も運動時に上昇した。血清無機 P 濃度は運動直後に運動前の濃度まで回復したが、運動8時間後まで低下し続けた。血清 Mg 濃度は運動後に運動前のレベルよりも低下したが、その後しだいに回復した。運動後における血清 Fe 濃度の回復は他のミネラルと比べ緩やかであり、運動2時間後に運動前のレベルに回復した。運動中の血清 Ca 濃度は変化がなく運動直後に急速に運動前のレベルより低下したが、運動2時間後に運動前のレベルに回復した。血清 Ca 濃度を除く他のミネラルの運動による上昇は、血液濃縮に起因していると推察された。一方、運動時に血清 Ca 濃度の変化が認められなかったのは、厳密な Ca 恒常性によるものであると推察された。これらの結果から、血清ミネラルは運動に対し異なった反応を示すことが明らかとなり、この相違はそれぞれのミネラル代謝が異なることに起因するものと推察された。さらに2節では運動が Fe 代謝に及ぼす影響を明らかにした。運動により血清 Fe 濃度は低下傾向を、トランスフェリン飽和率、溶血の指標となる血清ハプトグロビン濃度は有意な低下を示した。運動によりみかけの Fe 吸収率およびバランスは有意に増加した。以上の結果から、運動は溶血を引き起こし、血清 Fe 濃度およびトランスフェリン飽和率を低下させることが示された。しかしながら、Fe 吸収の増加が Fe に対する運動の悪影響を埋め合わせた結果、一般的な飼料を給与されているウマでは、運動により貧血は生じないようであった。

第4章では、運動時の骨代謝について検討するために、第1節では運動強度に対する骨代謝マーカーの応答について明らかにした。骨吸収マーカー（血清ヒドロキシプロリン濃度および尿デオキシピリジノリン/クレアチニン比）は運動により低下した。骨形成マーカー（血清オステオカルシン (OC) 濃度）は適度な運動では変化がないものの、やや激しい運動以上の強度で低下した。以上の結果から骨量を増加させるには適度な運動が望ましいと推察された。第2節ではミルクベークシクプロテイン補給がトレーニングしている育成馬の骨代謝に及ぼす影響を明らかにした。ミルクベークシクプロテイン

給与により血清 OC 濃度が上昇し、骨形成優位となり骨塩量が増加した。これにより、ミルクベシックプロテインはウマにおいても骨代謝を調節する機能を有すると示唆された。

第5章では、育成馬における血清骨代謝マーカー変化について検討を行なった。骨形成マーカー（血清 OC 濃度、血清 PICP 濃度）および骨吸収マーカー（血清 ICTP 濃度）とも成長にともない低下した。骨代謝マーカーと成長パラメーター間には有意な相関が認められた。以上から骨代謝マーカーの変化は骨の成長を反映するものと示唆された。

第6章では、本研究によって得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

競走馬の競走成績，すなわち経済的価値の格差は非常に大きく，適切な飼養管理の有無が影響を及ぼす。コンマ一秒を争うには厳しい体調管理が求められる。ミネラルは神経・筋肉組織に不可欠であり，エネルギー代謝，酸素の運搬ならびに組織呼吸に必須なものが多く，運動時におけるミネラル代謝を評価することは重要である。また，運動期疾患は競走能力に影響を及ぼすことから，疾患予防につながる飼養管理が必要であり，運動が骨代謝に及ぼす影響を把握することは重要である。本論文はサラブレッド種馬の育成期および運動時におけるミネラルならびに骨代謝に関して検討を行なったものであり，評価すべき点は以下のとおりである。

1. 他種動物では運動中の血清ミネラル代謝動態について研究が行なわれているが，ウマにおいては電解質を除き，あまり報告されていない。とくにウマにおいて運動が Fe 代謝に及ぼす影響に関する研究は皆無である。本研究は運動中の各血清ミネラル代謝への血液濃縮の関与を明らかにした。また運動が Fe 代謝に及ぼす影響について，溶血および Fe の体内蓄積の観点から，Fe 補給の必要性が無いことを明らかにした。

2. 非侵襲的に骨代謝の状態を把握することは生体に痛みを伴わない，継続して評価できるという利点がある。近年，骨細胞の働きの結果，血液や尿に排出される代謝産物（骨代謝マーカー）を測定し，骨代謝を評価する試みがヒトを中心として行なわれている。生きた大動物が利用できる CT や MRI はないため，これを用いたウマにおける非侵襲的な骨代謝の評価が期待される場所である。高強度の運動は骨形成を抑制すると示唆されたことから，骨量が増加するには適度な運動が望ましいことを示唆した。また，骨代謝に関与する因子は様々な物質が知られているが，ミルクベシックプロテインは骨形成を促進し，骨量を増加させる働きがあることを示唆した。

3. 骨量や体の成長パラメーター（体重や体高等）は，成長にともない増加することが知られている。しかし非侵襲的な骨代謝評価法として期待される骨代謝マーカーは，成長にともないどのように成長するか，また成長パラメーターとの関連性についてはウマでは情報が乏しかった。本研究では骨代謝マーカーは成長にともない低下し，また成長パラメーターとも有意な相関があることを明らかにした。

以上のように本論文は，運動は各々のミネラル代謝に異なった形で影響を及ぼすことを明らかにし，さらに骨代謝回転，骨量は運動や成長に影響されることを明らかにした。これにより，トレーニングメニューや飼料（ミネラルを含む）給与計画は育成馬の健全な骨をつくる上で重要であることを示した。従って，畜産学ならびに動物栄養生理学の分野に寄与するところが大きい。

よって，本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお，平成18年12月21日，論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果，博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。