

博士（人間科学）学位論文

馬術競技におけるバイオメカニクス的研究

Biomechanical studies in horse back riding

2005年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

寺田 佳代

Terada, kayo

研究指導教員： 加藤 清忠 教授

目次

I 章	序論	1
I -1	馬術競技の概説	2
I -2	本論文に関連する先行研究	7
I -3	本論文の目的	10
I -4	本論文の構成	11
II 章	乗馬中における騎手の動作分析	12
II -1	騎手頭部の動きと筋活動の関係	13
	はじめに	
	方法	
	結果	
	考察	
	まとめ	
II -2	速歩時における騎手の筋活動	24
	はじめに	
	方法	
	結果	
	考察	
	まとめ	
II -3	速歩時における騎手の動作分析	34
	はじめに	
	方法	
	結果	
	考察	
	まとめ	
III 章	障害飛越運動における馬の動作分析	44
III -1	騎手の有無による影響	45
	はじめに	
	方法	
	結果	

	考察	
	まとめ	
III-2	馬の熟練度による影響	・ ・ ・ ・ ・ 56
	はじめに	
	方法	
	結果	
	考察	
	まとめ	
III-3	前肢の動きによる影響	・ ・ ・ ・ ・ 68
	はじめに	
	方法	
	結果	
	考察	
	まとめ	
IV章	総括	・ ・ ・ ・ ・ 74
IV-1	本論文における総合的考察	・ ・ ・ ・ ・ 75
IV-2	本論文のまとめ	・ ・ ・ ・ ・ 80
IV-3	今後の課題	・ ・ ・ ・ ・ 83
謝辞		・ ・ ・ ・ ・ 84
文献		・ ・ ・ ・ ・ 86

I 章 序論

I-1. 馬術競技の概説

馬は、人が騎乗してスポーツ競技に参加する場合のみでなく、放牧されている状態においても、自ら歩いたり走ったりしている。それは馬にとって自然な姿であり、ここでの馬は当然自らの動きを自分で選択し行動をしているのである。ところが、それらの馬に人間が乗ることによって、事情が少し変化する。馬には騎手の体重や意向など、多少の影響を受けながらの動きが求められ、騎手には馬の動きに同調した動きが求められることになる。そしてここに、所謂「乗馬」が成立する。しかし、その状況は、まだ馬に乗せてもらっているという、騎手にとっては受動的な状態であり、ここでは馬の動きが主で、その動きに同調する騎手が従という形で人馬の関係が成立しているに過ぎない。しかし、競技としての乗馬となると事情は異なってくる。そこでは人馬の動きに双方向のコミュニケーションが求められるようになり、騎手と馬との間に、より緊密な相互的關係が生じ、「乗馬」は「馬術」へと進化して行く。つまり、人馬の關係が高等になっていくと、騎手は乗馬時よりも強い影響を馬に与え、また馬もそれらに対する的確に反応し、騎手と馬とが一体となる状況を創り出すことができるようになるのである。もちろん乗馬と馬術の定義に関しては、さまざまな論議が存在すると思われるが、本論文においては、馬術を、「騎手が馬に影響を与えることにより、騎手と馬との間に相互的關係が成り立つ状況」と定義する事とする。しかし、「馬術」とは言っても、それは「乗馬」の基礎の上に構築される人馬の關係であり、馬の主体性が活かされた「乗馬」の要素を無視するわけにはいかない。馬術の段階へと進み、馬に対して扶助を与えた際にも、騎乗する馬の起こした動作に対して騎手が同調できなければ、そこで馬との關係は絶たれてしまうことになる。

馬術競技において重要な「人馬一体」を創り出す過程においては、まず基本となる馬の動きを知る必要があり、更にはそれらの馬の動きに同調するために、騎手がどのような動きをしているのかを知る事が求められていると言える。

尚、馬術競技においては専門用語が用いられることが多いため、以下に馬術競技の内容と、特に本研究論文中に用いた専門用語の意味について述べておく。

馬場馬術競技（ばばばじゅつきょうぎ）

馬場馬術競技は長方形の馬場内において、規定された演技を行い、その正確性や美しさを競う種目である。この競技の目的は、馬の体位の向上と技能調教とを調和させながら馬の持つ潜在能力を引き出し、それを高めてゆくことにある。その結果、馬は沈着な動きや関節の柔軟性、伸び伸びとした前進性、筋肉の柔軟性といった数々の心身の能力を向上させ、騎手の指示に注意深く敏捷に従い、自信に満ちた演技を見せるようになる。そこに人馬一体の妙技ができあがってゆくのである。

旺盛な推進力と諸関節の良好な屈伸が生まれてくれば、馬は何の抵抗もなく前進し、騎手が与える扶助に自ら進んで沈着かつ正確に従う。心身ともに天性のものと調教の積み重ねによる調和のとれた動きを醸し出す。

各運歩にはそれぞれのリズムがあるが、このリズムを維持することが馬場馬術の必須条件である。

（国際馬術連盟 馬場馬術競技会規程 第21版 翻訳版より一部抜粋）

障害飛越競技（しょうがいひえつきょうぎ）

障害飛越競技は馬と騎手が一体となり、コースに配置された障害を多様な条件の下で、如何に飛越するかを審査する競技である。この競技は馬の自由な動きやエネルギー、技能、速度、飛越に対する従順性、および選手のホースマンシップを示すことを目的とする。

選手が障害落下、拒止、制限時間の超過などの過失を犯した場合には減点される。競技会の種類に応じて減点の最も少ない選手、走行時間の最も早い選手、または得点の最も多

い選手が優勝となる。

(国際馬術連盟 障害飛越競技会規程 第 21 版 翻訳版より一部抜粋)

常歩 (なみあし)

常歩は行進歩様であり、馬の四肢が 1 歩ずつ順次に着地する四節の歩法である。

速歩 (はやあし)

速歩は空中にある一瞬時に区切られた「二節」の歩法で、馬は交互に両斜対肢（左前肢と右後肢、またはその反対）で進む。普通速歩は反動を抜かない速歩、また、軽速歩は二節のリズムに合わせて騎手が反動を抜く速歩の事をさす。

駈歩 (かけあし)

駈歩は「三節」の歩法であって、例えば右手前駈歩の場合は左後肢、左斜体肢（左前肢と右後肢が同時）、右前肢の順で踏歩し、そのあと四肢が一瞬空中に浮いてから次のストライドが始まる。

(上記 3 用語は、国際馬術連盟 馬場馬術競技会規程 第 21 版 翻訳版より一部抜粋)

一完歩 (いちかんぽ)

馬が歩行、または走行を行う時の 1 サイクルのことを指し、常歩時では例えば左後肢が着地する時からスタートすると、続いて左前肢、右後肢、右前肢、そして再び左後肢が着地するまでが 1 完歩となる。速歩においては、例えば右後肢と左前肢が着地した時からスタートすると、続いて左後肢と右前肢が着地し、再び右後肢と左前肢が着地するまでが 1 完歩となる。また、駈歩時においては、例えば右手前駈歩の場合、左後肢が接地した時からスタートすると、続いて左斜体肢（左前肢と右後肢が同時）、右前肢が接地し、四肢が一

瞬空中に浮いた後、再び左後肢が着地するまでが1完歩となる。

跛行（はこう）

馬の歩行、または走行する時の肢の接地または離地のリズムが怪我や痛み等により、イレギュラーになっている状態。

自由飛越（じゅうひえつ）

人が騎乗しない状態での馬の障害飛越運動。

扶助（ふじょ）

騎手が馬に意思を伝える時に使う合図。扶助は主扶助（脚、騎座、拳）と副扶助（鞭、拍車、舌鼓、音声）に分けられるが、副扶助は主扶助を強化するものである。

ハミ

馬の口に嚙ませる器具で、手綱を通して用いる。

先行肢、後続肢（せんこうし、こうぞくし）

先行肢とは、駆歩時において進行方向に対して前方の位置に接地される肢であり、後続肢とは逆に後方の位置に接地される肢の事をさす（Leachら1984）。

蹄壁（ていへき）

馬の爪の側面。

垂直障害（すいちよくしょうがい）

奥行きのない障害。

オクサー障害

奥行きのある障害。

I -2. 本論文に関連する先行研究

馬術競技に関連する研究は多岐にわたって行われている。例えば跛行は馬にとって頻繁に起こる現象であって、馬に携わった人であれば多かれ少なかれ、この言葉を耳にするであろう。それらも理由のひとつであると考えられるが、従来、跛行に関する研究は多く行われている。そしてその手法に関しても、映像解析の手法を用いたもの（**Back** ら **1993**、**Drevemo** ら **1993**、**Buchner** ら **1993**）や加速度計を用いたもの（**Barrey** ら **1996**）、床反力を用いたもの（**Weishaupt** ら **2001**）など、さまざまな手法による研究が行われている。特に **Weishaupt** らは「キネティックなパラメータを用いることによって、より細かな歩様の違いを見ることができる」と、その科学的解析の重要性について報告し、臨床面での活用への糸口を示唆している。

馬にはさまざまな種類が存在するが、それら馬の血統によって動きや形態が異なる。例えば、ドイツ馬は馬場馬術競技に適した動きをすること（**Berry** ら **2002**）や、また馬の形態が速歩運動時の前肢、後肢の動きに影響を与える（**Back** ら **1996**）事から、各競技種目に適した馬の早期発掘に貢献する研究も行われている。さらに、馬のトレーニング効果に関する研究（**van Weeren** ら **1993**）や、馬場馬術競技におけるレベルの違いを、運動強度や運動種目から見た研究（**Clayton** **1996**）、競技中における歩様の移行の正確性（**Argue** ら **1993**）など、跛行診断や馬の適正診断等とあわせて、馬術競技の技術向上に間接的に貢献していると考えられる研究はいくつか見られる。

基本的な馬の歩法である常歩、速歩、駈歩時における馬の動きに関しては、先にも述べたように、跛行を研究テーマとし臨床医学への貢献を目的とした研究が多い（**Buchner** ら **2001**、**Faber** ら **2001**、**Licka** ら **2001**、**Haussler** ら **2001**）。また、常歩、速歩、駈歩中の馬の筋活動パターンを、馬の接地タイミングと合わせて測定した研究（**Tokuriki** ら **1995**）や、鞍の上に三次元の加速度計を設置して、各運動中のその動きの軌跡を視覚的に分析し

た報告（**Galloux** ら **1994**）も見られる。

それに対して、基本的な馬の歩法に対する騎手の動作に関する研究は数少ない。例えば **Schils** ら（**1993**）は、**mid stance** 期と **mid swing** 期において初心者と熟練者間の上体角度に差が見られたと報告している。また、**Peham** ら（**2001**）の研究においても、アマチュアライダーと、プロフェッショナルライダーの動作分析をし、騎手の頭部・背中と馬の頭部の関係が、騎乗技術能力レベルに影響されていると報告しており、騎手と馬の動きとの同調性を分析した研究として挙げられるが、馬がどの肢を接地した時に騎手がどのような動きをしたかといったような馬の動きに対する騎手の動きを時系列的に見たものではない。

応用的な要素が含まれる障害飛越動作には、物理的要因によって決定される要素が多くあり、そのことから研究対象となる頻度が高くなっていると考えられる。その中でも特に、障害飛越前の動きに注目した研究が多く、**take off** 期の両後肢による **final push off** は、飛越において最も重要である（**Van den Bogert** ら **1994**）と言われている事からも、そこが注目されることは理解できる。**Clayton** ら（**1995**、**1996**）は、馬が **water jump** を飛越する事に関して、その **take off** 期における跳躍方向に注目し、**Colborne** ら（**1995**）は馬の重心や馬と障害までの距離に注目している。しかし、飛越動作は複雑な要因が混在しているため、障害を完飛するための馬の重要な動きが何であるかを解明するためには、研究があまり行われていない馬頭部や首部の動作にも注目するとともに、いろいろな条件下での更なる研究が必要である。

障害飛越時における騎手の動作分析を行った研究は少ないが、騎手は、馬が障害を飛越している期間、つまり、踏み切った後においては馬に対しての影響力は少ないと報告した研究（**Powers** ら **2004**）や、障害を飛越する時の騎手の随伴のタイミングを、馬の動きとあわせて分析した研究（**Terada** ら **1997**）などが挙げられる。

以上のように、基本歩法に関する研究では、特に跛行馬の動きを中心とした馬の動きを分析した研究は比較的多く見られるものの、騎手の動きに関する研究は少ないと言える。

また障害飛越に関する研究においても、馬の動作分析は比較的多いが、馬頭部や首部と飛越動作との関係を分析したものは数少なく、さらに障害飛越時の騎手の動作に関する研究は非常に少ないと言える。

特に、わが国においては馬術研究の歴史は浅く、これからの研究成果が待たれるところである。

I -3. 本論文の目的

従来、多くのスポーツ種目において科学的研究が多岐に亘って進められており、その研究成果がスポーツの競技技術の改善や競技力向上に大いに貢献している。中でも、バイオメカニクス的研究はスポーツ科学の研究分野において中心的で、かつ非常に重要な役割を果たしていると言っても過言ではない。しかし、馬術競技の研究に関しての馬や騎手の動作分析的研究は比較的新しく、まだまだ十分な研究成果が得られるまでには至っていない。それ故、永年に亘って受け継がれてきた馬の調教法や騎手の騎乗技術に関しては、未だに経験に依存しているところが多い。

馬術競技において重要なことは、あくまでも馬と騎手の調和ということが基本となって、その両者が如何に調和を達成して、騎手の描くイメージ通りの「人馬一体」の動きを実現するかというところにある。この「人馬一体の有機的關係の創出」のためには、まず馬の動きの詳細を知る必要があり、とりわけ障害飛越競技においては、飛越時における馬の動作に重要な手がかりがあると思われる。また、馬の動きに対する騎手の同調技術も必要であり、基本歩行中における騎手の動作の時系列的な情報分析も不可欠である。

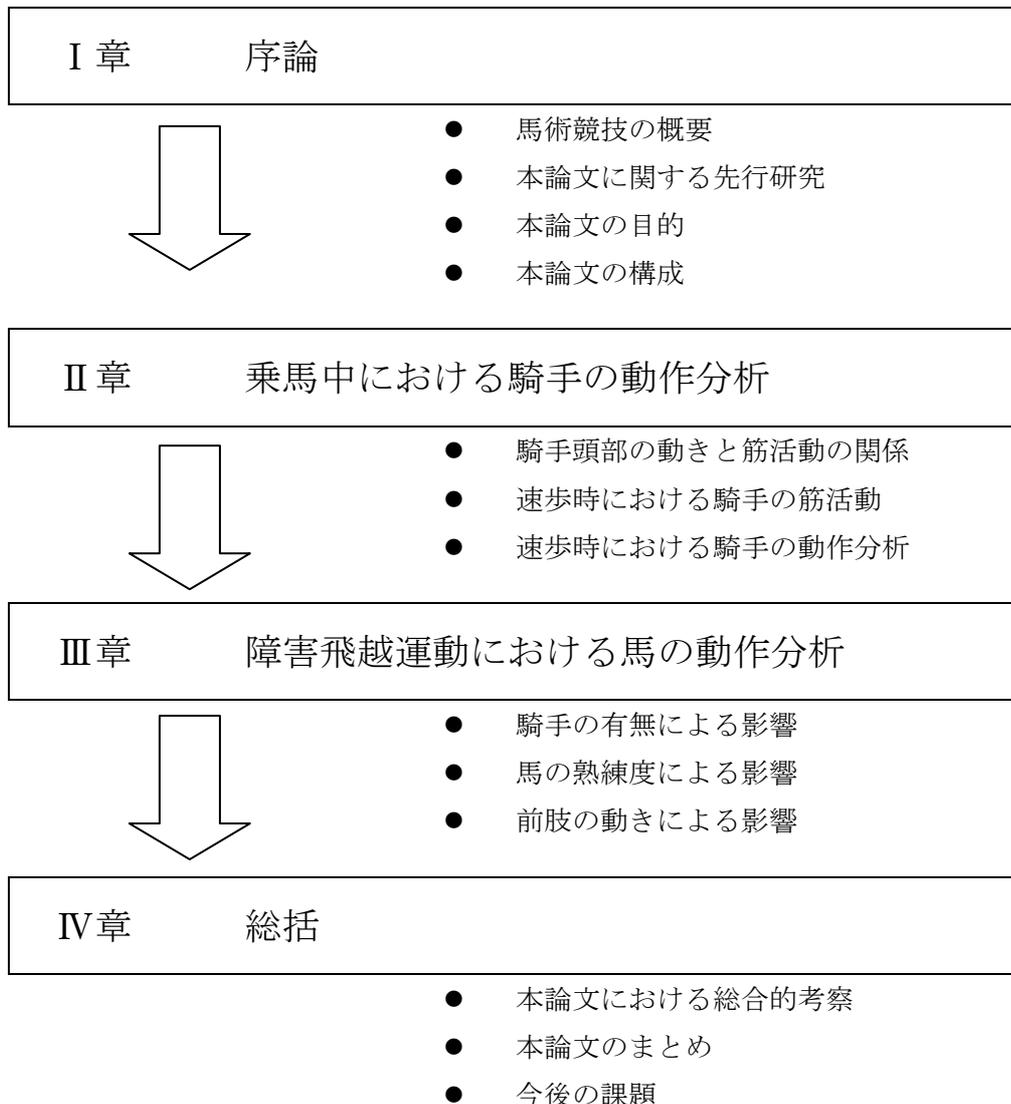
そこで本論文では、どのタイミングで騎手がどのように動く事によって馬への同調を可能にしているのかを明らかにするために、基本歩法中における騎手の動作を馬の動きとあわせて解析した。また、障害を完飛するための、馬にとっての重要な動作を明らかにするために、障害飛越においては、騎乗飛越と自由飛越間の違い、熟練馬と未熟練馬の違い、そして障害を落下させる馬とさせない馬の動作の違いなど、いくつかの条件下における馬の動作を分析した。

それらの解析、分析の検討から騎手の騎乗技術とともに、馬の飛越動作における問題点を明らかにし、より効果的な「人馬一体」の騎乘法開発への手がかりを得たいと考えた。

I-4. 本論文の構成

本論文においてはまず、第Ⅱ章で、基本的な歩行および走行動作中の、主に騎手の動きに関する研究を行い、第Ⅲ章では、馬術競技の中でもダイナミックな動きを伴う、障害飛越時の馬の動きに注目して実験を行った。特に障害飛越の実験で用いた被験者は、人馬の相互的な関係を加味して、普段から被験馬に騎乗している技術レベルの高い騎手を出来る限り選出し、馬にとっての他の要因を排除するよう心がけた。

本論文の構成は以下のようなになる。



Ⅱ章 乗馬中における 騎手の動作分析

II-1. 騎手頭部の動きと筋活動の関係

はじめに

馬術競技に関しては多数の技術書が出版されているが、あいまいな表現が用いられている場合が多い。例えば、上達のための基本事項として「体の力を抜く」という曖昧かつ抽象的な表現が用いられている。これはつまり、騎手は習熟することによって“無駄な力を使わず”、馬の動きに上手に同調して良好な姿勢を保持できるような「適切な筋の活動」をつくり出すことを意味しているのであろう。しかし、これらの感覚的な表現を理解するためには、ある程度の経験が必要であり、未熟練者にとっては、より具体的に馬の動きに対して同調するための姿勢保持法が示される事が、騎乗技術習得の大きな手助けになると考えられる。

先行研究において、熟練度の違いによって動作の再現性に差があることは報告されている（Peham ら 2001）。しかしこの報告は騎手が馬に積極的に扶助を与えている状態、つまり騎手が馬に大きく影響を与えている状態での結果であるため、馬のスピードも異なり、騎手の姿勢保持能力のみを測定したものとは言えない。それらを見るためには、騎手が馬に扶助を与えない状態で、しかも馬が同じ周期で動く必要がある。馬の動きを研究する目的で、馬に加速度計を設置した報告はいくつか挙げられる（Galloux ら 1994、Barrey ら 1994、Barrey ら 1997）が、加速度計を騎手に設置し、馬に積極的な扶助を与えない状況下で、馬の動きと合わせて測定すれば、騎手の姿勢保持能力が計測できると考えられる。

そこで、本研究では、まず馬術上達のための基本条件と思われる、騎手の姿勢保持能力に熟練度の差があるかどうかを、加速度計を用いて測定し、その差がどの歩法でもっとも顕著に見られるか、さらには「適切な筋の活動」の手がかりを得るために筋電図を測定し、熟練者と未熟練者の姿勢保持能力と筋力発揮との関連について、比較検討した。

方 法

被験者および実験過程

被験者は馬術歴 1 年以内の騎手（未熟練者、平均体重±SD は 53 ± 1.5 ）3 名ならびに全日本学生出場権を獲得した騎手（熟練者、平均体重±SD は 51 ± 2.6 ）3 名を用いた。これらのうち熟練者 2 名と未熟練者 2 名の計 4 名を、被験馬 1 頭に交互に騎乗させ、また、残りの経験者 1 名と未熟練者 1 名の計 2 名を、他の被験馬 1 頭に交互に騎乗させて、常歩、速歩、および駈歩の 3 種類の歩法で、約 80m の直線歩行および走行を、それぞれ 2 回ずつ行わせた。なお被験者には、馬に積極的な扶助を与えないように指示した。頭部の動きを見るために、加速度計（Multi telemeter system , measurement range ± 25 G, Nihon Kohden Corp., Tokyo, Japan）を騎手の被るヘルメットに装着した。加速度計の測定方向は、上下方向および前後方向とし、2 つの加速度計を用いて実験を行った。そして騎手の騎乗姿勢に関しての情報を得るために、腹直筋、脊柱起立筋、大内転筋の 3 筋より筋電図を測定した。電極はディスプレイ表面電極（Multi telemeter system , Nihon Kohden Corp., Tokyo, Japan）を用いて、腹直筋は臍から 2cm ほど下、脊柱起立筋は腹直筋測定部位と同じ高さの筋腹、大内転筋は股下約 10cm の部位に電極を装着した。筋電図は双極電極形を用い、それらの距離は 2cm とした。

この時、大内転筋については、電極と鞍との直接接触による測定誤差を最小限に防止するために、専用パットを用いて電極を被覆した。

加速度と筋電図の測定に併せて、それぞれの運動における 1 完歩の所要時間を算出することを目的に、馬と被験者の動きを VTR カメラ（Handycam video Hi8, sony, Tokyo Japan）で撮影した。

データ解析

測定された加速度データおよび筋電図データは、それぞれの試行についての約 5 完歩間

を **1KHz** でサンプリングし、最大エントロピー法 (**MemCalc system Ver. 2.5, GMC Inc., Tokyo, Japan**) を用いて周波数分析を行った。

また、**VTR** 映像より得た結果から、**1** 完歩に要する時間を周波数値に変換し、算出した。

常歩時と駈歩時においては、頭頂部から得た加速度波形から {(ピーク周波数+サブピーク周波数) 以外の周波数帯域成分 / (ピーク周波数+サブピーク周波数) の周波数帯域成分} を求めることによって、加速度周波数分布のばらつきを数値化することとした (以後、ばらつき値と呼ぶ)。そして速歩時においては {ピーク周波数以外の周波数帯域成分 / ピーク周波数の周波数帯域成分} を求めることによって、各ばらつき値とした。そして、それらから各被験者 **2** 試行ずつの加速度波形分布のばらつき値を求め、その後に各被験者ごとのばらつき平均値を算出し、それらを用いて **t** 検定を行った。

周波数分析によって得られた筋放電スペクトルを、低周波数帯域 (**5~45Hz**)、中周波数帯域 (**46~80Hz**)、高周波数帯域 (**81Hz** 以上) の **3** 段階に区分し、それぞれの試行における **5Hz** 以上の筋放電スペクトルに占める、それら **3** つの周波数帯域の割合を算出した (**Nagata, 1993**)。結果は、それぞれ各被験者 **2** 回ずつの帯域の割合をそれぞれ算出し、その後、未熟練者及び熟練者それぞれの周波数帯域割合の平均値を算出することによって求めた (**2** 試行×**3** 被験者)。

結 果

1) 各歩法における **1** 完歩の周波数値

それぞれの歩法における **1** 完歩周波数値は、常歩運動時では **0.75Hz~0.98Hz**、速歩運動時では **1.17Hz~1.43Hz**、駈歩運動時では **1.53Hz~1.82Hz** であった。

2) 被験者頭頂部の加速度分析

図 **II-1-1** は典型的な加速度周波数結果を示したものであり、それらのばらつき値を表 **II-1-1** に示した。

その結果、常歩時において、前後方向では熟練者と未熟練者間に有意差が見られなかったものの、上下方向においては、未熟練者において大きなばらつき値が **0.1%**水準で有意に見られた。

速歩時では上下方向には見られなかったが、前後方向では未熟練者において、大きなばらつき値が **0.05%**水準で有意に見られた。

駈歩時においては上下方向、前後方向いずれにおいても未熟練者と熟練者との間に有意な差は見られなかった。

2) 被験者の筋電図分析

図 II-1-2 は、被験筋における **5Hz** 以上の筋放電に占める低、中、高周波数帯域それぞれの割合を示したグラフである。

常歩時の、低、中、高周波数の占める割合を比較すると、熟練者では、腹直筋、脊柱起立筋の周波数帯域がほぼ同様な筋活動をしていたのに対して、未熟練者では特に腹直筋においては低周波数帯域が占める割合が高く、脊柱起立筋においてはその割合が低かった。しかし、高周波数帯域においては腹直筋、脊柱起立筋、大内転筋のすべての筋において熟練者のほうが未熟練者に比べて高い割合を示した。

速歩時の周波数分布をみると、熟練者では大内転筋における低周波数帯域の占める割合が大きかったのに対して、未熟練者においては、熟練者に比べて高周波数帯域の占める割合が高かった。

駈歩時においては熟練者と未熟練者との間に大きな違いは認められなかった。

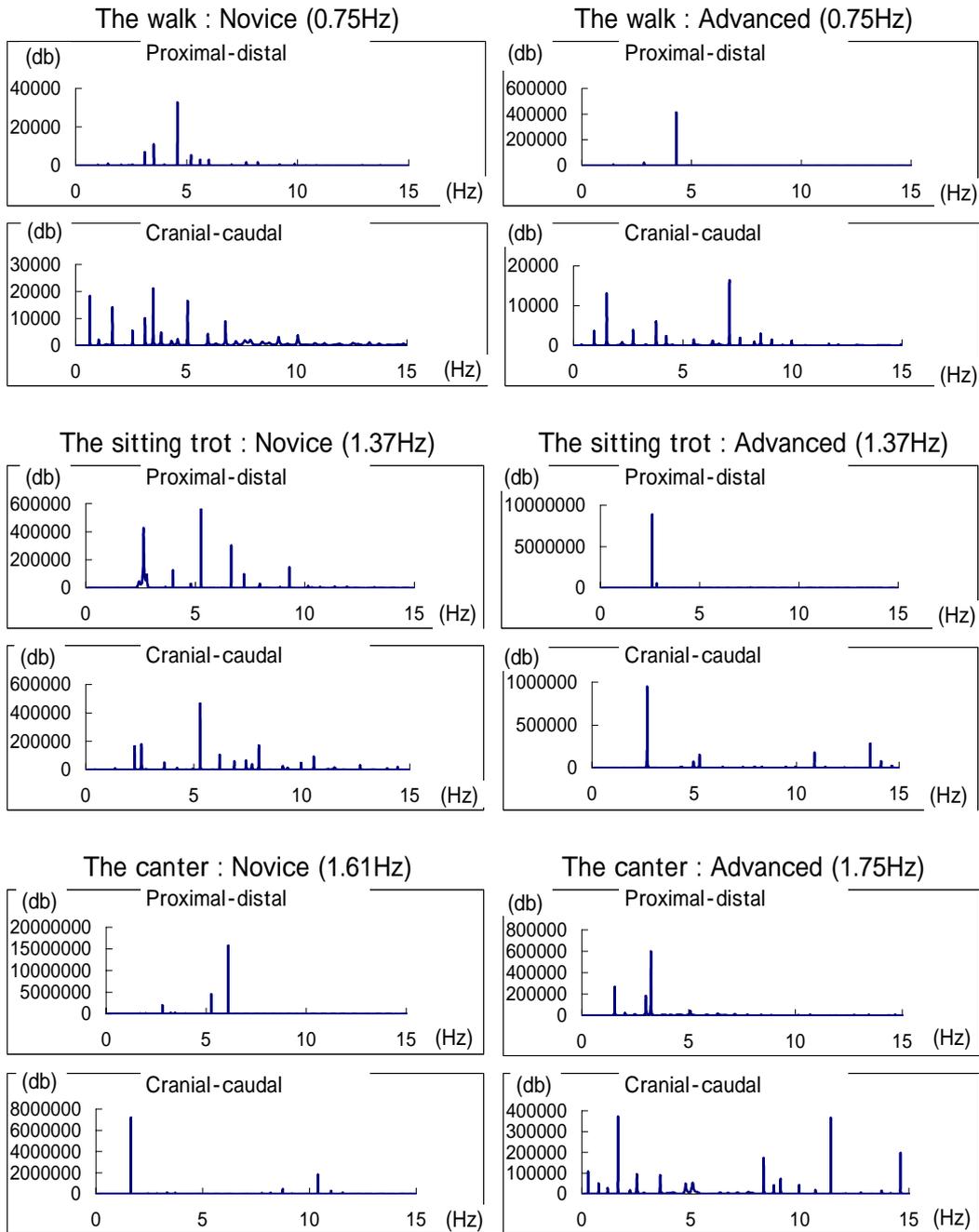


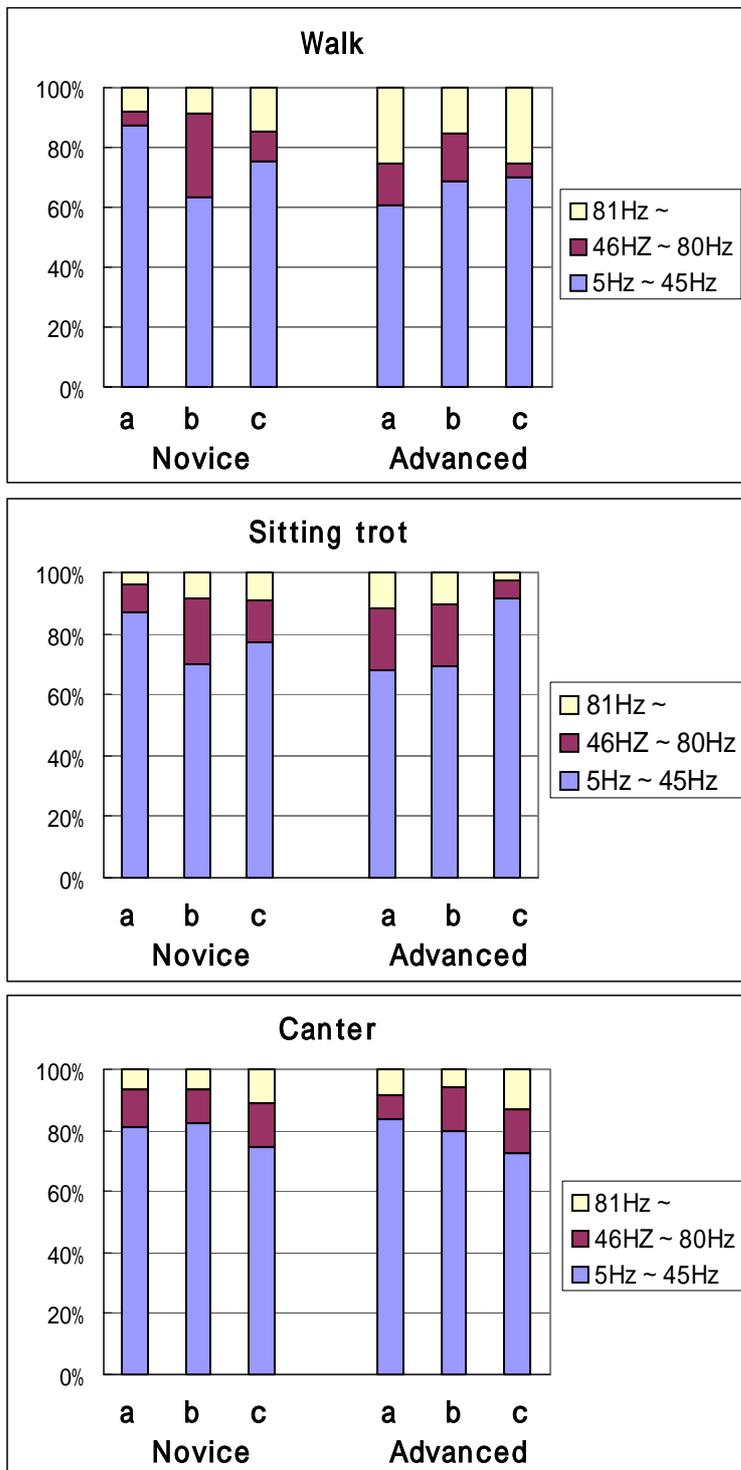
図 II -1-1 騎手頭部における加速度の周波数分布 (典型例)

表 II -1-1 騎手頭部における加速度の周波数分布のばらつき値

walk	Proximal-distal	ID	A	B	C	average	} ✨
		Novice	5.52	6.50	5.72	5.91	
		ID	D	E	F	average	
		Advanced	3.91	4.69	5.18	4.59	
	Cranial-caudal	ID	A	B	C	average	
		Novice	6.46	6.08	8.22	6.92	
		ID	D	E	F	average	
		Advanced	6.03	3.87	10.56	6.82	
sitting trot	Proximal-distal	ID	A	B	C	average	} ✨ ✨
		Novice	4.32	4.13	6.00	4.82	
		ID	D	E	F	average	
		Advanced	4.56	5.55	4.53	4.88	
	Cranial-caudal	ID	A	B	C	average	
		Novice	8.26	8.74	10.81	9.27	
		ID	D	E	F	average	
		Advanced	3.96	4.96	4.70	4.54	
canter	Proximal-distal	ID	A	B	C	average	
		Novice	2.82	3.43	6.91	4.39	
		ID	D	E	F	average	
		Advanced	3.76	4.64	6.48	4.96	
	Cranial-caudal	ID	A	B	C	average	
		Novice	4.51	4.31	8.88	5.90	
		ID	D	E	F	average	
		Advanced	6.13	4.23	8.34	6.23	

✨ =P<0.1
 ✨ ✨ =P<0.05

図Ⅱ-1-2 常歩、速歩、駈歩時における筋放電の周波数帯域別の割合



a) 腹直筋、b) 脊柱起立筋、c) 大内転筋

考 察

加速度計は従来から立位姿勢保持の測定を目的としても広く用いられてきた測定器である (Nagata 1993) が、その中でも特に頭頂部は身体の中で最も動揺の影響を受ける部位とみなされ、測定部位として注目されてきた。

馬術競技における騎手の良好な姿勢保持はきわめて重要であると考えられている。騎乗中の騎手の姿勢は立位ではないが、やはり立位姿勢と同様に、騎手の頭頂部は最も身体動揺の影響を受ける部位であると考えられる。これらの理由から騎手頭部の加速度測定値が騎手の姿勢保持能力の指標となると考え、本研究ではその頭頂部を測定部位として選択した。

周波数を帯域別に見た場合、低周波数帯域成分は、緊張系の運動を行うために発揮された筋力、高周波数帯域成分は、主に相動系の運動を行うために発揮された筋力、中周波数帯域成分は、そのどちらにも属するような役割を果たす (Nagata 1993) と考えられるため、本研究においては筋放電の周波数を帯域別に分析した。

本実験で脊柱起立筋を被験筋として選択したのは、脊柱起立筋が姿勢保持筋として考えられているためであり、そして腹直筋はその拮抗筋であるため、姿勢保持に貢献する筋として選択した。また本来、大内転筋は姿勢保持筋とはみなされないが、本研究では被験者に「馬に脚扶助を与えない」よう指示していた為、ここでは大内転筋も馬をはさむことによる姿勢保持筋としてみなし、観測された大内転筋の高周波数帯域の筋活動は姿勢のずれを修正するために用いられたと考えた。

馬の常歩は、四肢が離地と着地を時間的にほぼ等間隔で順次繰り返す歩法であり、さらにその間に脊椎のツイスト動作が含まれて (Galloux ら 1994) おり、見た目よりも実際には複雑な運動である。そしてまた、常歩歩行時において馬は 4 節で前進するが、動きが左右対称的であるため、実際は 2 種類 (後肢、前肢) の上下運動、前後運動の繰り返しの動きとなっていると考えられる。これらの理由から、本研究における常歩時の加速度周波数

のばらつき値は、{(ピーク周波数+サブピーク周波数) 以外の周波数帯域成分 / (ピーク周波数+サブピーク周波数) の周波数帯域成分} 式から算出することとした。本研究における被験者の上下方向の加速度周波数のばらつき値には、未熟練者と熟練者との間に有意な差 ($P < 0.1$) が見られ、未熟練者に対して熟練者では、ばらつきが少なかった。加速度周波数が (ピーク周波数値+サブピーク周波数値) に集中するという事は、騎手が 1 完歩ごとに同様な頭部変動をしていることを意味している。そしてそれは騎手が馬の動きを予測し、それに対応した筋活動を行っているために可能となっていると考えられる。常歩での未熟練者の筋電図分析結果では、腹直筋において低周波数帯域が多いのに比べて脊柱起立筋ではその割合が少なく、これらからは腹直筋と脊柱起立筋がアンバランスな活動をしている事を示しているのではないかと考えられる。しかし、熟練者のすべての筋において高周波数帯域が多く見られた原因については解釈が難しく、常歩が見た目よりも複雑な動きであることも、これらの筋放電を引き起こしている原因であると思われる。常歩時における筋電図からその熟練度の比較をするためには、今後更なる研究が必要であると思われる。

速歩は、対角前後肢を同期させて、左右の肢が交互に離地と着地を繰り返し、その合間に馬体が空中に浮き上がる歩法であり、1 完歩に 2 回の大きな上下動が出現する (Sivewright 1979)。しかし、速歩歩法において、馬は 2 節で前進するものの、常歩時と同様、動きが左右対称となっているため、実際は 1 種類の上下運動、前後運動の繰り返しをしていると考えられる。そこで、これらの理由によって、{ピーク周波数以外の周波数帯域成分 / ピーク周波数の周波数帯域成分} の式から、速歩時の加速度周波数のばらつき値を算出することとした。その結果、未熟練者における頭頂部の前後方向加速度周波数の分布が、熟練者のそれに比べて有意に ($P < 0.05$) ばらついていた。加速度波形がピーク周波数値に集中しないという事は、騎手が 1 完歩ごとに異なった頭部変動をしていることを意味している。特に未熟練者にとっては、速歩時の馬体との同調が難しいことが、経験的にもよく知られている事からも、馬体の前後動に同調できない未熟練者が、鞍上で不安定な動

きをしたために、このような結果が得られたものと考えられる。そしてその原因の1つとしては、騎手が馬の動きを予測できず、それに対応した筋活動を行っていなかったことが挙げられる。その時の筋放電図周波数帯域分布を見てみると、熟練者においては、大内転筋の相動的な活動がほとんど見られなかったのに対して、未熟練者においては、大内転筋に相動的な活動が見られた。これは未熟練者が、崩れてしまった上肢のバランスを修正するために、大内転筋を活動させている事の現れであると考えられ、このことから、未熟練者の頭部前後方向の加速度周波数のばらつきは、騎手が馬の動きを予測できず、それを補って体を馬上に維持するために大内転筋を活動させていたことによるものではないかと推測される。しかし、筋放電データは、個人の活動特徴が大きく影響することからも、今後更なる研究が必要であると考えられる。

駈歩は、前駆と後駆を交互に上下動させて、脊柱のシーソー運動あるいはピッチング動作を作りだしている歩法である (Galloux ら 1994)。本来 3 節と言われている駈歩だが、これらのピッチングによって 2 節に近い動きとなっているため、本研究においては、{(ピーク周波数+サブピーク周波数) 以外の周波数帯域成分 / (ピーク周波数+サブピーク周波数) の周波数帯域成分} 式を用いて、駈歩時の加速度周波数分布のばらつき値を算出した。その結果、本実験においては、上下方向、前後方向の加速度に、騎手の熟練度による有意差が見られなかった。本実験においては、危険防止のため、駈歩走行を維持できる程度の技量を持つ被験者を未熟練者として選出したために、加速度に差が見られなかったと考えられる。多くの初心者にとって駈歩は同調が難しい歩法の 1 つであるが、ピッチング動作を繰り返す運動であるために、一度そのリズムを修得して駈歩走行を維持できる程度になると、騎手が体感する動きは速歩よりも対応が容易になるのではないかと考えられる。

また、有意ではなかったが、駈歩時の加速度周波数は、未熟練者に比べて熟練者では、ピーク値に集中することなく、ばらついて出現すると言った、他の歩法ではほとんど見られなかった結果が得られた。これは「騎手の先行動作が空中の馬の重心移動に影響を与え

る」(Terada ら 1997) ことを考慮すると、このような熟練者の加速度のばらつきは、騎手が自身の体幹の微妙な位置調整によって、馬の動作を無意識に制御しようとした結果の現れであるとも考えられる。

まとめ

未熟練者 3 名、ならびに熟練者 3 名を被験者とし、常歩、速歩、および駈歩の 3 種類の歩法中における腹直筋、脊柱起立筋および大内転筋の筋活動、および各被験者の頭頂部の加速度を測定し、熟練者と未熟練者の姿勢保持能力の差、及び筋力発揮との関連について比較した結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 常歩時では上下方向、速歩時では前後方向において、熟練者の加速度波形周波数分布のばらつき値が未熟練者に比べて小さかったことから、騎手の「姿勢保持」能力に熟練度の差が認められることが明らかとなった。
- ② 速歩時において未熟練者は、前後方向頭頂部の揺れから見られる姿勢のずれを、大内転筋の活動によって補正しようとしていると考えられた。

II-2. 速歩時における騎手の筋活動

はじめに

II-1 で行った実験結果より、速歩時において、騎手の頭頂部の動きに熟練度の差が見られた。また、速歩は、数少ない人馬との同調性を見た研究 (Peham ら 2001) においても取り上げられており、経験的には、同調難易度の高い歩法であると言われている。

騎手の筋放電に関する過去の研究としては **Giovagnoli** らの行った研究が挙げられるが、その中では「駈歩発進時に、騎手の上腕二頭筋と橈側手根屈筋は馬の板状筋と同期した筋活動を見せ、発進後、徐々に騎手の上腕二頭筋の活動は馬の板状筋に少し遅れて活動するようになった。また、駈歩運動を終了する時には、騎手の上腕二頭筋は時々馬の咬筋の活動を引き起こさせており、騎手の筋活動は馬のスピードコントロールに使われたと考えられる」 (**Giovagnoli** ら 2002) と述べられ、騎手の筋放電が馬の筋放電にも影響を与えていることを報告している。したがって、馬の動きと同期させて騎手の筋放電を測定すれば、騎手が馬の動きに同調するためには、どのタイミングにおいて、騎手のどの筋が活動しているのかが分かるのではないかと考えられる。

騎手は、馬の動きから受ける影響に対して、馬上で騎乗姿勢を維持するために、まず適切な筋活動によって姿勢保持をする必要があり、さらにその馬に同調するためには、次の馬の動きを予測して対処する必要が生じる。そこで、本研究においては、速歩時における適切な騎手の筋放電パターンとはどのようなものであるかを明らかにすることを目的として、上肢 12 筋群より筋電図を記録し分析する事とした。

手綱は騎手の拳につながっているため、その張力は、騎手の拳から腕、そして体幹へと伝達される。手綱からの張力に対して何の抵抗もしなければ、もちろん騎手は前へ引っ張られてしまい、姿勢を崩してしまう結果を招く。そこで、それらの力を坐骨まで伝達していくためには、騎手の上体、特に肩甲骨の固定に関連する筋および上肢の筋の適切な活動

が求められる。しかし上体の筋はそれら力の影響と同時に、馬の胴体の動きにも影響を受ける。そのため、本研究においては、手綱からの張力に影響されるであろう上体の筋の中でも、馬の胴体の動きに影響を受けにくい筋をできるだけ選出し測定を行った。

方 法

被験者

本研究では 6 名の熟練した女性騎手（平均身長 $1.64 \pm 0.04\text{m}$ 、平均体重 $61 \pm 7\text{kg}$ ）を用いて実験を行った。すべての実験は大学の倫理委員会の規程に則って行い、被験者全てに対してインフォームドコンセントを行った後に実施した。すべての騎手は身長 1.56m 、体重 508kg 、16 歳の同じ馬場馬術競技馬に騎乗して実験を行った。被験者は準備運動の後ゴムで覆われた 130m の走路をスピード変化の少ない速歩で走行した。データは、その中の中間部分 30m 範囲内を通過中に収集した。

実験過程

筋放電図（EMG）データは、騎手の右側の 12 筋群から、2 セットに分けて導出した。はじめのセットでは、腹直筋（*Rectus Abdominis*）、僧帽筋上部（*Upper Trapezius*）、中部（*Middle Trapezius*）、下部（*Lower Trapezius*）、前鋸筋（*Serratus Anterior*）、そして大円筋（*Teres Major*）の 6 筋より導出し、続く 2 セット目では橈側手根屈筋（*Flexor Carpi Radialis*）、尺側手根伸筋（*Extensor Carpi Ulnaris*）、上腕二頭筋（*Biceps Brachii*）短頭部、上腕三頭筋（*Triceps Brachii*）長頭部、三角筋中部（*Middle Deltoid*）、そして大胸筋（*Pectoralis Major*）胸肋部より筋電図を収集した。測定筋群は馬をコントロールするうえで重要とされている（Dietze 1999）筋群の中から選出した。また、表面積 1.5cm^2 のディスプレイ表面電極を 2cm 間隔で装着し（Hoppenfeld 1976）双極誘導法によってデータを収集した。このように間隔を 2cm にすることによって、クロストークを **double-differential**

で得たものほとんど変わらない状態にすることができると言われている (Farina ら 2002) 事から、この方法を用いて実験を行った。また、アースは鎖骨突起部近位部より導出した。実験は、速歩走行を 5 試行行い、すべての試行における EMG データは 1200Hz で 5 秒間記録した。データはテレメータシステム (Noraxon, Scottsdale, AZ, USA) を介し EvaRT3.2.1 ソフトウェア (Motion Analysis Corporation, Santa Rosa, CA, USA) を用いて記録した。すべての試行は 60Hz でビデオ (JVC GR-DVL9800 Yokohama, Japan) に撮影し、これらによって得られた馬の接地タイミングは、タイムコードを用いることによって EMG データと同期させた。これらのデータのサンプリング周波数は適当であり (EMG では高い周波数、ストライドタイミングは低い周波数)、またこれらの異なった周波数のデータを同期させる際におけるエラーについては無視できる範囲であると判断した。

解 析

データは MATLAB v13 (MathWorks Inc., Natick, MA, USA) にて、研究室内で書かれたプログラムを用いて解析を行った。EMG の生データは 10Hz のハイパスフィルタを用いてスムージングし (Paton ら 1995)、積分した。また各試行から得られた EMG データは、それぞれ 10 の区間に分割した。左前肢離地から始まる全ストライド中 (1 完歩) に出現する 2 つの空輪期間 (Flight 1 と Flight 2) は、それぞれ前期 (early) および後期 (late) に分割し、また 2 つの接地期間 (Stance 1 と Stance 2) は、それぞれ前期 (early)、中期 (mid) および後期 (late) に 3 分割した。撮影したビデオテープを用いて、これらの接地タイミングを観測した。

各試行の時系列的相違をなくすため、まず各区間中の平均活動量を全活動量の % 表示に換算した。さらに、各筋群間での筋力の違いを相殺するため、各区間中の平均活動量を各試行の最高活動量値に対する % 表示へと換算した。これらの工程により算出された平均活動量は、各被験者内の 5 試行中の平均値を算出するのに用いた。さらにこれら各被験者の

平均値を用いて全 6 被験者の平均値および SD を算出した。EMG の最大値は前期半分 (Flight 1 と Stance 1)、後期半分 (Flight 2 と Stance 2) の期間中からそれぞれ求めた。各筋における EMG の最大値出現タイミングは 6 被験者間で平均され、phase として SD と共に算出した。これらの平均値算出法の的確性については考察の冒頭で述べることとする。尚、本実験中、1 人の被験者からは大胸筋データが収集できなかった。

結 果

1 完歩に要した時間は平均 $0.8 \pm 0.02s$ で、その期間中の 2 つの空輸期間における平均時間は $0.2 \pm 0.03s$ 、2 つの接地期間の平均時間は $0.6 \pm 0.03s$ であった。生 EMG データ (図 II-2-1) と各区間中の平均値 (図 II-2-2) では、1 完歩中の前期半分 (Flight1 と Stance1) と後期半分期間中 (Flight2 と Stance2) においてほぼ同様なパターンが見られた。生 EMG の結果から、僧帽筋中部と僧帽筋下部は、flight phase から mid stance まで活動し、僧帽筋上部は early stance、大胸筋と腹直筋は stance 期の mid から late で活動していたことが明らかとなった (図 II-2-1)。また、橈側手根屈筋、上腕二頭筋、そして三角筋中部は、early stance で活動しており、上腕三頭筋は late stance で活動していた (図 II-2-1)。

図 II-2-2、表 II-2-1 においては、6 人の被験者の結果が示されている。僧帽筋上部および中部、橈側手根屈筋、上腕二頭筋、そして三角筋中部の最大 EMG は early stance にみられ、腹直筋は mid stance、上腕三頭筋では late stance に見られた (表 II-2-1)。また、前鋸筋の EMG の最大値出現タイミングについてはパターンが認められなかったが、その他ほとんどの筋において、1 完歩中に 2 つのピークが見られた。また、大円筋、尺側手根伸筋、大胸筋においては大きな SD 値が認められた (phase1 において大円筋、大胸筋で $SD=0.8$ 、尺側手根伸筋で $SD=1.2$) が、それとは反対に、三角筋中部、橈側手根屈筋においては筋活動タイミングに一貫性が見られた。EMG の最大値と最小値の範囲 (Range) は僧帽筋上部で最大、尺側手根伸筋で最小となった (表 II-2-1)。尺側手根伸筋 (26%)、大円筋 (33%)、

前鋸筋（37%）に見られる小さな **Range** は、緊張性の筋収縮であると考えられる。また、その他の筋における **Range** は大きく、それらのピーク値は各ストライド期間中において同じようなタイミングで出現し、各筋ごとに特徴を示した。

表 II-2-1 筋放電のはじめのピーク (**Peak 1**)、と二番目のピーク (**Peak 2**) の振幅 (**Mean ± SD**) および、出現タイミングとその **Range** (最大値-最小値)

振幅値は各ストライドで得られた被験者ごとの最大値を **100%**として換算し、平均した。

Timing は **phase** で示し、またその **SD** の単位は **phase** の数で示した。

Muscle	Peak1		Peak2		Range
	(% max)	(phases±SD)	(% max)	(phases±SD)	
<i>Rectus Abdominis</i>	66±8	Mid-Stance1±0.5	77±9	Mid-Stance2±0.4	57
Upper Trapezius	92±8	Early-Stance1±0	71±13	Early-Stance2±0.4	77
Middle Trapezius	73±20	Early-Stance1±0.4	84±6	Early-Stance2±0	62
Lower Trapezius	69±21	Late-Flight1±0.5	76±11	Early-Stance2±0.4	48
<i>Serratus Anterior</i>	-	-	-	-	37
<i>Teres Major</i>	68±15	Late-Stance1±0.8	70±7	Late-Stance2±0.8	33
<i>Flexor Carpi Radialis</i>	84±14	Early-Stance1±0	70±16	Early-Stance2±0	48
<i>Extensor Carpi Ulnaris</i>	69±22	Early-Stance1±1.2	58±12	Mid-Stance2±0.8	26
<i>Biceps Brachii</i>	83±11	Early-Stance1±0.4	67±13	Early-Stance2±0.5	62
<i>Triceps Brachii</i>	63±27	Late-Stance1±0.5	68±20	Late-Stance2±0.5	41
Middle Deltoid	70±12	Early-Stance1±0	77±8	Early-Stance2±0	59
<i>Pectoralis Major</i>	71±19	Mid-Stance1±0.8	62±16	Mid-Stance2±0.5	44

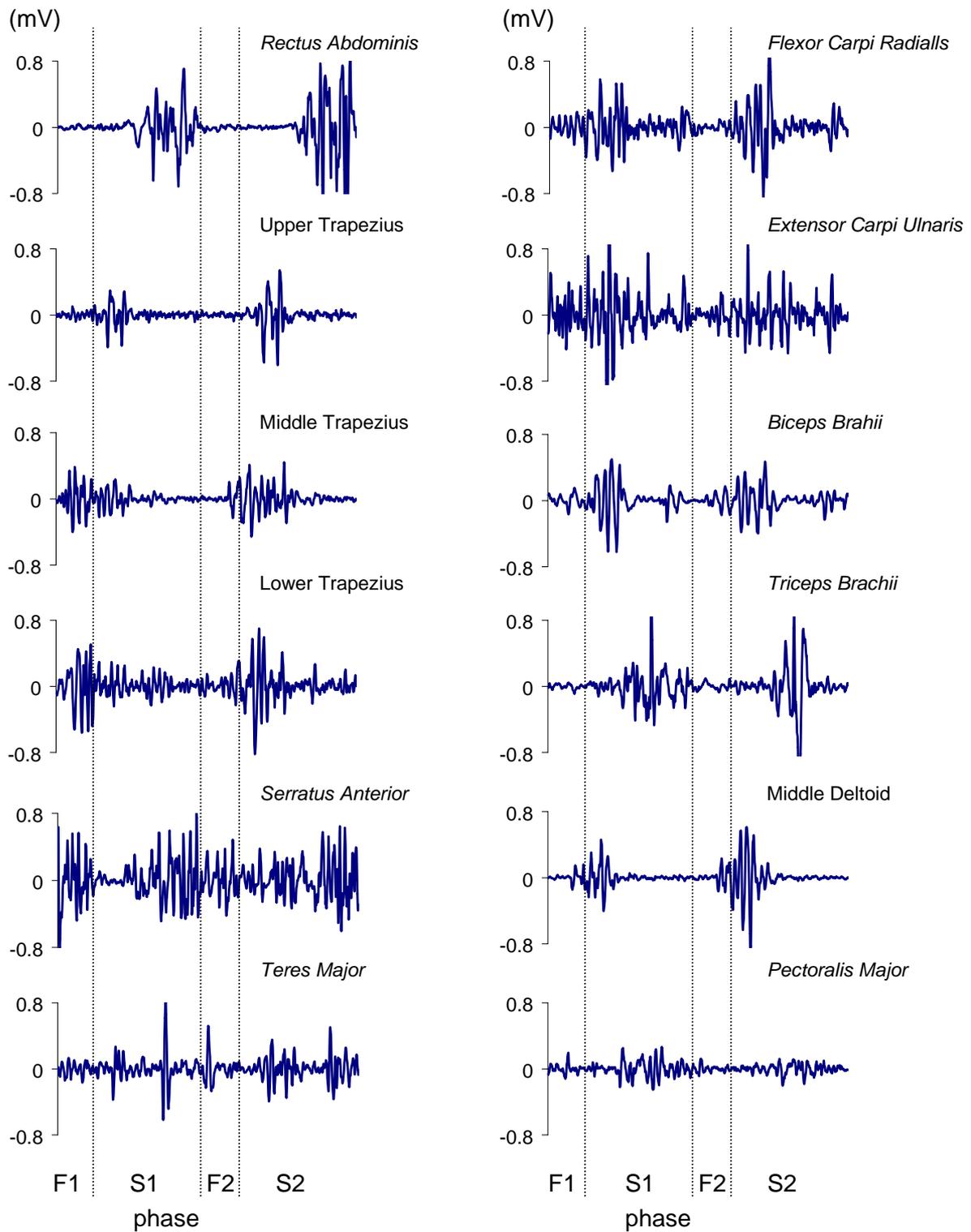


図 II-2-1 EMG 生データ (Phases Flight 1 (F1)、Stance 1 (S1)、Flight 2 (F2)、 Stance 2 (S2))
縦軸の単位は mV。

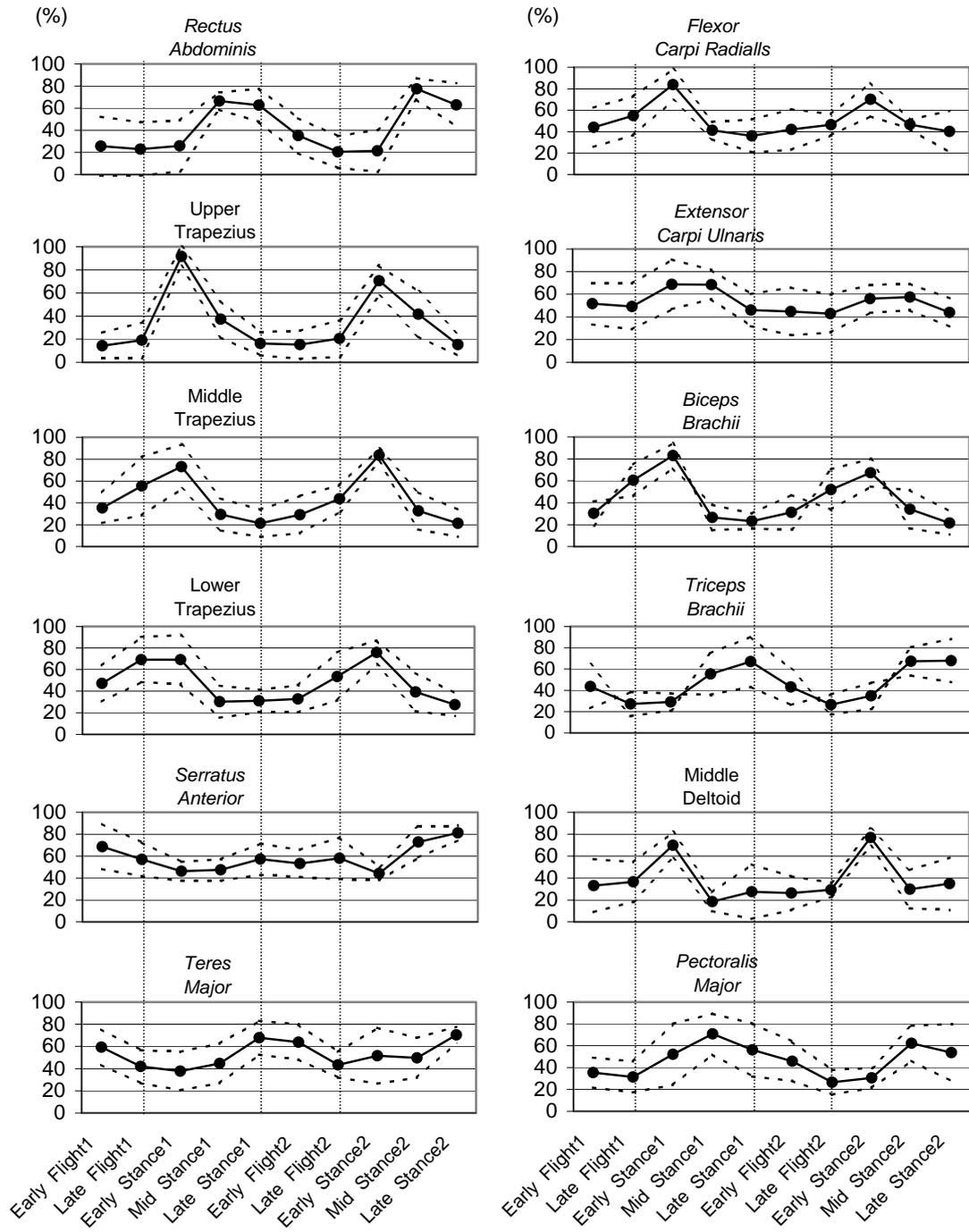


図 II -2-2 被験者 6 人の 10phase における筋活動

考 察

筋活動に関する研究は各種スポーツで行われており (Bauer ら 2001)、これらのほとんどの研究では最大筋力に対する相対値として筋活動量を定量化している。しかしこれらの方法は大きな筋力を発揮する場合においては適当であるが、むしろ小さな筋力発揮によって、主にコントロールのために筋活動を行う場合には不適当であると考えられる (Araujo ら 2000、van Woensel ら 1993)。乗馬中の騎手の筋活動は大きな筋力を発揮するよりもむしろ、騎手の姿勢の維持やコントロールに用いられると言える。つまり乗馬中の、比較的静的な体勢を保っているような騎手の筋活動を、最大筋力と比較することは適当ではないと考えられる。そのため本研究においてはそれらを評価する手段として、最大筋活動量ではなく、各試行における総筋活動量に対しての相対値を算出する事とした。これらの方法を用いて解析することによって、馬の肢の接地タイミングと関係が深いと思われる、騎手の筋活動のタイミングの結果を得ることができた。

すべての被験者の腹直筋、僧帽筋上部、僧帽筋中部、橈側手根屈筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋中部においてピーク 1 とピーク 2 が同じ **phase** で現れ、またそれらの標準偏差も小さかった (表 II -2-1)。これらすべての被験者で同様な結果が得られ、かつ馬のストライド周期との一貫性があることから考察すると、騎手の筋活動は馬の動きと同期しており、またそれらは騎手自身の姿勢を保つために用いられていると考えられる。

人間の歩行動作において、人は、動きの均衡を保つために、動きの前後に行う動きの調整によってバランスを取っている (Patla 1993)。僧帽筋中部は肩伸展時に肩甲骨を引き込む作用があるが (Moseley ら 1992)、本研究において、これらの筋は、手綱からの張力によっておこる肩甲骨の引き出しに対して、それらを固定するために予備収縮を行っていたと考えられる。また、同じ時期に三角筋中部も肩の固定に貢献していた。そして、僧帽筋上部においては、大きな **Range** や最大 **EMG** 出現タイミングの標準偏差値が低かったことから、それらの筋群は、馬の接地時の衝撃に対して自分自身の頭や首を安定させるために、

短時間で、かつ首尾一貫した放電のパターンを示していたと考えられる。橈側手根屈筋も小さなばらつきを示しており、これらの筋群においても、接地時の衝撃に対して、騎手の手首を安定させるために使われていたのであろうと考えられる。

腹直筋は **mid stance** で活動していた。これらの筋の収縮は、同様に腹圧を高くする腹斜筋の助けを借りて筋膜張力を高め、(Tesh ら 1987、Looze ら 1999)、そしてすでに報告されている (Cresswell ら 1994) ように、その腹腔内の圧を高くする。そしてこれらによって、騎乗姿勢にとって重要な脊柱を固定させ、胴体を安定させるといったメカニズムを作り出していると考えられる。また腹直筋の活動は **mid stance** 時に骨盤を馬の動きに合わせて動かし、馬の上方向への方向変換に同調させることを可能にしているとも考えられる。

上腕二頭筋と上腕三頭筋の最大筋放電は、異なったタイミングで現れ (図 II -2-2、表 II -2-1)、上腕二頭筋は **early stance** で筋放電していたのに対して、上腕三頭筋は **late stance** に放電していた。これらの結果から、上腕二頭筋は接地時に起こる下方向への動きに対して、前腕の位置を安定させるために活動し、肘の動きを制御していると考えられ、また肘関節の屈曲筋と伸展筋の交互の活動は、肘を屈曲したり伸展したりすることによって、騎手の拳と馬のハミとの距離を一定に保ち、手綱との軽いコンタクトを維持するよう調節していたと考えられる。

最大筋放電出現タイミングの標準偏差が高い筋(**phase1** と **phase 2** において大円筋で **0.8** と **0.8**、尺側手根伸筋で **1.2** と **0.8**、大胸筋で **0.8** と **0.5**) は、被験者間で一貫した筋活動パターンが見られなかったと言え、それらは例えば、手綱の張力調整など、馬の動きを制御することと関係があると考えられる。筋放電の **Range** が小さかった場合は、それらの筋の筋放電は一定していたか、または活動していなかったと言える (例えば大円筋で最大の **33%**、尺側手根伸筋で **26%**、前鋸筋で **37%**)。これらの筋は胴体に対する腕の位置を維持するために活動しているか (大円筋と前鋸筋)、また、手首の位置を維持するために活動している (尺側手根伸筋) と考えられる。

また、広背筋は大円筋と同様な機能を持っており (Hislop ら 2002)、より大きな力を発揮することができ、人馬の相互関係に対して大きな役割を果たしていると言える。しかしこれら広背筋は体幹の下方に位置していることから、それらの筋放電が馬の動きからの受動的活動を含むことが考えられたため、本研究では大円筋を被験筋として選出した。このような影響は僧帽筋下部にも見られ、ストライドの前期半分と後期半分で異なった結果となった。これらのことから、この筋活動は馬の右か左かの対角動作の違いによって変化することが示唆される。

まとめ

熟練した被験者 6 名の、速歩走行中における、12 の筋群より導出した筋電図を精査した結果、速歩時における適切な騎手の筋放電パターンとして、以下のことが明らかとなった。

- ① **stance phase** の初期には僧帽筋上部、および中部、三角筋中部、橈側手根屈筋が活動しており、これは首、肩甲骨および手首を馬の接地時における衝撃や手綱の張力に対して安定させるために用いられていると考えられた。
- ② **mid stance** には腹直筋が体幹を安定させるために活動しており、またこれらの筋は、骨盤を馬に合わせて前上方に動かすためにも用いられているのではないかと考えられた。
- ③ 上腕二頭筋は **early stance** に活動しており、**late stance** に活動していた上腕三頭筋とは交互のタイミングで活動していた。これらはハミに対する手首の位置を一定にするために肘を曲げ伸ばししていたためであると考えられた。

II-3. 速歩時における騎手の動作分析

はじめに

従来、動作分析の手法を用いた研究は、さまざまなスポーツ界においてその技術の向上に貢献している (Müller ら 2003)。しかし、馬術は馬と騎手という動物と人間の両者がかわりあうという特徴を持っているため、それらの動作解析を複雑なものにしていると言える。馬の基本的な歩行および走行の動きに関する研究 (Buchner ら 2001、Faber ら 2001、Licka ら 2001、Haussler ら 2001、Galloux ら 1994) や、さらには、競技成績の違いと馬の動きの関係を調べた研究 (Holmström ら 1994、Miró ら 1996) など馬術競技に関する馬の動作分析は多数見られるものの、騎手に関する動作分析は少ない (Schils ら 1993、Peham ら 2001)。騎手の姿勢の悪さが怪我につながるなどの報告もある (Auvinet ら 1996) ことから、騎手の姿勢についての基礎的な研究の必要性が認められる。特にそれら騎手の動きを、馬の接地タイミングと同期させて、その変化を時系列的に分析し、また騎手と馬との動きの関係を視覚的に捉えることができれば、馬術競技者にとっても有用な実践的情報となるであろう。

馬の頭は胴体とは異なった動きをしており、馬の推進力はハミを通じて手綱を介して騎手に伝わってくる。しかし、そうしたサイクルの中で騎手が常に馬のハミとのコンタクトを維持するためには、騎手が馬の胴体の動きから与えられる影響に対して、剛体のように跳ね上げられていたのでは、騎手と馬とのコンタクトは損なわれてしまう。そうならないためには、騎手の中でそれらの動きの違いを吸収し、伝達する必要が生じる。つまり、騎手の体が馬の胴体およびハミをうまくつなげていくような役割を担わなければならないことになる。

そこで本研究においては、速歩歩法における、騎手の体幹と上肢の動作に着目し、そのような役割を果たすための土台となる姿勢保持のために、騎手はどのような動きをしてい

るのかを馬の接地タイミングと同期させて時系列的に測定を行い分析した。

方 法

被験者および実験過程

被験者として **6** 名の熟練した女性騎手（身長: **1.64 ± 0.04 m**、体重: **61 ± 7 kg**）を用い、被験馬としては1頭のサラブレッド（体高: **1.56 m**、 体重: **508 kg**、**16** 歳）を用いた。各被験者はゴムで表面を覆った直線走路を、同じ被験馬に騎乗して速歩走行した。

すべての実験は大学の倫理委員会の規程に則って行い、被験者全てに対してインフォームドコンセントを行った後に実施した。

被験者の右側には測定前に、球状の反射マーカを装着した。付着場所は上腕骨外側上顆（肘）、大腿骨外側上顆、大腿骨外側上顆と大転子の中点、および踵骨（踵）であった。大腿骨外側上顆と大転子 (**hip**) の中点と、大腿骨外側上顆に付着したマーカを用いて **hip** の仮想マーカを算出した（図 II -3-1）。このような手法を用いたのは、**hip** にマーカを付着した場合に騎手の腕が邪魔となり **hip** のデータが収集できないためである。また、さらに三つのマーカが一体となったバンド式のマーカを前腕部、上腕部にしっかりと固定した。これらのマーカを用いることによって、手関節、および肩関節中心部の仮想マーカを算出した。

2つのマーカを、それぞれ、馬の右側の大結節と寛結節下部に装着した。これら2つのマーカの中点を用いて、馬体の体幹部の仮想マーカを算出した（図 II -3-1）。また、右手綱のハミにも **1** つのマーカを装着した。

撮影方法

被験人馬は測定前に準備運動を行った後、ゴムで覆われた **40m** の直線コースを速歩走行した。映像は **6** 台の **Falcon** カメラと **Real-time v3.2 software** を用いて **120Hz** で記録した。

すべての試行は **GR-DVL9800 camera** を用いて **60Hz** で撮影し、先の映像のタイムコードと共に記録し、馬の接地タイミングを明らかにした。測定は、各被験者において **3** 回の試行データが得られるまで行った。

データ解析

データは左前肢の離地から右前肢が離地するまでの **1** 完歩の半分の期間を記録した。すべてのデータは **MATLAB** を用いて研究室内で書かれたプログラムによって解析した。これらのプログラムは、収集したデータの時系列を **1** 完歩の **50%** に換算するためや、各関節角度や距離、位置座標を算出する前処理として、**Butterworth** の **15Hz** ローパスフィルタに通すために用いた。

結果として、騎手の体幹、肩、肘の角度を算出したが、体幹の角度は、肩と **hip** を結んだ線と垂線から算出した。尚、体幹は後傾するとプラスの値となることとした。肩関節角度は、肩と **hip** を結んだ線と、肩と肘を結んだ線との間の角度とし、上腕が体幹より後方に位置する時を伸展でありプラスで表した。肘関節角度は、肘と肩を結んだ線と、肘と手首とを結んだ線との間の角度とした。肘関節角度は常にプラスであり、角度の値が減少することを屈曲している事とした。また、ハミから騎手の手首、肩、**hip** までの **3** つの距離も算出した。さらに、人馬の垂直方向の動きの差を見るためには、馬の体幹仮想マーカーと騎手の **hip** 仮想マーカーの位置座標を用いた。また、同一のグラフにすべての被験者を表示するために、各被験者の平均値を各被験者のデータより差し引いて表示した（図 **II-3-2**、**II-3-3**、**II-3-4**）。各被験者における平均値は、**3** 回の試行より求めた。すべての結果において最大値および最小値とその値を示したタイミング（**1** 完歩を **100%** として換算）、また、平均値、変動範囲を求めた（表 **II-3-1**）。



図 II-3-1 実験図

ハミと騎手の肩との距離（黄色の矢印）

ハミと騎手の手首との距離（緑の矢印）

騎手の **hip** 仮想マーカー（ピンクの丸印）

馬の体幹仮想マーカー（青の丸印）

結 果

垂直方向における馬の体幹の最高地点到達は空輸中であり、**1** 完歩中の $2 \pm 3\%$ の時点であった。しかし騎手の **hip**、肩、手首、踵の最高地点到達タイミングは、これらに比べて少し遅れ、空輸期間中の後半であった。馬の体幹、騎手の **hip**、肩、手首の最低地点到達タイミングはほぼ同時であったが、騎手の踵はそれらに比べ、そのタイミングが遅れていた。

図 II-3-2 は、騎手の **hip** と馬の体幹の垂直方向における位置の差を示している。下降初期はその傾きは緩やかであるが、徐々にその勾配は急になっており、これらの結果は上昇時とは異なった結果を示した。これらの結果は、騎手が下降初期には馬に比べてゆっくり下降し、その後そのスピードを上げて初期に生まれた遅れを取り戻していることを示している。また、馬の下降開始に対する騎手の下降開始のタイミングには個人差が見られた。

騎手の手首の垂直方向変動範囲 (**87 mm**) は、騎手の肩 (**121 mm**)、**hip** (**134 mm**)、馬の体幹 (**102 mm**) に比べて小さい値を示した。騎手の **hip** は馬の体が下降する **stance**

期の初期（1 完歩の 15%）にハミと最も近づいており、その時期に手首はハミから最も離れていた。騎手の **hip** がハミから最も遠ざかっている時（1 完歩の 38%）に、肩と手首は比較的ハミに近づいていた（表 II-3-1）。騎手の手首からハミまでの距離の変動範囲は（ 15 ± 3 mm）、肩からハミのそれ（ 37 ± 13 mm）よりも小さかった（図 II-3-3、表 II-3-1）。また、**hip** からハミまでの距離の変動範囲は、騎手の手首からハミまでの距離および肩からハミまでの距離の変動範囲とは大きく異なっていた（表 II-3-1）。

騎手は **stance** 期の初期（1 完歩の 13%）に体幹の角度を最も大きく「後傾」しており、**stance** 期の後半（1 完歩の 38%）で最小「前傾」となっていた。肩関節と肘関節は体幹が後傾した時に伸展し、前傾した時に屈曲していた（図 II-3-4、表 II-3-1）。変動範囲は体幹角度が最も大きく、肘関節角度が最も小さかった。各測定項目の平均値は体幹角度が 4° 、肩関節角度が -6° 、肘関節角度が 132° であった（表 II-3-1）。

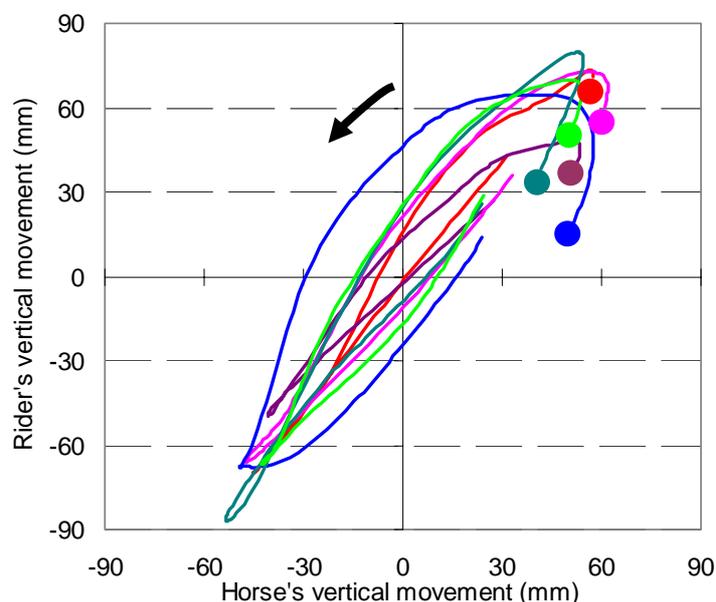


図 II-3-2 被験者 6 名の 1 試行中における馬の上下方向位置座標に対する騎手の上下方向位置座標の軌跡
開始時(●) および移動方向 (矢印)

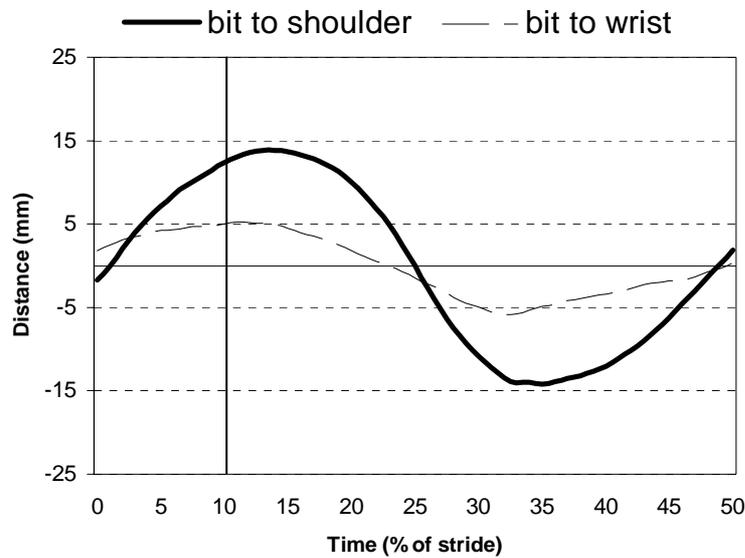


図 II-3-3 1/2 完歩中における被験者 6 名のハミに対する騎手の手首および肩への距離
右前肢の接地タイミングは 10%の縦ラインで示したが、手首 (range 0.8 – 3.8 mm) と肩
(range 2.0 – 13.8 mm) の SD は図を見やすくするために省略した。

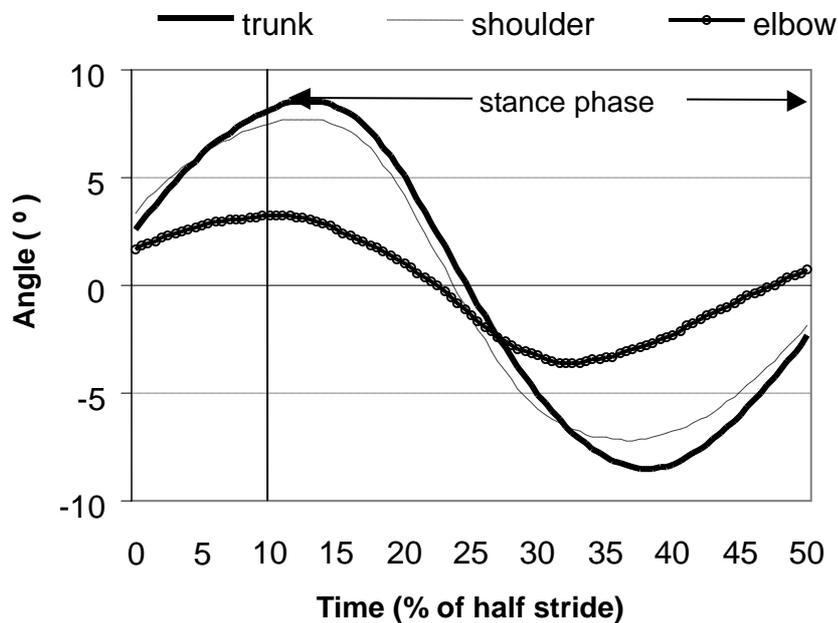


図 II-3-4 速歩 1/2 完歩中における被験者 6 名の体幹角度 (後傾: プラス)、肩関節角度 (伸
展: プラス) および肘関節 (伸展: プラス)
体幹の SD (range 1.1 – 2.5°)、肩関節 (range 1.2 – 3.8°) そして肘関節 (range 1.1 – 2.8°)
は図を見やすくするために省略した。また、右前肢の接地タイミングは 10%の縦ラインで
示した。

表 II-3-1 速歩時における各部位の馬および騎手の上方向の最大高および最低高とその出現タイミング、ハミから騎手の関節中心までの距離、および関節と体幹角度

	Mean	Range	Max	Time of max (%stride)	Min	Time of min (% stride)
Vertical displacement						
Horse's trunk (mm)	1193	102 ± 5	1251 ± 4	2 ± 3	1149 ± 7	32 ± 3
Riders' heel (mm)	887	107 ± 21	938 ± 31	9 ± 6	83 ± 41	37 ± 3
Riders' hip (mm)	1590	134 ± 18	1659 ± 16	6 ± 5	1525 ± 20	32 ± 2
Riders' shoulder (mm)	1987	121 ± 17	2045 ± 14	5 ± 3	1925 ± 21	30 ± 3
Riders' wrist (mm)	1608	87 ± 15	1653 ± 35	7 ± 11	1566 ± 38	32 ± 3
Distance from bit to						
Riders' hip (mm)	986	78 ± 30	1025 ± 42	38 ± 5	947 ± 44	15 ± 12
Riders' shoulder (mm)	1196	37 ± 13	1213 ± 71	23 ± 18	1176 ± 67	27 ± 16
Riders' wrist (mm)	788	15 ± 3	795 ± 61	14 ± 18	780 ± 63	32 ± 14
Riders' angles						
Trunk (deg)	4	18 ± 5	13 ± 4	13 ± 5	-5 ± 9	38 ± 3
Shoulder (deg)	-6	16 ± 7	2 ± 8	13 ± 10	-14 ± 11	37 ± 5
Elbow (deg)	132	9 ± 2	137 ± 13	18 ± 14	128 ± 14	31 ± 15

値は平均値±SDを示した。

体幹の後傾はプラス、肩関節および肘関節の伸展はプラスで示した。

考 察

初級者、中級者、上級者の動作分析を比較すると、常歩、速歩、軽速歩において、その能力の差が有意に現れている (Schills ら 1993)。そしてその中で上級者は速歩時にほぼ体幹を垂直に保っているのに対して、初級者は体幹を少し前傾させてしまっていることが明らかとなっている。本研究における、騎手の体幹角度の平均値は 4° の後傾であった。初級者が陥ってしまっていると考えられる状況を考察してみると、騎手は予期できない前方向への馬の動きに追従できず後傾してしまう傾向 (Keshner 2003) があり、それに対抗するために、逆に前傾姿勢を常に保つ事 (Schills ら 1993) になってしまっているのではないかと考えられる。また、それらの予期できない前方向への動きに対して未熟練者は、一般的に騎乗における姿勢保持筋とは考えられない大内転筋を活動させて、それに対応してしまっていると言えるであろう (Terada 2000)。Stance 期の中・後半部分に見られた体幹の前傾からの方向変換は、次に続く空輪期に備えているのであると考えられ、おそらく同時期に起こっていた腹直筋の収縮とも関係があるのであると考えられる (Terada ら 2004)。体幹は impact 期には後傾しており、これは stance 期の初期に受けるであろう大きな縦方向の床反力に対抗するためであるのではないかと考えられる。これらのように体幹角度を測定することは、騎手の技術の指標になり、また、比較的平易でもあることから、今後の実用的な活用への可能性が期待される。

速歩のように空輪期間のある歩法の場合、特に普通速歩においては、馬の上下動であるバウンス動が騎手に対して与えられるため、同調が難しく、馬術における技術の評価の中には、この上下動にいかに対応するか、と言ったことも含まれている。本研究における、馬に対する騎手の hip 位置の変化が多様であったという結果は、まことに興味深い発見である。これらは騎手の役割が馬の動きに同調する動きであるのか、また馬に対しての積極的な働きかけであるのかによって論議が異なってくるが、馬と騎手の上下動の高さの違いが少なかった何人かの騎手においては、騎手が馬になるべく同調しようとしているの

ではないかと考えられる。また、そのほかの騎手においては、馬が上昇する時に受ける馬からのエネルギーに対して、積極的に **hip** を前方に動かすことによって、馬の動きにさらなる活力があふれるよう働きかけているのではないかと考えられる（図Ⅱ-3-2）。もし騎手が馬の活力を増大することができれば、馬の上下動は増すと考えられるが、今後これらの関係を明らかにするためには、より多くの被験者および被験馬を要するであろう。また、騎手間では相違が見られたものの、馬の接地タイミングは、 $11 \pm 2\%$ のタイミングで起こり、**SD** 値も低かった。これらのことは、馬のストライド周波数が、すべての被験者において、ほぼ同様であったことを示すものといえる。

Stance 期の初期に騎手の体幹は後ろ方向に傾いているが、**hip** はハミに近づいており、また肩はハミから離れていた。逆に体幹が前傾しているときには **hip** はハミから離れ、肩はハミの方向に近づいていた。また、体幹が変動している期間中、騎手は手首や手をハミに対して同じような位置に安定させるよう試みていた（図Ⅱ-3-3）。これらの結果から、騎手は、馬のストライドと共に体幹が前後に揺れるのに対して、肩関節や、肘関節角度を調節して、手首をハミに対して同様の位置に維持するようにしたと考えられる（図Ⅱ-3-4）。また、手首とハミ間の距離の被験者間変動が小さかったことは（**SD=3 mm**）、今回の研究対象者が熟練者であったことを示すものといえる。（表Ⅱ-3-1）。

空輪期において、はじめに馬体が最高値に達し、続いて騎手の肩がストライドの **5%**、**hip** が **6%**、そして手首と踵が **7%**と **9%**時に最高値に達していた。これらの結果は、騎手が馬の下降開始後も上昇していることを示している。また、最低地点へは、馬体、騎手の **hip**、肩そして手首はそれぞれ **32%**、**32%**、**30%**、**32%**と、ほぼ同時に到達しており、少し遅れて踵が **37%**時に最低地点に達していた。つまり上昇タイミングの騎手と馬の差は下降中に相殺されており、そのために馬と騎手が最低地点に同時に到達することを可能にしていたと考えられる。そしてこの時に騎手の腹直筋は、馬の方向変換に同調できるように活動していた（**Terada** ら **2004**）。また、踵が最低地点に達するのが遅れていることは、足首の屈

曲によって、騎手が馬への同調を行いやすくしていたのではないかと考えられる。

まとめ

速歩走行に同調するための騎手動作を調べるために、熟練した被験者 6 名を用いて、騎手の体幹と上肢の動作に着目して人馬の動作分析を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 騎手は馬が下降を開始した後も上昇を続けていたが、馬が最低地点に到達するのと同時に騎手も最低地点に到達していた。
- ② 騎手は馬の動きから受ける体幹の前後のゆれに対して肩関節および肘関節を屈伸させることによって、ハミと手首との距離を一定にしていることが明らかとなった。

Ⅲ章 障害飛越運動における 馬の動作分析

Ⅲ-1. 騎手の有無による影響

はじめに

現在オリンピック競技にもなっている障害飛越競技であるが、その競技のルールにおいては、騎手が馬上でいかなる姿勢をとっていても馬が障害を完飛すれば減点は与えられない。当然それは騎手が適切な動作を行わなければ馬が障害を完飛できないという事が前提となっているからであるが、それでは騎手が適切な動作を行わないと馬に対してどのような影響を与えることになるのであろうか。

常歩と速歩時での実験ではあるが、騎手の熟練度の違いが床反力に影響を与えなかったといった報告 (**Schamhardt** ら **1991**) がある。また、未熟練者が先行随伴 (馬の動きに同調せず、馬の動きよりも先に飛越姿勢を開始してしまうこと) を行った場合は、勿論障害が高くなってそれが不可能になれば馬は拒止することによってそれらを回避する事もあるであろうが、馬がそれに対応してもっと早くから飛越して危険を回避するよう対処する、つまり騎手の動きが馬に影響を与える (**Terada** ら **1997**) と言った報告もある。しかし、騎手が騎乗している条件下での研究においては、騎手が馬に与えている脚による扶助や、手綱によるコントロールなどさまざまな要因が存在し、それらの影響の測定なくしては、騎手の技術による詳細な影響を考察する事は難しいと思われる。

一方、騎手の存在の有無についての研究では **Summerley** ら (**1998**) の「騎手が騎乗すること、そしてその騎乗スタイルの違いによって馬の蹄壁が形を変える」といった報告や、**Sloet** ら (**1995**) が行った研究の「騎乗した状態と騎乗しない状態で、運動をトレッドミル上で行わせた時の、その運動前後での変化を調べた所、ストライド時間、ストライド長、馬の前、後肢の球節の伸展が、騎乗して運動を行った場合大きくなった。また馬の心拍、乳酸値においてもその値が騎乗しないで運動した場合に比べて、騎乗した場合は、その値が大きくなった」や、**Clayton** ら (**1999**) の「速歩時の馬の床反力を騎乗時と騎乗無し

時で比較した場合、騎乗無し時に比べて騎乗時では前肢の床反力ピーク値が遅れて出現し、後肢の床反力ピーク値が早く出現する」の報告のように、動作分析とは異なった視点から騎手の影響を調べたものはいくつかある。しかし、騎手の有無が馬の関節角度に影響を与えるといった報告（Morales ら 1998）のような、騎手の存在自体の影響に関する馬の動作分析を行った研究は少なく、これら騎手の有無による馬の動作の違いを見る事によって、騎手が馬に対して与えている影響、または馬が影響を受けていない動作を知る事が出来、さらには馬が障害を完飛するために必要な動作が解明できるのではないかと考える。

Clayton ら（1989）の研究では、競技会のコースを走行中の馬は、障害を飛越する直前においては、それ以前の走行時に比べて前肢間距離を減少させるといった飛越前動作の特徴が報告されている。飛越前動作における前肢間距離の減少は、走行時の動作（石井 1989、天野ら 1992）とは異なっており、当然そのような飛越前特有の動きを行うことによって、障害の完飛を可能にしているのであろう。

そこで本研究では、騎手の技術の影響を調べるのではなく、騎手が正しく騎乗した場合、騎手の存在自体が馬の動きにどう影響を与えているのかを調べるために、馬の踏み切り時の接地肢および頭部の動きや前肢の歩幅などに注目して、騎手が騎乗していない状態である自由飛越時と騎乗飛越時とを比較検討した。

方 法

被験者、被験馬と実験条件

被験者は某大学馬術部所属の男性騎手 1 名（20 歳，身長 175cm，体重 65kg）と女性騎手 1 名（21 歳，身長 155cm，体重 45kg）の上級者騎手 2 名で、彼らの馬術歴はそれぞれ 5 年と 4 年であった。被験馬には同部所属の障害馬（主に障害飛越競技に出場している馬）A、B の 2 頭（いずれも体重約 500kg、15 歳と 13 歳のサラブレッド）を用いたが、以下これらを「被験馬 A」、「被験馬 B」とする。

実験にあたっては、同大学施設のトレーニング用馬場にあらかじめ全長約 **150m** のドーナツ型走路を作り、その直線路の中央に障害を設置した。また馬が同じ速度と距離から障害飛越を開始するよう、障害前 **14m** の場所に地上横木を **1** 本設置した。各馬ともに騎乗飛越、自由飛越（本研究では騎手および鞍を馬の背部に載せない状態での障害飛越）の順に実験を行ったが、測定開始前には準備運動の後に障害を徐々に高くしながら **3** 回ないし **4** 回の予備試行を行わせた。実験には高さ **100cm** 幅 **90cm** の障害を用いた。

男性騎手（騎手 **A**）は被験馬 **A** に騎乗し、女性騎手（騎手 **B**）は被験馬 **B** に騎乗した。実験にあたっては、各馬共に走行中に四肢すべてが接地していない空輪期間から最初に左後肢が接地する駈歩（左後肢→右後肢と左前肢→右前肢の順で接地する駈歩）で飛越するように統一した。実験の試技はすべて **3** 回行い、解析にはそのの中の中位傾向のデータを採用した。

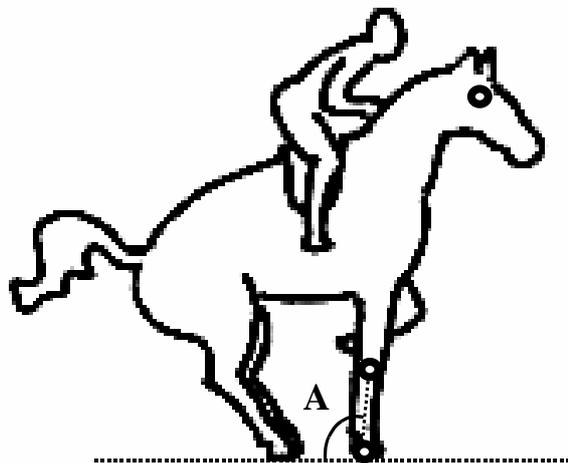
撮 影

撮影には **8mm** ビデオカメラ（**Handycam video Hi8, Sony**）**4** 台を用いたが、それぞれ走路から約 **15m** 離れた位置に設置して **4** 方向（右前方、右後方、左前方、左後方）から撮影した。**4** 台のカメラはすべてタイマーを入れて同期させた（**Pompasystem**, 日本事務光機株式会社）。フィルムスピードは **60 fps** であった。馬にはあらかじめマーカを装着させたが、それらの位置は、**Holmström** ら（**1990**）の方法に準じて決定した。マーカは額中央部・手前前肢橈骨下端外側部の **2** 箇所に装着した。

解 析

録画した映像より、あらかじめ馬に装着させておいたマーカを測定点としてプロットし、**DLT** 法（**Direct Linear Transformation technique**）を用いて **3** 次元位置座標を算出した。

解析項目は、障害飛越前 3 完歩間の手前前肢と反手前前肢間の接地距離、馬頭部の水平方向と垂直方向の移動距離とそれら各々の速度変化、手前前肢の接地点における接地角度および離地角度：手前前肢の蹄から手前前肢橈骨下端外側部を結ぶ直線と手前前肢の蹄から地面上の手前後肢方向へ延ばした直線とのなす内角度（地面上の手前後肢方向へ延ばした直線に対して蹄と橈骨下端外側部を結ぶ直線が時計回りに回転する方向をプラスとする）とした（図Ⅲ-1-1）。馬の前肢角度は、馬の安静立位状態の角度を基準（ 0° ）とした。



図Ⅲ-1-1 測定点（頭部）および算出角度（A：接地・離地角度）

結 果

反手前前肢と手前前肢間の距離

両馬ともに騎乗飛越と自由飛越のいずれにおいても、踏み切り直前の左右の前肢接地間距離は、踏み切り前の 3 完歩および 2 完歩の左右のそれよりも短くなっていた。すなわち、飛越前 3 完歩では、それら前肢接地間距離が騎乗飛越時に平均 0.82m、自由飛越時に平均 0.86m、また飛越前 2 完歩では騎乗飛越時に平均 0.75m、自由飛越時に平均 1.02m となっていたのに対して、飛越直前の前肢接地間距離である前 1 完歩の値は、騎乗飛越時、自由飛越時ともに平均 0.51m となっていた。また、それら飛越前 1 完歩時には、被験馬 A での騎乗飛越時と自由飛越時では、前肢接地間距離が共に 0.72m、被験馬 B での騎乗飛越時で 0.3m、自由飛越時で 0.29m となり、騎乗飛越と自由飛越との間では両馬ともにほとんど差は見られなかった（表Ⅲ-1-1）。

手前前肢の接地および離地角度

手前前肢の接地角度は約-42°～-32° となり、両飛越間の差は両馬ともにほとんど見られなかった。しかし、手前前肢離地角度は約-5°～18° と差がやや大きく、両飛越間では、騎乗飛越の値は被験馬 A で約 3°、被験馬 B で約-5° となり、平均-1° と安静時（0°）に近いのに対して、自由飛越の値は、被験馬 A で約 17°、被験馬 B で約 18° となり、平均 18° と、両馬ともに離地角度が増加していた。

接地から離地までの角度変化は約 28°～59° であった。また、それら角度変化は、被験馬 A での騎乗飛越時で 46°、自由飛越時で 59° と、角度は 13° 増加し、被験馬 B での騎乗飛越時で 28°、自由飛越時で 50° と、角度は 22° 増加し、両馬ともに騎乗飛越時に比べて自由飛越時では角度変化が大きくなった（表Ⅲ-1-2）。

馬の頭部の位置と速度

馬の頭部の動作は垂直方向と水平方向の両成分に分けて分析したが、障害飛越前の前肢踏切時における馬の頭部の位置および速度は、すべての試行において、経時的に類似した変化パターンを示した（図Ⅲ-1-2）。

垂直方向では、頭部の位置は前肢接地中に最も下方に沈んだ後に上方向へと方向変換され、離地した後も引き続き上方に移動していた。垂直方向の頭部の速度は、先に接地する左前肢の接地時にはほぼ最低速度を示したが、おくれて接地した右前肢が離地するまでには、最高速度まで達していた。水平方向では、馬頭部の速度は、先に着地する左前肢が接地した時点から右前肢が離地するまでの期間中に、減少していた。

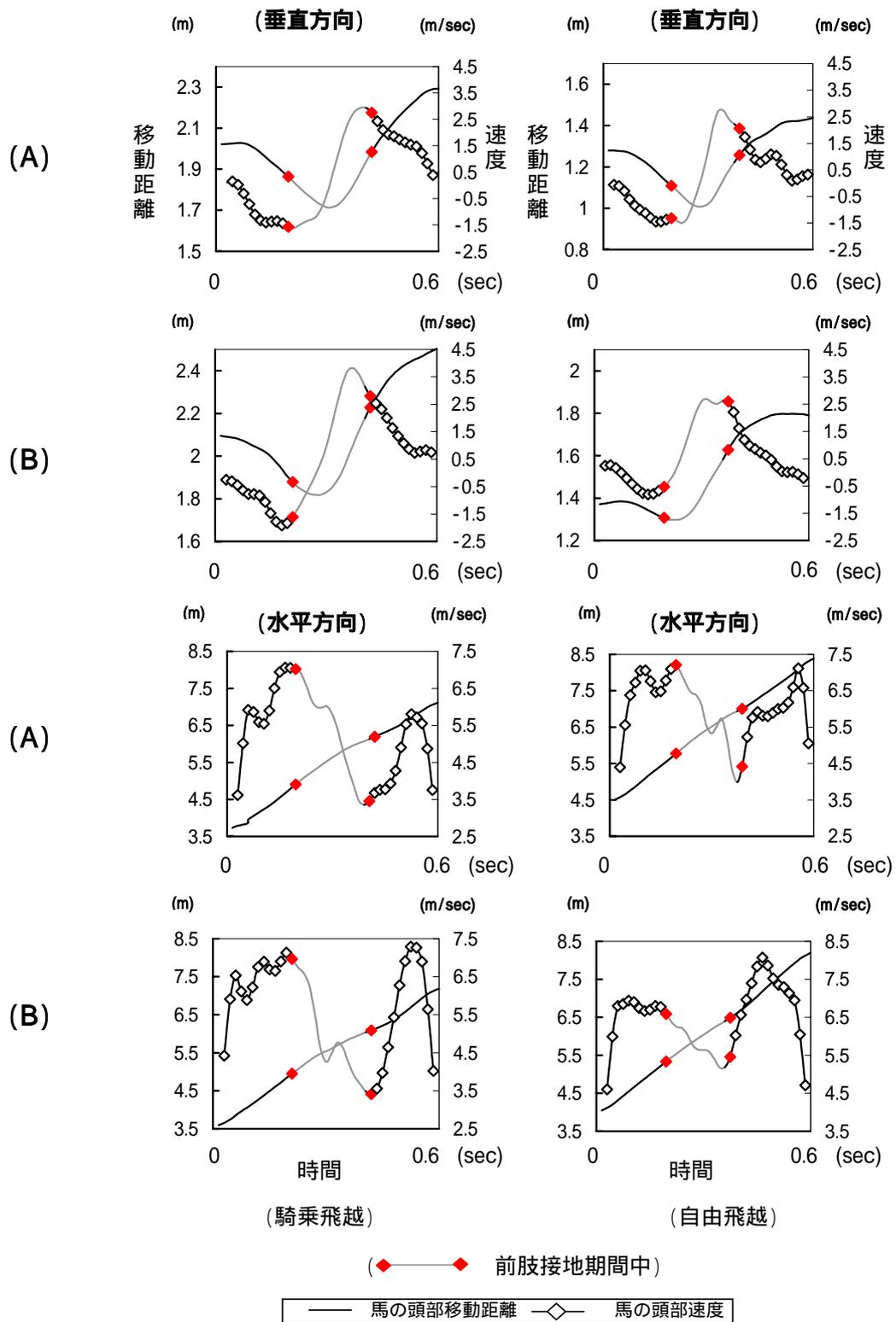
これらの馬頭部の経時的変化は、騎乗飛越、自由飛越ともに同様なタイミングで行われていた。

表Ⅲ-1-1 障害飛越前3完歩間の左右前肢間の着地距離 (m)

飛越条件	被験馬	障害飛越前3完歩	障害飛越前2完歩	障害飛越前1完歩
騎乗飛越	被験馬 A	0.87	0.80	0.72
	被験馬 B	0.78	0.71	0.30
	平均	0.82	0.75	0.51
自由飛越	被験馬 A	0.83	1.10	0.72
	被験馬 B	0.88	0.95	0.29
	平均	0.86	1.02	0.51

表Ⅲ-1-2 障害飛越直前1完歩時の手前前肢の接地・離地角度および角度変化 (deg)

飛越条件	被験馬	手前前肢(右前肢)接地角度	手前前肢(右前肢)離地角度	手前前肢(右前肢)接地中の角度変化
騎乗飛越	被験馬 A	-42.32	3.48	45.80
	被験馬 B	-32.99	-4.52	28.47
	平均	-37.65	-0.52	37.14
自由飛越	被験馬 A	-41.72	17.12	58.84
	被験馬 B	-32.26	18.02	50.28
	平均	-36.99	17.57	54.56



図Ⅲ-1-2 飛越直前動作での馬頭部の移動距離および速度変化

A : 被験馬 A B : 被験馬 B

考 察

馬の頭部と前肢の飛越前動作

馬頭部の動きの分析は跛行に関するものが多く (Buchner ら 1995、1996、Keegan ら 1997、Vorstenbosch ら 1997)、疾走中や飛越時に関するものは少ない。しかし、Galloux ら (1994) は、馬が「駈歩時に **pitching rotation** を行っている」ことを報告しており、歩法の違いによって頭部の動きに違いが生じることを示唆している。

天野ら (1992) は競走馬の首角度について報告しているが、それらのデータからみると、平地疾走時における頭部の上下動に関して、反手前前肢接地期にはすでに頭部は上方向に移動を開始していて、手前前肢離地時には上方向への動きが停滞していると考えられる。しかし、本研究での障害飛越直前動作においては、反手前前肢接地直後に頭部が最も下方に移行するが、その後接地期間中に上方向に方向変換し、手前前肢離地後もなお上方向へ移行していた (図Ⅲ-1-2)。これらのことから、平地疾走時 (天野ら 1992) に比べて障害飛越直前動作では、馬は前肢接地後の遅い時期に頭部を下から上に移行させ、前肢が離地した後もさらに上方向に頭部が動く状態を作り、後肢がより前方に接地しやすい体勢、つまり、障害を飛越するために必要な上方向への移行を可能にする体勢を作っていると考えられる。

一方、平地疾走時と飛越直前動作時の手前前肢接地角度を比較すると、平地疾走時については、石井 (1990) による報告の典型例で見ると、馬は約 -20° で接地し、 $40\sim 50^{\circ}$ で離地しているのに対して、本研究の飛越直前動作においては、約 $-42\sim -32^{\circ}$ で接地し、 $-5\sim 18^{\circ}$ で離地していた (表Ⅲ-1-2)。しかも本研究例では、飛越直前の前肢間距離の減少傾向が見られた (表Ⅲ-1-1)。つまり馬は飛越直前動作を行うにあたって、前述したように、頭の上下動のタイミングを平地疾走時に比べて遅くしているのではなく、平地疾走時に比べて前肢間の接地距離を減少させることによって、時間的に早いタイミングでの接地と離地を可能にしていると考えられる。そしてその結果、前肢が離地した後も、頭部がさらに上方向

へ動く状態、すなわち後肢がより前方に接地しやすい体勢を作っていると考えられた。

Bogertら（1994）が、障害飛越直前の体勢作りは、後肢による押し出しを有効に行うために重要であると指摘していることから、このような馬頭部の動きは、馬が障害を飛越するための重要な要素の一つになっていると考えられる。

また、以上に見られた接地および離地角度と関連して維持されている馬頭部の方向変換が、自由飛越時と騎乗飛越時のいずれの場合においても見られたことから、これらは障害を飛越するための重要な要因であると言えるであろう。

本研究の障害飛越直前動作での馬頭部の速度は、前肢接地中に前方向へはその速度を減少させ、上方向へは速度を増加させていた（図Ⅲ-1-2）。つまり前肢接地中に馬は前方向への速度を上方向へ変換していることが明らかとなった。障害を飛越するためには前方向の速度を上方向に変換する必要がある、そのためには地面反力が必要とされる。したがって、馬は前方向の速度を飛越動作に必要な上方向への速度に変換できるようにするためにも、前肢接地間距離を減少させ、接地、離地のタイミングを早め、それによって前肢接地による地面反力を得ていると推測される。

飛越前動作中の騎手の影響

本研究では離地角度において、自由飛越時に比べて騎乗飛越時にはその値が減少した（表Ⅲ-1-2）。しかし、接地タイミングに対する頭部速度変化では、騎乗飛越と自由飛越間に違いは見られなかった（図Ⅲ-1-2）。本研究での馬頭部の動きは前肢接地タイミングに対する速度変化によって示されているため、前肢離地角度との関連が深いと考えられることから、頭部速度に見られた騎乗飛越時と自由飛越時での同様な傾向は、離地角度の減少によって可能となったと考えられる。すなわち、自由飛越時に比べて騎乗飛越時では離地角度の減少は見られたものの、それは馬が事前に騎手の影響を予測して、障害を完飛するために重要な頭部の動きに大きな影響を与えないために馬自身がそれらをコントロールしている

推測できる。

本研究における被験者の体重差は **20kg** と大きい事から、これらの違いが馬の動きに与える影響も大きいと考えられる。しかし本研究の結果においては、前肢間距離、接地角度、および頭部の方向変換が **2** 頭において同様な傾向が見られた。また、騎手が騎乗した状態での床反力は、同等の重さをもつ馬の床反力とは異なるとの報告 (**Clayton** ら **1999**) から、騎手が馬に与える影響は、重さの違いによるものではなく、それらを馬の動きに対応してどのように位置させていくかが大きく影響するのではないかと考えられ、騎手のポジショニングの重要性が認められた。馬の頭部と頸部の合計重量は全馬体重の **10.4%** にあたるという報告が見られることから (**Springs** ら **1986**)、本研究の被験馬においてはそれらの重量は約 **52kg** に相当すると考えられる。この頭部と頸部の合計重量は、本実験で用いた **2** 名の被験者の体重 **65 kg** と **45kg** に比較的近い値となり、したがって、騎手のポジショニングは馬の動きにとっても、大きく影響を与える重要な要因であると考えられる。

まとめ

騎手の存在自体が馬の動きに与える影響をみるため、上級学生騎手 **2** 名と健康な被験馬 **2** 頭を用いて、飛越直前の動作を分析し、比較検討した結果、以下の事柄が明らかになった。

- ① 障害飛越直前の馬頭部の上下方向の位置変化では、従来の報告 (**天野** ら **1992**) に見られる疾走時の変化とは異なり、頭部は前肢離地後も上方向へ移行していた。
- ② 障害飛越直前の馬頭部の上下方向の位置変化および速度変化のタイミングは、騎乗飛越、自由飛越の間で大きな差は見られなかった。
- ③ 自由飛越時に比べて騎乗飛越時では、馬が事前に騎手の影響を予測して、より小さな離地角度から離地し、頭部の動きに大きな影響を与えることなく障害を完飛できるよう馬自身がコントロールしていたことが推測された。

III-2. 馬の熟練度による影響

はじめに

馬術競技においては、騎手の技術と共に馬の技術や能力も馬術の競技力向上には欠かせないものであり、両者の能力がうまく調和する事が求められる。

馬の熟練度の違いに関する研究としては、熟練馬は障害飛越時の床反力を小さくすることができると報告した研究（Schamhardt ら 1993）や、加速度計を用いた研究では、未熟練馬は **take off** 時に大きな前肢の加速度ピーク、低いストライド頻度等を示すといった研究（Barrey ら 1997）などがあり、これらからは馬の技術の重要性が示唆される。また動作分析を行った研究としては、Powers（2000）が、「自由飛越時に障害を落下させてしまった馬は、**take off** 期においてその後続前肢の膝の屈曲角度が、落下させなかった馬に比べて大きかった」と報告しているが、これは、同一高の障害飛越動作について研究したものであるために、障害高の変化に対する対応能力からの熟練度の差は明らかにされていない。

障害高の影響を見た過去の研究としては、Ferlazzo ら（1998）の行った副腎皮質刺激ホルモンと、 β エンドルフィンを測定したものがあり、「最も高い障害である **1.3m** の障害を飛越した時には、それら副腎皮質刺激ホルモンと、 β エンドルフィンが増加する傾向が見られた」と、障害の高さが馬に影響を与えることを示唆している。

また、競技中の動作分析を行った実験では、障害高が高くなると、**take off** 期の先行後肢と、その時の重心の距離が短くなると報告している（Colborne ら 1995）。先行後肢と重心距離が短くなるという事は、馬がより重心近くまで後肢を踏み込ませている事となり、その事からも後肢の動きは障害高と関係があると考えられる。

そこで本研究においては、障害高を **60cm**、**110cm**、**140cm** と変化させ、その時に馬の熟練度の差がどのように現れるかを検討することとし、特に後肢、前肢の膝、頭部の動きを中心に測定し分析を行った。

方 法

撮影方法

実験は馬上に騎手が騎乗した状態で障害飛越を行う「騎乗飛越」と、騎手が騎乗しない状態で障害飛越を行う「自由飛越」の 2 種類の飛越動作を行った。自由飛越時には馬に装着物をつけない状態で行ったため、ドーナツ型の走路を作成して、走路中に障害を設置し、その中に馬を放って飛越を行わせた。また馬の走行速度が大きく異なってしまうことを防ぐために、コース中に設置した目標障害の 2 完歩前の位置にクロス障害を設置した。さらに馬が踏み切り位置を決定しやすいように、オクサー障害の手前の横木を、奥の横木よりも **20cm** 低くした。馬の騎乗者は日本中央競馬会馬事公苑所属の現役男性騎手 1 名 (**69kg**) で、被験馬は同公苑所属のサラブレッド 2 頭 (約 **500kg**) を用いた。馬 **A** は、自由飛越を日頃から訓練されている馬で、自由飛越と騎乗飛越の 2 種類の飛越を行わせた。またもう一頭の **B** 馬は、自由飛越を日頃から訓練されていない馬で、熟練度の違いが後述する測定項目に影響を与えるかどうかを検討する目的で、自由飛越のみを行わせた。障害の高さは **A** 馬の騎乗飛越、**A** 馬の自由飛越、**B** 馬の自由飛越の全ての実験試行において、高さを **60cm**、**110cm**、**140cm** と変化させて飛越させた。障害はすべて段違いオクサー障害を用い、障害の幅は **100cm** とした。

実験は馬の疲労を軽減するために 2 日に分けて行った。**1** 日目の測定は自由飛越のみを行った。準備運動の後に **A** 馬に **60cm**、**110cm**、**140cm** 障害の順で 2 回ずつ自由飛越させた。つづいて **B** 馬にも同様に **60cm**、**110cm**、**140cm** 障害の順で 2 回ずつ自由飛越させた。

2 日目には騎乗飛越を行った。**1** 日目と同様、準備運動の後に **A** 馬に **60cm**、**110cm**、**140cm** 障害の順で 2 回ずつ騎乗飛越させた。

これら全ての実験プロトコルは 2 台のビデオカメラ (シャッタースピード **1/1000** 秒、**60fps**) により 2 方向から撮影した。

解析

撮影された飛越動作の映像より **DLT** 法を用いて **3** 次元座標を求め、馬の首・頭部間の角度と角速度変化、首、鼻先および手前前肢（駢歩時に前に接地する前肢）と反手前前肢（駢歩時に後ろに接地する前肢）の前膝の軌跡、後肢の関節角度変化を算出した。

これらはあらかじめ馬体に付着させていたマーカーを測定点としてプロットして求めた。また、それらの値は **Butterworth** の **Low-pass Filter** を用いて **5Hz** 以上をカットした。

解析は **2** 回飛越した試行中で、飛越前および飛越後の手前前肢が **3** 種類（**60cm**、**110cm**、**140cm**）の障害条件の違いによって変化しなかった場合をそれぞれ **1** 試行ずつ解析した。

A 馬の騎乗飛越は、障害飛越前が右手前（右前肢が手前前肢となる駢歩）、飛越後も右手前の場合を、**A** 馬の自由飛越は、飛越前が左手前（左前肢が手前前肢となる駢歩）、飛越後は右手前の場合を、**B** 馬の自由飛越は飛越前が左手前、飛越後も左手前の場合のものを解析した。

前膝・鼻先・首の軌跡および速度

手前前肢前膝、反手前前肢前膝、上唇（鼻先）、肩胛骨と第 **I** 胸椎の接点（首）の軌跡およびその速度は三次元座標から算出した。

解析の対象とした期間は、飛越直前一完歩中に接地した反手前前肢が、地面に対して直角になった瞬間から、障害を飛越し、両前肢を着地させる瞬間までの期間とした。

首・頭部間の角度および角速度

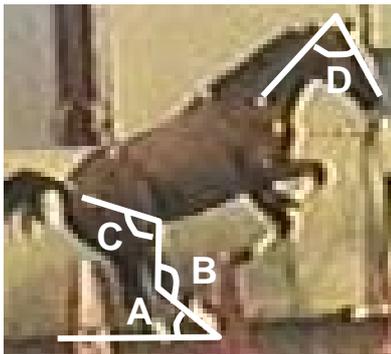
上唇、後頭骨、肩胛骨と第 **I** 胸椎の接点の **3** 点間の角度（首・頭部間角度）は、後頭骨と馬の上唇を結ぶベクトル、後頭骨と肩胛骨・第 **I** 胸椎の接点を結ぶベクトルから算出した。

解析の対象とした期間は、“前膝・鼻先・首の軌跡および速度” 算出時と同様、飛越直前

1 完歩中の反手前前肢が、地面に対して直角に接地した瞬間から、障害を飛越し、両前肢を着地させる瞬間までの期間とした。

後肢関節角度

球節の接地角度は、球節（第三中手骨下端外側部）から地面に対して平行なベクトルと、球節から飛節（足根骨中央部）へのベクトルから算出した。また、飛節から球節、飛節から後膝（大腿骨外側上顆）へのベクトルより、飛節の角度を算出、後膝から飛節、後膝から大転子へのベクトルより後膝の関節角度を算出した。解析は、飛越直前 1 完歩中の後肢が接地している期間を対象とした。



図Ⅲ-2-1 後肢の関節角度と首・頭部間角度

A：球節角度 B：飛節角度

C：後膝角度 D：首・頭部間角度

結 果

前膝・鼻先・首の軌跡および速度

A馬、B馬とも全ての飛越において前膝の軌跡と鼻先の軌跡は異なったパターンの曲線を描いた。前膝の軌跡は、前半部分で指数関数的に上昇している箇所が存在するのに対して、鼻先の軌跡は早く頂点を迎え、その後徐々に下降していく曲線を描いた（図Ⅲ-2-2）。

前膝の速度については、A馬の140cm障害、騎乗飛越時以外はすべて、反手前前肢の最大速度の方が、手前前肢の最大速度よりも平均1.4m/sec大きかった。また全ての試行において、反手前前肢の最大速度が手前前肢の最大速度よりも平均1msec早く出現していた（図Ⅲ-2-3）。

また、首の速度は、反手前前肢の最大速度の出現とほぼ同時期に1回目の速度ピーク値（平均6.2m/sec）が出現し、つづいて後肢接地後に2回目の速度ピーク値（平均6.9m/sec）が出現した（図Ⅲ-2-3）。

首・頭部間の角度および角速度

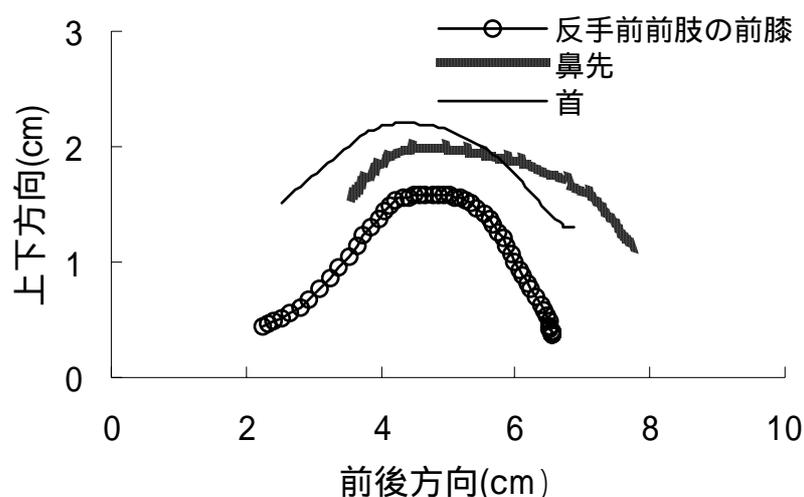
飛越動作中の首・頭部間の最大角度は、自由飛越に熟練している被験馬Aの自由飛越の場合は、60cm障害で約95°、110cm障害で約103°、140cm障害で約112°を示した。また、騎乗飛越の場合も、60cm障害で約95°、110cm障害で約103°、140cm障害で約113°を示し、障害の高さの増加に伴って最大角度が平均9度ずつ増加していった。また飛越動作中の首・頭部間の最小角度においても、自由飛越の場合は、60cm障害で約78°、110cm障害で約82°、140cm障害で約90°を示し、騎乗飛越の場合も、60cm障害で約74°であったのに対し、110cmと140cm障害の試行では約81°となり、高い障害の場合において、最小角度が増加する傾向が見られた。さらに首・頭部間の最大角度－最小角度においても自由飛越の場合は、60cm障害で約18°、110cm障害で約21°、140cm障害で約22°と角度差が漸増傾向を示し、また、騎乗飛越の場合でも、60cm障害で約21°、110cm障害で約22°、140cm障害で約32°と障害の高さの増加に伴って角度差が増加した。

一方、自由飛越に熟練していない被験馬 **B** の自由飛越の場合、最大角度－最小角度の値は、**60cm** 障害で約 **31°**、**110cm** 障害で約 **10°**、**140cm** 障害で約 **36°** と障害の高さの変化による増減に一定の傾向は見られなかった（表Ⅲ-2-1）。

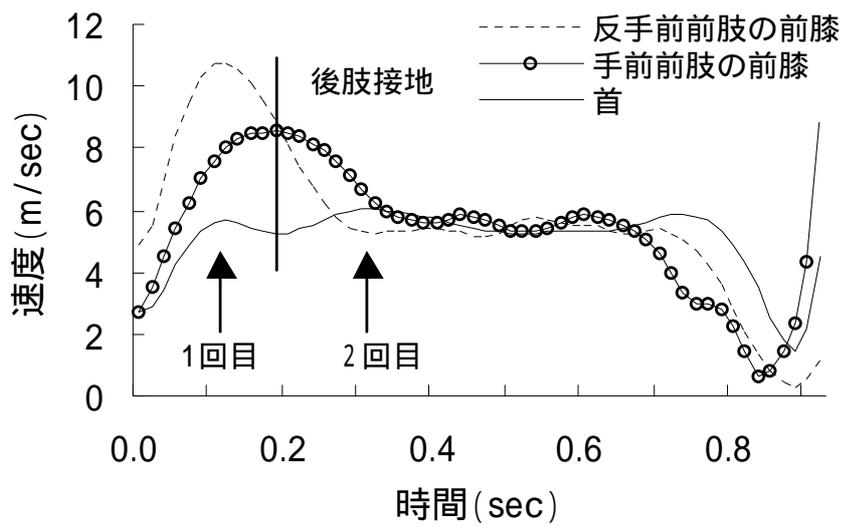
また、この **B** 馬の **60cm** 障害自由飛越時以外においては、角速度波形に二つのピーク値が出現し、全ての試行において一つ目のピークは前肢離陸から後肢離陸までの期間中に出現した（表Ⅲ-2-2、図Ⅲ-2-4）。

後肢関節角度

踏切時における球節の最小関節角度は、自由飛越に熟練している被験馬 **A** の騎乗飛越の場合、**60cm** 障害で約 **60°**、**110cm** 障害で約 **53°**、**140cm** 障害で約 **49°** を示した。また、自由飛越の場合、**60cm** 障害で約 **58°**、**110cm** 障害で約 **51°**、**140cm** 障害で約 **30°** と障害の高さの増加に伴って最小関節角度が減少した（表Ⅲ-2-3）。また、被験馬 **A** の騎乗飛越、被験馬 **A** の自由飛越、被験馬 **B** の自由飛越全ての試行において、障害高の違いに対する関節角度の増減について見ると、障害の高さが増加するに伴って関節角度は減少傾向にあることを示した（図Ⅲ-2-5）。



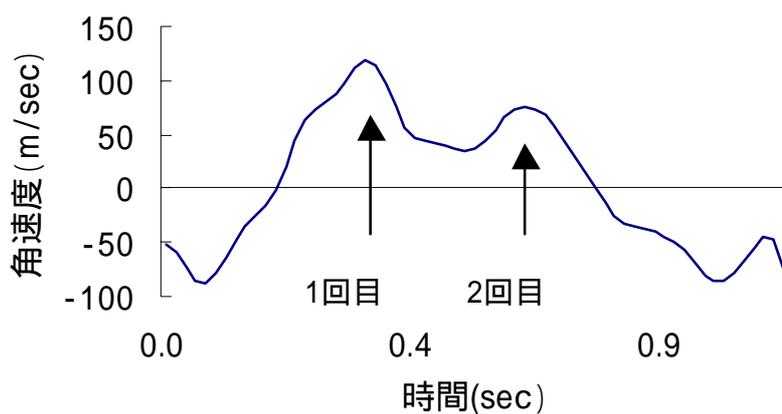
図Ⅲ-2-2 110cm 障害自由飛越時における反手前前肢の前膝、鼻先、首の軌跡（A馬）



図Ⅲ-2-3 110cm 障害自由飛越時における反手前前肢の前膝、手前前肢の前膝、首の速度 (A馬)

表Ⅲ-2-1 首・頭部間の最大角度、最小角度、および最大角度－最小角度 (°)

		A馬	A馬	B馬
		騎乗飛越	自由飛越	自由飛越
60cm	最大角度	95.4	95.4	107.1
	最小角度	74.0	77.5	75.7
	最大角度－最小角度	21.4	17.9	31.4
110cm	最大角度	103.0	102.6	98.5
	最小角度	80.6	81.9	88.9
	最大角度－最小角度	22.4	20.7	9.6
140cm	最大角度	112.5	112.0	110.2
	最小角度	80.5	90.0	74.2
	最大角度－最小角度	32.0	22.0	35.9



図Ⅲ-2-4 140cm 障害騎乗飛越時における首・頭部間の角速度 (A馬)

表Ⅲ-2-2 首・頭部間の角速度の二つのピーク値（ピーク1、ピーク2）の出現するタイミング

前肢接地中…①

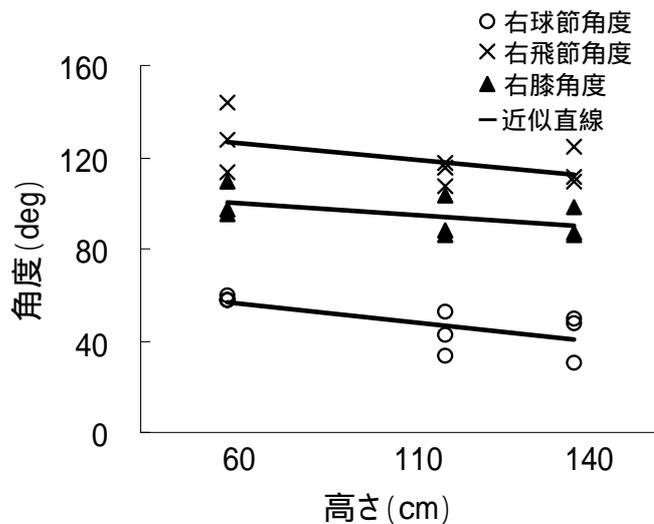
前肢離陸から後肢接地、後肢離陸まで…②

空輸期間中…③

		ピーク 1	ピーク 2
A馬 騎乗飛越	60cm	②	③
	110cm	②	②
	140cm	②	③
A馬 自由飛越	60cm	②	③
	110cm	②	③
	140cm	②	②
B馬 自由飛越	60cm	②	出現しない
	110cm	②	③
	140cm	②	③

表Ⅲ-2-3 右球節角度、右飛節角度、右膝角度の最小値（°）

		A馬	A馬	B馬
		騎乗飛越	自由飛越	自由飛越
右球節 角度	60cm	59.8	58.0	59.4
	110cm	52.8	50.7	33.2
	140cm	49.4	30.4	47.5
右飛節 角度	60cm	113.6	127.8	144.2
	110cm	107.3	117.2	115.6
	140cm	109.3	125.1	111.0
右膝 角度	60cm	97.0	95.0	116.9
	110cm	86.5	88.0	102.9
	140cm	86.1	87.1	97.9



図III-2-5 右球節角度、右飛節角度、右膝角度の最小値およびその近似直線

考 察

前膝と首の振り上げ動作

反手前の馬の前肢には、手前前肢と比較すると、若干の推進力が見られる（仁木陽子ら **1984**）としている。また、反手前前肢の前膝の最大速度が手前前肢前膝の最大速度よりも一例をのぞいては大きかった。さらに、反手前前肢の最大速度が手前前肢の場合よりも平均 **1msec** 先行して出現していた。これら **3** つの特徴的な動作から見て、反手前前肢には、まず地面を蹴り、引き続き前膝を振り上げることによって、首に方向性を与える役割を担っていると考えられる。

また、首の速度の **1** 回目のピーク値は反手前前肢の前膝速度のピーク値とほぼ同時期に出現した。

一般に走行中の馬の前肢は後肢に比べると推進力が小さいとされている。それは馬体の組成上の問題と考えられる。その結果、障害飛越時の動作においても同様の事が考えられる。そこで馬は前肢と、首を振り上げることによって、前肢の推進力を補って馬体を持ち上げる動作を補い、さらに、後肢が重心に近いところに接地できるような運動パターンを

作っていると言えるであろう。これらの結果から、障害飛越の先行動作として、馬は、手前前肢でブレーキングをして、Ⅲ-1 で明らかにしたように、前肢の接地および離地角度を調節し、方向変換の足掛かりを作り、反手前前肢で地面を蹴ることによって重量のある馬の首にまず方向性を与え、直ちに反手前前肢及び首を振り上げることによって馬が方向変換しやすいようにしていたと思われる。そして、後肢がスムーズに重心の近くに接地できるような運動パターンをつくっていると考えられる。

A 馬 B 馬ともに同様な結果であったため、この前膝と首の飛越前動作は、熟練度に関係するというよりも、障害を完飛する事にとって必要な条件であると考えられる。

首・鼻部位による方向変換

一連の飛越動作中において、馬の首・頭部間の最大角度－最小角度は、熟練した **A 馬**においては障害の高さに伴って増加した。これは、障害の高さの変化と共に、馬が首や頭を活用して、その首・頭部間の角度を調節しているためと言えるであろう。また **B 馬**にはこのような角度変化が見られなかったため、首・頭部間の最大角度－最小角度は飛越動作のための必要な条件とは確定できず、これらの結果から、首・頭部間の角度の調節に関しては、騎手の援助が可能であることが示唆される。しかし角速度に見られる一つ目のピーク値の出現時間は全ての試行において、前肢離陸から後肢接地、後肢離陸までの期間内に出現しており、**A 馬**と **B 馬**間にその差は見られなかったことから、このピーク出現のタイミングは熟練度に関係するというよりも、障害を飛越するための必要条件であると考えられる。これらの、首・頭部間角度増加は、先の反手前前肢と同様、飛越前動作中の方向付けの役割を担っていると考えられる。

後肢関節角度の調節

球節角度、飛節角度、後膝角度は障害の高さの増加に伴って、小さくなる傾向を示した。これは高い障害を飛越するために、馬が後肢の関節角度を小さくし、腰の位置を低くすることによって、筋および腱の張力を最大に引き出そうとしたためと思われる。

この角度変化においては、熟練馬 **A** と未熟練馬 **B** の飛越動作に大きな差は見られず、これらのことから、障害の高さに応じた後肢関節角度の変化は跳躍力の増減に深い関係を持っていると言えるであろう。しかし、すべての関節において段階的に減少してはいなかったため、それらの原因を明らかにするためには今後更なる研究が求められる。

まとめ

馬の熟練度による飛越動作の違いをみるため、騎乗飛越時、自由飛越時における障害前の前膝・鼻先・首の軌跡および速度、後肢関節角度、首・頭部間の角度および角速度の変化を測定し、検討した結果、以下のことが明らかになった。

- ① 障害飛越直前における馬の反手前前肢と首の先行振り上げ動作は、前方向の推進力を上方向に方向変換する役割を果たしていた。
- ② 後肢接地中の首・頭部間角度増加は、首の方向指示に貢献していると考えられた。
- ③ 障害の高さが高くなると馬は、踏み切り時の球節関節角度、飛節関節角度、後膝関節角度などを小さくしてより大きな筋および腱の力を引き出していると考えられた。
- ④ 自由飛越に熟練してない馬においては、障害の高さの変化に対応した、首・頭部間の角度調節ができていなかった事から、首・頭部間の角度の調節に関しては、騎手の援助が可能であることが示唆された。

Ⅲ-3. 前肢の動きによる影響

はじめに

馬場馬術競技では競技中の演技を採点するために、それらに関する先行研究においては、高得点を得ることができる馬とそうでない馬の動きの違いを、ビデオカメラを用いて測定し比較した報告がある (Miro ら 1996)。一方、一般的な障害飛越競技において上位を狙うためには、馬場馬術競技とは異なり、美しい動作による飛越が要求されるのではなく、減点対象となる「障害落下」をさせない事が重要となる。そこで障害飛越競技においても馬場馬術競技同様、動作分析の手法を用いて、障害を落下させてしまう馬と、そうでない馬の動作とを比較する事によって、競技力の向上のための糸口が見出せるのではないかと考えられる。

飛越時の馬の前肢に注目した Powers (2000) は障害を落下させてしまう馬は **take off** 期においてその後続前肢の膝の屈曲角度が、落下させなかった馬に比べて大きかったと報告しているが、当該実験においては未熟練馬を用い、さらに自由飛越時における動作を分析している事から、障害に向かう段階でのマイナス要因は排除されていなかったと考えられる。

そこで、本研究においては普段からその馬に騎乗している、熟練した騎手を用いて、障害に向かうまでの誘導段階に起こりうるマイナス要因を最小限にした条件下において、障害飛越時の動作分析を行った。

方 法

被験馬は早稲田大学馬術部の馬 2 頭、騎乗者は同大学馬術部男性指導員 2 人 (A : 身長 171cm、体重 75kg、B : 身長 169cm、体重 65kg) であった。被験馬には、障害飛越時に障害物に触れることが多くあり、頻繁に障害を落下させる馬 (A 馬) 、と飛越時に障害を落

下させることが少ない馬（**B馬**）の**2頭**を用いた。人馬の相互的な関係を加味して普段から被験馬に騎乗している騎手を選出したため、騎手**A**は被験馬**A**に騎乗し、騎手**B**は被験馬**B**に騎乗した。

実験は同大学馬術部の練習馬場で行い、高さ**110cm**、幅**100cm**のオクサー障害を飛越中の馬前肢の動きを、**4台**のビデオカメラ（シャッタースピード**1/1000**秒）で撮影した。

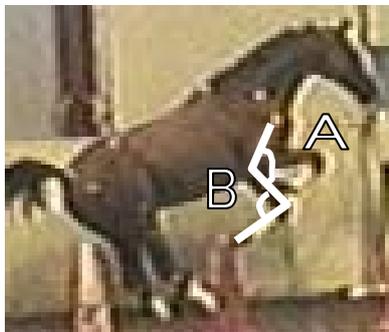
4台のカメラは**POMPA Remote controller**を用いて同期させ、**3D-8mm Video Timer Recorder**（日本事務光機、**60fps**）に記録した。

撮影した**2次元**の映像は**DLT**法を用いて**3次元座標**に変換した。また、前肘関節の midpoint（橈骨下端外側部）、前肘関節の midpoint（上腕骨外側上顆）、上腕部の上端（大結節）の**3点**を結んだものを“右肘の角度**A**”とし、中手骨の下端（第三中手骨下端外側部）、前膝関節の midpoint、前肘関節の midpointの**3点**を結んだものを“右前膝の角度**B**”として算出した（図III-3-1）。

撮影した映像中で障害を落下させた場合（**A馬**）を**2回**、落下させなかった場合（**B馬**）を**2回**、の計**4回**の試行について解析した。

全ての試行は左手前の駈歩（右後肢、左後肢と右前肢、左前肢の順で接地する駈歩）であった。

また、解析期間は障害飛越前の前肢離陸直前から後肢離陸後までとした。



図III-3-1 測定部位
（**A**：右肘、**B**：右前膝）

結 果

右前膝と右肘の角度変化

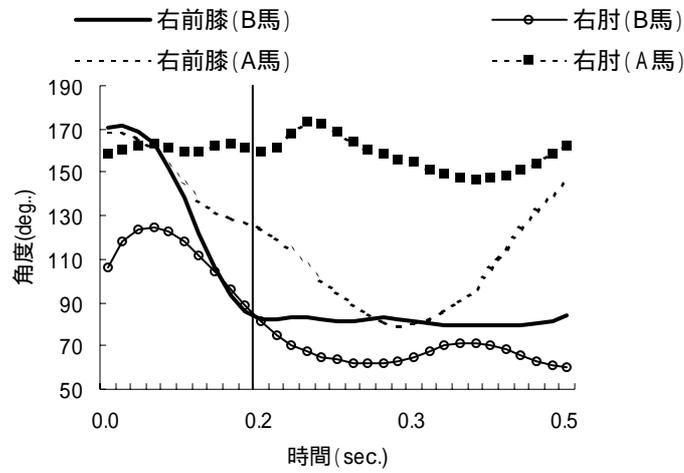
図Ⅲ-3-2に示したように、被験馬 A と被験馬 B の離陸時の右肘の角度変化を比較すると、被験馬 B の右肘の角度は、ほぼ 60° まで屈曲しているのに対して、被験馬 A では、障害に接触した側である右肘角度が、 150° よりも小さくなることはなく、2 頭間の右肘関節角度には大きな差がみられた。

また、右前膝角度変化を比較すると、被験馬 B の右前膝角度は、前肢離陸の約 **0.2sec** 後には屈曲がほぼ完了しているのに対して、被験馬 A では、障害に接触した側である右前膝角度は、前肢離陸後、約 **0.3 sec.** にいたるまで屈曲が完了していなかった。

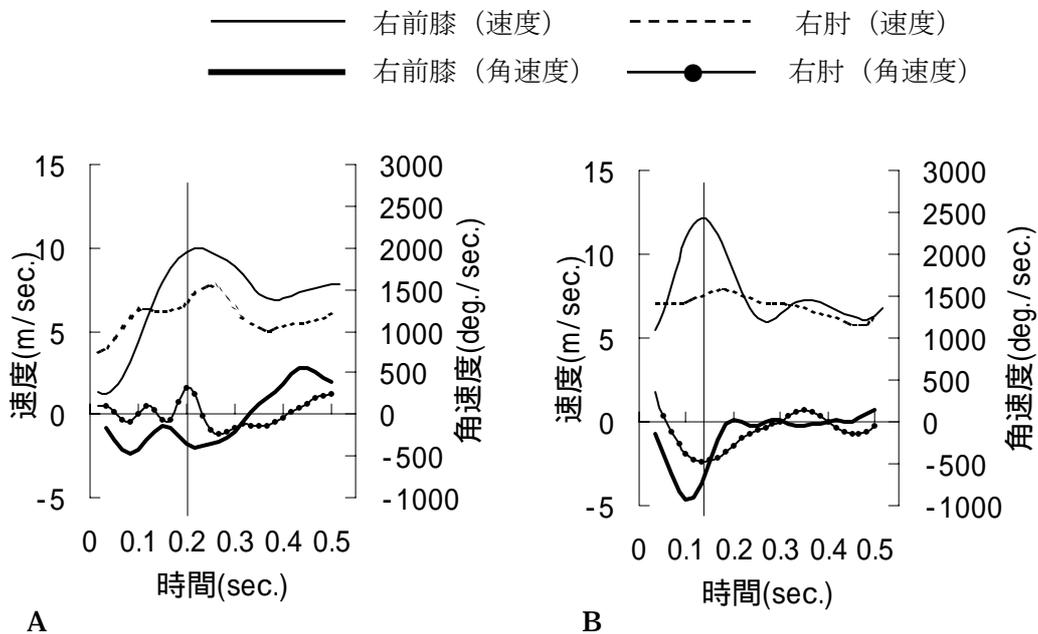
右前膝と右肘の速度および角度変化

右前膝と右肘の速度、および、右前膝と右肘の関節角速度を算出した結果、被験馬 B においては、右前膝角速度が離地 **0.1sec.** 後に最小値 (**-926 deg./sec.**) となり、続いて、離地 **0.13sec.** 後には、それらに連鎖して、右肘の屈曲角速度と右前膝の速度が同時に最大値 (**-465 deg./sec.**) (**12m/sec.**) を示し、さらに、**0.18sec.** 後には右肘の速度が最大となった (図Ⅲ-3-3B)。

しかし被験馬 A においてはそれらのような連鎖は見られず、特に右前膝関節角速度は **-470 deg./sec** から **-143 deg./sec**、**-394 deg./sec** へと大きく変動していた (図Ⅲ-3-3A)。



図Ⅲ-3-2 A馬およびB馬それぞれの右前膝と右肘の角度変化
(0.2secの実線はA馬の障害接触時)



図Ⅲ-3-3 A馬およびB馬それぞれの右前膝と右肘の速度および角速度変化

A : A馬の右前膝と右肘の速度および角速度変化 (0.2secの実線は障害接触時)

B : B馬の右前膝と右肘の速度および角速度変化 (0.13secの実線は右前膝速度及び右肘角速度の最大時)

考 察

図Ⅲ-3-2の結果から、被験馬 A の障害への接触要因として右肘関節の屈曲不足、前膝の屈曲遅れが挙げられた。また、障害を落下させない飛越動作 (B馬) では膝の角速度と速度が連動して最大値になると共に肘の角速度、続いて速度が最大値を示すのに対して、障害を落下させる飛越動作 (A馬) では特に前膝角速度が大きく変動していることから、本実験 A馬での肘関節の屈曲不足が、特に前膝関節の角速度変動と大きく関係していることが考えられた (図Ⅲ-3-3)。

障害を落下させてしまう馬の **take off** 期での後続前肢の膝屈曲角度が、落下させなかった馬に比べて大きかったことの原因として、踏み切り位置が近すぎたためではないかと考察している報告 (Powers 2000) があるが、本研究においては熟練者が騎乗して馬をコントロールした状態で飛越している事から、踏み切り位置のみが原因となって、これら障害を落下させてしまう現象を招いているのではないと考えられる。

馬はスイング期の終期に深指屈筋の筋放電を休止させ、着地の直前には大きな振幅の筋放電を出現させると言われている。また、着地時には球節が背屈するにもかかわらず深指屈筋は活動することや、球節が屈曲する頃には深指屈筋の筋活動は終了してしまっていることから、球節の初期屈曲 (膝屈曲に先行して起こる屈曲) は深指屈筋の活動によるものではなく、屈曲以前に引き延ばされた深指屈筋の張力によって起こっていると言われている (Tokuriki ら 1989)。これらのことから本実験での A馬の膝関節屈曲遅れおよび角速度の変動の要因を考察すると、もっとも大きな因子として、深指屈筋の張力によって起こる屈曲と、すばやいひきつけに大きく関与すると考えられる上腕二頭筋による屈曲 (Wilson ら 2003) がうまく連動していなかったこと等が考えられる。そしてこれらの原因によって障害を落下させてしまう馬に対しては、一般的な騎乗飛越の繰り返しを行うよりも、筋の連動性を高めるようなトレーニングや調教を行っていく事が改善策になると言えるであろう。

まとめ

障害飛越に与える、前肢の動きの影響をみるため、障害を頻繁に落下させる馬と、そうでない馬の動作分析を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 肘の角度変化において、障害を落下させる馬（**150deg.**）は落下させない馬（**60deg.**）と比較して、屈曲角が大きく、十分に屈曲していなかった。
- ② 角度変化において障害を落下させる馬（離地後約 **0.3sec.**）は落下させない馬（離地後約 **0.2sec.**）と比較して屈曲完了時間が遅かった。
- ③ 障害を落下させない馬は右膝-右肘という連動が観察されたが、落下させる馬ではこのような連動が観察されなかった。これは上記①、②を引き起こす要因と考えられた。

IV章 総括

IV-1. 本論文における総合的考察

同じ馬を用いていても、騎手の扶助の違いによって馬の動きは異なる。そこで騎手の姿勢保持能力を見るためには馬に扶助を与えなという同じ条件下の馬に騎乗し、その動作を馬の動きと合わせて測定することが求められる。

第II章の1では、まず馬術上達のための基本条件と思われる、常歩、速歩、駈歩中の騎手の姿勢保持能力に、それらの状況下において熟練度差があるかどうかを比較検討した。

その結果、常歩時での騎手頭頂部の上下方向加速度周波数のばらつき値が、熟練者に比べて未熟練者で大きく ($P < 0.1$)、未熟練者は馬の周期的な動きに対して同調できていないことが明らかとなった。しかし、その時の筋放電周波数帯域別の割合は、未熟練者に比べて、熟練者において相動的な活動をしていた。常歩の動きが見た目よりも実際には複雑な動きである事から熟練者においてこのような相動的な筋活動が見られたとも思われるが、その反面、常歩時における筋電図を用いてその熟練度を比較検討するためには今後更なる研究が必要であると思われる。

また、速歩時における、未熟練者の頭頂部の前後方向加速度周波数分布は、熟練者のそれに比べて有意に ($P < 0.05$) ばらついており、またその時の大内転筋には相動的な活動が見られた。これは未熟練者が、馬の動きを予測できず、崩れてしまったバランスを補って体を馬上に維持するために大内転筋を活動させていたのではないかと推測される。駈歩時においては上下方向、前後方向の加速度に騎手の熟練度による有意差が見られなかった。本実験においては危険防止のため駈歩走行を維持できる程度の技量を持つ被験者を未熟練者として選出したために加速度に差が見られなかったと考えられる。多くの初心者にとって駈歩は同調が難しい歩法の一つであるが、ピッチング動作を繰り返す運動であるために、本実験で用いた未熟練者のように、一度そのリズムを修得して駈歩走行を維持できる程度になると、騎手にとっては速歩よりも対応が容易になるのではないかと推測される。

以上の結果より、騎手の「姿勢保持」能力に熟練度の差が認められることが明らかとなり、特に速歩時においては、頭頂部加速度周波数のばらつきと大内転筋の不適切な筋活動との間に関連性があるのではないかと考えられた。

速歩は、数少ない人馬との同調性を見た研究 (Peham ら 2001) においても取り上げられており、経験的には同調難易度の高い歩法であると言われている。前述のⅡ章のⅡ-1の結果からも、速歩において熟練度の差が現れやすいことが明らかとなった。そこで、続くⅡ章のⅡ-2では速歩時の筋活動を、Ⅱ章のⅡ-3では騎手の動作を、いずれも馬の接地タイミングとあわせて、熟練した騎手を用いて測定・解析した。その結果、すべての被験者の腹直筋、僧帽筋上部、僧帽筋中部、橈側手根屈筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋中部においてピーク 1 とピーク 2 が同じ **phase** で現れ、またその時の標準偏差も小さかった。騎手の筋活動は馬のストライド周期との一貫性があり、馬の動きと同期していることから、それらの筋活動変化が騎手自身の姿勢保持のために用いられていたのではないかと考えられる。

騎手は **mid** から **late stance** 期付近において、前方向に傾き続けていた体幹を方向変換しており (Ⅱ-3)、その時の腹直筋の活動 (Ⅱ-2) とあわせて考えると、馬が下方向から上方方向に動きを変換する期間に騎手上体の前方向への傾きを徐々に起こし、騎手の骨盤を馬の動きに合わせて動かすことによって、馬の上方向への方向変換に同調していることを示していると推測される。またこの筋は、同様に腹圧を高くする腹斜筋の助けを借りて筋膜張力を高め (Tesh ら 1987、Looze ら 1999)、腹腔内の圧を高める働きがある (Cresswell ら 1994) とされているため、方向変換期において脊柱を固定させ、体幹を安定させることにも働いていたのではないかと考えられる。

本研究では、体幹が変動している期間中、騎手は手首をハミに対して同じような位置に安定させるよう試みており、これは馬のストライドと共に体幹が前後に揺れるのに対して、肩関節や肘関節角度を調節することによって手首とハミとの距離を同様に維持するように

調節していたと考えられる。また、上腕二頭筋は **early stance** で屈曲を開始し (II-3)、筋放電 (II-2) していたのに対して上腕三頭筋は **mid stance** 付近で伸展を開始し (II-3)、**late stance** で放電していた。これらの最大筋放電は異なったタイミングで現れており、また屈曲伸展にもパターンが見られた事から、これらに関連性があるのではないかとと思われるが、腹直筋と同様、肘関節角度変化と、これらの筋電図と動作のデータは同時に収集されていないため、これらの関連性を明らかにするためには今後更なる研究が必要である。

次にさまざまな条件下での障害飛越前における馬の動作分析において、III-1 では、高さ **100cm** 障害の騎乗飛越時と自由飛越時における、特に馬の頭部、前肢の動作を中心に測定し、騎手の存在が馬に与える影響について検討した。その結果、障害飛越直前の馬頭部の上下方向と前後方向の位置変化、および速度変化のタイミングは、騎乗飛越、自由飛越の間で大きな差は見られず、障害飛越の **take off** 期における馬頭部動作の重要性が認められた。馬が頭部の速度変換を的確に行うために騎手の存在に対して手前前肢の離地角度を自由飛越時よりも小さくすることによって障害を完飛することを可能にさせていたことから、馬頭部の動きと前肢離地角度の関連性も重要な点である事が示唆された。

また、先行研究同様 (Clayton ら 1989)、馬は飛越直前に前肢間の接地距離を減少させており、これは前述した **take off** 期の頭部の前方向から上方向への方向変換と、後肢がより前方に接地しやすい体勢を作るのに貢献しているのではないかと考えられる。

III-2 では、自由飛越に熟練していない馬と熟練している馬を用いて 3 種類の障害高 (**60cm**、**110cm**、**140cm**) での動作分析を行った。その結果、いずれも障害高が高くなると共に後肢角度の減少傾向が見られた。**lift off** 期における先行後肢と重心との距離は障害飛越において重要な要素のひとつであると報告されている (Colborne ら 1995) 事からも、これら後肢の踏み込みは障害を完飛させるための重要な要因になると考えられる。また、すべての試行において、同様な反手前前肢と手前前肢の速度変化および首角度変化パターンが見られ、これらの動きのタイミングが障害飛越の **take off** 期において前方向の推進力を上方向に方向変換す

る重要な役割を果たしていることが認められた。

しかし、自由飛越に熟練した馬は首-頭部の角度を障害の高さによって調節しているにもかかわらず、自由飛越に熟練していない馬はその角度を障害の高さに対応して変化させておらず、このことから、騎手が手綱やバランスによって馬の首-頭部の動きに影響を与え得る可能性の大きいことが示唆される。

Ⅲ-3 では障害を落下させる馬と落下させない馬との間には反手前前肢の運動連鎖技術に差が存在し、これらは障害を完飛させるためには改善されなければいけない事柄であることが明らかとなった。反手前前肢の素早い引きつけは、上腕二頭筋と大きく関係していると言われていたことから (Wilson ら、2003)、これらを改善していくためには、それらの筋のトレーニング等も含めた調教メニューを立てていく必要もあると考えられる。

障害飛越運動を行っている時の指導者がよく口にする言葉に、「障害前に体を起こす」という言葉がある。本研究の結果とあわせて考えると、これは騎手が体を起こす事によって、馬頭部の方向変換を阻害しない事を意味するのではないかと考えられる。先行研究において障害を完飛するためには **take off** 期の垂直方向の速度が大きく (Clayton ら 1995、1996)、垂直方向の重心位置が高い状態であることが重要である (Powers ら 2002) とされている。これらと本研究の結果を併せて考察すると、障害を完飛するためには障害飛越の **take off** 期に騎手が体を起こす事によって馬の水平方向から垂直方向への方向変換動作を阻害しない事と共に人馬の重心位置を高くし、またその事によって可能となる後肢の踏み込みを十分させ、そしてその後の反手前前肢と手前前肢の連鎖運動および首角度変化などが滞りなく行えるような状況を作ることが重要であると思われる。

最後に、本研究結果から得られた馬術競技における技術的な問題点を整理すれば以下のようになる。

- ・ 歩法の違いによる騎手の姿勢においては、常歩と速歩時には身体の動揺度に熟練度に

よる差が見られ、速歩時にはそれら身体動揺と筋活動様式とに関連性が見られた。したがって、特に速歩時における馬と騎手の同調性技術が重要なテーマの一つであると思われる。

- また速歩時の騎手の技術においては、馬の体幹から受ける影響に対して馬のハミと騎手の手の距離を一定に保つための相殺技術もポイントの一つとなる。
- 障害飛越時の馬の動作に関しては、馬頭部の動きと肢の離地角度が重要なポイントとなるばかりでなく、騎乗飛越時には馬自身が離地角度をコントロールしていることが考えられ、障害飛越前における騎手のポジショニングの重要性が認められた。
- 飛越直前に馬は前肢および頭と首の先行振り上げと共に、巧妙に頭・首部の角度を調節しているが、障害飛越に未熟練の馬ではそのための騎手の馬に対する援助も有効であると考えられる。また、障害を落下させる馬では前肢の屈曲連動動作に問題が生じていることが明らかとなり、それらから飛越トレーニング法における一つの示唆が得られた。

以上のような諸点は、馬自身の効果的な動きのトレーニングに加えて、騎手の適切な姿勢コントロールによる馬に対する適切な援助技術に示唆を与えるものであって、「人馬の調和」を目標とした科学的な騎乗法の開発に寄与できるものと思われる。

IV-2 本論文のまとめ

本論文各章の結果をまとめると以下ようになる。

II-1 では、熟練者と未熟練者の姿勢保持能力の差、及び筋力発揮との関連について検証するため、未熟練者 3 名、ならびに熟練者 3 名を被験者とし、常歩、速歩、および駈歩の 3 種類の歩法中における腹直筋、脊柱起立筋および大内転筋の筋活動、および各被験者の頭頂部の加速度を測定した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 常歩時では上下方向、速歩時では前後方向において、熟練者の加速度波形周波数分布のばらつき値が未熟練者に比べて小さかった事から、騎手の「姿勢保持」能力に熟練度の差が認められることが明らかとなった。
- ② 速歩時において、未熟練者は、前後方向頭頂部の揺れから見られる姿勢のずれを、大内転筋の活動によって補正しようとしていると考えられた。

II-2 では、速歩時における、適切な騎手の筋放電パターンを明らかにするため、熟練した被験者 6 名により、速歩走行中における 12 の筋群の筋電図を測定した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① **stance phase** の初期には僧帽筋上部、および中部、三角筋中部、橈側手根屈筋が活動しており、これは首、肩甲骨および手首を馬の接地時における衝撃や手綱の張力に対して安定させるために用いられていると考えられた。
- ② **mid stance** には腹直筋が体幹を安定させるために活動しており、またこれらの筋は、骨盤を馬に合わせて前上方に動かすためにも用いられているのではないかと考えられた。
- ③ 上腕二頭筋は **early stance** に活動しており、**late stance** に活動していた上腕三頭筋とは交互のタイミングで活動していた。これらはハミに対する手首の位置を一定にするために肘を曲げ伸ばししていたためであると考えられた。

Ⅱ-3 では、速歩走行に同調するための騎手動作を調べるために、熟練した被験者 6 名を用いて、騎手の体幹と上肢の動作に着目して人馬の動作分析を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 騎手は馬が下降を開始した後も上昇を続けていたが、馬が最低地点に到達するのと同時に騎手も最低地点に到達していた。
- ② 騎手は馬の動きから受ける体幹の前後のゆれに対して肩関節および肘関節を屈伸させることによって、ハミと手首との距離を一定にしていることが明らかとなった。

Ⅲ-1 では、騎手の存在自体が、馬の動きに与える影響をみるため、上級学生騎手 2 名と健康な被験馬 2 頭を用いて、飛越直前における馬と騎手の動作を分析し、比較検討した。その結果、以下のようにまとめられた。

- ① 障害飛越直前の馬頭部の上下方向の位置変化では、従来の報告（天野ら 1992）に見られる疾走時の変化とは異なり、頭部は前肢離地後も上方向へ移行していた。
- ② 障害飛越直前の馬頭部の上下方向の位置変化および速度変化のタイミングは、騎乗飛越、自由飛越の間で大きな差は見られなかった。
- ③ 自由飛越時に比べて騎乗飛越時では、馬が事前に騎手の影響を予測して、より小さな離地角度から離地し、頭部の動きに大きな影響を与えることなく、障害を完飛できるような馬自身がコントロールしていたことが推測された。

Ⅲ-2 では、馬の熟練度による飛越動作の違いをみるため、騎乗飛越時、自由飛越時における障害前の前膝・鼻先・首の軌跡および速度、後肢関節角度、首・頭部間の角度および角速度の変化を測定し、検討した結果、以下のことが明らかになった。

- ① 障害飛越直前における馬の手前前肢と首の先行振り上げは、前方向の推進力を上方向に方向

変換する役割を果たしていた。

- ② 後肢接地中の首・頭部間角度増加は、首の方向指示に貢献していると考えられた。
- ③ 障害の高さが高くなると馬は、踏み切り時の球節関節角度、飛節関節角度、後膝関節角度などを小さくしてより大きな筋および腱の力を引き出していると考えられた。
- ④ 自由飛越に熟練してない馬においては、障害の高さの変化に対応した、首・頭部間の角度調節ができていなかった事から、首・頭部間の角度の調節に関しては、騎手の援助が可能であることが示唆された。

Ⅲ-3 では、障害飛越に与える、前肢の動きの影響をみるため、障害を頻繁に落下する馬と、そうでない馬の動作分析を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 肘の角度変化において、障害を落下させる馬（**150deg.**）は落下させない馬（**60deg.**）と比較して、屈曲角が大きく、十分に屈曲していなかった。
- ② 角度変化において障害を落下させる馬（離地後約 **0.3sec.**）は落下させない馬（離地後約 **0.2sec.**）と比較して屈曲完了時間が遅かった。
- ③ 障害を落下させない馬は右膝-右肘という連動が観察されたが、落下させる馬ではこのような連動が観察されなかった。これは上記①、②を引き起こす要因と考えられた。

IV-3 今後の課題

本論文では、騎手、および騎手と馬との関係を、バイオメカニクスの的に分析研究することにより、騎手の動き、馬の動き、さらには騎手と馬との相互関係を明らかにした。本論文におけるいくつかの実験を通して、馬術競技の技術指導書等で説明されている事柄や、人馬の相互的な関係について、いくつかの点において科学的な裏づけを与えることができた。しかし、馬術競技は、人と馬という動物と人間の一体化が求められる特殊なスポーツであるため、さまざまな現象の因果関係が輻輳しており、少数の要因では解明できない部分が多いのも事実である。

そのため今後においては、多数の測定項目を同時に測定することができる総合的分析法を開発することによって、馬と騎手の動作を同時に記録して分析し、両者の動きの関係を正確に把握する必要があるだろう。したがって、そのような方法によれば本研究で得られた問題点に関しても総合的・多角的な分析が可能となり、「人馬の調和」という観点からその問題点をさらに発展させることが可能であり、科学的な騎乗法開発に一步近づくことができると思われる。

謝辞

本論文の作成にあたり、懇切なご指導を頂きました早稲田大学スポーツ科学部教授 加藤清忠先生、**Michigan State University McPhail Equine Performance Center Chair, Dr. Hilary Clayton** そして同研究所の **Research Associate, Dr. David Mullineaux** に深甚の謝意を表します。

また、本論文中の研究を行うに際し、**Mary Anne and Walter McPhail endowment** の援助を賜りましたことに対し、深謝いたします。

そして、本研究の実験にあたり、被験者、被験馬、および検者となって頂きました日本中央競馬会馬事公苑の方々、早稲田大学馬術部の方々、および **Michigan State University McPhail Equine Performance Center** の院生や研究生の皆様に心から感謝いたします。

本論文の内容の一部は以下の学術論文および学術大会において公表された。

《学術論文》

Terada, K.: 2000 Comparison of Head Movement and EMG Activity of Muscles Between Advanced and Novice Horseback Riders at Different Gait. Journal of Equine Science, 12(4), 83-90.

Terada, K., Mullineaux, D. R., Lanovaz, J., Kato K. and Clayton, H. M.: 2004 Electromyographic Analysis of the Rider's Muscles at Trot. Equine and Comparative Exercise Physiology, 1(3), 193-198.

寺田佳代, 加藤清忠: 2002 馬術競技の障害飛越動作における人馬の動作解析. 体育学研究, 第 47 卷 2 号, 163-172.

《学会報告》

寺田佳代, 永田 晟, 久我晃広: 乗馬中の馬体と騎手の同調性. 第 51 回日本体力医学会大会, 1996.

寺田佳代, 永田 晟, 久我晃広: 乗馬における人馬の相互相関関係. 第 52 回日本体力医学会大会, 1997.

Terada, K., Mullineaux, D. R., Lanovaz, J., Kato K. and Clayton, H. M. : Relative motion between the rider and horse at trot. 5th International Conference on Equine Locomotion, 2004.

寺田佳代, 永田 晟, 久我晃広: 馬術競技の障害飛越動作における人馬のタイミング制御. 第 13 回日本バイオメカニクス学会, 1996.

Terada, K., Nagata, A. and Kuga, A.: Motion analysis at clearance the fence during the show jumping. XVIth Congress of the International Society of Biomechanics, 1997.

寺田佳代, 永田 晟: 障害飛越直前の馬の前肢・頭部・頸部の先行動作. 第 14 回日本バイオメカニクス学会, 1998.

寺田佳代, 永田 晟, 加藤清忠, 小林寛道: 馬術競技における障害飛越時の動作特性. 第 50 回日本体育学会大会, 1999.

参考文献

天野勝弘・石井喜八 (1992) 「乗り物」としての馬のバイオメカニクス. *J. J. Sports Sci.* 11-1: 6-11.

Araujo, R. C., Duarte, M. and Amadio, A. C. (2000) On the inter-and intra-subject variability of the electromyographic signal in isometric contractions. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 40: 225-229.

Argue, C. K. and Clayton, H. M. (1993) A preliminary study of transitions between the walk and trot in dressage horses. *Acta Anat.* 146: 179-182.

Auvinet, B., Coureau, C. and Galloux, P. (1996) Welfare of sport horses; Role of the rider. *Pferdeheilkunde* 12: 393-396.

Back, W., Barneveld, A., van Weeren, P. R. and van den Bogert, A. J. (1993) Kinematic gait analysis in equine carpal lameness. *Acta Anat.* 146: 86-89.

Back, W., Schamhardt, H. C. and Barneveld, A. (1996) The influence of conformation on fore and hind limb kinematics of the trotting Dutch Warmblood horse. *Pferdeheilkunde* 12: 647-650.

Bauer, J. A., Thomas, T., Cauraugh, J. H., Kaminski, T. W. and Hass, C. J. (2001) Impact forces and neck muscle activity in heading by collegiate female soccer players. *Journal of Sports Sciences* 19: 171-179.

Barrey, E. and Desbrosse, F. (1996) Lameness detection using an accelerometric device. *Pferdeheilkunde* 12: 617-622.

Barrey, E. and Galloux, P. (1997) Analysis of the equine jumping technique by accelerometry. *Equine Vet. J., Suppl.* 23: 45-49.

Barrey, E., Desliens, F., Poirel, D., Biau, S., Lemaire, S., Rivero, J. L. and Langlois, B. (2002) Early evaluation of dressage ability in different breeds. *Equine Vet. J., Suppl.* 34: 319-324.

Berrey, E., Hermelin, M., Vaudelin, J. L., Poirel, D. and Valette, J. P. (1994) Utilisation of an accelerometric device in equine gait analysis. *Equine Vet. J., Suppl.* 17: 7-12.

Buchner, F., Kastner, J., Girtler, D. and Knezevic, P. F. (1993) Quantification of hind limb lameness in the horse. *Acta Anat.* 146: 196-199.

Buchner, H. H. F., Obermüller, S. and Scheidl, M. (2001) Body center of mass movement in the lame horse. *Equine Vet. J., Suppl.* 33: 122-127.

Buchner, H. H. F., Savelberg, H. H. C. M., Schamhardt, H. C. and Barneveld, A. (1995) Bilateral Lameness in Horses-A kinematic Study. *Vet. Quartely.* 17: 103-105.

Buchner, H. H. F., Savelberg, H. H. C. M., Schamhardt, H. C. and Barneveld, A. (1996) Head and trunk movement adaptation in horses with experimentally induced fore- or hindlimb lameness. *Equine Vet. J.* 28(1): 71-76.

Clayton, H. M. (1996) Time-motion analysis in the sport of dressage. *Pferdeheilkunde* 12: 671-678.

Clayton, H. M. and Barlow, D. A. (1989) The effect of fence height and width on the limb placement of show jumping horses. *Equine Vet. Sci.* 9(4): 179-185.

Clayton, H. M., Colborne, G. R. and Burns, T. E. (1995) Kinematic analysis of successful and unsuccessful attempts to clear a water jump. *Equine Vet. J., Suppl.* 18: 166-169.

Clayton, H. M., Colborne, G. R., Lanovas, J. and Burns, T. E. (1996) Linear kinematics of water jumping in Olympic show jumpers. *Pferdeheilkunde* 12: 657-660.

Clayton, H. M., Lanovaz, J. L., Schamhardt, H. C. and van Wessum, R. (1999) The effects of a rider's mass on ground reaction forces and fetlock kinematics at the trot. *Equine Vet. J., Suppl.* 30: 218-221.

Colborne, G. R., Clayton, H. M. and Lanovaz, J. (1995) Factors that influence vertical velocity during take off over a water jump. *Equine Vet. J., Suppl.* 18: 138-140.

Cresswell, A. G., Oddsson, L. and Thorstensson, A. (1994) The influence of sudden perturbations on trunk muscle activity and intra abdominal pressure while standing. *Experimental Brain Research* 98: 336-341.

Dietze, D. V. (1999) Balance in movement the seat of the rider. Vermont, U.S.: Trafalgar Square Publishing, pp63-84.

Drevemo, S., Roepstorff, L., Kallings, P. and Johnstone, C. J. (1993) Application of trackeye in equine locomotion research. *Acta Anat.* 146: 137-140.

Faber, M., Schamhardt, H. C., van Weeren, P. R., Roepstorff, L. and Barneveld, A. (2001) Three-dimensional kinematics of the equine spine during canter. *Equine Vet. J., Suppl.* 33: 145-149.

Farina, D., Merletti, R., Indino, B. and Nazzaro, M. (2002) Surface EMG crosstalk between knee extensor muscles; experimental and model results. *Muscle & Nerve* 26: 681-695.

Ferlazzo, A., Aronica, E., Di Majo, R. Medica, P. and Grasso, L. (1998) Circulating concentrations of β -endorphin, ACTH and cortisol in horses after jumping over fences of different size. Lindner, A. (Ed.) *Conference on Equine Sports Medicine and Science*: 53-56, Wageningen Pers, Netherlands.

Galloux, P., Richard, N., Dronka, T., Leard, M., Perrot, A., Jouffroy, J. L. and Cholet, A. (1994) Analysis of equine gait using three-dimensional accelerometers fixed on the saddle. *Equine Vet. J., Suppl.* 17: 44-47.

Giovagnoli, G., Reitano, M. and Silvestrelli, M. (2002) Horse and rider interactions during canter, stops and starts. *The Elite Dressage and Three-Day-Event Horse*. Linder, A. (Ed.): 129-132.

Haussler, K. K., Bertram, J. E. A., Gellman, K. and Hermanson, J. W. (2001) Segmental in vivo vertebral kinematics at the walk, trot and canter: a preliminary study. *Equine Vet. J., Suppl.* 33: 160-164.

Hislop, H. J. and Montgomery, J. (2002) Daniels and Worthingham's Muscle Testing: Techniques of Manual Examination. Philadelphia, PA: WB Saunders Company.

Holmström, M., Fredricson, I. and Drevemo, S. (1994) Biokinematic differences between riding horses judged as good and poor at the trot. *Equine vet. J., Suppl.* 17: 51-56.

Holmström, M., Magnusson, L. E. and Phipsson, J. (1990) Variation in conformation of Swedish Warmblood horses and conformational characteristics of elite sport horses. *Equine Vet. J.* 22: 186-193.

Hoppenfeld, S. (1976) Physical Examination of the Spine and Extremities. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

石井喜八 (1989) 馬の走運動の運動学的分析. 競走馬総合研究所報告. 26: 1-9.

石井喜八 (1990) 競走馬の走行フォームに関する研究. 日本中央競馬界委託研究報告書.

Keegan, K. G., Wilson, D. J., Wilson, D. A., Frankeny, R. L., Loch, W. E. and Smith, B. (1997) Effect of anesthesia of the palmar digital nerves on kinematic gait analysis in horses with and without navicular disease. *Am. J. Vet. Res.* 58(3): 218-223.

Keshner, E. A. (2003) Head-trunk coordination during linear anterior-posterior translations. *J. Neurophysiol.* 89: 1891-1901.

Leach, D. H., Ormrod, K. and Clayton, H. M. (1984) Standardised terminology for the description and analysis of equine locomotion. *Equine Vet. J.* 16: 522-528.

Licka, T. Peham, C. and Zohmann, E. (2001) Range of back movement at trot in horses without back pain. *Equine Vet. J., Suppl.* 33: 150-153.

Looze, M. P., Groen, H., Horemans, H., Kingma, I. and Dieën, J. H. (1999) Abdominal muscles contribute in a minor way to peak spinal compression in lifting. *Journal of Biomechanics* 32: 655-662.

Miro, F., Morales, J. L., Garcia-Palma, G. and Galisteo, A. M. (1996) Collection in the passage and piaffe of Spanish Purebred horse. A preliminary report. *Pferdeheilkunde* 12: 693-697.

Morales, J. L., Manchado, M., Vivo, J., Galisteo, A. M., Agüera, E. and Miró, F. (1998) Angular kinematic patterns of limbs in elite and riding horses at trot. *Equine Vet. J.* 30(6): 528-533.

Moseley, J. B., Jobe, F. W., Pink, M., Perry, J. and Tibone, J. (1992) EMG analysis of the scapular muscles during a shoulder rehabilitation program. *The American Journal of Sports Medicine* 20: 128-134.

Müller, E. and Schwameder, H. (2003) Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski-jumping. *J. Sports Sci.* 21: 679-692.

Nagata, A. (1993) The muscle and the science of the muscle - the spectrum analysis of the muscle shrinking -. 3rd, Fumido, Tokyo.

仁木陽子, 上田八尋, 益満宏行 (1984) 床反力による馬の動作解析—駢歩時の垂直、前後分力波形と馬体動作との関連性. 日競研報, 21: 8-18.

Patla, A. E. (1993) Age-related changes in visually guided locomotion over different terrains: major issues. In: Stelmach, G. E. and Hömberg, V. (Ed.) *Sensorimotor Impairment in the Elderly*. Dordrecht, Netherlands: Kulwer Academic Publishers, pp. 231-252.

Paton, M. E. and Brown, J. M. M. (1995) Function differentiation within latissimus dorsi. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 35: 301-309.

Peham, C., Licka, T., Kapaun, M. and Scheidl, M. (2001) A new method to quantify harmony of the horse-rider system in dressage. *Sports Engineering* 4: 95-101.

Powers, P. N. R. (2000) A study on the techniques used by untrained horses during loose jumping. *J. Equine Vet. Sci.* 20: 845-850.

Powers, P. N. R. and Harrison, A. J. (2002) Effect of the rider on the linear kinematics of jumping horses. *Sports Biomech.* 1: 135-146.

Powers, P. N. R. and Harrison, A. J. (2004) Influences of a rider on the rotation of the horse-rider system during jumping. *Equine and Comparative Exercise Physiology.* 1: 33-40.

Schamhardt, H. C., Merkens, H. W., Vogel, V. and Willekens, Charlotte. (1993) External loads on the limbs of jumping horses at take-off and landing. *Am. J. Vet. Res.* 54: 675-680.

Schamhardt, H. C., Merkens, H. W. and Van Osch, G. J. V. M (1991) Ground reaction force analysis of horse ridden at the walk and trot. *Equine Exerc Physiol* 3: 120-127.

Schils, S. J., Greer, N. L., Stoner, L. J. and Kobluk, C. N. (1993) Kinematic analysis of the equestrian-walk, posting trot and sitting trot. *Hum. Mov. Sci.* 12: 693-712.

Sivewright, M. (1979) *Thinking riding*. 5th ed, J. A. Allen, London.

Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M. M., Barneveld, A. and Schamhardt, H. C. (1995) Effects of weight and riding on workload and locomotion during treadmill exercise. *Equine vet. J., Suppl.* 18: 413-417.

Springs, E. and Leach, D. (1986) Standardised technique for determining the centre of gravity of body and limb segments of horses. *Equine Vet. J.* 18(1): 43-49.

Summerley, H. L., Thomason, J. J. and Bignell, W. W. (1998) Effect of rider and riding style on deformation of the front hoof wall in Warmblood horses. *Equine Vet. J., Suppl.* 26: 81-85.

Terada, K. (2000) Comparison of head movement and EMG activity of muscles between advanced and novice horseback riders at different gaits. *J. Equine Sci.* 11: 83-90.

Terada, K. and Nagata, A. (1997) The fence condition during show jumping in horse. Waseda University the annual report of physical education (*Waseda Univ. The annual report of Physi. Edu.*) 29: 29-35.

Terada, K., Mullineaux, D. R., Lanovaz, J., Kato, K. and Clayton, H. M. (2004) Electromyographic analysis of the rider's muscles at trot. *Equine Compar. Exerc. Physiol.* 1: 193-198.

Tesh K. M., Dunn, J. S. and Evans, J. H. (1987) The abdominal muscles and vertebral stability. *Spine* 12: 501-508.

Tokuriki, M. and Aoki, O. (1995) Electromyographic activity of the hindlimb muscles during the walk, trot and canter. *Equine Vet. J., Suppl.* 18: 152-155.

Tokuriki, M., Aoki, O., Niki, Y., Kurakawa, Y., Hataya, M. and Kita, T. (1989) Electromyographic activity of cubital joint muscles in horses during locomotion. *Am. J. Vet. Res.* 50: 950-957.

Van den Bogert, A. J., Jansen, Margot O., Deuel, Nancy R. (1994) Kinematics of the hind limb push-off in elite show jumping horses. *Equine Vet. J., Suppl.* 17: 80-86.

Van Weeren, P. R., van den Bogert, A. J., Back, W., Bruin, G. and Barneveld, A. (1993) Kinematics of the Standardbred Trotter measured at 6,7,8 and 9m/s on a treadmill, before and after 5 months of prerace training. *Acta. Anat.* 146: 154-161.

Van Woensel, W. and Arwert, H. (1993) Effects of external load and abduction angle on EMG level of shoulder muscles during isometric action. *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 33: 185-191.

Vorstenbosch, M. A. T. M., Buchner, H. H. F., Savelberg, H. H. C. M., Schamhardt, H. C. and Barneveld, A. (1997) Modeling study of compensatory head movements in lame horses. *Am. J. Vet. Res.* 58(7): 713-718.

Weishaupt, M. A., Wiestner, T., Hogg, H. P., Jordan, P., Auer, J. A., Barrey, E. (2001) Assessment of gait irregularities in the horse: eye vs. gait analysis. *Equine Vet. J., Suppl.* 33: 135-40.

Wilson, A. M. and Watson, Johanna C. (2003) A catapult action for rapid limb protraction. *Nature* 421: 35-36.