

削装蹄の馬の前肢運動におよぼす
影響に関する実験運動学的研究

主論文要旨

中馬昌平

指導教授 北 昂

現在、我が国における馬の削装蹄の基本的な原則は、「趾軸」説と「蹄の坐り」説との両者に基礎を置いている。その目的は、肢蹄の保護、運動能力の向上、各種運動器疾患の治療などである。また、削装蹄実施上の留意事項としては、蹄機作用を保護するために、蹄鉄への剩縁、剩尾の設置や蹄釘の設置部位の制限が行なわれ、また、筋や腱を保護するために、蹄鉄への上彎の設置が行なわれている。しかし、これらの諸説は、いずれもその大部分を経験上から説明しており、その実証は、ほとんど行われていない。

そこで、装蹄が馬の前肢の運動と前蹄の蹄壁におよぼす影響について実験的に検討した。

実験には、正常な歩行を有する乗用馬2頭を用いた。実験馬の前蹄には、跣蹄、4本の蹄釘を内外蹄側壁に用いて装着した平坦な通常蹄鉄、8本の蹄釘を内外の蹄側から蹄踵壁に用いて装着した平坦な通常蹄鉄、4本の蹄釘を内外蹄側壁に用いて装着した上彎を有する通常蹄鉄、削蹄、以上の5つの条件を負荷した。実験馬にはこれらの条件下で、平坦、硬固なアスファルト路面上の、騎乗による常歩、速歩、駈歩を負荷した。歩行中の実験馬の左前肢について、16mm cine film の撮影、ひずみ計による蹄壁のひずみ測定、試作変位計による蹄踵部の側方変位の測定を行った。動作分析のための前肢の測定点は、肩甲骨棘突起の上1/3の部位、肩関節、肘関節、球節、側望繫軸と蹄冠との交点、である。また、蹄壁のひずみの測定部位は、蹄尖壁、内外蹄側壁、内外蹄踵壁それぞれの上部和下部である。その測定方向は、角細管に一致する方向（便宜上 Vertical 方向）と、これに直交する方向（便宜上 Horizontal 方向）との二方向である。炭素粉末を利用した試作変位計は、金属螺子により内外蹄踵間に装着した。

検討の結果、次の成績が得られた。

I 装蹄の前肢運動におよぼす影響

(1) 平坦な通常蹄鉄による影響

跣蹄時に比較して、次のような相異が明らかにされた。

手根関節の離地期末期における上下方向への加速度変動範囲が、駈歩の手前肢と反手前肢で増大した。その差は、Case 1では、手前肢で 2900 cm/sec^2 反手前肢で 1650 cm/sec^2 であり、Case 2では、手前肢で 3500 cm/sec^2 、反手前肢で 2050 cm/sec^2 であった。

球節の離地期における屈曲が増大した。その差は、Case 1では、常歩で 7° 、速歩で 4° 、駈歩の手前肢で 12° 、反手前肢で 2° であり、Case 2では、常歩で 8° 、速歩で 4° 、駈歩の手前肢で 11° 、反手前肢で 5° であった。

肢の下方の関節、殊に球節の離地期末期における腹屈方向の角加速度が、駈歩の手前肢、反手前肢で増加した。その差は、Case 1では、手前肢で $5000^\circ/\text{sec}^2$ 、反手前肢で $2000^\circ/\text{sec}^2$ であり、Case 2では、手前肢で $1000^\circ/\text{sec}^2$ 、反手前肢で $6000^\circ/\text{sec}^2$ であった。

蹄の着地時における滑走が、常歩を除く他の歩法で出現した。(Fig.121)

(2) 蹄釘の蹄踵部への設置による影響

蹄釘を、蹄側部へ設置した場合と比較して、次のような相異が明らかにされた。

蹄冠の離地時における前方への加速度が、速歩ならびに駢歩の反手前肢で減少した。その差は、Case 1 では、速歩で 200 cm/sec^2 、駢歩の反手前肢で 1100 cm/sec^2 であり、Case 2 では、速歩で 1100 cm/sec^2 、駢歩の反手前肢で 900 cm/sec^2 であった。

蹄冠の離地期末期における後方への加速度が速歩ならびに駢歩の反手前肢で増加した。その差は、Case 1 では、速歩で 1000 cm/sec^2 、駢歩の反手前肢で 400 cm/sec^2 であり、Case 2 では、速歩で 500 cm/sec^2 、駢歩の反手前肢で 2400 cm/sec^2 であった。

球節の離地期初期における背屈方向への角加速度が、常歩を除く他の歩法で増加した。その差は、Case 1 では、速歩で $4500^\circ/\text{sec}^2$ 、駢歩の手前肢で $5000^\circ/\text{sec}^2$ 、反手前肢で $12500^\circ/\text{sec}^2$ であり、Case 2 では、速歩で $7500^\circ/\text{sec}^2$ 、駢歩の手前肢で $7000^\circ/\text{sec}^2$ 、反手前肢で $3500^\circ/\text{sec}^2$ であった。

(3) 上彎による影響

平坦な蹄鉄に比べて、次のような相異が明らかにされた。

蹄冠の離地初期における前方への加速度が、速歩ならびに駢歩の反手前肢で増加した。その差は、Case 1 では、速歩で 900 cm/sec^2 、駢歩の反手前肢で 1000 cm/sec^2 であり、Case 2 では、速歩で 2300 cm/sec^2 、駢歩の反手前肢で 800 cm/sec^2 であった。

球節の離地期末期の腹屈方向への角加速度が、駢歩の手前肢ならびに反手前肢で増加した。その差は、Case 1 では、手前肢で $6000^\circ/\text{sec}^2$ 、反手前肢で $9750^\circ/\text{sec}^2$ であり、Case 2 では、手前肢で $6000^\circ/\text{sec}^2$ 、反手前肢で $3000^\circ/\text{sec}^2$ であった。

II 削装蹄の前蹄壁におよぼす影響

(1) 平坦な通常蹄鉄による影響

跣蹄時 (Fig.209) に比較して次のような相異が明らかにされた。

蹄尖壁を除く蹄壁各部、殊に外蹄側壁、内蹄踵壁で、Vertical 方向のひずみ波形が相異なる傾向が認められた (Fig.225)。また、その特徴的な現象として、波形の位相が相異なる傾向を認めた。内外蹄側壁の Horizontal 方向、ならびに、蹄尖壁の Vertical 方向のひずみ量について検討した結果、Table 2, Table 3, Table 5 に示す通りそれらいずれも、概ね、減少する傾向が認められた。

(2) 蹄釘の蹄踵部への設置による影響

蹄釘を蹄側部へ設置した場合 (Fig. 225) と比較して次のような相異が明らかにされた。

蹄壁各部のひずみについて検討した結果、蹄壁全体に亘り、ひずみ波形の相異が認められた。また、その特徴的現象として、蹄尖壁の Vertical 方向、ならびに内外蹄側壁の Horizontal 方向のひずみ波形では、離地時における一過性のひずみが著しく減少、もしくは消失した (Fig. 217)。内外蹄側壁の Horizontal 方向のひずみ量について検討した結果、Table 2, Table 3 に示す通り、それらいずれも、概ね、減少する傾向が認められた。

内外の蹄踵部の側方変位について検討した結果、4本の蹄釘を内外の蹄側壁に用いた装鉄蹄では、蹄踵部は、着地期初期から中期にかけて開張し、離地時には狭窄することが示された。この蹄踵部の着地後の開張は、蹄踵部への蹄釘の設置により、常歩、速歩では早期に、かつ急激に発現することが示された (Fig. 245, Fig. 246)。また、その変位量は、Table 4 に示す通りいずれの歩法においても、概ね、減少する傾向が認められた。

(3) 上彎による影響

平坦な蹄鉄 (Fig. 225) に比較して、次のような相異が明らかにされた。

蹄壁全体に亘り、ひずみ波形の相異が認められた。また、その特徴的現象として、蹄尖壁の Vertical 方向、ならびに内外蹄側壁の Horizontal 方向のひずみ波形では、離地時における一過性のひずみが、著しく減少、もしくは消失した (Fig. 233)。さらに、外蹄側壁の Vertical 方向のひずみ波形では、波形の位相が相異なる傾向を認めた。蹄尖壁の Vertical 方向のひずみ量について検討した結果、Table 5 に示す通り概ね、減少する傾向が認められた。

(4) 削蹄による影響

削蹄の前後で蹄壁の長さが異なることから、削蹄後のひずみ測定部位として、削蹄前の測定部位と相対的な位置関係を有する部位、ならびに削蹄前の測定部位と同一部位とを決定した。これら各々について検討した結果、削蹄後の二通りの部位におけるひずみ波形は、互いにほぼ類似した。しかし、削蹄前と削蹄後とのひずみ波形の比較では、内外蹄側壁の Vertical 方向のひずみに、波形の位相の相異が認められた (Fig. 241)。蹄尖壁の Vertical 方向ならびに Horizontal 方向のひずみ量について検討した結果、Table 6 に示す通り Vertical 方向のひずみ量は、削蹄後における削蹄前の測定部位と相対的な位置関係を有する部位で最も大きく、次いで、削蹄後における削蹄前の測定部位と同一部位、削蹄前における測定部位の順であった。また、Horizontal 方向のひずみ量は、削蹄後における削蹄前の測定部位と相対的な位置関係を有する部位で最も大きく、次いで、削蹄前における測定部位、削蹄後における削蹄前の測定部位と同一部位の順であった。

以上の各所見から、装蹄による前肢の運動の変化は、離地と着地を含む離地期全般において認められ、また、肢の下方に至るほど顕著であり、主として動きの量的な相異であることが明らかにされた。これらの事実は、連鎖機構としての肢関節の運動特性に深い関連性を有するものと考えられ

た。また、装蹄の前肢運動におよぼす影響は、蹄鉄の磨擦係数、蹄鉄の重量、蹄釘の使用による蹄踵の弾発性の阻害、上彎による蹄の離地反回の推進、などが関与するものと推察された。

削装蹄による前蹄壁への影響は、離地を含む着地期全般に亘り、蹄壁全体に認められ、結果として、装削蹄は、蹄壁各部における緊張、弛緩などの力学的なストレスに影響を与えることが明らかにされた。すなわち、蹄鉄の装着、蹄釘の蹄踵部への設置、上彎、削蹄などによって、体重負脱に伴う蹄固有の変形状態が相異し、それに伴い蹄壁の内部応力の分布が相異なるものと推察された。

Table 2 The maximum values of strain.

CASE 1	HORIZONTAL DATA (unit: μ strain)			
	L Q Upper P.	L Q Lower P.	M Q Upper P.	M Q Lower P.
Exp. 1	4250±437	1590±268	3790±384	2110±119
Exp. 2	3390±223	1810±119	3900±397	2280±139
Exp. 3	4130±240	1180±161	3110±207	2970±200
Exp. 1	6370±581	2110±260	3990±542	2530±437
Exp. 2	5020±225	2470±323	2940±554	2620±428
Exp. 3	5490±137	2430±426	3560±227	3290±495
Exp. 1	4250±736	1560±435	5400±437	3950±424
Exp. 2	3880±482	2460±668	4210±465	3800±748
Exp. 3	4080±466	1210±303	5040±416	4410±255
Exp. 1	6460±697	2340±245	5790±530	4260±362
Exp. 2	5250±254	3040±819	5050±250	4190±542
Exp. 3	6420±322	3280±711	4320±742	4260±377

Values are mean and SD.

Table 3 The maximum values of strain.

CASE 2	HORIZONTAL DATA (unit: μ strain)					
	L Q Upper P.	L Q Lower P.	M Q Upper P.	M Q Lower P.	L Q Upper P.	M Q Lower P.
Exp. 1	3590±213	2510±406	3060±189	1660±245		
Exp. 2	2610±73	1650±117	2970±271	1130±94		
Exp. 3	3390±144	1980±181	2950±232	1590±144		
Exp. 1	4880±282	3840±587	3660±245	2180±391		
Exp. 2	3400±343	2490±510	3210±196	1590±317		
Exp. 3	3800±374	3230±333	3890±268	1860±195		
Exp. 1	4740±330	3450±403	4070±490	2170±326		
Exp. 2	3710±357	2050±227	2800±278	1200±400		
Exp. 3	3850±386	2780±315	3570±290	1590±242		
Exp. 1	5370±736	4100±620	4120±493	3080±522		
Exp. 2	3930±340	2690±218	3850±327	2240±337		
Exp. 3	4700±405	3500±391	4090±412	2470±294		

Values are mean and SD.

Table 5 The maximum values of strain.

		VERTICAL DATA (unit: μ strain)							
		CASE 1				CASE 2			
		Toe Upper P.	Toe Lower P.	Toe Upper P.	Toe Lower P.	Toe Upper P.	Toe Lower P.	Toe Upper P.	Toe Lower P.
Walk	Exp. 1	2660 \pm 320	5330 \pm 549	1830 \pm 125	4090 \pm 110				
	Exp. 3	2030 \pm 194	2930 \pm 316	1080 \pm 168	3030 \pm 141				
	Exp. 4	1510 \pm 99	2110 \pm 110	1110 \pm 99	1850 \pm 117				
Trot	Exp. 1	1620 \pm 161	3600 \pm 480	1690 \pm 144	3830 \pm 133				
	Exp. 3	1570 \pm 94	3200 \pm 230	1080 \pm 131	3010 \pm 159				
	Exp. 4	1350 \pm 143	2100 \pm 115	1210 \pm 56	2300 \pm 105				
Canter (lead)	Exp. 1	1790 \pm 191	3530 \pm 424	1070 \pm 149	2800 \pm 323				
	Exp. 3	1810 \pm 307	1550 \pm 222	930 \pm 94	2290 \pm 196				
	Exp. 4	1080 \pm 78	1990 \pm 152	1050 \pm 126	1990 \pm 144				
Canter (trail)	Exp. 1	2480 \pm 285	5680 \pm 659	2000 \pm 343	3930 \pm 170				
	Exp. 3	2170 \pm 594	4550 \pm 469	1530 \pm 149	3680 \pm 415				
	Exp. 4	1600 \pm 235	2520 \pm 289	1530 \pm 149	2790 \pm 120				

Values are mean and SD.

Table 4 The maximum values of transformation of the heel.

		CASE 1	CASE 2
Walk	Exp. 2	1.5 \pm 0.9	2.9 \pm 1.4
	Exp. 3	5.7 \pm 1.6	7.9 \pm 1.3
Trot	Exp. 2	1.6 \pm 0.5	3.5 \pm 0.7
	Exp. 3	5.6 \pm 1.1	6.1 \pm 1.1
Canter (lead)	Exp. 2	7.0 \pm 2.6	5.1 \pm 2.3
	Exp. 3	2.4 \pm 2.4	9.3 \pm 1.7
Canter (trail)	Exp. 2	4.7 \pm 3.3	3.2 \pm 0.6
	Exp. 3	5.2 \pm 2.0	4.2 \pm 2.5

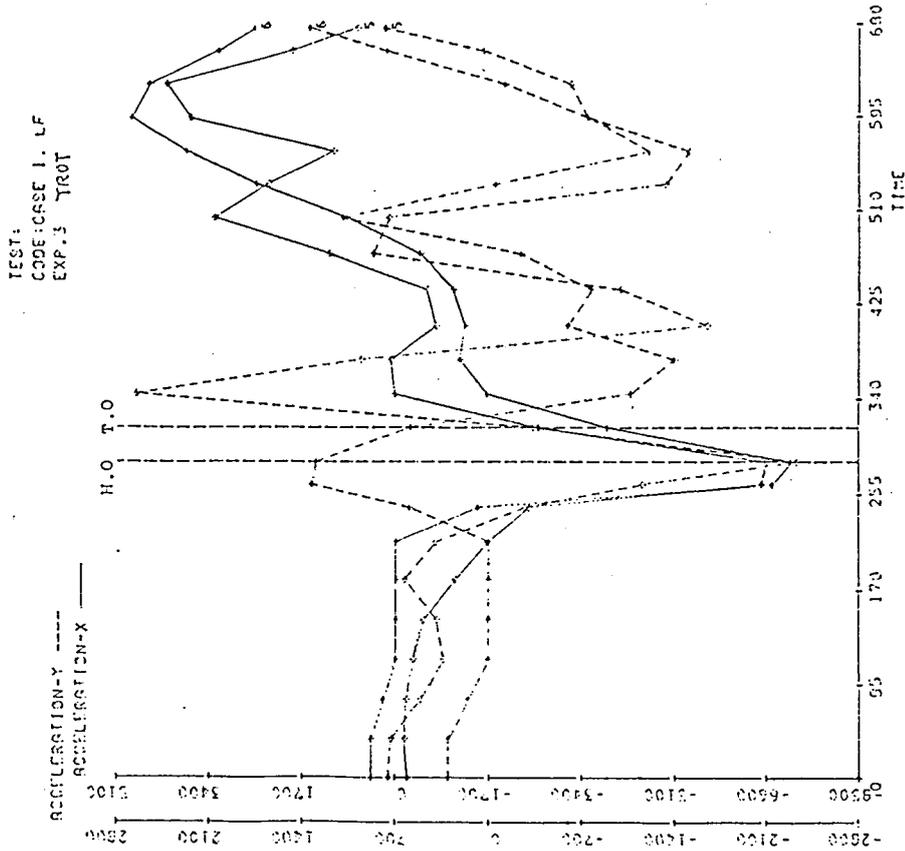
Values are mean and SD.
Unit: mm

Table 6 The maximum values of strain.

CASE 1	Toe		Toe horizontal
	vertical	horizontal	
Exp. 5	2760±250	2600±105	
Walk			
Exp. 6 (S.P.)	3180±470	2360±157	
Exp. 6 (C.P.)	3500±221	2870±156	
Exp. 5	1600±226	2730±94	
Trot			
Exp. 6 (S.P.)	2610±497	2270±133	
Exp. 6 (C.P.)	3110±251	2950±222	
Exp. 5	2030±223	2820±900	
Canter (lead)			
Exp. 6 (S.P.)	2542±411	2035±397	
Exp. 6 (C.P.)	2600±278	2410±521	
Exp. 5	3840±747	3970±590	
Canter (trail)			
Exp. 6 (S.P.)	3677±872	3111±437	
Exp. 6 (C.P.)	4280±778	4570±305	

Values are mean and SD.

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION



6 POINTS/FRPFC 23 FRPFC

Fig. 121 line number
5: fetlock joint
6: point on the coronary of
hoof

The pattern of the strain changes of the hoof during one stride at the each experiment.

Abbreviation of figure.

Vert. : Vertical diraction
 Hori. : Horizontal diraction

Exp. 1 - Exp. 4

MH : Medial Heel UP : Upper point
 MQ : Medial Quarter LP : Lower point
 Toe : Toe
 LQ : Lateral Quarter
 LH : Lateral Heel

Exp. 5.

MQ : Medial Quarter CP : Center point
 Toe : Toe
 LQ : Lateral Quarter

Exp. 6

MQ : Medial Quarter SP : Same point
 Toe : Toe (This point is same
 as Exp. 5 - CP)
 LQ : Lateral Quarter CP : Center point

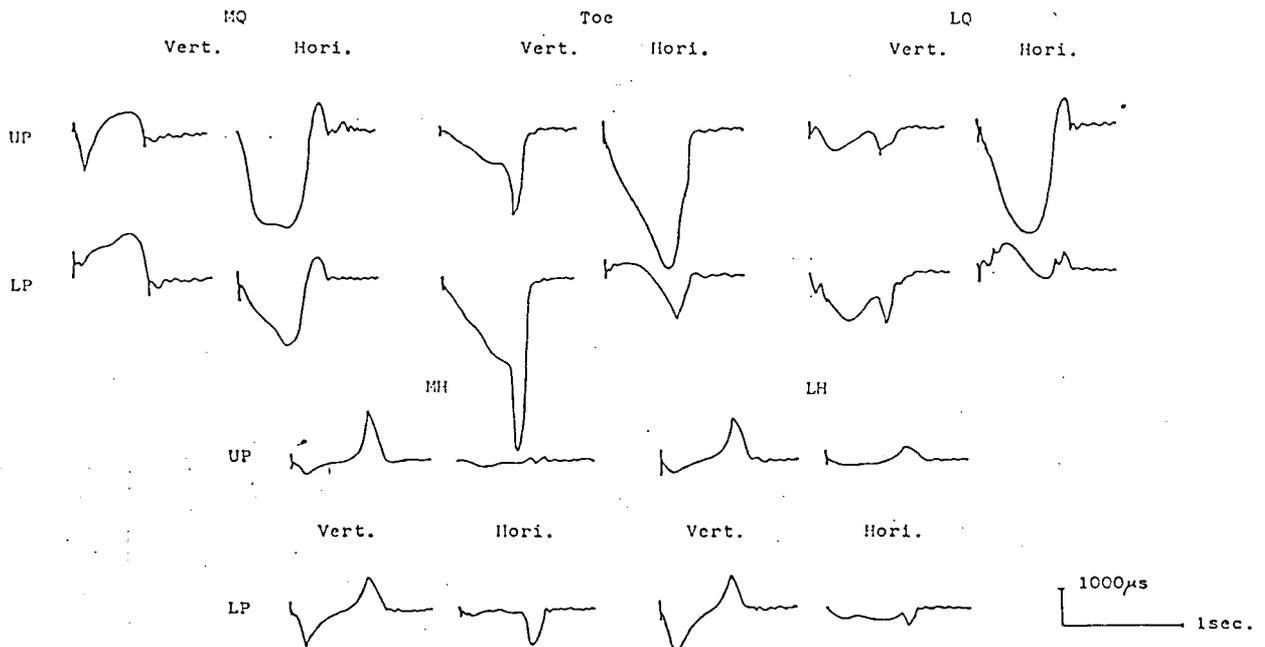


Fig. 209 Case 1
 Left fore hoof
 Exp.1.
 Walk

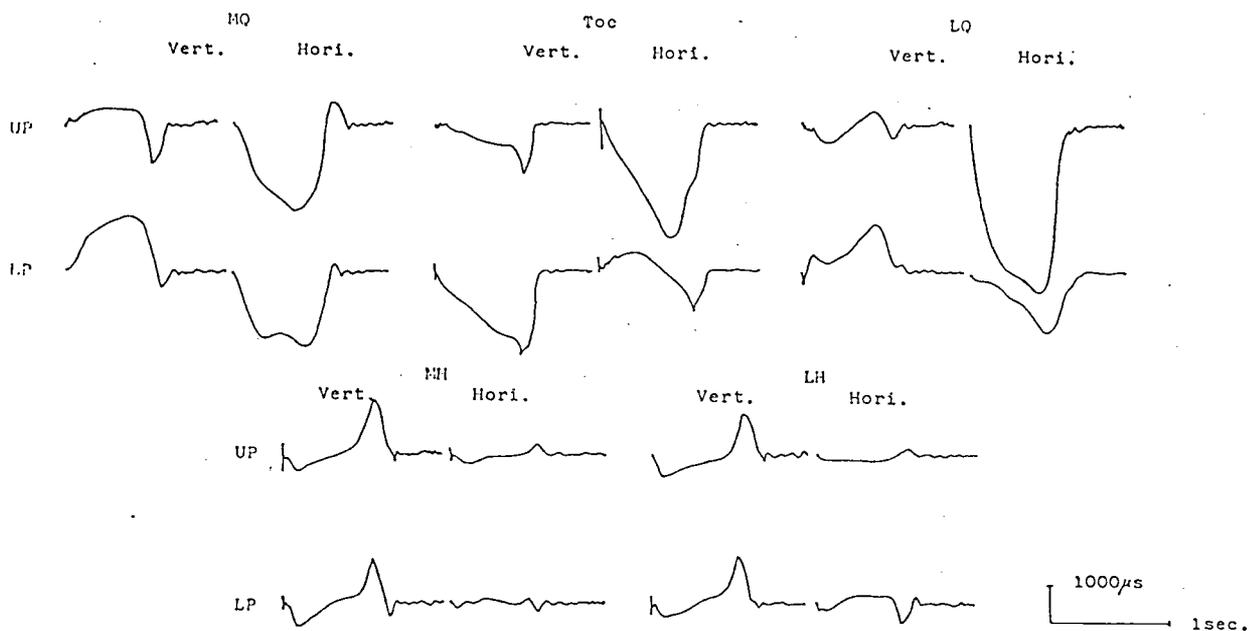


Fig. 217 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 2
 Walk

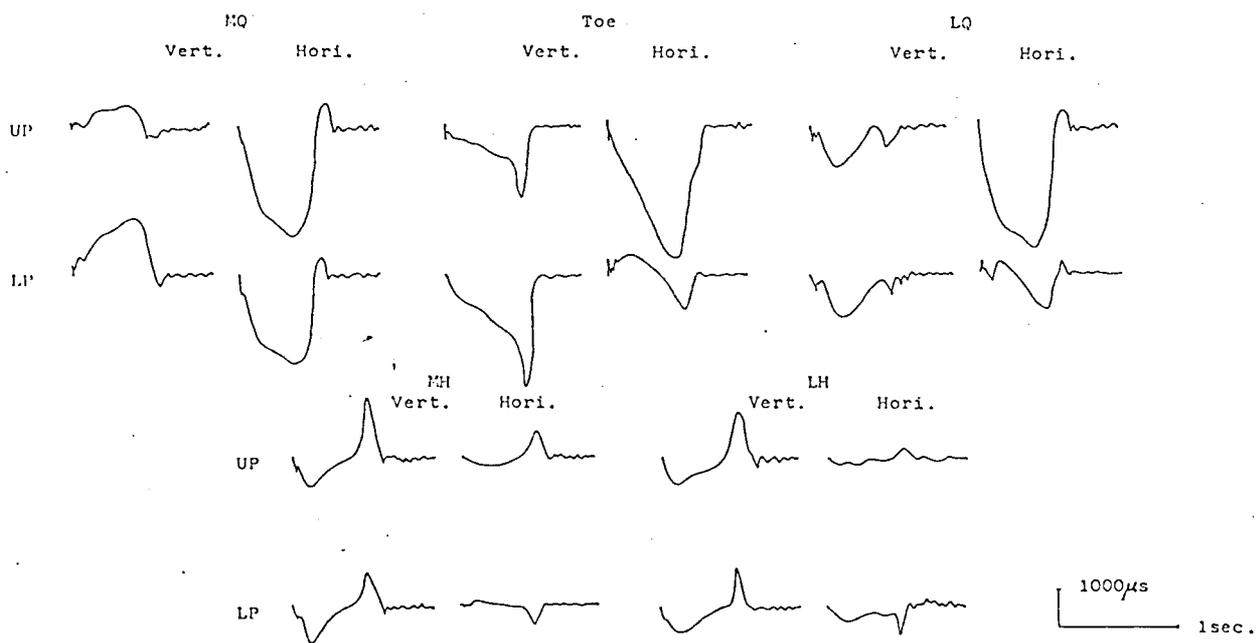


Fig. 225 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 3
 Walk

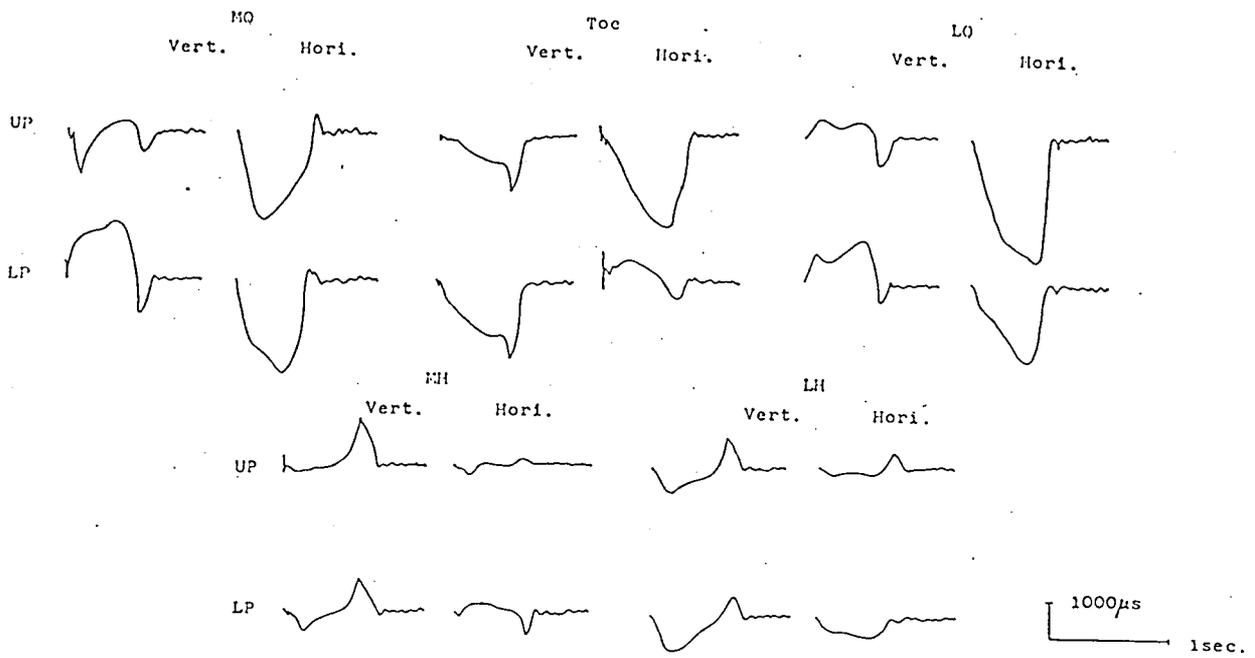


Fig. 233 Case 1
Left fore hoof
Exp. 4
Walk

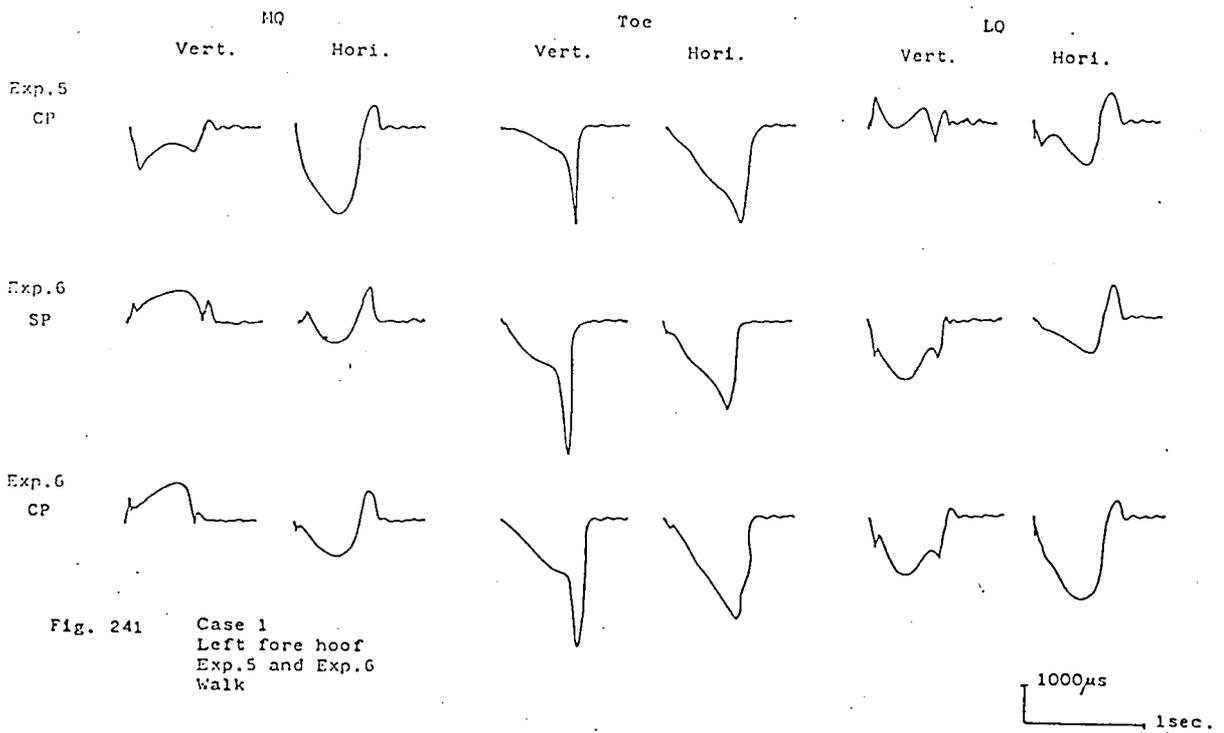


Fig. 241 Case 1
Left fore hoof
Exp. 5 and Exp. 6
Walk

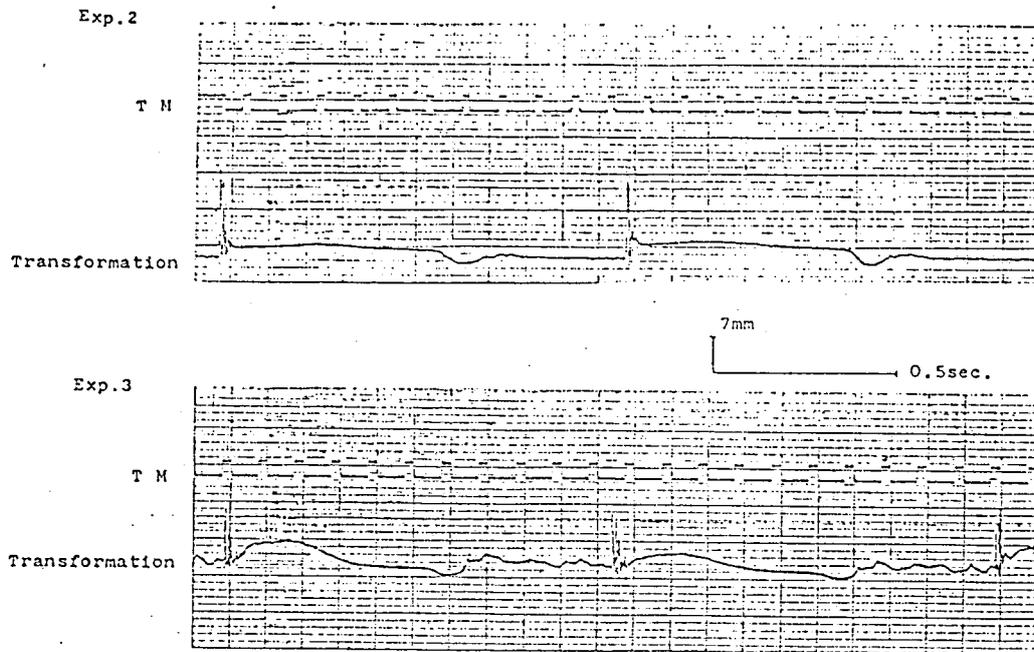


Fig. 245 Case 1, Walk.

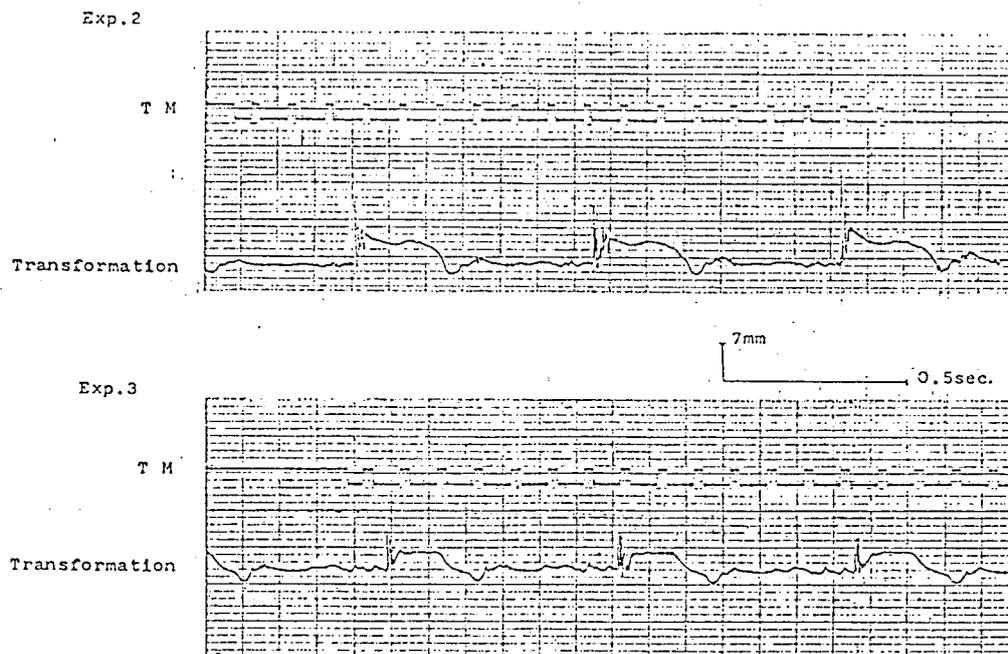


Fig. 246 Case 1, Trot.

The pattern of the transformation changes of the heel during one stride at the exp. 2 and exp. 3.

Abbreviation of figure.
 TM : Timing Mark