

## 말의 4족 보법에서 속도변화에 따른 전족 움직임의 운동능력 분석

현승현<sup>1</sup> · 류재청<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 제주대학교 자연과학대학 체육학과

### A Locomotive Analysis on Forelimbs' Movement According to Change in Velocity of Horses' Quadruped Cadence

Seung-Hyun Hyun<sup>1</sup> · Che-Cheong Ryew<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education, College of Natural Science, Jeju National University, Jeju-Do, Korea

Received 20 October 2015; Received in revised form 8 December 2015; Accepted 17 December 2015

#### ABSTRACT

**Objective** : The purposes of this study was to analyze the locomotive movement of forelimbs according to changes in velocities in the quadruped cadence of horses.

**Methods** : Horses selected as subjects consisted of Jeju pony horses (heights of withers: 1.23±0.51). Two camcorders (HDR-HC7/HDV 1080i, Sony Corp, Japan) were used to capture the movement of the horses' forelimbs at a rate of 60 frames/sec. Additionally, raw data was collected from Kwon3D XP motion analysis package ver 4.0 program (Visol, Korea) with DARTFISH (DFKREA., Korea) video software solution. The variables analyzed consisted of 1 step lengths, 1 stride lengths, stance time, swing time, 1 stride time, velocity while walking, and trot of the horses. A two-way ANOVA and paired t-test of the variables by velocity and phase were treated at .05 level of significant difference, statistically.

**Results** : The time elapsed of walk(stance: 0.63 sec[63.86%], swing: 0.35 sec[36.14%], 1 stride time: 0.99 sec respectively) showed significant difference with more delay than that of trot(stance: 0.29 sec[45.73%], swing: 0.34 sec[54.27% ], 1 stride time: 0.63 sec respectively), and also showed significant difference at trot in interaction (stance time>trot swing>walk swing>walk stance). The 1 step lengths and stride lengths in trot showed significant difference with longer than that of walk. Velocity of Trot showed significant difference statistically with higher than that of walk

**Conclusion** : The horses' velocity during 1 step lengths and 1 stride lengths showed a proportional relationship, but the correlation between the horses' velocity and stance time showed a negative relationship during the quadruped cadence.

**Keywords**: Jeju pony horses. Cadence. Forelimb. Locomotion. Quadruped

## 1. 서 론

말(horse)은 4족 보법(cadence)으로 이동하지만, 걸음걸이의 정확성, 부드러움, 그리고 리듬패턴 등 반복적으로 제공되는 특징들이 인간(human)의 걸음걸이와 유사하다(Bertoti, 1988; McGee & Reese, 2009).

인간의 2족 보행분석은 운동역학 분야에서 활발하게 이루

어 졌는데, 보행속력은 1.37 m/s, 한발짝 속력은 1.87 m/sec, 그리고 한발짝 길이(1 step lengths)는 0.76 m로 알려져 있다 (Drillis, 1961; Finley & Cody, 1970). 이 자료들은 선행연구자들이 보행관찰 사실을 알리지 않고 무려 2,300명의 특징을 분석한 자료들이다. 이 외에도 생체역학자들은 신체 각 분절의 길이, 질량, 부피, 무게중심, 그리고 관성모멘트 등, 신체분절 모수치(body segment parameter)를 정량화 및 신체이동에 대한 물리적 특성(physical characteristics)과 관성적(inertial) 특성을 반영하여 보행의 효율성을 향상시키고, 정상보행과 병적보행 간 비교, 재활치료를 통한 보행능력 평가, 재활의족 개발, 그리고 의학 분야에도 다양한 정보를 제공했다.

Corresponding Author : Che-Cheong Ryew  
Faculty of Exercise and Sports Science, College of Natural Science,  
Jeju National University, #1 Ara-dong, Jeju-city, Jeju-Do Korea  
Tel : +82-64-754-3588 / Fax : +82-64-757-1752  
E-mail : ryew@jejunu.ac.kr

이처럼 인간 보행에 대한 많은 연구가 국내외에서 이루어졌지만, 말 산업이 융복합 산업 시너지(synergy)를 가지는 중요한 분야임에도 불구하고, 국내에서는 말 자체의 보법에 대한 운동능력 관련 연구는 매우 부족한 실정이다.

국외에서는 이미 30년 전부터 말의 걸음걸이에 대한 운동능력을 분석하고 평가하는 등, 큰 진전이 있었는데(Barrey, 1999), 이중 말의 운동능력 관련 선행연구는, 평보 시 Hodson, Clayton과 Lanovaz(2000)가 무게 477-572 kg, 신장 143-156 cm의 다양한 품종의 말(thoroughbreds 2, quarter horse, 1, arabian 1, morgan cross 1)로 전족(fore limbs) 걸음걸이에 대한 특징을 분석한 결과, 1 걸음길이는  $1.75 \pm 0.09$  m, 이동속도는  $1.39 \pm 0.07$  m/sec, 걸음걸이 시간은  $1.27 \pm 0.08$  sec, 지지기 비율은  $66.2 \pm 1.4\%$ 로 보고했고, 반면, 후족(hind limbs)에 대한 걸음걸이는 동일한 말을 대상으로 측정한 결과, 걸음길이는  $1.71 \pm 0.09$  m, 이동속도는  $1.35 \pm 0.06$  m/s, 걸음걸이 시간은  $1.27 \pm 0.07$  sec, 지지기 비율은  $65.2 \pm 0.02\%$ 로 보고했다(Hodson, Clayton, & Lanovaz, 2001). 속도와 관련 Back, Schamhardt와 Barneveld(1996)의 연구에서는 평보와 비교해 1 걸음걸이 시간과 지지기 국면의 소요시간은 짧았고, 걸음걸이 길이와 공중기 국면의 증가비율은 동일하다고 보고했다.

이 외에도 운동역학적 변인과 관련 연구는 McLaughlin, Gaughan, Roush와 Skaggs(1996)가 평보와 속도 간 상관관계를 통해 힘(force) 특징들을 살펴본 결과, 이동 속도와 시간 사이에 부적인 선형 상관이 나타난다고 보고하였는데, 이는 지면 반발력(ground reaction force[GRF])에 영향이 미치기 때문에 GRF 측정 시 속도의 변화는 최소화해 유지해야 한다고 보고했다. 또 GRF와 관련 여러 연구들을 통해 말의 전족과 후족은 제동 및 추진력에 동등하게 기여하고 좌우 다리 간 좋은 대칭성을 발견했다(Pratt & O'Connor, 1976; Barter, Schryver, lowe, & Parker, 1978; Ueda, Niki, Yoshida, & Masumitsu, 1981; Merckens & Schamhardt, 1988).

또, 말의 운동능력에 대한 평가 방법으로는 속도(Oki, Sasaki & Willham, 1997; Mota, Abrahao & Oliveira, 2005), 부담중량(Bugislaus, Roehle, Uphaus & Kalam, 2004), 승률(Gillespie, 1971; Watanabe, 1974), 착순(Tavernier, 1991; Sobczynska, 2006) 등의 연구, 그리고 BLUP(best linear unbiased prediction) 이론을 이용한 경주마의 유전능력 평가는 1980년대 이후 폭 넓게 연구되어 왔다(Arnason, 1982; Tavernier, 1988; Willham & Wilson, 1991; Belhajyahia, Blouin, Langlois & Harzalla, 2003; Langlois & Blouin, 2007; Sobczynska, 2010).

이에 국내에서도 말의 생산능력 향상과 배양을 위해 생상을 더 장려하고 지속적인 관리, 기술지도, 진료, 목장관리, 생

산, 시설관리 등 생산라인의 인프라 구축의 필요성 및 종사 인력 기술향상을 위한 전문 인력 양성 역시 필요하다고 주장하고 있지만(Park & Cheon, 2010), 능력이 우수한 말 기준을 혈통, 체형, 자질 등의 조건이 모두 만족되는 말은 극히 제한적이며, 미개척 분야가 많고 인프라의 구축이 미약해 단시간에 선진국에 진입하는 것은 현실적으로 어려울 뿐만 아니라 경비 및 많은 시간이 소요된다(Park & Cheon, 2010).

이러한 관점에서 국내에서도 우수한 마의 생산성 문제에 기여하고 안정성이 확보되는 승용 말을 선별하기 위한 노력들은 매우 중요하고 필요한 연구라 할 수 있다. 또 말의 품종에 따라 걸음걸이, 보조, 그리고 대칭 4박자가 다르다(Nicodemus & Clayton, 2003; Ryew, 2012), 기승활동은 말-기승자 간 밀접한 협응 움직임을 필요로 하기 때문에(Ryew & Hyun, 2014; Hyun & Ryew, 2015) 말의 4족 움직임에 대해 더 쉽게 이해할 수 있는 정량적 자료가 필요하다.

따라서 본 연구는 국내 품종 중 제주를 대표하는 조랑말을 대상으로 전족 움직임에 대한 운동능력 특징들(1 보 길이, 1 걸음 길이, 지지기 시간, 공중기 시간, 1 걸음걸이 시간, 지지기 비율%, 공중기 비율%, 이동속도)을 분석하여 말 보법의 기초자료로 제시하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구의 목적을 달성하기 위해 2일 간 목장 2곳을 경유하며, 1일 1장소 별 15 두로 총 30 두의 제주 조랑말(heights of withers:  $1.23 \pm 0.51$ )을 분석대상으로 선정하였다.

### 2. 실험 절차

영상촬영 전 말 들은 기승활동 혹은 무리한 움직임이 제한된 상태였으며, 자연스러운 보법을 전문가 2명에 의해 10 분간 실시한 후 진행하였다. 이후, 2차원 영상분석을 위해 카메라(HDR/HDV 1080i) 2대를 기울어지지 않도록 수평·수직 축(axis)과 일치시킨 후 <Figure 1>과 같이, 자연스러운 보법을 유도하기 위해 30 m 주행로 설치 및 주행로와 교차되는 직선에 1m 기준점을 카메라와 직각으로 설치하였다. 즉, 투시오차(perspective error)를 최소화하기 위해 말의 운동능력이 촬영될 수 있는 가능한 먼 거리에서 줌 렌즈는 가능한 크게 유지하였고, 속도는 60 frames/sec, 노출시간(exposure time)은 1/500 sec로 설정하였다. 추가로 무게증가로 인한 데이터 값의 오류를 고려하여 말에게 마구(harness)는 착용시키지 않았다.

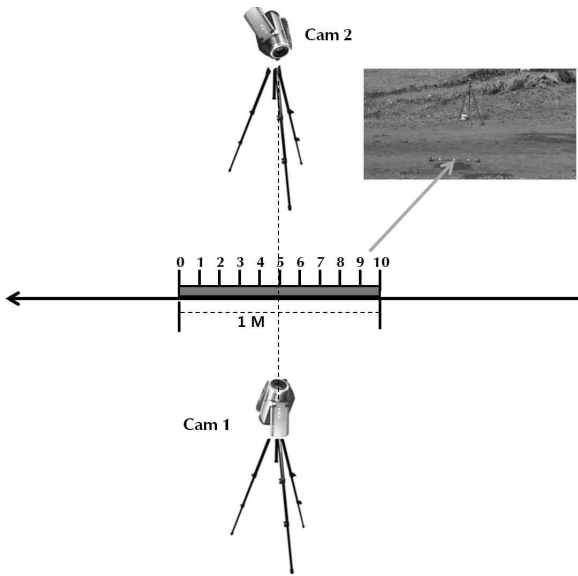


Figure 1. Experimental field

### 3. 분석 구간의 정의

본 연구에서는 말의 오른쪽 앞발굽(fores hoof)을 기준으로 지지기(stance phase)와 스윙기(swing phase)를 분석하였다 <Figure 2>.

- 1) 지지기(stance phase) : 오른쪽 말 앞발굽을 기준으로 지면에 닿는 순간부터 떨어지기 전까지 지지하는 구간
- 2) 공중기(swing phase) : 오른쪽 말 앞발굽 지지기 후 떨어지는 순간부터 왼발지지 후 다시 오른쪽 앞발굽이 지면에 닿는 순간까지의 구간

이때, 1보는 오른쪽 말 앞발굽 지지기 후 왼쪽 말 앞발굽이 닿는 순간까지이며(SP), 1 걸음은 1보와 다음 공중기의 전 구간(SE)이다(Figure 2).

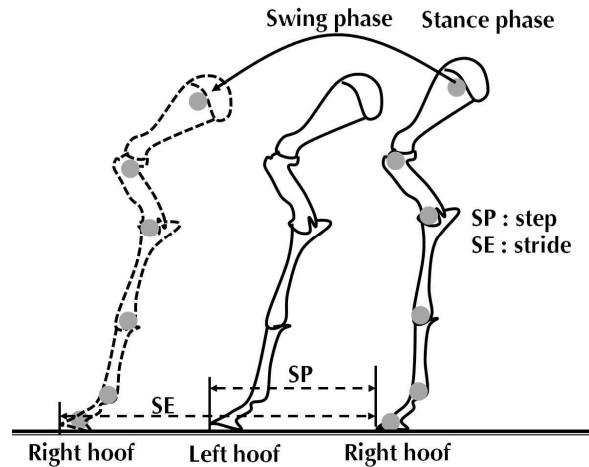


Figure 2. Stance and swing phase

### 4. 자료처리

말의 보법에서 평보와 속보에 따른 운동능력은 DARTFISH (DFKOREA., Korea) video software solution을 이용하여 1 보와 1 걸음의 길이를 분석하였고, 지지기 시간은 Kwon 3D(Ver 3.016, Visol., Korea) 프로그램을 이용하여 계산하였다 (frames×0.0167 sec). 이때, 시간분석은 0.0167 sec×프레임 (frame) 수(samples), 속도는 1 걸음길이가 수평변위(horizontal displacement)로 계산되었기 때문에 소요된 시간으로 나누어 산출하였고, 지지기와 공중기의 비율(%)은 각 시간을 전체소요시간으로 나누어 ×100으로 구했다.

평보와 속보 시 소요시간은 속도와 국면을 고려하여 이원변량분석(two-way analysis of variance)을 실시하였고, 상호작용이 나타난 경우, 일원변량분석(one-way analysis of variance)으로 해석하였다. 이후 평보와 속보에 따른 1 보 길이, 1 걸음 길이, 1 걸음 거리 시간, 이동속도 간 비교는 대응표본 t 검정(paired t-test)을 사용하였고, 모든 통계적 유의수준은 α =.05로 설정하였다.

Table 1. Time of Cadence during walk and trot

Section	Velocity(V)	Phase(P)		Total average	Source	F	p
		Stance(%)	Swing(%)				
Time (sec)	Walk	0.63±0.07(63.86%)	0.35±0.02(36.14%)	0.49±0.15	V	435.06	.001***
	Trot	0.29±0.03(45.73%)	0.34±0.02(54.27%)	0.31±0.03	P	172.29	.001***
	Total average	0.46±0.18	0.35±0.02	0.40±0.14	V×P	374.38	.001***

NOTE : \*\*\* p<.001, V: velocity of the main effect, P: phase of the main effect, V×P: interaction

### III. 결 과

#### 1. 소요시간의 변화

<Table 1>과 같이 말의 속도와 구간에 따른 소요시간을 분석한 결과, 속도에 따라 속보가 평보보다 더 짧게 통계적 유의한 차이를 보였고( $p<.001$ ), 국면 별 공중기가 지지기 보다 더 짧게 통계적 유의한 차이가 나타났다( $p<.001$ ). 속도와 구간에 따라 상호작용이 나타나, 일원변량분석을 실시한 결과, 속보의 지지기 시간이 말 4족 보법에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다( $F=327.223, p<.001$ ). <Figure 2>는 평보와 속보 시 각 지지기와 공중기의 시간변화에 따른 관계를 보여주고 있다.

#### 2. 운동능력의 변화

<Table 2>는 평보와 속보 간 운동능력의 변화를 분석한 결과이다. 1 보 길이와 1 걸음 길이는 속보가 평보보다 더 긴 거리를 보여 통계적 유의한 차이를 나타냈다( $p<.001$ ). 1 걸음 걸이를 수행 동안 총 소요시간은 속보가 평보보다 더 짧은 시간을 보여 통계적 유의한 차이를 보였고( $p<.001$ ), 이동속도 역시 속보가 평보보다 더 빠르게 나타났다( $p<.001$ ). <Figure 3>은 평보와 속보 간 속도변화에 따른 1보와 1 걸음 길이의 관계를 나타낸 것이다.

Table 2. Locomotion variables during walk and trot

Section	Walk	Trot	t	p
1 Step lengths(m)	0.63±0.06	0.79±0.08	10.205	.001***
1 Stride lengths(m)	1.28±0.09	1.85±0.11	23.746	.001***
1 Stride time(sec)	0.99±0.09	0.63±0.04	20.521	.001***
Velocity(m/s)	1.31±0.16	2.93±0.24	33.079	.001***

NOTE: \*\*\*  $p<.001$

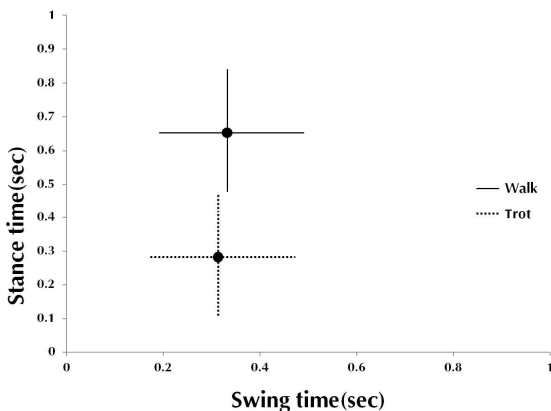


Figure 3. Stance with swing time during walk and trot

### IV. 논 의

말의 4족 보법에 따른 전족 움직임의 운동능력 자료들은 승마장에 종사하는 조련사, 승마 동호인, 기수, 그리고 승마재활을 필요로 하는 자들에게 매우 유용한 정보가 될 수 있다. 하지만 현재 국내에는 말 자체의 운동학적 분석과 관련 연구는 매우 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 제주 조랑말을 분석 대상으로 선정하여 평보와 속보 시 말 우측 전족의 움직임에 대한 운동학적 변인들을 평가하였다.

말의 지지기와 스윙기 간 소요시간을 비교한 결과, 평보에서는 지지기 시간이 0.63 sec로 스윙기의 0.35 sec 보다 더 길게 시간을 유지했지만, 속보에서는 지지기가 0.29 sec, 스윙기는 0.34 sec로 반대의 결과를 보였다. 평보는 말이 수행하는 가장 자연스러운 대칭보행으로(Hodson et al., 2000), 본 연구의 제주 조랑말 역시 실험상황에서 자연스러운 보행을 유도하였는데, 이때, 지지기와 공중기의 시간 비율은 각각 63.86%와 36.14%로 나타나, 더러브레드(thoroughbreds) 급 말들의 지지기가 66.2%라는 연구결과(Hodson et al., 2000)와 매우 유사하게 나타났다. 하지만, 1 걸음걸이 시간은 0.99 sec, 1 걸음걸이 길이는 1.28 m, 1 보 길이는 0.63 m로, 더러브레드 급 말들의 운동능력인 1 걸음걸이 시간 1.27 sec, 1 걸음걸이 1.75 m(Hodson et al., 2000)와 1.57 m(Clayton, 1996) 보다 더 적은 수치를 보였다. 이는 제주 조랑말이 상대적으로 더러브레드 급 말 보다 적은 체구를 가지고 있기 때문에 나타난 결과로 판단되지만, Hodson et al. (2000)이 보고한 말의 속도 1.27 m/s, Clayton(1995)의 연구결과인 1.37 m/s와 제주 조랑말의 1.31 m/s 속도가 유사하고, 동일한 지지기 시간비율을 갖는다는 관점에서, 말이 이동 시 사용하는 4족 보법 중 평보의 전족 운동기능(motor skills)에 공통적인 특징이 있음을 시사한다.

본 연구에서 말의 속보 역시 선호속도를 유도하였는데, 2.93 m/s로 나타났다. 또 지지기와 공중기의 시간 및 비율은 각각 0.29 sec(45.73%), 0.34 sec(54.27%), 1 걸음걸이 시간은 0.63 sec로 평보와 비교해 다르게 나타난 반면, 1 보와 1 걸음 길이는 각각 0.79 m, 1.85 m로 더 길게 나타났다. 특히, 상호작용효과를 통해서도 알 수 있듯이, 속보에서 지지기 시간이 0.29 sec로 매우 짧은 결과를 보였는데, Back et al. (1996)의 연구에서 속보의 특징은 1 걸음걸이 시간과 지지기 시간은 짧고, 걸음길이와 공중기의 증가비율은 동일하다는 특징과 매우 유사한 결과를 나타냈다.

종합해 볼 때, 제주 조랑말들은 더러브레드 급 말들과 비교해 상대적으로 작은 체구임에도 불구하고, 국외 선행연구에서 조사된 말 전족의 운동능력과 매우 유사한 특징이 있음을 알 수 있었다. 따라서 제주 조랑말의 4족 보법에서 속도변화에

따른 전족 움직임의 운동학적 변인들 간 관계는 이동속도와 1 보 길이, 1 걸음길이, 공중기 시간비율은 비례적인 관계이지만, 이동속도와 지지기 시간비율은 서로 반비례적인 관계임을 시사한다.

말의 4족 보법은 인간의 2족 보행특성과 유사하기 때문에 많은 사람들이 승마활동에 참여하고 있으며, 치료적 수단으로도 활용되고 있다. 이에 기승자세 관련 연구들이 보고되고 있지만 말-기승자 간 자세조정 및 밀접한 보주가 더 최적화될 수 있는 노력들이 필요하다. 또 재활승마 중재를 이용한 치료적 장점들은 각 질환별 내지는 재활 승마중재의 단면적 측면에서 증명하는 수준에 그쳐있을 뿐, 객관적인 치료효과를 정리하지 못하고 있다(Park, Shin, & Yang, 2011). 이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 연구를 기초로 다양한 후속연구가 이루어져야 할 것이다.

## V. 결 론

본 연구는 말의 4족 보법에서 평보와 속보에 따른 말 전족 움직임의 운동능력을 비교분석하였다. 분석변인은 제주 조랑말 30 두를 이용하여 1 보 길이, 1 걸음 길이, 지지기 시간, 스윙기 시간, 1 걸음 시간, 속도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

평보 시 지지기는 0.63 sec(63.86%), 공중기는 0.35 sec(36.14%), 1 걸음걸이 시간은 0.99 sec, 속보의 지지기 0.29 sec(45.73%), 공중기 0.34 sec(54.27%), 1 걸음걸이 시간은 0.63 sec로 통계적 유의한 차이를 보였다. 또 상호작용이 나타난 바, 속보의 지지기 시간이 말 보법에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

1 보 길이와 1 걸음 길이는 속보가 평보보다 더 길게 통계적 유의한 차이를 보였고, 속도의 변화는 평보가 1.31 m/s, 속보는 2.93 m/s로 더 빠르게 나타났다.

본 연구에서 실험 상황은 흙토 및 잔디의 조건에서 보법을 실시하였다. 보법의 특징들은 지면의 조건과 기승자 체중, 그리고 마구의 종류에 따라 운동능력에 차이가 발생할 수 있다고 생각되며, 무엇보다도 본 연구를 기초로 기승 유·무에 따른 말의 4족 보법연구가 이루어지길 제안한다.

## 참고문헌

Amason, T. H. (1982). Prediction of breeding values for multiple traits in small non-random mating(horse) populations. *Acta Agriculturae*

*Scandinavica*, 32(12), 171-176.

Back, W., Schamhardt, H. C., & Bameveld, A. (1996). Are kinematics of the walk related to the locomotion of a warmblood horse at the trot. *Veterinary Quarterly*, 18(2), 79-84.

Barrey, E. (1999). Methods, applications and limitation of gait analysis in horses. *The Veterinary Journal*, 157(1), 7-22.

Bartel, D. L., Schryver, H. F., Lowe, J. E., & Parker, R. A. (1978). Locomotion in the horse: a procedure for computing the internal forces in the digit. *American Journal of Veterinary Research*, 39(11), 1721.

Bertoti, D. B. (1988). Effect of therapeutic horseback riding on posture in children with cerebral palsy. *Physical Therapy*, 68(100), 1505-1512.

Belhuyahia, T., Blouin, C., Langlois, B., & Harzalla, H. (2003). Breeding evaluation of arab horses from their racing results in tunisia by a BLUP with an animal model. *Animal Research*, 52, 481-488.

Bugslaus, A. E., Roche, R., Uphaus, H., & Kalam, E. (2004). Development of genetic models for estimation of racing performances in German thoroughbreds. *Archiv Fur Tierzucht*, 47(6), 505-516.

Clayton, H. M. (1996). Comparison of the stride kinematics of the collected, medium, and extended walks in horses. *American Journal of Veterinary Research*, 56(7), 849-852.

Drillis, R. J. (1961). *The Influence of Aging on The Kinematics of Gait*. The Geriatric Amputee. National Academy of Science, National Research Council, Washington, DC, Publication, 919.

Finley, F. R., & Cody, K. A. (1970). Locomotive characteristics of urban pedestrians. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 51(7), 423.

Gillespie, R. H. (1971). A new way to evaluate race horses, performance rates. *Thoroughbred Rec*, 7, 961-977.

Hodson, E., Clayton, H. M., & Lanovaz, J. L. (2000). The forelimb in walking horses: kinematics and ground reaction forces. *Equine Veterinary Journal*, 32(4), 287-294.

Hodson, E., Clayton, H. M., & Lanovaz, J. L. (2001). The hindlimb in walking horses: kinematics and ground reaction forces. *Equine Veterinary Journal*, 33(1), 38-43.

Hyun, S. H., & Ryew, C. C. (2015). Analysis of the coordination of the trunk tilting angle and bilateral lower limbs according to the stirrups length during tort in equestrian: asymmetric index development of overall movement index algorithm. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 25(1), 131-140.

Jeffcott, L. B. (1979). Back problems in the horse-A look at past, present and future progress. *Equine Veterinary Journal*, 11(3), 129-136.

Langlois, B., & Bluin, C. (2007). Annual, career or single race records for breeding value estimation in race horse. *Livest Science*, 107, 132-141.

McGee, M. C., & Reese, N. B. (2009). Immediate effects of a

- hippotherapy session on gait parameters in children with spastic cerebral palsy. *Pediatric Physical Therapy*, 21(2), 212-218.
- McLaughlin, R. M., Gaughan, E. M., Roush, J. K., & Skaggs, C. L. (1996). Effects of subject velocity on ground reaction force measurements and stance times in clinically normal horses at the walk and trot. *American Journal of Veterinary Research*, 57(1), 7-11.
- Merkens, H. W., Schamhardt, H. C. (1988). Evaluation of equine locomotion during different degrees of experimentally induced lameness II: distribution of ground reaction force patterns of the concurrently loaded limbs. *Equine Veterinary Journal*, 20(s6), 107-112.
- Mota, M. D. S., Abrahao, A. R., & Oliveira, H. N. (2005). Genetic and environmental parameters for racing time at different distances in Brazilian thoroughbreds. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 122(6), 393-399.
- Nicodemus, M. C., & Clayton, H. C. (2003). Temporal variables of 4-beat, stepping gaits of gaited horses. *Applied Animal Behaviour Science*, 80(2), 133-142.
- Oki, H., Sasaki, Y., & Willham, R. L. (1997). Estimation of genetic correlations between racing times recorded at different racing distance by restricted maximum likelihood in Thoroughbred racehorses. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 114(1-6), 185-189.
- Park, J. H., Shin, J. I., & Yang, Y. A. (2011). A systematic review of hippotherapy intervention for the rehabilitation on children with disabilities in Korea. *Korean Aging-Friendly Industry Association*, 3(1), 45-51.
- Park, C. H., & Cheon, C. S. (2010). Economic ripple effect of raising racing horse. *Korean Business Education Association*, 73-85.
- Pratt, G. W., & O'Connor, J. T. (1976). Force plate studies of equine biomechanics. *American Journal of Veterinary*, 37(11), 1151-1255.
- Ryew, C. C. (2012). Kinematic analysis on the stabilization & correction effects of riding posture according to rider's skill levels in horse back riding. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 22(1), 083-094.
- Ryew, C. C., & Hyun, S. H. (2014). Kinematic analysis of the rider postural alignments according to the fitting of stirrups lengths during horse walk of high level rider. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 24(4), 329-338.
- Sobczynska, M. (2006). Genetic correlations between racing performance at different racing distances in Thoroughbreds and Arab horses. *Czech Journal of Animal Science*, 51(12), 523-528.
- Sobczynska, M. (2010). Genetic parameters of racing performance indices in Polish Arabian horse. *Livestock Science*, 131(2), 245-249.
- Tavernier, A. (1991). Genetic evaluation of horses based on ranks in competitions. *Genet. Genetics Selection Evolution*, 23(1), 159-173.
- Tavernier, A. (1988). Advantage of BLUP animal model for breeding value estimation in horses. *Livestock Production Science*, 20(2), 149-160.
- Ueda, Y., Niki, Y., Yoshida, K., & Masumitsu, H. (1981). Force plate study of equine biomechanics: Floor reaction force of normal walking and trotting horses. *Bull. Equine Research Institute*, 18, 28-41.
- Watanabe, Y. (1974). Performance rates of Thoroughbreds as a criterion of racing ability. *Japanese Journal of Zootechnical Science*, 45, 408-411.
- Willham, R. L., & Wilson, D. E. (1991). Genetic prediction of racing performance in quarter horse. *Journal of Animal Science*, 69(9), 3891-3894.