



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

박사학위논문

승마 장애물 비월에서 도약거리와 높이에
따른 기승자세의 운동역학적 분석

제주대학교 대학원

체육학과

윤상택

2015년 8월

승마 장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자세의 운동역학적 분석

指導教授 柳 在 青

尹 尙 澤

이 論文을 體育學 博士學位 論文으로 提出함

2015年 5月

尹尙澤의 體育學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長 梁 明 煥



委 員 蘇 在 武



委 員 李 仲 淑



委 員 金 泳 杓



委 員 柳 在 青



濟州大學校 大學院

2015年 5月

A kinetic comparison of riding posture according to
the fence heights and take off distance during show
jumping in equestrian

Sang-Taek, Yoon
(Supervised by professor Che-Cheong, Ryew)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of
Doctor of Physical Education

2015. 5.

This thesis has been examined and approved.

.....
Thesis director, Myung-Hwan, Yang, Prof., Dept. of Physical Education
.....
.....
.....

.....
Date

Department of Physical Education
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 필요성	1
2. 연구의 목적	4
3. 연구의 문제	4
4. 연구의 제한점	5
5. 용어의 정의	6
II. 이론적 배경	7
1. 말의 골격	7
2. 운동에 따른 신체변화	9
3. 장애물 비월	11
4. 장애물 비월 경기장 및 조련장	12
5. 시간과 속도	14
6. 선행연구	16
III. 연구 방법	18
1. 연구대상	18
2. 실험장비	19
3. 실험절차	20
4. 이벤트 및 분석국면	28
5. 자료처리 및 통계처리	29

IV. 결과	31
1. 기승자의 상·하지 관절각도	31
2. 기승자의 동적안정성	42
3. 기승자의 운동역학적 변인	55
4. 기승자의 양측 상·하지 관절각도 간 협응성	62
V. 논의	72
1. 기승자의 상·하지 관절각도	72
2. 기승자의 동적안정성	74
3. 기승자의 운동역학적 변인	76
4. 기승자의 양측 상·하지 관절각도 간 협응성	78
VI. 결론 및 제언	80
1. 결론	80
2. 제언	83
참고문헌	84

List of Tables

Table 1. Characteristics of the subjects	18
Table 2. Experimental equipments	19
Table 3. Marker attachment points	20
Table 4. Dorsiflexion/plantarflexion angle of ankle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	31
Table 5. Variance analysis result of ankle angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	32
Table 6. Flexion/extension angle of knee according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	34
Table 7. Variance analysis result of knee angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	35
Table 8. Flexion/extension angle of hip according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	36
Table 9. Variance analysis result of hip angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	36
Table 10. Flexion/extension angle of shoulder according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	38
Table 11. Variance analysis result of shoulder angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	39
Table 12. Flexion/extension angle of elbow according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	40
Table 13. Variance analysis result of elbow angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	41
Table 14. Horizontal displacement of COM according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	42

Table 15. Variance analysis result of horizontal displacement of COM according to the fence heights and jumping distance in show jumping	43
Table 16. Vertical displacement of COM according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	45
Table 17. Variance analysis result of Vertical displacement of COM according to the fence heights and jumping distance in show jumping	46
Table 18. Velocity of CMP(Y axis) according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	47
Table 19. Variance analysis result of CMP velocity according to the fence heights and jumping distance in show jumping	48
Table 20. Front-rear angle of trunk according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	49
Table 21. Variance analysis result of front-rear angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	50
Table 22. Left-right angle of trunk according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	51
Table 23. Variance analysis result of left-right angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	52
Table 24. FRAE and LRAE according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	53
Table 25. Variance analysis result of FRAE and LRAE according to the fence heights and jumping distance in show jumping	53
Table 26. Potential energy according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	55
Table 27. Variance analysis result of Potential energy according to the fence heights and jumping distance in show jumping	56
Table 28. Momentum according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	57
Table 29. Variance analysis result of work according to the fence heights and jumping	

distance in show jumping	58
Table 30. Power of COM according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	59
Table 31. Variance analysis result of COM power according to the fence heights and jumping distance in show jumping	59
Table 32. Average vertical force according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	60
Table 33. Variance analysis result of average vertical force according to the fence heights and jumping distance in show jumping	60
Table 34. Asymmetric index between elbow joint angle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	62
Table 35. Variance analysis result of Asymmetric index of elbow joint angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	63
Table 36. Asymmetric index between shoulder joint angle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	64
Table 37. Variance analysis result of Asymmetric index of shoulder joint angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	65
Table 38. Asymmetric index between hip joint angle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	66
Table 39. Variance analysis result of Asymmetric index of hip joint angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	66
Table 40. Asymmetric index between knee joint angle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	67
Table 41. Variance analysis result of Asymmetric index of knee joint angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	68
Table 42. Asymmetric index between ankle joint angle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping	70
Table 43. Variance analysis result of Asymmetric index of ankle joint angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping	70

List of Figures

Figure 1. Horse skeleton	8
Figure 2. Marker attachment points	21
Figure 3. Body segment angle during show jumping	23
Figure 4. Experimental field during show jumping	28
Figure 5. Event & phase	28
Figure 6. Dorsiflexion/plantarflexion angle of ankle according to the fence heights and take off distance	33
Figure 7. Flexion/extension angle of knee according to the fence heights and take off distance in horse riders	34
Figure 8. Flexion/extension angle of hip according to the fence heights and take off distance	36
Figure 9. Flexion/extension angle of shoulder according to the fence heights and take off distance	38
Figure 10. Flexion/extension angle of elbow according to the fence heights and take off distance	40
Figure 11. Horizontal displacement of COM according to the fence heights and take off distance	44
Figure 12. Vertical displacement of COM according to the fence heights and take off distance	45
Figure 13. Velocity of CMP according to the fence heights and take off distance	47
Figure 14. Front-rear angle of trunk according to the fence heights and take off distance	49
Figure 15. Left-right angle of trunk according to the fence heights and take off distance	51
Figure 16. FRAE and LRAE according to the fence heights and take off distance	54

Figure 17. Potential energy according to the fence heights and take off distance	57
Figure 18. Momentum according to the fence heights and take off distance	58
Figure 19. Power of COM according to the fence heights and take off distance	59
Figure 20. Average vertical force according to the fence heights and take off distance	61
Figure 21. AI of elbow joint angle according to the fence heights and take off distance	63
Figure 22. AI of shoulder joint angle according to the fence heights and take off distance	65
Figure 23. AI of hip joint angle according to the fence heights and take off distance	67
Figure 24. AI of hip joint angle according to the fence heights and take off distance	69
Figure 25. AI of ankle joint angle according to the fence heights and take off distance	71

ABSTRACT

A kinetic comparison of riding posture according to the fence heights and take off distance during show jumping in equestrian

Sang-Taek, Yoon

*Department of Physical Education, Graduate School,
Jeju National University, Korea*

(Supervised by professor Che-Cheong, Ryew)

The purpose of this study was to compare the kinetic variables of riding posture according to the fence heights and take off distance during show jumping in equestrian. Participants selected as the subject were consisted of adult males($n=10$, age: 15.00 ± 3.19 yrs, height: 171.80 ± 2.78 cm, body mass: 73.02 ± 9.92 kg, low extremity length: 96.68 ± 3.30 cm, stirrup length: 72.00 ± 0.00 cm) and divided into 2-types of fence heights(50cm, 80cm) according to take off distance(50cm fence: shortest distance= 87.50 ± 39.47 cm[ratio of height 50.93%]longest distance= 102.60 ± 54.84 cm[ratio of height 59.72%], 80cm fence: shortest distance= 156.77 ± 59.84 cm[ratio of height 91.25%], longest distance= 201.45 ± 40.11 cm[ratio of height 117.25%]). The variables analyzed were consisted of the upper·lower extremity joint angle(elbow, shoulder, hip, knee, ankle), dynamic postural stability(displacement of Y axis COM position, displacement of Z axis COM position, COM velocity, front-rear angle[FR angle], left-right angle[LR angle], front-rear angle excursion[F-RAE], left-right angle excursion[L-RAE], kinetic variables(potential energy, mechanical work, power of COM, average vertical force), and asymmetric index(elbow, shoulder, hip, knee, ankle).

The 4 camcorder(HDR-HC7/HDV 1080i, Sony Corp, Japan) were used to capture riding posture at rate of 60 frames. The raw data were collected from Kwon3D XP

motion analysis package ver 4.0 program(Visol, Korea) during show jumping.

As a result, the following conclusions obtained were as follows.

1) Upper·lower extremity joint angle

① Angle of elbow showed significant difference statistically according to the fence heights and take off distance during show jumping at HCM. but interaction effect didn't show.

② Angle of shoulder showed significant difference statistically according to the take off distance during show jumping at FTD 1 and also interaction effect showed significant difference at FTD 1(H>D).

③ Angle of hip didn't show significant difference statistically according to the fence heights and take off distance during show jumping at FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, and HTD and also interaction effect didn't show.

④ Angle of knee showed significant difference statistically according to the fence heights during show jumping at HCM, and also interaction effect didn't show.

⑤ Angle of ankle didn't show significant difference according to the fence heights and take off distance during show jumping at FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, and HTD and also interaction effect didn't show.

2) Dynamic postural stability

① Displacement of Y axis COM position showed significant difference statistically according to the fence heights during show jumping at TO and S 2, according to the fence heights and take off distance at S 1, and also interaction effect showed significant difference at S 1(H>D) and S 2(H>D).

② Displacement of Z axis COM position didn't show significant difference statistically according to the fence heights and take off distance during show jumping at FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, and HTD and also interaction effect didn't show.

③ Velocity of Y axis COM position showed significant difference statistically according to the take off distance during show jumping at HCM, FTD 2 and FTD and also interaction effect didn't show.

④ Front-rear angle of trunk showed significant difference statistically according to the take off distance during show jumping at HCM, and also interaction effect showed significant difference at HCM(H>D).

⑤ Left-right angle of trunk didn't show significant difference statistically according to the fence heights and take off distance during show jumping at FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, and HTD and also interaction effect didn't show.

⑥ FRAE and LRAE didn't show significant difference statistically according to the fence heights and take off distance during show jumping at FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, and HTD and also interaction effect didn't show.

3) Kinetic variables

① Potential energy didn't show significant difference statistically according to the fence heights and take off distance during show jumping at TO, S 1, S 2 and GL, and also interaction effect didn't show.

② Mechanical work showed significant difference statistically according to the fence heights during show jumping at S 1, and also interaction effect didn't show.

③ Power of COM showed significant difference statistically according to the fence heights during show jumping at S 1, and also interaction effect showed significant difference at S 1(H>D).

④ Average vertical force showed significant difference statistically according to the fence heights and take off distance during show jumping at GL, and also interaction effect didn't show.

4) Asymmetric index

① Asymmetric index between elbow joint angle showed significant difference statistically according to the fence heights during show jumping at GL, and also interaction effect didn't show.

② Asymmetric index between shoulder joint angle didn't show significant difference statistically according to the fence heights and take off distance during show jumping at TO, S 1, S 2, and GL, and also interaction effect didn't show.

③ Asymmetric index between hip joint angle didn't show significant difference statistically according to the fence heights and take off distance during show jumping at TO, S 1, S 2, and GL, and also interaction effect didn't show.

④ Asymmetric index between knee joint angle didn't show significant difference statistically according to the fence heights and take off distance during show jumping at TO, S 1, S 2, and GL, and also interaction effect didn't show.

⑤ Asymmetric index between ankle joint angle showed significant difference statistically according to the take off distance during show jumping at TO, and also interaction effect didn't show.

I. 서론

1. 연구의 필요성

말(horse)은 뛰어난 운동능력을 소유하고 있는데, 장애물 비월(show jumping)에서 말은 2.30m의 장애물 높이를 넘을 수 있으며, 경주마의 경우 15ms^{-1} 평균속도로 1mile의 거리를 이동할 수 있다(Bobbert & Santamaria, 2005). 하지만 승마활동은 기승자(horse rider)가 지면으로부터 약 2m 정도에 위치하고 500kg 무게의 말이 65km/h의 속도로 빠르게 달릴 수 있기 때문에 위험한 스포츠이며(Ceroni, Rosa, Coulon, & Kaelin, 2007), 특히 장애물 비월은 말의 자유도, 힘, 기술, 속도, 복종, 그리고 선수의 승마술을 선보여야 하는 어려운 종목이라 할 수 있다. 이에 말의 이동패턴은 기승자의 수준에 의해 결정되며 익숙하지 못한 보조에 가장 민감하므로(Collins, 2006; Heuschmann, 2006; Klimke, R. & Kllmke, I., 2006), 기승자는 말의 동체위에서 각 보조의 특성에 적응할 수 있는 자세유지 능력을 소유해야 한다(류재청, 2012).

장애물 비월(show jumping) 경기란 말과 기승자가 상호 협응하여 다양한 조건 하에 장애물 코스로 평가를 받는 경기를 말한다(대한승마협회, 2014). 이때 장애물을 넘어뜨리거나 거부(refuse), 도피(run-out), 반항(resistance), 낙마(falling) 그리고 소정시간 초과 등의 실책을 하게 되면 감점을 받게 되는데 거부란 비월해야 할 장애물 앞에서 말이 멈추는 것을 말하며 뒷걸음질, 정지가 길어지거나 단 한발이라도 뒤로 물러서는 경우이다. 도피는 말이 선수의 통제를 벗어나 넘어야 할 장애물이나 통과해야 할 의무회전 지점을 회피하는 것이며 반항은 말이 전진을 거부하거나 여하한 이유로 정지 및 여하한 사유로 1회 또는 수 회 가량 보통의 반 회전, 뒷발로 서기, 뒷걸음질을 하는 경우를 말한다. 또한 낙마는 선수가 자발적이든 아니든 넘어지지 않은 말에서 떨어질 때 지면에 신체의 부위가 닿거나 안장으로 다시 돌아가기 위해 지지대나 외부 보조물을 이용하게 되는 경우 낙마로 본다(대한승마협회, 2014).

장애물 비월을 위해 기승자는 기본적인 말의 보법에 숙련도가 필요한데, Lovett, Hodson-Tole, Kathryn과 Nankervis(2005)는 말의 평균속도로 평보가 $1.84\pm 0.1\text{ms}^{-1}$, 속보는 $3.78\pm 0.13\text{ms}^{-1}$, 구보는 $4.82\pm 0.28\text{ms}^{-1}$ 로 보고했다. 이때 Ceroni 등(2007)과 Lovett 등(2005)에 의하면 평보 시 보조는 시상면(sagittal plane)에서 기승자의 귀-어깨-엉덩이-발 뒤굽이의 수직선상 유지 및 팔꿈치-손-고삐-비트까지의 일정한 거리를 유지함으로써 더 안정된 자세

를 취할 수 있다고 하였다. 또한 기승자의 일반적인 하지관절 각도는 엉덩관절의 수평선상을 기준으로 대퇴(thigh)는 30deg.-40deg. 이지만(Quinn & Bird, 1996) 등자길을 짧게 유지하여 대퇴의 각도가 20deg.가 될 경우, 골반의 후방경사(pelvic retroversion)를 감소시킨다고 하였다(Loch, 1988).

국내에서도 평보와 속보 시 체간의 기울기는 류재청(2012)이 숙련된 기승자의 경우, 평보는 후경 11deg., 속보는 후경 6deg.로 유지하며, 이때, 고삐를 최상으로 유지하기 위한 어깨각도는 평보와 속보가 각각 18.43deg., 20.55deg.로 보고하였고, 기승자의 하지관절 각도는 평보와 속보 시 고관절은 117deg., 113deg., 무릎각은 105deg., 117deg., 발목관절은 88deg., 95deg.로 유지한다고 하였다. 이러한 자세는 상관분석 결과를 통해 평보(walk)는 어깨와 팔꿈치의 분절각도가 동체의 전·후 기울기각도에 영향을 주며, 속보(trot)는 허리와 무릎 및 발목관절 각도 간 밀접한 비례관계를 기승속도에 따라 상호작용분절에서 차이 난다고 하였다. 오운용, 류재청, 김진현과 현승현(2009)도 숙련된 기승자의 경우, 미숙련자보다 공중국면의 소요시간 비율이 더 많고, 상하움직임을 더 작게 유지하여 전후 및 좌우 속도는 더 일관된 속도를 유지한다고 하였다.

이처럼 승마활동 시 $1.84 \pm 0.1 \text{ms}^{-1}$ 의 평균속도가 나타나는 평보(walk)와 $3.78 \pm 0.3 \text{ms}^{-1}$ 속도의 속보(trot)와 관련하여 기승자가 더 안정적이고 효율적인 자세유지 및 낙마예방을 위한 연구들이 이루어졌으며, 구보(canter)는 이보다 더 빠른 $4.82 \pm 0.28 \text{ms}^{-1}$ 로 말의 1 stride 동안 체간의 최대 기울기 범위는 4.7deg., 대퇴는 4.4deg., 하퇴는 3.9deg.로 보고하고 있다(Lovett et al., 2005). 이 외에도 기승자와 안장(saddle)위치 간 운동학적(kinematic) 분석(Byström, Rhodin, Peimen, Weishaupt, & Roepstorff, 2009), 안장 피팅(fitting)의 유·무(Peham, Licka, Schobesberger, & Meschan, 2004), 안장의 유형(Witte, Schobesberger, & Peham, 2009)등에 따른 기승자세의 연구도 이루어지고 있다.

한편, 장애물 비월에서 기승자세 관련 연구는 Decker(1995)가 이륙 시 팔꿈치 각도를 최소화하고 공중기에서 엉덩관절의 각도와 전경각 자세는 일정하게 유지함과 동시에 착지 시에는 말의 머리가 전진하며 하(down)방향으로 향할 수 있도록 팔꿈치의 각도를 풀어주며 일정한 긴장을 유지해야 한다고 하였다. 또한 등은 지면과 평행하거나 아치모양을 하도록 하며, 이때 기승자는 체중을 발뒤꿈치에 두어 지면 착지 시 엉덩관절과 무릎관절 및 팔꿈치 관절의 각도에 변화를 주어 충격을 흡수해야 한다고 했다. Rhodin(2008)은 높은 수준의 마장마술 연구에서 말의 머리와 목의 위치를 결정하는 형태에 따라 구보에 비해 평보에서 더 큰 영향을 미친다고 하였고, Byström 등(2009)은 기승자의 골반과 안장사이의 운동학적 특징에 따라 말의 운동 및 후족 사이에 명확한 관계가 작용되는 것을 확인하였지만, 질적으로 평가되고 있어 교육현장 및 트레이닝 시 기승자에게 제시할 수 있는 적합

한 정량적 자료는 부족하다고 판단된다.

말과 기승자 간 여러 변인들에 의해 장애물넘기의 성·패 여부가 결정되기 때문에 본 연구는 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자세(rider posture)와 충격량(impulse)분석이 중요하다고 판단되었다. 즉, 장애물을 넘기 전, 기승자세 특징과 장애물을 넘은 후 신체가 받아들이는 충격량의 차이 규명이 필요하다. 마장마술(dressage)과 장애물 비월(jumping)에서 사용되는 다양한 기술은 말의 전(fore)-후족(hindlimbs) 움직임으로 체중부하에 영향이 미칠 수 있으며(Roepstorff, Johnston, Drevemo, & Gustås, 2002), 말의 속도(McLaughlin, Gaughan, Roush, & Skaggs, 1996)와 무게(Barr, Dow, & Goodship, 1995)에 따라 충격유형은 다양하게 발생될 수 있다.

또한 기승자의 균형유지가 강조되는 만큼 말의 균형은 점핑(jumping)을 수행함에 있어 매우 중요한데(Power, Harrison, 2000; Kuhnke, Dumbell, Gaulty, Johnson, & McDonald, 2010), 기승자 상·하지의 관절각도, 체간의 기울기 성향, 그리고 양측분절의 협응성이 중요한 관건이다. 특히, 기승자세의 불균형한 체지의 움직임은 말에게 치명적인 부상을 유발시킬 뿐만 아니라(Davies, 1996; Deuel & Lawrence, 1987; Williams & Norris, 2007) 기수의 고삐 긴장으로 어깨부분의 미세한 외상과 반복성 긴장장애(repetitive strain injury)가 증가된다고 하였고(Pugh & Bolin, 2004), 이로 인한 말은 반대 측 전·후 다리 간 비대칭(asymmetry)적인 움직임이 나타날 수 있다(Dyson, Murry, Branch, & Harding, 2003; Roepstorff et al., 2009; Stashak, 1995). 특히, 종합마술은 위험도가 높은 승마스포츠이며, 승마활동 시 낙마로 인해 큰 부상과 사망까지 이를 수 있기 때문에 안정성에 대한 역학조사(epidemiological investigations)가 강조되고 있다(Murray, Singer, Morgan, proudman, & French, 2006).

이와 같이, 승마 장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자의 상·하지 관절각도 변화, 신체중심(COM)의 속도, 위치변화, 그리고 체간의 전·후/좌·우 기울기 성향을 통해 경기력 향상과 동적안정성이 확보될 수 있는 기승자세 규명이 필요하다. 또한 각운동학적 변인을 통해 양측체지 간 기승자세의 협응성 분석, 그리고 지면 착지 시 발생하는 평균 충격력을 비교분석하여 기승능력과 부상정도를 예측할 수 있는 기초자료로 제시하기 위해 실시하였다.

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 승마 장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자세를 비교분석하여 장애물 높이 별 적합한 도약거리를 기승자의 신장비율로 적용하기 위해 실시하였다. 특히, 낙마의 위험이 큰 장애물 비월에서 기승자의 안정성이 확보되고 말-기승자 간 상호협응성이 최대로 발휘될 수 있는 기전을 정량적으로 분석할 수 있을 뿐만 아니라 실제경기상황에서 성·패 여부에 따른 문제점들을 규명할 수 있는 기초자료를 제시하기 위해 실시하였다.

3. 연구의 문제

1) 승마 장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따라 기승자의 상·하지 관절의 각도변화에 차이가 나타나는가?

- ① 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 발목관절의 각도에 차이가 나타나는가?
- ② 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 무릎관절의 각도에 차이가 나타나는가?
- ③ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 엉덩관절의 각도에 차이가 나타나는가?
- ④ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 팔꿈치관절의 각도에 차이가 나타나는가?
- ⑤ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 어깨관절의 각도에 차이가 나타나는가?

2) 승마 장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따라 기승자의 동적안정성의 변화에 차이가 나타나는가?

- ① 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 신체중심위치의 전후(Y) 속도변화에 차이가 나타나는가?
- ② 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 신체중심위치의 전후(Y) 이동변위에 차이가 나타나는가?
- ③ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 신체중심 위치의 수직(Z) 이동변위에 차이가 나타나는가?
- ④ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 체간의 전·후 기울기각도에 차이가 나타나는가?

- ⑤ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 체간의 좌·우 기울기각도에 차이가 나타나는가?
- ⑥ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 체간기울기의 안정성 변화에 차이가 나타나는가?

3) 승마 장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따라 기승자 신체중체중심위치의 운동역학적 변인에 차이가 나타나는가?

- ① 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 위치에너지에 차이가 나타나는가?
- ② 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 일량에 차이가 나타나는가?
- ③ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 파워에 차이가 나타나는가?
- ④ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 평균 충격력에 차이가 나타나는가?

4) 승마 장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따라 기승자의 양측 상·하지 간 협응성에 차이가 나타나는가?

- ① 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 양측 발목관절 각도 간 비대칭지수에 차이가 나타나는가?
- ② 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 양측 무릎관절 각도 간 비대칭지수에 차이가 나타나는가?
- ③ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 양측 엉덩관절 각도 간 비대칭지수에 차이가 나타나는가?
- ④ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 양측 팔꿈치관절 각도 간 비대칭지수에 차이가 나타나는가?
- ⑤ 도약거리와 장애물 높이변화에 따라 양측 어깨관절 각도 간 비대칭지수에 차이가 나타나는가?

4. 연구의 제한점

본 연구를 수행함에 있어서 다음과 같은 제한점을 가지고 있다.

- 1) 기승자의 관절은 핀 조인트(pin joint)로 가정하여 연결된 강체(rigid body)로 되어있는

강체연결시스템(linked system of human body)으로 간주하였다.

- 2) 승마 비월 시 도약거리는 실험 종료 후 최단 거리와 최장 거리로 설정하였다.
- 3) 이 연구에서 기승자의 심리학적 요인과 생리학적인 요인이 기승자세에 미치는 영향은 통제하지 못하였다.
- 4) 장애물의 수직높이는 크로스바를 사용하여 50cm와 80cm로 제한하였다.

5. 용어의 정의

본 연구에 사용되는 용어에 대한 정의는 다음과 같다.

- 1) 말 앞발굽 접지 1(fore limb touch down 1, FTD 1) : 도약 전 말 앞발굽이 지면에 접지되는 동작
- 2) 말 앞발굽 이지(fore limb take off, FTO) : 도약 전 말 앞발굽 접지 후 지면에서 떨어지는 동작
- 3) 기승자의 신체중심위치 정점(high center of mass, HCM) : 도약 후 기승자의 신체중심(COM)이 정점이 되는 동작
- 4) 말 앞발굽 접지 2(fore limb touch down 2, FTD 2) : 장애물을 넘은 후 다시 말 앞발이 지면에 착지되는 동작
- 5) 말 뒤발굽 접지(hindlimb touch down, HTD) : 장애물을 넘은 후 말 뒤발굽이 지면에 착지되는 동작
- 6) 등자(stirrup) : 말 위에 올라타거나 내릴 때 사용되며, 기승활동 시 적절한 체중배분과 균형유지에 필요한 마구(harness)

II. 이론적 배경

1. 말의 골격

1) 보행에 따른 골격 특성

말의 골격은 움직임에 있어 전체 체중을 지지해주는 역할을 하는데, 두개골, 척주와 같이 신체의 축이 되는 중심축 골격과 앞다리, 뒷다리를 이루는 사지골격으로 나눌 수 있다 <Figure 1>. 중심축 골격은 체중 지지와 충격완화의 기능이 있으며, 사지골격은 운동과 관련이 있다(이인형, 황인구, 2012).

① 중심축골격

두개골과 척주를 포함하는 골격으로 전체적으로 아치형을 이루어 체중을 분산시키는 역할을 하며 척주에 있는 극돌기(가시돌기, spinous process)가 경추(목뼈, cervical vertebra) 및 흉추(등뼈, thoracic vertebra)의 전반부까지는 후방을 향하며 그 이후 부분은 전방을 향하기 때문에 체중을 분산하기 매우 좋은 구조로 형성되어 있다(이인형, 황인구, 2012).

② 사지골격

이인형과 황인구(2012)에 의하면 사지골격은 앞다리와 뒷다리의 골격을 포함하여 앞다리와 뒷다리 골격이 서로 반대 방향을 향함으로써 신체를 지탱하고 충격을 흡수할 수 있으며 신체를 앞으로 밀어내는 추진력을 일으킬 수 있다. 앞다리의 견갑골(어깨뼈, scapula)과 뒷다리의 골반골(볼기뼈, hip bone)은 옆에서 보면 팔자 형태를 보이며, 견갑골은 흉부(가슴부위, thoracic region)에 근육으로 달라붙어 있고, 골반골은 중심축골격인 천추(엉치뼈, sacral vertebra)와 결합되어 있어 안정성을 가진다. 앞다리 상완골은 견갑골과 관절을 이루고 있으며, 관절의 지탱은 대부분 근육에 의하고, 흉부와 근육에 의해 연결되어 있어서 체중을 지탱할 수 있다. 이에 반해 뒷다리 대퇴골(femur)은 골반골과 강한 인대에 의해 결합되어 있고, 관절강(관절공간)이 절구 같은 결합으로 되어 있으며, 이를 덮는 근육이 발달해 있어 앞다리보다 큰 힘으로 땅을 박찰 수 있다.

앞다리 요골(노뼈, radius), 척골(자뼈, ulna)은 상완골과 관절을 이루며, 서 있을 때 지면과 90deg.의 각을 이룬다. 요골은 두껍고 척골은 근위부만 남아 요골에 유착되어 있다. 뒷다리의 경골(정강뼈, tibia), 비골(종아리뼈, fibula)도 비골의 근위부만 남아서 경골에 유착

되어 있다. 서 있을 때 지면에서 후방으로 다리가 향해 있어 체중의 분산으로 충격을 완화한다.

완골(앞발목뼈, carpal bone)은 7개의 뼈가 2열로 나열되어 있어 움직이는 폭이 넓으며, 지면에서 90deg.의 각을 이루는 요골, 척골, 중수골(앞발허리뼈, metacarpal bone)등의 각도를 조절함으로써 체중 분산에 도움이 된다. 족근골(뒷발목뼈, tarsal bone)은 6개의 뼈가 3열로 나열되어 있으며, 힘줄로 되어 있는 제 3비골근(셋째종아리근, third peroneal)이 슬관절(무릎관절, stifle joint) 운동과 비절(hock joint)운동을 서로 연합하여 슬관절과 비절이 동시에 운동하도록 해주는 기능을 가지고 있다.

지골(발가락뼈, digit)에는 근위중자골(proximal sesamoid bone)이 있어서 부인대(덧인대, accessory ligament)에 의한 체중부담을 덜어주는 구조를 가지고 있으며, 탄력을 이용하여 발을 떼면서 차고 나갈 수 있도록 해준다.

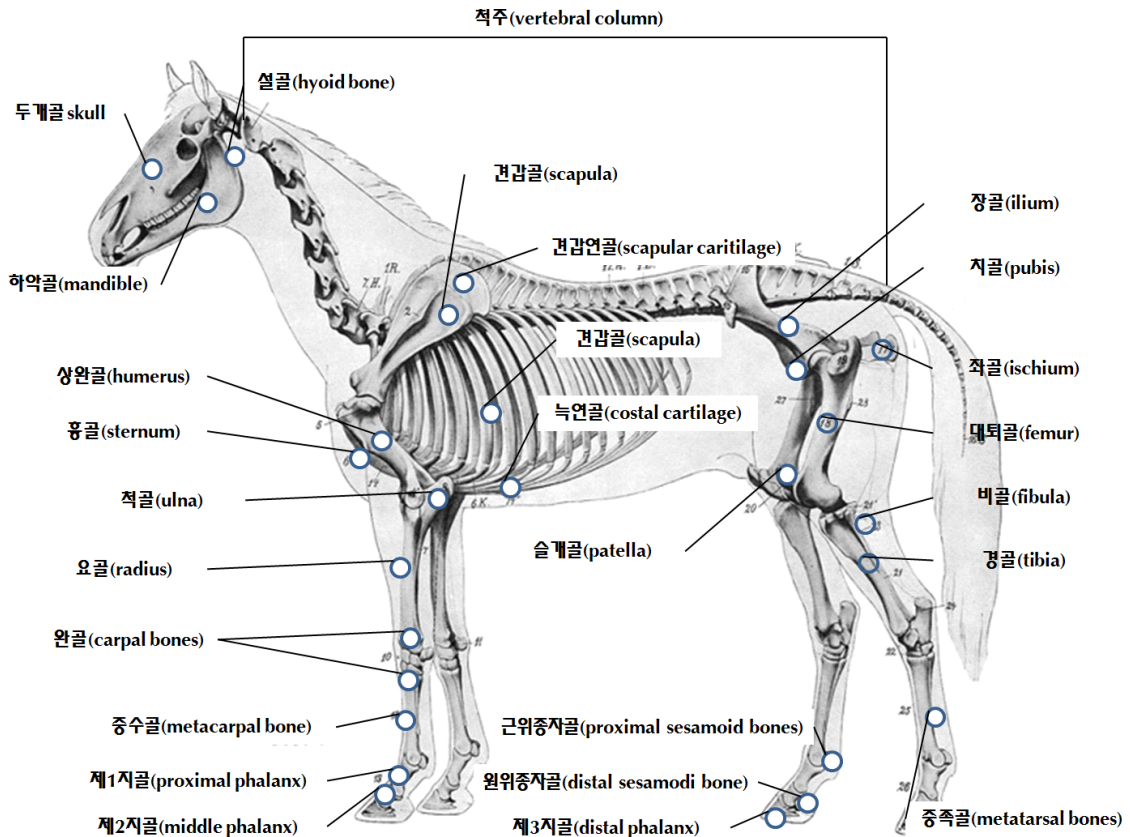


Figure 1. Horse skeleton

③ 발굽

발은 걸을 때 제저(발굽바닥, sole of hoof)가 먼저 닿으며, 발굽의 후방에서 제저로 뻗은 재차(발굽췌기, frog)는 그 다음에 닿게 된다. 재차는 탄력성을 갖고 지면에 미끄러지지 않게 해 주며, 이렇게 발굽이 놓리는 자극에 의해 혈액흐름을 원활하게 하여 혈류의 흐름을 증가시킨다(이인형, 황인구, 2012).

2. 운동에 따른 신체변화

일반 경주마에서 호흡수는 휴식 시에 분당 8-16회, 흡입하는 공기의 양은 100L 이지만 운동 시에는 호흡수가 10-20배로 분당 180회 정도까지 증가되고, 흡입하는 공기의 양도 1,500L나 된다. 호흡의 증가는 운동으로 인한 산소분압의 감소, 이산화탄소 분압의 증가, PH의 감소 등에 의해서 유발되며, 호흡에 따른 공기 흡입량도 급격하게 증가한다. 말의 호흡은 흉강(가슴안, thoracic cavity)을 넓게 하면서 에너지를 사용하기 때문에 운동과 공기의 흡입을 결합하는 호흡법이 발달해 있다(이인형, 황인구, 2012).

1) 구보, 습보 시의 호흡

구보 및 습보 시의 호흡은 앞다리의 위치와 관련이 크다. 그 이유는 구보와 습보의 운동 시에는 모든 하중이 앞다리에 실리기 때문이다. 앞다리가 땅을 디딜 때 견갑골(어깨뼈, scapula)이 붙어 있는 늑골(갈비뼈, rib)을 압박함으로써 늑골의 폭이 줄어들어 이로 인해 폐에서 공기를 방출하게 된다. 반대로 앞다리가 땅에 뜨게 되면 앞다리에 힘이 실리지 않아 늑골이 자유로우며, 횡경막(가로막, diaphragm)이 뒤로 밀리면서 공기를 들이마시게 된다. 앞다리의 운동과 호흡은 대체로 일치하지만, 때때로 엇박자를 나타내기도 한다(이인형, 황인구, 2012).

2) 속보와 측대보 시의 호흡

속보 시에는 하중이 앞다리에 전체적으로 실리지 않기 때문에 견갑골에 의한 흉부의 압박이 덜하며, 빠른 운동으로 인해 운동의 방향이 앞뒤가 아닌 위아래로 전달되기 때문에 구보, 습보보다는 호흡이 자유롭다(이인형, 황인구, 2012).

3) 운동에 따른 순환기계의 변화

효과적인 운동을 위해서는 운동의 주체인 근육에 보다 많은 혈액을 공급하여 산소공급을 원활하게 해야 한다. 운동을 하게 되면 근육은 더 많은 산소의 공급을 원하며, 폐에서 들어온 산소는 혈액에 녹아서 폐정맥(허파정맥, pulmonary vein)을 통해서 심장으로 들어가며, 심장은 근육으로 더 많은 혈액을 내뿜게 된다. 근육은 산소를 많이 소비하기 때문에 더 많은 이산화탄소를 혈액으로 보내게 된다. 일반경주마에서 1회에 방출되는 혈액량은 약 1ℓ이며, 1분당 25-40회 정도의 심박이 뛰기 때문에 1분당 박출량은 30ℓ나 된다. 그러나 운동을 하게 되면 1회 박출량이 50%정도 증가하며, 심박수는 분당 210-280회 정도로 증가하게 된다. 심장의 크기는 운동량에 따라 비례하여 증가하는데, 일반적인 경주마의 심장무게는 말의 체중 kg당 9g 정도이며, 운동을 하게 되면 대개 체중대비 1% 이상(최대 30g/체중 kg) 증가한다(이인형, 황인구, 2012).

이인형과 황인구(2012)에 의하면 말의 운동과 심박수, 운동 시 혈압의 변화는 다음과 같다.

① 운동과 심박수

경주마는 휴식 시 일반적으로 분당 25-40회 정도의 심박수를 나타낸다. 운동을 하기 위해서 말안장을 없으면 심박수가 증가하는데, 분당 70-90회 정도 증가하며, 이러한 증가는 열량이 증가할수록 감소한다. 운동 시에는 심박수가 안정시의 5-8배로 증가하며, 최대 분당 300회까지 증가하게 된다. 심박수는 경주마의 속도와 직접적인 연관을 가지고 있으며, 최대 속력인 시속 65km/h를 나타내게 되면 심박수는 더 이상 증가하지 않는다. 휴식 시에 전체 혈액량 중 15%정도 골격근에 공급되며, 운동 시에는 그 비중이 증가하고, 최대 운동 시에는 85%까지 증가하는 것으로 알려져 있다. 운동 시에 가장 많은 혈액이 공급되는 근육은 골격근 근육이 아닌 횡경막(가로막, diaphragm)이다. 휴식 시 심박수가 적을수록, 운동 시 심박수가 높게 증가할수록 뛰어난 경주마라고 할 수 있다. 운동이 끝난 직후 심박수는 급격하게 감소하며 이후 천천히 감소한다. 건강한 말은 온도, 습도, 등 환경적 영향과 운동의 강도 및 시간과도 밀접한 연관이 있다(이인형, 황인구, 2012).

② 운동 시 혈압

경주마의 휴식 시 혈압은 일반적으로 수축기 150mmHg, 확장기에는 100mmHg이다. 경주마의 운동 시 혈압은 증가하나 300mmHg를 넘지는 않는다. 혈압은 얼굴에 있는 안면동맥(얼굴동맥, facial artery)이나 안면횡동맥(가로얼굴동맥, transverse facial artery), 앞다리에서 지동맥(발가락동맥, digital artery) 또는 뒷다리의 외배측중족동맥(lateral dorsal metatarsal artery)에서 측정할 수 있다(이인형, 황인구, 2012).

3. 장애물 비월

대한승마협회(Korea Equestrian Federation, KEF)에서 2012년 1월 1일부터 시행된 “장애물 비월 규정”은 국제승마연맹(Federation Equestre Internationale, FEI)의 세칙이지만 FEI의 법령, FEI 총칙(General Regulations, GR), FEI 수의규정(Veterinary Regulations, VR), 기타 모든 FEI 규정 및 규칙과 공유해야 한다. 이러한 사항들은 승마활동 시 일어날 수 있는 모든 사태를 규정화 하는 것이 불가능하기 때문이며, FEI의 다른 규정 및 규칙, 스포츠 정신에 최대한 어긋나지 않도록 해석한다(대한승마협회, 2014).

대한승마협회(2014)의 “장애물 비월 규정”에 의하면 다음과 같이, 첫째, 장애물 비월경기란 말과 기수 간 상호협응을 이루어 다양한 조건 하에서 장애물 코스로 평가 받는 경기를 말하며, 둘째, 이 평가는 장애물 비월에서 말의 자유도, 힘, 기술, 속도, 복종, 그리고 선수의 승마술을 선보여야 한다. 셋째, 선수가 장애물을 넘어뜨리기, 거부, 소정시간 초과 등의 실책을 하게 되면 감점을 받게 되며, 경기의 우승자는 경기 유형에 따라 가장 감점을 적게 받거나 가장 빠른 시간 내에 코스를 완주하거나 가장 높은 득점을 올린 선수가 된다.

마지막으로 장애물 비월 경기에서는 다양성을 장려한다. 따라서 장애물 비월 규정은 장애물 비월 경기에 적용되는 규정과 규칙을 표준화하기 위한 것이지, 경기의 본질을 표준화하려는 것이 아니다. 다양성은 선수와 관객 모두에게 어떤 희생을 치르더라도 보존해야 할 귀중한 가치이므로, 이것으로 장애물 비월경기를 표준화하려는 의도는 없다(대한승마협회, 2014).

Barrey와 Galloux(1997)에 의하면 점핑(jumping)경기에서 말은 결함 없이 장애물을 넘을 수 있어야 하며 장애물의 높이, 형상, 폭이 말의 중심과 발굽의 궤적에 영향을 미친다고 하였다. 특히, 성공적인 점핑을 위한 3가지 생체역학적 요인은 첫째, 장애물에 기반한 후족(hindlimb)의 도약거리, 둘째, 도약 시 전(fore)-후족(hindlimb)의 충격력, 셋째, 시상면(sagittal plane)에서 말 신체의 회전특성으로 보고하였다.

특히, 도약(take off) 시 발굽의 충격력은 공중기(swing)의 시작 부분에 초기 속도의 크기와 방향을 설정하여 말 신체중심(COM)의 탄도비행을 결정한다(Barrey & Galloux, 1997). 도약 시 속도에 영향을 주는 변인은 장애물의 높이와 거리로 조사되었다(Bogert, Jansen, & Deuel, 1994, Clayton, Colborne, & Burns, 1995). 즉, 도약 시 뒷다리에 가해지는 외력은 공중기 단계 동안 전체 운동 모멘트를 결정할 수 있기 때문에 말 신체의 회전 특성에 영향이 미치며 장애물을 넘기 위한 중요한 요인이다(Schambardt, Merkens, Vogel, & Wilekens, 1993).

4. 장애물 비월 경기장 및 조련장

대한승마협회(2014)의 경기장, 조련장 및 연습용 장애물과 관련 규정은 “장애물 비월 규정”에 명시되어 있으며 다음과 같다.

1) 경기장

① 경기장에는 반드시 사방이 둘러쌓여 있어야 하며, 경기 중 말이 경기장 내에 있는 동안에는 모든 물리적 출입을 금지해야 한다(대한승마협회, 2014).

② 실내 경기장의 크기는 최소 1,200m²이어야 하고 짧은 쪽의 너비가 최소 20m 이상이어야 한다. 실외 경기장의 크기는 최소 4,000m²이어야 하고, 짧은 쪽의 너비가 최소 50m 이상이어야 한다. 이 규정에 대한 예외는, 상황상 정당화되는 경우, FEI 장애물 비월 디렉터가 장애물 비월위원회 위원장과 상의하여 허용할 수 있다(대한승마협회, 2014).

2) 조련장

조직위원회는 최적의 훈련조건을 충족시킬 수 있는 충분한 넓이의 조련장을 최소 1개 이상 설치하여야 하며, 적어도 수직 장애물 1개와 스프레드(spread) 장애물 1개를 준비하여야 한다. 또한 마장의 형태도 말이 훈련하기 적절한 상태이어야 한다. 참가선수가 많고, 마장에 충분한 공간이 있을 때는 장애물의 수를 늘려야 한다. 이들 장애물은 모두 통상적인 방식으로 건조되어야 하고, 적기와 백기가 있어야 한다. 그러나 이 기들은 윈(winds)이나 업라이트(uprights)에 백색 톱이나 적색 톱을 제공할 수 있도록 테이프나 페인트로 교체될 수 있다. 장소에 충분한 여유가 있고 선수의 수가 많을 때는 별도의 조련장을 지정할 수 있다(대한승마협회, 2014).

3) 연습용 장애물

조직위원회가 준비한 것 이외의 소재를 사용한 장애물의 사용은 금지되며 이를 위반한 자는 실격 또는 벌금이 부과된다. 연습용 장애물은 기가 지시하는 방향으로만 비월해야 하며 장애물의 어느 부분도 사람이 물리적으로 잡고 있어서는 안 된다(대한승마협회, 2014).

① 그라운드 라인은 장애물의 첫 번째 부분 바로 아래에 놓을 수도 있고 도약 쪽에서 최대 1m 떨어진 곳에 놓을 수도 있다. 장애물 바로 앞에 그라운드 라인이 있는 경우, 그라운드 라인을 장애물 후방에 동일 거리부터 최대 1m 거리까지 사용할 수 있다(대한승마

협회, 2014).

② 1.30m 이상의 모든 장애물에는 최소한 2개 이상의 막대가 컵 안에 담겨 장애물의 도약 쪽에 위치하고 있어야 한다. 이때 그라운드 라인이 사용되는지 여부는 관계없다. 낮은 쪽의 막대는 항상 1.30m 미만이어야 한다(대한승마협회, 2014).

③ 만약에 X형 막대를 장애물의 최상단에 사용하는 경우, 이 부분이 각기 따로 분리되어 떨어질 수 있도록 되어 있어야 한다. 막대의 맨 끝이 컵 안에 들어가야 한다. 그러나 X형 막대 뒤쪽에 수평 상단 막대가 있을 수 있으며, 이것은 X 막대의 중심보다 최소 20cm 이상 높아야 한다(대한승마협회, 2014).

④ 장애물의 상단 막대는 양 끝이 컵 안에 들어가 있어야 한다. 이 막대를 컵의 가장자리에 둘 경우, 먼 쪽 가장자리에 두어야지, 절대로 가까운 쪽 가장자리에 두어서는 안 된다(대한승마협회, 2014).

⑤ 최대 장애물 높이가 1.40m 이하인 경기의 경우, 연습장의 장애물 높이는 진행 중인 경기에서의 실제 장애물 최대 높이 및 폭보다 10cm 이상 초과할 수 없다. 진행 중인 경기에서 장애물 높이가 1.40m보다 높다면, 연습장 장애물은 높이 1.60m, 폭 1.80m를 초과할 수 없다(대한승마협회, 2014).

⑥ 막대들이 컵 안에 든 채 한쪽 끝이나 양쪽 끝에 세워져 있거나 배치된 경우 말을 그위로 평보 시킬 수 없다(대한승마협회, 2014).

⑦ 조직위원회는 수호를 모방할 장애물 소재를 제공할 수 있다(대한승마협회, 2014).

4) 코스이탈

코스이탈은 선수가 다음과 같이 했을 때를 말한다(대한승마협회, 2014).

① 공시된 도면에 나와 있는 대로 코스를 따르지 않았을 때(대한승마협회, 2014).

② 기들 사이의 출발선이나 종료선을 올바른 방향으로 통과하지 않았을 때(대한승마협회, 2014).

③ 의무회전지점을 빠뜨렸을 때(대한승마협회, 2014).

④ 특별 경기인 경우를 제외하고, 지시 순서나 지시 방향으로 장애물을 비월하지 않았을 때(대한승마협회, 2014).

⑤ 코스에 없는 장애물을 비월하거나 비월 시도를 하였을 때 또는 장애물을 빠뜨렸을 때, 그리고 코스에 없는 장애물에는 횡선을 그려야 하지만 경기장 측이 그렇게 하지 않은 경우라도 코스에 없는 장애물을 비월한 경우 선수는 탈락하게 된다(대한승마협회, 2014).

⑥ 코스 이탈을 바로 잡지 않으면 그 말과 선수 조는 탈락 처리된다(대한승마협회,

2014).

5. 시간과 속도

1) 시간기록

대한승마협회(2014)의 “장애물 비월 규정”에 의하면 시간기록에 대한 규정은 다음과 같다.

① 대회에서 각 경기의 시간을 측정할 때에는 같은 시스템이나 같은 종류의 시간 측정 장치를 사용한다. 모든 올림픽경기와 지역경기, FEI 선수권대회, FEI 월드컵™ 파이널, CSIO, CSI에서는, FEI 장애물 비월 디렉터가 정당한 근거를 들어 예외를 허용한 경우가 아닌 한, FEI가 승인한 타이밍 장치가 의무화되어 있다. 어떤 상황에서도 계시 요원은 전자 타이밍 시스템을 이용하여 말의 번호와 라운드 완료에 걸린 시간을 기록하여야 한다. 시간은 100분의 1 초 단위까지 기록해야 한다(대한승마협회, 2014).

② 전자 타이밍이 고장일 경우를 대비해 두 개의 디지털 스톱워치가 필요하며, 불복종, 중단은 이유로 벨이 울린 후 시작까지 걸린 시간, 두 개의 연속 장애물 사이의 소요 시간, 반항의 시간제한 등을 측정할 세 번째 스톱워치도 필요하다. 즉 심판부의 대표나 그 구성원은 반드시 디지털 스톱워치를 가지고 있어야 한다(대한승마협회, 2014).

③ 스톱워치로 시간을 재는 경기에서는 시간을 초 단위와 100분의 1초 단위로 기록해야 한다. 2명의 계시 요원을 사용하는 경우, 한 계시 요원의 시간만을 공식 타이밍으로 참작해야 하며, 두 번째 계시 요원의 시간은 예비 용도로 사용한다(대한승마협회, 2014).

④ 전자 타이밍 장치가 고장인 경우, 그 고장 당시 선수의 시간은 100분의 1초 단위의 스톱워치로 결정해야 한다(대한승마협회, 2014).

⑤ 비디오 녹화를 이용하여 선수의 라운드 시간을 정하는 일은 절대로 없다(대한승마협회, 2014).

⑥ 선수의 출발선/종료선 통과를 심판부 박스에서 명확히 판단할 수 없는 경우, 출발선에 한 명, 종료선에 한 명, 이렇게 한 두 사람에게 기를 들려서 양쪽 선에 배치하여 선수의 통과를 신호하게 해야 한다. 선수의 라운드 완료에 걸린 시간은 심판부 박스에서 기록해야 한다(대한승마협회, 2014).

2) 중단시간

대한승마협회(2014)의 “장애물 비월 규정”에 의하면 중단시간과 시간보정에 대한 규정은 다음과 같다.

① 시간이 중단된 동안, 선수는 다시 시작해도 좋다는 벨이 울릴 때까지 자유롭게 주변을 돌아다닐 수 있다. 즉, 시간이 중단되었던 위치에 선수가 도달한 때에 시간이 다시 시작된다(대한승마협회, 2014).

② 시간을 시작하고 중지시키는 책임은 벨 담당 심판원이 맡는다. 타이밍 장치는 이러한 절차에 따를 수 있는 장치이어야 한다. 계시 요원에게는 이 임무를 맡길 수 없다(대한승마협회, 2014).

③ 전자 타이밍 시스템은 선수의 라운드 시간은 물론, 시간 보정까지 기록해야 한다(대한승마협회, 2014).

3) 시간보정

불복종으로 인해 선수가 장애물의 위치를 변화시키거나 떨어뜨린 경우 또는 수호 장애물이나 자연장애물의 경계를 규정하는 기의 위치를 변화시켰거나 떨어뜨린 경우, 기를 떨어뜨림으로써 장애물의 성격을 변화시킨 경우, 벨이 울리게 되고 장애물이 복구될 때까지 시간이 중단된다(대한승마협회, 2014).

장애물이 복구되면, 코스가 준비되었으니 선수는 라운드를 계속해도 좋다는 벨이 울리게 된다. 선수는 거부에 대한 감점을 받게 되고, 그 선수가 라운드를 완료하는데 걸린 시간에 6초의 시간 보정이 더해지게 된다. 말이 거부했던 장애물의 지면을 떠난 순간부터 시간이 다시 시작된다. 복합 장애물의 두 번째 부분이나 그 다음 부분에서 장애물/기 낙하와 더불어 불복종이 발생한 경우, 말이 복합 장애물의 첫 번째 구성요소의 지면을 떠난 때로부터 시간이 다시 시작된다(대한승마협회, 2014).

4) 속도

국제경기에서의 속도는 다음과 같다(대한승마협회, 2014).

① 분당 최저 350m, 분당 최고 400m, 실내 경기장에서는 이 속도를 분당 325m로 줄일 수 있다(대한승마협회, 2014).

② 특수대장애물경기/체력기술 경기: 최저 속도 없음(대한승마협회, 2014).

③ 그랑프리: 야외의 경우 분당 최저 375m, 최고 400m, 실내의 경우 분당 350m(대한승마협회, 2014).

④ 네이션스컵: 5* 및 4* 네이션스컵 야외 경기의 경우 분당 400m, 3* 네이션스컵 야외 경기의 경우 분당 375m, 2* 및 1* 네이션스컵 경기 및 모든 실내 네이션스컵 경기의 경우 분당 350m(대한승마협회, 2014).

6. 선행연구

Galloux와 Barrey(1997)가 1.20m×1.20m 장애물 비월 넘기 동작을 TrackEye system(2D)을 사용하여 30두의 말(horse)에게 9개의 관절점, 기승자의 각 관절점에 7개의 마커를 부착하여 영상분석을 실시한 결과, 도약(take-off), 점핑(jumping), 그리고 착지(landing) 시 각 분절은 몸통(body) 전체의 회전력에 기여한다고 보고하였다. 특히, 분절 중 체간(trunk), 후족(hindlimbs) 그리고 머리(head)-목(neck) 분절이 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났고, 신체 분절 간 협응(coordination)으로 장애물을 넘는 동안 회전각속도를 제어한다고 하였다.

Bobbert와 Santamaria(2005)가 말의 점핑에서 도약 시 전족의 에너지 변화에 대한 후족의 기여도를 분석한 결과, 전족을 미는(push) 동안 전체에너지는 3.2Jkg^{-1} 감소하였고, 마지막 단계에서는 4.2Jkg^{-1} 이 다시 증가한다고 하였다. 또한 도약이 끝난 후 무게중심(COM)의 수평 속도 에너지는 도약 전과 비교하여 1.6Jkg^{-1} 보다 감소하였고, 효과적인 에너지는(점핑높이에 기여하는 에너지) 2.3Jkg^{-1} 로 보고하였다. 이는 상당한 양의 에너지가 상완삼두근에서 기여되는 것이며 연속적으로 근육에 의해 재생성 된다고 하였다. 또한 후족이 도약하는 동안 다리의 근육은 주로 에너지를 생산하였고, 에너지의 증가는 전체 2.5Jkg^{-1} , 피크파워 출력은 71Wkg^{-1} 이라고 보고하였다.

Hole, Clayton과 Lanovaz(2002)는 올림픽 점핑에서 말이 2장애물을 넘는 동안 시간변화에 따른 선형 stride의 운동학적 변인(보폭길이, 보길이, 보폭의 지속시간, 속도)을 조사하기 위해 8두의 말(horse)을 1.47m, 1.51m의 장애물 넘기를 실시하였다. 그 결과, 두 장애물 간 유사한 속도를 보였지만 보폭의 길이는 매우 짧았으며 지지기도 더 짧아진다고 하였다. 또한 말 간 두 장애물 사이의 보폭 길이의 변화는 일관성이 낮았지만, 스텝 길이의 변화를 다르게 사용하여 장애물을 넘는다고 하였다.

Cassiat 등(2010)은 말이 수직 장애물 넘기 시 후족의 운동학적 변인에 미치는 영향을 분석하기 위해 높은 수준의 경주마와 낮은 수준의 경주마를 2개의 그룹으로 나누어 1m 장애물 넘기를 실시하였다. 이때, 3D 분석은 2패닝(panning) 기법을 사용하여 기갑

(withers), 엉치결절(tuber sacrale)의 수직변위, 수직 및 수평 속도의 운동학적 변인과 말 동체의 흉추(thoracic), 흉요추(thoracolumbar), 요천(munbosacral) 3부분의 굴신(flexion-extension) 운동을 분석하였다. 그 결과, 이륙(take-off) 전 후족의 스윙 단계에서 흉요추와 요천추 이행부의 굴곡이 증가하였지만 기압 및 엉치결절의 속도는 약간 변경되었고, 높은 수준 그룹의 말들은 도약 전 앞다리를 똑 바르게 펴고 동체를 앞으로 덜 움직여 효율적인 동작을 나타낸다고 하였다.

Murphy(2009)가 점핑 수행 시 기승자 부츠의 무게가 말(n=6) 성능에 미치는 영향을 조사하기 위해 1.25m의 장애물 넘기를 실시하였다. 말은 유사한 교육경험을 갖고 있고 3두씩 2 그룹으로 나누어 모든 말에게 10회의 점핑을 수행하게 하였다. 이때 그룹 1은 1-5회 시 부츠 없이, 6-10은 부츠로 수행, 그룹 2는 1-5회 시 부츠착용, 6-10회는 부츠가 없는 실험환경으로 실시한 결과, 수평면에서 말의 성능에는 큰 차이가 없었지만, 수직면의 운동수행능력에는 차이가 나타났다. 또한 모든 말의 움직임은 부츠 착용 시 1.60m, 부츠 미착용 시 1.46m로 뒷다리의 상승은 다르게 나타났고, 직접 측정되지 않았지만 점핑의 비행단계에서 후족과 관련된 운동에너지가 증가된 결과라 하였다.

이와 같이, 장애물 비월과 관련 연구들은 특정 한 변인에 대한 분석 혹은, 2D 분석 등이며, 포물선 운동이 이루어지는 장애물 비월에서 도약거리에 따른 기승자세의 정량적 연구는 부족한 실정이다.

Ⅲ. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 10년 이상의 승마경력과 하지관절 및 척추에 이상이 없는 성인남성 10명을 선정하였다<Table 1>. 이들은 더러브렛(thoroughbred: height: 163.42±4.72)을 이용하여 주 3회, 7시간의 기승활동을 하고 있으며, 연구의 취지와 목적을 충분히 설명하고 피험자가 자발적으로 실험참가 동의서에 서명한 후 실시하였다.

본 연구에서 양측하지의 협응성을 분석하기 위해 참여한 대상자들에게 우세(dominant)/비우세(non-dominant) 체지(limb) 여부를 진술에 의존한 결과, 모두 우(right)측이 우세 체지로 조사되었다. 또한 장애물 비월 시 등자길이에 따라 상·하지 관절의 각도변화와 기승 자세에 서로 다른 차이가 발생할 수 있기 때문에 등자길이는 72cm를 선호하는 기승자들로 선정하였다.

Table 1. Characteristics of the subjects

Section	Age (yrs)	Height (cm)	Body weight (kg)	length(cm)	
				low extremity	stirrup
S1	38	177.11	82.41	102.12	72
S2	48	169.26	81.51	95.49	72
S3	44	168.69	57.66	100.15	72
S4	46	169.12	59.76	94.59	72
S5	46	173.90	80.55	90.58	72
S6	44	172.87	83.25	98.45	72
S7	50	170.71	74.24	95.65	72
S8	45	173.82	72.76	97.17	72
S9	46	169.44	61.29	94.21	72
S10	43	173.15	76.85	98.43	72
M±SD	45.00±3.19	171.80±2.78	73.02±9.92	96.68±3.30	72.00±0.00

Note: Values are mean(M)±standard deviation(SD)

2. 실험장비

본 연구에 필요한 실험도구는 영상촬영장비와 영상분석 장비로 구성하였고, 장비의 세부적인 설명은 <Table 2>와 같다.

1) 영상촬영장비

본 연구에서 영상촬영 전 3차원 공간좌표를 설정하기 위하여 통제점이 표시된 직사각형 통제점틀(2m×2m×1m)를 설치하여 디지털 캠코더(HDR-HC7/HDV 1080) 및 조명등은 통제점틀과 실험장면을 포착할 수 있는 범위에서 촬영하였다. 이때, 디지털 캠코더의 속도는 60frames로 하고, 노출시간(exposure time)은 1/500sec로 설정하였다.

Table 2. Experimental equipments

Equipments	Model	Manufacturer
Camcorder (Mini DV)	HDR-HC7/HDV 1080i	SONY
Tripod	055XDB	MANFROTTO
Control object	2m×2m×1m	VISOL
A/D sync box	VSAD-101-USB-V2	VISOL
LED	MP-20B	MATIN
Light	-	VISOL
Kwon 3D XP	Motion Analysis Package ver 4.0	VISOL

2) 영상분석장비

본 연구에서 영상분석장비는 (주)비솔의 Kwon3D XP Motion Analysis Package ver. 4.0 프로그램을 사용하여 영상촬영 시 선별된 신체부위(분석대상 점)의 실제위치를 계측하는 경험적(empirical) 방식 중 대표적인 Abdel-Aziz와 Karara(1971)의 DLT(Direct Linear Transformation) 방식을 이용하여 피사점의 실좌표와 상점의 상평면좌표 사이에 존재하는 변환식으로, 실좌표를 이미 아는 통제점틀을 이용하여 변화식의 계수(36 points)를 계산하여 운동학적 변인에 대한 자료를 산출하였다.

3. 실험절차

1) 인체 관절점 마커 부착

본 연구에서 장애물 비월 실험 전 모든 대상자들에게 검은색 승마복을 착용시킨 후 인체분절의 매개변수는 Plagenhoef, Evans와 Abdelnour(1983)의 자료를 참고하여 <Table 3>과 같이 인체관절점 21개 외에 기준점 10개를 추가하여 부착하였다. 부착 위치는 <Figure 2>와 같다.

Table 3. Marker attachment points

Order	Marker attachment points	Order	Marker attachment points
1	Toe	17	Medial epicondyle
2	Heel	18	Left Thigh
3	Lateral malleolus	19	Anterior superior iliac spine
4	Medial malleolus	20	Lateral wrist
5	Right Shank	21	Medial wrist
6	Lateral epicondyle	22	Right Lateral elbow
7	Medial epicondyle	23	Medial elbow
8	Thigh	24	Shoulder
9	Anterior superior iliac spine	25	Lateral wrist
10	Sacrum	26	Medial wrist
11	Toe	27	Left Lateral elbow
12	Heel	28	Medial elbow
13	Lateral malleolus	29	Shoulder
14	Left Medial malleolus	30	Chin
15	Shank	31	Nose
16	Lateral epicondyle		



Figure 2. Marker attachment points

2) 변인산출

① 시간변인

본 연구에서 시간변인 분석은 영상촬영 시 셔터속도 60frames/sec로 각각의 프레임 간의 시간간격은 0.0167sec로 계산된다. 따라서 각 분석시점 간 프레임 수에 0.0167sec를 곱하여 산출하였다.

$$Time = (frame_2 - frame_1) \times 0.0167sec$$

② 선운동 변인

본 연구에서 선운동 변인은 기승자 신체중심위치의 전·후 변화 및 속도이다. 전신의 신체중심 위치는 전역 좌표계에 대한 각 분절의 중심 위치를 통해 얻어진다. 전역좌표계에 대한 각 분절을 구성하는 좌표점의 위치 벡터의 성분 x_i , y_i , z_i 각각에 대하여 분절 i 의 중

심좌표 cgi 는

$$cgi = \Pi + (D_i - P_i)P_j/100$$

이때 (P_i 는 i 번째 분절의 근위단 좌표이고, D_i 는 i 번째 분절의 원위단 좌표, $P1$ 은 분절 길이의 백분율로 표시된 근위단으로부터 중심까지의 거리)로 구할 수 있으며 전역 좌표계에 대한 각 분절 중심의 위치 벡터의 성분 x_i, y_i, z_i 각각에 대한 무게 중심 위치

$$CG = \sum_{i=1}^5 (cgi \cdot mi) / M$$

이때 위 방법에 의해 산출된 전신의 신체 중심의 위치에 대하여 3차 스플라인 함수 (cubic spline function)를 이용해 시간에 대한 변위 함수 $S(t)$ 를 산출한다. 이러한 변위 함수를 일차 미분하여 시간에 대한 위치의 변화율을 나타내는 속도 함수 $S'(t)$ 를 구하고 이차 미분하여 가속도 함수 $S''(t)$ 를 얻음으로써 신체중심의 속도와 가속도를 산출하였다.

$$\begin{aligned} S(t) &= C_3 t^3 + C_2 t^2 + C_1 t + C_0 \\ S'(t) &= 3C_3 t^2 + 2C_2 t + C_1 \\ S''(t) &= 6C_3 t + 2C_2 \end{aligned}$$

이때, S : 변위

t : 시간

C_3, C_2, C_1, C_0 : 스플라인 계수

③ 각 운동변인

본 연구에서 하지관절의 각도는 발목관절, 무릎관절, 엉덩관절, 상지는 어깨, 팔꿈치 관절 각도를 산출하였고, <Figure 3>과 같이 7개의 상대각도로 정의하였다.

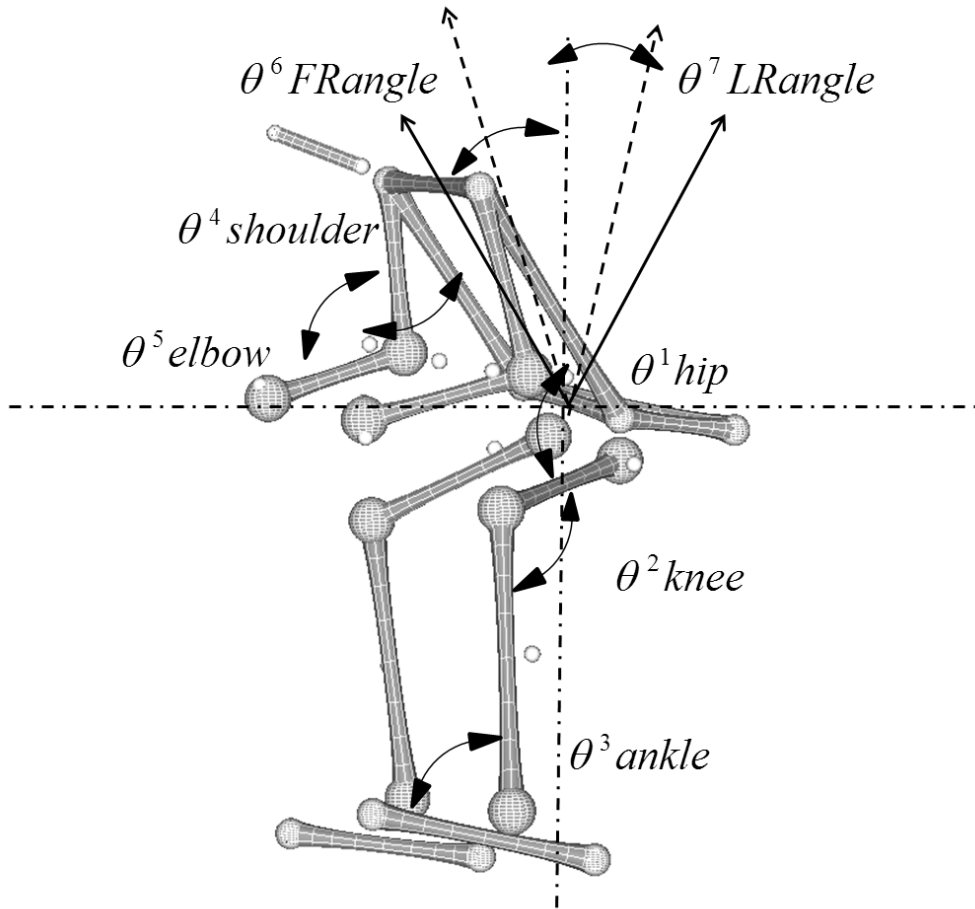


Figure 3. Body segment angle during show jumping

- θ^1 : 힤프각도(hip angle) : 동체(trunk)와 대퇴(thigh)벡터가 이루는 상대각도로 정의하였고 시상면(sagittal plane)에서 신전은 (+)값, 굴곡은 (-)값으로 설정하였다.
- θ^2 : 무릎각도(knee angle) : 대퇴(thigh)와 하퇴(shank)벡터가 이루는 상대각도로 정의하였고 시상면(sagittal plane)에서 신전은 (+)값, 굴곡은 (-)값으로 설정하였다.
- θ^3 : 발목각도(ankle angle) : 하퇴(shank)와 발(foot)벡터가 이루는 상대각도로 정의하였고 저측굴곡은 (+)값, 배측굴곡은 (-)값으로 설정하였다.
- θ^4 : 어깨각도(shoulder) : 동체(trunk)와 상완(upper arm)이 이루는 상대각도로 정의하였고 시상면(sagittal plane)에서 굴곡은 (+)값, 신전은 (-)값으로 설정하였다.
- θ^5 : 엘보각도(elbow) : 상완(upper arm)과 전완(lower arm)이 이루는 상대각도로 정의하였고 시상면(sagittal plane)에서 신전은 (+)값, 굴곡은 (-)값으로 설정하였다.

- θ^6 : 동체의 전후경각(FR angle) : 시상면(sagittal plane)에서 동체가 수직선상에 대해 Y축(axis)에 대한 누적각도이며 전경자세를 (+)값, 후경자세를 (-)값으로 설정하였다.
- θ^7 : 동체의 좌우경각(LR angle) : 관상면(frontal plane)에서 동체가 수직선상에 대해 X축(axis)에 대한 누적각도이며 좌경자세를 (+)값, 우경자세를 (-)값으로 설정하였다.

우선 관절각은 각도를 구성하는 두 벡터의 내적(dot product)을 이용하여 산출할 것이며 내적의 정의에 의해 두 벡터 $U(X_i, X_j, X_k)$ 와 $V(Y_i, Y_j, Y_k)$ 가 이루는 각 θ 는

$$\theta = \frac{U \cdot V}{|U| \cdot |V|} = \frac{X_i Y_i + X_j Y_j + X_k Y_k}{\sqrt{X_i^2 + X_j^2 + X_k^2} \cdot \sqrt{Y_i^2 + Y_j^2 + Y_k^2}}$$

로 정의되며 계산된 $\cos\theta$ 의 값을 x 라고 하면 $\theta = \arccos x$ 로 구한다.

- 엉덩관절(hip joint) 각도의 계산

대퇴(thigh)분절 벡터 $\vec{S}_{thigh}(X_i, X_j, X_k)$ 와 상체(trunk) 분절 벡터 $\vec{S}_{trunk}(Y_i, Y_j, Y_k)$ 가 이루는 각

$$\gamma = \arccos \frac{\vec{S}_{thigh} \cdot \vec{S}_{trunk}}{|\vec{S}_{thigh}| \cdot |\vec{S}_{trunk}|}$$

- 무릎관절(knee joint) 각도의 계산

하퇴(shank)분절 벡터 $\vec{S}_{shank}(X_i, X_j, X_k)$ 와 대퇴(thigh) 분절 벡터 $\vec{S}_{thigh}(Y_i, Y_j, Y_k)$ 가 이루는 각

$$\beta = \arccos \frac{\vec{S}_{shank} \cdot \vec{S}_{thigh}}{|\vec{S}_{shank}| \cdot |\vec{S}_{thigh}|}$$

- 발목관절(ankle joint) 각도의 계산

발(foot)분절 벡터 $\vec{S}_{foot}(X_i, X_j, X_k)$ 와 하퇴(shank) 분절 벡터 $\vec{S}_{shank}(Y_i, Y_j, Y_k)$ 가 이루

는 각

$$\alpha = \arccos \frac{\vec{S}_{foot} \cdot \vec{S}_{shank}}{|\vec{S}_{foot}| \cdot |\vec{S}_{shank}|}$$

④ 체간의 기울기 각도를 이용한 자세안정성 평가

장애물을 넘기 전 말 전족이 지면에 닿는 순간부터 장애물을 넘은 후 말의 전족 착지 및 후족이 지면에 닿는 구간까지 기승자의 체간기울기 각도를 이용하여 소요된 시간으로 나누어 기울기 편차(excursion)를 산출하였다(류재청, 현승현, 2014; 현승현, 2015). 이때, 급격한 기울기와 큰 운동범위가 이루어져 기울기 편차가 증가하게 되면 자세안정성이 감소됨을 의미하고, 일관성 있는 자세를 유지하여 기울기 편차가 감소하게 되면 안정성이 향상됨을 의미한다.

① 전·후 기울기를 이용한 자세안정성(FR angle excursion/F-RAE)

$$F-R A E = \frac{\sum_{t=0}^t |FR\theta, t - FR\theta, mean|}{T}$$

② 좌·우 기울기를 이용한 자세안정성(LR angle excursion/L-RAE)

$$L-R A E = \frac{\sum_{t=0}^t |LR\theta, t - LR\theta, mean|}{T}$$

⑤ COM 파워 산출

기승자가 장애물 비월 전, 도약거리에 위치한 신체중심(COM)의 위치부터 도약 후 최고 정점 높이 지점까지 점프 거리(d)와 도약각도를 이용하여 일량을 산출 한 후, 이 값을 소요된 시간(t)으로 나누어 COM 파워를 산출하였다(정철수, 신인식, 2005).

$$Power = \frac{work}{\Delta t} = \frac{F \cdot d}{\Delta t} = F \cdot v$$

$$COM(P) = \sqrt{\frac{(mgdsin\theta)^2 + (mgdcos\theta)^2}{\Delta t}}$$

$$Jumping(d) = \sqrt{(COM Yaxis)^2 + (COM Zaxis)^2}$$

⑥ 기승자의 평균 충격력(average vertical force)

평균 충격력 분석은 우선 장애물을 넘은 후 말 앞발굽이 지면에 접지 되는 시점에서 기승자의 신체중심(COM) 수직 위치가 가장 낮아지는 시점까지의 이동변위(Z axis distance)로 일(work)을 나누어 평균 힘(\bar{F}_z)을 산출하였다.

$$\bar{F}_z = \frac{\sum W}{d(z)} \dots\dots\dots \sum W = \Delta E_k + E_p$$

이때, 일은 운동에너지(E_k)와 위치에너지(E_p)의 합이며, 다음과 같은 공식을 이용할 것이다.

$$E_k = \frac{m(v_f^2 - v_i^2)}{2}, \quad E_p = mg(\Delta h)$$

⑦ 비대칭지수의 계산

비대칭지수(asymmetric index, AI)는 Robinson 공식(Robinson, Herzog, & Nigg, 1987)을 사용하였다. 이때 현승현과 류재청(2015)이 승마 평·속보 시 기승자의 양측 상·하지 관절 각도의 평균값 계산방법을 참고하여 분석하였다.

$$AI (\%) = \left| \frac{mean\theta_R - mean\theta_L}{\frac{1}{2}(mean\theta_R + mean\theta_L)} \right| \times 100$$

이때, AI(%)는 0일 때 양측 관절 각도 간 완전 대칭이며, AI(%) 값이 증가할수록 양측 관절 각도 간 비대칭이 커짐을 의미한다.

3) 실험절차

실험 시 외부적인 기후환경을 고려하여 실내승마장(50m×20m)에서 4대의 카메라 및 조명등을 설치한 후 3차원 공간좌표를 설정하기 위해 통제점틀(2m×2m×1m)은 기승자세가 완전히 포착될 수 있도록 지면과 수평면(alignment)이 되도록 수직높이 57cm 위에 설치하였다. 이때 캠코더의 속도는 60frames, 노출시간(exposure time)은 1/500sec로 설정하여 통제점틀을 10sec 동안 촬영한 후 실제 기승자세 촬영을 실시하였다<Figure 4>.

동작영상분석 시 활용한 자료를 얻기 위해 대상자들에게 타이트한 소재의 승마복을 착용시켰고, 신체분절의 무게중심과 전신 무게중심의 위치를 계산하기 위해 인체분절 매개변수(body segment parameters)는 Plagenhoef 등(1983)의 자료를 참고하여 디지털라이징 포인트를 관절점 21개 외에 기준점 10개를 더 포함하여 총 31개의 표식점을 실험대상자에게 부착하였다<Table 3>.

말은 실험 전, 조련사에 의해 30분 이상 충분한 워밍업(warm up)을 실시하였고, 이후 장애물 비월 구간을 7회 경유하면서 조명등과 카메라 등의 실험환경에 적응하도록 유도하였다. 특히, 도약거리는 말-기승자 간 협응에 의해 이루어지기 때문에 시간 타이밍, 도약 다리, 기승자세 등에 의해 정확한 위치에서 도약되지 않는다. 따라서 각 장애물 높이별 반복적으로 각각 6회씩 도약을 실시한 결과, 50cm 장애물에서 가장 근접한 거리 87.50±39.47cm(기승자 신장비율 50.93%), 원거리 102.60±54.84cm(59.72%), 80cm 장애물에서 근접한 거리 156.77±59.84cm(91.25%), 원거리 201.45±40.11cm(117.25%)로 실시하였다.

실험 중 낙마의 위험을 고려하여 숙련된 조련사와 의료진 각각 1명이 참여하였고 모래로 된 지면에서 실시하였다. 추가로 좌표설정에는 장애물을 넘는 진행방향을 Y축(axis), 진행의 좌·우측을 X축(axis), 수평과 좌·우 방향에 대한 수직을 Z축(axis)으로 설정하였다.

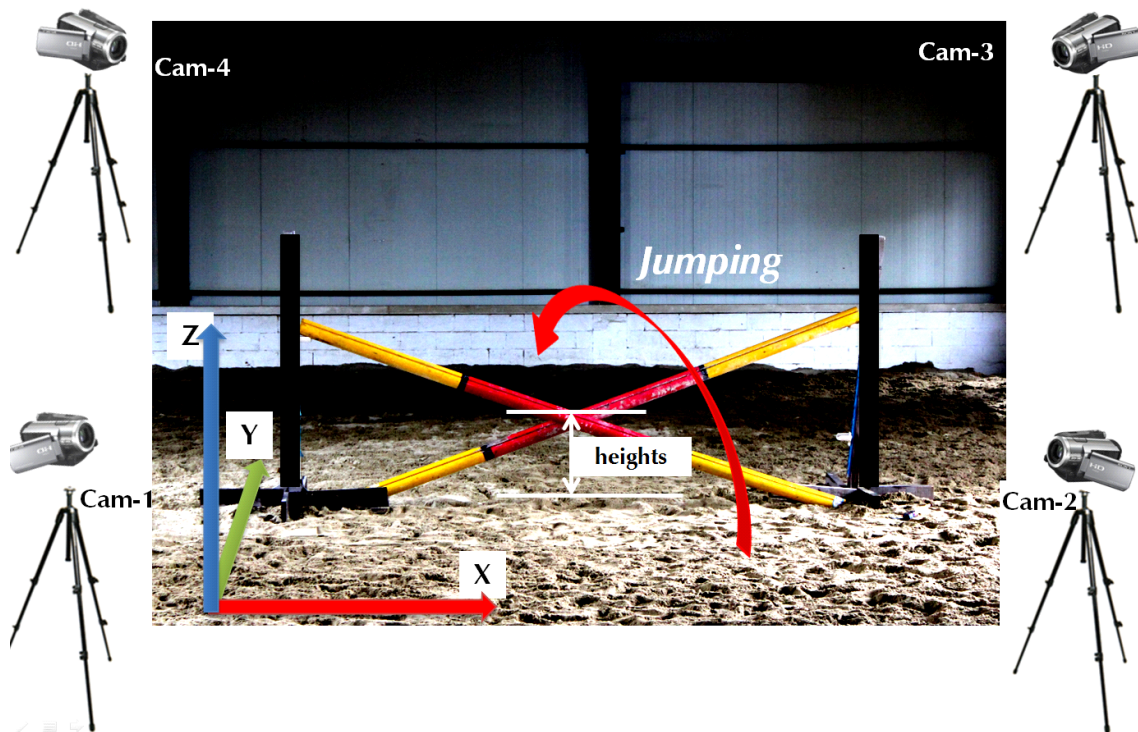


Figure 4. Experimental field during show jumping

4. 이벤트 및 분석국면

본 연구에서 이벤트 및 국면분석은 말이 장애물을 넘기 전 말 앞발굽이 지면에 닿는 순간부터 도약 후 다시 지면에 말 앞발굽이 닿고 후족이 닿는 구간까지를 분석하였다.

1) 이벤트(Event)

- ① 말 앞발굽 접지 1(forelimb touch down 1, FTD 1) : 도약 전 말 앞발굽이 지면에 접지 되는 순간
- ② 말 앞발굽 이지(forelimb take off, FTO) : 도약 전 말 앞발굽 접지 후 지면에서 떨어지는 순간
- ③ 기승자 신체중심의 최고 정점(high center of mass, HCM) : 도약 후 기승자의 신체중심(COM)이 정점이 되는 순간
- ④ 말 앞발굽 접지 2(forelimb touch down 2, FTD 2) : 장애물을 넘은 후 다시 말 앞발굽

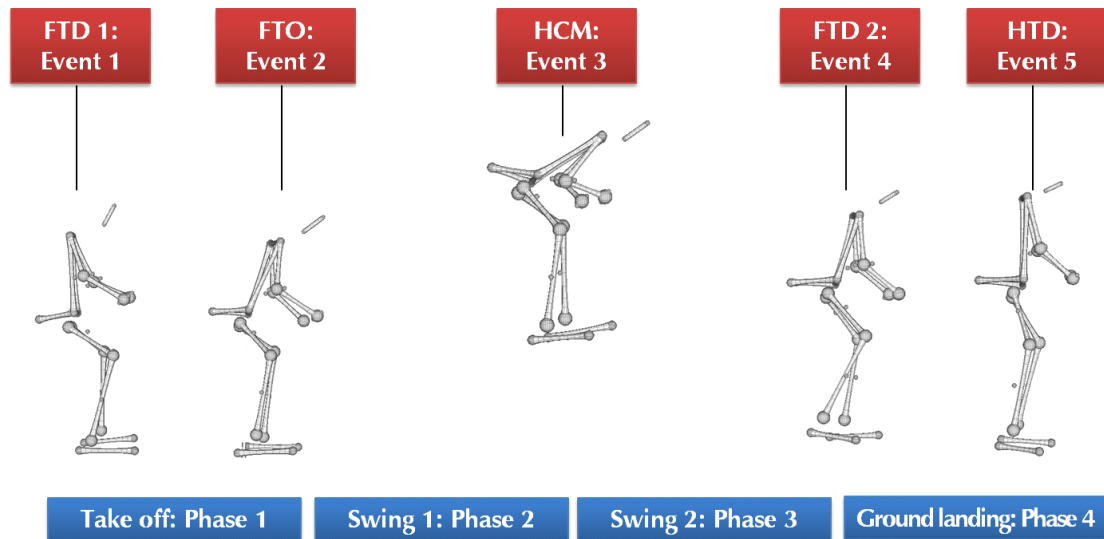


Figure 5. Event & phase

이 지면에 착지되는 순간

⑤ 말 뒤발굽 접지(hindlimb touch down, HTD) : 장애물을 넘은 후 말 뒤발굽이 지면에 착지되는 순간

2) 국면(Phase)

- ① 발구름(take off, TO) : 장애물 넘기 전 말 앞발굽 지지부터 이지까지의 구간
- ② 공중기 1(swing 1, S 1) : 발구름 후 최고정점 높이까지의 공중동작 구간
- ③ 공중기 2(swing 2, S 2) : 최고정점 높이부터 지면착지까지의 공중동작 구간
- ④ 착지기(ground landing, GL) : 장애물을 넘은 후 말 앞발굽 착지 후 뒤발굽이 지면에 닿는 순간까지의 구간

5. 자료처리 및 통계처리

영상분석 결과 자료처리는 Kwon3D XP Motion Analysis Package Version 4.0(2007)을 이용하여 운동학적 변인을 산출하였고 통제점 좌표화, 인체관절점의 좌표화, 동조 및 3차원 자표는 Abdel-Aziz와 Karara(1971)의 직접선형변환 방법(Direct Linear Transformation)을 통해 산출하였다. 또한 Butterworth의 저역통과필터(low-pass filter)법을 이용한 차단주

파수(cut-off frequency)는 6Hz로 스무딩하여 노이즈(noise)를 제거한 후 연구변인을 분석하였다.

산출된 자료는 통계패키지 SPSS Ver 21.0 program(IBM Inc., USA)을 이용하여 각 이벤트 및 국면 별 평균과 표준편차(M±SD)를 산출한 후 장애물 높이(50 cm, 80 cm)와 도약거리(근거리, 원거리) 간 반복측정분산분석(Repeated Measure Analysis of Variance[ANOVA])을 실시하였고, 모든 통계적 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

IV. 결과

1. 기승자의 상·하지 관절각도

본 연구에서 장애물 비월 시 도약거리와 높이변화에 따른 기승자의 상·하지 관절 각도는 우측 관절 각도를 기준으로 움직임의 변화를 비교분석하였다. 상지에서 팔꿈치관절과 어깨관절은 굴곡/신전 각도, 하지에서 엉덩관절과 무릎관절은 굴곡/신전 각도, 발목관절은 저측/배측 굴곡각도로 정의하였으며, 연구결과는 다음과 같다.

1) 발목관절 각도

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자세의 각 이벤트 별 발목관절 각도에 대한 평균값은 <Table 4>와 같다.

이에 따라 모든 이벤트 동작 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)

Table 4. Dorsiflexion/plantarflexion angle of ankle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: degree)

Event	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
FTD 1	50cm	104.76±10.75	106.93±12.98	105.85±11.65
	80cm	107.11±7.93	102.79±15.35	104.95±12.10
	Total average	105.94±9.27	104.86±14.00	105.40±11.73
FTO	50cm	103.22±13.51	104.13±9.16	103.67±11.25
	80cm	104.72±9.17	103.99±17.25	104.35±13.45
	Total average	103.97±11.27	104.06±13.44	104.01±12.24
HCM	50cm	100.27±15.15	103.97±12.41	102.12±13.61
	80cm	104.37±12.76	106.09±15.93	105.23±14.07
	Total average	102.32±13.79	105.03±13.94	103.67±13.75
FTD 2	50cm	101.15±14.61	103.69±14.39	102.42±14.18
	80cm	105.06±14.63	105.68±12.82	105.37±13.39
	Total average	103.10±14.37	104.68±13.30	103.89±13.69
HTD	50cm	96.52±9.54	99.04±14.43	97.78±11.98
	80cm	101.97±11.71	108.83±11.43	105.40±11.80
	Total average	99.24±10.77	103.94±13.63	101.59±12.35

NOTE: event: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

Table 5. Variance analysis result of ankle angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
FTD 1	Fence height(H)	8.019	1	8.019	.033	.858	.002	.053
	Distance(D)	11.546	1	11.546	.250	.623	.014	.076
	H×D	105.723	1	105.723	2.287	.148	.113	.299
	Error	832.033	18	46.224				
FTO	Fence height(H)	4.638	1	4.638	.016	.902	.001	.052
	Distance(D)	.083	1	.083	.003	.958	.000	.003
	H×D	6.675	1	6.675	.230	.638	.013	.230
	Error	523.358	18	29.075				
HCM	Fence height(H)	96.783	1	96.783	.255	.620	.014	.077
	Distance(D)	73.333	1	73.333	3.730	.069	.172	.448
	H×D	9.722	1	9.722	.495	.491	.027	.102
	Error	353.859	18	19.659				
FTD 2	Fence height(H)	86.937	1	86.937	.223	.642	.012	.073
	Distance(D)	24.948	1	24.948	2.571	.126	.125	.330
	H×D	9.092	1	9.092	.937	.346	.049	.151
	Error	174.661	18	9.703				
HTD	Fence height(H)	579.958	1	579.958	2.530	.129	.123	.325
	Distance(D)	220.196	1	220.196	4.047	.059	.184	.478
	H×D	47.067	1	47.067	.865	.365	.046	.143
	Error	979.279	18	54.404				

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 5>와 같이 FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, HTD에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 발목관절 각도의 변화는 통계적 유의한 차이는 없는 것으로 나타났고, 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

<Figure 6>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 오른쪽 발목관절 움직임 변화를 평균값을 이용하여 그림으로 나타낸 것이다. HCM은 각 표시점과 같고 FTD 1, FTO, FTD 2, HTD의 시점은 도약거리와 장애물 높이에 따라 평균값으로 나타났다. 특히 장애물 높이 50cm에서 SD 도약거리는 착지 이후 저축굴곡되는 형태를 보이는 반면, 80cm 장애물에서 LD 도약거리는 배축굴곡되는 상반되는 형태를 보여주고 있다.

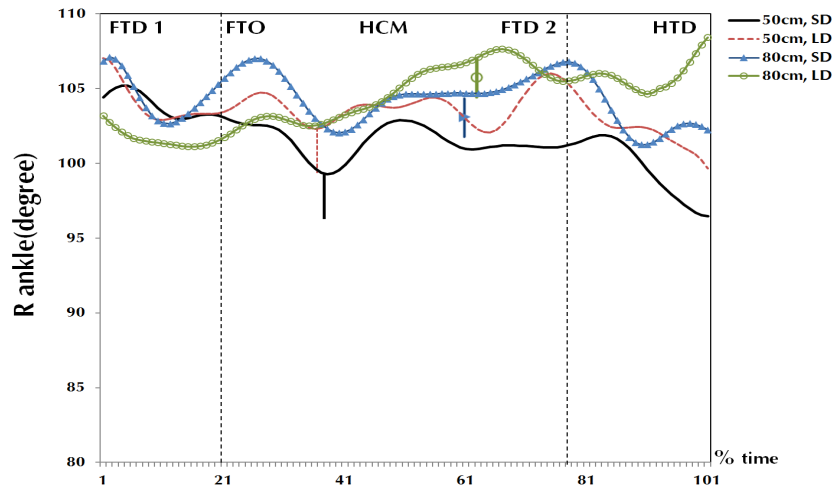


Figure 6. Dorsiflexion/plantarflexion angle of ankle according to the fence heights and take off distance

2) 무릎관절 각도

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자세의 각 이벤트 별 무릎관절 각도에 대한 평균값은 <Table 6>과 같다.

이에 따라 모든 이벤트 동작 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 7>와 같이 FTD 1, FTO, FTD 2, HTD에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 무릎관절 각도의 변화는 통계적 유의한 차이는 없는 것으로 나타났고, 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다. 또한 HCM에서 도약거리에 따른 변화와 상호작용 효과는 없었지만, 장애물 높이에 따라 50cm가 80cm 보다 더 신전된 형태를 보여 통계적 유의한 차이가 나타났다.

<Figure 7>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 오른쪽 무릎관절 움직임 변화를 평균값을 이용하여 그림으로 나타낸 것이다. HCM은 각 표시 시점과 같고, FTD 1, FTO, FTD 2, HTD는 도약거리와 장애물 높이에 따른 평균값으로 나타났다. 50cm 장애물에서 SD 도약거리의 더 큰 굴/신 운동과 비교하여 80cm 장애물의 LD 도약거리는 보다 적은 움직임을 나타내고 있다.

Table 6. Flexion/extension angle of knee according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: degree)

Event	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
FTD 1	50cm	117.79±13.07	120.69±9.27	119.24±11.13
	80cm	115.39±9.29	114.22±11.40	114.81±10.14
	Total average	116.59±11.10	117.45±10.64	117.02±10.74
FTO	50cm	122.91±8.60	122.61±9.94	122.76±9.05
	80cm	115.87±6.67	115.90±9.47	115.89±7.98
	Total average	119.39±8.32	119.26±10.06	119.32±9.11
HCM	50cm	132.22±9.70	128.38±13.55	130.30±11.64
	80cm	125.02±10.48	118.93±10.74	121.97±10.79
	Total average	128.62±10.50	123.65±12.85	126.14±11.85
FTD 2	50cm	127.60±16.71	125.52±12.89	126.56±14.57
	80cm	123.94±12.02	124.09±14.39	124.02±12.90
	Total average	125.77±14.29	124.81±13.32	125.29±13.64
HTD	50cm	120.26±10.43	121.62±9.07	120.94±9.54
	80cm	123.94±6.37	124.12±15.01	124.03±11.23
	Total average	122.10±8.62	122.87±12.14	122.48±10.40

NOTE: event: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

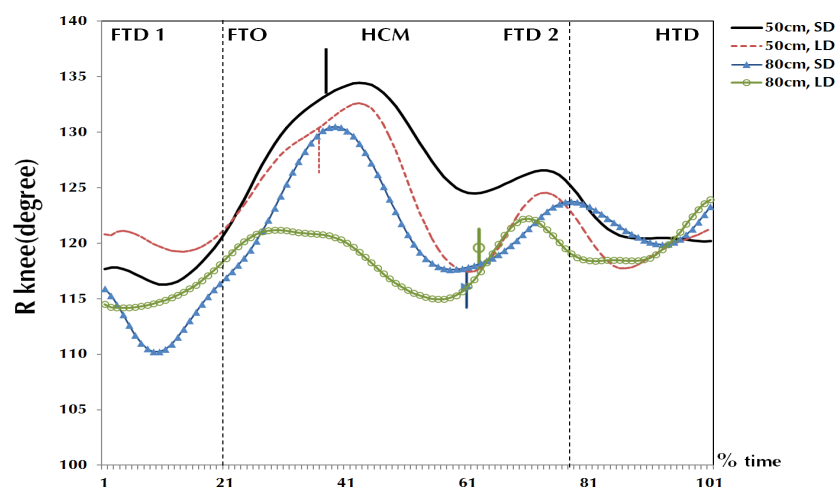


Figure 7. Flexion/extension angle of knee according to the fence heights and take off distance in horse riders

Table 7. Variance analysis result of knee angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
FTD 1	Fence height(H)	196.293	1	196.293	1.108	.306	.058	.169
	Distance(D)	7.491	1	7.491	.126	.727	.007	
	H×D	41.392	1	41.392	.697	.415	.037	
	Error	1068.432	18	59.357				
FTO	Fence height(H)	472.794	1	472.794	4.124	.057	.186	.485
	Distance(D)	.166	1	.166	.004	.949	.000	.050
	H×D	.279	1	.279	.007	.933	.000	.051
	Error	699.483	18	38.860				
HCM	Fence height(H)	692.474	1	692.474	5.029	.038	.218	.564
	Distance(D)	246.661	1	246.661	2.169	.158	.108	.286
	H×D	12.645	1	12.645	.111	.743	.006	.062
	Error	2047.086	18	113.727				
FTD 2	Fence height(H)	64.719	1	64.719	.183	.674	.010	.069
	Distance(D)	9.293	1	9.293	.208	.654	.011	.072
	H×D	12.321	1	12.321	.276	.606	.015	.079
	Error	803.788	18	44.655				
HTD	Fence height(H)	95.388	1	95.388	.714	.409	.038	.126
	Distance(D)	5.875	1	5.875	.062	.806	.003	.056
	H×D	3.416	1	3.416	.036	.852	.002	.054
	Error	1711.342	18	95.075				

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

3) 엉덩관절 각도

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자세의 각 이벤트 별 엉덩관절 각도에 대한 평균값은 <Table 8>과 같다.

이에 따라 모든 이벤트 동작 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 9>와 같이 FTD 1, FTO, FTD 2, HTD에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 엉덩관절 각도의 변화는 통계적 유의한 차이는 없는 것으로 나타났고, 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

<Figure 8>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 오른쪽 엉덩관절 움직임 변화를 평균값을 이용하여 그림으로 나타낸 것이다. HCM은 표시된 시점과 같고, FTD 1, FTO, FTD 2, HTD는 도약거리와 장애물 높이에 따라 평균값으로 나타났다. 80cm 장애물

Table 8. Flexion/extension angle of hip according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: degree)

Event	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
FTD 1	50cm	113.32±4.96	117.09±9.52	115.21±7.64
	80cm	114.89±5.73	112.80±9.27	113.85±7.58
	Total average	114.11±5.28	114.95±9.41	114.53±7.54
FTO	50cm	115.95±4.67	118.62±11.09	117.29±8.40
	80cm	111.81±7.70	112.60±13.79	112.21±10.88
	Total average	113.88±6.55	115.61±12.57	114.75±9.93
HCM	50cm	117.29±12.55	113.18±10.39	115.24±11.41
	80cm	112.97±8.25	120.54±7.79	116.75±8.72
	Total average	115.13±10.57	116.86±9.70	115.99±10.05
FTD 2	50cm	133.03±12.88	133.92±8.69	133.47±10.70
	80cm	135.17±6.82	138.11±4.39	136.64±5.78
	Total average	134.10±10.09	136.01±7.04	135.06±8.64
HTD	50cm	125.60±9.19	122.20±7.19	123.90±8.22
	80cm	128.24±7.95	131.54±9.80	129.89±8.85
	Total average	126.92±8.47	126.87±9.64	126.89±8.96

NOTE: event: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

높이에서 LD 도약거리가 FTO 이후 가장 큰 굴곡자세를 보였고, 더 빠르게 신전자세를 유지하여 점핑을 수행하는 것으로 나타났다.

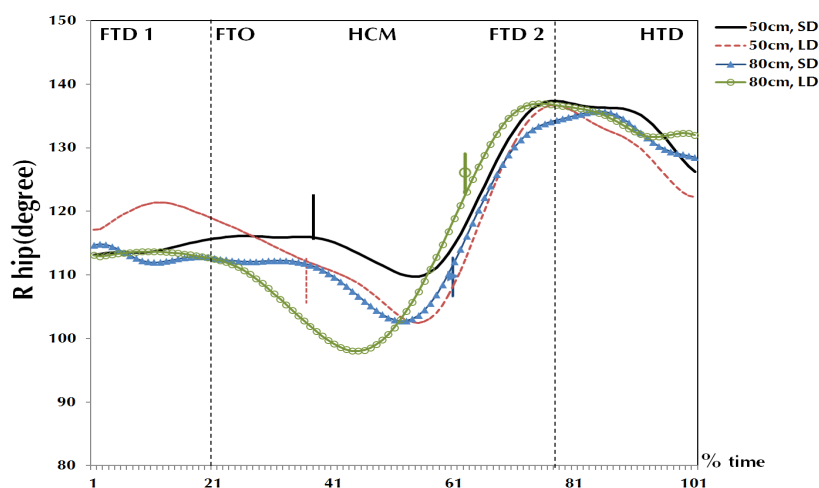


Figure 8. Flexion/extension angle of hip according to the fence heights and take off distance

Table 9. Variance analysis result of hip angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
FTD 1	Fence height(H)	18.605	1	18.605	.330	.573	.018	.085
	Distance(D)	7.056	1	7.056	.116	.737	.006	.062
	H×D	85.849	1	85.849	1.415	.250	.073	.203
	Error	1092.093	18	60.672				
FTO	Fence height(H)	258.216	1	258.216	1.962	.178	.098	.264
	Distance(D)	29.946	1	29.946	.457	.508	.025	.098
	H×D	8.845	1	8.845	.135	.718	.007	.064
	Error	1180.692	18	65.594				
HCM	Fence height(H)	23.058	1	23.058	.179	.677	.010	.069
	Distance(D)	29.670	1	29.670	.433	.519	.023	.096
	H×D	340.998	1	340.998	3.462	.071	.217	.560
	Error	1233.168	18	68.509				
FTD 2	Fence height(H)	99.982	1	99.982	.745	.399	.040	.129
	Distance(D)	36.749	1	36.749	1.899	.185	.095	.257
	H×D	10.486	1	10.486	.542	.471	.029	.107
	Error	348.389	18	19.355				
HTD	Fence height(H)	358.322	1	358.322	4.055	.059	.184	.479
	Distance(D)	.025	1	.025	.000	.984	.000	.050
	H×D	112.560	1	112.560	1.898	.185	.095	.257
	Error	1067.595	18	59.311				

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

4) 어깨관절 각도

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자세의 각 이벤트 별 어깨관절 각도에 대한 평균값은 <Table 10>과 같다.

이에 따라 모든 이벤트 동작 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 11>과 같이 FTD 1에서 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만, 도약거리 SD가 LD보다 더 큰 굴곡각도를 보여 통계적 유의한 차이가 나타났고, 상호작용이 나타나 일원변량분석을 실시한 결과, 장애물 높이 80cm의 LD 도약거리에서 점핑 시 어깨관절 각도변화에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다($F=3.768, p<.019$). 이후 FTO, HCM, FTD 2, HTD에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 어깨관절 각도의 변화는 통계적 유의한 차이는 없는 것으로 나타났고, 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

Table 10. Flexion/extension angle of shoulder according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: degree)

Event	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
FTD 1	50cm	32.16±6.92	30.85±6.94	31.51±6.78
	80cm	30.77±6.25	23.91±3.56	27.34±6.08
	Total average	31.46±6.46	27.38±6.44	29.42±6.70
FTO	50cm	27.28±12.08	24.88±8.51	26.08±10.25
	80cm	28.17±15.18	27.69±15.79	27.93±15.08
	Total average	27.73±13.36	26.29±12.43	27.01±12.76
HCM	50cm	26.79±9.15	27.64±9.99	27.21±9.33
	80cm	25.38±8.88	29.32±7.70	27.35±8.34
	Total average	26.08±8.81	28.48±8.72	27.28±8.74
FTD 2	50cm	26.14±7.17	25.48±6.26	25.81±6.56
	80cm	25.12±4.20	26.85±8.54	25.98±6.61
	Total average	25.63±5.74	26.17±7.32	25.90±6.50
HTD	50cm	20.03±6.55	20.49±7.23	20.26±6.72
	80cm	19.46±4.32	21.70±8.91	20.58±6.91
	Total average	19.75±5.41	21.09±7.92	20.42±6.73

NOTE: event: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

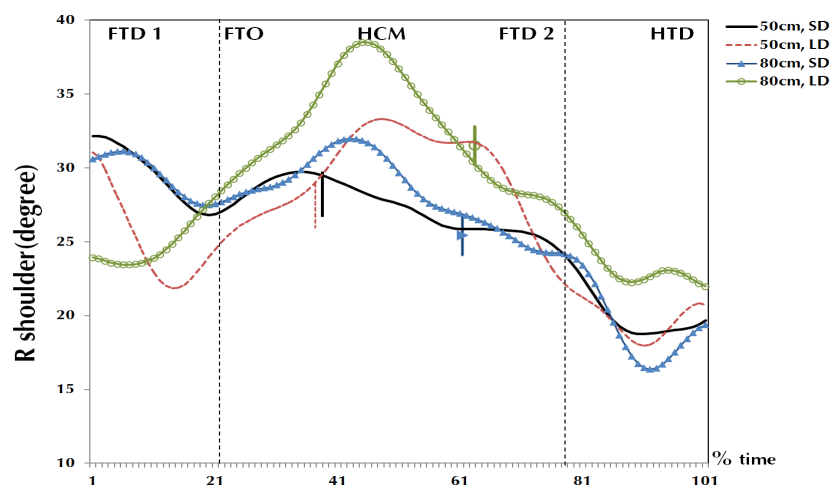


Figure 9. Flexion/extension angle of shoulder according to the fence heights and take off distance

<Figure 9>는 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 오른쪽 어깨관절 움직임 변화를 평균값을 이용하여 그림으로 나타낸 것이며, HCM은 각 표시된 시점과 같다. 또한 FTD 1, FTO, FTD 2, HTD는 도약거리와 장애물 높이에 따라 평균값으로 나타났다. 50cm 장애물에서 SD와 LD 도약거리, 80cm 장애물에서 SD 도약거리는 FTO에서 신전 후 굴곡

Table 11. Variance analysis result of shoulder angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
FTD 1	Fence height(H)	173.889	1	173.889	2.789	.112	.134	.353
	Distance(D)	166.709	1	166.709	14.421	.001	.445	.948
	H×D	77.173	1	77.173	6.676	.019	.271	.686
	Error	208.088	18	11.560				
FTO	Fence height(H)	34.170	1	34.170	.113	.740	.006	.062
	Distance(D)	20.779	1	20.779	.439	.516	.024	.096
	H×D	9.206	1	9.206	.195	.664	.011	.070
	Error	851.041	18	47.280				
HCM	Fence height(H)	.186	1	.186	.001	.970	.000	.050
	Distance(D)	57.241	1	57.241	1.755	.202	.089	.241
	H×D	23.917	1	23.917	.733	.403	.039	.128
	Error	587.103	18	32.617				
FTD 2	Fence height(H)	.306	1	.306	.005	.947	.000	.050
	Distance(D)	2.905	1	2.905	.122	.731	.007	.063
	H×D	14.256	1	14.256	.600	.448	.032	.114
	Error	427.364	18	23.742				
HTD	Fence height(H)	1.043	1	1.043	.012	.913	.001	.051
	Distance(D)	18.117	1	18.117	1.442	.245	.074	.206
	H×D	7.921	1	7.921	.631	.437	.034	.117
	Error	226.094	18	12.561				

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

되는 형태와 이후 착지과정에서 지속적으로 신전되는 형태를 보이고 있지만, 80cm 장애물에서 LD 도약거리는 FTD 1부터 가장 굴곡되는 형태를 보여주고 있다.

5) 팔꿈치관절 각도

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자세의 각 이벤트 별 팔꿈치관절 각도에 대한 평균값은 <Table 12>와 같다.

이에 따라 모든 이벤트 동작 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 13>과 같이 FTD 1, FTO, FTD 2, HTD에서 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이가 없었고, 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다. HCM에서는 장애물 높이에 따라 80cm가 50cm보다 더 신전된 형태를 보였고, 도약거리에 따라 LD가 SD보다 더 신전된 형태를 나타냈다. 이에 따른 상호작용 효과는 없는 것으로 나타났다.

Table 12. Flexion/extension angle of elbow according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: degree)

Event	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
FTD 1	50cm	135.11±12.81	135.77±17.17	135.44±14.75
	80cm	135.03±13.98	138.52±11.36	136.78±12.52
	Total average	135.07±13.05	137.15±14.24	136.11±13.52
FTO	50cm	120.09±18.15	124.24±8.78	122.17±14.04
	80cm	118.36±13.31	123.43±22.60	120.89±18.24
	Total average	119.22±15.52	123.84±16.69	121.53±16.08
HCM	50cm	101.56±17.87	108.72±9.62	105.14±14.44
	80cm	113.04±20.33	128.35±13.86	120.69±18.67
	Total average	107.30±19.54	118.53±15.37	112.92±18.26
FTD 2	50cm	145.43±19.33	154.74±9.20	150.08±15.49
	80cm	153.57±9.58	155.88±7.27	154.72±8.36
	Total average	149.50±15.42	155.31±8.09	152.40±12.51
HTD	50cm	137.33±7.52	143.48±9.41	140.41±8.87
	80cm	143.16±7.61	148.19±13.99	145.68±11.26
	Total average	140.25±7.95	145.84±11.85	143.04±10.35

NOTE: event: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

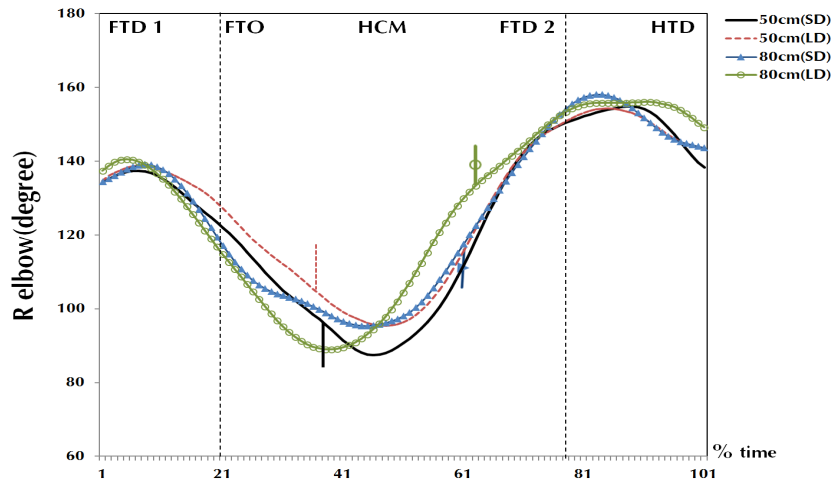


Figure 10. Flexion/extension angle of elbow according to the fence heights and take off distance

<Figure 10>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 오른쪽 어깨관절 움직임 변화를 평균값을 이용하여 그림으로 나타낸 것이며, HCM은 각 표시된 시점과 같다. 또한 도약거리와 장애물 높이에 따라 FTD 1, FTO, FTD 2, HTD 시점이 모두 다르기 때문에 평균값으로 나타냈다. 특히 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 FTO 이후까지 급격한 굴곡

Table 13. Variance analysis result of elbow angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
FTD 1	Fence height(H)	17.862	1	17.862	.080	.781	.004	.058
	Distance(D)	43.119	1	43.119	.258	.618	.014	.077
	H×D	20.008	1	20.008	.120	.733	.007	.062
	Error	3007.235	18	167.069				
FTO	Fence height(H)	16.167	1	16.167	.046	.832	.003	.055
	Distance(D)	212.659	1	212.659	1.067	.315	.056	.165
	H×D	2.176	1	2.176	.011	.918	.001	.051
	Error	3588.872	18	199.382				
HCM	Fence height(H)	2420.047	1	2420.047	6.757	.018	.273	.691
	Distance(D)	1262.589	1	1262.589	8.390	.010	.318	.782
	H×D	165.690	1	165.690	1.101	.308	.058	.169
	Error	2708.687	18	150.483				
FTD 2	Fence height(H)	215.389	1	215.389	1.230	.282	.064	.183
	Distance(D)	337.793	1	337.793	2.673	.119	.129	.340
	H×D	122.500	1	122.500	.969	.338	.051	.154
	Error	2274.459	18	126.359				
HTD	Fence height(H)	277.887	1	277.887	2.351	.143	.116	.306
	Distance(D)	312.425	1	312.425	3.851	.065	.176	.459
	H×D	3.097	1	3.097	.038	.847	.002	.054
	Error	1460.389	18	81.133				

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

형태를 유지하다 신전되는 형태를 보였고, 이러한 특징은 HTD까지 지속적으로 유지하는 형태를 나타냈다.

2. 기승자의 동적안정성

본 연구에서 장애물 비월 시 도약거리와 높이변화에 따른 기승자의 동적 안정성의 변화는 신체중심위치(Y, Z axis), 신체중심속도(Y axis), 체간의 전-후, 좌-우 기울기 각도, 체간의 전-후, 좌-우 기울기 각도를 이용한 안정성 지수를 비교분석하였다. 안정성 지수는 도약 전 FTD 1부터 HCM 이후 HTD까지 점핑을 수행하는 동안 기승자의 체간기울기 각도 평균값을 소요된 시간으로 나누어 계산하였고, 연구결과는 다음과 같다.

1) 신체중심위치의 전방이동(Y axis)변화량

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자 신체중심위치의 전방변화량에 대한 평균값은 <Table 14>와 같다.

이에 따라 모든 국면 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 15>와 같이 TO에서 장애물 높이에 따라 50cm가 80cm보다 더 긴 이동거리를 보여 통계적

Table 14. Horizontal displacement of COM according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: cm)

Phase	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
TO	50cm	102.44±13.99	92.78±12.32	97.61±13.75
	80cm	85.94±18.42	71.18±30.20	78.56±25.50
	Total average	94.19±18.03	81.98±25.03	88.08±22.40
Swing 1	50cm	78.03±53.21	90.72±41.70	84.38±46.98
	80cm	138.00±52.45	189.15±26.59	163.57±48.24
	Total average	108.01±59.92	139.94±60.89	123.98±61.78
Swing 2	50cm	127.20±59.25	168.47±58.05	147.84±60.89
	80cm	120.45±50.75	87.01±21.29	103.73±41.58
	Total average	123.83±53.80	127.74±59.64	125.78±56.10
GL	50cm	118.52±25.08	123.96±37.47	121.24±31.16
	80cm	109.31±23.80	98.93±43.68	104.12±34.65
	Total average	113.92±24.26	111.45±41.64	112.68±33.66
Total	50cm	472.91±74.50	429.22±63.06	451.06±70.82
	80cm	453.70±46.04	446.27±44.83	449.99±44.39
	Total average	463.30±61.08	437.74±53.97	450.52±58.34

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing)

Table 15. Variance analysis result of horizontal displacement of COM according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
TO	Fence height(H)	3627.882	1	3627.882	8.051	.011	.309	.765
	Distance(D)	1490.841	1	1490.841	4.272	.053	.192	.499
	H×D	64.821	1	64.821	.186	.672	.010	.069
	Error	6280.981	18	348.943				
S 1	Fence height(H)	62720.064	1	62720.064	19.692	.000	.522	.987
	Distance(D)	10189.502	1	10189.502	12.293	.003	.406	.912
	H×D	3699.852	1	3699.852	4.464	.049	.199	.516
	Error	14920.102	18	828.895				
S 2	Fence height(H)	19455.598	1	19455.598	6.392	.021	.262	.667
	Distance(D)	153.155	1	153.155	.080	.780	.004	.058
	H×D	13955.828	1	13955.828	7.304	.015	.289	.725
	Error	34394.410	18	1910.801				
GL	Fence height(H)	2930.773	1	2930.773	1.901	.185	.096	.257
	Distance(D)	60.935	1	60.935	.086	.773	.005	.059
	H×D	626.235	1	626.235	.879	.361	.047	.144
	Error	12819.079	18	712.171				
Total	Fence height(H)	11.642	1	11.642	.002	.963	.000	.050
	Distance(D)	6533.136	1	6533.136	3.889	.064	.178	.463
	H×D	3288.420	1	3288.420	1.957	.179	.098	.263
	Error	30240.596	18	1680.033				

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing)

유의한 차이가 나타났다. 또한 도약거리에 따른 통계적 유의한 차이는 없었고, 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다. S 1에서는 장애물 높이에 따라 80cm가 50cm보다 더 긴 전방이동거리와 도약거리에 따라 SD보다 LD가 더 길게 통계적 유의한 차이가 나타났고, 상호작용이 나타나 일원변량분석을 실시한 결과, 장애물 높이 80cm의 LD가 기승자 신체중심위치의 전방이동량에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다($F=12.724, p<.001$). HCM 이후 S 2에서는 장애물 높이에 따라 50cm가 80cm보다 더 긴 전방이동량을 보여 통계적 유의한 차이가 나타났고, 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 또한 상호작용 효과가 있는 것으로 나타나 일원변량분석을 실시한 결과, 장애물 높이 50cm의 LD가 신체중심위치의 전방이동량에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다($F=4.516, p<.009$). 이후 GL과 신체중심위치의 총 전방이동량(Total)은 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이가 없었고, 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

<Figure 11>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 신체중심위치 전방이동량에 대한 움직임 변화를 평균값으로 나타낸 것이다. 장애물 높이 80cm에서 LD 도약거리가 TO, S 2, GL에서 가장 작은 이동거리를 보이고 있지만, 추진하는 S 1 단계는 가장 긴 이

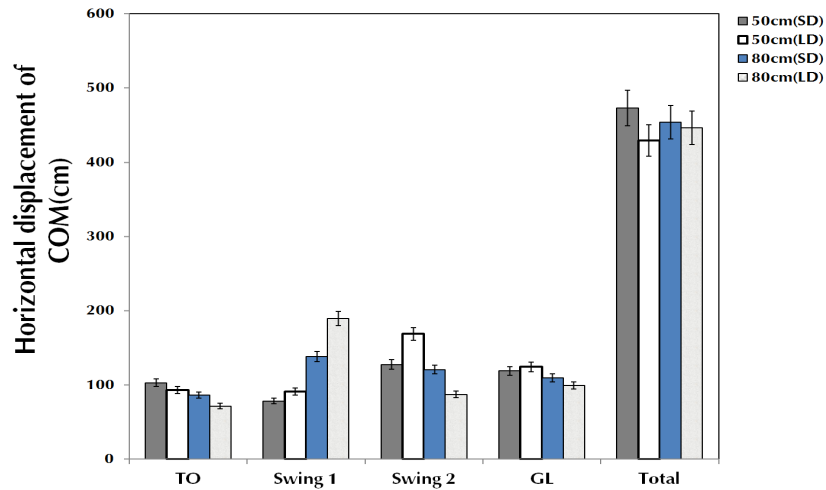


Figure 11. Horizontal displacement of COM according to the fence heights and take off distance

동거리를 보여주고 있다. 또한 50cm 장애물에서 SD 도약거리가 TO와 Total에서 가장 긴 전방이동거리를 나타냈다.

2) 신체중심위치의 수직(Z axis)이동변화

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자 신체중심위치의 수직이동변화에 대한 평균값은 <Table 16>과 같다.

이에 따라 모든 이벤트 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p > .05$). <Table 17>과 같이 FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, HTD에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

<Figure 12>는 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 신체중심위치의 수직이동변화에 대한 움직임을 평균값으로 나타낸 것이다. 또한 HCM은 표시된 시점과 같고, FTD 1, FTO, FTD 2, HTD는 도약거리와 장애물 높이에 따라 평균값으로 나타났다. 장애물 높이가 50cm에서 SD 도약거리, LD 도약거리는 FTO 이후 빠른 위치변화를 나타냈지만, 80cm 장애물 높이에서 LD 도약거리의 HCM이 가장 높은 형태를 보여주고 있다.

Table 16. Vertical displacement of COM according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: cm)

Event	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
FTD 1	50cm	177.39±7.78	176.76±5.34	177.08±6.50
	80cm	176.53±6.10	183.37±8.65	179.95±8.09
	Total average	176.96±6.82	180.07±7.78	178.51±7.39
FTO	50cm	196.14±7.10	195.10±6.57	195.62±6.68
	80cm	196.04±6.13	194.93±8.93	195.48±7.48
	Total average	196.09±6.46	195.02±7.63	195.55±7.00
HCM	50cm	210.37±13.18	206.33±11.21	208.35±12.09
	80cm	215.99±11.11	220.37±16.03	218.18±13.61
	Total average	213.18±12.21	213.35±15.27	213.27±13.64
FTD 2	50cm	196.87±17.22	195.86±14.23	196.37±15.38
	80cm	196.10±14.06	202.08±12.85	199.09±13.47
	Total average	196.49±15.30	198.97±13.58	197.73±14.34
HTD	50cm	188.79±4.53	188.25±4.20	188.52±4.26
	80cm	188.47±3.91	189.65±7.38	189.06±5.78
	Total average	188.63±4.12	188.95±5.89	188.79±5.02

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

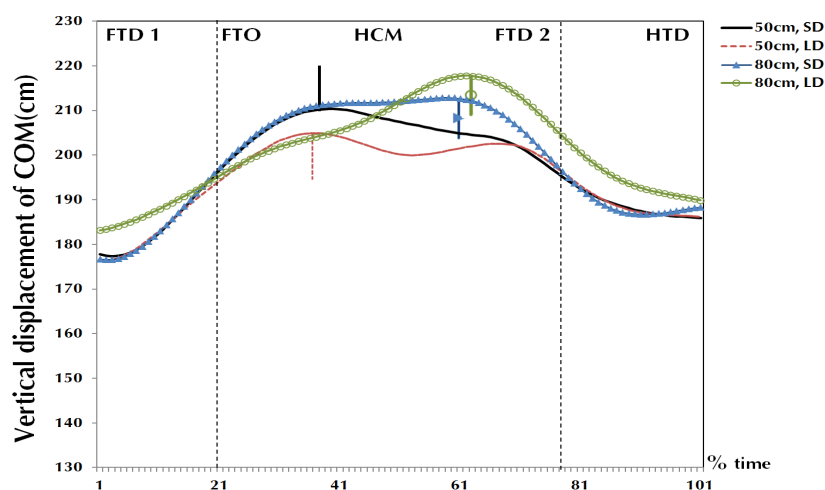


Figure 12. Vertical displacement of COM according to the fence heights and take off distance

Table 17. Variance analysis result of Vertical displacement of COM according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
FTD 1	Fence height(H)	82.656	1	82.656	1.106	.307	.058	.169
	Distance(D)	96.410	1	96.410	3.730	.069	.172	.448
	H×D	139.726	1	139.726	2.778	.104	.072	.368
	Error	465.214	18	25.845				
FTO	Fence height(H)	.186	1	.186	.002	.965	.000	.050
	Distance(D)	11.460	1	11.460	1.182	.291	.062	.178
	H×D	.014	1	.014	.001	.970	.000	.050
	Error	174.507	18	9.695				
HCM	Fence height(H)	965.699	1	965.699	3.225	.089	.152	.398
	Distance(D)	.282	1	.282	.007	.934	.000	.051
	H×D	177.157	1	177.157	4.386	.051	.196	.509
	Error	726.985	18	40.388				
FTD 2	Fence height(H)	74.338	1	74.338	.190	.668	.010	.070
	Distance(D)	61.827	1	61.827	1.582	.225	.081	.222
	H×D	122.255	1	122.255	3.128	.094	.148	.388
	Error	703.478	18	39.082				
HTD	Fence height(H)	2.965	1	2.965	.075	.787	.004	.058
	Distance(D)	1.040	1	1.040	.072	.791	.004	.057
	H×D	7.387	1	7.387	.515	.482	.028	.104
	Error	258.311	18	14.351				

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

3) 신체중심이동속도의 전후(Y axis) 변화

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자 신체중심이동속도의 전후변화에 대한 평균값은 <Table 18>과 같다.

이에 따라 모든 이벤트 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 18>과 같이 FTD 1, FTO에서는 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다. 이후 HCM, FTD 2, HTD에서는 장애물 높이변화에 상호작용 효과는 없는 것으로 나타났지만, 도약거리에 따라 50cm보다 80cm에서 신체중심의 전후 속도가 더 빠른 것으로 나타났다.

<Figure 13>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 신체중심속도 전후변화를 평균값으로 나타낸 것이다. HCM은 각 표시된 시점과 같고, FTD 1, FTO, FTD 2, HTD는

Table 18. Velocity of CMP(Y axis) according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: cm/sec)

Event	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
FTD 1	50cm	496.52±84.29	511.34±101.65	503.93±91.20
	80cm	527.55±53.67	496.63±54.16	512.09±54.82
	Total average	512.04±70.59	503.99±79.63	508.01±74.39
FTO	50cm	427.60±99.78	445.53±93.73	436.56±94.67
	80cm	446.21±60.79	442.48±85.77	444.34±72.38
	Total average	436.90±80.98	444.00±87.46	440.45±83.27
HCM	50cm	444.14±71.56	460.73±89.15	452.43±79.14
	80cm	477.85±39.03	538.88±75.06	508.37±66.11
	Total average	460.99±58.71	499.80±89.67	480.40±77.35
FTD 2	50cm	469.74±66.24	500.24±88.68	484.99±77.77
	80cm	487.35±40.83	517.67±66.11	502.51±55.70
	Total average	478.54±54.31	508.95±76.66	493.75±67.35
HTD	50cm	405.96±74.88	441.89±105.56	423.92±90.96
	80cm	429.74±40.37	450.01±53.27	439.87±47.16
	Total average	417.85±59.80	445.95±81.49	431.90±71.97

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

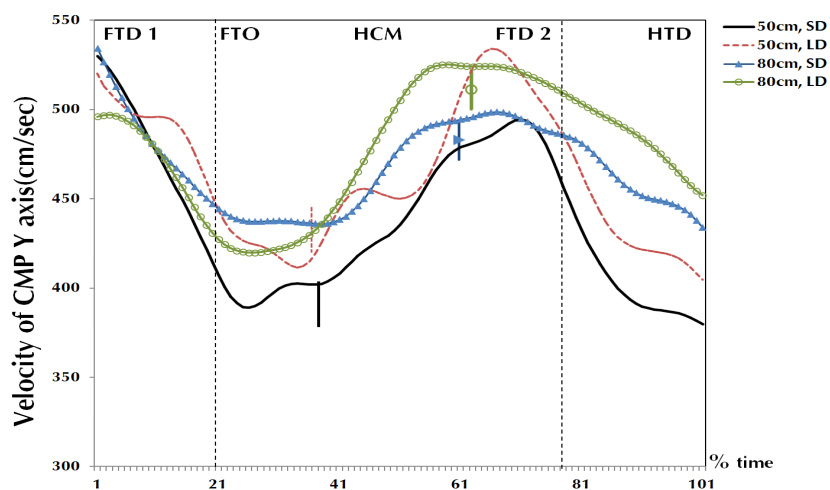


Figure 13. Velocity of CMP according to the fence heights and take off distance

도약거리와 장애물 높이에 따라 평균값으로 나타냈다. 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 HCM에서 가장 빠른 속도를 보이고 있으며 지속적으로 FTD 2, HTD에서도 빠른 형태를 보여주고 있다. 한편 50cm 장애물에서 SD, LD 도약거리는 HCM 이후 더 빠르게 나타나, 이는 장애물 높이가 낮은 만큼 일시적인 속도 증·감이 나타나는 것으로 판단된다.

Table 19. Variance analysis result of CMP velocity according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
FTD 1	Fence height(H)	665.938	1	665.938	.064	.803	.004	.057
	Distance(D)	647.945	1	647.945	.529	.476	.029	.106
	H×D	5230.140	1	5230.140	4.270	.053	.192	.498
	Error	22046.673	18	1224.815				
FTO	Fence height(H)	605.595	1	605.595	.046	.833	.003	.055
	Distance(D)	504.100	1	504.100	.293	.595	.016	.081
	H×D	1172.023	1	1172.023	.682	.420	.037	.123
	Error	30934.844	18	1718.602				
HCM	Fence height(H)	31286.124	1	31286.124	3.644	.072	.168	.439
	Distance(D)	15062.937	1	15062.937	9.865	.006	.354	.844
	H×D	4937.284	1	4937.284	3.234	.089	.152	.398
	Error	27483.120	18	1526.840				
FTD 2	Fence height(H)	3069.854	1	3069.854	.390	.540	.021	.091
	Distance(D)	9247.073	1	9247.073	7.222	.015	.286	.720
	H×D	.071	1	.071	.000	.994	.000	.050
	Error	23046.291	18	1280.350				
HTD	Fence height(H)	2544.185	1	2544.185	.270	.610	.015	.078
	Distance(D)	7893.009	1	7893.009	6.624	.019	.269	.683
	H×D	613.011	1	613.011	.514	.482	.028	.104
	Error	21447.432	18	1191.524				

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

4) 체간의 전·후 기울기 각도

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자 체간의 전·후 기울기 각도 변화에 대한 평균값은 <Table 20>과 같다.

이에 따라 모든 이벤트 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 21>과 같이 FTD 1, FTO, HTD에서는 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다. 이후 HCM, FTD 2에서는 장애물 높이변화에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만, 도약거리에 따라 HCM은 LD 도약거리가 SD 도약거리 보다 수직전상과 더 가까운 자세를 나타냈고, FTD 2에서는 더 큰 후경각 자세를 보여 통계적 유의한 차이가 나타났다.

<Figure 14>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 전·후 체간기울기 각도변

Table 20. Front-rear angle of trunk according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: degree)

Event	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
FTD 1	50cm	0.30±8.41	-3.35±8.33	-1.53±8.36
	80cm	-4.16±9.50	0.82±17.12	-1.67±13.71
	Total average	-1.93±9.03	-1.27±13.27	-1.60±11.21
FTO	50cm	7.44±15.67	2.73±13.75	5.08±14.55
	80cm	6.71±14.70	5.35±20.77	6.03±17.53
	Total average	7.08±14.80	4.04±17.19	5.56±15.91
HCM	50cm	16.10±19.87	12.78±17.63	14.44±18.36
	80cm	10.53±21.27	-4.94±16.19	2.79±20.04
	Total average	13.32±20.23	3.92±18.82	8.62±19.86
FTD 2	50cm	-0.45±15.13	-10.26±15.57	-5.36±15.77
	80cm	-6.43±9.45	-12.15±9.18	-9.29±9.53
	Total average	-3.44±12.65	-11.21±12.47	-7.32±13.01
HTD	50cm	7.21±14.10	3.47±8.94	5.34±11.65
	80cm	7.03±8.51	2.29±13.10	4.66±11.02
	Total average	7.12±11.33	2.88±10.93	5.00±11.20

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

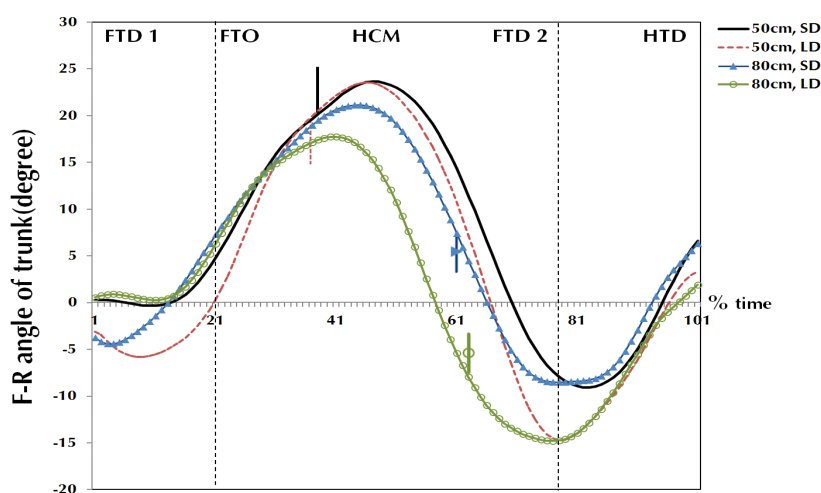


Figure 14. Front-rear angle of trunk according to the fence heights and take off distance

화를 평균값으로 나타낸 것이다. HCM은 표시된 각 시점과 같고, FTD 1, FTO, FTD 2, HTD는 도약거리와 장애물 높이에 따른 평균값으로 나타났다. 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 FTO 이후 전경각 자세를 유지하다가 서서히 후경각 자세를 유지하여 착지하는 형태를 보이고 있으며, 50cm 장애물에서 SD와 LD 도약거리는 HCM 이후 더 큰 전경각 자

Table 21. Variance analysis result of front-rear angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
FTD 1	Fence height(H)	185.890	1	185.890	2.142	.161	.106	.283
	Distance(D)	4.349	1	4.349	.050	.825	.003	.055
	H×D	185.890	1	185.890	2.142	.161	.106	.283
	Error	1561.929	18	86.774				
FTO	Fence height(H)	8.978	1	8.978	.021	.888	.001	.052
	Distance(D)	92.082	1	92.082	.892	.357	.047	.146
	H×D	28.174	1	28.174	.273	.608	.015	.079
	Error	1857.149	18	103.175				
HCM	Fence height(H)	1356.759	1	1356.759	2.018	.172	.101	2.018
	Distance(D)	882.848	1	882.848	23.339	.000	.565	.995
	H×D	369.299	1	369.299	9.763	.006	.352	.840
	Error	680.875	18	37.826				
FTD 2	Fence height(H)	154.653	1	154.653	.629	.438	.034	.117
	Distance(D)	603.356	1	603.356	7.873	.012	.304	.756
	H×D	41.968	1	41.968	.548	.469	.030	.108
	Error	1379.412	18	76.634				
HTD	Fence height(H)	4.624	1	4.624	.027	.871	.002	.053
	Distance(D)	180.115	1	180.115	1.979	.177	.099	.266
	H×D	2.460	1	2.460	.027	.871	.001	.053
	Error	1638.395	18	91.022				

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

세를 유지하다가 빠른 후경각 자세를 나타내고 있다.

5) 체간의 좌·우 기울기 각도

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자 체간의 전·후 기울기 각도 변화에 대한 평균값은 <Table 22>와 같다.

이에 따라 모든 이벤트 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 23>과 같이 FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, HTD에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

<Figure 15>는 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 좌·우 체간기울기 각도변화를 평균값으로 나타낸 것이다. HCM은 표시된 각 시점과 같고, FTD 1, FTO, FTD 2, HTD는 도약거리와 장애물 높이에 따른 평균값으로 나타났다. 50cm 장애물에서 SD와 LD

Table 22. Left-right angle of trunk according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: degree)

Event	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
FTD 1	50cm	0.73±3.89	0.25±2.50	0.49±3.19
	80cm	0.38±3.64	-0.44±3.16	-0.03±3.34
	Total average	0.56±3.67	-0.10±2.79	0.23±3.24
FTO	50cm	-0.91±3.48	1.79±4.18	0.44±3.99
	80cm	1.31±4.48	-0.43±3.15	0.44±3.87
	Total average	0.20±4.07	0.68±3.78	0.44±3.88
HCM	50cm	2.22±4.64	2.73±3.44	2.48±3.98
	80cm	2.56±6.05	-0.42±3.22	1.07±4.96
	Total average	2.39±5.25	1.16±3.62	1.77±4.50
FTD 2	50cm	-0.25±2.43	1.90±4.87	0.83±3.90
	80cm	-1.26±4.31	-0.43±3.26	-0.85±3.74
	Total average	-0.75±3.44	0.73±4.21	-0.01±3.87
HTD	50cm	2.81±5.79	1.71±4.24	2.26±4.97
	80cm	2.61±2.90	-0.42±3.24	1.10±3.37
	Total average	2.71±4.46	0.65±3.83	1.68±4.23

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

의 도약거리는 좌-우 기울기가 급격하게 변하는 반면, 80cm 장애물에서 LD는 도약 시 좌 경각 자세를 보이다 점차 수직선상에 가까운 자세를 보이고 있다.

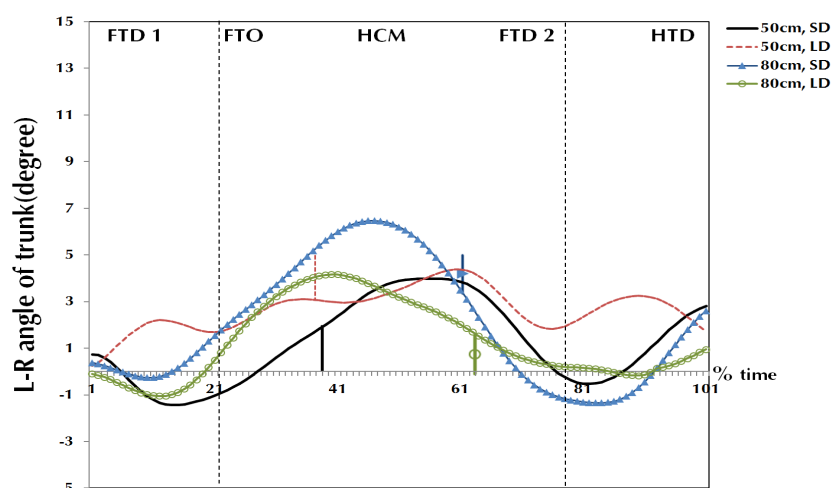


Figure 15. Left-right angle of trunk according to the fence heights and take off distance

Table 23. Variance analysis result of left-right angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
FTD 1	Fence height(H)	2.647	1	2.647	.263	.614	.014	.077
	Distance(D)	4.265	1	4.265	.348	.563	.019	.087
	H×D	.282	1	.282	.023	.881	.001	.052
	Error	220.537	18	12.252				
FTO	Fence height(H)	.000	1	.000	.000	1.000	.000	.050
	Distance(D)	2.344	1	2.344	.172	.683	.009	.068
	H×D	49.224	1	49.224	3.618	.073	.167	.437
	Error	244.923	18	13.607				
HCM	Fence height(H)	19.800	1	19.800	.821	.377	.044	.138
	Distance(D)	15.100	1	15.100	.940	.345	.050	.151
	H×D	30.436	1	30.436	1.896	.185	.095	.256
	Error	289.028	18	16.057				
FTD 2	Fence height(H)	27.988	1	27.988	1.766	.200	.089	.242
	Distance(D)	22.107	1	22.107	1.634	.217	.083	.228
	H×D	4.306	1	4.306	.318	.580	.017	.083
	Error	243.574	18	13.532				
HTD	Fence height(H)	13.578	1	13.578	.549	.468	.030	.108
	Distance(D)	42.521	1	42.521	4.055	.059	.184	.479
	H×D	9.345	1	9.345	.891	.358	.047	.145
	Error	188.737	18	10.485				

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

6) 체간 기울기 각도를 이용한 안정성 지수

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자 체간의 전·후, 전·후 기울기 각도를 이용한 안정성지수에 대한 평균값은 <Table 24>와 같다.

이에 따라 점핑을 수행하는 동안 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 25>과 같이 FRAE와 LRAE는 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

Table 24. FRAE and LRAE according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping

Section	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
FRAE	50cm	15.12±6.48	14.58±6.59	14.85±6.37
	80cm	15.91±3.52	13.41±6.63	14.66±5.32
	Total average	15.51±5.09	14.00±6.46	14.76±5.79
LRAE	50cm	5.60±2.83	4.48±1.84	5.04±2.39
	80cm	5.20±2.12	5.93±2.98	5.57±2.54
	Total average	5.40±2.44	5.20±2.52	5.30±2.45

NOTE: FRAE(front-rear angle excursion), LRAE(left-right angle excursion)

Table 25. Variance analysis result of FRAE and LRAE according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	Source	SS	df	MS	F	p	η^2	Power
FTD 1	Fence height(H)	.371	1	.371	.006	.939	.000	.051
	Distance(D)	23.009	1	23.009	2.332	.144	.115	.304
	H×D	9.606	1	9.606	.974	.337	.051	.155
	Error	177.599	18	9.867				
FTO	Fence height(H)	2.781	1	2.781	.280	.603	.015	.079
	Distance(D)	.377	1	.377	.155	.698	.009	.066
	H×D	8.596	1	8.596	3.539	.076	.164	.429
	Error	43.723	18	2.429				

NOTE: FRAE(front-rear angle excursion), LRAE(left-right angle excursion)

<Figure 16>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 전-후, 좌-우 체간기울기 각도를 이용한 안정성지수를 평균값으로 나타낸 것이다. 체간의 기울기는 FTD 1부터 장애물을 넘은 후 HTD 순간까지의 평균 절대값을 전체 소요된 시간으로 나누어 산출하였다. FRAE는 장애물 높이 80cm에서 LD가 가장 작은 지수를 나타내고 있으며 80cm 장애물에서 SD 도약거리가 가장 높은 결과를 보여주고 있다. LRAE는 각 점핑유형에 따라 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

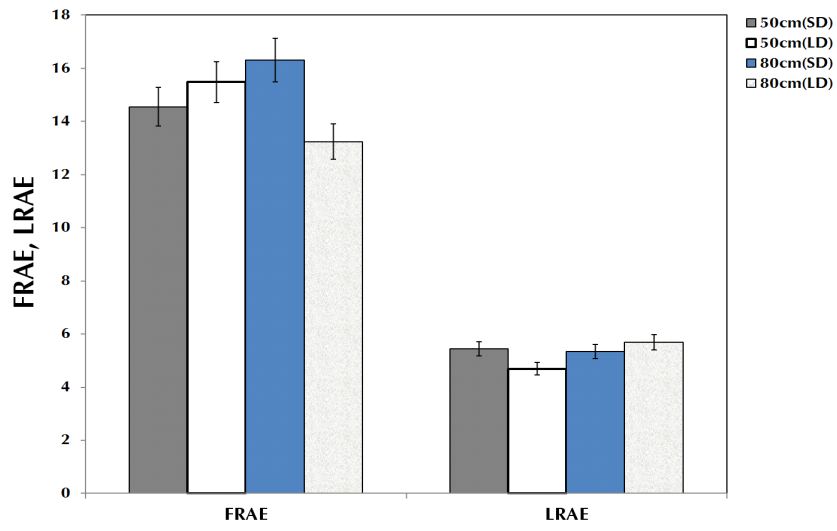


Figure 16. FRAE and LRAE according to the fence heights and take off distance

3. 기승자의 운동역학적 변인

본 연구에서 장애물 비월 시 도약거리와 높이변화에 따른 운동역학적 변인은 기승자의 신체중심위치를 기준으로 위치에너지, 일량, 파워, 그리고 충격량을 산출하였다. FTO 부터 HCM 정점까지의 일량(mechanical work)은 기승자가 점핑을 위한 실제 투사각도(θ)와 이동거리(d)로 계산한 후 파워(power)는 소요된 시간(t)으로 나누어 산출하였다.

1) 위치에너지

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자의 각 이벤트 별 위치에너지에 대한 평균값은 <Table 26>과 같다.

이에 따라 모든 이벤트 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 27>과 같이 FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, HTD에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

Table 26. Potential energy according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: Joule)

Event	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
FTD 1	50cm	1273.38±210.23	1268.29±199.66	1270.83±199.56
	80cm	1267.26±203.77	1310.63±176.36	1288.95±186.81
	Total average	1270.32±201.53	1289.46±184.63	1279.89±191.02
FTO	50cm	1407.15±223.07	1398.98±216.37	1403.07±213.93
	80cm	1405.57±215.29	1399.96±234.33	1402.77±219.03
	Total average	1406.36±213.37	1399.47±219.52	1402.92±213.70
HCM	50cm	1512.67±270.89	1481.16±247.93	1496.92±253.26
	80cm	1552.05±265.11	1583.01±286.96	1567.53±269.35
	Total average	1532.36±261.65	1532.09±266.18	1532.22±260.52
FTD 2	50cm	1414.83±271.47	1409.33±263.83	1412.08±260.55
	80cm	1408.48±252.08	1453.58±266.20	1431.03±253.38
	Total average	1411.66±254.99	1431.45±258.95	1421.55±253.86
HTD	50cm	1351.79±193.40	1348.04±192.89	1349.91±188.00
	80cm	1348.72±185.76	1360.28±214.53	1354.50±195.40
	Total average	1350.25±184.57	1354.16±198.65	1352.21±189.28

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

Table 27. Variance analysis result of Potential energy according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
FTD 1	Fence height(H)	3281.824	1	3281.824	.043	.839	.002	.054
	Distance(D)	3663.679	1	3663.679	3.247	.088	.153	.400
	H×D	5870.332	1	5870.332	.150	.701	.004	.066
	Error	20309.276	18	1128.293				
FTO	Fence height(H)	.906	1	.906	.000	.998	.000	.050
	Distance(D)	474.150	1	474.150	.986	.334	.052	.156
	H×D	16.413	1	16.413	.000	.986	.000	.050
	Error	8654.627	18	480.813				
HCM	Fence height(H)	49866.927	1	49866.927	.352	.560	.019	.087
	Distance(D)	.754	1	.754	.000	.985	.000	.050
	H×D	9754.588	1	9754.588	.136	.715	.004	.065
	Error	39751.546	18	2208.419				
FTD 2	Fence height(H)	3588.873	1	3588.873	.026	.873	.001	.053
	Distance(D)	3919.906	1	3919.906	2.025	.172	.101	.271
	H×D	6401.421	1	6401.421	3.307	.086	.155	.406
	Error	34837.993	18	1935.444				
HTD	Fence height(H)	210.205	1	210.205	.003	.959	.000	.050
	Distance(D)	152.419	1	152.419	.180	.676	.010	.069
	H×D	585.944	1	585.944	.694	.416	.037	.124
	Error	15202.739	18	844.597				

NOTE: FTD 1(forelimb touch down 1), FTO(forelimb take off), HCM(high center of mass), FTD 2(forelimb touch down 2), HTD(hindlimb touch down)

<Figure 17>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 위치에너지 변화를 평균 값으로 나타낸 것이다. 80cm 장애물에서 LD 도약거리는 FTD 1에서 가장 증가된 경향을 보였고, FTO에서는 감소되는 형태를 보이고 있다. 이후 HCM과 FTD 2, HTD에서는 더 증가된 경향을 보이고 있다.

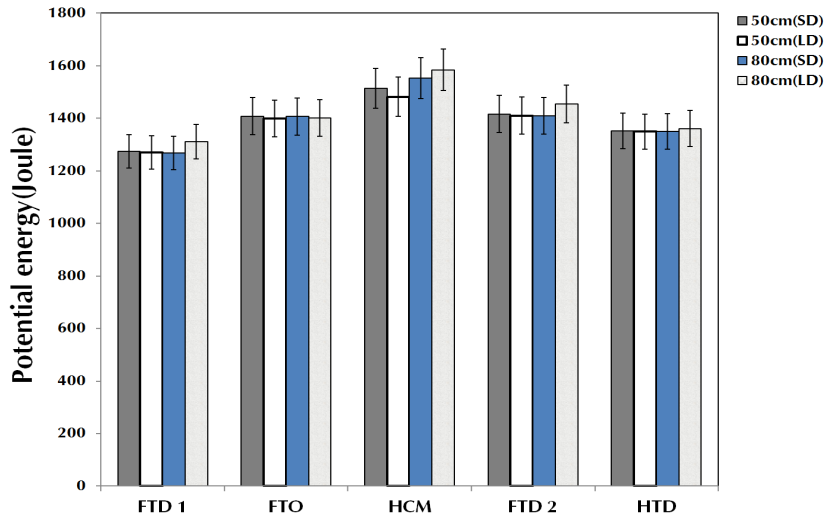


Figure 17. Potential energy according to the fence heights and take off distance

2) 일량

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자의 일량은 도약부터 최고정점 높이까지의 시점을 분석하였고, 이에 대한 평균값은 <Table 28>과 같다.

이에 따라 swing 1 동작에서 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p < .05$). <Table 29>과 같이 장애물 높이에 따라 80cm가 50cm 보다 더 큰 일량을 보여 통계적 유의한 차이가 나타났고, 도약거리와 상호작용 효과는 없는 것으로 나타났다.

<Figure 18>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 일량의 변화를 평균값으로 나타낸 것이다. 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 가장 큰 일량의 변화를 보여주고 있다.

Table 28. Mechanical work according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: Joule)

Phase	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
Swing 1	50cm	944.36±500.19	802.27±609.68	873.31±547.63
	80cm	1421.92±610.52	1899.75±252.14	1660.83±516.49
	Total average	1183.14±595.89	1351.01±723.29	1267.07±659.61

NOTE: swing 1(forelimb take off-high center of mass)

Table 29. Variance analysis result of work according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
Swing 1	Fence height(H)	6201883.272	1	6201883.272	13.959	.002	.437	.942
	Distance(D)	281806.347	1	281806.347	3.323	.085	.156	.407
	H×D	960764.214	1	960764.214	3.632	.065	.092	.458
	Error	1526625.321	18	84812.518				

NOTE: swing 1(forelimb take off-high center of mass)

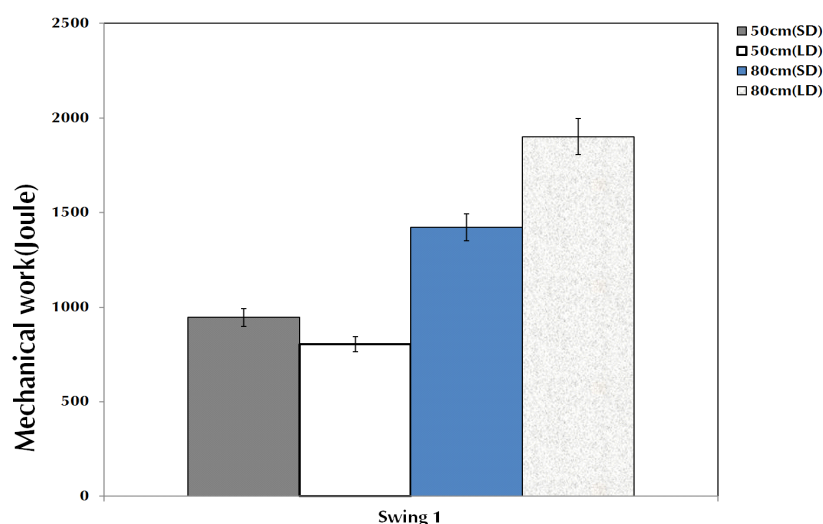


Figure 18. Mechanical work according to the fence heights and take off distance

3) 신체중심의 파워

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자의 신체중심위치를 기준으로 도약부터 최고정점 높이까지의 파워를 비교분석하였으며, 이에 대한 평균값은 <Table 28>과 같다.

이에 따라 swing 1 동작에서 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다. <Table 29>과 같이 장애물 높이에 따라 80cm가 50cm 보다 더 큰 파워를 나타냈고, 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었다. 특히 상호작용이 나타나 일원변량분석을 실시한 결과, 장애물 높이 80cm에서 LD 도약거리가 기승자의 파워에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다($F=13.715$, $p<.001$).

Table 30. Power of COM according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: Watt)

Phase	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
Swing 1	50cm	980.73±526.13	791.22±596.72	885.98±556.10
	80cm	1553.17±433.83	2010.00±278.55	1781.59±425.23
	Total average	1266.95±553.63	1400.61±772.22	1333.78±666.65

NOTE: swing 1(forelimb take off-high center of mass)

Table 31. Variance analysis result of COM power according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	Source	SS	df	MS	F	p	η^2	Power
Swing 1	Fence height(H)	8021185.98	1	8021185.987	22.327	.001	.554	.994
	Distance(D)	178643.076	1	178643.076	1.983	.176	.099	.266
	H×D	1044363.16	1	1044363.163	11.592	.003	.392	.896
	Error	1621634.17	18	90090.788				

NOTE: swing 1(forelimb take off-high center of mass)

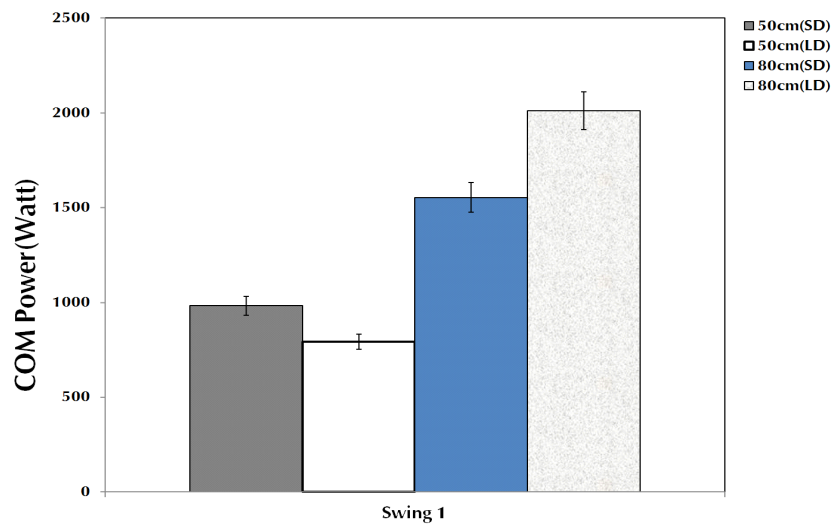


Figure 19. Power of COM according to the fence heights and take off distance

<Figure 19>는 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 파워 변화를 평균값으로 나타낸 것이다. 80cm 장애물 높이가 50cm 장애물 보다 더 큰 파워를 보이고 있으며, 도약 거리 증가에 따라 SD 보다 LD가 더 큰 파워를 나타내고 있다.

4) 기승자의 평균 충격력

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 기승자의 평균 충격력은 HCM 이후 FTD 2부터 HTD 시점까지의 구간을 분석하였으며, 힘(N)값을 각 대상자의 체중(body weight)으로 나누어 표준화(N/BW)하였고 이에 대한 평균값은 <Table 32>와 같다.

이에 따라 GL에서 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 33>과 같이 장애물 높이에 따라 80cm가 50cm 보다 더 큰 평균 충격력을 나타냈고, LD 도약거리보다 SD 도약거리가 더 크게 통계적 유의한 차이를 나타냈다. 이에 따른 상호작용 효과는 없는 것으로 나타났다.

<Figure 20>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 평균 충격력 변화를 평균값으로 나타낸 것이다. 80cm 장애물 높이가 50cm 장애물 보다 더 큰 파워를 보이고 있으며, 도약거리 증가에 따라 SD 보다 LD가 더 큰 파워를 나타내고 있다.

Table 32. Average vertical force according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: N/BW)

Phase	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
Ground	50cm	1.32±0.21	1.24±0.19	1.28±0.20
	80cm	1.50±0.19	1.44±0.20	1.47±0.19
landing	Total average	1.41±0.22	1.34±0.22	1.38±0.22

NOTE: Ground landing(forelimb touch down 2-hindlimb touch down)

Table 33. Variance analysis result of average vertical force according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	Source	SS	df	MS	F	p	η^2	Power
Ground	Fence height(H)	.350	1	.350	4.656	.045	.205	.533
	Distance(D)	.047	1	.047	15.349	.001	.460	.959
landing	H×D	.001	1	.001	.313	.583	.017	.083
	Error	.055	18	.003				

NOTE: Ground landing(forelimb touch down 2-hindlimb touch down)

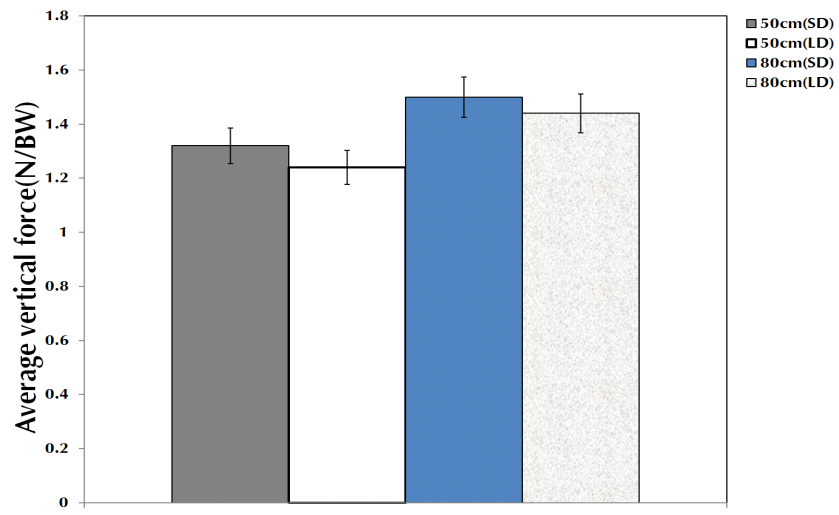


Figure 20. Average vertical force according to the fence heights and take off distance

4. 기승자의 양측 상·하지 관절각도 간 협응성

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 양측 상·하지 관절각도 간 협응성은 비대칭지수(Robinson et al., 1987)로 분석하였다. 이에 따라 도약(TO), 공중동작 전체(S 1, S 2), 착지(GL) 구간으로 구분하여 팔꿈치관절, 어깨관절, 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절 각도의 평균값으로 분석하였으며, 연구결과는 다음과 같다.

1) 팔꿈치관절 각도 간 비대칭 지수

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자의 양측 팔꿈치관절 각도 간 비대칭 지수의 평균값은 <Table 34>와 같고, 비대칭성에서 굴/신전 각도의 크기는 신전>굴곡으로 설정하였다.

이에 따라 모든 이벤트 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 35>와 같이 TO, S 1-S 2 국면에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다. 착지 단계의 GL 구간은 장애물 높이에 따라 80cm LD 도약거리에서 왼쪽 팔꿈치 각도가 오른쪽 팔꿈치 관절각도 보다 더 신전된 비대칭성을 보여 통계적 유의한 차이가 나타났다. 이후 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

Table 34. Asymmetric index between elbow joint angle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: %)

Phase	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
TO	50cm	3.61±1.96 (L>R)	3.29±3.15 (L>R)	3.45±2.56 (L>R)
	80cm	1.74±1.27 (L>R)	4.38±2.48 (L>R)	3.06±2.35 (L>R)
	Total average	2.68±1.87 (L>R)	3.84±2.82 (L>R)	3.26±2.43 (L>R)
S 1-S 2	50cm	3.97±3.56 (L>R)	3.56±3.32 (L<R)	3.76±3.35 (L>R)
	80cm	3.40±1.69 (L>R)	3.14±3.94 (L>R)	3.27±2.95 (L>R)
	Total average	3.68±2.72 (L>R)	3.35±3.55 (L>R)	3.52±3.13 (L>R)
GL	50cm	1.60±1.01 (L<R)	1.02±0.74 (L>R)	1.31±0.91 (L>R)
	80cm	1.98±1.37 (L>R)	2.20±0.98 (L>R)	2.09±1.17 (L>R)
	Total average	1.79±1.19 (L>R)	1.61±1.04 (L>R)	1.70±1.11 (L>R)

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing), LR(left joint angle and right joint angle/ extension > flexion)

Table 35. Variance analysis result of Asymmetric index of elbow joint angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
TO	Fence height(H)	1.486	1	1.486	.260	.616	.014	.077
	Distance(D)	13.454	1	13.454	2.664	.120	.129	.339
	H×D	21.946	1	21.946	4.346	.052	.194	.505
	Error	90.896	18	5.050				
S 1-S 2	Fence height(H)	2.428	1	2.428	.189	.669	.010	.070
	Distance(D)	1.121	1	1.121	.138	.715	.008	.064
	H×D	.059	1	.059	.007	.933	.000	.051
	Error	146.434	18	8.135				
GL	Fence height(H)	6.061	1	6.061	5.257	.034	.226	.583
	Distance(D)	.323	1	.323	.307	.586	.017	.082
	H×D	1.565	1	1.565	1.487	.238	.076	.211
	Error	18.940	18	1.052				

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing)

<Figure 21>은 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 양측 팔꿈치관절 각도 간 비대칭성을 그림으로 나타낸 것이다. 80cm 장애물에서 LD 도약거리는 FTD 1에서 가장 증가된 경향을 보였고, FTO에서는 감소되는 형태를 보이고 있다. 이후 HCM과 FTD 2, HTD에서는 더 증가된 경향을 보이고 있다.

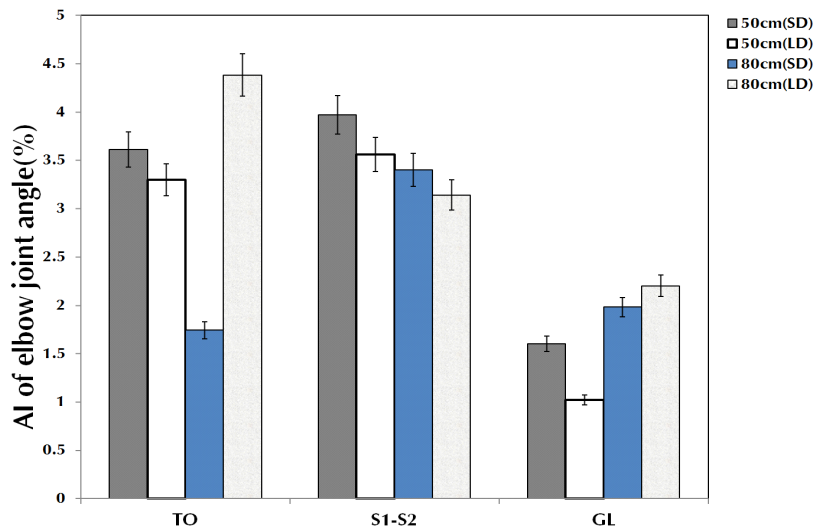


Figure 21. AI of elbow joint angle according to the fence heights and take off distance

2) 어깨관절 각도 간 비대칭 지수

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자의 양측 어깨관절 각도 간 비대칭 지수의 평균값은 <Table 36>과 같고, 비대칭성에서 굴/신전 각도의 크기는 신전>굴곡으로 설정하였다.

이에 따라 모든 이벤트 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 35>와 같이 TO, S 1-S 2, GL 국면에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

<Figure 22>는 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 양측 어깨관절 각도 간 비대칭성을 그림으로 나타낸 것이다. TO와 GL 구간에서 80cm 장애물의 SD 도약거리가 가장 비대칭적인 형태를 보여주고 있다.

Table 36. Asymmetric index between shoulder joint angle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: %)

Phase	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
TO	50cm	131.86±5.65 (L<R)	133.72±4.44 (L<R)	132.79±5.04 (L<R)
	80cm	135.08±5.36 (L<R)	133.41±7.81 (L<R)	134.25±6.57 (L<R)
	Total average	133.47±5.61 (L<R)	133.57±6.18 (L<R)	133.52±5.83 (L<R)
S 1-S 2	50cm	134.90±5.85 (L<R)	133.16±4.93 (L>R)	134.03±5.34 (L<R)
	80cm	133.89±3.90 (L<R)	135.15±6.42 (L<R)	134.52±5.21 (L<R)
	Total average	134.39±4.87 (L<R)	134.16±5.66 (L<R)	134.28±5.21 (L<R)
GL	50cm	133.34±5.19 (L>R)	133.00±3.78 (L>R)	133.17±4.42 (L>R)
	80cm	135.04±3.94 (L<R)	133.10±5.01 (L>R)	134.07±4.50 (L<R)
	Total average	134.19±4.57 (L<R)	133.05±4.32 (L<R)	133.62±4.43 (L>R)

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing), LR(left joint angle and right joint angle/ extension > flexion)

Table 37. Variance analysis result of Asymmetric index of shoulder joint angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	<i>Source</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>Power</i>
TO	Fence height(H)	21.126	1	21.126	.329	.573	.018	.084
	Distance(D)	.090	1	.090	.014	.907	.001	.051
	H×D	31.182	1	31.182	.882	.354	.024	.150
	Error	115.422	18	6.412				
S 1-S 2	Fence height(H)	2.423	1	2.423	.048	.829	.003	.055
	Distance(D)	.543	1	.543	.080	.780	.004	.058
	H×D	22.417	1	22.417	3.317	.085	.156	.407
	Error	121.660	18	6.759				
GL	Fence height(H)	8.065	1	8.065	.335	.570	.018	.085
	Distance(D)	13.064	1	13.064	.776	.390	.041	.133
	H×D	6.422	1	6.422	.381	.545	.021	.090
	Error	303.117	18	16.840				

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing)

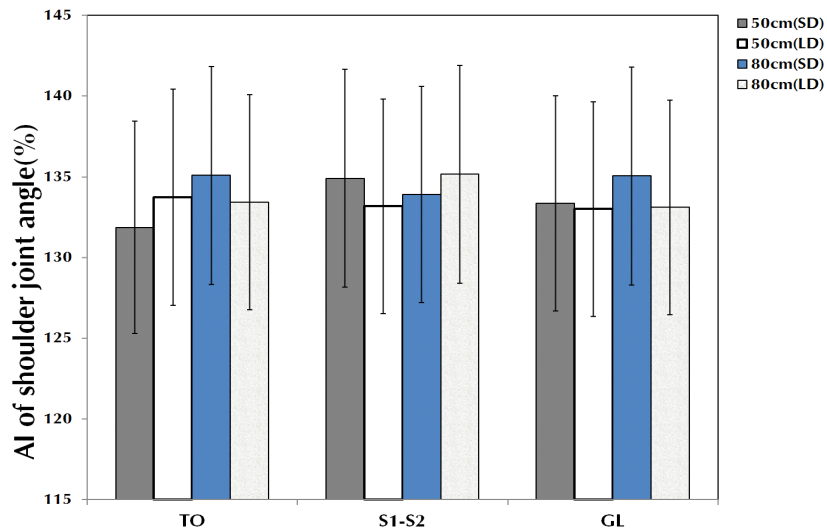


Figure 22. AI of shoulder joint angle according to the fence heights and take off distance

3) 엉덩관절 각도 간 비대칭 지수

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자의 양측 엉덩관절 각도 간 비대칭 지수의 평균값은 <Table 38>과 같고, 비대칭성에서 굴/신전 각도의 크기는 신전>굴곡으로 설

Table 38. Asymmetric index between hip joint angle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: %)

Phase	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
TO	50cm	4.60±2.53 (L<R)	4.59±3.79 (L<R)	4.59±3.14 (L<R)
	80cm	5.39±4.01 (L<R)	7.64±4.48 (L<R)	6.52±4.30 (L<R)
	Total average	5.00±3.29 (L<R)	6.11±4.33 (L<R)	5.55±3.84 (L<R)
S 1-S 2	50cm	6.33±3.84 (L<R)	5.76±3.46 (L<R)	6.05±3.57 (L<R)
	80cm	5.66±2.67 (L<R)	5.69±2.22 (L<R)	5.68±2.39 (L<R)
	Total average	6.00±3.24 (L<R)	5.73±2.83 (L<R)	5.86±3.00 (L<R)
GL	50cm	9.26±4.51 (L<R)	8.12±3.46 (L<R)	8.69±3.95 (L<R)
	80cm	8.68±4.63 (L<R)	9.30±3.93 (L<R)	8.99±4.19 (L<R)
	Total average	8.97±4.46 (L<R)	8.71±3.66 (L<R)	8.84±4.02 (L<R)

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing), LR(left joint angle and right joint angle/ extension > flexion)

정하였다.

이에 따라 모든 이벤트 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 39>와 같이 TO, S 1-S 2, GL 국면에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

Table 39. Variance analysis result of Asymmetric index of hip joint angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	Source	SS	df	MS	F	p	η^2	Power
TO	Fence height(H)	37.029	1	37.029	3.945	.062	.180	.468
	Distance(D)	12.523	1	12.523	.656	.429	.035	.120
	H×D	12.843	1	12.843	.673	.423	.036	.122
	Error	343.651	18	19.092				
S 1-S 2	Fence height(H)	1.385	1	1.385	.096	.760	.005	.060
	Distance(D)	.720	1	.720	.146	.707	.008	.065
	H×D	.905	1	.905	.183	.674	.010	.069
	Error	89.086	18	4.949				
GL	Fence height(H)	.915	1	.915	.034	.856	.002	.053
	Distance(D)	.681	1	.681	.092	.766	.005	.059
	H×D	7.842	1	7.842	1.055	.318	.055	.164
	Error	133.753	18	7.431				

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing)

<Figure 23>는 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 양측 엉덩관절 각도 간 비대칭성을 그림으로 나타낸 것이다. 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 TO에서 가장 비대칭적인 것으로 나타났고, GL 단계에서는 50cm 장애물의 SL도약거리와 80cm 장애물의 LD 도약거리가 가장 비대칭적인 것으로 나타났다.

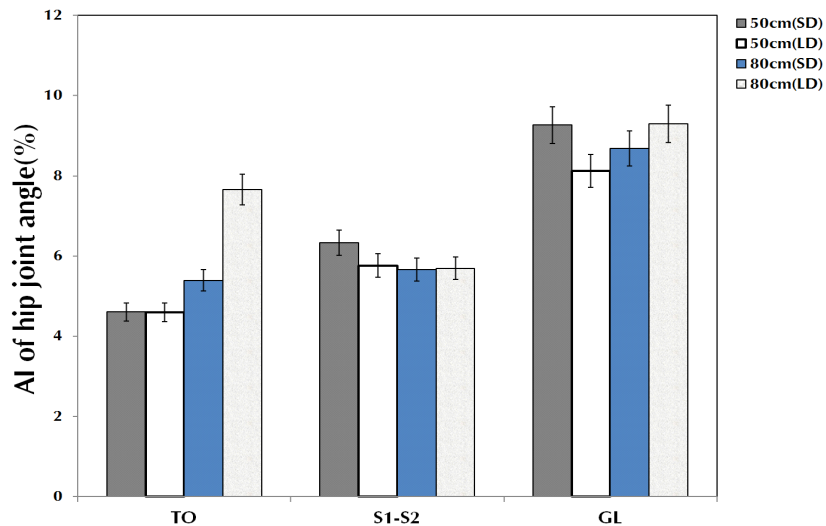


Figure 23. AI of hip joint angle according to the fence heights and take off distance

4) 무릎관절 각도 간 비대칭 지수

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자의 양측 무릎관절 각도 간 비대칭 지수의 평균값은 <Table 40>과 같고, 비대칭성에서 굴/신전 각도의 크기는 신전>굴곡으로 설정하였다.

이에 따라 모든 이벤트 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p > .05$). <Table 41>과 같이 TO와 GL에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다. S 1-S 2에서는 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만 도약거리에 따라 LD가 SD 보다 더 비대칭적인 형태를 보여 통계적 유의한 차이가 나타났다. 이후 상호작용 효과는 없는 것으로 나타났다.

<Figure 24>는 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 양측 무릎관절 각도 간 비대칭성을 그림으로 나타낸 것이다. 장애물 높이 80cm에서 SD와 LD 도약거리가 50cm 장애물 SD, LD 도약거리와 비교하여 더 비대칭적인 형태를 보이고 있다. 또한 S 1-S 2에

Table 40. Asymmetric index between knee joint angle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: %)

Phase	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
TO	50cm	2.41±1.43 (L>R)	2.60±2.38 (L>R)	2.54±1.92 (L>R)
	80cm	4.10±2.55 (L>R)	4.12±2.86 (L>R)	4.11±2.64 (L>R)
	Total average	3.25±2.19 (L>R)	3.40±2.67 (L>R)	3.33±2.41 (L>R)
S 1-S 2	50cm	1.69±1.58 (L<R)	3.16±1.72 (L>R)	2.42±1.77 (L<R)
	80cm	2.80±2.50 (L>R)	3.58±2.15 (L>R)	3.19±2.31 (L>R)
	Total average	2.25±2.11 (L>R)	3.37±1.91 (L>R)	2.81±2.07 (L>R)
GL	50cm	3.22±2.29 (L>R)	3.96±2.83 (L>R)	3.59±2.53 (L>R)
	80cm	2.70±2.49 (L<R)	3.32±1.63 (L<R)	3.01±2.08 (L<R)
	Total average	2.96±2.34 (L<R)	3.64±2.27 (L>R)	3.30±2.30 (L<R)

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing), LR(left joint angle and right joint angle/ extension > flexion)

서는 50cm SD가 가장 대칭적인 것으로 나타났다.

Table 41. Variance analysis result of Asymmetric index of knee joint angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	Source	SS	df	MS	F	p	η^2	Power
TO	Fence height(H)	24.567	1	24.567	2.860	.108	.137	.360
	Distance(D)	.205	1	.205	.078	.783	.004	.058
	H×D	.158	1	.158	.061	.808	.003	.056
	Error	47.051	18	2.614				
S 1-S 2	Fence height(H)	5.933	1	5.933	.979	.336	.052	.155
	Distance(D)	12.642	1	12.642	6.005	.025	.250	.640
	H×D	1.189	1	1.189	.565	.462	.030	.110
	Error	37.893	18	2.105				
GL	Fence height(H)	3.389	1	3.389	.501	.488	.027	.103
	Distance(D)	4.616	1	4.616	1.077	.313	.056	.166
	H×D	.039	1	.039	.009	.925	.001	.051
	Error	77.169	18	4.287				

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing)

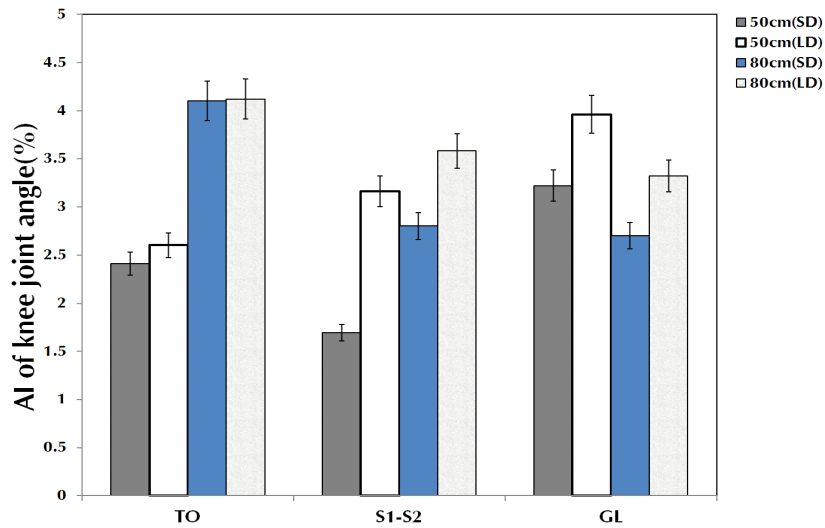


Figure 24. AI of hip joint angle according to the fence heights and take off distance

5) 발목관절 각도 간 비대칭 지수

장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자의 양측 팔꿈치관절 각도 간 비대칭 지수의 평균값은 <Table 42>와 같고, 비대칭성에서 굴/신전 각도의 크기는 저축굴곡>배축굴곡으로 설정하였다.

이에 따라 모든 이벤트 시 도약거리, 변산원(장애물 높이, 도약거리×장애물 높이)에 대한 Mauchly의 구형성 검증 결과, 동변량성 가정은 만족하는 것으로 나타났다($p>.05$). <Table 43>과 같이 TO에서 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만, 도약거리에 따라 LD가 SD 보다 더 비대칭적인 형태를 보여 통계적 유의한 차이가 나타났고, 상호작용 효과는 없는 것으로 나타났다. 또한 S 1-S 2, GL에서는 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

<Figure 25>는 장애물 높이와 도약거리에 따른 기승자 10명의 양측 발목관절 각도 간 비대칭성을 그림으로 나타낸 것이다. TO, S 1-S 2, GL에서 80cm 장애물의 LD가 가장 비대칭적인 형태를 보여주고 있다.

Table 42. Asymmetric index between ankle joint angle according to the fence heights and take off distance in horse riders during show jumping(unit: %)

Phase	Fence heights	Distance		Total average
		Shortest distance	Longest distance	
TO	50cm	2.90±3.25 (L<R)	4.47±3.08 (L<R)	3.69±3.19 (L<R)
	80cm	3.60±2.82 (L<R)	6.16±3.23 (L<R)	4.88±3.23 (L<R)
	Total average	3.25±2.98 (L<R)	5.32±3.19 (L<R)	4.28±3.22 (L<R)
S 1-S 2	50cm	3.26±2.56 (L<R)	2.79±2.54 (L<R)	3.03±2.49 (L<R)
	80cm	3.49±2.72 (L<R)	4.11±2.18 (L<R)	3.80±2.42 (L<R)
	Total average	3.37±2.57 (L<R)	3.45±2.40 (L<R)	3.41±2.46 (L<R)
GL	50cm	3.30±4.37 (L<R)	2.63±1.84 (L<R)	2.96±3.28 (L<R)
	80cm	4.50±3.34 (L<R)	4.92±3.33 (L<R)	4.71±3.25 (L<R)
	Total average	3.90±3.83 (L<R)	3.77±2.87 (L<R)	3.84±3.34 (L<R)

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing), LR(left joint angle and right joint angle/ plantarflexion > dorsiflexion)

Table 43. Variance analysis result of Asymmetric index of ankle joint angle according to the fence heights and jumping distance in show jumping

	Source	SS	df	MS	F	p	η^2	Power
TO	Fence height(H)	14.279	1	14.279	.900	.355	.048	.146
	Distance(D)	42.494	1	42.494	12.756	.002	.415	.922
	H×D	2.425	1	2.425	.728	.405	.039	.128
	Error	59.964	18	3.331				
S 1-S 2	Fence height(H)	5.971	1	5.971	.782	.388	.042	.133
	Distance(D)	.062	1	.062	.013	.912	.001	.051
	H×D	2.927	1	2.927	.594	.451	.032	.113
	Error	88.642	18	4.925				
GL	Fence height(H)	30.444	1	30.444	2.334	.144	.115	.304
	Distance(D)	.156	1	.156	.017	.899	.001	.052
	H×D	3.000	1	3.000	.322	.577	.018	.084
	Error	167.770	18	9.321				

NOTE: phase: TO(take-off), S 1(swing 1), S 2(swing 2), GL(ground landing)

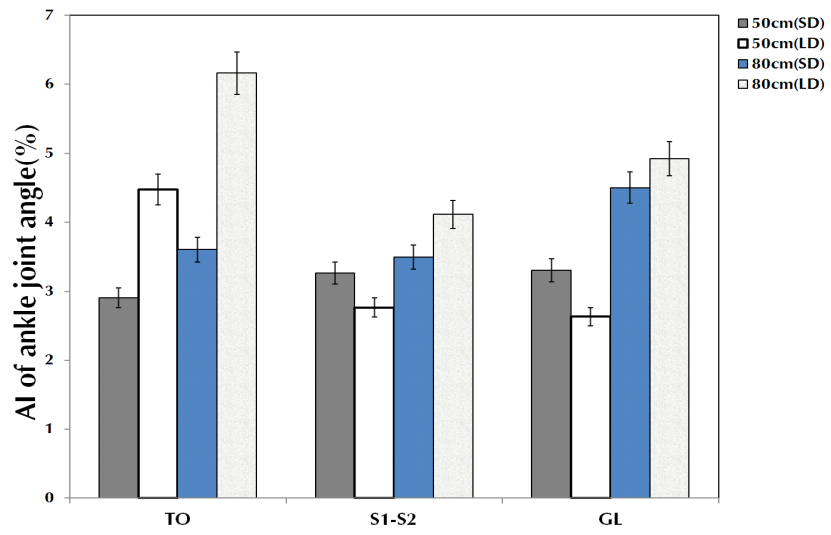


Figure 25. AI of ankle joint angle according to the fence heights and take off distance

V. 논의

말을 이용한 스포츠는 지난 수십 년간 점진적으로 증가되어 왔으며 경주, 마장마술, 장애물 비월 등, 말의 운동과 이동에 대한 관심 또한 증가되고 있다(Jagodzinski & DeMuri, 2005; Powers & Harrison, 2000; Srinivasan et al., 2014). 하지만 많은 사람들이 승마활동에 참여하는 만큼, 스포츠에서 치명적인 부상의 약 4분의 1이 말과 관련이 있으며(Heitkamp, Horstmann, & Hillgeris, 1998), 27%는 말의 반응을 두려워하기 때문이라고 보고하고 있다(Keeling, Blomberg, & Ladewig, 1999). 이처럼 말의 불확실한 특성은 레이싱, 오토바이, 럭비보다 더 위험한 스포츠로 인식되고 있지만(Ball, C. G., Ball, J. E., Kirkpatrick, & Mulloy, 2007; Norwood et al., 2000; Smartt & Chalmers, 2009) 이중 가장 인기 있는 승마 이벤트는 장애물 비월이다(Bobbert, Santamaria, van Weeren, Back, & Barneveld, 2005). 장애물 비월은 말과 기승자 간 협응성을 유지하며 점핑을 수행해야하기 때문에 기승자의 경기력 향상뿐만 아니라 안정성이 확보될 수 있는 정량적인 분석 및 기초자료는 매우 중요하다. 이에 본 연구는 장애물 비월에서 도약거리와 높이 변화에 따른 기승자세, 동적안정성, 운동역학적 변인, 그리고 협응성의 변화를 비교분석하였다. 특히 도약거리는 신장비율로 표준화한 결과, 50cm 장애물에서 SD 도약거리는 50.93%(87.5±39.47cm), LD 도약거리는 59.72%(102.6±54.84cm)였으며, 80cm 장애물에서 SD 도약거리는 91.25%(156.77±59.84cm), LD 도약거리는 117.25%(201.45±40.11cm)로 적용하였다.

1. 기승자의 상·하지 관절각도

말이 점핑을 수행하는 동안 기승자의 상·하지 관절각도의 변화는 우측 관절을 기준으로 분석하였고, 시상면(sagittal plane)에서 발목, 무릎, 엉덩, 어깨, 팔꿈치 관절 각도의 변화를 비교분석하였다.

장애물 비월동안 기승자의 발목관절 각도의 변화는 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었다. 하지만 배측/저측 굴곡운동이 불규칙적인 50cm 장애물 높이에서 SD와 LD 도약거리와 비교하여 80cm 장애물에서 LD 도약거리는 상대적으로 변화가

적은 형태를 나타냈다. 이러한 특징은 무릎관절 각도에서도 알 수 있듯이 50cm 장애물에서 SD와 LD 도약거리, 80cm 장애물에서 SD 도약거리는 FTO 이후 신전각도가 크게 나타나는 반면 80cm 장애물의 LD 도약거리는 큰 변화가 없는 일관성 있는 자세를 유지하는 형태를 보였다.

이후 HCM에서도 50cm 장애물의 SD 도약거리는 $132.22 \pm 9.70 \text{deg.}$, LD 도약거리는 $128.38 \pm 13.55 \text{deg.}$, 80cm 장애물에서 SD 도약거리는 $125.02 \pm 10.48 \text{deg.}$ 의 형태를 보였지만, 80cm 장애물의 LD 도약거리는 $118.93 \pm 10.74 \text{deg.}$ 로 큰 변화가 없이 일관성 있는 자세 유지 및 가장 굴곡된 자세를 보여 통계적 유의한 차이를 나타냈다. Powers와 Harrison(2002)은 말의 점핑수행능력은 기승자의 지시에 따라 행동에 변화를 가져온다고 보고하고 있지만, 반면 Powers와 Kavanagh(2005)는 기승자의 자세와 움직임이 말이 점핑을 수행하는 동안 크게 관여하지 않아야 한다고 보고하였고, 류재청과 현승현(2014) 역시 승마 정보 시에도 무릎관절의 과도한 신전은 등자-말 사이에 전달되는 체중분배 기전이 감소된다고 보고하고 있다. 이러한 관점에서 장애물 높이가 80cm 보다 상대적으로 낮은 50cm 장애물에서 말의 전족-장애물 간 짧아진 도약거리로 말이 장애물을 넘기 위한 순간적인 수직상승 반응에 기승자의 체중부하가 적절히 유지되어야 하지만, 무릎관절의 신전된 자세는 체중분배 기전에 감소를 초래하여 말의 점핑성능이 더 저하될 수 있다고 판단된다.

엉덩관절 각도에서도 50cm 장애물의 SD와 LD 도약거리, 80cm 장애물의 SD 도약거리는 유사한 운동 패턴을 보이고 있지만, 80cm 장애물의 LD 도약거리는 FTO 이후 더 굴곡된 자세를 유지하다가 HCM에서 더 빠르게 신전되는 형태를 나타냈다. 즉 장애물 높이가 상대적으로 높은 80cm 장애물에서 긴 거리에서 점핑이 FTO 이후 기승자의 더 큰 엉덩관절의 굴곡자세와 빠른 신전으로 HCM을 증가시키기 위한 움직임으로 생각된다. 이처럼 하지관절 각도의 변화는 장애물 높이가 높아지더라도 긴 거리에서 점핑을 수행하는 것이 수직상승 높이가 더 증가되고 말-기승자 간 일관성 있는 자세 유지 및 더 고착화될 수 있음을 시사한다.

어깨관절 각도의 변화는 도약거리 50cm와 80cm의 장애물에서 SD보다 LD 도약거리가 더 신전된 형태를 보여 통계적 유의한 차이가 나타났고, 상호작용이 나타난 바 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 어깨관절 각도의 신전에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 어깨관절 각도의 변화는 장애물 높이 별 SD 도약거리가 서로 유사한 형태로 굴/신 운동이 적은 반면, LD 도약거리는 50cm, 80cm 장애물 모두 굴/신 각도가 크게 변하는 특징을 보였다. 팔꿈치 관절 각도의 변화에서도 FTO 구간과 각 점프유형의 HCM과 비교해 볼 때, 80cm 장애물이 50cm 장애물보다 더 신전된 형태를 보였고 LD 도약거리가 각각 $123.43 \pm 22.60 \text{deg.}$ 와 $128.35 \pm 13.86 \text{deg.}$ 로 큰 변화가 없는 형태를 보여 통계적 유의한 차이

가 나타났다. 이와 같이 본 연구에서 상지관절 각도의 특징은 모든 점프 유형의 FTO와 HCM 구간에서 말의 점핑이후 말 머리가 하 방향으로 이동하는 만큼 고삐를 느려주는 일정한 간격을 유지하는 특징을 보이고 있지만, 50cm 장애물의 SD와 LD 도약거리는 최대 신전 상태가 되기 전 HCM에 도달하는 형태를 보였다.

이러한 특징들은 Decker(1995)가 이륙 시 팔꿈치 각도를 최소화 하고 착지 시에는 말의 머리가 전진하여 자연스럽게 하 방향으로 향할 수 있도록 팔꿈치 각도를 풀어준다는 보고와 유사한 결과이다. 또한 Barrey와 Galloux(1997)가 말 자체의 점핑수행은 도약 시 체간의 기울기가 탄도비행을 결정짓는 초기 조건이라고 하였는데, 시간적 타이밍의 관점에서 볼 때, 80cm 장애물의 LD 도약거리가 어깨관절의 최대 굴곡과 팔꿈치 관절의 굴곡시점이 유사하게 나타난 바, 말의 수직상승을 위한 고삐조절 전략은 HCM 전 짧은 고삐거리를 유지하여 이륙방향을 결정하는 것이 성공적인 점핑을 위한 요인인 것으로 판단된다.

따라서 각 장애물 높이 별 긴 거리에서 점핑을 수행하는 것이 말-기승자 간 더 밀접한 자세유지 및 자세가 고착화되고 있음을 시사하고 있다.

2. 기승자의 동적안정성

장애물 비월에서 말의 보법에 의한 기승자의 동적안정성 분석을 위해 신체중심위치 및 속도변화, 체간의 전·후, 좌·우 기울기 각도를 비교분석하였다.

말 앞발굽이 도약 전 지면에 닿는 순간부터 점핑을 수행한 후 다시 지면에 전족 착지와 후족착지까지 총 이동거리 동안 기승자의 신체중심위치의 전후 변화를 비교분석한 결과, TO 구간은 도약 전 발구름이 이루어지는 구간으로 각 장애물 높이 50cm에서 SD 도약거리는 102.44 ± 13.99 cm, LD 도약거리는 92.78 ± 12.32 cm, 장애물 높이 80cm에서 SD 도약거리는 85.94 ± 18.42 cm, LD 도약거리는 71.18 ± 30.20 cm로 서로 다른 이동거리를 보여 통계적 유의한 차이를 보였다. 즉 장애물 높이가 증가할수록 지지기 구간은 더 짧게 유지하는 것이며, 도약거리에도 큰 영향을 받는 특징을 보였다.

하지만 TO 이후 S 1에서는 장애물 높이 50cm에서 SD 도약거리는 78.03 ± 53.21 cm, LD 도약거리는 90.72 ± 41.70 cm, 장애물 높이 80cm에서 SD 도약거리는 138.00 ± 52.45 cm, LD 도약거리는 189.15 ± 26.59 cm로 서로 다른 특징이 나타났고, 장애물 높이에 따라서도 통계적 유의한 차이가 나타났다. 특히 상호작용이 나타나 일원변량분석을 실시한 결과, 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 가장 긴 전방이동거리를 나타냈다. Powers와 Harrison(2000)이 두 개의 장애물 간 0.5m 폭(wide)의 1m 수직 높이에서 말 자체의 점핑동작을 분석하였는

데, 후족다리 점핑 시점을 기준으로 이륙구간은 1.65m, HCM 이후 착지 구간까지 1.35m 로 보고했다. 이 데이터는 성능테스트를 통해 우수한 말 18두에 대한 결과이며, 본 연구결과를 비교해 볼 때, 80cm에서 LD 도약거리가 유사한 이동거리를 나타냈다. 이후 HCM부터 착지 구간까지의 전방이동거리 역시 80cm 장애물의 LD 도약거리에서 S 2는 87.01 ± 21.29 cm, GL은 98.93 ± 43.63 cm로 두 구간을 합한 185cm 로 다른 점핑 유형과 비교하여 짧은 거리를 보여주고 있다. 특히 HCM 이후 S 2와 GL은 장애물을 넘은 후로 전족 착지와 후족이 착지되는 구간으로 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 87.01 ± 21.29 cm로 장애물 간 거리가 가장 짧게 나타나, 점핑을 수행하는 동안 시공간적 타이밍은 가장 뛰어난 것으로 판단되며, 말-기승자 간 장애물을 보다 안정적인 점핑수행 및 포물선 운동을 위해 HCM 이후 착지거리를 짧게 유지하여 다음 전방진진을 위한 기점으로 생각된다. 반면, 장애물 높이가 낮은 50cm에서 SD 도약거리가 HCM 이후 가장 긴 전방이동거리를 보이고 있어 점핑 초기단계에 실패할 확률이 더 높아질 뿐만 아니라 에너지 소모에도 영향을 미칠 수 있다고 판단된다.

기승자 신체중심위치의 수직변화에서도 알 수 있듯이 FTD 1에서는 큰 차이가 없는 50cm 장애물 SD와 LD 도약거리, 80cm 장애물의 SD 도약거리와 비교하여 80cm의 LD 도약거리가 183.37cm로 가장 높은 위치를 나타냈다. 이는 도약 전과 최고 정점 높이에서 성능이 향상된 말은 각각 1.71m, 1.83m, 성능이 저하되는 말은 각각 1.65m, 1.70m로 보고하고 있는데(Powers & Harrison, 2000), 본 연구에서는 기승자의 신체중심 위치로 계산되었기 때문에 더 높게 나타났지만, 다른 점프 유형과 비교해 볼 때, FTD 1, HCM은 80cm LD 도약거리가 유사한 결과를 나타냈다.

신체중심위치 전후 속도변화는 말-기승자 간 협응하며 동일하게 이동하기 때문에 말의 이동속도는 Lovett 등(2005)이 보고한 구보의 4.82 ± 0.28 m/sec 보다 더 높은 결과를 나타냈다. 특히 구간별로 분석한 결과, FTD 1에서 속도변화에 통계적 유의한 차이는 없었지만, 80cm 장애물의 SD 도약거리가 527.55 ± 53.67 cm/sec로 가장 빠르게 나타났다. 하지만, HCM과 FTD 2, GL에서는 80cm 장애물의 LD 도약거리가 각각 538.88 ± 75.06 cm/sec, 517.67 ± 66.11 cm/sec, 450.01 ± 53.27 cm/sec로 다른 점프유형보다 기승자 신체중심위치의 전후 변화는 지속적으로 더 빠르게 통계적 유의한 차이를 보였다.

이는 말이 점핑을 수행하기 전 도약단계는 지면과 말 발굽의 충격, 그리고 공중단계 초기 속도의 크기와 방향이 COM의 탄도 비행을 결정하게 된다는 Barrey와 Galloux(1997)의 연구결과와 가장 유사하게 나타났다. 말이 점핑을 수행하는 포물선 운동에서 속도 성분의 효과는 이미 Van den Bogert, Jansen과 Deuel(1994), Clayton 등(1995)에 의해 증명되었듯이, 본 연구결과의 주효과 값에서 HCM과 FTD 2에서 SD 도약거리보다 LD 도약거리가

더 빠른 속도를 보이고 있어 도약거리가 증가되는 만큼 전방이동속도와 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 특히 구간별 비교했을 때, 접근 속도를 지속적으로 유지하여 브레이킹 포스를 최소로 하는 것이 효율적인 것으로 생각되며, S 1 단계에서 속도가 더 증가되는 유형은 SD 보다는 LD 도약거리로 나타났고 80cm 장애물 높이에서 더 빠르게 나타난 바, 원거리에서 점핑을 수행하는 것이 점핑을 성공적으로 수행할 수 있는 요인으로 해석된다.

기승자 체간의 전-후, 좌-우 기울기 각도에서 전방기울기는 (+)값, 후방기울기는 (-)값, 좌-우 기울기에서 좌측 기울기는 (+)값, 우측기울기는 (-)값으로 모델링하였다. 전-후 기울기 각도는 50cm와 80cm의 장애물에서 SD 도약거리는 유사한 움직임을 나타내고 있지만, HCM에서 도약거리에 따라 SD가 LD 보다 더 큰 전경각 자세를 보였고, 상호작용이 나타난 바, 80cm 장애물에서 LD가 전-후 기울기 자세에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. LD 도약거리는 SD 보다 점핑을 더 긴 거리에서 수행하고 HCM이 높은 것이 특징이다. 따라서 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 HCM을 수행하기 위해 전경각 자세로 이륙한 후 FTD 2 동작을 수행하기 위해 수직선상과 가깝게 착지하는 것으로 판단된다. 반면 50cm 장애물에서 점핑은 HCM 정점이 FTO 이후 빠르게 나타나기 때문에 말의 급격한 상승으로 인해 큰 전경각 자세를 유지하는 특징으로 생각된다.

기승자 체간의 좌-우 기울기 역시 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 좌-우 기울기가 불규칙적인 50cm 장애물의 SD와 LD 도약거리, 80cm의 SD 도약거리 보다 HCM에서 수직선상과 밀접한 자세를 유지하여 통계적 유의한 차이가 나타났는데, 전-후 기울기에서 나타난바와 같이, FTD 2를 수행하는 과정에서 큰 움직임 없이 안정적인 착지를 수행하는 것으로 판단된다. 특히 말-기승자 간 점핑을 수행하는 동안 전-후, 좌-우 기울기 각도를 소요시간으로 나누어 급격한 움직임 여부를 평가한 안정성 지수의 분석결과, 장애물높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만, FRAE는 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 13.41 ± 6.63 으로 50cm 장애물의 SD 15.12 ± 6.48 , LD 14.58 ± 6.59 , 80cm 장애물의 SD 15.91 ± 3.52 보다 작은 지수를 나타냈다. 이러한 결과는 시간과도 밀접한 관련이 있는데, 80cm 장애물의 LD 도약거리가 짧은 시간동안 보다 안정적으로 점핑이 이루어지고 있음을 시사하고 있다.

3. 기승자의 운동역학적 변인

기승자의 위치에너지 변화는 각 대상자들의 체중, 그리고 지면과 기승자의 신체중심위치의 수직 높이와 밀접한 관련이 있다. 이러한 관점에서 대상자들의 체중은 동일한 무게가 적용되기 때문에 각 이벤트 별 신체중심위치의 수직변화에 의해 많은 영향을 받는다. 본 연구결과 50cm 장애물의 SD가 LD 도약거리, 80cm 장애물에서 SD 도약거리와 비교하여 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 FTD 1, HCM, FTD 2, HTD에서 가장 증가된 형태와 FTO에서는 가장 작은 위치에너지를 나타냈다. FTD 1은 점핑을 수행하기 위해 접근하는 말-기승자 간 보조법에서 상-하 운동이 가장 활발하게 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 이후 FTO는 다른 점핑 유형과 비교하여 말-기승자는 가장 낮은 자세를 유지하고 있는데 이는 운동수행을 향상시킬 수 있는 원인 중 하나로 하지 근육의 탄성에너지(김용이, 이성철, 김승재, 1997; Komi, 2008)로 설명되며, 근수축의 활성화로 근, 건에서 발생한 에너지를 더욱 효율적으로 사용(Bobbert & Van Lingen Schenau, 1988)하여 점핑을 성공적으로 수행하기 위한 전략으로 판단된다.

장애물 비월에서 일량의 변화는 기승자의 신체중심위치를 기준으로 S 1 구간 동안 전-후, 수직 변화 값을 이용하여 실제 이동한 대각선 거리와 도약각도로 산출하였다. 또한 파워는 일량을 소요된 시간으로 나누어 산출한 결과, 장애물 높이변화에 따라 장애물 높이 80cm가 50cm보다 더 큰 일량을 보여 통계적 유의한 차이가 나타났고, 이중 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 가장 높게 나타났다. 즉 말-기승자 간 장애물을 넘기 위해 점핑을 수행하는 동안 일량은 장애물 높이와 도약거리가 증가할수록 더 증가되는 물리적인 현상으로 판단된다. 본 연구에서 파워는 일량의 변화와 유사하게 80cm 장애물에서 LD 도약거리가 가장 큰 값을 나타냈다. 이는 장애물 도약거리와 높이가 증가할수록 소요시간 역시 더 증가할 것으로 가정하였으나, 점핑을 수행하는 소요시간이 짧아진 결과로 판단된다. 즉, 장애물 높이가 증가하더라도 긴 거리에서 점핑을 수행하는 것이 S 1 구간은 더 효율적일 수 있음을 시사한다.

마장 마술과 점핑 훈련은 말의 전-후족을 모두 사용하기 때문에 체중부하에 영향이 미치며(Roepstorff, Johnston, Drevemo, & Gustås, 2002), 착지 시 체중부하로 발생하는 충격력은 기승자 뿐만 아니라 말 또한 영향을 받기 때문에 매우 중요한 변인이다. Preuschoft(1989)에 의하면 1.55m의 수직 장애물을 점핑 후 착지했을 때, 말은 체중의 3.85N/BW에 가까운 최대 수직지면반력이 생성된다고 보고하고 있다. 이에 본 연구는 기승자세의 운동학적 자료를 이용하여 점핑 후 말 앞발굽이 지면에 착지되는 순간부터 후족이 닿은 GL 구간 동안 기승자의 신체중심 수직 위치변화와 에너지 값들을 사용하여 평균

충격력을 산출하였다. 50cm 장애물에서 SD는 1.32N/BW, LD는 1.24N/BW, 80cm 장애물에서 SD는 1.50N/BW, LD는 1.44N/BW으로 장애물 높이와 도약거리에 따라 모두 통계적 유의한 차이를 나타냈다. 이에 가장 큰 특징은 각 장애물 높이에서 SD 도약거리보다 LD 도약거리의 평균 충격력이 작게 나타났는데, SD는 짧은 거리에서 점핑이 수행되기 때문에 급격한 수직상승의 결과로 착지 시 충격력은 더 증가되는 것으로 판단된다. 반면, Farley와 Taylor(1991)가 말 보법의 속도 변화 보다 질주(galloping)에서 빠른 속도를 유지하는 것이 근육, 힘줄, 뼈의 최대 힘 등, 부상이 감소된다고 보고하고 있는데, 본 연구의 LD 도약거리는 기승자의 HCM 이 더 높았지만 말-기승자 간 이상적인 포물선 운동이 나타나, 착지와 동시에 다음 전진을 위한 보법을 보다 무리 없이 수행하는 것으로 생각된다.

4. 기승자의 양측 상·하지 관절각도 간 협응성

장애물 비월에서 도약거리와 높이 변화에 따른 기승자세의 협응성 비교를 위해 Robinson 공식(Robinson et al., 1987)을 사용하여 양측 상·하지 관절각도 간 평균값을 사용하여 비대칭 지수를 산출하였다.

TO와 S 1-S 2, GL 구간으로 나누어 평균값으로 분석한 결과, 팔꿈치 각도의 움직임은 양측 간 통계적 유의한 차이는 없었지만, GL에서 50cm 장애물이 80cm 장애물 보다 좌측 팔꿈치관절 각도가 더 신전되는 형태를 나타냈다. 또한 어깨관절 각도에서도 우측 어깨관절 각도의 움직임이 더 작게 나타나, 상지의 움직임은 점핑을 수행하는 동안 모두 좌측관절의 움직임의 범위가 더 큰 것으로 나타났다. 이는 도약거리에 따른 점핑을 수행하는 동안 서로 대칭적인 것으로 판단되지만, 장애물 높이에 따라 80cm가 50cm 보다 더 비대칭적인 형태를 나타낸 바, 기승자의 수직이동 변화, 속도, 역학적 에너지가 더 증가되는 만큼 착지 시 더 비대칭적인 자세가 발생하는 것으로 분석되었다.

하지관절에서 엉덩관절 양측 간 통계적 유의한 차이는 없었지만, 도약거리와 장애물 높이에 따라 모두 우측 관절 각도가 더 신전된 비대칭적인 형태를 나타냈고, 발목관절 역시 양측 간 우측이 더 저축 굴곡된 형태를 나타냈다. 특히, TO 구간에서 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났는데, LD 도약거리가 SD 보다 더 대칭적인 형태를 나타냈다. 반면, 무릎관절의 각도변화는 엉덩관절과 발목관절 각도의 결과와는 다르게 왼쪽관절의 각도변화가 더 신전된 비대칭성을 나타냈는데, 특히 S 1-S 2에서 통계적 유의한 차이가 나타난 바, SD 도약거리보다 LD 도약거리에서 더 비대칭적인 형태를 보였다.

본 연구의 실험 전, 모든 대상자들의 우세·비우세 체지 여부를 진술에 의존하여 조사한 결과, 모두 우측이 우세체지로 조사되었는데, Nunome, Ikegami, Kozakai, Apriantono와 Sano(2006), Carpes, Rossato, Faria와 Bolli Mota(2007), 김영관, 김윤희(2010)이 운동상황에서 우세한 다리와 비우세한 다리 간 성능차이가 나타난다는 보고, Burnfield(1995), 현승현, 이애리, 류재청(2014)이 일상생활에서 조차 비대칭성이 나타난다는 보고와 유사한 결과이다. 또한 현승현과 류재청(2015)은 승마 평보 시 양측 팔꿈치관절 2.10%, 어깨관절 12.70%, 엉덩관절 3.00%, 무릎관절 5.10%, 발목관절 11.70%와 속보 시에도 양측 팔꿈치관절 3.10%, 어깨관절 11.80%, 엉덩관절 3.00%, 무릎관절 2.90%, 발목관절 5.70%로 우세·비우세 체지 간 비대칭성이 나타난다고 보고했었는데, 이러한 관점에서 승마 장애물 비월에서 기승자의 양측 상·하지 간 비대칭은 체간의 회전과 관련이 깊은 것으로 분석되었다.

즉, 우세 체지가 우측인 기승자들은 체간의 좌·우 기울기 결과에서 확인할 수 있듯이, 장애물 높이와 도약거리에 따라 모두 좌측 기울기의 형태가 나타나고 있는데, 상지의 팔은 몸통 회전으로 우측의 관절각도는 가동범위가 작아지는 반면, 좌측관절 각도는 더 증가되는 형태를 보이고 있어, 기승자는 오른쪽 고관절 신전과 발목관절의 저축굴곡과 동시에 체간은 반시계방향으로 종축회전(twisting)이 이루어지고 있음을 시사한다.

이와 같이 운동학적·운동역학적 변인의 비교를 통해 짧은 도약거리 보다 긴 거리에서 도약하는 것이 말-기승자 간 밀접한 자세가 유지되고 기승자의 안정성 및 말의 점핑능력 역시 더 향상되는 것으로 분석되었다. 하지만 양측 상·하지 관절 각도의 변화 값으로 비대칭 지수를 분석한 결과 도약거리와 높이가 증가될수록 더 비대칭적인 형태를 보이고 있어, 이를 고려하여 양측 관절 각도 간 더 대칭적일 수 있는 적합한 훈련프로그램이 적용된다면 경기력 향상뿐만 아니라 부상예방에도 효과적일 수 있다고 판단된다.

VI. 결론 및 제언

1. 결론

본 연구는 장애물 비월에서 도약거리와 높이에 따른 기승자세의 운동역학적 변인을 비교분석하기 위해 실시하였다. 대상자들은 더러브렛으로 장애물 높이 50cm와 80cm 장애물 비월이 가능하고 등자길이 72cm를 선호하는 자들이었다. 각 장애물 높이별 도약거리는 50cm 장애물에서 SD는 신장비율 50.93%(87.5±39.47cm), LD는 59.72%(102.6±54.84cm)였으며, 80cm 장애물에서 SD는 91.25%(156.77±59.84cm), LD는 117.25%(201.45±40.11cm)로 적용하였다. 실험은 모래위에서 실시하였으며, 4대의 영상분석 카메라(HDR-HC7/HDV 1080i, Sony, Corp, Japen) 장비로 실험 및 측정 후 Kwon3D XP Motion Analysis Package ver. 4.0(Visol, Korea) 프로그램을 사용하여 운동학적 자료를 산출하였다. 분석변인은 기승자의 상·하지 관절각도, 동적안정성, 운동역학적 변인, 양측 상·하지 관절각도 간 비대칭 지수를 비교분석하였으며, 이때 PASW 21.0(IBM Inc, USA) 통계 패키지를 이용하여 도약거리와 높이에 따라 반복이원변량분석(two way analysis of variance with repeated measure)을 실시하였고, 모든 통계적 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

분석결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기승자의 상·하지 관절각도

① 기승자의 팔꿈치관절 각도변화는 HCM에서 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났고, FTD 1, FTO, FTD 2, HTD는 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었다. 또한 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

② 기승자의 어깨관절 각도변화는 FTD 1 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났고, 상호작용이 나타난 바 도약거리가 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이후 FTO, HCM, FTD 2, HTD는 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

③ 기승자의 엉덩관절 각도변화는 장애물 높이와 도약거리에 따라 FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, HTD에서 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

④ 기승자의 무릎관절 각도변화는 장애물 높이와 도약거리에 따라 FTD 1, FTO, FTD 2,

HTD에서 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다. 하지만, HCM에서 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났다.

⑤ 기승자의 발목관절 각도변화는 장애물 높이와 도약거리에 따라 FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, HTD에서 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

2) 기승자의 동적안정성

① 신체중심위치의 전후 변화는 TO에서 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났다, S 1은 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났다. 상호작용이 나타난 바 장애물 높이가 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. S 2는 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났다, 상호작용이 나타난 바 장애물 높이가 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이후 GL과 Total에서는 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

② 신체중심위치의 수직 변화는 FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, HTD에서 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고, 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

③ 신체중심위치의 전후 속도변화는 FTD 1, FTO에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었다. HCM, FTD 2, HTD는 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났다, 상호작용 효과는 없는 것으로 나타났다.

④ 체간 기울기의 전-후 변화는 FTD 1, FTO, HTD에서 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다. HCM은 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났다, 상호작용이 나타난 바 장애물 높이가 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. FTD 2는 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났다, 상호작용 효과는 없는 것으로 나타났다.

⑤ 체간 기울기의 좌-우 변화는 장애물 높이와 도약거리에 따라 FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, HTD에서 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

⑥ 체간 기울기 각도를 이용한 동적안정성 지수의 변화는 장애물 높이와 도약거리에 따라 FRAE, LRAE에서 통계적 유의한 차이는 없었고, 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

3) 기승자의 운동역학적 변인

① 기승자의 위치에너지 변화는 장애물 높이와 도약거리에 따라 FTD 1, FTO, HCM, FTD 2, HTD에서 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

② 기승자의 일량의 변화는 S 1에서 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났

고, 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었다. 또한 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

③ 기승자의 파워변화는 S 1에서 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났고, 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었다. 또한 상호작용이 나타난 바 장애물 높이가 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

④ 기승자의 평균 충격력의 변화는 GL 동안 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났고, 상호작용 효과는 없는 것으로 나타났다.

4) 기승자의 양측 상·하지 관절 각도의 협응성

① 기승자의 양측 팔꿈치관절 각도 간 비대칭 지수의 변화는 TO, S 1-S 2에서 도약거리와 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만, GL은 장애물 높이에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났다. 이후 상호작용 효과는 없는 것으로 나타났다.

② 기승자의 양측 어깨관절의 각도 간 비대칭 지수의 변화는 TO, S 1-S 2, GL에서 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

③ 기승자의 양측 엉덩관절의 각도 간 비대칭 지수의 변화는 TO, S 1-S 2, GL에서 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

④ 기승자의 양측 무릎관절의 각도 간 비대칭 지수의 변화는 TO, S 1-S 2, GL에서 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

⑤ 기승자의 양측 발목관절의 각도 간 비대칭 지수의 변화는 TO에서 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이가 나타났다. 이후 S 1-S 2와 GL에서 장애물 높이와 도약거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고 상호작용 효과도 없는 것으로 나타났다.

종합해 볼 때, 장애물 비월 시 기승자의 상지 관절 각도는 FTD 1, FTO, HCM까지 장애물 높이 증가에 따라 고뼈전략을 다르게 사용하는 것을 알 수 있었다. 특히 말은 불확실한 특성을 가지고 있지만, 신체중심위치의 전·후 변화에서 TO 국면은 장애물 높이 증가에 따라 이동량이 감소하는 반면, Swing 1은 더 증가되는 형태를 나타내고 있어 말의 운동수행기능은 장애물 높이에 따라 차이가 있음을 시사한다. 이러한 변화는 운동역학적 변인에서 알 수 있듯이, 기승자 신체중심의 파워와도 매우 밀접한 관련이 있으며, 후족착지 시 발생하는 평균 충격력은 물리적 현상으로 높은 장애물이 더 큰 값을 보이고 있지만, 긴

거리에서 점핑을 수행하는 것이 말-기승자 간 안정성이 더 확보되고 충격을 최소화 할 수 있다고 판단된다.

2. 제언

승마 장애물 비월 시 기승자의 양측 상·하지 관절각도 움직임이 더 대칭적일 수 있는 운동프로그램 개발이 필요하다. 또한 말-기승자 간 운동학적·운동역학적 변인들을 쉽게 분석할 수 있는 모델링 및 알고리즘 개발이 필요하다고 생각된다. 추후 장애물 비월에서 다양한 변인들 즉, 부츠의 종류, 안장유형, 성별, 연령, 기승복 등을 고려한 많은 후속연구들이 이루어지길 제언한다.

참고문헌

- 김영관, 김윤혁(2010). 우세한 다리와 비우세한 다리 사이의 태권도 발차기 비교. **한국운동역학회지**, 20(2), 183-189.
- 김용이, 이성철, 김승재(1997). 하지의 탄성에너지 활용에 관한 연구. **한국체육학회지**, 36(1), 299-306.
- 대한승마협회(2014). **장애물 비월 규정**. <http://kef.sports.or.kr/>
- 류재청(2012). 승마 숙련도에 따른 기승자세 교정효과의 운동학적 분석. **한국운동역학회지**, 22(1), 83-94.
- 류재청, 현승현(2014). 승마 평보 시 숙련자의 등자길이 피팅에 따른 기승자세정렬의 운동학적 비교분석. **한국운동역학회지**, 24(4), 329-338.
- 오운용, 류재청, 김진현, 현승현(2009). 제주마를 이용한 승마 경속보시 숙련도에 따른 기승자세의 운동학적 비교분석. **한국운동역학회지**, 19(3), 467-479.
- 이인형, 황인구(2012). **말 해부 생리: 말산업 국가자격시험 교재**. 한국마사회, 대한미디어.
- 정철수, 신인식(2005). **운동역학총론**. 대한미디어.
- 현승현(2015). **여성들의 구두 힐 높이변화와 지면조건에 따른 보행동작의 운동역학적 특성분석**. 미간행 박사학위논문, 제주대학교 대학원, 제주.
- 현승현, 류재청(2015). 승마 평보와 속보 시 기승자세의 각운동학적 변인 비교분석: 일관성 지수 및 비대칭 지수. **운동학 학술지**, 17(1), 17-27.
- 현승현, 이애리, 류재청(2014). 계단 내리기 시 우세·비우세 체지의 가방착용과 무게변화에 따른 지면반력 파라미터 분석. **한국운동역학회지**, 24(1), 43-50.
- Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). *Direct liner transformation from comparator into object space coordinates inclose-range photogrammetry*. Proceeding of the symposium on close-range photogrammetry(1-18). Falls church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Ball, C. G., Ball, J. E., Kirkpatrick, A. W., & Mulloy, R. H. (2007). Equestrian injuries: incidence, injury patterns, and risk factors for 10 years of major traumatic injuries. *The American Journal of Surgery*, 193(5), 636-640.

- Barr, A. R. S., Dow, S. M., & Goodship, A. E. (1995). Parameters of forelimb ground reaction forces in 48 normal ponies. *Journal Article Research Support*, 136(12), 283-286.
- Barrey, E., & Galloux, P. (1997). Analysis of the equine jumping technique by accelerometry. *Equine Veterinary Journal*, 19(23), 45-49.
- Bobbert, M. F., & Santamaria, S. (2005). Contribution of the forelimbs and hindlimbs of the horse to mechanical energy changes in jumping. *The Journal of Experimental Biology*, 208(2), 249-260.
- Bobbert, M. F., & Van Lngen Schenau, G. J. (1988). Coordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21(3), 249-262.
- Bogert, A. J., Jansen, M. O., & Deuel, N. R. (1994). Kinematics of the hind limb push-off in elite show jumping horses. *Equine Veterinary Journal*, 26(17), 80-86.
- Boobert, M. F., Santamaria, S., Van Weeren, P. R., Back, W., & Barneveld, A. (2005). Can jumping capacity of adult show jumping horses be predicted on the basis of submaximal free jumps at foal age? A longitudinal study. *The Veterinary Journal*, 170(2), 212-221.
- Burnfield, W. R. (1995). Effects of selected kinematic and kinetic variables on instep kicking with dominant and nondominant limbs. *Journal of Human Movement Studies*, 29(6), 251-272.
- Byström, A., Rhodin, M., Peinen, K. V., Weishaupt, M. A., & Roepstorff, L. (2009). Basic kinematics of the saddle and rider in high-level dressage horses trotting on a treadmill. *Equine Veterinary Journal*, 41(3), 280-284.
- Carpes, F. P., Rossato, M., Faria, I. E., & Bolli Mota, C. (2007). Bilateral pedaling asymmetry during a simulated 40-km cycling time-trial. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47, 51-57.
- Cassiat, G., Pourcelot, P., Tavernier, L., Geiger, D., Denoix, J. M., & Degueurce, D. (2010). Influence of individual competition level on back kinematics of horses jumping a vertical fence. *Equine Veterinary Journal*, 36(8), 748-753.
- Ceroni, D., Rosa, V. D., Coulon, G. D., & Kaelin, A. (2007). The importance of proper

- shoe gear and safety stirrups in the prevention of equestrian foot injuries. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 46(1), 32-39.
- Clayton, H. M., Colborne, G. R., & Burns, T. E. (1995). Kinematic analysis of successful and unsuccessful attempts to clear a water jump. *Equine Veterinary Journal*, 27(18), 166-169.
- Collins, D. (2006). *George theodorescu*. In: *Dressage masters*, 1st edn., Ed: D. Collins, The Lyons Press, Guildford, Connecticut, 109-148.
- Davies, H. M. S. (1996). The effects of different exercise conditions on metacarpal bone strains in thoroughbred racehorses. *Pferdeheilkunde*, 12(4), 666-670.
- Decker, K. D. C. (1995). *Riding: ride with confidence, safety, and good form right from the start*. Globe Oequot.
- Deuel, N. R., & Lawrence, L. M. (1987). Laterality in the gallop gait of horses. *Journal of Biomechanics*, 20(6), 645-649.
- Dyson, S., Murray, R., Branch, M., & Harding, E. (2003). The sacroiliac joints: evaluation using nuclear scintigraphy. Part 2: Lamé horses. *Equine Veterinary Journal*, 35(3), 233-239.
- Farley, C. T., & Taylor, C. R. (1991). A mechanical trigger for the trot-gallop transition in horses. *Science*, 19, 306-308.
- Galloux, P., & Barrey, E. (1997). Components of the total kinetic moment in jumping horses. *Equine Veterinary Journal*, 29(23), 41-44.
- Heitkamp, H. C., Horstmann, T., Hillgeris, D. (1998). Reitverletzungen und verletzungen beim umgang mit pferden bei erfahrenen reitern. *Der Unfallchirurg*, 101(2), 122-128.
- Heuschmann, G. (2006). Tug of war: classical versus "modern" dressage. Wu Wei Verlag, Schondorf, *Germany*, 76.
- Hole, S. L., Clayton, H. M., & Lanovaz, J, L. (2002). A note on the linear temporal stride kinematics of olympic show jumping horses between two fences. *Applied Animal Behaviour Science*, 75(4), 317-323.
- Jagodzinski, T., & DeMuri, G. P. (2005). Horse-related injuries in children: a review.

- Wisconsin Medical Journal*, 104(2), 50-54.
- Keeling, L. J., Blomberg, A., & Ladewig, J. (1999). Horse-riding accidents: When the human-animal relationship goes wrong. *In 33rd International Congress of the international for Applied Ethology. Norway: Lillehammer*, 86.
- Klimke, R., & Klimke, I. (2006). Walk. In: Basic training of the young horse. Fully rev. edn., Ed: M. Diggle, *J. A. Allen, London*, 114-116.
- Komi, P. V. (2008). Stretch-shortening cycle. *Strength and Power in Sport*, 2, 184-202.
- Kuhnke, S., Dumbell, L., Gauly, M., Johnson, J. L., & McDonald, K. (2010). A comparison of rein tension of the rider's dominant and non-dominant hand and the influence of the horse's laterality. *Comparative Exercise Physiology*, 7(2), 57-63.
- Loch, S. (1988). *The classical seat*. New York: Unwin Hyman.
- Lovett, T., Hodson-Tole, E., & Nankervis, K. (2005). A preliminary investigation of rider position during walk, trot and canter. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 2(2), 71-76.
- McLaughlin, R. M., Gaughan, E. M., & Roush, J. K., & Skaggs, C. (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.
- Murphy, J. (2009). Weighted boots influence performance in show-jumping horses. *The Veterinary Journal*, 181(1), 74-76.
- Murray, J. K., Singer, E. R., Morgan, K. L., Proudman, C. J., & French, N. P. (2006). The risk of a horse-and-rider partnership falling on the cross-country phase of eventing competitions. *Equine Veterinary Journal*, 38(2), 158-163.
- Norwood, D., McAuley, C., Vallina, V. L., Fernandez, L. G., McLarty, J. W., & Goodfried, G. (2000). Mechanisms and patterns of injuries related to large animals. *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 48(4), 740-744.
- Nunome, H., Ikegami, Y., Kozakai, R., Apriantono, T., & Sano, S. (2006). Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg.

- Journal of Sports Sciences*, 24, 529-541.
- Peham, C., Licka, T., Schobesberger, H., & Meschan, E. (2004). Influence of the rider on the variability of the equine gait. *Human Movement Science*, 23(6), 663-671.
- Plagenhoef, S. C., Evans, F. G., & Abdelnour, T. (1983). Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(2), 169-178.
- Powers, P. N. R., & Harrison, A. J. (2000). A study on the techniques used by untrained horses during loose jumping. *Journal of Equine Veterinary Science*, 20(12), 845-850.
- Powers, P. N. R., & Harrison, A. J. (2000). How can the rider help show jumpers to have better performances. *The Elite Show Jumper*, 79-90.
- Powers, P. N. R., & Kavanagh, A. M. (2005). Effect of rider experience on the jumping kinematics of riding horses. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 2(4), 263-267.
- Powers, P., N. R., & Harrison, A. J. (2002). Effects of the rider on the linear kinematics of jumping horses. *Sports Biomechanics*, 1(2), 135-146.
- Preuschoft, H. (1989). The external forces and internal stresses in the feet of dressage and jumping horses. *Zeitschrift Für Säugetierkunde*, 54(3), 172-190.
- Pugh, T. J., & Bolin, D. (2004). Overuse injuries in equestrian athletes. *Current Sports Medicine Reports*, 3(6), 297-303.
- Quinn, S., & Bird, S. (1996). Influence of saddle type upon the incidence of lower back pain in equestrian riders. *British Journal of Sports Medicine*, 30(2), 140-144.
- Rhodin, M. (2008). *A biomechanical analysis of relationship between the head and neck position, vertebral column and limbs in the horse at walk and trot*. Department of Anatomy, Physiology and Biomechemistry, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Robinson, R. O., Herzog, W., & Nigg, B. M. (1987). Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *Journal of Manipulative Physiology Therapy*, 10, 172-176.
- Roepstorff, L., Egenvall, A., Rhodin, M., Byström, A., Johnston, C., Weeren, P. R., &

- Weishaupt, M. (2009). Kinetics and kinematics of the horse comparing left and right rising trot. *Equine Veterinary Journal*, 41(3), 292-296.
- Roepstorff, L., Johnston, C., Drevemo, S., & Gustås, P. (2002). Influence of draw reins on ground reaction forces at the trot. *Equine Exercise Physiology*, 34, 349-352.
- Schambardt, H. C., Merckens, H. W., Vogel, V., & Wilekens, C. (1993). External loads on the limbs of jumping horses at take-off and landing. *American Journal of Veterinary Research*, 54(5), 675-680.
- Smartt, P., & Chalmers, D. A. (2009). A new look at horse-related sport and recreational injury in New Zealand. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(3), 376-382.
- Srinivasan, V., Pierre, C., Plog, B., Srinivasan, K., Petraglia, A. L., & Huang, J. H. (2014). Straight from the horse's mouth: neurological injury in equestrian sports. *Neurological Research*, 36(10), 873-877.
- Stashak, T. S. (1995). *Horseowner's guide to lameness*. Baltimore, Williams & Wilkins.
- Van Den Bogert, A. J., Jansen, M. O., & Deuel, N. R. (1994). Kinematics of the hind limb push-off in elite show jumping horses. *Equine Veterinary Journal*, 26(17), 80-86.
- Williams, D. E., & Norris, B. J. (2007). Laterality in stride pattern preferences in racehorses. *Animal Behaviour*, 74(4), 941-950.
- Witte, K., Schobesberger, H., & Peham, C. (2009). Motion pattern analysis of gait in horseback riding by means of principal component analysis. *Human Movement Science*, 28(3), 394-405.