

1 **Analysis of kinematics and kinetics on skill level and gender during double-under in jump rope**

2
3 **Abstract**

4
5 **Objective:** The purpose of this study was to investigate kinematic and kinetic analysis on skill level and
6 gender during double-under in jump rope.

7 **Method:** Participants were recruited a skilled group of 16 subjects(9 males, 7 females) and an unskilled
8 group of another 16 subjects with six months or less of experience(9 males, 7 females). Five continuous
9 double-under successes were regarded as one trial, and all participants performed three times. The data
10 for these three times were averaged and analyzed after collecting the stable third motion in every trial.
11 The variables used in the analysis included elapsed time for phase and total, flight time, vertical height of
12 toe, left and right feet widths, vertical displacement of center of mass, and angular position of ankle,
13 knee, and hip joint in right lower limb at sagittal plane through the events.

14 **Results:** The skilled group was minimized the elapsed time for phase and total, and flight time than
15 unskilled group. Furthermore, the vertical displacement of center of mass and dorsiflexion angle for the
16 ankle joint was significantly lower than unskilled group. As the differences between genders, the male
17 group was minimized the elapsed time for phase than female group. Furthermore, the vertical height of
18 toe was greater, left and right feet widths was smaller, and flexion angle for ankle and hip joint were
19 lower than female group.

20 **Conclusion:** The variables that can be used to distinguish between skill levels are elapsed time for phase
21 and total, flight time, vertical displacement of center of mass, and dorsiflexion angle for the ankle joint.
22 Furthermore, the difference of the strategies for the double-under jump rope between genders may be
23 related to control of the flexion angle in the lower limbs.

24
25
26 *Keywords:* Double-under, Jump-rope, Biomechanics, Feet width, Motion capture, Plyometric training

31 Introduction

32

33 줄넘기는(jump rope) 두 하지를 연속적으로 점프를 수행하는 동시에 상지와 손을 이용하여 발 아래와 머리 위로
34 줄을 회전시키는 운동으로서(Miyaguchi, Demura, & Omoya, 2015), 호흡순환기능 향상에 효과적인
35 유산소운동 중 하나이다(Jones, Squires, & Rodahl, 1962). 이러한 줄넘기 운동을 효과적으로 수행하기 위해선
36 정확한 시간과 리듬감을 유지할 수 있는 신경근 협응 능력이 필요하며, 이는 줄넘기 동작 수행 시 동적
37 안정성(dynamic stability)을 향상시키는데 영향을 미친다(Ozer, Duzgun, Baltaci, Garacan, & Colakoglu,
38 2011). 또한, 줄넘기 운동은 근력, 근지구력, 균형, 순발력, 스피드, 심폐지구력, 유연성 능력을 향상시키는데
39 효과적이며, 이는 다양한 스포츠 트레이닝 분야에서 준비 운동 프로그램뿐만 아니라, 트레이닝 프로그램으로
40 활용되고 있다(Hawkins & Kennedy, 1980; Orhan, 2013; Solis & Thompson, 1988; Trampas & Kitisios,
41 2006). 특히, 유소년 엘리트 선수의 전문 스포츠 훈련 및 수행력 향상을 위한 트레이닝 프로그램에서 이러한
42 줄넘기 운동이 활용되고 있으며, 이는 유소년 엘리트 선수의 체력발달과 성장발달에 긍정적인 영향을 미치는
43 것으로 보고되었다(Baker, Côté, & Abernethy, 2003; Miyaguchi, Sugiura, & Demura, 2014).

44 엘리트 선수들은 순발력과 점프 능력을 향상시키기 위해 박스 점프 혹은 허들 점프를 이용한
45 플라이오메트릭(plyometric) 훈련 프로그램을 주로 수행하고 있으나(Komi, 1984), 이러한 훈련 프로그램들은
46 신체적으로 발달단계에 있는 유소년 엘리트 선수들에게 다소 큰 부하로 작용되어 부상 위험성 증가에 영향을
47 미친다(Komori, Zushi, Konishi, & Komori, 2012). 따라서 훈련효과가 높으면서 부상 위험이 상대적으로
48 적으며, 대체할 수 있는 훈련 프로그램에 대한 필요성이 제기된다. 이를 대체할 수 있는 대표적인 훈련
49 프로그램은 줄넘기이며, 이러한 줄넘기 운동은 대퇴사두근, 비복근, 가자미근을 반복적으로 수축하고
50 신장함으로써 순발력과 점프능력 향상에 영향을 미치는 플라이오메트릭 운동의 특성을 가지고 있다(Komi,
51 1984; Norman & Komi, 1979; Miyaguchi et al., 2014, 2015). 이러한 특성으로 인해 줄넘기 운동은 트레이닝
52 프로그램으로서 배구, 농구, 축구, 체조, 리듬 체조, 복싱, 레슬링, 테니스, 무술 등에서 활용되고 있다(Ozer et al.,
53 2011; Trecroci, Cavaggioni, Caccia, & Alberti, 2015).

54 현재 줄넘기는 훈련 프로그램뿐만 아니라, 경기 스포츠로서도 자리잡아가고 있다. 1997년 제 1회 줄넘기 세계
55 선수권 대회를 시작으로 2014년 세계 선수권 대회에서는 21개국에서 약 1,200명의 선수가 줄넘기 대회에
56 참여하였으며(International Rope Skipping Federation, 2016), 국내의 경우, 2015년 전국줄넘기대회에서 약
57 1,500명의 선수가 줄넘기 대회에 참여하여 규모가 점진적으로 증가하고 있다(Korea Rope Skipping
58 Association, 2016). 특히, 줄넘기 대회 중 이중 뛰기 종목은 기본 줄넘기 보다 높은 점프를 이용하여 1회 점프
59 동안 줄이 2회전 하는 줄넘기를 30초 동안 수행 후 그 횟수를 기록하여 경쟁하는 경기이며(Korea Rope
60 Skipping Association, 2016; Miyaguchi et al., 2014), 줄넘기 종목에서 가장 주요한 종목 중 하나로
61 진행되어지고 있다. 이러한 이중 뛰기 종목은 각각 유치부, 초등부, 중등부, 고등부, 일반부 등으로 세분화하여
62 대회를 실시하고 있다 (Korea Rope Skipping Association, 2016).

63 이와 같이, 줄넘기의 비약적인 발전에도 불구하고, 줄넘기에 대한 연구는 주로 생리학적 연구(Baker, 1968;
64 Baker, Côté, & Abernethy, 2003; Jette, Mongeon, & Routhier, 1979; Miyaguchi et al., 2014; Quirk &
65 Sinning, 1981; Town, Sol, & Sinning, 1980), 트레이닝방법 및 효과(Buyze et al., 1986; Hatfield et al.,
66 1985; Hawkins & Kennedy, 1980; Myles, Dick, & Jantti, 1981; Orhan, 2013; Solis & Thompson, 1988;
67 Trampas & Kitisios, 2006)에 국한되어 있는 실정이다. 몇몇의 연구자들은 줄넘기 동작의 움직임 특성 분석을
68 위한 연구를 실시하였다. Gowitzke & Brown(1989)은 숙련자그룹과 미숙련자그룹을 대상으로 번갈아뛰기
69 동작 시 운동학적 변수를 분석한 결과, 초보자들은 번갈아뛰기 동작 수행 시 손목관절의 회전 반경, 무릎과
70 엉덩관절의 굴곡, 신체 무게중심의 가변성이 숙련자보다 더 큰 것으로 나타났다고 보고하였다. Pittenger,
71 McCaw, & Thomas(2002)는 유소년 남녀를 대상으로 한발 1회선 1도약과 양발 1회선 1도약 동작 시 수직
72 지면반력 값을 분석한 결과, 한발 1회선 1도약의 평균 최대 수직지면반력 값이 양발 1회선 1도약보다 더 큰
73 것으로 보고하였다. Kim & Kim(2015)은 남성 줄넘기 지도자를 대상으로 양발모아 1회선 1도약과 양발모아

74 1 회선 2 도약(이중 뛰기) 동작의 차이를 분석한 결과, 양발모아 2 회선 1 도약이 양발모아 1 회선 1 도약보다
 75 신체중심점 변위, 하지관절의 가동범위, 수직지면반력이 큰 것으로 나타났다고 보고하였다.
 76 이와 같이 줄넘기 동작 특성 분석에 대한 연구는 주로 기본 동작에 대한 운동학 및 운동역학적 특성 분석에
 77 초점을 맞추고 있으나, 줄넘기 경기 수행력과 관련된 기술 및 동작 분석에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.
 78 나아가 이중 뛰기 종목은 중학생에서 고등학생으로 성장하는 고등부의 기술 수준이 집약적으로 성장하는
 79 시기이며, 특히 이 시기에는 남녀 선수들 간의 기술 수준 및 그 특성이 두드러지는 시기이다 (Kim & Oh, 2010,
 80 Korea Rope Skipping Association, 2016). 그럼에도 불구하고, 남녀 고등학생 수준의 선수들의 수준과 성별에
 81 따른 수행력 차이에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 고등학생 선수들의 숙련도와 성별에 따른 이중 뛰기
 82 수행력의 차이에 대한 세부적인 연구는 의미가 있을 것으로 판단된다.
 83 따라서 이 연구의 목적은 전국줄넘기대회에 입상 경력이 있는 고등학교 숙련그룹 남녀와 이중 뛰기가 가능한
 84 미숙련그룹 남녀를 대상으로 줄넘기 이중 뛰기 시 숙련도와 성별에 따른 운동학 및 운동학적특성을 분석하는데
 85 있으며, 나아가 이중 뛰기 수행력 개선뿐 아니라 코칭 방법 개선을 위한 구체적인 자료를 제시하는 것이다. 이
 86 연구의 가설은 이중 뛰기 수행 시 숙련도와 성별 간 운동학적 및 운동역학적 특성이 서로 다르게 나타날 것으로
 87 설정하였다.

88
 89 **Method**

90
 91 1. Participants

92
 93 연구 대상자들은 남녀 고등학생을 대상으로 전국 줄넘기 대회에 입상 경력이 있는 숙련그룹 16 명(남자 9 명,
 94 여자 7 명)과 줄넘기 경력이 6 개월 미만인 미숙련 그룹 남녀 16 명(남자 9 명, 여자 7 명)을 대상으로 하였으며,
 95 또한 최근 6 개월 이내 정형외과적 병력이 없는 대상자들로 선발하였다. 이 연구의 이중 뛰기 수행 동작은 다소
 96 어려운 과제로서 사전 연구를 통하여 확인한 결과, 약 6 개월 정도의 줄넘기 경력이 필요한 것으로 판단되었다.
 97 따라서 이 연구의 미숙련 그룹 선정기준은 6 개월 미만 대상자이며 5 회 이상 연속적으로 이중 뛰기가 가능한
 98 대상자로 선정하였다. 이 연구는 대학교 연구윤리위원회(IRB)로부터 승인을 받았으며, 실험 전 대상자 및
 99 보호자들에게 이 연구의 목적과 과정에 대하여 충분히 설명을 한 뒤 실험참여 동의를 받았다. 실험이 진행되는
 100 동안 실험 대상자들은 일상생활 이외에 다른 운동 프로그램 및 격렬한 신체활동 참여를 제한하였다. 대상자의
 101 신체적 특징은 <Table 1>과 같다.
 102

Table 1. Physical characteristics

		Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)	Career (yrs)
Skilled (n=16)	Male (n=9)	17.6±0.9	170.6±6.9	65.6±6.8	22.5±1.6	3.7±1.0
	Female (n=7)	17.5±0.6	160.1±4.7	54.7±10.9	21.3±4.0	4.3±0.6
Unskilled (n=16)	Male (n=9)	17.6±0.7	170.8±5.6	61.6±7.9	21.1±4.0	0.5±0.1*
	Female (n=7)	17.4±0.5	158.5±5.3	50.8±3.3	20.2±1.5	0.6±0.1*

BMI : Body mass index, *Independent sample t-test* between Skilled and Unskilled group, * is $p < .05$

103
 104
 105 2. Procedure

106

107 실험 분석에 사용된 장비는 적외선 카메라(MX-T10, Vicon, UK)와 지면반력판(AMTI OR6-7, Watertown, MA,
 108 US)을 이용하였다. 분석의 일관성을 유지하기 위해 실험에 사용된 줄넘기와 운동화는 동일한 제품을 이용하였다.
 109 실험기간은 총 2 일간 진행되었다. 첫째 날은 대상자들의 실험 동의서 작성, 신체적 특성 측정, 실험 환경 적응
 110 훈련, 이중 뛰기 연습 등을 실시하였다. 둘째 날은 본 실험 참여 전 부상 예방을 위해 스트레칭 프로그램과 양발
 111 모아 뛰기 및 이중 뛰기를 통해 준비운동을 충분히 실시한 후, 본 실험에 참여하여 이중 뛰기 동작을 수행하였다.
 112 실험장비 배치는 실험 동작이 충분히 관찰될 수 있는 공간에 영상분석 카메라 9 대와 지면반력 시스템 1 대를
 113 설치하였으며, 전역좌표계는 대상자의 좌측 후방 지면의 위치를 원점으로 하여 대상자의 좌우 방향을 X 축, 전후
 114 방향을 Y 축, 수직 방향을 Z 축으로 설정하였다(Figure 1).
 115

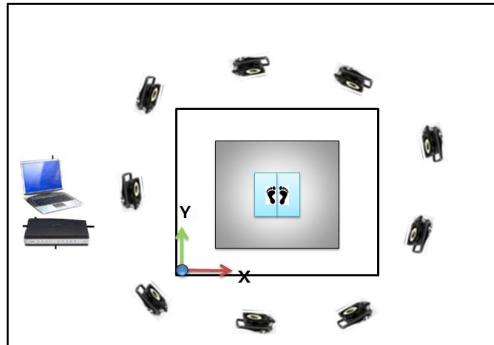


Figure 1. Experimental setup

116
 117
 118
 119 모든 대상자들은 실험 시 스판 소재의 셔츠와 반바지를 착용하였으며, 지정된 운동화를 착용하였다. 대상자의
 120 신장과 체중은 체성분 분석기(GL-150KT, G- TECH, Korea)를 이용하여 측정하였으며, 이를 통하여
 121 체질량지수를 산출하였다. 또한, 대상자의 신체 모델을 구성하기 위해 각 대상자들의 어깨 너비(shoulder width),
 122 팔꿈치 너비(elbow width), 손목 너비(wrist width), 손바닥 두께(hand thickness), 다리 길이(leg length), 무릎
 123 너비(knee width), 발목 너비(ankle width)를 줄자와 캘리퍼를 이용하여 측정하였다. 신체모델은 Vicon 사의
 124 Plug-in gait full body model 을 이용하였으며, 14 mm 구형 반사마커 39 개를 부착하여 모델을 구성하였으며,
 125 줄넘기 줄(길이: 2.7 m, 질량: 120 g) 중간지점에 반사 테이프 1 개를 추가로 부착하였다(Figure 2). 모든 반사
 126 마커는 양면테이프와 키네시오테이프를 이용하여 이중 뛰기 동작 시 발생할 수 있는 이탈을 방지하였다.
 127

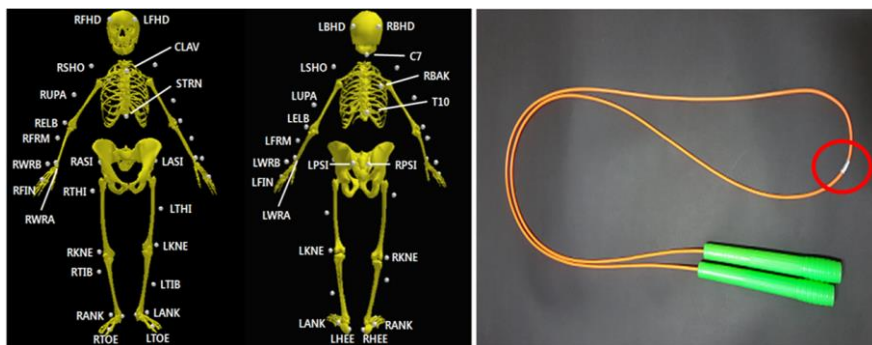


Figure 2. Marker set; the left is a Plug-in gait full body model; the right is a jump rope attached the reflective tape

3. Data processing

133 이중 뛰기 동작의 영상자료 및 지면반력 자료의 수집과 분석은 Nexus software(Vicon, UK)를 이용하였으며,
 134 영상자료의 샘플링 주파수는 200 Hz, 지면반력 자료의 샘플링 주파수는 1000 Hz 로 설정하였다. 수집된 자료는
 135 Butterworth low-pass filter 2 차를 이용하였으며, 차단주파수 10 Hz 로 설정하여 필터링하였다(Decker et al.,
 136 2003; Pappas, Sheikhzadeh, Hagins, & Nordin, 2007). 이중 뛰기 동작은 5 회 연속 수행 시 1 회 성공한

137 것으로 규정하였으며, 이러한 성공적인 이중 뛰기 동작을 총 3 번 수행하도록 하였다. 데이터 분석은 각 시도의
 138 안정적인 3 번째 동작을 수집한 다음, 3 회의 자료를 평균하여 분석하였다.
 139 이중 뛰기 동작 분석을 위해 총 다섯 개의 이벤트(E1, E2, E3, E4, E5)와 네 개의 구간(P1, P2, P3, P4)으로
 140 나누어 분석하였다. E1 은 발이 지면과 접촉하는 순간(수직지면반력 값이 10 N 이상인 순간), E2 는 수직
 141 지면반력 값이 최대인 순간, E3 는 발이 지면반력 판에서 떨어지는 순간(수직지면반력 값이 10N 이하인 순간),
 142 E4 는 신체 무게중심이 최대수직위치에 이르는 순간, E5 는 E1 과 동일한 시점으로 설정되었다. 구간은 각
 143 이벤트 간 사이로 정의되었다 (Figure 3).
 144

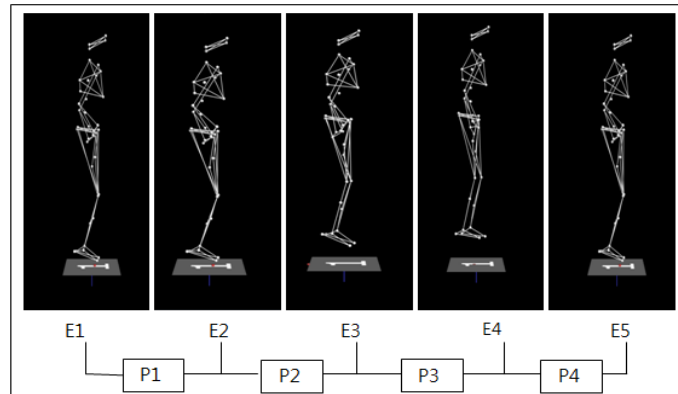


Figure 3. Events and phases

145
 146
 147
 148 분석 변수는 이중 뛰기 동작 시 운동학적 변인으로 구간별 소요시간, 총 소요시간, 체공시간, 발끝의 수직높이,
 149 좌우 발폭, 질량중심점의 수직 변위, 오른쪽 하지의 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절의 이벤트 별 시상면 각도를
 150 분석하였다. 운동역학적 변수는 최대 수직지면반력과 착지구간 P1 에서의 부하율(최대 수직지면반력/지면 접촉
 151 후 최대 수직지면반력까지 도달한 시간)을 분석하였다.
 152

153 4. Statistical analysis

154
 155 통계 처리는 SPSS 21.0 을 이용하여 각 변수들의 평균과 표준편차를 산출하였으며, 각 변수들의 정규성 검정을
 156 위해 *Shapiro-wilk test*를 실시하였다. 숙련도와 성별 간 상호작용 효과 및 주효과 분석은 반복측정에 의한 *two-*
 157 *way ANOVA* 를 실시하였으며, 숙련도와 성별에 대한 사후검정은 독립 표본 *t*검정을 실시하였다. 통계적
 158 유의수준(α)은 .05 로 설정하였다.
 159

160 Results

161 1. 구간별 소요시간, 총 소요시간

162
 163 구간별 소요시간에 대한 결과, P2 에서는 성별 간 주효과($p=.000$)가 나타났으며, 사후검정 결과,
 164 숙련그룹($p=.001$)과 미숙련그룹($p=.017$)에서 남학생그룹이 여학생그룹보다 유의하게 짧은 것으로 나타났다.
 165 P3 에서는 숙련도 간 주효과($p=.001$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 남학생그룹($p=.042$)과
 166 여학생그룹($p=.010$)에서 숙련그룹이 미숙련그룹보다 유의하게 짧은 것으로 나타났다. P4 에서는 숙련도 간
 167 주효과($p=.009$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 여학생그룹($p=.043$)에서 숙련그룹이 미숙련그룹보다 유의하게
 168 짧은 것으로 나타났다.
 169

170 총 소요시간에 대한 결과는 숙련도 간 주효과($p=.000$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 남학생그룹($p=.013$)과
 171 여학생그룹($p=.015$)에서 숙련그룹이 미숙련그룹보다 유의하게 짧은 것으로 나타났다(Table 2).
 172

Table 2. Elapsed time for phase and total (Unit : s)

		Male	Female	<i>t</i>	<i>F</i>
P1	Skilled	0.10±0.01	0.11±0.01	1.809	6.539*(G)
	Unskilled	0.11±0.01	0.12±0.01	1.841	5.466*(S)
	<i>t</i>	1.349	2.104		0.153(G×S)
P2	Skilled	0.10±0.00	0.11±0.01	4.059*	21.002*(G)
	Unskilled	0.11±0.01	0.12±0.01	2.696*	4.093(S)
	<i>t</i>	1.828	1.100		0.063(G×S)
P3	Skilled	0.13±0.02	0.13±0.02	0.885	0.690(G)
	Unskilled	0.15±0.01	0.15±0.01	0.233	13.211*(S)
	<i>t</i>	2.207*	3.053*		0.285(G×S)
P4	Skilled	0.16±0.02	0.15±0.02	0.664	1.098(G)
	Unskilled	0.18±0.02	0.17±0.01	0.813	7.946*(S)
	<i>t</i>	1.978	2.266*		0.023(G×S)
Total elapsed time	Skilled	0.50±0.04	0.51±0.04	0.328	0.540(G)
	Unskilled	0.55±0.03	0.56±0.02	0.828	15.783*(S)
	<i>t</i>	2.812*	2.841*		0.036(G×S)

All data means mean and standard deviations, *t*: Independent *t*-test between skilled and unskilled, male and female, P1 is phase 1, P2 is phase 2, P3 is phase 3, P4 is phase 4, G: Main effect between gender, S: Main effect between group, G×S: Interaction effects, * is $p < .05$

173
174
175
176
177
178

2. 체공시간

체공시간에 대한 결과는 숙련도 간 주효과($p=.000$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 남학생그룹($p=.015$)과 여학생그룹($p=.003$)에서 숙련그룹이 미숙련그룹보다 유의하게 짧은 것으로 나타났다(Table 3).

Table 3. Flight time (Unit : s)

	Male	Female	<i>t</i>	<i>F</i>
Skilled	0.10±0.01	0.11±0.01	1.809	6.539*(G)
Unskilled	0.11±0.01	0.12±0.01	1.841	5.466*(S)
<i>t</i>	1.349	2.104		0.153(G×S)

All data means mean and standard deviations, *t*: Independent *t*-test between skilled and unskilled, male and female, G: Main effect between gender, S: Main effect between group, G×S: Interaction effects, * is $p < .05$

179
180
181
182
183
184
185
186

3. 발끝 수직높이

왼쪽 발끝 수직높이는 성별 간 주효과($p=.006$)와 숙련도 간 주효과($p=.018$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 숙련그룹($p=.041$)에서 남학생그룹이 여학생그룹보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 오른쪽 발끝 수직높이는 성별 간 주효과($p=.002$)와 숙련도 간 주효과($p=.020$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 숙련그룹($p=.039$)과 미숙련그룹($p=.019$)에서 남학생그룹이 여학생그룹보다 유의하게 높은 것으로 나타났다(Table 4).

Table 4. Vertical height of toe (Unit : cm)

		Male	Female	<i>t</i>	<i>F</i>
Left toe	Skilled	21.04±4.05	16.38±4.19	2.253*	8.803*(G)
	Unskilled	25.07±5.37	20.33±3.80	1.975	6.339*(S)
	<i>t</i>	1.797	1.848		0.001(G×S)
Right toe	Skilled	21.84±4.43	16.88±4.20	2.275*	12.227*(G)

	Unskilled	26.30±4.76	20.21±4.21	2.663*	6.085*(S)
	<i>t</i>	2.055	1.486		0.124(G×S)

All data means mean and standard deviations, *t*: Independent *t*-test between skilled and unskilled, male and female, G: Main effect between gender, S: Main effect between group, G×S: Interaction effects, * is $p < .05$

187
188
189
190
191
192

4. 좌우 발폭

좌우 발폭에 대한 결과, E4 에서는 성별 간 주효과($p=.039$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 숙련그룹($p=.027$)에서 남학생그룹이 여학생그룹보다 유의하게 작은 것으로 나타났다(Table 5).

Table 5. Feet width between left and right (Unit : cm)

		Male	Female	<i>t</i>	<i>F</i>
E2	Skilled	5.19±2.30	7.79±4.02	1.635	0.063(G)
	Unskilled	6.79±3.08	4.71±2.06	1.529	0.500(S)
	<i>t</i>	1.246	1.802		5.002*(G×S)
E4	Skilled	3.98±1.75	5.89±1.20	2.472*	4.693*(G)
	Unskilled	3.99±1.14	5.01±3.09	0.916	0.409(S)
	<i>t</i>	0.025	0.704		0.442(G×S)

All data means mean and standard deviations, *t*: Independent *t*-test between skilled and unskilled, male and female, G: Main effect between gender, S: Main effect between group, G×S: Interaction effects, * is $p < .05$

193
194
195
196
197
198

5. 질량중심점 수직 변위

질량중심점 수직 변위는 숙련도 간 주효과($p=.000$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 남학생그룹($p=.012$)과 여학생그룹($p=.018$)에서 숙련그룹이 미숙련그룹보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다(Table 6).

Table 6. Vertical displacement of center of mass (Unit : cm)

	Male	Female	<i>t</i>	<i>F</i>
Skilled	23.36±3.80	23.02±4.52	0.164	0.000(G)
Unskilled	28.20±3.45	28.50±2.73	0.194	15.520*(S)
<i>t</i>	2.825*	2.748*		0.062(G×S)

All data means mean and standard deviations, *t*: Independent *t*-test between skilled and unskilled, male and female, G: Main effect between gender, S: Main effect between group, G×S: Interaction effects, * is $p < .05$

199
200
201
202
203
204
205
206

6. 하지 관절의 시상면 각도

엉덩관절의 이벤트별 시상면 각도에 대한 결과, E1 에서는 성별 간 주효과($p=.011$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 숙련그룹($p=.022$)에서 남학생그룹이 여학생그룹 보다 굴곡각도가 유의하게 작은 것으로 나타났다. E2 에서는 성별 간 주효과($p=.000$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 숙련그룹($p=.000$)과 미숙련그룹($p=.015$)에서 남학생그룹이 여학생그룹 보다 굴곡 각도가 유의하게 작은 것으로 나타났다(Table 7).

Table 7. Angle of right hip in sagittal plane (Unit : °)

	Male	Female	<i>t</i>	<i>F</i>	
E1	Skilled	15.45±5.58	23.22±6.50	2.572*	7.331*(G)
	Unskilled	15.95±6.42	20.94±8.08	1.380	0.141(S)
	<i>t</i>	0.178	0.580		0.348(G×S)
E2	Skilled	15.01±6.04	28.49±4.09	5.054*	23.781*(G)

	Unskilled	16.92±9.16	30.30±10.08	2.777*	0.455(S)
	<i>t</i>	0.521	0.440		0.000(G×S)
E3	Skilled	13.50±4.35	16.81±6.21	1.255	1.373(G)
	Unskilled	11.67±6.11	13.52±8.00	0.525	1.353(S)
	<i>t</i>	0.731	0.858		0.110(G×S)
E4	Skilled	17.98±4.59	21.99±10.96	0.999	1.752(G)
	Unskilled	16.4±9.86	21.78±12.311	0.911	0.044(S)
	<i>t</i>	0.340	0.033		0.023(G×S)

All data means mean and standard deviations, Positive value is flexion, Negative value is extension, *t*: Independent *t*-test between skilled and unskilled, male and female, E1 is event 1, E2 is event 2, E3 is event 3, E4 is event 4, G: Main effect between gender, S: Main effect between group, G×S: Interaction effects, * is $p < .05$

207
208
209
210
211
212
213
214
215

무릎관절의 시상면 각도에서는 유의한 주효과 및 상호 작용효과가 나타나지 않았다. 발목관절의 이벤트별 시상면 각도에 대한 결과, E2 에서는 성별 간 주효과($p=.002$)와 숙련도 간 주효과($p=.007$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 숙련그룹($p=.011$)에서 남학생그룹이 여학생그룹보다 배측굴곡 각도가 유의하게 작은 것으로 나타났으며, 남학생그룹($p=.012$)에서 숙련그룹이 미숙련그룹보다 배측굴곡 각도가 유의하게 작은 것으로 나타났다. E3 에서는 성별과 숙련도 간 상호작용효과($p=.039$)가 나타났으며, 사후검정 결과, 미숙련그룹($p=.032$)에서 남학생그룹이 여학생그룹 보다 배측굴곡 각도가 유의하게 작은 것으로 나타났다(Table 8).

Table 8. Angle of right ankle in sagittal plane (Unit : °)

		Male	Female	<i>t</i>	<i>F</i>
E1	Skilled	3.89±8.61	1.55±11.75	1.070	0.017(G)
	Unskilled	1.31±8.30	5.01±10.50	1.349	0.039(S)
	<i>t</i>	1.304	1.102		2.895(G×S)
E2	Skilled	16.85±6.60	25.86±5.38	2.929*	11.719*(G)
	Unskilled	24.80±5.19	29.47±4.90	1.831	8.344*(S)
	<i>t</i>	2.838*	1.33		1.174(G×S)
E3	Skilled	15.22±7.29	12.29±11.25	0.633	1.684(G)
	Unskilled	13.27±8.58	24.95±11.02	2.388*	2.521(S)
	<i>t</i>	0.521	2.126		4.703*(G×S)
E4	Skilled	11.02±10.04	10.45±9.81	0.113	3.438(G)
	Unskilled	14.48±9.04	0.60±17.74	2.221*	0.810(S)
	<i>t</i>	0.768	1.443		2.958(G×S)

All data means mean and standard deviations, Positive value is flexion, Negative value is extension, *t*: Independent *t*-test between skilled and unskilled, male and female, E1 is event 1, E2 is event 2, E3 is event 3, E4 is event 4, G: Main effect between gender, S: Main effect between group, G×S: Interaction effects, * is $p < .05$

216
217
218
219
220

7. 최대 수직지면반력 및 부하율

최대 수직지면반력 및 부하율에서는 유의한 주효과 및 상호 작용효과가 나타나지 않았다(Table 9).

Table 9. The kinetic variables

		Male	Female	<i>t</i>	<i>F</i>
Peak VGRF (Unit : N/kg)	Skilled	50.30±5.20	48.97±2.85	0.606	0.495(G)
	Unskilled	50.19±8.33	48.63±4.35	0.450	0.012(S)

	t	0.174	0.033		0.003(G×S)
Loading rate	Skilled	485.80±68.41	442.18±42.86	1.471	3.445(G)
of P1	Unskilled	463.27±111.71	438.82±90.29	1.251	1.143(S)
(Unit : N/kg/s)	t	0.516	1.550		0.052(G×S)

All data means mean and standard deviations, Positive value is dorsiflexion, Negative value is plantarflexion, t: Independent t-test between skilled and unskilled, male and female, VGRF: Vertical ground reaction force, G: Main effect between gender, S: Main effect between group, G×S: Interaction effects, * is $p < .05$

221
222
223

Discussion

224 이 연구의 목적은 줄넘기 이중 뛰기 시 숙련도와 성별에 따른 운동학적 특성을 분석하는 것이며, 이러한
225 연구결과에 따른 고찰은 다음과 같다. 숙련도에 따른 구간별 시간, 총 소요시간, 체공시간에 대한 결과, 발이
226 지면반력 판에서 떨어지는 순간(E3)부터 신체 질량중심점이 최대 수직위치에 이르는 순간(E4)까지의 구간별
227 소요시간(P3)의 경우, 남학생과 여학생의 숙련그룹이 남학생 및 여학생의 미숙련그룹보다 유의하게 짧은 것으로
228 나타났다. 신체 질량중심점이 최대 수직 위치에 이르는 순간(E4)부터 발이 지면반력판에 접촉하는
229 순간(E5)까지의 구간별 소요시간(P4)의 경우, 여학생 숙련그룹이 여학생 미숙련그룹보다 유의하게 짧은 것으로
230 나타났다. 총 소요시간의 경우, 남학생과 여학생 숙련그룹이 남학생과 여학생 미숙련그룹보다 유의하게 짧은
231 것으로 나타났다. 체공시간의 경우, 남학생과 여학생 숙련그룹이 남학생과 여학생 미숙련그룹보다 유의하게
232 짧은 것으로 나타났다.

233 이중 뛰기 동작은 30 초 이내 이중 뛰기를 수행한 횟수를 기록하는 경기의 특성으로 인하여 전체적인 총
234 소요시간과 체공 시간을 가능한 짧게 하면서 이중 뛰기 횟수를 증가하는 전략이 권장된다(Korea Rope Skipping
235 Association, 2016; Miyaguchi et al., 2014). 따라서 이 연구의 숙련그룹은 구간별 소요시간, 총 소요시간 및
236 체공시간을 짧게 하여 횟수를 증가시키는 전략을 사용하는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 이중 뛰기 동작 시
237 숙련그룹은 점프를 낮게 유지하면서 가능한 빠른 스피드로 동작을 수행하는 반면, 미숙련경우는 상대적으로
238 숙련그룹보다 높은 점프를 수행하면서 동작을 수행함으로 인해 숙련도에 따른 이중 뛰기 수행 전략의 차이가
239 있는 것으로 판단된다.

240 성별에 따른 구간별 시간, 총 소요시간, 체공시간에 대한 결과, 수직 지면반력 값이 최대인 순간(E2)부터 발이
241 지면반력 판으로부터 떨어지는 순간(E3)까지의 구간별 소요시간(P2)의 경우, 남학생의 숙련 및 미숙련 그룹이
242 여학생의 숙련 및 미숙련그룹보다 유의하게 짧은 것으로 나타났다. 이와 같이 이 연구의 남학생 그룹은
243 여학생그룹보다 숙련도와 관계없이 이중 뛰기 동작에서 도약을 수행하는 P2 시간이 유의하게 짧은 것으로
244 나타나, 가능한 체공 시간을 최소화하는 전략을 구사하는 것으로 나타났으며, 여학생 그룹은 남학생 그룹보다
245 상대적으로 체공 시간을 크게 하여 이중 뛰기 동작을 수행하고 있는 것으로 나타났다.

246 성별에 따른 왼쪽 발끝의 수직높이의 경우, 남학생 숙련그룹이 여학생 숙련그룹보다 유의하게 높은 것으로
247 나타났다. 오른쪽 발끝의 수직높이의 경우, 남학생의 숙련그룹과 미숙련그룹이 여학생의 숙련그룹과
248 미숙련그룹보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 성별의 차이에 따른 발끝의 수직높이의 차이는 도약
249 시 발목관절의 굴곡신전 움직임을 제한함으로 인해 나타나며, 이는 결과적으로 착지 시 경성 착지(stiffer landing)
250 형태를 일으키며 줄넘기 수행력에 영향을 미친다(Pittenger et al., 2002). 이 연구의 남학생 그룹의 경우, 이중
251 뛰기 동작 수행 시 발바닥이 가급적 지면과 평행하도록 유지하여 전후 방향의 발목 관절 움직임을 최소화하는
252 전략을 수행하였으며, 이는 발끝의 수직높이 값을 증가시키며, 도약 시간(P2)을 감소시키는데 영향을 미치는
253 것으로 판단된다.

254 숙련도에 따른 질량중심점의 수직 변위의 경우, 남학생과 여학생의 숙련그룹이 남학생과 여학생의
255 미숙련그룹보다 유의하게 작은 것으로 나타났다. Gowitzke & Brown(1989)은 번갈아뛰기 동작 시 초보자는
256 질량중심점의 수직 변위가 크게 나타난다고 보고하였으며, 일관된 질량중심점의 수직 위치를 유지하는 것은
257 역학적 에너지 보존에 기여하여 줄넘기 수행력의 효율성에 도움을 줄 수 있다(Brancazio, 1984). 이 연구의
258 숙련도 그룹은 신체의 질량중심점 수직 변위를 최소화하여 줄넘기 수행력의 효율성을 유지하였던 것으로
259 판단된다. 따라서 줄넘기 이중 뛰기 동작 시 질량중심점의 수직 변위는 숙련도를 평가할 수 있는 의미 있는

260 변수인 것으로 판단되며, 수행력 향상을 위해 신체의 질량중심점의 수직변위를 최소화하며 점프를 낮게 유지할
261 수 있는 전략이 권장될 수 있는 것으로 판단된다.

262 선행연구에 의하면, 정적기립자세 시(upright posture), 발목관절 내측과(medial malleus) 사이의 평균거리는
263 약 9 cm 인 것으로 보고하였으며(Murray, Seireg, & Sepic, 1975; Perry & Burnfield, 2010), 보행동작 시
264 평균거리는 여자와 남자 각각 7 cm, 8 cm 인 것으로 보고하였다(Murray, Drought, & Kory, 1964; Murray,
265 Kory, & Sepic, 1970; Perry & Burnfield, 2010). 이러한 결과는 정적기립자세 수행 시 정적안정성(static
266 stability)을 유지하기 위한 전략으로 기저면(base of support)을 증가시키는 반면, 보행과 같은 동작은
267 동적안정성(dynamic stability) 유지 및 추진력 확보를 위해 기저면을 감소시키는 경향이 나타났다 (Shin, Youm,
268 & Son, 2013). 이 연구의 줄넘기 이중 뛰기 시 좌우 발폭에 대한 결과, 수직지면반력 값이 최대인
269 시점(E2)에서의 발폭은 남학생 숙련그룹에서 5.2 cm 가 나타났으며, 여학생 숙련그룹에서는 7.3 cm 가
270 나타났다. 이는 선행연구의 정적기립자세의 발폭과(9 cm) 비교 시, 각각 약 42%, 13% 감소한 것으로 나타났다.
271 또한, 무게중심점이 최대 수직위치에 도달하는 시점(E4)에서의 발폭은 남학생 숙련그룹에서 4.0 cm 가
272 나타났으며, 여학생 숙련그룹에서는 5.9 cm 가 나타났다. 이는 정적기립자세의 발폭과 비교 시, 각각 약 56%,
273 35% 감소한 것으로 나타났다. 점프 후 착지와 같은 동작은 인간으로부터 동적안정성을 요구하며, 이러한
274 동적안정성이 충족되지 않으면 부상을 유발할 수 있다(Wright, Arnold, & Ross, 2016). 특히, 줄넘기 동작은
275 일관된 동작을 반복적으로 수행해야 하며, 이러한 움직임과정에서 에너지 소비를 최소화할 수 있어야 한다.
276 따라서, 줄넘기 이중 뛰기 동작 수행 시 양발의 폭을 좁게 하는 전략은 일관된 동작 수행 및 동적 안정성 증가에
277 영향을 미치는 것으로 판단된다.

278 숙련도에 따른 하지관절의 이벤트별 시상면 각도의 경우, 지면반력 값이 최대인 시점(E2)에서는 남학생그룹에서
279 숙련그룹이 미숙련그룹보다 발목관절 배측굴곡 각도가 유의하게 작은 것으로 나타났다.

280 줄넘기 동작은 발이 지면에 닿는 구간(contact phase)에서 발목관절의 배측굴곡 가동범위를 조절하여 발목,
281 무릎, 엉덩관절의 굴곡을 제한시킬 수 있는 경성 착지형태를 띄며(Pittenger et al., 2002), 이상적인 범위 내에서
282 경도의 증가는 초기 착지 구간에서 하지관절의 안정성을 증가시키며 도약 구간에서 최대 에너지를 발생하는데
283 기여할 뿐만 아니라, 부상 위험성 또한 감소시킬 수 있다(Butler, Crowell III, & Davis, 2003). 이 연구의
284 숙련그룹은 착지 후 수직지면반력 값이 최대가 되는 순간(E2)뿐만 아니라 점프를 위하여 발이 지면반력판에서
285 떨어지는 순간(E3)에서도 발목관절을 배측굴곡한 상태를 유지하여 동작을 수행한 것으로 확인되었으며, 이는
286 발목관절 경도 증가에 영향을 미쳐 줄넘기 이중 뛰기 동작 수행 시 동작의 효율성에 긍정적인 영향을 미친 것으로
287 판단된다. 비록 줄넘기 이중 뛰기 동작은 양발을 이용하여 도약과 착지를 반복하지만, 양 하지가 동일한 패턴을
288 유지하며 동작을 반복하기 때문에 편측 하지의 각도는 의미 있는 변수일 수 있다. 따라서 줄넘기 이중 뛰기 동작
289 시 발목관절의 전후방향 움직임을 배측굴곡 상태로 유지하는 전략은 줄넘기 이중 뛰기 동작의 수행력을
290 증가시키는데 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단되며, 이러한 발목관절 배측굴곡 각도는 숙련도를 평가하는데
291 의미 있는 변수인 것으로 판단된다.

292 성별에 따른 하지관절의 이벤트별 시상면 각도의 경우, 발이 지면과 접촉하는 시점(E1)에서는 남학생 숙련그룹이
293 여학생 숙련그룹보다 엉덩관절 굴곡각도가 유의하게 작은 것으로 나타났다. 지면반력 값이 최대인
294 시점(E2)에서는 남학생 숙련그룹이 여학생 숙련그룹보다 발목관절 배측굴곡 각도가 유의하게 작은 것으로
295 나타났다. 또한, 남학생의 숙련그룹과 미숙련그룹이 여학생의 숙련그룹과 미숙련그룹보다 엉덩관절 굴곡각도가
296 유의하게 작은 것으로 나타났다. 발이 지면반력 판으로부터 떨어지는 시점(E3)에서는 남학생 미숙련그룹이
297 여학생 미숙련그룹보다 발목관절 배측굴곡 각도가 유의하게 작은 것으로 나타났다. 신체 무게중심점이 최대
298 수직 위치에 이르는 시점(E4)에서는 남학생 미숙련그룹이 여학생 미숙련그룹보다 발목관절 배측굴곡 각도가
299 작은 것으로 나타났다. 이와 같이 남학생 그룹은 여학생 그룹보다 줄넘기 이중 뛰기 동작 시 발목관절과
300 엉덩관절의 굴곡을 제한하여 수행하였다. 이러한 결과는 남학생 그룹이 여학생 그룹보다 이중 뛰기 동작 시
301 하지관절의 굴곡을 상대적으로 작게 유지하여 하지 관절의 경도 증가를 통한 줄넘기 수행력을 높이는 전략을
302 사용하고 있는 것으로 판단된다(Butler et al., 2003). 따라서 줄넘기 이중 뛰기 시 성별 간 하지관절 굴곡각도의
303 차이는 줄넘기 수행력에 대한 전략의 차이에 의한 것으로 판단된다.

304 착지 동작에서 부하율의 증가는 높은 수직지면반력값과 감소된 하지관절 가동범위로 인해 발생하며(Quatman,
 305 Ford, Myer, & Hewett, 2006), 특히 감소된 발목관절 가동범위는 부하율 증가에 영향을 미쳐 잠재적인 부상
 306 위험성을 증가시킨다(De Ridder et al., 2015). 이 연구에서 최대 수직지면반력과 착지 구간(P1)의 부하율에서는
 307 유의한 차이는 나타나지 않았으나, 숙련그룹이 미숙련그룹보다, 남학생그룹이 여학생그룹보다 부하율이 더 큰
 308 경향이 나타났다. 이는 줄넘기 이중 뛰기 수행과정에서 수행력을 높이기 위한 전략으로 발목관절을 배측굴곡을
 309 유지한 상태로 이중 뛰기를 수행함으로써 나타났던 결과인 것으로 판단되나, 이러한 부하율이 지속적으로
 310 신체에 작용됨으로 인해 발생할 수 있는 부상의 위험성에 대한 결과는 아직 명확하지 않다.
 311 종합해보면, 이중 뛰기 동작 시 숙련그룹은 발목관절 배측굴곡 상태로 유지하면서 체공시간과 점프 높이를
 312 가능한 작게 하여 줄넘기 회전속도를 증가시키는 전략을 구사하였다. 이러한 결과를 바탕으로, 현장에서는
 313 줄넘기 이중 뛰기 수행력 향상을 위해 낮고 빠른 점프를 유지하면서 빠르게 줄을 회전하는 기술의 훈련이 필요할
 314 것으로 판단된다. 또한, 이중 뛰기 동작 시 성별 간 차이의 경우, 남학생 그룹은 체공시간을 짧게 하며 발목관절과
 315 엉덩관절의 굴곡 움직임을 최소화하는 전략을 구사한 반면, 여학생 그룹은 상대적으로 체공시간과 발목관절과
 316 엉덩관절의 굴곡 움직임을 증가시키는 전략을 구사하였다. 이러한 결과는 하지 관절의 경도에 영향을 미쳐 이중
 317 뛰기 수행 전략의 차이를 유발하는 것으로 판단되며, 최적의 수행력을 유지하기 위해 남녀 성별에 따라 적절한
 318 체공시간과 하지 관절 움직임에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다. 추후 연구는 더 많은 표본을 모집하여 관절
 319 경도, 관절 일량, 관절 기여도 등의 변수를 통해 이중 뛰기 수행력과 잠재적인 부상요인 간 관계를 규명할 필요가
 320 있을 것으로 판단된다.

321
 322 **Conclusion**

323
 324 이 연구의 목적은 줄넘기 이중 뛰기 시 숙련도와 성별에 따른 운동학적 특성을 분석하는 것이며, 결론은 다음과
 325 같다. 숙련도에 따른 결과, 숙련그룹은 미숙련그룹보다 구간별 소요시간, 총 소요시간 및 체공시간이 유의하게
 326 짧은 것으로 나타났으며, 질량중심점의 수직 변위는 미숙련그룹보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다. 또한,
 327 숙련그룹은 발목관절 배측굴곡 각도가 미숙련그룹보다 유의하게 작게 나타났다. 성별에 따른 차이의 경우, 도약
 328 과정에서 남학생 숙련그룹이 여학생 숙련그룹보다 유의하게 짧은 것으로 나타났으며, 왼쪽과 오른쪽 발끝의
 329 수직높이는 여학생 그룹보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 또한, 줄넘기 이중 뛰기 동작 수행 시 남학생
 330 그룹이 여학생 그룹보다 발목, 무릎, 엉덩관절의 굴곡각도가 유의하게 작은 것으로 나타났다. 결론적으로 줄넘기
 331 이중 뛰기 동작의 숙련도를 평가할 수 있는 의미 있는 변수는 구간별 소요시간, 총 소요시간, 체공시간,
 332 질량중심점 수직 변위, 발목관절 배측굴곡 각도로 나타났으며, 성별 간 줄넘기 이중 뛰기 전략의 차이는
 333 하지관절의 굴곡각도 조절로 나타났다. 이러한 결과는 줄넘기 이중 뛰기 수행력 향상 및 코칭 방법 개선에 기여할
 334 수 있을 것이다.

335
 336 **Reference**

337
 338 Baker, J. A. (1968). Comparison of rope skipping and jogging as methods of improving cardiovascular
 339 efficiency of college men. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education*
 340 *and Recreation, 39(2)*, 240-243.
 341 Baker, J., Côté, J. & Abernethy, B. (2003) Sport-specific practice and the development of expert decision-
 342 making in team ball sports. *Journal of Applied Sport Psychology, 15*, 12-25.
 343 Brancazio, P. J.(1984). *Sports Science - Physical Laws and Optimal Performance*. New York: Simon and
 344 Schuster.
 345 Butler, R. J., Crowell, H. P., & Davis, I. M. (2003). Lower extremity stiffness: implications for performance
 346 and injury. *Clinical biomechanics, 18(6)*, 511-517.
 347 Buyze, M. T., Foster, C., Pollock, M. L., Sennett, S. M., Hare, J., & Sol, N. (1986). Comparative training
 348 responses to rope skipping and jogging. *The Physician and Sportsmedicine, 14(11)*, 65-69.

349 Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Sterett, W. I., & Steadman, J. (2003). Gender differences in lower
350 extremity kinematic, kinetics, and energy absorption during landing. *Clinical Biomechanics*, *18*(7),
351 662-669.

352 De Ridder, R., Willems, T., Vanrenterghem, J., Robinson, M. A., Palmans, T., & Roosen, P. (2015). Multi-
353 segment foot landing kinematics in subjects with chronic ankle instability. *Clinical Biomechanics*,
354 *30*(6), 585-592.

355 Gowitzke, B. A. & Brown, L. (1989). Kinematic and kinetic components of rope skipping: A pilot study. *In*
356 *ISBS-Conference Proceedings Archive* (Vol. 1, No. 1).

357 Hatfield, B. D., Vaccaro, P., & Benedict, G.J. (1985) Self-concept responses of children to participation in an
358 eight-week precision jump-rope program. *Perceptual and Motor Skills*, *61*(3 suppl), 1275-1279.

359 Hawkins, R. J. & Kennedy, J. C. (1980). Impingement syndrome in athletes. *American Journal of Sports*
360 *Medicine*, *8*(3), 151-8.

361 International Rope Skipping Federation, About. (n.d.) *FISAC-IRSF History*. Retrieved December 1, 2016, from
362 <https://www.fisac-irsf.org>.

363 Jette, M., Mongeon, J., & Routhier, R. (1979). The energy cost of rope skipping. *The Journal of sports*
364 *medicine and physical fitness*, *19*(1), 33.

365 Jones, D. M. Squires, C. & Rodahl, K. (1962). The effect of rope skipping physical work capacity. Research
366 Quarterly. *American Association for Health, Physical Education and Recreation*, *33*(2), 236-238.

367 Kim, Y. S. & Kim, D. H. (2015). A comparative analysis on the kinematic and ground reaction force factors by
368 rope skipping type. *Korea Society for Wellness*, *10*(2), 171-180.

369 Kim, W.K, & Oh, Y.J. (2010). A longitudinal study on the physique growth and physical fitness development
370 of middle school students. *The Korea Journal of Sports Science*, *19*(4), 1435-1445.

371 Komi, P. V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle
372 structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and sport sciences reviews*,
373 *12*(1), 81-122.

374 Komori, D., Zushi, K., Konishi, M., & Komori, T. (2012). A method for coaching rebound jump beginners
375 based on posture training. *Research Journal Sports Perform*, *4*, 161-170.

376 Korea Rope Skipping Association, Introduce of jump rope. (n.d.) *History*. Retrieved December 1, 2016, from
377 www.skiprope.co.kr.

378 Miyaguchi, K., Demura, S., & Omoya, M. (2015). Relationship between jump rope double unders and sprint
379 performance in elementary schoolchildren. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(11),
380 3229-3233.

381 Miyaguchi, K., Sugiura, H., & Demura, S. (2014). Possibility of stretch-shortening cycle movement training
382 using a jump rope. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(3), 700-705.

383 Murray, M. P., Drought, A. B., & Kory, R. C. (1964). Walking patterns of normal men. *Journal of Bone and*
384 *Joint Surgery*, *46*(2), 335-360.

385 Murray, M. P., Kory, R. C., & Sepic, S. B. (1970). Walking patterns of normal women. *Archives of Physical*
386 *Medicine and Rehabilitation*, *51*(11), 637-650.

387 Murray, M. P., Seireg, A. A., & Sepic, S. B. (1975). Normal postural stability and steadiness: quantitative
388 assessment. *International Bone Joint Surgery*, *57*(4), 510-516.

389 Myles, W. S., Dick, M. R., & Jantti, R. (1981). Heart rate and rope skipping intensity. *Research quarterly for*
390 *exercise and sport*, *52*(1), 76-79.

391 Norman, R. W. & Komi, P. V. (1979). Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement
392 conditions. *Acta Physiologica Scandinavica*, *106*(3), 241-248.

393 Orhan, S. (2013). The effects of rope training on heart rate, anaerobic power and reaction time of the
394 basketball players. *Life Science Journal* *10*(4s).

395 Ozer, D., Duzgun, I. Baltaci, G. S., & Colakoglu, F. (2011). The effects of rope or weighted rope jump
396 training on strength, coordination and proprioception in adolescent female volleyball players. *The*
397 *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *51*(2), 211-9.

398 Pappas, E., Sheikhzadeh, A., Hagins, M., & Nordin, M. (2007). The effect of gender and fatigue on the
399 biomechanics of bilateral landings from a jump: peak values. *Journal of Sports Science and*
400 *Medicine, 6(1)*, 77-84.

401 Perry, J. & Burnfield, J. M. (2010). *Gait analysis: Normal and pathological function, 2nd eds.* NJ Slack Inc.

402 Pittenger, V. M., McCaw, S. T., & Thomas, D. O. (2002). Vertical ground reaction forces of children during
403 one-and two-leg rope jumping. *Research quarterly for exercise and sport, 73(4)*, 445-449.

404 Quirk, J. E. & Sinning, W. E. (1981). Anaerobic and aerobic responses of males and females to rope skipping.
405 *Medicine and science in sports and exercise, 14(1)*, 26-29.

406 Shin, Y. H., Youm, C. H., & Son, M. J. (2013). Effects of foot type and ankle joint fatigue levels on the
407 trajectories of COP and COM during a single-Leg stance. *Korean Journal of Sport Biomechanics,*
408 *23(4)*, 335-345.

409 Solis, K., Foster, C., Thompson, N., & Cefalu C. (1988). Aerobic requirements for and heart rate responses to
410 variations in jump ropeing techniques. *Physician and Sportsmedicine, 16(3)*, 121-8.

411 Trampas, A. & Kitisios, A. (2006). Exercise and manual therapy for the treatment of impingement syndrome
412 of the shoulder: a systematic review. *Physical Therapy Reviews, 11(2)*, 125-142.

413 Trecroci, A., Cavaggioni, L., Caccia, R., & Alberti, G. (2015). Jump Rope Training: Balance and Motor
414 Coordination in Preadolescent Soccer Players. *Journal of Sports Science and Medicine, 14(4)*, 792-
415 798.

416 Town, G. P., Sol, N., & Sinning, W. E. (1980). The effect of rope skipping rate on energy expenditure of
417 males and female. *Medicine and science in sports and exercise, 12(4)*, 295-298.

418 Wright, C. J., Arnold, B. L., & Ross, S. E. (2016). Altered kinematics and time to stabilization during drop-
419 jump landings in Individuals with or without functional ankle instability. *Journal of Athletic Training,*
420 *51(1)*, 5-15.

421