사전점프 방법에 따른 최대수직지면반력, 누적 iEMG, 평균 iEMG 및 MPF의 비교 및 상관*

이병근**

상명대학교

ABSTRACT

Byung-Kun Lee. Comparison and Correlation of Maximum Vertical Ground Reaction Force, Accumulate iEMG, Average iEMG and MPF Depend on Preliminary Jump Type. *The Journal of Kinesiology*, 2017, 19(4): 1-10. **[PURPOSE]** The purpose of this study was to compare on maximum vertical ground reaction force(MVGRF), accumulate iEMG, average iEMG, and MPF depend on preliminary 3 type jump, and to analyze the correlation among vertical ground reaction force and muscle activities, and to provide information for effective vertical jump. **[METHODS]** The subjects were consisted of 9 college men without knee pain or medical history. The preliminary jump was consisted 40cm drop jump, Sargent jump and double jump. The arm was crossed in front of chest to avoid the effects of upper arm. The maximum vertical ground reaction force, and accumulate iEMG, average iEMG, and MPF on right side 5 muscles during preliminary 3 type jump were measured. **[RESULTS]** The MVGRF was significantly different among preliminary 3 type jump($p<.01$), followed by drop jump, double jump, and Sargent jump. In cumulative iEMG, there was a significant difference on tibialis anterior and gastrocnemius muscles, and cumulative iEMG of vastus lateralis, biceps femoris, and gastrocnemius were in the order of drop jump, double jump, and Sargent jump similar with MVGRF. In average iEMG, there was a significant difference in biceps femoris, and gastrocnemius ($p<.05$, $p<.01$), and average iEMG of vastus lateralis, and gastrocnemius were similar with MVGRF. In MPF, there were significant differences in biceps femoris, and gastrocnemius ($p<.05$). In all of the five muscles, the order of the Sargent jump, double jump, and drop jump was different from MVGRF. **[CONCLUSIONS]** There was no significant correlation between the MVGRF, cumulative iEMG and average iEMG of the five muscles according to preliminary 3 type jump. According to preliminary jump type, the number of positive correlated muscles varied from 5 to 0, and the muscles with the highest correlation were also different.

Key words : preliminary jump, maximum vertical ground reaction force, accumulate iEMG, average iEMG, MPF

주요어 : 사전점프, 최대수직지면반력, 누적 적분근전도, 평균 적분근전도, 평균파워주파수

서론

수직점프는 도움닫기를 하지 않고 제자리에서 수직으로 수행하는 점프이며, 하지의 근력을 평가하는 데 사용되고 있다. 수직점프는 하지의 근력과 상지와 하지의 협응이 잘 이루어질 때 최고의 수행결과가 나타난다. 점프의 수행 높이는 스포츠 경기에서 중요한 기술적인 요인을 뒷받침하고, 훈련이나 체력 테스트에서도 수행능력의 결과로 인정되고 있다(Vanezis et al., 2005; Wallace et al., 2010). 수직점프는 슬관절과 발목관절을 굴곡하고 신속하게 신전하는 일련의 동작을 연

속적으로 수행하는 것이다. 인간의 움직임에서 근육의 단축 전에 신장이 나타나는 경우가 많다. 수직점프 동작에서 슬관절이 굴곡되며 대퇴사두근의 원심성 수축이 발생되고 전환단계를 거친 후에 슬관절이 신전되며 대퇴사두근의 구심성 수축이 발생하는 신장-단축 사이클(stretch-shortening cycle; SSC) 현상이 나타나게 된다. 신장-단축 사이클의 작용은 근력을 생성할 수 있는 적절한 시간(van Ingen Schenau et al., 1997), 신장반사(stretch reflex)의 역할(Komi & Bosco, 1978), 원심성 수축에 따른 탄성에너지의 사용(Komi, 2000) 등에 영향을 받는다.

* 본 연구는 2016년 상명대학교 교내선발과제 연구비의 지원을 받아 연구되었음.

** 교신저자 : bklee@smu.ac.kr

드롭점프는 제자리에서 반동을 주어 수행하는 서전트점프와 달리 낙하를 이용하는 특성이 있어 상대적으로 큰 파워가 발생하고 이 큰 파워는 기계적인 힘의 생산(mechanical output)을 더 증가시킬 수 있다고 하였다(Bobbert et al., 1987; Matavulj et al., 2001). 드롭점프에서 발생하는 신장반사는 근육의 경화(stiffness)를 증가시켜 탄성 에너지를 저장할 능력을 강화하여 구심성(concentric) 구간에서 폭발적인 근수축이 가능하게 한다(Walsh et al., 1998; Ishikawa et al., 2007). 신장 반사에 영향을 미치는 신장속도는 신장 크기, 신장 지속시간, 탄성에너지 저장 및 근섬유의 길이를 변화시키므로, 신장반사는 신장속도와 비례적으로 증가한다(Komi, 2000; Kallio et al., 2004). Kallio et al.(2004)는 드롭높이를 증가시키면 비례적으로 신장속도가 증가한다고 하였다. 그러나 수직점프와 드롭점프 사이의 수행반응을 비교한 연구는 상반된 결과가 보고되고 있다. Bobbert et al.(1987)은 드롭점프에 따른 원심성 수축은 구심성 수축 동안의 근활성화를 증가시켰지만 수직뛰기의 수행 결과를 증가시키지는 않았다고 하였다. 그러나 Peng et al.(2011)은 20~30cm 높이보다 60cm 높이의 드롭점프에서 넙다리곧은근의 근활성도는 높았으나 넙다리두갈래근은 유사하였다고 하였다. 한편 Hakkinen et al.(1986)과 Ruan et al.(2010)은 드롭점프 하는 동안 근전도의 분석에서 드롭높이에 따른 근활성도의 유의한 차이가 나타나지 않았다고 하였다. 드롭점프는 수직 점프의 수행력을 강화시킬 수 있는 잠재적인 훈련효과에 대해 긍정적으로 평가되지만 직접적인 수행결과의 향상을 기대할 수 없다는 것이 일반적인 견해이다. 그러나 점프 전 추가적으로 수평적인 사전도약(approach run)의 횟수가 증가하면 수행결과가 향상된다는 연구가 보고되었다(Saunders, 1980; Ishikawa et al., 2004; Ruan et al., 2010).

수직뛰기와 관련된 사전점프는 주로 드롭점프의 높이와 사전도약 횟수 등을 중심으로 진행되어 왔다. 정해진 높이에서 낙하하는 드롭점프나 1회의 슬관절 굴곡을 수행하는 서전트점프와 달리 이중점프는 개인이 수의적으로 예비 점프를 수행하므로 근육의 사전활성도, 신장반사, 본 점프 동안의 근활성도 등의 측면에서 다른 반응이 나타날 수 있다. Shin(2014)은 여러 가지

사전점프 방법에 따른 수직 점프 수행 결과를 운동역학적 변수 측면에서 분석하여 수직최대높이는 차이가 나타나지 않았으나, 무게중심의 수직속도는 드롭점프와 이중점프가 더 크게 나타났으며, 하퇴와 대퇴분절의 최대각도와 최대각속도에서 점프 형태 사이에 유의한 차이가 나타났다고 하였다.

그러나 사전점프 형태에 따른 하퇴와 하퇴 여러 가지 근육을 대상으로 하여 지면반력, 전체 본 점프 동안의 근활성도, 근섬유 동원 형태 등의 차이와 상관관계 등에 대한 접근은 다소 미미한 실정이라 하겠다.

따라서 드롭점프, 서전트점프, 이중점프 등은 사전도약(approach run)과 연계하여 농구, 배구 및 축구 등의 경기에서 다양하게 활용되고 있다. 스포츠 현장에서 활용되는 다양한 점프에 따른 지면반력과 근활성도의 차이를 비교하며 적근과 지근 섬유의 동원 차이를 비교하고, 지면반력과 하지 근육의 근활성도 사이의 관계를 분석하면 효과적인 수직뛰기 수행과 훈련을 위한 유용한 정보로 활용할 수 있겠다.

본 연구의 목적은 드롭점프, 정상점프 및 이중점프의 사전점프 방법에 따른 최대수직지면반력, 누적 iEMG, 평균 iEMG 및 MPF를 비교하고 상관관계를 분석하는데 있다.

연구방법

연구대상

본 연구에서는 S 대학교의 남학생 중 사전 설문을 통해 슬관절에 통증이나 병력이 없는 9명을 대상으로 선정하였다. 연구의 목적과 방법, 절차 등을 설명하고 연구에 동의한 학생을 대상으로 하였다. 연구대상의 신체적 특징은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Physical characteristic of subjects

Item	Age(yr)	Height(cm)	Weight(kg)
M±SD	23.3±0.5	175.3±7.7	68.3±17.2

실험설계 및 절차

연구대상자에게 실험과 측정의 과정을 설명하고 준비 운동을 충분히 시켰다. 본 연구의 사전점프는 스텝박스에서 떨어지는 드롭점프, 일반적으로 슬관절을 굴곡하고 신전하는 자세의 서전트점프, 예비 점프를 실시하고 본 점프를 실시하는 이중점프의 3가지이었다 <Figure 1>. 근전도 분석은 본 점프를 수행하는 구간을 대상으로 하였다. 모든 점프의 과정에서 가슴에 양손을 교차시켜 상지의 영향을 배제하도록 하였다(Shin, 2014; Shin, 2015). 드롭점프에서는 피검자가 40cm 높이의 스텝박스 위에서 정지한 상태에서 떨어지고 최대한 높이 수직점프를 하도록 하였다(Shin, 2015). 서전트점프는 1회의 슬관절 굴곡을 하고 최대한 수직뛰기를 하도록 하였다. 이중점프에서는 본 점프에서 최대한 높이를 기록할 수 있도록 예비점프를 하고 본 점프를 수행하였다. 사전점프 3가지는 무선배열하여 수행하였다. 모든 점프는 2~3회 정도 실시하여 가장 양호한 과정을 분석에 포함시켰다. 모든 자료는 사전점프와 본 점프가 완료는 시간이 충분하도록 5초 동안 수집하였다. 측정 사이에는 10분 이상의 충분한 휴식 시간을 두었다.

측정항목 및 방법

사전점프와 본 점프 중의 최대수직지면반력은 지면반력기(PF-SMUB43-K250, Curiosity Technology, Korea)를 이용하여 측정하였다. 지면반력기의 면적은 50×60cm이었으며 주변과 평면을 유지하여 안정감을 주기

위하여 중앙에 지면반력기를 매립하고 보조대를 측면에 연결하였다. 5kg의 추와 측정치가 일치하도록 하여 영점조절을 하였고 표본주파수는 60Hz로 설정하였다. 지면반력기와 근전도기 사이에 트리거(trigger)를 연결하여 시점을 일치시켰다.

사전 점프 3가지를 실시하는 동안 우측 하지의 넙다리곧은근, 가쪽넓은근, 넙다리두갈래근, 앞장강근, 장딴지근에서 누적 적분근전도(iEMG), 평균 iEMG 및 평균과워주파수(median power frequency; MPF)를 측정하고 분석하였다. 이러한 근육은 수직점프 운동 중 하지의 굴곡과 신전에 중요하게 작용하며 표면 전극 부착이 용이한 부위이다. 전극 부착은 Park et al.(1993)이 제시한 위치로 하였다. 근전도계는 WEMG-8(LAXTHA, Korea)을 사용하였으며, 파형은 TeleScan software(LAXTHA, Korea)를 이용하여 분석하였다. 전극은 Ag-AgCl 합금으로 전도성 젤이 도포되어 있는 표면전극으로 피부를 알코올로 닦아내고 부착하였다. 활성(active)과 기준전극(reference electrode)의 이극유도 전극(bipolar lead)을 근섬유와 평행이 되도록 1.5cm 정도 이격하여 부착하였다. 전극 연결선을 고정하여 점프 동작에 방해가 되지 않고 motion artifact가 생기지 않도록 하였다. Sampling frequency는 1024Hz로 설정하였고, 공통모드제거율(common mode rejection ratio; CMRR)은 100dB로 하였다. 정상 점프에서 근전도 분석을 적용한 구간은 정지 상태에서 본 점프를 시작하여 슬관절을 굴곡하며 근육의 전기적 활동이 시작한 시점에서 이륙을 하고 착지한 시점의 중간으로 하였다. 드롭점프에서 근전도 분석 구간은 스텝박스에서 낙하하기 위해 근육 활동을 시작한 시점

Figure 1. Preliminary 3 type jump and analysis interval

4 사전점프 방법에 따른 최대수직지면반력, 누적 iEMG, 평균 iEMG 및 MPF의 비교 및 상관

Table 2. Vertical ground reaction force depend on preliminary 3 type jump

(M±SD)

	Drop jump	Sargent jump	Double jump	F
Vertical ground reaction force(BW)	2.82±0.316 a	2.32±0.27 c	2.57±0.25 b	19.74**

BW : body weight, ** $p<.01$, a b c : homogenesis group

에서 본 점프의 이륙과 착지의 중간으로 하였다. 이중 점프에서 근전도 분석 구간은 예비 점프에서 착지하여 근활동이 시작한 시점에서 이륙과 착지의 중간으로 하였다. 분석 대상 파형을 filtering(40Hz~450Hz)한 후에 전파정류하고 누적 iEMG와 평균 iEMG로 전환하였다. 본 연구에서는 3가지 사전 점프의 운동 형태와 수직점프의 수행 시간에 차이가 발생하므로 RVS(relative voluntary contraction)나 MVC(maximal voluntary contraction)의 비율이 아닌 본 점프 구간을 대상으로 누적 적분근전도(iEMG)와 평균 iEMG로 제시하였다. MPF(mean power frequency)는 분석할 근전도 파형을 대상으로 하여 Fast Fourier Transformation(FFT)을 실시하고 power spectrum으로 변형하여 산출하였다.

자료처리

본 연구의 자료처리는 SPSSWIN 23 프로그램을 이용하였다. 3가지 유형의 사전점프에 따른 수직지면반력, 누적 iEMG, 평균 iEMG 및 MPF의 차이를 알아보기 위하여 oneway repeated ANOVA 분석을 실시하였다. Mauchly

의 구형성 검정 결과에 따라 다변량 검정이나 개체내 효과 검증 결과를 적용하였고 Bonferoni 방법을 이용하여 사후검증을 하였다. 3가지 유형의 사전점프에 따른 수직지면반력과 5가지 근육의 누적 iEMG와 평균 iEMG의 상관관계를 알아보기 위하여 Pearson 상관분석을 실시하였다. 통계적 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 하였다.

결과

<Table 2>는 3가지 유형의 사전점프에 따른 수직지면반력을 분석한 결과이다. 최대수직지면반력은 사전점프 3가지 유형간에 유의한 차이가 나타났으며 ($p<.01$), 드롭점프가 $2.82\pm0.31\%$ 로 가장 높았으며 이중점프가 $2.57\pm0.25\%$ 로 중간이며, 서전트점프가 $2.32\pm0.27\%$ 로 가장 낮았고 드롭점프의 91.0% 수준으로 나타났다.

<Figure 2>는 3가지 유형의 사전점프에 따른 5가지 근육의 누적 iEMG의 차이를 분석한 결과이다. 3가지 유형의 사전점프에 따른 누적 iEMG의 경우, 5가지 근

Figure 2. Accumulate iEMG of 5 muscles depend on preliminary 3 type jump

Figure 3. Average iEMG of 5 muscles depend on preliminary 3 type jump

육 중에서 하퇴인 앞정강근과 장딴지근에서는 유의한 차이가 나타났으나($p<0.05$, $p<0.01$), 대퇴의 나머지 3가지 근육에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 사후검증 결과, 넙다리두갈래근과 장딴지근은 드롭점프가 가장 높고 서전트점프가 가장 낮은 수준으로 나타났다. 5가지 근육 중 가쪽넓은근, 넙다리두갈래근 및 장딴지근의 3가지 근육의 누적 iEMG는 수직지면반력과 유사하게 드롭 점프, 이중점프 및 서전트점프의 순서로 나타났다, 넙다리곧은근과 앞정강근의 3가지 근육의 누적 iEMG는 수직지면반력과 상이하게 이중점프가 가장 높게 나타났다.

<Figure 3>은 3가지 유형의 사전점프에 따른 5가지 근육의 평균 iEMG의 차이를 분석한 결과이다. 3가지 유형의 사전점프에 따른 iEMG의 경우, 5가지 근육 중에서 넙다리두갈래근 과 장딴지근에서는 유의한 차이가 나타났으나($p<0.05$, $p<0.01$), 나머지 3가지 근육에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 사후검증 결과, 앞정강근은 이중점프가 가장 높고 서전트점프가 가장 낮았으나, 장딴지근은 드롭점프가 가장 높고 서전트점프가 가장 낮은 수준으로 나타났다. 5가지 근육 중 가쪽넓은근 및 장딴지근의 2가지 근육의 iEMG는 수직지면반력과 유사하게 드롭점프, 이중점프 및 서전트점프의

Figure 4. MPF of 5 muscles depend on preliminary 3 type jump

Table 3. Corelation among maximum vertical ground reaction force and accumulate iEMG depend on preliminary 3 type jump

		Rectus femoris	Vastus lateralis	Biceps femoris	Tibialis anterior	Gastrocnemius
Drop jump	Pearson <i>r</i>	.422	.013	.117	.044	.285
	<i>p</i>	.26	.97	.77	.91	.46
Sargent jump	Pearson <i>r</i>	.003	-.147	.059	-.262	-.159
	<i>p</i>	.99	.71	.88	.50	.68
Double jump	Pearson <i>r</i>	-.050	-.175	-.199	-.517	-.156
	<i>p</i>	.90	.65	.61	.15	.69

순서로 나타났으나, 넙다리곧은근과 앞정강근의 2가지 근육의 iEMG는 수직지면반력과 상이하게 이중점프가 가장 높았고 넙다리두갈래근은 가장 상이한 순서로 나타났다.

<Figure 4>는 3가지 유형의 사전점프에 따른 5가지 근육의 MPF의 차이를 분석한 결과이다. 3가지 유형의 사전점프에 따른 MPF의 경우, 5가지 근육 중에서 가쪽넓은근과 장딴지근에서는 유의한 차이가 나타났으나($p<.05$), 나머지 3가지 근육에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 사후검증 결과, 가쪽넓은근과 장딴지근은 서전트 점프가 가장 높고 드롭점프가 가장 낮게 나타났다. 5가지 근육의 MPF는 수직지면반력과 상이하게 서전트점프, 이중점프 및 드롭점프의 순서로 나타났다.

<Table 3>은 3가지 유형의 사전점프에 따른 수직지면반력과 5가지 근육의 누적 iEMG의 상관관계를 분석한 결과이다. 3가지 사전 점프 모두에서 수직지면반력과 5가지 근육의 누적 iEMG와 유의한 상관이 나타나지 않았다. 비록 유의하지는 않았지만 드롭점프에서는 수직지면반력과 넙다리곧은근에서 가장 높은 정적 상관이 나타났고, 서전트점프와 이중점프에서는 앞정강근에서 가장 높은 부적 상관이 나타났다. 즉, 3가지 사전점프 형태에 따라 누적 iEMG의 측면에서 가장 높은 상관이 나타나는 근육이 다르게 나타났다.

<Table 4>는 3가지 유형의 사전점프에 따른 수직지

면반력과 5가지 근육의 평균 iEMG의 상관관계를 분석한 결과이다. 3가지 사전 점프 모두에서 수직지면반력과 5가지 근육의 평균 iEMG와 유의한 상관이 나타나지 않았다. 비록 유의하지는 않았지만 드롭점프에서는 수직지면반력과 가장 높은 정적 상관이 나타났고, 서전트점프와 이중점프에서는 앞정강근에서 가장 높은 부적 상관이 나타났다. 즉, 3가지 사전점프 형태에 따라 평균 iEMG의 측면에서 가장 높은 상관이 나타나는 근육이 다르게 나타났다.

논의

본 연구에서는 다양한 사전점프 방법이 지면반력과 대퇴와 하퇴 근육의 누적 근활성도, 평균 근활성도 및 근섬유 동원 특성에 미치는 영향을 분석하고 지면반력과 근활성도의 상관관계를 분석하였다. 수직점프는 1924년에 L. W. Sargent가 하지 순발력을 측정하기 위한 목적으로 개발되어 현재까지 하지 순발력 측정을 위하여 보편적으로 사용되는 검사방법이다(Lee et al., 2006). 수직점프는 스포츠 현장에서 다양하게 이용하는 기술이므로 경기 결과에 중요한 영향을 미칠 수 있으므로 다양한 사전점프 형태, 접근 스타일, 테이핑 등의 영향 등을 중심으로 많은 연구가 보고되고 있다.

Table 4. Corelation among maximum vertical ground reaction force and average iEMG depend on preliminary 3 type jump

		Rectus femoris	Vastus lateralis	Biceps femoris	Tibialis anterior	Gastrocnemius
Drop jump	Pearson <i>r</i>	.580	.028	.202	.063	.393
	<i>p</i>	.10	.94	.60	.87	.29
Sargent jump	Pearson <i>r</i>	.038	-.146	.067	-.254	-.148
	<i>p</i>	.92	.71	.86	.51	.71
Double jump	Pearson <i>r</i>	.131	-.085	-.207	-.440	.030
	<i>p</i>	.74	.83	.59	.24	.94

수직 점프를 수행하면 밀접하게 관련된 기계적 특성이 신장-단축 사이클이다. 점프 과정에서 신장-단축 사이클에서 신장반사는 근육의 신장이 발생하는 시기에 근육을 신장시키는 시작점의 역할과 함께 근육의 경화를 증가시켜 탄성에너지를 저장하는데 긍정적인 역할을 하는 것으로 밝혀졌다(Nicol et al., 1996; Ishikawa et al., 2007). 신장반사는 근육의 신장속도와 사전활성화 수준에 민감하게 영향을 받는다고 하였다(Kyrolainen et al., 2005; Ruan, 2007). 드롭점프는 일반적인 플라이오메트릭 운동이며 트레이닝에서 사용되고 있다(Wallace et al., 2010). 본 연구에서는 신장속도와 사전활성화 등을 다양하게 하기 위하여 드롭점프, 서전트점프 및 이중점프를 부과하였고 이에 따른 수직지면반력, 누적 iEMG, 평균 iEMG 및 MPF 등을 분석하였다.

본 연구에서 3가지 사전점프를 수행한 결과 발생한 체중당 최대수직지면반력(%BW)은 드롭점프, 이중점프 및 서전트점프 순으로 나타났고($p<0.01$), 서전트점프보다 드롭점프의 체중당 최대수직지면반력은 21.6%, 이중점프의 반력은 10.7% 높게 나타났다. Peng et al.(2011)과 Wallace et al.(2010)는 드롭 높이의 증가에 따라 수직지면반력이 증가한다고 하였다. Peng et al.(2011)은 20cm에서 60cm까지 10cm 단위로 다양한 드롭점프에 따른 반응을 비교하여 60cm의 드롭 높이의 경우가 최대수직지면반력과 지면접촉시간이 가장 높았으나 저고도 드롭 높이보다 지면접촉 시점에 무릎이 더 신전되어 있다고 하였다. 최대수직지면반력(BW)이 20cm(2.0BW), 30cm(2.3BW), 40cm(2.5BW), 50cm(3.3BW), 60cm(3.7BW)로 증가하였으며 20cm를 기준으로 하면 30cm, 40cm까지는 10~15% 정도씩 증가하였으나 50cm에서는 가장 높은 40%가 증가하였고, 60cm에서는 20%가 증가하였다고 하였다. 하지만 수직점프 높이는 드롭 높이에 상관없이 유사하였고 착지시 최대 무릎각도는 드롭높이 증가에 따라 증가한다고 하였다. 20cm와 30cm보다 60cm의 낙하 높이가 대퇴사두근의 근활성도와 지면반력을 증가시키지만 운동 양식을 변화시켜 플라이오메트릭의 효과를 감소시키며 슬관절의 잠재적 위험성을 증가시킨다고 하였다. 최대수직지면반력의 측면에서 본 연구에서 3가지 사전 점프를 수행한 결과인 <Table 2>와 Peng et al.(2011)의 결과를

비교해 보면, 서전트점프(2.32BW)는 30cm 드롭(2.3BW), 이중점프(2.57BW)는 40cm 드롭과 유사하며, 본 연구의 40cm 드롭은 Peng et al.(2011)의 43~44cm 드롭과 유사한 수준이었다. 그러나 이러한 결과는 Ruan et al.(2010)의 연구와 일치하지 않았는데, 이는 낙상 높이를 15cm에서 60cm로 증가시키는 것이 착지 단계에서 넙다리곧은근과 넙다리두갈래근의 근육 활성화 수준을 향상시키지 않았다고 하였다. 이러한 차이는 Ruan et al.(2010)은 1주일간의 훈련을 실시하였고 남성만을 대상으로 한 것일 수 있다. 드롭 높이가 50cm 이하인 경우에는 Peng et al.(2010)의 연구 결과와 유사하게 나타났다. 따라서 50cm 이상의 드롭점프부터는 지면반력과 착지시 최대무릎굴곡각도가 다소 급격히 증가하므로 플라이오메트릭 훈련을 위한 제한 지점으로 활용이 가능하다고 할 수 있겠다. 본 연구의 서전트점프와 이중점프는 드롭점프의 30 cm와 40cm와 유사한 수준으로 나타났으므로 3가지 사전 점프를 이용하면 다양한 드롭점프와 최대수직지면반력이 유사한 프로그램으로 활용할 수 있는 가능성이 있다. 본 연구에서는 지면반력과 근활성도 측면에서 수직 점프를 분석하였지만, 향후에는 영상분석을 통해 다양한 운동학적 요소의 특성과 관련성 등을 분석할 필요가 있다고 하겠다.

드롭점프, 일반점프 및 이중점프 사이의 수직지면반력의 차이를 비교한 선행 연구에서는 다소 상반된 결과가 보고되고 있다. Shin(2014)의 보고에 따르면 드롭점프와 이중점프는 드롭높이와 예비 동작이 포함되어 있어서 일반점프보다 이 지 시 지면반력의 크기가 증가할 것으로 예상하였으나 일반점프, 드롭점프 및 이중점프 순이며 일반점프가 가장 높게 나타났다고 하였다. 이러한 결과는 드롭점프와 이중점프가 예비 움직임을 통해 사전신장과 사전활성화 수준을 강화할 것으로 기대되지만 오히려 일반점프보다 낮은 수준의 지면반력을 생성한다는 점이다. 그러나 다른 연구에서는 상반된 결과도 보고되고 있다. Shin(2015)은 최대수직지면반력이 드롭점프, 사전점프 및 수직점프 순으로 나타났으며, 드롭점프가 가장 높게 나타났다고 하였고, 본 연구에서도 드롭점프와 사전점프가 수직지면반력이 더 높게 나타났다. 이는 예비동작이 신전-수축 사이클과 사전활성화 등을 유발하여 지면반력을 증가시킨

다고 할 수 있다. Shin(2014)과 Shin(2015)의 연구에서 사전점프 형태에 따른 최대수직지면반력의 차이가 나타난 것은 드롭점프의 높이가 15cm와 40cm로 다른 것에 기인한 것일 수 있다.

사전 점프에서 이중점프를 이용한 연구는 약간의 연구가 보고되고 있지만(Shin, 2014; Shin, 2015), 상대적으로 매우 미미한 실정이다. 이러한 이유는 드롭점프는 드롭 높이의 정확한 통제가 가능하지만 이중점프는 개인적 감각에 따라 편차가 발생할 수 있기 때문일 수 있다. 하지만 스포츠 상황에서는 정형화된 드롭점프 이외에 이중점프와 유사한 형태의 점프도 많이 나타나므로 이에 대한 접근도 필요하다. 본 연구에서는 피검자가 가장 높은 본 점프를 수행할 수 있는 예비점프를 수행하도록 하였으나 개인간 편차가 발생하게 되어 있다. 또한 Kim & Kim(2012)는 스포츠 테이핑을 적용하여 스매쉬의 스피드가 증가하였다고 하였고, Lee(2012)는 키네시오 테이핑을 적용한 후에 벤치 프레스 10-RM의 반복횟수가 약 25% 증가하였고, 이는 근력 증가 5% 정도와 유사한 수준이라고 하였다. 향후에는 예비 점프의 높이를 통제할 수 있는 방법을 고안하거나 훈련을 통해 일정한 예비 점프를 수행하도록 하여 편차가 유사한 예비 점프를 수행하도록 한 후에 다양한 높이의 드롭점프와 차이를 비교하고, 키네시오 테이핑이나 스포츠 테이핑을 적용한 반응도 비교할 필요가 있겠다.

사전점프 유형에 따른 하지 5개 근육의 본 점프의 누적 iEMG<Figure 2>와 평균 iEMG<Figure 3>을 대상으로 하여 근활성도의 차이를 알아보았다. 사전점프 유형에 따른 누적 iEMG 비교의 경우, 대퇴 근육에서는 유의한 차이가 나타나지 않았고 하퇴의 2개 근육에서는 유의한 차이가 나타났다. 가쪽넓은근, 넙다리두갈래근 및 장딴지근의 누적 iEMG는 드롭점프, 이중점프 및 서전트점프 순으로 나타나 수직지면반력과 유사하였으나 넙다리곧은근과 앞정강근은 이중점프가 가장 높게 나타났다. 누적 iEMG의 경우, Sargent jump에 대한 비율은 드롭점프가 17.7%로 가장 높았고, 이중점프가 16.1%로 높게 나타났다.

사전점프 유형에 따른 평균 iEMG 비교의 경우, 넙다리두갈래근($p<.05$)과 장딴지근($p<.01$)에서만 유의한 차이가 나타났다. 가쪽넓은근과 장딴지근의 평균

iEMG는 드롭점프, 이중점프 및 서전트점프 순으로 나타나 수직지면반력과 유사한 양식이었으나 넙다리곧은근과 앞정강근의 평균 iEMG는 이중점프가 가장 높게, 넙다리두갈래근에서는 가장 낮게 나타나는 다른 반응 양식이었다. 평균 iEMG의 경우, Sargent jump에 대한 비율은 드롭점프가 17.7%로 가장 높았고, 이중점프가 13.2%로 높게 나타났다. Peng et al.(2011)은 다양한 드롭점프에 따른 넙다리곧은근과 넙다리두갈래근의 근활성도를 비교한 결과, 착지기 동안 넙다리곧은근의 근활성도는 20cm와 30cm보다 60cm가 더 높았으나 넙다리두갈래근의 근활성도는 드롭 높이에 따른 차이가 유사하다고 하였다. 그러나 이륙기에서 다른 낙하 높이 사이에서 RF 및 BF 활동에 유의한 차이는 나타나지 않았고 이러한 결과는 Ruan et al.(2010)의 결과와 유사하였다. 이들은 낙하 높이와 관련된 근력 성능의 향상은 근력 증가보다는 탄성 에너지의 재사용에 기인한다고 추측된다(Ruan et al., 2010). 근육 활성화의 차이에 대한 또 다른 가능한 설명은 다른 연구자들이 더 높은 낙하 높이와 관련된 근육과 힘줄 손상을 방지하기 위한 보호 전략으로 작용하는 신경근 억제제가 제시되기도 하고 있다(Komi et al., 1997; Ruan et al., 2010).

<Figure 4>에서는 사전점프 유형에 따른 하지 5개 근육의 본 점프의 MPF를 대상으로 하여 동원 근섬유의 근활성도의 차이를 알아보았다. MPF는 단위시간 동안 발현된 평균주파수와 관련된 개념이며 근전도 분석에서는 동원 근섬유의 상대적 비율을 비교하는 지표로 활용된다. 누적 iEMG와 평균 iEMG와 달리 MPF는 서전트점프가 가장 높고 이중점프와 드롭점프 순으로 나타나는 경향이 나타났다. 이러한 현상은 수직지면반력이 가장 적은 서전트점프에서는 동원 근섬유 중 지근의 비율이 상대적으로 높으며, 드롭점프와 이중점프에서는 속근의 비율이 상대적으로 높았다고 할 수 있다. MPF의 경우, 서전트점프에 대한 비율은 드롭점프가 14.4%로 가장 낮았고, 이중점프가 5.2%로 낮게 나타났다. 많은 연구들이 iEMG 중심으로 수직 점프의 근활성도에 접근하여 MPF에 대한 자료는 상대적으로 미미한 편이다. 하지만 동원 근섬유의 비율에 대한 자료 측면에서 활용도가 있으므로 추가적인 측정 항목으로 활용할 수 있겠다.

사전점프 유형에 따른 수직지면반력, 누적 iEMG, 평

균 및 MPF의 반응을 다음과 같이 정리 할 수 있다. 수직지면반력은 드롭점프, 이중점프 및 서전트점프 순으로 감소하는 것으로 나타났고, 서전트점프보다 21.6와 10.7% 정도 높게 나타났다. 누적 iEMG도 드롭점프, 이중점프 및 서전트점프 순으로 감소하는 것으로 나타났고, 서전트점프보다 17.7과 16.1% 정도 높게 나타났다. 평균 iEMG도 드롭점프, 이중점프 및 서전트점프 순으로 감소하는 것으로 나타났고, 서전트점프보다 17.7과 13.2% 정도 높게 나타났다. 그러나 MPF는 드롭점프, 이중점프 및 서전트점프 순으로 증가하는 것으로 나타났고, 서전트점프보다 14.4와 2.1% 정도 낮게 나타났다.

사전점프에 따라 최대수직지면반력이나 수직 점프 높이 등과 근활성도의 상관관계 분석한 연구는 미미한 실정이다. 비록 유의하지는 않았지만 누적 iEMG와 평균 iEMG 모두 사전 점프 방법에 따라 최대수직지면반력과 가장 높은 상관이 나타난 근육이 다르게 나타났다<Table 3, Table 4>. 최대수직지면반력과 높은 상관이 나타난 근육이 사전점프에 따라 다를 수 있으므로 훈련 프로그램을 구성할 때 참고할 수 있다.

결론

사전점프 유형간에 최대수직지면반력은 유의한 차이가 나타났고 누적 iEMG, 평균 iEMG 및 MPF에서는 약 2개 근육에서 유의한 차이가 나타났다. 사전점프 유형에 따른 최대수직지면반력과 근육의 누적 iEMG 및 평균 iEMG 사이에 모두 유의한 상관이 나타나지 않았지만 가장 높은 상관이 나타난 근육 부위에 차이가 나타났다. 이러한 결과는 훈련 프로그램을 구성할 때 참고로 활용할 수 있겠다. 향후에는 예비 점프의 정량화 및 테이프 적용 등을 고려하며 운동학적 요인을 포함하는 다학문적 접근이 필요하겠다.

참고문헌

- Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Drop jump II. The influence of dropping height on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19: 339-346.
- Hakkinen, K, Komi P. V., & Kauhanen, H. (1986). Electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles of elite weight lifters during isometric, concentric, and various stretch-shortening cycle exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 7(3): 144-151.
- Ishikawa, M., & Komi, P. V. (2007). The role of the stretch reflex in the gastrocnemius muscle during human locomotion at various speeds. *Journal of Applied Physiology*, 103: 1030-1036.
- Kallio J., Linna V., & Komi P. V. (2004). The effects of muscle history on short latency stretch reflex response of soleus muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(3): 411-421.
- Kim, J. H., & Kim, H. T. (2012). The Effects of Upper Extremity Sports Taping on Smash Speed and Strengthening in Capacity. *Journal of Korean Health & Fundamental Medical Science*, 5(3): 103-106.
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33(10): 1197-1206.
- Komi, P. V., & Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10: 261-265.
- Komi, P. V., & Gollhofer, A. (1997). Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC-exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(4): 451-460.
- Kyrolainen, H., Avela, J., & Komi, P. V. (2005). Changes in muscle activity with increasing running speed. *Journal of Sports Sciences*,

- 23(10): 1101-1109.
- Lee, B. K. (2012). Effects of Repetition and iEMG Responses of Kinesio Taping on Bench Press 10-RM. *Kinesiology*, 14(4): 27-36.
- Lee, H. S., & Ju, M. D. (2006). The Biomechanical Analysis of Various Vertical Jumps According to Gender of High School Students. *Korean journal of sport biomechanics*, 16(4): 153-164.
- Matavulj, D., Kukolj, M., Ugarkovic, D., Tihanyi, J., & Jaric, S. (2001). Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41: 159-164.
- Nicol, C., Komi, P. V., Horita, T., Kyrolainen, H., & Takala, T. E. (1996). Reduced stretch-reflex sensitivity after exhausting stretch-shortening cycle exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(5-6): 401-409.
- Park, Y. K., Park, R. J., & Park H. K. (1993). *Electromyographic Anatomy*, Seoul: Hakmoon publishing Co.
- Peng, H. T., Kernozek, T. W., & Song, C. Y. (2011). Quadricep and hamstring activation during drop jumps with changes in drop height. *Physical Therapy in Sport*, 12: 127-132.
- Ruan, M. (2007). *Maximize muscle mechanical output during the stretch-shortening cycle - the contribution of preactivation and stretch load*. Unpublished doctoral dissertation, Louisiana State University.
- Ruan, M., & Li, L. (2010). Approach run increases preactivation and eccentric phases muscle activity during drop jumps from different drop heights. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20: 932-938.
- Saunders, H. L. (1980) *A cinematographical study of the relationship between speed of movement and available force*. PhD dissertation. Texas A&M University, Texas, United States.
- Shin, J. M. (2014). Effects of the Different Patterns of a Preliminary Jump before Jumping in the Vertical Jump. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 55: 601-609.
- Shin, J. M. (2015). Changes in muscle preactivation and kinematic variables from three different jump patterns. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 60: 647-656.
- van Ingen Schenau, G. J., Bobbert, M. F., & de Haan, A. (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? *Journal of Applied Biomechanics*, 13(4): 389- 415.
- Vanezis A., & Lees A. (2005). A biomechanical analysis of good and poor performers of the vertical jump. *Ergon*, 48: 1594-1603.
- Wallace, B. J., Kernozek, T. W., White, J. M., Kline, D. E., Wright, G. A., & Peng, H. T. (2010). Quantification of vertical ground reaction forces of popular bilateral plyometric exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24: 207-212.
- Walshe, A. D., Wilson, G. J., & Ettema, G. J. (1998). Stretch-shorten cycle compared with isometric preload: contributions to enhanced muscular performance. *Journal of Applied Physiology*, 84(1): 97-106.

논문투고일 : 2017. 09. 18
1차 수정일 : 2017. 10. 16
2차 수정일 : 2017. 10. 18
게재확정일 : 2017. 10. 19