

태권도 선수와 일반인의 등척성 무릎신전 토크-각도 관계 특성 비교 분석

조계훈¹ · 오정훈² · 이해동^{3,4}

¹연세대학교 교육대학원 체육 및 여가교육전공 · ²연세대학교 대학원 체육학과 · ³연세대학교 교육과학대학 체육교육학과 · ⁴연세대학교 융합체육과학선도연구소

Comparison of Isometric Knee Extension Torque-Angle Relationship between Taekwondo Athletes and Normal Adults

Gye-Hun Jo¹ · Jeong-Hoon Oh² · Hae-Dong Lee^{3,4}

¹Department of Physical & Leisure Education, Graduate School of Education, Yonsei University, Seoul, Korea

²Department of Physical Education, Graduate School of Yonsei University, Seoul, Korea

³Department of Physical Education, College of Science in Education, Yonsei University, Seoul, Korea

⁴Frontier Research Institute of Convergence Sports Science, Yonsei University, Seoul, Korea

Received 14 April 2015; Received in revised form 25 September 2015; Accepted 30 September 2015

ABSTRACT

Objective: In order for Taekwondo athletes to perform destructive kicking performance, they are expected to have Taekwondo-specific muscle properties such as high muscle strength and power. The purpose of this study was to investigate the joint angle-dependent force-producing property of Taekwondo athletes' knee extensor muscles, which is one of the primary muscle groups involved in kicking performance.

Method: Ten Taekwondo male athletes (age: 19.9±0.7 yrs, height: 180.6±6.2 cm, body mass: 75.9±8.9 kg, career: 9.2±2.9 yrs.) and 10 healthy male non-athletes (age: 26.3±2.6 yrs, height: 174.2±4.8 cm, body mass: 72.8±7.7 kg) participated in this study. Subjects performed maximum isometric knee extension at knee joint angles of 40°, 60°, 80°, and 100° (the full knee extension was set to 0°) with the hip joint angles of 0° and 80° (the full extension was set to 0°). During the contractions, knee extension torque using an isokinetic dynamometer simultaneously with muscle activities of the rectus femoris (RF), and the vastus lateralis (VL) and vastus medialis (VM) using surface electromyography were recorded. Based on the torque values at systematically different knee-hip joint angles, the joint torque-angle relationships were established and then the optimal joint angle for the knee extensor was estimated.

Results: The results of this study showed that the isometric knee extension torque values were greater for the Taekwondo athletes compared with the non-athlete group at all hip-knee joint angle combinations ($p < .05$). When the hip joint was set at 80°, the peak isometric torque was greater for the Taekwondo athletes compared with the non-athlete group (313.61±36.79 Nm and 221.43±35.92 Nm, respectively; $p < .05$) but the estimated optimum knee joint angles were similar (62.33±5.71° and 62.30±4.67° for the Taekwondo athletes and non-athlete group, respectively). When the hip joint was set at 0°, the peak isometric torque was greater for the Taekwondo athletes compared with the non-athlete group (296.29±45.13 Nm and 199.58±25.23 Nm, respectively; $p < .05$) and the estimated optimum knee joint angle was larger for the Taekwondo athletes compared with the non-athlete group (78.47±5.14° and 67.54±5.77°, respectively; $p < .05$).

Conclusion: The results of this study suggests that, compared with non-athletes, Taekwondo athletes have stronger knee extensor strength at all hip-knee joint angle combinations as well as longer optimum muscle length, which might be optimized for the event-specific required performance through prolonged training period.

Keywords: Taekwondo, Knee Extensor Muscles, Torque-Angle Relationship, Optimal Joint Angle, Muscle Activity

1. 서 론

다양한 스포츠 종목에서 경기력 극대화를 위한 많은 요인

Corresponding Author : Hae-Dong Lee
Department of Physical Education, College of Sciences in Education,
Yonsei University, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, Korea
Tel: +82-2-2123-6188 / Fax: +82-2-2123-8375
Email : xbridge1997@yonsei.ac.kr

들 중 종목의 특성이 반영된 근기능의 극대화는 중요한 요소이다. 던지기, 높이뛰기, 멀리뛰기 등의 육상 종목은 물론, 축구, 야구, 사이클링, 스피드 스케이팅, 테니스 등의 종목에서도 폭발적인 근력이 요구되며 모든 스포츠 종목에서 그 결과에 영향을 미친다(Herzog, 2009).

생체역학적 측면에서 근육의 최대 힘 발현 능력을 결정짓

는 여러 가지 요인 중 근육의 길이(Gordon, Huxley & Julian, 1966)와 수축속도(Hill, 1938; Katz, 1939)는 근수축 특성을 결정하는 중요한 요소이며 특히 다양한 스포츠 종목에서 종목의 특성을 반영한 근육의 수축 특성이 존재하는가, 그리고 그 특성은 선천적으로 결정되는 것인지 아니면 트레이닝을 통하여 후천적으로 최적화 할 수 있는 것인지에 대한 연구는 경기력 극대화를 위한 기초적인 정보를 제공할 수 있을 것이다.

Herzog, Guimares와 Anton (1991)의 연구에서 인체의 넵다리곶은근(rectus femoris, RF)을 대상으로 모멘트-길이 관계를 관찰한 결과 넵다리곶은근이 서로 다른 길이에서 사용되는 자세로 장기간 훈련하는 사이클 선수와 장거리 달리기 선수의 경우, 사이클 선수가 장거리 달리기 선수와 비교하여 넵다리곶은근이 상대적으로 짧은 길이에서 강한 근력을 발휘한다고 보고하였다. 이후 Savelberg와 Meijer (2003)의 연구에서는 단관절 근육의 경우 사이클 선수가 달리기 선수보다 긴 근육 길이에서 큰 근력을 발휘하며, 다관절 근육의 경우 달리기 선수가 더 긴 근육 길이에서 큰 근력을 발휘하는 것을 관찰하였으며, Brughelli, Cronin과 Nosaka (2010)의 연구에서도 호주 럭비 선수와 사이클 선수의 무릎신전근을 대상으로 한 연구에서도 최대 등척성 근력이 발휘되는 무릎 관절 각도의 차이를 관찰하여 Herzog 등 (1988)의 연구 결과를 뒷받침하였다.

그러나 Ullrich와 Brüeggemann (2008)의 연구에서 장거리 달리기 선수, 사이클 선수, 철인삼종 선수, 테니스 선수들의 넵다리넵갈래근 모멘트-무릎각도 관계의 유의한 차이를 관찰하지 못한 경우도 보고되었지만, 동일 그룹의 후속 연구(Ullrich, Kleinöder & Brüggemann, 2009)에서 트레이닝 방법을 달리할 경우 최대근력 발현 길이(관절각도)에 영향을 미칠 수 있음을 관찰하고 종목 특성에 따른 변화에 대한 후속 연구의 필요성을 역설하였다.

또한 신장성 운동에서 운동 수행 후 미세 근육 손상에 의한 최적 근육 길이의 변화가 있을 수 있다는 선행 연구에서의 관찰을 감안할 경우(Morgan & Allen, 1999; Chen, Nosaka & Sacco, 2007; Lee et al., 2010), 특정 종목의 운동 수행 특이성을 반영한 장기간의 훈련은 근육의 특성에 영향을 줄 수 있다고 볼 수 있다. 따라서 스포츠 종목과 근육의 길이변화 환경에 따라서 근력과 최대근력을 발현할 수 있는 근육의 길이가 다를 수 있다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 다양한 스포츠 종목 선수들의 근기능 특성에 관한 많은 연구들이 이루어지고 있으나, 우리 민족 고유의 무도이자 올림픽 스포츠인 태권도 종목에서 태권도 선수들의 근기능 특성에 관한 연구는 아직 부족한 실정이다. 태권도 경기에서 발차기 동작은 점수 획득 및 상대 선수에게 충격을 가하기 위한 가장 기본적인 기술이다. 태권도 선수들의 발차기 동작

이 보다 빠르고 강하게 수행되기 위해서는 기본적으로 엉덩관절 굽힘근과 무릎관절 신전근 기능이 극대화 되어 있어야 할 것이며, 정상 범위보다 큰 엉덩관절의 가동 범위를 고려할 때 태권도 선수들의 무릎신전근은 일반인과 다른 생체역학적 특성을 가지고 있을 것으로 예상할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 일반인과 태권도선수를 대상으로 엉덩관절 각도 차이에 따른 최적 무릎신전 각도(the optimal knee extension angle) 차이를 분석하고, 이를 바탕으로 장기간 전문적인 태권도 훈련을 받은 선수들의 무릎신전근 특성을 알아보고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구는 신경·근 질환이 없는 건강한 남자 대학생으로서, 태권도 겨루기 선수기간 5년 이상의 태권도 선수 10명(나이: 19.9±0.7 yrs, 신장 : 180.6±6.2 cm, 체중: 75.9±8.9 kg, 경력: 9.2±2.9 yrs)과 체계적인 훈련을 받지 않은 건강한 성인 10명(나이 : 26.3±2.6 yrs, 신장: 174.2±4.8 cm, 체중: 72.8±7.7 kg)을 실험 대상으로 하였다. 두 그룹 간 나이를 제외한 신체적 특성은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 모든 실험 대상자들에게 연구의 내용과 목적, 실험 절차, 실험 대상자의 인권보호, 실험의 안전성 등에 대한 충분한 설명을 하였으며, 자발적으로 실험 참여에 동의한 자로 선정하였다(IRB승인: 201409-SB-337-02).

2. 실험 절차

2.1. 등척성 무릎신전 근력 측정

각도 변화에 따른 등척성 무릎신전 근력을 측정하기 위하여 동력계(CON-TREX[®] MJ, Physiomed Ltd., Germany)를 사용하였다. 실험 대상자를 근력 측정 장비에 앉도록 하고 무릎관절의 중심을 동력계(dynamometer)의 회전축과 일치하도록 좌석과 등받이를 조정하였다. 양손은 동력계 양옆의 고정 손잡이를 잡도록 하고, 무릎신전 운동에 방해가 되지 않는 범위에서 다른 신체부위의 움직임으로 인한 외력이 가해지지 않도록 피험자의 흉부, 대퇴부 및 하퇴부를 고정벨트로 고정하였다. 엉덩관절과 무릎관절의 최대 신전 지점을 0°로 지정하고, 엉덩관절의 각도는 80°, 0°에서 무릎관절의 각도는 40°, 60°, 80°, 100°에서 각각 2번의 등척성 무릎신전 최대근력을 측정하였다<Figure 1>. 측정 각도의 순서는 무작위로 실시하였으며,



Figure 1. Experimental settings for the measurement of knee extension torque and hip-knee joint angles

무릎신전 시 점진적 증가(ramp)구간 이후 항정상태(steady-state) 구간이 3초간 유지되는 최대 자발적 등척성 수축(maximum voluntary isometric contraction, MVIC)을 유도하고, 각도별 측정 중간에 최소 2분간의 휴식을 취하도록 하였다.

2.2. 등척성 무릎신전 근활성도 측정

각도 변화에 따른 등척성 무릎신전 근활성도를 측정하기 위하여 무선 표면 근전도계(Trigno Wireless EMG, Delsys Inc., USA)를 사용하였다. 근전도 전극을 가측넓은근(vastus lateralis, VL), 안쪽넓은근(vastus medialis, VM) 및 넓다리곧은근(rectus femoris, RF)에 부착하고, 무릎신전 근력 측정과 동시에 근활성도를 측정하였다. 근전도 전극 부착 전 각 근육의 피부를 제모하고 알코올로 닦아내어 신호에 영향을 줄 수 있는 저항을 최소화 하였으며, 근전도 전극의 부착 위치는 Surface ElectroMyoGraphy for the non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM: www.seniam.org)에서 설명하는 위치를 참조하였다.

3. 자료 수집

근력 측정 장비와 근활성도 측정 장비로부터의 아날로그 신호들을 동기화하여 수집하기 위한 시스템을 구성하였다. 근

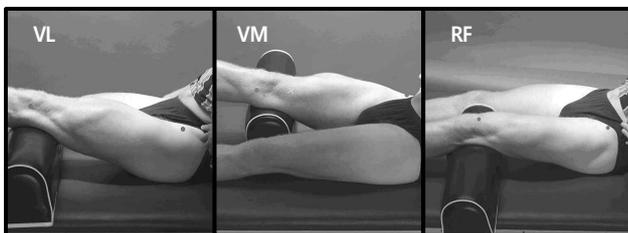


Figure 2. EMG electrode placement on the vastus lateralis(VL), vastus medialis(VM), and rectus femoris(RF) based on the SENIAM (www.seniam.org)

전도 신호는 차단 주파수(band width)는 20-450 Hz, 전극의 공통성분 제거비율(CMRR)은 110 dB로 설정하였다. $\times 1000$ 증폭된 아날로그 신호는 2000 Hz 비율로 샘플링 하였으며, 각 전극으로부터의 신호는 무선 송신기를 통하여 사후 분석을 위하여 개인용 컴퓨터에 저장하였다. 근력 측정 장비의 무릎관절 각도 및 토크 신호와 근전도 신호는 BNC Interface (BNC-2110, National Instrument Inc., USA)와 A/D Converter (NI-6036E, National Instrument Inc., USA)를 거쳐 2,000 Hz 빈도로 수집하였고, 자체적으로 작성한 데이터 수집 프로그램 (LabView 8.5, National Instrument Inc., USA)을 이용하여 사후 분석을 위하여 컴퓨터에 저장하였다.

4. 자료 분석

근력 측정 장비와 근전도 측정 장비에서 나온 신호는 상용 신호분석 프로그램(Chart 5, ADInstruments Inc., USA)을 사용하여 분석하였다. 근력 측정 장비에서 나온 신호는 Butterworth 4th order low-pass filter(차단주파수 10 Hz)로 필터링한 후 분석하였다. 무릎신전 근력은 무릎신전 최대 토크가 항정상태(steady-state)를 이루는 구간 중 500 ms(최대값이 나오는 시점에서 앞뒤로 250 ms)에 해당하는 구간의 평균값을 사용하였으며, 이와 상응하는 구간에서 근전도의 RMS(root mean square) 값을 계산하여 무릎신전 근활성화 정도를 분석하였다. 무릎신전 최대근력 발현각도는 측정된 토크 값들의 3차 다항식 추세선을 이용하여 최대근력 발현각도 값을 구하였다.

5. 자료 처리

측정한 모든 변인들은 SPSS 21.0(IBM Inc., USA) 프로그램을 이용하여 각 그룹별 측정 항목의 평균(mean)과 표준편차(SD)로 나타내었다.

- 1) 각각의 엉덩관절 각도에서 그룹 및 무릎 각도에 따른 최대 토크의 차이를 반복측정 이원 변량분석(2 groups \times 4 knee angles) 하였다. 상호작용 효과가 유의한 경우 일원변량분석(one-way ANOVA) 및 Tukey's HSD분석을 사용하여 사후분석을 실시하였다.
- 2) 최대 무릎신전 토크에 상응하는 3차 추세선을 통하여 최적 무릎 각도와 최대 토크를 추정하였으며, 그룹 및 엉덩관절 각도에 따른 최적 무릎 각도와 최대 토크의 차이는 반복측정 이원변량분석(2 groups \times 2 hip angles) 을 하였다. 상호작용 효과가 유의한 경우 일원 변량분석(one-way ANOVA) 및 Tukey's HSD분석을 사용하여 사후분석을 실시하였다. 모든 통계적 유의 수준은 $\alpha = .05$ 에서 분석하였다.

III. 결 과

1. 등척성 무릎신전 토크-각도 관계 분석

엉덩관절이 80°일 때 그룹과 무릎관절 각도 요인 간에 유의한 상호작용이 관찰되어($p < .05$), 그룹 별로 무릎각도에 따른 최대 무릎신전 토크 차이를 알아보았다. 태권도 선수 그룹에서는 $60 \geq 80 \geq 40 > 100$ 의 순서로 나타났으며($p < .05$), 일반인 그룹에서는 $60 \geq 80 \geq 40 \geq 100$ 의 순서로 나타

났다($p < .05$).

엉덩관절이 0°일 때 그룹과 무릎관절 각도 요인 간에 유의한 상호작용이 관찰되어($p < .05$), 그룹 별로 무릎각도에 따른 최대 무릎신전 토크 차이를 알아보았다. 태권도 선수 그룹에서는 $80 \geq 60 \geq 100 \geq 40$ 의 순서로 나타났으며($p < .05$), 일반인 그룹에서는 $60 \geq 80 > 100 \geq 40$ 의 순서로 나타났다($p < .05$).

모든 무릎관절 각도에서 태권도 선수 그룹(G1)이 일반인 그룹(G2)보다 더 큰 토크를 발현하였다(Figure 3).

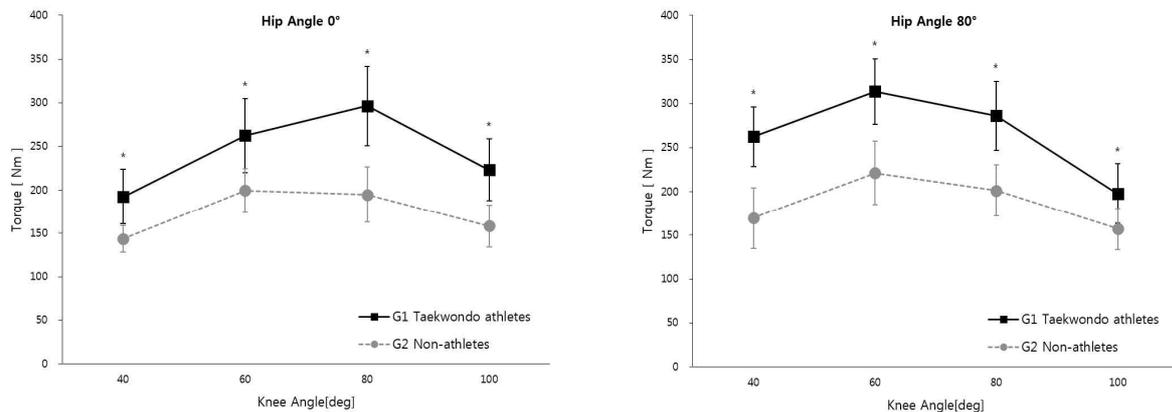


Figure 3. Maximum isometric knee extension torque at systematically different knee-hip joint angle combinations(* $p < .05$)

2. 최대 등척성 무릎신전 토크 및 발현각도

최대 무릎신전 토크 발현각도에서 그룹과 엉덩관절 각도 요인 간에 유의한 상호작용이 관찰되어($p < .05$), 각각의 엉덩관절 각도에서 그룹에 따른 차이를 알아보았다. 엉덩관절이 80°

일 때 태권도 선수 그룹(G1)의 최적 무릎 각도는 $62.33 \pm 5.71^\circ$, 일반인 그룹(G2)의 최적 무릎 각도는 $62.30 \pm 4.67^\circ$ 로 유의한 차이를 보이지 않았다. 엉덩관절이 0°일 때 태권도 선수그룹의 최적 무릎 각도는 $78.47 \pm 5.14^\circ$, 일반인 그룹의 최적 무릎 각도는 $67.54 \pm 5.77^\circ$ 로 유의한 차이를 나타냈다. 엉덩관절 0°에서 태권도 선수 그룹이 일반인 그룹보다 더 큰 최적 무릎 각

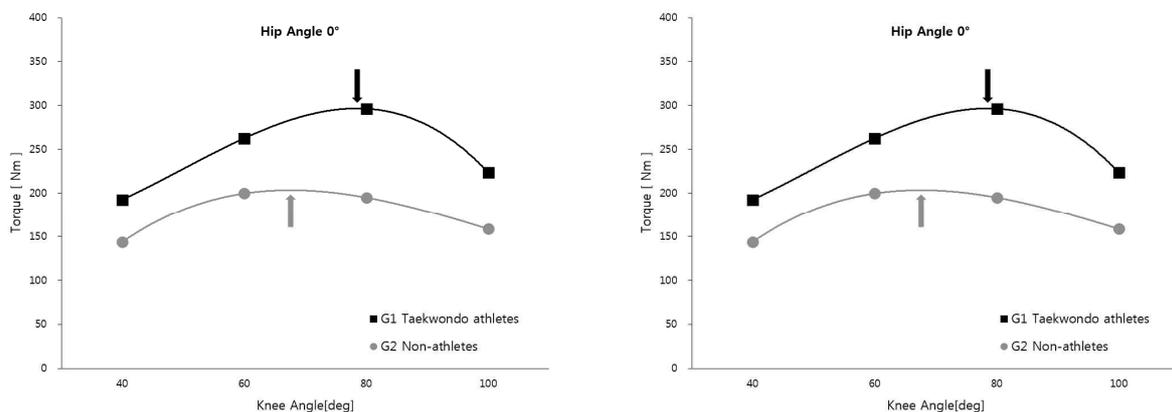


Figure 4. The fitted knee extension torque-angle relationship with the estimated optimum knee joint angle(* $p < .05$)

Table 1. The estimated optimum knee joint angle for the isometric knee extension torque-joint angle relationship(G1: Taekwondo athletes, G2: Non-athletes) (unit: deg)

Hip Angle	G1	G2	p
80°	62.33±5.71	62.30±4.67	.989
0°	78.47±5.14	67.54±5.77	.000*

(*p<.05)

도를 나타내었다(Table 1, Figure 4, Figure 5).

최대 토크는 그룹 및 엉덩관절 각도간의 유의한 상호작용이 관찰되지 않았으며, 엉덩관절 각도에 따른 두 그룹의 유의

한 차이를 확인하였다(p<.05).

3. 등척성 무릎신전 근활성도

태권도 선수 그룹(G1)과 일반인 그룹(G2)의 가측넓은근(VL), 안쪽넓은근(VM) 및 넓다리곧은근(RF)의 활성도는 엉덩관절 80°에서 무릎관절 60°의 MVIC 근전도를 기준으로 나머지 각도에 대하여 %MVIC로 정규화(normalization)하였다.

모든 무릎관절 각도에서 태권도 선수 그룹(G1)과 일반인 그룹(G2)간 가측넓은근(VL), 안쪽넓은근(VM) 및 넓다리곧은근(RF) 활성도의 유의한 차이는 나타나지 않았다(Table 2).

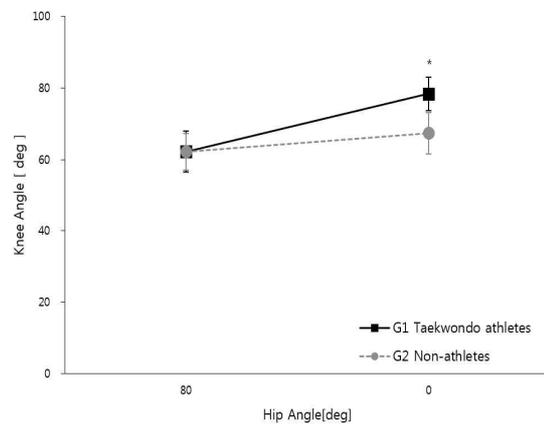
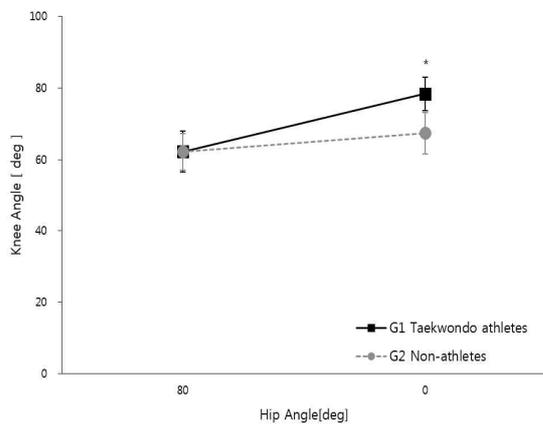


Figure 5. The estimated maximum torque and optimum knee joint angle for the isometric knee extension torque-joint angle relationship (*p<.05)

Table 2. Normalized RMS of EMG of the vastus lateralis and medialis and rectus femoris

(unit: %MVIC)

Hip Angle	Knee Angle	VL			VM			RF		
		G1	G2	p	G1	G2	p	G1	G2	p
80°	40°	113.52±38.32	98.10±53.44	.497	123.69±48.92	102.40±45.37	.378	102.57±35.37	112.52±37.15	.593
	60°	109.27±51.47	97.63±67.89	.693	123.68±54.46	97.22±38.18	.287	98.22±38.92	111.95±27.81	.444
	80°	121.49±54.36	121.69±51.83	.996	137.34±47.35	113.59±46.01	.320	97.65±27.99	106.58±29.93	.549
	100°	127.41±63.76	137.03±62.45	.843	156.32±66.13	131.47±57.74	.435	95.27±20.88	107.02±32.16	.390
0°	40°	90.43±34.45	95.30±65.13	.843	101.99±52.70	103.80±57.77	.947	99.23±25.28	97.64±22.90	.899
	60°	91.05±37.84	90.71±56.65	.989	98.25±40.58	102.99±58.24	.845	93.55±34.85	98.55±27.40	.760
	80°	103.29±45.98	89.95±52.34	.647	130.20±45.41	85.55±43.39	.060	94.10±32.85	77.89±21.91	.281
	100°	104.85±46.50	104.66±60.90	.995	128.79±43.01	102.26±54.82	.280	90.82±33.35	85.15±31.77	.734

IV. 논 의

본 연구는 전문적인 훈련을 받아온 태권도 선수와 일반인의 무릎신전 근력과 최대근력을 발휘할 수 있는 근육의 길이에 차이가 있는지를 알아보기 위하여 두 엉덩관절(80°와 0°)에서 무릎신전근 토크-각도 관계(torque-angle relationship)를 측정 분석하였다. 무릎신전근의 길이 차이를 체계적으로 유도하기 위하여 태권도 선수와 일반인의 엉덩관절 80°, 0°와 무릎관절 40°, 60°, 80°, 100°의 각도별 등척성 무릎신전 근력과 근활성도를 측정하였으며, 그 결과 근육의 활성도에 따른 영향 없이 태권도 선수와 일반인의 무릎신전 근력과 최대근력을 발휘할 수 있는 근육의 길이에서 유의한 차이가 있음을 확인하였다.

이러한 태권도 선수 그룹과 일반인 그룹의 차이는 엉덩관절이 과신전된 상태에서 파워 발현이 요구되는 발차기 기술을 고려할 때 태권도 선수들의 장기간 고강도 발차기 훈련에 기인하는 것으로 생각해볼 수 있다. 태권도 기본 발차기 기술 중 돌려차기 기술을 예로 들면 태권도에서 가장 많이 사용하는 기본적인 발차기 기술로서 충격력과 속도 면에서 가장 효율적이다. 태권도 경기에서도 승패를 결정하는 주요한 특점 요인으로 태권도 선수들도 경기에서 가장 많이 사용하는 기술이기에 태권도 종목의 주된 훈련 자세이며, 주된 근력 발현 자세로 볼 수 있다. 공격발이 지면에서 떨어지는 순간부터 공격발의 무릎이 최대 신전되기까지의 반복적인 무릎관절 굴곡 운동과 신전 운동이 태권도 선수 그룹과 일반인 그룹의 무릎신전 근력 차이를 유발하는 것으로 추론할 수 있다.

또한 태권도 선수 그룹은 일반인 그룹보다 무릎신전근의 길이가 긴 길이에서 최대근력을 발휘하기에 적합한 근수축 특성을 보이는데, 반복적인 신장성 수축이 포함된 운동을 수행하였을 경우 최대근력이 발현되는 길이의 변화를 유발한다는 Morgan & Allen (1999), Lee et al. (2010)의 연구결과와 부합한다. 돌려차기 시 차는 다리의 역학적 에너지는 순차적으로 엉덩관절, 대퇴, 하퇴, 발로 이어지는데, 허리의 회전과 엉덩관절의 굴곡은 동작 초기에 힘을 발생시키는 중요한 역할을 한다. 허리의 회전이 이루어지는 동작 초기에 회전 관성에 의한 무릎신전근의 반복적인 신장성 수축 운동은 무릎신전근의 미세 근손상을 유발하여 태권도 선수 그룹이 일반인 그룹보다 무릎신전근의 길이가 긴 길이에서 최대근력을 발휘하기에 적합한 근수축 특성을 보이는 것으로 추론할 수 있다.

이와 같이 본 연구는 근육의 힘-길이 관계(force-length relations)를 바탕으로 토크-각도 관계를 분석하여 전문적인 훈련을 받아온 태권도 선수와 일반인의 무릎신전 근력과 최대근력을 발휘할 수 있는 근육의 길이에 차이가 있는지를 알아보

았다. 그러나 엉덩관절과 무릎관절의 각도 변화를 통하여 무릎신전근의 길이변화를 추정하였으므로 더 정확한 무릎신전근의 힘-길이 관계를 알아보기 위한 후속 연구가 필요하겠다. 더불어 운동선수와 일반인 간에 나타나는 근육의 생체역학적 특성 차이에 대한 규명 연구를 통해 선수 선발 및 트레이닝 방법에 대한 정보 축적이 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 장기간 전문적인 훈련을 받아온 태권도 선수와 일반인의 무릎신전 근력과 최대근력을 발휘할 수 있는 근육의 길이에 차이가 있는지를 알아보기 위하여 무릎신전근 토크-각도 관계(torque-angle relationship)를 분석해 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 엉덩관절 80°에서 태권도 선수 그룹의 최대토크는 313.61±36.79 Nm, 일반인 그룹의 최대토크는 221.43±35.92 Nm로 나타났다. 엉덩관절 0°에서 태권도 선수 그룹의 최대토크는 296.29±45.13 Nm, 일반인 그룹의 최대토크는 199.58±25.23 Nm로 나타났다. 모든 무릎관절 각도에서 태권도 선수 그룹이 일반인 그룹보다 더 큰 토크를 발현하였다.

둘째, 엉덩관절 80°에서 태권도 선수 그룹의 최대토크 발현 각도는 무릎관절 62.33±5.71°, 일반인 그룹의 최대토크 발현 각도는 무릎관절 62.30±4.67°로 나타났다. 엉덩관절 0°에서 태권도 선수 그룹의 최대토크 발현 각도는 무릎관절 78.47±5.14°, 일반인 그룹의 최대토크 발현 각도는 무릎관절 67.54±5.77°로 나타났다. 엉덩관절 0°에서 태권도 선수 그룹이 일반인 그룹보다 더 큰 최적 무릎 각도를 나타내었다.

셋째, 엉덩관절 80°에서 태권도 선수 그룹과 일반인 그룹의 무릎신전 토크-각도 관계 모양에 차이는 나타나지 않았다. 엉덩관절 0°에서 태권도 선수 그룹은 무릎신전근의 길이가 더 긴 각도에서 최대근력을 발현하고, 일반인 그룹은 무릎신전근의 길이가 더 짧은 각도에서 최대근력을 발현하는 것으로 나타났다.

넷째, 엉덩관절 80°, 0°의 모든 무릎각도에서 태권도 선수 그룹과 일반인 그룹 간 가측넓은근(VL), 안쪽넓은근(VM) 및 넓다리곧은근(RF) 활성도의 통계적 유의차는 나타나지 않았다.

이러한 결과들을 종합해 보면 장기간 전문적인 태권도 훈련은 무릎신전 근력과 최대근력을 발휘할 수 있는 근육의 길이에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 추론할 수 있다. 본 연구의 결과는 하지 근력 향상에 많은 비중을 두고 있는 태권도 선수들의 경기력 향상과 근육의 적응특성에 대한 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Brughelli, M., Cronin, J., & Nosaka, K. (2010). Muscle architecture and optimum angle of the knee flexors and extensors: a comparison between cyclists and australian rules football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 717-721.
- Chen, T. C., Nosaka, K., & Sacco, P. (2007). Intensity of eccentric exercise, shift of optimum angle and the magnitude of repeated bout effect. *Journal of Applied Physiology*, 102(3), 992-999.
- Gordon, A. M., Huxley, A. F., & Julian, F. J. (1966). The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *The Journal of Physiology*, 184(1), 170-192.
- Herzog, W., Guimaraes, A. C., Anton, M. G., & Garter-Erdman, K. A. (1991). Moment-length relations of rectus femoris muscles of speed skaters/cyclists and runner. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23(11), 1289-1296.
- Herzog, W. (2009). The biomechanics of muscle contraction: optimizing sport performance. *Sport Ortho Trauma*, 25(4), 286-293.
- Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London*, 126(843), 136-195.
- Katz, B. K. (1939). The relationship between force and speed in muscular contraction. *The Journal of Physiology*, 96(1), 45-64.
- Kulig, K., Andrews, J. G., & Hay, J. G. (1984). *Human strength curves. Exercise and Sport Sciences Reviews*, 12(1), 417-466.
- Lee, H. D., Kim, S. J., Lee, D. Y., Kurihara, T., Lee, Y. S., & Kawakami, Y. (2010). Shift in optimal joint angle of the ankle dorsiflexors following eccentric exercise. *Experimental Mechanics*, 50(5), 661-666.
- Marginson, V., & Eston, R. (2001). The relationship between torque and joint angle during knee extension in boys and men. *Journal of Sports Sciences*, 19(11), 875-880.
- Morgan, D. L., & Allen, D. G. (1999). Early events in stretch-induced muscle damage. *Journal of Applied Physiology*, 87(6), 2007-2015.
- Savelberg, H. H., & Meijer, K. (2003). Contribution of mono and biarticular muscles to extending knee joint moments in runners and cyclists. *Journal of Applied Physiology*, 94(6), 2241-2248.
- Ullrich, B., & Brüeggemann, G. P. (2008). Moment-knee angle relation in well trained athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 29(8), 639-645.
- Ullrich, B., Kleinöder, H., & Brüggemann, G. P. (2009). Moment-angle relations after specific exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 30(4), 293-301.