

서킷 웨이트트레이닝이 노인들의 등속성 근력과 신체구성에 미치는 영향

원광보건대학 물리치료과

장정훈

동신대학교 운동처방학과

정동혁

Effects of Circuit Weight Training on Isokinetic Muscle Strength and Body Composition in elderly

Chang, Ghung-Hoon

Department of Physical Therapy, Wonkwang Health Science College

Jeong, Dong-Hyuk

Department of Exercise Prescription, DongShin University

<ABSTRACT>

The purpose of this study was to investigate the effects of circuit weight training(CWT) on isokinetic muscle strength and body composition in elderly. The subjects who engaged in this experiment exercised at 40% of 1-RM, 12 repetitions, followed by 15 sec as the subject moved to the each break training program which was consist of the circuit of 10 stations performed on 3 set a day, circuits 3 days a week during 10 weeks. The assessment of isokinetic factor was in concentric flexors and extensors of right and left knee joint. Tests were performed on the Cybex 770 Isokinetic Dynamometer and body composition were estimated the three parts of chest, abdomen and anterior thigh by using skinfold caliper, calculated the average and followed by Seri and Brozek way. Statistical analysis were performed using analysis of variance paired t-test, accepting level for all significant was above $\alpha=.05$ and $\alpha=.01$.

Following is as a result of 10 weeks circuit weight training.

1. At the 60. /sec, the right and left knee isokinetic concentric flexors and extensors peak torque increased significantly($p<.01$).
2. At the 180. /sec, the right and left knee isokinetic concentric flexors and extensors peak torque increased significantly($p<.01$).
3. At the 60. /sec, the right and left knee isokenetic concentric flexors and extensors average power increased significantly($p<.05$, $p<.01$) and at the 180. /sec, the right extensors didn't show any statistical significant.
4. At the 60. /sec, the right and left knee Isokinetic concentric flexors and extensors total work increased significantly($p<.05$, $p<.01$) but at the 180. /sec right concentric flexors didn't show any statistical significant.
5. The body composition changed significantly($p<.01$).

These results suggest that 10 weeks circuit weight training increases the peak torque, average power, total work significantly and decreases the %body fat significantly.

I. 서 론

서킷 웨이트트레이닝(circuit weight training: CWT)은 웨이트트레이닝에 서킷트레이닝의 개념을 합쳐서 만든 트레이닝이며(Dunstan 등, 1998; Haltom 등, 1999; Kaikkonen 등, 2000; Williams와 Cash, 2001), 서킷트레이닝은 Morgan과Adamson(1953)이 종합적인 체력육성을 목적으로 연구하여, 근육계통과 호흡순환계통 강화를 위하여 만든 트레이닝이다. Corrigan(1978)은 이 트레이닝이 근육과 심폐혈관계의 기능을 발달시키는 전면적인 트레이닝이라고 정의하였다(채홍원, 1997).

Powell 등(1984)은 서킷 웨이트트레이닝은 기초체력 요소를 발달시키고, 훈련방법을 개별화 할 수 있으므로 경기력 향상을 위한 적당한 체력훈련이라고 하였고, Wilmore 등(1978)은 남녀 피험자 30명을 연구 대상으로 10주간 주당 3회 하루 3번 서킷 웨이트트레이닝을 실시한 결과 근력과 체지방 비중이 크게 증가하였다고 보고하였으며, Allen 등(1976)은 서킷 웨이트트레이닝은 근력뿐만 아니라, 심폐기능도 향상시키는 데 중요한 역할을 한다고 보고하였다. 또한 Gettman 등(1978)은 피험자 세 집단을 무선 표집하여 12주간 주3회 트레이닝시킨 결과, 서킷 웨이트트레이닝을 실시한 여성이 24%의 근력증가와 3.2%의 체지방 감소를 보였다고 보고하였다.

한편 근력강화와 같이 심폐기능의 변화도 훈련의 정도와 트레이닝의 형태 등에 따라 차이가 있다고 알려져 있는데, Katch 등(1980)과 Kimura 등(1981)은 서킷 웨이트트레이닝을 통하여 비단련자에게 약 15% 정도의 유산소 능력이 향상되었다고 하였고, Gettman과 Pollock(1981)은 서킷 웨이트트레이닝 후 최대산소섭취량(VO_{2max})이 남자 5%, 여자 8% 증가하였다고 하였으며, Ward(1983)는 인터벌-서킷 웨이트트레이닝이 심폐기능에 있어서 남자 8%, 여자 6%의 증가가 있었다고 하였고, Powell(1983)도 서킷 웨이트트레이닝은 최대산소섭취량에서 유의한 차이를 나타내었다고 보고하였다.

국내연구를 살펴보면, 고인태(1994)는 웨이트트레이닝과 서킷 웨이트트레이닝이 근력과 운동수행능력에 유의한 영향을 미친다고 하였으며, 김상철(1997)은 서킷 웨이트트레이닝이 갱년기 여성들의 최대산소섭취량과 폐활량 및 체지방률과 배근력, 악력 등의 건강관련 체력에 유의한 영향을 미친다고 하였고, 황남일(1998)은 비만남자 중학생을 대상으로 한 연구에서 서킷 트레이닝이 혈청 콜레스테롤 및 신체구성과 체격, 체력에 영향을 미친다고 하였다.

한편 등속성 근력에 대한 연구는 Hislop과 Perrine(1967)에 의하여 근력을 가장 객관적이고 정확하게 평가할 수 있다는 사실로서 등속성 운동의 개념이 소개되었고, Thistle 등(1975)에 의해 등속성 운동이 등장성이나 등척성 운동보다 뛰어난 근력강화의 효과를 볼 수 있음이 입증된 이래 등속성 운동이 여러 분야에서 많이 이용되고 있다(Beckham과 Earnest, 2000; Butler 등, 1992; DeGroot 등, 1998; Jacobs 등, 2002).

Moffroid와 Whipple(1970)은 등속성 운동은 모든 관절가동범위 내에서 최대의 수축을 발휘할 수 있는 운동이며, 특수한 장치를 사용하여 실시되는데, 이런 기기들은 수축속도를 일정하게 정한 후, 저항은 가동범위 중 각 위치에서 나타나는 수축력에 맞춰 변할 수 있게 한 전기역학적 장치를 이용한 운동기구라고 하였다. Thistle 등(1975)은 등속성 운동은 근수축으로 인한 길이의 변화에 따른 저항의 변화에 병진하여 부하를 변화시키는 운동이기 때문에 등장성 운동이나 등척성 운동보다 근력강화의 효과가 우월하다고 하였으며, Moffroid 등(1969)은 등척성, 등장성, 등속성 운동과의 객관적인 비교를 통해서 등속성 운동이 모든 관절각도에서 최고의 부하를 주면서도 안전하게 이용할 수 있는 효과적인 운동방법일 뿐만 아니라 근력을 평가할 때 근육의 힘과 지구력 및 관절운동 각도를 객관적이며 정확하게 측정할 수 있는 방법이라고 하였다.

Devita 등(1984)과 Kowalk 등(1997)은 등속성 운동과 일부 저항운동을 통해 근의 대사적 반응과 기능적 변화에 대해 긍정적인 보고를 하였으며, 박래준과 강화순(1998)은 전기자극과 치료적 운동에 의한 슬관절 신전근의 근력증가 효과연구에서 전기자극, 등장성 운동, 등척성 운동을 각각 실시하여 등속성 운동

기구를 이용한 근력측정값을 분석하고, 근력증가에 전기자극이 운동방법과 유사한 근력을 보였으며 지구력은 다른 군에서는 감소를 보였는데 비하여 전기자극군에서는 약간 증가의 경향을 보였다고 보고하였다. 또한 김재호(2000)는 알파인스키 경기력 수준별 슬관절의 등속성 근기능 발달 특성에 관한 연구에서 국가대표 선수들이 일반인들에 비해 최대근력, 평균파워, 총운동량 등이 유의하게 높게 나타났다고 하였고, 원광희 등(2001)은 웨이트트레이닝 적용 후 슬관절 근기능에 있어서 등속성 근력이 증가했다고 보고했으며, Kannus와 Tarvinen(1991)은 전방십자인대 손상으로 인한 재활 트레이닝시 8주간 등속성 운동을 통한 25회 굴신 운동을 반복한 결과 각속도가 증속인 상태에서 근력이나 근파워가 향상된 것으로 나타났다고 보고하면서 등속성 운동시 속도에 대한 선택의 중요성을 주장한 바 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 서킷 웨이트트레이닝이나 등속성 운동에 대한 국내외의 연구는 꾸준히 이루어지고 있으나, 노인들을 피험자로 실시한 서킷 웨이트트레이닝의 등속성 근력과의 관계에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 그러므로 본 연구는 노인들을 대상으로 10주간의 서킷 웨이트트레이닝을 실시하고 등속성 근력과 신체구성에 미치는 영향을 규명하여, 노인에게 적합한 서킷 웨이트트레이닝 방법에 관한 기초자료를 제공하고자 하는데 연구의 목적이 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상은 본 연구의 목적을 이해하고 스스로 본 실험에 참가를 희망하며, 동의서를 작성한 건강한 노인 7명을 대상으로 하였으며, 신체적 특성은 <표 1>과 같다.

<표 1> 대상자들의 신체적 특성 (N = 7)

	실험군
연령(yr)	65±0.39
신장(cm)	160.12±2.06
체중(Kg)	60.45±2.67
%지방(%)	29.18±2.33
%LBM(%)	70.81±2.17

Values are Mean±S.D.

2. 측정항목 및 방법

1) 체격 측정 및 신체구성 측정

체격측정은 신장과 체중을 측정하였으며, 신장은 신장계(T.K.K. 11252, Japan)를 사용하여 0.5cm단위로 측정하고, 체중은 체중계(CAS, Korea)을 사용하여 0.1kg단위로 측정하였다. 피험자들의 신체구성은 피지방후 방법으로 피지방계(Skinfold Caliper; Skindex, U.S.A.)을 사용하여 대퇴전면(anterior thigh), 복부(abdomen) 및 가슴(chest)의 3개 부위를 0.1mm 단위로 각 3회씩 측정하여 평균치를 산출하고, 일반적으로 많이 이용되는 Jackson과 Pollock(1980)의 공식에 의하여 신체밀도(Body Density)를 구하고, 체지방률(%fat)은 Seri(1961)와 Brozek(1963)의 방정식을 대입하여(정일규, 1998; Tahara 등, 2002) 산출하였다.

신체밀도(Body Density)

$$\text{남} = 1.1093800 - 0.0008267x + 0.00000016x^2 - 0.0002574y$$

(x: 세 부위의 측정값을 합한 값 y: 대상자 나이)

$$\text{체지방률}(\%fat) = (4.570 / B.D. - 4.142) \times 100$$

체지방량(Fat kg) = %fat / 100 × 체중

체지방률(%LBM) = 100 - 체지방률

체지방량(LBM kg) = 체중 - 체지방량

2) 등속성 근력 측정방법

슬관절의 굴곡근력과 신전근력에 대한 등속성 근력 검사는 Cybex 770(CYBEX Division of LUMEX, Inc., Ronkonkoma, New York, U.S.A. 1996)을 이용하였다. 검사를 위해 피험자에게 충분한 스트레칭을 시켰으며 최대의 힘을 끌어내기 위해 피험자를 독려했다. 측정방법은 등을 90도로 곧게 한 상태에서 Cybex 의자에 앉게 한 후 의자에 연결된 strap으로 흉부(chest), 대퇴(thigh), 발목(ankle)부위를 고정시켜 슬관절의 근력만 발휘하도록 하였다. 다음으로 슬관절의 중심점이 근력계(Dynamometer)의 회전축과 일치하도록 테이블과 등받이를 이용하여 조정한 뒤 슬개부위에서 족관절의 거골(talus)까지 길이의 조절은 신전과 굴곡의 관절가동범위를 고려하여 고정시켰다. 그리고 측정의 목적과 기구의 작동원리 및 측정 순서를 피험자에게 설명하고 기구의 안정성을 설명하여, 피험자로 하여금 안심하고 최대능력을 발휘하도록 하였다. 그리고 측정할 때 먼저 측정하는 하지와 레버암(lever arm)의 무게가 근력에 미치는 영향을 배제하기 위하여 gravity effect torque(GET)를 측정하여 내장된 컴퓨터에 보정하였다.

피험자를 UBXT에 단단히 고정시킨 후 각속도 60°/sec 와 180°/sec에서 각각 3회의 연습을 실시한 후 5회의 최대능력검사를 실시하였으며, 각 검사마다 3분간의 휴식을 실시하였다. 검사항목은 최대근력(PT: peak torque), 평균과워(AP; average power), 총운동량(TW; total work)을 검사하였으며, 결과분석은 Cybex 770에 내장된 Computer(IBM DX2)에 의해 분석하였다.

3. 서킷 웨이트트레이닝 방법

서킷 웨이트트레이닝방법은 벤치 프레스(Bench Press), 벤트니 시업(Bent-knee sit-ups), 니 익스텐션(Knee (leg)extension), 랫 풀다운(Lat pulldown), 백 하이퍼익스텐션(Back hyperextension), 스탠딩 프레스(Standing press), 데드 리프트(Dead lift), 암 컬(Arm curl), 레그 컬(Leg curl), 업라이트 로우잉(Upright rowing) 등의 10종목으로 하였다.

운동강도(exercise intensity)는 1RM(1RM = $W_0 + W_1$, $W_1 = W_0 \times 0.0025 \times R$, $W_0 = 7 \sim 8$ 회 반복운동이 가능한 중량, R= 반복횟수)(채홍원, 1997)부하의 40%로 12회 3세트로 운동을 실시하였다. 2주 간격으로 최대부하를 측정하여 부하를 증가시켰으며, 1세트 순환시간은 7 1/2분, 총 22 1/2분이 소요되었고, 준비운동과 정리운동을 합하여 총 운동시간은 50분이었다. 운동빈도는 주 3일, 운동기간은 10주로 하였다.

4. 자료처리 방법

본 연구의 자료처리와 분석은 PC+/SAS(statistical analysis system) package를 이용하였다. 10주간의 서킷 웨이트트레이닝 전·후의 결과치에 대한 평균과 편차를 구하고, 차이는 paired t-test를 실시하였으며, 차이검정은 유의수준 $p < .05$ 와 $p < .01$ 에서 검정하였다.

III. 연구 결과

1. 등속성 최대근력의 검사성적

최대근력(peak torque)은 슬관절 굴곡근과 신전근의 5회 반복 운동동안 구심성 수축에 의해 생산된 근력치 중 최대값을 말하며 단위는 Nm(Newton meter)이다.

최대근력은 측정변인 중에서 가장 정확하며 높은 재현성을 갖고 있어 모든 등속성 수축력은 표준화되

고 참고할 만한 자료로 활용될 수 있다(Cress와 Meyer, 2003; Graham과 Scott, 2003; Kannus, 1994).

<표 2>는 슬관절의 등속성 최대근력의 검사 성적을 보여주고 있다. 제시된 바와 같이 각속도 60. /sec에서 트레이닝 전·후 구심성 최대굴곡 근력은 각각 오른쪽과 왼쪽이 각각 평균 5.17Nm(8.10%), 8.98Nm(14.33%)로 유의하게 증가($p<.01$)하였고, 최대신전 근력은 오른쪽이 평균 13.48Nm(11.26%), 왼쪽이 10.31Nm(8.11%) 유의하게 증가($p<.05$ 와 $p<.01$)하였다.

각속도 180. /sec에서 트레이닝 전·후 구심성 최대굴곡 근력의 성적은 오른쪽이 평균5.97Nm(12.41%), 왼쪽이 평균 7.76Nm(20.32%)증가하였고, 최대신전 근력은 오른쪽이 평균 7.42Nm(11.39%), 왼쪽이 평균 6.23Nm(8.92%)로 유의한 증가($p<.01$)를 보였다.

<표 2> 슬관절 구심성 굴곡근과 신전근의 등속성 최대근력 검사성적의 비교

변인	60. /sec					180. /sec				
	before	after	diff	%diff	T-value	before	after	diff	%diff	T-value
오른쪽										
굴곡근	63.84±8.90	69.01±7.87	5.17	8.10	0.004 **	48.09±11.13	54.06±7.92	5.97	12.41	0.015 *
신전근	119.68±21.43	133.16±17.29	13.48	11.26	0.017 *	65.17±2.34	72.59±2.59	7.42	11.39	0.004 **
왼쪽										
굴곡근	62.68±6.63	71.66±7.46	8.98	14.33	0.003 **	38.18±6.09	45.94±5.87	7.76	20.32	0.004 **
신전근	127.19±15.03	137.50±15.17	10.31	8.11	0.004 **	69.81±4.50	76.04±3.61	6.23	8.92	0.003 **

Values are Mean ± S.D., * $p<.05$, ** $p<.01$

2. 등속성 평균파워의 검사 성적

평균파워(average power)는 일량을 실제 근수축 시간으로 나누어 단위 시간당의 일량을 구한 것 중 최고의 수치를 나타낸 반복시기의 값으로, 등속성 근력 평가에 있어서 근파워 측정에 매우 유용한 지표로 인정되고 있으며 일반적으로 단위는 W(watt)를 사용한다. <표 3>은 슬관절의 등속성 평균파워의 검사성적을 보여주고 있다. 제시된 바와 같이 각속도 60. /sec에서 트레이닝 전·후 구심성 최대굴곡 평균파워는 오른쪽이 평균 5.58W(13.12%), 왼쪽이 평균 6.57W(15.65%)로 유의한 증가($p<.05$)를 보였고, 최대신전 평균파워는 오른쪽이 평균 2.97W(5.05%), 왼쪽이 평균 4.25W(6.27%)로 유의한 증가($p<.01$)를 보였다.

각속도 180. /sec에서 트레이닝 전·후 구심성 최대굴곡 평균파워는 오른쪽이 8.82W(11.35%)증가하였으나 통계적 유의차가 없었고, 왼쪽이 평균 9.84W(14.39%)로 통계적으로 유의한 증가($p<.01$)를 보였다. 최대신전 평균파워는 오른쪽이 평균 9.33W(9.74%), 왼쪽이 평균 8.97W(9.11%)로 나타나 통계적으로 유의한 증가($p<.05$ 와 $p<.01$)를 보였다.

<표 3> 슬관절 구심성 굴곡근과 신전근의 등속성 평균파워 검사성적 비교

변인	60. /sec					180. /sec				
	before	after	diff	%diff	T-value	before	after	diff	%diff	T-value
오른쪽										
굴곡근	42.54±7.44	48.12±6.10	5.58	13.12	0.031 *	77.69±15.01	86.51±5.76	8.82	11.35	0.118 ns
신전근	58.78±6.81	61.75±5.74	2.97	5.05	0.011 **	95.80±13.02	105.13±9.81	9.33	9.74	0.016 *
왼쪽										
굴곡근	41.98±8.37	48.55±7.49	6.57	15.65	0.010 *	68.39±17.21	78.23±15.99	9.84	14.39	0.001 **
신전근	67.79±4.53	72.04±4.34	4.25	6.27	0.003 **	98.47±7.44	107.44±5.68	8.97	9.11	0.007 **

Values are mean±S.D., * $p<.05$, ** $p<.01$.

3. 등속성 총운동량 검사 성적

총운동량은 5회의 슬관절 굴곡과 신전을 통해 얻은 일련의 연속적인 최대근력곡선에 나타난 총면적의 평균이며, 단위는 J(Joule)을 사용하고 근 일의 역학적 에너지를 나타낸다.

<표 4>는 슬관절의 등속성 총운동량을 보여주고 있다. 제시된 바와 같이 각속도 60. /sec에서 트레이닝 전·후 구심성 최대굴곡 총운동량 성적은 오른쪽이 12.32J(13.54%), 왼쪽이 11.69J(12.85%)로 유의하게 증가($p<.05$)하였고, 최대신전 총운동량은 오른쪽이 13.24J(8.54%), 왼쪽이 10.34J(6.31%)로 통계적으로 유의한 증가($p<.01$)를 보였다.

각속도 180. /sec에서는 트레이닝 전·후 구심성 최대굴곡 총운동량 성적은 오른쪽 9.95J(14.21%)로 증가는 하였으나 통계적 유의차가 없었고, 왼쪽의 경우는 8.14J(15.01%)의 유의한 증가($p<.01$)를 보였다. 최대신전 총운동량은 오른쪽 6.91J(7.21%), 왼쪽이 8.94J(8.92%)로 나타나 통계적으로 유의한 증가($p<.05$ 와 $p<.01$)를 보였다.

<표 4> 슬관절 구심성 굴곡근과 신전근의 등속성 총운동량 검사성적 비교

변인	60. /sec					180. /sec				
	before	after	diff	%diff	T-value	before	after	diff	%diff	T-value
오른쪽										
굴곡근	91.01±15.47	103.33±8.46	12.32	13.54	0.044 *	70.04±17.78	79.99±10.21	9.95	14.21	0.061 ns
신전근	154.99±24.87	168.23±19.91	13.24	8.54	0.005 **	95.81±6.52	102.72±6.65	6.91	7.21	0.014 *
왼쪽										
굴곡근	90.97±19.18	102.66±14.21	11.69	12.85	0.014 *	54.23±12.43	62.37±11.48	8.14	15.01	0.004 **
신전근	163.83±21.55	174.17±20.89	10.34	6.31	0.002 **	100.17±5.38	109.11±6.58	8.94	8.92	0.005 **

Values are mean±S.D., * $p<.05$, ** $p<.01$.

4. 신체구성의 검사 성적

<표 5>는 신체구성의 검사성적을 보여 주고 있다. 제시된 바와 같이 10주간의 서킷 웨이트트레이닝 실시 결과 신체구성의 변화에 있어서 체중은 트레이닝 진후에 평균 60.45±2.67kg에서 57.36±2.15kg으로 평균 3.09kg(5.11%)의 유의한 감소($p<.01$)를 보였고, 체지방률은 평균 29.18%에서 25.61%로 평균 3.57% 유의하게 감소($p<.01$)했으며, 체지방률은 평균 70.81%에서 74.38%로 유의한 증가($p<.01$)를 보였다.

<표 5> 신체구성 변화성적 비교

변인	before	after	diff	%diff	T-value
체중(kg)	60.45±2.67	57.36±2.15	-3.09	-5.11	0.000 **
%지방(%)	29.18±2.33	25.61±1.47	-3.57	-12.23	0.001 **
%LBM(%)	70.81±2.17	74.38±1.52	3.57	5.04	0.001 **

Values are Mean±S.D. LBM = Lean Body Mass ** $p<.01$

IV. 논 의

서킷 웨이트트레이닝(CWT)은 웨이트트레이닝에 서킷트레이닝의 개념을 합하여 만든 트레이닝으로 (Garbutt 등, 1994; Jurimae 등, 2000; Maiorana 등, 2000; Marx 등, 2001; Norvell과 Belles, 1993; Verrill 과 Ribisl, 1996; Williams와 Cash, 2001), 1953년에 Morgan과 Adamson에 의해 국소적 운동을 주체로 근력, 근지구력, 호흡순환기능, 전신지구력 등 전면적 체력육성 프로그램으로 개발되어 꾸준히 연구가 이루어지고 있다(채홍원, 1997).

Baechle과 Groves(1992)는 서킷 웨이트트레이닝은 웨이트트레이닝에 서킷 트레이닝을 합친 운동형태로

유산소능력을 증가시킨다고 하였고, Haennel(1989)은 심폐지구력과 근력 및 근지구력을 개선시키기 위한 운동형태라고 하였다. Gettman(1982)은 12주간 서킷 웨이트트레이닝을 시킨 결과 근력이 15~21% 증가했다고 하였으며, Meissier와 Dill (1985)은 10주간의 서킷 웨이트트레이닝을 시킨 결과 무릎에서 6.6~11.8%, 팔꿈치에서 6.8~13.9%의 근력이 증가하였다고 보고하였고, Cullinen(1999)은 일반 여성 30명을 대상으로 웨이트트레이닝 시킨 결과 신체부위별 근력의 증가와 체지방의 향상을 가져왔다고 하였다. 또한 Katch 등(1980)과 Kimura 등(1981)은 CWT를 통하여 비단련자에게 유산소 능력이 향상되었다고 하였고, Gettman과 Pollock(1981)은 CWT 후 VO_{2max} 가 남자 5%, 여자 8% 증가하였다고 하였으며, Ward(1983)는 인터벌-써킷 웨이트트레이닝이 심폐기능에 있어서 남자 8%, 여자 6%의 증가가 있었다고 하였고, Powell(1983)도 써킷 웨이트트레이닝은 최대산소섭취량에서 유의한 차이를 나타내었다고 보고하였다.

고인태(1994)는 8주간의 웨이트트레이닝과 서킷 웨이트트레이닝의 근력변화를 비교하여 웨이트트레이닝과 써킷 웨이트트레이닝에서 모두 유의하게 증가했다고 하였으며, 김상철(1997)은 서킷 웨이트트레이닝이 갱년기 여성들의 근지구력, 근력, 유연성, 체지방률, 배근력, 악력에 유의한 변화를 주었다고 보고하였다. 그리고 오경택(1999)은 12주간 서킷 웨이트트레이닝을 통한 중년 남성의 건강관련체력에 관한 연구에서 서킷 웨이트트레이닝이 체지방률의 변화에서, 모든 연령대에 운동지속시간에 따른 감소와 근력에 있어 처치 기간별 통계적 차이를 보고하였으며, 여남희와 김은하(2002)는 여대생들을 대상으로 8주간 서킷 웨이트트레이닝 프로그램을 실시하여 등속성 근력과 신체조성에 유의한 변화가 있음을 보고하면서 여성에게 보다 적합한 트레이닝 방법에 관한 기초자료를 제시하였다.

등속성 운동이 근력을 가장 객관적이고 정확하게 평가할 수 있다는 사실은 Hislop과 Perrine(1967)에 의해 그 개념이 소개되었고, Thistle 등(1975)에 의하여 등속성 운동이 등장성이나 등척성 운동보다 뛰어난 근력강화의 효과를 볼 수 있음이 입증된 이래 등속성운동이 근력강화의 목적으로 여러 분야에서 많이 이용되고 있다(Arokoski 등, 2002; Ferri 등, 2003; Hemingway 등, 2003; Kannus 등, 1987; Pincivero 등, 2002). 특히 슬관절 분야에서는 1977년 Costill 등이 슬관절 손상과 슬관절 병변에 이용하기 시작한 이래 여러 연구자에 의해 submaximal isokinetic exercise의 사용이 과학적으로나 임상적으로 적합하다고 증명되어 왔고, 그 후로 슬관절 병변이나 슬관절부 수술 후에 재활을 위해 광범위하게 사용되고 있으며 이에 관한 연구도 많이 이루어지고 있다(Bary와 Dandy, 1989; Doxey, 1987; Gerber, 1989; Meireles 등, 2002; Patel 등, 2003; Yanagawa 등, 2002).

일반적으로 등속성 운동의 개념은 근육이 움직일 때 관절의 전 운동범위(full range of motion)에 걸쳐 근육에 최대의 부하를 줄 수 있는 근육 운동으로 일정한 조건하에서 운동을 실시하고 있는 동안 항상 운동에 동원되는 근육에 최대의 힘이 발휘될 수 있도록 고안된 운동방법이라 할 수 있다. 따라서, 근육의 기능 평가에 있어서 기존의 방법보다 객관성 있고 신뢰성 있는 자료를 제시하고(Fatouros 등, 2002; Lonnie 등, 1991; Pekka와 Markku, 1990; van Meeteren 등, 2002), 고도의 운동수행을 수반하는 선수들의 관절이나 근육손상의 예방과 스포츠 상해자의 재활에 있어서도 매우 효과적으로 활용되고 있다(Alaca 등, 2002; Jansson 등, 2003; Jones 등 1986; O'Shea 등, 2002).

즉 등속성 운동은 등장성 운동이나 등척성 운동과는 다르게 근육의 힘과 지구력 및 관절운동의 범위를 객관적으로 측정할 수 있으며, 근력에 대해 외적 저항을 줌으로써 일정한 운동속도를 유지하게 하며, 등장성 운동에서 볼 수 있는 관성의 영향을 받지 않고 전 관절운동범위에서 최대의 힘을 낼 수 있기 때문에 근골격계 손상에 대한 재활 및 기능평가에 있어서 안전하고 효과적인 방법의 하나로 인정받고 있다. 그리고 등속성 운동검사는 근력뿐만 아니라 근지구력도 측정하고 있으며 동시에 검사를 실시하는 관절의 각도 및 관절운동 가동력의 측정도 가능하여 관절운동의 기능 평가에 매우 유효하다(이윤섭 등, 2001). 뿐만 아니라 측정치를 기록할 수 있기 때문에 근골격계 손상 치료의 회복과정을 평가할 수 있어 그 이용도가 점차 증대되고 있는 추세이다(Beckham과 Earnest, 2000; DeGroot 등, 1998; Inkster 등, 2003;

Jacobs 등, 2001, 2002).

등속성 운동에 의한 근력평가는 작용근의 길이와 단면적, 회전축으로부터의 거리, 검사운동, 반복회수, 검사운동속도 및 환자의 위치에 따라 검사결과가 다르고, 최대근력 측정시 측정자세가 측정치에 많은 영향을 주게 되므로 측정자세를 표준화하거나 측정자세를 명시하는 것이 필요하다(Dvir, 1995).

Hislop과 Perrine(1967)는 등속성, 등장성, 등척성 운동의 3군을 8주간 운동시킨 결과 등속성 운동은 47.2%, 등장성 운동은 28.6%, 등척성 운동은 13.1%의 근력증가를 보였다고 보고했으며, 박상규(1999)는 슬관절 상해나 재건수술환자를 대상으로 등속성 운동시 유의한 근력의 증가와 재활효과를 설명하고 있다. 그리고 Kannus와 Tarvinen(1991)은 전방십자인대 상해로 인한 재활 트레이닝시 비교적 중속 부하속도인 각속도 $120^{\circ}/\text{sec}$ 와 고속 부하속도인 $180^{\circ}/\text{sec}$ 상에서 8주간 등속성 운동을 통한 25회 굴신 운동을 반복한 결과 각속도가 중속인 상태에서 근력이나 파워가 향상된 것으로 나타나 등속성 운동시 속도에 대한 선택의 중요성을 주장한 바 있다. 또한 Wyatt와 Edwards(1981), Davies(1984), Lesmes 등(1983)은 근지구력을 향상시키기 위해서는 근 수축이 빨리 이루어지는 빠른 속도의 등속성 운동을 실행함으로써 운동단위의 동원 능력을 향상시킨다는 입장으로 고속도의 중요성을 강조한 바 있다.

Perrine와 David(1993)에 의하면 운동에 있어 근력은 주로 일정한 무게를 들어올리거나 이동시킬 수 있는 근육의 능력을 의미하는 것이며, 이때 발생하는 근력은 운동속도나 관절의 각도에 따라 변한다고 하였고, 전방십자인대 손상환자를 대상으로 한 등속성 검사를 통해 Devita 등(1984)과 Kowalk 등(1997)은 등속성 운동과 일부 저항운동을 통해 근의 대사적 반응과 기능적 변화에 대해 긍정적인 보고를 했으며, 초기 등속성 운동의 부여 지점에 따라 근력, 근지구력, 근비대 등의 기능의 활성속도가 증가한다고 했다.

김재호(2000)는 알파인스키 경기력 수준별 슬관절의 등속성 근기능 발달 특성에 관한 연구에서 국가대표 선수들이 일반인들에 비해 최대근력, 평균파워, 총운동량 등이 유의하게 높게 나타났다고 하였고, 원광희 등(2001)은 웨이트트레이닝이 외측광근의 형태 및 슬관절 근기능에 미치는 영향에 관한 연구에서 트레이닝후 등속성 근력이 증가했다고 보고하였으며, 채홍원(1999)은 Tubex 탄성저항과 Spring 탄성저항에 대한 연구에서 트레이닝 후 최대근력, 다리 신전 지구력에 유의차를 얻었다고 보고하였다.

Osternig(1986)은 슬관절의 각도는 0° 인 완전 신전 상태에서 굴곡 운동을 실시할 때 최대근력(peak torque)의 발현은 부하속도가 증가될수록 그 발현 각도는 커지는 것으로 변화한다고 하였다. 따라서, 슬관절을 중심으로 등속성 근수축 운동을 신전 및 굴곡했을 때 각 동작에서 후반에 최대근력이 나타난다고 할 수 있다.

대부분의 선행연구에서 구심성 등속성 운동시 최대근력은 각속도가 증가하면 감소하는 것으로 알려져 있는데(Cress 등, 1992) 이것은 운동속도의 변화에 따른 운동단위의 신경학적 활동양상이 서로 다르기 때문(Milner-Brown 등, 1975)이라고 주장하는 것과 근섬유의 actin filament와 myosin filament가 cross-bridge 결합체를 형성하기 위한 시간이 불충분하기 때문(Davis 등, 1981)이라는 주장이 있다. 본 연구에서도 각속도가 증가함에 따라 최대근력은 굴곡근과 신전근에서 모두 감소하여 선행연구와 일치하였다. 또한 총운동량(total work)도 각속도가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으나 평균파워(average power)와 단위체중 당 평균파워는 각속도의 증가와 더불어 증가하는 경향을 나타내었다.

본 연구에서는 10주간 서킷 웨이트트레이닝 결과, 피험자의 오른쪽·왼쪽 무릎 굴곡근과 신전근에 있어서 최대근력, 평균파워, 총운동량 등에서 통계적으로 비교적 유의한 차이를 얻었고, 위 결과는 선행 연구들의 등속성 근력 증대와 일치하였다.

본 연구에서도 총운동량의 유의한 증가가 나타났는데 이러한 총운동량의 개선은 근섬유의 최대 수축력 발휘에 장애를 주는 Golgi tendon organ(GTO)의 감수성을 감소시켜 GTO의 억제작용을 방해하는 반억제작용(disinhibition)과 근수축시 동원되는 운동단위(motor unit) 수의 증가, 그리고 동원된 운동단위의 발사빈도(firing frequency)와 동시화(synchronization) 등과 같은 신경성 요인이 함께 관여하는 신경근의 복

합적인 작용에 의해 발생되어지는 것으로 생각되고 있다(Caiozzo 등, 1981; Kraemer 등, 1988; Milner-Brown 등, 1975)

Wilmore 등(1978)은 10주간의 서킷 웨이트트레이닝이 체지방 체중에서는 유의한 증가를 나타냈다고 하였으며, 체지방 및 체지방률 등에서 통계적으로 감소한다고 하였고, 유산소 능력과 근력의 효과는 체력이 낮은 사람일수록 더욱 큰 영향을 주며, 여성들에게 적합한 운동형태가 될 수 있다고 했다. 또한 Fleck과 Kraemer(1997)는 저항트레이닝은 근육형태학적 측면에서 수축 단백질, 근원섬유의 수와 크기 및 결합조직, 속근성 섬유 크기를 증대시켜 근비대를 가져오며, 인대와 건의 힘과 크기가 증가하고, 뼈의 질량과 밀도 등이 증가한다고 하였다. 그리고 이충일(1992)은 남자 대학생을 대상으로 12주간 서킷 웨이트트레이닝을 적용하고 1-RM의 50%와 60%에서는 변화가 없었으나, 70%에서 체중이 2.28kg 감소하고 LBM이 2.34% 증가하여 유의한 변화($p<.05$)가 있었다고 보고하였다.

본 연구에서 서킷 웨이트트레이닝 후 체중 3.09kg(5.11%), 체지방률 3.57%의 유의한 감소($p<.01$)가 있었으며, 체지방률 3.57% 증가로 유의한 변화($p<.01$)를 보였다. 따라서 서킷 웨이트트레이닝이 신체구성에 긍정적인 효과가 있는 것으로 사료된다.

V. 결 론

남자 노인 7명을 대상으로 10주간의 서킷 웨이트트레이닝 프로그램을 실시하여, 등속성 근력과 신체구성에 미치는 영향을 규명하여, 노인에게 보다 적합한 트레이닝 방법에 관한 기초자료를 제시하고자 하는 목적으로 본 연구를 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 각속도 60. /sec에서 트레이닝 전·후 슬관절 구심성 최대굴곡 근력은 오른쪽이 평균 5.17Nm(8.10%), 왼쪽이 평균 8.98Nm(14.33%) 로 유의하게 증가하였고($p<.01$), 최대신전 근력은 오른쪽이 평균 13.48Nm(11.26%), 왼쪽이 10.31Nm(8.11%) 유의하게 증가하였다.
2. 각속도 180. /sec에서 트레이닝 전·후 슬관절 구심성 최대굴곡 근력은 오른쪽이 평균 5.97Nm(12.41%), 왼쪽이 평균 7.76Nm(20.32%)로 증가하였고, 최대신전 근력은 오른쪽이 평균 7.42Nm(11.39%), 왼쪽이 평균 6.23Nm(8.92%)로 유의하게 증가하였다($p<.01$).
3. 각속도 60. /sec에서의 슬관절 구심성 굴곡·신전 평균파워는 오른쪽이 평균 5.58W($p<.05$)·2.97W($p<.01$), 왼쪽의 경우 각각 평균 6.57W($p<.05$)·4.25W($p<.01$)로 유의한 증가를 보였다. 한편, 각속도 180. /sec에서는 오른쪽 굴곡 평균파워는 8.82W로 유의차가 나타나지 않았으나, 신전 평균파워는 9.33W($p<.05$)로 유의한 증가를 보였으며, 왼쪽의 구심성 굴곡·신전 평균파워는 각각 9.84W($p<.01$)·8.97W($p<.01$)로 유의한 증가를 보였다.
4. 각속도 60. /sec에서의 슬관절 구심성 굴곡·신전 총운동량은 오른쪽이 12.32J($p<.05$)·13.24J($p<.01$), 왼쪽이 11.69J($p<.05$)·10.34J($p<.01$)로 유의한 증가를 보였다. 한편, 각속도 180. /sec에서는 오른쪽 굴곡·신전 총운동량은 각각 9.95J와 6.91J($p<.05$)로 오른쪽 굴곡 총운동량은 통계적 유의차가 없었고, 신전 총운동량은 유의차가 있었다. 왼쪽은 각각 평균 8.14J($p<.01$)·8.94J($p<.01$)로 유의한 증가를 보였다.
5. 신체구성의 변화를 살펴보면 트레이닝 후 체중은 평균 3.09kg(5.11%)이 감소하고, 체지방률은 3.57% 감소하였으며, 체지방률은 3.57% 증가하여 신체구성은 모두 통계적으로 유의한 변화($p<.01$)를 보였다.

이상의 결과에서 10주간의 서킷 웨이트트레이닝은 노인들의 체지방을 감소시키고 체지방을 증가시키며, 등속성 근력을 증가시킨다는 결론을 얻었다.

참고문헌

고인태 : 웨이트트레이닝과 씨킥트 웨이트트레이닝이 근력 및 운동수행능력에 미치는 영향, 한국체육학회

- 지, 33(3), 267-270, 1994.
- 김상철 : 서킷 웨이트트레이닝이 갱년기 여성들의 건강관련 체력에 미치는 영향, 한국체대대학원 석사학위 논문, 1997.
- 김재호 : 알파인스키 경기력수준별 슬관절의 등속성 근기능 발달 특성, 한국체육학회지, 39(4), 435-443, 2000.
- 박래준, 강화순 : 전기 자극과 치료적 운동에 의한 슬관절 신전근의 근력 증가 효과, 대한물리치료학회지, 10(2), 33-40, 1998.
- 박상규 : 등속성 운동의 속도에 따른 대퇴근육의 근력효과, 대한스포츠의학회지, 17(1), 155-164, 1999.
- 여남희, 김은하 : 서킷 웨이트트레이닝이 등속성근력과 신체조성에 미치는 영향, 한국체육학회지, 41(3), 359-366, 2002.
- 오경택 : 12주간의 Circuit weight training이 중년기 남성의 건강관련 체력에 미치는 영향, 한국체대대학원 석사학위논문, 1999.
- 원광희, 김찬, 김창근 : 전기자극과 웨이트트레이닝이 외측광근의 형태 및 슬관절 근기능에 미치는 영향, 한국체육학회지, 40(1), 490-498, 2001.
- 이윤섭, 권영실, 송주영, 남기원, 송주민, 구상훈, 최현입, 최진호, 김진상 : 무지외반이 족관절 저굴근과 배굴근의 우력에 미치는 영향, 대한물리치료학회지, 13(2), 325-333, 2001.
- 이충일 : 12주 Circuit Weight Training이 체지방, 심박수 및 근력에 미치는 효과, 한국체육학회지, 31(1), 304-309, 1992.
- 정일규 : 최신 운동영양학, 서울, 도서출판 대경, 1998.
- 채홍원 : Tubex 탄성저항과 Spring 탄성저항의 장기적응 운동시 근힘-속도, 근지구력 및 근특성변화 비교 연구, 한국체육학회지, 38(1), 437-450, 1999.
- 채홍원 : 경기체력트레이닝론, 서울, 형설출판사, 1997.
- 황남일 : 10주간의 씨킷트 트레이닝이 비만아의 혈청 콜레스테롤, 지단백 및 신체조성에 미치는 영향, 서강대학교대학원 석사학위논문, 1998.
- Alaca R, Yilmaz B, Goktepe AS, et al : Efficacy of isokinetic exercise on functional capacity and pain in patellofemoral pain syndrome, Am J Phys Med Rehabil, 81(11), 807-813, 2002.
- Allen TE, Byrd RJ, Smith DP : Hemodynamic consequences of circuit weight training, Res Quart, 47(3), 299-307, 1976.
- Arokoski MH, Arokoski JP, Haara M, et al : Hip muscle strength and muscle cross sectional area in men with and without hip osteoarthritis, J Rheumatol, 29(10), 2185-2195, 2002.
- Baechle TR, Groves BR : Weight training; steps to success. Champaign, IL, Leisure Press, 1992.
- Bary RC, Dandy DJ : Meniscus lesions and chronic anterior cruciate ligament deficiency, J Bone Joint Surg, 71, 128-130, 1989.
- Beckham SG, Earnest CP : Metabolic cost of free weight circuit weight training, J Sports Med Phys Fitness, 40(2), 118-25, 2000.
- Brozek J : Densitometric analysis of body composition: Revision of some Quantitative assumption, Ann N Y Acad Sci, 110, 113-140, 1963.
- Butler RM, Palmer G, Rogers FJ : Circuit weight training in early cardiac rehabilitation, J Am Osteopath Assoc, 92(1), 77-89, 1992.
- Caiozzo VJ, Perrine JJ, Edgerton VR : Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle, J Appl Physiol, 51(3), 750-754, 1981.

- Costill DL, Fink WJ, Habansky AJ : Muscle rehabilitation after knee surgery, *Physician and Sports Med*, 5, 71, 1977.
- Cress ME, Meyer M : Maximal voluntary and functional performance levels needed for independence in adults aged 65 to 97 years, *Phys Ther*, 83(1), 37-48, 2003.
- Cress NM, Peters KS, Chandler JM : Eccentric and concentric force velocity relationship of the quadriceps femoris muscle, *J Orthop Sport Phys Ther*, 16(1), 82-86, 1992.
- Cullinen K : Weight training increases fat-free mass and strength in untrained young women, *J Am Diet Assoc Res Quart*, 98(4), 414-418, 1998.
- Davies GJ : A compendium of isokinetic in clinical usage, 2nd ed, library of congress cataloguing in publication, 265-269, 1984.
- Davis GT, Kirkendel DT, Lergth DH, et al : Isokinetic characteristics of professional football players; Isokinetic characteristics normative relationship between quadriceps & hamstring muscle groups and relation to body weight, *Med Sci Sports Exerc*, 13(1), 76-77, 1981.
- DeGroot DW, Quinn TJ, Kertzer R, et al : Lactic acid accumulation in cardiac patients performing circuit weight training; implications for exercise prescription, *Arch Phys Med Rehabil*, 79(7), 838-841, 1998.
- Devita P, Hortobagyi T, Barrier I : Gait biomechanics are not normal after anterior cruciate ligament reconstruction and accelerated rehabilitation, *Med Sci Sports Exerc*, 30(10), 1481-1488, 1998.
- Doxey GE : Assessing quadriceps femoris muscle bulk with girth measurements in subjects with patellofemoral pain, *J Orthop Sports Phys Ther*, 9, 177-183, 1987.
- Dunstan DW, Puddey IB, Beilin LJ, et al : Effects of a short-term circuit weight training program on glycemic control in NIDDM, *Diabetes Res Clin Pract*, 40(1), 53-61, 1998.
- Dvir Z : Isokinetic muscle testing, interpretation and clinical applications, New York, Churchill livingstone, 1995.
- Fatouros IG, Taxildaris K, Tokmakidis SP, et al : The effects of strength training, cardiovascular training and their combination on flexibility of inactive older adults, *Int J Sports Med*, 23(2), 112-119, 2002.
- Ferri A, Scaglioni G, Pousson M, et al : Strength and power changes of the human plantar flexors and knee extensors in response to resistance training in old age, *Acta Physiol Scand*, 177(1), 69-78, 2003.
- Fleck SJ, Kraemer WJ : Designing resistance training programs, 2nd ed, Champaign IL, Human Kinetics, 1997.
- Fox EL : *Sports Physiology*, Philadelphia, Saunders, 1984.
- Garbutt G, Boocock MG, Reilly T, et al : Physiological and spinal responses to circuit weight-training, *Ergonomics*, 37(1), 117-125, 1994.
- Gerber C : The lower extremity musculature in chronic symptomatic instability of the anterior cruciate ligament, *JBJS*, 67, 1034-1043, 1989.
- Gettman LR : A Comparison of Combined Running & Weight Training with Circuit weight training, *Med Sci Sports*, 4(3), 229-234, 1982.
- Gettman LR, Ayres JJ, Pollock ML, et al : The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function and body composition of adult men, *Med Sci Sports*, 10(3), 171-176,

1978.

- Gettman LR, Pollock ML : Circuit weight training; A critical review of its physiological benefits, *Physician and Sports Med*, 9(1), 44-60, 1981.
- Graham KM, Scott SH : Morphometry of macaca mulatta forelimb; III moment arm of shoulder and elbow muscles, *J Morphol*, 255(3), 301-314, 2003.
- Haltom RW, Kraemer RR, Sloan RA, et al : Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc*, 31(11), 1613-1618, 1999.
- Hemingway AE, Herrington L, Blower AL : Changes in muscle strength and pain in response to surgical repair of posterior abdominal wall disruption followed by rehabilitation, *Br J Sports Med*, 37(1), 54-58, 2003.
- Hislop JH, Perrine JJ : The isokinetic concept of exercise, *Phys Ther*, 47, 114-117, 1967.
- Inkster LM, Eng JJ, MacIntyre DL, et al : Leg muscle strength is reduced in Parkinson's disease and relates to the ability to rise from a chair, *Mov Disord*, 18(2), 157-162, 2003.
- Jackson AS, Pollock ML : Generalized equations for predicting body density of women, *Med Sci Sports Exerc*, 12, 175-182, 1980.
- Jacobs PL, Nash MS, Rusinowski JW : Circuit training provides cardiorespiratory and strength benefits in persons with paraplegia, *Med Sci Sports Exerc*, 33(5), 711-717, 2001.
- Jacobs PL, Mahoney ET, Nash MS, et al : Circuit resistance training in persons with complete paraplegia, *J Rehabil Res Dev*, 39(1), 21-28, 2002.
- Jansson KA, Linko E, Sandelin J, et al : A Prospective Randomized Study of Patellar versus Hamstring Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, *Am J Sports Med*, 31(1), 12-18, 2003.
- Jones DA, Newham KJ, Tolfree S : Experimental human muscle damage, *J Physiol*, 375, 111-117, 1986.
- Jurimae T, Jurimae J, Pihl E : Circulatory response to single circuit weight and walking training sessions of similar energy cost in middle-aged overweight females, *Clin Physiol*, 20(2), 143-149, 2000.
- Kaikkonen H, Yrjama M, Siljander E, et al : The effect of heart rate controlled low resistance circuit weight training and endurance training on maximal aerobic power in sedentary adults, *Scand J Med Sci Sports*, 10(4), 211-215, 2000.
- Kannus P : Isokinetic evaluation of muscular performance, *Int J Sports Med*, 15(1), 11-18, 1994.
- Kannus P, Tarvinen L : Peak torque and total work relationship in the muscle after anterior cruciate ligament injury, *J Orthop Sports Phys Ther*, 10(1), 97-101, 1991.
- Kannus P, Latvala K, Jarvinen M : Thigh muscle strengths in the anterior cruciate ligament deficient knee; isokinetic and isometric long-term results, *J Orthop Sports Phys Ther*, 9, 223-227, 1987.
- Katch UL, Katch FI, Moffatt R, et al : Muscular development and lean body weight in builders and weight lifters, *Med Sci Sports Exerc*, 12, 340-344, 1980.
- Kimura Y, Itow H, Yamzaki S : The effect of circuit weight training on maximal oxygen uptake and body composition of trained and untrained college man, *J Physiol Soc Jap*, 43, 593-596, 1981.
- Kowalk DL, Duncan JA, McCue III FC, et al : Anterior cruciate ligament reconstruction and joint dynamics during stair climbing, *Med Sci Sports Exerc*, 29(11), 1406-1413, 1997.

- Kraemer WJ, Deschenes MR, Fleck SJ : Physiological adaptations to resistance training implications for athletic conditioning, *Sports Med*, 6, 246-256, 1988.
- Lesmes GR, Benhan D, Costill DL : Glycogen utilization in fast and slow twitch muscle fibers during maximal isokinetic exercise, *Am Sports Med*, 1(3), 105-108, 1983.
- Lonnie P, Frank R, David LB : Knee rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction and repair, *Am J Sports Med*, 9(3), 140-151, 1991.
- Maiorana A, O'Driscoll G, Cheatham C, et al : Combined aerobic and resistance exercise training improves functional capacity and strength in CHF, *J Appl Physiol*, 88(5), 1565-1570, 2000.
- Marx JO, Ratamess NA, Nindl BC, et al : Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women, *Med Sci Sports Exerc*, 33(4), 635-643, 2001.
- Meireles SM, Oliveira LM, Andrade MS, et al : Isokinetic evaluation of the knee in patients with rheumatoid arthritis, *Joint Bone Spine*, 69(6), 566-573, 2002.
- Meissier SP, Dill ME : Alterations in strength & maximal oxygen uptake consequent to Nautilus circuit weight training, *Res Quart*, 56(4), 345-351, 1985.
- Milner-Brown HS, Stein RB, Lee RG : Synchronization of human motor units; possible roles of exercise and supraspinal reflexes, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 38, 245-254, 1975.
- Moffroid MT, Whipple RH : Specificity of speed of exercise, *Phys Ther*, 50, 1693-1699, 1970.
- Moffroid MT, Whipple RH, Hofkosh J, et al : A Study of isokinetic exercise, *Phys Ther*, 49, 735-747, 1969.
- Norvell N, Belles D : Psychological and physical benefits of circuit weight training in law enforcement personnel, *J Consult Clin Psychol*, 61(3), 520-527, 1993.
- O'Shea K, Kenny P, Donovan J, et al : Outcomes following quadriceps tendon ruptures, *Injury*, 33(3), 257-260, 2002.
- Osternig LR : Isokinetic dynamometry; implication for muscle testing and rehabilitation, *Exerc Sports Sci Rev*, 14(1), 45-80, 1986.
- Patel RR, Hurwitz DE, Bush-Joseph CA, et al : Comparison of Clinical and Dynamic Knee Function in Patients with Anterior Cruciate Ligament Deficiency, *Am J Sports Med*, 31(1), 68-74, 2003.
- Pekka K, Markku J : Thigh muscle function after partially tear of the medial ligament running, *Am J Physiol*, 213, 783-785, 1990.
- Perrine JJ, David H : *Isokinetic Exercise and Assessment*, Champaign IL, Human Kinetics, 1993.
- Pincivero DM, Heller BM, Hou SI : The effects of ACL injury on quadriceps and hamstring torque, work and power, *J Sports Sci*, 20(9), 689-696, 2002.
- Powell T : *Track & Field Fundamentals for teacher & coach*, Stips Publishing Co, 1983.
- Powell PL, Wickiewicz JL, Roy RR, et al : Muscle architecture and force-velocity relationship in human, *J Appl Physiol Respi Environ Exerc Physiol*, 57, 435-443, 1984.
- Seri WE : Body volume measurement by gas dilution, In *Techniques for measuring Body Composition*, National Academy of Sciences Research Council, 108-117, 1961.
- Tahara Y, Moji K, Aoyagi K, et al : Age-related pattern of body density and body composition of Japanese men and women 18-59 years of age, *Am J Human Biol*, 14(6), 743-752, 2002.
- Thistle HG, Hislop JH, Moffroid M : Isokinetic contraction, new concept of resistive exercise, *Arch Phys Med Rehabil*, 48, 279-282, 1975.

- van Meeteren J, Roebroek ME, Stam HJ : Test-retest reliability in isokinetic muscle strength measurements of the shoulder, *J Rehabil Med*, 34(2), 91-95, 2002.
- Verrill DE, Ribisl PM : Resistive exercise training in cardiac rehabilitation; An update, *Sports Med*, 21(5), 347-383, 1996.
- Ward GR : Basic physiology of middle distance running, *Track and Field Quart Rev*, 83(1), 28-30, 1983.
- Williams PA, Cash TF : Effects of a circuit weight training program on the body images of college students, *Int J Eat Disord*, 30(1), 75-82, 2001.
- Wilmore JH, Parr RB, Girandola RN, et al : Physiological alterations consequent to circuit weight training, *Med Sci Sports*, 10(2), 79-84, 1978.
- Wyatt MP, Edwards AM : Comparison of quadriceps and hamstring torque during isokinetic exercise, *J Orthop Sport Phys Ther*, 3(2), 48-56, 1981.
- Yanagawa T, Shelburne K, Serpas F, et al : Effect of hamstrings muscle action on stability of the ACL-deficient knee in isokinetic extension exercise, *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 17(9-10), 705-712. 2002.