

동적 근력활동이 반응시간과 정신적 작업에 미치는 영향

김정만

경일대학교 산업시스템공학부

1. 서론

동적 근력작업의 많은 부분이 기계화됨에 따라 상대적으로 정신적 작업의 비율이 높아지고 있다. 그러나 모든 동적 근력작업이 기계로 전환되는 것은 아니다. 특히 의료, 복지 및 산업현장의 일부 등의 많은 부분에서 인간의 동적 근력작업에 의존하고 있는 실정인데, 이들 분야에서는 작업주체인 인간의 근육 피로에 수반되는 정신적 피로에 따라 사고의 위험성이 상존하고 있다. 또한 어떤 분야에서는 높은 강도의 동적 근력작업에 병행하여 대소의 정신적 작업이 요구되는 경우가 있는데, 인간은 신체적 활동에 육체적 피로가 수반되면 휴식을 통해 피로를 회복하고자 속성을 지니고 있다. 그러나 육체적 작업 도중 피로가 쌓여도 휴식을 취하는 것이 항상 가능한 것은 아니다. 즉, 생체리듬이 나쁜 때에도 작업을 속행하지 않으면 안 되는 경우도 일상에서 자주 경험할 수 있는데 이러한 상태에서 육체적, 정신적인 위험이 수반될 수 있다.

이와 관련하여, Asmussem 등¹⁾은 실험을 통해, 반복작업 시나 휴식기에 피로도도가 높게 되어 휴식 후의 정신적 부하가 상대적으로 증가한다고 보고하고 있다. 이들의 실험은 비교적 가벼운 육체적 작업을 대상으로 한 것이지만, 산업현장 등에서의 같이 고강도의 동적 근력작업이 요구되는 全身的인 작업의 경우에 동적 근력작업이 정신적 피로에 미치는 영향에 관한 보고²⁾³⁾⁴⁾도 있다.

中永 등⁵⁾은 60~120분간의 보행운동 등을 통해 운동 전후의 플리커치에 차가 있다고 보고하고 있으며, 또한 宮内⁶⁾ 등은 각종 운동 전후의 플리커치의 변화를 측정하였는데, 그 결과 수영에서는 플리커치의 증가가 유의하였지만 스포츠 댄스에서는 증가하지 않았다고 설명하고 있다. 이들의 연구는 정신적 피로의 정도가 육체적 활동에 의해 영향을 받는다는 점을 시사하고 있다. 그러나, 이들 연구간에서 육체적 활동에 따른 정신적 피로의 정도는 일정한 경향을 나타내지 않는다.

또한 Kawakami 등⁷⁾은 13세 소년들을 대상으로 근육운동에 따른 피로전과 피로후 신장성 수축과 단축성 수축 시 근력의 변화를 살펴 본 결과, 근력수준에 차가 있다고 보고 하였으며, 이같은 결과는 Posch 등⁸⁾과 Tesch 등⁹⁾의 연구에서도 검증되었다. Kawakami 등은 피로전과 피로후 근력 수준의 변화에 있어서 피로전에 대한 피로후 근력쇠퇴율이 신장성과 단축성 수축에서 유의한 차이가 없는 것으로 보고한 반면, Tesch 등은 신장성 수축의 경우 피로전과 계속적인 운동 시에 근력변화는 발생하지 않았지만 단축성 수축운동의 경우에는 피로전과 비교하여 계속적인 피로운동 시 근력

의 감소가 유의한 차이로 나타나고 있다고 보고한 바 있다.

이들의 보고에 의하면, 각각의 연구에서 육체적 활동의 종류는 다르지만 그러한 육체적 활동을 모든 피험자에 대해서 동일한 운동량으로, 동일한 시간동안 부과하였다는 문제점이 있다. 즉, 각 피험자의 체력의 개인차를 고려할 때, 어느 피험자에게는 筋的 피로가 수반될 수 있는 운동량이어도 또 다른 피험자에게는 근적 피로를 수반할 만큼 충분한 운동량이 아님을 감안하지 않은 것이다. 이러한 것들이 위의 연구 결과간의 차이를 발생시키는 원인의 하나라고 생각된다. 따라서, 전신운동이 정신적 피로에 미치는 영향을 알기 위해서는, 피험자에게서 발생하는 근적 피로의 상태가 일정하게 되는 운동량, 즉 체력의 개인차를 감안한 운동부하를 설정하여 실험을 행할 필요가 있는 것이다.

따라서 본 연구에서는, 피험자 개인의 근적 피로도가 일정하게 되는 운동부하강도를 설정하여, 전신운동 중 반응시간과 운동 전후에서 정신적 작업능력의 변화상태를 검토하여 동적 근력활동이 정신적 피로에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

2. 실험방법 및 절차

2.1 피험자 구성

피험자는 골관절 질환, 심질환, 호흡기계 질환 및 정신신경계의 질환이 없는 건강한 19세의 남자 대학생 6명으로 하였는데 이들의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

이제, 피험자에게는 실험 전에 실험목적, 실험내용 및 실험의 위험성에 관해서 충분히 설명하여 실험참가에 대한 이해를 구하였다.

Table 1. 피험자 구성

	LSH	YSW	KDH	SYS	LDW	KHJ
연령	19	19	19	19	19	19
신장	172	178	172	175	170	177
체중	54.4	67.4	83.2	67.5	74.5	68.7

2.2 실험장치 및 Borg-PRE지수

먼저, 동적 근력활동으로서는 treadmill을 사용한 운동부하검사로 정하였으며, 이러한 근력활동에 관련된 각종 생리적 스트레인을 평가하기 위해서는 운동부하검사장비인 QMC(Quinton U.S.A)를 사용하였는데 이때 protocol은 KSSI(한국체육과학연구원) 방법으로 행하였다. 여기에서는 대표적인 근활동도의 척도 중 하나인 최대산소섭취량(MAP, maximum aerobic power, VO₂ max)과 최대심박수(HRmax) 및 호흡상(RQ, respiratory quotient)을 구하였다. 또한, 근력활동 중 육체적 피로에 수반되는 인체의 반응속도를 경과시간별로 구하기 위해서는 반응시간측정기(perception tester, Lafayette

Instrument, U.S.A)를 병용하였다. 단, 이러한 반응시간측정기는 단순 시각반응을 측정하는 것으로 여기에서 발생하는 광자극은 단일 광자극이다.

그리고, 근력활동에 따르는 활동강도를 주관적으로 평가하기 위한 수단으로서는 Borg-RPE(rating of perceived exertion)지수를 사용하였다. 이때 사용된 Borg-RPE지수는 생리적 측정을 주관적 평점등급으로 대체하여 등급척도를 관리하고 평점하기에 용이하게 한 것으로서 정신적, 육체적 활동지각(perceived exertion)의 평가척도의 하나로 널리 이용되고 있다. 이 척도는 6~20등급으로 되어 있는데, 활동 수준에서 예상되는 심박수(heart rate)와 선형 관계를 가진다. 이 척도는 아래와 같이 구성되어 있다.

- 6 - 활동없음
- 7 - 매우 매우 가벼움(very very light)
- 8 -
- 9 - 매우 가벼움(very light)
- 10
- 11 - 알맞음(fairly light)
- 12
- 13 - 약간 힘들(somewhat hard)
- 14
- 15 - 힘들(hard)
- 16
- 17 - 매우 힘들(very hard)
- 18
- 19 - 매우 매우 힘들(very very hard)

2.3 실험대상 정신작업

본 연구에서는 실험대상인 정신적 작업으로서 간단한 덧셈 작업을 채택하였는데, 덧셈 작업에 사용할 2자리 숫자는 난수표를 이용하여 배열하였다. 즉, 2자리의 정수 2개를 더하는 것을 1문제로 하고, 12문제가 1행이 되며 10행이 1매(120문제)가 되도록 실험용지를 작성하였다. 덧셈 작업은 1매의 실험용지에서 용지 상단 좌로부터 우의 순서로 계산을 하도록 하였으며 1행의 덧셈을 15초 이내에 마치도록 하였는데, 15초가 경과한 때에는 피험자에게 종료신호를 보내어 다음 행의 문제로 덧셈 작업을 이행하도록 하였다.

2.4 실험절차

먼저, treadmill의 경사각을 5°로 고정하고 분당 80m의 속도로 근력활동을 시작하여 매 2분마다 부하량인 treadmill의 속도를 분당 20m씩 증가시키는 점증운동부하법을 행

하였다. 이때 주관적인 근활동도를 측정하기 위한 수단인 Borg-PRE지수, 최대산소섭취량 및 반응시간은 피험자별로 안정 시, 활동시작 후 경과시간 1분, 3분, 5분 등으로 하여 피험자가 all-out상태가 될 때까지 운동을 지속적으로 하도록 하였다. 단, 당연히 피험자에 따라 체력의 개인차 때문에 경과시간이 다르므로 어떤 경과시간에서 어떤 피험자가 all out되면 treadmill위에서 내려오도록 하여 전신운동을 종료토록 하였다.

또한, 본 연구의 실험에서는 주관적인 근활동도의 측정수단으로서 Borg-PRE척도를 사용하였는데, 이 척도치를 기재한 패널을 피험자의 눈높이의 정면벽에 걸어두고 피험자가 전신운동을 시작한 후의 경과시간별로, 실험자가 가리키는 해당하는 척도치에 고개를 상하로 끄떡이는 걸로 주관적 근활동도를 평가하였다.

그리고, 최대산소섭취량($VO_2 \max$)를 운동부하시험에 따라 측정하였는데, 측정 시 피험자에게는 호기 개스분석장치(Mania, AT-4000)의 호기가스채집마스크를 장착하여 호기개스(VE , VO_2 , VCO_2) 및 심박수의 측정을 행하였다.

운동 중 호기의 분석에 대해서는, 피험자의 입과 코에는 저저항 고속판막(low resistance, high velocity valve)이 부착되어 있는 마스크(Hans Rudolph Co., USA)를 기밀하게 착용하도록 하며 흡기는 실내공기를 이용하고 호기는 사관(corrugated tube)과 호기종말관(end-tided tube)를 통해서 pneumotachograph와 O_2 및 CO_2 분석기가 장치되어 있는 Cordiopulmonary Exercise System(QMC, Quinton Co., USA)에 연결하여 운동부하검사 시 매 20초마다 호흡수, 호기량, 호기 및 호기 종말의 O_2 와 CO_2 의 함량을 분석하여 이들 평가의 성적으로 심폐기능의 지표인 최대산소섭취량을 측정하였다.

마지막으로, 근활동도에 따른 반응시간을 측정하기 위해 반응시간측정기의 RPM을 15로 고정하여 단일 광자극을 제시하였고, 피험자는 treadmill에서의 전신운동 도중 광자극 발생 시마다 실험자가 건네준 버튼을 누르도록 한 것이다. 이때의 자극은 반응시간측정기의 표시장치에서 발생하는 단일 점광원이며, 피험자는 전신운동 도중 이 점광원을 지각하는 즉시 실험자가 건네는 손잡이의 스위치를 누르는 것으로 반응실험이 이루어졌다. 단, 측정횟수는 매 경과시간별 5회로 하였다.

또한, 정신적 작업으로 채택한 덧셈 작업은 treadmill을 이용한 전신운동 전후에 각각 실험용지 4매, 즉 최고 480문제를 계산하도록 하였는데, 운동 전 예비적으로 60문제에 대해 덧셈 작업을 하도록 하였다. 여기에서, 덧셈 작업결과의 오답율은 아래와 같이 계산하였다.

$$\text{덧셈 작업의 오답율} = (\text{오답수} / \text{해답수}) \times 100$$

3. 실험결과

운동시작 후 경과시간별 Borg-PRE지수, 최대산소섭취량 및 반응시간은 Table 2와 같다.

Table 2. 경과시간별 Borg-PRE지수, 최대산소섭취량 및 반응시간(AO : all out)

		운동시작 후 경과시간							
		안정시	1분	3분	5분	7분	9분	11분	13분
Borg -PRE 지수	LSH	6	7	9	11	13	15	AO	AO
	YSW	6	7	9	12	13	15	17	AO
	KDH	6	7	11	13	14	15	AO	AO
	SYS	6	7	9	11	13	14	16	18
	LDW	6	7	9	11	12	13	15	AO
	KHJ	6	7	9	11	13	15	17	AO
최대 산소 섭취량 (ml/kg /min)	LSH	9.7	20.1	25.8	33.5	41.1	47.3	AO	AO
	YSW	7.6	20.8	25.2	30.2	42.2	46.0	51.7	AO
	KDH	5.8	14.6	22.7	30.2	36.9	46.3	AO	AO
	SYS	8.5	16.2	25.2	25.1	32.1	41.2	47.8	55.7
	LDW	9.7	16.6	24.5	31.5	39.5	46.2	49.2	AO
	KHJ	7.7	20.7	24.6	30.6	42.5	49.5	54.5	AO
반응 시간 (초)	LSH	0.883	0.766	0.540	0.534	0.694	0.536	AO	AO
	YSW	0.278	0.758	0.564	0.668	0.454	0.484	0.632	AO
	KDH	0.660	0.490	0.574	0.380	0.376	0.412	0.802	AO
	SYS	0.333	0.270	0.202	0.632	0.476	0.296	0.574	0.496
	LDW	0.558	0.404	0.474	0.633	0.556	0.687	0.486	AO
	KHJ	0.732	0.922	0.630	0.830	0.453	0.960	0.280	AO

먼저 Borg-PRE지수는, 안정 시를 포함하여 운동시작 후 경과시간별로 실험자가 지적하는 특정 운동강도에 해당하는 Borg-PRE지수에 피험자가 treadmill위에서 걸거나 뛰면서 응답하게 한 결과 Table 2와 같이 얻어졌다. 여기에서, 대부분의 피험자가 운동시작 후 9분이 경과될 때까지는 주관적인 운동강도가 비슷하며 9분이 경과한 후 all out되었음을 알 수 있다.

또한, 반응시간은 Fig. 1에서와 같이 피험자에 따라서, 또는 운동시작 후 경과시간에 따라서 산포가 큰 것으로 나타났다. 이는, 육체적 활동도에 따라 정신활동을 측정하는 척도의 하나라 할 수 있는 특정 자극에 대한 반응시간이 현저히 영향을 받는다는 것을 나타낸 것이라 할 것이다.

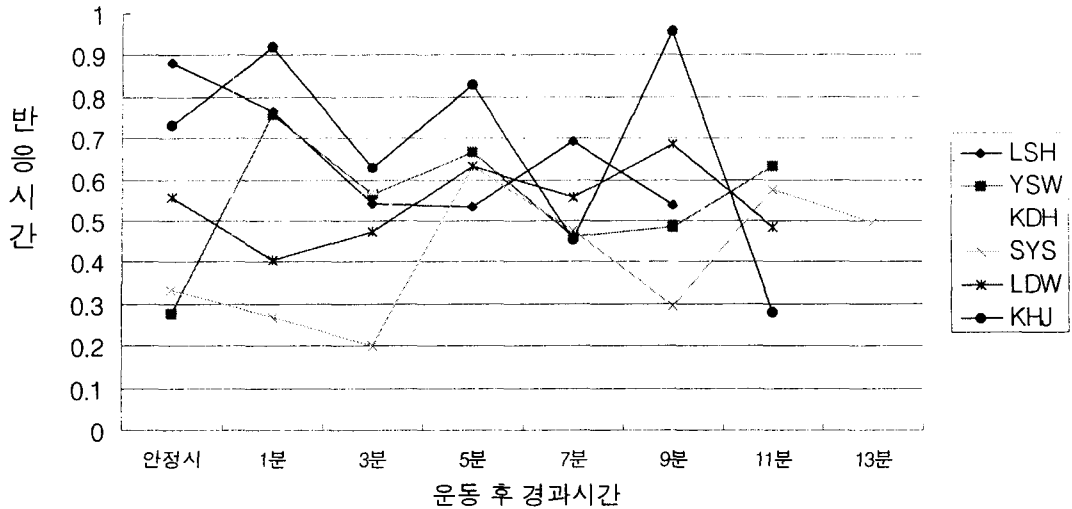


Fig. 1. 피험자별, 운동 후 경과시간별 반응시간

그리고, 본 연구의 실험에서 정신적 작업으로 채택한 덧셈작업에서 피험자별 오답율은 Table 3과 같이 얻어졌다.

Table 3. 덧셈작업 결과 오답율

이름	LSH	YSW	KDH	SYS	LDW	KHJ	평균
운동 전	2.2	0.4	6.1	4.5	5.1	3.8	3.68
운동 후	1.4	0.4	1.5	3.1	2.8	3.6	2.13

4. 실험결과의 해석

먼저, Table 4와 같이 피험자간 Borg-PRE지수는 one-way ANOVA에 의해 검정하였는데 유의수준 $p > .05$ 로 차가 없으며, 최대산소섭취량에 대해서도 역시 유의수준 $p > .05$ 로 피험자간 차가 없음을 알 수 있다.

그러나, 피험자간 반응시간은 $p < .05$ 로 차가 있고, 모든 피험자에 대한 경과시간별 반응시간에 대해서는 분산분석 결과 $p > .05$ 로 차가 없음을 알 수 있다.

그리고 Table 3의 덧셈작업의 오답율의 데이터로부터 피험자간 오답율의 차의 검정은 paired t-test에 의해 행하였는데 이 결과 Table 5에서와 같이 $p < .05$ 에서 운동전 후

Table 4. 피험자간 각 척도의 차의 비교

source	피험자간 Borg-PRE지수			피험자간 최대산소섭취량			피험자간 반응시간			경과시간별 반응시간		
	F	p	Pr>F	F	p	Pr>F	F	p	Pr>F	F	p	Pr>F
treatment	0.30	0.91	2.48	0.98	0.16	2.49	2.56	0.04*	2.48	0.28	0.96	2.29

*p<.05

의 오답율에 차가 있음을 알 수 있다. 특히, 여기에서는 운동전에 비해 체력이 all out에 이르는 정도의 근육피로를 겪은 운동 후의 오답율이 오히려 낮아진다는 사실을 발견할 수 있다.

Table 5. 운동전 후 피험자간 오답율의 차의 비교

Source	Mean	MS	df	t	p
운동 전	3.68	4.30	5	2.22	0.04*
운동 후	2.13	1.49			

*p<.05

5. 결론

본 연구에서 행한 실험에서 근활동도의 주관적 척도로서의 Borg-PRE지수 및 생리적 척도인 최대산소섭취량으로서 피험자의 운동강도를 평가한 후, 이에 대응하는 반응시간 및 정신작업결과의 오답율을 구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 근활동도를 측정하는 주관적 방법으로서의 Borg-PRE지수에는 피험자간 경과시간별로 차가 없다. 이는, 동일한 연령의 학생들이 운동강도를 점증적으로 높인다하더라도 경과시간별로 거의 같은 운동강도를 주관적으로 경험하고 있다는 것을 의미한다고 할 것이다.

(2) Borg-PRE지수와 마찬가지로 최대산소섭취량 역시, 동일한 연령의 피실험자군에서 다르지 않음을 알 수 있다. 본 연구에서 채택한 근활동도 평가방법인 Borg-PRE지수와 최대산소섭취량은 단지 근활동도가 경과시간별로 주관적으로 또는 객관적으로 어떻게 평가되는지를 알게 하는 수단으로, 또 피험자별로 all-out되는 시간을 측정하기 위한 수단으로 이용하였다.

(3) 반응시간은 경과시간에 따른 정신적 민감도를 평가하기 위한 척도로서, 정확한 측정은 불가능하나 주어진 조건에서 피험자별간 차가 있음을 알 수 있는데, 이는 육체

적 피로가 경과시간에 따라 정신적 피로에 크게 영향을 미친다는 것을 의미한다고 할 것이다.

(4) 정신적 피로를 측정하기 위한 수단으로서의 덧셈작업결과의 오답율에서는, 운동 전보다 오히려 운동 후에서 오답율이 감소하는 것으로 나타나며 피험자별로 큰 차가 있음을 알 수 있는데, 이는 정신적 피로가 어떤 시간범위 내에서 어떤 강도의 근활동에 영향을 받지 않음을 나타낸다고 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) Asmussen E., Mazin B., "Recuperation after Muscular Fatigue by Diverting Activities", *Eur. J. Appl. Physiol.*, 38, pp. 1~7, 1978
- 2) American College of Sports Medicine, "Guidelines for Exercise Testing and Prescription", 3rd ed., Lea & Febiger, Philadelphia, pp. 155~160, 1986
- 3) Wasserman K., McIlroy M. B., "Detecting the Threshold of Anaerobic Metabolism in Cardiac during Exercise", *Am. J. Cardiol.*, 14, pp. 844~852, 1964
- 4) 김형돈, 유재충, 윤성원, "근피로 유발후 Concentric과 Eccentric 근수축시 등속성 근력 및 EMG의 변화", *한국체육학회지*, 36, 2, pp. 272~282, 1997
- 5) 中永征太郎, "肉體ならびに精神勞作負荷前後のフリッカ値及び尿中蛋白質排泄量の變動", *岡山醫誌*, 101, pp. 853~862, 1989
- 6) 宮内佳緒里, 石井活子, "幼児における體育あそび前後の疲勞症狀の訴え數", *小兒保健研究*, 52, 125, pp. 156~160, 1993
- 7) Kawakami, Y., Kanehisa, S., & Fukunaga, T., "Concentric and Eccentric Muscle Strength before, during and after Fatigue in 13 Year-old boys", *Eur. Appl. Physiol.*, 67, pp. 121~124, 1993
- 8) Posch, E., Haglund, Y., & Eriksson, E., "Prospective Study of Concentric and Eccentric Leg Muscle Torques, Flexibility, Physical Conditioning, and Variation Injury Rates during One Season of Amateur Ice Hockey", *Int. J. Sports Med.*, 10, pp. 113~117, 1989
- 9) Tesch, P. A., Dudley, G. A., Duvoisin, M. R., Hather, B. M., & Harris, R. T., "Force and EMG Signal Patterns during Repeated Bouts of Concentric or Eccentric Muscle Actions", *Acta. Physiol. Scand.*, 138, pp. 263~271, 1990