

근위 및 원위 근육에서 최대 등척성 수축시 혈압 및 심박수 비교

이화여자대학교 의과대학* 및 연세대학교 의과대학 재활의학교실

윤태식* · 신지철 · 김주섭 · 박승현 · 강종권

=Abstract=

Responses of Blood Pressure and Heart Rate to Isometric Contractions of Large and Small Muscle Groups

Tai Sik Yoon, M.D., Ji Cheol Shin, M.D., Joo Sup Kim, M.D.,
Seung Hyun Park, M.D. and Jong Keun Kang, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Yonsei University College of Medicine

The purpose of this study was to investigate the influence of the size of active muscle mass on the responses of the blood pressure and the heart rate to isometric contraction.

The isometric torques of the flexors and extensors of the knee(90°), ankle(0°), elbow(90°) and wrist(0°) were measured for 6 seconds in 30 normal, healthy men, between the ages of 20 and 29 years, using the Extremity Training & Rehabilitation System (Model No. Cybex 340).

The peak torque and the time to peak torque were measured for each contraction. In addition, heart rate and blood pressure were recorded simultaneously at rest and immediately following contraction completion at 1 and 3 minutes.

The increase in heart rate and blood pressure during isometric contraction was independent of the size of the contracting muscle mass($p < 0.05$). The mean increment ratio was 17.3% for systolic blood pressure, 13.2% for diastolic pressure and 39.9% for heart rate.

The mean time to peak torque for the large muscle groups was longer than the mean time to peak torque for the small muscle groups($p < 0.01$).

It was concluded that the magnitude of the cardiovascular response to isometric exercise is not influenced by the size of the contracting muscle mass.

Key Words: Isometric exercise, Small versus large muscle mass, Blood pressure, Heart rate

서 론

근력증진을 위한 운동 방법에는 등척성 운동, 등장성 운동 및 등속성 운동이 있는데, 이 중 등척성 운동은 적은 시간과 특별한 기구없이 가능하며, 운동시 통

증에 의하여 관절 운동이 제한되거나 관절이 고정되어 있는 경우에 적합한 운동 방법이다^{5,15)}. 그러나 실제 임상에서 등척성 운동시 혈압 및 심박수의 증가가 제한적 요소로 작용할 수 있다^{6,7,19)}.

지속적 정적 수축시 활성근육 집단 크기와 심혈관계 반응과의 관계에 대하여 Lind와 McNicol⁹⁾,

McCloskey와 Streatfield¹²⁾가 혈압 및 심박수 증가는 활성근육의 크기와 무관하다고 보고한 이래, Riendl 등¹⁷⁾은 역상관계, Mitchell 등¹³⁾과 Buck 등³⁾은 순상관계등 상반된 결과가 보고되고 있다.

그러나 이러한 연구에서는 최대 수축보다는 최대 자발 수축이하로 시행하였으며, 치료 목적으로 최대의 등척성 수축을 시행하는 경우 혈압 및 심박수 증가에 대한 연구와 활성 근육의 크기와 심혈관계 반응과의 관계에 대한 연구는 미비한 상태이며, 우리나라에서도 이에 대한 연구가 드문 실정이다^{1,20)}.

이에 본 저자들은 20대의 건강한 성인 남자 30명을 대상으로 슬관절, 족관절, 주관절 및 완관절의 신근과 굴근에 대해 6초간 등척성 운동을 실시하여 활성근육의 크기와 혈압 및 심박수 관계를 조사, 분석하여 향후 효과적인 운동 처방에 도움을 주고자 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

병력과 진찰상 근골격계 질환이나 심혈관계 질환이 없고 우측이 우성인 20대의 건강한 성인 남자 30명을 대상으로 하였으며, 이들의 평균 연령은 24.8세, 평균 체중은 69 kg, 평균 신장은 172.6 cm이었다.

먼저 피검자에게 검사과정을 자세히 설명하고 검사 전에 수회 연습시켜 검사과정을 이해하고 익숙해지도록 하여, 실제 등척성운동 시행시 충분히 긴장을 풀도록 하였으며, 혈압은 수은 혈압계를 이용하여 좌측 상완 동맥에서 측정하였고 심박수는 Sport Tester PE 3000을 이용하여 측정하였다.

등척성 우력 측정은 조용한 실험실에서 등속성 운동기구인 Extremity Training & Rehabilitation System (Model No. Cybex 340)을 이용하였으며, 피검자를 앉은 자세에서 각 관절과 기계의 운동축을 일치시킨 후 Velcro로 고정시키고, 우측의 슬관절 90도, 족관절 0도, 주관절 90도 및 완관절 0도에서 신근 및 굴근에 대한 최대 등척성 운동을 6초간 시행하도록 하고 이때의 최대 우력치 및 그 값에 이르는 시간을 구하였으며, 안정시와 각 운동이 끝난 직후, 1분후 및 3분후에 혈압과 심박수를 각각 측정하였다.

등척성 운동을 하는 동안 Cybex 340의 스크린을 보면서 시각 되먹이기(visual feedback)시켰으며,

구두명령(verbal instruction)을 주어 6초간 최대 등척성 운동을 하게 하였으며, 본 연구에서 측정하여 얻은 결과들을 전산 입력한 후 평균 및 표준편차를 구하였고, t-검정을 이용하여 통계학적 유의성을 검정하였다.

결 과

1) 슬관절에서 평균 최대 등척성 우력치는 신근이 156.3ft-lbs, 굴근이 64.1ft-lbs로 신근이 굴근보다 유의하게 높았으며($p < 0.01$), 족관절, 주관절 및 완관절에서의 평균 최대 등척성 우력치는 굴근이 신근보다 유의하게 높았다($p < 0.01$)(Table 1).

2) 슬관절에서 최대 등척성 우력치에 이르는 평균 시간은 신근이 1.31초, 굴근이 1.06초로 신근이 굴근보다 유의하게 길었으며($p < 0.01$), 족관절, 주관절 및 완관절에서 최대 등척성 우력치에 이르는 평균 시간은 굴근이 신근보다 유의하게 길었다($p < 0.01$)(Table 2). 즉, 각 관절에서 낮은 등척성 우력치를 보인 근육보다 높은 등척성 우력치를 보인 근육에서 이에 이르는 시간이 유의하게 길었다.

Table 1. Isometric Peak Torques

Joints	Extensors	flexors
Knee	156.3±20.6	64.1±10.3*
Ankle	26.4± 4.8	73.3±15.4*
Elbow	23.6± 4.7	34.1± 4.8*
Wrist	6.7± 1.8	9.8± 2.3*

Values are means and SD(ft-lbs).

* $p < 0.01$

Table 2. Times to Peak Torques

Joints	Extensors	flexors
Knee	1.31±0.39	1.06±0.31*
Ankle	0.73±0.30	1.38±0.42*
Elbow	0.72±0.33	1.05±0.35*
Wrist	0.67±0.25	0.82±0.26*

Values are menas and SD(sec).

* $p < 0.01$

Table 3. Systolic Blood Pressure before and after Test

Groups	Pretest	Immediate	1 minute	3 minutes
Knee extensors		139.8±15.3	124.7±10.9	119.2±7.1
Knee flexors		139.0±14.6	124.0±10.3	118.8±6.3
Ankle flexors		139.8±13.3	123.2± 9.3	119.0±6.1
Elbow extensors		141.3±15.9	122.7± 8.6	118.8±6.0
Elbow flexors		136.8±12.6	121.0± 7.8	118.7±6.1
Wrist extensors		137.5±14.8	120.5± 7.0	118.5±6.2
Wrist flexors		139.7±16.2	122.2± 6.9	118.7±6.0
		138.7±17.6	121.8± 7.0	118.7±6.0
Total	118.5±6.2	139.1±15.0 (17.3±10.7)	122.5± 8.5 (3.4± 5.6)	118.8±6.1

Values are means and SD(mmHg).
 Parentheses are means SD of increment ratio(%).

Table 4. Diastolic Blood Pressure before and after Test

Groups	Pretest	Immediate	1 minute	3 minutes
Knee extensors		85.2±5.8	78.5±6.2	75.0±6.3
Knee flexors		84.5±5.9	77.8±5.5	74.8±6.2
Ankle flexors		86.2±6.7	79.2±5.7	74.8±6.2
Elbow extensors		85.2±7.8	77.8±6.0	75.2±6.5
Elbow flexors		82.7±5.2	75.8±5.4	74.7±6.3
Wrist extensors		82.5±7.6	75.7±6.0	74.7±6.3
Wrist flexors		83.7±6.4	77.0±6.2	75.5±6.1
		83.8±6.7	77.7±5.8	75.2±6.1
Total	74.6±6.3	84.2±6.6 (13.2±9.7)	77.4±5.9 (4.0±7.1)	75.0±6.2

Values are means and SD(mmHg).
 Parentheses are means SD of increment ratio(%).

3) 수축기 혈압은 안정시 평균 118.5 mmHg이었으며, 운동 직후에는 평균 139.1 mmHg로 17.3%의 증가율을 보였으나, 상하지 근위 및 원위 관절에 따른 수축기 혈압과 증가율에는 유의한 차이가 없었다. 1분 경과후에도 상하지 근위 및 원위 관절간 수축기 혈압과 증가율은 유의한 차이 없이, 평균 122.5 mmHg로 혈압이 감소되었으며, 3분 경과후에는 안정시의 혈압을 회복하였다(Table 3).

4) 이완기 혈압은 안정시 평균 74.6 mmHg이었으며, 운동 직후에는 평균 84.2 mmHg로 13.2%의 증가율을 보였으나, 상하지 근위 및 원위 관절에 따른 이

완기 혈압과 증가율에는 유의한 차이가 없었다. 1분 경과후에도 상하지 근위 및 원위 관절간 이완기 혈압과 증가율은 유의한 차이 없이, 평균 77.4 mmHg로 혈압이 감소되었으며, 3분 경과후에는 안정시의 혈압을 회복하였다(Table 4).

5) 심박수는 안정시 평균 분당 71.4회이었으며, 운동 직후에는 평균 분당 99.4회로 39.9%의 증가율을 보였으나, 상하지 근위 및 원위 관절에 따른 심박수와 증가율에는 유의한 차이가 없었다. 1분 경과후에도 상하지 근위 및 원위 관절간 심박수와 증가율은 유의한 차이 없이, 평균 분당 76.3회로 심박수가 감소되었으

Table 5. Heart Rate before and after Test

Groups	Pretest	Immediate	1 minute	3 minutes
Knee extensors		99.9±12.5	75.7±9.7	71.9±8.3
Knee flexors		99.7±12.5	75.3±9.7	71.8±8.3
Ankle flexors		98.4±12.0	76.5±8.8	72.0±8.3
Elbow extensors		98.2±11.6	76.6±9.2	72.3±8.0
Elbow flexors		98.6±10.6	75.5±8.6	71.8±8.2
Wrist extensors		99.6±13.4	74.7±8.5	71.6±8.3
Wrist flexors		100.5±11.6	78.4±8.5	71.3±8.1
		100.6±11.5	77.6±8.6	72.1±8.3
Total	71.4±8.3	99.4±11.8 (39.9±13.6)	76.3±8.9 (7.0±5.6)	72.0±8.1

Values are means and SD(mmHg).

Parentheses are means SD of increment ratio(%).

며, 3분 경과후에는 안정시의 심박수를 회복하였다 (Table 5).

고 찰

등척성 운동을 이용한 근력 강화를 위해서는, 근육 섬유에 피로를 유발시킬 정도의 강한 힘과 모든 근육 섬유가 동원될 수 있을 정도의 충분한 시간동안 수축하는 것이 필요한데⁵⁾, 본 연구에서는 운동¹⁾이 이용한 6초간 최대 등척성 운동을 시행한 방법을 사용하였다.

운동시 혈압과 심박수의 증가 기전에 대해서는 아직 확실히 밝혀진 바 없지만, 여러 연구 결과에 따르면 그 즉각적인 반응 속도로 볼 때, 신경인성 기전에 의한 것일 가능성이 가장 높으며, 이를 크게 중추성과 말초성(반사성) 두가지로 나누어 설명하고 있다^{4, 6, 8, 11, 14)}. 또한 혈압에 영향을 미치는 인자로 심박출량과 말초 저항을 들 수 있는데, 등척성 운동시 말초 저항에는 거의 변화가 없거나 오히려 감소되기 때문에 이때의 혈압상승은 주로 심박출량의 증가에 따른 것으로 보이며, 심박출량의 증가는 일회 심박출량(stroke volume)보다는 심박수의 증가에 기인한 것으로 생각되고 있다¹⁰⁾. 등척성 운동시 혈압 및 심박수가 모두 증가 되는 것으로 알려져 있으나 그 증가 정도는 최대 자발 수축의 정도 및 수축하는 시간과 밀접한 관계가 있다^{2, 6, 9, 10)}

Lind와 McNicol⁹⁾은 4명의 정상 성인을 대상으로

상지의 파악, 고관절 굴근 및 동시에 상지의 파악과 고관절 굴근에서 최대 자발 수축의 20%로 5분간, 최대 자발 수축의 30%로 3분간, 최대 자발 수축의 50%로 1분간 등척성 운동을 시행하여 자발 수축 정도가 클수록 혈압 및 심박수 증가가 더 컸으며, 자발 수축의 정도만 일정하게 유지 된다면 혈압 및 심박수 증가가 활성 근육의 크기와 관계없다고 보고 하였으나 너무 적은 수를 대상으로 한 단점이 있었다.

McCloskey와 Streatfield¹²⁾는 10명의 정상 성인을 대상으로 상지의 파악 및 제 5지 굴근에서 최대 자발 수축의 50%로 1분에서 1.5분동안 등척성 운동을 시행하여 혈압 및 심박수 증가가 같았다고 보고하였다.

Riendl¹⁷⁾은 10명의 건강한 성인 남자를 대상으로 족관절 굴근, 제 5지 내전근에서 최대 자발 수축의 30%로 근육의 피로(fatigue)가 올 때까지 등척성 운동을 시행하여 수축기 혈압은 같지만, 이완기 혈압은 오히려 제 5지 내전근에서 더 높게 나타났다고 보고하였다.

Mitchell¹³⁾은 11명의 건강한 성인 남자를 대상으로 제 2지와 제 3지의 내전근, 상지의 파악, 슬관절 신근, 동시에 상지의 파악과 슬관절 신근에서 최대 자발 수축의 40%로 등척성 운동을 시행하여 활성 근육의 크기가 클수록 심박수와 혈압이 더 증가하였다고 보고하였다.

Seals¹⁸⁾은 12명의 건강한 성인 남자를 대상으로 상지의 파악, 양측 슬관절 신근과 dead lift에서 최대

자발 수축의 30%로 3분간 등척성 운동을 시행하여 활성 근육의 크기가 클수록 혈압과 심박수 증가가 큼을 보였다.

Buck²³⁾은 20세에서 30세의 건강한 성인 남자 12명을 대상으로 제 2지 내전근과 상지의 파악에서 최대 자발 수축의 40%로 근육의 피로가 올 때까지(협력근의 근전도 활성도가 최대의 10%이상이거나 최대 자발 수축의 40%를 유지 못할 때) 등척성 운동을 시행하여 상지의 파악에서 수축기 혈압이 더 증가함을 보고하고, 다른 연구들이 활성 근육의 크기와 심혈관계 반응이 무관하게 나온 이유는 비교한 활성 근육의 크기의 차이가 너무 작기 때문이라고 하면서 활성 근육의 크기의 차이가 충분히 크면 활성 근육의 크기가 클수록 심혈관계 반응이 클 것이라고 제안하였다.

이와 같이 활성 근육의 크기와 심혈관계 반응과의 관계에 대하여 순상관 관계, 역상관 관계 또는 관계가 없다고 하는 상반된 결과들이 보고되고 있다. 그러나 이러한 연구들은 최대 자발 수축의 정도 및 수축 시간 등을 포함한 연구 방법이 다르기 때문에 객관적으로 비교하는 것은 타당하지 않다. Ramos¹⁶⁾은 6명의 건강한 성인을 대상으로 상지의 파악에서 등척성 운동을 시행하여, 최대 자발 수축의 정도 및 수축하는 시간이 클수록 동원되는 협력근(synergistic muscle)의 양이 증가하며 이에 비례해서 혈압이 증가하기 때문에 활성화된 근육의 크기가 충분히 크지 않으면 심혈관계 반응의 차이가 최소화된다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 슬관절, 족관절, 주관절 및 완관절의 신근과 굴근에서 단기간의 최대 등척성 운동을 시행하여 최대 우력치의 크기(활성 근육의 크기)의 차이가 충분히 크어도 혈압 및 심박수 증가의 양에는 차이가 없이 일정하여 단기간의 최대 등척성 운동시 혈압 및 심박수의 증가는 활성 근육의 크기와 무관함을 알 수 있었다.

실제 단기간의 최대 등척성 운동시 Valsalva maneuver가 부가적으로 작용하는 한편, 실제 수축하고자 하는 근육이외의 다른 협력근(synergistic muscle)과 안정근(stabilizing muscle)이 부가적으로 동원되어 혈압을 증가 시키기 때문에, 본 연구와 같이 단기간의 최대 등척성 운동에서는 활성 근육의 크기와 무관하게 심혈관계 반응이 일정하게 나온 것으로 생각한다.

본 연구에서는 최대 등척성 우력치가 클수록, 이에 이르는 시간이 유의하게 길었다($p < 0.01$). 이는 많은 근육을 활성화 시키는데 걸리는 시간이 적은 근육을 활성화 시키는데 걸리는 시간보다 길기 때문인 것으로 생각한다.

결 론

연세대학교 의과대학 재활의학교실에서는 우측이 우성인 건강한 20대 성인 남자 30명을 대상으로 앉은 자세에서 등속성 운동기구 Cybex 340을 이용하여 우측의 슬관절(90도), 족관절(0도), 주관절(90도) 및 완관절(0도)의 신근 및 굴근에 대한 최대 등척성 운동을 6초간 시행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 각 관절에서 낮은 등척성 우력치를 보인 근육보다 높은 등척성 우력치를 보인 근육에서 이에 이르는 시간이 유의하게 길었다($p < 0.01$).

2) 운동 직후 수축기 혈압과 이완기 혈압의 증가율은 각 관절간 유의한 차이 없이 각각 17.3%, 13.2%이었으며, 1분후부터 각 관절간 유의한 차이없이 감소하였다.

3) 운동 직후 심박수 증가율은 각 관절간 유의한 차이 없이 39.9%이었으며, 1분후부터 각 관절간 유의한 차이없이 감소하였다.

이상의 결과로 보아 단기간의 최대 등척성 수축시 활성 근육의 크기와 혈압 및 심박수 증가는 활성 근육의 크기에 무관하게 일정하며, 낮은 등척성 우력치를 보이는 근육보다 높은 우력치를 보이는 근육의 활성 시간이 느림을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 윤태식, 김에영, 김주섭, 신정순: 슬관절 등척성 수축시 우력 양상과 심혈관계에 미치는 영향. 대한재활의학회지 15: 387-397, 1991
- 2) Alam M, Smirk FH: Observations in man upon a blood pressure raising reflex arising from the voluntary muscles. J Physiol 89: 372-383, 1937
- 3) Buck JA, Amundsen LR, Nielsen DH: Systolic blood pressure responses during isometric contractions of large and small muscle groups. Med Sci Sports Exercise 12: 145-147, 1980
- 4) Coote JH, Hilton SM, Perez-Gonzalez JF: The

- nature of the pressor response to muscular exercise. *J Physiol* 215: 789-804, 1971
- 5) DeLisa JA, Gans BM: *Rehabilitation medicine: Principles and practice*. 2nd ed., Philadelphia, J. B. Lippincott Co., 1993, pp526-554
 - 6) Donald KW, Lind AR, McNicol GW, Humphreys PW, Taylor SH, Staunton HP: Cardiovascular response to sustained(static) contractions. *Circ Res XX & XXI (Suppl.): I-15-I-32*, 1967
 - 7) Greer M, Dimick S, Burns S: Heart rate and blood pressure response to several methods of strength training. *Phys Ther* 64: 179-183, 1984
 - 8) Goodwin GM, McCloskey DI, Mitchell JH: Cardiovascular and respiratory responses to changes in central command during isometric exercise at constant muscle tension. *J Physiol* 226: 173-190, 1972
 - 9) Lind AR, McNicol GW: Circulatory responses to sustained hand-grip contractions performed during other exercise, both rhythmic and static. *J Physiol* 192: 595-607, 1967
 - 10) Lind AR, Taylor SH, Humphreys PW, Kennelly BM, Donald KW: The circulatory effects of sustained voluntary muscle contraction. *Clin Sci* 27: 229-244, 1964
 - 11) McCloskey DI, Mitchell JH: Reflex cardiovascular and respiratory responses originating in exercising muscle. *J Physiol* 224: 173-186, 1972
 - 12) McCloskey DI, Streatfield KA: Muscular reflex stimuli to the cardiovascular system during isometric contractions of muscle groups of different mass. *J Physiol* 250: 431-441, 1975
 - 13) Mitchell JH, Payne FC, Saltin B, Schibye B: The role of muscle mass in the cardiovascular response to static contractions. *J Physiol* 309: 45-54, 1980
 - 14) Mitchell JH, Schibye B, Payne FC, Saltin B: Response of arterial blood pressure to static exercise in relation to muscle mass, force development, and electromyographic activity. *Circ Res* 48 (Suppl.): I-70-I-75, 1981
 - 15) Muller EA: Influence of training and inactivity on muscle strength. *Arch Phys Med Rehabil* 51: 449-462, 1970
 - 16) Ramos MU, Mundale MO, Awad EA, Witsoe DA, Cole TM, Olson M, Kottke FJ: Cardiovascular effects of spread of excitation during prolonged isometric exercise. *Arch Phys Med Rehabil* 54: 496-504, 1973
 - 17) Riendl AM, Gotshall RW, Reinke JA, Smith JJ: Cardiovascular response of human subjects to isometric contraction of large and small muscle groups. *Proc Soc Exp Biol Med* 154: 171-174, 1977
 - 18) Seals DR, Washburn RA, Hanson PG, Painter PL, Nagle FJ: Increased cardiovascular response to static contraction of large muscle groups. *J Appl Physiol* 54: 434-437, 1983
 - 19) Tuttle WW, Horvath SM: Comparison of effects of static and dynamic work on blood pressure and heart rate. *J Appl Physiol* 10: 294-296, 1957
 - 20) Yoon TS, Park DS, Kang SW, Chun SI, Shin JS: Isometric and isokinetic torque curves at the knee joint. *Yonsei Med J* 32: 33-43, 1991
-