

## Endothelial function in prehypertensive during dynamic handgrip exercise

Lee Jun-soo<sup>1</sup>, Jung EunJi<sup>1</sup>, Kim Bo-Hee<sup>1</sup>, Choi Hyun-Min<sup>1</sup>, & Nho Hosung<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Kyung Hee University & <sup>2</sup>SSCIENCE

The purpose of this study was a investigate the endothelial function of prehypertensive during dynamic exercise. Hypothesis of this study was to impair the endothelial function in prehypertensive compared to normtensive during dynamic handgrip exercise. Eleven healthy prehypertension (24±2 yrs) and ten healthy normotensive (25 ± 2 yrs) were recruited in this study. Participants were performed dynamic handgrip exercise in one contraction per second at 30% of maximum voluntary contraction for three minutes. Vascular (blood vessel diameter, blood flow) and cardiar response (stroke volume, heart rate and cardiac output) were measured at rest and during exercise. Flow mediated dilation (FMD) was decrease significantly in prehypertensive less than normotensive ( $p<0.05$ ) at rest, and vasodilation of prehypertensive was reduced significantly less than normitensive during exercise ( $p<0.05$ ). All the cardiovascular responses were aot significantly different at rest and during exercise between prehypertensive and normotensive. These results suggest that endothelial function is impaired in prehypertensive compared to in normotensive

**Key words:** Endothelial cell, Prehypertension, FMD, Dynamic exercise 

### 서 론

우리나라의 30대 이상 경계성고혈압 발병률은 약 31%로 10명 중 3명으로 높은 수치를 나타내며(Choi et al., 2006), 정상혈압자에 비해 고혈압으로의 이환율은 40%로 약 2배나 높다(Vasan et al., 2002). 따라서 경계성고혈압자는 고혈압과 동맥경화, 심근경색, 뇌졸중, 협심증, 기타 심혈관질환을 일으키는 독립적인 위험인자(Lu et al., 2015)로, 이를 미리 예방하고 개선하기 위해 식이와 운동요법을 권장하고 있다(James et al., 2015).

지금까지의 선행연구에 따르면 경계성고혈압자의 운동 형태로 저항성운동과 유산소운동의 실시가 혈압의 감

소효과를 가져오는데, 이는 혈관내피세포의 기능 향상과 관련이 있다(Beck et al., 2013). 운동실시로 인하여 증가된 혈류량이 직접적으로 혈관전단력(shear stress)을 증가시켜 혈관내피세포의 산화질소(nitric oxide: NO)와 같은 강력한 혈관이완인자의 분비를 촉진하여 혈류량을 조절하고 평활근의 성장을 저하시키고 혈소판 응집을 억제시키는 등 혈관의 기능을 조절하기 때문이다(Vanhoutte et al., 2009). 특히, 말초혈관저항(total peripheral resistance)은 혈관의 이완과 수축을 통해 이루어지며, 혈관이완은 혈관내피세포로부터 분비되는 NO와 prostacyclin 등에 의해 이루어진다(Clifford & Hellsten, 2004). 그 중 NO는 혈관내피세포에서 유리되는 가장 강력한 혈관이완 물질이다(Landmesser & Drexler, 2007). 그러나 고혈압을 유발한 쥐에서 의존적 혈관확장능력(dependent vasodilation)이 저하된다는 흥미 있는 연구 성과도 보고되었다(Gunduz et al., 2011).

논문 투고일 : 2016. 06. 23.

논문 수정일 : 2016. 08. 22.

게재 확정일 : 2016. 09. 12.

\* 저자 연락처 : 노호성(nhohs@khu.ac.k).

경계성고혈압자는 정상혈압자에 비해 운동 중에 과도한 심혈관 반응을 나타낸다(Choi et al., 2013). 운동 중 과도한 심혈관 반응은 심장마비나 뇌졸중 유발 가능성을 증가시키기 때문에 주의가 요구된다(Lewis et al., 2008). 운동 중 발생하는 심혈관 반응은 중앙명령(central command)(Eldridge et al., 1981; Waldrop et al., 1996)과 운동승압반사(exercise pressor reflex: EPR)(Kaufman & Forster, 1996)에 의해 조절된다. Group III 구심성 신경은 골격근 수축으로 인한 기계적 자극에 의하여 흥분하고 대사적 수용기 Group IV는 구심성 운동 중 골격근 내 축적된 대사산물에 의해 자극되어 운동승압반사가 유발된다. 이 두 가지 기전으로 인하여 교감신경이 활성화되고 혈압, 심박출량, 심박수 등의 증가가 나타난다(Kaufman et al., 1984).

Choi et al.(2013)은 정적 운동과 혈관폐색을 통해 상완에서 경계성고혈압자와 정상혈압자의 혈압반응을 비교하였다. 정상혈압자보다 경계성고혈압자가 과도한 혈압 반응을 나타내었는데, 이는 총 말초혈관저항의 증가 때문으로 보고되었다. 총 말초혈관저항은 평활근의 수축과 이완에 의해 변화된 혈관내경의 영향을 받는다. 저하된 혈관전단력과 thrombin, transforming growth factor  $\beta$  (TGF- $\beta$ ), calcium ionophore, angiotension II 등으로 인하여 Endothelin-1이 생성과 분비가 촉진되지만 NO에 의해 억제된다(Lee et al., 1998). Endothelin-1은 혈관내피에서 생성되며 평활근세포를 수축시키는 물질로 Endothelin-1의 농도의 증가는 혈압을 증가시키고 심혈관질환 등을 일으키게 된다(Cernacek et al., 2003). 혈관내피기능을 평가하는 혈류매개 혈관확장 반응(flow mediated dilation: FMD)의 측정을 통해 혈압이 증가할수록 혈관내피의 기능이 저하된다(Xu et al., 2009).

선행연구를 종합하면 경계성고혈압자는 정상혈압자보다 혈관내피세포기능이 감소하고, 혈관의 저항성이 증가하게 되어 운동 중 과도한 혈압반응을 나타낸다. 더불어 수축과 이완을 반복하는 동적운동 중 직접적으로 작용하는 혈관을 검토한 연구는 미비한 실정이며, 본 연구를 통해 경계성고혈압자들의 핸드그립을 이용한 상완동맥에서 동적 운동 시, 혈류량과 혈관직경을 측정하고, FMD 검사를 통한 혈관내피세포기능을 검토하여 운동

중에 과도하게 증가되는 혈압이 어떠한 기전에 의해 나타나는지를 규명하고자 하였다.

따라서 본 연구는 경계성고혈압자와 정상혈압자를 대상으로 FMD 검사와 핸드그립을 이용한 동적 운동 시 혈압 반응과 혈관내피세포기능(endothelial function)을 검토하였다.

## 연구방법

### 연구대상

본 연구의 대상자는 경기도 Y시에 K대학교에 소속된 20대 남자대학생으로 경계성고혈압자 11명(23.6±0.6세)과 정상혈압자 10명(24.7±0.7세)을 선정하였다. 또한 대상자들의 생활습관을 통제하여 적어도 이들 이상의 간격을 두고 두 번의 연구실을 방문하여 오전 중에 양쪽 상완의 혈압 적어도 5분 간격으로 측정하여 혈압이 높은 쪽 상완에서의 평균값을 산출하였다(Park et al., 2006).

대상자는 심혈관 질환 및 정형외과적 질환이나 혈압의 영향을 미치는 약물을 복용하는 대상자는 제외하였다. 대상자들에게 잠재적인 위험요소 등을 충분히 설명하였으며 연구 전반적으로 이해를 시킨 후 참여 의사를 밝혔다. 대상자에게 건강력설문지(health history questionnaire: HHQ)와 검사 참가동의서(informed consent)를 작성하여 모든 검사에 자발적으로 참여하도록 하였다.

본 연구에 참여한 모든 대상자의 측정은 오전 8시부터 11시 사이에 실시하였으며, 측정 전날 음주, 격렬한 신체활동, 흡연 등을 통제하고 측정 당일 카페인섭취, 흡연, 식사를 제한하여 공복상태로 측정하였다. 대상자의 특성은 <Table 1>에 제시된 바와 같다.

### 측정내용 및 방법

신장은 신장계(WB-150; Tanita, Tokyo, Japan)를 사용해서 0.1cm 단위로 측정하였고, 체중은 체중계(YG-200; Yagami, Nagoya, Japan)를 사용해 0.1kg

Table 1. Characteristics of subjects (M±SD)

	All (n=21)	Prehypertens ive (N=11)	Normotensi ves (N=10)	p
Age (yrs)	24.1±2.1	23.6±0.6	24.7±0.7	0.21
Weight (kg)	74.1±9.2	75.4±3.2	72.6±2.3	0.50
Height (cm)	175.8±5.7	174.63±1.0	177.1±2.4	0.32
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.9±2.8	24.7±1.0	23.12±0.7	0.20
Body Fat (%)	19.5±21.8	15.7±1.5	23.6±10.0	0.42
SBP (mmHg)	121±8.4	128±1.5*	114±1.0	0.00
DBP (mmHg)	78±6.0	81±1.7*	74±1.0	0.00
MAP (mmHg)	92±6.0	97±1.2*	87±0.8	0.00

\* p&lt;.05

단위로 측정하였으며, 신장과 체중을 이용해 body mass index를 산출하였다. X-Scan plus II를 이용하여 체지방률(percent body fat: %fat)을 측정하였다. FMD 검사와 악력계를 이용한 동적 운동시 혈관의 지름, 혈류량, 혈압, 심박수(heart rate: HR), 1회 박출량(stroke volume: SV), 심박출량(cardiac output: CO), 계산식으로 산출한 혈류량과 TPR을 측정하여 경계성고혈압자들의 혈압반응과 혈관내피세포 기능을 검토하였다. 혈관직경은 7.5 MHz의 B-mode 선형 탐촉자(liner transducer)를 이용하여 Antecubital fossa 약 2~3 cm 상부 부분의 상완동맥 중앙의 직경을 측정하고 혈류 속도는 맥파 도플러법(pulse wave doppler) (ClearVue 550, U.S.A)을 이용하여 동일한 부분에서 측정하였다. B-mode영상에서 혈관 내막층(intima later)이 가장 선명하게 보이는 곳을 선정하여 기준점을 맞추었다. 혈류량은 기준점에서 약 60°의 각도로 pulse wave doppler를 이용하여 동맥의 혈류 속도를 측정하였다. 혈관직경과 혈류속도를 이용하여 혈류량을 산출하였다.

#### 안정 시 및 동적 운동 시 혈압측정

수은혈압계(Sphygmomanometer, Germany)를 사용하여 측정하였다. 측정은 모두 오전 08:00시에서 11:00시 사이에 측정하였으며 측정 당일 실험실에 도착 후 의자에 앉아서 등을 기대고 약 10분 이상 안정을 취하게 한 뒤, 양 발을 바닥에 밀착시킨 뒤 왼팔의 위치가 심장의 위치와 동일하게 놓은 후 커프(cuff)를 착용하고,

청진기(stethoscope)를 상완동맥에 고정하여 SBP, DBP, MAP를 측정 하였다(MAP=SBP-DBP)/3+DBP). 약 5분 간격으로 측정하고, 반대편 팔도 동일한 방법으로 측정하여 양 팔의 높은 값의 평균값을 산출하였다. FMD검사가 끝난 후 측정용 침대에 누운 상태에서 30분간 휴식을 취했다. 운동은 악력계(TKK-5001)로 실시하였으며, MVC측정 시와 같은 폭을 사용하였다. MVC의 30% 초당 1회 수축을 3분간 실시하였으며, SMT-1000을 사용하여 박자에 맞추어 수축과 이완을 반복하였다. 운동 2분 후 약 10초 간격으로 혈관이 가장 넓고 뚜렷한 부분에서 총 3번의 혈관직경을 산출하고 평균값을 산출하였다.

운동시작 후 2분 50초에 운동 중인 반대편 팔에 커프를 착용하여 안정시 수축기 혈압에 40 mmHg를 압력을 더하여 운동이 끝나기 직전에 혈압을 측정하였다.

#### HR, SV, CO, TPR의 측정

안정시 HR, SV, CO를 측정하기 위해 총 6개의 심전도 전극을 부착하고, 측정용 침대에 누운 후 5분간 안정을 취한 뒤에 Physio flow(physio flow PF-05, Manatec biomedical, France)의 장비를 사용하여 5분간 안정시 값을 측정하였다. SV는 심장에서 혈액을 방출하는 동안 흉강을 통한 임피던스(transthoracic impedance)의 변화를 측정가능한 생체전기저항법을 이용하였다(Welshman et al., 2005). CO값은 Fick's의 법칙을 사용하였고(CO=SV×HR), TPR은 계산식에 의해서 산출하였다(TPR = MAP/CO). 또한 FMD를 실시 후에 30분간의 휴식을 취한 뒤 동적 운동을 실시하였다. 30분간 휴식시간은 모든 심혈관의 변수가 안정시로 돌아오기 위한 시간이다. 동적 운동시작과 동시에 TPR을 측정하고 운동이 끝나는 동시에 측정을 중단하여 운동 중 심혈관 반응을 측정하였다.

#### 통계 분석

본 연구에서 실험을 통하여 측정된 모든 자료는 SPSS PC+for window(version 21.0) 통계 프로그램을 이용하여 모든 항목의 측정치를 기술통계량(mean ±standard error)으로 나타내었다. 경계성고혈압자와

정상혈압자에 대한 집단 간 유의차 검증은 독립 T 검증 (independent t-test)의 방법을 사용하였다. 모든 통계치의 유의수준  $\alpha$ 는 .05로 하였다.



Fig 1. Vessels measuring during dynamic exercise

## 결 과

이 연구에서 얻어진 경계성고혈압자의 혈관내피세포 기능 검사 시 혈류량과 핸드그립을 이용한 동적 운동 시 혈관내피세포기능, 혈류량, 심혈관 반응에 대한 결과는 다음과 같다.

### 안정 시 혈관직경, 혈류량, 심혈관 반응의 비교

안정 시 혈관직경, FMD시 혈관직경, (%)FMD, 혈류량에는 두 집단 간 차이가 나지 않았다(Table 2). 또한 (Table 3)에서와 같이 심혈관 반응을 검토하기 위한 HR, SV, CO, TPR은 두 집단 간 차이는 나타내지 않았으나 SBP, DBP, 계산식으로 산출한 평균혈압은 집단 간 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ).

### 동적 운동 시 혈관직경, 혈류량, 심혈관 반응의 비교

동적 운동 시 혈류량은 두 집단 간 차이가 없었으나 혈관 직경에서는 유의한 차이가 나타났다( $p < .05$ ). HR, SV, CO, TPR은 차이를 나타내지 않았으나 SBP, DBP, MAP는 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ) (Table 4). 또한 안정 시와 비교하여 동적 운동 시의 혈류량과 혈관 직경의 변화에서 혈류량에서는 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 혈관 직경에서는 두 그룹간의 유의한 차이가 나타났다( $p < .05$ ) (Table 5)

Table 2. The comparison of endothelial function during rest.

	Prehypertensive (n=11)	Normotensives (n=10)	<i>P</i>
rest diameter(cm)	0.417±0.0	0.422±0.1	.786
Absolute diameter(cm)	0.439±0.0	0.472±0.1	.129
FMD(%)	5.48±3.4	11.96±3.7*	.000
Volume(l/min)	0.057±0.0	0.064±0.0	.568

\*  $p < .05$

Table 3. The comparison of cardiovascular responses during rest.

	Prehypertensive (n=11)	Normotensives (n=10)	<i>P</i>
HR (bpm/min)	58.8±9.0	56.4±5.0	.489
SV (ml)	60.3±14.1	57.4±7.8	.593
CO (l/min)	3.49±0.81	3.25±0.54	.450
TPR (ml/min/mmHg)	30.0±7.7	27.7±4.9	.465
SBP(mmHg)	130±4.7*	114±5.1	.000
DBP(mmHg)	84±3.4*	74±4.0	.000
MAP(mmHg)	99±3.3*	88±4.0	.000

\*  $p < .05$

Table 4. The comparison of cardiovascular responses during dynamic exercise.

	Prehypertensive (n=11)	Normotensives (n=10)	<i>P</i>
Δ HR (bpm)	12.8±9.5	12.2±6.6	.871
Δ SV (ml)	-3.1±5.0	-4.5±6.8	.589
Δ CO (l/min)	0.54±0.5	0.26±0.4	.201
Δ TPR (ml/min.mmHg)	1.87±7.1	1.88±5.1	.719
SBP(mmHg)	144±6.4*	132±7.9	.002
DBP(mmHg)	97±8.1*	88±6.4	.016
MAP(mmHg)	113±7.0*	103±6.7	.006

\*  $p < .05$

Table 5. Changes from baseline in diameter and volume during dynamic exercise

	Prehypertensive (n=11)	Normotensives (n=10)	<i>P</i>
Δ Diameter(cm)	0.189±0.01	0.336±0.02	.015
Δ Volume(l/min)	0.148±0.05	0.154±0.06	.817

\*  $p < .05$

## 논 의

### 경계성고혈압과 혈관내피기능

혈관내피의 기능이 저하되면 동맥 혈관이완능력이 감소되고, 이로 인해 동맥경화의 원인이 되며, 혈관내피 역기능은 NO를 생성하는 능력이 감소하여 발생한다(Deanfield et al., 2007; Vanhoutte et al., 2009). 고혈압은 혈관내피에서 생성되는 NO에 의한 혈관이완 능력의(NO-mediated endothelium-dependent vasodilation) 저하와 밀접한 관계가 있다(Egashira et al., 1995; Higashi et al., 1997). 따라서 경계성고혈압자에서 심혈관 질환이 증가되는 것은 혈관내피기능의 저하로 인해 유발될 수 있는 가능성이 제기된다.

본 연구에서는 경계성고혈압자와 정상혈압자의 혈관내피기능에 대해 FMD를 이용하여 검토하였다. 그 결과 정상혈압자의 %FMD에서는 12.0%가 증가하였고, 경계성고혈압자의 %FMD에서는 5.5%가 증가하여 경계성고혈압자에서 혈관내피기능이 유의하게 낮은 것으로 나타났다. Weil (2011) 등은 중년 남성과 여성 경계성고혈압자를 대상으로 혈관내피기능을 조사하기 위하여 상완동맥에 혈관내피 NO 억제제(endothelial NO synthase inhibitor)인 L-NMMA를 투여한 후 상완동맥 혈류량을 측정 하였는데, 정상혈압자에 혈류량이 유의하게 감소하였지만 경계성고혈압자에서 혈류량에서는 변화가 없었다. 이러한 결과는 경계성고혈압자의 혈관내피기능이 정상혈압자에 비해 현저하게 저하되어 본 연구와 일치하고 있다. 이러한 결과는 운동 중에 경계성고혈압자에 혈관내피기능은 저하되어 NO 생성과 혈관이완을 감소시키고 후에 고혈압과 동맥경화 유발에 기인할 수 있을 것으로 사료된다.

고혈압자에서 운동 중 과도한 혈압상승은 혈관내피기능 저하 때문에 발생할 수 있다는 가능성이 제기되고 있는데, Stewart et al.(2003)은 중년에서 고령 연령대의 남성과 여성 고혈압자를 대상으로 트레드밀 운동 시 얻어진 최대 수축기혈압과 안정 시 혈압 차이와 FMD를 이용한 혈관내피기능에 관한 상관관계를 조사하였다. 혈관내피기능과 과도한 혈압상승에는 유의한 부적인 상관

관계가 나타났고 고혈압자에서 운동 시 과도한 혈압상승은 혈관내피기능 저하에 때문에 발생할 수 있다는 가능성을 주어 본 연구에서 나타난 경계성고혈압자와의 결과와 일치하고 있다. 또한 경계성고혈압자가 정상혈압자에 비해 운동 중 혈관직경이 유의하게 감소하였다. 이는 경계성고혈압자가 운동 중에 유발하는 과도한 혈압상승은 혈관내피기능과 밀접한 연관성이 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 운동 중 증가되는 혈압에 대한 결과로 비추어 볼 때 경계성고혈압자들에게 운동 중에 있어서 고혈압과 같이 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

### 안정 시와 덩적 운동 시 심혈관 반응

경계성고혈압자는 운동 중 높은 심혈관 반응을 나타나 운동 중 뇌졸중이나 심장마비를 일으킬 수 있다(Lewis et al., 2008). 경계성고혈압은 정상혈압자에 비해 운동 중 과도한 혈압증가로 인하여 높은 심부담(rate-pressure product: RPP) 증상이 발생하기 때문에 운동이 제한적이고, 운동 강도 설정을 신중하게 고려해야 한다.

본 연구에서 두 집단 모두 안정 시와 운동 중 HR, SV, CO, TPR은 차이를 나타내지 않았지만, 경계성고혈압자의 안정 시와 운동 중의 SBP, DBP, MAP는 정상혈압자보다 높게 나타나 운동 중 더욱 주의가 요구된다. 경계성고혈압자가 운동 시 과도한 혈압반응을 일으키는 원인은 정상혈압자에 비해 상대적으로 높은 TPR이라 제시하였다. 이는 CO와 밀접한 관련이 있으나 본 연구에서는 경계성고혈압자와 정상혈압자의 유의한 차이가 나타나지 않았다. Stebbins et al.(2002)은 정상혈압자를 대상으로 동적 핸드그립운동으로 운동 시 얻어진 혈압, SV, CO, 혈류량과 전신혈관저항(systemic vascular resistance: SVR)값을 측정하여 안정 시와 비교하였는데, 과도하게 증가된 혈류량에 비해서 HR, CO, SVR의 변화는 미비하였다. 그러나 저강도에서 상대적으로 낮은 심혈관 반응을 보인다고 보고하여 본 연구의 결과를 지지하였다. 이와 같이 경계성고혈압자의 과도한 혈압반응은 운동 중 높은 CO과 밀접한 연관성이 있기 때문에 대근육 혹은 전신을 사용하여 경계성고혈압자의 높은 혈압반응에 대한 연구의 필요성을 제언한다.

## 결론 및 제언

본 연구는 남성 경계성혈압자와 정상혈압자를 대상으로 안정 시 및 동적 운동 시 혈관내피기능과 심혈관 반응을 검토하였다. 그 결과, 경계성고혈압자는 정상혈압자에 운동 시 혈관의 이완율이 낮게 나타났으며, 안정 시 및 운동 중 SBP, DBP, MAP이 높게 나타났다 ( $p < .05$ ). 이와 같은 결과는 경계성고혈압자가 정상혈압자에 비해 안정 시, 운동 중 혈관내피기능이 저하되어 있음이 시사되었다. 결론적으로 경계성고혈압자의 동적 운동 시 나타나는 높은 혈압 반응은 혈관 직경의 감소에 영향을 미치는 것으로 본 연구를 통해 알 수가 있었다.

## 참고문헌

- Beck, D. T., Casey, D. P., Martin, J. S., Emerson, B. D., & Braith, R. W. (2013). Exercise training improves endothelial function in young prehypertensives. *Experimental Biology and Medicine*, 238(4), 433-441.
- Cernacek, P., Stewart, D. J., Monge, J. C., & Rouleau, J. L. (2003). The endothelin system and its role in acute myocardial infarction. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 81(6), 598-606.
- Choi, H., Stebbins, C.L., Lee, O., Nho, H., Lee, J., Chun, J., Kim, K., & Kim, J. (2013). Augmentation of the exercise pressor reflex in prehypertension: roles of the muscle metaboreflex and mechanoreflex. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38, 209-215.
- Choi, K. M., Park, H. S., Han, J. H., Lee, J. S., Lee, J., Ryu, O. H., Lee, K. W., Cho, K. H., Yoon, D., Baik, S. H., Choi, D. S., & Kim, S. M. (2006). Prevalence of prehypertension and hypertension in a Korean population: Korean National Health and Nutrition Survey (2001). *Journal of Hypertension*, 24, 1515-1521.
- Clifford, P. S., & Hellsten, Y. (2004). Vasodilatory mechanisms in contracting skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 97(1), 393-403.
- Deanfield, J. E., Halcox, J. P., & Rabelink, T. J. (2007). Endothelial function and dysfunction testing and clinical relevance. *Circulation*, 115(10), 1285-1295.
- Egashira, K., Suzuki, S., Hirooka, Y., Kai, H., Sugimachi, M., Imaizumi, T., & Takeshita, A. (1995). Impaired Endothelium-Dependent Vasodilation of Large Epicardial and Resistance Coronary Arteries in Patients With Essential Hypertension Different Responses to Acetylcholine and Substance P. *Hypertension*, 25(2), 201-206.
- Eldridge, F. L., Millhorn, D. E., & Waldrop, T. G. (1981). Exercise hyperpnea and locomotion: parallel activation from the hypothalamus. *Science*, 211, 844-846.
- Gündüz, F., Koçer, G., Ulker, S., Meiselman, H. J., Başkurt, O. K., & Sentürk, U. K. (2011). Exercise training enhances flow-mediated dilation in spontaneously hypertensive rats. *Physiological Research*, 60, 589-597.
- Higashi, Y., Oshima, T., Ozono, R., Matsuura, H., & Kajiyama, G. (1997). Aging and severity of hypertension attenuate endothelium-dependent renal vascular relaxation in humans. *Hypertension*, 30(2), 252-258.
- James, E., Sharman, A. G., & Jeff, S. C. (2015). Exercise and Cardiovascular Risk in Patients With Hypertension. *American Journal of Hypertension*, 28, 147-158.
- Kaufman, M. P., Rybicki, K. J., Waldrop, T. G., & Ordway, G. A. (1984). Effect of ischemia on responses of group III and IV afferents to contraction. *Journal of Applied Physiology*, 57(3), 644-650.
- Kaufman, M. P., & Forster, H. V. (1996). Reflexes controlling circulatory, ventilatory and airway responses to exercise. *Comprehensive Physiology*.
- Landmesser, U. I., & Drexler, H. (2007). Endothelial function and hypertension. *Current Opinion in Cardiology*, 22(4), 316-320.
- Lee, Y. C., Juan, C. C., Fang, V. S., Hsu, Y. P., Lin, S. H., Kwok, C. F., & Ho, L. T. (1998). Evidence that endothelin-1 (ET-1) inhibits insulin-stimulated glucose uptake in rat adipocytes mainly through ETa receptors. *Metabolism*, 47, 1468-1471.
- Lewis, G. D., Gona, P., Larson, M. G., Plehn, J. F., Benjamin, E. J., O'Donnell, C. J., Levy, D., Vasani, R. S., & Wang, T. J. (2008). Exercise blood pressure and the risk of incident cardiovascular disease (from the Framingham Heart Study). *The American Journal of Cardiology*, 101, 1614-1620.
- Lu, Y., Lu, M., Dai, H., Yang, P., Smith-Gagen, J., Miao, R., Zhong, H., Chen, R., Liu, X., Huang, Z., & Yuan, H.

- (2015). Lifestyle and Risk of Hypertension: Follow-Up of a Young Pre-Hypertensive Cohort. *International Journal of Medicine Science*, 12, 605-612.
- Park, S., Rink, L. D., & Wallace, J. P. (2006). Accumulation of physical activity leads to a greater blood pressure reduction than a single continuous session, in prehypertension. *Journal of Hypertension*, 24(9), 1761-1770.
- Stebbins, C. L., Walser, B., & Jafarzadeh, M. (2002). Cardiovascular responses to static and dynamic contraction during comparable workloads in humans, *American Journal of Physiology*, 283, 568-575.
- Stewart, K. J., Badenhop, D., Brubaker, P. H., Keteyian, S. J., & King, M. (2003). Cardiac rehabilitation following percutaneous revascularization, heart transplant, heart valve surgery, and for chronic heart failure. *Chest Journal*, 123(6), 2104-2111.
- Vanhoutte, P. M., Shimokawa, H., Tang, E. H. C., & Feletou, M. (2009). Endothelial dysfunction and vascular disease. *Acta Physiologica*, 196(2), 193-222.
- Vasan, R. S., Beiser, A., Seshadri, S., Larson, M. G., Kannel, W. B., D'Agostino, R. B., & Levy, D. (2002). Residual lifetime risk for developing hypertension in middle-aged women and men. *JAMA*, 287, 1003-1010.
- Waldrop, T. G., Eldridge, F. L., Iwamoto, G. A., & Mitchell, J. H. (1996). Central neural control of respiration and circulation during exercise. *Comprehensive Physiology*.
- Weil, B. R., Stauffer, B. L., Greiner, J. J., & DeSouza, C. A. (2011). Prehypertension is associated with impaired nitric oxide-mediated endothelium-dependent vasodilation in sedentary adults. *American Journal of Hypertension*, 24(9), 976-981.
- Welsman, J., Bywater, K., Farr, C., Welford, D., & Armstrong, N. (2005). Reliability of peak  $\dot{V}_{O_2}$  and maximal cardiac output assessed using thoracic bioimpedance in children. *European journal of applied physiology*, 94(3), 228-234.
- Xu, J. Z., Zhang, Y., Wu, S. N., Niu, W. Q., Zhu, D. L., & Gao, P. J. (2009). Impaired endothelial function in hypertensive patients with target organ damage. *Journal of Human Hypertension*, 23(11), 751-757.

## 경계성고혈압자의 동적 운동 시 혈관내피세포기능

이준수, 정은지, 김보희, 최현민(경희대학교), 노호성(S사이언스)

본 연구의 목적은 동적 운동 시 경계성고혈압자와 정상혈압자를 대상으로 Doppler Ultrasound와 Physio flow를 통한 혈관내피세포기능과 심혈관 반응에 대하여 비교하는 것이다. 본 연구의 가설은 경계성고혈압자가 정상혈압자에 비해 안정 시 FMD(flow-mediated dilation)검사와 핸드그립을 이용한 동적 운동시 혈관내피세포기능이 저하 될 것이다. 연구 참여자는 정상혈압자 10명, 경계성고혈압자 11명으로 20대 남학생으로 선정하였다. 동적 운동은 최대 악력의 30%로 초당 1회 수축하며 총 3분간 실시하였다. 운동 중 혈관의 변화와 심혈관 반응을 지속적으로 살펴보았으며 통계분석은 두 집단을 비교하기 위해 독립 T 검증을 실시하였다. 그 결과, 안정시 혈관직경, FMD시 혈관직경, (%)FMD, 혈류량에는 두 집단 간 차이가 나지 않았다. 동적 운동 시 혈관이완에서 두 집단 간에 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 경계성고혈압자는 정상혈압자에 비해 혈관내피세포기능이 저하되어 있음이 시사되었다.

**주요어:** 혈관내피세포, 경계성고혈압, FMD, 동적 운동