

리컴벤트 각도가 운동과 회복기 중 뇌혈류와 심부담도에 미치는 영향

김성대¹, 정일규¹, 고윤석², 이희혁¹

¹한남대학교 스포츠과학과, ²Baylor University Department of Health, Human Performance and Recreation

Effects of Recumbent Angle during Cycling on Cerebral Blood Flow Velocity and Rate Pressure Product during Exercise and Recovery

Seong Dae Kim¹, Il Gyu Jeong¹, Yun Suk Koh², Hee-Hyuk Lee¹

¹Department of Sports Science, Hannam University, Daejeon, Korea

²Department of Health, Human Performance and Recreation, Baylor University, Waco, TX, USA

Background: The cerebral blood flow velocity (CBFV) and rate pressure product (RPP) have been reported to benefit hemodynamics more during exercise in the recumbent position than during that in the upright position. However, it is unclear which angle is of the greatest benefit to hemodynamics during exercise in the recumbent position. This study aimed to evaluate the effect of the recumbent angle on CBFV and RPP during exercise.

Methods: In a balanced crossover study, 15 healthy volunteers (age, 18.7±1.1 years) were asked to perform the bicycle exercise four times in the upright and at recumbent angles of 67° (R), 47°R, and 15°R, with weekly intervals between each condition. The exercise intensity was set initially at 50 W and increased by 25 W every 2 minutes up to 150 W. CBFV in the middle cerebral artery (MCA) was measured using transcranial doppler sonography. All data were analyzed using two-way repeated-measures analysis of variance.

Results: CBFV at 15°R was significantly higher than that in the upright position and at 67°R at 10 minutes recovery (69±16 vs. 56±7 and 58±10 cm/s, respectively; $P<0.05$). The RPP was significantly lower at 67°R, 47°R, and 15°R than in the upright position immediately after exercise (176±23, 177±22, and 173±26, respectively, vs. 241±42 mmHg×beats/min×10⁻²; $P<0.001$).

Conclusions: At an angle of less than 67°R, exercise increases CBFV and reduces RPP, relative to those during exercise in the upright position. This hemodynamic effect was most prominent at 15°R, where cerebral circulation was further increased in the recovery phase.

Korean J Health Promot 2019;19(3):155-160

Keywords: Posture, Exercise, Cerebrovascular circulation, Hemodynamics

서론

심장재활과정에서 리컴벤트 자전거 에르고미터(recumbent bicycle ergometer, RB) 운동의 중요성이 증가하고 있다.¹⁾ 국내에서 순환계통 질환으로 인한 사망자 수와 사망률은 2017년에 61,266명, 인구 10만 명당 119.6명으로 신생물질환에 이어 2위를 기록하였으며 이러한 추세는 매년 증가하고 있다.²⁾ 심장재활운동으로 야기된 최대산소섭취량(peak VO₂)의 증가는 사망률을 낮추고 삶의 질을 개선시킨다고 보고되었다.³⁾

- Received: Aug. 1, 2019 ■ Revised: Sep. 30, 2019 ■ Accepted: Sep. 30, 2019
- Corresponding author : Hee-Hyuk Lee, PhD
Department of Sports Science, Hannam University, 70 Hannam-ro, Daedeok-gu, Daejeon 34430, Korea
Tel: +82-42-629-7501, Fax: +82-042-8402
E-mail: lhh@hnu.kr
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5757-2104
- This work was supported by 2019 Hannam University Research Fund.

특히 미국스포츠의학회는 심장 환자를 위한 운동처방지침에서 안정성과 운동의 효율성을 증가시키기 위해 RB를 활용할 것을 적극적으로 권장하고 있다.⁴⁾ RB는 상체 기울기가 수평면 방향으로 경사져있는 특징이 있으며,⁵⁾ 이러한 구조적 특성이 활동근육의 관류압을 감소시킴과 동시에 활동근육으로 이동해야 하는 혈류방향을 심장으로 바꿈으로써 심장의 부담을 낮춘다고 보고되고 있다.⁶⁾ Kim 등⁷⁾은 RB 운동이 점진부하 운동 종료 직후 심근 산소소비량(rate pressure product, RPP)을 유의하게 감소시킴을 보고하였다. Bonzheim 등⁸⁾은 관상동맥 환자들을 대상으로 진행한 연구에서 RB 운동이 직립(upright) 자전거 운동에 비해 낮은 RPP가 나타남을 관찰하였다.

뇌혈관 환자의 재활과정에서도 RB의 적용에 대한 관심이 증가하고 있다.⁹⁾ 유산소 운동 중 원활한 뇌혈류속도(cerebral blood flow velocity, CBFV) 및 뇌혈류공급은 뇌신경의 안정성을 유지하는데 있어서 상당히 중요시되기 때문이다.¹⁰⁾ 특히 뇌혈관 환자에게 적절하지 않은 운동강도를 적용할 시 CBFV 감소로 인한 급성 뇌허혈을 야기할 수 있음이 제기되었기 때문에 안전성에 치명적이라고 보고되고 있다.¹¹⁾ Kim 등⁷⁾은 65° 이하로 기울어진 리컴벤트 각도가 CBFV를 증가시키고 아울러 원활한 뇌혈류 순환을 촉진함을 관찰하여 재활운동 시 뇌의 안전성을 유지할 수 있는 방법으로서 RB가 타당할 수 있음을 강조하였다.

그러나 세부적인 리컴벤트 각도에 따라 혈류역학적 변화를 관찰한 연구는 소수 진행된 바 있지만, 리컴벤트 각도에 따른 심부담도 및 뇌혈류역학적 변화를 관찰한 연구는 없다. 따라서 본 연구의 목적은 다양한 리컴벤트 각도에 따른 CBFV와 RPP를 관찰함으로써 심·뇌재활운동 시 안전하고 혈류역학적인 유의함이 동반된 리컴벤트 각도를 규명하는 것이다.

방 법

1. 연구 대상

본 연구에서는 운동프로그램에 참여하지 않고 심뇌혈관 질환의 진단 경험이 없으며 당뇨병 등 다른 질병에 관하여 확인된 바가 없는 남자 대학생 15명을 대상으로 진행하였다. 모든 연구 대상자에 대하여 자발적인 실험참여에 대한 동의를 얻었으며 실험의 목적, 내용, 실험에 동반될 피로 및 위험성에 대하여 설명하였다. 실험참여자들은 일주일 단위로 실험실에 4회 방문하였으며, 아울러 네 번의 각각 다른 각도의 자세에서 수행하는 운동이 교차되도록(cross-over study) 무선 배정되었다. 연구 대상자의 신체적인 특성은 표 1과 같다.

Table 1. Characteristics of participants

	Value (n=15)
Age, y	18.79±1.15
Height, cm	172.43±4.63
Weight, kg	69.55±2.73
Muscle mass, kg	31.17±2.72
Body fat, kg	9.93±2.37

Values are presented as mean±standard deviation.

2. 측정도구 및 방법

1) 뇌혈류속도 측정 방법

본 연구에서는 CBFV를 측정하기 위하여 뇌혈류 초음파기(SONARA Transcranial Doppler ultrasound; VIASYS Co. Ltd., Conshohoecken, PA, USA)를 이용하여 중대뇌동맥(middle cerebral artery, MCA)의 혈류를 측정하였다. 뇌혈류속도 측정 시 검사자는 연구 대상자가 휴대용 마사지 침대에 양와위자세로 취할 것을 요구한 뒤 우측 MCA를 선택하여 뇌혈류 초음파기(transcranial doppler) 본체와 연결된 probe (2 MHz)를 이용하여 혈관 깊이(depth)를 58 mm로 설정하고 이 부위에서 다가오는 혈류를 측정하였다.¹²⁾ 측정된 변인은 평균 혈류속도(mean flow velocity, Mean), 최대수축기 혈류속도(peak systolic velocity, Peak), 최종확장기 혈류속도(maximum end-diastolic velocity, EDV)를 추출하였다.

2) 심부담도 측정 방법

본 연구에서 RPP는 분당 심박수(beats/min)×수축기 혈압치(mmHg)×10⁻²를 이용하여 계산되었다. 수축기 혈압(systolic blood pressure, SBP)을 측정하기 위해 실시간 자동혈압측정기(M30; MEDIANA Inc, Seoul, Korea)를 이용하였다. 심박수(heart rate, HR)는 심박수 센서(Polar H7; Polar Electro Oy, Helsinki, Finland)를 이용하여 측정하였으며, 측정된 신호는 블루투스를 통하여 심박수 모니터(V800; Polar Electro Oy)에 전송되어 실시간 기록되었다.¹³⁾

3. 운동 프로토콜

1) 리컴벤트 자전거 에르고미터 운동

본 연구에서는 스마트 리컴벤트 자전거(SRH100H; NanoBioLife Inc, Seoul, Korea)를 이용해 초기 50 W로 시작하여 150 W까지는 매 2분마다 25 W씩 점증적으로 부하를 주었으며 총 10분간 운동을 실시하였다. 연구 대상자들에게 적용된 리컴벤트 기울기는 몸체 기울임(body tilt) 정도에 따른 혈류역학적 변화를 관찰하기 위해 선행 연구를

Table 2. Changes of Cerebral blood flow velocity

Variable	Cerebral blood flow velocity				F	P
	Time course					
	Rest	During exercise		Post 10 minutes		
		5 minutes	10 minutes			
Mean, cm/s						
Upright	57.19±9.09	63.57±11.08 ^a	69.64±18.17 ^a	56.97±7.92	T: 145.617	<0.001
67° R	55.28±9.87	77.55±14.20 ^{a,b}	89.11±19.75 ^{a,c}	58.44±10.40	T×G: 6.714	<0.001
47° R	60.30±5.90	89.00±18.62 ^{a,d}	104.13±19.82 ^{a,d}	62.91±15.21	G: 6.635	<0.01
15° R	58.52±9.63	88.01±17.09 ^{a,d}	101.02±21.34 ^{a,d}	69.04±16.50 ^{b,c}		
Peak, cm/s						
Upright	96.25±13.48	112.00±27.92 ^a	125.55±42.26 ^a	96.16±16.22	T: 81.803	<0.001
67° R	94.08±15.01	123.52±26.75 ^a	141.47±28.33 ^a	100.14±17.55	T×G: 2.943	
47° R	98.47±10.65	154.25±35.06 ^{a,c}	174.50±27.77 ^{a,c}	100.73±23.28	G: 2.614	<0.01
15° R	100.46±15.84	144.25±33.41 ^{a,b}	175.22±59.50 ^{a,c}	109.70±22.10		
EDV, cm/s						
Upright	38.99±9.18	40.40±8.65 ^a	45.00±14.04 ^a	38.72±9.97	T: 74.656	<0.001
67° R	38.71±7.97	49.44±10.08 ^{a,b}	59.80±14.92 ^{a,b}	42.73±7.48	T×G: 4.292	<0.001
47° R	42.65±5.45	57.54±10.21 ^{a,d}	72.07±17.50 ^{a,d}	44.51±10.20	G: 3.636	<0.05
15° R	43.65±8.44	59.20±11.73 ^{a,d}	66.49±12.91 ^{a,c}	49.98±12.47		

Values are presented as mean±standard deviation.

F-values are calculated using two-way repeated-measures ANOVA.

Abbreviations: 15°R, 15° recumbent group; 47°R, 47° recumbent group; 67°R, 67° recumbent group; EDV, maximum end-diastolic velocity; G, group; Mean, mean flow velocity; Peak, peak systolic velocity; T, time; Upright, upright group.

^aSignificantly different from rest ($P<0.05$).

^bSignificantly different from the upright group ($P<0.05$).

^cSignificantly different from the upright group ($P<0.01$).

^dSignificantly different from the upright group ($P<0.001$).

^eSignificantly different from the 67°R group ($P<0.05$).

참고하여 67° 리컴벤트(R), 47°R 그리고 15°R로 설정하여 각각 세 번의 자전거 운동을 시행하였다.^{1,5)}

2) 직립 자전거 에르고미터 운동

직립 자전거 에르고미터 운동은 고정식 자전거 에르고미터(Monark Ergometer 881; Monark International Inc, Varberg, Sweden)를 이용해 직립자세(upright)로 진행되었다. 운동강도는 초기 50 W로 시작하여 150 W까지는 매 2분마다 25 W씩 점증적으로 부하를 주었으며 총 10분간 운동을 실시하였다.⁶⁾

4. 자료처리 방법

본 연구에서 측정된 자료는 SPSS (IBM version 25.0; IBM SPSS Inc, Chicago, IL, USA) 통계프로그램을 이용하여 각 항목별 기초 통계량을 얻기 위하여 평균 및 표준편차를 산출하였다. 리컴벤트 각도에 따른 시점 간에 변화 차이를 검증하기 위하여 이원반복측정 분산분석(two-way

repeated-measures analysis of variance [ANOVA])을 이용하였으며, 상호작용이 나타났을 경우 시기와 그룹의 독립변인에 대한 단순효과(simple effect)를 분석하기 위하여 대응표본 t검정과 일원변량분석(one-way ANOVA)을 각각 실시하였다. 각 항목별 통계적 유의수준은 $P<0.05$ 로 설정하였다.

결 과

1. 뇌혈류속도 변화

리컴벤트 각도에 따른 시점별 중대뇌동맥 혈류속도 검사 결과는 표 2에 나타난 바와 같다. 중대뇌동맥 혈류속도에 대한 이원반복측정 분산분석 결과, 평균은 67°R, 47°R, 15°R 집단이 upright 집단에 비해 운동 중 5분, 10분에 유의하게 높은 것으로 나타났으며($P<0.05$), 회복기 10분에는 15°R 집단이 upright, 67°R 집단에 비해 유의하게 높은 것으로 나타났다($P<0.05$). EDV와 Peak는 47°R, 15°R 집단이 upright 집

단에 비해 운동 중 5분, 10분에 유의하게 높은 것으로 나타났다($P<0.05$).

2. 심근 산소소비량, 심박수 및 수축기 혈압 변화

리컴벤트 각도에 따른 RPP, HR 그리고 SBP 검사 결과는 표 3에 나타난 바와 같다. RPP, HR 그리고 SBP에 대한 이원반복측정 분산분석 결과, RPP, HR 그리고 SBP는 운동에 따라 모든 집단이 유의하게 증가하였으며($P<0.001$), RPP와 HR은 67°R, 47°R, 15°R 집단이 upright 집단에 비해 운동종료 직후 유의하게 낮은 것으로 나타났다($P<0.01$).

고 찰

본 연구는 리컴벤트 각도가 뇌혈류속도 및 심근 산소소비량에 미치는 영향을 검증하기 위하여 건강한 성인 남성을 대상으로 안정 시, 운동 중 5분, 운동 중 10분, 그리고 회복기 10분의 CBFV 및 RPP를 측정하였다. CBFV는 67°R, 47°R, 15°R 집단이 upright 집단에 비해 운동 중 5분, 10분에 유의하게 높은 것으로 관찰되었으며($P<0.05$), 회복기 10분에는 15°R 집단이 upright, 67°R 집단에 비해 유의하게 높은 것으로 나타났다($P<0.05$). RPP 변화에서는 67°R, 47°R,

15°R 집단이 upright 집단에 비해 운동종료 직후 유의하게 낮은 것으로 나타났다($P<0.01$).

CBFV는 60% VO_{2max} 강도 이하의 유산소운동 시 증가한다.¹⁴⁾ 이에 더해 RB는 직립자세로 수행하는 자전거 운동보다 CBFV를 더욱 증가시킨다. Kim 등⁷⁾은 남자 대학생을 대상으로 RB 운동에 따른 CBFV를 조사한 결과, 65°R, 30°R 집단이 upright 집단에 비해 운동 중 유의하게 높은 것으로 관찰되어 본 연구와 유사한 결과를 나타냈다. 본 연구는 Kim 등⁷⁾의 연구의 후속연구로서 보다 다양한 각도에 따른 CBFV를 조사한 결과, 47°R, 15°R 집단에서 또한 유의하게 높게 관찰됨으로써 67°R 이하 각도의 운동은 CBFV를 증가시키는 것을 추가적으로 확인할 수 있었다.

특히 본 연구에서 주목해야 할 점은 회복기 시점에서 15°R 집단이 upright 집단뿐만 아니라 67°R 집단에 비해서 유의하게 높게 나타났다는 것이다. 이러한 결과는 운동종료 후 빈번히 발생하는 운동성 뇌빈혈 증상을 완화시킴으로써¹¹⁾ 일반인뿐만 아니라 뇌혈관 환자를 대상으로 진행되는 뇌혈관재활의 과정에서 그 효과가 있음을 나타내는 것이다. 아울러 Egaña 등¹⁾은 운동 시 15°R은 양와위(supine) 자세에 비해 운동지속가능시간이 유의하게 길며 upright 자세에 비해 peak VO_2 및 심박출량(cardiac output, CO)의 감소가 나타나지 않음을 보고한 바 있으므로 15°R은 심뇌

Table 3. Changes of rate pressure product, heart rate, and systolic blood pressure

Variable	Time course		<i>F</i>	<i>P</i>
	Rest	Post		
Rate pressure product, mmHg×beats/min×10 ⁻²				
Upright	120.29±20.15	241.81±42.77 ^a	T: 399.032	<0.001
67°R	107.65±18.04	176.24±23.62 ^{a,c}	T×G: 6.090	<0.01
47°R	75.02±9.85	177.18±22.40 ^{a,c}	G: 19.441	<0.001
15°R	77.16±10.89	173.75±26.71 ^{a,c}		
Heart rate, beats/min				
Upright	97.17±11.45	155.35±16.17 ^a	T: 104.785	<0.001
67°R	84.23±10.87	125.00±11.48 ^{a,c}	T×G: 18.419	<0.001
47°R	59.33±5.53	124.30±14.02 ^{a,c}	G: 38.155	<0.001
15°R	77.97±18.52	130.48±6.41 ^{a,c}		
Systolic blood pressure, mmHg				
Upright	123.35±10.79	154.88±14.07 ^a	T: 214.480	<0.001
67°R	127.53±10.81	140.76±11.23 ^a	T×G: 10.187	<0.001
47°R	126.25±9.61	142.50±7.98 ^{a,b}	G: 0.866	<0.05
15°R	127.33±9.45	146.33±12.04 ^{a,b}		

Values are presented as mean±standard deviation.

F-values are calculated using two-way repeated-measures ANOVA.

Abbreviations: 15°R, 15° recumbent group; 47°R, 47° recumbent group; 67°R, 67° recumbent group; G, group; T, time; Upright, upright group.

^aSignificantly different from rest ($P<0.05$).

^bSignificantly different from the upright group ($P<0.01$).

^cSignificantly different from the upright group ($P<0.001$).

혈류역학적인 유익을 제공하는 적절한 각도인 것으로 판단된다.

현재까지 RB 운동이 CBFV에 미치는 영향에 대한 명확한 원인은 보고되지 않았지만 심장의 혈류역학적 변화와 밀접한 관련이 있는 것으로 추측된다.¹⁵⁾ 즉, 심장 중심부의 혈류의 변화와 CBFV와 유의한 상관관계가 있음이 보고된 바와 같이 RB가 직립자세에 비해 몸체 기울기(body tilt)를 낮추고 아울러 활동근육의 관류압이 약 25 mmHg 감소시킴에 따라 활동근육으로 이동해야하는 혈류방향이 심장으로 바뀌어 HR이 감소하고, 1회 박출량(stroke volume)과 CO가 증가 및 유지됨으로써 나타나는 결과로 추측된다.¹⁶⁾ 또한 이러한 CO 변화 중 특히 HR이 심장의 부담을 낮추는 것에 영향을 미친다고 보고되고 있다.^{1,6)}

RPP는 운동에 의해 증가된다. RPP는 임상적으로 심장이 받는 부하의 의미를 갖고, 심근의 산소소비량을 반영하기 때문에 이를 감소시키기 위한 다양한 노력이 시도되고 있다. Bonzheim 등⁸⁾은 관상동맥 질환자에게 RB 운동을 적용시킨 후 RPP를 관찰한 결과, upright에 비해 유의하게 RPP가 감소됨을 보고하였다. Kim 등⁷⁾은 남자 대학생들을 대상으로 RPP를 비교해본 결과, 67°R, 30°R 집단이 upright 집단에 비해 유의하게 낮은 것으로 나타나 본 연구 결과와 유사한 결과를 나타냈다. 또한 Jones과 Dean¹³⁾은 건강한 개인을 대상으로 RPP를 조사한 결과, RB 자세가 직립자세에 비해 안정 시에도 유의하게 낮게 나타남을 관찰하였다. 특히 본 연구에서는 15°R, 47°R 집단은 운동종료 직후 HR과 SBP 모두 감소됨과 동시에 RPP 또한 저하되었지만, 67°R 집단은 upright 집단에 비해 HR만 유의하게 낮은 것으로 나타나고 SBP는 차이가 없음에도 불구하고 RPP는 감소하는 것으로 나타남으로써 RB 운동 시 RPP 감소에 미치는 영향은 SBP보다 HR의 비중이 더 강한 것으로 추측된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 건강한 성인들을 대상으로 실험을 진행하였기 때문에 연구 결과를 일반화하기 어렵다. 둘째, 대전광역시에 소재한 H대학교에서만 표본을 추출하였으므로 추후 연구에서는 다양한 재활센터 및 기관에서 표본을 추출하는 것을 고려할 수 있겠다. 셋째, 연구 대상자의 표본 크기가 작으며 연령대는 20대로 제한적이라 RB 운동에 따른 생리적 이점을 단정적으로 결론을 내리기는 어렵다. 따라서 추후 연구에서는 20대가 아닌 다양한 연령의 임상 치료가 요구되는 심·뇌혈관 질환자를 대상으로 보다 큰 표본 크기를 갖춘 연구가 진행된다면 심장재활뿐만이 아닌 뇌혈관질환 운동프로그램개발에 중요한 기초연구가 될 것으로 생각한다.

결론적으로 본 연구를 통해 67°R 이하의 각도의 RB 운동은 RPP를 낮추고 CBFV를 증가시킴으로써 심·뇌혈류역학적 유익함을 제공하지만 15°R 이하의 각도에서 RB 운동은

회복기 CBFV에 순환을 더욱 촉진시키는 것으로 확인할 수 있었으므로 임상현장에서 심·뇌혈관 질환자의 상태에 따라 적절한 각도의 RB 운동을 적용하는 것은 재활의 안정성과 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 생각한다.

요 약

연구배경: 리컴벤트 자세는 직립자세에 비해 운동 중 뇌혈류속도는 증가시키고 심근 산소소비량은 감소시킨다. 따라서 본 연구의 목적은 뇌혈류속도와 심근 산소소비량 향상에 기여할 수 있는 최적의 리컴벤트 각도를 조사하는 것이다.

방법: 본 연구에 참여한 15명의 건강한 성인 남성은 직립(upright, 90°), 67° 리컴벤트(R), 47°R, 15°R와 같이 네 개의 각도에 각각 교차되도록 무작위 배정되었다. 자전거 에르고미터 운동부하는 점진적으로 주었다. 뇌혈류속도는 뇌혈류초음파장비에 의해 측정되었으며, 심근 산소소비량은 분당 심박수와 수축기 혈압을 이용하여 계산되었다. 측정된 모든 데이터는 이원반복측정 분산분석을 이용하여 분석하였다.

결과: 뇌혈류속도는 회복기 10분에 15°R 집단이 upright, 67°R 집단에 비해 유의하게 높은 것으로 나타났다(69±16 vs. 56±7, 58±10 cm/s, $P<0.05$). 심근 산소소비량은 67°R, 47°R, 그리고 15°R 집단이 upright 집단에 비해 운동종료 직후 유의하게 낮은 것으로 나타났다(176±23, 177±22, 173±26 vs. 241±42 mmHg×beats/min×10⁻², $P<0.001$).

결론: 이 결과는 67° 이하의 리컴벤트 자전거 운동은 뇌혈류속도를 증가시키고 심근 산소소비량을 감소시키지만 특별히 15° 리컴벤트 자전거 운동 종료 후 회복기의 뇌혈류를 더욱 촉진시킬 수 있음을 시사한다.

중심 단어: 자세, 운동, 뇌혈류속도, 혈류역학

ORCID

Seong Dae Kim	https://orcid.org/0000-0002-1525-0091
Il Gyu Jeong	https://orcid.org/0000-0002-0867-2915
Yun Suk Koh	https://orcid.org/0000-0001-9280-5786
Hee-Hyuk Lee	https://orcid.org/0000-0001-5757-2104

REFERENCES

1. Egaña M, Columb D, O'Donnell S. Effect of low recumbent angle on cycling performance, fatigue, and V · O(2) kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 2013;45(4):663-73.
2. Statistics Korea. 2017 Cause-of-death statistics. Daejeon: Statistics Korea; 2018.
3. Kavanagh T, Mertens DJ, Hamm LF, Beyene J, Kennedy J,

- Corey P, et al. Peak oxygen intake and cardiac mortality in women referred for cardiac rehabilitation. *J Am Coll Cardiol* 2003;42(12):2139-43.
4. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription: Wolters Kluwer Health. 9th edition. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2013. p.243-4.
5. Egaña M, Green S. Effect of body tilt on calf muscle performance and blood flow in humans. *J Appl Physiol* (1985) 2005;98(6):2249-58.
6. Egaña M, O'Riordan D, Warmington SA. Exercise performance and VO₂ kinetics during upright and recumbent high-intensity cycling exercise. *Eur J Appl Physiol* 2010;110(1):39-47.
7. Kim SD, Kim MW, Kim, SK, Jeong IG. The Effects of Recumbent Bicycle ergometer exercise on cerebral blood flow velocity and bp-based arterial stiffness index. *J Sport and Leisure Studies* 2018;74(1):587-97.
8. Bonzheim SC, Franklin BA, DeWitt C, Marks C, Goslin B, Jarski R, et al. Physiologic responses to recumbent versus upright cycle ergometry, and implications for exercise prescription in patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1992; 69(1):40-4.
9. Edwards MR, Martin DH, Hughson RL. Cerebral hemodynamics and resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(7): 1207-11.
10. Ogoh S, Ainslie PN. Cerebral blood flow during exercise: mechanisms of regulation. *J Appl Physiol* (1995) 2009;107(5):1370-80.
11. Jeong IG, Oh MJ, Yoon JS, Kim JO, Lee IW, Kim MK, et al. The effects of exercise types and valsalva maneuver on cerebral arterial blood flow. *J Sport and Leisure Studies* 2005;23(1):403-10.
12. Imray CH, Myers SD, Pattinson KT, Bradwell AR, Chan CW, Harris S, et al. Effect of exercise on cerebral perfusion in humans at high altitude. *J Appl Physiol* (1985) 2005;99(2):699-706.
13. Jones AY, Dean E. Body position change and its effect on hemodynamic and metabolic status. *Heart Lung* 2004;33(5):281-90.
14. Moraine JJ, Lamotte M, Berré J, Niset G, Leduc A, Naeijel R. Relationship of middle cerebral artery blood flow velocity to intensity during dynamic exercise in normal subjects. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1993;67(1):35-8.
15. Ogoh S, Brothers RM, Barnes Q, Eubank WL, Hawkins MN, Purkayastha S, et al. The effect of changes in cardiac output on middle cerebral artery mean blood velocity at rest and during exercise. *J Physiol* 2005;569(Pt 2):697-704.
16. Leyk D, Essfeld D, Hoffmann U, Wunderlich HG, Baum K, Stegemann J. Postural effect on cardiac output, oxygen uptake and lactate during cycle exercise of varying intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994;68(1):30-5.