



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

체육학 박사 학위논문

일회성 등척성 운동이 고혈압 전단계와 고혈압
성인 및 노인의 혈압에 미치는 효과
: 스쿼트 동작의 효과검증 및 메타분석

The Effect of Acute Isometric Exercise on
Adults and Elders' Blood Pressure Suffering
Prehypertension or Hypertension

2021년 2월

서울대학교 대학원

체육교육과

김 준 식

일회성 등척성 운동이 고혈압 전단계와 고혈압
성인 및 노인의 혈압에 미치는 효과

: 스쿼트 동작의 효과검증 및 메타분석을 중심으로

지도교수 김 연 수

이 논문을 체육학 박사 학위논문으로 제출함
2020년 12월

서울대학교 대학원
체육교육과
김 준 식

김준식의 박사 학위논문을 인준함
2020년 12월

위원장	이 용 호	(인)
부위원장	문 효 열	(인)
위원	이 온	(인)
위원	한 동 기	(인)
위원	김 연 수	(인)

국문초록

연구의 목적

본 연구의 목적은 고혈압 전단계 및 고혈압에 해당하는 성인과 노인들을 대상으로 도구 없이 수행 가능한 Isometric squat 동작의 적정 운동강도를 파악하고, Isometric handgrip, Isometric leg extension, 그리고 기존 연구들에서 혈압감소 중재로 가장 권고되고 있는 유산소 운동과 비교하여 Isometric squat 동작의 운동 후 혈압 감소 효과를 비교해보고자 한다. 또한, 메타분석을 통하여 현재까지 연구가 부족한 일회성 등척성 운동의 혈압 감소 효과를 확인해보고 장기간 운동 중재의 혈압 감소 효과와 비교해보고자 한다.

연구 방법

본 연구의 목적을 달성하기 위해 세 편의 세부적인 연구를 진행하였으며 각 연구 방법은 다음과 같다.

첫 번째 연구는 무작위 교차연구 설계로 고혈압 전단계 및 고혈압 성인 남성 13명은 4가지 중재(Isometric handgrip, Isometric leg extension, Isometric squat and Usual care)에 무작위 순서로 할당되었으며, 운동 중재의 이월효과를 제거하기 위해 운동 중재 간 1주일의 wash out 기간을 두고 각 중재에 참여하였다. 연구 참여자들은 등척성 운동 프로토콜에 익숙해지기 위한 연습 기간을 가졌고, 1주일 간격으로 총 5주간 실험실에 방문하였다. 운동 전 안정 시 혈압과 동맥경직도를 측정하였고, 운동 중에는 혈압과 심박수, 운동자각도 그리고 운동 후 동맥경직도 및 8시간 동안 활동성 혈압과 신체활동량을 측정하였다. 운동 중재간 에너지 소비량 비교 등을 위해 독립표본 t 검정을 사용하였으며, 각 운동중재 및 시기 간 효과

검증을 위해 반복측정 분산분석 (Repeated measures ANOVA) 및 사후검정 (Bonferroni post hoc)을 실시하였다.

두 번째 연구는 무작위 교차연구 설계로 고혈압 전단계 및 고혈압 중·노년 여성 16명은 3가지 중재(Isometric squat, Aerobic exercise and Usual care)에 무작위 순서로 할당되었으며, 운동 중재의 이월효과를 제거하기 위해 운동 중재 간 1주일의 wash out 기간을 두고 각 중재에 참여하였다. 연구 참여자들은 등척성 운동과 유산소 운동 프로토콜에 익숙해지기 위해 각각 1주일간의 연습기간을 가졌고, 1주일 간격으로 총 5주간 실험실에 방문하여 안정 시 혈압과 동맥경직도, 운동 후 동맥경직도 및 8시간 동안 활동성 혈압과 신체활동량을 측정하였다. 각 운동중재 및 시기 간 효과검증을 위해 반복측정 분산분석 (Repeated measures ANOVA) 및 사후검정(Bonferroni post hoc)을 실시하였다.

세 번째 연구는 메타분석 연구로 고혈압 전단계 및 고혈압 성인과 노인들을 대상으로 수행된 일회성, 그리고 8주 이상의 장기간 등척성 연구들을 국외학술지 검색원인 “Pubmed”, “Science of Direct”, “Google scholar”, “Web of science”, 그리고 “Cochrane Library” 등과 국내 학술지 검색원인 “한국학술데이터베이스”, “한국학술정보서비스” 등을 통해 검색하여 한국어와 영어로 출판된 RCT 및 Crossover design 연구를 선정하였다. 최종 선정된 11개의 문헌 분석을 위해 Comprehensive Meta-Analysis ver 3을 사용하였으며, 결과 변수인 수축기 혈압과 이완기 혈압에 미치는 효과크기를 파악하기 위해 표본 수에 따른 가중치를 부여하여 교정된 효과크기 (Hedges’s g)와 평균 차이 값을 산출하였다. 연구 간 Publication bias 평가의 경우, Funnel plot과 Student residual과 Jackknifed residual의 수치, 그리고 Trim and Fill을 사용하여 평가 후 최종 분석을 실시하였다.

연구 결과

첫째, 13명의 고혈압 전단계 및 고혈압 남성을 대상으로 일회성 등척성 운동을 실시한 결과 일회성 등척성 운동들은 일상생활 중재에 비해 심박수와 혈압을 유의하게 증가시켰고, 동원되는 근육 부위가 커질수록 심박수와 혈압의 증가가 더 크게 나타났으나 이에 따른 부작용은 발생하지 않았다. 중재별 등척성 운동의 혈압 감소 효과 비교에서 일회성 등척성 운동은 운동 후 활동성 혈압과 동맥경직도를 유의하게 감소시켰으며, 동원되는 근육 부위가 커질수록 운동 후 혈압을 더 크게 감소시켰다.

둘째, 16명의 고혈압 전단계 및 고혈압 중·노년 여성을 대상으로 일회성으로 Isometric squat 운동과 Aerobic exercise을 실시한 결과 두 운동 모두 동맥경직도를 감소시켰고, Isometric squat은 4시간, Aerobic exercise는 5시간 동안 활동성 혈압을 감소시켰으며, 중재 간 차이는 나타나지 않았다.

셋째, 본 연구에서 무작위 대조군 실험연구 및 교차설계 연구를 기반으로 고혈압 전단계 및 고혈압 성인과 노인들을 대상으로 등척성 운동효과를 기간에 따라 분석한 결과 일회성 운동과 8주 이상의 장기간 등척성 운동 모두 혈압 감소에 유의한 효과가 있었으며, 운동 기간이 길어질수록, 대근육을 사용하는 중재에서 혈압 감소 효과가 더 큰 것으로 나타났다.

결 론

메타분석 결과에서 등척성 운동은 고혈압 전단계 및 고혈압 성인과 노인에게 장기간뿐 아니라 일회성으로 적용했을 때에도 유의한 혈압 감소 효과를 확인할 수 있었다. 또한, 실험연구에서 도구 없이 수행 가능하며 많은 근육 부위가 동원되는 일회성 Isometric squat 운동은 선행연구에서 도구를 필요로 했던 Isometric handgrip과 Isometric leg extension 운동과 비교하여 유사하거나 더 큰 혈압 감소 효과가 있는 것으로 나타났으며, 기존 권고되던 유산소 운동과 비교해서도 짧은 시간 내에 효과적으로 혈압을 감소

시키는 것으로 나타나 향후 고혈압 전단계 및 고혈압 성인과 노인들의 혈압을 감소 시키기기에 효과적인 중재 중 하나로 권고될 수 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 등척성 운동, 일회성 운동, 메타분석, 고혈압 전단계, 고혈압, 활동성 혈압

학 번 : 2016-30438

목 차

I. 서 론	1
1. 연구의 필요성	1
2. 연구의 목적	4
3. 연구의 가설	5
4. 연구의 제한점	6
5. 용어의 정의	7
II. 이론적 배경	8
1. 고혈압	8
1) 고혈압의 정의 및 진단기준	8
2) 고혈압의 기전	9
3) 고혈압 합병증	10
4) 고혈압의 관리	11
2. 혈압감소를 위한 신체활동 및 운동프로그램	13
1) 신체활동과 운동프로그램의 정의 및 종류	13
2) 고혈압 환자를 위한 운동처방	14
3) 운동이 고혈압 환자에게 미치는 영향	16
4) 운동의 혈압 감소 효과에 관한 체계적 분석 및 메타분석 연구	17
3. 등척성 운동이 혈압감소에 미치는 효과	19
1) 등척성 운동의 정의	19
2) 혈압감소 중재로서 등척성 운동의 이점	19
3) 등척성 운동의 혈압 감소 효과	21
4. 참고문헌	23

III. 소논문 1. 일회성 Isometric squat이 고혈압 전단계 및 고혈압 성인 남성의 운동 중 혈압과 운동 후 혈압에 미치는 영향 32

1. 서론	33
2. 연구방법	36
1) 연구대상	36
2) 연구설계	36
3) 측정도구	40
4) 운동프로그램	45
5) 자료처리	47
3. 연구결과	48
1) 기존 등척성 운동중재와 등척성 스쿼트의 에너지 소비량 및 운동강도 비교	50
2) 등척성 운동 중 각 시점에 따른 수축기 혈압의 변화 ·	51
3) 등척성 운동 중 각 시점에 따른 이완기 혈압의 변화 ·	52
4) 등척성 운동 중 각 시점에 따른 운동 강도의 변화 ...	53
5) 등척성 운동 후 활동성 수축기 혈압의 변화	55
6) 등척성 운동 후 활동성 이완기 혈압의 변화	57
7) 등척성 운동 후 동맥경직도의 변화	59
8) 등척성 운동 후 중재별 신체활동량 비교	60
4. 논의	61
5. 결론 및 제언	65
1) 결론	65
2) 제언	66
6. 참고문헌	67

IV. 소논문 2 일회성 Isometric Squat이 고혈압 전단계 및 고혈압 중·노년 여성의 주간 활동성 혈압에 미치는 단기 효과 검증 .. 73

1. 서론	74
2. 연구방법	77
1) 연구대상	77
2) 연구설계	77
3) 측정도구	81
4) 운동프로그램	84
5) 자료처리	85
3. 연구결과	86
1) 등척성 운동 후 활동성 수축기 혈압의 변화	88
2) 등척성 운동 후 활동성 이완기 혈압의 변화	90
3) 등척성 운동 후 동맥 경직도의 변화	92
4) 등척성 운동 후 중재별 신체활동량 비교	93
4. 논의	94
5. 결론 및 제언	98
1) 결론	98
2) 제언	99
6. 참고문헌	100

V. 소논문 3. 일회성 등척성 운동과 장기간 등척성 운동이 고혈압 전단계 및 고혈압 성인 및 노인의 혈압에 미치는 효과 : RCT 및 교차설계 연구 메타분석	105
1. 서론	106
2. 연구방법	109
1) 연구설계	109
2) 문헌 선정 기준	109
3) 자료 검색 및 선정 과정	111
4) 자료추출	112
5) Publication bias의 평가	112
6) 자료 분석 방법	113
3. 연구결과	117
1) 문헌 선정 결과	117
2) 선정된 문헌의 특성	118
3) Publication bias 분석	121
4) 등척성 운동 중재의 효과	125
5) 하위 변인 분석	127
4. 논의	141
5. 결론 및 제언	145
1) 결론	145
2) 제언	146
6. 참고문헌	147
VI. Abstract	153

표 목 차

[Table 1] Criteria for definition of hypertension by organization	9
[Table 2] FITT recommendations for hypertension patients	14
[Table 3] Isometric handgrip, Isometric leg extension, and Isometric squat protocols	46
[Table 4] Baseline characteristics of the participants	48
[Table 5] Comparisons of Respiratory Quotient, Heart Rate, Borg Scale of Perceived Exertion, Energy Expenditure, and % MVC duration between isometric exercise protocols	50
[Table 6] Mean SBP differences among interventions according to time	51
[Table 7] Mean DBP differences among interventions according to time	52
[Table 8] Mean HR differences among interventions according to time	53
[Table 9] Mean RPE differences among interventions according to time	54
[Table 10] Comparisons of mean SBP during 8 hours in each intervention	55
[Table 11] Mean ambulatory SBP differences among interventions according to period	56
[Table 12] Comparisons of mean DBP during 8 hours in each intervention	57
[Table 13] Mean ambulatory DBP differences among interventions according to period	58
[Table 14] Changes in arterial stiffness from pre to post-intervention	59

[Table 15] Comparisons of Physical activity level during 8 hours in each intervention	60
[Table 16] Isometric squat & Aerobic exercise protocols	85
[Table 17] Baseline characteristics of the participants	86
[Table 18] Comparisons of mean SBP during 8 hours in each intervention	88
[Table 19] Mean ambulatory SBP differences among interventions according to period	89
[Table 20] Comparisons of mean DBP during 8 hours in each intervention	90
[Table 21] Comparison of ambulatory DBP levels after AE, IS, and UC in prehypertension and hypertension adults ..	91
[Table 22] Changes in arterial stiffness from pre to post-intervention	92
[Table 23] Comparison of Physical activity levels after isometric handgrip, isometric leg extension, isometric squat, and usual care in prehypertension and hypertension adults	93
[Table 24] Interpretation of effect size	116
[Table 25] Characteristics of Included acute studies	119
[Table 26] Characteristics of Included chronic studies	120
[Table 27] Effect of isometric interventions on systolic blood pressure reduction	125
[Table 28] Effect of isometric interventions on diastolic blood pressure reduction	126
[Table 29] Effect of isometric intervention on systolic blood pressure reduction according to intervention period	127
[Table 30] Effect of isometric intervention on diastolic blood pressure reduction according to intervention period	128
[Table 31] Effect of isometric exercise type on systolic blood pressure	

reduction (acute studies)	129
[Table 32] Effect of isometric exercise type on systolic blood pressure reduction (chronic studies)	130
[Table 33] Effect of isometric exercise type on diastolic blood pressure reduction (acute studies)	131
[Table 34] Effect of isometric exercise type on diastolic blood pressure reduction (chronic studies)	132
[Table 35] Comparison of systolic blood pressure reduction of isometric exercise by hypertension phase (acute studies)	133
[Table 36] Comparison of systolic blood pressure reduction of isometric exercise by hypertension phase (chronic studies)	134
[Table 37] Comparison of diastolic blood pressure reduction of isometric exercise by hypertension phase (acute studies)	135
[Table 38] Comparison of diastolic blood pressure reduction of isometric exercise by hypertension phase (chronic studies)	136
[Table 39] Comparison of systolic blood pressure reduction by ages (acute studies)	137
[Table 40] Comparison of systolic blood pressure reduction by ages (chronic studies)	138
[Table 41] Comparison of diastolic blood pressure reduction by ages (acute studies)	139
[Table 42] Comparison of diastolic blood pressure reduction by ages (chronic studies)	140

그림 목차

[Figure 1] Sequence of intervention modality	37
[Figure 2] Experimental design	39
[Figure 3] Sequence of intervention modality	49
[Figure 4] Changes in ambulatory SBP pre and post intervention	55
[Figure 5] Changes in ambulatory DBP pre and post intervention	57
[Figure 6] Sequence of intervention modality	78
[Figure 7] Experimental design	80
[Figure 8] Sequence of intervention modality	87
[Figure 9] Changes in ambulatory SBP pre and post intervention	88
[Figure 10] Changes in ambulatory DBP pre and post intervention	90
[Figure 11] Data analysis procedure and contents	114
[Figure 12] PRISMA flow chart	118
[Figure 13] Results of publication bias analysis using funnel plot	121
[Figure 14] Dignostics for model of random effect	122
[Figure 15] Results of publication bias analysis using funnel plot (excluding outlier)	123
[Figure 16] Analysis results of funnel plot and trim and fill (excluding outlier)	124

I. 서 론

1. 연구의 필요성

만성적인 혈압의 상승(수축기 140 mmHg 그리고/또는 이완기 90 mmHg 이상) 또는 고혈압은 관상동맥질환, 뇌졸중, 심부전 등 심혈관 질환 발병의 가장 강력한 위험인자 중 하나로(Prospective Studies Collaboration, 2002; Lopez, Mathers, Ezzati, Jamison, & Murray, 2006) 연간 전 세계 750만 명의 사망의 큰 비중을 차지하는 요인 중 하나이며, 상당한 사회적, 경제적 부담을 야기하는 세계 최대의 건강 문제라고 보고된 바 있다(Danaei et al., 2009; Metrics & Evaluation, 2018). 2017년 국민건강통계에 따르면, 우리나라 고혈압 유병률은 26.9%(남자 32.3%, 여자 21.1%)로 바쁜 직장생활, 건강하지 않은 식습관과 운동부족 등으로 인해 현재 30대의 고혈압 유병률이 증가하는 추세이며, 향후 고령화사회가 진행됨에 따라 점차 유병률이 증가될 것으로 예측된다(손일석 & 편육범, 2019; 질병관리본부, 2019). 더욱이 고혈압 환자는 고혈압뿐 아니라 당뇨병, 고콜레스테롤혈증 등 다른 심뇌혈관 위험인자를 동반하고 있는 경우가 빈번하여 조기관리의 필요성이 대두된다.

고혈압 치료에 있어 약물치료의 입증된 효과에도 불구하고, 생활습관의 조절 없이 약물치료만 실시할 경우, 고혈압 환자의 약 50~70%는 약물의 순응성 감소 및 여러 이유로 목표 혈압에 도달하지 못한다고 보고된 바 있다(Brown, 1997; Blood Pressure Lowering Treatment Trialists' Collaboration, 2003; Gudsoorkar & Tobe, 2017; Hajjar & Kotchen, 2003; Rajpura & Nayak, 2014; Selçuk, Çevik, Mercan, & Koca, 2017; Testa et al., 2018). 이에 따라, 여러 국가 및 국제 치료 지침에서는 고혈압 치료의 효율성을 증대시키기 위해 약물치료 뿐 아니라 식단 조절, 체중

감량, 신체활동 등의 비약물적 치료를 병행하기를 권고하고 있으며, 비약물적 치료의 선행은 부작용이 적고, 고혈압 약물의 사용 개수를 줄일 수 있는 좋은 방안으로 사료된다(Baena et al., 2014; Narayan, Ali, & Koplan, 2010; Pescatello et al., 2004; 조윤희, 2019).

비약물치료의 여러 방법 중 신체활동은 혈압 뿐 아니라 여러 건강상의 이득을 제공하는 유용한 중재 중 하나로, 미국심장협회(American Heart Association; AHA)에 따르면, 주당 150분의 신체활동이 항고혈압 약물을 사용하는 것의 대안이 될 수 있다고 언급하였으며, 미국스포츠의학회(American College of Sports Medicine; ACSM)에서도 혈압 감소를 위해 매일 30분의 유산소 운동 또는 동적 저항성 운동을 권고하고 있다(Cifu & Davis, 2017). 또한, 무작위 연구 및 관찰연구를 비롯한 여러 연구에서 유산소 및 저항성 운동중재는 혈압의 감소뿐 아니라 심폐기능 및 근력향상, 체중감소, 혈당 항상성 조절, 혈액 조성, 그리고 혈관의 내피기능 등 여러 측면에 있어 긍정적인 영향을 미친다는 근거들이 존재하고 있다(Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018; R. Fagard, 2006; R. H. Fagard, 2002).

여러 운동 중재 중 유산소 운동은 고혈압 환자 대상으로 가장 널리 권장되는 운동 형태로 주 3회 30~40분의 유산소 운동은 고혈압 환자의 수축기 혈압(Systolic blood pressure; SBP)과 이완기 혈압(Diastolic blood pressure; DBP)을 각각 -8.3 mmHg/ -5.2 mmHg까지 낮출 뿐 아니라 앞서 언급한 여러 건강상의 이득을 제공할 수 있는 유용한 운동으로 권고되어 왔으나(Cornelissen & Smart, 2013) 선행연구에 따르면, 고혈압 환자는 정상 혈압을 보이는 사람들에 비해 신체활동 권고를 덜 충족하는 것으로 나타났으며(Churilla & Ford, 2010), 현대인의 바쁜 생활습관(시간 부족), 동기와 지식부족, 비용, 부상에 관한 두려움, 그리고 관련된 합병증(고혈압, 관절염, 고도비만, 뇌졸중 등)등의 장애요인을 이유로 권고된 주 3~5회, 30분 이상의 유산소 운동을 실천하는 것은 고혈압 환자뿐 아니라 일반

인구집단에서도 어려울 수 있음을 암시하였다(Ashton et al., 2015; Kotseva et al., 2016; Zimmermann, Carnahan, & Peacock, 2016).

최근 발표된 2018 Physical activity guideline (PAG) 및 일부 메타분석에 따르면 등척성(Isometric) 운동은 1) 근육의 길이 변화 없이 다른 운동 중재에 비해 낮은 심혈관 스트레스를 유발하면서 2) 비교적 간단한 형태의 동작으로 3) 8~12분의 비교적 짧은 시간 동안, 4) 낮은 강도(30~50% Maximal voluntary contraction)로 실시해도 유산소 운동과 비슷하거나 더 큰 혈압 감소 효과가 있는 것으로 보고되어 시간이 부족하거나 심장 및 관절의 스트레스로 인해 유산소 운동이 어려운 일부 집단에게 권고 가능한 운동 형태로 제시된 바 있다(Badrov, Bartol, et al., 2013; Badrov, Horton, Millar, & McGowan, 2013; Carlson, Dieberg, Hess, Millar, & Smart, 2014; Cornelissen & Smart, 2013).

그러나, 2018 PAG와 일부 메타분석에서 등척성 운동의 효과가 검증되고 있음에도 불구하고 선행연구에서 검증된 대부분의 등척성 운동(Isometric handgrip, Isometric leg extension)의 프로토콜이 주로 특수 제작된 고가의 악력계를 필요로 하거나 실험실 내의 등속성 장비 기반으로 실시되어 여러 사람들이 일상 및 가정에서 도구 없이 간편하게 프로토콜을 수행하기에는 어려움이 존재할 것으로 사료된다.

따라서, 일상생활에서 별도의 장비 없이 쉽게 수행 가능하며 선행연구에서 검증된 강도 및 운동량에 부합하는 등척성 운동 동작을 과학적으로 조사 및 검증하는 과정이 필요하며, 검증된 동작의 효과를 기존 연구들에서 사용된 등척성 운동 프로토콜(30~50% MVC Isometric handgrip & Isometric leg extension) 및 현재 가장 권고되고 있는 유산소 운동 중재와 직접 비교한 연구는 매우 부족한 실정이다.

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 1) 선행연구에서 효과가 검증된 Isometric leg extension 동작에 근거하여 유사한 운동강도, 에너지 소비량 및 30% MVC 지속시간을 나타내는 Isometric squat 동작의 범위를 파악하고, 2) 고혈압 전단계 및 고혈압 성인을 대상으로 기존 실험실 세팅의 등척성 운동 프로토콜(Isometric handgrip/leg extension)과 비교하여 Isometric squat 운동 시 혈압 감소 정도(감소 폭, 지속시간 등)에 차이가 있는지 확인하기 위한 것이다. 또한, 고혈압 전단계와 고혈압 중·노년 여성을 대상으로 3) Isometric squat 운동을 일회성으로 적용하여 기존에 혈압 감소 효과가 가장 크다고 알려진 유산소 운동 및 일상생활 중재와 비교하여 혈압 감소 정도(감소 폭, 지속시간 등)에 차이가 있는지 확인해보고, 4) 메타분석을 통해 일회성 등척성 운동의 혈압 감소 효과를 객관적으로 파악하고 장기간 등척성 운동 효과와 비교해보기 위한 것이다.

3. 연구의 가설

본 연구의 목적을 달성하기 위하여 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

- 1) Isometric squat은 선행연구에서 효과가 검증된 Isometric leg extension과 비교하여 더 많은 하지 근육군을 동원하기 때문에 특정 각도에서 유사하거나 또는 더 많은 에너지소비량 및 운동 강도를 나타낼 것이다.
- 2) 일회성 Isometric squat은 선행연구에서 효과가 검증된 Isometric leg extension 및 Isometric handgrip에 비해 더 많은 근육군을 동원하기 때문에 유사하거나 또는 더 큰 혈압감소 효과(감소 폭 또는 지속시간)를 나타낼 것이다.
- 3) 짧은 시간의 Isometric squat exercise는 유산소 운동과 비교하여 비슷한 또는 더 큰 혈압감소 효과를 나타낼 것이다.
- 4) 메타분석에서 일회성 운동은 유의한 혈압 감소 효과를 나타낼 것이며, 8주 이상의 장기 운동의 혈압 더 낮은 혈압 감소 효과를 나타낼 것이다.

4. 연구의 제한점

본 연구는 다음과 같은 제한을 갖는다.

- 1) 본 연구의 대상은 S시에 거주하는 고혈압 전단계 또는 고혈압 성인 및 노인으로 제한한다.
- 2) 연구자는 실험기간 동안 연구 참여자들에게 하루 동안의 일상생활 및 식습관 등을 되도록 동일하게 유지하도록 권고할 것이나 이를 완벽히 통제하지는 못할 것이다.
- 3) 연구 참여자들의 유전적, 심리적 요인을 완벽하게 통제하지는 못할 것이다.

5. 용어의 정의

본 연구에서 사용할 용어를 정의하면 다음과 같다.

1) 고혈압

: 본 연구에서 고혈압은 SBP가 140 mmHg 이상이거나 DBP가 90 mmHg 이상으로 전문의로부터 고혈압 진단을 받았거나 4개월 이상 혈압 강하제를 복용하고 있는 경우를 의미한다.

2) 등척성 수축(Isometric contraction)과 등척성 스쿼트 (Isometric squat)

: 등척성 운동은 저항력과 수축력의 크기가 같기 때문에 근육의 길이가 변하지 않는 근육의 활동을 의미한다. 근육 내부에서 생성된 근육을 짧게 만드는 힘과 근육 외부인 건에서 생성된 근육을 늘리는 힘의 크기가 같다. 가만히 서 있거나 의자에서 똑바로 앉아 있는 것, 그리고 움직이지 않는 벽에 외력을 가하지만 근육의 길이 변화가 일어나지 않는 것 등이 등척성 수축의 한 예이며, 등척성 수축은 노인이나 손상 후 회복을 위한 재활운동의 방법으로 사용된다.

본 연구에서 정의하는 “등척성 스쿼트(Isometric squat)”는 점증부하 스쿼트 검사를 통해 참여자가 같은 자세를 2분을 유지할 수 있는 가장 낮은 각도에서 2분간 수행하는 스쿼트를 의미한다.

3) 24시간 활동성 혈압 (24 hour ambulatory blood pressure)

: 본 연구에서 활동성 혈압은 24시간 혈압계를 사용하여 주간 혈압은 30분 간격, 수면시간은 1시간 간격으로 측정한 하루 동안의 혈압을 의미한다.

II. 이론적 배경

1. 고혈압

1) 고혈압의 정의 및 진단기준

혈압은 혈관을 따라 흐르는 혈액이 혈관의 벽에 주는 압력으로 심실 수축 시 심장으로부터 혈액이 분출될 때 발생하는 압력을 SBP, 심실의 이완기 동안 낮아지는 동맥의 혈압을 DBP라 한다(Powers & Howley, 2007).

고혈압(Hypertension, HTN)은 SBP와 DBP가 정상 범위보다 높은 증상을 의미하는 것으로 국내 고혈압학회에서는 SBP가 140 mmHg 이상 또는 DBP가 90 mmHg 이상인 경우를 고혈압으로 정의하고 있으며, SBP가 120 mmHg 미만이거나 DBP가 80 mmHg 미만인 경우는 ‘정상혈압’, SBP가 120~129 mmHg, DBP가 80 mmHg 미만일 때는 ‘주의혈압’, 그리고 SBP가 130~139 mmHg이거나 DBP가 80~89 mmHg인 경우는 ‘고혈압 전 단계’로 분류하였다. 또한, 고혈압 단계를 SBP 140~159 mmHg 또는 이완기 혈압이 90~99 mmHg인 ‘1단계 고혈압’과 SBP 160 mmHg 또는 이완기 혈압 100 mmHg 이상인 ‘2단계 고혈압’으로 세분화 하고 있다(Lee et al., 2019).

반면, 2017년 미국심장학회(American college of cardiology; ACC)와 미국심장협회(American heart association; AHA)가 공동으로 재정한 고혈압 가이드라인에서는 큰 폭의 변화가 있었다. 가장 주요한 변경사항은 고혈압의 범주가 기존에 전고혈압의 범주로 분류되던 SBP 130~139 mmHg 또는 DBP 80 mmHg 이상으로 하향 조정되었다는 것이다[Table 1]. 이는 the Joint National Committee 4 (JNC4) 가이드라인 이후 약 30년 만의 변화이며 대부분의 질환에서 동일한 기준이 적용되었다는 점에서 주목할 만한데 2017 ACC/AHA

가이드라인에서 1단계 고혈압으로 정의된 SBP 130~139 / DBP 85~89 mmHg의 경우, 관상동맥 질환, 뇌졸중의 위험이 약 1.5~2배로 높다고 보고되었으며, 다른 질환 역시 유사하게 증가됨을 보고하여 전고혈압이 심혈관 및 대사질환의 진행에 영향을 미친다는 것을 확인하였다 (Whelton et al., 2018; 이해영, 2018a).

Table 1. Criteria for deninition of hypertension by organization

SBP/DBP	JNC 7 (2003)	ESH (2013)	KSH (2013)	ACC/AHA (2017)	ESH (2018)	KSH (2018)
<120/80	Normal	Optimal	Normal	Normal	Optimal	Normal
120-129 /80-84	Prehypertension	Normal	Prehypertension stage 1	Elevated (DBP < 80 mmHg)	Normal	Elevated (DBP<80 mmHg)
130-139 /85-89	Prehypertension	High normal	Prehypertension stage 2	Stage 1	High normal	Prehypertension (DBP 80-89 mmHg)
140-159 /90-99	Stage 1	Grade 1	Stage 1	Stage 2	Grade 1	Stage 1
160-179 /100-109	Stage 2	Grade 2	Stage 2		Stage 2	Stage 2
≥180/110		Grade 3			Stage 3	

SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; JNC, Joint National Committee; KSH, Korean Society of Hypertension; ACC, American College of Cardiology; AHA, American Heart Association; ESH, European Society of Hypertension.

2) 고혈압의 기전

혈압을 결정짓는 두가지 요소는 심박출량(얼마나 많은 혈액이 박출되는지)과 말초혈관 저항(혈류에 대한 저항의 정도)으로 심박출량 또는 혈관저항의 증가는 혈압의 증가를 가져오며(Beevers, Lip, & O'Brien, 2001), 혈압의 순간적인 조절은 주로 교감신경계에 의해 이루어지는 반면, 혈압의 장기적인 조절은 신장의 혈액량 조절을 통해 이루어진다. 경동맥과 대동맥에 위치한 압수용기(baroreceptor)들은 동맥압력에 민감하여 동맥압력이 증가하면 수용기들이 감소된 교감신경 활동의 반응으로 심혈관조절중추(cardiovascular control center)로

자극들을 보내도록 유도한다. 감소된 교감신경의 활동은 심박출량을 더 낮추거나 혈관의 저항을 낮추므로 혈압을 감소시킨다. 반대로 혈압의 감소는 뇌로의 압감지기 활동을 감소시킨다. 이것은 교감신경의 자극 증가에 대한 심혈관 조절중추의 반응으로 혈압은 다시 정상으로 올라간다(Powers & Howley, 2007). 그러나, 이러한 기능의 감소는 고혈압을 야기하는 원인인 말초저항을 높아지게 하는데, 혈관수축물질의 증가는 안지오텐신에 대한 반응성과 혈관 내피세포 증가로 인해 야기되며, 혈관확장물질의 감소는 혈관 확장작용을 하는 산화질소의 분비능력이 감소됨으로써 발생한다(Arakawa et al., 1995; Véronique A Cornelissen & Fagard, 2005).

3) 고혈압 합병증

혈압이 초기에 적절히 관리되지 않는다면 심혈관질환 관련 합병증의 유병률이 증가된다. 정상보다 높은 혈압은 혈관 내벽에 지속적으로 스트레스를 가하고 혈관 내벽의 죽상경화증을 촉진시켜 심혈관질환, 뇌혈관 질환, 말초혈관 질환, 신장질환 및 안구 질환 등 다양한 합병증을 일으킨다(Flack et al., 2003; Ogah et al., 2012). 61개의 전향적 코호트에서 100만명 이상의 자료로 분석을 실시한 메타연구에 따르면, SBP와 DBP가 115/75 mmHg까지는 사망률의 위험차이가 크게 없으나 40~69세 대상에서 SBP가 20 mmHg이상 또는 DBP가 10 mmHg 이상의 차이는 뇌졸중 사망률과 허혈성 심장질환, 그리고 다른 혈관질환으로 인한 사망률을 2배까지 증가시킨다고 보고하였고 (Prospective Studies Collaboration, 2002), 국내 연구에서도 다른 심혈관 질환이 없는 40대에서 1기 고혈압이 될 경우, 평균혈압보다 심혈관질환 발병률이 4.4~5.3%까지 증가였으며, 50대 이상에서 SBP가 130 mmHg이상으로 증가할 경우 10년 후 심혈관 질환 발생 위험이 9.8~11%까지 증가한다고 보고하였다.

또한, 고혈압 환자는 당뇨병, 고콜레스테롤혈증 등 다른 심뇌혈관 질환

위험인자를 함께 가지고 있는 경우가 많고 이것이 심뇌혈관 질환 발병을 보다 증가시키는 것으로 잘 알려져 있어 고혈압 관리에 관한 올바른 인식과 노력이 필요하다(손일석 & 편육범, 2019).

반면, 혈압조절이 잘 되어 혈압을 2~5 mmHg 감소시킬 경우, 뇌졸중을 6~14%, 관상동맥질환을 4~9% 낮추는 것으로 보고된 바 있으며(Whelton et al., 2002), 2015년 미국 정부 주도로 9,361명을 대상으로 한 SPRINT연구에 따르면, 표준치료군에 비하여 혈압을 적극적으로 조절한 집단에서 심혈관 질환 사망률이 25% 더 감소하고, 모든 원인의 사망률이 27% 감소하는 결과를 보고하였다(Sprint Research Group, 2015).

2017 국민건강통계에 따르면, 우리나라의 고혈압 유병률은 26.9%(남자 32.3%, 여자 21.1%)이며, 고령화사회가 진행됨에 따라 앞으로 점차 유병률이 증가될 것으로 예측되고 있다(질병관리본부, 2019). 특히, 바쁜 직장생활로 불규칙하고 건강하지 않은 식이 습관과 운동부족 등으로 성인 초기(30대)의 유병률이 증가 추세에 있음에도 불구하고, 이에 따른 인식률(18.7%)과 관리율(11.6%)이 노인의 1/4 수준으로 매우 낮아 조기 관리의 필요성이 대두된다(손일석 & 편육범, 2019).

4) 고혈압의 관리

고혈압 관리의 목표는 혈압을 조절하여 심뇌혈관 질환과 여러 합병증의 발생률을 낮추고 장기손상을 예방하여 사망률을 낮추는 것이다. 특정 질병을 동반하는 경우가 아니라면 고혈압 치료의 목표는 일반적으로 SBP 140 mmHg 미만, DBP 90 mmHg 미만이고, 심혈관질환이 동반된 고혈압이나 심뇌혈관 질환 위험도가 고위험군인 경우는 130/80 mmHg 수준이다(Lee et al., 2019; 대한고혈압학회, 2018). 고혈압을 적절하게 예방하고 관리하기 위해서는 약물치료뿐 아니라 비약물치료도 잘 해야한다. 효과적인 약물을 사용하더라도 약물치료만 실시한 경우, 고혈압 환자의 약 50~70%는 치료

목표혈압에 도달하지 못한다고 보고하고 있다(Brown, 1997; Blood Pressure Lowering Treatment Trialists' Collaboration, 2003; Gudsoorkar & Tobe, 2017; Hajjar & Kotchen, 2003; Rajpura & Nayak, 2014; Selçuk et al., 2017; Testa et al., 2018). 일반적으로 비약물 치료는 약물 치료를 시작하기 전에 실시해야 하며, 약물치료와 함께 시행하고, 약물 치료가 잘 이루어지면 복용 약물 개수를 줄일 수 있다. 심혈관질환 고위험군이나 고혈압에 의한 장기손상이 있는 경우의 환자는 비약물 치료를 위해 약물 치료를 미루어서는 안되며, 혈압을 낮출 수 있는 중재 방안으로 식단조절, 나트륨 섭취 제한, 체중 감량과 적정 체중 유지, 규칙적 신체 활동, 그리고 금연 등이 있다(Whelton et al., 2018).

약물요법의 경우, 주로 A(안지오텐신 수용체 차단제 또는 안지오텐신 전환효소억제제), B(베타차단제), C(칼슘차단제), D(이뇨제) 및 E(기타)군으로 나누는데 고혈압 약물을 처음 시작하는데 있어 우리나라에서는 기타 약물군을 제외한 A, B, C, D군 모두를 의사의 판단에 따라 일차약으로 사용하며, 유럽, 미국의 경우, B(베타차단제)가 다른 약물에 비해 뇌졸중 예방효과가 약 1/2정도이고, 당뇨병에 대한 발생을 높일 수 있다는 우려감에서 제외하여 A, C, D 군을 일차약으로 권고한다(Williams et al., 2018; 이해영, 2018b). 약물 요법을 통해 수십년간 고혈압 환자의 혈압관리에도 불구하고, 일부 사람들은 목표혈압에 도달하지 못하고 있기 때문에 혈압을 떨어뜨리는 효과가 있는 비약물적 치료를 병행하여 약의 효과를 최대화하며 복용 약물의 개수 및 용량을 줄이고, 약물 복용에 따른 부작용을 감소시킬 수 있다고 하였다(Lee et al., 2019).

또한, 고혈압 환자가 염분 섭취를 줄이면 SBP와 DBP를 약 -5.1/-2.7 mmHg 감소시킨다고 보고하였고, 체중을 1kg 감량할 경우 약 -1.1/-0.9 mmHg 감소하며, 특히 당뇨, 고지혈증, 좌심실 비대를 동반한 고혈압 환자가 비약물 요법을 병행하면서 체중 감량을 하면 혈압 감소효과는 더 상승한다고 보고하였다. 더욱이, 담배의 경우에도 함유된 니코틴이 일시적으로 혈압과 맥박을 상승시키고 주간 혈압을 높이는 것으로

보고되어 금연을 권장하였다(Lee et al., 2019).

비약물치료 중재 중 신체활동 및 운동은 혈압 뿐 아니라 여러 건강상의 이득을 제공하는 유용한 중재 중 하나로 주당 150분 이상의 중강도 활동 또는 매일 30분 이상의 유산소 또는 저항성 운동은 혈압의 감소 뿐 아니라 체중감소, 심폐기능 및 근력향상, 혈액조성, 그리고 혈관 내피기능 등 여러 부분에 있어 추가적인 이득이 존재한다고 보고된 바 있는데 운동 및 신체활동의 이점에 관한 구체적 내용은 이후 부분에서 구체적으로 설명할 것이다(Börjesson, Onerup, Lundqvist, & Dahlöf, 2016; Kelley & McClellan, 1994).

2. 혈압감소를 위한 신체활동 및 운동프로그램

1) 신체활동과 운동프로그램의 정의 및 종류

‘신체활동’은 골격근의 수축으로 인해 에너지 소비가 발생하는 신체의 모든 움직임으로 정의되고, ‘운동’은 체력증진을 목적으로 계획되고, 반복적으로 구조화되어 수행하는 신체 움직임으로 정의되어 사용된다. 따라서, 정원 가꾸기, 청소, 대중교통으로 이동하기 등의 활동을 예로 들 수 있으며, 운동은 빈도, 강도, 지속시간, 형태 등이 포함되어 계획적으로 실시하는 유산소성 운동, 저항성 운동, 그리고 스트레칭 등을 예로 들 수 있다(Howley, 2001).

유산소 운동은 에너지를 산소 대사를 통해 얻는 운동을 의미하며, 이러한 종류의 운동으로는 걷기, 달리기, 줄넘기, 수영, 에어로빅, 댄스, 자전거 타기 등이 있다. 유산소 운동은 신체에 많은 양의 산소를 공급하여 심폐기능을 촉진시켜 지방을 에너지원으로 이용할 수 있는 능력을 증진시킨다(Howley, 2001).

반면, 무산소 운동은 산소를 활용하지 않고 에너지를 공급하여 무산소 대사가 발생하는 운동으로 외부의 힘에 대항하여 근수축이 일어나는 운동을 의미하여 유산소 운동에 비해 단백질 합성에 관여하는 동화작용 호르몬을 증가시키기 때문에 근력과 근육의 증가에 효과적인 운동 방법으로 알려져 있다(Howley, 2001).

2) 고혈압 환자를 위한 운동처방

세계에서 운동처방 및 스포츠의학에 대해 권위있는 기관 중 하나인 미국스포츠의학회(American College of Sports medicine; ACSM)에서 제시한 고혈압 환자를 위한 운동 처방 가이드라인은 아래 [Table 2]와 같다(Riebe, Ehrman, Liguori, Magal, & Medicine, 2018).

[Table 2] FITT recommendations for hypertension patients (ACSM, 2018)

	Aerobic exercise	Resistance exercise
Frequency	5~7 days a week	2~3 days a week
Intensity	Moderate intensity : 40~59% of heart rate reserve	60~70% of 1RM; Gradually 80% of 1RM Older people and beginners start at 40~50% of 1RM
Time	Continue for at least 30 minutes or do at least 10 minutes to ensure the total is at least 30 minute	2~4set, 8~12 repetition for each large muscle groups
Type	Continuous and rhythmic activity using large muscles (e.g. walking, cycling, and swimming)	Resistance machine, free weight, and body weight exercise
Abbreviations: FITT, frequency, intensity, time, type; ACSM, american college of sports medicine		

ACSM의 권고에 따르면, 고혈압 환자에게서 저항성 운동시 흡기와 숨참기(즉, 발살바조작 유발운동)는 극도로 높은 혈압반응, 어지럼증, 실신의 결과를 초래할 수 있다고 언급한 바 있고, 모든 형태의 운동 중 혈압약의 복용이 심박수를 낮출 수 있기 때문에 심박수가 운동강도 설정에 용이하지 않다면 자각도(RPE)를 이용해야 한다(Riebe et al., 2018).

고혈압 환자의 경우, 관절의 가동범위를 증가시키는 유연성 운동을 10~30초간 버티는 형태로 2~4회, 주 2~3회 이상 권고하고 있으며, 선행연구들에서는 유산소 운동과 저항성 운동을 결합한 복합운동 형태도 고혈압 환자의 혈압 감소 중재로서 효과가 있다고 보고되고 있다(Carlson et al., 2014; Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018).

또한, 최근 2018년에 보고된 ACSM 신체활동 가이드라인 Committee report에서는 근육의 길이 변화 없이 최대 근수축력의 30%의 강도로 2분간 총 4회 일정하게 힘을 발휘하는 등척성 운동도 고혈압 환자를 위한 중재로 권고되고 있으며 이는 운동을 30분 이상 유지하기 어려운 환자들에게 혈압감소의 이점을 제공할 수 있음을 시사하였다(Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018; Börjesson et al., 2016).

3) 운동이 고혈압 환자에게 미치는 효과

고혈압에 관한 초기 병리학적 원인은 심장박동수(Heart rate; HR)와 일회박출량(Stroke volume; SV)으로 구성된 심박출량(Cardiac output; CO)의 증가 및 교감신경의 증가와 관련이 있다고 보고된 바 있으며(Börjesson et al., 2016), 이후 혈관벽이 두꺼워지고, 혈관의 가속화된 동맥경화, 내피기능 장애 등이 말초혈관 저항을 증가시켜 다양한 심혈관 합병증(뇌졸중, 심근경색 등)이 발생할 수 있다고 보고하였다(Flack et al., 2003; Ogah et al., 2012).

고혈압 환자를 대상으로 한 여러 신체활동 및 운동 연구에서 규칙적인 신체활동 및 운동중재는 다른 생활습관 중재와 비교하여 혈압의 감소 뿐 아니라 체중조절, 심폐지구력 증가, 근력 및 근육량 증가, 이상지질혈증의 개선, 그리고 스트레스 해소 등 여러 이점을 제공하는 효과적인 중재라고 보고한 바 있다(Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018).

특히, 운동 후 지속적으로 혈압이 감소하는 것을 의미하는 운동 후 저혈압(Post exercise hypotension)은 다음과 같은 “신경적 요인”과 “혈관적 요인”에 의해 발생한다(Véronique A Cornelissen & Fagard, 2005; de Brito et al., 2015). 첫째, 운동은 동맥의 압력반사(baroreflex)를 재설정하여 교감 신경성 혈관 수축 활동이 주어진 압력에 비해 덜 일어나도록 하고, 교감신경에 관한 혈관 반응 또한 감소하도록 하여(노르에피네프린 및 신장의 레닌-안지오텐신에 영향, 심박수의 감소 및 1회 박출량 증가 등) 혈관 저항성을 낮춘다. 둘째, 혈관 확장과 관련된 물질(e.g. Nitric oxide, adenosine) 등을 증가시켜 말초혈관 저항을 감소시킨다. 셋째, 운동 후 증가된 혈장 알부민의 증가는 알부민의 혈관 내 유입을 증가시키고, 그로 인해 외부에 있던 더 많은 액체를 내부로 유입되도록 하는 압력-의존 알부민의 모세혈관 수송(transcapillary transport)과 관련이 있다고 하였다.

4) 운동의 혈압감소 효과에 관한 체계적 분석 및 메타분석 연구

신체활동 및 운동중재는 고혈압 환자의 혈압감소를 위한 생활요법 중 하나로 꾸준히 권고되어왔다. Cardoso Jr CG 등(2010)의 메타분석에 따르면, 일회성 및 장기간의 유산소 운동이 고혈압 환자의 활동성 혈압(ambulatory BP)을 유의하게 감소시키고, 저항성 운동에 관한 효과는 현재까지 논쟁적이고 근거가 부족하다고 보고한 바 있으나 이후 Veronique A. Cornelissen(2013) 등이 95개의 RCT 문헌을 토대로 실시한 메타분석에 따르면, 복합운동을 제외하고 유산소 운동이 연구 참여자의 혈압을 $-3.5/-2.5$ mmHg [정상혈압 대상 $-0.75/-1.1$ mmHg, 경계성 고혈압 환자의 혈압을 $-4.0/-3.8$ mmHg, 고혈압 환자의 혈압을 $-8.3/-5.2$ mmHg 감소], 저항성 운동이 $-1.8/-3.2$ mmHg, 등척성 저항성 운동이 $-10.9/-6.2$ mmHg만큼 혈압을 낮추어 유산소 운동과 근력 운동, 그리고 등척성 운동 모두 혈압감소에 효과가 있고, 현재까지 연구가 제한적이지만 등척성 운동이 잠재적으로 가장 큰 혈압감소를 보인다고 보고하였다(Cardoso Jr et al., 2010; Veronique A Cornelissen & Smart, 2013).

이와 더불어, 최근 2018년에 보고된 ACSM 신체활동 가이드라인 Committee report에서도 16주간, 주 3일, 중~고강도로 40분간 실시하는 유산소 운동은 고혈압 환자의 혈압을 $-8.3/-5.2$ mmHg, 경계성 고혈압 환자의 혈압을 $-4.3/-1.7$ mmHg, 그리고 정상혈압 피험자들의 혈압을 $-0.8/-1.1$ mmHg 모두 낮추는 효과적인 중재로 보고하였고, 저항성 운동의 경우에도 14주간 주 3일, 중강도로 약 30분씩 실시했을 때 고혈압 환자의 경우, $-5.7/-5.2$ mmHg, 경계성 고혈압 환자의 혈압을 $-3.0/-3.3$ mmHg 감소시켰으며, 저항성 운동과 유산소 운동을 합친 복합운동의 경우에도 20주간 주당 3회 중강도로 약 1시간씩 수행하였을 때 저항성 운동과 유사한 감소폭을 보인다고 보고하였다(Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018). 또한, 앞서 언급한 Veronique A. Cornelissen(2013)의 연구와 마찬가지로, 2018 Committee

report에서는 처음으로 등척성 운동에 관한 혈압감소를 보고하였는데 아직까지 다른 중재에 비해 근거가 부족하지만 등척성 운동 또한 정상혈압 피험자의 혈압을 $-7.8/-3.1$ mmHg, 고혈압 환자의 혈압을 $-4.3/-5.5$ mmHg까지 낮추어 현재까지 혈압감소 중재로 가장 널리 권고된 유산소 운동과 비슷한 효과를 나타낸다고 보고 하였다.

3. 등척성 운동이 혈압감소에 미치는 효과

1) 등척성 운동의 정의

‘등척성(Isometric)’이라는 단어는 그리스어로 “Isos(같음)”와 “Metria(측정)”을 결합한 용어로 ‘등척성 수축(Isometric contraction)’이란 근육길이의 변화없이 지속적으로 장력을 발휘하는 수축을 의미하며, ‘등척성 운동’은 움직일 수 없는 부하에 대해 일정한 수축을 유지하거나 관련된 근육군의 길이의 변화 없이 저항에 대해 수축이 수반되는 운동을 의미한다(Powers & Howley, 2007). 일상에서 실천 가능한 등척성 운동의 예로는 벽밀기, 특정 각도에서 무릎 굽히고 버티기(스쿼트), 플랭크 동작 등이 있으며, 현재 선행연구에서 빈번하게 적용되는 운동으로는 등척성 악력(Isometric handgrip) 운동과 등속성 장비에서 실시하는 무릎의 신전 동작(Leg/knee extension) 등이 있다.

2) 혈압 감소 중재로서 등척성 운동 중재의 이점

고혈압 환자들의 혈압 감소를 위해 기존에 가장 권고되는 운동 중재는 유산소 운동요법으로 미국심장협회(American Heart Association; AHA)와 미국스포츠의학회(American College of Sports Medicine; ACSM)는 고혈압 환자를 대상으로 중강도 유산소 운동을 주 5~7회, 1회 최소 30분 이상 실시할 것을 권고하고 있고, 저항성 운동 또한 중~고강도로 주 2~3회, 대근육군 운동을 할 것을 권고하고 있다(Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018). 현재까지 여러 실험 연구 및 메타분석에 의해 유산소 운동과 저항성 운동의 혈압감소 효과가 입증되고 있으나 현대인의 바쁜 생활 방식(시간부족), 운동에 관한 낮은 동기부여나 지식부족, 부상위험, 그리고 낮은 신체능력 및 만성질환 등을

지니고 있는 일부 집단의 경우 하루 30분 이상의 운동권고를 달성하기 어려워 일부 집단에게서는 최적의 운동권고가 아닐 수 있다고 언급하고 있다(Carlson et al., 2014). 이에 30분 이상의 유산소 및 저항성 운동이 어려울 수 있는 일부 집단 성인들이 신체기능에 제약없이 실시할 수 있는 효과적인 혈압 강하 운동이 요구되고 있는 실정이다.

반면 최근 ACSM을 비롯한 국외 여러 연구에서는 등척성 운동의 혈압 감소 효과에 관한 근거들이 제시되고 있다. 등척성 운동은 비교적 간단한 동작으로 비교적 짧은 시간(8~12분) 동안 낮은 강도(최대 근수축력의 30~50%)로 실시하여 비교적 심혈관 스트레스를 적게 유발하면서도 단시간 내 혈압을 크게 감소시킬 수 있어 일반 성인 뿐 아니라 유산소 및 저항성 운동이 어려운 일부 집단에서도 권고 가능한 좋은 운동 중재로 사료된다. 또한, 미세먼지, 감염병 등에 대한 노출이나 운동장소가 있어야 하는 다른 운동중재와 달리 장소의 제약이 없으며, 운동에 있어 특별한 기술이 요구되지 않고, 관절의 변화 없이 힘을 발휘하기 때문에 부상의 위험도 적다는 장점을 가지고 있다(Millar, McGowan, Cornelissen, Araujo, & Swaine, 2014; 윤은선, 추진아, 김장영, & 제세영, 2019)

그동안 등척성 운동은 운동 중 과도한 혈압 상승 등에 대한 위험성으로 고혈압 환자에게 권장되지 않았으나 4주 이상의 RCT연구를 토대로 한 Debra J. Carlson(2014) 등의 메타분석 연구에 따르면 등척성 운동은 수축기 혈압을 -6.77 mmHg(95% CI, -7.93 to -5.62 mmHg), 이완기 혈압을 -3.96 mmHg(95% CI, -4.80 to -3.12 mmHg) 낮추어 유산소 및 동적 저항성 운동보다 더 효과적인 것으로 나타났고(Carlson et al., 2014), 이러한 연구들을 토대로 최근 ACSM에서는 비약물적 고혈압 관리 지침으로 유산소 운동 및 저항성 운동과 더불어 등척성 운동을 추가로 제시하고 있다(Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018).

3) 등척성 운동의 혈압감소 효과

현재까지 다른 운동중재에 비해 수가 제한적이지만, 일부 메타분석 및 RCT연구에서 조사된 대부분의 등척성 운동 동작은 Isometric handgrip과 Isometric leg extension 동작으로 주로 4~10주 동안 주 3~5회, 최대근수축력의 30~50% 또는 유사한 근전도 값을 기반으로 1회 운동 시 1~4분 사이로 실시되었다(Carlson et al., 2014; Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018; Millar et al., 2014). 대부분의 등척성 연구가 유사한 프로토콜로 진행되고 있으나 현재까지 등척성 운동 프로토콜의 체계적 평가는 완료되지 않았으며, 여러 연구에서 사용된 프로토콜의 지속적인 사용은 주로 과거 선행연구 결과의 혈압 감소 효과에 기초하여 지속되는 것으로 사료된다.

현재 선행연구에서 가장 많이 실시된 등척성 운동중재는 Isometric handgrip 운동으로 Mark B. Badrov(2013)의 연구에 따르면, 정상 혈압 성인을 대상으로 총 8주간 최대근수축력의 30%로 2분간 4회 Isometric handgrip 운동을 주3회, 주 5회 그룹으로 각각 나누어 실시하였을 때 주 3회 실시한 그룹의 경우 수축기 혈압을 4주에 3 mmHg, 8주에 6 mmHg 감소시켰으며, 주 5회 실시한 그룹의 경우 4주차에 수축기 혈압을 7mmHg 감소, 8주 차에는 6 mmHg를 감소시켜 운동빈도가 4주까지는 혈압 감소폭에 차이를 발생시켰으나 8주 이후에는 효과가 비슷하였고, 이는 혈류속도의 변화에서도 유사하게 나타났다(Badrov, Bartol, et al., 2013).

또한, 성인 고혈압 환자를 대상으로 10주간 주 3회 Isometric handgrip 운동을 실시한 Mark B. Badrov(2013)의 연구에서는 Isometric handgrip 운동이 고혈압 환자의 혈압을 8/5 mmHg 감소시켰으며(Badrov, Horton, et al., 2013), Andrea C. TAYLOR(2003)의 연구에서는 대조군과 비교하여 운동 후 약 6주부터 유의한 차이를 나타내었다.(TAYLOR, McCartney, KAMATH, & WILEY, 2003)

두 번째로 많이 실시된 등척성 운동중재는 Isometric leg extension으로 Jonathan D Wiles (2011)등의 연구에 따르면 정상혈압

성인을 대상으로 한 8주간 주 3회 2분*4set의 Isometric leg extension은 트레이닝 후 혈압을 4/3 mmHg 감소시켰으며, 2013년 연구에서도 8주 운동 후 정상혈압 성인의 혈압을 11/2 mmHg 감소시켰다. 또한, 2010년 연구에서는 정상혈압 성인을 대상으로 8주간, 주 3회 HRpeak의 95%(high intensity) 강도와 HRpeak의 75%(low intensity) 강도로 각각 Isometric leg extension 동작을 수행하였는데 4주까지는 95% HRpeak 운동의 감소효과가 더 크게 나타났으나 8주 이후에는 큰 효과차이가 발생하지 않았다.

선행연구에서 검증된 Isometric handgrip과 Isometric leg extension 이외에도 특별한 도구(특수제작 럭비공) 또는 wall squat 등의 혈압감소 효과를 검증한 논문이 아주 일부 존재하고(Baddeley-White et al., 2019; Jonathan D Wiles, Goldring, & Coleman, 2017), 우리 주변에는 플랭크, 제자리 스쿼트 등과 같이 실생활에서 도구 없이 활용가능한 등척성 운동이 다수 존재하나 선행연구에 근거하여 객관적인 강도 파악 및 효과가 검증되어 있지 않아 이와 관련된 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

앞서 언급한 대로, 여러 연구에서 등척성 연구의 혈압 감소 효과가 입증되고 있다. Mark B. Badrov 등의 운동빈도별 혈압 감소효과 비교(Badrov, Bartol, et al., 2013)연구, Jonathan D Wiles 등의 운동강도별 혈압 감소 효과 비교 연구(Jonathan Derek Wiles, Coleman, & Swaine, 2010) 등의 결과와 같이 수행된 등척성 운동의 수행 빈도, 강도, 그리고 동원된 부위 등에 따라 혈압 감소 효과에 다양한 차이가 있을 것으로 사료되나 현재까지 이와 관련된 등척성 연구에 수가 매우 부족한 실정이다. 또한, 등척성 운동에 있어 일회성 운동의 효과가 존재하는지, 일회성 운동의 혈압 감소 정도가 장기 운동의 효과와 얼마나 차이가 나는가에 관한 종합된 관련 연구가 매우 부족하여 향후 이와 관련된 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 대한고혈압학회. (2018). 2018년 고혈압 진료지침. *대한고혈압학회*, 1-94.
- 손일석, & 편육범. (2019). 고혈압 관리의 사각지대. *질병관리본부 주간 건강과 질병*, 12(39), 1540-1547.
- 윤은선, 추진아, 김장영, & 제세영. (2019). 노인 고혈압 환자에서 등척성 악력운동과 유산소 운동의 동맥경직도 및 혈관이완능 개선에 미치는 효과 비교. *대한스포츠의학회지*, 37(4), 162-170. doi:10.5763/kjism.2019.37.4.162
- 이해영. (2018a). 고혈압의 새로운 진단기준. *Journal of the Korean Medical Association*, 61(8), 485-492. doi:10.5124/jkma.2018.61.8.485
- 이해영. (2018b). 새로운 고혈압 가이드라인에 따른 고혈압 진료. *대한내과학회지*, 93(5), 447-451. doi:10.3904/kjm.2018.93.5.447
- 조운형. (2019). 고혈압의 비약물 치료법. *대한내과학회 추계학술발표논문집*, 2019(2), 129-133.
- 질병관리본부. (2019). 고혈압 유병률 추이, 2007-2017. *질병관리본부 주간 건강과 질병*, 12(16).
- Arakawa, K., Miura, S.-i., Koga, M., Kinoshita, A., Urata, H., & Kiyonaga, A. (1995). Activation of renal dopamine system by physical exercise. *Hypertension Research*, 18(SupplementI), S73-S77. doi:10.1291/hypres.18.SupplementI_S73
- Ashton, L. M., Hutchesson, M. J., Rollo, M. E., Morgan, P. J., Thompson, D. I., & Collins, C. E. (2015). Young adult males' motivators and perceived barriers towards eating healthily and being active: a qualitative study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 12(1), 93. doi:10.1186/s12966-015-0257-6

- Baddeley-White, D. S., McGowan, C. L., Howden, R., Gordon, B. D., Kyberd, P., & Swaine, I. L. (2019). Blood pressure lowering effects of a novel isometric exercise device following a 4-week isometric handgrip intervention. *Open access journal of sports medicine, 10*, 89. doi:10.2147/OAJSM.S193008
- Badrov, M. B., Bartol, C. L., DiBartolomeo, M. A., Millar, P. J., McNevin, N. H., & McGowan, C. L. (2013). Effects of isometric handgrip training dose on resting blood pressure and resistance vessel endothelial function in normotensive women. *European journal of applied physiology, 113*(8), 2091–2100. doi:10.1007/s00421-013-2644-5
- Badrov, M. B., Horton, S., Millar, P. J., & McGowan, C. L. (2013). Cardiovascular stress reactivity tasks successfully predict the hypotensive response of isometric handgrip training in hypertensives. *Psychophysiology, 50*(4), 407–414. doi:10.1111/psyp.12031
- Baena, C. P., Olandoski, M., Younge, J. O., Buitrago-Lopez, A., Darweesh, S. K., Campos, N., . . . Freak-Poli, R. (2014). Effects of lifestyle-related interventions on blood pressure in low and middle-income countries: systematic review and meta-analysis. *Journal of hypertension, 32*(5), 961–973. doi:10.1097/HJH.000000000000136
- Beevers, G., Lip, G. Y., & O'Brien, E. (2001). The pathophysiology of hypertension. *Bmj, 322*(7291), 912–916. doi: https://doi.org/10.1136/bmj.322.7291.912
- Blood Pressure Lowering Treatment Trialists' Collaboration. (2003). Effects of different blood-pressure-lowering regimens on major cardiovascular events: results of prospectively-designed overviews of randomised trials. *The Lancet, 362*(9395),

1527–1535. doi:10.1016/S0140-6736(03)14739-3

- Börjesson, M., Onerup, A., Lundqvist, S., & Dahlöf, B. (2016). Physical activity and exercise lower blood pressure in individuals with hypertension: narrative review of 27 RCTs. *Br J Sports Med*, *50*(6), 356–361. doi:10.1136/bjsports-2015-095786
- Brown, M. J. (1997). Science, medicine, and the future: Hypertension. *Bmj*, *314*(7089), 1258. doi:10.1136/bmj.314.7089.1258
- Cardoso Jr, C. G., Gomides, R. S., Queiroz, A. C. C., Pinto, L. G., Lobo, F. d. S., Tinucci, T., . . . Forjaz, C. L. d. M. (2010). Acute and chronic effects of aerobic and resistance exercise on ambulatory blood pressure. *Clinics*, *65*(3), 317–325. doi:10.1590/S1807-59322010000300013
- Carlson, D. J., Dieberg, G., Hess, N. C., Millar, P. J., & Smart, N. A. (2014). *Isometric exercise training for blood pressure management: a systematic review and meta-analysis*. Paper presented at the Mayo Clinic Proceedings.
- Churilla, J. R., & Ford, E. S. (2010). Comparing physical activity patterns of hypertensive and nonhypertensive US adults. *American journal of hypertension*, *23*(9), 987–993. doi:10.1038/ajh.2010.88
- Cifu, A. S., & Davis, A. M. (2017). Prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults. *Jama*, *318*(21), 2132–2134. doi:10.7326/M17-3203
- Cornelissen, V. A., & Fagard, R. H. (2005). Effects of endurance training on blood pressure, blood pressure - regulating mechanisms, and cardiovascular risk factors. *Hypertension*, *46*(4), 667–675. doi:10.1161/01.HYP.0000184225.05629.51
- Cornelissen, V. A., & Smart, N. A. (2013). Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta analysis. *Journal of*

- the American Heart Association*, 2(1), e004473.
doi:10.1161/JAHA.112.004473
- Danaei, G., Ding, E. L., Mozaffarian, D., Taylor, B., Rehm, J., Murray, C. J., & Ezzati, M. (2009). The preventable causes of death in the United States: comparative risk assessment of dietary, lifestyle, and metabolic risk factors. *PLoS Med*, 6(4), e1000058. doi:10.1371/journal.pmed.1000058
- de Brito, L. C., Rezende, R. A., da Silva Junior, N. D., Tinucci, T., Casarini, D. E., Cipolla-Neto, J., & Forjaz, C. L. (2015). Post-exercise hypotension and its mechanisms differ after morning and evening exercise: a randomized crossover study. *PloS one*, 10(7). doi:10.1371/journal.pone.0132458
- Eicher, J. D., Maresh, C. M., Tsongalis, G. J., Thompson, P. D., & Pescatello, L. S. (2010). The additive blood pressure lowering effects of exercise intensity on post-exercise hypotension. *American heart journal*, 160(3), 513-520. doi:10.1016/j.ahj.2010.06.005
- Fagard, R. (2006). Exercise is good for your blood pressure: effects of endurance training and resistance training. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 33(9), 853-856. doi:10.1111/j.1440-1681.2006.04453.x
- Fagard, R. H. (2002). Physical exercise and coronary artery disease. *Acta cardiologica*, 57(2), 91-100. doi:10.2143/AC.57.2.2005379
- Flack, J. M., Peters, R., Shafi, T., Alrefai, H., Nasser, S. A., & Crook, E. (2003). Prevention of hypertension and its complications: theoretical basis and guidelines for treatment. *Journal of the American Society of Nephrology*, 14(suppl 2), S92-S98. doi:10.1097/01.ASN.0000070142.14843.8E
- Gudsoorkar, P., & Tobe, S. (2017). Changing concepts in hypertension

- management. *Journal of human hypertension*, 31(12), 763–767. doi:10.1038/jhh.2017.57
- Hajjar, I., & Kotchen, T. A. (2003). Trends in prevalence, awareness, treatment, and control of hypertension in the United States, 1988–2000. *Jama*, 290(2), 199–206. doi:10.1001/jama.290.2.199
- Howley, E. T. (2001). Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(6), S364–S369. doi:10.1097/00005768-200106001-00005
- Kelley, G., & McClellan, P. (1994). Antihypertensive effects of aerobic exercise: a brief meta-analytic review of randomized controlled trials. *American journal of hypertension*, 7(2), 115–119. doi:doi.org/10.1093/ajh/7.2.115
- Kotseva, K., De Bacquer, D., De Backer, G., Rydén, L., Jennings, C., Gyberg, V., . . . Davletov, K. (2016). Lifestyle and risk factor management in people at high risk of cardiovascular disease. A report from the European Society of Cardiology European Action on Secondary and Primary Prevention by Intervention to Reduce Events (EUROASPIRE) IV cross-sectional survey in 14 European regions. *European journal of preventive cardiology*, 23(18), 2007–2018. doi:10.1177/2047487316667784
- Lee, H.-Y., Shin, J., Kim, G.-H., Park, S., Ihm, S.-H., Kim, H. C., . . . Park, J.-M. (2019). 2018 Korean Society of Hypertension Guidelines for the management of hypertension: part II–diagnosis and treatment of hypertension. *Clinical hypertension*, 25(1), 20. doi:10.1186/s40885-019-0124-x
- Lopez, A. D., Mathers, C. D., Ezzati, M., Jamison, D. T., & Murray, C. J. (2006). Global and regional burden of disease and risk factors, 2001: systematic analysis of population health data.

- The Lancet*, 367(9524), 1747–1757.
doi:10.1016/S0140-6736(06)68770-9
- Metrics, I. f. H., & Evaluation. (2018). Findings from the global burden of disease study 2017. In: IHME Seattle, WA.
- Millar, P. J., McGowan, C. L., Cornelissen, V. A., Araujo, C. G., & Swaine, I. L. (2014). Evidence for the role of isometric exercise training in reducing blood pressure: potential mechanisms and future directions. *Sports Medicine*, 44(3), 345–356. doi:10.1007/s40279-013-0118-x
- Narayan, K. V., Ali, M. K., & Koplan, J. P. (2010). Global noncommunicable diseases—where worlds meet. *New England Journal of Medicine*, 363(13), 1196–1198.
- Ogah, O. S., Okpechi, I., Chukwuonye, I. I., Akinyemi, J. O., Onwubere, B. J., Falase, A. O., . . . Sliwa, K. (2012). Blood pressure, prevalence of hypertension and hypertension related complications in Nigerian Africans: A review. *World journal of cardiology*, 4(12), 327. doi:10.4330/wjc.v4.i12.327
- Pescatello, L. S., Franklin, B. A., Fagard, R., Farquhar, W. B., Kelley, G. A., & Ray, C. A. (2004). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med Sci Sports Exerc*, 36(3), 533–553. doi:10.1249/01.mss.0000115224.88514.3a
- Physical Activity Guidelines Advisory Committee. (2018). 2018 physical activity guidelines advisory committee scientific report. In: : US Department of Health and Human Services.
- Powers, S. K., & Howley, E. T. (2007). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*: McGraw–Hill New York, NY.
- Prospective Studies Collaboration. (2002). Age-specific relevance of

- usual blood pressure to vascular mortality: a meta-analysis of individual data for one million adults in 61 prospective studies. *The Lancet*, 360(9349), 1903–1913. doi:10.1016/S0140-6736(02)11911-8
- Rajpura, J., & Nayak, R. (2014). Medication adherence in a sample of elderly suffering from hypertension: evaluating the influence of illness perceptions, treatment beliefs, and illness burden. *Journal of Managed Care Pharmacy*, 20(1), 58–65. doi:10.18553/jmcp.2014.20.1.58
- Riebe, D., Ehrman, J. K., Liguori, G., Magal, M., & Medicine, A. C. o. S. (2018). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*: Wolters Kluwer.
- Selçuk, K. T., Çevik, C., Mercan, Y., & Koca, H. (2017). Hypertensive patients' adherence to pharmacological and non-pharmacological treatment methods, in Turkey. *International Journal of Community Medicine and Public Health*, 4(8), 2648. doi:10.18203/2394-6040.ijcmph20173308
- SPRINT Research Group. (2015). A randomized trial of intensive versus standard blood-pressure control. *New England Journal of Medicine*, 373(22), 2103–2116. doi:10.1056/NEJMoal511939
- TAYLOR, A. C., McCartney, N., KAMATH, M. V., & WILEY, R. L. (2003). Isometric training lowers resting blood pressure and modulates autonomic control. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(2), 251–256. doi:10.1249/01.mss.0000048725.15026.b5
- Testa, G., Ceccofiglio, A., Mussi, C., Bellelli, G., Nicosia, F., Bo, M., . . . Noro, G. (2018). Hypotensive drugs and Syncope due to orthostatic hypotension in older adults with dementia (Syncope and dementia study). *Journal of the American Geriatrics Society*, 66(8), 1532–1537. doi:10.1111/jgs.15421|

- Whelton, P. K., Carey, R. M., Aronow, W. S., Casey, D. E., Collins, K. J., Himmelfarb, C. D., . . . Jones, D. W. (2018). 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/P CNA guideline for the prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology*, *71*(19), e127–e248. doi:10.1016/j.jacc.2017.11.006
- Whelton, P. K., He, J., Appel, L. J., Cutler, J. A., Havas, S., Kotchen, T. A., . . . Winston, M. C. (2002). Primary prevention of hypertension: clinical and public health advisory from The National High Blood Pressure Education Program. *Jama*, *288*(15), 1882–1888. doi:10.1001/jama.288.15.1882
- Wiles, J. D., Coleman, D. A., & Swaine, I. L. (2010). The effects of performing isometric training at two exercise intensities in healthy young males. *European journal of applied physiology*, *108*(3), 419–428. doi:10.1007/s00421-009-1025-6
- Wiles, J. D., Goldring, N., & Coleman, D. (2017). Home-based isometric exercise training induced reductions resting blood pressure. *European journal of applied physiology*, *117*(1), 83–93. doi:10.1007/s00421-016-3501-0
- Williams, B., Mancia, G., Spiering, W., Agabiti Rosei, E., Azizi, M., Burnier, M., . . . Dominiczak, A. (2018). ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology and the European Society of Hypertension: The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology and the

European Society of Hypertension. *J Hypertens*, 36(10), 1953–2041. doi:doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339

Zimmermann, K., Carnahan, L. R., & Peacock, N. R. (2016). Peer Reviewed: Age-Associated Perceptions of Physical Activity Facilitators and Barriers Among Women in Rural Southernmost Illinois. *Preventing chronic disease*, 13. doi:10.5888/pcd13.160247

III. 소논문 1

일회성 Isometric squat이 고혈압 전단계 및 고혈압 성인 남성의 운동 중 혈압과 운동 후 혈압에 미치는 영향

: Isometric handgrip과 Isometric leg extension, 그리고 Isometric squat의 중재별 비교

1. 서 론

최근 등척성 운동의 효과가 지속적으로 보고되면서 미국심장협회(American Heart Association; AHA)와 미국스포츠의학회(American College of Sports Medicine; ACSM)의 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report, 그리고 몇몇 메타분석에서 등척성 운동을 정상 혈압 및 고혈압 성인의 혈압을 가장 잘 감소시키는 생활습관 중재 중 하나로 소개하고 있다(Carlson, Dieberg, Hess, Millar, & Smart, 2014; Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018; Cornelissen & Smart, 2013; Whelton et al., 2018).

현재 대부분의 연구에서 가장 많이 사용되는 등척성 운동은 Isometric handgrip(IHG)과 Isometric leg extension(ILE) 동작으로 최대근수축력(Maximal voluntary contraction; MVC)의 30~50% 강도로 약 4~8주간 주 3회 프로토콜을 적용하고 있다(Cornelissen & Smart, 2013).

그 중 연구가 가장 많이 이루어진 IHG 운동의 경우, 주로 프로그램이 내장된 디지털 악력계를 사용하여 최대근수축력을 측정 후 최대근수축력의 30~50% 강도로 2분간 근수축을 유지할 수 있도록 알람을 제공하여 전문가의 감독 없이도 편리하게 운동을 완수할 수 있도록 보고한 바 있으나(Badrov, Horton, Millar, & McGowan, 2013; Stiller-Moldovan, Kenno, & McGowan, 2012) 해당 기능이 탑재된 IHG장비(Zona Health, 2016)의 경우 해외에서 약 299~449유로로 일반 또는 저소득층 인구집단에서 구매하기에 경제적으로 부담이 될 수 있으며, 일부 연구에서는 스프링으로 된 저가(약 2달러)의 악력계를 사용하여 혈압을 성공적으로 낮추었다고 보고한 바 있으나 운동 시간 및 강도의 파악이 어려워 안전이나 효과적인 측면에서 엄격히 통제 되지 못할 것으로 판단 되었다(Millar, Bray, MacDonald, & McCartney, 2008).

두 번째로 가장 많이 연구가 이루어진 등척성 운동은 ILE 동작으로 이는 매우 정확하게 운동 강도를 파악 가능하나 주로 등속성 장비

(Isokinetic dynamometer)를 사용하고, 근전도(Electromyography; EMG) 장비를 기반으로 운동부하를 설정하기 때문에 운동수행에 있어 매우 고가의 장비가 필요할 뿐 아니라 전문가의 지도 하에 운동을 수행할 수 밖에 없기 때문에 일상생활에서 이를 사용 및 적용 하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다 (Baross, Wiles, & Swaine, 2013; Devereux, Wiles, & Swaine, 2011). 이처럼, 선행 연구를 통해 등척성 운동의 혈압감소 효과가 꾸준히 입증되고 있음에도 불구하고, 현재까지 가정에서 도구없이 효율적, 그리고 경제적으로 혈압을 감소시킬 수 있는 등척성 운동 동작에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다.

가정 기반에서 도구없이 손쉽게 수행할 수 있는 등척성 운동 동작 중 하나로 Squat 동작은 특정 각도에서 하체근육을 사용하여 관성하중(신체 질량)을 지지하면서 무릎을 정해진 각도로 유지하는 것이다. Jonathan D. Wiles(2017) 연구에서 28명의 성인을 대상으로 Wall-Squat 운동을 실시하여 혈압감소의 효과를 확인한 바 있으나 해당연구 또한 Wall-squat 운동이 혈압감소에 효과가 좋다고 알려진 기존 연구의 프로토콜(최대근수축력의 30~50%의 강도)에 부합하는 운동 강도인지 확인하기가 어려웠으며(Wiles, Goldring, & Coleman, 2017), 현재까지 이와 관련된 연구들은 매우 부족한 상황으로 향후 혈압감소를 위한 중재로 Isometric squat 동작을 적용 하기 앞서 기존 프로토콜에 부합하는 운동강도 확인이 반드시 필요할 것으로 사료된다.

그러나, %MVC 측정과 마찬가지로 동일한 Isometric squat(IS) 운동이라도 각 개인마다 신체능력에 수행가능한 범위가 매우 상이하기 때문에 준거 동작인 30% MVC Isometric leg extension 동작에서 등척성 수축이 유지 가능한 최대 지속시간 및 운동강도, 에너지 소비량을 파악하여 IS 운동 시에도 유사한 강도로 운동을 제공하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

또한, 현재 선행된 등척성 운동 연구의 대부분은 4~8주 이상, 주 3회 이상 실시한 장기간 연구로(Carlson et al., 2014; Cornelissen & Smart, 2013) 장기간 등척성 운동은 참여자에게 많은 건강상의 이득을 제공하는 것으로 나타났으나 2018 국민건강통계에 따르면, 우리나라 국민의 하루

30분 걷기 실천율은 40.2%, 주당 150분 이상 유산소 운동 실천률은 남자 51%, 여성 44%로 나타나 권고된 신체활동 및 운동량을 꾸준히 유지하는 것은 상당히 어려운 일임을 확인할 수 있었다(박능후, 2019).

규칙적인 운동 수행을 달성하지 못했을 때, 일회성 운동의 효과만으로도 하루의 일부분 동안 건강상의 이득을 얻을 수 있다면, 여러 이유(바쁜 스케줄, 허약, 미세먼지, 전염병 등)로 규칙적인 운동에 참여하지 못하는 사람들에게 운동에 관한 동기부여를 제공할 수 있을 것이다. 유산소 및 저항성 운동을 대상으로 한 몇가지 메타분석에 따르면 일회성 운동은 운동 후 혈압 감소에 긍정적 영향을 제공한다고 보고한 바 있으며(Cardoso Jr et al., 2010), SAM LIU(2012)등의 연구에 따르면, 일회성 운동의 혈압 감소 크기는 장기간 운동 시 혈압감소의 크기를 예측하는데 강한 상관관계가 있다고 보고한 바 있다(Liu, Goodman, Nolan, Lacombe, & Thomas, 2012).

그러나, 등척성 운동 연구의 경우, 대부분의 연구가 4~8주 이상 운동 실시 후 안정시 혈압의 감소 효과를 확인한 논문으로 일회성 운동의 혈압 감소 효과를 파악하는데 어려움이 있으며, 혈압 측정 또한 주로 안정 시 혈압 측정에만 국한되어 있어 혈압의 감소 폭과 운동 후 감소 효과가 얼마나 지속되는지 파악하기 힘든 부분이 존재한다.

따라서, 본 연구에서는 1) 선행연구에서 효과가 검증된 ILE 동작의 운동 강도, 에너지 소비량, 그리고 %MVC 지속시간을 토대로 유사한 운동강도, 에너지 소비량 및 지속 시간을 나타내는 IS의 동작 범위를 파악하고, 2) 기존 실험실 세팅의 등척성 운동 프로토콜과 비교하여 Isometric squat 운동 시 혈압 감소 효과(감소 폭, 지속시간 등)에 차이가 있는지를 확인하고자 한다.

2. 연구방법

1) 연구대상

본 연구의 참여 대상은 만 25~45세의 고혈압 전단계 또는 고혈압 (SBP \geq 130 또는/그리고 DBP \geq 80 mmHg)에 해당하거나 적어도 지난 4개월 이상 고혈압 약물을 처방받은 성인 남성으로 등척성 운동에 무리 없이 참여 가능하고, 적어도 지난 3개월간 다른 신체활동 프로그램에 참여하지 않았으며, 동의서가 작성 가능한 13명을 모집하였다.

연구 참여자 모집에 있어 심각한 고혈압(SBP \geq 180 mmHg 또는/그리고 DBP \geq 110 mmHg)에 해당하거나 운동 시 심전도 검사에서 심장의 병적 변화 이력이 있던 사람(e.g. 심부전, 부정맥 등), 장기손상 또는 암, 당뇨와 같은 대사적 변화가 있거나 뼈, 근육, 관절 등의 문제로 인해 권고된 운동에 참여할 수 없는 경우는 모집 대상에서 제외하였으며, 본 연구는 서울대학교 생명 윤리심사위원회의 심의를 받아 진행하였다(SNU IRB No. 2007/003-027).

2) 연구 설계

본 연구를 위해 피험자 선정 기준에 맞추어 모집된 연구 참여자는 연구에 관한 설명과 함께 동의서 작성 및 연구 절차에 관한 사항을 전달 받았으며, 각 처치를 시작하기 전 실험에 필요한 수칙(평소 식습관 및 생활습관 유지, 측정 4시간 전 음식섭취 및 카페인 금지, 전날 음주 및 운동 금지 등)을 준수하였는지 확인하였다. 연구 참여에 결격사유가 없는 경우, 연구참여자는 정해진 일정에 실험장소에 방문하여 간단한 준비운동 실시 후 측정장비를 착용한 뒤 최대근수축력 검사 및 점증

스쿼트 운동을 실시하고, 측정 종료 후 다음 방문일정을 전달받았다.

본 연구에서 사용된 설계는 무작위 교차연구 설계(A randomized Crossover Design)로 피험자들은 첫 번째 방문하여 동의서 작성 및 사전검사를 실시 후 중재 간 순서효과를 배제하기 위해 ILE과 IHG, IS, 그리고 Usual care(UC) 중 한가지 중재에 무선할당(Random assigned)하여 총 4그룹으로 나누었다 [Figure 1]. 각 그룹마다 참여하는 운동 중재의 순서는 달랐지만 실험에 참여하는 모든 연구 참여자들은 총 4주 동안 주 1회에 걸쳐 네가지 등척성 운동 중재에 모두 참여하였으며, 중재 간 먼저 실시된 운동 중재의 이월효과(Carryover effect)를 제거하기 위해 각 운동수행 간 1주일의 washout 기간을 두고 각 중재에 참여하였다.

	A group	B group	C group	D group
1 st week	ILE	UC	IS	IHG
2 nd week	IHG	ILE	UC	IS
3 rd week	IS	IHG	ILE	UC
4 th week	UC	IS	IHG	ILE

Figure 1. Sequence of intervention modality. All participants were randomly assigned to start with either Isometric leg extension(ILE), Isometric handgrip (IHG), Isometric squat (IS), or Usual care (UC). After randomization to the first intervention, each participant followed the intervention sequence as indicated in the figure. Intervention modalities were assigned in such a manner that each modality was applied once on each week day.

실험은 에어컨 및 온풍기가 구비된 실험실에서 항상 22~25°C 온도를 유지한 상태로 매일 동일한 시간대(오전 9시 30분~11시 30분)에 실시하였다. 실험은 크게 2단계로 나누어졌는데 첫째로, 연구 참여자들은 연구에서 사용하는 측정 장비 및 운동 프로토콜에 익숙해지기 위해 본 실험 전 IHG, ILE, 그리고 IS 중재 및 연구장비에 익숙해지는 시간을 가졌으며, 충분한 연습 후 ILE과 IS 운동을 수행하면서 운동강도 및 에너지 소비량 측정, 그리고 적정 IS의 각도 등을 파악하였다.

둘째로, 각 연구피험자들은 자신에게 할당된 순서대로 실험실에 방문하여 정해진 장비와 프로토콜대로 총 8~12분(2분*4세트)의 등척성 운동을 수행하면서 운동 강도(심박수, 자각도)와 혈압을 측정하였으며, 운동 종료 후 활동성 혈압계와 가속도계를 착용하여 각 30분, 1분 간격으로 총 8시간 동안 혈압과 신체활동량을 측정하였다.

연구 자료는 SPSS 18.0을 사용하여 분석 하였으며, 구체적인 연구 설계를 도식화하면 아래 [Figure 2]와 같다.

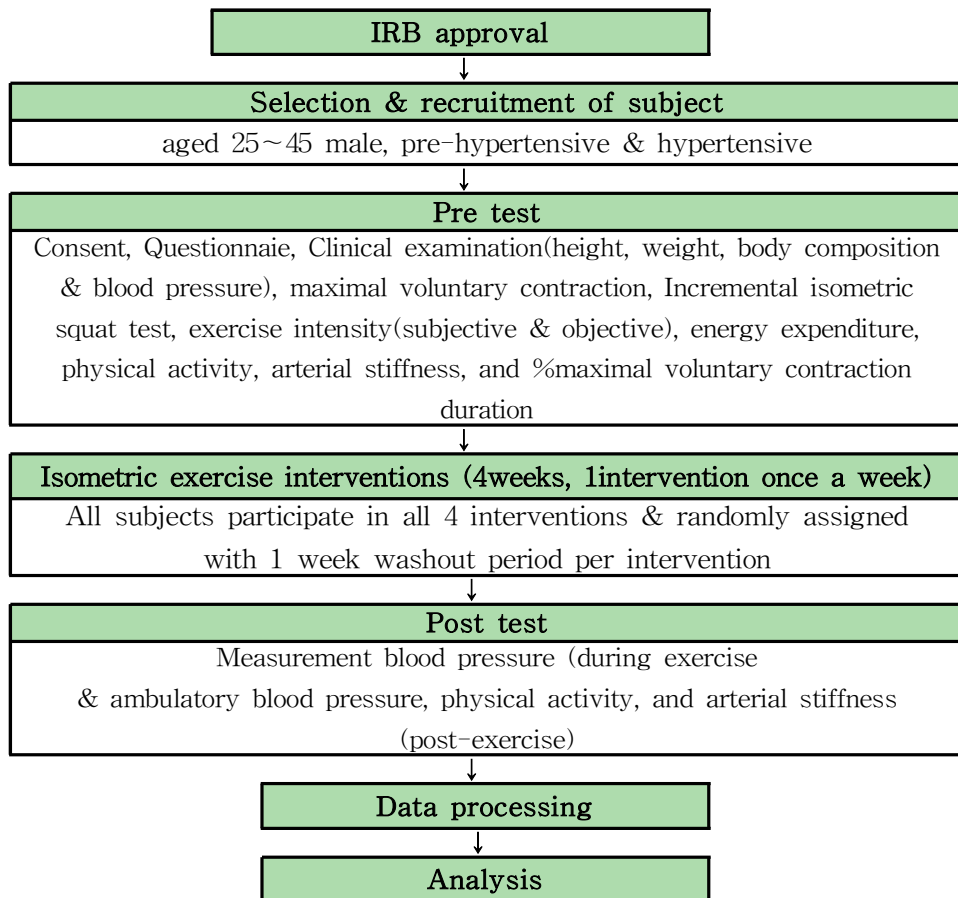


Figure 2. Experimental design

3) 측정 도구

① 설문조사

설문조사는 연령, 성별, 나이 등의 기본정보와 혈압약 복용여부 및 종류, 그리고 만성질환 및 관절염 등의 질병 여부를 조사하였다.

② 신체계측

신장의 경우 수동식 신장계를 이용하여 신발을 벗은 상태에서 실시하였으며, 신체조성의 경우, 측정 4시간 전 공복상태를 유지 및 전날 음주 및 신체활동 여부 등을 확인 후 Inbody 720(Biospace, Korea)를 사용하여 첫 번째 방문 시 1회 측정하였다.

③ 혈압측정

피험자는 측정 하루 전 운동, 음주, 흡연 등을 금지하도록 하였으며, 신뢰도 및 타당도가 검증된 활동성 혈압계(Watch BP 03, Microlife AG, Switzerland)를 이용하여 왼쪽 상완(IHG 동작을 왼손으로 실시하는 경우에는 반대팔에 착용) 전주부 2cm 되는 부위에 표준 성인용 커프를 감아 측정을 실시하였다.

- 안정시 혈압 : 연구참여자는 실험실에 방문 후 의자에 앉아 약 10~15분간 안정을 취한 뒤 혈압계를 사용하여 총 3회 측정 하였다. 각 측정 당 간격은 최소 60초를

유지 하였으며, 가장 낮은 2회의 측정치를 분석에 사용하였다.

- 운동 중 혈압 : 동일한 혈압계를 사용하여 등척성 운동 중 혈압은 60초 간격으로 총 4set 운동 중 4회 측정할 것이다.
- 운동 후 혈압 : 운동 종료 이후 활동성 혈압의 측정은 30분 간격(시간당 2회)으로 측정치를 기록할 것이다. SBP > 240 mmHg이거나 DBP < 50 mmHg인 경우, 신체활동량의 변화가 없음에도 불구하고 SBP가 주변 값으로부터 ± 50 mmHg, DBP가 ± 20 mmHg 이상 변화된 경우는 이상값으로 처리 하였으며, 시간 당 최대 1회 판독값이 있는 경우에만 유효한 값으로 간주하였다.

④ 최대근수축력

모든 연구참여자들은 무릎 신전 동작을 위해 등속성장비(Cybex, USA)에 앉아 허리를 곧게 펴고 엉덩이를 장비 끝까지 당겨 앉은 상태에서 각 연구참여자의 대퇴골 외측상과(Lateral epicondyle of femur)를 장비의 축에 고정시키고 어깨 벨트를 착용하였다.

최대근수축력 측정에 앞서 연구참여자가 등속성 운동검사에 경험이 없는 것을 고려하여 최대근수축력의 50%에 해당하는 강도로 4~5회 예비연습을 실시 하였고, 5분의 휴식시간 제공 후 본 측정에서도 피험자들은 부상방지를 위해 1~2초간 낮은 강도로 근수축력을 유지한 뒤 최대근수축력을 측정 하였다. 최대 근수축력을 측정하는 동안 측정자는 연구참여자가 최대근수축력에 도달할 수 있도록 음성적

피드백을 제공 하였으며, 총 2회의 측정을 실시하여 산출된 peak torque를 기반으로 %최대근수축력을 산출하였다.

⑤ 점중 등척성 스쿼트 검사

기존 실험실 기반 ILE동작과 유사한 운동강도 및 에너지 소비량을 나타내는 등척성 스쿼트 각도의 조사를 위해 각 연구참여자는 충분한 준비운동 실시 후 무릎관절에 임상용 Goniometer를 사용하여 넓다리뼈(Femur)와 정강이뼈(Tibia)의 각도를 130°로 설정하여 2분 동안 등척성 운동을 실시하였다. 2분 동안 자세유지가 가능할 경우, 관절의 각도를 10°씩 감소시켜 최종적으로 90°에 도달할때까지 검사를 실시하였고, 만약, 90°에 도달하지 못할 경우, 이전 단계 목표 값의 5° 이내로 각도를 조절하여 최종각도를 확인 하였다. 첫 시도인 130°를 성공하지 못할 경우 wall-squat으로 대체 할 예정이었으나 모든 피험자가 130°각도에서 2분간 스쿼트를 성공 하였기 때문에 해당 방법을 별도로 적용하지 않았으며, 각 테스트 간 휴식 시간은 2~5분으로 설정 하였다.

⑥ 객관적 운동강도 측정

사전 연구에서 신뢰도와 타당도가 검증된 Wearable heart rate monitoring device(Polar Team Pro, Polar Electro, Finland)를 활용하여 운동 중 실시간 심박수를 1분 간격으로 기록하였다.

⑦ 주관적 운동강도 측정

주관적 운동강도의 측정은 보그의 운동자각도(Borg's Rating of Perceived Exertion; RPE)를 사용하여 매 1분 마다 연구참여자의 운동자각도를 기록하였다.

⑧ 에너지 소비량 측정

에너지 소비량 분석은 운동을 수행하는 동안 휴대용 호흡가스분석기(K5 portable analyser, Cosmed Germany GmbH, Germany)를 등 또는 가슴부위(ILE의 경우)에 착용하고 운동을 수행하는 동안 “breath by breath” 방식을 사용하여 측정 하였으며, OMNIA software 1.4(Cosmed Germany GmbH)를 이용하여 2분 간격으로 데이터 분석을 실시하였다.

⑨ %MVC 지속시간

%MVC 지속시간은 최대근수축력 검사를 통해 산출된 MVC의 30%의 강도에서 ILE 동작으로 근수축을 유지할 수 있는 최대시간을 측정 하였으며, 점증부하 IS 동작에서 유사한 시간을 유지할 수 있는 관절의 각도를 파악하였다.

⑩ 신체활동량 측정

본 연구에서 신체활동의 측정은 Actigraph사(USA)의 3축 가속도계 (wGT3X-BT)를 사용하였으며, 운동 후 혈압감소 효과를 정확하게 파악하기 위해 연구자는 참여자들에게 본 운동 이후 가급적 별도의 신체활동을 삼가할 것을 권고하였다. 신체활동 요약주기(Epoch time)는 10초로 설정하였으며, 신체활동 강도의 분류는 여러 선행연구에서 성인을 대상 분석 시 주로 사용되는 Troiano의 기준을 사용하여 Counter per minute이 2,020 이상인 경우에는 중강도, 5,999 이상인 경우 고강도 활동으로 설정하였다.

⑪ 동맥경직도 측정

동맥경직도의 측정은 비침습적 동맥경직도 측정장비(VP-1000 puls, Omron healthcare CO, Japan)를 이용하여 운동 시작 전과 운동 종료 이후 최소 10분 휴식을 취한 뒤 누운자세에서 측정하였다. 연구자는 참여자의 양 손목에 맥파형 크기를 감지할 수 있는 센서를 부착시켰으며, 참여자의 양쪽 상완과 양쪽 발목에 커프를 착용시켜 사지혈압 및 Brachial-Ankle(ba) pulse wave velocity(PWV)를 측정하였다. PWV는 이동거리(cm)와 전달시간(sec)의 비이며, 평균 상완-발목 맥파속도는 양측의 값을 이등분한 값이다

4) 운동 프로그램

본 연구에 참여하는 모든 피험자들은 총 4주에 걸쳐 매주 다른 운동 중재(IHG, ILE, IS, 그리고 일상생활 유지 중재)에 참여 하였으며, 각 중재 간 트레이닝의 이월효과를 피하기 위해 일주일의 간격을 두고 실시하였다.

운동중재는 S대학교 건강운동과학 실험실에서 실시 하였으며, 실험참가자의 안전을 위해 운동처방 전공자를 1:1로 매칭하여 운동을 실시하고 운동시작부터 종료까지 혈압과 심박수 등을 지속적으로 모니터링 할 뿐 아니라 불편감이나 어지러움, 통증, 무호흡, 혈압의 급격한 증가나 감소 등이 발생하지 않는지 수시로 확인하며 연구를 진행 하였다.

혈압약을 복용하는 경우, 심박수의 증가가 원활하지 않을 수 있음을 고려하여 운동강도의 측정은 주관적 강도(RPE)와 객관적 운동강도(심박수)를 모두 측정 하였고, 구체적인 운동프로그램의 구성은 선행연구에서 이미 효과가 확인된 등척성 운동 프로토콜과 동일하게 설계 하였으며, 구체적인 구성은 아래 [Table 3]와 같다.

Table 3. Isometric handgrip, Isometric leg extension, and Isometric squat protocols

	Intensity	Time	Content
Isometric handgrip	30% of maximal voluntary contraction (MVC)	8~12 min (2min*4set)	<ul style="list-style-type: none"> - Alternating hand (Camry, china) - 1 minute rest between set
Isometric leg extension	30% of MVC	8~12 min (2min*4set)	<ul style="list-style-type: none"> - Uplight position with 90°C flexion at the hip Thigh supported & medial borders of the knee place together - 1 minute rest between set
Isometric squat	Specific angles by incremental isometric squat test	8~12 min (2min*4set)	<ul style="list-style-type: none"> - Perform isometric squat at the specified angle - 1 minute rest between set
Usual care	Maintain daily life style & measure blood pressure at the same time as the isometric interventions		

5) 자료 처리

본 연구의 가설을 검증하기 위하여 실험에서 얻어진 모든 데이터는 Windows SPSS 18.0 통계 프로그램을 이용하여 분석 하였으며, 이에 관한 구체적인 통계처리는 다음과 같다.

- 1) 기술통계 분석을 이용하여 평균(M), 표준편차(SD)를 산출 하였다.
- 2) 각 운동 중재 간 에너지소비량 및 운동강도를 비교하기 위해 독립표본 t 검정(Independent two sample t test)을 실시하였다.
- 3) 각 운동중재 및 시기 간 효과검증을 위해 반복측정 분산분석(Repeated measures ANOVA) 및 Bonferroni 사후검정(Post hoc)을 실시하였다.
- 4) 통계적 유의수준은 $p < .05$ 수준으로 설정하였다.

3. 연구결과

본 연구에서 모집된 사전 인원은 총 18명이었으나 본 연구의 참여 기준을 충족하지 못해 참여하지 못한 4인, 그리고 중도탈락 1인을 제외하여 총 13명이 최종적으로 연구에 참여하였다. 본 연구에 참여한 총 13명은 건강상의 문제가 없는 고혈압 전단계 또는 고혈압 성인 남성으로 참여자의 특성은 아래 [Table 4]와 같다.

[Table 4] Baseline characteristics of the participants

	Mean±SD (n=13)
Age	32.2±1.4
Sex	male (100%)
Height	175.3±1.3
Body weight	86.5±3
% Body fat	27±2.1
Resting SBP	136.8±1.3
Resting DBP	91±2
Resting HR	71.8±2.2
Medication use	-

Data are expressed as mean±standard error or number (percentage).

Abbreviations: SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; HR, heart rate

참여자들의 평균 나이 32.2±1.4세, 성별은 모두 남성으로 평균 신장 175.3±1.3, 몸무게 86.5±3kg, 체지방률은 27±2.1%였으며, 수축기 혈압 136.8±1.3 mmHg, 이완기 혈압 91±2 mmHg, 안정시 심박수 분당 71.8±2.2회, 그리고 혈압 관련 약물 복용을 하는 참여자는 없는 것으로 나타났다.

본 연구에 참여한 13명의 참여자들은 본 연구에서 제공하는 4가지 중재 (IHG, ILE, IS, 그리고 Usual care)에 모두 참여하였다. 운동 중재의 순서효과와 이월효과를 제거하기 위해 총 13명의 참여자를 4개의 그룹으로 나누어 그룹별 중재 순서를 다르게 구성하여 중재를 실시하였으며, 그룹당 할당된 구체적인 인원은 아래 [Figure 3]와 같다.

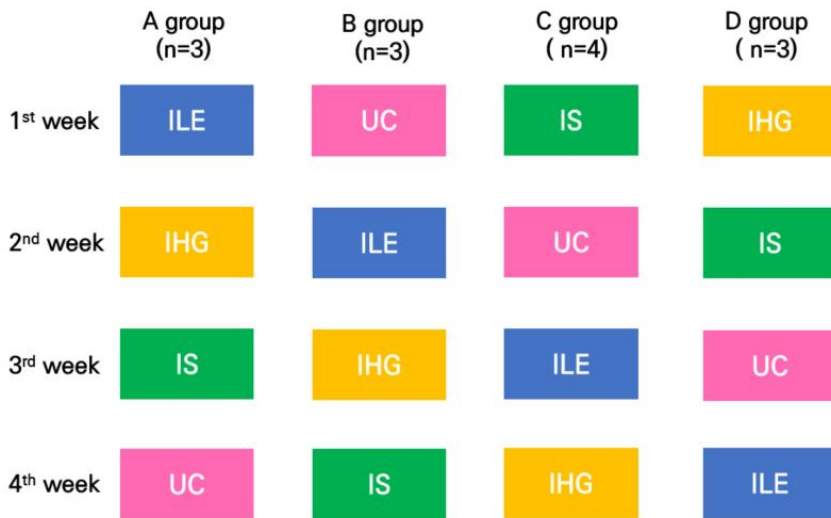


Figure 3. Sequence of intervention modality. Participants were randomly assigned to start with either ILE, IHG, IS, or UC. After randomization to the first intervention, each participant followed the intervention sequence as indicated in the figure. Intervention modalities were assigned in such a manner that each modality was applied once on each week day. Abbreviations: IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care

1) 기존 등척성 운동중재와 등척성 스쿼트의 에너지 소비량 및 운동강도 비교

휴대용 호흡가스분석기(K5 portable analyser, Cosmed Germany GmbH, Germany), 심박계(Polar Team Pro, Polar Electro, Finland) 및 운동자각도를 사용하여 선행연구에서 효과가 검증된 ILE 동작과 IS의 운동강도(심박수와 운동자각도), 에너지 소비량, 호흡교환율, 그리고 % MVC 지속시간 등을 비교한 결과는 다음 [표 5]와 같다.

[Table 5] Comparisons of respiratory quotient, heart rate, borg scale of perceived exertion, energy expenditure, and % MVC duration between isometric exercise protocols

	30% MVC ILE (n=13)	IS (n=13)	P
Respiratory Quotient	0.9±0.4	0.8±0.3	0.285
Heart Rate (beat/min)	100.8±3.9	109.8±3.8	0.118
Energy Expenditure (kcal/min)	2.7±0.3	4.4±0.4	0.047*
% MVC duration (s)	148.5±6.1	144.6±8.1	0.708
Borg Scale of Perceived Exertion (1min)	6.4±1.3	6.7±1	0.337
Borg Scale of Perceived Exertion (2min)	9.5±0.2	9.7±0.1	0.502

Data are expressed as mean±standard error.

Abbreviations: MVC, muscle voluntary contraction; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat

30%MVC로 수행한 ILE 동작과 IS 동작의 2분간 수행에서 두 동작간 호흡교환율과 심박수, %MVC 지속시간, 그리고 운동자각도에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았던 반면, 에너지 소비량에서는 ILE에 비해 IS의 에너지 소비량이 유의하게 높은 것으로 나타났다(p<.05).

2) 등척성 운동 중 각 시점에 따른 수축기 혈압의 변화

등척성 운동 중재 및 비처치 중재를 실시하였을 때, 운동 중 수축기 혈압의 변화는 [Table 6]과 같다.

Table 6. Mean SBP differences among interventions according to time			
	Resting SBP	SBP during exercise (1 min)	SBP during exercise (2 min)
IHG (n=13)	136.8±1.3	157.2±3.7*	170.2±3.4*
ILE (n=13)	136.8±1.1	170.7±4.3*#	193±5.1*#
IS (n=13)	136.8±1.3	173.1±4*#	204.9±4*#
UC (n=13)	138±1.8	137.9±2	138.8±1.8

Data are expressed as mean±standard error. * $p<.05$ compared with UC, # $p<.05$ compared with IH, † $p<.05$ compared with ILE. Abbreviations: SBP, systolic blood pressure; min, minute; IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care

안정시 수축기 혈압의 경우, 4가지 중재 모두에서 유의한 차이가 없었으나 일회성 운동중 수축기 혈압 비교에서 세가지 등척성 운동 모두 일상생활 중재에 비해 통계적으로 유의하게 혈압을 증가시켰다($p<.05$). 또한, ILE 와 IS 중재의 경우, 1분과 2분 모든 시점에서 IHG에 비해 수축기 혈압을 유의하게 증가시키는 것으로 나타났다($p<.05$).

3) 등척성 운동 중 각 시점에 따른 이완기 혈압의 변화

등척성 운동 중재 및 비처치 중재를 실시하였을 때, 운동 중 이완기 혈압의 변화는 [Table 7]과 같다.

Table 7. Mean DBP differences among interventions according to time			
	Resting DBP	DBP during exercise (1 min)	DBP during exercise (2 min)
IHG (n=13)	91±2	109.7±2*	114.9±3.7*
ILE (n=13)	90.6±2.4	120.6±3.8*	133.7±5.4*#
IS (n=13)	90.3±2.6	118.5±3.3*	139.1±3.8*#
UC (n=13)	90.3±3	91.5±2.6	91.1±2.5

Data are expressed as mean±standard error. * $p < .05$ compared with UC, # $p < .05$ compared with IH, † $p < .05$ compared with ILE. Abbreviations: DBP, diastolic blood pressure; min, minute; IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care

안정시 이완기 혈압의 경우, 4가지 중재 모두에서 유의한 차이가 없었으나 일회성 운동중 이완기 혈압 비교에서 세가지 등척성 운동 모두 일상생활 중재에 비해 통계적으로 유의하게 혈압을 증가시켰다($p < .05$). 또한, ILE와 IS 중재의 경우, 2분 시점에서만 IHG에 비해 이완기 혈압을 유의하게 증가시키는 것으로 나타났다($p < .05$).

4) 등척성 운동 중 각 시점에 따른 운동 강도의 변화

등척성 운동 중재 및 비처치 중재를 실시하였을 때, 운동 중 심박수 및 자각도의 변화는 [Table 8], [Table 9]과 같다.

Table 8. Mean HR differences among interventions according to time			
	Resting HR	HR during exercise (1 min)	HR during exercise (2 min)
IHG (n=13)	71.8±2.2	81.8±2.4*	83.9±7.7*
ILE (n=13)	72.7±3	93.4±3.7 [#]	105.7±4 [#]
IS (n=13)	72.9±3	97.8±2.6 [#]	116.9±5.5 [#]
UC (n=13)	71.6±2.1	69.9±2.4	70.8±1.9

Data are expressed as mean±standard error. * $p < .05$ compared with UC, [#] $p < .05$ compared with IH, † $p < .05$ compared with ILE. Abbreviations: HR, heart rate; min, minute; IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care

안정시 심박수의 경우, 4가지 중재 모두에서 유의한 차이가 없었으나 일회성 운동중 심박수 비교에서 세가지 등척성 운동 모두 일상생활중재에 비해 통계적으로 유의하게 심박수를 증가시켰다($p < .05$). 또한, ILE와 IS 중재의 경우, 1분과 2분 모든 시점에서 IHG에 비해 심박수를 유의하게 증가시키는 것으로 나타났다($p < .05$).

Table 9. Mean RPE differences among interventions according to time			
	Resting PRE	RPE during exercise (1 min)	RPE during exercise (2 min)
IHG (n=13)	1	4.7±0.3*	7.5±0.3*
ILE (n=13)	1	6.4±0.4 [#]	9.5±0.2 [#]
IS (n=13)	1	6.7±0.3 [#]	9.7±0.1 [#]
UC (n=13)	1	1	1

Data are expressed as mean±standard error. * $p<.05$ compared with UC, [#] $p<.05$ compared with IH, † $p<.05$ compared with ILE. Abbreviations: RPE, rating of perceived exertion; min, minute; IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care

운동자각도의 경우, 안정 시 4가지 중재 모두에서 유의한 차이가 없었으나 일회성 운동중 운동자각도의 비교에서 세가지 등척성 운동 모두 일상생활 중재에 비해 통계적으로 유의하게 운동자각도를 증가시켰다($p<.05$). 또한, ILE와 IS 중재의 경우, 1분과 2분 모든 시점에서 IHG에 비해 심박수를 유의하게 증가시키는 것으로 나타났다($p<.05$).

5) 등척성 운동 후 활동성 수축기 혈압의 변화

모든 참여자들이 네 가지 중재에 모두 참여한 후 활동성 수축기 혈압을 비교한 결과는 아래 [Figure 4], [Table 10], [Table 11]와 같다.

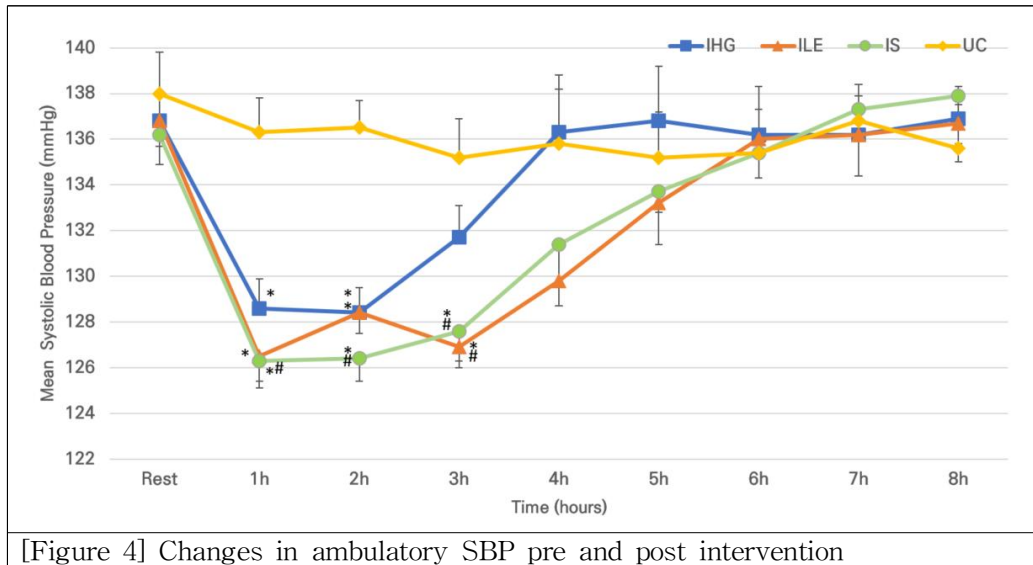


Table 10. Comparisons of mean SBP during 8 hours in each intervention

	Resting SBP	1-2h SBP	3-4h SBP	5-8 SBP
IHG (n=13)	136.8±1.3	128.5±1.2*	134±1.9	136±1.7
ILE (n=13)	136.8±1.1	127.4±0.9*	128.3±0.9*	135.5±1.5
IS (n=13)	136.2±1.3	126.4±1*	129.5±1.4*	136±1
UC (n=13)	138±1.8	136.4±1.3	135.5±2	135.8±1.5

Data are expressed as mean±standard error. * $p < .05$ compared with Resting SBP. Abbreviations: SBP, Systolic blood pressure; IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care

	Resting SBP	1h SBP	2h SBP	3h SBP	4h SBP	5h ABP	6h SBP	7h SBP	8h SBP
IHG (n=13)	136.8±1.3	128.6±1.3*	128.4±1.1*	131.7±1.4	136.3±2.5	136.8±2.4	136.2±2.1	136.2±1.7	136.9±1.4
ILE (n=13)	136.8±1.1	126.5±1.1*	128.4±0.9*	126.9±0.9 [#]	129.8±1.1	133.2±1.8	136±1.7	136.2±1.8	136.7±1.7
IS (n=13)	136.2±1.3	126.3±1.2 [#]	126.4±1 [#]	127.6±1.3 [#]	131.4±1.6	133.7±0.9	135.4±1.1	137.3±1.3	137.9±2.1
UC (n=13)	138±1.8	136.3±1.5	136.5±1.2	135.2±1.7	135.8±2.4	135.2±2	135.4±1.9	136.8±1.6	135.6±1.9

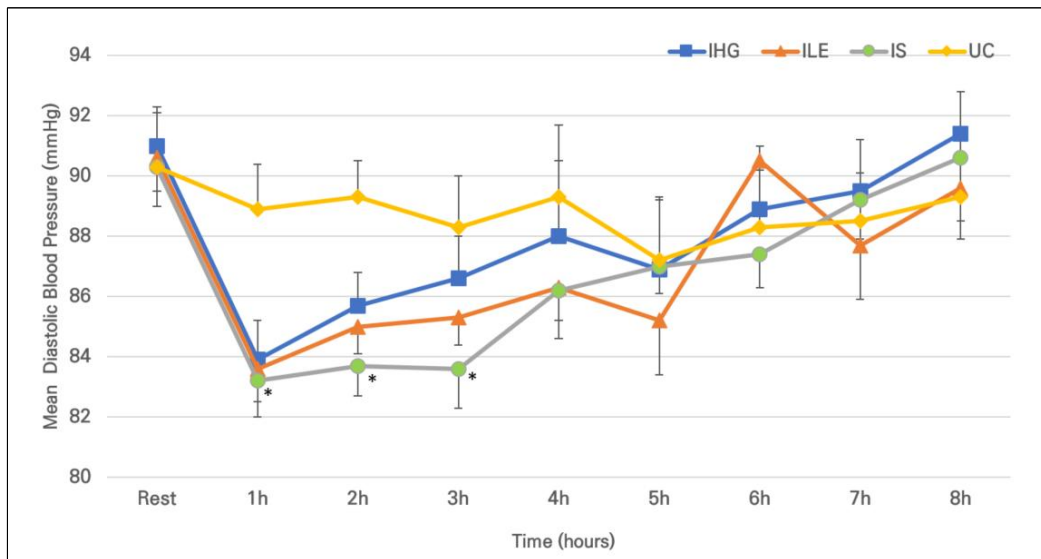
Data are expressed as mean±standard error. * $p<.05$ compared with UC, [#] $p<.05$ compared with IH, * $p<.05$ compared with ILE. Abbreviations: SBP, Systolic blood pressure; ABP; ambulatory blood pressure; IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care

시간에 따른 수축기 혈압의 비교에서 IHG의 경우, 안정시와 비교하여 운동 후 2시간, ILE와 IS의 경우 안정시와 비교하여 운동 후 4시간까지 수축기 혈압을 유의하게 감소시켰다($p<.05$) [Table 10].

각 시점에 따른 중재 간 수축기 혈압의 비교에서, 4가지 중재 모두 안정시 혈압에서는 유의한 차이가 없었으나 ($p>.05$) IHG의 경우 UC와 비교하여 운동 후 첫 2시간 동안, ILE와 IS의 경우 UC와 비교하여 첫 3시간 동안 수축기 혈압을 유의하게 감소시켰다($p<.05$). 또한, IS의 경우, IHG과 비교하여 첫 3시간 동안, ILE의 경우 IHG와 비교하여 3시간째 수축기 혈압에서 유의한 감소효과를 나타냈다($p<.05$) [Table 11].

6) 등척성 운동 후 활동성 이완기 혈압의 변화

모든 참여자들이 네 가지 중재에 모두 참여한 후 활동성 이완기 혈압을 비교한 결과는 아래 [Figure 5], [Table 12], [Table 13]와 같다.



[Figure 5] Changes in ambulatory DBP pre and post intervention

Table 12. Comparisons of mean DBP during 8 hours in each intervention

	Resting DBP	1-2h DBP	3-4h DBP	5-8 DBP
IHG (n=13)	91±2.1	84.8±1.7*	87.3±1.9	89.2±2.1
ILE (n=13)	90.6±2.4	84.3±1.5*	85.8±1.4*	88.3±1.5
IS (n=13)	90.3±2.6	83.4±2.4*	84.9±1.9*	88.5±2.4
UC (n=13)	90.3±3	89.1±2.5	88.8±2.7	88.3±2.3

Data are expressed as mean±standard error. * $p < .05$ compared with Resting DBP. Abbreviations: DBP, diastolic blood pressure; ABP; ambulatory blood pressure; IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care

	Resting DBP	1h DBP	2h DBP	3h DBP	4h DBP	5h DBP	6h DBP	7h DBP	8h DBP
IHG (n=13)	91±2.1	83.9±1.7	85.7±1.9	86.6±2	88±2.4	86.9±3	88.9±2.1	89.5±2.5	91.4±2.1
ILE (n=13)	90.6±2.4	83.6±1.6	85±1.7	85.3±1.8	86.3±1.2	85.2±2.1	90.5±2	87.7±1.7	89.6±1.7
IS (n=13)	90.3±2.6	83.2±2.4*	83.7±2.3*	83.6±1.9*	86.2±2.1	87±2.6	87.4±2.5	89.2±2.6	90.6±2.7
UC (n=13)	90.3±3	88.9±3	89.3±2.1	88.3±2.2	89.3±3.4	87.2±2.1	88.3±2.5	88.5±2.9	89.3±2.6

Data are expressed as mean±standard error. * $p<.05$ compared with UC, # $p<.05$ compared with IH, † $p<.05$ compared with ILE. Abbreviations: DBP, diastolic blood pressure; ABP; ambulatory blood pressure; IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care

시간에 따른 이완기 혈압의 비교에서 IHG의 경우, 안정시와 비교하여 운동 후 2시간, ILE와 IS의 경우 안정시와 비교하여 운동 후 4시간까지 이완기 혈압을 유의하게 감소시켰다($p<.05$) [Table 12].

각 시점에 따른 중재 간 이완기 혈압의 비교에서, 4가지 중재 모두 안정시 혈압에서는 유의한 차이가 없었으며 ($p>.05$), IS의 경우에만 UC와 비교하여 운동 후 첫 3시간 동안 이완기 혈압을 유의하게 감소시키는 것으로 나타났다($p<.05$) [Table 13].

7) 등척성 운동 후 동맥경직도의 변화

모든 참여자들이 네 가지 중재에 모두 참여한 후 동맥경직도의 지표 중 하나인 맥파전달속도를 비교한 결과는 아래 [Table 14]와 같다.

Table 14. Changes in arterial stiffness from pre to post-intervention				
(m/s)	Pre	Post	Δ PWV	P
IHG (n=12)	13.5±1.3	13.2±1.4 ^a	-0.3±0.1 [*]	0.001 [*]
ILE (n=12)	13.3±1.0	12.7±1.0 ^a	-0.6±0.1 [*]	
IS (n=12)	13.5±1.2	12.7±1.1 ^a	-0.7±0.1 [*]	
UC (n=12)	13.3±1.0	13.4±1.0 ^a	0.1±0.1	
Data are expressed as mean±standard error. ^a $p < .05$ compared with Pre, [*] $p < .05$ compared with UC, [#] $p < .05$ compared with IH, [*] $p < .05$ compared with ILE. Abbreviations: PWV, pulse wave velocity; IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care				

일회성으로 등척성 운동 중재 실시 후, 각 중재별로 동맥 경직도의 지표 중 하나인 맥파전달속도의 변화량을 비교한 결과, Isometric handgrip, Isometric leg extension, 그리고 Isometric squat 모두에서 일상생활 중재에 비해 맥파전달속도의 유의한 감소가 있는 것으로 나타났으며($p < .05$), 각 등척성 운동 중재 간 유의한 차이는 나타나지 않았다($p > .05$).

8) 등척성 운동 후 중재별 신체활동량 비교

등척성 운동 중재 및 일상생활 중재 후 활동성 혈압을 측정하는 동안 동시에 측정된 신체활동량을 비교한 결과는 아래 [Table 15]와 같다.

Table 15. Comparisons of Physical activity level during 8 hours in each intervention					
	Sedentary time (min)	Light intensity PA time (min)	Moderate intensity PA time (min)	Vigorous intensity PA time (min)	Total wear time (min)
IHG (n=12)	345.8±9.4	118.2±7.4	41.1±5.9	0	505.1±6.7
ILE (n=12)	339.8±10.3	118.7±7.7	46.4±7.1	0	504.9±4.8
IS (n=12)	338.7±9.9	121±6.8	43.7±6	0	503.4±4.9
UC (n=12)	337.8±9.1	127.2±6.6	39.2±5	0	504.2±5.4
Data are expressed as mean±standard error. * $p < .05$ compared with UC, # $p < .05$ compared with IH, * $p < .05$ compared with ILE. Abbreviations: IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care					

활동성 혈압을 측정하는 동안 측정된 신체활동량을 강도에 따라 중재 간 비교한 결과, 모든 중재에서 유의한 차이가 나타나지 않았으며 ($p > .05$), 가속도계 착용시간 또한 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다 ($p > .05$).

4. 논 의

본 연구는 선행연구에서 효과가 검증된 등척성 효과가 검증된 Isometric leg extension(ILE) 동작에 근거하여 유사한 운동강도, 에너지 소비량 및 자세 유지시간을 나타내는 Isometric squat의 동작범위를 파악하고, 선행 연구에서 효과가 검증된 Isometric handgrip(IHG) 및 ILE 동작과 비교하여 Isometric Squat(IS) 운동 중 혈압 증가와 운동 후 혈압 감소 효과(감소 폭 및 효과 지속시간)를 비교하는 첫 번째 연구이다.

본 연구의 결과에서 IS은 ILE과 비교하여 에너지 소비량을 유의하게 증가시키는 것으로 나타났으나 호흡교환률, 심박수, 30% 최대근수축력(Maximal voluntary contraction; MVC)의 지속가능 시간, 그리고 운동 자각도(Borg scale of perceived exertion) 등에서 차이가 없는 것으로 나타났으며, 운동 중 혈압증가로 인한 부작용은 발생하지 않았다. 또한, 일회성으로 IHG과 ILE, 그리고 IS을 실시하여 운동 중 혈압 증가 및 운동 후 혈압 감소 효과를 확인한 결과, UC 중재와 비교하여 IHG, ILE, 그리고 IS 모든 등척성 중재는 운동 중 혈압을 유의하게 증가시키고, 운동 후에는 혈압을 유의하게 감소시키는 것으로 나타났으며, 이는 운동 시 동원되는 근육의 부위에 따라 혈압증가와 감소의 폭이 다르게 나타났다.

과거에는 주로 정적(Static) 또는 등척성 운동이 고혈압 또는 심장질환을 가진 개인들에게서 극도의 높은 혈압 반응, 어지럼증 등의 결과를 초래할 수 있다는 이유 등으로 인해 금지되는 경향이 있었으나(J. H. Mitchell, 1975) 최근에 여러 연구에서 정적 또는 등척성 운동은 근력 향상 뿐 아니라 재활, 그리고 정적 근지구력을 검사하는 방법으로 사용되어 왔으며(Bevilaqua-Grossi, Felicio, Simões, Coqueiro, & Monteiro-Pedro, 2005; Hazeldine, 1990; Tomchuk, 2010), 혈압감소를 위한 유용한 중재로서 여러 무작위 연구 및 메타분석에서 그 효과가 입증되었다.

등척성 운동에서도 운동강도에 비례하여 심박수와 혈압이 증가하는 것

으로 나타났는데(Baross, Wiles, & Swaine, 2013), 본 연구에서 운동 중 운동강도 파악 및 안전성 파악을 위해 운동 중 혈압을 1분 간격으로 총 2분간 혈압을 측정한 결과 IHG, ILE, 그리고 IS 모두 UC에 비해 혈압을 유의하게 상승시켰고, 각 중재별로 SBP와 DBP가 IHG 170/114mmHg, ILE 193/133mmHg, 그리고 IS 시 204/133mmHg으로 나타나 미국스포츠 의학회(American college of sports medicine: ACSM)에서 제시하는 유산소 운동의 상대적 종료기준인 SBP>250mmHg 또는 DBP>115mmHg 중 이완기 혈압 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 그러나, 이는 유산소 운동 시 운동 검사의 상대적 종료 기준으로 등척성 운동의 경우, 유산소 운동과 명백히 다른 특성을 지닌 운동으로 운동 시간이 세트당 2분 내외로 매우 짧은 편에 속하고, 운동 후 SBP와 DBP 모두를 수분 내에 안정 시 수준으로 빨리 되돌릴 수 있는 것으로 나타났다(Millar, McGowan, Cornelissen, Araujo, & Swaine, 2014). 또한, 선행연구에서 수집된 여러 저자들의 종합된 연구에서 등척성 운동은 25,000회 이상의 운동 세션에서 신체적 손상이나 임상적으로 유의한 부작용이 발생하지 않은 것으로 보고 되었기 때문에 안전할 것으로 판단되며(Millar et al., 2014), 고혈압 전단계 및 고혈압 성인을 대상으로 실시된 본 연구에서도 운동 중 자각도 및 이상 여부를 체크한 결과 어떤 부작용도 나타나지 않았다.

운동 중 혈압 증가와 더불어 운동강도의 경우에도 상지의 국소부위를 사용하는 IHG에 비해 하체 대근육 군을 사용하는 ILE(단일관절)과 IS(다중관절) 중재에서 운동 중 혈압과 심박수, 그리고 운동 자각도가 유의하게 높은 것으로 나타났으며, 이는 등척성 운동시 동원된 근육의 크기에 비례하여 혈압과 심박수가 높게 나타난다고 보고한 J. H. Mitchell 등의 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다(J. Mitchell, Payne, Saltin, & Schibye, 1980; Somani et al., 2017).

운동 후 몇시간 동안의 혈압의 감소를 의미하는 ‘운동 후 저혈압(Post-exercise hypotension)’은 이미 운동 분야에서 잘 알려진 현상이다. 유산소 운동의 경우, 말초 혈관 저항의 감소, 교감신경계 활동과 심박출량의 감소 등으로 인해 발생한다고 잘 알려져 있으며(Halliwill, 2001;

MacDonald, 2002), 등척성 연구의 경우 현재까지 연구의 수가 제한되어 있어 더 많은 연구가 필요하지만, 혈관 직경의 변화(내피세포 의존성 혈관 이완기능), 말초저항감소, 산화적 스트레스, 그리고 심박수와 혈압의 자율 신경적 조절 등이 영향을 미치는 것으로 나타났다(Millar et al., 2014).

본 연구에서 IHG과 ILE, 그리고 IS 모두는 안정시와 비교하여 활동성 혈압을 2~4시간 동안 감소시켰고, 중재간 비교에서 IHG은 UC 중재에 비해 2시간 동안, 그리고 ILE과 IS는 UC, IHG 중재와 비교하여 3시간 동안 활동성 혈압을 낮추는 것으로 나타나 본 연구에서 운동강도가 더 높은 것으로 나타난 하체 대근육 부위의 등척성 운동이 상체 국소부위를 사용하는 IHG 및 UC에 비해 운동 후 혈압을 유의하게 낮추는 것으로 나타났으며, 이러한 연구결과는 등척성 운동에서도 운동 강도가 높을수록 운동 후 혈압감소가 더 크게 나타난다는 Gill, Kyle F(2015) 등의 연구, 그리고 4주간 운동 시 고강도 운동에서 혈압감소가 더 크게 나타난 Jonathan D. Wiles (2010) 등의 연구결과와 유사한 양상을 보여주었다.

또한, Sam Liu(2012), 와 Moreira(2016), 그리고 Somani(2018) 등의 연구에서 일회성 운동 후 혈압감소의 변화가 장기간 운동 시 혈압감소를 예측하는데 정적 상관관계가 있다고 보고한 바 있는데(Liu, Goodman, Nolan, Lacombe, & Thomas, 2012; Moreira, Cucato, Terra, & Ritti Dias, 2016; Somani et al., 2018), Gill, Kyle F(2015), Jonathan D. Wiles (2010), Jonathan D. Wiles (2017) 등 하지 근육의 대근육 부위로 등척성 운동의 실시한 경우, 3~4주 이내에 유의한 혈압감소 효과가 나타나(Gill et al., 2015; Jonathan Derek Wiles, Coleman, & Swaine, 2010; Jonathan D. Wiles, Goldring, & Coleman, 2017) 기존 메타분석에서 주로 8주 전후로 효과가 있다고 보고된 IHG에 비해 단기간에 더 빠른 감소효과가 있을 것으로 사료된다(Inder et al., 2016; López-Valenciano, Ruiz-Pérez, Ayala, Sánchez-Meca, & Vera-García, 2019).

동맥경직도의 경우, 혈관내피세포 이완능과 함께 심혈관 질환과 밀접한 관련을 가지는 지표로 노화 및 고혈압 등은 동맥 경직도를 증가시키는

것으로 알려져 있으며(Anderson, 2006; Inaba, Chen, & Bergmann, 2010; Sun, 2015), 유산소 운동의 경우 장기간 뿐 아니라 일회성 운동 또한 동맥 경직도를 감소시키는 것으로 나타나 혈압관리에 이점을 줄 수 있음을 시사한 바 있다(Ashor, Lara, Siervo, Celis-Morales, & Mathers, 2014; Mutter, Cooke, Saleh, Gomez, & Daskalopoulou, 2017). 현재까지 일회성 등척성 연구의 동맥 경직도 감소 효과에 관한 근거는 매우 부족하나 본 연구에서는 유산소 운동과 유사하게 일회성 등척성 운동에서도 동맥경직도가 유의하게 감소하였으며, 통계적으로 차이는 없었지만 운동 시 동원된 근육 및 운동강도에 따라 감소의 크기가 다르게 나타났는데 이는 강도에 따라 감소폭에 차이가 있다고 보고한 Ammar W. Ashor(2014)등의 연구 결과와 유사한 결과를 보여주었으며(Ashor et al., 2014), 선행 연구에서 10주 이상 장기간의 등척성 악력 운동에서도 동맥 경직도가 유의하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다(Cahu Rodrigues et al., 2020; 윤은선, 추진아, 김장영, & 제세영, 2019).

5. 결론 및 제언

1) 결 론

13명의 고혈압 전단계 및 고혈압 성인을 대상으로 일회성 등척성 운동들의 중재 별 혈압 감소 효과를 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 일회성 등척성 운동 중재는 일상생활 중재에 비해 혈압을 유의하게 증가시켰고, 동원되는 근육 부위가 많아질수록 운동강도가 증가하였으나 운동에 따른 부작용은 발생하지 않았다.

둘째, 일회성 등척성 운동 중재는 일상생활 중재와 비교하여 운동 후 혈압을 감소시켰으며, 동원되는 근육 부위가 많을수록 더 오랜 시간 동안 활동성 혈압을 감소시켜 본 연구의 가설과 일치하는 결과를 보여주었다.

셋째, 일회성 등척성 운동 중재는 일상생활 중재와 비교하여 운동 후 동맥경직도를 감소시켰으며, 동원되는 근육 부위가 많을수록 동맥경직도를 더 감소시키는 경향을 보여주었다.

2) 제 언

첫째, 본 연구는 모든 연구참여자들이 일정 기간의 wash out period를 가지고 모든 중재(실험군 및 대조군 모두)에 참여한 교차설계연구로 연구 디자인의 특성상 연구참여자의 탈락률과 연구의 실행가능성을 고려하여 활동성 혈압의 측정시간을 8시간으로 제한하였다.

둘째, 일회성 운동의 지속이 장기간 트레이닝의 효과로 나타날 수 있다는 점을 고려할 때 후속연구에서는 장기간 연구를 통해 동원된 근육 부위에 따른 혈압감소 효과의 확인이 필요할 것으로 보인다.

셋째, 본 연구에서는 동일한 피험자가 여러 중재 모두에 참여해야 하는 디자인의 특성상 연구참여자의 수가 부족한 경향이 있어 운동 후 혈압감소 효과에 제한적인 효과만을 나타낸 것으로 사료된다. 따라서, 더 정확한 결론을 내리기 위해서는 추후 더 많은 연구참여자를 모집하여 연구를 실시하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

넷째, 본 연구에서는 교차연구의 특성상 도구없이 실행가능한 여러 등척성 운동 동작 중 스쿼트 동작을 대표로 선정하여 혈압 감소 효과를 검증하였다. 따라서, 향후 연구에서는 일상생활에서 수행가능한 다양한 등척성 운동 동작들의 효과검증과 더불어 강도나 시간 등을 다양하게 적용하여 그에 따른 차이를 분석하는 것이 본 연구영역의 이해를 확장시키는데 도움이 될 것으로 판단된다.

6. 참 고 문 헌

- 보건복지부. (2019). 2018 국민건강 통계: 국민건강영양조사 제 7기 3차년도(2018). *보건복지부 건강정책과*, 0-388.
- 윤은선, 추진아, 김장영, & 제세영. (2019). 노인 고혈압 환자에서 등척성 악력운동과 유산소 운동의 동맥경직도 및 혈관이완능 개선에 미치는 효과 비교. *대한스포츠의학회지*, 37(4), 162-170. doi:10.5763/kjasm.2019.37.4.162
- Anderson, T. J. (2006). Arterial stiffness or endothelial dysfunction as a surrogate marker of vascular risk. *Canadian Journal of Cardiology*, 22, 72B-80B. doi:10.1016/S0828-282X(06)70990-4
- Ashor, A. W., Lara, J., Siervo, M., Celis-Morales, C., & Mathers, J. C. (2014). Effects of Exercise Modalities on Arterial Stiffness and Wave Reflection: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *PLOS ONE*, 9(10), e110034. doi:10.1371/journal.pone.0110034
- Baddeley-White, D. S., McGowan, C. L., Howden, R., Gordon, B. D., Kyberd, P., & Swaine, I. L. (2019). Blood pressure lowering effects of a novel isometric exercise device following a 4-week isometric handgrip intervention. *Open access journal of sports medicine*, 10, 89. doi:10.2147/OAJSM.S193008
- Badrov, M. B., Horton, S., Millar, P. J., & McGowan, C. L. (2013). Cardiovascular stress reactivity tasks successfully predict the hypotensive response of isometric handgrip training in hypertensives. *Psychophysiology*, 50(4), 407-414. doi:10.1111/psyp.12031
- Baross, A. W., Wiles, J. D., & Swaine, I. L. (2013). Double-leg isometric exercise training in older men. *Open access journal*

of sports medicine, 4, 33. doi:10.2147/OAJSM.S39375

- Bevilaqua-Grossi, D., Felicio, L. R., Simões, R., Coqueiro, K. R. R., & Monteiro-Pedro, V. (2005). Electromyographic activity evaluation of the patella muscles during squat isometric exercise in individuals with patellofemoral pain syndrome. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 11(3), 159-163. doi:10.1590/S1517-86922005000300001
- Cahu Rodrigues, S. L., Farah, B. Q., Silva, G., Correia, M., Pedrosa, R., Vianna, L., & Ritti-Dias, R. M. (2020). Vascular effects of isometric handgrip training in hypertensives. *Clinical and Experimental Hypertension*, 42(1), 24-30. doi:10.1080/10641963.2018.1557683
- Cardoso Jr, C. G., Gomides, R. S., Queiroz, A. C. C., Pinto, L. G., Lobo, F. d. S., Tinucci, T., . . . Forjaz, C. L. d. M. (2010). Acute and chronic effects of aerobic and resistance exercise on ambulatory blood pressure. *Clinics*, 65(3), 317-325. doi:10.1590/S1807-59322010000300013
- Carlson, D. J., Dieberg, G., Hess, N. C., Millar, P. J., & Smart, N. A. (2014). *Isometric exercise training for blood pressure management: a systematic review and meta-analysis*. Paper presented at the Mayo Clinic Proceedings.
- Cornelissen, V. A., & Smart, N. A. (2013). Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta analysis. *Journal of the American Heart Association*, 2(1), e004473. doi:10.1161/JAHA.112.004473
- Devereux, G. R., Wiles, J. D., & Swaine, I. (2011). Markers of isometric training intensity and reductions in resting blood pressure. *Journal of sports sciences*, 29(7), 715-724. doi:10.1080/02640414.2011.552113

- Gill, K. F., Arthur, S. T., Swaine, I., Devereux, G. R., Huet, Y. M., Wikstrom, E., . . . Howden, R. (2015). Intensity-dependent reductions in resting blood pressure following short-term isometric exercise training. *Journal of sports sciences*, *33*(6), 616–621. doi:10.1080/02640414.2014.953979
- Halliwill, J. R. (2001). Mechanisms and Clinical Implications of Post-exercise Hypotension in Humans. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *29*(2), 65–70.
- Hazeldine, R. (1990). *Strength training for sport*: Crowood Press.
- Inaba, Y., Chen, J. A., & Bergmann, S. R. (2010). Prediction of future cardiovascular outcomes by flow-mediated vasodilatation of brachial artery: a meta-analysis. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, *26*(6), 631–640. doi:10.1007/s10554-010-9616-1
- Inder, J. D., Carlson, D. J., Dieberg, G., McFarlane, J. R., Hess, N. C., & Smart, N. A. (2016). Isometric exercise training for blood pressure management: a systematic review and meta-analysis to optimize benefit. *Hypertension Research*, *39*(2), 88–94. doi:10.1038/hr.2015.111
- Liu, S., Goodman, J., Nolan, R., Lacombe, S., & Thomas, S. G. (2012). Blood pressure responses to acute and chronic exercise are related in prehypertension. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *44*(9), 1644–1652. doi:10.1249/MSS.0b013e31825408fb
- López-Valenciano, A., Ruiz-Pérez, I., Ayala, F., Sánchez-Meca, J., & Vera-García, F. J. (2019). Updated systematic review and meta-analysis on the role of isometric resistance training for resting blood pressure management in adults. *Journal of Hypertension*, *37*(7), 1320–1333. doi:10.1097/hjh.0000000000002022

- MacDonald, J. R. (2002). Potential causes, mechanisms, and implications of post exercise hypotension. *Journal of Human Hypertension, 16*(4), 225-236. doi:10.1038/sj.jhh.1001377
- Millar, P. J., Bray, S. R., MacDonald, M. J., & McCartney, N. (2008). The hypotensive effects of isometric handgrip training using an inexpensive spring handgrip training device. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention, 28*(3), 203-207. doi:10.1097/01.HCR.0000320073.66223.a7
- Millar, P. J., McGowan, C. L., Cornelissen, V. A., Araujo, C. G., & Swaine, I. L. (2014). Evidence for the Role of Isometric Exercise Training in Reducing Blood Pressure: Potential Mechanisms and Future Directions. *Sports Medicine, 44*(3), 345-356. doi:10.1007/s40279-013-0118-x
- Mitchell, J., Payne, F., Saltin, B., & Schibye, B. (1980). The role of muscle mass in the cardiovascular response to static contractions. *The Journal of physiology, 309*(1), 45-54.
- Mitchell, J. H. (1975). Static (isometric) exercise and the heart: physiological and clinical considerations.
- Moreira, S. R., Cucato, G. G., Terra, D. F., & Ritti Dias, R. M. (2016). Acute blood pressure changes are related to chronic effects of resistance exercise in medicated hypertensives elderly women. *Clinical physiology and functional imaging, 36*(3), 242-248. doi:10.1111/cpf.12221
- Mutter, A. F., Cooke, A. B., Saleh, O., Gomez, Y.-H., & Daskalopoulou, S. S. (2017). A systematic review on the effect of acute aerobic exercise on arterial stiffness reveals a differential response in the upper and lower arterial segments. *Hypertension Research, 40*(2), 146-172. doi:10.1038/hr.2016.111
- Physical Activity Guidelines Advisory Committee. (2018). 2018

- physical activity guidelines advisory committee scientific report.
In: : US Department of Health and Human Services.
- Somani, Y. B., Baross, A. W., Brook, R. D., Milne, K. J., McGowan, C. L., & Swaine, I. L. (2017). Acute Response to a 2-Minute Isometric Exercise Test Predicts the Blood Pressure-Lowering Efficacy of Isometric Resistance Training in Young Adults. *American Journal of Hypertension*, 31(3), 362-368. doi:10.1093/ajh/hpx173
- Somani, Y. B., Baross, A. W., Brook, R. D., Milne, K. J., McGowan, C. L., & Swaine, I. L. (2018). Acute response to a 2-minute isometric exercise test predicts the blood pressure-lowering efficacy of isometric resistance training in young adults. *American Journal of Hypertension*, 31(3), 362-368. doi:10.1093/ajh/hpx173
- Stiller-Moldovan, C., Kenno, K., & McGowan, C. L. (2012). Effects of isometric handgrip training on blood pressure (resting and 24 h ambulatory) and heart rate variability in medicated hypertensive patients. *Blood pressure monitoring*, 17(2), 55-61. doi:10.1097/MBP.0b013e32835136fa
- Sun, Z. (2015). Aging, arterial stiffness, and hypertension. *Hypertension*, 65(2), 252-256. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.03617
- Tomchuk, D. (2010). *Companion guide to measurement and evaluation for kinesiology*: Jones & Bartlett Publishers.
- Whelton, P. K., Carey, R. M., Aronow, W. S., Casey, D. E., Collins, K. J., Himmelfarb, C. D., . . . Jones, D. W. (2018). 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/P CNA guideline for the prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults: a report of the

American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology*,, 71(19), e127–e248. doi:10.1016/j.jacc.2017.11.006

Wiles, J. D., Coleman, D. A., & Swaine, I. L. (2010). The effects of performing isometric training at two exercise intensities in healthy young males. *European journal of applied physiology*, 108(3), 419–428. doi:10.1007/s00421-009-1025-6

Wiles, J. D., Goldring, N., & Coleman, D. (2017). Home-based isometric exercise training induced reductions resting blood pressure. *European journal of applied physiology*, 117(1), 83–93. doi:10.1007/s00421-016-3501-0

IV. 소논문 2

Isometric Squat이 고혈압 전단계 및 고혈압 중·노년 여성의 주간 활동성 혈압에 미치는 단기 효과 검증 : 운동중재간 비교

1. 서 론

미국심장협회(American Heart Association; AHA)와 대한고혈압학회의 진료지침에 따르면, 고혈압의 일·이차적 치료 및 예방을 위한 전략으로 비약물적 요법인 생활습관 교정(체중감소, 운동, 나트륨 섭취 조절, 금연, 건강한 식단 등)이 우선적으로 권장되며(Lee et al., 2019; Whelton et al., 2018) 특히, 운동은 혈압감소 뿐 아니라 체중감소 및 체력향상의 이점도 있어 유익한 생활습관 중재로 알려져 있다(Committee, 2018). 과거부터 현재까지 고혈압의 예방 및 치료를 위한 운동 중재로 가장 널리 권고되는 운동 중재는 유산소 운동으로 여러 선행연구에서 주 3~7회, 하루 30분 이상, 중강도 이상의 강도로 유산소성 운동은 안정시 혈압과 주간 활동성 혈압을 유의하게 감소시킨다고 보고하였다(Cardoso Jr et al., 2010; Véronique A Cornelissen, Buys, & Smart, 2013; Whelton et al., 2018).

그러나, 많은 사람들은 바쁜 일상생활(시간부족), 동기의 부족, 비용, 부상에 관한 두려움 등의 여러 이유로 앞서 언급된 매일 30분 이상의 유산소 운동을 달성하기 어려울 수 있다고 보고된 바 있으며(Carlson, Dieberg, Hess, Millar, & Smart, 2014), 더욱이 선행연구에서 고혈압 환자의 경우, 정상혈압 성인에 비해 신체활동에 덜 참여하는 것으로 보고하였다(Goessler, Buys, VanderTrappen, Vanhumbeeck, & Cornelissen, 2018).

반면, Veronique A. Cornelissen과 Neil A. Smart(2013)의 메타분석에서 등척성 운동은 짧은 시간 동안 저~중강도로만 실시해도 가장 큰 혈압 감소 효과를 보이는 효과적인 운동중재라고 보고하면서 유산소 및 저항성 운동에 비해 심혈관계에 무리없이 쉽게 실천 가능하여 혈압 감소에 있어 더 효과적인 운동 중재가 될 수 있음을 시사하였다(Veronique A

Cornelissen & Smart, 2013; Millar, McGowan, Cornelissen, Araujo, & Swaine, 2014).

이후, 등척성 운동 중재를 대상으로 한 몇몇 메타분석에서도 등척성 운동의 혈압감소 효과가 유산소 운동과 비슷하거나 또는 더 큰 혈압감소 효과가 있다고 보고 한 바 있으나 대부분이 별개로 실시된 연구 결과들을 정리한 것일 뿐 동일 대상이나 연구를 통해 직접적으로 비교한 연구는 매우 부족하여 실제로 두가지 중 어떤 중재가 더 효과적인지 객관적으로 비교하기가 어려웠다(Veronique A Cornelissen & Smart, 2013).

관련 연구로 Karla Fabiana Goessler 등(2018)의 연구에서 8주간 Isometric handgrip 그룹과 유산소성 운동그룹으로 나누어 각각 가정기반 운동을 실시한 결과 안정시 혈압은 두 운동 그룹에서 모두 유의하게 감소하였으나 주간 활동성 혈압의 경우, 유산소 운동에서만 유의하게 감소하였다고 보고한 바 있으며(Goessler et al., 2018), 이후 연구에서는 두가지 운동중재를 직접적으로 비교한 연구가 부족하여 추후 연구가 필요하다.

유산소 운동을 비롯한 선행연구에서 운동 빈도 및 운동의 강도는 혈압감소의 정도(크기 또는 지속시간 등)에 영향을 미칠 수 있다고 보고된 바 있는데 (Badrov et al., 2013; Eicher, Maresh, Tsongalis, Thompson, & Pescatello, 2010), Karla Fabiana Goessler 등(2018)의 연구에서 Isometric handgrip 운동의 경우, 운동 부위가 상지 소근육에 국한되어 있고 유산소 운동의 경우 전신근육을 사용하기 때문에 후속연구로 더 큰 근육군을 사용하는 등척성 운동과 유산소 운동의 혈압감소 효과를 비교해 볼 필요가 있다. 또한, SAM LIU(2012)등의 연구에 따르면, 일회성 운동의 혈압감소 크기가 장기간 운동시 혈압감소 정도와 높은 상관관계가 있다고 보고하였으나 (Liu, Goodman, Nolan, Lacombe, & Thomas, 2012) 현재까지 등척성 운동과 유산소 운동을 일회성으로 적용하여 직접 효과를 비교한 연구는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 고혈압 전단계 및 고혈압 중년 및 노년여성을

대상으로 Isometric squat 운동을 일회성으로 적용하여 기존에 혈압 감소 효과가 가장 크다고 알려진 유산소 운동 및 일상생활 중재와 혈압 감소의 차이(감소의 정도, 지속시간 등)를 비교하고자 한다.

2. 연구방법

1) 연구대상

본 연구의 참여 대상은 만 55~69세의 고혈압 전단계 또는 고혈압 (SBP \geq 130 mmHg 또는/그리고 DBP \geq 80 mmHg)에 해당하거나 지난 4개월 이상 고혈압 약물을 처방받은 사람으로 등척성 운동에 무리 없이 참여 가능하고 적어도 지난 3개월간 다른 신체활동 프로그램에 참여하지 않았으며, 동의서를 제공할 수 있는 고혈압 전단계 및 고혈압에 해당하는 중년 및 노인 여성 16명을 모집하였다.

연구참여자 모집에 있어 심각한 고혈압(SBP \geq 180 mmHg 또는 DBP \geq 110 mmHg)에 해당하거나 운동 시 심전도 검사에서 심장의 병적 변화 이력이 있던 사람(e.g. 심부전, 부정맥 등), 장기손상 또는 암, 당뇨와 같은 대사적 변화가 있거나 뼈, 근육, 관절 등의 문제로 인해 권고된 운동에 참여할 수 없는 경우는 모집 대상에서 제외하였으며, 본 연구는 서울대학교 생명 윤리심사위원회의 심의를 받아 진행하였다(SNU IRB No. 2007/003-027).

2) 연구 설계

본 연구를 위해 피험자 선정기준에 맞추어 모집된 연구참여자는 연구에 관한 설명과 함께 동의서 작성 및 연구절차에 관한 사항을 전달 받았으며, 연구자는 각 처치를 시작하기 전 실험에 필요한 수칙(평소 식습관 및 생활습관 유지, 측정 4시간 전 음식섭취 및 카페인 금지, 전날 음주 및 운동 금지 등)을 준수하였는지 확인하였다. 연구 참여에 결격사유가 없는 경우, 연구참여자는 정해진 일정에 실험장소에

방문하여 간단한 준비운동 실시 후 프로토콜에 관한 설명을 숙지한 뒤 점증부하 운동을 실시하였으며, 측정 종료 후 다음 방문일정을 전달 받았다.

본 연구에서 사용된 설계는 무작위 교차연구 설계(A randomized Crossover Design)로 피험자들은 첫 번째 방문하여 동의서 작성 및 사전 검사를 실시 후 중재 간 순서효과를 배제하기 위해 Isometric squat와 유산소 운동, 그리고 일상생활 중재 중 한가지 중재에 무선할당(random assigned) 되었다. 각 그룹마다 운동 중재에 참여하는 순서는 달랐지만 실험에 참여하는 모든 연구 참여자들은 총 3주 동안 주 1회에 걸쳐 세가지 중재에 모두 참여 하였으며, 중재 간 먼저 실시된 운동중재의 이월효과(carryover effect)를 제거하기 위해 각 운동수행 간 1주일의 washout 기간을 두고 각 중재에 참여하였다 [Figure 6].

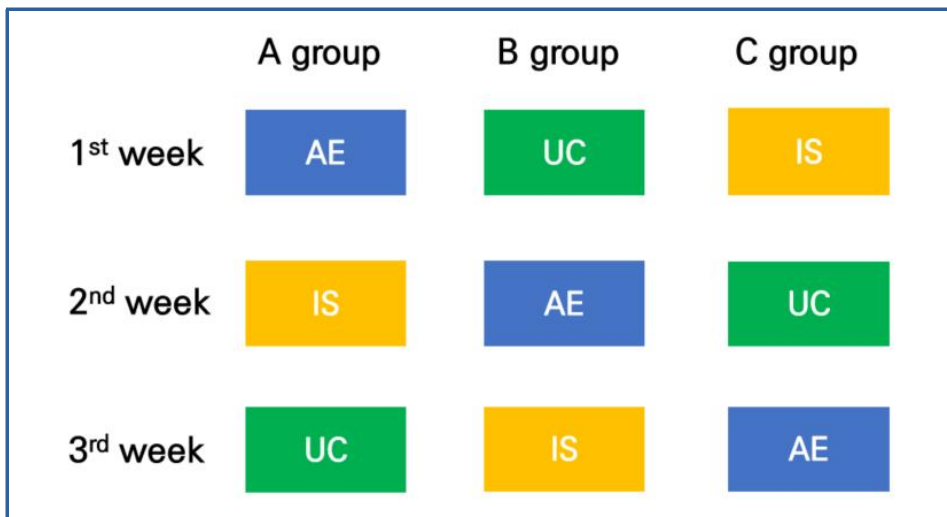


Figure 6. Sequence of intervention modality. All participants were randomly assigned to start with either Isometric squat (IS), Aerobic exercise (AE) or Usual care(UC). After randomization to the first intervention, each participant followed the intervention sequence as indicated in the figure. Intervention modalities were assigned in such a manner that each modality was applied once on each week day.

실험은 에어컨 및 온풍기가 구비된 실험실에서 항상 22~25°C 온도를 유지한 상태로 매일 동일한 시간대(오전 9시 30분~11시 30분)에 실시되었다. 연구 참여자들은 연구에서 사용되는 측정 장비 및 운동 프로토콜에 익숙해지기 위해 본 실험 전 유산소 운동 중재와 등척성 운동 중재에 각각 1회씩 참여하여 해당 프로토콜을 숙지하고, 1주일 이후 시점부터 매회 동일한 시간대에 실험 장소에 방문하여 지정된 운동 프로토콜에 참여 하였다.

Isometric squat의 경우, 점증적 스쿼트 검사를 통해 설정된 개인별 각도에서 2분간 4세트(총 8~12분)의 등척성 운동을 실시 하였고, 유산소 운동의 경우 개방된 공간(e.g. 체육관)에서 실시간 심박계를 착용하여 여유 심박수의 40~60%의 강도로 총 30분간 조깅 또는 달리기를 실시 하였으며, 일상생활 중재(대조군)에서는 하루 동안 일상생활을 유지하도록 하였다. 연구 참여자들은 운동을 수행하는 동안 운동강도와 자각도, 그리고 혈압을 측정하였으며, 운동 종료 후에는 활동성 혈압계와 가속도계를 착용하여 각 30분, 1분 간격으로 총 8시간 동안 측정하였다.

연구 자료는 SPSS 18.0을 사용하여 분석 하였으며, 구체적인 연구 설계를 도식화하면 아래 [Figure 7]와 같다.

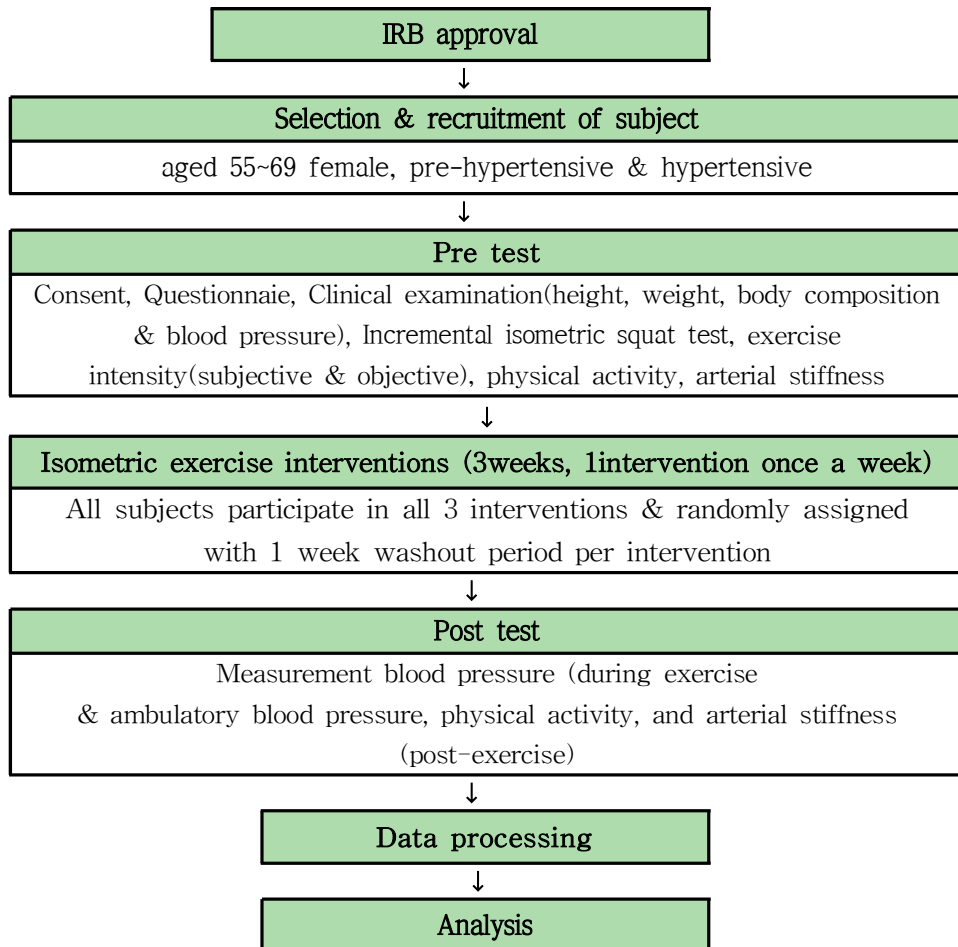


Figure 7. Experimental design

3) 측정 도구

① 설문조사

설문조사는 연령, 성별, 나이 등의 기본정보와 혈압약 복용여부 및 종류, 그리고 만성질환 및 관절염 등의 질병 여부를 조사하였다.

② 신체계측

신장의 경우 수동식 신장계를 이용하여 신발을 벗은 상태에서 실시하였으며, 신체조성은 측정 4시간 전 공복상태를 유지 및 전날 음주여부 등을 확인 후 Inbody 720(Biospace, Korea)를 사용하여 첫 번째 방문 시 1회 측정하였다.

③ 혈압측정

피험자는 측정 하루 전 운동, 음주, 흡연 등을 금지하도록 하였으며, 신뢰도 및 타당도가 검증된 활동성 혈압계(Watch BP 03, Microlife AG, Switzerland)를 이용하여 왼쪽 상완(Isometric handgrip 동작을 왼손으로 실시하는 경우에는 반대팔에 착용) 전주부 2cm 되는 부위에 표준 성인용 커프를 감아 측정을 실시하였다.

- 안정시 혈압 : 연구참여자는 실험실에 방문 후 의자에 앉아 약 10~15분간 안정을 취한 뒤 혈압계를 사용하여 3회 측정 하였다. 각 측정 당 간격은 최소 60초를 유지 하였으며, 가장 낮은 2회의 측정치를 분석에 사용하였다.
- 운동 중 혈압 : 등척성 운동 중 혈압은 60초 간격으로 총 4set 운동

중 4회 측정할 것이며, 유산소 운동의 경우, 첫 8분 동안의 동일한 측정절차 이후 5분 단위로 혈압을 측정할 것이다.

- 운동 후 혈압 : 운동 종료 이후 활동성 혈압의 측정은 30분 간격(시간당 2회)으로 측정치를 기록할 것이다. SBP > 240 mmHg 또는 DBP < 50 mmHg인 경우, 신체활동량의 변화가 없음에도 불구하고 SBP가 주변 값으로부터 ± 50 mmHg, DBP가 ± 20 mmHg 이상 변화된 경우는 이상값으로 처리 하였으며, 시간 당 최대 1회 판독값이 있는 경우에만 유효한 값으로 간주할 것이다.

④ 점중 등척성 스쿼트 검사

기존 실험실 기반 Isometric leg extension 동작과 유사한 운동강도 및 에너지 소비량을 나타내는 등척성 스쿼트 각도의 조사를 위해 각 연구참여자는 충분한 준비운동 실시 후 무릎관절에 임상용 Goniometer를 사용하여 넓다리뼈(Femur)와 정강이뼈(Tibia)의 각도를 130°로 설정하여 2분 동안 등척성 운동을 실시하였다. 2분의 자세유지가 가능할 경우, 관절의 각도를 10°씩 감소시켜 최종적으로 90°에 도달할때까지 검사를 실시 하였고, 만약, 90°에 도달하지 못할 경우, 이전 단계 목표 값의 5° 이내로 각도를 조절하여 최종각도를 확인 하였다. 첫 시도인 130°를 성공하지 못할 경우 wall-squat으로 대체 할 예정이었으나 모든 피험자가 130°각도에서 2분간 스쿼트를 성공 하였기 때문에 해당 방법을 별도로 사용하지 않았으며, 각 테스트 간 휴식시간은 2~5분으로 설정하였다.

⑤ 객관적 운동강도 측정

사전 연구에서 신뢰도와 타당도가 검증된 Wearable heart rate monitoring device(Polar Team Pro, Polar Electro, Finland)를 활용하여 운동 중 실시간 심박수를 1분 간격으로 기록하였다.

⑥ 주관적 운동강도 측정

주관적 운동강도의 측정은 보그의 운동자각도(Borg's Rating of Perceived Exertion; RPE)를 사용하여 매 1분 마다 연구참여자의 운동자각도를 기록하였다.

⑦ 신체활동량 측정

본 연구에서 신체활동의 측정은 Actigraph사(USA)의 3축 가속도계(wGT3X-BT)를 사용하였으며, 운동 후 혈압감소 효과를 정확하게 파악하기 위해 연구자는 참여자들에게 본 운동 이후 가급적 별도의 신체활동을 삼가할 것을 권고하였다. 신체활동 요약주기(Epoch time)는 10초로 설정하였으며, 신체활동 강도의 분류는 여러 선행연구에서 성인을 대상 분석 시 주로 사용되는 Troiano의 기준을 사용하여 Counter per minute이 2,020 이상인 경우에는 중강도, 5,999 이상인 경우 고강도 활동으로 설정하였다.

⑧ 동맥경직도 측정

동맥경직도의 측정은 비침습적 동맥경직도 측정장비(VP-1000 puls, Omron healthcare CO, Japan)를 이용하여 운동 시작 전과 운동 종료 이후 최소 10분 휴식을 취한 뒤 누운자세에서 측정하였다. 연구자는 참여자의 양 손목에 맥파형 크기를 감지할 수 있는 센서를

부착시켰으며, 참여자의 양쪽 상완과 양쪽 발목에 커프를 착용시켜 사지 혈압 및 Brachial-Ankle(ba) pulse wave velocity(PWV)를 측정하였다. PWV는 이동거리(cm)와 전달시간(sec)의 비이며, 평균 상완-발목 맥파속도는 양측의 값을 이등분한 값이다.

4) 운동 프로그램

본 연구에 참여하는 모든 피험자들은 총 3주에 걸쳐 매주 다른 운동 중재(Isometric squat, 유산소 운동, 그리고 일상생활 유지 중재)에 참여하였으며, 각 중재 간 트레이닝의 효과를 피하기 위해 일주일의 간격을 두고 실시하였다. 운동중재는 S대학교 건강운동과학 실험실에서 실시하였으며, 실험참가자의 안전을 위해 운동처방 전공자를 1:1로 매칭하여 운동을 실시하고 운동시작부터 종료까지 혈압과 심박수 등을 지속적으로 모니터링 할 뿐 아니라 불편감이나 어지러움, 통증, 무호흡, 혈압의 급격한 증가나 감소 등이 발생하지 않는지 수시로 인터뷰를 진행하였다.

운동강도는 주관적 강도(RPE)와 객관적 운동강도(심박수)를 모두 측정하였고, 구체적인 운동프로그램의 구성은 선행연구에서 이미 효과가 확인된 등척성 운동 및 유산소 운동 프로토콜과 동일하게 설계하였으며 구체적인 구성은 아래 [Table 16]와 같다.

Table 16. Isometric squat & Aerobic exercise protocols

	Intensity	Time	Content
Aerobic exercise (Jogging & Running)	Heart rate reserve 40~60%	30 min	Warm up & cool down (each 5 min) Main exercise: jogging & running for 20 min
Isometric squat	Specific angles by incremental isometric squat test	8~12 min (2min*4set)	- Perform isometric squat at the specified angle - 1 minute rest between set
Usual care	Maintain daily life style & measure blood pressure at the same time as the isometric interventions		

5) 자료 처리

본 연구의 가설을 검증하기 위하여 실험에서 얻어진 모든 데이터는 Windows SPSS 18.0 통계 프로그램을 이용하여 분석 하였으며, 이에 관한 구체적인 통계처리는 다음과 같다.

- 1) 기술통계 분석을 이용하여 평균(M), 표준편차(SD)를 산출하였다.
- 2) 각 운동중재 및 시기 간 효과검증을 위해 반복측정 분산분석 (Repeated measures ANOVA) 및 Bonferroni 사후검정(Post hoc)을 사용하였다.
- 3) 통계적 유의수준은 $p < .05$ 수준으로 설정하였다.

3. 연구결과

본 연구에서 모집된 사전 인원은 총 21명이었으나 본 연구의 참여기준을 충족하지 못해 참여하지 못한 5인을 제외하고 총 16명이 최종적으로 연구에 참여하였다. 본 연구에 참여한 총 13명은 건강상의 문제가 없는 고혈압 전단계 또는 고혈압 중·노년층 여성으로 참여자의 특성은 아래 [표 17]와 같다.

[표 17] Baseline characteristics of the participants

	Mean±SD (n=16)
Age	62±4.1
Sex	Female (100%)
Height	154.3±4.2
Body weight	59.7±7.1
Resting SBP	128.3±7.2
Resting DBP	80±6.8
Medication Classification(n)	8
- ARBs	2
- Diuretic	1
- CCB	2
- ARB + CCB	1
- ARB + Diuretic	1
- ARB + CCB + Diuretic	1
- Unmedicated	8
Isometric Squat angle	97.5±5.8

Data are expressed as mean±standard error or number (percentage).

Abbreviations: SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure;

ARBs, Angiotensin II receptor blockers; CCB, Calcium channel blocker;

ACE, angiotensin converting enzyme

참여자들의 평균 나이는 62±4.1세, 성별은 모두 여성으로 평균 키 154.3±4.2cm, 몸무게는 59.7±7.1kg, 수축기혈압과 이완기 혈압은 각각

128.3±7.2 mmHg, 80±6.8 mmHg, 혈압 관련 약물을 복용하는 참여자는 8 명으로 나타났으며, 연구에 참여하는 동안 약물복용 여부를 동일하게 유지 하였다. Isometric Squat의 평균 수행 각도는 97.5±5.8°로 나타났다.

본 연구에 참여한 16명의 참여자들은 본 연구에서 제공하는 3가지 중재 (Aerobic exercise, Isometric squat, and Usual care)에 모두 참여 하였다. 운동중재의 순서효과와 이월효과를 제거하기 위해 총 16명의 참여자를 3 개의 그룹으로 나누어 그룹별 중재 순서를 다르게 구성하여 중재를 실시 하였으며, 그룹당 할당된 구체적 인원은 아래 [Figure 8]와 같았다.

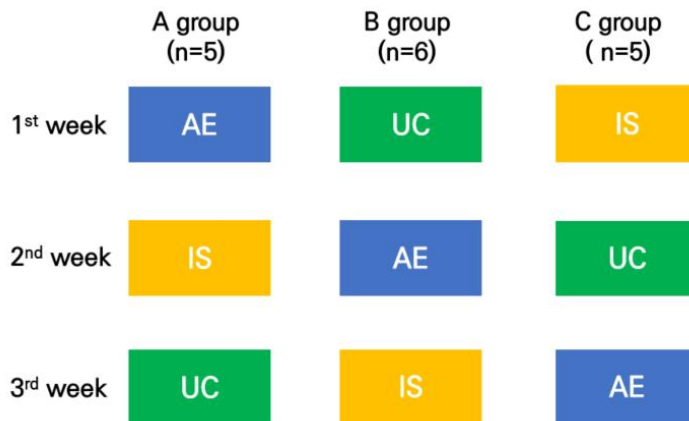


Figure 8. Sequence of intervention modality. Participants were randomly assigned to start with either Isometric Isometric Squat (IS), Aerobic exercise (AE), or Usual care(UC). After randomization to the first intervention, each participant followed the intervention sequence as indicated in the figure. Intervention modalities were assigned in such a manner that each modality was applied once on each week day.

1) 등척성 운동 후 활동성 수축기 혈압의 변화

모든 참여자들이 세 가지 중재에 모두 참여한 후 활동성 수축기 혈압을 비교한 결과는 아래 [Figure 9], [Table 18], [Table 19]와 같다.

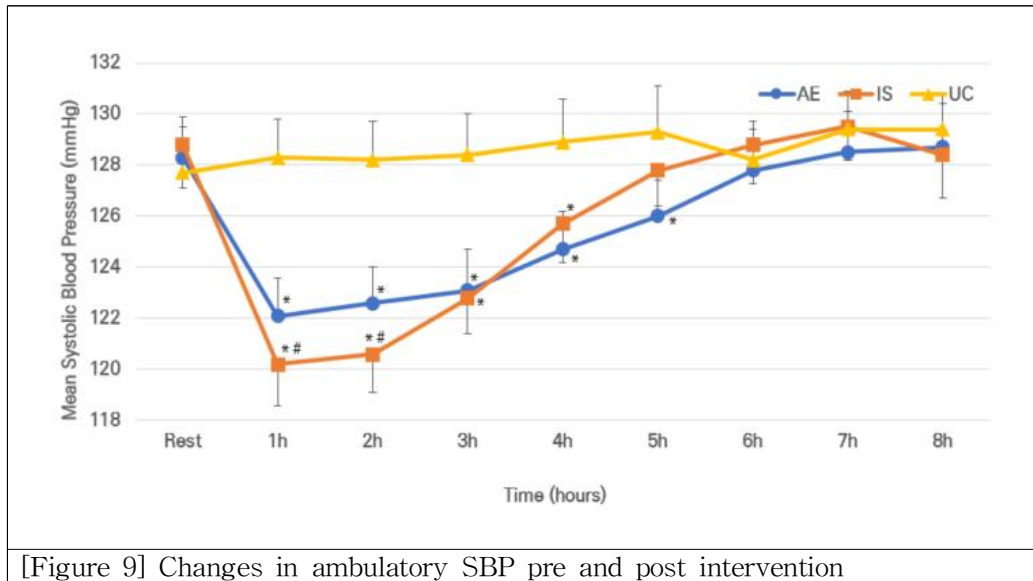


Table 18. Comparisons of mean SBP during 8 hours in each intervention

	Resting SBP	1-2h SBP	3-4h SBP	5-8 SBP
AE (n=16)	128.3±1.8	122.4±1.5*	123.9±1.7*	127.7±1.5
IS (n=16)	128.8±1.6	120.4±1.4*	124.2±1.5*	128.6±1.5
UC (n=16)	127.7±1.7	128.3±1.5	128.7±1.4	129±1.4

Data are expressed as mean±standard error. * $p < .05$ compared with Resting ABP. Abbreviations: SBP, Systolic blood pressure; AE, aerobic exercise; IS, isometric squat; UC, usual care

	Resting SBP	1h SBP	2h SBP	3h SBP	4h SBP	5h ABP	6h SBP	7h SBP	8h SBP
AE (n=16)	128.3±1.8	122.1±1.5*	122.6±1.5*	123.1±1.6*	124.7±1.7*	126±1.8*	127.8±1.5	128.5±1.5	128.7±1.4
IS (n=16)	128.8±1.6	120.2±1.5*#	120.6±1.4*#	122.8±1.6*	125.7±1.5*	127.8±1.4	128.8±1.6	129.5±1.6	128.4±1.7
UC (n=16)	127.7±1.7	128.3±1.6	128.2±1.5	128.4±1.4	128.9±1.5	129.3±1.4	128.2±1.5	129.4±1.3	129.4±1.7

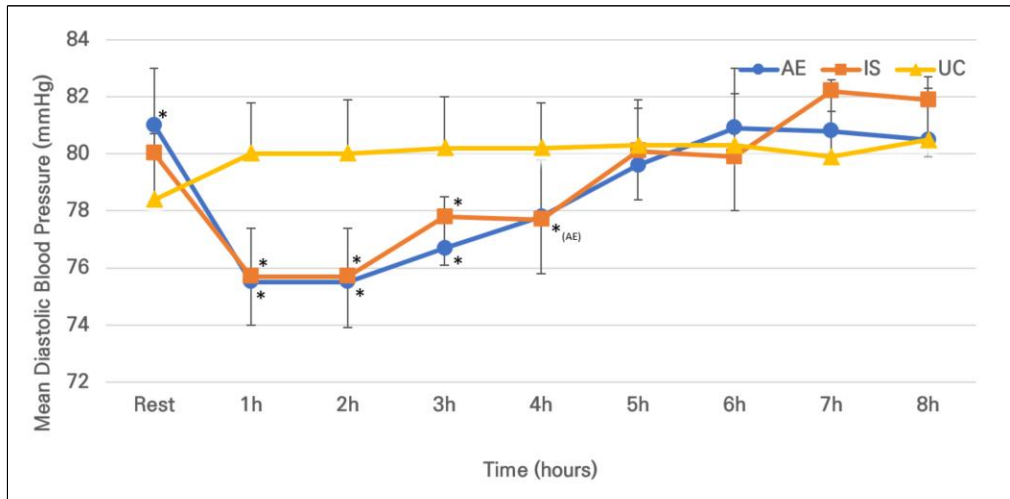
Data are expressed as mean±standard error. * $p<.05$ compared with UC, # $p<.05$ compared with IH, † $p<.05$ compared with ILE. Abbreviations: SBP, Systolic blood pressure; ABP; ambulatory blood pressure; IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care

시간에 따른 수축기 혈압의 비교에서 AE와 IS 모두 안정시와 비교하여 운동 후 4시간까지 수축기 혈압을 유의하게 감소시켰으며($p<.05$), UC의 경우, 안정시와 비교하여 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>.05$) [Table 18].

각 시점에 따른 중재 간 수축기 혈압의 비교에서, 3가지 중재 모두 안정시 혈압에서는 유의한 차이가 없었으나 ($p>.05$) IS의 경우 UC와 비교하여 운동 후 첫 4시간 동안, AE의 경우 UC와 비교하여 첫 5시간 동안 수축기 혈압을 유의하게 감소시켰다($p<.05$). 또한, IS의 경우, AE과 비교하여 첫 2시간 동안 수축기 혈압에서 유의한 감소효과를 나타냈다($p<.05$) [Table 19].

2) 등척성 운동 후 활동성 이완기 혈압의 변화

모든 참여자들이 세 가지 중재에 모두 참여한 후 활동성 이완기 혈압을 비교한 결과는 다음 [Figure 10], [Table 20], [Table 21]와 같다.



[Figure 10] Changes in ambulatory DBP pre and post intervention

Table 20. Comparisons of mean DBP during 8 hours in each intervention

	Resting DBP	1-2h DBP	3-4h DBP	5-8 DBP
AE (n=16)	81±2	75.8±1.9*	77.3±1.9*	80.6±1.8
IS (n=16)	80±1.7	75.9±1.8*	77.8±1.8*	81.1±1.6
UC (n=16)	78.4±2.3	80.3±1.8	80.2±1.7	80.3±1.7

Data are expressed as mean±standard error. * $p < .05$ compared with Resting ABP. Abbreviations: DBP, Diastolic blood pressure; AE, aerobic exercise; IS, isometric squat; UC, usual care

Table 21. Comparison of ambulatory DBP levels after AE, IS, and UC in prehypertension and hypertension adults									
	Resting DBP	1h DBP	2h DBP	3h DBP	4h DBP	5h DBP	6h DBP	7h DBP	8h DBP
AE (n=16)	81±2*	75.5±1.9*	75.5±1.9*	76.7±1.8*	77.8±2*	79.6±2	80.9±2.1	80.8±1.8	80.5±1.8
IS (n=16)	80±1.7	75.7±1.7*	75.7±1.8*	77.8±1.7*	77.7±1.9	80.1±1.7	79.9±1.9	82.2±1.5	81.9±2
UC (n=16)	78.4±2.3	80±1.8	80±1.9	80.2±1.8	80.2±1.6	80.3±1.6	80.3±1.8	79.9±1.6	80.5±2.2
Data are expressed as mean±standard error. * $p<.05$ compared with UC, # $p<.05$ compared with AE. Abbreviations: DBP, diastolic blood pressure; AE, aerobic exercise; IS, isometric squat; UC, usual care									

시간에 따른 이완기 혈압의 비교에서 IS의 경우, 안정시와 비교하여 운동 후 3시간, AE의 경우 안정시와 비교하여 운동 후 4시간까지 이완기 혈압을 유의하게 감소시켰다($p<.05$) [Table 20].

각 시점에 따른 중재 간 이완기 혈압의 비교에서, 4가지 중재 모두 안정시 혈압에서는 유의한 차이가 없었으며 IS의 경우에만 UC와 비교하여 운동 후 첫 3시간 동안 이완기 혈압을 유의하게 감소시키는 것으로 나타났다 ($p<.05$) [Table 21].

3) 등척성 운동 후 동맥경직도의 변화

모든 참여자들이 네 가지 중재에 모두 참여한 후 동맥경직도의 지표 중 하나인 맥파전달속도를 비교한 결과는 아래 [Table 22]와 같다.

Table 22. Changes in arterial stiffness from pre to post-intervention				
(m/s)	Pre	Post	Δ PWV	P
AE (n=16)	15.7±2	15±2.1 ^a	-0.7±0.2*	0.001*
IS (n=16)	15.2±1.7	14.4±1.7 ^a	-0.8±0.1*	
UC (n=16)	15±1.8	15.3±1.9 ^a	0.6±0.3	
Data are expressed as mean±standard error. ^a p <.05 compared with Pre, * p <.05 compared with UC, # p <.05 compared with AE, † p <.05 compared with IS. Abbreviations: PWV, pulse wave velocity; IHG, isometric handgrip; ILE, isometric leg extension; IS, isometric squat; UC, usual care				

시간에 따른 맥파전달속도 비교에서 일회성 AE, IS 중재 실시 후 맥파전달속도가 유의하게 감소한 것으로 나타난 반면 (p <.05), UC에서는 유의하게 증가하였다(p <.05).

일회성으로 등척성 운동 중재 실시 후, 각 중재별 동맥 경직도의 지표 중 하나인 맥파전달속도의 변화량을 비교한 결과, AE, IS 모두에서 UC에 비해 맥파전달속도의 유의한 감소가 있는 것으로 나타났으며(p <.05), AE와 IS 중재 간 유의한 차이는 나타나지 않았다(p >.05).

4) 등척성 운동 후 중재별 신체활동량 비교

등척성 운동 중재 및 일상생활 중재 후 활동성 혈압을 측정하는 동안 동시에 측정된 신체활동량을 비교한 결과는 아래 [Table 23]와 같다.

Table 23. Comparison of Physical activity levels after isometric handgrip, isometric leg extension, isometric squat, and usual care in prehypertension and hypertension adults					
	sedentary time (min)	Light intensity PA time (min)	moderate intensity PA time (min)	vigorous intensity PA time (min)	Total wear time (min)
AE (n=12)	264.8±14	145.1±10.9	61.3±7.9	0	471.3±9.4
IS (n=12)	277.6±14	137±7	61.7±10.5	0	476.8±3.6
UC (n=12)	279.4±12.2	148.8±7.2	59.4±7.6	0	487.6±2.9
* $p < .05$ compared with Usual care, # $p < .05$ compared with Isometric handgrip, * $p < .05$ compared with Isometric leg extension					

활동성 혈압을 측정하는 동안 측정된 신체활동량을 강도별로 비교한 결과 모든 중재 간 신체활동량의 차이는 나타나지 않았으며($p > .05$), 가속도계 착용시간 또한 유의한 차이가 없었다($p > .05$).

4. 논 의

본 연구는 동일한 연구 참여자들이 일정 기간 wash out period를 가지고 모든 중재에 참여한 교차설계 연구로 중노년 고혈압 전단계 및 고혈압 여성들을 대상으로 활동성 혈압계를 사용하여 현재까지 가장 많이 권고되었던 유산소 운동(Aerobic exercise; AE)과 최근에 AE에 비해 혈압감소 효과가 더 크다고 보고되고 있는 등척성 운동, 그리고 일상생활 유지(Usual care; UC)의 운동 후 혈압 감소효과를 비교한 첫 연구이다.

운동 후 일정시간 동안 혈압이 감소하는 것을 의미하는 ‘운동 후 저혈압(Post-exercise hypotension)’은 이미 운동 분야에서 잘 알려진 현상이다. AE의 경우, 말초 혈관 저항의 감소, 교감신경계 활동과 심박출량의 감소 등으로 인해 발생한다고 잘 알려져 있으며(Halliwill, 2001; MacDonald, 2002), 등척성 연구의 경우 현재까지 연구의 수가 제한되어 있어 더 많은 연구가 필요하지만, 혈관 직경의 변화(내피세포 의존성 혈관이완기능), 말초저항감소, 산화적 스트레스, 그리고 심박수와 혈압의 자율신경적 조절 등이 영향을 미치는 것으로 나타났다(Millar et al., 2014).

본 연구의 결과에서 AE와 등척성 스쿼트(Isometric squat; IS)는 운동 전과 비교하여 운동 후 수축기 혈압(Systolic blood pressure; SBP)과 이완기 혈압(Diastolic blood pressure; DBP)을 약 4시간 동안 유의하게 감소시켰다. 중재간 비교에서 AE는 UC와 비교하여 운동 후 SBP를 5시간 동안, IS는 AE에 비해 첫 2시간, UC와 비교하여 첫 4시간 동안 운동 후 SBP를 유의하게 감소시키는 것으로 나타났으며, 이완기 혈압의 경우, AE는 UC와 비교하여 DBP를 4시간, IS는 3시간 동안 혈압을 유의하게 감소시켰다.

Cardoso Jr (2010) 등의 리뷰 연구에 따르면, 일회성 유산소 운동은 고혈압 성인의 SBP를 약 4시간에서 16시간 동안 -2에서 -12 mmHg까지 낮추

었다고 보고한 바 있는데, 본 연구의 결과에서도 유산소 운동은 대조군에 비해 약 5시간 동안 혈압을 감소시켜 Kimberly A. Brownley(1996) 등의 연구결과와 유사한 결과를 나타냈으며, 이는 각 연구에서 모집된 피험자의 고혈압 유무정도, 평소 신체활동 유무, 그리고 실시된 운동 중재의 특성(강도, 시간, 형태 등)에 따라 감소효과가 상이할 것으로 판단되나 Cardoso Jr (2010)의 연구에서 보고된 시간 내에서 유사한 정도의 혈압 감소 효과가 존재하였다(Brownley, West, Hinderliter, & Light, 1996; Cardoso Jr et al., 2010).

일회성 등척성 연구의 경우, Isometric handgrip(IHG)으로 실시한 약 3편의 연구에서 -2에서 -7mmHg까지 감소시키는 것으로 보고되었고(K. Goessler, Buys, & Cornelissen, 2016; K. F. Goessler, Buys, VanderTrappen, Vanhumbeeck, & Cornelissen, 2018; van Assche, Buys, de Jaeger, Coeckelberghs, & Cornelissen, 2017), Leg press와 Bench press 동작으로 대근육 부위 일회성 운동을 실시한 1편의 연구에서는 혈압을 약 -9mmHg가량 감소시켰다고 보고한 바 있으나(Olher et al., 2020) 일회성 등척성 운동 후 혈압 감소가 얼마나 지속되는지 활동성 혈압계를 통해 확인한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

일부 메타분석에서 4주 이상의 등척성 운동 연구들을 대상으로 한 메타분석에서 등척성 운동 중재는 안정시 혈압을 유의하게 낮추는 것으로 보고하고 있으나(Cornelissen & Smart, 2013; López-Valenciano, Ruiz-Pérez, Ayala, Sánchez-Meca, & Vera-Garcia, 2019) 현재까지 운동 후 혈압감소 효과가 얼마나 지속되는지 정확히 파악하기가 어려웠으며, 활동성 혈압을 측정한 Goessler(2018) 등의 연구에서 IHG는 AE에 비해 SBP를 더 낮추는 듯한 경향을 보였지만, 활동성 혈압에서는 AE에서만 유의한 감소가 있었을뿐 IHG에서는 유의한 혈압감소 효과가 없는 것으로 나타났다. 또한, Garrett I. ASH(2017) 등의 연구에서도 IHG와 비교하여 AE에서만 유의한 혈압감소 효과가 있다고 보고한 바 있는데 해당 연구의 경우, 연구 참여자가 각각 AE 그룹 6명, IHG 그룹 5명으로 통계적으로 혈압감소 효과를 검증하기에 매우 부족할 것으로 판단되었다.

앞서 Goessler(2018), Garrett I. ASH(2017)등의 결과와 달리 본 연구에서는 IS 중재가 AE 중재보다 첫 2시간, 그리고 UC중재보다 4시간까지 SBP를 유의하게 감소시킨 것으로 나타났는데, 이는 본 연구에서 적용한 IS 중재가 선행연구에서 대근육을 사용한 등척성 운동에서 혈압감소의 효과가 더 높게 나타났던 것과 같이 IHG중재에 비해 혈압을 더 크게 감소시켰을 가능성, 더 많은 표본 수, 그리고 선행연구들과 같이 활동성 혈압을 5시간 이상의 큰 단위로 평균내서 분석하지 않고, 한시간 단위로 더 세밀하게 분석했다는 점에서 결과의 차이가 발생했을 수 있었을 것이라고 사료된다. 또한, 본 연구에서 일회성 AE의 경우, IS에 비해 운동 후 저혈압 효과가 1시간 정도 오래 지속된 것을 확인할 수 있었는데, 현재까지 연구의 수가 부족하여 더 많은 연구가 필요하지만 AE와 IS 중재의 운동의 특성의 차이일 가능성과 중재별 적용된 운동 시간에 기인한 차이(기존 혈압감소 가이드라인에 따라 AE는 30분, IS은 12분 적용)일 가능성 또한 배제할 수 없다.

신체활동량은 혈압에 영향을 미칠 수 있는 독립적인 인자 중 하나로 (Arroll & Beaglehole, 1992; Jones et al., 2006; Palatini, 1988) 본 연구에서는 12~30분 내외에서 실시하는 짧은 시간동안 수행한 운동의 혈압 감소 효과를 분석해야 했기 때문에 운동 후 활동성 혈압을 측정하는 8시간 동안 되도록 신체활동을 삼가하고 일상생활을 유지할 수 있도록 권고 후 활동성 혈압을 측정하는 동안 각 중재 간 신체활동량에 차이가 없는지 확인하였다. 신체활동량 측정 결과, 참여자들은 측정시간 동안 대부분 좌식 생활 및 저강도 신체활동을 잘 유지하였고, 중강도 활동 시간 또한 거의 비슷하여 각 중재별 운동 후 혈압감소 효과를 비교하는데 있어 큰 문제가 없을 것으로 사료된다.

동맥경직도의 경우, 혈관내피세포 이완능과 함께 심혈관 질환과 밀접한 관련을 가지는 지표로 노화 및 고혈압 등은 동맥 경직도를 증가시키는 것으로 알려져 있으며(Anderson, 2006; Inaba, Chen, & Bergmann,

2010; Sun, 2015), 유산소 운동의 경우 장기간 운동 뿐 아니라 일회성 운동에서도 동맥경직도를 감소시키는 것으로 나타나 혈압관리에 이점을 줄 수 있음을 시사한 바 있는데(Ashor, Lara, Siervo, Celis-Morales, & Mathers, 2014; Mutter, Cooke, Saleh, Gomez, & Daskalopoulou, 2017) 본 연구에서도 유산소 운동은 동맥경직도를 감소시키는 것으로 나타났다. 반면, 등척성 운동을 일회성으로 적용하였을 때 동맥경직도 감소 효과에 관한 연구는 현재까지 매우 부족한 편이나 10주 이상 IHG 운동 시 동맥경직도의 감소효과를 보고한 윤은선(2019) 등의 연구 및 Cahu Rodrigues (2020)등의 연구 결과와 유사하게 본 연구의 일회성 IS 중재에서도 운동 후 동맥경직도가 유의하게 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 감소 정도가 일회성 유산소 운동과 유사한 수준으로 나타났다(Cahu Rodrigues et al., 2020; 윤은선, 추진아, 김장영, & 제세영, 2019).

5. 결론 및 제언

1) 결 론

16명의 고혈압 전단계 및 고혈압 중,노년 여성들을 대상으로 일회성 등척성 스쿼트 및 유산소 운동의 혈압감소 효과를 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

첫째, 등척성 스쿼트와 유산소 운동 모두 운동 후 3~5시간 동안 활동성 혈압을 감소시켰으며, 중재 간 혈압감소 정도(감소 폭 또는 지속시간)에는 약간의 차이가 존재하였다.

둘째, 일회성 등척성 스쿼트와 유산소 운동 모두 운동 후 동맥경직도를 감소시켰으며, 두 중재간 차이는 존재하지 않았다.

셋째, 일회성 등척성 스쿼트와 유산소 운동, 그리고 일상생활 유지 중재 모두 활동성 혈압을 측정하는 동안 측정된 신체활동량에는 중재간 차이가 존재하지 않았다.

2) 제 언

본 연구를 통해 얻은 결론을 바탕으로 후속연구를 위해 다음과 같이 제언하고자 한다.

첫째, 본 연구는 동일한 개인이 일정 기간의 wash out period를 가지고 모든 중재(실험군 및 대조군 모두)에 참여한 교차설계연구의 특성상 연구 참여자의 탈락률과 연구의 실행가능성을 고려하여 활동성 혈압의 측정 시간을 8시간으로 제한하고, 측정도구를 최소화하였기 때문에 활동성 혈압의 메커니즘을 설명하기에는 부족한 부분이 존재한다. 따라서, 향후 연구에서는 유산소 운동과 등척성 운동의 혈압감소 기전을 여러 측면에서 직접적으로 비교할 수 있는 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

둘째, 일회성 운동의 지속이 장기간 트레이닝의 효과로 나타날 수 있다는 점을 고려할 때 후속연구에서는 장기간 연구를 통해 도구없이 실시가능한 등척성 운동과 유산소 운동의 혈압감소 효과에 관한 객관적 비교가 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- 윤은선, 추진아, 김장영, & 제세영. (2019). 노인 고혈압 환자에서 등척성 악력운동과 유산소 운동의 동맥경직도 및 혈관이완능 개선에 미치는 효과 비교. *대한스포츠의학회지*, 37(4), 162-170. doi:10.5763/kjasm.2019.37.4.162
- Anderson, T. J. (2006). Arterial stiffness or endothelial dysfunction as a surrogate marker of vascular risk. *Canadian Journal of Cardiology*, 22, 72B-80B. doi:10.1016/S0828-282X(06)70990-4
- Arroll, B., & Beaglehole, R. (1992). Does physical activity lower blood pressure: A critical review of the clinical trials. *Journal of Clinical Epidemiology*, 45(5), 439-447. doi: https://doi.org/10.1016/0895-4356(92)90093-3
- Ashor, A. W., Lara, J., Siervo, M., Celis-Morales, C., & Mathers, J. C. (2014). Effects of Exercise Modalities on Arterial Stiffness and Wave Reflection: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *PLOS ONE*, 9(10), e110034. doi:10.1371/journal.pone.0110034
- Badrov, M. B., Bartol, C. L., DiBartolomeo, M. A., Millar, P. J., McNevin, N. H., & McGowan, C. L. (2013). Effects of isometric handgrip training dose on resting blood pressure and resistance vessel endothelial function in normotensive women. *European journal of applied physiology*, 113(8), 2091-2100. doi:10.1007/s00421-013-2644-5
- Brownley, K. A., West, S. G., Hinderliter, A. L., & Light, K. C. (1996). Acute aerobic exercise reduces ambulatory blood pressure in borderline hypertensive men and women. *American Journal of Hypertension*, 9(3), 200-206. doi:

[https://doi.org/10.1016/0895-7061\(95\)00335-5](https://doi.org/10.1016/0895-7061(95)00335-5)

- Cahu Rodrigues, S. L., Farah, B. Q., Silva, G., Correia, M., Pedrosa, R., Vianna, L., & Ritti-Dias, R. M. (2020). Vascular effects of isometric handgrip training in hypertensives. *Clinical and Experimental Hypertension*, 42(1), 24-30. doi:10.1080/10641963.2018.1557683
- Cardoso Jr, C. G., Gomides, R. S., Queiroz, A. C. C., Pinto, L. G., Lobo, F. d. S., Tinucci, T., . . . Forjaz, C. L. d. M. (2010). Acute and chronic effects of aerobic and resistance exercise on ambulatory blood pressure. *Clinics*, 65(3), 317-325. doi:10.1590/S1807-59322010000300013
- Carlson, D. J., Dieberg, G., Hess, N. C., Millar, P. J., & Smart, N. A. (2014). *Isometric exercise training for blood pressure management: a systematic review and meta-analysis*. Paper presented at the Mayo Clinic Proceedings.
- Committee, P. A. G. A. (2018). 2018 physical activity guidelines advisory committee scientific report. In: : US Department of Health and Human Services.
- Cornelissen, V. A., Buys, R., & Smart, N. A. (2013). Endurance exercise beneficially affects ambulatory blood pressure: a systematic review and meta-analysis. *Journal of hypertension*, 31(4), 639-648. doi:10.1097/HJH.0b013e32835ca964
- Cornelissen, V. A., & Smart, N. A. (2013). Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta analysis. *Journal of the American Heart Association*, 2(1), e004473. doi:10.1161/JAHA.112.004473
- Goessler, K., Buys, R., & Cornelissen, V. (2016). LOW INTENSITY ISOMETRIC HANDGRIP EXERCISE HAS NO TRANSIENT EFFECT ON BLOOD PRESSURE IN PATIENTS WITH

CORONARY ARTERY DISEASE. *Journal of hypertension*, 34, E350–E351. doi:10.1097/01.hjh.0000492371.20231.2f

- Goessler, K. F., Buys, R., VanderTrappen, D., Vanhumbecck, L., & Cornelissen, V. A. (2018). A randomized controlled trial comparing home-based isometric handgrip exercise versus endurance training for blood pressure management. *Journal of the American Society of Hypertension*, 12(4), 285–293. doi:10.1016/j.jash.2018.01.007
- Inaba, Y., Chen, J. A., & Bergmann, S. R. (2010). Prediction of future cardiovascular outcomes by flow-mediated vasodilatation of brachial artery: a meta-analysis. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, 26(6), 631–640. doi:10.1007/s10554-010-9616-1
- Jones, H., Atkinson, G., Leary, A., George, K., Murphy, M., & Waterhouse, J. (2006). Reactivity of ambulatory blood pressure to physical activity varies with time of day. *Hypertension*, 47(4), 778–784. doi:10.1161/01.HYP.0000206421.09642.b5
- Lee, H.-Y., Shin, J., Kim, G.-H., Park, S., Ihm, S.-H., Kim, H. C., . . . Park, J.-M. (2019). 2018 Korean Society of Hypertension Guidelines for the management of hypertension: part II-diagnosis and treatment of hypertension. *Clinical hypertension*, 25(1), 20. doi:10.1186/s40885-019-0124-x
- Liu, S., Goodman, J., Nolan, R., Lacombe, S., & Thomas, S. G. (2012). Blood pressure responses to acute and chronic exercise are related in prehypertension. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(9), 1644–1652. doi:10.1249/MSS.0b013e31825408fb
- López-Valenciano, A., Ruiz-Pérez, I., Ayala, F., Sánchez-Meca, J., & Vera-García, F. J. (2019). Updated systematic review and meta-analysis on the role of isometric resistance training for

- resting blood pressure management in adults. *Journal of hypertension*, 37(7), 1320–1333. doi:10.1097/hjh.0000000000002022
- Millar, P. J., McGowan, C. L., Cornelissen, V. A., Araujo, C. G., & Swaine, I. L. (2014). Evidence for the role of isometric exercise training in reducing blood pressure: potential mechanisms and future directions. *Sports Medicine*, 44(3), 345–356. doi:10.1007/s40279-013-0118-x
- Mutter, A. F., Cooke, A. B., Saleh, O., Gomez, Y.-H., & Daskalopoulou, S. S. (2017). A systematic review on the effect of acute aerobic exercise on arterial stiffness reveals a differential response in the upper and lower arterial segments. *Hypertension Research*, 40(2), 146–172. doi:10.1038/hr.2016.111
- Olher, R. R., Rosa, T. S., Souza, L. H. R., Oliveira, J. F., Soares, B. R. A., Ribeiro, T. B. A., . . . Moraes, M. R. (2020). Isometric Exercise with Large Muscle Mass Improves Redox Balance and Blood Pressure in Hypertensive Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(5), 1187–1195. doi:10.1249/mss.0000000000002223
- Palatini, P. (1988). Blood Pressure Behaviour During Physical Activity. *Sports Medicine*, 5(6), 353–374. doi:10.2165/00007256-198805060-00002
- Shakoor, E., Salesi, M., Daryanoosh, F., & Izadpanah, P. (2020). Effect of Acute High-Intensity Interval Training and Isometric Handgrip Exercise on Hemodynamic Responses in Hypertensive Women. *Women's Health Bulletin*, 7(3), 60–69. doi:10.30476/whb.2020.86948.1063
- Sun, Z. (2015). Aging, arterial stiffness, and hypertension. *Hypertension*, 65(2), 252–256. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.03617

- van Assche, T., Buys, R., de Jaeger, M., Coeckelberghs, E., & Cornelissen, V. A. (2017). One single bout of low-intensity isometric handgrip exercise reduces blood pressure in healthy pre- and hypertensive individuals. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *57*(4), 469–475. doi:10.23736/s0022-4707.16.06239-3
- Whelton, P. K., Carey, R. M., Aronow, W. S., Casey, D. E., Collins, K. J., Himmelfarb, C. D., . . . Jones, D. W. (2018). 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/P CNA guideline for the prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology*, *71*(19), e127–e248. doi:10.1016/j.jacc.2017.11.006

III. 소논문 3

일회성 등척성 운동과 장기간 등척성 운동이 고혈압 전단계와 고혈압 성인 및 노인의 혈압에 미치는 효과 : RCT 및 교차설계 연구 메타분석

1. 서 론

최근 미국심장협회(American Heart Association; AHA)와 미국스포츠 의학회(American College of Sports Medicine; ACSM)의 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report 등에서 등척성 운동의 이점 및 혈압감소 효과가 지속적으로 보고되고 있다(Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2018; Whelton et al., 2018).

4주 이상의 무작위 대조군 실험연구(Randomized controlled trials; RCT) 연구를 대상으로 한 Debra J. Carson (2014)등의 메타분석에 따르면, 등척성 운동은 수축기 혈압(Systolic blood pressure; SBP)을 -6.77 mmHg (95% CI, -7.93 에서 -5.62 mmHg), 이완기 혈압(Diastolic blood pressure; DBP)을 -3.96 mmHg(95% CI, -4.80 에서 -3.12 mmHg) 만큼 감소시키는 것으로 나타났으며(Carlson, Dieberg, Hess, Millar, & Smart, 2014), Varonique A와 Neil A. Smart (2013)의 메타분석에서도 등척성 운동이 SBP를 -10 mmHg(95% CI, -14.5 에서 -7.4 mmHg), 그리고 Alejandro Lopez-Valenciano(2019) 등의 리뷰 페이지에서도 수축기 혈압 -5.23 mmHg, 이완기 혈압을 -1.64 mmHg 낮추는 것으로 나타나 등척성 운동의 혈압 감소효과에 대한 명확한 근거들을 제시 하였다(López-Valenciano, Ruiz-Pérez, Ayala, Sánchez-Meca, & Vera-Garcia, 2019).

또한, Jodie D nder (2016) 등의 체계적 문헌고찰과 메타분석에서는 하위요인 분석(sub-analysis)를 통해 여성보다는 남성, 45세 미만보다는 45세 이상, 고혈압이 있는 사람을 대상으로 8주 이상 실시한 연구에서 더 혈압감소의 효과가 크다는 결론을 도출하면서 등척성 운동의 혈압감소 효과에 관한 이해의 폭을 넓혀 주었다(Inder et al., 2016).

반면, 2018년 국민건강통계에 따르면, 우리나라 국민의 주당 150분 이상 유산소 신체활동 실천율은 남성 51, 여성 44%, 특히, 주 2회 근력운동

실천율의 경우, 남성 31%, 여성 14.9%로 나타나 권고된 유산소 신체활동 및 근력 운동을 꾸준히 실천하는 것이 상당히 어려운 일임을 확인할 수 있었다(보건복지부, 2019). 국가적으로 권고되는 규칙적인 신체활동 및 운동량을 정기적으로 달성하기 어려울 때 일회성 운동의 효과만으로도 하루의 일부 동안 건강상 이득을 얻을 수 있다면, 여러 이유(바쁜 스케줄, 허약 및 신체의 장애, 미세먼지, 전염병 등)로 운동에 참여하지 못하고 혈압이 높아 관리가 필요한 사람들에게 운동에 관한 동기부여를 제공할 수 있을 것이다.

Da Nobrega(2005)등에 따르면, 일회성 운동은 일시적으로 심혈관 항상성을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 운동의 장기효과를 예측하는데 도움을 제공할 수 있음을 시사하였다(da Nobrega, 2005). Cardoso Jr 등(2010)의 메타 분석 연구에서 유산소 운동의 경우, 장기간이 아닌 일회성의 운동만으로도 하루 동안의 주간 활동성 혈압을 유의하게 감소시킨다고 보고한 바 있는데(Cardoso Jr et al., 2010), SAM LIU(2012)등은 일회성 운동의 혈압감소 변화가 장기간 운동 시 혈압감소의 크기를 예측하는데 강한 상관관계가 있다고 보고하였으며(Liu, Goodman, Nolan, Lacombe, & Thomas, 2012), 이는 Moreira(2016)등의 저항성 운동 연구, 그리고 정상혈압을 대상으로 등척성 운동을 적용시킨 Somani(2018) 등의 연구에서도 단기 반응이 장기 반응에 영향을 미치는 유사한 결과를 확인할 수 있었다 (Moreira, Cucato, Terra, & Ritti Dias, 2016; Somani et al., 2018).

이처럼, 일회성 등척성 운동의 혈압 감소효과를 객관적으로 확인하는 것은 매우 유용할 것으로 판단되나 아직까지 일회성 등척성 운동의 혈압 감소 효과에 대해 종합적으로 판단할 수 있는 메타분석이 거의 없는 실정이며, Breno Q. Farah 등(2017)의 체계적 문헌고찰에서 거의 유일하게 Olher 등(2013)과 Porro (1995)등 2편의 일회성 연구결과를 제시한 바 있으나 혈압 감소 효과가 미비할 뿐 아니라 연구 당시 실시된 일회성 운동의 연구수가 부족하여 향후 발간된 자료들을 토대로 추가 연구가 필요할 것으로 판단되었다(Olher et al., 2013; Porro et al., 1995).

2015년 이후로 등척성 운동의 장기 효과와 더불어 일회성 운동의 혈압 감소 효과에 관한 연구들이 추가적으로 보고되고 있어 과거 메타분석보다 조금 더 세밀한 분석이 가능하다고 판단되나 현재까지 일회성 등척성 운동의 혈압 감소효과가 어느 정도로, 얼마나 지속되는지, 그리고 장기간 운동과 비교하여 어느 정도의 차이가 발생하는지 등에 관한 종합적이고 일반화 가능한 결론은 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 2015년도 이후로 발간된 일회성 등척성 운동과 기존에 발간된 등척성 운동 중재연구 연구결과를 수집한 뒤 메타분석을 이용하여 일회성 등척성 운동의 효과크기 및 평균 차이를 파악하고, 8주 이상의 장기간 운동 중재와 객관적으로 비교해 봄으로써 일회성 운동의 효과를 파악하고자 한다.

2. 연구방법

1) 연구 설계

본 연구는 국내외 고혈압 전단계 및 고혈압 성인과 노인들을 대상으로 수행된 일회성, 그리고 8주 이상의 장기간 등척성 운동 중재 연구를 고찰하여 효과크기 및 평균차이를 분석하기 위한 메타분석 연구이다. 본 연구는 PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic review and Meta-Analyses)의 체계적 문헌고찰 보고지침에 따라 기술하였다(Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & Group, 2009).

2) 문헌 선정기준

구체적인 문헌 선정 조건은 PICO-SD (Participants, Intervention, Comparisons, Outcomes, Study Design)를 포함하였다.

① 선정기준

가) 연구대상 (Participants)

: 고혈압 전단계 또는 고혈압에 해당하는 18세 이상의 성인으로 선정하였다.

나) 중재 (Interventions)

: 본 연구의 중재는 일회성으로 수행한 등척성 운동중재로 Isometric handgrip(IHG), Isometric leg extension(ILE, knee extension 동작과 동일), 그리고 기타 등척성 중재를 포함하였다.

다) 대조군 (Comparison)

: 고혈압 전단계 또는 고혈압에 해당하는 18세 이상 성인으로 운동을 하지 않은 집단 또는 운동 전 혹은 운동 이후 Wash out 기간을 가지고 연구참여자가 대조군으로 참여하는 교차연구설계 (Crossover design)의 대조군 중재를 대조군으로 선정하였다.

라) 중재결과 (Outcome)

: 주요결과(Primary outcome)는 수축기 혈압(Systolic blood pressure; SBP)과 이완기 혈압(Diastolic blood pressure; DBP)으로 선정하였으며, 부가적인 결과(Secondary outcome)은 없었다.

마) 연구 유형 (Study designs)

: 무작위 대조군 실험연구(Randomized controlled trial; RCT)와 교차설계연구(Crossover design)만 연구결과에 포함하였다.

② 배제기준

가) 대조군이 없는 단일 실험설계 연구의 경우

나) 비무작위 대조군연구 (non-randomized controlled trial), 동물실험, 조사연구, 사례연구 및 질적연구 등에 해당하는 경우

다) 동료 평가를 받지 않은 회색 논문 (초록, 포스터, 학위논문)

라) 영어나 한국어가 아닌 경우

마) 등척성 운동중재와 더불어 다른 중재를 동시에 실시하는 연구(e.g. 등척성 운동중재 & 식습관 조절 중재를 결합한 중재) 또는 가정기반 운동

3) 자료검색 및 선정과정

문헌검색은 2명의 연구자가 각각 데이터베이스를 독립적으로 검색하고 문서관리 프로그램인 Microsoft Excel 2016 프로그램을 이용하여 중복된 문헌을 삭제하였다. 1차로 제목과 초록을 검색하여 선정기준과 배제 기준에 따라 해당 논문을 선별하였으며, 이후 논문의 원문을 검토하여 선정기준에 부합하는 문헌을 선정하였다. 문헌 검색은 출판년도에 제한을 두지 않았으며 전자 데이터베이스에서 제공하는 년도부터 2020년까지 출판된 자료를 선정하였다.

가) 검색원

: 본 연구의 검색원은 외국학술지 검색원인 “Pubmed”, “Science of Direct”, “Google scholar”, “Web of science”, 그리고 “Cochrane Library” 등을 통해 검색하였으며, 국내의 경우 한국 학술 데이터베이스(Korean Studies Information Service System, KISS), 한국학술정보서비스(Research Information Sharing Service, RISS)를 통해 검색하였다.

나) 검색전략

: 검색전략은 주요 개념어를 도출하여 각 단어가 사용되는 형태를 검토하여 유의어, 절단검색, 만능문자 및 인접연산자를 적절히 활용하여 수집하였다. 검색을 위해 사용된 주요 검색어는 PICO-SD중에서 P(participants)와 I(Intervention), 중재결과(outcome)만을 포함하여 검색하였으며 Pubmed의 MeSH검색 내에서 주요 검색어를 검색하여 유사어와 동의어를 조사하였다. 이를 바탕으로 국외 데이터베이스에서 대상자는 “hypertension” OR “high blood pressure” OR “hypertensive” OR “pre-hypertension” OR “pre-hypertensive” OR “mildly hypertensive”이고, 중재는 “isometric exercise” OR “isometric intervention” OR “isometric

handgrip” OR “isometric leg extension” OR “static exercise” OR “static intervention”으로 검색하였다. 연구유형(Study designs)은 무작위 대조군 실험연구(randomized controlled trial, RCT)와 교차연구설계(Crossover design)으로 제한하였다. 국내 데이터베이스에서 대상자는 “고혈압”, “고혈압 전단계”로 하고, 중재는 “등척성 운동”, “등척성 중재”, “정적 운동”, “등척성 악력” 등으로 하였다.

4) 자료 추출

본 연구를 위한 자료코딩은 연구정보(저자, 출판년도), 연구대상(연구대상자, 총 참여자 수, 운동집단 수, 대조군 집단 수, 연령, 성별, 고혈압 약물 복용여부), 중재(운동 형태, 강도, 기간 및 빈도), 연구결과 등을 각종 통계치로 구분하여 자료 추출표를 구성하였다. 제 2의 연구자가 각각 자료를 추출하였고, 의견에 차이가 있을 경우, 제 3의 연구자와 함께 원본자료를 보면서 재확인 하였다.

5) Publication bias의 평가

Publication bias를 확인하기 위한 여러가지 방법 중 본 연구에서는 가장 권장되는 방법인 Funnel Plot과 Trim and Fill 2가지 방법을 사용하여 Publication bias를 분석하였다. Funnel plot은 X축을 효과크기로 Y축을 표준 오차로 선정하여 효과크기의 분포 정도를 시각적으로 나타내는 방법으로 Publication bias이 있는 경우, 해당 분포의 모양은 비대칭성(asymmetry)을 보이는데 Trim and Fill은 Funnel plot에서 분포가 비대칭적인 경우, 보고되지 않은 효과크기를 추정하여 넣음으로써 대칭적인 분포를 만들어 편향되지 않은 효과크기를 추정하는 방법이다. 먼저 대칭이 될 수 있도록 대칭이 되지 않는 연구는 제외(trim)시킨 후 평균을 다시 계산하고, 계산된 평균을

중심으로 하여 제외된 연구들을 대칭이 되도록 복원시켜 누락된 연구들을 채워가는 방법으로 본 연구에서는 위 두가지 방법을 사용하여 분석을 수행하였다.

6) 자료 분석 방법

본 연구에서는 메타분석 전용 소프트웨어인 CMA (Comprehensive meta-analysis) Version3을 사용하였다. 이외의 부가적 수치들은 엑셀의 기능과 SPSS 18.0을 이용하여 분석하였다. 자료 분석의 절차와 세부 내용은 다음과 같다 [Figure 11].

첫째, 선행연구 결과들의 효과크기를 계산하였다.

둘째, 표본의 수에 따른 가중치 부여하고, 동질성 여부를 검증하여 메타분석 모형을 결정하였다.

셋째, 독립성 가정과 이상치(outlier)를 고려하였으며, 랜덤효과모형을 통해 전체 평균 효과크기 및 전체 평균차이를 계산하였다.

넷째, 연구의 질 검증을 위해 Publication bias을 분석하였고, 결측치를 처리하였다.

다섯째, 변인의 특성에 따라 하위요인 분석을 실시였으며, 결과를 평균 차이 값으로 계산하였다.

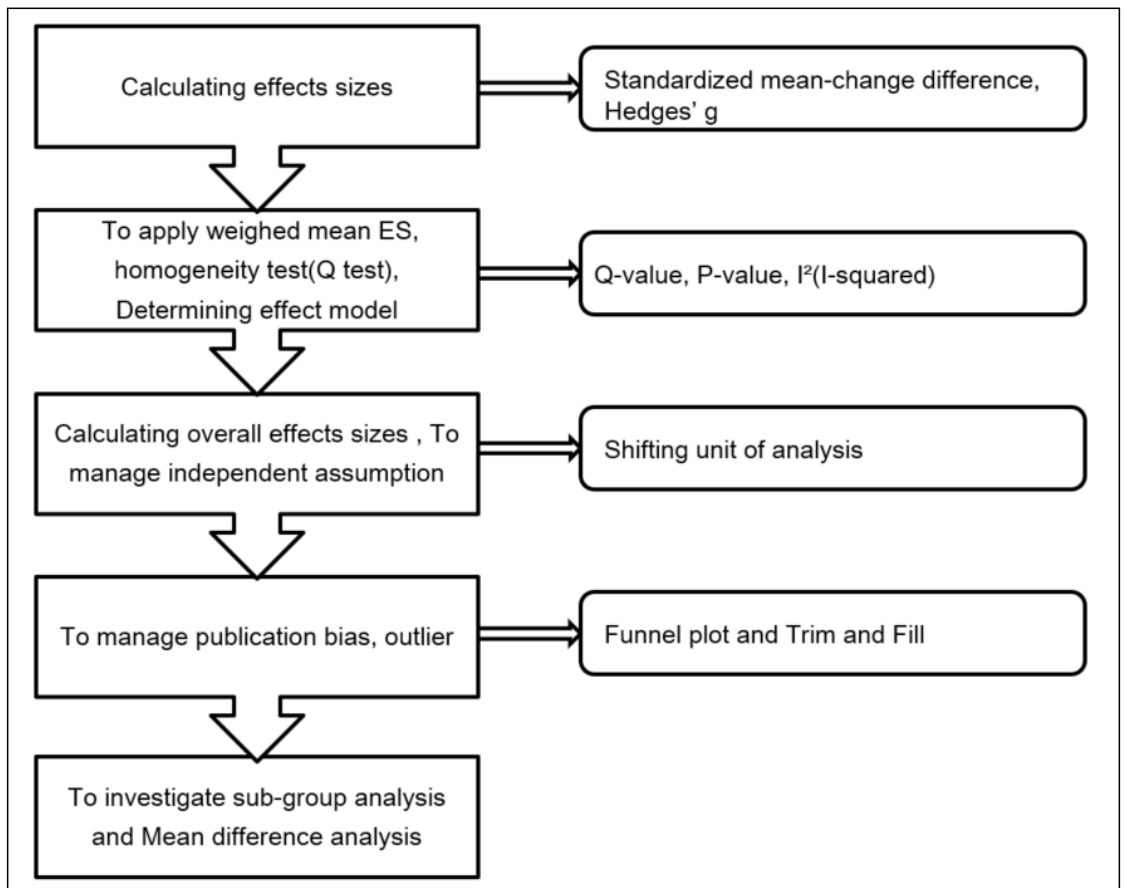


Figure 11. Data analysis procedure and contents

본 연구는 두 집단의 사전·사후검사의 평균(교차설계의 경우, 각 개인을 중재군과 대조군으로 분류)과 표준편차를 이용하여 효과크기를 계산하였다. 실험집단과 통제집단의 사전·사후 검사의 효과크기 계산은 <공식 1>을 사용하였다. S_x 는 각 집단 사전검사의 표준편차이며 두 집단의 효과크기는 실험집단의 값에서 통제집단의 값을 뺀 결과($d_{\text{treat}} - d_{\text{control}}$)로 나타내었다. 상관계수가 연구에서 보고되지 않은 경우에는 Becker(1988)와 Cooper(2010)가 제시하는 0.5를 사용하여 계산하였으며(Cooper, 2015; Heater, Becker, & Olson, 1988), 본 메타분석에 포함된 연구들은 연구 대상자, 개입 방법, 연구 환경 등이

서로 상이하고, 이질성 점수가 높게 나와 무선효과 모형을 적용하여 산출하였다.

$$d_{trt} = \frac{Y_T(post-pre)}{S_X}, \quad d_{ctrl} = \frac{Y_C(post-pre)}{S_X}$$

〈공식 1〉 두 집단 사전·사후 효과크기

또한 연구의 표본 수가 적을 경우 효과크기가 실제보다 높게 산출되는 경향이 있고 표본이 큰 연구와 작은 연구들이 함께 분석되었을 경우에는 모두 교정된 효과 크기로 변환해주는 것이 바람직하기 때문에 교정된 효과 크기인 Hedges' g를 계산하였다.

$$g = 1 - \left(\frac{3}{4N-9}\right)d$$

〈공식 2〉 교정된 효과 크기(Hedges' g)

다음으로 가중치를 부여한 뒤 이질성 검증(연구간 효과크기 차이가 일관되지 않은 정도)을 정도를 평가하기 위해 시각적으로는 forest plot, 통계적인 검정을 위해서는 연구간 분산의 비율을 나타내는 I^2 값을 사용하였다. I^2 값이 75%가 넘으면 큰 크기의 이질성, 50%가 넘으면 중간 크기의 이질성, 25% 이하이면 작은 크기의 이질성이라 볼 수 있다(Higgins & Thompson, 2002). 본 연구의 동질성 검증 결과는 이질적이므로 랜덤효과 모형(random effect mode)을 선택하여 분석하였다. 효과크기의 해석은 [Table 24]을 참고하였다.

[Table 24] Interpretation of effect size

Effect size	Standardized difference (d)	mean Correlation (r)	Odds ratio
Small	.20	.10	1.50
Medium	.50	.30	2.50
Large	.80	.50	4.30

Cohen(1988); Littell, Corcoran, & Pillai.(2008).

수축기 이완기 혈압의 크기는 결과 변수별 척도가 동일한 연속형 변수인 점을 고려하여 가중 평균차이(weight mean difference, WMD)와 95% 신뢰구간(95% confidence interval, CI)으로 기술하였고, 95% 신뢰구간을 산출한 후 하한 값과 상한 값 사이에 제로(0) 값이 포함되어 있는지의 여부를 통하여 효과크기의 유의성을 확인하였다.

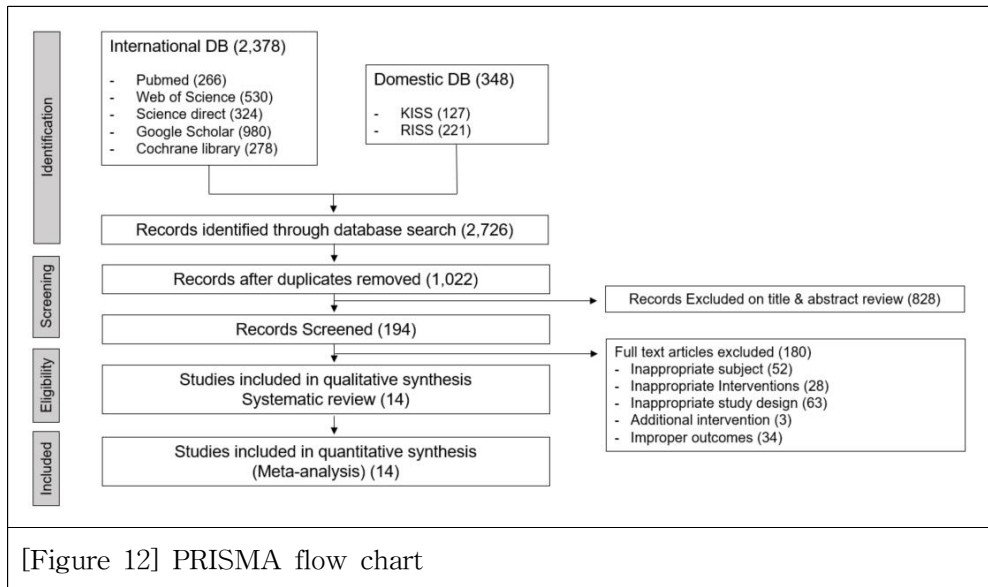
Publication bias은 중재의 효과가 크고 통계적으로 유의할 때 더 많이 bias되는 것을 의미하며, 개별 연구들을 종합하여 분석하는 메타분석에서는 연구 결과의 타당성을 검토하기 위해 Publication bias 분석을 시행한다. 본 연구에서는 Funnel plot으로 비대칭 유무를 시각적으로 판단하였으며, Publication bias이 의심될 경우, Student residual 값과 Jackknifed residual 값, 그리고 trim and fill 방법으로 효과크기 차이를 파악하였다.

3. 연구결과

1) 문헌 선정 결과

문헌검색 결과 국내 데이터베이스 검색을 통해 348편, 국외 데이터베이스는 2,375편, 검색되어 총 2,726편의 연구가 검색되었다. 2,726편 중 서지관리 프로그램과 excel을 이용하여 중복된 연구를 제외하여 1,022편의 논문이 남았다. 남은 1,022편의 연구를 자료선정 및 제외 기준에 따라 2명의 연구자가 제목과 초록을 중심으로 검토하여 828편이 제외되고 194편이 선정 되었다.

수기검색을 시행하였으나 본 연구의 적합한 추가 문헌이 없었다. 선정된 194편의 문헌은 전문을 확인하였으며, 그 중에서 대상자가 부적합한 문헌 52편, 운동중재가 부적절한 논문이 28편, 연구 디자인이 부적절한 논문이 62편, Isometric 중재와 더불어 다른 중재를 혼합한 논문이 3편(e.g. Isometric handgrip과 생활습관 중재), 그리고 혈압이 아닌 다른 중재를 본 논문이 34편 등 총 180편을 제외한 후 14개의 문헌이 최종으로 선정 되었으며, 그 중 8주 이하에 해당하는 논문 2편과 Publication bias 검사에서 편향에 해당하는 논문 1편을 추가적으로 제외하여 총 11개의 문헌이 최종 선정되었다 [Figure 12].



2) 선정된 문헌의 특성

최종 메타분석에 포함된 연구는 총 33편으로 선정된 연구의 일반적 특성은 다음과 같다 [Table 25] [Table 26]. 연구는 모두 무작위 연구 또는 교차 설계 연구이며, 연구의 발표년도는 2003년부터 2020년도까지 였으나 2편을 제외한 모든 연구들이 2012년 이후 보고된 연구였다. 등척성 연구 유형은 총 3가지로 분류되었는데, Isometric handgrip 중재가 8편으로 가장 많았고, 2편이 Isometric leg extension, 그리고 1편이 Isometric bench press와 Squat을 결합한 형태의 운동이었다.

고혈압 여부는 고혈압 전단계 사람들을 대상으로 한 연구가 2편, 고혈압 성인을 대상으로 한 연구가 6편, 그리고 나머지 3편은 고혈압 전단계와 고혈압 성인을 함께 연구한 연구였다.

무작위 중재 사용여부는 7개의 연구가 Randomized controlled trial 연구였으며, 3개의 연구가 Randomized controlled trial & crossover design, 나머지 한편의 연구가 Crossover design에 포함되었다. 각 중재의 평균 연령대는 40대가 2편, 50대가 3편, 60대가 4편, 그리고 70대가 2편이었다.

[Table 25] Characteristics of Included acute studies

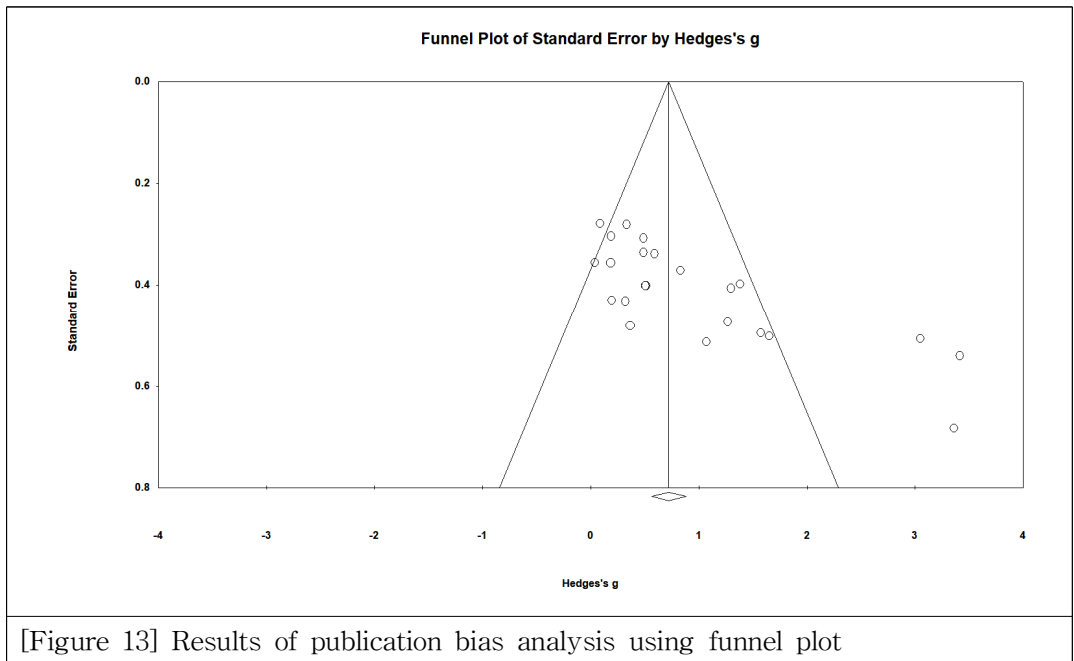
Study	Acute& chronic	Participants	Design	Exercise characteristics
Luiz R. Souza (2018)	acute	Hypertensive Men & Women (Mixed, n=10), mean age 73.2±2.2	Crossover	Isometric handgrip(IHG) bilaterally 30% maximal voluntary contraction(MVC), 2~4 set, 1min rest
2. Elham Shakoor (2020)	acute	Pre~hypertension women (n=45), mean age 45±5	RCT	3 groups (high intensity interval training = 15, IHG = 15, and control 15), 30% MVC, 2~4 set, 1min rest, non-dominant hand unilaterally
3. Karla Goessler (2016)	acute	Pre-hypertension & hypertensive men (n=21) mean age 68.4±7.0	RCT & Crossover	IHG bilaterally 30% MVC, 2~4 set, 1min rest
4. Rafael Reis Olher (2019)	acute	Hypertensive Mixed n=14 mean age 35.9±8.1	RCT & Crossover	Isometric bench press and isometric leg press 30% MVC, 8set (each 4set) * 1min, 2min rest
5. Tim van ASSCHE (2017)	acute	Pre-hypertension & hypertensive Mixed (n=15) mean age 48±7.1	RCT & Crossover	IHG bilaterally 30% MVC, 2~4 set, 1min rest

[Table 26] Characteristics of Included chronic studies

Study	Acute& chronic	Participants	Design	Exercise characteristics
6. Nikolaos Pagonas (2017)	Chronic	Hypertensive Mixed n=75 mean age 58.8±10.6	RCT	IHG (n=25), control(CON, n=25), Aerobic exercise(AE, n=25) IHG bilaterally, 12weeks, 5 times weekly 30% MVC, 2*4 set, 1min rest
7. Mark B. Badrov (2013)	Chronic	Hypertensive Mixed n=24 mean age 65±7	RCT	IHG (n=12), control(CON, n=12), IHG bilaterally, 10weeks, 3 times weekly 30% MVC, 2*4 set, 1min rest
8. Anthony W Baross (2013)	Chronic	Pre-hypertensive older men n=20 mean age 55±6	RCT	Double leg isometric (knee extension / n= 10, CON= 10) Total 8weeks, 3 times weekly 85% peak heart rate, 2*4 set, 2min rest
9. Anthony W Baross (2012)	Chronic	Hypertensive men n=30 mean age 53.4±5	RCT	High intensity isometric leg extension(ILE) n=10, low intensity ILE n=10, CON n=10 Total 8weeks, 3 times weekly 14% MVC (high), 8% MVC (low), 2*4set, 2min rest
10. Andrea C. Taylor (2002)	Chronic	Hypertensive Mixed n=18 mean age 67.5	RCT	IHG n=9, CON n=8, bilaterally 10 weeks, 3 times weekly 30% MVC, 2*4set, 1min rest
11. Eun Sun Yoon (2019)	Chronic	Hypertensive Mixed n=54 mean age 69±6	RCT	IHG (n=17), AE (n=19), CON (n=18), bilaterally 12 weeks, 3 times weekly 30% MVC, 2*4set, 1min rest

3) Publication bias 분석

Funnel Plot을 통하여 분석 대상 논문들의 효과크기를 먼저 시각적으로 판단하였다. [Figure 13]을 보면 소수의 연구가 좌우 대칭을 이루지 않기 때문에 편향되지 않은 효과크기를 추정하여 타당성을 높이는 것이 중요하다.



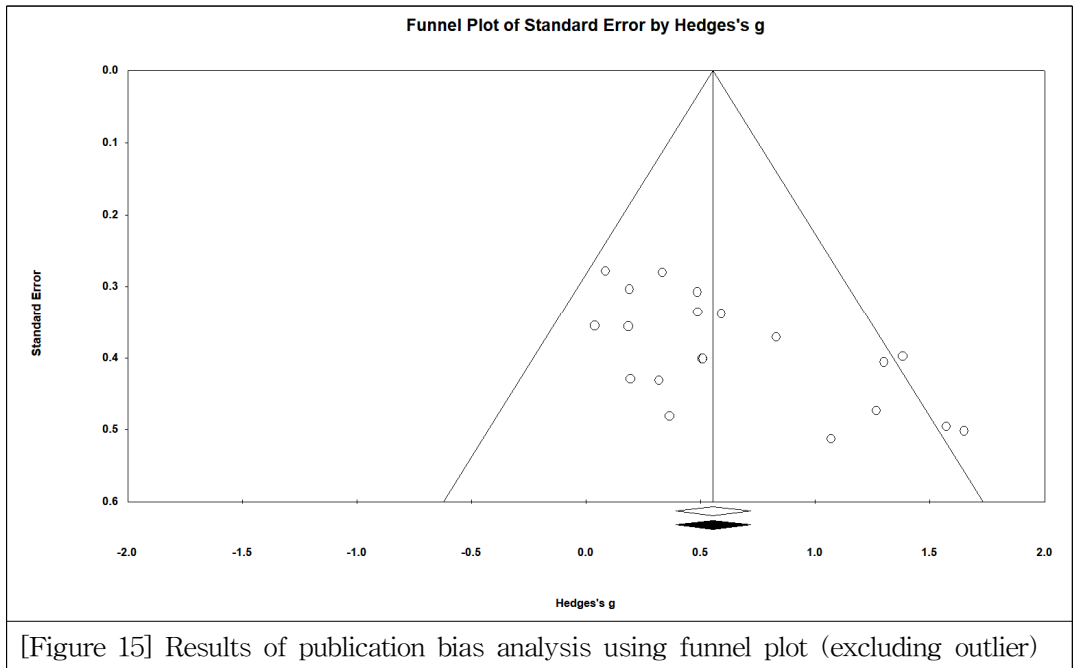
[Figure 14]는 Publication bias에 관한 진단검사 결과이다. 이 진단검사는 이상치를 판별하기 위한 기준으로 사용되며 Student residual 값과 Jackknifed residual 값이 절댓값이 2나 2.5이상일 경우 Publication bias로 간주한다.

Diagnostics for Model 1, Random effects (MM), Z-Distribution, Std diff in means														
Study	Observed	Predicted	Residual	Leverage	Student Residual	Jackknifed Residual	Cook's Distance	DF Fits	Variance	Tau^2	Sum	Weight	Pct Wt	Pct Wt
Elham Shakoor 1 SBP	1.4201	0.8736	0.5465	0.0360	0.7283	0.7220	0.0198	0.1395	0.1669	0.4172	0.5842	1.7118	0.0360	
Elham Shakoor 2 DBP	0.8529	0.8736	-0.0207	0.0373	-0.0281	-0.0276	0.0000	-0.0054	0.1455	0.4172	0.5627	1.7771	0.0373	
Karla Goessler 1 SBP	0.1940	0.8736	-0.6796	0.0410	-0.9690	-0.9679	0.0401	-0.2001	0.0957	0.4172	0.5129	1.9496	0.0410	
Karla Goessler 2 DBP	0.4964	0.8736	-0.3772	0.0408	-0.5364	-0.5295	0.0122	-0.1092	0.0982	0.4172	0.5154	1.9402	0.0408	
Rafael Reis Olher 1 SBP	1.3379	0.8736	0.4643	0.0355	0.6144	0.6075	0.0139	0.1165	0.1748	0.4172	0.5921	1.6890	0.0355	
Tim van ASSCHE 1 SBP	0.1905	0.8736	-0.6831	0.0381	-0.9382	-0.9361	0.0349	-0.1864	0.1339	0.4172	0.5512	1.8143	0.0381	
Tim van ASSCHE 2 DBP	0.0395	0.8736	-0.8341	0.0382	-1.1462	-1.1529	0.0521	-0.2297	0.1334	0.4172	0.5506	1.8162	0.0382	
Tim van ASSCHE 5 SBP	0.7926	0.8736	-0.0810	0.0332	-0.1035	-0.1016	0.0004	-0.0188	0.2157	0.4172	0.6329	1.5799	0.0332	
Tim van ASSCHE 6 DBP	0.7692	0.8736	-0.1044	0.0333	-0.1335	-0.1311	0.0006	-0.0243	0.2148	0.4172	0.6320	1.5822	0.0333	
Anthony W. Baross(2012) 1 SBP	1.6419	0.8736	0.7683	0.0307	0.9431	0.9412	0.0282	0.1675	0.2674	0.4172	0.6846	1.4606	0.0307	
Anthony W. Baross(2012) 2 DBP	0.2027	0.8736	-0.6709	0.0340	-0.8681	-0.8642	0.0265	-0.1621	0.2010	0.4172	0.6183	1.6174	0.0340	
Anthony W. Baross(2012) 3 SBP	0.6373	0.8736	-0.2363	0.0335	-0.3035	-0.2985	0.0032	-0.0556	0.2102	0.4172	0.6274	1.5939	0.0335	
Anthony W. Baross(2012) 4 DBP	0.3446	0.8736	-0.5290	0.0339	-0.6835	-0.6768	0.0164	-0.1268	0.2030	0.4172	0.6202	1.6124	0.0339	
Andrea C. Taylor 1 SBP	1.1319	0.8736	0.2583	0.0295	0.3109	0.3058	0.0029	0.0534	0.2940	0.4172	0.7112	1.4060	0.0295	
Andrea C. Taylor 2 DBP	0.3860	0.8736	-0.4876	0.0311	-0.6026	-0.5956	0.0117	-0.1067	0.2586	0.4172	0.6759	1.4796	0.0311	
Andrea C. Taylor 3 SBP	0.8232	0.8736	-0.0504	0.0304	-0.0615	-0.0604	0.0001	-0.0107	0.2751	0.4172	0.6924	1.4443	0.0304	
Andrea C. Taylor 4 DBP	0.3860	0.8736	-0.4876	0.0311	-0.6026	-0.5956	0.0117	-0.1067	0.2586	0.4172	0.6759	1.4796	0.0311	
Nikolas Pagonas 1 SBP	0.0870	0.8736	-0.7866	0.0423	-1.1398	-1.1462	0.0573	-0.2408	0.0801	0.4172	0.4973	2.0108	0.0423	
Nikolas Pagonas 2 DBP	0.3393	0.8736	-0.5343	0.0422	-0.7733	-0.7676	0.0263	-0.1610	0.0812	0.4172	0.4984	2.0065	0.0422	
Mark B. Badrov 1 SBP	0.5285	0.8736	-0.3451	0.0356	-0.4576	-0.4511	0.0077	-0.0867	0.1725	0.4172	0.5897	1.6957	0.0356	
Mark B. Badrov 2 DBP	0.5262	0.8736	-0.3474	0.0356	-0.4606	-0.4541	0.0078	-0.0873	0.1724	0.4172	0.5897	1.6958	0.0356	
Anthony W Baross(2013) 1 SBP	1.7234	0.8736	0.8498	0.0304	1.0379	1.0394	0.0338	0.1840	0.2743	0.4172	0.6915	1.4461	0.0304	
Anthony W Baross(2013) 2 DBP	0.3333	0.8736	-0.5403	0.0339	-0.6981	-0.6916	0.0171	-0.1295	0.2028	0.4172	0.6200	1.6129	0.0339	
Sergio L. Cahu Rodrigues 1 SBP	3.1254	0.8736	2.2518	0.0306	2.7602	3.1769	0.2406	0.5645	0.2693	0.4172	0.6866	1.4565	0.0306	
Sergio L. Cahu Rodrigues 2 DBP	3.5000	0.8736	2.6264	0.0290	3.1321	3.8159	0.2932	0.6597	0.3069	0.4172	0.7242	1.3809	0.0290	
Eun sun Yoon 1 SBP	0.4993	0.8736	-0.3743	0.0393	-0.5221	-0.5152	0.0111	-0.1042	0.1179	0.4172	0.5352	1.8685	0.0393	
Eun sun Yoon 2 DBP	0.6053	0.8736	-0.2683	0.0391	-0.3735	-0.3677	0.0057	-0.0742	0.1196	0.4172	0.5369	1.8627	0.0391	
Luiz R. Souza ect 1 SBP	3.5088	0.8736	2.6352	0.0227	2.7715	3.1949	0.1786	0.4871	0.5078	0.4172	0.9250	1.0810	0.0227	
Luiz R. Souza ect 2 DBP	1.3235	0.8736	0.4499	0.0318	0.5624	0.5554	0.0104	0.1006	0.2438	0.4172	0.6610	1.5128	0.0318	

[Figure 14] Dignostics for model of random effect

위의 체크항목에 해당하는 연구들은 publicaion bias 진단검사에서 2.5 이상값이 나온 것으로 확인이 되었기 때문에 3편의 연구를 제외하고 이후 Funnel plot과 Trim and Fill을 이용해 출판편향 여부를 확인하였다.

[Figure 15]은 이상치(outlier)로 고려되는 3개의 연구 데이터를 제외한 분석결과를 나타낸다. [Figure 15]을 보면 시각적으로 거의 대칭을 이루는 것으로 판단되며, 연구의 타당성을 높이기 위해 마찬가지로 Trim and Fill을 이용해 분석하였다.



아래 [Figure 16]은 Funnel plot과 Trim and Fill을 통한 분석결과를 나타낸다. 3개의 이상치를 제거한 경우, 제외되는 연구 변인이 0개이기 때문에 검증 후 조금 더 안정적인 분석 결과가 제시 가능할 것으로 사료되며, 이상치를 제거한 이후 효과크기는 0.594로 중간정도의 효과크기가 나타났다.

Duval and Tweedie's trim and fill								
	Studies Trimmed	Fixed Effects			Random Effects			Q Value
		Point Estimate	Lower Limit	Upper Limit	Point Estimate	Lower Limit	Upper Limit	
Observed values		0.55466	0.39135	0.71797	0.59441	0.38592	0.80291	29.89071
Adjusted values	0	0.55466	0.39135	0.71797	0.59441	0.38592	0.80291	29.89071

[Figure 16] Analysis results of funnel plot and trim and fill (excluding outlier)

4) 등척성 운동중재의 효과

① 등척성 운동이 수축기 혈압 감소에 미치는 효과

본 연구에서 수축기 혈압의 효과크기 산출에 포함된 연구는 총 10개로 운동군 165명, 대조군 163명이었다. 등척성 운동 중재가 수축기 혈압에 전체 효과크기는 0.763 (95% CI, 0.386; 1.140)로 나타났으며, 수축기 혈압에 미치는 평균차이는 -7.15 mmHg(95%CI, -5.25; -9.04)이었으며, 통계적으로 유의하였다($p < .05$)[Table 27].

[Table 27] Effect of isometric interventions on systolic blood pressure reduction

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Elham Shakoor (2020)	6.590	1.632	2.664	3.391	9.789	4.037	0.000
Karla Goessler (2016)	1.900	3.041	9.246	-4.060	7.860	0.625	0.532
Rafael Reis Olher (2019)	8.860	2.640	6.970	3.686	14.034	3.356	0.001
Tim van ASSCHE (2017)	2.000	4.170	17.386	-6.172	10.172	0.480	0.631
Anthony W. Baross (2012)	10.600	2.674	7.152	5.358	15.842	3.964	0.000
Andrea C. Taylor (2003)	11.000	4.772	22.772	1.647	20.353	2.305	0.021
Nikolas Pagonas (2017)	1.400	5.167	26.697	-8.727	11.527	0.271	0.786
Mark B. Badrov (2013)	9.000	6.506	42.333	-3.752	21.752	1.383	0.167
Anthony W Baross (2013)	10.900	3.178	10.100	4.671	17.129	3.430	0.001
Eun sun Yoon (2019)	6.700	4.918	24.191	-2.940	16.340	1.362	0.173
Random model	7.153	0.967	0.935	5.258	9.048	7.398	0.000

Difference in mean값은 사전값에서 사후 값을 뺀 것을 의미

② 등척성 운동이 이완기 혈압 감소에 미치는 효과

본 연구에서 이완기 혈압의 효과크기 산출에 포함된 연구는 10개로 운동군 144명, 대조군 143명이었다. 등척성 운동 중재가 이완기 혈압에 전체 효과크기는 0.467 (95% CI, 0.237; 0.696)로 나타났으며, 이완기 혈압에 미치는 평균차이는 - 2.58 mmHg(95%CI, -1.62; -4.08)이었으며, 통계적으로 유의하였다($p < .05$)[Table 28].

[Table 28] Effect of isometric interventions on diastolic blood pressure reduction

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Elham Shakoor (2020)	2.130	0.869	0.756	0.426	3.834	2.450	0.014
Karla Goessler (2016)	3.500	2.142	4.589	-0.699	7.699	1.634	0.102
Tim van ASSCHE (2017)	0.300	2.849	8.115	-5.283	5.883	0.105	0.916
Anthony W. Baross (2012)	1.500	3.591	12.894	-5.538	8.538	0.418	0.676
Andrea C. Taylor (2003)	4.000	5.150	26.524	-6.094	14.094	0.777	0.437
Nikolas Pagonas (2017)	3.500	2.950	8.700	-2.281	9.281	1.187	0.235
Mark B. Badrov (2013)	6.000	4.518	20.417	-2.856	14.856	1.328	0.184
Anthony W Baross (2013)	1.900	4.528	20.500	-6.974	10.774	0.420	0.675
Eun sun Yoon (2019)	5.600	2.972	8.833	-0.225	11.425	1.884	0.060
Luiz R. Souza (2018)	4.500	1.521	2.312	1.520	7.480	2.960	0.003
Fixed model	2.858	0.628	0.394	1.628	4.088	4.554	0.000

5) 하위 변인 분석

① 등척성 운동 중재 기간이 수축기 혈압 감소에 미치는 효과

본 연구에서 운동 기간(일회성 또는 8주 이상)에 따라 혈압감소의 차이를 비교시 효과크기 산출에 포함된 연구는 일회성 연구가 4편, 8주 이상 연구가 6편으로 각각의 효과크기는 0.73(95% CI, 0.08;1.37), 0.80(95% CI, 0.28; 1.31)으로 나타났다. 일회성 운동의 혈압 감소 효과는 -5.69 mmHg(95%CI, -2.73; -8.65)으로 나타났으며(p<.05), 8주 이상 운동의 혈압 감소 효과는 -9.31 mmHg(95% CI, -6.15; -12.47) 통계적으로 유의하였다(p<.05)[Table 29].

[Table 29] Effect of isometric intervention on systolic blood pressure reduction according to intervention period

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Elham Shakoor (2020)	6.590	1.632	2.664	3.391	9.789	4.037	0.000
Karla Goessler (2016)	1.900	3.041	9.246	-4.060	7.860	0.625	0.532
Rafael Reis Olher (2019)	8.860	2.640	6.970	3.686	14.034	3.356	0.001
Tim van ASSCHE (2017)	2.000	4.170	17.386	-6.172	10.172	0.480	0.631
Random model (acute)	5.696	1.510	2.281	2.736	8.657	3.772	0.000
Anthony W. Baross (2012)	10.600	2.674	7.152	5.358	15.842	3.964	0.000
Andrea C. Taylor (2003)	11.000	4.772	22.772	1.647	20.353	2.305	0.021
Nikolas Pagonas (2017)	1.400	5.167	26.697	-8.727	11.527	0.271	0.786
Mark B. Badrov (2013)	9.000	6.506	42.333	-3.752	21.752	1.383	0.167
Anthony W Baross (2013)	10.900	3.178	10.100	4.671	17.129	3.430	0.001
Eun sun Yoon (2019)	6.700	4.918	24.191	-2.940	16.340	1.362	0.173
Random model (chronic)	9.311	1.611	2.596	6.153	12.469	5.779	0.000

② 등척성 운동 중재 기간이 이완기 혈압에 미치는 효과

본 연구에서 운동 기간(일회성 또는 8주 이상)에 따라 혈압감소의 차이를 비교시 효과크기 산출에 포함된 연구는 일회성 연구가 4편, 8주 이상 연구가 6편으로 각각의 효과크기는 0.59(95% CI, 0.13;1.06), 0.39(95% CI, 0.09; 0.69)으로 나타났다. 일회성 운동의 혈압 감소 효과는 -2.65 mmHg(95%CI, -1.30; -4.00)으로 나타났으며(p<.05), 8주 이상 운동의 혈압 감소 효과는 -3.81 mmHg(95% CI, -0.88; -6.78) 통계적으로 유의하였다(p<.05)[Table 30].

[Table 30] Effect of isometric intervention on diastolic blood pressure reduction according to intervention period

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Elham Shakoor (2020)	2.130	0.869	0.756	0.426	3.834	2.450	0.014
Karla Goessler (2016)	3.500	2.142	4.589	-0.699	7.699	1.634	0.102
Tim van ASSCHE (2017)	0.300	2.849	8.115	-5.283	5.883	0.105	0.916
Luiz R. Souza ect (2018)	4.500	1.521	2.312	1.520	7.480	2.960	0.003
Random model (acute)	2.654	0.691	0.477	1.300	4.007	3.843	0.000
Anthony W. Baross (2012)	1.500	3.591	12.894	-5.538	8.538	0.418	0.676
Andrea C. Taylor (2003)	4.000	5.150	26.524	-6.094	14.094	0.777	0.437
Nikolas Pagonas (2017)	3.500	2.950	8.700	-2.281	9.281	1.187	0.235
Mark B. Badrov (2013)	6.000	4.518	20.417	-2.856	14.856	1.328	0.184
Anthony W Baross (2013)	1.900	4.528	20.500	-6.974	10.774	0.420	0.675
Eun sun Yoon (2019)	5.600	2.972	8.833	-0.225	11.425	1.884	0.060
Fixed model (chronic)	3.831	1.506	2.267	0.880	6.781	2.544	0.011

- 이질성이 높다고 판단될 경우, Random model, 낮다고 판단되는 경우, Fixed model에서 제시한 값을 적용

③ 등척성 운동 중재의 형태가 수축기 혈압 감소에 미치는 효과 (기간에 따른 비교)

본 연구에서 운동 기간(일회성 또는 8주 이상)에 따라 운동중재별 혈압감소의 차이를 비교한 결과 일회성 중재의 경우, Isometric handgrip(IHG) 연구가 3편, Isometric bench press & leg press(IBL) 연구가 1편이었다. IBL 관련 연구가 1편의 단일연구이기 때문에 향후 더 많은 자료의 수집이 필요하지만 일회성 IHG 효과크기는 0.55(95% CI, 0.17; 1.28), 일회성 IBL의 효과크기는 1.29(95% CI, 0.50;2.09)로 나타났다.

일회성 운동의 중재별 혈압감소 비교에서 IHG의 경우, 운동 후 수축기 혈압을 -4.57 mmHg(95%CI, -1.48; -8.03) 감소시키는 것으로 나타났으며(p<.05), IBL을 적용한 단일연구에서는 운동 후 수축기 혈압을 -8.86 mmHg(95% CI, -3.57; -8.30) 감소시키는 것으로 나타났다(p<.05)[Table 31].

[Table 31] Effect of isometric exercise type on systolic blood pressure reduction (acute studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Elham Shakoor (2020)	6.590	1.632	2.664	3.391	9.789	4.037	0.000
Karla Goessler (2016)	1.900	3.041	9.246	-4.060	7.860	0.625	0.532
Tim van ASSCHE (2017)	2.000	4.170	17.386	-6.172	10.172	0.480	0.631
Random model (IHG)	4.757	1.671	2.792	1.482	8.032	2.847	0.004
Rafael Reis Olher (2019)	8.860	2.640	6.970	3.686	14.034	3.356	0.001
Random model (IBL)	8.860	2.640	6.970	3.686	14.034	3.356	0.001

8주 이상 연구의 경우, 등척성 악력(Isometric handgrip; IHG) 연구는 4편, Isometric leg extension (ILE) 연구가 2편이었다. ILE 관련 연구가 2편이라 향후 더 많은 자료의 수집이 필요하지만 IHG 효과크기는 0.39(95% CI, 0.05; 0.74), IBL의 효과크기는 1.61(95% CI, 0.92;2.30)로 나타났다.

8주 이상 등척성 운동 후 중재별 혈압감소 비교에서 IHG의 경우, 운동 후 수축기 혈압을 -7.00 mmHg(95%CI, -1.88; -12.12) 감소시키는 것으로 나타났으며(p<.05), ILE의 경우, 운동 후 수축기 혈압을 -10.72 mmHg(95% CI, -6.71; -14.73) 감소시키는 것으로 나타났다(p<.05)[Table 32].

[Table 32] Effect of isometric exercise type on systolic blood pressure reduction (chronic studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Andrea C. Taylor (2003)	11.000	4.772	22.772	1.647	20.353	2.305	0.021
Nikolas Pagonas (2017)	1.400	5.167	26.697	-8.727	11.527	0.271	0.786
Mark B. Badrov (2013)	9.000	6.506	42.333	-3.752	21.752	1.383	0.167
Eun sun Yoon (2019)	6.700	4.918	24.191	-2.940	16.340	1.362	0.173
Random model (IHG)	7.005	2.614	6.834	1.881	12.129	2.680	0.007
Anthony W. Baross (2012)	10.600	2.674	7.152	5.358	15.842	3.964	0.000
Anthony W Baross (2013)	10.900	3.178	10.100	4.671	17.129	3.430	0.001
Random model (ILE)	10.724	2.046	4.187	6.714	14.735	5.241	0.000

④ 등척성 운동 중재의 형태가 이완기 혈압에 미치는 효과 (기간에 따른 비교)

본 연구에서 운동 기간(일회성 또는 8주 이상)에 따른 운동중재별 혈압감소의 차이를 비교한 결과 일회성 IHG 연구는 4편으로 효과크기는 0.59(95% CI, 0.12; 1.06)이며, 운동 후 평균차이 비교에서 IHG는 운동 후 이완기 혈압을 -2.65 mmHg(95%CI, -1.30; -4.00) 감소시키는 것으로 나타났다($p < .05$)[Table 33].

[Table 33] Effect of isometric exercise type on diastolic blood pressure reduction (acute studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Elham Shakoor (2020)	2.1300	0.8693	0.7557	0.4262	3.8338	2.4502	0.0143
Karla Goessler (2016)	3.5000	2.1422	4.5890	-0.6986	7.6986	1.6338	0.1023
Tim van ASSCHE (2017)	0.3000	2.8486	8.1147	-5.2832	5.8832	0.1053	0.9161
Luiz R. Souza ect (2018)	4.5000	1.5205	2.3120	1.5198	7.4802	2.9595	0.0031
Fixed model (IHG)	2.654	0.691	0.477	1.300	4.007	3.843	0.000

8주 이상 연구의 경우, IHG 연구는 4편, Isometric leg extension (ILE) 연구가 2편이었다. ILE 관련 연구가 2편에 그치기 때문에 향후 더 많은 자료의 수집이 필요하지만 8주 이상 IHG 효과크기는 0.44(95% CI, 0.09; 0.78), 8주 이상 ILE의 효과크기는 0.25(95% CI, -0.34; 0.85)로 나타났다.

8주 이상 등척성 운동의 중재별 혈압감소 비교에서 IHG의 경우, 운동 후 이완기 혈압을 -4.70 mmHg(95%CI, -1.21; -8.19) 유의하게 감소시킨 것으로 나타났으나(p<.05), ILE의 경우, 운동 후 이완기 혈압을 -1.65 mmHg(95% CI, -7.16; 3.86) 감소시키는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다(p>.05)[Table 34].

[Table 34] Effect of isometric exercise type on diastolic blood pressure reduction (chronic studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Andrea C. Taylor (2003)	4.000	5.150	26.524	-6.094	14.094	0.777	0.437
Nikolas Pagonas (2017)	3.500	2.950	8.700	-2.281	9.281	1.187	0.235
Mark B. Badrov (2013)	6.000	4.518	20.417	-2.856	14.856	1.328	0.184
Eun sun Yoon (2019)	5.600	2.972	8.833	-0.225	11.425	1.884	0.060
Fixed model (IHG)	4.704	1.782	3.176	1.211	8.197	2.639	0.008
Anthony W. Baross (2012)	1.500	3.591	12.894	-5.538	8.538	0.418	0.676
Anthony W Baross (2013)	1.900	4.528	20.500	-6.974	10.774	0.420	0.675
Fixed model (ILE)	1.654	2.813	7.915	-3.860	7.169	0.588	0.556

⑤ 고혈압 단계에 따른 등척성 운동의 혈압감소 효과 비교 (수축기)

고혈압 단계에 따른 수축기 혈압 감소의 차이를 비교한 결과 일회성 연구 중 고혈압 전단계 및 고혈압 성인들을 대상으로 한 연구 3편, 고혈압 성인들을 대상으로 한 연구가 1편 존재 하였으며, 고혈압 전단계와 고혈압 성인들을 혼합한 3편의 연구에서는 효과크기가 0.48(95%CI, -0.17; 1.28), 고혈압 성인들만을 대상으로 한 단일 연구에서는 1.29(95% CI, 0.50; 2.09)로 나타났다.

고혈압 전단계 환자와 고혈압 성인들을 혼합한 연구에서는 일회성 등척성 운동이 수축기 혈압을 -4.75 mmHg(95%CI, -1.48; -8.03) 감소 시켰으며(p<.05), 고혈압 성인들만을 대상으로 실시한 단일 연구에서는 등척성 운동이 수축기 혈압을 -8.86 mmHg(95% CI, -3.68; -14.03) 감소시키는 것으로 나타났다(p<.05) [Table 35].

[Table 35] Comparison of systolic blood pressure reduction of isometric exercise by hypertension phase (acute studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Elham Shakoor (2020)	6.590	1.632	2.664	3.391	9.789	4.037	0.000
Karla Goessler (2016)	1.900	3.041	9.246	-4.060	7.860	0.625	0.532
Tim van ASSCHE (2017)	2.000	4.170	17.386	-6.172	10.172	0.480	0.631
Random model (Mixed)	4.757	1.671	2.792	1.482	8.032	2.847	0.004
Rafael Reis Olher (2019)	8.860	2.640	6.970	3.686	14.034	3.356	0.001
Fixed model (Hypertension)	8.860	2.640	6.970	3.686	14.034	3.356	0.001

8주 이상 연구들 중 고혈압 성인들을 대상으로 한 연구는 4편, 고혈압 전단계 성인들을 대상으로 한 연구는 2편으로 각 효과크기는 고혈압 성인 대상이 0.30(95% CI, 0.05; 0.74), 고혈압 전단계 성인 대상이 1.61(95% CI, 0.92;2.30)로 나타났다.

8주 이상의 등척성 운동은 고혈압 성인의 수축기 혈압을 - 7.00 mmHg(95%CI, -1.88; -12.12) 감소시키는 것으로 나타났으며(p<.05), 고혈압 전단계 성인의 수축기 혈압을 - 10.72 mmHg(95% CI, -6.71; -14.73) 감소시키는 것으로 나타났다(p<.05) [Table 36].

[Table 36] Comparison of systolic blood pressure reduction of isometric exercise by hypertension phase (chronic studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Andrea C. Taylor (2003)	11.000	4.772	22.772	1.647	20.353	2.305	0.021
Nikolas Pagonas (2017)	1.400	5.167	26.697	-8.727	11.527	0.271	0.786
Mark B. Badrov (2013)	9.000	6.506	42.333	-3.752	21.752	1.383	0.167
Eun sun Yoon (2019)	6.700	4.918	24.191	-2.940	16.340	1.362	0.173
Fixed model (Hypertension)	7.005	2.614	6.834	1.881	12.129	2.680	0.007
Anthony W. Baross (2012)	10.600	2.674	7.152	5.358	15.842	3.964	0.000
Anthony W Baross (2013)	10.900	3.178	10.100	4.671	17.129	3.430	0.001
Fixed model (Pre-hypertension)	10.724	2.046	4.187	6.714	14.735	5.241	0.000

⑥ 고혈압 단계에 따른 등척성 운동의 혈압감소 효과 비교 (이완기)

고혈압 단계에 따른 이완기 혈압 감소의 차이를 비교한 결과 일회성 연구 중 고혈압 전단계 및 고혈압 성인들을 대상으로 한 연구 3편, 고혈압 성인들만을 대상으로 한 연구가 1편 존재 하였으며, 고혈압 전단계와 고혈압 성인들을 혼합한 3편의 연구에서는 효과크기가 0.44(95%CI, 0.06; 0.83), 고혈압 성인들만을 대상으로 한 연구에서는 1.26(95% CI, 0.34; 2.19)로 나타났다.

고혈압 전단계 환자와 고혈압 성인들을 혼합한 연구에서는 일회성 운동이 이완기 혈압을 -2.17 mmHg(95%CI, -0.65; -3.69) 감소 시켰으며($p < .05$), 고혈압 성인들만을 대상으로 실시한 단일 연구에서는 운동 후 이완기 혈압을 -4.50 mmHg(95% CI, -1.52; -7.48) 감소시키는 것으로 나타났다($p < .05$)[Table 37].

[Table 37] Comparison of diastolic blood pressure reduction of isometric exercise by hypertension phase (acute studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Elham Shakoor (2020)	2.130	0.869	0.756	0.426	3.834	2.450	0.014
Karla Goessler (2016)	3.500	2.142	4.589	-0.699	7.699	1.634	0.102
Tim van ASSCHE (2017)	0.300	2.849	8.115	-5.283	5.883	0.105	0.916
Fixed model (Mixed)	2.174	0.775	0.601	0.655	3.693	2.805	0.005
Luiz R. Souza ect (2018)	4.500	1.521	2.312	1.520	7.480	2.960	0.003
Fixed model (Hypertension)	4.500	1.521	2.312	1.520	7.480	2.960	0.003

8주 이상 연구들 중 고혈압 성인들을 대상으로 한 연구는 4편, 고혈압 전단계 성인들을 대상으로 한 연구는 2편으로 각 효과크기는 고혈압 성인 대상이 0.44(95% CI, 0.09; 0.78), 고혈압 전단계 성인 대상이 0.25(95% CI, -0.34; 0.85)로 나타났다.

8주 이상의 등척성 운동은 고혈압 성인의 이완기 혈압을 -4.70 mmHg(95%CI, -1.21; -8.19) 감소시키는 것으로 나타났으며($p < .05$), 고혈압 전단계 성인의 이완기 혈압을 -1.65 mmHg(95% CI, -7.16; 3.86) 감소시키는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다($p > .05$) [Table 38].

[Table 38] Comparison of diastolic blood pressure reduction of isometric exercise by hypertension phase (chronic studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Andrea C. Taylor (2003)	4.000	5.150	26.524	-6.094	14.094	0.777	0.437
Nikolas Pagonas (2017)	3.500	2.950	8.700	-2.281	9.281	1.187	0.235
Mark B. Badrov (2013)	6.000	4.518	20.417	-2.856	14.856	1.328	0.184
Eun sun Yoon (2019)	5.600	2.972	8.833	-0.225	11.425	1.884	0.060
Fixed model (Hypertension)	4.704	1.782	3.176	1.211	8.197	2.639	0.008
Anthony W. Baross (2012)	1.500	3.591	12.894	-5.538	8.538	0.418	0.676
Anthony W Baross (2013)	1.900	4.528	20.500	-6.974	10.774	0.420	0.675
Fixed model (Pre-hypertension)	1.654	2.813	7.915	-3.860	7.169	0.588	0.556

⑦ 연령대에 따른 수축기 혈압감소 효과 비교 (기간에 따른 비교)

연령에 따른 수축기 혈압 감소의 차이를 비교한 결과 일회성 연구 중 40~50대 연령을 대상으로 한 연구가 3편, 60~70대 연령을 대상으로 1편의 단일연구가 존재 하였으며, 40~50대 연령을 대상으로 한 3편의 연구에서는 효과크기가 0.93(95%CI, 0.45; 1.32), 60~70대 연령을 대상으로 한 단일 연구에서는 0.19(95% CI, -0.40; 0.78)로 나타났다.

40~50대 연령을 대상으로 3편의 연구에서 일회성 운동은 수축기 혈압을 -6.69 mmHg(95%CI, -4.11; -9.27) 감소시켰으며($p < .05$), 60~70대 연령을 대상으로 실시한 1편의 단일 연구에서는 운동 후 수축기 혈압을 -1.90 mmHg(95% CI, -7.86; 4.06) 감소시키는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다($p > .05$)[Table 39].

[Table 39] Comparison of systolic blood pressure reduction by ages (acute studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Elham Shakoor (2020)	6.59	1.632	2.664	3.391	9.789	4.037	0.000
Rafael Reis Olher (2019)	8.86	2.640	6.970	3.686	14.034	3.356	0.001
Tim van ASSCHE (2017)	2	4.170	17.386	-6.172	10.172	0.480	0.631
Random model (40~50)	6.69701	1.317	1.735	4.115	9.279	5.084	0.000
Karla Goessler (2016)	1.90	3.041	9.246	-4.060	7.860	0.625	0.532
Fixed model (60~70)	1.90	3.041	9.246	-4.060	7.860	0.625	0.532

8주 이상 연구들 중 40~50대 연령을 대상으로 한 연구는 2편, 60~70대 연령을 대상으로 한 연구는 4편으로 각 효과크기는 40~50대 연령이 1.61(95% CI, 0.92; 2.30), 60~70대 연령이 0.39 (95% CI, -0.05; 0.74)로 나타났다.

40~50대 연령을 대상으로 한 2편의 연구에서 일회성 운동은 수축기 혈압을 -10.72 mmHg(95%CI, -6.71; -14.75) 감소시켰으며(p<.05), 60~70대 연령을 대상으로 실시한 4편의 연구에서는 운동 후 수축기 혈압을 -7.0 mmHg(95% CI, -1.88; -12.12) 감소시키는 것으로 나타났다(p<.05)[Table 40].

[Table 40] Comparison of systolic blood pressure reduction by ages (chronic studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Anthony W. Baross (2012)	10.600	2.674	7.152	5.358	15.842	3.964	0.000
Anthony W Baross (2013)	10.900	3.178	10.100	4.671	17.129	3.430	0.001
Fixed model (40~50 Ages)	10.724	2.046	4.187	6.714	14.735	5.241	0.000
Andrea C. Taylor (2003)	11.000	4.772	22.772	1.647	20.353	2.305	0.021
Nikolas Pagonas (2017)	1.400	5.167	26.697	-8.727	11.527	0.271	0.786
Mark B. Badrov (2013)	9.000	6.506	42.333	-3.752	21.752	1.383	0.167
Eun sun Yoon (2019)	6.700	4.918	24.191	-2.940	16.340	1.362	0.173
Fixed model (60~70 Ages)	7.005	2.614	6.834	1.881	12.129	2.680	0.007

⑧ 연령대에 따른 이완기 혈압감소 효과 비교 (기간에 따른 비교)

연령에 따른 이완기 혈압 감소의 차이를 비교한 결과 일회성 연구 중 40~50대 연령을 대상으로 한 연구가 2편, 60~70대 연령을 대상으로 한 연구가 2편 존재 하였으며, 40~50대 연령을 대상으로 한 2편의 연구에서는 효과크기가 0.42(95%CI, -0.08; 0.92), 60~70대 연령을 대상으로 한 단일 연구에서는 0.79(95% CI, 0.04; 1.54)로 나타났다.

40~50대 연령을 대상으로 2편의 연구에서 일회성 운동은 이완기 혈압을 -1.97 mmHg(95%CI, -0.34; -3.60) 감소시켰으며(p<.05), 60~70대 연령을 대상으로 실시한 2편의 연구에서는 운동 후 수축기 혈압을 -4.16 mmHg(95% CI, -1.73; -6.59) 감소시키는 것으로 나타났다(p<.05)[Table 41].

[Table 41] Comparison of diastolic blood pressure reduction by ages (acute studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Elham Shakoor (2020)	2.130	0.869	0.756	0.426	3.834	2.450	0.014
Tim van ASSCHE (2017)	0.300	2.849	8.115	-5.283	5.883	0.105	0.916
Random model (40~50 Ages)	1.974	0.831	0.691	0.344	3.604	2.374	0.018
Karla Goessler (2016)	3.500	2.142	4.589	-0.699	7.699	1.634	0.102
Luiz R. Souza ect (2018)	4.500	1.521	2.312	1.520	7.480	2.960	0.003
Random model (60~70 Ages)	4.165	1.240	1.537	1.735	6.595	3.359	0.001

8주 이상 연구들 중 40~50대 연령을 대상으로 한 연구는 2편, 60~70대 연령을 대상으로 한 연구는 4편으로 각 효과크기는 40~50대 연령이 0.25(95% CI, -0.85; 0.34), 60~70대 연령이 0.44(95% CI, 0.09; 0.78)로 나타났다.

40~50대 연령을 대상으로 한 2편의 연구에서 일회성 운동은 이완기 혈압을 -1.65 mmHg(95%CI, -7.16; 3.86) 감소시켰으나 유의하지 않은 것으로 나타났으며($p>.05$), 60~70대 연령을 대상으로 실시한 4편의 연구에서는 운동 후 이완기 혈압을 -4.70 mmHg(95% CI, -1.21; -8.19) 감소시키는 것으로 나타났다($p<.05$)[Table 42].

[Table 42] Comparison of diastolic blood pressure reduction by ages (chronic studies)

Study	Difference in means	Standard error	variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	P-value
Anthony W. Baross (2012)	1.500	3.591	12.894	-5.538	8.538	0.418	0.676
Anthony W Baross (2013)	1.900	4.528	20.500	-6.974	10.774	0.420	0.675
Fixed model (40~50 Ages)	1.654	2.813	7.915	-3.860	7.169	0.588	0.556
Andrea C. Taylor (2003)	4.000	5.150	26.524	-6.094	14.094	0.777	0.437
Nikolas Pagonas (2017)	3.500	2.950	8.700	-2.281	9.281	1.187	0.235
Mark B. Badrov (2013)	6.000	4.518	20.417	-2.856	14.856	1.328	0.184
Eun sun Yoon (2019)	5.600	2.972	8.833	-0.225	11.425	1.884	0.060
Fixed model (60~70 Ages)	4.704	1.782	3.176	1.211	8.197	2.639	0.008

4. 논 의

본 연구는 메타분석을 통해 등척성 운동이 고혈압 전단계 및 고혈압 성인과 노인의 심혈관 변수에 미치는 일회성 및 만성적인 영향을 확인하기 위한 것으로 무작위 대조군 실험설계 연구(Randomized controlled trial; RCT)와 교차설계(crossover design) 연구들만을 대상으로 메타분석을 실시하여 일회성 및 8주 이상 장기간 등척성 운동중재의 혈압 감소 효과에 대한 효과크기 및 평균차이를 비교·분석하기 위해 실시되었다.

본 연구에서 선정된 문헌들의 결과를 종합해 본 결과, 10개의 연구(일회성 운동 4편, 장기간 운동 6편)에서 약 328명을 대상으로 실시한 등척성 운동은 수축기 혈압을 -7.15 mmHg, 이완기 혈압을 -2.58 mmHg 감소시키는 것으로 나타났다. 이것을 운동 기간별로 세분화하여 확인해 본 결과 일회성 등척성 운동이 수축기 혈압(Systolic blood pressure; SBP)과 이완기 혈압(Diastolic blood pressure; DBP)을 각각 $-5.7/-2.7$ mmHg 만큼, 장기간 운동(8주 이상)이 SBP와 DBP를 $-9.3/-3.8$ mmHg 만큼 감소시킨 것으로 나타났는데 이는 장기간 뿐 아니라 일회성 등척성 운동도 혈압감소에 있어 유의한 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

선행연구에 따르면, 일회성 운동의 누적은 심혈관 항상성을 향상시킬 뿐 아니라 운동의 장기효과를 예측하는데 도움을 제공할 수 있다고 보고한 바 있는데(Cardoso Jr et al., 2010; da Nobrega, 2005; Liu, Goodman, Nolan, Lacombe, & Thomas, 2012; Moreira, Cucato, Terra, & Ritti Dias, 2016; Somani et al., 2018) 본 연구에서 기간에 따른 혈압감소 효과를 비교한 결과, 일회성 운동 보다 장기간 운동에서 SBP와 DBP가 더 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Sergio R. Moreira(2016) 등의 연구에서 제시한 일회성 및 장기간 운동의 혈압감소 양상 및 선행 메타분석의 결과와 매우 유사하며(Inder et al., 2016; Moreira et al., 2016), 운동 후 1주차부터 점진적으로 혈압이 감소하여 약 6주 이후부터 유의한

수준으로 감소한다는 Taylor(2003) 등의 연구(Taylor, McCartney, Kamath, & Wiley, 2003), 그리고 등척성 운동의 혈압감소가 약 -10.9/-6.2mmHg로 본 연구결과와 유사하게 효과가 보고된 메타분석 결과들과 유사하여 등척성 운동의 참여 기간이 증가함에 따라 일정 수준까지 혈압의 감소효과가 더 크게 나타날 수 있음을 확인하였다(Cornelissen & Smart, 2013).

기간에 따라 중재별 혈압감소 비교에서 상지 국소부 위를 사용하는 일회성 등척성 악력(Isometric handgrip; IHG)은 약 4편으로 SBP와 DBP를 각각 -4.8/-2.7 mmHg 감소시켰고, 상·하체 대근육을 사용하는 Isometric leg press와 bench press 동작에서는 SBP를 -8.9 mmHg로 크게 감소시키는 것으로 나타났으나 대근육 부위의 연구가 단 한편의 연구에 그쳐 객관성 있는 결과를 얻기에는 어려움이 존재하였다. 장기간 등척성 운동의 경우, IHG 연구가 4편, Isometric leg extension(ILE, knee extension과 동일) 연구가 단 2편으로 현재까지 향후 하체 대근육 부위에 대한 연구가 추가적으로 필요하나 IHG는 SBP와 DBP를 -7.0/-4.7 mmHg, ILE은 SBP와 DBP를 각각 -10.7/-1.7 mmHg 감소시켜 대근육을 사용한 부위에서 상대적으로 더 큰 혈압의 감소효과가 나타났다.

Inder (2016) 등의 메타분석에 따르면, ILE에 비해 IHG에서 더 큰 감소효과가 있다고 본 연구의 결과와 상반된 결과를 제시한 바 있으나(Inder et al., 2016) 해당 연구에서 고혈압 환자의 비율이 IHG 중재에 더 치우쳐 있는 경향이 있어 향후 더 객관적인 비교가 필요할 것으로 판단되는 부분이 존재 하였으며, Millar (2014) 등의 연구에서도 IHG이 ILE에 비해 혈압을 낮추었다고 보고했으나 IHG의 경우 대부분 최대 근수축력(Maximal voluntary contraction; MVC)의 30%강도로 실시한 반면, ILE의 경우 주로 20% MVC 수준에 해당하는 강도로 실시하여 상대적 강도가 일치하지 않았다고 보고하면서 후속 연구를 통해 더 정확한 비교가 필요할 것으로 사료되었다(Millar, McGowan, Cornelissen, Araujo, & Swaine, 2014). 반면, 본 연구의 경우 고혈압 전단계 및 고혈압 환자만으로 대상으로 분석을

실시한 점, 추후 연구가 더 필요하나 선행연구에서 주로 6~10주 이상 수행 시 혈압에 유의하게 감소하는 IHG에 비해 더 큰 근육을 동원하는 ILE에서 더 짧은 시간 내에(약 4주) 유의한 혈압 감소효과가 나타난 점 (López-Valenciano, Ruiz-Pérez, Ayala, Sánchez-Meca, & Vera-Garcia, 2019; Taylor et al., 2003; Jonathan Derek Wiles, Coleman, & Swaine, 2010; Jonathan D Wiles, Goldring, & Coleman, 2017), 그리고 Gill, Kyle F(2015) 등의 등척성 연구에서도 운동강도가 더 증가할수록 혈압감소가 크게 나타난다고 보고한 점 등을 근거로 할 때 본 연구 결과와 일치하는 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료되었다(Gill et al., 2015).

고혈압 단계에 따른 비교에서 고혈압 전단계 및 고혈압 모두를 대상으로 한 일회성 등척성 연구는 3편으로 SBP, DBP를 각각 $-4.8/-2.1$ mmHg 감소시켰으며, 고혈압 대상만을 참여자로 선정한 연구는 단 1편에 제한되어 있어 추후 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 장기간 등척성 연구에서 고혈압 대상 연구는 총 4편으로 혈압을 $-7.0/-4.7$ mmHg로 일회성 운동보다 더 크게 감소시켰으며, 추후 연구가 더 필요하나 고혈압 전단계를 대상으로 한 2편의 연구에서는 등척성 운동이 혈압을 $-10.7/1.6$ mmHg 감소시키는 것으로 나타났으며 유의한 감소효과는 수축기 혈압에서만 있는 것으로 나타났다.

Inder (2016) 등의 메타분석에서 등척성 운동은 남자, 45세 이상, 그리고 고혈압 대상에서 혈압을 잘 감소시킨다고 보고한 반면 Carpio-Rivera(2016) 등의 연구에서는 약물을 복용하지 않는 남성에게서 혈압이 더 크게 감소함을 시사한 바 있다(Carpio-Rivera, Moncada-Jiménez, Salazar-Rojas, & Solera-Herrera, 2016). 등척성 운동의 메커니즘에 관한 Philip J. Millar (2014) 등의 연구에 따르면, 등척성 운동 후 안정시 혈압을 감소시키는 메커니즘은 심박출량과 전체 말초 저항을 결정하는 인자에 영향을 미쳐야 한다고 하였는데, 약물을 복용하는 고혈압 환자에게서 운동 후 더 낮은 혈압 감소의 반응성은 약리학적 치료효과와 운동효과의 잠재적 중복이 있을 수 있음을 시사한 바 있다(Millar et al., 2014). 본 연구에서

분석된 4편의 고혈압 대상 연구들은 모두 약물을 복용 중인 성인 및 노인들을 대상으로 했기 때문에 상대적으로 약을 복용하지 않는 고혈압 전단계에서 더 큰 혈압 감소 효과가 있었을 가능성을 배제할 수 없다. 더욱이, 장기간 등척성 연구에서 고혈압 전단계를 대상으로 한 연구는 단 2편으로 매우 부족한 편에 해당하는데 2편의 연구 모두 ILE을 사용하였기 때문에 중재의 특성으로 인한 차이의 가능성 또한 배제할 수 없어 추후 더 많은 연구를 기반으로 한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

연령대에 따른 기간별 비교에서 40~50대를 대상으로 한 일회성 등척성 연구는 3편으로 SBP, DBP를 각각 $-6.7/-1.9$ mmHg 감소시켰고, 60~70대를 대상으로 DBP를 -4.2 mmHg 감소시켰으나 SBP에 관한 연구는 1편에 제한되어 추후 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 장기간 등척성 연구에서 40~50대를 대상으로 한 연구는 2편으로 추후 연구가 더 필요할 것으로 판단되나 SBP -10.7 mmHg를 감소시킨 반면 DBP에서는 유의하지 않았고, 60~70대의 경우, SBP, DBP를 각각 $-7.0/-4.7$ mmHg 감소시킨 것으로 나타났다.

López-Valenciano(2019)등의 등척성 메타분석 연구에 따르면, 약 21편의 연구에서(López-Valenciano et al., 2019) 45세 이상 성인에서 운동 후 SBP가 더 크게 감소한 반면, DBP에서는 45세 이하 집단에서 더 크게 감소하였는데 이는 Inder (2016) 등의 메타분석 연구결과와 동일하게 나타났다(Inder et al., 2016; López-Valenciano et al., 2019). 선행 메타분석들과 달리 본 연구에서는 40~50대에서 SBP의 감소가 더 크게 나타나고, DBP는 더 적게 감소하고 유의하지 않은 것으로 나타났는데 이는 아마도 본 연구에서 선정한 40~50대 연령의 등척성 연구 2편이 모두 ILE 중재로 구성되어 있어 주로 IHG을 사용하여 분석한 선행 연구들과 상이한 결과를 나타낼 수 있었을 것으로 판단되며 향후 후속 연구들을 통해 나이에 따른 분석 시 중재법이나 프로토콜 등을 정확하게 분류 및 매칭시켜 분석하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

5. 결론 및 제언

1) 결 론

본 연구에서 무작위 대조군 실험연구 및 교차설계 연구를 기반으로 고혈압 전단계 및 고혈압 성인·노인들을 대상으로 등척성 운동의 혈압 감소 효과를 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 일회성 등척성 운동과 장기간 등척성 운동 모두 운동 후 안정시 혈압 감소에 유의한 효과가 존재하였으며, 일회성 운동보다 장기간 운동에서 혈압감소 효과가 더 큰 것으로 나타나 본 연구의 가설과 일치하는 결과를 보여주었다.

둘째, 장기간 등척성 운동에서 하지 대근육을 사용하는 Isometric leg extension (=Isometric knee exetension) 운동이 상지 소근육을 사용하는 Isometric handgrip 중재와 비교하여 혈압을 더 크게 감소시키는 것으로 나타났다.

셋째, 장기간 등척성 운동은 고혈압과 고혈압 전단계 성인 및 노인의 수축기 혈압을 유의하게 낮추었으며, 약물을 복용하지 않는 고혈압 전단계 성인 및 노인에서 감소효과가 더 큰 것으로 나타났다.

2) 제 언

본 연구의 결과를 토대로 후속연구를 위해 다음과 같이 제언하고자 한다.

첫째, 본 메타분석에서는 연구의 자격기준에 부합하는 11편의 연구를 기반으로 고혈압 전단계 및 고혈압 성인과 노인의 혈압감소 효과를 비교하였으나 더 객관적이고 일반화 할 수 있는 결론을 위해서는 더 많은 연구 자료의 수집을 통한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

둘째, 현재 대부분의 등척성 운동 프로토콜은 유사한 것으로 판단되나 각 연구 결과에서 제시하는 운동 후 혈압의 측정시간이 연구마다 상이한 경향이 존재하였다. 따라서, 향후 더 정확한 정밀한 분석을 위해서는 운동 프로토콜 뿐 아니라 연구의 선정기준(또는 자격기준)에서 측정시간을 고려하여 분석하는 것이 더 정확한 이해를 도울 것으로 사료된다.

6. 참 고 문 헌

- 보건복지부. (2019). 2018 국민건강 통계: 국민건강영양조사 제 7기 3차년도(2018). 보건복지부 건강정책과, 0-388.
- 윤은선, 추진아, 김장영, & 제세영. (2019). 노인 고혈압 환자에서 등척성 악력운동과 유산소 운동의 동맥경직도 및 혈관이완능 개선에 미치는 효과 비교. [Effects of Isometric Handgrip Exercise versus Aerobic Exercise on Arterial Stiffness and Brachial Artery Flow-Mediated Dilation in Older Hypertensive Patients]. *대한스포츠의학회지*, 37(4), 162-170. doi:10.5763/kjism.2019.37.4.162
- 홍세희. (2013). 메타분석의 이론과 적용. 서울: 에스앤엠 리서치 그룹.
- Badrov, M. B., Horton, S., Millar, P. J., & McGowan, C. L. (2013). Cardiovascular stress reactivity tasks successfully predict the hypotensive response of isometric handgrip training in hypertensives. *Psychophysiology*, 50(4), 407-414. doi:10.1111/psyp.12031
- Baross, A. W., Wiles, J. D., & Swaine, I. L. (2012). Effects of the Intensity of Leg Isometric Training on the Vasculature of Trained and Untrained Limbs and Resting Blood Pressure in Middle-Aged Men. *International Journal of Vascular Medicine*, 2012, 964697. doi:10.1155/2012/964697
- Baross, A. W., Wiles, J. D., & Swaine, I. L. (2013). Double-leg isometric exercise training in older men. *Open access journal of sports medicine*, 4, 33. doi:10.2147/OAJSM.S39375
- Cardoso Jr, C. G., Gomides, R. S., Queiroz, A. C. C., Pinto, L. G., Lobo, F. d. S., Tinucci, T., . . . Forjaz, C. L. d. M. (2010). Acute and chronic effects of aerobic and resistance exercise on ambulatory blood pressure. *Clinics*, 65(3), 317-325.

doi:10.1590/S1807-59322010000300013

- Carlson, D. J., Dieberg, G., Hess, N. C., Millar, P. J., & Smart, N. A. (2014). *Isometric exercise training for blood pressure management: a systematic review and meta-analysis*. Paper presented at the Mayo Clinic Proceedings.
- Carpio-Rivera, E., Moncada-Jiménez, J., Salazar-Rojas, W., & Solera-Herrera, A. (2016). Acute effects of exercise on blood pressure: a meta-analytic investigation. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, *106*(5), 422-433.
- Cooper, H. (2015). *Research synthesis and meta-analysis: A step-by-step approach* (Vol. 2): Sage publications.
- Cornelissen, V. A., & Smart, N. A. (2013). Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta analysis. *Journal of the American Heart Association*, *2*(1), e004473. doi:10.1161/JAHA.112.004473
- da Nobrega, A. C. L. (2005). The subacute effects of exercise: concept, characteristics, and clinical implications. *Exercise and sport sciences reviews*, *33*(2), 84-87. doi:0091-6331/3302/84 - 87
- Duval, S., & Tweedie, R. (2000). Trim and fill: a simple funnel plot - based method of testing and adjusting for publication bias in meta analysis. *Biometrics*, *56*(2), 455-463. doi:10.1111/j.0006-341X.2000.00455.x|
- Gill, K. F., Arthur, S. T., Swaine, I., Devereux, G. R., Huet, Y. M., Wikstrom, E., . . . Howden, R. (2015). Intensity-dependent reductions in resting blood pressure following short-term isometric exercise training. *Journal of Sports Sciences*, *33*(6), 616-621. doi:10.1080/02640414.2014.953979
- Goessler, K., Buys, R., & Cornelissen, V. (2016). LOW INTENSITY ISOMETRIC HANDGRIP EXERCISE HAS NO TRANSIENT

EFFECT ON BLOOD PRESSURE IN PATIENTS WITH CORONARY ARTERY DISEASE. *Journal of hypertension*, 34, E350–E351. doi:10.1097/01.hjh.0000492371.20231.2f

Heater, B. S., Becker, A., & Olson, R. K. (1988). Nursing interventions and patient outcomes: a meta-analysis of studies. *Nursing research*, 37(5), 303–307.

Higgins, J. P., & Thompson, S. G. (2002). Quantifying heterogeneity in a meta analysis. *Statistics in medicine*, 21(11), 1539–1558. doi:10.1002/sim.1186

Inder, J. D., Carlson, D. J., Dieberg, G., McFarlane, J. R., Hess, N. C., & Smart, N. A. (2016). Isometric exercise training for blood pressure management: a systematic review and meta-analysis to optimize benefit. *Hypertension Research*, 39(2), 88–94. doi:10.1038/hr.2015.111

Liu, S., Goodman, J., Nolan, R., Lacombe, S., & Thomas, S. G. (2012). Blood pressure responses to acute and chronic exercise are related in prehypertension. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(9), 1644–1652. doi:10.1249/MSS.0b013e31825408fb

López-Valenciano, A., Ruiz-Pérez, I., Ayala, F., Sánchez-Meca, J., & Vera-García, F. J. (2019). Updated systematic review and meta-analysis on the role of isometric resistance training for resting blood pressure management in adults. *Journal of hypertension*, 37(7), 1320–1333. doi:10.1097/hjh.0000000000002022

Millar, P. J., McGowan, C. L., Cornelissen, V. A., Araujo, C. G., & Swaine, I. L. (2014). Evidence for the Role of Isometric Exercise Training in Reducing Blood Pressure: Potential Mechanisms and Future Directions. *Sports Medicine*, 44(3), 345–356. doi:10.1007/s40279-013-0118-x

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Group, P.

- (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS med*, 6(7), e1000097. doi:10.1371/journal.pmed.1000097
- Moreira, S. R., Cucato, G. G., Terra, D. F., & Ritti Dias, R. M. (2016). Acute blood pressure changes are related to chronic effects of resistance exercise in medicated hypertensives elderly women. *Clinical physiology and functional imaging*, 36(3), 242–248. doi:10.1111/cpf.12221
- Olher, R. d. R. V., Bocalini, D. S., Bacurau, R. F., Rodriguez, D., Figueira Jr, A., Pontes Jr, F. L., . . . Moraes, M. R. (2013). Isometric handgrip does not elicit cardiovascular overload or post-exercise hypotension in hypertensive older women. *Clinical interventions in aging*, 8, 649. doi:10.2147/CIA.S40560
- Olher, R. R., Rosa, T. S., Souza, L. H. R., Oliveira, J. F., Soares, B. R. A., Ribeiro, T. B. A., . . . Moraes, M. R. (2020). Isometric Exercise with Large Muscle Mass Improves Redox Balance and Blood Pressure in Hypertensive Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(5), 1187–1195. doi:10.1249/mss.0000000000002223
- Pagonas, N., Vlatsas, S., Bauer, F., Seibert, F. S., Zidek, W., Babel, N., . . . Westhoff, T. H. (2017). Aerobic versus isometric handgrip exercise in hypertension: a randomized controlled trial. *Journal of hypertension*, 35(11), 2199–2206. doi:10.1097/hjh.0000000000001445
- Physical Activity Guidelines Advisory Committee. (2018). 2018 physical activity guidelines advisory committee scientific report. In: : US Department of Health and Human Services.
- Porro, T., Colombo, F., Azzola, F., Orlandi, L., Merati, M., & Libretti, A. (1995). Diurnal blood pressure variability in essential

- hypertension and vascular reactivity to isometric stress. *Journal of human hypertension*, 9(5), 329–335.
- Shakoor, E., Salesi, M., Daryanoosh, F., & Izadpanah, P. (2020). Effect of Acute High-Intensity Interval Training and Isometric Handgrip Exercise on Hemodynamic Responses in Hypertensive Women. *Women's Health Bulletin*, 7(3), 60–69. doi:10.30476/whb.2020.86948.1063
- Somani, Y. B., Baross, A. W., Brook, R. D., Milne, K. J., McGowan, C. L., & Swaine, I. L. (2018). Acute response to a 2-minute isometric exercise test predicts the blood pressure-lowering efficacy of isometric resistance training in young adults. *American journal of hypertension*, 31(3), 362–368. doi:10.1093/ajh/hpx173
- Souza, L. R., Vicente, J. B., Melo, G. R., Moraes, V. C., Olher, R. R., Sousa, I. C., . . . Moraes, M. R. (2018). Acute Hypotension After Moderate-Intensity Handgrip Exercise in Hypertensive Elderly People. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(10), 2971–2977. doi:10.1519/jsc.0000000000002460
- Taylor, A. C., McCartney, N., Kamath, M. V., & Wiley, R. L. (2003). Isometric training lowers resting blood pressure and modulates autonomic control. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(2), 251–256. doi:10.1249/01.Mss.0000048725.15026.B5
- van Assche, T., Buys, R., de Jaeger, M., Coeckelberghs, E., & Cornelissen, V. A. (2017). One single bout of low-intensity isometric handgrip exercise reduces blood pressure in healthy pre- and hypertensive individuals. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(4), 469–475. doi:10.23736/s0022-4707.16.06239-3
- Whelton, P. K., Carey, R. M., Aronow, W. S., Casey, D. E., Collins,

- K. J., Himmelfarb, C. D., . . . Jones, D. W. (2018). 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/P CNA guideline for the prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(19), e127-e248. doi:10.1016/j.jacc.2017.11.006
- Wiles, J. D., Coleman, D. A., & Swaine, I. L. (2010). The effects of performing isometric training at two exercise intensities in healthy young males. *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 419-428. doi:10.1007/s00421-009-1025-6
- Wiles, J. D., Goldring, N., & Coleman, D. (2017). Home-based isometric exercise training induced reductions resting blood pressure. *European Journal of Applied Physiology*, 117(1), 83-93. doi:10.1007/s00421-016-3501-0

Abstract

The Effect of Acute Isometric Exercise on Adults and Elders' Blood Pressure Suffering Prehypertension or Hypertension

Kim, Joonsik

Doctor of Philosophy in Sport Science

Department of Physical Education

The Graduate School

Seoul National University

Purpose : The purpose of this study is to identify the proper exercise intensity of isometrics squat, which can be performed without tools, and to identify post exercise hypotension effects of isometric squat compared to isometric handgrip, isometric leg extension, and aerobic exercise which the most recommended exercise in pre-hypertension and in existing studies. In addition, through meta-analysis, this study aim to investigate the effect of acute

isometric exercise on resting blood pressure reduction effect and to detect any differences in effect of long-term isometric exercise.

Method : In order to achieve the purpose of this study, three detailed studies were conducted, and each study method is as follows.

The first study was a randomized crossover study design. 13 pre-hypertensive and hypertensive adult males were assigned to 4 interventions (isometric handgrip, isometric leg extension, isometric squat and usual care) in random order. To eliminate the carryover effect of exercise interventions, all participants had a 1-week washout period between exercise interventions. All participants had a practice period to become familiar with the isometric exercise protocols and visited the laboratory for total 5 weeks at 1-week intervals. Resting blood pressure and arterial stiffness were measured before exercise, and then blood pressure, heart rate and rating of perceived exertion during exercise. Lastly, arterial stiffness was measured after exercise. After that, ambulatory blood pressure and physical activity level were measured for 8 hours thereafter. An independent t-test was used to compare energy consumption between exercise interventions, and repeated measures ANOVA and Bonferroni post hoc were performed to verify the effectiveness of each exercise intervention and period.

The Second study was a randomized crossover study design. 16 pre-hypertensive and hypertensive middle-aged and elderly women were assigned to 3 interventions (isometric squat, aerobic exercise and usual care) in random order. To eliminate the carryover effect of exercise interventions, all participants had a 1-week washout period between exercise interventions. All participants had a practice period to become familiar with the both exercise protocols and visited the laboratory for total 5 weeks at 1-week intervals. Before exercise, all

participants were measured resting blood pressure, arterial stiffness. And then we measured arterial stiffness after exercise. After that, ambulatory blood pressure and physical activity level were measured for 8 hours thereafter. Repeated measures ANOVA and Bonferroni post hoc were performed to verify the effectiveness of each exercise intervention and period.

The third study is a meta-analysis study. the acute and chronic effect of isometric exercise on blood pressure in prehypertensive and hypertensive adult and elderly. RCT and crossover design studies published in Korean and English were selected by searching through the “Pubmed”, “Science of Direct”, “Google scholar”, “Web of science”, and “Cochrane Library”, which are search source for foreign journal and “Koranstudies Information Service System”, “Research Information Sharing Service” which are search sources for domestic journals. Comprehensive Meta-Analysis version 3 was used for analysis of the 11 finally selected literatures. The corrected effect size (Hedges’s g) and the average difference value was calculated. For the evaluation of publication bias between studies, the final analysis was performed after evaluation using the Funnel plot, the values of the Student residual and Jackknifed residual, and Trim and Fill methods.

Results : First, as a result of performing acute isometric exercises in 13 prehypertensive and hypertensive men, the acute isometric exercises significantly increased heart rate and blood pressure compared to Usual care. In addition, as the muscle area used for exercise increased, the heart rate and blood pressure increased more, but side effects did not occur. In the comparison of the blood

pressure reduction effect of isometric exercise by interventions, it was shown that acute isometric exercises reduced post-exercise blood pressure and arterial stiffness. Also, the larger the muscle area used during exercise, the greater the post-exercise blood pressure decreased.

Second, as a result of acute isometric squat and aerobic exercise in 16 prehypertensive and hypertensive middle and elderly women, both exercise decreased arterial stiffness significantly. In addition, Isometric squat reduced ambulatory blood pressure for 4 hours and aerobic exercise for 5 hours, and there was no difference between interventions.

Third, as a result of analyzing randomized controlled experimental studies and crossover design isometric exercise studies conducted in prehypertension and hypertensive adults and the elderly, both acute exercise and chronic isometric exercise for more than 8 weeks represented significant effects on blood pressure reduction. In addition, the longer the exercise period and the larger the muscle group was used, the greater the blood pressure reduction effect appeared.

Conclusion : In the meta-analysis results, it was confirmed that the isometric exercises for prehypertensive and hypertensive adults and the elderly had a significant blood pressure reduction effect when acute exercise as well as chronic exercise was applied. In addition, in the experimental study, the acute isometric squat, which can be performed without tools and used many muscle groups, has a similar or greater post exercise blood pressure reduction compared to the isometric handgrip and isometric leg extension exercises that required tools in previous studies. Also, it has been shown to effectively reduce blood pressure in a short time compared to aerobic exercise,

which is the most commonly recommended intervention for blood pressure reduction. Therefore, acute isometric squat can be recommended as one of the effective interventions to reduce blood pressure in pre- or hypertensive adults and the elderly in the future.

**keywords : Isometric exercise, acute exercise, meta-analysis
pre-hypertension, hypertension, ambulatory blood
pressure**

Student Number : 2016-30438