

Original Article

회복 시 심박수의 역할: 심장질환과 운동프로그램 적용 가능성

이해성, 김종희*

한양대학교 체육학과

The Role of Heart Rate Recovery: Possibility of Heart Disease and Exercise Program Application

Hae Sung Lee and Jong-Hee Kim*

Department of Physical Education, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

Received June 3, 2019
Revised June 13, 2019
Accepted July 13, 2019

*Correspondence

Jong-Hee Kim
E-mail: carachel07@hanyang.ac.kr

ORCID

<https://orcid.org/0000-0003-1574-3731>

ABSTRACT Heart rate is a relatively simple and non-invasive method that is used as an important physiological indicator in many studies and has a close relationship with heart structure and function, cardiovascular disease and sudden cardiac death. In general, appropriately low heart rate during resting means effective heart function and cardiovascular fitness; heart rate at recovery is an important indicator of health and disease condition. We found a beagle dog (Dog_1) with a high heart rate in the previous preliminary experiment. Therefore, purpose of this study was to compare the heart rate response of the Dog_1 with the control group during 12 weeks of interval exercise, to evaluate the structural and functional abnormalities of the heart and to verify the applicability of exercise program. Heart rate was checked during 12 weeks of interval exercise, and after the exercise was over, imaging examination and hematological and serum biochemistry were performed. As a result, Dog_1 (165.6 ± 1.5) showed significantly higher heart rate in low intensity session of interval exercise than control group (133.3 ± 0.5 , $p < 0.01$). In addition, Dog_1 (181.2 ± 1.4) showed significantly higher heart rate than control group (155.1 ± 0.9) in high intensity session ($p < 0.01$). The heart rate (30 sec, 60 sec) during recovery state was higher in Dog_1 (30 sec: 156.8 ± 4.0 , 60 sec: 166.8 ± 5.8) than in the control group (30 sec: 111.2 ± 2.5 , 60 sec: 104.0 ± 5.1 , $p < 0.01$). The results of the imaging examination of Dog_1 with high heart rate confirmed that the heart had no functional and structural abnormalities. All beagles with the interval exercise program did not show maladjustment, and in the hematological and serum biochemistry results, all the parameter were within the reference range. If the interval exercise program of this study is used in the future, it is expected to be used as an important basic data to achieve the purpose of health, welfare, and physical fitness improvement of dogs.

Keywords: dog, hematology and serum biochemistry, imaging examination, interval exercise, recovery heart rate

서론

심박수(Heart rate, HR)는 비교적 간단하게 비침습적인 방법으로 임상 정보를 얻을 수 있어 많은 연구에서 중요한 생리학적 지표로 활용되고 있으며, 심장의 구조 및 기능, 심혈관계 질환, 심장 돌연사 등과 매우 밀접한 관계가 있다(Jolly 등, 2011). 일반적으로 안정 상태에서 적절하게 낮은 HR은 높은 효율의 심장 기능과 심혈관계 체력(cardiovascular fitness)을 나타내는데, 예를 들어 고도로 훈련된 선수들의 경우 안정 시 HR이 분당 40회대로 알려져 있으며(Djaoui 등, 2016), 운동 후 회복 시 HR은 건강과 질병 상태를 평가하는 중요한 지표가 된다(Jouven 등, 2005).

인체 내 에너지 수요가 증가되는 운동 시 HR은 교감신경계(sympathetic nerve, SN)의 활성화와 부교감신경계(parasympathetic nerves, PN)의 억제로 심장 수축을 자극하여 증가한다(Du 등, 2005). 또한, 운동 종료 후 인체 내 에너지 수요의 감소 및 억제된 SN과 PN의 증가로 HR은 안정 상태로 회복하게 된다(Pecanha 등, 2014). 하지만, 운동 후 HR의 회복 지연과 정상 범위 이상의 HR은 부정맥, 심부전, 심실세동 등의 위험성을 높이고, 심한 경우 심근경색으로 인한 갑작스러운 심장 돌연사를 발생시킬 수 있다(Jouven 등, 2005).

전임상 연구의 중요한 동물 모델인 개의 경우에도 인간과 마찬가지로 운동과 심장 질환에 관련된 연구에서 HR을 중요한 지표로 활용하고 있다(Essner 등, 2013). 하지만, 인간과 달리 개의 HR은 내·외적 요인들(examples: hear, sniffing, panting, vigilance, sleep cycle 등)에 민감하게 반응하는 특징(Miyazaki 등, 2002)으로 인해 연구 진행에 어려움이 많아 안정 시, 운동 중 및 운동 후 회복 시 개의 HR에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

비글의 건강 운동 프로그램 개발을 위한 최근 예비 실험에서 본 연구 그룹은 비글 1두(ID: Dog_1)의 안정 시 HR은 90-100회로 정상 수준이었으나(Fox 등, 2007), 운동 중과 운동 후 회복 시 HR이 다른 개체에 비해 유의하게 높은 것을 발견하였다(운동 중: > 26.3%, 회복 시: > 21.9%, $p < 0.01$). 높은 HR을 보인 인간과 개에서 운동 중 기절과 심부전 등의 병증을 확인했다는 보고가 있으나(Werz 등, 2005; Motta와 Dutton, 2013), 인간과 쥐를 대상으로 한 최근 연구에서는 Dog_1과 유사한 빈맥 증상을 보이는 개체에서 단시간 동안 고강도, 저강도 운동을 반복하는 인터벌 운동(interval exercise, IE)이 빈맥 증상을 완화시킨다고 보고하였다(Isaksen 등, 2014; Malmo 등, 2018).

따라서, 본 연구의 목적은 안정 시 HR은 정상 수준이나 운동 중과 운동 후 회복 시 높은 HR을 보이는 Dog_1을 대상으로 12주간의 IE에 따른 HR의 반응을 정상군과 비교하고, 심장의 구조적, 기능적 이상 여부를 평가하며, 혈액·혈청 검사를 통한 IE program의 적용 가능성을 검증하는 데 있다.

재료 및 방법

연구 대상

본 연구는 연구 시작 전 혈액·혈청 검사와 신체검사를 통해 '이상 소견 없음'이 확인된 건강한 수컷 비글 6두를 대상으로 진행하였다. 이 중 예비 연구에서 안정 시 HR은 정상 수준이나 운동 중과 회복 시 HR이 유의하게 높게 확인된 Dog_1을 대상으로 설정하였으며, HR 반응의 대조군으로 동일 성별, 유사 연령의 비글 5두를 선정하였다.

본 연구는 A대학교 실험동물윤리위원회(승인번호: SNU-180731-2)의 승인 하에 진행하였으며, 실험동물은 이용과 관리를 위한 지침에 따라 사육하였다. 사육 장소의 조명은 12시간 주기로 밝은 조명(07:00-19:00)과 어두운 조명(19:00-07:00)으로 관리하였으며, 온도는 22-23°C, 습도는 40-60%를 유지하였다. 모든 비글은 부드러운 고무 소재의 바닥으로 구성된 cages (775 × 960 × 900 cm)에서 생활하였으며, 주 2-3회, 30분 가량 자유로운 산책을 실시하였다. 청소는 매일 30분 이상 소요하여 진행하였고, 사료는 1일 200g 제공했으며, 실험 6시간 전에는 급식을 제한하였다. 신선한 물은 수시로 보충하고, 자유롭게 급식하였다.

연구 방법

인터벌 운동 프로그램

본 연구에서 적용한 IE는 Radin 등(2015)과 Vrbanac 등(2016)의 연구를 참고하여 구성하였으며, 모든 비글은 실험 시작 전, 실험실 환경과 장비, 연구 인력 등과 친숙해지기 위해 2주 동안의 적응 훈련을 수행하였다. IE는 12개의 treadmill protocol (protocol 1-12)로 구성하여 12주간 진행하였으며, 각 protocol을 주당 2회 반복해 실시하였다. 각 protocol의 운동시간은 총 36분이었으며, 저강도 구간(low intensity session, LIS)과 고강도 구간(high intensity session, HIS)의 비율은 2:1로 이루어졌다. Protocol은 5단계의 session (LIS 1 → HIS 1, LIS 2 → HIS 2, LIS 3 → HIS 3, LIS 4 → HIS 4, LIS 5 → recovery)으로 구성하였으며, protocol과 session이 진행됨에 따라 경사도(%)와 속도(km/h)를 점진적으로 증가시켰다(Table 1). 실험 장비는 treadmill (Egojin XG-V6E, Gyeonggi-do, Korea)을 사용하였고, 낙상 및 기타 부상 등을 예방하기 위해 가슴과 어깨에 착용하는 harness (Pocket lead, DOG DAYS, Gyeonggi-do, Korea)를 이용하였다. 실험의 전 과정에 수의사 및 연구 인력을 배치해 안전사고를 대비하였다.

심박수 측정

모든 비글을 대상으로 IE 전 과정의 실시간 HR 기록을 수집하기 위해 심박수 측정 장치를 사용하였으며(Polar H-10, Paula Electro, Kemple, Finland), HR 기록은 1초 단위로 수집되었다. 안정 시 HR은 protocol 시작 전 외부 자극을 최소화할 수 있는 환경을 조성하여 개체의 목과 배를 부드럽게 쓰다듬으며 안정된

Table 1. Interval exercise program consisting of 12 protocols

Protocol	Divide	LIS 1	HIS 1	LIS 2	HIS 2	LIS 3	HIS 3	LIS 4	HIS 4	LIS 5
1	Min ¹	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade ²	0	2	0	2	0	2	0	2	0
	Km/h ³	4.8	7.4	4.8	7.6	4.8	7.8	4.8	8	4.8
2	Min	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade	0	2	0	2	0	2	0	2	0
	Km/h	4.8	7.4	4.8	7.6	4.8	7.8	4.8	8	4.8
3	Min	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade	0	4	0	4	0	4	0	4	0
	Km/h	4.8	7.6	4.8	7.8	4.8	8	4.8	8.2	4.8
4	Min	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade	0	4	0	4	0	6	0	6	0
	Km/h	4.8	7.6	4.8	7.8	4.8	8	4.8	8.2	4.8
5	Min	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade	0	6	0	6	0	6	0	6	0
	Km/h	4.8	7.8	4.8	8	4.8	8.2	4.8	8.4	4.8
6	Min	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade	0	6	0	6	0	8	0	8	0
	Km/h	4.8	7.8	4.8	8	4.8	8.2	4.8	8.4	4.8
7	Min	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade	0	10	0	10	0	10	0	10	0
	Km/h	4.8	9.2	4.8	9.6	4.8	10	4.8	10.4	4.8
8	Min	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade	0	10	0	10	0	10	0	10	0
	Km/h	5	9.6	5	10	5	10.4	5	10.8	5
9	Min	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade	0	12	0	12	0	12	0	12	0
	Km/h	5.2	10	5.2	10.4	5.2	10.8	5.2	11.2	5.2
10	Min	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade	0	12	0	12	0	12	0	12	0
	Km/h	5.4	10.4	5.4	10.8	5.4	11.2	5.4	11.6	5.4
11	Min	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade	0	14	0	14	0	14	0	14	0
	Km/h	5.6	10.8	5.6	11.2	5.6	11.6	5.6	12	5.6
12	Min	3	6	12	15	21	24	30	33	36
	Grade	0	14	0	14	0	14	0	14	0
	Km/h	5.8	10.8	5.8	11.2	5.8	11.6	5.8	12	5.8

¹Session cumulative time.

²Treadmill slope (%).

³Treadmill speed.

상태를 유지하고 1분간 2회 측정하였으며, 운동 중 HR은 protocol을 LIS와 HIS로 구분하여 분석하였다. 회복 시 HR은 선행연구 (Brito 등, 2015)를 참고하여 protocol 종료 후 첫 10초를 제외한 30초와 60초 시점의 HR을 측정하였으며, 수집된 모든 HR 기록은 평균값으로 분석하였다.

영상 검사

12주간의 IE 종료 후 Dog_1을 대상으로 심장의 구조적, 기능

적 이상 여부를 확인하기 위해 흉부 방사선 및 심장 초음파 검사, 홀터 심전도 검사를 실시하였다. 흉부 방사선은 Digital x-ray 장비(VXR-9M, DR-GEM, Seoul, Korea)를 이용하여, 우측 횡와 자세 및 복배 자세로 촬영하였으며, 심장 크기는 vertebral heart score (VHS), intercostal space (ICS), cardiothoracic ratio (CTR)를 이용하여 측정하였다. 심장 초음파는 전용 장비(Aplio 500, canon medical system, Tokyo, Japan)를 이용하여, 7 MHz sector 탐촉자로 실시하였다. 미국 수의내과학회(ACVIM)

의 권고안에 따라 심장 초음파는 우측 횡과 및 좌측 횡과 자세에서 촬영하였으며, 각 3회 측정 후 평균값을 분석하였다. 홀터 심전도 검사는 심전도 기록기(ER-2000, boryung consumer, Seoul, Korea)를 사용하였으며, 분석은 ER2000viewer program을 이용하였다. 편안하게 앉은 자세에서 가슴 전면에 ECG electrode pad를 부착하여 운동 전, 운동 후 1분, 15분 시점에 1분 동안 측정하였으며, 획득한 수치의 신뢰도 확보를 위해 각 3회 반복 측정하였다.

혈액·혈청 검사

모든 비글의 운동으로 인한 건강 이상 유무를 확인하기 위해 혈액·혈청학적 검사를 실시하였다. 채혈은 protocol 1 시작 24시간

전, protocol 12 종료 24시간 후에 실시하였다. 채혈 부위인 요측 피정맥 주변을 클리퍼로 삭모 후 70% 알코올로 소독하고 요측피정맥에서 5 mL의 혈액을 채취하였다. 2개의 SST tube에 2 mL, EDTA tube에 1 mL을 넣어 전혈혈구분석기에서 혈액과 differential counting, 혈청 분석을 실시하였다. SST tube에 채취한 혈액은 응고 상태 확인 후 1500 rpm에서 5-10분간 원심 분리하여 혈청을 분리하고, 상층의 혈청을 시료와 반응시켜 정량적 분석인 혈청검사를 실시하였다.

자료 처리

연구에 참여한 모든 비글의 안정 시, 운동 중, 운동 후 회복 시 HR과 혈액·혈청학적 검사 결과를 분석하였으며, 통계 분석은 GraphPad Prism 5 (GraphPad Inc., La Jolla, CA, USA)를 이용하였고, 통계적 유의성은 Student's two-tailed t-test로 분석하였다($p < 0.05$).

Table 2. Comparison of HR means between Dog_1 and control by session of all protocol

Session	Dog_1 (Mean ± SE)	Control (Mean ± SE)
Rest ¹	110.0 ± 4.5	93.4 ± 6.0
LIS_1 ²	168.8 ± 3.7	132.1 ± 2.4*
HIS_1 ³	184.6 ± 2.3	153.8 ± 3.1*
LIS_2	164.0 ± 4.3	132.7 ± 3.1*
HIS_2	178.0 ± 3.0	153.7 ± 4.2
LIS_3	161.4 ± 4.5	133.1 ± 3.3*
HIS_3	181.4 ± 2.5	155.3 ± 3.8
LIS_4	164.7 ± 4.2	133.2 ± 3.4*
HIS_4	180.7 ± 3.3	157.7 ± 4.0
LIS_5	169.1 ± 4.0	135.3 ± 3.1*
Recovery (30 sec)	156.8 ± 4.0	111.2 ± 2.5*
Recovery (60 sec)	166.8 ± 5.8	104.0 ± 5.1*

¹Heart rate at rest before exercise.

²Low intensity session.

³High intensity session.

*The superscript letters to a significant difference in HR means ($p < 0.05$).

결과 및 고찰

심박수 변화

12주간의 IE는 12개의 protocol로 구성되었으며, protocol과 session이 진행될 때마다 경사도(%)와 속도(Km/h)를 점진적으로 증가하였다. Dog_1과 대조군의 안정 시 HR은 그룹 간 유의한 차이가 없었다(Table 2). Dog_1과 대조군 모두 LIS와 HIS의 운동 강도 변화에 따라 HR도 함께 변화하였는데, 이는 개를 대상으로 treadmill을 이용한 점증운동부하검사에서 운동 강도가 증가함에 따라 HR이 증가했다는 Radin 등(2015)의 연구결과와 일치한다.

모든 protocol의 LIS와 HIS HR을 분석한 결과, LIS에서 Dog_1 (165.6 ± 1.5)은 대조군(133.3 ± 0.5)에 비해 유의하게 높았으며($p < 0.01$), HIS 역시 Dog_1 (181.2 ± 1.4)은 대조군(155.1 ± 0.9)보다 유의하게 높았다(Fig. 1A, $p < 0.01$). 각 protocol 종료 후 회복 시 30 sec, 60 sec HR을 분석한 결과

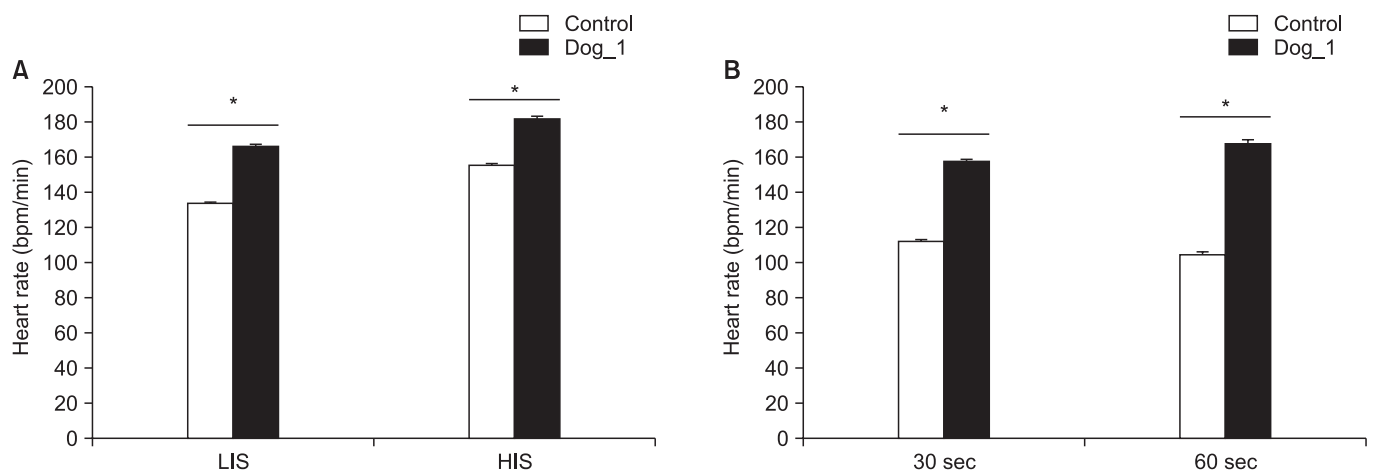


Fig. 1. (A) Analysis of LIS and HIS HR in control and Dog_1. (B) Analysis of recovery 30 sec and 60 sec HR in control and Dog_1. *The superscript letters to a significant difference in HR means ($p < 0.05$).

30 sec에서 Dog_1 (156.8 ± 4.0)은 대조군(111.2 ± 2.5)에 비해 유의하게 높았으며($p < 0.01$), 60 sec 또한 Dog_1 (166.8 ± 5.8)이 대조군(104.0 ± 5.1)보다 유의하게 높았다(Fig. 1B, $p < 0.01$). 모든 protocol의 session 별 Dog_1과 대조군의 HR 반응은 Table 2와 같다.

인간의 연구에서 운동 중단 직후부터 SN의 활성 감소 및 PN의 활성 증가로 인해 HR이 감소하는데(Pecanha 등, 2014), 운동 중단 후 1분 동안 55회 이상의 빠른 HR 감소를 확인했다는 보고가 있다(Arena 등, 2010). 그러나, Dog_1의 운동 후 회복 시 HR은 빠르게 감소하지 않았으며, 통계적 차이는 없었으나 회복 시 30 sec HR에 비해 60 sec HR이 다소 높게 나타났다(Table 2). 이러한 결과는 일반적인 운동 후 회복 시 HR 반응과는 차이가 있으며, 선행연구(Arena 등, 2010; Pecanha 등, 2014)와도 대조적이다. 따라서, 이와 같이 확인된 Dog_1의 HR 변화가 심장의 구조적, 기능적 이상에 의한 것인지를 평가하기 위해 영상 검사를 실시하였다.

영상 검사 결과

흉부 방사선 검사 결과, VHS는 9.7 v (reference range, 9.5-10.5 v), ICS는 2.9 (reference range, 2.5-3.5), CTR은 60%

(reference range, 50-66%)로 모두 정상 범위인 것을 확인하였다(Fig. 2A).

심장 초음파 검사 결과, 우측 복장뼈 주위 긴축 단면도(right parasternal long axis view) 상에서 이첨판의 변성, 부정맥을 유발할 수 있는 이상 소견은 확인되지 않았다. 우측 복장뼈 주위 짧은 축 단면도(right parasternal short axis view)에서 좌심방(LA, left atrium)과 대동맥(AO, aorta)의 비율은 1.15 (reference range, 1.0-1.3)였으며(Fig. 2B), 모든 변인의 수치가 정상 범위인 것을 확인하였다(Table 3).

홀터 심전도 검사 결과, 모든 심장 박동은 sinus rhythm으로 측정되었으며, 흡기 시 심장 박동이 느려지는 호흡 부정맥이 의심되나, 빈맥을 일으킬 수 있는 심실상 빈맥(supraventricular tachycardia), 심실성 빈맥(ventricular tachycardia) 등은 관찰되지 않아 이상 소견이 없는 것으로 확인되었다(data not shown). 이처럼 12주간의 IE를 수행한 후 실시한 영상 검사에서 Dog_1 심장의 구조적, 기능적 이상 소견은 확인되지 않았다.

혈액·혈청검사 결과

본 연구에 참여한 모든 비글에 대해 protocol 1 24시간 전, protocol 12 종료 24시간 후 혈액·혈청검사를 실시한 결과 모든

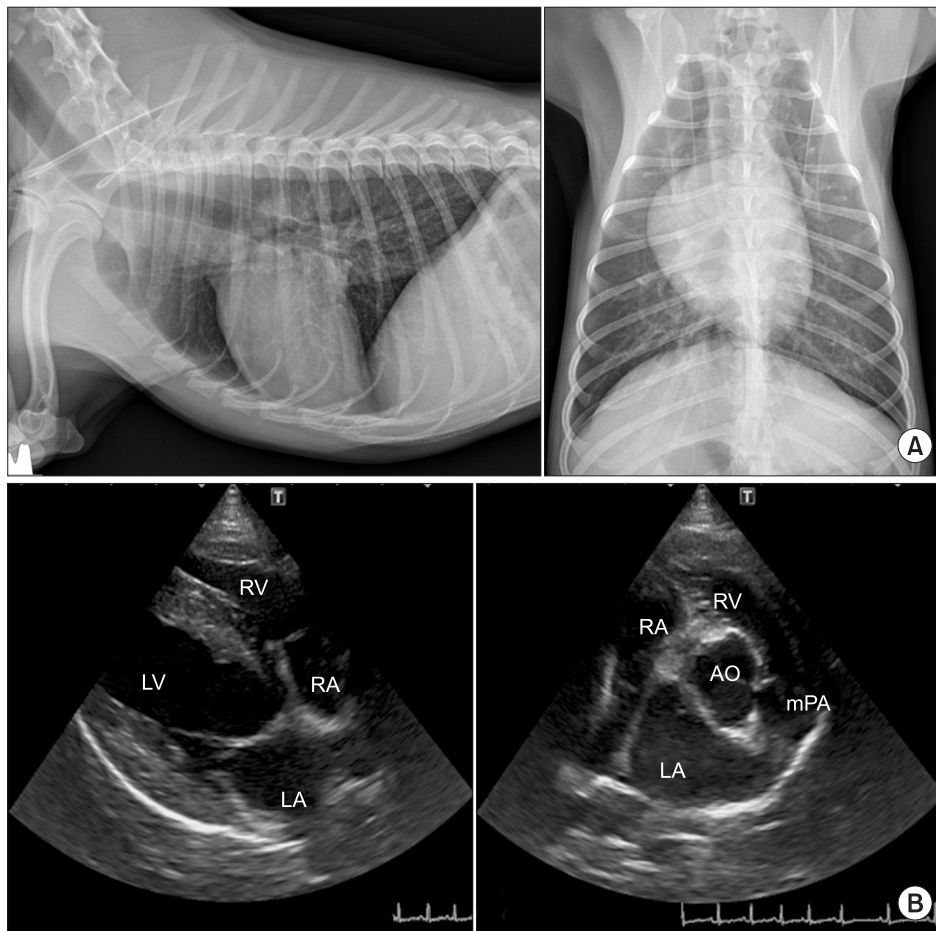


Fig. 2. (A) Radiography of Dog_1, 1: right lateral recumbency, 2: dorsal recumbency. (B) Echocardiography of Dog_1, 1: LA, left atrium; LV, left ventricle; RA, right atrium; RV, right ventricle, 2: AO, aorta; mPA, right main pulmonary artery.

변인의 수치가 정상 범위 내에 있는 것을 확인하였다(Table 4). 운동하는 동안 비글의 건강 이상 유무를 지속적으로 확인하기 위해 protocol 6 종료 24시간 후, protocol 12 종료 일주일 후 혈액·혈청검사를 실시한 결과에서도 역시 '이상 소견 없음'을 확인하였다(data not shown).

Table 3. Echocardiography results of Dog_1

Parameters (unit)	Dog_1	Reference range
LVIDd (mm) ¹	30.6	25.2-36.5
LVIDs (mm) ²	13.3	11.7-19.3
FS (%) ³	48.5	35-50
LA/AO ⁴	1.15	1.0-1.3
MV E velocity (cm/s) ⁵	73.9	< 120
MV A velocity (cm/s) ⁶	48.2	< 100
MV E/A	1.53	1-2
IVRT (ms) ⁷	71	55-100
E/IVRT ⁸	1.04	< 2.0

¹Left ventricular internal dimension in diastole.

²Left ventricular internal dimension in systole.

³Fractional shortening.

⁴LA: left atrium, AO: aorta.

⁵Transmitral early diastolic flow.

⁶Transmitral atrial contraction flow.

⁷Isovolumic relaxation time.

⁸Pulmonary edema factor.

결론

본 연구는 안정 시 HR은 정상 수준이나, 운동 중 및 운동 후 회복 시 HR이 높은 Dog_1을 대상으로 12주간의 IE를 통해 대조군과 HR을 비교하고, 건강 이상 유무를 조사하여, IE의 적용 가능 여부를 검증하는 데 목적이 있다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에 앞서 실시한 예비 실험에서 다른 개체에 비해 유의하게 높은 HR을 보였던 Dog_1은 본 연구에서 적용된 12주간의 IE에서도 운동 중 및 회복 시 HR이 다른 개체에 비해 유의하게 높게 나타났으나, 혈액·혈청 검사, 영상 검사 결과 '이상 소견 없음'이 확인되었다. 하지만, 호흡 부정맥이 의심된다는 수의사의 권고가 있었으며, 운동 중 또는 회복 시 높은 HR은 심장 질환의 위험을 예측할 수 있는 중요한 지표이므로 보다 장기적이고 세밀한 연구를 통해 지속적인 관찰이 필요할 것으로 사료된다. 둘째, 본 연구에서 적용된 12주간의 IE를 실시한 Dog_1과 대조군의 모든 비글은 기절, 탈수, 포기 등의 부적응 현상을 보이지 않았고 운동 강도 변화에 따른 일반적인 HR의 변화를 보였다. 따라서, 추후 인간과 개에서 Dog_1과 유사한 HR을 보이는 대상에게 본 연구의 IE가 적용 가능할 것으로 기대되며, 대상의 특성을 고려하여 수정·보완한다면 더욱 효과적일 것이다.

본 연구의 IE 프로그램은 개의 건강, 복지, 체력 향상 등의 목적을 달성하기 위한 중요한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다. 하지만, 본 연구는 Dog_1에 한정된 연구이므로 결과를 일반화하는 데에는 한계가 있으며 본 연구를 기반으로 한 다양한 후속 연구가 이루어져야 할 것이다.

Table 4. Hematology and serum biochemistry in Dog_1 and Control

Parameters (unit)	Dog_1		Control	
	Pre-IE	Post-IE	Pre-IE	Post-IE
WBC (K/ μ L)	7480.0	5890.0	10636.0 \pm 899.6	7388.0 \pm 625.9
RBC (M/ μ L)	668.0	798.0	659.4 \pm 12.2	679.0 \pm 10.5
Hb (g/dL)	16.1	19.0	15.3 \pm 0.2	15.7 \pm 0.2
MCV (fl)	66.7	69.0	65.4 \pm 0.6	67.1 \pm 0.5
MCH (pg)	24.0	23.8	23.2 \pm 0	23.1 \pm 0.1
MCHC (g/dL)	36.1	34.5	35.6 \pm 0.3	34.5 \pm 0.1
PLT (K/ μ L)	23.3	26.0	31.8 \pm 3.1	35.0 \pm 2.4
ALT (U/L)	38.0	48.0	36.0 \pm 4.5	39.6 \pm 5.9
AST (U/L)	21.0	38.0	24.0 \pm 1.1	32.6 \pm 1.7
BUN (mmol/L)	8.6	9.7	15.5 \pm 1.8	12.9 \pm 0.6
Creatinine (μ mol/L)	0.69	0.66	0.74 \pm 0.05	0.77 \pm 0.06
Glucose (mmol/L)	110.0	109.0	91.8 \pm 1.3	93.8 \pm 5.8
Albumins (g/L)	3.3	3.5	3.9 \pm 0.1	3.8 \pm 0.0
TP (g/L)	5.9	5.9	7.0 \pm 0.1	6.9 \pm 0.1
Cholesterol (mmol/L)	136.0	113.0	228.2 \pm 16.9	233.8 \pm 23.0
TG (mmol/L)	29.0	29.0	66.0 \pm 9.3	59.8 \pm 13.1
CK (U/L)	105.0	279.0	116.8 \pm 6.1	175.6 \pm 12.1

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 농촌진흥청 “반려동물연구사업단(#PJ013959022019)”의 지원으로 수행되었다. 저자는 본 연구의 수의학적 자문을 도와 주신 헬릭스동물메디컬센터 황정연 대표원장과 김재환 박사에게 깊은 감사의 마음을 표한다.

ORCID

Hae Sung Lee: <https://orcid.org/0000-0001-5902-2237>
Jong-Hee Kim: <https://orcid.org/0000-0002-0071-0446>

REFERENCES

- Arena R, Myers J, Abella J, Peberdy MA, Bensimhon D, Chase P, Guazzi M. 2010. The prognostic value of the heart rate response during exercise and recovery in patients with heart failure: influence of beta-blockade. *Int. J. Cardiol.* 138:166-173.
- Brito L, Pecanha T, Tinucci T, Silva-junior N, Costa L, Forjaz C. 2015. Time of day affects heart rate recovery and variability after maximal exercise in prehypertensive men. *Chronobiology Int.* 32(10):1385-1390.
- Djaoui L, Garcia JDC, Hautier C, Dellal A. 2016. Kinetic post-match fatigue in professional and youth soccer players during the competitive period. *Asian J. Sports Med.* 7(1):e28267.
- Du N, Bai S, Oguri K, Kati Y, Matsumoto I, Kawase H, Matsuoka T. 2005. Heart rate recovery after exercise and neural regulation of heart rate variability in 30-40 year old female marathon runners. *J. Sports Sci. Med.* 4(1):9-17.
- Essner A, Sjostrom R, Ahlgren E, Lindmark B. 2013. Validity and reliability of polar® RS800CX heart rate monitor, measuring heart rate in dogs during standing position and at trot on a treadmill. *Physiol. Behav.* 114(115):1-5.
- Fox K, Borer JS, Camm AJ, Ferrari NDR, Sendon JLL, Steg PJ, Tardif JC, Tendera LTM. 2007. Resting heart rate in cardiovascular disease. *J. Am. Coll. Cardiol.* 50(9):823-830.
- Isaksen K, Munk PS, Valborgland T, Larsen AL. 2014. Aerobic interval training in patients with heart failure and an implantable cardioverter defibrillator: a controlled study evaluating feasibility and effect. *Eur. J. Prev. Cardiol.* 22(3):296-303.
- Jolly MA, Brennan DM, Cho L. 2011. Impact of exercise on heart rate recovery. *Circulation* 124(14):1520-1526.
- Jouven X, Empana JP, Schwartz PJ, Desnos M, Courbon D, Ducimetière P. 2005. Heart rate profile during exercise as a predictor of sudden death. *N. Engl. J. Med.* 352:1951-1958.
- Malmö V, Kelly A, Garten KS, Stolen T, Rolim NPL, Wisloff U, Smith G, Loennechen JP. 2018. Aerobic interval training prevents age dependent vulnerability to atrial fibrillation in rodents. *Front. Physiol.* 206(9).
- Miyazaki H, Yoshida M, Samura K, Matsumoto H, Ikemoto F, Tagawa M. 2002. Ranges of diurnal variation and the pattern of body temperature, blood pressure and heart rate in laboratory beagle dogs. *Exp. Anim.* 51(1):95-98.
- Motta L, Dutton E. 2013. Suspected exercise induced seizures in a young dog. *J. Small Anim. Pract.* 54(4):213-218.
- Pecanha T, Silva-junior N, Moraes Forjaz de CL. 2014. Heart rate recovery: autonomic determinants, methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 34(5):327-339.
- Radin L, Belic M, Bottegaro NB, Hrastic H, Torti M, Vucetic V, Stanin D, Vrbanac Z. 2015. Heart rate deflection point during incremental test in competitive agility border collies. *Vet. Res. Commun.* 39(2):137-142.
- Vrbanac Z, Belic M, Brkljaca N, Bottegaro, Blazevic I, Kolaric D, Vojvodic S, Benic M, Kusec V, Stanin D. 2016. The effect of long term moderate intensity exercise on heart rate and metabolic status in sedentary labrador retrievers. *Vet. Arhiv* 86(4):553-564.
- Werz MA. 2005. Idiopathic generalized tonic clonic seizures limited to exercise in a young adult. *Epilepsy Behav.* 6(1):98-101.