Korean Journal of Sport Science
2019, Vol. 30. No. 4, 677-688.
https://doi.org/10.24985/kjss.2019.30.4.677

체육과학연구
ⓒ Korea Institute of Sport Science

Comparison of physiological and hematological responses to treadmill exercise in younger and older adult dogs

Hae Sung Lee[1], Hyun Ju Oh[2], Seok Hee Lee[2], Jin Wook Kim[2], & Jong-Hee Kim[1]*

[1]Hanyang Universit, [2]Seoul National University

[Purpose] The purpose of this study was to investigate changes of the cardiovascular system by comparing heart rate (HR) and blood responses to exercise in younger and older adult dogs and to verify the value of dogs as aging model in exercise science research. **[Methods]** A total of 11 healthy beagles were divided into 2 groups according to age: younger adult dogs (1~2 years old, 7 animals) and older adult dogs (9~11 years old, 4 animals). Each animal exercised on the treadmill for 25 minutes, twice a week, and for 4 weeks. The exercise intensity was gradually increased by applying four different protocols. Resting HR, HR during exercise, and HR recovery time were determined as HR parameters. Biochemical analysis was performed on blood samples. The independent Student's t-test and one-way ANOVA were used to analyze the mean difference of each variable. The associations between age and HR parameters were determined using Spearman's analysis. **[Results]** Older adult dogs showed higher HRs during rest and exercise than younger adult dogs. HR recovery time was significantly longer in older adult dogs than in younger adult dogs. A strong positive relationship was observed between beagles' age and resting HR, HR during exercise, and HR recovery time, respectively. The heart rate response to the treadmill exercise was similar between the 1st week and 4th week in younger and older adult dogs. Exercise significantly reduced the white blood cell level in older adult dogs and increased the alkali phosphatase level in younger adult dogs. [Conclusions] The results of this study demonstrated that short-term treadmill exercise may have a positive effect on the aerobic capacity, inflammation, and bone formation, suggesting that dogs are valuable as aging model in exercise science research.

Key words: treadmill exercise, aging, heart rate, heart rate recovery time, dog

서론

심박수는 심혈관계 체력(cardiovascular fitness)의 대표적 평가 지표로서 비침습적이고 간단한 방법으로 심장의 구조 및 기능, 심혈관계 질환, 심장 돌연사, 사망률에 대한 잠재적인 임상 정보를 얻을 수 있고(Cole et al., 1999), 윤리적인 연구 설계가 가능하다는 장점이 있어 여러 연구에서 활용되고 있다(Maros et al., 2008). 일반적으로, 심혈관계 체력이 우수할수록 심장의 1회 박출량(stroke volume)이 증가하여 낮은 심박수에서도 높은 효율의 산소운반능력을 가지게 되는데(Coote, 2010), 고도로 훈련된 운동선수의 경우, 안정 시 심박수가 분당 40회 수준인 것으로 알려져 있다(Brito et al.,

논문 투고일 : 2019. 11. 01.
논문 수정일 : 2019. 11. 15.
게재 확정일 : 2019. 11. 20.
* 교신저자 : 김종희(carachel07@hanyang.ac.kr).
* 이 논문은 농촌진흥청 '반려동물연구사업단'의 지원을 받아 수행된 연구임(#PJ013959022019).

2015). 운동 중 교감신경계의 활성과 부교감신경계의 억제로 증가한 심박수는 운동 종료 후 부교감신경계가 재활성하여 빠르게 회복하게 된다(Brito et al., 2015).

그러나 노인의 경우, 노화에 따른 심혈관계 시스템(cardiovascular system)의 구조적, 기능적 변화로(Spina et al., 1993) 최대 심박수 및 심박출량(cardiac output) 감소, 동정맥 기능 저하, 좌심실 기능 부전 등이 발생하여 동일 조건에서 건강한 성인보다 높은 심박수 반응을 보인다(Stratton et al., 1994). 또한, 자율신경계 기능이 저하되고, 카테콜라민에 대한 심혈관 수축력(inotropic)과 심박수 변동력(chronotropic)이 감소하는데, 이는 노화에 따른 느린 심박수 회복과 관련된다(Levy et al., 1998). 이러한 현상은 휴식 시 보다 운동 중에 더욱 명백하게 나타나며(Gerstenblith et al., 1976), 심혈관계 체력과 밀접한 관계가 있는 유산소 운동을 통해 노화에 따른 심박수 변화를 관찰하여 심혈관계 시스템에 대한 정보를 얻을 수 있다(Boutcher & Stocker, 1999). 여러 선행연구에서 운동은 인간의 심혈관계, 신경 및 호르몬 대사 등에 긍정적인 결과를 도출한다고 보고하였고(Ryan, 2010; deFilippi et al., 2012), 4주간의 운동으로도 동맥경화(arteriosclerosis)와 심폐 기능 향상을 확인할 수 있다고 보고하였다(Cameron & Dart, 1994). 이처럼 운동이 심혈관계 시스템 및 다양한 질환 등을 개선, 평가하는 방법으로 활용되고 있음에도 불구하고(Madden et al., 2009), 노화에 따른 혈관 긴장도(vascular tone) 증가, 자율신경계 및 근신경계 기능 저하 등의 생리적 변화는 노인을 대상으로 한 운동 연구의 중요한 제한점으로 작용한다(Krzeminski et al., 2012).

개는 인간과 유사한 해부학적 구조와 생리학적 기전을 가지고 있고(Khanna et al., 2006), 환경과 질병 등을 공유하며(Ostrander et al, 2000), 노화의 형태와 기전이 유사한 것으로 알려져 있다(Egenvall et al., 2005). 이에 따라 개에서도 운동의 중요성이 대두되어, 운동에 따른 심박수 반응과 생리적 변화를 조사하는 연구가 진행되고 있다(Rizzo et al., 2017; Wall et al., 2018; Lee & Kim, 2019). Schober & Fuentes (2001)는 개의 심박수가 좌심방, 좌심실 기능을 확인할 수 있는 중요한 지표임을 제언하였고, Radin et al. (2015)은 개를 대상으로 트레드밀과 심박수 측정장치를 이용한 점증운동부하검사에서 인간과 유사하게 운동 강도가 증가함에 따라 심박수와 산소섭취량(VO_2)이 증가하는 것을 확인하며, 최대심박수와 심박수를 통해 운동강도를 확인할 수 있다고 제언하였다. Piccione et al. (2012)는 운동 후 체온 및 혈청학적 변인 변화를 통해 운동을 실시한 개에서도 인간과 유사한 생리적 반응이 나타났음을 보고하였고, Wall et al. (2018)은 트레드밀 운동이 개의 심장질환과 기능을 평가하는데 효과적인 연구 방법임을 제언하였다. 또한, Mosier (1989)는 동물의 건강과 복지, 삶의 질 향상을 위해서는 질환, 영양, 환경 그리고 운동이 중요한 요인이 될 수 있음을 제언하였다.

특히, 노견의 경우 노화에 따라 노인성 질환이 발병하고(Salvin et al., 2010), 신체 시스템의 구조와 기능이 변화함에도 불구하고(Bellows et al., 2015), 개의 노화와 운동에 관한 연구는 노견의 확보와 견주의 인식 제고 등의 이유로 심도 있는 접근이 미흡한 실정이다. 미국국립보건원은 canine longevity consortium을 구성하여 개를 대상으로 장기적 노화 연구를 진행하고 있으나, 노견의 자료수집에 5~10년가량이 소요될 것이라 예상하였다(Kaeberlein et al., 2016). 이에 따라 현재까지는 마우스를 통한 노화 연구가 활발하게 진행되고 있으나, 마우스 연구는 주로 병원체의 영향이 없도록 통제된 시설에서 이루어지며, 동일한 사육 환경, 단일화된 품종 등의 특징이 있어 인간의 생애 과정에서 발생하는 다변성을 고려하기에는 다소 한계가 있는 것으로 알려져 있다(Richards et al., 2013). 다양한 분야에서 마우스 연구를 통해 괄목할 만한 발전을 이루었으나, 노화와 유전, 질병, 생리학적 접근에 있어서 마우스 연구가 가지는 한계를 극복하기 위한 다각적인 접근이 필요한 실정이다(Richardson et al., 2016).

따라서, 본 연구의 목적은 인간의 20대에 해당하는 성견과 60대에 해당하는 노견을 대상으로 4주간의 트레드밀 운동을 통해 노화에 따른 심박수 반응과 회복 시간을 비교하고, 혈액·혈청학적 분석을 통해 단기 트레드밀 운동의 효과를 평가하는 데 있으며, 운동생리학적 접근을 통한 노화와 운동 과학 연구의 동물 모델로서 개의 가치를 검증하는 데 있다.

연구방법

연구대상

본 연구는 중증질환 병력이 없는 건강한 비글 11두가 참여하였으며, 운동 시작 전 수의사에 의한 신체검사와 혈액, 혈청 검사에서 정상 소견을 확인하였다. 본 연구는 A대학교 실험동물윤리위원회의 승인을 받아 진행하였으며(SNU-180731-2), 실험동물은 이용과 관리를 위한 지침에 따라 사육되었다. 사육 장소의 온도는 22~23℃, 습도는 40~60%를 유지하였으며, 12시간을 주기로 밝은 조명(07:00~19:00)과 어두운 조명(19:00~07:00)으로 관리하였다. 모든 비글은 부드러운 고무바닥으로 제작된 cages (775 x 960 x 900cm)에서 생활하였고, 주 2~3회 약 30분 자유로운 산책을 실시하였다. 사육 장소는 매일 30분 이상 소요하여 청소하였고, 사료(Natural Core co., Ltd., Gyeonggi-do, Republic of Korea)는 일일 권장 급여량(150~200g)을 제공하였으나, 소화 불량 등을 우려하여 실험 4시간 전에는 급식을 제한하였다. 신선한 물은 수시로 보충하였고, 자유롭게 섭취할 수 있도록 하였다 〈Table 1〉.

Table 1. Dog information (Mean ± SD)

Parameter	Younger adult dogs	Older adult dogs
Dogs (n)	7	4
Age (yrs)	1.7±0.5	10.5±1.2

연구방법

트레드밀 운동

모든 비글은 실험을 시작하기 앞서 연구원, 실험 절차, 연구실 환경 및 트레드밀에 익숙해지기 위해 1주일간 적응 훈련을 실시하였으며, 트레드밀 운동 시작 전 2.0km/h 속도로 5분 동안 준비운동을 실시하였다. 본 연구에서 실시한 트레드밀 운동 프로그램은 선행연구를 참고하여 본 연구의 목적에 맞게 수정, 보완되었다(Radin, et al. 2015; Vrbanac, et al. 2016). 트레드밀 운동은 총 4개의 프로토콜, 각 프로토콜 당 5개의 운동 단계(1~5)로 구분되었다. 4주 동안 실시한 트레드밀 운동은 5개로 구분된 운동 단계로 각 5분간 진행되었으며, 총 운동시간은 25분이었다. 프로토콜 및 운동 단계가 진행됨에 따라 트레드밀의 경사도(%)와 속도(km/h)를 점진적으로 증가시켰다.

Table 2. Treadmill exercise protocol

Protocol	Stage	1	2	3	4	5
1	Min	5	5	5	5	5
	Grade (%)	0	1	1	2	2
	Km/h	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
2	Min	5	5	5	5	5
	Grade (%)	1	2	2	3	3
	Km/h	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
3	Min	5	5	5	5	5
	Grade (%)	2	3	3	4	4
	Km/h	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2
4	Min	5	5	5	5	5
	Grade (%)	3	4	4	5	5
	Km/h	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4

주요 실험 장비로 트레드밀(Egojin XG-V6E, Gyeonggi-do, Republic of Korea)을 이용하였고, 이탈과 낙상, 기타 부상을 예방하기 위해 가슴과 어깨에 고정하는 harness (Pocket lead, DOG DAYS, Gyeonggi-do, Republic of Korea)를 사용하였다. 운동 중 트레드밀을 이탈하는 비글은 없었으나, 불규칙하게 냄새를 맡고 주변을 탐색하는 모습을 보이는 경우, 이름을 부르거나 손뼉을 쳐서 운동에 집중할 수 있도록 격려하였으며, 실험의 전 과정에 수의사 및 전문 인력을 배치하여 안전사고에 대비하였다.

심박수 측정

앞선 연구에서 신뢰도가 높은 것으로 보고된 심박수 측정 장치(Polar H-10, Polar Electro, Kempele, Finland; Rahel et al., 2019)를 사용하여, 모든 비글의 심박수를 1초 단위로 수집하였다. 안정 시 심박수는 외부 자극이 최소화된 환경에서 비글의 목과 배를 쓰다

듬으며 안정상태를 유지하여 1분간 2회 측정하였다. 운동 시 심박수는 모든 프로토콜에서 각 운동 단계별 심박수를 평균값으로 분석하였고, 운동 후 심박수 회복 시간은 선행연구를 참고하여 운동 종료 시점 이후 안정 시 심박수 수준까지 감소하는 시간을 측정하여 평균값을 분석하였다(Pierpont et al., 2000). 상관관계 분석은 안정 시, 운동 중 심박수, 심박수 회복 시간의 평균값을 개체 별로 분석하였다.

혈액 및 혈청 검사

모든 비글은 건강의 이상 유무 및 단기간의 운동 효과를 평가하기 위해 혈액 및 혈청 분석을 실시하였으며, 채혈은 운동 프로토콜 1 시작 24시간 전, 프로토콜 4 종료 24시간 후 실시하였다. 채혈 부위인 요측피정맥 주변을 클리퍼로 삭모 후 70% 알코올로 소독하고 요측피정맥에서 5ml의 혈액을 채취하였다. SST tube에 2ml과 EDTA tube에 1ml을 넣어 전혈혈구분석기에서 혈액 및 혈청 분석을 실시하였다. SST tube에서 응고된 혈액은 1500rpm에서 10분간 원심분리 후 혈청을 분리하였고, 상층의 혈청을 시료와 반응시켜 정량적 분석인 혈청검사를 실시하였다.

자료처리

실험 과정에서 수집된 안정 시 및 운동 중 심박수, 운동 후 심박수 회복 시간, 혈액 및 혈청학적 검사 결과를 분석하였으며, 통계 분석은 GraphPad Prism 5 (GraphPad Inc., La Jolla, CA, USA)를 이용하여 그룹과 변인에 대한 평균(mean) 및 표준편차(SD)를 산출하여 도표화하였다. 성견과 노견의 변인 값을 비교하기 위해 독립 t-검정(unpaired t-test)을 실시하였고, 통계적 유의성은 양측 검정을 실시하였다. 연령과 운동에 대한 변인의 상관성을 알아보기 위해 Spearman's 상관분석을 실시하였다. 트레드밀 운동의 프로토콜에 따른 심박수 변화에 대한 유의성 검정은 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였으며, 사후 검정을 위해 본페로니 수정법(Bonferroni's adjustment)를 적용하였다. 모든 자료의 통계적 유의수준은 $p<0.05$로 설정하였다.

연구결과

연령에 따른 안정 시 및 운동 중 심박수

안정 시 심박수는 노견(110.1±4.1 bpm)이 성견(86.4±9.3 bpm)에 비해 유의하게 높았으며($p<0.05$), 운동 중 심박수 역시 모든 운동 단계에서 노견이 성견보다 유의하게 높게 나타났다 〈Table 3〉.

연령에 따른 심박수 회복 시간

운동 종료 후 안정 시 심박수 수준까지 회복되는 시간을 측정한 결과, 노견(219.5±85.9초)은 성견(70.1±11.8초)에 비해 유의하게 느린 심박수 회복 반응을 보였다 〈Table 3〉.

Table 3. Comparative heart rate during exercise and resting heart rate between younger and older adult dogs

(Mean±SD)

Parameters	Stage	Younger dogs	Older dogs
Heart rate during exercise (bpm)	1	129.1±6.3	188.2±7.8 *
	2	129.4±5.3	184.3±6.1 *
	3	129.2±4.3	180.1±6.2 *
	4	128.9±5.8	179.0±3.3 *
	5	131.8±7.8	179.0±3.3 *
Resting heart rate (bpm)		86.4±9.3	110.1±4.1 *
Heart rate recovery time (sec)		70.1±11.8	219.5±85.9 *

* $p<0.05$

연령과 심박수 반응 간의 상관관계

비글의 연령과 안정 시 및 운동 중 심박수, 운동 종료 후 심박수 회복 시간의 상관관계를 분석한 결과, 안정 시($r=0.784$; $p=0.006$), 운동 중 심박수($r=0.721$; $p=0.014$), 심박수 회복 시간($r=0.669$; $p=0.027$)은 연령과 강한 양의 상관관계가 있는 것으로 확인되었다 〈Figure 1(A), 1(B), 1(C)〉.

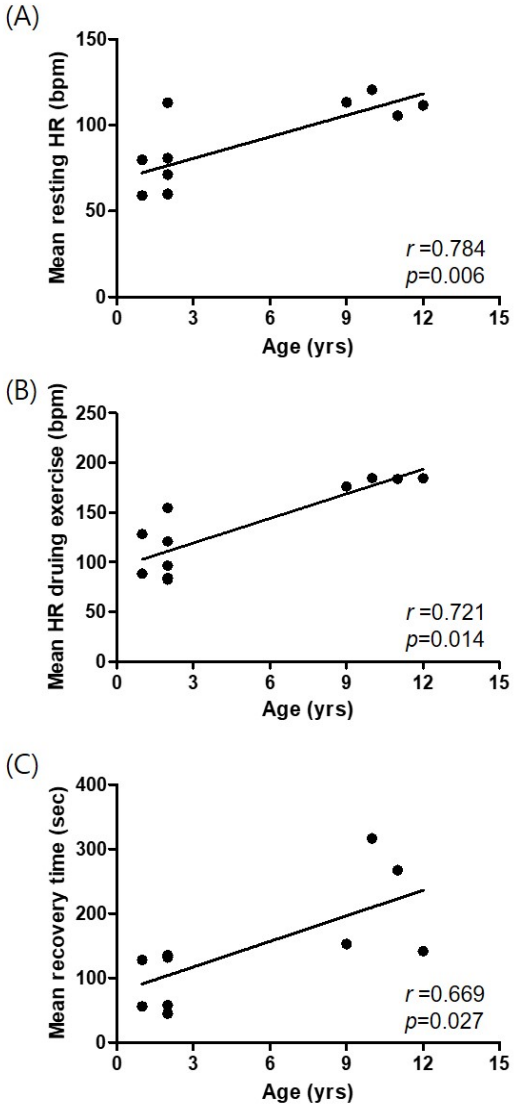

Figure 1. (A) Correlation between individual mean resting heart rate and individual age. (B) Correlation between individual mean heart rate during protocols 1~4 exercise and individual age. (C) Correlation between individual mean heart rate recovery time and individual age.

트레드밀 운동 프로토콜에 따른 심박수 변화

그룹별로 각 트레드밀 운동 프로토콜에서 수집된 심박수를 비교한 결과, 성견의 경우 프로토콜이 진행되며 운동 강도가 점진적으로 증가함에 따라 프로토콜 1에 비해 프로토콜 2와 3에서 유의하게 높은 심박수를 보였다($p<0.05$). 그러나 프로토콜 4는 프로토콜 1과 유의한 차이가 없었다. 노견의 경우, 모든 프로토콜에서 유의한 심박수 차이를 보이지 않았다 〈Figure 2(A), 2(B)〉.

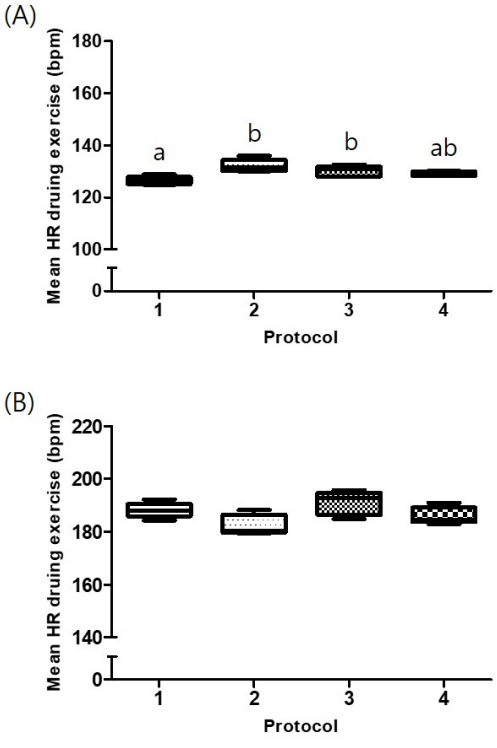

Figure 2. (A) Changes in heart rate according to each treadmill exercise protocol in younger adult dogs. (B) Changes in heart rate according to each treadmill exercise protocol in older adult dogs.

혈액 및 혈청 검사 결과

트레드밀 운동을 실시한 모든 비글을 대상으로 건강의 이상 유무 및 단기간의 운동효과를 확인하기 위해 혈액 및 혈청 검사를 실시하였다. 그 결과, 모든 변인의 수치는 정상 범위 내에 있었으며 트레드밀 운동 후 노견의 WBC는 유의하게 감소하였고, 성견의 ALP는 유의하게 증가하였다 〈Table 4〉.

Table 4. Comparative analysis of hematology and serum chemistry between pre and post exercise in younger and older adult dog (Mean±SD)

Parameters	Group	Pre	Post
WBC (K/μl)	Younger	9138.3±2389.1	10111.7±1139.9
	Older	6510.0±988.6	5227.5±1910.3 *
RBC (M/μl)	Younger	660.5±24.4	652.3±72.2
	Older	631.3±46.9	681.3±15.9
Hb (g/dl)	Younger	14.9±1.2	15.2±1.7
	Older	13.9±0.9	15.1±0.4
MCV (fl)	Younger	65.4±1.2	66.5±0.8
	Older	65.1±1.9	64.5±0.8
MCH (pg)	Younger	23.3±0.3	23.3±0.3
	Older	32.8±21.6	22.1±0.5
MCHC (g/dl)	Younger	35.7±0.8	35.1±0.6
	Older	33.8±0.2	34.3±0.8
ALP (U/L)	Younger	72.4±39.9	92.5±46.6 *
	Older	73.3±38.0	49.5±26.0
Ca (mg/L)	Younger	9.7±0.8	9.0±0.5
	Older	8.8±0.1	8.2±0.2
P (mg/L)	Younger	4.5±0.5	3.8±0.6
	Older	4.1±0.2	5.2±0.6
CK (U/L)	Younger	117.8±25.3	124.5±25.9
	Older	116.5±37.5	104.0±12.7
Cortisol (mcg/L)	Younger	1.2±0.3	2.1±0.9
	Older	1.7±0.8	1.0±0.1

Explanation of the term of parameters: white blood cell, WBC; red blood cell, RBC; hemoglobin, Hb; mean corpuscular volume, MCV; mean corpuscular hemoglobin, MCH; mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC; Alkali Phosphatase, ALP; calcium, Ca; phosphorus, P; creatine kinase, CK

* $p<0.05$

논의

본 연구의 목적은 성견과 노견을 대상으로 노화에 따른 심박수 반응과 회복 시간을 비교하고, 트레드밀 운동 프로토콜을 적용하여 단기 운동의 효과에 대한 평가를 통해 개의 노화 모델로서 가치를 검증하는 데 있다. 본 연구는 비글 개에서 운동을 통해 노화에 따른 심박수 및 혈액·혈청학적 변화를 확인한 최초의 연구이다.

선행연구에서 실험에 참여한 개의 상당수가 트레드밀을 일정하게 걷거나 뛰지 않았다는 보고(Ferasin & Marcora, 2007)와 인간과 개에서 격렬한 운동 중 기절, 심부전 등의 병증을 확인했다는 보고가 있었으나(Werz, 2005; Motta & Dutton, 2013), 본 연구에 참여한 모든 비글은 운동에 대한 부적응 현상을 보이지 않았다. 이는 실험 전 충분한 적응 훈련과 전문 인력에 의한 안전사고 예방을 고려한 연구 설계로 인한 결과라 판단된다. 또한, Radin et al. (2015)의 보고를 참고하여 본 연구의 트레드밀 운동 강도를 분석한 결과, 성견 HRmax 50%, 노견 HRmax 70% 수준이었다.

개의 안정 시 심박수는 연구마다 약간의 차이는 있으나 일반적으로 분당 90회 수준으로(Rovira et al., 2010), 인간의 일반적인 안정 시 심박수인 분당 60~80회와 유사한 범위이다(Nanchen et al., 2013). 안정 시 심박수는 심혈관계 체력, 건강 및 질병과 관련성이 높으며 특히, 높은 안정 시 심박수는 여러 심혈관 질환과 관련성이 있는 것으로 보고되고 있다(Ferrari et al., 2003). 본 연구에서 노견은 성견에 비해 유의하게 높은 안정 시 심박수를 보였으나, 두 그룹 모두 일반적으로 알려진 개의 안정 시 심박수 수준을 크게 벗어나지는 않았다. 이는 본 연구에 참여한 모든 비글은 빈맥, 부정맥 등의 질환이 없고, 건강 상태가 양호하기 때문인 것으로 사료된다.

운동 중 심박수 역시 모든 운동 단계에서 노견이 성견보다 유의하게 높은 것으로 확인되었다. 에너지 공급이 요구되는 운동 중 심박수는 자율신경계의 균형적 활성이 촉진되어 증가하게 되는데(Brito et al., 2015), 심혈관계 체력이 우수할수록 심박수가 낮아진다(Coote, 2010). 이는 심혈관계 체력 수준에 따라 1회 박출량이 증가하여 고효율의 심박출량, 산소운반능력으로 이어지기 때문이다(Coote, 2010). 노인의 경우 특정 질환이 없더라도 노화에 따라 심혈관계 시스템의 구조적, 기능적 변화가 나타나는데, 대표적인 구조 변화로 심근세포가 감소하고, 좌심실과 대동맥의 위축(atrophy)과 섬유화(fibrosis)가 진행되며, 심근의 수축력 및 효율성이 저하된다(Arbab-Zadeh et al., 2004; Fujimoto et al., 2010). 이로 인해 심근산소소

비량(myocardial oxygen consumption)과 심근관류량(myocardial perfusion) 감소의 기능적 변화를 동반하며, 높은 심박수 반응으로 이어진다(Diaz et al., 2005). 본 연구에서 운동을 실시한 성견과 노견도 이러한 기전에 의해 심박수 차이를 보인 것으로 사료되며, 인간과 개의 심혈관계 시스템이 유사하다는 연구결과를 지지한다(Hasenfuss, 1998).

운동 전 측정한 안정 시 심박수를 기준으로 운동 종료 후 안정 시 심박수 수준까지 회복되는 시간을 측정한 결과에서도 노견이 성견보다 느리게 나타났으며, 이러한 회복 시 심박수 반응은 자율신경계 기능과 심혈관계 질환, 전체적인 사망률과 밀접한 연관이 있는 것으로 알려져 있다(Cole et al., 2000). 여러 연구를 통해 가장 이상적인 운동 후 심박수 회복 시간의 기준으로 1분이 설정되었는데(Cole et al., 1999; Vieira et al., 2007), 본 연구에서 성견의 심박수 회복 시간은 평균 70.1초로 인간의 이상적인 심박수 회복 시간과 유사한 것으로 확인되었다. 또한, Nishime et al. (2000)의 연구에서는 카플란-마이어 생존분석을 통해 운동 후 심박수 회복에 10분가량 소요된 그룹에서 사망률이 50% 이상 급증했다고 보고하며, 10분이 비정상적인 심박수 회복 시간의 기준이 될 수 있음을 시사하였다. 노견의 경우, 심박수 회복 시간이 평균 219.5초로 선행연구에서 제시한 비정상적인 심박수 회복 시간보다는 빠르게 회복되었지만, 동일한 운동을 실시한 성견에 비해서는 느린 회복 반응을 보여 성인 대비 노인의 심박수 회복 반응이 유의하게 지연된 것을 확인한 인간의 선행연구 결과와 일치한다(Deschenes et al., 2006). 운동 종료 직후부터 발생하는 심박수 감소는 교감신경의 활성 저하와 부교감신경의 재활성에 대한 반응이며(Brito et al., 2015), 심박수 회복이 비정상적으로 느릴 경우 부교감신경의 기능 저하를 우려해야 한다(Cole et al., 2000). 개의 경우에도 자율신경계 작용에 의해 심박수가 조절되며, 운동 후 느린 심박수 회복은 부교감신경계의 재활성이 원활하게 이루어지지 않기 때문이라고 알려져 있다(Smith et al., 2005). 이러한 연구를 참고하여, 본 연구의 노견에서 확인된 심박수 회복의 지연은 노화에 따른 부교감신경계의 기능 저하에 기인했을 것이라 판단된다.

위와 같이 노화에 따른 심박수 변화와 심박수 회복 반응에 대한 이론적 배경을 기반하여, 본 연구에서 분석된 결과를 토대로 개의 연령과 심박수 반응, 심박수 회복 시간의 상관관계를 분석한 결과, 연령과 모든 변인 간의 강한 양의 상관관계가 있는 것을 확인하였다. 인간의 경우 노화에 따라 심혈관계 시스템의 구조적, 기능적 변화로 인해 좌심실 및 대동맥의 변화, 심혈관계 체력과 자율신경계의 기능이 저하된다고 알려져 있는데(Spina et al., 1993; Arbab-Zadeh et al., 2004; Fujimoto et al., 2010), 개에서도 인간과 유사하게 노화에 의해 변화가 일어나(Bellows et al., 2015), 인간과 마찬가지로 연령이 증가함에 따라 운동에 대한 생리적 기능이 저하되는 것으로 사료된다. 한편, 개의 심박수는 성별(p=0.46)과 체중(p=0.06)의 영향을 받지 않는다는 선행연구의 결과와 마찬가지로(Ferasin et al., 2010; Lamb et al., 2010), 본 연구에서도 심박수와 성별(r=0.339; p=0.060), 체중(r=0.332; p=0.063)은 유의한 상관관계가 없는 것을 확인하였다(date not shown).

인간을 대상으로 한 연구에서 4주간의 유산소 운동이 하지 혈관확장용량(vasodilatory capacity)을 증가시키고 대동맥 경화도(augmentation index) 및 카테콜아민의 과다기능을 감소시키며, 체력 수준을 향상시킨다고 보고하였다(Goldberg et al., 2012). 또한, Hickson et al. (1981)은 9주간 지구력 운동을 실시한 결과 VO_{2max}가 23% 증가하였는데, 이 수치는 대부분 3주 이내에 증가한 것이라고 보고하였다. 이처럼 인간에서 단기 운동으로도 긍정적인 결과를 확인한 연구들이 다양하게 보고되고 있는데, 본 연구에서 그룹별로 운동 강도의 증가에 따른 심박수를 비교한 결과, 1주차와 4주차의 운동 중 심박수 반응에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 유산소성 능력의 대표적인 지표로 활용되는 VO_{2max}와 심박출량은 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Jones & Carter, 2012). 신체 내 에너지 대사가 요구되는 수준의 운동 시 근육의 산소요구량이 증가하고 심박출량과 함께 VO_{2max}가 증가하게 되는데(Spina, 1999), 규칙적인 운동을 통해 체력 수준이 향상되어 심박출량의 효율성이 높아지면 동일 수준의 운동에서도 낮은 심박수 반응을 유도하게 된다(Stratton

et al., 1994). Rovira et al. (2010)은 개에서 심박수는 유산소성 능력의 대표적 지표인 심박출량과 VO_{2max} 수준을 확인하는 결정적 지표로 활용될 수 있다고 제언하였다. 따라서, 본 연구의 결과는 단기 트레드밀 운동에 따른 유산소성 능력의 향상 효과와 관련할 것으로 사료된다. 본 연구와 같이 심박수를 활용한 개의 유산소성 능력의 추정은 후속 연구에서도 유용한 가치가 있을 것으로 사료된다.

운동 후 혈액 및 혈청 분석 결과에서 노견의 WBC가 유의하게 감소하고, 성견의 ALP가 유의하게 증가하였다. WBC는 염증지표 뿐만 아니라 심혈관질환 사망률의 위험지표도 활용되고 있다(Ross, 1993; Lee et al., 2001). Ernst et al. (1987)는 인간 연구를 통해 동일한 강도의 운동 후 노인보다 젊은 성인에서 백혈구가 더 증가했다고 보고하며, 이는 노화로 인한 혈관 내 백혈구의 밀집도가 증가하여 염증 인자(toxin)의 방출 저하에 기인했을 것이라 제언하였고, 말을 대상으로 한 동물 연구에서도 노령의 말에서 운동 후 림프구 반응 감소 현상이 보고되었다(Malinowski et al., 2006). Johannsen et al. (2012)은 운동 후 WBC의 감소 현상이 저급성염증질환(low grade inflammatory disease)에 대한 운동의 효과를 확인할 수 있는 지표로 활용될 수 있음을 보고하였다. ALP는 골아세포의 활성도를 반영하는 대표적인 골 대사 관련 지표로서(Charles et al., 1985), 조골세포 생성 시 조골세포막의 소포(storage vesicles)에 저장되고 혈액으로 유리된다(Leung et al., 1993). Takahashi et al. (1997)는 ALP는 골 특이적 반응의 민감도가 높기 때문에 간장 질환, 대사성 질환 등이 없는 경우 효과적인 골 대사 지표로 활용될 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서 간 수치 관련 지표인 ALT, AST, Total bilirubin 모두 성견과 노견에서 운동 전, 후 유의한 차이를 보이지 않았기 때문에(data not shown), 성견에서 확인된 운동 후 ALP의 유의한 증가는 골 특이적 반응에 기인한 것으로 사료된다. 개의 ALP는 96%가 골 특이적 효소로 구성되어 있는 것으로 알려져 있다(Syakalima et al., 1997). 관련 선행연구를 살펴보면, Rudberg et al. (2000)의 연구에서 30~40분 동안의 유산소 운동을 실시한 후 ALP가 증가한 것을 확인하였고, 또 다른 연구에서 120분 동안 VO_{2max} 80% 수준의 사이클을 실시한 결과에서도 운동 후 ALP가 증가했다고 보고하였다(Wallace et al., 2000). 본 연구에서 성견의 운동 후 ALP는 Caroline et al. (2000)이 제시한 개의 ALP 정상 범위(36~128U/L)의 중간값보다 높은 수치를 보였는데, ALP가 정상 범위 내에서 중간값보다 높을 경우 골밀도가 4.9배 증가한다는 선행연구 결과는(Koumakis et al., 2014) 본 연구의 긍정적인 결과를 지지하고 있다. 개에서 혈액 및 혈청검사는 가장 기본적이며 중요한 임상적 검사방법으로 질환이 의심되는 경우, 정상 범위를 벗어난 변화가 확인된다(Houston & Taylor et al., 1991). 본 연구는 수의사에 의해 정상 소견이 확인된 건강한 비글이 실험에 참여하였다. 운동 전 성견과 노견 간의 혈액 및 혈청 변인의 수치는 정상 범위 내에서 그룹 간 차이가 없었으며, 운동 후 변화 또한 모두 정상 범위 내에서 변화한 것을 확인하였다.

결론 및 제언

이상의 결과를 종합하면, 개에서 심혈관계 시스템 및 다양한 심혈관계 질환, 전체적인 사망률 등의 지표가 되는 심박수가 노화에 따라 유의한 차이가 있음을 확인하였으며, 이는 인간과 마찬가지로 노화에 따른 심혈관계 시스템의 구조적, 기능적 변화에 기인한 것으로 사료된다. 또한, 단기 트레드밀 운동은 유산소성 능력, 염증반응 및 골 형성 향상에 긍정적인 효과가 있는 것으로 사료되며, 성견과 노견에서 인간과 유사한 운동반응과 효과를 확인함으로써 본 연구는 운동생리학적 접근을 통한 개의 노화 모델로서의 가치를 검증하였다. 더불어, 개의 건강과 질병 예방을 통한 삶의 질 향상을 위해 적절하고 규칙적인 운동의 중요성을 제기하며, 인간과 동물이 공존할 수 있는 원헬스적 접근이 필요할 것이라 시사하는 바이다. 본 연구결과를 기반하여 최적의 운동 프로그램 개발과 유전학적 분석 등 다양한 운동생리학적 분석을 통해 보다 심도 있는 후속연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

Arbab-Zadeh, A., Dijk, E., Prasad, A., Fu, Q., Torres, P., Zhang, R., Thomas, J. D., Palmer, D., Levine, B. D. (2004). Effect of aging and physical activity on left ventricular compliance. *Circulation, 110*(13), 1799-1805.

Ashizawa, N., Ouchi, G., Fujimura, R., Yoshida, Y., Tokuyama, K., Suzuki, M. (1998). Effects of a single bout of resistance exercise on calcium and bone metabolism in untrained young males. *Calcified tissue international, 62*(2), 104-108.

Bellows, J., Colitz, C. M. H., Daristotle, L., Ingram, D. K., Lepine, A., Marks, S. L., Sanderson, S. L., Tomlinson, J., Zhang, J. (2015). Defining healthy aging in older dogs and differentiating healthy aging from disease. *Javma-Journal of the American Veterinary Medical Association, 246*(1), 77-89.

Boutcher, S. H., & Stocker, D. (1999). Cardiovascular responses to light isometric and aerobic exercise in 21-and 59-year-old males. *European Journal of Applied Physiology, 80*(3), 220-226.

Brito, L., Pecanha, T., Tinucci, T., Silva, N., Costa, L., Forjaz, C. (2015). Time of day affects heart rate recovery and variability after maximal exercise in pre-hypertensive men. *Chronobiology International, 32*(10), 1385-1390.

Cameron, J. D., & Dart, A. M. (1994). Exercise training increases total systemic arterial compliance in humans. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiolog, 266*(2), 693-701.

Carnethon, M. R., Yan, L. J., Greenland, P., Garside, D. B., Dyer, A. R., Metzger, B., Daviglus, M. L. (2008). Resting Heart Rate in Middle Age and Diabetes Development in Older Age. *Diabetes Care, 31*(2), 335-339.

Caroline, K. G., John, B., Walter, E. H., William, M. R. (2000). Prognostic Significance of Serum Alkaline Phosphatase Activity in Canine Appendicular Osteosarcoma. *Journal of Veterinary Internal Medicine, 14*(6), 587-592.

Cole, C. R., Blackstone, E. H., Pashkow, F. J., Snader, C. E., Lauer, M. S. (1999). Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *New England Journal of Medicine, 341*(18), 1351-1357.

Cole, C. R., Foody, J. M., Blackstone, E. H., Lauer, M. S. (2000). Heart rate recovery after submaximal exercise testing as a predictor of mortality in a cardiovascularly healthy cohort. *Annals of Internal Medicine, 132*(7), 552-555.

Coote, J. H. (2010). Recovery of heart rate following intense dynamic exercise. *Experimental Physiology, 95*(3), 431-440.

deFilippi, C. R., de Lemos, J. A., Tkaczuk, A. T., Christenson, R. H., Carnethon, M. R., Siscovick, D. S., Gottdiener, J. S., Seliger, S. L. (2012). Physical Activity, Change in Biomarkers of Myocardial Stress and Injury, and Subsequent Heart Failure Risk in Older Adults. *Journal of the American College of Cardiology, 60*(24), 2539-2547.

Delmas, P. D., Stenner, D., Wahner, H. W., Mann, K. G., Riggs, B. L. (1983). Increase in serum bone gamma- carboxyglutamic acid protein with aging in women. Implications for the mechanism of age-related bone loss. *Journal of Clinical Investigation, 71*(5), 1316-1321.

Deschenes, M. R., Carter, J. A., Matney, E. N., Potter, M. B., Wilson, M. H. (2006). Aged men experience disturbances in recovery following submaximal exercise. *Journals of Gerontology Series a-Biological Sciences and Medical Sciences, 61*(1), 63-71.

Diaz, A., Bourassa, M. G., Guertin, M. C., Tardif, J. C. (2005). Long-term prognostic value of resting heart rate in patients with suspected or proven coronary artery disease. *European Heart Journal, 26*(10), 967-974.

Egenvall, A., Bonnett, B. N., Hedhammar, A., Olson, P. (2005). Mortality in over 350,000 Insured Swedish Dogs from 1995 - 2000: II. Breed-Specific Age and Survival Patterns and Relative Risk for Causes of Death. *Acta Veterinaria Scandinavica, 46*, 121-136.

Ernst, E., Hammerschmidt, D. E., Bagge, U., Matrai, A., Dormandy, J. A. (1987). Leukocytes and the risk of ischemic diseases. *Journal of the American Medical Association, 257*(17), 2318-2324.

Ferasin, L., & Marcora, S. (2007). A pilot study to assess the feasibility of a submaximal exercise test to measure individual response to cardiac medication in dogs with acquired heart failure. *Veterinary Research Communications, 31*(6), 725-737.

Ferasin, L., Ferasin, H., Little, C. J. L. (2010). Lack of correlation between canine heart rate and body size in veterinary clinical practice. *Journal of Small Animal Practice, 51*(8), 412-418.

Ferrari, R., Censi, S., Mastrorilli, F., Boraso, A. (2003). Prognostic benefits of heart rate reduction in cardiovascular disease. *European Heart Journal Supplements, 5*(G),

G10-G14.

Fujimoto, N., Prasad, A., Hastings, J. L., Arbab-Zadeh, A., Bhella, P. S., Shibata, S., Palmer, D., Levine, B. D. (2010). Cardiovascular Effects of 1 Year of Progressive and Vigorous Exercise Training in Previously Sedentary Individuals Older Than 65 Years of Age. *Circulation, 122*(18), 1797-1805.

Gerstenblith, G., Lakatta, E. G., Weisfeldt, M. L. (1976). Age-Changes in Myocardial-Function and Exercise Response. *Progress in Cardiovascular Diseases, 19*(1), 1-21.

Goldberg, M. J., Boutcher, S. H., Boutcher, Y. N., (2012). The effect of 4 weeks of aerobic exercise on vascular and baroreflex function of young men with a family history of hypertension. *Journal of Human Hypertension, 26*(03), 644-649.

Hasenfuss, G. (1998). Animal models of human cardiovascular disease, heart failure and hypertrophy. *Cardiovascular Research, 39*(1), 60-76.

Hickson, R., Hagberg, J., Ehsani, A. (1981). Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 13*, 17-20.

Houston, D. M., Taylor J. A. (1991). Acute pancreatitis and bone marrow suppression in a dog given azathioprine. *The Canadian Veterinary Journal, 32*, 496-497.

Johannsen, N. M., Damon L. S., Johnson, W. D., Dixit, V. D., Earnest, C. P., Blair, S. N., Church, T. S. (2012). Effect of Different Doses of Aerobic Exercise on Total White Blood Cell (WBC) and WBC Subfraction Number in Postmenopausal Women: Results from DREW. *Plos ONE, 7*(2), e31319.

Jones, A. M., & Carter, H. (2012). The Effect of Endurance Training on Parameters of Aerobic Fitness. *Sports Medicine, 29*(6), 373-386.

Kaeberlein, M., Creevy, K. E., Promislow, D. E. L. (2016). The dog aging project: translational geroscience in companion animals. *Mammalian Genome, 27*(7-8), 279-288.

Khanna, C., Lindblad-Toh, K., Vail, D., London, C., Bergman, P., Barber, L., Breen, M., Kitchell, B., McNeil, E., Modiano, J. F., Steven N. S., Comstock, K. E., Ostrander, E., Westmoreland, S., Withrow, S. (2006). The dog as a cancer model. *Nature Biotechnology, 24*(9), 1065-1066.

Koumakis, E., Souberbielle, J.C., Payet, J. (2014) Individual site-specific bone mineral density gain in normocalcemic primary hyperparathyroidism. *Osteoporosis International, 25*(7), 1963-1968.

Kristoffersson, A., Hultdin, J., Holmlund, I., Thorsen, K., Lorentzon, R. (1995). Effects of short-term maximal work on plasma calcium, parathyroid hormone, osteocalcin and biochemical markers of collagen metabolism. *International Journal of Sports Medcine, 16*(3), 145-149.

Krzeminski, K., Cybulski, G., Ziemba, A., Nazar, K. (2012). Cardiovascular and hormonal responses to static handgrip in young and older healthy men. *European Journal of Applied Physiology, 112*(4), 1315-1325.

Lamb, A. P., Meurs, K. M., Hamlin, R. L. (2010). Correlation of heart rate to body weight in apparently normal dogs. *Journal of veterinary cardiology, 12*(2), 107-110.

Lee, H. S., Kim, J. H. (2019). The Role of Heart Rate Recovery: Possibility of Heart Disease and Exercise Program Application. *Journal of Animal Reproduciton and Biotechnology, 34*(3), 166-172.

Lee, I. M., Rexrode, K. M,, Cook, N. R., Manson, J. E., Buring, J. E. (2001). Physical activity and coronary heart disease in women: is "no pain, no gain" passé? *Journal of the American Medical Association, 285*(11), 1447-1454.

Leung, K. S., Fung, K. P., Sher, A. H., Li, C. K., Lee, K. M. (1993). Plasma bone-specific alkaline phosphatase as an indicator of osteoblastic activity. *Journal of Bone and Joint Surgery British, 75*(2), 288-292.

Levy, W. C., Cerqueira, M. D., Harp, G. D., Johannessen, K. A., Abrass, I. B., Schwartz, R. S., Stratton, J. R. (1998). Effect of endurance exercise training on heart rate variability at rest in healthy young and older men. *American Journal of Cardiology, 82*(10), 1236-1241.

Madden, M., Lockhart, C., Cuff, D., Potter, T. F., Meneilly, G. S. (2009). Short-Term Aerobic Exercise Reduces Arterial Stiffness in Older Adults With Type 2 Diabetes, Hypertension, and Hypercholesterolemia. *Diabetes Care, 32*(8), 1531-1535.

Malinowski, K., Shock, E. J., Rochelle, P., Kearns, C. F., Guirnalda, P. D., McKeever, K. H. (2006). Plasma beta-endorphin, cortisol and immune responses to acute exercise are altered by age and exercise training in horses. *Equine veterinary journal. Supplement, 36*, 267-273.

Maros, K., Doka, A., Miklosi, A. (2008). Behavioural correlation of heart rate changes in family dogs. *Applied Animal Behaviour Science, 109*(2-4), 329-341.

Mosier, J. E. (1989). Effect of Aging on Body Systems of the Dog. *Veterinary Clinics of North America-Small Animal Practice, 19*(1), 1-12.

Motta, L., & Dutton, E. (2013). Suspected exercise-induced seizures in a young dog. *Journal of Small Animal Practice, 54*(4), 213-218.

Nanchen, D., Leening, M. J. G., Locatelli, I., Cornuz, J., Kors, J. A., Heeringa, J., Deckers, J. W., Hofman, A., Franco, O. H., Stricker, B. H., Witteman J. C., Dehghan, A. (2013). Resting Heart Rate and the Risk of Heart Failure in Healthy Adults The Rotterdam Study. *Circulation: Heart Failure, 6*(3), 403-410.

Nishime, E. O., Cole, C. R., Blackstone, E. H., Pashkow, F. J., Lauer, M. S. (2000). Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. *Jama-Journal of the American Medical Association, 284*(11), 1392-1398.

Ostrander, E. A., Galibert, F., Patterson, D. F. (2000). Canine genetics comes of age. *Trends Genet 16*(1), 117-124.

Piccione, G., Casella, S., Panzera, M., Giannetto, C., Fazio, F. (2012). Effect of Moderate Treadmill Exercise on Some Physiological Parameters in Untrained Beagle Dogs. *Experimental Animals, 61*(5), 511-515.

Pierpont, G. L., Stolpman, D. R., Gornick, C. C. (2000). Heart rate recovery post-exercise as an index of parasympathetic activity. *Journal of the Autonomic Nervous System, 80*(3), 169-174.

Radin, L., Belic, M., Bottegaro, N. B., Hrastic, H., Torti, M., Vucetic, V., Stanin, D., Vrbanac, Z. (2015). Heart rate deflection point during incremental test in competitive agility border collies. *Veterinary Research Communications, 39*(2), 137-142.

Rahel, G. A., Schweizer, T., Wyss, T. (2019). RR interval signal quality of a heart rate monitor and an ECG Holter at rest and during exercise. *European Journal of Applied Physiology, 119*(7), 1525-1532.

Richards, S. E., Wang, Y., Claus, S. P., Lawler, D., Kochhar, S., Holmes, E., Nicholson, J. K. (2013). Metabolic Phenotype Modulation by Caloric Restriction in a Lifelong Dog Study. *Journal of Proteome Research, 12*(7), 3117-3127.

Richardson, A., Fischer, K. E., Speakman, J. R., de Cabo, R., Mitchell, S. J., Peterson, C. A., Rabinovitch, P., Chiao, Y. A., Taffet, G., Miller, R. A., Renteria, R. C., Bower, J., Ingram, D. K., Ladiges, W. C., Ikeno, Y., Sierra, F., Austad, S. N. (2016) Measures of healthspan as indices of aging in mice-a recommendation. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences 71*(4), 427-430.

Rizzo, M., Arfuso, F., Alberghina, D., Giudice, E., Gianesella, M., Piccione, G. (2017). Monitoring changes in body surface temperature associated with treadmill exercise in dogs by use of infrared methodology. *Journal of Thermal Biology, 69*, 64-68.

Ross, R. (1999). Atherosclerosis--an inflammatory disease. *The New England journal of medicine. 340*(2), 115-126.

Rovira, S., Munoz, A., Riber, C., Benito, M. (2010). Heart rate, electrocardiographic parameters and arrhythmias during agility exercises in trained dogs. *Revue De Medecine Veterinaire, 161*(7), 307-313.

Rudberg, A., Magnusson, P., Larsson, L., Joborn, H. (2000). Serum isoforms of bone alkaline phosphatase increase during physical exercise in women. *Calcified tissue international, 66*(5), 342-347.

Ryan, A. S. (2010). Exercise in aging: its important role in mortality, obesity and insulin resistance. *Aging health, 6*(5), 551-563.

Salvin, H. E., McGreevy, P. D., Sachdev, P. S., Valenzuela, M. J. (2010). Under diagnosis of canine cognitive dysfunction: A cross-sectional survey of older companion dogs. *Veterinary Journal, 184*(3), 277-281.

Schober, K. E., & Fuentes, V. L. (2001). Effects of age, body weight, and heart rate on transmitral and pulmonary venous flow in clinically normal dogs. *American Journal of Veterinary Research, 62*(9), 1447-1454.

Smith, L. L., Kukielka, M., Billman, G. E. (2005). Heart rate recovery after exercise: a predictor of ventricular fibrillation susceptibility after myocardial infarction. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, 288*(4), H1763-H1769.

Spina, R. J. (1999). Cardiovascular adaptations to endurance exercise training in older men and women. *Exercise and Sport Sciences Reviews, 27*(1), 317-332.

Spina, R. J., Ogawa, T., Kohrt, W. M., Martin, W. H., Holloszy, J. O., Ehsani, A. A. (1993). Differences in Cardiovascular

Adaptations to Endurance Exercise Training between Older Men and Women. *Journal of Applied Physiology, 75*(2), 849-855.

Stratton, J. R., Levy, W. C., Cerqueira, M. D., Schwartz, R. S., Abrass, I. B. (1994). Cardiovascular-Responses to Exercise - Effects of Aging and Exercise Training in Healthy-Men. *Circulation, 89*(4), 1648-1655.

Takahashi, M., Kushida, K., Hoshino, H., Ohishi, T., Inoue, T. (1997). Evaluation of bone turnover in postmenopause, vertebral fracture, and hip fracture using biochemical markers for bone formation and resorption. *Journal of Endocrinological Investigation, 20*(3), 112-117.

Terreni, A., & Pezzati, P. (2012). Biochemical markers in the follow-up of the osteoporotic patients. *Clinical cases in mineral and bone metabolism, 9*(2), 80-84.

Vieira, V. J., Valentine, R. J., McAuley, E., Evans, E., Woods, J. A. (2007). Independent relationship between heart rate recovery and C-reactive protein in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society, 55*(5), 747-751.

Vrbanac, Z., Belic, M., Bottegaro, N. B., Blazevic, I., Kolaric, D., Vojvodic-Schuster, 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. *Veterinarski Arhiv, 86*(4), 553-564.

Wall, L., Mohr, A., Ripoli, F. L., Schulze, N., Penter, C. D., Hungerbuehler, S., Bach, J. P., Lucas, K., Nolte, I. (2018). Clinical use of submaximal treadmill exercise testing and assessments of cardiac biomarkers NT-proBNP and cTnI in dogs with presymptomatic mitral regurgitation. *Plos ONE, 13*(6), e0199023.

Wallace, J. D., Cuneo, R..C., Lundberg, P. A. (2000). Responses of markers of bone and collagen turnover to exercise, growth hormone (GH) administration, and GH withdrawal in trained adult males. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism, 85*(1), 124-133.

Werz, M. A. (2005). Idiopathic generalized tonic-clonic seizures limited to exercise in a young adult. *Epilepsy & Behavior, 6*(1), 98-101.

노화에 따른 개의 트레드밀 운동 시 생리학적·혈액학적 반응 비교

이해성(한양대학교, 박사과정), **오현주** · **이석희** · **김진욱**(서울대학교, 교수 · 석박통합과정 · 석박통합과정),
김종희(한양대학교, 교수)

〔목적〕 본 연구의 목적은 성견과 노견을 대상으로 트레드밀 운동 시 심박수 반응을 비교하여, 노화에 따른 심혈관계 시스템의 변화를 평가하고, 운동생리학적 접근을 통한 노화 모델로서 개의 가치를 검증하는 데 있다. **〔방법〕** 연구대상은 건강한 비글 11두가 참여하였고, 연령에 따라 성견(1~2세) 7두와 노견(9~11세) 4두로 분류하였다. 트레드밀 운동은 주 2회 반복 실시하여 4주간 진행하였고, 네 개의 다른 프로토콜을 적용해 운동 강도를 점진적으로 증가시켰다. 심박수 변인과 혈액학적 변인의 평가는 독립 t-검정과 일원분산분석을 통해 실시하였고, 연령과 심박수 반응, 심박수 회복 시간 간의 상관성은 Spearman's 상관분석을 통해 검증하였다. **〔결과〕** 본 연구의 결과, 노견은 성견보다 안정 시, 운동 중 심박수가 유의하게 높았으며, 운동 후 심박수 회복 시간도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 비글의 연령과 안정 시, 운동 중 심박수, 심박수 회복 시간 간에 강한 양의 상관관계를 확인하였다. 또한, 성견과 노견 모두 운동 강도의 증가에도 불구하고 1주차와 4주차의 운동 중 심박수 반응에는 차이가 없었다. 운동은 노견의 백혈구 수치를 낮추고, 성견의 ALP 수준을 증가시키는 효과를 나타냈다. **〔결론〕** 단기 트레드밀 운동은 개의 유산소성 능력, 염증반응 및 골 형성에 긍정적인 효과가 있는 것으로 사료되며, 본 연구는 운동 과학 연구에서 노화 모델로서 개의 가치를 시사하는 바이다.

주요어: 트레드밀 운동, 노화, 심박수, 심박수 회복 시간, 개