

Research Article

The impact of genes and hormones on canine behavior: A review of recent research

Jin Hyung Kim¹, Eunjin Cho², Minjun Kim³, Kun Ho Song⁴, Dongwon Seo^{5*}, Jun Heon Lee^{1,2,3*}

¹Department of Bio-big data, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Department of Bio-AI Convergence, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

³Department of Animal Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

⁴College of Veterinary Medicine, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

⁵Research Institute TNT Research Company, Jeonju 54810, Korea

*Corresponding author: dwseo@tntresearch.co.kr, junheon@cnu.ac.kr

ABSTRACT

The pet industry in Korea is rapidly growing with social changes such as an increase in single-person households and an aging population. As ownership of companion animals increases, problems related to dog behavior, especially aggression, become more prominent. Based on recent research, this paper comprehensively analyzed the methods to assess the behavioral characteristics of canines and the roles of genes and hormones influencing dog behavior. In particular, the effects of genes (*DRD4*, *OXTR*, *SLC6A4*, *HTR1A*, *HTR1B*, and *HTR2A*) and hormones (Testosterone, Cortisol, and Oxytocin) were examined. The genetic study confirmed that these genes are associated with various behavioral characteristics such as aggression, impulsiveness, and social interaction. Hormone research investigated the effects of testosterone, oxytocin, and cortisol such as aggression, social interaction, and stress relief. This study provides important basic data for understanding problems related to dog behavior. Furthermore, the current study will aid in developing programs to correct aggressive canine behaviors through genetic markers. It is anticipated that future research on canine behavior in Korea will advance substantially, ultimately making a notable impact on effectively addressing behavioral issues in dogs.

Keywords: Dog, Canine behavior test, Gene, Genetic marker, Hormone

INTRODUCTION

국내 반려동물 산업은 1인 가구 증가, 고령화와 같은 사회환경 변화에 맞춰 급격히 증가하고 있다. 특히, 반려동물을 가족의 일원으로 여기는 사람들의 증가와 함께 반려 동물 관련 산업은 사료, 용품, 서비스 분야를 넘어 보험, 의료 등 다양한 분야로 확장되고 있다 (KB Financial Group, 2023). KB 경영연구소 2023 한국 반려동물 보고서에 따르면 2022년 말 국내 반려동물을 기르는 반려가구는 552만 가구로 2020년 말 536만 가구 대비 2.8% 증가하였으며 총 반려인은 1,262만명으로 보고되었다(KB Financial Group, 2023). 국내 반려견 가구가 가장 선호하는 견종은 몰티즈(25.96%), 푸들(21.4%), 믹스견(20.3%), 포메라니안(10.3%), 진돗개(5.6%), 비숃프리제(4.5%) 순으로 대부분 소형견이었다(KB Financial Group, 2023).

반려가구의 증가와 더불어 반려견의 문제 행동 역시 사회적 이슈로 떠오르고 있다. 특히 반려견의 공격적 행동으로 인한 피해 사례가 증가하고 있고, 이는 단순히 개인적 문제가 아닌 사회적 문제로 대두되고 있다. 소방청 조사 결과에 따르면 2016년부터 2020년까지 매년 2,000건 이상의 개 물림 사고로 인한 구급 이송이 발생했으며, 중상 외 경상까지 통계를 내었을 경우 더 많을 것으로 예상된다

Received September 20, 2024

Revised October 24, 2024

Accepted November 19, 2024

Copyright © 2023 Journal of Animal Breeding and Genomics.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(National Fire Agency, 2021). 개 물림 사고는 법적 분쟁으로 이어지기도 하며, 그로 인한 경제적, 심리적 문제는 매우 크다(Borud and Friedman, 2000; Daniels et al., 2009). 반려견의 공격으로 인한 피해를 줄이고자 입 마개 착용, 행동 교정 훈련 등의 대처 방법이 제시되고 있으나, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 행동 관련 유전자 연구를 통해 근본적 원인을 규명하는 것이 중요하다.

개는 회색 늑대에서 최초로 가축화되어 목축, 사냥, 군사 및 안내견 등으로 활용되고 있으며 무엇보다 인간과의 사회적 유대를 통해 반려 동물로의 인기가 높다. 그러나 가축화되기 이전부터 조상의 DNA에 남은 공격성이 오늘날 반려견까지 이어져 내려온 만큼 반려견의 행동학적 특성과 유전체 정보를 연계한 연관성 연구가 필요하나, 국내에서는 현재까지 미미한 실정이다. 해외의 경우 반려견의 행동 특성과 유전자 간의 연관성을 밝히기 위한 연구가 점차 활발해지고 있다. 그 예로, 특정 행동 특성과 연관된 유전자 마커를 식별하고 이를 통해 행동 문제를 예측하거나 예방하려는 연구가 진행 중이다(Rigterink and Houpt, 2014).

따라서 본 논문에서는 해외 사례를 통한 반려견 행동 특성 평가 방법 및 관련 유전자와 호르몬에 대한 연구 현황을 분석하고, 이를 기반으로 국내에 도입할 수 있는 향후 연구 방향을 모색하고자 한다.

RESULTS AND DISCUSSION

1. 반려견 행동 특성 평가 방법

반려견 보호자를 대상으로 수행한 설문조사 기반의 표현형 분석은 개의 행동 연구에서 점차 중요한 연구 방법으로 점차 부각되고 있다. 이러한 접근 방식은 적은 비용으로 많은 개를 평가할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 짧은 관찰 시간이나 단순한 테스트로는 발견하기 어려운 드문 행동 반응을 포착하는 데 효과적이다. 특히 여러 연구에서 활용된 Canine Behavioral Assessment and Research Questionnaire(C-BARQ)는 Pennsylvania 대학에서 개발된 방법으로 약 100개의 질문으로 구성되어 있으며, 공격성, 두려움, 민감성 등 14개의 항목으로 행동 특성을 평가할 수 있다(Table 1) (Hsu and Serpell, 2003).

Table 1. Behavior categories and characteristics in C-BARQ (Serpell, 2003)

Category	Description	Related trait
Stranger-directed aggression	Hostile responses to strangers entering the dog's or owner's space	Aggression, sensitivity to space
Owner-directed aggression	Hostile responses to the owner or household members when challenged or while handling food/objects	Aggression, sensitivity to possessions
Dog-directed aggression	Hostile responses to unfamiliar dogs	Aggression, sensitivity to unfamiliar dogs
Dog rivalry	Hostile responses to other familiar dogs in the household	Aggression, competitive behavior
Stranger-directed fear	Fearful responses to strangers	Fear, sensitivity to unfamiliar people
Nonsocial fear	Fearful responses to loud noises, traffic, or unfamiliar situations	Fear, sensitivity to noise and environments
Dog-directed fear	Fearful responses to unfamiliar dogs	Fear, sensitivity to unfamiliar dogs
Separation-related behavior	Vocalizing and destructiveness when away from the owner, often with signs of anxiety	Anxiety, separation distress
Attachment and attention-seeking	Seeking close contact with the owner and becoming agitated when the owner interacts with others	Affection-seeking, agitation
Trainability	Ability to follow commands, learn quickly, and ignore distractions	Trainability, responsiveness to commands
Chasing	Chasing small animals like cats or birds	Chasing behavior, prey drive
Excitability	Strong reactions to stimulating events, with difficulty calming down afterwards	Excitability, difficulty calming down
Touch sensitivity	Fearful responses to potentially painful procedures like grooming or vet visits	Sensitivity to touch, fear of pain
Energy level	High energy and playful behavior	High energy, playfulness
Miscellaneous behavior problems	Includes various issues such as feces eating and repetitive behaviors	Various behavior issues

C-BARQ, Canine Behavioral Assessment and Research Questionnaire

C-BARQ는 5(0-4점)점으로 평가하며 0점은 공격성 징후 없음, 1-3점은 약간 혹은 중증의 공격성(으르렁 거림, 이빨 드러내기), 4점은 심각한 공격성(물기)으로 구분되어 평가된다. C-BARQ는 특수 목적전 뿐만 아니라 반려견 집단에서도 행동 평가 도구로 널리 사용되며, 개의 훈련 성공 여부, 행동 문제 식별, 입양 적합성 평가 등 다양한 목적으로 활용된다. 이 설문지의 신뢰성과 타당성은 여러 연구를 통해 입증되었다. Hsu와 Serpell (2003)은 C-BARQ를 통해 반려견의 행동 특성을 평가하고, 실제 반려견 소유자를 대상으로 대규모의 자료를 수집하여 설문지 기반 평가와 실제 행동 평가 결과를 비교하였다(Hsu and Serpell, 2003).

이와 관련하여, 2004년 발표된 연구에서는 안내견으로 활용 중인 골든 리트리버의 공격성에 대한 분석이 이루어졌다(Van den Berg et al., 2008). 품종 표준에 따르면, 골든 리트리버는 다른 견종에 비해 온순한 성격을 가져야 하지만, 일부 연구에서는 공격적인 사례 역시 보고되고 있다(American Kennel Club, 2024). Galac과 Knol (1997)에 따르면 공격성이 높은 골든 리트리버 사례가 보고되었고, 해당 문제점이 발견된 견종을 대상으로 C-BARQ를 활용하여 공격성을 측정할 결과, 공격성과 관련된 세로토닌(Serotonin)과 *HTR1A*, *HTR1B*, *HTR2A*, *SLC6A4* 유전자 간의 연관성을 확인하였다. MacLean et al. (2019) 연구팀은 개 101개 품종 14,000마리 행동 특성 자료를 분석해 개의 행동 특성과 관련된 131개의 SNP를 발견하였다. 또한 C-BARQ의 14개 항목으로 구분되는 행동 특성 중 훈련 가능성, 낯선 사람에 대한 공격성의 유전력이 0.6 이상으로 추정되는 것으로 확인되었다.

AKC temperament test (ATT)란 American Kennel Club (AKC)이 개발한 평가 방법으로 순종 및 혼혈견을 대상으로 다양한 자극에 대한 반응을 평가하기 위해 만들어졌다. 이 평가 방법은 사회적 안정성, 회복력, 협동성 등의 10가지 항목을 바탕으로 공격성 등의 반응을 보일 경우 불합격 처리를 하여 반려견 혹은 작업견으로서의 적합성을 평가한다. ATT는 두 번의 테스트를 모두 통과한 경우에 AKC temperament test title을 부여하며, 두려움, 수줍음, 회복력 부족, 협동성 결여 등의 특성을 집중적으로 평가한다(American Kennel Club, 2024).

ATT는 사회적, 청각적, 시각적, 촉각적 수용력, 신체 협응력(움직임), 돌발 자극 수용력의 6개 항목을 각 4개하위 요소로 구성하여 총 24개의 요소를 평가한다. 2023년 국내에서는 안동과학대학교 맹견기질평가 연구소에서는 국내 반려견을 대상으로 시연한 기질 평가에서 ATT와 ASPCA (The American Society for the Prevention of Cruelty to Animals), NSM (Niedersachsen-Ministerium) Wesen test의 공격성 평가 방법을 검증하고 결과를 비교하였다. 평가 대상으로 암컷 13마리, 수컷 15마리가 참여하였으며 몸무게 10kg 이상 18마리, 10kg 이하 14마리, 중성화한 18마리, 중성화를 하지 않은 10마리가 이용되었다. 평가 결과, 사회적 점수를 0점 1개를 받은 응시견이 2마리, 0점 2개가 2마리, 3개 1마리, 1점 2개 2마리, 2점 3개가 한 마리로 불합격한 응시견은 총 8마리(28.5%)로 나타났다(Park et al., 2023). 검증 결과 ATT에서 불합격한 반려견의 경우 ASPCA 공격성 평가 방법에서도 사회성의 채점 점수가 낮은 결과를 나타냈다. 3개의 공격성 평가 방법을 모두 시연한 결과 각 평가 방법마다 다른 결과가 나타나 공격성 평가의 목적 및 구성 방법에 따라 결과에 차이가 있음이 나타났다. 따라서 공격성 평가는 단계적으로 철저한 검증이 필요할 것으로 보인다(Galac and Knol, 1997; Van den Berg et al., 2008).

현재 해외에서 실행되는 공격성 평가의 평가자 기준은 대부분 반려견 관련 업종 종사 경험자를 전문가로 정한다. 1인 평가는 오류를 놓치기 쉬워, 3-4인으로 배치하며 VCR 평가를 병행하는 경우도 많다. 미국의 AKC는 개의 공격적 행동을 3단계로 구분하고 이에 따른 평가 기준을 제시했다(American Kennel Club, 2024).

첫 번째 단계는 불안 및 경계 상태로 입술을 핥거나 으르렁거리기, 이빨을 드러내거나 꼬리 숨기기, 상체를 앞으로 숙이는 등의 행동이 포함된다. 두 번째 단계는 위협적인 시그널을 위하여 약한 입질과 같은 위협적 신호가 포함되고, 세 번째 단계는 반복해서 물거나 물고 흔드는 등 강한 공격성을 보인다. 그러나 공격성 단계가 모든 상황에서 명확한 것은 아니며, 강하게 무는 행동만 평가해서는 안 된다. 표정, 소리 등 감정 표현을 종합적으로 평가해야 하며, 테스트는 응시견의 생활에 부정적 영향을 주지 않도록 스트레스가 감지될 경우 중단해야 한다. NSM Wesen Test의 평가 규정에 따르면 평가의 전 과정을 문서로 자세히 기록하여야 하며, 비디오로 녹화하여 날짜와 시간을 기록해 평가 상황을 객관적이고 정확히 기재하도록 조정하고 있다.

Wesensüberprüfung (Wesen test)는 독일에서 셰퍼드 종의 공격성을 평가하기 위해 개발된 평가 방법으로, 9~13개월 된 개를 대상으로 다양한 자극에 대한 반응과 유연성을 측정한다. 이 테스트는 사교성, 자극 반응, 낯선 상황에 대한 반응을 바탕으로 공격성을 평가한다. 합격/불합격이 있는 ATT와 달리 Wesen test는 각 작업에 대한 개의 반응을 관찰하고 분석하는 데 중점을 두며, 공격성은 7

단계로 구분되어 평가된다. 첫 번째 단계는 두려움이나 공격적 행동이 없는 경우이며, 두 번째 단계는 으르렁거리거나 이빨을 드러낸다. 세 번째 단계는 으르렁거리고 이빨을 드러내는 상태, 네 번째 단계는 세 번째 단계에서 접근하는 행동이 더해진다. 다섯 번째는 물려고 시도하거나 공격을 하고, 여섯, 일곱 번째 단계는 공격성이 더욱 심해지는 단계로 평가되며, 다섯 번째 단계부터 공격적 행동으로 간주된다(Thiesen-Moussa et al., 2018).

현재 대다수의 연구에서는 반려견의 행동 특성 평가를 위해 설문 조사를 사용하여 수치화 된 데이터를 기반으로 분석을 진행하고 있다. 하지만 이러한 평가 방식은 여전히 평가자의 주관적인 판단에 의존해 행동 특성을 평가한다는 단점이 있다. 따라서 보다 객관적이고 정확한 평가를 위해서는, 개의 행동 특성을 분석하는 과정에서 주관성을 배제하고 객관적으로 평가할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다. 이를 위해 개의 품종별, 국가별, 그리고 반려견 보호자별로 다양한 자료를 수집하고, 이를 바탕으로 통계적으로 평가 방법을 개선해 나가는 것이 중요할 것이다.

2. 행동 특성과 관련된 유전자

개에서 나타나는 공격성은 공중 보건, 경제, 그리고 동물 복지에 심각한 문제를 초래한다. 이는 공격성으로 인한 인명 피해뿐만 아니라, 공격적인 행동을 보인 개의 안락사 처리문제 때문에 동물 복지 측면에서도 중대한 문제가 발생되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 개의 행동 특성에 영향을 미치는 여러 요인을 파악하기 위한 연구가 수행되었다. 개의 공격성은 환경적 요인뿐만 아니라, 유전적 요인이 함께 영향을 미치는 복합적인 특성이다.

연구에 따르면, 공격성은 인간과 동물 모두에서 세로토닌 활성이 감소함으로써 유발될 수 있으며, 세로토닌(5-HT)은 개의 공격성과 밀접한 연관이 있는 신경 전달 물질로 알려져 있다(Lesch and Merschdorf, 2000). 특히 공격적인 행동을 보이는 개에서는 뇌척수액 내 세로토닌의 주요 대사산물인 5-hydroxyindoleacetic acid의 농도가 감소하는 것으로 나타났다(Reisner et al., 1996).

이에 대한 추가 연구로 Van den Berg et al. (2005) 연구팀은 공격성을 보이는 골든 리트리버에서 세로토닌 수용체(*HTR1A*, *HTR1B*, *HTR2A*)와 세로토닌 수송체(*SLC6A4*)가 미치는 영향을 조사하였다(Van den Berg et al., 2005; 2008). 이 연구는 개의 공격성에 관여하는 주요 유전자로 *SLC6A4*, *DRD4*, *HTR1A*, *HTR1B*, *HTR2A* 유전자가 있음을 밝혀냈다. *HTR1A* 수용체는 세로토닌이 결합할 때 주로 억제하는 작용을 한다. 이 수용체는 G-단백질을 통해 아데닐 고리화 효소를 억제해 신경 세포의 활동을 억제한다. 이와 반대로 *HTR2A* 수용체는 세로토닌이 결합할 때 인지질 분해효소를 활성화해 세포 내의 칼슘 이온의 농도를 증가시키고 신호 전달 경로를 활성화시킨다.

개의 *DRD4* (Dopamine Receptor D4) 유전자는 행동 특성과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다. *DRD4* 유전자는 주로 신경 세포에서 발현되며, 인지 및 감정적 행동에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Van Tol et al., 1991). 연구에 따르면 *DRD4* 유전자의 exon1, exon3, intron의 세 영역에서 다형성이 발견되었으며, 이 중 exon1과 intron2에서 충동성과 관련된 삽입/결실 변이가 확인되었다(Benjamin et al., 1996; Ebstein et al., 1996; Inoue-Murayama, 2009; Hori et al., 2013).

또한, exon3에서는 공격성, 활동성 및 충동성과 관련된 짧은 반복서열(short tandem repeat)의 변이가 발견되었다(Niimi et al., 1999). 2007년 연구에서는 경찰견으로 활용되고 있는 독일 셰퍼드와 애완견으로 키우고 있는 독일 셰퍼드종 약 200마리를 대상으로 *DRD4* 3번 exon의 반복 서열을 연구했고 경찰견에서 더 높은 공격성과 충동성이 나타남을 확인했다. 해당 연구는 같은 품종에서도 생활 환경에 따라 행동 특성에 영향이 미칠 수 있음을 시사한다(Hejjas et al., 2007). Niimi et al. (2001)의 연구에서는 비글, 골든 리트리버, 셰틀랜드 쉽독, 시바견을 포함한 다양한 품종의 *DRD4* 유전자 변이를 분석했으며, 품종별로 변이 수와 위치가 다르게 나타남을 확인하였다.

반려견의 행동특성과 같이 수치로 측정되는 연속변이 형질로 표현하기 어려운 형질은 후보유전자 탐색에 어려움이 많을 수 있고, 단일유전자의 영향이 아닌 다수의 유전자가 복합적으로 영향을 미치는 경우 연관성 분석의 통계적 유의성을 확보하기 위해서는 방대한 양의 데이터가 필요하게 된다(Willis-Owen and Flint, 2006; Ilska et al., 2017). Genome-Wide Association Study (GWAS)와 같은 유전체 분석 방법은 특정 형질과 유전 변이 간의 연관성을 분석하는 데 유용하게 활용될 수 있지만 형질에 대한 표현형이 수준을 측정할 수 있는 카테고리 데이터 혹은 수치데이터로 정확한 측정이 되지 않는 경우는 GWAS로 원인유전자를 특정하는 것은 어려운 과

정이 될 수 있다. 이러한 이유로 개의 행동 특성과 관련된 유전체 분석 연구는 아직 많이 이루어지지 않았으며, 관련 유전자나 유전적 구조에 대한 정보도 충분하지 않은 상태이다. 또한, 이미 분석결과를 보고한 다른 문헌들의 경우에도 반려견의 행동특성을 평가한 방식이 각기 다른 방식으로 진행되어 결과를 통합해 의미 있는 후보유전자를 도출하는 데는 한계가 있는 것으로 보인다. 현재까지 연구를 통해 개의 행동 특성과 관련된 *DRD4*, *OXTR*, *SLC6A* 등과 같은 후보 유전자가 발견되었으나, 이는 초기 단계의 연구로 여전히 추가적인 연구가 필요한 상황이다(Table 2) (Våge et al., 2010; Kis et al., 2014).

Table 2. Genes associated with canine behavioral traits

Behavioral trait	Gene	Related SNP	Reference
Sociability	<i>WBSCR17</i>		(Tandon et al., 2019)
	<i>OXTR</i>	rs8679682	(Bence et al., 2016)
		rs8679684	(Kovacs et al., 2016)
		rs53576, rs1042778, rs2254298	(Persson et al., 2017)
		(Lancaster et al., 2017)	
		(Cimarelli et al., 2017)	
		(Kovacs et al., 2016)	
		(Konno et al., 2018)	
		(Tops et al., 2018)	
Aggression	<i>SLC6A4</i>	rs53576, rs2254298	(Van den Berg et al., 2008)
			(Shan et al., 2021)
	<i>DRD4</i>		(Popa et al., 2022)
			(Niimi et al., 2001)
			(Hori et al., 2013)
			(Ilska et al., 2017)
Depression	<i>MC2R</i>		(Switonski et al., 2013)
			(Ji et al., 2022)

SNP, Single nucleotide polymorphism; *WBSCR17*, Williams-Beuren syndrome chromosome region 17; *OXTR*, Oxytocin Receptor; *SLC6A4*, Solute Carrier Family 6 Member 4; *DRD4*, Dopamine Receptor D4; *MC2R*, Melanocortin 2 Receptor

현재까지 반려견의 행동 특성과 관련된 여러 유전자들이 밝혀졌고, 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 그러나 개의 행동 특성은 단일 유전자가 아닌 다수의 유전자가 복합적으로 상호작용하여 나타나는 특성일 가능성이 크고, 유전적 요인 외에도 생활 환경 사회적 경험 등이 복합적으로 영향을 미친다. 또한, 대부분의 연구가 특정 품종을 대상으로 제한된 개체 수에서 나타나는 행동 특성에 주목해 분석하는 데 그치고 있다. Morrill et al. (2022) 연구팀은 18,000여마리의 순종과 잡종견 보호자를 대상으로 설문조사를 하고 반려견 2,155마리의 유전자를 분석해 개의 행동과 품종 간 관계를 밝혔다. 연구에 따르면 개의 품종은 행동 특성에 9%정도 영향을 미치며 25% 정도의 유전자와 환경, 나이, 성별 등에 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 보다 객관적이고 정확한 연구를 위해서는 대규모의 다중 유전자 탐색 연구를 장기간에 걸쳐 수행하고, 각 품종별 특징과 환경적 요인, 행동 특성 간의 상관관계를 함께 분석할 필요가 있다.

3. 행동 특성과 관련된 호르몬

호르몬 농도의 변화는 인간과 동물의 기분 및 행동에 중요한 영향을 미친다. 테스토스테론(Testosterone)은 수컷의 성 호르몬으로, 성적 행동과 함께 공격성을 조절하는 역할을 한다. 연구에 따르면, 테스토스테론 수치가 높을수록 개가 다른 동물이나 인간에게 더 공격적으로 반응할 가능성이 높아진다(Kleszcz et al., 2022).

이러한 이유로 많은 반려인들은 수컷 개의 공격성을 줄이고, 더 온순하게 기르기 위해 중성화 수술을 선택한다. 연구 결과에 따르면, 중성화 수술을 받은 개는 그렇지 않은 개에 비해 성적 행동과 공격적인 행동이 크게 감소하는 경향을 보였다(McGreevy et al., 2018; George and Rosvall, 2022; Kleszcz et al., 2022).

그러나 최근 성호르몬의 수치의 감소가 반드시 공격성이나 부정적 행동을 크게 줄이지는 않는다는 연구 결과가 밝혀지고 있다.

수컷의 경우 태아기 동안 테스토스테론에 의해 뇌의 특정 영역이 남성화되어, 성체가 되었을 때 행동 패턴에 영향을 미치기 때문에 이미 성체가 된 이후 거세를 해도 공격적인 행동이 크게 감소하지 않을 수 있다. 따라서 단순히 호르몬 수치 조절만으로는 행동 패턴을 변화시키기 어려울 수 있음을 시사한다(McGreevy et al., 2018).

동물의 행동 특성 중, 특히 사회성은 다양한 뇌 호르몬에 의해 영향을 받는다. 그중 글루코코르티코이드(Glucocorticoid)는 불안감과 스트레스와 관련이 있으며, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Kim et al., 2007). 글루코코르티코이드의 한 종류인 코르티솔(Cortisol)은 부신 피질에서 생성되며 시상하부-뇌하수체-부신(HPA) 축에 의해 조절된다. 스트레스 상황에서 시상하부는 부신피질 자극호르몬 방출 호르몬(CRH)을 분비하고, 이로 인해 뇌하수체에서 부신피질 자극 호르몬(ACTH)이 분비된다. 이후 부신에서 코르티솔이 생성된다(Wojtaś et al., 2020). *MC2R* (Melanocortin 2 Receptor)는 *ACTHR* (Adrenocorticotrophic Hormone Receptor gene)으로도 알려졌으며 코르티솔 분비 조절에 중요 역할을 하는 수용체를 암호화한다. *MC2R* 유전자의 변이나 기능 이상은 부신 기능 저하증과 같은 질환을 일으킬 수 있으며, 이로 인해 스트레스 관리 등에 이상이 발생할 수 있다(Mountjoy et al., 1992; Cone and Mountjoy, 1993). 이와 더불어 MacLean et al. (2019) 연구팀은 품종 간 낯선 사람에게 공격성을 보이는 행동 특성의 차이가 *GRM8* SNP에 연관 있음을 밝혀냈다. *GRM8* (Glutamate Metabotropic Receptor 8)는 중추신경계에서 흥분 신경전달물질 중 하나인 글루타민산 수용체를 암호화하며 신경 전달이 과도하게 일어나는 것을 방지하며 변이가 생겼을 경우 스트레스가 증가해 불안장애 등을 유발할 수 있다.

개가 스트레스를 받을 경우 코르티솔 수치가 증가하며, 이 농도가 장기간 유지되면 불안 장애나 공격성으로 이어질 수 있다. Wojtaś et al. (2020) 연구진에 따르면 특수 목적적인 인명 구조건의 스트레스 수준을 코르티솔 농도를 통해 분석한 결과 스트레스에 노출된 구조건의 코르티솔 농도가 스트레스에 노출되지 않은 구조건보다 높았다.

옥시토신(Oxytocin)은 개의 행동 특성에 중요한 영향을 미치는 호르몬으로, 사회적 행동과 유대 형성에 핵심적인 역할을 한다. 인간과 개가 눈을 마주치거나 보호자가 개를 쓰다듬는 등의 상호작용을 할 때 옥시토신 수치가 증가하며, 이는 개의 사회적 행동을 촉진시킨다. 또한 옥시토신 수치의 증가는 스트레스와 불안을 줄이는 데 도움을 줄 수 있다. *OXTR* (Oxytocin receptor)는 이러한 옥시토신의 신호를 세포 내로 전달하는 수용체 단백질이다. 뇌하수체 후엽에서 옥시토신이 방출되면 *OXTR*이 호르몬과 결합해 세포 내의 신호 전달 경로가 활성화되어 공감, 사회적 유대감을 촉진한다. *OXTR*의 변이 혹은 발현 이상은 정신적 질환과 연관될 수 있다. 관련 연구로 개의 비강 내에 옥시토신을 주입하여 옥시토신 농도를 높였을 때 보호자와의 더 높은 유대감을 형성함을 발견한 연구가 있다(Romero et al., 2014). 반면, 옥시토신 수치가 낮아질 경우 개는 스트레스와 불안 증세를 보일 수 있으며, 심지어 공격적인 행동을 나타낼 가능성도 있다(Lee et al., 2009). 이와 관련하여 옥시토신이 두려움 및 공격성과 관련된 행동에 미치는 영향을 연구한 사례도 인간을 대상으로 보고된 바 있다(Kirsch et al., 2005).

4. 국내 연구의 필요성

현재까지 연구를 통해 반려견 행동 특성과 연관된 호르몬은 테스토스테론, 코르티솔, 옥시토신 호르몬이 발견되었다. 반려견 행동 특성과 관련된 유전자로는 *DRD4*, *OXTR*, *SLC6A4*, *HTR1A*, *HTR1B*, *HTR2A* 그리고 *GRM8* 유전자가 발견되었다(Table 2). 선행 연구들을 분석한 결과, 반려견 행동 특성과 관련된 연구는 대부분 해외에서 진행된 것으로 나타났다. 그 결과, 반려견 행동 특성을 평가하는 평가 방법 역시 해외 보호자와 반려견을 대상으로 개발된 자료에 기반하고 있다. 이는 주거환경을 비롯한 견주와의 유대감 형성 등의 환경요인이 국내 사정과는 크게 다를 수 있음을 시사하기도 한다. 최근, 한국 애견협회(Korean Kennel club, KKC)에서는 국내 맹견의 행동 평가를 위해 독일 Wesen test를 도입하기로 하였으며 이를 위해 반려견 기질 평가 교육을 진행하고 있다(Korean Kennel Club, 2024). 국내에서는 소형견을 주로 기르는 반면, 해외에서는 대형견을 많이 기른다는 점에서 국내에 해외 평가 방법을 바로 도입하기에는 어려움이 있기 때문에 국내 실정에 적합한 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

CONCLUSION

본 논문은 반려견 행동에 영향을 미치는 유전자와 호르몬의 역할에 대해서 종합적으로 기술하였다. 특히, 반려견 행동 특성과 연관된 *DRD4*, *OXTR*, *SLC6A4* 유전자뿐만 아니라, 공격성과 관련된 *HTR1A*, *HTR1B*, *HTR2A* 유전자의 영향을 확인하였다. 이 유전자들은 반려견의 공격성, 충동성, 사회적 상호작용 등 다양한 행동 특성과 밀접하게 연관되어 있으며, 반려견 행동 문제를 이해하고 예측하는 데 중요한 역할을 하는 것으로 보고되었다. 호르몬 연구에서는 테스토스테론이 공격성에, 옥시토신이 스트레스 및 불안, 코르티솔이 스트레스 완화 및 사회적 유대감 증진에 영향을 미친다는 사실이 밝혀졌다.

해당 연구들은 국내 반려견의 행동 문제들을 이해하는 데 기여할 수 있으며, 유전자와 호르몬을 기반으로 한 행동 문제 예측 및 교정 프로그램 개발에 기초 자료를 제공할 것이다. 추후 국내 반려견 행동 연구에서도 문제 행동 해결에 실질적 기여를 할 수 있을 것으로 예상된다.

CONFLICT OF INTERESTS

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

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was funded by the Rural Development Administration, South Korea (grant number RS-2023-00231965)

REFERENCES

- American Kennel Club. (2024). <https://www.akc.org/>. (2024.09.12).
- Bence M, Marx P, Szantai E, Kubinyi E, Ronai Z, Banlaki Z. 2016. Lessons from the canine *Oxtr* gene: populations, variants and functional aspects. *Genes, Brain and Behavior* 16: 427-438.
- Benjamin J, Li L, Patterson C, Greenberg BD, Murphy DL, Hamer DH. 1996. Population and familial association between the D4 dopamine receptor gene and measures of novelty seeking. *Nature Genetics* 12: 81-84.
- Borud LJ, Friedman DW. 2000. Dog bites in New York city. *Plastic and Reconstructive Surgery* 106: 987-990.
- Cimarelli G, Viranyi Z, Turcsan B, Ronai Z, Sasvari-Szekely M, Banlaki Z. 2017. Social Behavior of Pet Dogs Is Associated with Peripheral *OXTR* Methylation. *Frontiers Psychology* 8: 549.
- Cone RD, Mountjoy KG. 1993. Molecular genetics of the ACTH and melanocyte-stimulating hormone receptors. *Trends in Endocrinology & Metabolism* 4: 242-247.
- C-BARQ. (2003). <https://vetapps.vet.upenn.edu/cbarq/about.cfm>. (2024.09.12).
- Daniels DM, Ritzi RB, O'Neil J. 2009. Analysis of nonfatal dog bites in children. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 66: S17-S22.
- Ebstein RP, Novick O, Umansky R, Priel B, Osher Y, Blaine D, Bennett ER, Nemanov L, Katz M, Belmaker RH. 1996. Dopamine D4 receptor (*D4DR*) exon III polymorphism associated with the human personality trait of novelty seeking. *Nature Genetics* 12: 78-80.
- Galac S, Knol B. 1997. Fear-motivated aggression in dogs: patient characteristics, diagnosis and therapy. *Animal Welfare* 6: 9-15.
- George EM, Rosvall KA. 2022. Bidirectional relationships between testosterone and aggression: a critical analysis of four predictions. *Integrative and Comparative Biology* 62: 474-486.
- Hejjas K, Vas J, Topal J, Szantai E, Ronai Z, Székely A, Kubinyi E, Horváth Z, Sasvari - Szekely M, Miklosi A. 2007. Association of polymorphisms in the dopamine D4 receptor gene and the activity - impulsivity endophenotype in dogs. *Animal Genetics* 38: 629-33.

- Hori Y, Kishi H, Inoue-Murayama M, Fujita K. 2013. Dopamine receptor D4 gene (DRD4) is associated with gazing toward humans in domestic dogs (*Canis familiaris*). *Scientific Research*. DOI:10.4236/ojas.2013.31008
- Hsu Y, Serpell JA. 2003. Development and validation of a questionnaire for measuring behavior and temperament traits in pet dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 223: 1293-1300.
- Ilska J, Haskell MJ, Blott SC, Sánchez-Molano E, Polgar Z, Lofgren SE, Clements DN, Wiener P. 2017. Genetic characterization of dog personality traits. *Genetics* 206: 1101-11.
- Inoue - Murayama M. 2009. Genetic polymorphism as a background of animal behavior. *Animal Science Journal* 80: 113-120.
- Ji RL, Jiang SS, Tao YX. 2022. Modulation of Canine Melanocortin-3 and -4 Receptors by Melanocortin-2 Receptor Accessory Protein 1 and 2. *Biomolecules* 12: 1608. DOI: org/10.3390/biom12111608.
- KBFB (KB Financial Group). 2023. 2023 Korea Pet Report. KBFG, Seoul, Korea. [in Korean]
- Kim MJ, Chae JS, Kim KJ, Hwang SG, Yoon KW, Kim EK, Yun HJ, Cho JH, Kim J, Kim BW. 2007. Negative regulation of SEK1 signaling by serum - and glucocorticoid - inducible protein kinase 1. *The EMBO Journal* 26: 3075-3085.
- Kirsch P, Esslinger C, Chen Q, Mier D, Lis S, Siddhanti S, Gruppe H, Mattay VS, Gallhofer B, Meyer-Lindenberg A. 2005. Oxytocin modulates neural circuitry for social cognition and fear in humans. *Journal of Neuroscience* 25: 11489-11493.
- Kis A, Bence M, Lakatos G, Pergel E, Turcsán B, Pluijmakers J, Vas J, Elek Z, Brúder I,Földi L. 2014. Oxytocin receptor gene polymorphisms are associated with human directed social behavior in dogs (*Canis familiaris*). *PloS one* 9: e83993.
- Kleszcz A, Cholewińska P, Front G, Pacoń J, Bodkowski R, Janczak M, Dorobisz T. 2022. Review on selected aggression causes and the role of neurocognitive science in the diagnosis. *Animals* 12: 281.
- Konno A, Inoue-Murayama M, Yabuta S, Tonoike A, Nagasawa M, Mogi K, Kikusui T. 2018. Effect of canine oxytocin receptor gene polymorphism on the successful training of drug detection dogs. *Journal of Heredity* 109: 566-572.
- Kovacs K, Kis A, Pogany A, Koller D, Topal J. 2016. Differential effects of oxytocin on social sensitivity in two distinct breeds of dogs (*Canis familiaris*). *Psychoneuroendocrinology* 74: 212-220.
- Korean Kennel Club. (2024). <https://kkc.or.kr/main/main.html>. (2024.09.12).
- Lancaster K, Goldbeck L, Pournajafi-Nazarloo H, Connelly JJ, Carter CS, Morris JP. 2017. The Role of Endogenous Oxytocin in Anxiolysis: Structural and Functional Correlates. *Biol Psychiatry Cognitive Neuroscience Neuroimaging* 3: 618-625.
- Lee H-J, Macbeth AH, Pagani JH, Young 3rd WS. 2009. Oxytocin: the great facilitator of life. *Progress in Neurobiology* 88: 127-151.
- Lesch KP, Merschdorf U. 2000. Impulsivity, aggression, and serotonin: a molecular psychobiological perspective. *Behavioral Sciences & The Law* 18: 581-604.
- MacLean EL, Snyder-Mackler N, VonHoldt BM, Serpell JA. 2019. Highly heritable and functionally relevant breed differences in dog behaviour. *Proceedings of the Royal Society B* 286: 20190716. DOI:<https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0716>
- McGreevy PD, Wilson B, Starling MJ, Serpell JA. 2018. Behavioural risks in male dogs with minimal lifetime exposure to gonadal hormones may complicate population-control benefits of desexing. *PloS one* 13: e0196284.
- Morrill K, Hekman J, Li X, McClure J, Logan B, Goodman L, Gao M, Dong Y, Alonso M, Carmichael E. 2022. Ancestry-inclusive dog genomics challenges popular breed stereotypes. *Science* 376: eabk0639.
- Niimi Y, Inoue-Murayama M, Murayama Y, Iwasaki T. 1999. Allelic variation of the D4 dopamine receptor polymorphic region in two dog breeds, Golden retriever and Shiba. *Journal of Veterinary Medical Science* 61: 1281-1286.
- Niimi Y, Inoue-Murayama M, Kato K, Matsuura N, Murayama Y, Ito S, Momoi Y, Konno K, Iwasaki T. 2001. Breed differences in allele frequency of the dopamine receptor D4 gene in dogs. *Journal of Heredity* 92: 433-435.
- NFA (National Fire Agency). 2021. Status of 119 Emergency Transport for Dog Bite Incidents. NFA, Sejong, Korea. [in Korean]
- Park H-A, Kim Y-G, Yuk K-C, Joo Y-Y, Choi Y-S, Hwang S-G. 2023. Analysis of domestic standards through overseas dog Aggression evaluation analysis. *Journal of The Korea Contents Association* 23: 565-576.
- Persson ME, Trottier AJ, Belteky J, Roth LSV, Jensen P. 2017. Intranasal oxytocin and a polymorphism in the oxytocin receptor gene are associated with human-directed social behavior in golden retriever dogs. *Hormones and Behavior* 95: 85-93.
- Popa N, Bachar D, Roberts AC, Santangelo AM, Gascon E. 2022. Region-specific microRNA alterations in marmosets carrying SLC6A4 polymorphisms are associated with anxiety-like behavior. *EBioMedicine* 82: 104159.

- Reisner IR, Mann JJ, Stanley M, Huang Y-y, Houpt KA. 1996. Comparison of cerebrospinal fluid monoamine metabolite levels in dominant-aggressive and non-aggressive dogs. *Brain Research* 714: 57-64.
- Rigterink A, Houpt K. 2014. Genetics of canine behavior: A review. *World Journal of Medical Genetics* 4: 46-57.
- Romero T, Nagasawa M, Mogi K, Hasegawa T, Kikusui T. 2014. Oxytocin promotes social bonding in dogs. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 9085-9090.
- Mountjoy KG, Robbins LS, Mortrud MT, Cone RD. 1992. The cloning of a family of genes that encode the melanocortin receptors. *Science* 257: 1248-1251.
- Shan S, Xu F, Brenig B. 2021. Genome-Wide Association Studies Reveal Neurological Genes for Dog Herding, Predation, Temperament, and Trainability Traits. *Frontiers in Veterinary Science* 8: 693290.
- Switonski M, Mankowska M, Salamon S. 2013. Family of melanocortin receptor (MCR) genes in mammals mutations, polymorphisms and phenotypic effects. *Journal of applied Genetics* 54: 461-472.
- Tandon D, Ressler K, Petticord D, Papa A, Jiranek J, Wilkinson R, Kartzinel RY, Ostrander EA, Burney N, Borden C. 2019. Homozygosity for mobile element insertions associated with WBSCR17 could predict success in assistance dog training programs. *Genes* 10: 439.
- Thiesen-Moussa D, Hettwer A, Hackbart A. 2018. Der Niedersächsische Wesenstest: Ergebnisse des Testens der Gefährlichkeit von Hunden. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr*.
- Tops S, Habel U, Radke S. 2018. Genetic and epigenetic regulatory mechanisms of the oxytocin receptor gene (OXTR) and the (clinical) implications for social behavior. *Hormones and Behavior* 108: 84-93.
- Våge J, Wade C, Biagi T, Fatjó J, Amat M, Lindblad - Toh K, Lingaas F. 2010. Association of dopamine - and serotonin - related genes with canine aggression. *Genes, Brain and Behavior* 9: 372-378.
- Van den Berg L, Kwant L, Hestand MS, Van Oost BA, Leegwater PA. 2005. Structure and variation of three canine genes involved in serotonin binding and transport: the serotonin receptor 1A gene (htr1A), serotonin receptor 2A gene (htr2A), and serotonin transporter gene (slc6A4). *Journal of Heredity* 96: 786-796.
- Van den Berg L, Vos-Loohuis M, Schilder M, Van Oost B, Hazewinkel H, Wade C, Karlsson EK, Lindblad-Toh K, Liinamo A, Leegwater P. 2008. Evaluation of the serotonergic genes htr1A, htr1B, htr2A, and slc6A4 in aggressive behavior of golden retriever dogs. *Behavior Genetics* 38: 55-66.
- Van Tol HH, Bunzow JR, Guan H-C, Sunahara RK, Seeman P, Niznik HB, Civelli O. 1991. Cloning of the gene for a human dopamine D4 receptor with high affinity for the antipsychotic clozapine. *Nature* 350: 610-614.
- Willis-Owen SA, Flint J. 2006. The genetic basis of emotional behaviour in mice. *European Journal of Human Genetics* 14: 721-728.
- Wojtaś J, Karpiński M, Czyżowski P. 2020. Salivary cortisol interactions in search and rescue dogs and their handlers. *Animals* 10: 595.

AUTHORS INFORMATION

Jin Hyung Kim: <https://orcid.org/0009-0006-8948-4882>

Eunjin Cho: <https://orcid.org/0000-0003-4800-1603>

Minjun Kim: <https://orcid.org/0000-0002-8173-8431>

Kun Ho Song: <https://orcid.org/0000-0001-8478-2035>

Dongwon Seo: <https://orcid.org/0000-0003-0548-7068>

Jun Heon Lee: <https://orcid.org/0000-0003-3996-9209>