

강아지 고리뼈의 치아돌기 골절 진단과 치료

박형준^{1*} · 이신호^{2*} · 김충희³ · 원청길³ · 조재현^{3*}

랑스동물병원¹, 경남정보대학교 반려동물케어과², 경상국립대학교 수의학과 동물의학연구소³

Diagnosis and treatment of the odontoid process fracture of the axis in a dog

Hyoung Joon Park^{1†}, ShinHo Lee^{2†}, Chung Hui Kim³, ChungKil Won³, Jae-Hyeon Cho^{3*}

¹Rang's Animal Hospital, Jinju 52783, Korea

²Department of Companion Animal Care, Kyungnam College of Information & Technology, Busan 47011, Korea

³Institute of Animal Medicine, College of Veterinary Medicine, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Received February 15, 2023

Revised March 3, 2023

Accepted March 10, 2023

Corresponding author:

Jae-Hyeon Cho

E-mail: jaecho@gnu.ac.kr

https://orcid.org/0000-0003-1126-9809

[†]These first two authors contributed equally to this work.

A 7-year-old dog weighing 3.9 kg visited the hospital with symptoms of inability to stand and quadriplegia. There were seizure symptoms 2 months before admission to the hospital, and the symptoms of stiffness and rigidity appeared. Radiographs showed normal vertebrae in cervical vertebral column. Magnetic resonance imaging (MRI) and computed tomography (CT) were performed immediately to diagnose vertebral lameness. As a result of the CT, it was possible to observe the fracture of the odontoid process of the axis, and the exact location of the damage was identified. The odontoid process was fractured and separated from the body of the 2nd cervical vertebra (axis), and fragment of the process was observed inside the vertebral arch of the first cervical vertebra (atlas), and the body of the axis was lifted to the dorsal side. The MRI examination reflected the CT findings and confirmed severe spinal cord compression due to the fracture of the odontoid process. The patient was applied by neck brace and medical management including Mycophenolate mofetil administration was performed. The patient was able to move legs and tail after 2 weeks, and was able to voluntarily defecate, urinate and stand up after 4 weeks of administration.

Key Words: Odontoid process fracture, Atlas, Axis, Radiography, CT, MRI, Dog

서론

강아지 척추뼈는 목뼈, 등뼈, 허리뼈, 엉치뼈, 꼬리뼈로 구성되어 있으며 척추에서 골절이 발생한다(Hawthorne 등, 1999; Caterino 등, 2022). 특히 허리뼈에서 골절이 상대적으로 빈번하게 일어나며 갈비뼈와 관절하는 등뼈의 골절은 발생 빈도가 낮지만, 목뼈에서는 등뼈보다 높은 빈도의 골절이 나타난다. 척추뼈에서 골절이 가장 흔히 일어나는 부위는 척추 몸통, 가로돌기, 가시돌기 등이며, 척추는 몸의 중심이 되는 부분이고 균형을 유지하는 데 중요하기 때문에 척추뼈의 골절은 척추 배열의 이상과 척추사이원반의 간격 변화를 일으키고 중추신경계 손상의 합병증 유발에 의한 심각한 장애가 발생한다(Jeffery, 2010; Thrall, 2022).

목뼈(경추, cervical vertebrae)는 목 부위에 7개로 구성되어 있다. 첫 번째 목뼈는 고리뼈(환추, atlas)라고 부르며 특유의 모양을 가지고 있다. 고리뼈는 몸통과 가시돌기가 없으나 몸통의 가쪽에 날개 모양의 큰 돌기를 가지고 있어 가로돌기 혹은 날개라고도 하며 척추 몸통을 대신하여 배쪽과 등쪽 척추고리를 만들어서 둥근 원형의 고리구조를 형성한다.

두 번째 목뼈는 중쇠뼈(축추, axis)라 불리며 몸통 길이가 특징적으로 길고 몸통 등쪽에서 솟아오르는 가시돌기가 크게 발달하여 고리뼈가 이것을 기준으로 하여 뇌머리뼈를 목뼈에 실은

의 합병증 유발에 의한 심각한 장애가 발생한다(Jeffery, 2010; Thrall, 2022).

채로 움직이는 머리와 목의 운동력을 돕는다. 특히 무거운 머리를 목과 몸통에 보정하는 강력한 구조물인 목덜미인대(nuchal ligament)가 등뼈의 가시돌기 가장자리에서 발달하여 중쇠뼈 몸통의 가시돌기의 뒤쪽 가장자리 부근에 부착된다. 세 번째 목뼈에서 일곱 번째 목뼈는 일반적인 형태의 척추뼈 몸통, 가시돌기를 가지고 가로돌기는 등쪽과 배쪽돌기를 형성하여 몸통에서 등쪽 및 가쪽으로 뻗어나간다. 몸통의 길이는 뒤쪽 목뼈로 갈수록 짧아지고 가시돌기의 높이는 뒤쪽 목뼈일수록 길이가 길고 점점 높아져서 그 높이가 등뼈의 가시돌기로 이행되는 특징이 있다.

중쇠뼈의 앞쪽에는 치아돌기(dens 또는 odontoid process)가 있어 척추 몸통 역할을 하는 배쪽고리의 치아돌기오목에 놓여 목의 회전운동에 기여하며 고리뼈 고리 구조 안쪽에서 발달한 고리가로인대가 중쇠뼈의 치아돌기를 고리뼈의 치아돌기오목에 관절시키는 역할을 한다(Zaki, 1980; Salas 등, 2015). 고리뼈는 척추 몸통을 형성하지 않은 특징으로 고리뼈와 중쇠뼈 사이에서 척추사이원반이 존재하지 않으며 두 뼈의 관절돌기, 중쇠뼈의 치아돌기 및 고리뼈의 고리가로인대(transverse ligament of atlas)가 고리뼈와 중쇠뼈를 단단하게 보정시키는 역할을 한다(Hamilton 등, 2016). 또한 고리뼈는 뒤통수뼈와 관절하여 목을 끄덕끄덕 하는 운동을 도우며, 중쇠뼈는 고리뼈가 치아돌기를 축으로 하여 돌기 주위를 회전하는 형태의 운동성을 부여하여 머리를 좌우로 움직일 수 있게 돕는다(Dolera 등, 2017; Fernandes 등, 2019; Tabanez 등, 2021).

이러한 고리뼈와 중쇠뼈 사이에 형성된 관절의 형태와 뒤통수뼈와 관절하는 고리중쇠뼈의 해부생리학적 중요성 때문에 외상이나 물리력에 의한 고리중쇠뼈의 골절이나 관절 이상이 발생하는 것은 목 부분에서 치명적인 손상을 초래할 수 있다(Gage, 1971).

현재까지 척추뼈의 손상에 대한 분석과 치료에 관한 연구보고는 다수 있으나 일곱 번째 중의 고리뼈와 중쇠뼈의 골절이나 관절 손상에 관한 연구는 상대적으로 적다. 외상에 의한 목뼈 손상은 신경학적 장애 또는 죽음에 이를 수도 있는 치명적인 손상으로, 이로 인한 막대한 경제적 손실로 인하여 진단 및 치료에 대한 중요성이 강조된다.

증 례

신체검사 소견

체중 3.9 kg된 7세령의 반려견이 기립 불능과 사지부전마비

증상을 보이며 내원하였다. 병원 내원 2개월 전에 발작 증상이 있었고 옆으로 누워 몸이 뻣뻣해지고 강직되는 증상에 동반해서 호흡이 멈추는 증상이 나타나기도 하였다. 전반적인 전신 상태는 양호하지만 통증반응과 신경계통의 증상을 나타내고 정상적인 보행이 어려웠다. 심장초음파 검사에서 이상 혈류 파형이나 비정상적인 심장 수축 소견은 관찰되지 않았다.

방사선촬영 소견

신체 검사상 운동 제한 등의 특이 소견이 있어 방사선촬영을 진행하였는데, 뚜렷한 근골격계 이상이 관찰되지 않았다. 목뼈에 대한 단순 방사선촬영 소견상 고리뼈, 중쇠뼈를 포함하여 목뼈의 골절 소견은 없었다. 첫 번째 목뼈인 고리뼈와 두 번째 목뼈인 중쇠뼈의 사이의 척추간 공간이 일정 간격을 형성하고 비정상적으로 고리뼈와 중쇠뼈 사이의 척추 간 공간이 벌어져 있지 않았다(Fig. 1A). 가슴부위 배등쪽 방사선 사진에서도 목뼈의 몸통 간 간격이 일정하게 유지되고 척추 몸통에서 특이적 골절이 발견되지 않았다(Fig. 1B).

컴퓨터단층촬영(CT) 소견

방사선 촬영상 관찰되지 않는 목뼈의 미세골절 등의 정밀한 골절 감별을 위해 컴퓨터단층촬영(computed tomography, CT)을 진행하였다. 목 부위의 원 가쪽에서 촬영한 CT 결과 중쇠뼈의 치아돌기가 골절된 것을 관찰할 수 있고, 손상의 정확한 위치를 파악할 수 있었다. 치아돌기가 골절되어 중쇠뼈 몸통에서 분리되어 돌기 파편이 고리뼈 몸통 안쪽에서 관찰되고 중쇠뼈의 몸통은 등쪽으로 들려져서 상승해 있다. CT상에서 두 번째 목뼈에서 일곱 번째 목뼈의 몸통은 일정한 간격을 유지하고 있지만 중쇠뼈 몸통은 고리뼈 몸통과는 별개로 분리되어 있고 고리가로인대가 중쇠뼈 치아돌기를 보정하지 못하고 고리중쇠뼈 간의 관절 형성은 이루어지지 않은 상태에 있다(Fig. 2A). 고리뼈의 앞쪽에서 촬영한 CT 영상의 결과에서도 고리뼈의 배쪽고리 안쪽 부분에 중쇠뼈의 치아돌기 조각이 관찰된다(Fig. 2B). 중쇠뼈의 치아돌기가 고리뼈의 고리구조 안쪽 치아돌기오목에서 관절하는 해부학적 특징과 분쇄된 돌기 파편이 아주 작은 구조물이라 방사선 검사에서 정확하게 판별되지 않았지만 CT 촬영에서 고리뼈의 고리구조 안쪽에서 골절된 돌기를 관찰할 수 있었다.

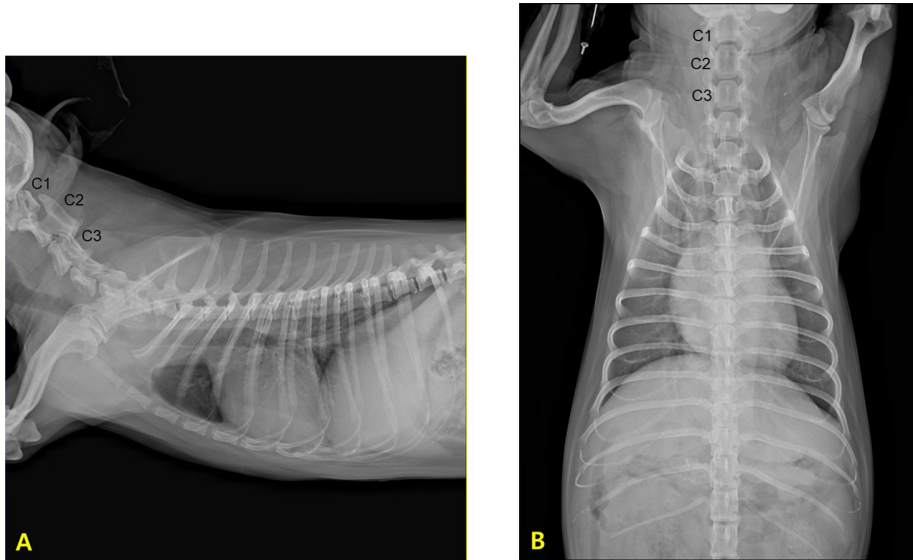


Fig. 1. Radiography of the cervical vertebrae of dog. (A) Lateral radiograph of cervical vertebrae. (B) Ventrodorsal radiograph of cervical vertebrae of dog. C1: 1st cervical vertebrae (atlas). C2: 2nd cervical vertebra (axis). C3: 3rd cervical vertebra.

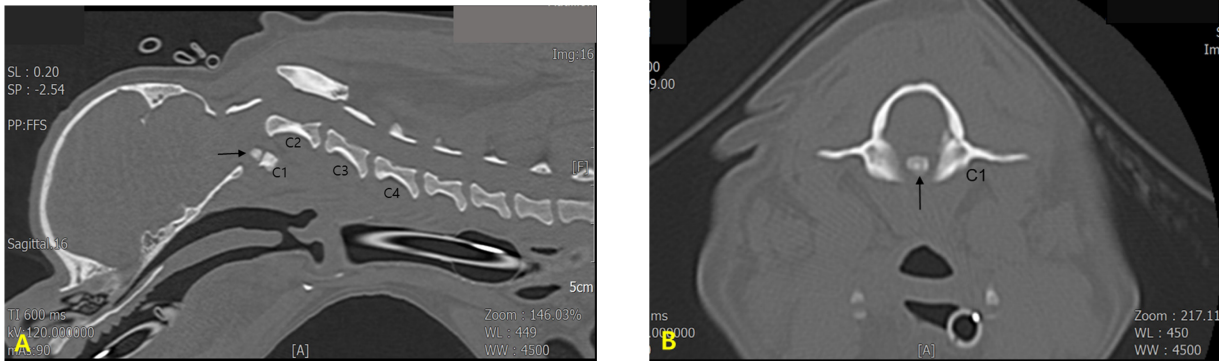


Fig. 2. Computed tomography (CT) images of the cervical vertebrae in the dog. Sagittal CT image (A) and transverse CT image (B) showed the fracture of odontoid process of the axis. Arrow revealed the fracture of the odontoid process. C1: Atlas. C2: Axis. C3: 3rd cervical vertebra. C4: 4th cervical vertebra.

자기공명 영상장치(MRI) 소견

중쇠뼈 치아돌기 골절로 인해 척추 몸통이 위쪽으로 배열이 변위되어 나타났다(Fig. 3A). 자기공명영상장치(magnetic resonance imaging, MRI) 검사 결과 고리중쇠뼈 사이의 척수가 등쪽으로 꺾여 고리중쇠관절이 불안정 상태로 확인되고, 고리가로인대가 치아돌기를 고리뼈 내에 보정 못 하여 치아돌기가 분리된 상태로 판단된다. 고리뼈와 중쇠뼈 사이가 꺾여짐에 의한 중쇠뼈가 등쪽으로 변위 되어있고 척수의 압박으로 인해 척수 실질에서 염증이 나타난다(Fig. 3B). 고리뼈 앞쪽 부분에 대한 MRI 소견에서 정상적인 척수 상태를 관찰할 수 있고 압박이

나 척수의 변이 상태를 나타내지 않았다(Fig. 3B). 하지만 고리뼈와 중쇠뼈 사이의 MRI 영상에서 목뼈 등쪽변위로 척수가 압박된 모습을 관찰할 수 있고 이는 척수의 정상기능을 방해하고 통증이 유발할 것으로 판단된다(Fig. 3C).

진료

병원 내 처방으로 Prednisolone 1 mg/kg, Gabapentin 5 mg/kg, Ursodeoxycholic acid 5 mg/kg, Phentoxypiline 10 mg/kg, Enrofloxacin 5 mg/kg, Famotidine 0.5 mg/kg 으로 처방하였으며 증상 개선 후 Steroid tapering 하였다. 투

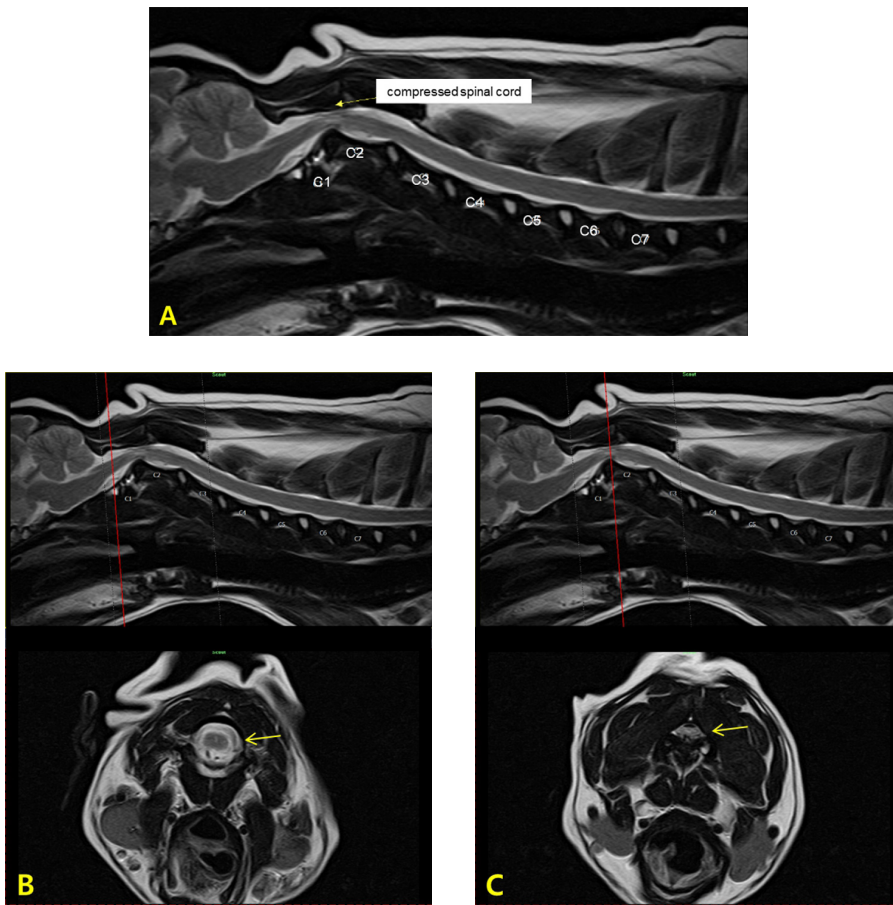


Fig. 3. Magnetic resonance imaging (MRI) of the cervical vertebral column. (A) Sagittal MRI showed the dorsal displacement of cervical spine and inflammation appeared in the compressed spinal cord. (B) MRI-T2 weighted imaging in a sagittal view showed a normal spinal cord in the anterior part of first cervical vertebra (red line of upper panel), and transverse view (lower panel) showed normal anatomy of the spinal cord in the cervical vertebrae (arrow). (C) MRI showed an abnormal spinal cord in the second cervical vertebra. The sagittal image on the upper panel revealed the dorsal displacement of the spinal cord and the transverse view also showed degenerative cervical spinal cord compression as indicated by the arrow (lower panel). C1: Atlas. C2: Axis. C3: 3rd cervical vertebra. C4: 4th cervical vertebra. C5: 5th cervical vertebra. C6: 6th cervical vertebra. C7: 7th cervical vertebra.

약 일주일 경과 후 통증을 확인하였으며, 2주 경과 후 다리 움직임과 꼬리 움직임이 가능하였으며 투약 4주 경과 후 자발적 배변, 배뇨 및 기립 가능해졌다.

고찰

강아지에서 척추의 골절은 교통사고나 신체적 외상에 의해 가장 빈번하게 나타나며, 최근에는 반려동물에 대한 물리적 학대로 발생한 뼈의 손상이 보고되고 있다(Slatter, 2002). 이러한 척추의 골절은 뼈의 구조상이나 위치에 따라 골절 발생 시 압박 등에 의해서 척수에 염증이나 2차 질환을 유도하여 심각한 질병 상태에 이르기도 한다. 특히 외상에 의한 목뼈의 골절은 신경계의 손상을 유발하는 합병증이 일어나게 되고 이는 사망에 이를 수 있을 만큼 치명적인 손상으로 진행될 수 있기에 정확한 진단과 치료가 필요하다.

척추뼈는 몸통의 축을 견고히 하고 몸의 움직임과 자세를 유지하게 하며 척수를 보호하는 중요한 기능을 한다. 첫째 목뼈인 고리뼈는 척추 중 가장 특이한 형태의 척추 모양을 가지고 있

고 몸통이 없이 등쪽고리와 배쪽고리를 형성하여 앞쪽으로는 뒤통수뼈와 관절하고 뒤쪽으로는 중쇠뼈와 연결된다(Watson 등, 1986; Galban 등, 2010). 고리뼈의 고리구조가 만드는 관절면이 뒤통수뼈의 관절융기와 고리뒤통수관절을 형성하여 머리에서 목으로 전이되는 힘과 운동성을 안정적으로 전달하며 목의 상하운동을 자연스럽게 조절하는 역할을 한다. 고리중쇠뼈 관절은 다른 척추뼈 사이에서 형성되는 관절과는 다른 독특한 관절 구조를 형성하고 있으며, 축을 형성하는 중쇠뼈의 치아돌기를 기준으로 고리뼈의 고리가 좌우 움직임으로서 목의 회전운동을 가능하게 한다(Takahashi 등, 2017). 치아돌기는 목뼈가 회전하는 동안 고리뼈와 중쇠뼈가 전위되는 것을 막으며 고리중쇠뼈 관절에 관여하는 중요한 구조물로서 목뼈 위에서 뇌머리뼈가 회전하는 것을 방지하는 역할을 한다.

일반적으로 척추뼈 골절은 가쪽이나 등쪽으로 돌출된 돌기 부분이나 고리의 약한 부분 앞과 뒤에서 일어나며, 골편이 척추 밖으로 방출되어 척주관에는 영향을 덜 주어 척수 손상은 없는 경우도 있다. 하지만 목 부위의 외상에 의한 중쇠뼈의 치아돌기 골절이 일어나면 척주관 내에 돌기 파편이 위치하게 되고 운동과

감각 기능을 마비시키는 심각한 신경 손상이 야기 될 수 있다.

척추뼈는 해부학적 형태가 복잡하기 때문에 골절 부위가 잘 인지되지 않는 경우가 있고 특히 중쇠뼈의 치아돌기는 아주 작고 고리뼈 고리 내에 관절하는 구조물이라 X-ray 진단만으로는 치아돌기의 골절을 관찰하기 어려움이 있다. 또한 일반 목뼈 방사선 사진은 뇌두개 뼈가 겹쳐서 보이거나, 환자의 움직임 제한 때문에 적절하지 못한 자세로 사진이 촬영되는 경우가 있으므로 영상적 진단에서 고리뼈와 중쇠뼈의 해부학적 연계를 명확히 보여주지 못할 수 있다. 따라서 단순 방사선 검사로서는 미세 골절이나 뼈 전위 등을 놓칠 수 있어 보다 정확하게 평가할 수 있는 추가적인 CT, MRI 촬영 등을 많이 사용한다(Rapp 등, 2017; Gallastegui 등, 2019).

본 연구에서의 일반 방사선 검사로서는 중쇠뼈의 치아돌기 골절을 평가하기 힘든 부분이 있었다. CT상에서 중쇠뼈의 몸통의 고리뼈 몸통의 위치와 비교하여 비정상적으로 위쪽으로 들려져 상승해 있고 골절된 치아돌기 파편이 고리뼈 구조 내에 있음을 확인하였다. MRI 검사에서 치아돌기의 골절 시점은 판단할 수 없으나 중쇠뼈의 등쪽변위로 인한 압박된 척수를 관찰하였고 동반해서 척수의 심각한 변이가 일어났음을 확인하였다. 중쇠뼈의 등쪽변위에 의하여 척추관내에서 척수가 굴곡되어 염증이 발생하고 사지부전마비를 유발한 것으로 판단되었다. 치아돌기 골절로 인한 고리뼈와 중쇠뼈 사이의 안정성이 상실되면서 개체가 머리를 움직이거나 고개를 숙일 때 두 목뼈 사이의 거리가 벌어져 신경이 압박되고 과하게 꺾인 고리중쇠뼈의 상태는 두 뼈 간의 정상적 관절이 불가능하고 척수 통증을 유발한 것으로 판단된다.

중쇠뼈의 치아돌기는 목뼈 쪽으로 가해지는 물리적인 힘과 그 방향에 따라 골절이 발생하는 것으로 생각된다. 치아돌기 자체가 가늘고 척추 몸통에 연결되는 부분이 얇은 뼈로 형성되어 있어서 몸의 가쪽에서 가해지는 힘에 치아돌기 몸통에서 골절이 발생할 가능성이 상대적으로 높은 것으로 보인다. 또한 고리뼈는 고리가로인대를 가지고 있어 이는 고리중쇠뼈의 탈구를 막고 복잡한 고리중쇠관절을 안정적으로 유지하는 역할을 한다(Hamilton 등, 2016). 해부학적으로 치아돌기는 고리뼈와 중쇠뼈 사이의 관절의 안정성을 유지하는 기반이 되고 머리의 무거운 무게를 목으로 안정적으로 전이시키는 균형과 유연성을 부여하고 있다.

치아돌기는 목 회전운동의 축을 형성하고 고리가로인대가 치아돌기를 배쪽고리 돌기오목에 고정시키고 탈구되는 것을 방지하는 중요한 역할을 한다. 일반적으로 고리뼈와 중쇠뼈의 관절

에서 중쇠뼈에서 몸통 앞쪽으로 돌출되어 나온 치아돌기가 고리가로인대에 의해 고리뼈의 가로돌기오목에 고정이 되어 안정성이 유지된다. 개체가 머리를 숙이거나 목을 흔들 때 뇌머리뼈가 무거워 목 부분에 과하게 힘이 실리지만 고리뼈와 중쇠뼈 사이는 거의 벌어지지 않고 유지되는 것이 정상이다. 하지만 치아돌기의 탈구나 골절은 고리뼈와 중쇠뼈의 간격 이탈과 불안정성으로 중추신경과 척수신경 이상을 유발한다. 목뼈 척추관 내의 척수는 중추신경계로서 한 번 손상되면 그 회복은 기대하기 어렵고 많은 합병증이 유발되기도 하며 재활이 매우 어려우므로 추가적 신경 손상을 예방하기 위하여 큰 노력이 필요하다(Park 등, 2012).

CT소견과 MRI소견을 동시에 비교 분석하여 골절 진단에 상호 보완적인 결과를 얻을 수 있는데 특히 목뼈 외상의 경우 주로 수술로 인한 치료가 불가능한 때도 있으므로 보다 더 정확한 진단을 위해 두 영상방법 간의 상호관계는 상당히 필요한 것으로 여겨진다. 본 연구에서 중쇠뼈의 치아돌기 골절 진단에서 CT 영상을 MRI 영상과 비교 분석하여 골절 진단에 도움을 얻을 수 있었는데 치아돌기가 작고 해부학적으로 고리뼈 내에 위치하는 구조상 단순 방사선촬영에서 골절 진단에 간과하기 쉬운 부분이 있었지만 CT와 MRI 진단으로 정확한 판단이 가능하였다.

척추뼈 골절에 있어 척추 자체에 대한 이상 소견을 진단할 수 있는 CT와 척수 실질과 주변 연부조직의 병변에 대하여 정확한 정보를 나타내는 MRI 분석의 중요성과 함께 복잡한 형태의 척추뼈 및 작은 구조물의 골절을 정확하게 진단하기 위해서 그 뼈의 해부학적 형태와 위치를 이해하는 것이 매우 중요한 것으로 사료된다.

CONFLICT OF INTEREST

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

ORCID

Hyoung Joon Park, <https://orcid.org/0000-0002-6665-4635>

ShinHo Lee, <https://orcid.org/0000-0003-0450-0048>

Chung Hui Kim, <https://orcid.org/0000-0001-8976-2316>

ChungKil Won, <https://orcid.org/0000-0002-3105-1869>

Jae-Hyeon Cho, <https://orcid.org/0000-0003-1126-9809>

REFERENCES

- Caterino C, Aragosa F, Della Valle G, Fatone G. 2022. Canine Seventh Lumbar Vertebra Fracture: A Systematic Review 2022. *Animals* 12: 193.
- Dolera M, Malfassi L, Pavesi S, Finesso S, Mazza G, Marcarini S, Sala M, Carrara N, Bianchi C, Gambino JM. 2017. Computed tomography, magnetic resonance imaging and a novel surgical approach of atlanto-axial instability with incongruence in dogs. *J Vet Med Sci*.
- Fernandes R, Fitzpatrick N, Rusbridge C, Rose J, Driver CJ. 2019. Cervical vertebral malformations in 9 dogs: radiological findings, treatment options and outcomes. *Ir Vet J* 72: 2.
- Gage ED. 1971. Surgical repair of fractured occiput, atlas, and axis in a dog. *J Am Vet Med Assoc* 158: 1951-1953.
- Galban EM, Gilley RS, Long SN. 2010. Surgical stabilization of an occipitoatlantoaxial malformation in an adult dog. *Vet Surg* 39: 1001-1004.
- Gallastegui A, Davies E, Zwingenberger AL, Nykamp S, Rishniw M, Johnson PJ. 2019. MRI has limited agreement with CT in the evaluation of vertebral fractures of the canine trauma patient. *Vet Radiol Ultrasound* 60: 533-542.
- Hamilton LC, Driver C, Tauro A, Gary Campbell G, Fitzpatrick N. 2016. Mineralization of the transverse ligament of the atlas causing compressive radiculopathy. Resolution following odontoidectomy and atlantoaxial arthrodesis. *Vet Comp Orthop Traumatol* 29: 253-258.
- Hawthorne JC, Blevins WE, Wallace LJ, Glickman N, Waters DJ. 1999. Cervical vertebral fractures in 56 dogs: a retrospective study. *J Am Anim Hosp Assoc* 35: 135-146.
- Jeffery ND. 2010. Vertebral fracture and luxation in small animals. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 40: 809-828.
- Park EH, White GA, Tieber LM. 2012. Mechanisms of injury and emergency care of acute spinal cord injury in dogs and cats. *J Vet Emerg Crit Care* 22: 160-178.
- Rapp M, Ley CJ, Hansson K, Sjöström L. 2017. Post-operative computed tomography and low-field magnetic resonance imaging findings in dogs with degenerative lumbosacral stenosis treated by dorsal laminectomy. *Vet Comp Orthop Traumatol* 30: 143-152.
- Salas EN, Cerny HE, Harris SP. 2015. Dens agenesis and cervical vertebral malformation in a Labrador Retriever puppy. *Vet Med* 6: 11-15.
- Slatter D. 2002. Vertebral fracture and luxations. In: *Text book of small animal surgery*, 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders Co 2002: 1244-1260.
- Tabanez J, Gutierrez-Quintana R, Kaczmarzka A, José-López R, Gonzalo Nadal V, Rotter C, Leblond G. 2021. Evaluation of a Novel Dorsal-Cemented Technique for Atlantoaxial Stabilisation in 12 Dogs. *Life* 11: 1039.
- Takahashi F, Hakozaki T, Kanno N, Harada Y, Yamaguchi S, Hara Y. 2017. Evaluation of the dens-to-axis length ratio and dens angle in toy-breed dogs with and without atlantoaxial instability and in healthy Beagles. *Am J Vet Res* 78: 1400-1405.
- Thrall DE. 2002. The vertebrae—canine and feline. In: *Text book of veterinary diagnostic Radiology*, 4th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Co 2002: 98-109.
- Watson AG, Evans HE, de Lahunta A. 1986. Gross morphology of the composite occipito-atlas-axis joint cavity in the dog. *Anat Histol Embryol* 15: 139-146.
- Zaki FA. 1980. Odontoid process dysplasia in a dog. *J Small Anim Pract* 21: 227-234.