

3차원 유한요소분석에 의한 소형견의 견치와 열육치의 교합력 방향 분석

박유진, 최성민
부산가톨릭대학교 치기공학과

Analysis of the direction of the canine and carnassial of small dog by 3D FEM

yujin Park, sungmin Choi
Catholic University of Pusan

[Abstract]

Purpose: This study is for the prosthesis of dog. Observed the occlusal relation between the small dog canine and carnassial teeth. The direction of the bite force was analyzed by 3D FEM(finite element method).

Methods: The mandibular canine and carnassial of dog were tested. The skull of dog was contact point confirmed by dental CAD. The skull of dog was scanned using CT and a 3D model was created. The 3D model was analyzed ABAQUS. Closing movement has been 100N, 200N, 300N, 500N, 1000N, 1500N. The Direction of bite force was confirmed.

Results: As occlusal force increased, the direction of bite force appeared to (-y), (-x,-y,-z), (-x,-y), (-x,-y,+z), (-x,-y,+ z), (+x,-y) in mandibular left canine. And the direction was seen at (+x, -y), (+x,-y,-z), (+x,-y), (-x,-y,+z), (-x,-y,+z), (+x,-y). When the occlusal load is 100 N, 200 N, 300 N, 500 N, the direction of the mandibular carnassial appears as (-x, -y, -z), and when the occlusal load is 1000 N, 1500 N, the direction appears as (-x,-y).

Conclusion: The mandibular canine showed irregularities in the coordinates of the direction of the bite force, and the mandibular carnassial showed regularity in the coordinates of the direction of the bite force.

● **Key words:** Veterinary Dental Prosthetics, 3D FEM analysis, Canine, Carnassial, Bite force

Corresponding author	Name	최 성 민	Tel.	051-510-0594	E-mail	smchoi@cup.ac.kr
	Address	부산광역시 금정구 오륜대로 57 부산가톨릭대학교 치기공학과				
Received	2020. 4. 30	Revised	2020. 6. 15	Accepted	2020. 6. 22	

I. 서론

최근 수의치과의 치료와 치과보철물에 대한 관심이 증가하고 있다. 이전의 수의치과치료는 예방치료에 국한되어 있었으나 보존치료에 대한 수요가 증가하는 추세이다 (Oh, 1991; Sung et al., 2018). 이로 인해 치과 보철물을 제작하는 치과기공사는 수의치과를 이해하고 제작을 위한 준비가 필요하게 되었으나 참고할 수 있는 기초자료가 부족하여 보철의 제작에 어려움이 있다.

대표적인 반려동물인 개(犬)의 42개 영구치 중에서 가장 많은 기능을 하는 치아는 열육치(裂肉齒; Carnassial)와 견치이다. 상악 4소구치와 하악 1대구치로 구성되는 열육치는 가위와 같이 자르는 역할과 저작 기능을 하고, 견치는 섭식과 자기 방어 등을 위해 사용되는 중요한 치아이다 (Lobprise, 2004). 교합 유지와 저작 등의 필수적인 기능을 하는 견치와 대구치는 외상에 취약하고, 골절률이 높은 치아로 손상 시 빠른 회복이 요구된다.

치과 보철물의 제작 시 높은 교합력은 소재의 선택에 필수적인 고려사항이다. 사람의 경우 구치부의 평균 최대 교합력이 216~240 N 정도로 측정되었다 (Waltimo A and Kööen M, 1993). 그리고 Ellis 등(2008)에 따르면 개의 견치의 교합력은 $147 \pm 6.7 \sim 926 \pm 8.1$ N, 열육치의 교합력은 $574 \pm 83.2 \sim 3,417 \pm 43.1$ N으로 보고되었다. 선행 연구에서 나타나는 교합력을 비교하였을 때 개의 교합력은 사람보다 매우 높은 것을 확인할 수 있다.

치과 보철물의 제작 시 교합력 뿐만 아니라 교합력이 가해지는 방향도 고려되어야 한다. 교합력의 방향과 치관의 외형, 지대치의 형태는 서로 연관성을 가지며 보철물의 강도와 유지력에 영향을 미치기 때문이다. Soukup 등(2011)은 개의 치관의 높이나 직경의 비율에 따라 치아의 파절 강도가 달라질 수 있다고 하였고, 지대치의 형태에 따라 유지와 저항성에 영향을 줄 수 있다고 하였다.

개(犬)의 교합력을 분석하기 위한 연구는 in vivo 실험으로 직접 압력센서 (strain gauge)를 이용하여 측정하거나 (Linder et al., 1995), in vitro 실험으로 두

개골을 이용하여 수학적 방식으로 좌우 양측의 교합력을 측정하는 방법 (Thomason, 1991) 등으로 꾸준히 보고되었다. 최근에는 동물을 이용한 실험의 윤리적 규제와 3차원 모델을 이용한 연구 방법의 발전으로 3차원 유한요소분석을 이용한 연구가 보고되고 있다. Therrien(2016)은 개(犬)의 두개골을 컴퓨터 단층 촬영 (Computed Tomography, CT)을 통해 3차원 모델을 구성하고 이를 유한요소분석을 통한 역학 분석으로 교합력을 산출하여 보고하였다. Choi 등(2019)은 3차원 유한요소분석을 이용하여 개(犬)의 견치와 열육치의 폐구 시 접촉부위에 가해지는 등가응력(PVMS; Peak von -Mises stress)을 분석하여 보고하였다. 등가응력은 물체의 각 지점에서 응력 성분들의 비틀림 에너지의 크기를 나타내는 값으로서, 가장 정확하게 물체의 파괴를 예측하는 기준으로 알려져있다.

선행 연구에서는 개(犬)의 교합력의 분석, 치과 보철물 제작 및 형태에 따른 파절 강도 등에 대한 연구가 꾸준히 보고되고 있지만, 각 치아의 위치에 따라 교합력이 가해지는 방향, 치관의 유지와 저항에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 소형견(犬)의 폐구운동시 견치와 열육치의 접촉부위에 가해지는 등가응력의 방향을 3차원 유한요소분석법으로 분석하여 수의치과 보철 제작의 기초자료로 활용하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 3차원 실험 모델 구성

개(犬)의 견치와 열육치에 하중이 가해지는 접촉부위를 확인하기 위하여 소형견의 두개골 뼈를 치과용 스캐너(EI, 3shape, Denmark)로 스캔하고 치과용 캐드캠 프로그램(Dental systems, 3shape, Denmark)에서 견치와 열육치의 접촉부위를 확인하였다(Figure. 1). 그리고 접촉부위에 가해지는 교합력의 방향을 분석하기 위하여 머리뼈를 치과용 CT(PaX-zenith 3D, Vatech)로 촬영하였다. CT 촬영으로 만들어진

DICOM 데이터를 획득하여 3D 의료 영상 처리 소프트웨어인 MIMICS(Mimics Medical 21.0, Materialise, Belgium)를 통해 3차원 모델로 변환하였다. 변환된 3차원 모델은 상용 유한요소분석 및 전·후처리 프로그램인 ABAQUS(abaqus, CAE 2016, Dassault systems, France)를 이용하여 유한요소분석 모델로 재구성하였다 (Figure. 2).

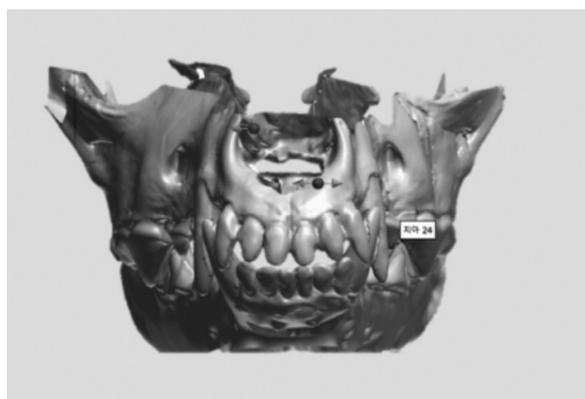


Figure 1. 3D Modeling of Dental CAD/CAM

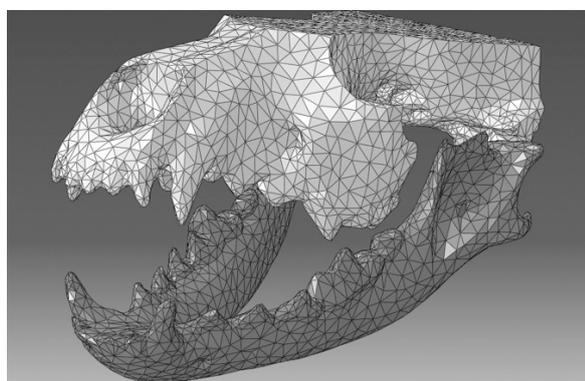


Figure 2. Finite element analysis model.

2. 유한요소분석

구성된 유한요소분석 모델은 상·하악 모두 4개의 절점(node)과 요소(element)로 이루어진 사면체(tetrahedron) mesh로 구현되었다. 상·하악 모델의 물성치(material properties)는 선형, 탄성, 균질 및 등방성으로 가정하고 해면골(cancellous bone)의 탄성계수(elastic modulus)와 포아송비(poisson's ratio)를 적용하였다(Table 1).

Table 1. Summary of the material properties used for FE analysis

Material	Elastic modulus (MPa)	Poisson ratio (%)
Cancellous bone	1,370	0.3

경계 조건(boundary condition)은 실제 저작의 환경을 구현하기 위하여 상악이 15도 개구된 상태를 initial position으로 설정하고 하악의 아랫면 전체를 6자유도(DOF, degree of freedom)에서 구속시켰다. 상악과 하악이 관절을 이루는 악관절(TMJ, temporomandibular joint) 면은 finite sliding이 가능한 관절로 설정하였고, 상·하악 치아가 접촉하는 부위는 앞서 실시한 치과용 캐드캠 프로그램에서 획득한 접촉 지점 결과를 참조하여 설정하였으며 마찰계수(friction coefficient)를 일반적인 치아간 마찰계수와 동일한 0.15를 입력하였다.

저작 환경과 동일한 하중 조건을 부여하기 위하여 초기 자세로 설정하고 하악의 아랫면에서는 상악 전체에 중력가속도에 의한 하중을 10 N으로 적용하고 first step에서 15도 flexion 시킨 후 폐구운동 시 가해지는 외력을 상악 상부에 100 N, 200 N, 300 N, 500 N, 1,000 N, 1,500 N으로 적용하였다. 폐구운동 시 상·하악 치아 간의 접촉부위에 교합하중이 가해질 때 하악 치아의 접촉부위에 발생하는 교합력의 방향을 비교 분석하였다. 하악의 견치와 열육치에 가해지는 교합력의 방향은 교합 접촉부위에서 응력이 전방과 후방으로 가해질 경우 +x와 -x로 표시하였다. 그리고 교합 접촉부위에서 응력이 상방과 하방으로 가해질 경우 +y와 -y로 표시하였으며, 교합 접촉부위에서 응력이 치아의 외방과 내방으로 가해질 경우 +z와 -z로 표시하였다. 그리고 교합 응력을 x, y, z로 각각 분리하였을 때, 각 축에 따른 응력의 크기를 나누어 분석하지 않았으므로 동일한 값으로 가정하였으며 각 축의 값이 1 N 미만인 경우에는 방향성을 고려하지 않았다 (Figure. 3).

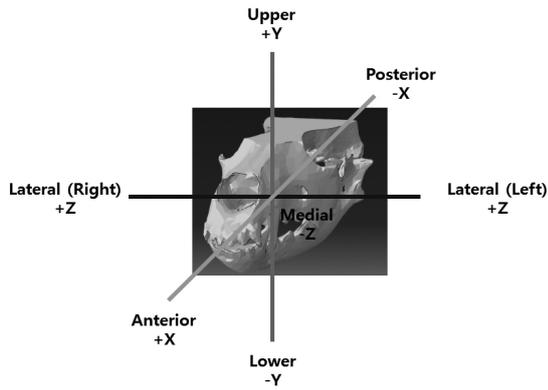


Figure 3. Direction of occlusal contact point.

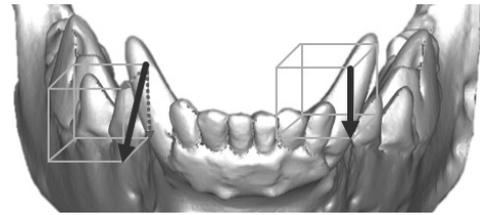
III. 실험 결과

정적 유한요소분석이 교합 하중에 의해 생성된 교합 응력의 방향을 예측하기 위해 수행되었다. 하악의 견치와 열육치에서 접촉부위에 가해지는 교합력의 방향을 평가하였다.

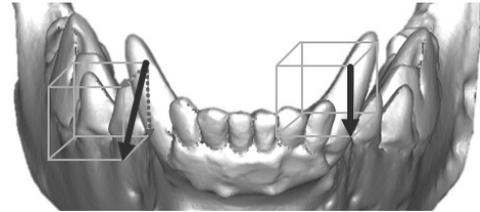
100 N에서 1,500 N까지의 외력이 가해졌을 때 하악 견치에 가해지는 교합력의 방향은 불규칙하게 나타났다. 하악 좌측 견치의 교합력 방향은 $(-y)$, $(-x, -y, -z)$, $(-x, -y)$, $(-x, -y, +z)$, $(-x, -y, +z)$, $(+x, -y)$ 의 좌표로 분석되어 하방, 후하내방, 후하방, 후하외방, 전하방으로 나타났다. 그리고 하악 우측 견치의 교합력 방향은 $(+x, -y)$, $(+x, -y, -z)$, $(+x, -y)$, $(-x, -y, +z)$, $(-x, -y, +z)$, $(+x, -y)$ 의 좌표로 분석되어 전하방, 전하내방, 전하방, 후하외방, 전하방의 방향으로 불규칙하게 나타났다 (Table 2, Figure. 4, 5).

Table 2. PVMS direction of Canine

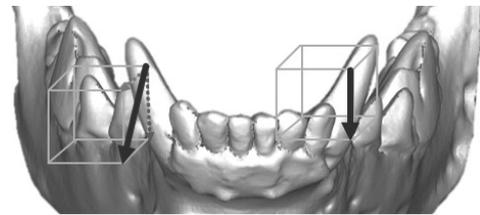
Load (N)	Canine	
	Left	Right
100	$(-y)$	$(+x, -y)$
200	$(-x, -y, -z)$	$(+x, -y, -z)$
300	$(-x, -y)$	$(+x, -y)$
500	$(-x, -y, -z)$	$(-x, -y, +z)$
1,000	$(-x, -y, -z)$	$(-x, -y, +z)$
1,500	$(+x, -y)$	$(+x, -y)$



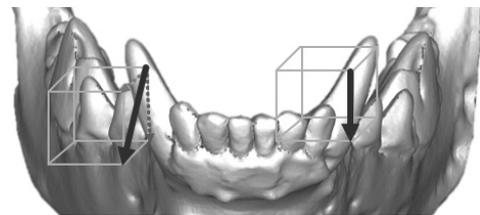
a



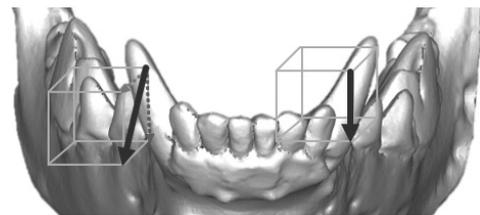
b



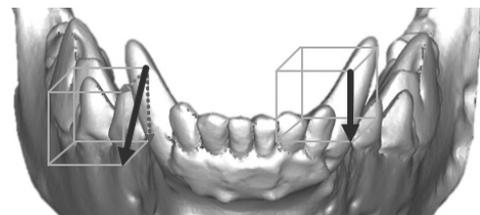
c



d



e



f

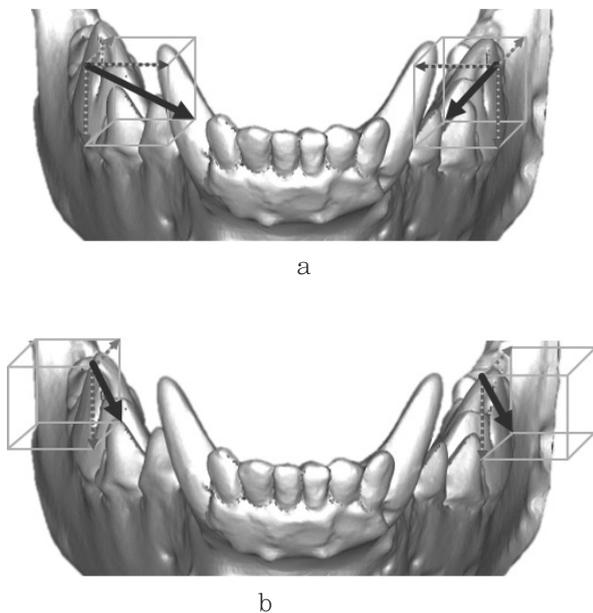
a; 100 N, b; 200 N, c; 300 N
d; 500 N, e; 1,000 N, f; 1,500 N

Figure 4. PVMS direction of Canine

하악 열육치에 가해지는 응력의 방향은 좌우측에 동일하게 가해졌다. 100 N에서 500 N까지의 외력이 가해졌을 때 교합력의 방향은 (-x, -y, -z)의 좌표로 분석되어 후하내방으로 응력이 가해졌다. 그리고 1,000 N에서 1,500 N의 외력이 가해졌을 때 (-x, -y)의 좌표로 분석되어 후하방으로 교합력의 방향이 이동하였다 (Table 3, Figure. 5)

Table 3. PVMS direction of Carnassial

Load (N)	Carnassial	
	Left	Right
100	(-x, -y, -z)	(-x, -y, -z)
200	(-x, -y, -z)	(-x, -y, -z)
300	(-x, -y, -z)	(-x, -y, -z)
500	(-x, -y, -z)	(-x, -y, -z)
1,000	(-x, -y)	(-x, -y)
1,500	(-x, -y)	(-x, -y)



a; 100 N, 200 N, 300 N, 500N
b; 1,000 N, 1,500 N

Figure 5. PVMS direction of Carnassial

IV. 고찰

본 연구에서는 폐구운동 시 소형견(犬)의 하악 견치와 열육치에 접촉부위에 가해지는 교합력의 방향을 유한요소분석을 통해 알아보려고 하였다.

Ellis 등 (2009)은 두개골의 형태가 중두종 일 때 교합력은 견치의 경우 소형견은 89.8 N, 중형견은 454 N, 대형견은 755 N이고, 대구치의 경우 소형견은 294 N, 중형견은 1,408N, 대형견은 2,749 N이라고 하였다. 위와 같은 연구 결과를 참고하여 본 실험에서는 소형견의 두개골을 사용하였으므로 가해지는 외력의 범위를 100 N, 200N, 300 N으로 설정하였다. 그리고 섭식의 제한이 어려운 동물을 대상으로 한 실험이므로 외력의 범위를 중형견에 가해지는 1,408 N을 기준으로 500 N, 1,000N, 1500N으로 차이를 두어 외력을 가하였다.

하악 견치는 하중이 가해질 때마다 응력의 방향이 변화하며 불규칙한 방향성을 나타냈다. 견치의 경우 폐구운동 시 열육치가 먼저 접촉하게 되어 응력이 분산되고 하악의 견치가 상악의 3절치와 견치 사이에 위치하면서 좌우측의 치아가 동시에 접촉하지 않고 먼저 접촉하는 치아에 응력이 집중되면서 응력이 방향이 변화하는 것으로 보여진다. 또한 이러한 결과는 대부분의 자연치에서 나타나는 비대칭교합에 기인한 것으로 판단된다. 본 실험에서는 치아의 올바른 위치관계를 기준으로 모형을 선택하였으나, 추후 연구에서는 치아의 위치관계 뿐만 아니라 좌우측 접촉부위의 대칭성에 대한 보정이 필요할 것으로 생각된다. 반면에 하악 열육치에 나타나는 교합력의 방향은 좌우측 모두 일정한 방향성을 나타냈다. 하악의 열육치는 100 N~500 N의 외력이 가해지는 동안 후하내방으로 교합력이 가해졌고 1,000 N~1,500 N의 외력이 가해질 때 좌우측 교합력의 방향이 동일하게 후하방으로 이동하였다. Choi 등 (2019)은 교합접촉 시 하악 견치는 근심측 첨두와 원심측 첨두에서 접촉하고, 열육치는 100 N~500 N의 외력을 가했을 때 중앙측 교두의 협면에서 가장 먼저 접촉이 일어나고, 1,000 N~1,500 N의 외력을 가했을 때 원심측 교두의 교합면에서 접촉이 일어난다고 하였다. 본 연구의 분석 결과에서 나타난 열육치의 교합력 변화 또한 접촉부위의 이

동에 의한 것으로 판단된다.

현재 치과기공사가 수의치과 보철을 의뢰받아 제작하게 되었을 때 치아 형태와 접촉에 대한 기본적인 정보가 없이 임의의 형태로 제작하는 것이 일반적이다. Ni-Cr alloy로 제작한 치과 보철의 경우 높은 기계적 강도를 가지는 재료이므로 쉽게 파절이 일어나지 않는다. 그러나 접촉 위치에 따라서 탈락하거나 지대치 파절을 일으킬 수 있으므로 (Soukup et al., 2015), 보철물의 유지와 저항성을 높일 수 있는 치관의 외형, 지대치의 형태 등을 고려해야 한다. 따라서 본 연구에서 확인된 소형견의 견치와 열육치의 교합 접촉부위와 접촉부위에 가해지는 교합력 방향은 개(犬)의 치과보철 제작 시 지대치 설정, 소재 선택, 치관의 형태 설계에 필요한 정보를 제공할 수 있는 기초 자료가 될 수 있을 것이다.

차후의 연구에서는 연구대상을 체중에 따라 분류하고 두개골의 형태를 다양하게 선택하고, 치아에 가해지는 교합하중을 더 증가시킨 실험이 필요할 것이다. 그리고 열육치로 정의된 상악 4소구치뿐만 아니라 하악 1대구치와 교합관계를 가지는 상악 1대구치의 교합면 접촉에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

V. 결론

폐구운동 시 소형견(犬)의 견치와 열육치의 교합력에 따른 치아의 접촉부위에 가해지는 응력의 방향을 확인하기 위한 3차원 유한요소분석 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 교합력이 가해지는 방향이 하악 견치는 불규칙한 방향성을 보였다.
2. 교합력이 가해지는 방향이 하악 열육치의 좌우측 모두 동일한 방향성을 보였다.

REFERENCES

- Chae HS, Choi TS, Jeong YK, Kim HH, Lee HH, Park HS, Sung HK, You MJ. Study on the Recorgnition of Dental Management of the Dogs and the Identification of Bacteria on the Surface of Oral Teeth. Report of S.I.H.E., 54, 58-83, 2018.
- Choi SM, Kim CY, Park YJ. Three-Dimensional Finite element analysis of Canine and Carnassial for Observation of Dog Bite forces. The Journal of the Korea academy of dental technology, 41(4), 295-302, 2019.
- Christoper J. Jason WS, Karis TL, Synder JR. Achievable Convergence Angle and the Effect of Preparation Design on the Clinical Outcome of Full Veneer Crowns in Dogs. J Vet Dent, 28(2), 72-82, 2011.
- Collins C, Jason WS, Ploeg HL. The Influence of Crown Height to Diameter Ratio on the Force to Fracture of Canine Teeth in Dogs. J Vet Dent, 32(3), 155-163, 2015.
- Ellis JL, France J, Kebreab E, Thomason JJ. Calibration of estimated biting forces in domestic canids: comparison of post-mortem and in vivo measurements. J. Anat, 212, 769-780, 2008.
- Ellis JL, France J, Kebreab E, Thomason JJ, Zubair K. Cranial dimensions and forces of biting in the domestic dog. J Anat, 214, 362-373, 2009.
- Kööen M, Waltimo A. A novel bite force recorder and maximal isometric bite force values for healthy young adult. Scan J Dent Res, 101, 171-175, 1993.
- Lindner DL, Marretta SM, Pijanowski GJ, Smith CW. Measurement of bite force in dogs: a pilot study. J Vet Dent, 12, 49-52, 1995.

- Lobprise HB. The Veterinarian's Companion for common Dental Procedures. Hanwoori, 3-11, 2004.
- Oh HS. Small Animal Clinical new field of dentistry. J Korean Vet Med Assoc, 27(2), 65-68, 1991.
- Thomason JJ. Cranial strength in relation to estimated biting forces in some mammals. Can J Zool, 69, 2326-2333, 1991.
- Therrien F, Quinney A, Tanaka K, Zelenitsky D. Accuracy of mandibular force profiles for bite estimation and feeding behavior reconstruction in extant and extinct carnivorans. J Exp Biol, 46, 641-648, 2016.