

**UNIVERSIDADE SANTO AMARO**

**CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**JÚLIO CESAR SILVA DE SÁ**

**TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA (CT-scan): ASPECTOS  
POSITIVOS E NEGATIVOS PARA ESTUDOS ZOOLOGICOS EM  
COLEÇÕES CIÊNTIFICAS**

**SÃO PAULO**

**2026**

JÚLIO CESAR SILVA DE SÁ

**TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA (CT-scan): ASPECTOS  
POSITIVOS E NEGATIVOS PARA ESTUDOS ZOOLOGICOS EM  
COLEÇÕES CIÊNTIFICAS**

Trabalho de conclusão de curso  
Bacharelado de Ciências Biológicas da  
Universidade Santo Amaro – UNISA, como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Biológicas

Orientador: Prof. Dr. Vinicius José Carvalho  
Reis

SÃO PAULO

2026

## Ficha Catalográfica

S112t

Sá, Júlio Cesar Silva de.

Tomografia computadorizada (CT-SCAM): aspectos positivos e negativos para estudos zoológicos em coleções científicas. / Júlio Cesar Silva de Sá. - São Paulo, 2026.

15 p. : il.; P&B.

Monografia (Graduação em Bacharelado Ciências Biológicas) – Universidade Santo Amaro, 2026.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius José Carvalho Reis.

Bibliografia incluída

1. Zoologia. 2. Tomografia computadorizada. 3. Morfologia. I. Reis, Vinícius José Carvalho, II. Universidade Santo Amaro. III. Título.

CDD 57/59

Elaborado pela Bibliotecária Zely Siqueira Gonzaga Filha CRB8/7691

JÚLIO CESAR SILVA DE SÁ

TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA (CT-scan): ASPECTOS POSITIVOS  
E NEGATIVOS PARA ESTUDOS ZOOLOGICOS EM COLEÇÕES  
CIÊNTIFICAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Santo Amaro - UNISA, como requisito parcial para o grau de bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius José Carvalho Reis.

São Paulo, 9 de abril de 2026

Banca Examinadora

Prof. \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

Conceito final: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela sua infinita Misericórdia, por me conceder força, perseverança para concluir mais uma etapa de minha vida,

A minha Miriam Sá, pelo amor, paciência e apoio incondicional em todos os momentos.

A minha Filha Olivia Sá, fonte de Inspiração e Alegria diária,

A memória de Minha Filha Maria Júlia Sá, que permanece viva em meu coração e cuja lembrança me fortalece,

Agradeço a meu orientador, Professor Dr<sup>o</sup>. Vinicius José Carvalho Reis, pela dedicação, paciência e pelas suas valiosas orientações que enriqueceram esse trabalho.

## SUMARIO

1. RESUMO.....	7
2. INTRODUÇÃO.....	9
3. OBJETIVOS.....	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	15
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	16

## RESUMO

A tomografia computadorizada (CT-scan) tem se consolidado como uma ferramenta importante nos estudos zoológicos, especialmente nas áreas de morfologia, taxonomia e evolução. Este trabalho tem como objetivo avaliar criticamente as vantagens e limitações da aplicação da técnica em estudos zoológicos, com base em uma revisão bibliográfica. A CT-scan permite a análise não destrutiva de espécimes, possibilitando a visualização tridimensional detalhada de estruturas internas, o que é especialmente relevante para materiais raros, delicados ou de grande valor científico. Além disso, a microtomografia computadorizada amplia a capacidade de identificação de caracteres morfológicos com alta precisão, contribuindo significativamente para estudos sistemáticos e taxonômicos. Entretanto, apesar de suas vantagens, a técnica apresenta limitações importantes. A CT-scan possui menor eficiência na diferenciação de tecidos moles, devido à semelhança de densidades, sendo frequentemente necessário o uso de agentes de contraste, como soluções iodadas (diceCT). Embora esses agentes melhorem a visualização de estruturas internas, podem causar alterações morfológicas, como encolhimento dos tecidos, além de exigirem protocolos mais complexos. Outras limitações incluem custos elevados, necessidade de infraestrutura tecnológica avançada e a ocorrência de artefatos de imagem. Dessa forma, a aplicação da tomografia computadorizada em estudos zoológicos deve ser orientada por uma análise crítica de suas potencialidades e limitações.

**Palavras chaves:** Tomografia computadorizada (CT-scan), Zoologia, Morfologia.

## **ABSTRACT**

Computed tomography (CT-scan) has become an important tool in zoological studies, especially in the fields of morphology, taxonomy, and evolution. This study aims to critically evaluate the advantages and limitations of applying this technique in zoological research through a literature review. CT-scan allows non-destructive analysis of specimens, enabling detailed three-dimensional visualization of internal structures, which is particularly relevant for rare, delicate, or scientifically valuable materials. Additionally, micro-computed tomography (micro-CT) enhances the identification of morphological characters with high precision, significantly contributing to systematic and taxonomic studies. However, despite its advantages, the technique presents important limitations. CT-scan has reduced efficiency in differentiating soft tissues due to similar density patterns, often requiring the use of contrast agents such as iodine-based solutions (diceCT). Although these agents improve the visualization of internal structures, they may cause morphological alterations, such as tissue shrinkage, and require more complex preparation protocols. Other limitations include high operational costs, the need for advanced technological infrastructure, and the occurrence of imaging artifacts. Thus, the application of computed tomography in zoological studies must be guided by a critical analysis of its potential and limitations.

**Keywords:** Computed tomography; Zoology; Morphology

## INTRODUÇÃO

A curiosidade humana em compreender a anatomia dos seres vivos vem de longa data tendo como marcos iniciais pinturas rupestres a grandes sobras a exemplo de *Historia Animalium* de Aristóteles produzida no século quatro AC. Esse ímpeto pelo conhecimento morfológico tem impulsionado o desenvolvimento de métodos cada vez mais sofisticados de investigação anatômica ao longo da história. Inicialmente baseadas em dissecações diretas, essas abordagens evoluíram progressivamente, incorporando técnicas que visam preservar a integridade estrutural dos espécimes e ampliar a resolução das observações. Entre essas inovações, a diafanização destacou-se como um marco metodológico, permitindo a visualização simultânea de estruturas ósseas e cartilaginosas em peças anatômicas, sobretudo em vertebrados de pequeno porte. O protocolo Taylor e Van Dyke<sup>1</sup> é um exemplo que se destaca como referência para estudos osteológicos e de cartilagem. No entanto, apesar de sua relevância, a diafanização apresenta limitações importantes, como a destruição irreversível de tecidos moles, e o potencial de deformação estrutural durante o processamento químico. Esses pontos negativos na diafanização, como em outros protocolos destrutivos para dissecação motivaram a busca por técnicas não destrutivas, culminando no advento e uso da tomografia computadorizada (CT-scan), permitindo a investigação tridimensional detalhada da anatomia interna sem a necessidade de dissecação física, representando um avanço paradigmático na morfologia comparada.

A tomografia computadorizada representa uma das mais relevantes inovações no campo de diagnóstico por imagem, tendo sido desenvolvida na década de 70 do século passado pelo físico Allan Macleod Cormack e pelo Engenheiro Godfrey Newbold Hounsfield, descoberta que os renderam o Prêmio Nobel de Medicina no ano de 1979 . Inicialmente, suas aplicações eram destinadas unicamente para fins médicos, representando um avanço significativo em relação à radiografia convencional por permitir a obtenção de imagens digitais em cortes transversais, eliminando a sobreposição de estruturas<sup>2</sup>. O funcionamento dessa técnica baseia-se nas seguintes etapas: 1 – Um feixe de raios X é emitido pela máquina o qual atinge e atravessa o objeto de estudo por vários ângulos. Devido a diferença de densidade das diferentes partes do objeto, esses raios

sofrem atuações que são percebidos por sensores da máquina. 2 - Esses sinais são então captados por detectores e processados permitindo a reconstrução computacional 3D do objetivo através de imagens bidimensionais. Dessa forma, a técnica de CT-scan possibilita a análise detalhada de tecidos densos, como ossos, bem como de tecidos moles, especialmente quando associada ao uso de agentes de contraste<sup>3</sup>.

A partir das décadas de 1980 e 1990, a tomografia computadorizada expandiu-se para além da medicina, consolidando-se como uma ferramenta fundamental em diferentes áreas das ciências. Na engenharia e na indústria, passou a ser amplamente utilizada como método de ensaio não destrutivo, permitindo a análise interna de materiais e a detecção de possíveis falhas estruturais sem comprometer a integridade das peças<sup>3</sup>,<sup>4</sup>. No campo das ciências biológicas, especialmente a partir da primeira década dos anos 2000, observa-se uma crescente incorporação da microtomografia computadorizada (micro-CT) em estudos de biodiversidade, evolução, morfologia e taxonomia. Trabalhos pioneiros, como o de Clarck<sup>5</sup> e Clarke<sup>6</sup>, demonstraram que a técnica possibilita a visualização tridimensional de estruturas internas com alta resolução, contribuindo significativamente para a identificação de caracteres morfológicos anteriormente inacessíveis por métodos tradicionais<sup>5, 6, 7, 8</sup>. Além disso, a micro-CT tem sido amplamente empregada na análise de fósseis, estudos de anatomia comparada e investigações evolutivas, permitindo inferências mais precisas sobre a diversidade biológica ao longo do tempo<sup>3, 4</sup>. A introdução de modelos digitais tridimensionais, representa um avanço metodológico relevante, ao ampliar o acesso a espécimes e favorecer a reprodutibilidade das análises científicas.

Como observado, a tomografia computadorizada tem se tornado uma ferramenta fundamental para estudos zoológicos em espécimes raros e delicados, os quais técnicas convencionais de preparo anatômico (ex. diafanização) não são viáveis. Entretanto, apesar de todos os seus benefícios, a CT-scan possui limitações que ainda não são muito discutidas criticamente na literatura. De modo geral, os estudos tendem a enfatizar seus benefícios, como o caráter não destrutivo, a alta resolução das imagens e a possibilidade de análises tridimensionais detalhadas<sup>1</sup>. No entanto, aspectos negativos, como a ocorrência de artefatos de imagem (por exemplo, endurecimento de feixe),

limitações na diferenciação de tecidos com densidades semelhantes, necessidade de uso de contrastantes químicos para visualização de tecidos moles, custos elevados e dependência de infraestrutura tecnológica avançada, são frequentemente subexplorados<sup>1,3</sup>

## **OBJETIVOS**

Avaliar criticamente os avanços e limitações da tomografia computadorizada CT-scan em estudos zoológicos através de uma revisão bibliográfica.

## **MATERIAIS E METODOS**

O trabalho foi feito a partir de uma revisão de literatura através do Google Acadêmico e Pubmed. As palavras-chaves utilizadas para a busca de trabalhos que tanto utilizaram a técnica de CT-scan, quanto discutem sobre a mesma foram: Pros e cons do CT-scan; Tomografia computadorizada, CT-scan, taxonomy, morphology, biodiversity e Evolution. No buscador das fontes bibliográficas essas guias foram utilizadas tanto individualmente quanto em combinação para explorar o maior universo possível de possibilidades na busca por trabalhos relacionados. As buscas foram condicionadas em dois intervalos de tempo, sendo de 1980 a 2010, para trabalhos pioneiros na área, e de 2010 a 2026 para trabalhos gerais e mais atualizados.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A busca por bibliografia que discuta sobre os aspectos positivos e negativos da tomografia computadorizada em estudos zoológicos resultou em 17 trabalhos, dos quais 9 (2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12) apresentaram de forma direta prós e cons a respeito do uso de CT-scan e suas variações em estudos morfológicos.

A tomografia computadorizada (CT-scan), tem se consolidado como uma ferramenta relevante para estudos zoológicos, especialmente no campo da morfologia, taxonomia e evolução. Uma de suas principais vantagens é a possibilidade da obtenção

de dados anatômicos sem a necessidade de dissecações, o que é particularmente importante em materiais raros, delicados ou material tipo. Estudos como os de Reis et al.<sup>13</sup> e Datovo et al.<sup>14</sup> demonstram que o uso de microtomografia ( $\mu$ CT-scan) possibilita descrições osteológicas detalhadas em peixes, revelando caracteres morfológicos fundamentais para a sistemática e a delimitação de espécies, sem comprometer a integridade dos espécimes.

Além disso, a técnica permite a reconstrução tridimensional das estruturas anatômicas, proporcionando uma visualização mais precisa das relações espaciais entre os elementos internos. Essa capacidade é particularmente relevante em organismos de pequeno porte, como demonstrado por Claeson et al.<sup>15</sup>, que utilizaram micro CT para descrever a osteologia craniana de um peixe miniatura, destacando a superioridade da técnica em relação a métodos tradicionais, que podem resultar na perda ou distorção de estruturas anatômicas.

Entretanto, apesar dessas vantagens, a tomografia computadorizada apresenta limitações importantes, especialmente no que se refere à visualização de tecidos moles. Devido à diferença de densidade entre esses tecidos, a técnica convencional de CT-scan é mais eficiente na análise de estruturas mineralizadas, como tecidos ósseos, apresentando dificuldades na distinção de músculos, órgãos e tecidos nervosos. Essa limitação perdura por décadas e representa um dos principais entraves para a aplicação completa da técnica em estudos anatômicos mais amplos. Nesse contexto, o desenvolvimento de técnicas de contraste, especialmente aquelas baseadas em soluções iodadas (diceCT), representa um avanço significativo. O uso de agentes de contraste permite aumentar a atenuação dos raios X em tecidos moles, tornando possível a visualização detalhada de estruturas internas anteriormente inacessíveis. Segundo Gignac et al.<sup>10</sup>, o diceCT possibilita a análise tridimensional de músculos, órgãos e sistemas internos com alta resolução, ampliando consideravelmente o potencial da tomografia em estudos biológicos.

Aplicações mais recentes demonstram a eficácia dessa abordagem em peixes, como evidenciado por Kolmann et al.<sup>11</sup>, que destacam o uso do contraste iodado (Lugol)

como uma ferramenta eficiente para a visualização de estruturas como cérebro, musculatura e órgãos internos. Esses avanços permitem não somente descrições anatômicas mais completas, mas também contribuem para estudos funcionais e evolutivos, ampliando as possibilidades de investigação em zoologia.

No entanto, o uso de agentes de contraste não está isento de limitações. Estudos como o de Heimel et al.<sup>12</sup> demonstram que a aplicação de soluções iodadas pode causar alterações morfológicas nos espécimes, como encolhimento dos tecidos, sendo esse efeito dependente da concentração do contraste e do tempo de exposição. Além disso, o processo de preparação das amostras pode demandar protocolos específicos e maior tempo de execução, o que pode limitar sua aplicação em larga escala.

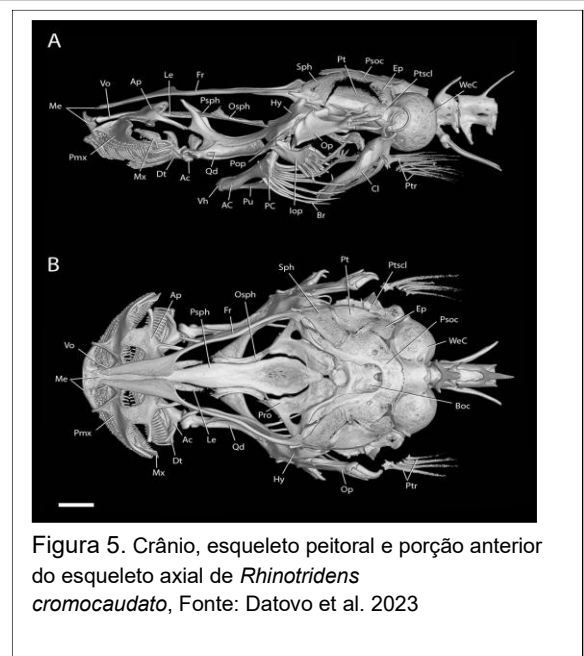
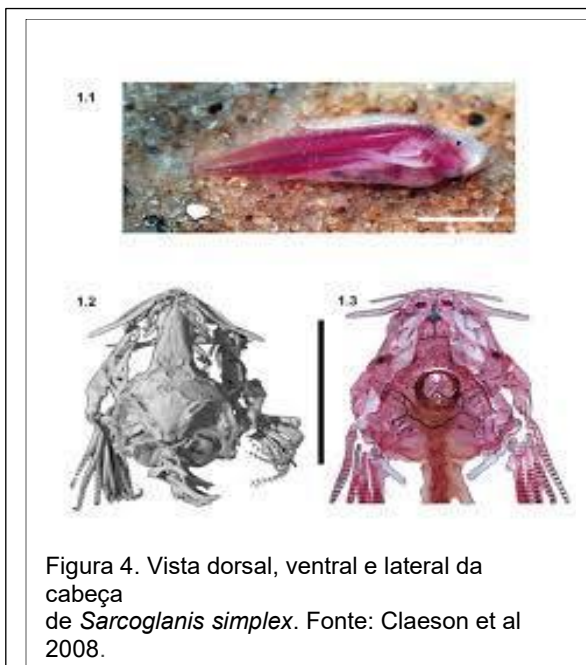
Outro aspecto relevante refere-se à variabilidade na eficiência dos diferentes agentes de contraste. Conforme demonstrado por Descamps et al.<sup>16</sup>, substâncias como ácido fosfotúngstico (PTA) e ácido fosfomolibdico (PMA) apresentam maior capacidade de discriminação entre tecidos, permitindo a identificação de estruturas em níveis mais detalhados. No entanto, esses agentes podem apresentar maior toxicidade e complexidade de uso, o que deve ser considerado na escolha metodológica.

Dessa forma, observa-se que a aplicação da tomografia computadorizada (CT-scan) em estudos zoológicos envolve um equilíbrio entre vantagens e limitações. Enquanto a técnica sem contraste é ideal para análises osteológicas e preservação de espécimes, sua capacidade de investigação é limitada no que se refere a tecidos moles. Por outro lado, o uso de contraste amplia significativamente o potencial analítico da técnica, permitindo estudos mais completos da anatomia interna, porém com impactos na integridade do material analisado.

Assim, a escolha entre o uso de CT-scan com ou sem contraste deve considerar os objetivos da pesquisa, o tipo de estrutura a ser analisada e o grau de preservação desejado do espécime. Em estudos taxonômicos baseados em osteologia, a tomografia convencional pode ser suficiente e mais adequada. Por outro lado, investigações que

envolvam anatomia funcional, sistemas internos ou relações entre tecidos requerem o uso de técnicas contrastadas, mesmo diante de suas limitações.

Em síntese, a tomografia computadorizada constitui uma importante ferramenta para a zoologia moderna, mas seu uso deve ser orientado por uma análise crítica de suas potencialidades e restrições, garantindo a aplicação mais adequada da técnica em diferentes contextos científicos. Comparando os trabalhos de Claeson et al.<sup>15</sup> e de Datovo et al.<sup>14</sup> demonstra de forma clara o avanço tecnológico e qualitativo que a CT-scan apresentou no intervalo de 15 anos, enquanto o estudo de 2008 (Figura 1) era um estudo piloto o estudo de 2023 (Figura 2), utiliza-se da técnica para descrição da taxonomia mais detalhada, Com os avanços tecnológicos a Tomografia computadorizada (CT-scan) deu um salto na qualidade das imagens, agregando nitidez aos detalhes e podendo rever parâmetros taxonômicos.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tomografia computadorizada, consolidou-se como uma ferramenta de grande valor para os estudos zoológicos atuais, contribuindo significativamente para avanços nas áreas de morfologia, taxonomia e evolução. Seu caráter não destrutivo e a capacidade de gerar reconstruções tridimensionais de alta resolução permitem a análise detalhada de estruturas internas, preservando a integridade de espécimes raros e de grande valor científico.

Os avanços tecnológicos ao longo das últimas décadas ampliaram consideravelmente o potencial da técnica, possibilitando descrições anatômicas cada vez mais precisas. Entretanto, apesar de suas inúmeras vantagens, a tomografia computadorizada apresenta limitações que devem ser consideradas. Dentre elas, destacam-se a dificuldade na diferenciação de tecidos com densidades semelhantes, a possibilidade de artefatos de imagem, os custos elevados e a necessidade de infraestrutura especializada. Além disso, o uso de agentes de contraste pode ocasionar alterações morfológicas nos espécimes, exigindo cautela em sua aplicação.

Dessa forma, conclui-se que a utilização do CT-scan em estudos zoológicos deve ser orientada de acordo com os objetivos da pesquisa e as características do material analisado. Enquanto a tomografia convencional mostra-se adequada para estudos de tecido ósseo, técnicas contrastadas são mais indicadas para investigações envolvendo tecidos moles e análises funcionais. Assim, a escolha metodológica deve sempre buscar um equilíbrio entre a obtenção de dados detalhados e a preservação do espécime.

Em síntese, a tomografia computadorizada representa uma promissora ferramenta da zoologia moderna, mas seu uso eficiente depende de uma abordagem crítica e criteriosa, que considere tanto suas potencialidades quanto suas limitações.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Taylor WR, Van Dyke GC. Revised procedures for staining and clearing small fishes and other vertebrates for bone and cartilage study. *Cybiurn*. 1985; 9(2):107–09.
2. Maschio F. *Tomografia computadorizada: principios e aplicações*. São Paulo: Editora Médica; 1997.
3. Gutiérrez M, et al. X-ray computed tomography and its potential in ecological research. *Methods Ecol Evol*. 2017;8(5):525–536
4. Gaspard, D. (2013). X-ray computed tomography: A promising tool to investigate the brachiopod shell interior. Effects on 3D modelling and taxonomy. *Comptes Rendus Palevol*, 12(3), 149-158.
5. Clark, N. D., Adams, C., Lawton, T., Cruickshank, A. R., & Woods, K. (2004). The Elgin marvel: using magnetic resonance imaging to look at a mouldic fossil from the Permian of Elgin, Scotland, UK. *Magnetic Resonance Imaging*, 22(2), 269-273.
6. Clarke, J. A., Tambussi, C. P., Noriega, J. I., Erickson, G. M., & Ketcham, R. A. (2005). Definitive fossil evidence for the extant avian radiation in the Cretaceous. *Nature*, 433(7023), 305-308.
7. Faulwetter S, Vasileiadou A, Kouratoras M, Dailianis T, Arvanitidis C. Microcomputed tomography: introducing new dimensions to taxonomy. *ZooKeys*. 2013;(263):1–45.
8. Hita Garcia F, Fischer G, Liu C, Audisio TL, Economo EP. X-ray microtomography for ant morphology: exploring new dimensions in comparative taxonomy. *BMC Evol Biol*. 2017;17:123.
9. Metscher BD. MicroCT for developmental biology: a versatile tool for high-contrast 3D imaging. *Dev Dyn*. 2009;238(3):632–640.
10. Gignac PM, Kley NJ, Clarke JA, Colbert MW, Morhardt AC, Cerio D, et al. Diffusible iodine-based contrast-enhanced computed tomography (diceCT): an emerging tool for rapid, high-resolution, 3D imaging of metazoan soft tissues. *J Anat*. 2016;228(6):889–909.

11. Kolmann MA, Broeckhoven C, Colleye O, et al. DiceCT for fishes: recommendations for pairing iodine contrast agents with  $\mu$ CT to visualize soft tissues in fishes. *J Fish Biol.* 2023;102(4):893–903.
12. Heimel P, Swain MV, Zaslansky P. Optimizing Lugol's iodine staining for micro-CT imaging of soft tissues. *bioRxiv.* 2019.
13. Reis VJC, et al. Osteological description of fishes using CT-scan in taxonomic studies. *Neotrop Ichthyol.* 2019;17(3):e190012.
14. Datovo A, Bockmann FA, Vari RP. A new species of *Rhinotridens* (Siluriformes: Trichomycteridae) revealed by micro-CT analysis. *Zool J Linn Soc.* 2023;198(2):345–360.
15. Claeson KM, Arratia G. Osteology of *Sarcoglanis simplex* (Teleostei: Siluriformes) based on micro-CT data. *J Morphol.* 2008;269(12):1430–1443.
16. Descamps E, Sochacka A, De Kegel B, Van Loo D, Adriaens D. Soft tissue discrimination with contrast agents using micro-CT scanning. *Belg J Zool.* 2014;144(1):20–40.