
AKADEMİK PERSPEKTİFTEN RADYOLOJİ

Editör:



yaz
yayınları

Akademik Perspektiften Radyoloji

Editör

.....

yaz
yayınları

2025

Akademik Perspektiften Radyoloji

Editör:

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5838-38-4

Haziran 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Radiological Findings and Imaging Modalities in Inflammatory Bowel Disease	1
<i>Betül TİRYAKİ BAŞTUĞ</i>	
Dört Boyutlu Bilgisayarlı Tomografinin Kas-İskelet Sistemi Hastalıklarında Kullanımı.....	21
<i>Neşe KUTLUTÜRK ŞAHİN</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

RADIOLOGICAL FINDINGS AND IMAGING MODALITIES IN INFLAMMATORY BOWEL DISEASE

Betül TİRYAKİ BAŞTUĞ¹

1. INTRODUCTION

Inflammatory bowel disease (IBD) encompasses a spectrum of chronic, idiopathic, and immune-mediated conditions primarily involving the gastrointestinal tract. The two major entities under this umbrella—Crohn’s disease (CD) and ulcerative colitis (UC)—are characterized by periods of remission and exacerbation, leading to progressive tissue damage, clinical complications, and decreased quality of life. Despite sharing similar clinical symptoms such as abdominal pain, diarrhea, and weight loss, these diseases differ significantly in their anatomical distribution, depth of tissue involvement, and histopathological features.

In recent decades, the global incidence and prevalence of IBD have increased, particularly in newly industrialized countries, transforming it into a major public health concern. This epidemiological shift has emphasized the importance of early diagnosis, accurate disease characterization, and effective monitoring, all of which rely heavily on radiological imaging.

While endoscopy with histological confirmation remains the gold standard for diagnosis, it is inherently invasive, limited to mucosal surfaces, and may not adequately assess disease extent

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, betultryak@yahoo.com, ORCID: 0000-0001-7793-7887.

or extraluminal complications. As a result, radiologic imaging has become an essential adjunct in the comprehensive evaluation of IBD, contributing not only to diagnosis but also to disease staging, activity assessment, monitoring treatment response, and detecting complications such as strictures, fistulas, abscesses, and neoplastic transformation.

Modern radiological modalities provide detailed information on bowel wall characteristics, mesenteric involvement, and extraintestinal findings. Among these, ultrasonography, computed tomography (CT), and magnetic resonance imaging (MRI), particularly MR enterography, offer non-invasive, reproducible, and dynamic evaluations of disease behavior over time. Their utility is further enhanced by the integration of functional imaging parameters such as perfusion, diffusion, and bowel motility, which correlate closely with inflammatory activity.

Furthermore, the choice of imaging modality must be individualized, taking into account factors such as patient age, clinical presentation, need for serial follow-up, and concern for radiation exposure, particularly in younger populations who require lifelong monitoring. For instance, ultrasound is increasingly preferred in children and pregnant patients, while MRI offers high soft tissue contrast without ionizing radiation, making it ideal for long-term surveillance. On the other hand, CT remains the modality of choice in acute settings where rapid diagnosis of life-threatening complications is critical.

This chapter aims to provide a comprehensive review of the radiological findings and imaging modalities in inflammatory bowel disease. It begins with a brief overview of the pathophysiological and anatomical distinctions between Crohn's disease and ulcerative colitis, followed by a detailed discussion of various radiologic techniques used in clinical practice. The

chapter also explores imaging features specific to disease phases and highlights key indicators of disease activity, which are crucial for therapeutic decision-making. Through this discussion, the pivotal role of radiology in the multidisciplinary management of IBD will be underscored.

2. CLASSIFICATION AND PATHOPHYSIOLOGICAL OVERVIEW OF INFLAMMATORY BOWEL DISEASE

Inflammatory bowel disease (IBD) is broadly classified into two major clinical entities: Crohn's disease (CD) and ulcerative colitis (UC). Though their clinical presentations may overlap, the two disorders are fundamentally distinct in terms of their anatomical distribution, depth of intestinal wall involvement, pathophysiology, and potential complications. Accurate differentiation between CD and UC is essential, as it significantly impacts diagnostic workup, therapeutic strategy, surgical planning, and long-term prognosis.

2.1. Crohn's Disease (CD)

Crohn's disease is a transmural granulomatous inflammatory disorder that can affect any part of the gastrointestinal tract from the oral cavity to the perianal region, although it most frequently involves the terminal ileum and right colon. Unlike UC, CD is characterized by segmental and asymmetric involvement, known as "skip lesions," where inflamed bowel segments are interspersed with normal tissue.

Histologically, Crohn's disease demonstrates:

- Transmural inflammation
- Non-caseating granulomas (in ~50% of cases)
- Lymphoid aggregates

- Deep ulceration and fissuring, leading to complications such as fistulas and strictures

The transmural nature of the inflammation accounts for many of the extraluminal complications seen in Crohn's disease, including:

- Fistulization (enteroenteric, enterocutaneous, enterovesical, perianal)
- Fibrostenotic strictures
- Intra-abdominal and pelvic abscesses
- Mesenteric fibrofatty proliferation (creeping fat)

Crohn's disease may also present with discontinuous involvement, and in some patients, the disease is isolated to the perianal area or upper GI tract (gastroduodenal CD).

2.2. Ulcerative Colitis (UC)

Ulcerative colitis is a chronic mucosal inflammatory disorder that starts in the rectum and extends proximally in a continuous fashion to involve the colon. The inflammation is confined to the mucosa and submucosa, without transmural extension. In contrast to the patchy distribution in CD, UC always involves the rectum and progresses proximally without skip areas.

UC is classified based on the extent of colonic involvement:

- Proctitis: Rectal involvement only
- Left-sided colitis: Involvement extending up to the splenic flexure
- Pancolitis: Involvement of the entire colon

Histologically, UC is associated with:

- Diffuse mucosal inflammation

- Crypt abscesses
- Glandular architectural distortion
- Goblet cell depletion

Chronic UC may lead to colonic shortening, loss of haustration, and increased risk of colorectal dysplasia or carcinoma, particularly in patients with pancolitis of more than 8–10 years duration.

2.3. Indeterminate Colitis and IBD-Unclassified

In approximately 10–15% of cases, particularly at the time of initial diagnosis, the distinction between CD and UC may not be clearly established based on clinical, endoscopic, histologic, or radiologic findings. These cases are referred to as indeterminate colitis or IBD-unclassified (IBD-U). As the disease evolves, many patients with indeterminate IBD will eventually be reclassified as either CD or UC.

3. PATHOGENESIS AND IMMUNE MECHANISMS

Although the exact etiology of IBD remains unclear, it is widely accepted that the pathogenesis involves a complex interplay between:

- Genetic predisposition (e.g., NOD2/CARD15 mutations in CD)
- Dysregulated immune responses, particularly involving Th1 and Th17 cells in CD, and Th2-like responses in UC
- Environmental triggers, such as smoking (which worsens CD but may be protective in UC)
- Alterations in gut microbiota (dysbiosis)

- Disruption of intestinal epithelial barrier integrity

These factors contribute to a cycle of uncontrolled inflammation, tissue injury, and aberrant healing responses, which in turn manifest as the characteristic radiological features of IBD.

4. DIAGNOSTIC RADIOLOGICAL MODALITIES

Radiological imaging plays a pivotal role in the diagnosis, evaluation, and long-term monitoring of inflammatory bowel disease (IBD). While endoscopy remains the cornerstone for direct mucosal visualization and histologic sampling, it is often limited by invasiveness, poor patient tolerance, and inability to assess deep tissue layers and extraintestinal complications. In this context, radiological modalities provide comprehensive and non-invasive means to assess both luminal and extraluminal disease components, offering insights into disease activity, distribution, severity, and complications.

The appropriate selection of imaging modality depends on various factors including clinical urgency, disease phenotype, anatomical location, patient age, and the need to minimize radiation exposure.

4.1. Plain Abdominal Radiography

Plain abdominal radiographs, though limited in sensitivity and specificity, are frequently employed as an initial diagnostic tool in acute settings. Their primary value lies in the rapid detection of life-threatening complications.

Key indications include:

- **Toxic megacolon:** Visible as a dilated colon (>6 cm in diameter) with loss of haustration, most commonly affecting the transverse colon.

- **Perforation:** Free intraperitoneal air may be detected under the diaphragm on upright or lateral decubitus films.
- **Obstruction:** Dilated bowel loops with multiple air-fluid levels suggestive of mechanical obstruction, which may be due to strictures in Crohn's disease.

In chronic ulcerative colitis, plain films may reveal a "lead pipe colon" appearance, characterized by loss of normal colonic haustration due to chronic mucosal and submucosal atrophy.

Although limited in assessing disease extent and severity, radiographs are quick, inexpensive, and widely available, making them useful in emergency settings.

4.2. Ultrasonography (US)

Ultrasonography is a valuable imaging modality in IBD, particularly in pediatric populations, pregnant patients, and those requiring frequent follow-up without radiation exposure. High-frequency transducers and Doppler imaging have significantly enhanced its diagnostic capabilities.

Advantages:

- Radiation-free and non-invasive
- Portable and repeatable at bedside
- Capable of assessing bowel wall morphology, vascularity, and adjacent mesentery

Ultrasound findings in active disease include:

- Bowel wall thickening (>3 mm), most prominent in Crohn's disease
- Loss of wall stratification indicating transmural inflammation

- Increased Doppler signal within the wall (hyperemia), suggesting disease activity
- Mesenteric fat echogenicity and lymphadenopathy
- Identification of complications: Abscesses appear as complex fluid collections with irregular margins; fistulas appear as hypoechoic tubular structures connecting bowel loops or adjacent organs

Despite its operator dependence and limited penetration in obese patients or those with excessive bowel gas, ultrasonography is an excellent first-line tool for disease assessment and follow-up.

4.3. Computed Tomography (CT) and CT Enterography

Computed tomography (CT), particularly CT enterography (CTE), has become a cornerstone in the cross-sectional imaging of IBD due to its speed, high resolution, and ability to evaluate the entire bowel and surrounding structures.

CT enterography involves the ingestion of large volumes of neutral oral contrast to distend the bowel, combined with intravenous contrast administration to enhance vascular structures.

Findings in active disease include:

- Bowel wall thickening, often asymmetric in Crohn's disease
- Mural hyperenhancement, reflecting mucosal inflammation
- Stratified wall appearance ("target sign")
- Comb sign: Prominent vasa recta suggesting hyperemia of the mesentery

- Perienteric fat stranding and fibrofatty proliferation
- Complications such as fistulas, abscesses, phlegmon, and strictures

Advantages:

- Superior spatial resolution
- Excellent for detecting extraluminal complications
- Widely available and rapid

However, the main limitation of CT is ionizing radiation, which is a significant concern for young patients requiring long-term imaging. Low-dose protocols and limiting CT use to specific clinical indications are strategies to mitigate this risk.

4.4. Magnetic Resonance Imaging (MRI) and MR Enterography

Magnetic resonance enterography (MRE) has emerged as the preferred imaging modality for long-term evaluation of IBD, particularly in children and young adults. It provides excellent soft tissue contrast without ionizing radiation and allows for functional as well as anatomical assessment.

Preparation includes:

- Ingestion of large volumes of oral contrast to distend the small bowel
- Intravenous gadolinium-based contrast for dynamic enhancement
- Optional administration of antiperistaltic agents to reduce motion artifacts

Key imaging features of active inflammation:

- Bowel wall thickening with T2 hyperintensity (edema)

- Layered mural enhancement post-contrast ("target sign")
- Restricted diffusion on diffusion-weighted imaging (DWI)
- Increased mesenteric vascularity and lymphadenopathy
- Detection of penetrating disease: Fistulas, abscesses, and sinus tracts

Functional imaging advantages:

- Motility assessment using cine sequences
- Quantification of inflammation using scoring systems like MaRIA (Magnetic Resonance Index of Activity)

While MRE is more time-consuming and may not be available in all centers, its radiation-free nature and detailed information on both mural and extramural components make it ideal for disease surveillance and treatment planning.

4.5. Fluoroscopy (Barium Contrast Studies)

Fluoroscopic studies using barium contrast, though historically central to IBD imaging, are now largely reserved for specific indications or in centers with limited access to advanced cross-sectional imaging.

Types:

- Small bowel follow-through (SBFT)
- Barium enema

Common findings:

- Cobblestone appearance in Crohn's disease due to ulceration and mucosal edema

- String sign: Marked narrowing of the terminal ileum
- Skip lesions and strictures in CD
- Loss of haustration and shortened colon in UC

While barium studies can provide information on mucosal abnormalities and bowel transit, they lack the ability to assess extramural disease and are limited in acute settings. They are mainly used in resource-limited environments or as a complementary tool.

Table 1: Summary of Modality Selection in IBD Imaging

Modality	Strengths	Limitations	Ideal Use Case
Plain X-ray	Quick, widely available	Low sensitivity, no mucosal detail	Emergency evaluation (perforation, toxic megacolon)
Ultrasound	No radiation, dynamic, bedside accessible	Operator-dependent, limited in obese patients	Pediatric patients, routine follow-up
CT / CT Enterography	High resolution, detects extramural complications	Radiation exposure	Acute presentations, fistulas, abscesses
MRI / MR Enterography	No radiation, excellent soft tissue contrast	Expensive, longer acquisition time	Long-term monitoring, pediatric and young adults
Fluoroscopy (Barium)	Good mucosal detail, inexpensive	Limited extramural assessment, largely outdated	Selected cases, limited-resource settings

5. RADIOLOGIC FINDINGS ACCORDING TO DISEASE STAGE

Radiological appearances of IBD vary with the phase and severity of inflammation.

Active Inflammation:

- Wall thickening with stratified enhancement
- Increased vascularity and mucosal hyperenhancement

- Edematous mesentery and enlarged lymph nodes
- Restricted diffusion on MRI

Chronic Disease:

- Strictures due to fibrosis (often fixed, non-enhancing)
- Fat creeping: Increased mesenteric fat wrapping around the bowel
- Loss of mural stratification
- Calcification in long-standing disease or previous perforation

6. CROHN'S DISEASE: SEGMENTAL AND TRANSMURAL INVOLVEMENT

Crohn's disease has a predilection for the terminal ileum, but can affect any GI segment in a non-continuous pattern. Key radiological signs include:

- Skip lesions
- Transmural wall thickening
- Fistulas and abscesses (enteroenteric, enterovesical, perianal)
- Strictures (inflammatory vs fibrotic)
- Comb sign: Engorged vasa recta on CT or MRI
- Creeping fat

MRE is especially effective for identifying disease extent and differentiating activity from fibrosis.

7. ULCERATIVE COLITIS: DIFFUSE AND MUCOSAL INVOLVEMENT

UC presents with continuous colonic involvement, typically starting at the rectum and spreading proximally.

Imaging Features:

- Mucosal thickening with submucosal edema
- Uniform, symmetric enhancement
- Loss of haustral folds in chronic stages
- Shortened colon with rigid segments
- Backwash ileitis, when terminal ileum is secondarily inflamed

Severe complications such as toxic megacolon or perforation require prompt CT imaging.

8. ASSESSMENT OF DISEASE ACTIVITY

Quantitative and qualitative imaging parameters are essential in determining disease activity, guiding treatment intensity, and evaluating response to therapy.

Indicators of Active Disease:

- Wall thickness >3 mm
- Mural hyperenhancement with stratification
- Increased vascular flow
- Restricted diffusion (MRI)
- Perienteric fat stranding and lymphadenopathy

Various imaging indices, such as the MaRIA score for MRI, are utilized for standardized assessment and research purposes.

Table 2. MaRIA Score Parameters

Parameter	Description
Wall Thickness	Measured in millimeters (mm); values ≥ 3 mm suggest active inflammation
Relative Contrast Enhancement	Degree of enhancement after gadolinium injection; reflects mucosal inflammation
Edema (T2 Signal Intensity)	High signal on T2-weighted images; indicates bowel wall edema
Ulceration	Presence of mucosal ulcers; indicates severe inflammation

Table 3. MaRIA Score Calculation Formula

MaRIA Formula

MaRIA = $1.5 \times \text{Wall Thickness (mm)} + 0.02 \times \text{Relative Contrast Enhancement (\%)} + 5 \times \text{Edema (0 or 1)} + 10 \times \text{Ulceration (0 or 1)}$

Table 4. MaRIA Score Interpretation (Per Segment)

Score Range	Activity Level
< 7	Inactive Disease
7 – 9	Mild Activity
9 – 11	Moderate Activity
> 11	Severe Activity

9. CONCLUSION

Radiological imaging has become an indispensable component in the diagnosis, staging, and long-term management of inflammatory bowel disease. With the evolution of advanced cross-sectional imaging techniques, radiology now offers

unparalleled insights into both luminal and extraluminal manifestations of disease activity. While endoscopy provides direct mucosal evaluation, radiological modalities enable comprehensive, non-invasive assessment of bowel wall integrity, perienteric tissues, and remote complications.

Each imaging modality has unique advantages: ultrasonography offers real-time, radiation-free bedside evaluation; computed tomography excels in acute settings and complication detection; magnetic resonance enterography provides detailed soft tissue contrast ideal for monitoring; and fluoroscopy, though now limited, still has diagnostic value in certain settings. Optimal patient care often requires a tailored, multimodal imaging strategy that considers clinical presentation, patient demographics, and the need for radiation sparing.

Furthermore, objective scoring systems such as the MaRIA score enhance the reproducibility and standardization of radiological interpretation, facilitating both clinical decision-making and research applications.

As the understanding of inflammatory bowel disease continues to evolve, the role of radiology will remain central—not only in diagnosis but also in disease monitoring, prognostication, and evaluation of therapeutic response. Radiologists, therefore, play a critical role within the multidisciplinary team, bridging imaging findings with clinical context to optimize outcomes in patients living with IBD.

REFERENCES

- Botz B, Knipe H, Foster T, et al. Magnetic Resonance Index of Activity (Crohn disease). Reference article, Radiopaedia.org (Accessed on 10 Jun 2025) <https://doi.org/10.53347/rID-94209>
- Calvez V, Puca P, Di Vincenzo F, Del Gaudio A, Bartocci B, Murgiano M, Iaccarino J, Parand E, Napolitano D, Pugliese D, et al. Novel Insights into the Pathogenesis of Inflammatory Bowel Diseases. *Biomedicines*. 2025; 13(2):305. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13020305>
- Deepak P, Fletcher JG, Fidler JL, Bruining DH. Computed Tomography and Magnetic Resonance Enterography in Crohn's Disease: Assessment of Radiologic Criteria and Endpoints for Clinical Practice and Trials. *Inflamm Bowel Dis*. 2016 Sep;22(9):2280-8. doi: 10.1097/MIB.0000000000000845. PMID: 27508513; PMCID: PMC4992454.
- Diez-Martin E, Hernandez-Suarez L, Muñoz-Villafranca C, Martin-Souto L, Astigarraga E, Ramirez-Garcia A, Barreda-Gómez G. Inflammatory Bowel Disease: A Comprehensive Analysis of Molecular Bases, Predictive Biomarkers, Diagnostic Methods, and Therapeutic Options. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25(13):7062. <https://doi.org/10.3390/ijms25137062>
- Dillman JR, Ata NA, Towbin AJ, Anton CG, Smith EA, Zhang B, Imbus R, Tkach JA, Denson LA. The Simplified MR Index of Activity Score in Pediatric Small-Bowel Crohn Disease: An Interreader Agreement and Responsiveness Study. *AJR Am J Roentgenol*. 2023 Jan;220(1):126-133. doi: 10.2214/AJR.22.28123. Epub 2022 Aug 10. PMID: 35946860; PMCID: PMC10894589.

- Haas K, Rubesova E, Bass D. Role of imaging in the evaluation of inflammatory bowel disease: How much is too much? *World J Radiol.* 2016 Feb 28;8(2):124-31. doi: 10.4329/wjr.v8.i2.124. PMID: 26981221; PMCID: PMC4770174.
- Hamed Khalili, The Changing Epidemiology of Inflammatory Bowel Disease: What Goes Up May Come Down, *Inflammatory Bowel Diseases*, Volume 26, Issue 4, April 2020, Pages 591–592, <https://doi.org/10.1093/ibd/izz186>
- Hong SM, Baek DH. Diagnostic Procedures for Inflammatory Bowel Disease: Laboratory, Endoscopy, Pathology, Imaging, and Beyond. *Diagnostics.* 2024; 14(13):1384. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14131384>
- Kaz AM, Venu N. Diagnostic Methods and Biomarkers in Inflammatory Bowel Disease. *Diagnostics.* 2025; 15(11):1303. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15111303>
- M’Koma AE. The Multifactorial Etiopathogeneses Interplay of Inflammatory Bowel Disease: An Overview. *Gastrointestinal Disorders.* 2019; 1(1):75-105. <https://doi.org/10.3390/gidisord1010007>
- McDowell C, Farooq U, Haseeb M. Inflammatory Bowel Disease. [Updated 2023 Aug 4]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470312>
- Nancey S, Fumery M, Faure M, et al. Use of imaging modalities for decision-making in inflammatory bowel disease. *Therapeutic Advances in Gastroenterology.* 2023;16. doi:10.1177/17562848231151293

- Park SH, Ye BD, Lee TY, Fletcher JG. Computed Tomography and Magnetic Resonance Small Bowel Enterography: Current Status and Future Trends Focusing on Crohn's Disease. *Gastroenterol Clin North Am.* 2018 Sep;47(3):475-499. doi: 10.1016/j.gtc.2018.04.002. Epub 2018 Jul 7. PMID: 30115433.
- Pous-Serrano S, Frasson M, Pàmies-Guilabert J, Rudenko P, Puchades-Roman I, Beltrán B, et al. La resonancia magnética y el índice MaRIA en la valoración preoperatoria de la enfermedad de Crohn ileal. *Cir Esp.* 2019;97:582–589.
- Qiu Y, Mao R, Chen BL, Li XH, He Y, Zeng ZR, Li ZP, Chen MH. Systematic review with meta-analysis: magnetic resonance enterography vs. computed tomography enterography for evaluating disease activity in small bowel Crohn's disease. *Aliment Pharmacol Ther.* 2014 Jul;40(2):134-46. doi: 10.1111/apt.12815. Epub 2014 Jun 9. PMID: 24912799.
- Roseira J, Ventosa AR, de Sousa HT, Brito J. The new simplified MARIA score applies beyond clinical trials: A suitable clinical practice tool for Crohn's disease that parallels a simple endoscopic index and fecal calprotectin. *United European Gastroenterol J.* 2020 Dec;8(10):1208-1216. doi: 10.1177/2050640620943089. Epub 2020 Jul 14. PMID: 32664824; PMCID: PMC7724527.
- Saez A, Herrero-Fernandez B, Gomez-Bris R, Sánchez-Martínez H, Gonzalez-Granado JM. Pathophysiology of Inflammatory Bowel Disease: Innate Immune System. *Int J Mol Sci.* 2023 Jan 12;24(2):1526. doi: 10.3390/ijms24021526. PMID: 36675038; PMCID: PMC9863490.

- Shaban N, Hoad CL, Naim I, et al Imaging in inflammatory bowel disease: current and future perspectives *Frontline Gastroenterology* 2022;13:e28-e34.
- Tarun Chhibba, Beatriz Gros, James A King, Joseph W Windsor, Julia Gorospe, Haim Leibovitzh, Mingyue Xue, Williams Turpin, Kenneth Croitoru, Ashwin N Ananthakrishnan, Richard B Gearry, Gilaad G Kaplan, Environmental risk factors of inflammatory bowel disease: toward a strategy of preventative health, *Journal of Crohn's and Colitis*, Volume 19, Issue 4, April 2025, jjaf042, <https://doi.org/10.1093/ecco-jcc/jjaf042>
- Taylor SA, Mallett S, Bhatnagar G, Morris S, Quinn L, Tomini F, Miles A, Baldwin-Cleland R, Bloom S, Gupta A, Hamlin PJ, Hart AL, Higginson A, Jacobs I, McCartney S, Murray CD, Plumb AA, Pollok RC, Rodriguez-Justo M, Shabir Z, Slater A, Tolan D, Travis S, Windsor A, Wylie P, Zealley I, Halligan S. Magnetic resonance enterography compared with ultrasonography in newly diagnosed and relapsing Crohn's disease patients: the METRIC diagnostic accuracy study. *Health Technol Assess.* 2019 Aug;23(42):1-162. doi: 10.3310/hta23420. PMID: 31432777; PMCID: PMC6732715.
- Tontini GE, Vecchi M, Pastorelli L, Neurath MF, Neumann H. Differential diagnosis in inflammatory bowel disease colitis: state of the art and future perspectives. *World J Gastroenterol.* 2015 Jan 7;21(1):21-46. doi: 10.3748/wjg.v21.i1.21. PMID: 25574078; PMCID: PMC4284336.
- Younis MY, Khan MU, Khan U, Latif Khan T, Mukarram H, Jain K, Ilyas I, Jain W. The Current Role of Imaging in the Diagnosis of Inflammatory Bowel Disease and Detection of Its Complications: A Systematic Review. *Cureus.* 2024

Nov 6;16(11):e73134. doi: 10.7759/cureus.73134. PMID: 39507607; PMCID: PMC11540425.

Yu YR, Rodriguez JR. Clinical presentation of Crohn's, ulcerative colitis, and indeterminate colitis: Symptoms, extraintestinal manifestations, and disease phenotypes. *Semin Pediatr Surg.* 2017 Dec;26(6):349-355. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2017.10.003. Epub 2017 Oct 5. PMID: 29126502.

DÖRT BOYUTLU BİLGISAYARLI TOMOGRAFİNİN KAS-İSKELET SİSTEMİ HASTALIKLARINDA KULLANIMI

Neşe KUTLUTÜRK ŞAHİN¹

1. GİRİŞ

Bilgisayarlı tomografi (BT), 1970'lerde kullanılmaya başlanmasından bu yana önemli ölçüde ilerleme kaydetmiştir (1). İlk BT tarayıcılarının çözünürlüğü sınırlıydı ve bu tarayıcıları hastaları yüksek radyasyona maruz bırakıyordu. Tarama ve işlem süreleri de günümüze oranlar oldukça uzundu. Ancak donanım ve görüntüleme-işleme tekniklerindeki gelişmeler, BT'nin kas-iskelet sistemi de dahil olmak üzere tıp alanında her yerde kullanılmasına olanak tanımıştır (2). Azaltılmış iyonizan radyasyon dozu, yüksek görüntü alma hızları ve gelişmiş görüntü çözünürlüğü, BT'yi birçok kas-iskelet rahatsızlığında tanı ve tedavi planlaması için altın standart haline getirmiştir. 1999'da tanıtılan çok sıralı dedektörlü BT, tek bir radyografik kaynağı tespit etmek için gantri ekseni boyunca bitişik dedektör sıralarını kullanarak aynı anda birden fazla görüntü diliminin yakalanmasına izin verdi (3). Gantri tam bir dönüşü 0,8 saniyede tamamlayabiliyordu ve görüş alanı dönüş ekseni boyunca 20 mm idi. Teknolojik gelişmeler, gantri dönüşü için gereken süreyi kısalttı ve dedektör sıralarının sayısını 4'ten 320'ye çıkardı (4). Bu modern tarayıcılar, dönme ekseni boyunca 160 mm'lik bir görüş alanını 0,3 saniyeden daha kısa bir sürede görüntüleyebilir hale gelmişlerdir.

¹ Uzman Doktor, İstanbul Fizik Tedavi Ve Rehabilitasyon Eğitim Ve Araştırma Hastanesi, nkutlutrkr@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-4271-5947.

1.1. Dört boyutlu BT ile ilgili temel bilgiler

Son 10 yılda, geniş görüş alanlı dedektör dizilerinin ve ultra hızlı gantri rotasyonunun kullanılmaya başlanmasıyla, dinamik BT veya kinematik BT olarak da bilinen 4 boyutlu BT'nin (4BBT) kullanımı artmıştır (5). Bu teknikte hastanın her zaman noktasındaki konumunun kinematik bir hacmi oluşturulur. Ancak bu teknik, çok sıralı dedektörlü BT'nin ortaya çıkışından bu yana mümkün olsa da, küçük görüş alanları pratik açıdan bir dezavantajdı. Ayrıca, daha yavaş gantri dönüşleri görüntüleri hareket artefaktına maruz bırakıyor ve yüksek radyasyon dozajları uygulamayı güvensiz hale getiriyordu. Bununla birlikte, yakın zamandaki teknolojik gelişmeler klinisyenlerin anatomik bölgeye ve çekim protokolüne bağlı olarak rutin göğüs radyografisinin altında radyasyon maruziyetiyle gerçek zamanlı olarak büyük hacimleri görüntülemesine de olanak tanımıştır (6).

Dört boyutlu BT'nin ilk uygulamaları radyasyon onkolojisi pratiğinde solunumla hareket eden torakal ve abdominal tümörlerin detaylı görüntülenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir (7). Burada hareketin 4BBT ile ölçülmesi, terapötik radyasyonun lezyona hassas bir şekilde verilmesini sağlayabilir. Dört boyutlu BT aynı zamanda dolaşım ve kapak hastalıklarını araştırmak için siklus boyunca tüm kalbi görüntüleyerek kalp gibi dinamik yapıları da değerlendirebilir ve ekokardiyografinin teknik olarak zor olduğu durumlarda veya manyetik rezonans görüntüleme (MRG)'nin kontrendike olduğu hastalar için yararlı olabilir (8). Vasküler hastalıklar da 4BBT ile araştırılmış ve örneğin anevrizmalar ile ilişkili olarak konvansiyonel BT anjiyografiden daha fazla bilgi sağlayarak hastalığın ilerleme riski hakkında yeni fikirler vermiştir (9). Bu alanlarda 4BBT'nin güvenliği ve faydasına ilişkin kanıtların artmasıyla, 4BBT daha yaygın bir şekilde benimsenmiştir. Klinisyenler, 4BBT'nin daha önce görüntülenmesi mümkün

olmayan dinamik klinik durumlar hakkında doğru fikirler verdiğinin farkına zamanla daha çok varmışlardır.

1.2. Kas-iskelet sistemindeki uygulamalar

Yukarıda bahsi geçen kullanım ve klinisyenlerin verdiği olumlu geri-bildirimlerden sonra 4BBT kendisine kas-iskelet alanında eklem kinematığı, instabilite ve sıkışma sendromları gibi pekçok durumda yer bulmaya başlamıştır (10). Bu yöntemin farklı iskelet-kas bölgelerinde kullanımı ve sonuçlarının değerlendirilmesi kendisine özgü farklılıklar göstermektedir.

1.2.1. Omuz kuşağının görüntülenmesinde kullanım

Omuz kuşağı bölgesinde 4BBT, omuz instabilitesi ve sıkışmasını araştırmak amacıyla, sternoklaviküler ve akromiyoklaviküler eklemleri ve skapulotorasik hareketi görüntülemek için kullanılmıştır (11). Sternoklaviküler eklemden Hislop-Jambrich ve ark, aralıklı olarak boğulma hissi yaşayan bir hastada kol hareket açıklığı ile medial klavikulanın trakeaya dayanacak şekilde posteriora doğru itildiğinin görüntülediğini bildirmişlerdir (12). Bu klinik durumda, 4BBT, konvansiyonel BT veya manyetik rezonans görüntülemeye (MRG) net olarak ortaya konamayan sıkışmayı ortaya çıkarmış ve cerrahi stabilizasyon gerçekleştirme kararı alınmasını sağlamıştır. Ayrıca, 4BBT kolun hareket açıklığı sırasında oluşan sternoklaviküler eklem instabilitesinin derecesini ölçmek için bir tanı aracı olarak da kullanılmıştır. Bu yöntemle akromiyoklaviküler eklem de dinamik olarak görüntülenmiştir. Dyer ve ark, 4BBT'nin, akromiyoklaviküler eklem hareketi hakkında normatif veriler sağlayabildiğini ve konvansiyonel BT ile instabilite ve artroz gibi belirsiz tanıları alan hastalarda patolojileri daha spesifik olarak tanıyabildiğini belirtmişlerdir (13).

Klinisyenler 4BBT'yi snapping skapula sendromunu araştırmak için de kullanmışlardır (14). Bu endikasyonda kullanıldığında, preoperatif 4BBT'nin gereksiz kemik

rezeksiyonunu önleme ve posterior kaburgalar ile ilişkili kesin sıkışma noktasını belirlemede başarılı olduğu bildirilmiştir. Tüm bu klinik uygulamalar gerek tanı, gerek cerrahi planlama, gerekse de prognoz açılarından hastalara ve klinisyenlere somut fayda sağlamıştır.

1.2.2. Dirseğin görüntülenmesinde kullanım

Goh ve Lau ulnohumeral eklemi görüntülemek için 4BBT kullanmıştır (15). Bu yöntemle osteofitlerin koronoid çıkıntı ve olekranon üzerinde sıkıştığı ve terminal fleksiyonu ve ekstansiyonu engellediği gösterilmiştir. Bu bulgular hareket kısıtlılığını göstermede 4BBT'nin konvansiyonel BT'den daha avantajlı olduğunu kanıtlar niteliktedir zira dirsek yaralanmalarından sonraki hareket kısıtlılığı tipik olarak kapsüler fibrosis veya adhezyondan ziyade sıkışmaya bağlıdır. Günümüzde, 4BBT'nin, teknoloji geliştikçe, dirsek eklemi patolojilerinde kendisine daha geniş bir kullanımı alanı bulabileceğine inanılmaktadır.

1.2.3. El ve el bileğinin görüntülenmesinde kullanım

Karpal hareketler çok sayıda çalışmada 4BBT ile araştırılmıştır (16,17). Bu anatomik bölgede minör değişikliklerin bile fonksiyonel kısıtlamalardan ve ciddi semptomlardan sorumlu olabileceği göz önüne alındığında, MRG de dahil olmak üzere standart görüntüleme yöntemleri genellikle tanı için gerekli hassasiyetten yoksundur. Trigger lunate sendromunda ortaya çıkan mekanik semptomlar ve skafolunat instabilite de 4BBT'de net olarak tanımlanmıştır. Bu klinik antitelerde, semptomların mekanik nedeni yalnızca 4BBT'nin sağladığı dinamik görüntülemede tespit edilmiştir ve bu olmadan uygun tedavi kararını vermek zordur. Karpal eklemlerin karmaşıklığı, küçük görüş alanı gerekliliği ve minimal radyosensitivite gibi faktörler ile birleştiğinde, el ve el bileği rahatsızlıkları 4BBT için ideal bir

uygulama alanı haline gelmiştir ve bu alanda 4BBT için klinik endikasyonlar genişlemeye devam etmektedir.

1.2.4. Kalça eklemine görüntülenmesinde kullanım

Radyosensitif dokulara yakın olma ve optimal bir radyolojik görüntü için yüksek radyasyon dozu gereksinimi gibi nedenlerle kalça eklemine incelenmesinde 4BBT kendisine henüz geniş bir kullanımı sahası bulamamıştır. Bununla birlikte, Wassilew ve ark. femoroasetabular sıkışmayı araştırmışlar ve 4BBT'nin femur ve asetabulum üzerindeki sıkışmanın tam lokalizasyonunu geleneksel radyografi veya MRG'den daha doğru bir şekilde tahmin ettiğini bulmuşlardır (18). Bu bulgular, 4BBT'nin kalça artroskopisi ile sıkışma bölgelerine yapılacak olan minimal invaziv müdahalelerin doğru bir şekilde planlanmasına olanak tanıyabileceğini göstermektedir. Böylece artroskopi süreleri kısalabilmekte ve morbidite en düşük düzeye indirilebilmektedir. Hastaların radyasyon maruziyetini azaltmak için yeni görüntü rekonstrüksiyon yöntemleri ve donanımları geliştirildikçe, kalça bozukluklarını anlamak için 4BBT daha yaygın olarak kullanılabilir.

1.2.5. Diz eklemine görüntülenmesinde kullanım

Patellofemoral ağrı sendromu ve patellar subluksasyon hastalarında diz hareket açıklığı boyunca patellayı takip edebilmek için 4BBT çekim protokolleri geliştirmiştir (19,20). Dört boyutlu BT, bu hasta popülasyonu için ideal bir görüntüleme yöntemidir. Tanaka ve ark., tibial tüberkül-sulkus troklearis mesafesinin diz fleksiyon açısıyla önemli ölçüde değiştiğini bildirmiştir (21). Sonuçlar, diz 30° fleksiyonda iken semptomatik hastaların %70'inin tibial tüberkül osteotomisi için uygun olduğunu, diz 0° fleksiyonda iken ise hastaların yalnızca %24'ünün uygun olduğunu göstermiştir. Dinamik görüntüleme ile, patellofemoral ağrının nedenini belirlemek ve cerrahi için

uygun adayları seçmeye yardımcı olan kantitatif ve tekrarlanabilir instabilite ölçümlerini yapabilmek mümkündür.

1.2.6. Ayak ve ayak bileğinin görüntülenmesinde kullanım

Birçok araştırmacı subtalar eklem hareketini ölçmüştür ve son dönemde distal tibiofibular eklem hareketinin ölçüldüğü çalışmalar da yapılmıştır (22,23). Dört boyutlu BT aracılığıyla subtalar eklem görüntülendiği bazı çalışmalarda sağlıklı insanlar ile kronik instabilite semptomları olan hastalar arasındaki eklem hareketi farklılıkları karşılaştırılmıştır. Subtalar eklem hareket aralığı boyunca dış stres uygulanarak dinamik olarak görüntülenmesinin, instabilitenin nedenini objektif olarak gösterebildiği belirtilmiştir. Bu gibi klinik durumlarda 4BBT hastanın tedaviye verdiği yanıtı da ölçebilir. Distal tibiofibular eklem veya sindesmozdaki hareket de 4BBT ile güvenilir bir şekilde ölçülmüştür. Dört boyutlu BT ile ayak bileği hareket açıklığı ile sindesmotik mesafelerdeki değişiklikler de gösterilebilir ki bu bulgular redüksiyonu değerlendirmede çok önemlidir. Tüm bu bilgiler cerrahi onarımın planlanması için de kritik öneme sahiptir. Aktif hareket aralığı boyunca görüntüleme fiksasyon yöntemlerinin karşılaştırılmasını da sağlayabilir.

1.3. Zorluklar ve geleceğe ilişkin görüşler

Dört boyutlu BT teknolojisinde sürekli ilerlemeler kaydedilmektedir. Bu görüntüleme tekniğinin avantajları daha fazla anlaşıldıkça 4BBT klinik uygulamalarda ve araştırmalarda kendisine daha geniş yer bulacaktır. Görüş alanında ilerleme, dedektör sıralarının sayısını veya dedektör boyutunu artırarak sağlanabilir (11). Ancak, ikinci yaklaşımın aksiyel çözünürlüğü azaltacağı akılda tutulmalıdır. Çözünürlükten ve hareketi istenildiği gibi takip etme becerisinden ödün vermeden radyasyon dozajını en aza indirmek için optimum çekim protokolleri belirlenmelidir.

Hareket artefaktı başka bir zorluktur (11,24). Artefaksız bir görüntüyü sağlayabilecek hasta hareketlerini teşvik ederek artefaktları sınırlayıcı protokoller oluşturulmuştur. Ancak özellikle konumlandırma ve hıza ilişkin olan bu öneriler her zaman uygulanabilir değildir. Bununla birlikte, hareketlerin sınırlı BT gantrisi içinde gerçekleştirilebilir olması gerekir. Yarım rekonstrüksiyon yöntemleri, bir görüntü oluşturmak için gantri rotasyonunun yalnızca yarısını kullanır. Dinamik uygulamalarda bu yaklaşım hem hareket artefaktlarını hem de radyasyon maruziyetini azaltır (25). Çift radyolojik kaynak teknolojisine sahip tarayıcıların uygulanması ve gantri dönüş hızlarının artırılması gibi diğer gelişmeler de hareket artefaktlarını azaltabilir.

İmplantlardan kaynaklanan metal artefaktı da cerrahi sonrası hareketin araştırılmasında görüntü yorumlama ve işleme açısından önemli zorluklar yaratır (26,27). Çift enerjili BT çözünürlüğü azaltacağı ve radyasyon dozajını artıracacağı için, hiçbir çalışma dinamik protokollere çift enerjili BT yoluyla metali süprese etme yaklaşımını dahil etmemiştir. Sonuç olarak günümüzde, metal artefaktını azaltma yönündeki çabalar işlem sonrası algoritmalar ve manuel düzeltme ile sınırlıdır. Bu yaklaşımların getireceği dezavantajlar da kullanıcı zamanının uzaması ve sonuçların doğruluğunun azalmasıdır. Radyasyona maruz kalma ile ilgili endişeler de 4BBT'nin yaygınlaşma hızını sınırlamaya devam etmektedir (11,26,27). Genellikle, görüntülenecek anatomik alan ne kadar proksimal olursa, etkili radyasyon dozu da o kadar yüksek olur. Genel olarak görüntü kalitesini korurken donanım tarafından üretilen radyasyon dozunu düşürmek için iyileştirmeler yapılmaya devam etmektedir. Dört boyutlu BT büyük veri setleri üretir, bu da uzun görüntü işleme süreleri gerektirir. Hareketin kalitatif analizi mümkündür ve birden fazla üretici ve yazılım paketi, her zaman noktasında 3 boyutlu rekonstrüksiyonları görselleştirme olanağı

sağlar. Bununla birlikte, niceliksel analiz, tek tek kemiklerin segmentasyonu ve bu kemiklerin zaman noktaları arasında kaydedilmesi daha fazla işleme (processing) gerektirir. Şu anda, aktif kullanılan yazılımlar ölçüm ve analiz protokollerini yarı otomatik hale getirebilmektedir. Ancak daha fazla kullanım kolaylığı ve daha geniş klinik uygulama sahası için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

2. SONUÇ

Dört boyutlu BT teknolojisi henüz erken aşamadır. Bununla birlikte, birçok kas-iskelet sistemi rahatsızlığı için tanı, prognoz ve cerrahi sonuçların değerlendirilmesi de dahil olmak üzere çok sayıda alanda umut verici gelişmeye yol açmıştır. Gelecekteki çalışmalar, 4BBT'nin daha geniş çapta benimsenmesini sağlamak için görüntü kalitesini attırmaya ve radyasyon maruziyetini azaltmaya odaklanmalıdır. Sonuç olarak, 4BBT teknolojisi kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının tanı ve tedavisi açısından büyük katkılar sağlayabilecek potansiyele sahip olduğunu kanıtlamıştır.

KAYNAKÇA

1. Hounsfield,GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system (1973). Br J Radiol. *Br J Radiol*, 46(552), 1016-1022. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-46-552-1016>
2. Richards,PJ, Summerfield R, George J, et al. Major trauma & cervical clearance radiation doses & cancer induction (2008). Injury. *Injury*, 39(3), 347-356. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2007.06.013>
3. Taguchi,K, Aradate H. Algorithm for image reconstruction in multi-slice helical CT (1998). Med Phys. *Med Phys*, 25(4), 550-561. <https://doi.org/10.1118/1.598230>
4. Voros,S (2009). What are the potential advantages and disadvantages of volumetric CT scanning? J Cardiovasc Comput Tomogr. *What are the potential advantages and disadvantages of volumetric CT scanning? J Cardiovasc Comput Tomogr*, 3(2), 67-70. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2008.12.010>
5. Choi SI, George RT, Schuleri KH, et al. Recent developments in wide-detector cardiac computed tomography. Int J Cardiovasc Imaging. 2009;25:23-29. doi: 10.1007/s10554-009-9443-4
6. Ohno Y, Nishio M, Koyama H, et al. Comparison of quantitatively analyzed dynamic area-detector CT using various mathematic methods with FDG PET/CT in management of solitary pulmonary nodules. AJR Am J Roentgenol. 2013;200(6):W593-602. doi: 10.2214/AJR.12.9197
7. Pokhrel,D, Sood S, Badkul R, et al. Assessment of Monte Carlo algorithm for compliance with RTOG 0915 dosimetric criteria in peripheral lung cancer patients treated with

- stereotactic body radiotherapy (2016). *J Appl Clin Med Phys.* **J Appl Clin Med Phys**, 17(3), 277-293. <https://doi.org/10.1120/jacmp.v17i3.6077>
8. Suyker, WJ, Leicher FG. Interpreting a 20-year experience with the Biocor porcine bioprosthesis (2010). *J Thorac Cardiovasc Surg.* **J Thorac Cardiovasc Surg**, 139(5), 1354-1355. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2009.04.070>
9. Omodaka, S, Sugiyama S, Inoue T, et al. Local hemodynamics at the rupture point of cerebral aneurysms determined by computational fluid dynamics analysis (2012). *Cerebrovasc Dis.* **Cerebrovasc Dis**, 34(2), 121-129. <https://doi.org/10.1159/000339678>
10. Clements N, Kron T, Franich R, et al. The effect of irregular breathing patterns on internal target volumes in four-dimensional CT and cone-beam CT images in the context of stereotactic lung radiotherapy. *Med Phys.* 2013;40(2):021904. doi: 10.1118/1.4773310
11. Wong MT, Wiens C, Kuczynski M, et al. Four-dimensional computed tomography: musculoskeletal applications. *Can J Surg.* 2022;65(3):E388-E393. doi: 10.1503/cjs.023420
12. Hislop-Jambrich, JL, Troupis JM, et al. The Use of a Dynamic 4-Dimensional Computed Tomography Scan in the Diagnosis of Atraumatic Posterior Sternoclavicular Joint Instability (2016). *J Comput Assist Tomogr.* **J Comput Assist Tomogr**, 40(4), 576-577. <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000410>
13. Dyer, DR, Troupis JM, Kamali Moaveni A. Wide field of view CT and acromioclavicular joint instability: A technical innovation (2015). *J Med Imaging Radiat Oncol.* **J Med Imaging Radiat Oncol**, 59(3), 326-330. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12283>

14. Sahara,W, Sugamoto K, Murai M, et al. Three-dimensional clavicular and acromioclavicular rotations during arm abduction using vertically open MRI (2007). J Orthop Res. *J Orthop Res*, 25(9), 1243-1249. <https://doi.org/10.1002/jor.20407>
15. Ericson,A, Olivecrona H, Stark A, et al. Computed tomography analysis of radiostereometric data to determine flexion axes after total joint replacement: application to the elbow joint (2010). J Biomech. *J Biomech*, 43(10), 1947-1952. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.03.016>
16. Mat,Jais IS, Liu X, An KN, et al. A method for carpal motion hysteresis quantification in 4-dimensional imaging of the wrist (2014). Med Eng Phys. *Med Eng Phys*, 36(12), 1699-1703. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2014.08.011>
17. Blankenhorn,BD, Pfaeffle HJ, Tang P, et al. Carpal kinematics after proximal row carpectomy (2007). J Hand Surg Am. *J Hand Surg Am*, 32(1), 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2006.10.014>
18. Wassilew,GI, Janz V, Heller MO, et al. Real time visualization of femoroacetabular impingement and subluxation using 320-slice computed tomography (2013). J Orthop Res. *J Orthop Res*, 31(2), 275-281. <https://doi.org/10.1002/jor.22224>
19. Ohnishi,T, Suzuki M, Nawata A, et al. Three-dimensional motion study of femur, tibia, and patella at the knee joint from bi-plane fluoroscopy and CT images (2010). Radiol Phys Technol. *Radiol Phys Technol*, 3(2), 151-158. <https://doi.org/10.1007/s12194-010-0090-1>

20. Tanaka,MJ, Elias JJ, Williams AA, et al. Characterization of patellar maltracking using dynamic kinematic CT imaging in patients with patellar instability (2016). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 24(11), 3634-3641. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4216-9>
21. Tanaka,MJ, Elias JJ, Williams AA, et al. Correlation Between Changes in Tibial Tuberosity-Trochlear Groove Distance and Patellar Position During Active Knee Extension on Dynamic Kinematic Computed Tomographic Imaging (2015). *Arthroscopy.* *Arthroscopy*, 31(9), 1748-1755. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.03.015>
22. Lee,BH, Choi KH, Seo DY, et al. Diagnostic validity of alternative manual stress radiographic technique detecting subtalar instability with concomitant ankle instability (2016). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 24(4), 1029-1039. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4037-x>
23. Taylor,KF, Bojescul JA, Howard RS, et al. Measurement of isolated subtalar range of motion: a cadaver study (2001). *Foot Ankle Int.* *Foot Ankle Int*, 22(5), 426-432. <https://doi.org/10.1177/107110070102200512>
24. Parsch,D, Ludwig K. Computer tomographie des Muskuloskeletal systems [Computed tomography of the musculoskeletal system] (2006). *Orthopade.* *Orthopade*, 35(6), 644-650. <https://doi.org/10.1007/s00132-006-0950-x>
25. Oonk JGM, Dobbe JGG, Strackee SD, et al. Quantification of the methodological error in kinematic evaluation of the DRUJ using dynamic CT. *Sci Rep.* 2023;13(1):3159. doi: 10.1038/s41598-023-29726-2

26. Nakamura,M, Narita Y, Sawada A, et al. Impact of motion velocity on four-dimensional target volumes: a phantom study (2009). Med Phys. *Med Phys*, 36(5), 1610-1617. <https://doi.org/10.1118/1.3110073>
27. Mueck,FG, Roesch S, Scherr M, et al. How low can we go in contrast-enhanced CT imaging of the chest?: A dose-finding cadaver study using the model-based iterative image reconstruction approach (2015). Acad Radiol. *Acad Radiol*, 22(3), 345-356. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2014.10.008>

AKADEMİK PERSPEKTİFTEN RADYOLOJİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com