

Analisis Teknik MRI Sekuen Dual Echo dalam Memvisualisasikan Kelainan pada Liver di RSUD Bakti Pajajaran

Eka Lidyana¹, Nursama Heru Apriantoro², Khairil Anwar³

^{1,2,3} Program Studi Teknologi Radiologi Pencitraan, Poltekkes Kemenkes Jakarta II, Indonesia

Corresponding Author: Eka Lidyana

e-mail: p21130224954@poltekkesjkt2.ac.id

ABSTRACT

Background: The dual-echo sequence (in-phase and out-of-phase) exploits the chemical shift phenomenon between water and fat, enabling identification of hepatic steatosis and differentiation of fat-containing from non-fat-containing lesions. This technique has become an important component in the evaluation of liver diseases with increasing prevalence, such as fatty liver disease and other hepatobiliary disorders. This research aims to analyse the implementation of the dual-echo MRI sequence in visualizing liver abnormalities at Bakti Pajajaran Regional General Hospital, as well as to assess image quality and characterize the differences between in-phase and out-of-phase images.

Methods: This research was conducted from September to November 2025 using a qualitative descriptive-analytic method, involving observation of the examination process, in-depth interviews with radiographers and radiologists, and analysis of MRI images. The research population consisted of 44 patients undergoing MRCP examinations, of whom 14 patients who underwent imaging with the dual-echo sequence were selected as the research sample using purposive sampling. Research instruments included a 3-Tesla MRI scanner, observation sheets, interview guidelines, and DICOM viewer software. Primary data consisted of interview results with radiologists and radiographers, while secondary data included acquisition parameters, image quality assessments, and documentation of MRI findings. Data were processed by collecting, selecting, organizing, and categorizing them according to the research themes, and analysed qualitatively through data reduction, data presentation, and conclusion drawing, focusing on the ability of the dual-echo sequence to depict fatty liver, focal lesions, diffuse liver abnormalities, and biliary abnormalities.

Results: The results indicate that the dual-echo sequence is highly effective in detecting hepatic steatosis, as demonstrated by a distinct signal drop on out-of-phase images. Non-fat-containing lesions, such as solid masses in the distal common bile duct (CBD) and hepatic cysts, did not show signal loss, allowing them to be clearly differentiated from fat-containing lesions. In addition, this technique provides supplementary information on hepatobiliary abnormalities, such as ductal dilatation and CBD stones, although it is not the primary MRCP sequence.

Conclusions: Overall, image quality was good, supported by consistent acquisition parameters and successful implementation of breath-hold techniques. Radiologists reported that this sequence is highly useful as an adjunct examination for assessing liver tissue composition.

Keywords: MRI, Dual Echo, In-phase, Out-of-phase, Fatty Liver

Pendahuluan

Magnetic Resonance Imaging (MRI) adalah salah satu metode pencitraan medis yang sangat canggih dan banyak digunakan karena tidak melibatkan radiasi dan mampu memberikan gambaran jaringan tubuh dengan sangat detail. Berbeda dengan CT Scan atau USG, MRI bekerja dengan prinsip resonansi magnetik dari inti atom hidrogen, yang banyak ditemukan di dalam jaringan tubuh, terutama pada air dan lemak. Dalam dunia

radiologi, salah satu sekuen MRI yang sering digunakan untuk melihat kandungan lemak di dalam hati adalah sekuen *dual echo*, yaitu *in-phase* dan *out-of-phase*. Dengan menggunakan dua waktu gema (*echo time*) yang berbeda, teknik ini bisa membedakan sinyal dari air dan lemak secara efektif. Pada kondisi *in-phase*, sinyal air dan lemak akan saling memperkuat, sedangkan pada *out-of-phase*, sinyal dari lemak dan air saling menghilangkan satu sama lain. Perbedaan sinyal ini

digunakan untuk memperkirakan besar kandungan lemak di jaringan hati secara *non-invasif* dan akurat (Catherine Westbrook, 2019; Yang et al., 2023; Tan et al., 2023; Vernuccio et al., 2021).

MRI pertama kali dikembangkan sebagai pengembangan dari teknik *spektroskopi* resonansi magnetik nuklir (NMR) pada tahun 1970-an. Teknik ini memanfaatkan sifat magnetik dari inti hidrogen, yang sangat banyak ditemukan dalam air dan lemak di jaringan tubuh. Ketika tubuh dimasukkan ke dalam medan magnet kuat dan dipaparkan gelombang radio, inti hidrogen akan beresonansi dan memancarkan sinyal yang dapat direkam dan diubah menjadi citra digital oleh komputer. Kelebihan utama MRI dibandingkan modalitas lain adalah kemampuannya memberikan kontras jaringan lunak yang sangat baik, sehingga sangat cocok digunakan untuk mengevaluasi organ seperti otak, sumsum tulang belakang, hati, dan ginjal (Catherine Westbrook, 2019; Yang et al., 2023; Tan et al., 2023).

Dalam konteks pencitraan hati, penggunaan sekuen *dual echo* (*in-phase* dan *out-of-phase*) menjadi sangat penting karena mampu membedakan kandungan lemak dengan presisi tinggi. Ketika lemak dan air berada dalam satu *voxel* citra, pada sekuen *in-phase*, sinyal dari keduanya akan saling memperkuat sehingga tampak lebih terang. Sebaliknya, pada *out-of-phase*, sinyal keduanya saling meniadakan sehingga tampak lebih gelap. Perbedaan intensitas sinyal ini dapat dihitung sebagai ***signal loss ratio***, yang kemudian menjadi dasar untuk menilai derajat steatosis atau penumpukan lemak pada jaringan hati. Teknik ini sangat berguna dalam praktik klinis karena cepat, tidak membutuhkan kontras, dan dapat dilakukan bersamaan dengan pemeriksaan rutin lainnya (Vernuccio et al., 2021; Gupta et al., 2024; Zabihzadeh et al., 2018).

Beberapa metode lain tersedia untuk menilai kadar lemak hati, seperti MR *spectroscopy* yang mampu mengukur kadar lemak dengan lebih presisi secara kuantitatif, namun teknik ini lebih rumit, memakan waktu, dan tidak tersedia di semua rumah sakit. Metode lain seperti *elastografi* atau *fibroscan* lebih berfokus pada kekakuan jaringan (fibrosis) daripada kadar lemak itu sendiri. Oleh karena itu, penggunaan sekuen *dual echo* menjadi pilihan terbaik untuk fasilitas dengan keterbatasan sumber daya namun tetap ingin memperoleh hasil yang informatif (Zabihzadeh et al., 2018; Jang & Song, 2023).

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian terhadap penyakit hati berlemak meningkat tajam karena hubungannya dengan sindrom metabolik.

Istilah NAFLD (*Non-Alcoholic Fatty Liver Disease*) kini telah diperbarui menjadi MASLD (*Metabolic Dysfunction-Associated Steatotic Liver Disease*), yang menggambarkan kondisi steatosis hati pada individu dengan gangguan metabolik seperti obesitas, diabetes tipe 2, hipertensi, dan dislipidemia. Penyakit ini menjadi perhatian global karena merupakan salah satu penyebab utama sirosis non-virus dan karsinoma hepatoseluler di banyak negara (Jang & Song, 2023; Hu et al., 2019; Machta et al., 2025).

Beberapa studi terbaru menunjukkan bahwa nilai citra *dual echo* MRI, khususnya **penurunan sinyal pada **out-of-phase***, memiliki korelasi yang signifikan dengan hasil laboratorium seperti kadar SGOT, SGPT, dan GGT. Korelasi ini membuka kemungkinan penggunaan citra MRI sebagai biomarker non-invasif terhadap kondisi fungsi hati. Pasien dengan nilai signal loss tinggi pada *out-of-phase** memiliki peningkatan kadar ALT dan AST yang bermakna. Hal ini mendukung hipotesis bahwa akumulasi lemak di hati dapat memicu peradangan dan cedera sel hati, yang tercermin dalam peningkatan enzim hati (Jang & Song, 2023; Delfan et al., 2024; Yurdaisik & Nurili, 2020; Makhija et al., 2020).

Di sisi lain, pemeriksaan laboratorium fungsi hati yang sering digunakan seperti SGOT, SGPT, dan bilirubin juga memiliki keterbatasan. Nilai-nilai ini bisa normal pada awal penyakit, terutama pada pasien dengan steatosis ringan. Sebaliknya, MRI dapat menunjukkan perubahan struktur jaringan sebelum kelainan laboratorium muncul. Oleh karena itu, kombinasi antara hasil laboratorium dan citra MRI dapat memberikan gambaran klinis yang lebih komprehensif (Schaapman et al., 2021; Ichikawa & Goshima, 2023; Ajmera & Loomba, 2021).

Berdasarkan data pemeriksaan MRI tahun 2025 hingga bulan Juli, tercatat sebanyak 44 kasus pemeriksaan MRCP. Angka ini menunjukkan bahwa permintaan pemeriksaan MRCP, termasuk evaluasi hati, masih konsisten dilakukan pada kasus-kasus yang memerlukan visualisasi jaringan lunak dengan detail tinggi, sehingga mendukung relevansi penelitian ini dalam mengkaji teknik sekuen *dual echo* untuk mendeteksi kelainan pada hati.

Pemilihan sekuen *dual echo* (*in-phase* dan *out-of-phase*) pada penelitian ini didasarkan pada kemampuannya membedakan kandungan lemak dan jaringan normal hati secara sensitif melalui perbedaan intensitas sinyal. Teknik ini memungkinkan deteksi dini perubahan morfologi dan komposisi jaringan hati tanpa penggunaan

media kontras, memiliki waktu akuisisi singkat, serta meminimalkan risiko bagi pasien. Keunggulan tersebut menjadikan sekuen *dual echo* sebagai pilihan yang relevan dan efisien untuk memvisualisasikan kelainan pada hati, terutama pada kondisi yang memerlukan evaluasi cepat dan akurat.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif-analitik. Pendekatan ini dipilih untuk menggali, memahami, dan mendeskripsikan secara mendalam teknik pemeriksaan MRI sekuen *Dual Echo (in-phase dan out-of-phase)* dalam memvisualisasikan kelainan pada liver, serta mengevaluasi kualitas citra yang dihasilkan. Subjek penelitian sebanyak 14 pasien dipilih berdasarkan kriteria inklusi yang telah ditetapkan menggunakan teknik *purposive sampling*. Responden penelitian adalah seorang radiolog dan seorang radiografer yang kompeten di bidangnya. Instrumen penelitian menggunakan kuesioner dan pedoman wawancara. Data kualitatif dianalisis menggunakan analisis konten (*content analysis*), sedangkan data kuantitatif dianalisis secara deskriptif.

Hasil dan Pembahasan

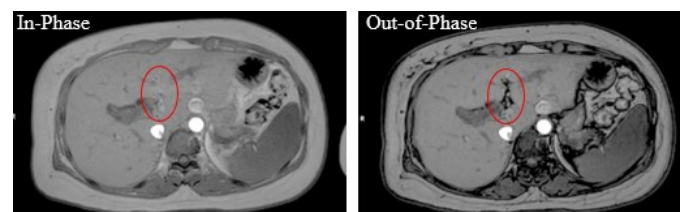
Pemeriksaan liver menggunakan MRI dilakukan dengan teknik sekuen *dual echo Gradient Echo (GRE)* yang menghasilkan dua jenis citra, yaitu *in-phase* dan *out-of-phase*, dalam satu kali penahanan napas. Pemindaian dilakukan saat pasien melakukan *breath-hold* untuk mengurangi artefak akibat gerakan pernapasan. Dengan teknik ini, kedua jenis citra dapat diperoleh secara bersamaan, sehingga memudahkan perbandingan dan analisis kelainan jaringan hati. Setelah proses akuisisi selesai, radiografer mengevaluasi kualitas sinyal serta kemungkinan adanya artefak.

Pemeriksaan MRI liver dalam penelitian ini dilakukan pada 14 pasien menggunakan parameter teknis yang sama untuk menjaga keseragaman kualitas citra. Parameter yang digunakan mencakup TE *out-of-phase* sebesar 1,14 ms, TE *in-phase* sebesar 2,3 ms, TR sebesar 101 ms, ketebalan irisan 5 mm, serta *field of view* sebesar $320 \times 262 \times 192$ mm. Teknik pernapasan yang digunakan adalah *breath-hold*. Penggunaan parameter yang konsisten bertujuan untuk memudahkan analisis dan perbandingan antara citra *in-phase* dan *out-of-phase* dalam mengevaluasi kelainan pada liver.

Planning pemeriksaan MRI liver diawali dengan melakukan input data pasien pada *work station*,

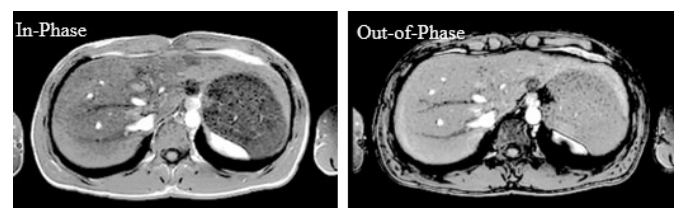
kemudian memilih protokol MRCP. Sekuens MRCP yang digunakan di RSUD Bakti Pajajaran Cibinong adalah *Survey*, T2W TSE Cor, T2W TSE Sag, T2W TSE Ax, serta *dual echo (in-phase dan out-of-phase)*. Pengaturan *field of view* (FOV) perlu memastikan bahwa area abdomen atas tidak terpotong.

Kualitas citra pada seluruh pasien dinilai baik dengan artefak minimal berkat penggunaan teknik *breath-hold*. Kontras antara jaringan lemak dan non-lemak tampak jelas pada perbandingan IP-OP. Hal ini terlihat pada pasien *fatty liver (signal drop pada OP)*, pasien dengan lesi solid (tanpa *signal drop*), serta lesi kistik di hepar (dengan sinyal homogen dan tanpa perbedaan sinyal). Berikut adalah interpretasi *dual echo (in-phase dan out-of-phase)* berdasarkan pola kelainan yang ditemukan steatosis hepatic (*fatty liver*) tampak pada gambar 1, dengan *signal drop* pada *out-of-phase*.

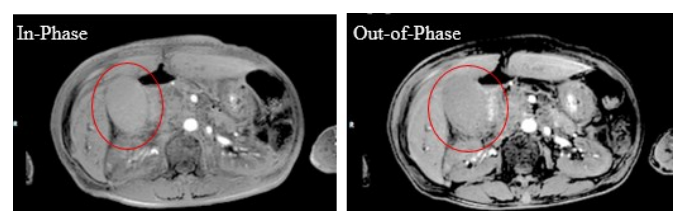


Gambar 1. Perbandingan citra MRI *in-phase* dan *out-of-phase* pada hepar.

Pada gambar 1, citra *in-phase*, sinyal lemak dan air relatif sama sehingga parenkim hati tampak homogen, sedangkan pada citra *out-of-phase*, sinyal keduanya saling meniadakan sehingga parenkim yang mengandung lemak tampak lebih gelap (*signal drop*). Perubahan intensitas sinyal ditunjukkan pada area bertanda lingkaran merah, yang merepresentasikan deposisi lemak pada parenkim hati.

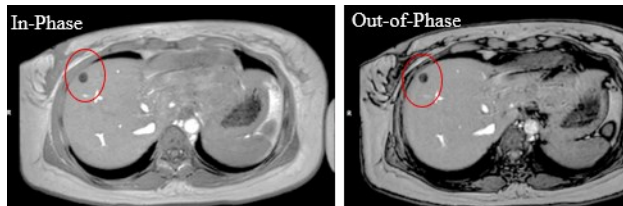


Gambar 2. Tampak hepatomegali tanpa gambaran *fatty liver*, ditandai dengan tidak adanya penurunan sinyal signifikan pada sekuen *out-of-phase*.



Gambar 3. Perbandingan sekuen *in-phase* dan *out-of-phase* memperlihatkan massa.

Perbandingan sekuen *in-phase* dan *out-of-phase* memperlihatkan massa solid di distal *common bile duct* (CBD) tanpa penurunan sinyal, ditandai dengan lingkaran merah, serta lesi fokal di segmen II hepar yang intensitasnya menetap, konsisten dengan lesi metastatik.



Gambar 4. Sekuen *in-phase* dan *out-of-phase* menunjukkan lesi kistik di hepar dengan sinyal homogen dan tanpa perbedaan pada *out-of-phase*, sesuai karakteristik kista hepar yang ditandai dengan lingkaran merah.

Berdasarkan hasil pemeriksaan terhadap 14 pasien, ditemukan berbagai kelainan dengan distribusi yang bervariasi. Kelainan yang paling sering dijumpai adalah *hepatomegali*, yang ditemukan pada 13 pasien. Selain itu, *hepatosplenomegali* teridentifikasi pada 4 pasien. Kelainan pada sistem bilier juga cukup dominan, dengan *choledocholithiasis* ditemukan pada 9 pasien dan *multiple cholelithiasis* pada 10 pasien.

Sementara itu, *cholecystitis* dijumpai pada 5 pasien. Kelainan lain yang ditemukan dengan frekuensi lebih rendah meliputi *fatty liver* pada 1 pasien, kista hepar pada 2 pasien, serta *ascites* yang juga ditemukan pada 2 pasien. Temuan-temuan ini menunjukkan adanya variasi kelainan hepatobilier dengan dominasi kelainan pada hepar dan sistem empedu.

MRI *In-Phase (IP)* dengan intensitas sinyal parenkim yang relatif homogen

Pada citra MRI *in-phase*, parenkim hati tampak homogen dengan intensitas sinyal yang relatif meningkat. Tidak ditemukan perbedaan mencolok berupa lesi fokal maupun perubahan difus pada parenkim hati. Citra ini digunakan sebagai pembanding terhadap citra *out-of-phase* dalam menilai adanya kandungan lemak pada hepar.

Pada citra MRI *out-of-phase*, dilaporkan adanya penurunan intensitas sinyal secara menyeluruh pada parenkim hati bila dibandingkan dengan citra *in-phase*. Pola *signal drop* tersebut dinilai konsisten dengan gambaran *fatty liver* (steatosis hepatik). Struktur non-lemak, seperti pembuluh darah intrahepatik, tetap tampak dengan intensitas tinggi. Temuan ini mencerminkan fenomena *chemical shift* antara air dan lemak.

Untuk memperjelas perbedaan fungsi dan karakteristik masing-masing sekuen dalam MRI *dual echo*, disajikan ringkasan keuntungan dan keterbatasan *in-phase* dan *out-of-phase* pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Ringkasan keuntungan dan keterbatasan sekuen *in-phase* dan *out-of-phase* pada MRI liver

Jenis Sekuen	Keuntungan	Kerugian / Keterbatasan
In-Phase (IP)	- Memberikan gambaran dasar (baseline) parenkim hati - Sinyal stabil untuk membandingkan struktur organ. - Memudahkan identifikasi lesi solid, kista, dan pembuluh darah. - Lebih tahan terhadap artefak <i>chemical shift</i>. - Membantu menilai morfologi hati secara keseluruhan.	- Tidak sensitif untuk mendeteksi lemak mikro. - Tidak menunjukkan fenomena <i>signal drop</i> → tidak dapat digunakan untuk diagnosa steatosis. - Kontras jaringan air-lemak kurang jelas.
Out-of-Phase (OP)	- Sangat sensitif untuk mendeteksi lemak → tampak <i>signal drop</i> bila jaringan mengandung lemak. - Ideal untuk identifikasi: <i>fatty liver</i>, adenoma berlemak, HCC berlemak, AML, minimal fat. - Memperjelas perbedaan jaringan berlemak vs non-lemak • Dapat membedakan lesi solid non-lemak (tidak ada <i>signal drop</i>).	- Sulit diinterpretasi pada kasus <i>iron overload</i> → sinyal menurun dan menyerupai lemak. - Artefak <i>chemical shift</i> lebih jelas. - Tidak ideal untuk evaluasi sistem bilier atau saluran empedu. - Lebih sensitif terhadap kesalahan TE; bila TE tidak tepat, fenomena fase tidak maksimal.

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis citra MRI sekuen *dual echo* (*in-phase* dan *out-of-phase*) pada 14 pasien serta wawancara mendalam dengan radiografer dan radiolog, dapat disimpulkan bahwa sekuen *dual echo* terbukti efektif dalam memvisualisasikan berbagai kelainan hati, terutama dalam mendeteksi steatosis hepatik melalui fenomena *signal drop* pada citra *out-of-phase*, sekaligus mampu menampilkan lesi solid, kista, dan struktur hepatobilier secara jelas sesuai prinsip *chemical shift*. Kualitas citra yang dihasilkan dinilai baik pada seluruh pasien dengan artefak minimal dan konsistensi sinyal yang optimal berkat penggunaan parameter standar dan teknik *breath-hold*, sehingga kontras antara jaringan lemak dan non-lemak tampak jelas dan memudahkan interpretasi radiologis. Selain itu, sekuen *dual echo* mampu membedakan berbagai

No	Components in discussion
1.	How do your results relate to the original question or objectives outlined in the background section (what)?
2.	Do you provide interpretation scientifically for each of your results or findings presented (why)?
3.	Are you results consistent with what other investigators have reported (what else)? Or are there any differences?

MRI *Out-of-Phase (OP)* dengan penurunan intensitas sinyal difus

jenis jaringan, seperti lemak intravoxel, fatty liver, lesi solid maupun kistik, serta struktur bilier, dengan keunggulan berupa waktu akuisisi yang cepat, sensitivitas tinggi terhadap lemak, dan kemudahan interpretasi. Meskipun masih memiliki keterbatasan pada kasus iron overload dan evaluasi duktus bilier, kedua sekuen IP-OP tetap saling melengkapi dan layak digunakan sebagai protokol rutin dalam pemeriksaan MRI liver di fasilitas klinis.

Daftar Pustaka

- Ajmera, V., & Loomba, R. (2021). Imaging biomarkers of NAFLD, NASH, and fibrosis. *Molecular Metabolism*, 50(January), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2021.101167>
- Catherine Westbrook, J. T. (2019). *MRI in Practice* (5th ed.). Wiley-Blackwell.
- Delfan, N., Moghadam, P. K., Khoshnevisan, M., Chagahi, M. H., Hatami, B., Asgharzadeh, M., Zali, M., Moshiri, B., Moghaddam, A. M., Khalafi, M. A., & Dehnad, K. (2024). AI-driven non-invasive detection and staging of steatosis in fatty liver disease using a novel cascade model and information fusion techniques. 1–8.
- Gupta, A., Dixit, R., & Prakash, A. (2024). Non-invasive hepatic fat quantification: Can multi-echo Dixon help? *Radiologia Brasileira*, 57, 1–7. <https://doi.org/10.1590/0100-3984.2023.0125>
- Hu, F., Yang, R., Huang, Z., Wang, M., Yuan, F., Xia, C., Wei, Y., & Song, B. (2019). 3D multi-echo Dixon technique for simultaneous assessment of liver steatosis and iron overload in patients with chronic liver diseases: A feasibility study. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 9(6), 1014–1024. <https://doi.org/10.21037/qims.2019.05.20>
- Ichikawa, S., & Goshima, S. (2023). Clinical significance of liver MR imaging. *Magnetic Resonance in Medical Sciences*, 22(2), 157–175. <https://doi.org/10.2463/mrms.rev.2022-0100>
- Jang, W., & Song, J. S. (2023). Non-invasive imaging methods to evaluate non-alcoholic fatty liver disease with fat quantification: A review. *Diagnostics*, 13(11), 1311–1352. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13111852>
- Machta, Y., Ali, O., Hakkakian, K., Vlasceanu, A., Facque, A., Golse, N., & Vignon-Clementel, I. (2025). Enhancing the automatic segmentation and analysis of 3D liver vasculature models. *ArXiv*. <https://arxiv.org/abs/2411.15778>
- Makhija, N., Vikram, N. K., Kaur, G., Sharma, R., Srivastava, D. N., & Madhusudhan, K. S. (2020). Role of magnetic resonance imaging in the monitoring of patients with nonalcoholic fatty liver disease: Comparison with ultrasonography, lipid profile, and body mass index. *Journal of Clinical and Experimental Hepatology*, 10(2), 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.jceh.2019.09.002>
- Schaapman, J. J., Tushuizen, M. E., Coenraad, M. J., & Lamb, H. J. (2021). Multiparametric MRI in patients with nonalcoholic fatty liver disease. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 53(6), 1623–1631. <https://doi.org/10.1002/jmri.27292>
- Tan, Z., Unterberg-Buchwald, C., Blumenthal, M., Scholand, N., Schaten, P., Holme, C., Wang, X., Raddatz, D., & Uecker, M. (2023). Free-breathing liver fat, R and B field mapping using multi-echo radial FLASH and regularized model-based reconstruction. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 42*(5), 1374–1387. <https://doi.org/10.1109/TMI.2022.3228075>
- Vernuccio, F., Cannella, R., Bartolotta, T. V., Galia, M., Tang, A., & Brancatelli, G. (2021). Advances in liver US, CT, and MRI: Moving toward the future. *European Radiology Experimental*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s41747-021-00250-0>
- Yang, Y., Xu, K., Chen, X., Ding, J., Shi, J., & Li, J. (2023). The accuracy and clinical relevance of the multi-echo Dixon technique for evaluating changes to hepatic steatosis in patients with non-alcoholic fatty liver disease treated with formulated food. *Magnetic Resonance in Medical Sciences*, 22(2), 263–271. <https://doi.org/10.2463/mrms.mp.2021-0168>
- Yurdaisik, I., & Nurili, F. (2020). Accuracy of multi-echo Dixon sequence in quantification of hepatic steatosis. *Cureus*, 12(2). <https://doi.org/10.7759/cureus.7103>
- Zabihzadeh, M., Gharibvand, M. M., Motamedfar, A., Tahmasebi, M., Sina, A. H., Bahrami, K., & Naserpour, M. (2018). Noninvasive quantification of liver fat content by different gradient echo magnetic resonance imaging sequences in patients with nonalcoholic fatty liver disease. *Journal of Medical Signals and Sensors*, 8(4), 244–252. https://doi.org/10.4103/jmss.JMSS_32_18
- Khan, E., Rehman, M. Z. U., Ahmed, F., Alfouzan, F. A., Alzahrani, N. M., & Ahmad, J. (2022). Chest X-ray classification for the detection of COVID-19 using deep learning techniques. *Sensors*, 22(3), 1211.
- Zweerings, J., Sarkheil, P., Keller, M., Dyck, M., Klasen, M., Becker, B., ... & Mathiak, K. (2020). RtfMRI neurofeedback-guided cognitive reappraisal training modulates amygdala responsivity in posttraumatic stress disorder. *NeuroImage: Clinical*, 28, 102483.
- Christensen, S., & Lansberg, M. G. (2019). CT perfusion in acute stroke: practical guidance for implementation in clinical practice. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 39(9), 1664–1668.
- Frankel, H. L., Kirkpatrick, A. W., Elbarbary, M., Blaivas, M., Desai, H., Evans, D., ... & Levitov, A. (2015). Guidelines for the appropriate use of bedside general and cardiac ultrasonography in the evaluation of critically ill patients—part I:

general ultrasonography. Critical care
medicine, 43(11), 2479-2502.