

**Diffuziya vaznli magnit-rezonans tomografiya: fizik asoslari, klinik
qo'llanilishi va diagnostik ahamiyati**

Usarov Muxriddin Shuxratovich

Ruziyev Umidjon Shokir O'g'li

Samarqand davlat tibbiyot universiteti, Samarqand, O'zbekiston

Annotatsiya

Diffuziya vaznli magnit-rezonans tomografiya (DWI) zamonaviy tibbiy diagnostikaning muhim usullaridan biri bo'lib, to'qimalardagi suv molekulalarining mikroskopik harakatini baholash orqali ularning tuzilmaviy xususiyatlari haqida noyob ma'lumot beradi. Ushbu maqolada DWI ning fizik asoslari, apparat ko'rinadigan diffuziya koeffitsienti (ADC) miqdor ko'rsatkichining klinik ahamiyati, turli klinik sohalarda — o'tkir ishemik insult diagnostikasi, onkologik kasalliklar (miya shishlari, prostata, ko'krak, qovuq va to'g'ri ichak saratoni), muskuloskeletal tizim kasalliklari hamda abdominal va kardiak imagingdagi qo'llanilishi tahlil qilinadi. Shuningdek, DWI ning asosiy cheklovlari — susseptibilik artefaktlari, EPI distorsiyalari, T2 shine-through effekti va harakat artefaktlari, hamda ularni bartaraf etish usullari yoritilgan. DWI kontrast moddalarsiz yuqori kontrastli tasvirlar olish, to'qima hujayraliligini miqdoriy baholash va davolash samaradorligini kuzatish imkoniyatlari bilan klinik amaliyotda muhim o'rin tutadi. Maqolada Yevropa Magnit-rezonans Tibbiyot va Biologiya Jamiyati (ESMRMB) ning so'nggi amaliy tavsiyalari asosida DWI ni klinik amaliyotga joriy etish bo'yicha yo'riqnomalar keltirilgan.

Kalit so'zlar: diffuziya vaznli tasvirlash, apparat ko'rinadigan diffuziya koeffitsienti, o'tkir ishemik insult, onkologik diagnostika, ADC, DWI artefaktlari.

Kirish

Magnit-rezonans tomografiya (MRT) zamonaviy tibbiy diagnostikaning ajralmas qismiga aylangan bo'lib, ionlashtiruvchi nurlanishsiz to'qima va organlarning yuqori aniqlikdagi tasvirlarini olish imkonini beradi. An'anaviy MRT anatomik tuzilmalarni batafsil ko'rsatish bilan birga, to'qimalarning funksional va

mikroskopik xususiyatlarini baholash imkoniyatlarining cheklanganligi bilan ajralib turadi. Aynan shu kamchilikni bartaraf etish maqsadida diffuziya vaznli tasvirlash (DWI — Diffusion-Weighted Imaging) ishlab chiqilgan bo‘lib, u to‘qimalardagi suv molekulalarining Brown harakatini o‘lchash orqali ularning tuzilmaviy bütünligi va hujayraliligi haqida noyob ma’lumot beradi.

DWI tamoyillari birinchi marta 1980-yillarda ishlab chiqilgan bo‘lsa-da, so‘nggi yigirma yillikda texnologiyalarning rivojlanishi va apparat ta’minotining takomillashuvi tufayli ushbu usul klinik amaliyotda keng qo‘llanila boshlandi. DWI ning asosiy afzalligi — u to‘qima hujayraliligini (cellularity) va hujayra membranalarining yaxlitligini aks ettiruvchi miqdoriy ko‘rsatkichlarni taqdim etishidir. Bu xususiyat DWI ni, ayniqsa, ishemik insult, shish kasalliklari, yallig‘lanish va degenerativ jarayonlarni diagnostika qilishda bebaho vositaga aylantiradi.

Hozirgi kunda DWI MRT protokollarining majburiy komponentiga aylangan bo‘lib, uning qo‘llanilish doirasi neyroimagingdan tortib butun tana skanerlashgacha kengaymoqda. Ushbu maqolada DWI ning fizik asoslari, asosiy miqdoriy ko‘rsatkichlari, turli klinik sohalardagi qo‘llanilishi, texnik cheklovlari va istiqbolli yo‘nalishlari tizimli ravishda yoritiladi.

1. DWI ning Fizik Asoslari va Miqdoriy Ko‘rsatkichlari

1.1. Diffuziyaning fizik mohiyati

DWI suv molekulalarining to‘qima ichidagi mikroskopik harakatini (diffuziyasini) baholashga asoslangan. Tirik to‘qimalarda suv molekulalari doimiy Brown harakatida bo‘ladi. “Cheklanmagan muhitda” bu harakat tasodifiy (izotrop diffuziya) xarakterga ega bo‘lsa, organizmda hujayra membranalari, makromolekulalar va hujayra ichidagi organellalar diffuziyani cheklaydi, natijada “cheklangan diffuziya” yoki “anizotrop diffuziya” vujudga keladi.

DWI aynan shu farqni aniqlash uchun mo‘ljallangan: diffuziya sekin bo‘lgan hududlar (masalan, hujayraliligi yuqori bo‘lgan shish to‘qimasi yoki ishemik joylar) DWI da yuqori signal (giperintens) sifatida namoyon bo‘ladi, diffuziya tez bo‘lgan

hududlar (masalan, hujayradan tashqari bo‘shliq yoki qon tomirlari) esa past signal (gipo intens) sifatida ko‘rinadi.

1.2. Stejskal-Tanner impul’s gradient sekvensiyasi va b-qiymat

DWI ni amalga oshirish uchun odatda Stejskal-Tanner usuli qo‘llaniladi, bunda diffuziya kodlashining kuchini “b-qiymat” ifodalaydi. b-qiymat diffuziya sezgirlik gradientining kuchi, davomiyligi va vaqt oralig‘iga bog‘liq bo‘lib, u sekund/mm² da o‘lchanadi. Klinik amaliyotda miya uchun 0–1000 s/mm², tana uchun 50–800 s/mm² oralig‘idagi b-qiymatlar tavsiya etiladi.

Past b-qiymatli tasvirlar (b=0) an’anaviy T2-vaznli tasvirlarga o‘xshaydi, yuqori b-qiymatli tasvirlar esa diffuziyaga sezgir bo‘ladi. Ikki xil b-qiymatdagi tasvirlarni solishtirish orqali diffuziya cheklanishi haqida xulosa chiqarish mumkin.

1.3. Apparat ko‘rinadigan diffuziya koeffitsienti (ADC)

ADC DWI dan olinadigan asosiy miqdoriy ko‘rsatkich bo‘lib, u to‘qima ichidagi suv molekulalarining harakatchanligini aks ettiradi. ADC qiymati qancha past bo‘lsa, diffuziya shunchalik cheklangan va hujayralilik shunchalik yuqori bo‘ladi. ADC xaritasi DWI dagi giperintens hududlarning “T2 shine-through” (keyinroq muhokama qilinadi) emas, balki haqiqiy diffuziya cheklanishi tufayli yuzaga kelganligini aniqlash imkonini beradi.

ADC ning klinik ahamiyati uning turli patologik jarayonlarni farqlashdagi yuqori sezgirliги va o‘ziga xosligi bilan belgilanadi.

1.4. Klinik sekvensiyalar: EPI va undan tashqari

Klinik DWI odatda bir marta o‘qishli eho-planar tasvirlash (EPI — single-shot echo-planar imaging) sekvensiyasi yordamida amalga oshiriladi. EPI tez tasvir olish imkonini beradi, bu esa bemor harakati, nafas olish va yurak urishi kabi bulk-harakat artefaktlarini kamaytirish uchun muhim ahamiyatga ega. Biroq, EPI susseptibilik artefaktlariga va geometrik distorsiyalarga moyil bo‘lib, ayniqsa havo-to‘qima chegaralarida muammo tug‘diradi.

Yevropa Magnit-rezonans Tibbiyot va Biologiya Jamiyati (ESMRMB) ning 2026 yilgi amaliy tavsiyalariga ko‘ra, klinik DWI uchun asosiy sekvensiya sifatida EPI

tavsiya etiladi, uzun takrorlanish vaqti ($TR \geq 4500$ ms) va minimal eho vaqti (TE) qo‘llanilishi kerak. Parallel imaging yoki segmentlangan EPI o‘qishlari TE ni qisqartirish va EPI distorsiyalarini kamaytirish uchun tavsiya etiladi.

2. O‘tkir Ishemik Insult Diagnostikasida DWI

DWI ning eng muhim va eng keng qo‘llaniladigan sohalaridan biri — o‘tkir ishemik insult diagnostikasi. Bu sohada DWI o‘zining yuqori sezgirligi va o‘ziga xosligi tufayli “oltin standart” darajasiga ko‘tarilgan.

2.1. Diagnostik aniqligi

Amerika Nevrologiya Akademiyasi (AAN) ning 2025 yilda e‘lon qilingan yangi ko‘rsatmalariga ko‘ra, DWI o‘tkir ishemik insultni (AIS) 12 soat ichida tashxislashda an’anaviy kontrastsiz kompyuter tomografiyasiga (KT) nisbatan sezilarli darajada aniqroqdir. Bir sinf I tadqiqot va uchta sinf II tadqiqot natijalariga asoslanib, DWI KT dan ustun ekanligi isbotlangan.

12 soat ichida skanerlangan 221 bemorda o‘tkazilgan prospektiv ko‘r-ko‘rona tadqiqotda MRI o‘quvchilari o‘tkir ishemik insultni KT skriningiga qaraganda to‘rt baravar ko‘proq aniqlagan (94 bemorga nisbatan 22 bemor). DWI ning sezgirligi 77%, o‘ziga xosligi 96% va umumiy aniqligi 86% ni tashkil etgan bo‘lsa, KT uchun bu ko‘rsatkichlar mos ravishda 16%, 97% va 55% ni tashkil etgan.

DWI ning bu qadar yuqori samaradorligi uning ishemik to‘qimadagi sitotoksik shish (hujayra ichidagi suv to‘planishi) ga juda sezgir bo‘lishi bilan izohlanadi. Ishemiya boshlanganidan bir necha daqiqa o‘tgayoq hujayra membranasi nasoslari ishdan chiqishi natijasida hujayra ichida suv to‘planadi va diffuziya cheklanadi, bu DWI da yorqin giperintens sifatida namoyon bo‘ladi.

2.2. Prognostik ahamiyati

DWI nafaqat diagnostik, balki prognostik ma’lumot ham beradi. DWI lezyon hajmi insultning og‘irligi va yakuniy infarkt hajmini bashorat qilishda muhim omil hisoblanadi. 6 soat ichida olingan DWI da lezyon hajmi 80 ml dan, 14 soatda esa 145 ml dan oshsa, bu malign shish rivojlanishi va neyroxirurgik aralashuv zarurligini bashorat qiladi.

2.3. DWI-FLAIR mos kelmasligi

So‘nggi yillarda DWI-FLAIR mos kelmasligi (mismatch) kontseptsiyasi trombolitik terapiya oynasini kengaytirishda muhim rol o‘ynamoqda. Agar DWI da o‘tkir ishemik o‘zgarish ko‘rinsa-yu, FLAIR da hali o‘zgarish bo‘lmasa, bu ishemiyaning 4,5 soatdan kam vaqt ichida sodir bo‘lganligini ko‘rsatadi. Bu holat uyg‘ongan holda insult belgilari bilan kelgan yoki aniq boshlanish vaqti noma‘lum bo‘lgan bemorlarda trombolizis uchun moslikni aniqlashda qo‘llaniladi.

3. Onkologik Diagnostikada DWI

DWI onkologik imagingda tobora muhim o‘rin egallamoqda, chunki u kontrast moddalarsiz to‘qima hujayraliligi haqida miqdoriy ma‘lumot beradi. ADC qiymati shish hujayraliligi bilan teskari bog‘liq: hujayraliligi yuqori bo‘lgan xavfli shishlarda ADC past, hujayraliligi past bo‘lgan yaxshi xulqli o‘smalarda yoki nekrozli hududlarda ADC yuqori bo‘ladi.

3.1. Miya shishlari

DWI miya shishlarini baholashda bir qancha muhim vazifalarni bajaradi: shish darajasi va hujayraliligini baholash, operatsiyadan keyingi shikastlanishni aniqlash, peritumor shishni baholash va oq modda yo‘llarining yaxlitligini tekshirish.

Diffuziya tensor tasvirlash (DTI) DWI ning mantiqiy davomi bo‘lib, u suv diffuziyasining yo‘nalishini ham baholaydi. DTI jarrohlik rejalashtirishda oq modda yo‘llarini xaritalash, shishlarni farqlash (yuqori va past darajali gliyomalarni) va radiatsiya terapiyasini rejalashtirishda muhim rol o‘ynaydi. Fraksion anizotropiya (FA) va o‘rtacha diffuzivlik (MD) kabi DTI parametrlari gliyomalarni darajalash va peritumoral o‘zgarishlarni baholashda sezgir markerlar sifatida xizmat qiladi.

3.2. Prostata saratoni

Prostata MRTsi prostata saratoni diagnostikasida muhim o‘rin tutadi va DWI bu protokolning ajralmas qismidir. ADC parametrlari prostata saratoni patologik darajalarini (GG — Grade Groups) farqlashda diagnostik ahamiyatga ega.

119 ta patologik tasdiqlangan prostata saratoni holatida o‘tkazilgan tadqiqotda ADCmean va ADCmin qiymatlari yuqori xavfli prostata saratonida (hPCa) yuqori

bo‘lmagan xavf guruhiga (nhPCa) nisbatan sezilarli darajada past bo‘lgan ($P < 0.001$). Bundan tashqari, ADC ko‘rsatkichlari daraja guruhlari va Ki-67 proliferatsiya indeksi bilan sezilarli darajada teskari korrelyatsiya qilgan ($P < 0.001$), bu DWI ning o‘sma agressivligini baholashdagi biologik asoslanganligini tasdiqlaydi.

3.3. Ko‘krak saratoni

Ko‘krak MRTsi sohasida DWI kontrastsiz baholash imkoniyati bilan ajralib turadi. Ko‘krak o‘smasi lezyonlarini differensial diagnostikada ADC_{min} eng samarali yagona ko‘rsatkich ekanligi, yosh va ADC_{avg} ni o‘z ichiga olgan kombinatsiyalangan model esa individual ADC ko‘rsatkichlaridan ustun diagnostik aniqlik ($AUC = 0.964$) namoyish etgani aniqlangan.

ADC qiymatlari ko‘krak saratonining ko‘plab tasdiqlangan yoki potensial prognostik omillari bilan korrelyatsiya qiladi, bu uni prognostik biomarker sifatida qo‘llash imkoniyatini ochadi.

3.4. Qovuq saratoni

Qovuqning o‘tish epitelialiyali karsinomasida (CA-UB) ADC qiymati mushak invaziyasi va gistopatologik darajani bashorat qilishda ob’ektiv imaging biomarker sifatida qo‘llanilishi mumkin.

68 bemorda o‘tkazilgan tadqiqotda lamina invaziyasini bashorat qilish uchun ADC kesish qiymati $\leq 1.198 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, mushak invaziyasi uchun $\leq 0.942 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ va yuqori darajali o‘smalar uchun $\leq 1.135 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ekanligi aniqlangan. Mushak-invaziv va mushak-invaziv bo‘lmagan guruhlar o‘rtasida ADC qiymatlari bo‘yicha sezilarli farq qayd etilgan ($t = 9.862, P \leq 0.001$).

3.5. To‘g‘ri ichak saratoni

ADC to‘g‘ri ichak saratoni, radiatsiyadan keyingi proktit va normal to‘g‘ri ichak devori o‘rtasida yuqori sezgirlik va o‘ziga xoslik bilan farqlash imkonini beradi. Biroq, ADC to‘g‘ri ichak saratonining gistologik darajalarini farqlash uchun yetarli emas.

3.6. Butun tana DWI

Butun tana DWI (WB-DWI) onkologiya va gematologiya sohasida kasallikni bosqichlash va davolash samaradorligini baholash uchun istiqbolli usul hisoblanadi. ADC qiymatlari va umumiy diffuziya hajmi (TDV — Total Diffusion Volume) saraton imaging biomarkerlari sifatida tan olingan.

4. Boshqa Klinik Qo‘llanilish Sohalari

4.1. Muskuloskeletal imaging

DWI muskuloskeletal tizimda keng qo‘llanilmoqda, chunki ko‘pchilik biriktiruvchi to‘qimalarning yaxshi tuzilganligi ularni DWI tahliliga ayniqsa qulay qiladi. DWI yumshoq to‘qima o‘smalari, infeksiyalar va bo‘g‘im patologiyalarini baholashda, yaxshi va yomon xulqli lezyonlarni aniq farqlashda va osteomielitni erta aniqlashda muhim rol o‘ynaydi.

ADC o‘zgarishlari o‘sma nekrozi va rekurrens bilan korrelyatsiya qilgani uchun DWI davolash samaradorligini kuzatishda ham qo‘llaniladi.

4.2. Bosh va bo‘yin o‘smalari

Bosh va bo‘yin sohasidagi xavfli o‘smalarda, jumladan limfoma, skuamoz hujayrali karsinoma, sinonazal o‘smalar va so‘lak bezlari neoplazmalarida DWI/ADC ning amaliy qo‘llanilishi diagnostika, triaj va davolashdan keyingi kuzatuvda o‘z samaradorligini ko‘rsatmoqda.

4.3. Tuxumdon o‘smalari

Tuxumdon o‘smalarini differensial diagnostikada MRI muhim rol o‘ynaydi va DWI an’anaviy MRI bilan birgalikda yordamchi diagnostik vosita sifatida xizmat qilishi mumkin.

5. DWI ning Cheklovlari va Artefaktlar

DWI ning barcha afzalliklariga qaramay, uning klinik qo‘llanilishi bir qator texnik cheklovlar va artefaktlar bilan chegaralanadi.

5.1. T2 shine-through effekti

DWI dagi giperintens hudud har doim ham haqiqiy diffuziya cheklanishini anglatmaydi — ba’zida bu yuqori T2 signaliga ega bo‘lgan to‘qimalarning

“porlashi” (T2 shine-through) bo‘lishi mumkin. Aynan shuning uchun DWI tasvirlarini har doim ADC xaritasi bilan birgalikda baholash tavsiya etiladi. Agar DWI da giperintens hudud ADC da gipo intens bo‘lsa, bu haqiqiy diffuziya cheklanishini, aks holda T2 shine-through effektini ko‘rsatadi.

5.2. Susseptibilik artefaktlari

DWI, ayniqsa EPI asosidagi sekvensiyalar, magnit susseptibilik artefaktlariga juda moyil. Bu artefaktlar havo-to‘qima chegaralarida (masalan, sinuslar, rektum) yoki metall implantlar atrofida (masalan, kestirib protezlari) kuchli namoyon bo‘ladi.

Prostata MRTsida DWI susseptibilik artefaktlariga eng moyil sekvensiya hisoblanadi, artefaktlarning asosiy manbalari kestirib protezlari va rektal gazdir. Bu artefaktlar qiziqish hududlarini yashirishi yoki tuzilmaviy skanerlar bilan joylashuv mosligini buzishi mumkin.

5.3. EPI distorsiyalari

Bir marta o‘qishli EPI sekvensiyasi tez tasvir olish imkonini bersa-da, u sezilarli geometrik distorsiyalarga olib keladi, ayniqsa susseptibilik gradientlari kuchli bo‘lgan hududlarda. Parallel imaging yoki segmentlangan EPI o‘qishlari bu distorsiyalarni kamaytirish uchun tavsiya etiladi.

5.4. Harakat artefaktlari

DWI suv diffuziyasining kichik o‘zgarishlariga juda sezgir bo‘lgani uchun, bemor harakati, nafas olish, yurak urishi va qon tomir pulsatsiyasi kabi bulk-harakatlar jiddiy artefaktlarga olib kelishi mumkin. Yurak va jigar ilovalarida nafas va yurak sikli bilan sinxronizatsiya (gating) tasvir sifatini yaxshilash uchun tavsiya etiladi.

5.4. Signal-shovqin nisbati (SNR) muammosi

6. Amaliy Tavsiyalar va Protokol Optimizatsiyasi

ESMRMB ning 2026 yilgi amaliy tavsiyalariga asosan, DWI ni klinik amaliyotda samarali qo‘llash uchun quyidagi asosiy qoidalarga rioya qilish lozim:

1. **Sekvensiya tanlovi:** Klinik diffuziya MRI uchun eng ko‘p tavsiya etiladigan sekvensiya — bir marta o‘qishli EPI.

2. **Parametrlar:** Uzoq TR (≥ 4500 ms) va minimal TE dan foydalanish T1- va T2- vaznlilikni kamaytiradi va SNR ni oshiradi.
3. **b-qiymat oralig'i:** Miya uchun 0–1000 s/mm² (oq modda uchun kamida 6 yo'nalishda), tana uchun 50–800 s/mm².
4. **Tezlashtirish opsiyalari:** TR, TE va EPI distorsiyalarini kamaytirish uchun parallel imaging yoki segmentlangan EPI o'qishlaridan foydalanish, SNR va tasvir ravshanligidagi yo'qotishlarni hisobga olgan holda.
5. **Anizotropiyani hisobga olish:** Yuqori anizotrop to'qimalarda (masalan, miya oq moddasi, buyrak) anizotropiya effektlarini to'liq olib tashlash uchun to'liq diffuziya tensor modelidan foydalanish ($b=0$ va ≥ 6 yo'nalish) tavsiya etiladi.
6. **Interpretatsiya:** DWI tasvirlari va ADC xaritasi birgalikda o'qilishi kerak; ADC xaritasi T2 shine-through ni bartaraf etish uchun majburiydir.

7. Istiqbolli Yo'nalishlar

Xulosa

Diffuziya vaznli magnit-rezonans tomografiya zamonaviy tibbiy diagnostikaning ajralmas qismiga aylangan bo'lib, u to'qimalarning mikroskopik tuzilmasi va hujayraliligi haqida noyob miqdoriy ma'lumot beradi. DWI ning eng muhim klinik qo'llanilish sohalari — o'tkir ishemik insult diagnostikasi (bunda DWI KT ga nisbatan sezilarli ustunlikka ega) va onkologik kasalliklarni baholash (bunda ADC o'sma agressivligi va davolash samaradorligini kuzatish uchun ishonchli biomarker sifatida xizmat qiladi) hisoblanadi.

DWI ning asosiy afzalliklari — kontrast moddalarsiz yuqori kontrastli tasvirlar olish, to'qima hujayraliligini miqdoriy baholash va davolash samaradorligini ob'ektiv kuzatish imkoniyatlaridir. Biroq, DWI susseptibilik artefaktlari, EPI distorsiyalari, T2 shine-through effekti va harakat artefaktlari kabi texnik cheklovlarga ega bo'lib, ularni bartaraf etish uchun optimal protokollarni tanlash va ADC xaritasi bilan birgalikda baholash muhim ahamiyatga ega.

ESMRMB ning so'nggi amaliy tavsiyalari DWI ni klinik amaliyotga samarali joriy etish uchun aniq ko'rsatmalar beradi. Kelajakda vaqtga bog'liq DWI, kamaytirilgan

ko‘rish maydoni DWI, sun‘iy intellekt yordamida tahlil va diffuziya kurtosis tasvirlash kabi yangi yo‘nalishlar DWI ning diagnostik imkoniyatlarini yanada kengaytirishi kutilmoqda.

Foydalanilgan Adabiyotlar

1. ESR Essentials: diffusion-weighted MRI—practice recommendations by the European Society for Magnetic Resonance in Medicine and Biology. *European Radiology*, 2026; 36: 2198–2208.
2. Diffusion-weighted imaging in musculoskeletal system: where are we now? *BJR Open*, 2025; 7(1): tzaf019.
3. The role of diffusion tensor imaging and tractography in multidisciplinary brain tumor management: a systematic review. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2026.
4. New AAN Guidelines on Stroke Imaging. *Neurology Today*, 2025.
5. Evidence-based guideline: The role of diffusion and perfusion MRI for the diagnosis of acute ischemic stroke. *Neurology*, 2010; 75(2): 177-185.
6. Apparent Diffusion Coefficient Value as an Imaging Biomarker to Predict Lamina/Muscle Invasion and Histopathological Grading in Bladder Urothelial Carcinomas. *Journal of Medical Evidence*, 2025; 6(4): 297-305.
7. Apparent diffusion coefficient values in prostate cancer: Association with pathological grade groups and correlation with Ki-67 proliferation index. *Journal of Clinical Imaging Science*, 2026.
8. Comparative analysis of apparent diffusion coefficient (ADC) metrics for the differential diagnosis of breast mass lesions. *BMC Medical Imaging*, 2025.
9. Time-dependent diffusion magnetic resonance imaging: principles, acquisition sequences, main models, current applications, and future directions. *ScienceDirect*, 2026.
10. Diffusion-weighted MRI and apparent diffusion coefficient in head and neck malignancies: practical utility for diagnosis, triage and post-treatment surveillance. *ScienceDirect*, 2026.

11. Diffusion weighted imaging in musculoskeletal system: where are we now? *PMC*, 2025.
12. Reduced field-of-view diffusion-weighted MRI: a systematic review of technical and clinical insights. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 2025.
13. Advances in Whole-Body Magnetic Resonance Imaging with Diffusion-Weighted Imaging for Oncology and Hematology. *EPOS*, 2025.