

В.М. Богомаз, Н.В. Карвась

*Національний медичний
університет імені
О.О. Богомольця, м. Київ*

КЛІНІЧНІ ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОПОЛЬНОЇ МАГНІТНО- РЕЗОНАНСНОЇ ТОМОГРАФІЇ З НАПРУГОЮ ПОЛЯ 3 Т

Резюме

У роботі проаналізовано міжнародний досвід використання високопольної магнітно-резонансної томографії та визначено діагностичні переваги її використання, зокрема, в клінічній онкології, нейрохірургії, кардіології, пренатальній діагностиці.

Ключові слова

Магнітно-резонансна томографія, 3,0 Т, клінічне застосування МРТ.

Магнітно-резонансна томографія (МРТ) — один із найпопулярніших неінвазивних методів обстеження в медичній діагностиці на початку XXI століття. У країнах Організації економічного співробітництва і розвитку (OECD) у 2017 році середня кількість МРТ-досліджень на 1000 мешканців перебувала в межах від 20,1 до 136,2 досліджень на рік [1]. Такі значні відмінності між країнами, імовірно, відображають як рівень доступності цього виду медичної діагностики, так і відмінності в національних системах охорони здоров'я. Останнім десятиріччям метод МРТ динамічно розвивається в Україні зусиллями як державного, так і приватного медичного сектора. Незважаючи на високу вартість обладнання і високу собівартість досліджень, безпека використання та діагностичні можливості методики сприяли її широкому впровадженню для дослідження пацієнтів різного профілю. Авторами не знайдено актуальних достовірних джерел про кількість працюючих томографів та виконаних досліджень у нашій країні.

Метод МРТ заснований на визначенні відповіді ядер атомів водню під впливом електромагнітних хвиль у сталому магнітному полі високої напруги. За напругою магнітного поля томографа, яка вимірюється в Теслах (Т), усі томографи умовно поділяють на 3 групи — низькопольні (до 0,5 Т), середньопольні (0,5-1,0 Т) та високопольні (до 3,0 Т). Тривають клініко-екс-

периментальні роботи з дослідження можливостей і обмежень томографів із напругою поля 7 Т. Вища напруга магнітного поля передбачає можливість отримання зображень досліджуваних зон вищої якості. Наразі «золотим стандартом» у клінічній радіологічній діагностиці є використання приладів МРТ 1,5-3,0 Т. Деякі програми досліджень можливі лише з використанням тритеслових томографів. Кількість працюючих томографів із полем 3 Т у нашій країні наразі обмежена через високу вартість обладнання та неповне розуміння можливих переваг такого устаткування.

Мета роботи — визначення можливих фізичних та діагностичних переваг використання МРТ із напругою поля 3 Т у різних клінічних галузях.

Матеріали та методи

У роботі були використані метод порівняльного аналізу, контент-аналіз, бібліосемантичний метод вивчення публікацій актуальних наукових досліджень високопольної МРТ за останні два-надцять років. Було опрацьовано дані наукової літератури в таких базах даних: Web of Science, Scopus, MEDLINE, Medscape, PubMed, irbis-nbuu, GoogleScholar, BASE, із використанням таких ключових слів, як «магнітно-резонансна томографія», «МРТ 3 Т», «клінічне застосування МРТ» (англ. MRI, 3 T, clinical applications of MRI). Усього відібрано та проаналізовано 28 джерел англійською мовою.

Результати та їх обговорення

Згідно з даними літературних джерел, завдяки більшій напруженості магнітного поля МРТ 3,0 Т має низку фізичних переваг. Зокрема, підвищується співвідношення сигнал/шум (Signal to noise ratio). Теоретично це означає, що співвідношення сигнал/шум у системі 3,0 Т буде у два рази вище, ніж при використанні поля з напругою 1,5 Т. Насправді, через збільшений ефект сприйняття більшості тканин фактичне покращення співвідношення відбувається лише в діапазоні 30-60%. Завдяки цьому можна покращити просторову роздільну здатність і/або час захоплення [2]. Зі збільшенням напруги поля підвищується коефіцієнт поглинання (Specific absorption rate), який визначається як кількість радіочастотної енергії (Дж), що депонована в тканинах (кг). Технологія МРТ 3,0 Т депоує в чотири рази більше енергії в тканинах, ніж МРТ із полем 1,5 Т [3].

Найбільше діагностичних переваг у використанні МРТ із полем 3 Т нами знайдено при її використанні в нейрохірургії та неврології. Зокрема, за оцінкою Roy B., Woo M.A. та співавт., МРТ 3,0 Т дозволяла точніше дослідити церебральний кровоплин. Авторами зазначалось, що високі потреби точності виникають у пацієнтів із серцевою недостатністю, коли церебральний кровоплин менший і переважно латералізований у вегетативних і когнітивних регуляторних ділянках головного мозку [4].

Згідно з дослідженнями з використанням поля 3 Т було продемонстровано, що в пацієнтів із вестибулярною мігренню зменшувався об'єм сірої речовини мозочка та збільшувався об'єм сірої речовини лівої скроневої, лобної та потиличної частки [5].

Використання 3,0 Т МР-спектроскопії надає інформацію про радіологічні біомаркери пухлин спинного мозку з диференціацією злоякісного та доброякісного процесів і, таким чином, допомагає попередити недоцільне проведення біопсій і хірургічних втручань [6].

У роботі Wang Z., van Veluw S.J. та співавт. МРТ 3,0 Т використовували для пошуку кортикальних церебральних мікроінфарктів у пацієнтів з ішемічним інсультом та транзиторними ішемічними атаками. Методика сприяла виявленню гетерогенних причин таких уражень, зокрема мікроемболів та церебральних захворювань дрібних судин [7].

Використання функціонального МРТ із полем 3 Т, пов'язаного з оксигенацією крові (BOLD-fMRI), у роботі Qiao P.G., Han C. та співавт. визна-

но корисним для оцінки церебральних гемодинамічних порушень і оцінки ефективності ревазкуляризації при хірургічному лікуванні хвороби Мойя-Мойя [8].

Завдяки МРТ 3,0 Т продемонстровано можливість диференціації персистивного ідіопатичного лицевого болю від невралгії трійчастого нерва за результатами нейровізуалізації [9]. У поєднанні з кількісним виявленням T_2 часу релаксації тритеслова МРТ забезпечує більш чутливий і надійний підхід для виявлення ранньої стадії дегенерації міжхребцевих дисків та їх вікових змін [10]. У дослідженні Mahmoudi M., Young K. та співавт. МРТ 3,0 Т визначено найкращим біомаркером активності запальних змін мозку при розсіяному склерозі [11].

Деякі джерела вказують на додаткові можливості МРТ 3 Т у кардіології та серцево-судинній хірургії. При діагностиці вроджених вад серця доцільне проведення контрастно-Т-посиленої МР-ангіографії (CEMRA). Зокрема, у новонароджених висока просторова роздільна здатність CEMRA є надійною у визначенні серцевої та судинної анатомії [12].

У роботі Cao Y., Sun Y. та співавт. вивчались можливості МРТ 3,0 Т для ідентифікації структури атеросклеротичних бляшок (товщини, площі, інтенсивності сигналу), зокрема, у середній мозковій артерії в пацієнтів з ішемічним інсультом [12]. Знайдено можливості для візуалізації бляшок на сонних артеріях із високою роздільною здатністю і високою чутливістю для ідентифікації внутрішньобляшкових крововиливів, виразкування, неоваскуляризації бляшки, товщини волокнистої капсули, наявності некротичного ядра, багатого ліпідами (lipid-rich necrotic core) [13].

Низку робіт присвячено вивченню можливостей МРТ 3 Т для досліджень патології малого таза, насамперед передміхурової залози. У роботі Gottlieb J., Princenthal R., Cohen M.I. продемонстровано можливість діагностики гранульоматозного простатиту після внутрішньоміхурової терапії раку сечового міхура вакциною БЦЖ без проведення біопсії передміхурової залози [15]. МРТ 3,0 Т із модальністю дифузозважених зображень та розрахунком вимірюваного коефіцієнта дифузії успішно застосовувалась для онкологічної діагностики пацієнтів із високим ризиком розвитку раку передміхурової залози [16, 17]. Завдяки використанню МР-спектроскопії були розроблені статистично обґрунтовані правила радіологічної ідентифікації раку передміхурової залози [18].

Високопольне МРТ 3 Т може покращити якість діагностики в колопроктології. Зокрема, МР-зображення дають змогу отримати детальну інформацію про морфометричні зміни м'язів анального сфінктера в пацієнтів із хронічною анальною тріщиною [19].

Низку робіт присвячено застосуванню МРТ 3 Т для вивчення жіночого здоров'я. Kataoka M., Kido A. та співавт. вказують на можливість отримання якісних зображень шийки матки з використанням T_2 -зважених режимів із високою роздільною здатністю [20]. Існує можливість проведення МРТ 3 Т у жінок із мідьвмісними внутрішньоматковими засобами контрацепції без втрати якості зображень, зумовлених артефактами [21].

Проведення МРТ 3,0 Т із використанням параметрів зображення дифузійного тензора (DTI) дає можливість диференціювати злоякісні ураження молочної залози. Крім того, використання режиму DTI покращує специфічність МРТ-діагностики і показує високу кореляцію з біомаркерами раку молочної залози [22]. Також ця технологія може застосовуватись у передопераційному дослідженні при лімфоваскулярній інвазії протокового інвазивного раку молочної залози для оцінки фокального набряку (перитуморального, пригрудного, підшкірного), сусідніх судинних русел, судинної системи всієї грудної клітки [23].

Використання томографів 3 Т в офтальмології, за даними Pore J.M., Verkharla P.K. та співавт., допомагало точно визначити зміни розмірів ока, зміни форми сітківки залежно від ступеня міопії. Для цього застосовувалось МРТ 3,0 Т із поверхневою котушкою, розташованою над оком [24]. Також технологія дає можливість вивчення мікроструктурних змін вздовж зорових шляхів у пацієнтів із відкритокутовою глаукомою [25].

Використання поля 3 Т надавало можливість дослідження структурних та функціональних змін головного мозку в пацієнтів із первинною відкритокутовою глаукомою за допомогою воксельної морфометрії, що виявило значне збільшення об'єму середнього мозку, стовбура головного мозку, лобної звивини, черв'яка мозочка, хвостатого ядра, таламуса. При цьому в режимі BOLD-fMRI зміни сигналу були відмічені в лобній, надкрайовій, верхній фронтальній звивинах [26].

Широкого використання МРТ 3,0 Т набуло в пренатальній діагностиці. Наразі є можливість забезпечити поліпшену візуалізацію більшості анатомічних структур плода. При проведенні ембріональної візуалізації в системі 3,0 Т були отримані більш високі показники при оцінці різних анатомічних структур плода. Це пов'язано з використанням послідовності стаціонарної вільної прецесії (Steady-State Free Precession). Результати цього дослідження можуть забезпечити оптимальну візуалізацію аномалій розвитку плода та ідентифікувати його медичні потреби в пренатальному періоді [27]. Використання іншої послідовності — EPI (echo-planar imaging) — дає можливість детально вивчити щелепно-лицеву анатомію і виявити аномалії розвитку, такі як хейлосхізис та розщеплення піднебіння [28].

Висновки

1. Актуальні наукові публікації свідчать про високу діагностичну цінність МРТ 3 Т у нейрохірургії, неврології, онкології, серцево-судинній хірургії.
2. МРТ із полем 3 Т демонструють значні переваги при виконанні вузькоспеціалізованих досліджень і, враховуючи вартість устаткування, можуть ефективно використовуватись у закладах охорони здоров'я, що надають висококваліфіковану медичну допомогу.

Розвиток сучасної радіологічної діагностики йде шляхом зменшення експлуатаційних витрат обладнання для зменшення собівартості досліджень, використання систем автоматичного розпізнавання патології та штучного інтелекту, різних варіантів постпроцесингу отриманих нативних даних. Існує практика комерційного використання МРТ 3,0 Т для генерації зображень із силою поля 1,5 Т, проте за значно менший час. У результаті цього виникає можливість збільшення пропускної здатності радіологічного відділення без втрати прийнятної інформативності досліджень.

Впровадження перших томографів із напругою поля 3 Т є питанням недалекої перспективи у великих містах України. Необхідно враховувати, що більша чутливість діагностичного обладнання вимагатиме відповідного рівня підготовки персоналу, залученого до отримання й аналізу медичних зображень.

Список використаної літератури

1. OECD. *Magnetic resonance imaging (MRI) exams* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://data.oecd.org/healthcare/magnetic-resonance-imaging-mri-exams.htm>
2. *High Field Brain MRI* / Ed.: T. Scarabino, S. Pollice, T. Popolicio. — Springer International Publishing Switzerland, 2017. — 391 p.
3. Chavhan G.B. *MRI Made Easy (for Beginners)* / G.B. Chavhan. — Jaypee Brothers Medical Publishers Pvt. Ltd., 2013. — 230 p.
4. *Reduced regional cerebral blood flow in patients with heart failure* / B. Roy, M.A. Woo, D.J.J. Wang [et al.] // *Eur. J. Heart Fail.* — 2017. — Vol. 19. — P. 1294-1302.
5. *Structural brain abnormalities in patients with vestibular migraine* / R. Messina, M.A. Rocca, B. Colombo [et al.] // *J. Neurol.* — 2017. — Vol. 264. — P. 295-303.
6. *3T proton MR Spectroscopy evaluation of spinal cord lesions* / B.P. Sathyanathan, B.P. Raju, K. Natarajan, R. Ranganathan // *Indian J. Radiol. Imaging.* — 2018. — Vol. 28. — P. 285-295.
7. *Risk factors and cognitive relevance of cortical cerebral microinfarcts in patients with ischemic stroke or transient ischemic attack* / Z. Wang, S.J. van Veluw, A. Wong [et al.] // *Stroke.* — 2016. — Vol. 47. — P. 2450-2455.
8. *BOLD-fMRI with median nerve electrical stimulation predict hemodynamic improvement after revascularization in patients with moyamoya disease* / P.G. Qiao, C. Han, T. Qian [et al.] // *J. Magn. Reson. Imaging.* — 2017. — Vol. 46. — P. 1159-1166.
9. *Persistent idiopathic facial pain — a prospective systematic study of clinical characteristics and neuroanatomical findings at 3.0 Tesla MRI* / S. Maarbjerg, F. Wolfram, T.B. Heinskou [et al.] // *Cephalalgia.* — 2017. — Vol. 37. — P. 1231-1240.
10. *T2 relaxation time for intervertebral disc degeneration in patients with upper back pain: initial results on the clinical use of 3.0 Tesla MRI* / R. Xie, L. Ruan, L. Chen [et al.] // *BMC Med. Imaging.* — 2017. — Vol. 17. — ID9.
11. *Short-term MRI measurements as predictors of EDSS progression in relapsing-remitting multiple sclerosis: grey matter atrophy but not lesions are predictive in a real-life setting* / M. Mahmoudi, K. Young, S. Schippling [et al.] // *Peer J.* — 2016. — Vol. 4. — ID e2442.
12. *High-field MR imaging in pediatric congenital heart disease: initial results* / K.L. Nguyen, S.N. Khan, J.M. Moriarty [et al.] // *Pediatr. Radiol.* — 2015. — Vol. 45. — P. 42-54.
13. *Atherosclerotic plaque burden of middle cerebral artery and extracranial carotid artery characterized by MRI in patients with acute ischemic stroke in China: association and clinical relevance* / Y. Cao, Y. Sun, B. Zhou [et al.] // *Neurol. Res.* — 2017. — Vol. 39. — P. 344-350.
14. *Contemporary carotid imaging: from degree of stenosis to plaque vulnerability* / W. Brinjikji, J. Huston 3rd, A.A. Rabinstein [et al.] // *J. Neurosurg.* — 2016. — Vol. 124. — P. 27-42.
15. *Gottlieb J. Multi-parametric MRI findings of granulomatous prostatitis developing after intravesical bacillus Calmette-Guérin therapy* / J. Gottlieb, R. Princenthal, M.I. Cohen // *Abdom. Radiol. (NY).* — 2017. — Vol. 42. — P.1963-1967.
16. *Predicting biochemical recurrence in patients with high-risk prostate cancer using the apparent diffusion coefficient of magnetic resonance imaging* / M.Y. Yoon, J. Park, J.Y. Cho [et al.] // *Investig. Clin. Urol.* — 2017. — Vol. 58. — P. 12-19.
17. *Detection rate for significant cancer at confirmatory biopsy in men enrolled in Active Surveillance protocol: 20 cores vs 30 cores vs MRI/TRUS fusion prostate biopsy* / P. Pepe, S. Cimino, A. Garufi [et al.] // *Arch. Ital. Urol. Androl.* — 2016. — Vol. 88. — P. 300-303.
18. *Characterization of prostate cancer with MR spectroscopic imaging and diffusion-weighted imaging at 3 Tesla* / Y. Mazaheri, A. Shukla-Dave, D.A. Goldman [et al.] // *J. Magn. Reson. Imaging.* — 2018. — Vol. 55. — P. 93-102.
19. *Erden A. Chronic anal fissure: morphometric analysis of the anal canal at 3.0 Tesla MR imaging* / A. Erden, E. Peker, Z.B. Gençtürk // *Abdom. Radiol. (NY).* — 2017. — Vol. 42. — P. 423-434.
20. *MRI of the female pelvis at 3T compared to 1.5T: evaluation on high-resolution T2-weighted and HASTE images* / M. Kataoka, A. Kido, T. Koyama [et al.] // *J. Magn. Reson. Imaging.* — 2007. — Vol. 25. — P. 527-534.
21. *Magnetic field interactions of copper-containing intrauterine devices in 3.0 Tesla magnetic resonance imaging: in vivo study* / V. Berger-Kulemann, H. Einspieler, N. Hachemian [et al.] // *Korean J. Radiol.* — 2013. — Vol. 14. — P. 416-422.
22. *Diagnostic performance of diffusion tensor imaging parameters in breast cancer and correlation with the prognostic factors* / C. Onaygil, H. Kaya, M.U. Ugurlu, E. Aribal // *J. Magn. Reson. Imaging.* — 2017. — Vol. 45. — P. 660-672.
23. *Preoperative MRI features associated with lymphovascular invasion in node-negative invasive breast cancer: A propensity-matched analysis* / H. Cheon, H.J. Kim, S. Lee [et al.] // *J. Magn. Reson. Imaging.* — 2017. — Vol. 46. — P.1037-1044.
24. *Three-dimensional MRI study of the relationship between eye dimensions, retinal shape and myopia* / J.M. Pope, P.K. Verkicharla, F. Sepehrband [et al.] // *Biomed. Opt. Express.* — 2017. — Vol. 8. — P. 2386-2395.
25. *Optic radiations microstructural changes in glaucoma and association with severity: a study using 3 tesla-magnetic resonance diffusion tensor imaging* / L. Tellouck, M. Durieux, P. Coupé [et al.] // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* — 2016. — Vol. 57. — P. 6539-6547.
26. *Structural and functional brain changes in early- and mid-stage primary open-angle glaucoma using voxel-based morphometry and functional magnetic resonance imaging* / M.M. Jiang, Q. Zhou, X.Y. Liu [et al.] // *Medicine (Baltimore).* — 2017. — Vol. 96. — ID e6139.
27. *Fetal magnetic resonance imaging: jumping from 1.5 to 3 tesla (preliminary experience)* / T. Victoria, D. Jaramillo, T.P. Roberts et al. // *Pediatr. Radiol.* — 2014. — Vol. 44. — P. 376-386.
28. *Fetal MRI at 3T — ready for routine use?* / C. Weisstanner, G.M. Gruber, P.C. Brugger [et al.] // *Br. J. Radiol.* — 2017. — Vol. 90. — ID20160362.

Надійшла до редакції 24.05.2019 р.

CLINICAL ADVANTAGES OF HIGH-FIELD 3 TESLA MAGNETIC RESONANCE TOMOGRAPHY

V.M. Bogomaz, N.V. Karvas

Abstract

In this article the international experience of using a high field MRI was analyzed. It was shown the diagnostic advantages of its use in the fields of clinical oncology, neurosurgery, cardiology, prenatal screening.

Keywords: MRI, 3.0 T, clinical applications of MRI.