

MODERN
RADIOLOGY
eBook

Магнітно- резонансна ТОМОГРАФІЯ

ESR EUROPEAN SOCIETY
OF RADIOLOGY



/ Передмова

Сучасна радіологія – це безкоштовний освітній онлайн-ресурс із радіології від Європейського товариства радіології (*European Society of Radiology*, ESR). Назва цієї другої, оновленої версії відображає нову дидактичну концепцію електронної книги ESR – лаконічне поєднання тексту, зображень і схем, доповнених клінічними випадками, тестуванням, висновками, списком літератури та посиланнями для швидкого переходу між різними розділами – органоспецифічними та технічними.

Розділи Сучасної радіології створені за участю понад 100 визнаних європейських експертів і охоплюють як загальнотехнічні, так і клінічні аспекти візуалізації. Новий графічний стиль з Асклепієм у модних окулярах символізує поєднання класичного навчання медицини із сучасністю.

Хоча початкова версія **електронної книги ESR** була створена для здобувачів додипломної освіти – з метою надання базових знань студентам-медикам та їхнім викладачам, – з часом її зміст розширився й включає поглиблені матеріали. Як результат, **Сучасна Радіологія** також охоплює теми післядипломної освіти згідно з **Європейською**

навчальною програмою з радіології (*European Training Curriculum for Radiology*), покриваючи потреби інтернів. Окрім цього, книга враховує відгуки медичних фахівців з усього світу, які прагнуть оновити свої знання у конкретних галузях медичної візуалізації й уже оцінили глибину та чіткість викладу у цьому електронному посібнику як на базовому, так і на поглибленому рівнях.

Висловлюю щиру подяку всім авторам, які присвятили свій час і знання цьому некомерційному волонтерському проєкту, а також Карло Каталано, Андреа Лагі та Андрашу Палько – ініціаторам створення електронної книги ESR, – та Офісу ESR за технічну й адміністративну підтримку.

Сучасна Радіологія втілює дух співпраці та непохитну відданість цій захопливій медичній дисципліні, яка є незамінною у сучасній медичній допомозі пацієнту.

Сподіваюся, цей **освітній** ресурс стимулюватиме цікавість і критичне мислення, сприяючи глибшому усвідомленню мистецтва та науки радіології в Європі та за її межами.

Мінерва Беккер, редактор

Професор радіології, Женевський університет,
Швейцарія

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Авторські права і умови використання

Ця робота ліцензована Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

Ви маєте право:

ділитися, копіювати і перерозподіляти матеріал у будь-якому середовищі та форматі

За наступних умов:

/ **ДОСТОВІРНІСТЬ** – Ви повинні надати відповідне посилання, на автора, вказати Література на ліцензію та повідомити, якщо були внесені зміни. Ви можете зробити це будь-яким правомірним способом, але не створити враження, що ліцензіар підтримує вас або ваш спосіб використання.

/ **НЕКОМЕРЦІЙНІСТЬ** – Ви не можете використовувати цей матеріал з комерційною метою.

/ **БЕЗ ПОХІДНИХ РОБІТ** – Якщо Ви змінюєте матеріал чи берете його за основу, Ви не маєте права розповсюджувати модифікований матеріал.

Як цитувати:

European Society of Radiology, Bénédicte MA Delattre, Andrea Laghi, András Kincses, Minerva Becker (2025) translated by: Natalia Malevych, edited by: Arevik Avakian, Uliana Pidvalna (2025).
ESR Modern Radiology eBook:

/ Магнітнорезонансна томографія.
DOI 10.26044/esr-modern-radiology-05

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування



Позначення

 **КЛЮЧОВІ ДАНІ** **УВАГА** **ПОСИЛАННЯ** **ДОДАТКОВІ ДАНІ** **ПОРІВНЯННЯ** **ЛІТЕРАТУРА** **ЗАПИТАННЯ****ПЛАН РОЗДІЛУ:**

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехоПослідовність
градієнтне ехоІнші послідовності:
Джунгли МРТКонтрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

Магнітно- резонансна ТОМОГРАФІЯ

АВТОРИ

Bénédicte MA Delattre¹ | Бенедикт М.А. Делатр¹ Andrea Laghi² | Андреа Лагі² András Kincses^{3,4} | Андраш Кінчес^{3,4} Minerva Becker¹ | Мінерва Беккер¹

ІНСТИТУЦІЯ

¹ Відділення радіології, Діагностичне відділення, Женевський університет, Женева, Швейцарія

² Університет Сапієнца, Рим, Італія

³ Кафедра радіології, Факультет медицини та клінічний центр Альберта Сент-Дьєрдя, Сегедський університет, Сегед, Угорщина

⁴ Інститут біофізики, HUN-REN Biological Research Centre, Сегед, Угорщина

<↑> ПОСИЛАННЯ

benedicte.delattre@hug.ch

andrea.laghi@uniroma1.it

kincses.andras@szte.hu

minerva.becker@hug.ch

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Переклад виконали

Цей розділ є перекладом електронної книги Сучасна радіологія.

НАЗВА ОРИГІНАЛУ:

MR Imaging

АВТОР ПЕРЕКЛАДУ:

др. Наталя Малевич | Dr. Natalia Malevych

Медичний центр ТОВ “Прохелс”, Тернопіль | Medical center “Prohealth”, Ternopil

РЕДАКТОРИ:

Аревік Авакян | Arevik Avakian

Діагностичний центр M24, Київ | M24 Diagnostic Center, Kyiv

ТОВ “Сіменс медицина” (зовнішній спеціаліст) | LCC “Siemens Healthineers” (external)

проф. Уляна Підвальна | Prof. Uliana Pidvalna

Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького | Danylo Halytsky Lviv National Medical University

КООРДИНАЦІЯ ПРОЄКТУ:

д.м.н. Уляна Підвальна, Україно-Польський Центр Серця «Львів», Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

ЗА ПІДТРИМКИ:

Асоціації радіологів України

СЛОВО ВІД КООРДИНАТОРА:

Цей проєкт – вияв поваги до рідної мови та прагнення послуговуватися нею у професійному зростанні.



/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

<↑> ПОСИЛАННЯ

nataliamalevych11@gmail.com

arevik.avakian.m24@gmail.com

pidvalna_uliana@meduniv.lviv.ua

/ План розділу

/ Система MPT

- / Основи
- / Безпека та обмеження доступу
- / Складові системи MPT

/ Принцип MPT

- / Створення сигналу
- / Релаксація
- / Прийом сигналу
- / Просторове кодування – напрямки Z
- / Просторове кодування – напрямки X і Y
- / Зв'язок між сигналом і зображенням
- / Градієнти та шум в MPT

/ Послідовність спінове ехо

- / Що таке ехо?
- / Важливість TE & TR для контрасту?
- / МР послідовності: Чому вони такі довгі?

/ Послідовність градієнтне ехо

/ Інші МР послідовності:

- / Відновлення інверсії (IR)
- / Дифузійно-зважене зображення (DWI)
- / Дифузійна тензорна візуалізація (DTI)
- / Часопролітна ангиографія (ToF)
- / Функціональне MPT (fMRI)
- / Спектроскопія

/ Контрастні речовини в MPT

- / Перфузійна візуалізація (PI)

/ Артефакти в MPT

/ Переваги та недоліки MPT

/ Основні тези

/ Література

/ Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система MPT

Принцип MPT

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунгли MPT

Контрастні речовини
в MPT

Артефакти в MPT

Переваги та недоліки
MPT

Основні тези

Література

Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Система МРТ

/ Основи

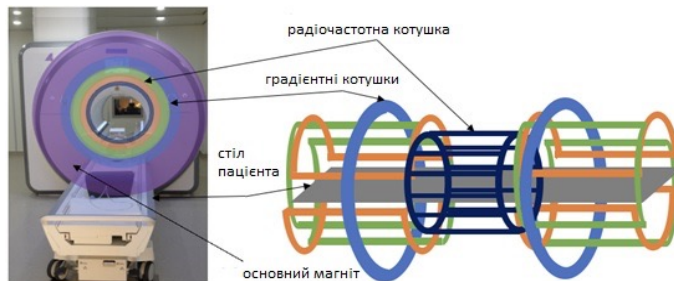
MPT – це неінвазивна складна технологія, яка використовує потужні магнітні поля для створення зображення людського тіла.

MPT сканер складається з 3 основних частин:

- / **Основний магніт** => для створення основного статичного магнітного поля (B_0).
- / **Гradientні котушки** => для створення контрольованих змін в B_0
- / **Радіочастотні (RF) котушки** => які виконують роль антен у системі MPT: вони випромінюють радіочастотне поле та приймають отриманий сигнал.

Основний магніт

Надпровідний магніт (надпровідний => без електричного опору) створює магнітне поле високої напруженості, яке називається " B_0 ". Магніт охолоджується рідким гелієм (і рідким азотом). Він використовується для створення чистої намагніченості тканини всередині гентрі. Розмір гентрі 60-70 см в діаметрі.



Порядок величини для напруженості магнітного поля :

- / Магнітне поле Землі на широті 0° : $31 \mu T$
- / Магніт на холодильнику: $5 mT$
- / Магніт для звалища/металобрухту: $1T$
- / MPT в медицині: найчастіше $1.5T$ і $3.0T$, рідко $7.0T$

>< ДОДАТКОВІ ДАНІ

Постійний електричний струм у провіднику створює статичне магнітне поле (Закон Біо-Савара | Biot-Savart law). Напруженість магнітного поля пропорційна електричному струму.

<!=> УВАГА

Протипоказання або обмеження для проведення MPT :

- / Клаустрофобія
- / Феромагнітний метал у тілі
- / Деякі кардіостимулятори, електронні імпланти ...

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система MPT

/ Основи

Принцип MPT

Послідовність спінове ехо

Послідовність gradientне ехо

Інші послідовності: Джунглі MPT

Контрастні речовини в MPT

Артефакти в MPT

Переваги та недоліки MPT

Основні тези

Література

Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

/ Основи

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

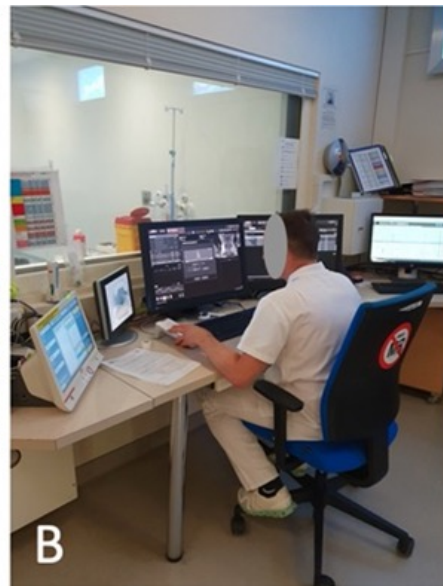
Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування



Стіни процедурної МРТ (А) мають шари, які виконують різні функції: магнітне екранування для обмеження стаціонарного магнітного поля, радіочастотне (RF) екранування для запобігання проникненню електромагнітних завад в/з приміщення і акустичний захист для обмеження поширення шуму за межі приміщення з томографом. Кімната управління (В) розташована за межами приміщення з МРТ. Вона містить консоль оператора, комп'ютерне обладнання, засоби зв'язку, монітори (ЕКГ і кисень).

/ Безпека та обмеження доступу

- / Магніт завжди увімкнений!
- / Основне магнітне поле B0 завжди активне. Ніколи не наближайтесь до поля з феромагнітним* предметом.
- / Сила притягання, пов'язана з крутним моментом, буде тягнути об'єкт через основний магніт з **неконтрольованою** силою: ефект снаряда або ефект ракети.
- / На жаль, були інциденти, що призвели до смерті людей!
- / Ось чому правила безпеки біля МРТ є вкрай суворими!
- / Пацієнти, які проходять МРТ-обстеження, повинні зняти всі металеві предмети. У деяких радіологічних відділеннях використовуються феромагнітні детектори.

* Феромагнітні предмети містять:

- / залізо, кобальт, нікель
- / Сплави цих компонентів



Нещасний випадок на МРТ-системі 1,5 Тл. Машина для полірування підлоги була притягнута магнітним полем. Її можна було витягти, лише опустивши магнітне поле. Вигляд зі задньої сторони (головна частина) МРТ. Відтворено з:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MRI_accident_on_a_1.5_Tesla_MR_system.jpg

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

- / Безпека та Обмеження доступу

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Складові

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

/ Складові

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

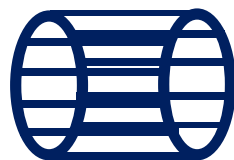
Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

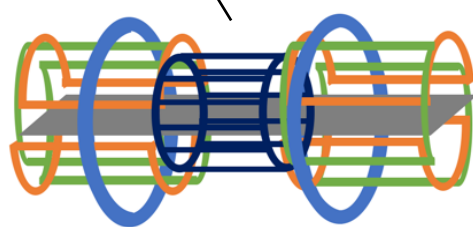
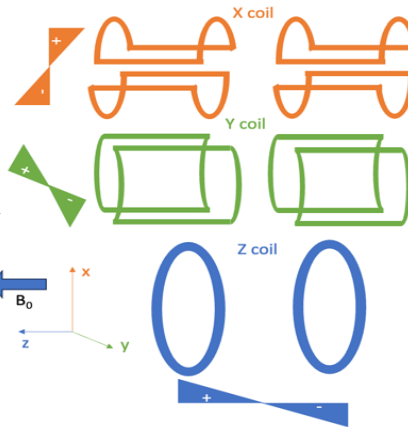


Радіочастотні котушки

Також створює змінне магнітне поле, яке використовується для того, щоб повернути сумарний вектор намагніченості у площину, перпендикулярну до основного магнітного поля B_0 .

Градієнтні котушки

Створюють змінні магнітні поля в 3 просторових напрямках (x, y, z). Використовується для просторового кодування сигналу МРТ



Далі описано функції кожної з цих частин при створенні зображень =>



/ Принцип MPT

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система MPT

Принцип MPT

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі MPT

Контрастні речовини
в MPT

Артефакти в MPT

Переваги та недоліки
MPT

Основні тези

Література

Тестування

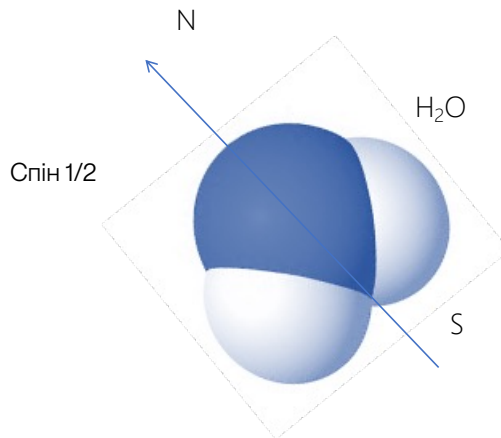
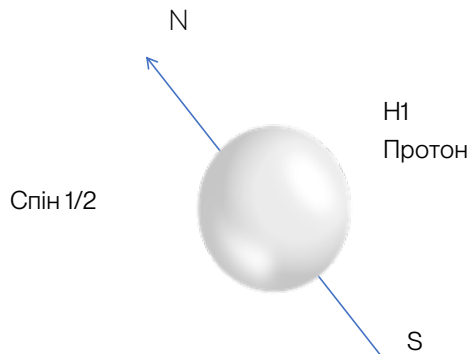
/ Принцип МРТ

Ядро атома складається з протонів (позитивний заряд) і нейтронів (без заряду), які обертаються навколо власної осі. Навколо ядра обертаються електрони (негативний заряд), які також обертаються навколо власної осі.

Обертання всіх цих частинок створює кутовий момент обертання, який називається спіном. Спін є фундаментальною властивістю атомів, як маса або електричний заряд. Спін кратний $\frac{1}{2}$.

Оскільки протон має позитивний заряд і безперервно обертається, він створює невелике магнітне поле, яке називається магнітним моментом (тобто він поводить себе як крихітний магніт з північним і південним полюсами).

- / У біологічних тканинах природно міститься велика кількість H_2O , а, отже, і значна кількість H_1 .
- / H_1 в організмі людини **переважно міститься** у воді.
- / Склад людського тіла => ~ 60% - 70% води (2 H_1)
- / H_1 має **великий** магнітний момент.
- / В МРТ магнітні властивості H_1 використовуються в основному для відображення розподілу води в тканинах тіла.



/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

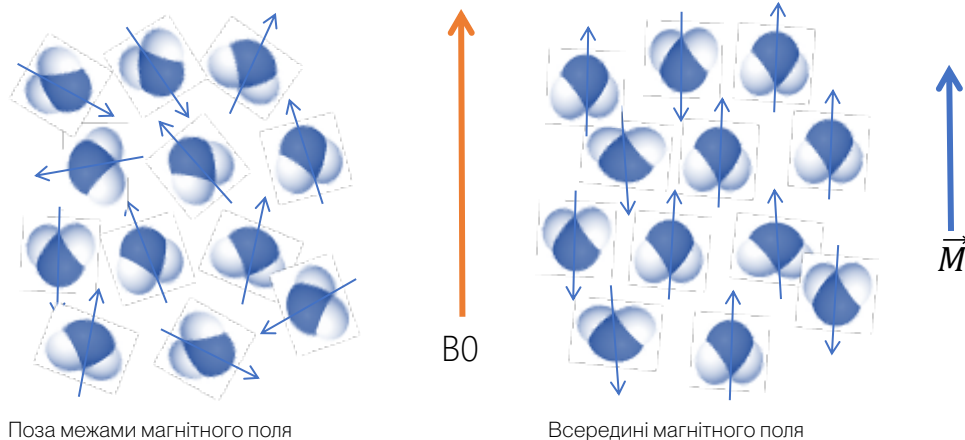
Тестування

/ Принцип МРТ

Коли біологічну тканину поміщують у сильне магнітне поле, створюється сумарний вектор намагніченості. Це явище пояснює квантова механіка, яка не розглядається у цьому розділі.

Цей ефект стосується атомів зі специфічними властивостями магнітного моменту, тобто ядер зі спіновим квантовим числом = $\frac{1}{2}$: H1 / C13 / N15 / O17 / Na23 / ...

Вирівнювання паралельно $\uparrow$ або антипаралельно $\downarrow$ до магнітного поля відповідає двом різним енергетичним станам. Більшість протонів вирівнюються паралельно до B_0 , оскільки це вимагає менше енергії, ніж антипаралельне вирівнювання. Сумарна намагніченість створюється надлишковою часткою спінів $\vec{M}$ і які переважають в одному з енергетичних станів.



Приклад: надлишкова частка.
@ 3T - 10 на 106!

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Створення сигналу

Збудження ...

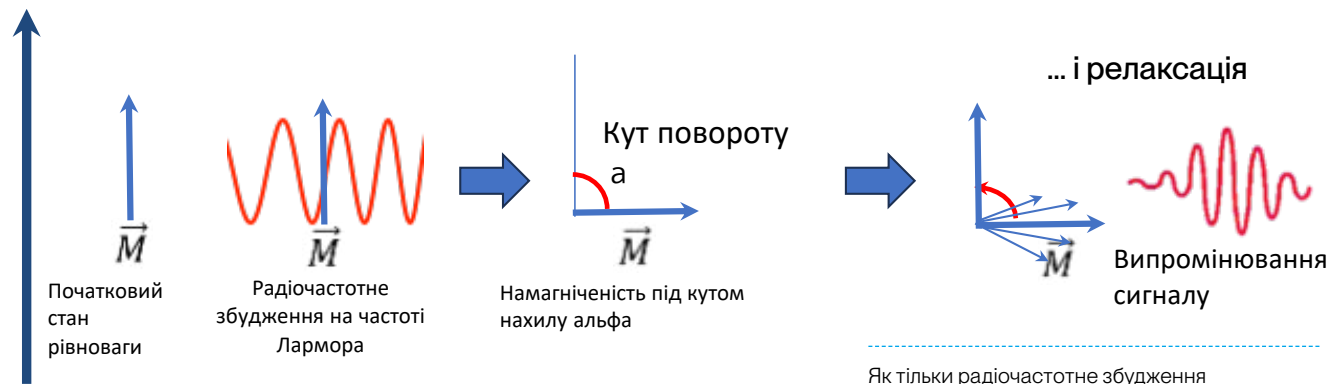
/ Для створення сигналу від тканини використовується радіочастотна (RF) хвиля. Вона налаштована на резонансну частоту спінів, яка називається «частотою Лармора» f , що визначається за формулою:

$$f = \gamma B_0$$

/ Де γ - гіромагнітне відношення ($\gamma = 42.58$ MHz/T) і B_0 напруженість магнітного поля.

/ В 1.5T, $f = 64$ MHz

/ В 3T, $f = 128$ MHz



Як тільки радіочастотне збудження припиняється, намагніченість повертається до рівноваги за допомогою механізму релаксації. Втрату сигналу, що супроводжує процес релаксації, можна повернути назад за допомогою різних методів і записати відновлений сигнал!

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

/ Створення сигналу

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

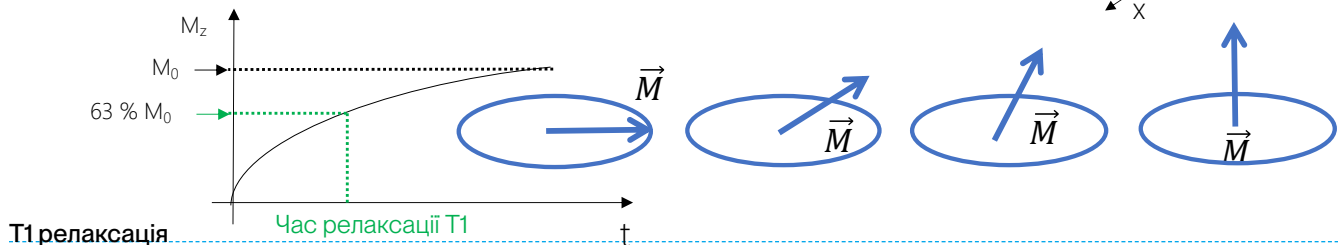
Основні тези

Література

Тестування

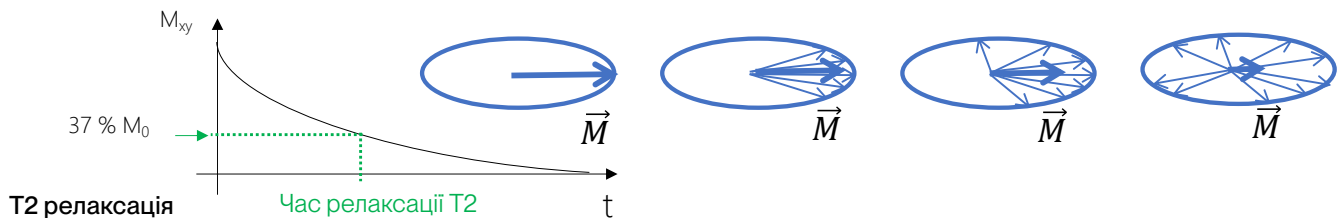
/ Релаксація

Релаксація відбувається через два одночасні, але різні процеси.



T1 релаксація

Енергія спіну розсіюється в його оточення (в основному в ядрі та інших атомах), намагніченість відновлює свій початковий стан вздовж B_0 (поздовжня намагніченість). Механізм, за допомогою якого M_z експоненціально релаксує від високоенергетичного стану до термодинамічної рівноваги, також називається **спін-решітчастою релаксацією**.



T2 релаксація

Намагніченість, перевернута в поперечну площину, зменшується через розфазування спінів. Фазова когерентність втрачається, зменшуючи сумарну намагніченість у площині x-y (тоді як сумарна намагніченість знову зростає в напрямку z через релаксацію T1!). Механізм, за допомогою якого M_{xy} експоненціально спадає до свого рівноважного значення, також називається **спін-спіною релаксацією**.

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

/ Релаксація

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

/ Релаксація

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

Нижче кілька прикладів значень релаксації T1 і T2 при 1,5T

ТИП ТКАНИНИ	ПРИБЛИЗНЕ ЗНАЧЕННЯ T1 У МС	ПРИБЛИЗНЕ ЗНАЧЕННЯ T2 У МС
Жирові тканини	240-250	60-80
Цільна кров (дезоксигенована)	1350	50
Цільна кров (насичена киснем)	1350	200
Спинномозкова рідина (схожа на чисту воду)	4200 - 4500	2100-2300
Сіра речовина головного мозку	920	100
Біла речовина головного мозку	780	90
Печінка	490	40
нирки	650	60-75
М'язи	860-900	50

Перекладено з: [https://en.wikipedia.org/wiki/Relaxation_\(NMR\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Relaxation_(NMR))

<!=> УВАГА

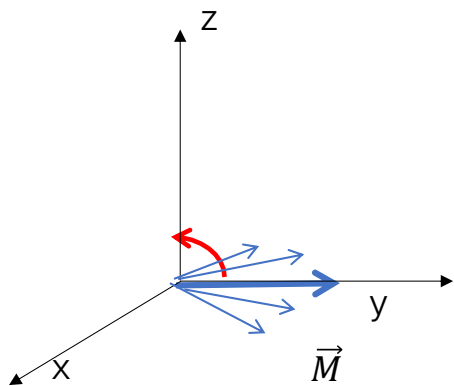
T1 є константою часу для відновлення Mz (поздовжня намагніченість)

T2 константою часу спаду/ розфазування Mx,y (поперечна намагніченість)

T1 і T2 час релаксації залежать від середовища і є характерними для різних тканин!

/ Прийом сигналу

Періодичний сигнал, що супроводжує релаксацію збудженої сумарної намагніченості, можна записати за допомогою котушки.



Індуктивний струм, створений змінною в часі намагніченістю

Котушка= контур із струмопровідного дроту



M_{xy} = виміряний сигнал

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

/ Прийом сигналу

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

Для кожного обстеження використовуються спеціалізовані котушки :

Сучасні приймальні котушки містять кілька маленьких катушок (каналів), кожна з яких приймає випромінюваний сигнал. Такі конфігурації допомагають досягти високого співвідношення сигнал/шум, а також великого покриття анатомічної ділянки, яку потрібно обстежити.

Котушка для голови (32 канали)



Котушка для спини (переважно вмонтована у стіл пацієнта)



Котушка для кисті



Котушка для стопи



Котушка для плечевого суглоба (16-канальна)

**ПЛАН РОЗДІЛУ:**

Система МРТ

Принцип МРТ

/ Прием сигнала

Последовательность спиновое echo

Последовательность градиентное echo

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Преимущества та недостатки МРТ

Основные тезисы

Литература

Тестирование

/ Просторове кодування – напрямок Z

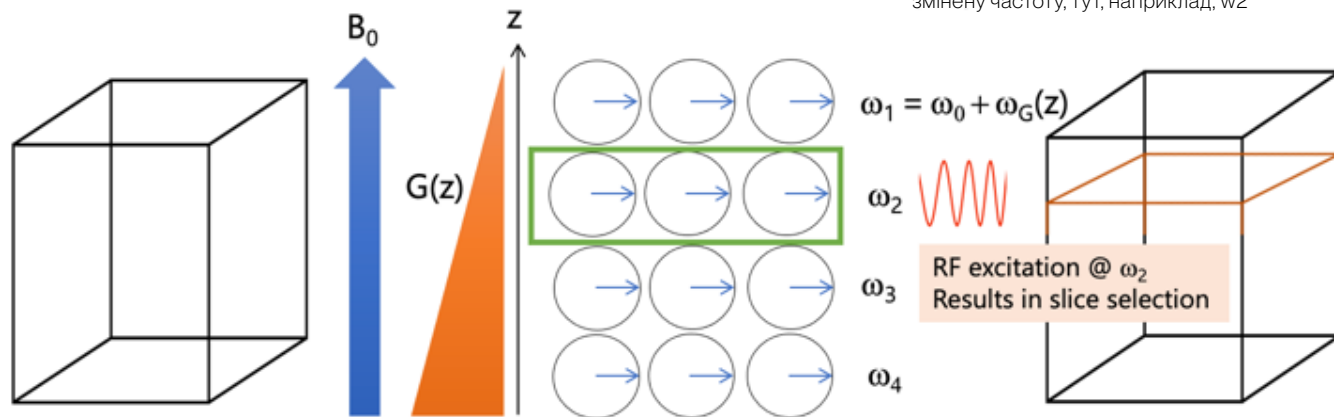
- / На цьому етапі сигнал надходить від до всього об'єму тканини, збудженого радіочастотною котушкою.
- / Пам'ятайте: система складається з 3 градієнтних котушок, по одній на кожен геометричний вимір (x, y, z).

- / Градієнтні котушки використовуються для додавання просторового кодування до сигналу!
- / Як це працює?

Об'єм, збуджений радіочастотним сигналом, налаштованим на ω_0 (без градієнта)

Додавання магнітного поля, що змінюється в напрямку z, за допомогою Z-градієнта

Щоб вибрати просторово закодований сигнал, що надходить з одного зрізу, ми налаштовуємо радіочастоту на відповідну змінену частоту, тут, наприклад, ω_2



/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

- / Просторове кодування Напрямок Z

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

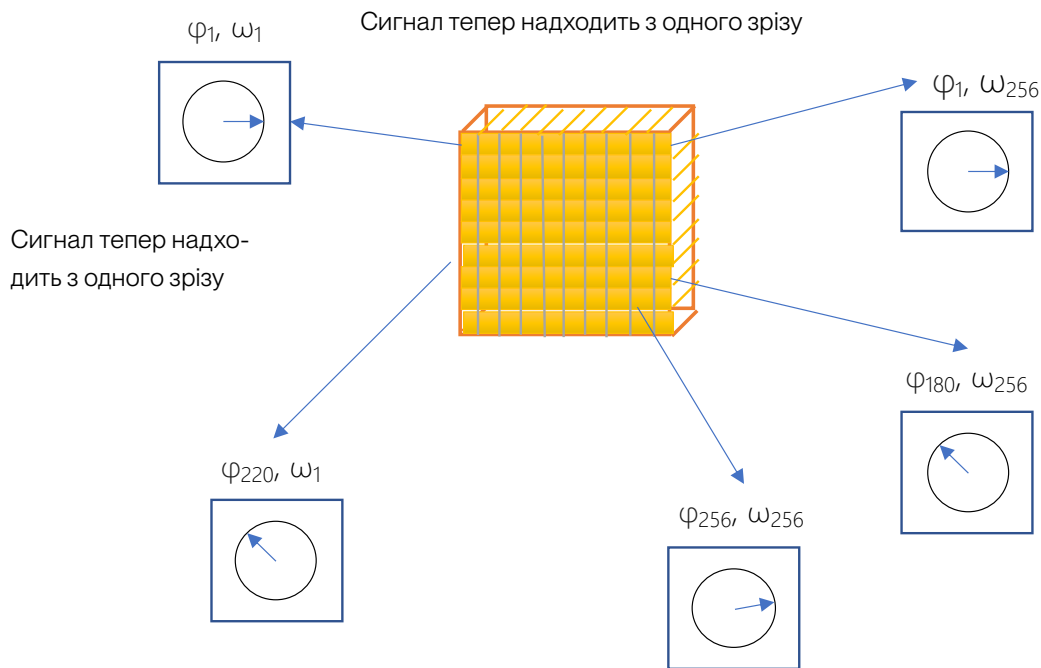
Основні тези

Література

Тестування

Щоб додати просторову інформацію по двох інших вимірах, градієнти x і y також використовуються в певний час до і під час прийому сигналу. Вони

застосовуються для додавання зміни зсуву фази у просторі (т.з. напрямок кодування фази) і зміни частоти у просторі (т.з. напрямок кодування частоти).



Кожен воксель*
(*voxel = поєднання слів "volume" і "pixel")
буде містити спіни з просторовою інформацією, закодованою в межах :
/ Фаза F
/ - частота w

На цьому етапі отриманий сигнал ще не є зображенням, а є складною комбінацією змінних сигналів з різною фазою та частотою.

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

/ Просторове кодування
Напрямки X і Y

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

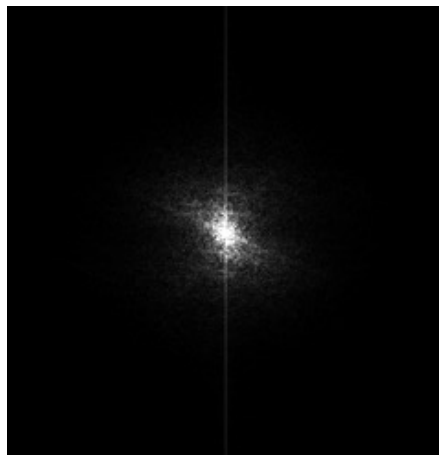
/ Зв'язок між сигналом та зображенням

Вимірний сигнал знаходиться у частотному просторі, так званому 'к-просторі'. 'к' позначає число, яке містить інформацію про просторове кодування градієнта. Цей 'к-простір' може бути перетворено у кінцеве зображення за допомогою перетворення Фур'є.

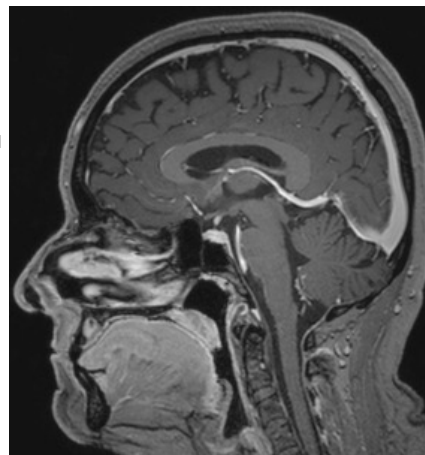
<=> УВАГА**Запам'ятай:**

Досі ми вимірювали намагніченість спінів за допомогою додаткових змінних градієнтів, щоб створити інформацію, що міститься в частотному просторі (к-просторі). Зображення буде створено шляхом перетворення Фур'є цього к-простору.

К-простір

перетворення
Фур'є

Зображення

**ПЛАН РОЗДІЛУ:**

Система МРТ

Принцип МРТ

/ Зв'язок між сигналом і зображенням

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Градієнти та шум МРТ

Градієнтні котушки, що використовуються для додавання просторової інформації до сигналу, створюють змінні магнітні поля під час отримання зображення. Ці варіації змушують градієнтні котушки вібрувати. Це є причиною гучного шуму, який чути під час отримання МР-зображення.



Illustration from: <https://pixabay.com/de/photos/mann-arbeiter-presslufthammer-785548/>

<=> УВАГА

Під час обстеження пацієнт повинен використовувати засоби захисту органів слуху!



140 dB = літак, що злітає

130 dB = МРТ

110 dB = Концерт або нічний клуб

95 dB = шкільна їдальня

85 dB = газонокосарка

80 dB = автомобіль

60 dB = розмова



/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

/ Градієнти та шум МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

**Послідовність
спінове ехо**

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

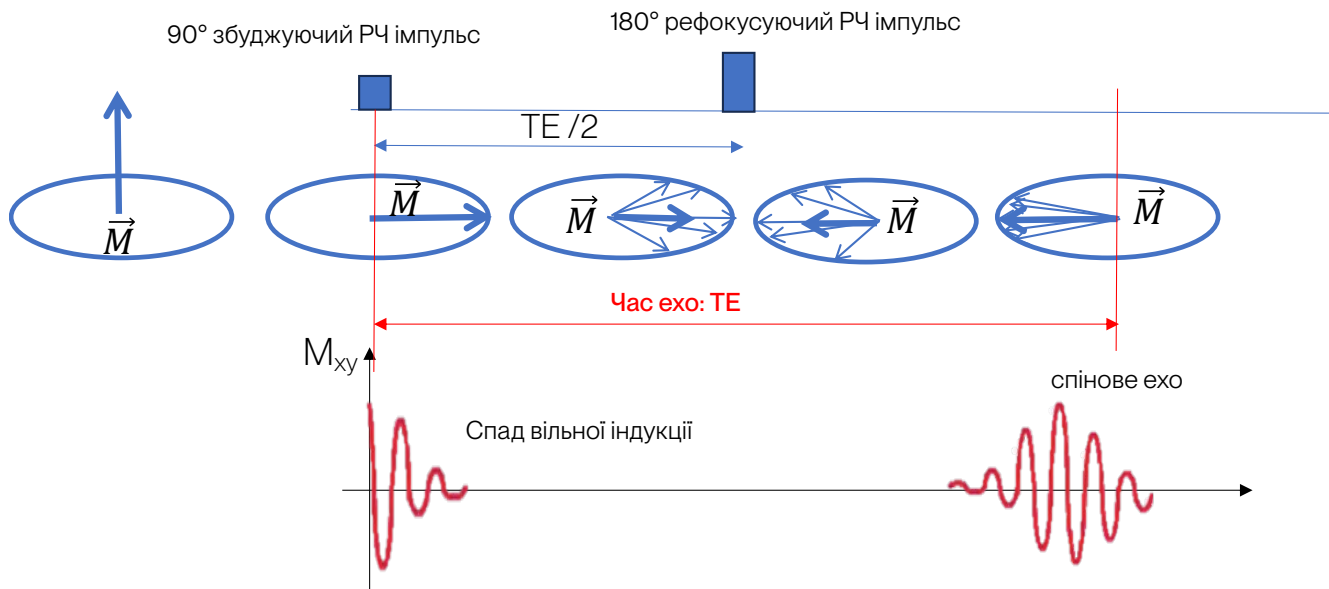
Тестування

/ Послідовність спінове ехо

/ Послідовність спінове ехо (Spin Echo, SE)

Коли після застосування радіочастотного імпульсу намагніченість повертається до рівноваги, то сигнал, що утворюється, називається “спадом вільної індукції”.

Коли використовується другий радіочастотний імпульс, зокрема імпульс на 180° або рефокусуючий імпульс, створюється сигнал ехо! Час між першим радіочастотним імпульсом та сигналом ехо називається часом ехо (Time to Echo, TE).



ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

/ Що таке ехо?

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

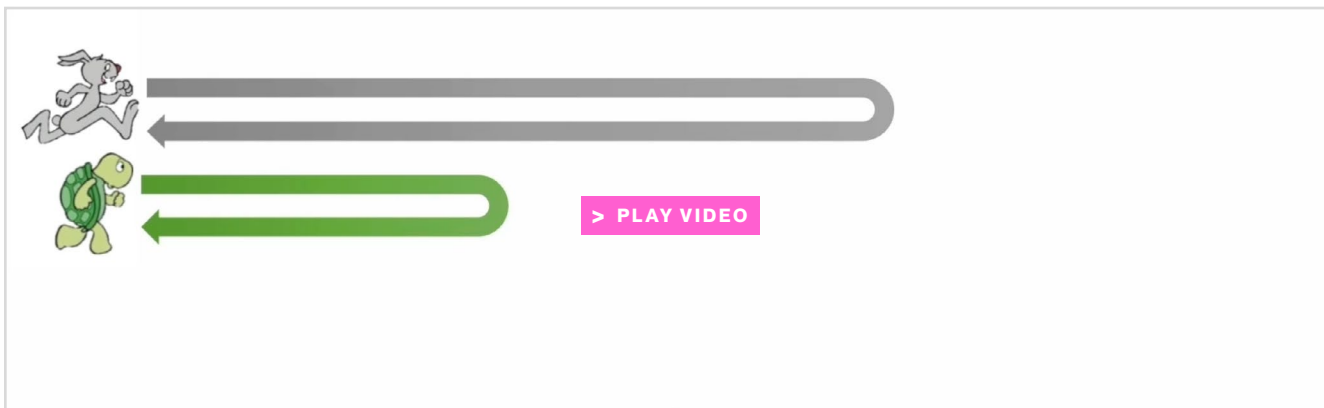
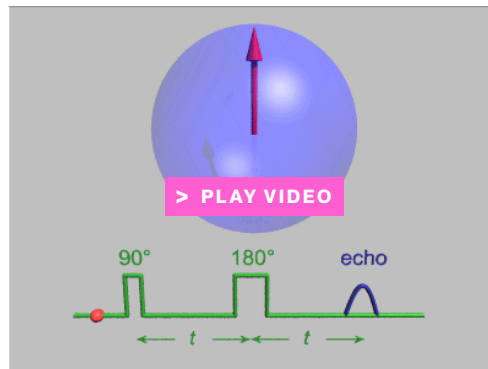
Між імпульсами 90° і 180° спіни розфазуються. Спіни, що швидко обертаються, розфазуються більше, ніж спіни, що обертаються повільно. Імпульс на 180° рефазує спіни шляхом «реверсу» розфазування, тому спіни, які швидкого обертались, потім відновлюють фазу, щоб приєднатися до спінів, які повільного обертались.

Аналогія=> Заєць та черепаха

Заєць: спіни, який швидко обертається

Черепаха: спіни, який повільно обертається

Ілюстровано з: https://en.wikipedia.org/wiki/Spin_echo
Click to Play Video in Browser



Click to Play Video in Browser

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

/ Що таке ехо?

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

Отже, сигнал, що надходить від ехо, випромінюється всім збудженим об'ємом!

Граденти додаються для кодування просторового походження сигналу. Часова діаграма, яка показує, коли і де ці граденти застосовуються відповідно до збуджуваних радіочастотних імпульсів і зчитування ехо-сигналу, називається "MP послідовністю" (MR Sequence).

У послідовності є 2 важливих часових параметра:

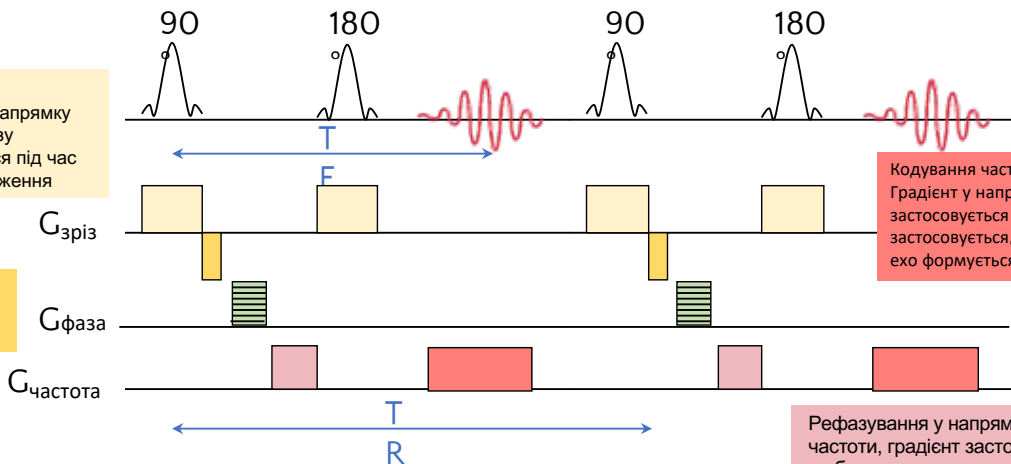
- / Час між імпульсом збудження та сигналом ехо: Час ехо (Time to Echo, TE)
- / Час між двома послідовними імпульсами збудження: Час повторення (Repetition Time, TR)
- / TE і TR обираються оператором!

Кодування фази:

Градент у напрямку фази застосовується по осі Y. Він змінюється при кожному TR для кодування різних ліній у напрямку кодування фази.

Вибір зрізів:
Z-Градент у напрямку кодування зрізу застосовується під час імпульсу збудження

Рефазуючий градієнт у напрямку зрізу



Кодування частоти:

Градент у напрямку частоти застосовується по осі X. Він застосовується, тоді коли сигнал ехо формується та вимірюється

Рефазування у напрямку кодування частоти, градієнт застосовується, щоб компенсувати розфазування, яке виникає під час сигналу ехо.

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система MPT

Принцип MPT

Послідовність спінове ехо

/ Що таке ехо?

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі MPT

Контрастні речовини в MPT

Артефакти в MPT

Переваги та недоліки MPT

Основні тези

Література

Тестування

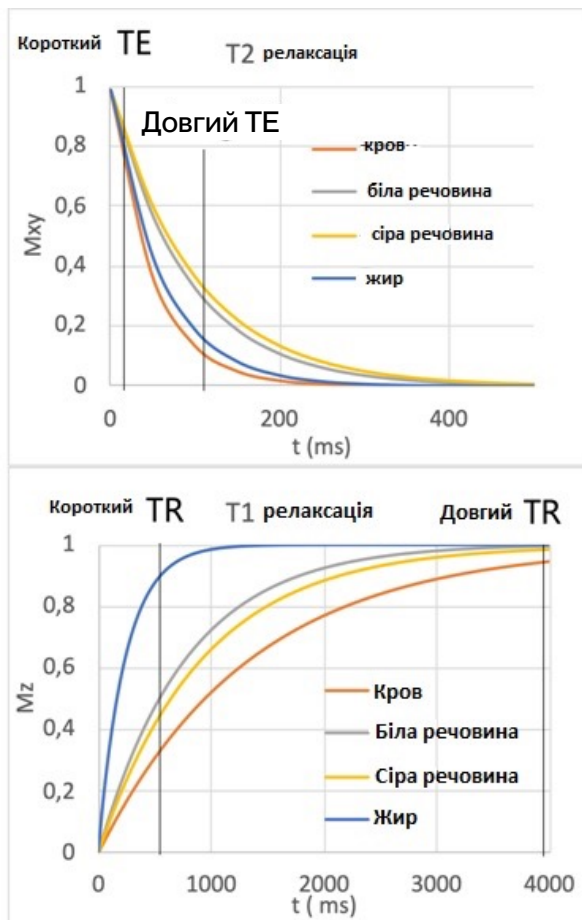
/ Послідовність спінове ехо (SE)

Довгий TE сприяє посиленню T2 контрастності.

- / Сигнал менш виражений для спінів, які швидко розфазуються (короткий T_2), ніж для спінів, які розфазуються повільно (довгий T_2).
- / При короткому TE спіни не встигають розфазуватись, тому внесок контрасту T_2 у сигнал відсутній.

Короткий TR сприяє посиленню T1 контрастності.

- / Відновлення магнітного моменту не є повним; повільно зростаючий магнітний момент дасть менше сигналу (довгий T_1), ніж швидко зростаючий магнітний момент (короткий T_1)
- / Довгий TR дозволяє позовжньому магнітному моменту відновитись до свого початкового стану, тому не впливає на контрастність T_1 .



/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

- / Важливість TE і TR для контрасту

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

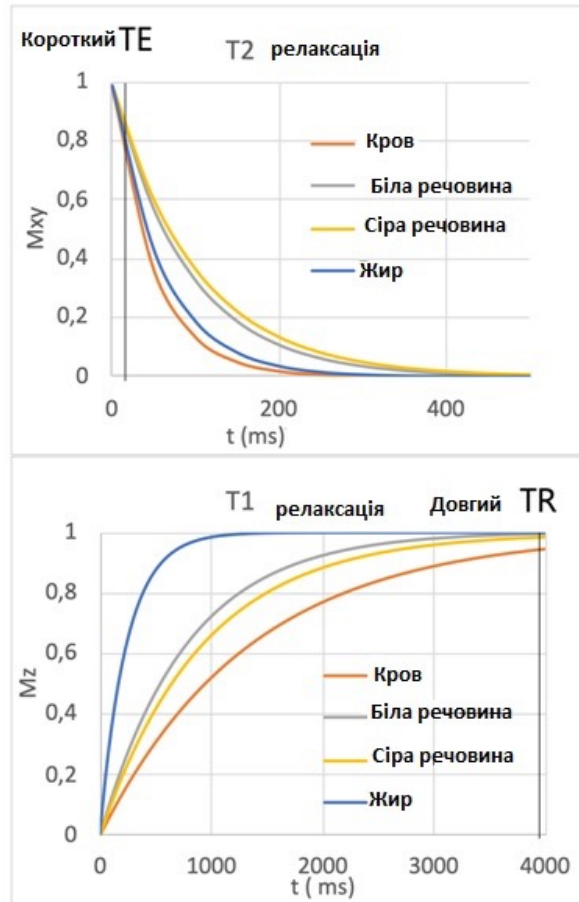
Тестування

Щоб отримати зображення без контрасту T1 і T2, а тільки чутливе до щільності протонів (Proton density, PD), слід використовувати короткий TE і довгий TR.

<> КЛЮЧОВІ ДАНІ

Підсумок:

- / Короткий TE, короткий TR: T1-зважене зображення (T1 WI)
- / Довгий TE, довгий TR: T2-зважене зображення (T2 WI)
- / Короткий TE, довгий TR: Зважене за щільністю протонів зображення (PD WI)
- / (Довгий TE, короткий TR: Не використовується на практиці)



Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

/ Важливість TE і TR для контрасту

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

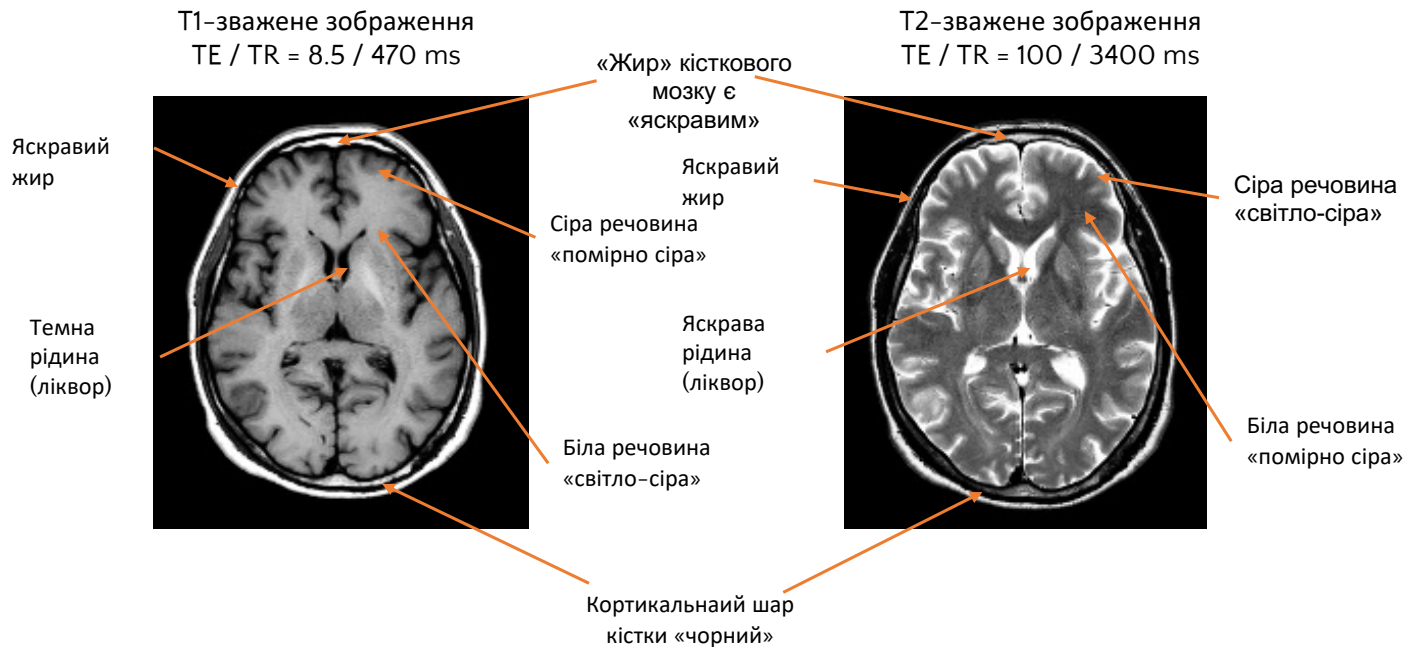
Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування



ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

/ Важливість TE і TR для контрасту

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ МР послідовності: Чому вони такі довгі?

Час сканування (Time of Acquisition, TA) зображення МРТ залежить головним чином від TR, кількості ліній фазового кодування (матриці) та кількості зрізів:

Час сканування = $TR \cdot N_{Py} \cdot N$ зрізів

- / TR = Час повторення
- / N_{Py} = Кількість ліній фазового кодування
- / N_{slices} = Кількість зрізів

Приклад для T1 послідовності: $TR = 500$ мс, 128 розмір матриці, 10 зрізів:

Час сканування = $0.5 \text{ с} \cdot 128 \cdot 10 = 10 \text{ хв } 40 \text{ с}$!

МРТ – це повільний метод візуалізації!

На практиці було розроблено кілька методик для прискорення отримання зображень:

- / типовий час отримання зображення для 2D голови становить 2–4 хвилини.
- / Отримання 3D займає більше часу, зазвичай близько 4–6 хвилин.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

- / МР послідовності: чому вони такі довгі?

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

**Послідовність
градієнтне ехо**

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

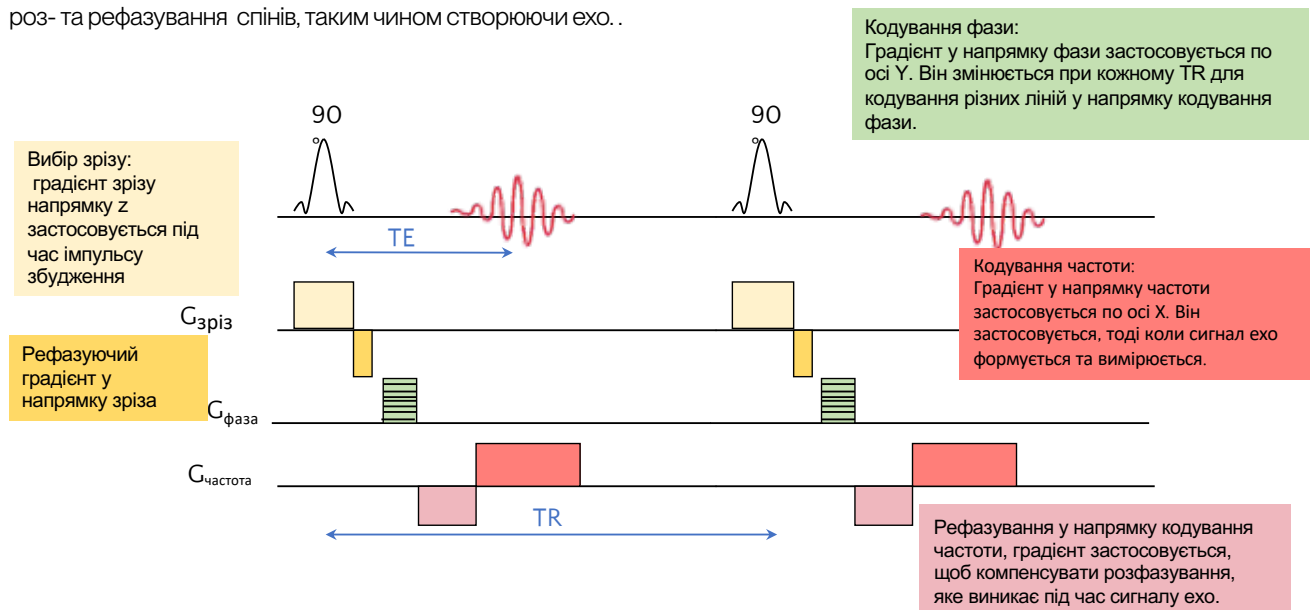
Тестування

/ Послідовність градієнтне ехо

/ Послідовність градієнтне ехо (GRadiant Echo, GRE)

Послідовність GRadiant Echo (GRE) не використовує радіочастотний імпульс на 180° для рефокусування розфазованих спінів, а замість цього використовує градієнт для роз- та рефазування спінів, таким чином створюючи ехо.

Це може значно скоротити TE та TR і прискорити отримання зображень! Але... він додає помилки розфазування, тому більш схильний до артефактів.



ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система MPT

Принцип MPT

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі MPT

Контрастні речовини в MPT

Артефакти в MPT

Переваги та недоліки MPT

Основні тези

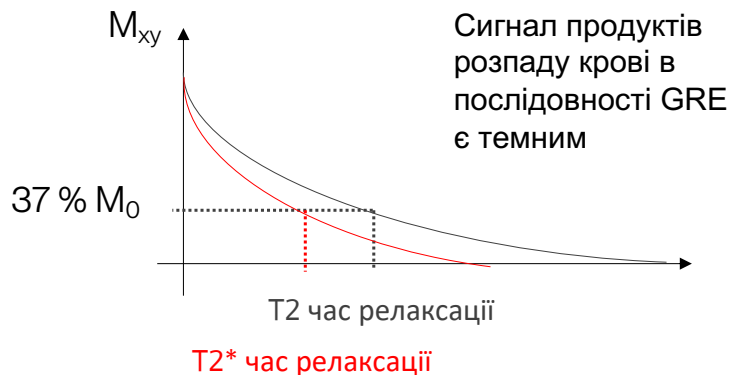
Література

Тестування

Оскільки більше немає рефокуруючого радіочастотного імпульсу, спінове розфазування тепер зумовлене локальними неоднорідностями магнітного поля додатково до ефекту T2. Тому сигнал зменшується з

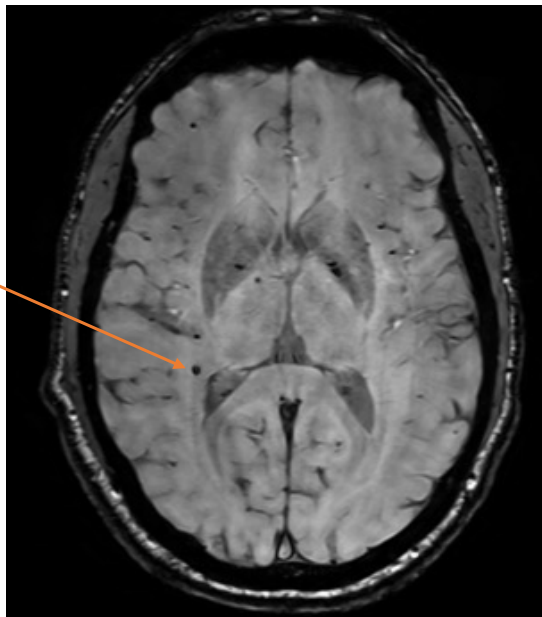
<=> УВАГА

Цей ефект забезпечує високу чутливість до локальних магнітних неоднорідностей, які зазвичай пов'язані з продуктами розпаду крові та кальцифікаціями, що локально спотворюють магнітне поле.



$T2^* \leq T2$!

константою T2*. Різниця між T2 і T2* полягає в тому, що T2 - це ідеальна спин-спінова релаксація, спричинена атомно-молекулярними взаємодіями, тоді як T2* - це спостережувана T2 (тобто, T2, на яку впливають локальні неоднорідності поля.



Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

**Інші послідовності:
Джунглі МРТ**

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Інші ПОСЛІДОВНОСТІ: Джунглі МРТ

/ Інші послідовності: Джунгли MPT (MRI Jungle)

Для MPT використовується багато різних типів послідовностей, які кожен виробник називає по-різному. Майже всі вони походять від послідовностей SE або GRE.



ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система MPT

Принцип MPT

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

**Інші послідовності:
Джунгли MPT**

Контрастні речовини в MPT

Артефакти в MPT

Переваги та недоліки MPT

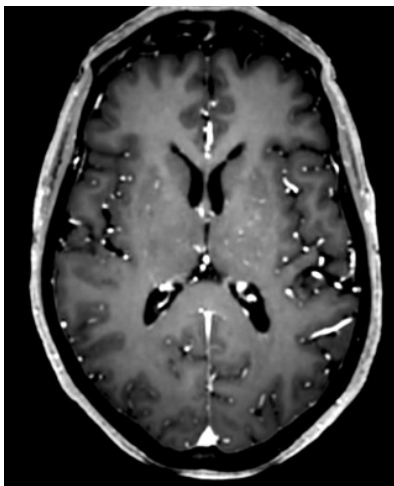
Основні тези

Література

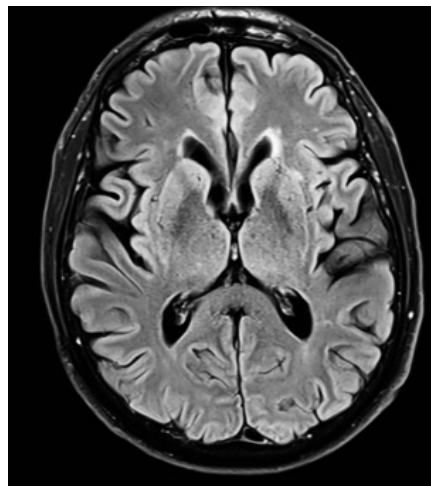
Тестування

/ Відновлення Інверсії (Inversion Recovery, IR)

Додавання підготовчого імпульсу перед отриманням сигналу може збільшити контрастність тканини або видалити сигнал від певної тканини. Відновлення інверсії (Inversion Recovery, IR) використовує імпульс інверсії (180°) перед послідовністю, щоб інвертувати всю намагніченість. IR послідовності широко використовуються в нейрорадіології, для візуалізації голови та шиї, а також в кардіології.



IR 3D T1-зважена GRE послідовність: інверсійний імпульс підвищує контраст між білою та сірою речовиною (це зображення отримане після введення контрастної речовини).



FLAIR (Fluid Attenuated IR | Відновлення інверсії з пригніченням сигналу від вільної рідини): інверсійний імпульс використовується для пригнічення сигналу від ліквору. Гіперінтенсивний сигнал у вогнищах у білій речовині стає більш помітним.



STIR (Short Tau IR | відновлення інверсії з пригніченням сигналу від жиру): інверсійний імпульс пригнічує сигнал від жиру. Гіперінтенсивний сигнал, спричинений рідиною або набряком, стає більш помітним.

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунгли МРТ

/ Відновлення інверсії

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

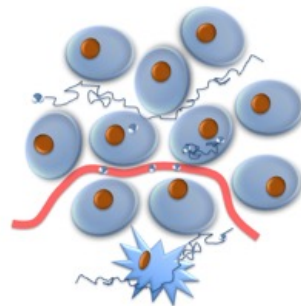
Основні тези

Література

Тестування

/ Дифузійно зважене зображення

(Diffusion Weighted Imaging, DWI)



Дифузія визначається як переміщення речовини, що виникає внаслідок міграції атомів за рахунок їх хаотичного руху,

спричиненого різницями в температурі або концентрації.

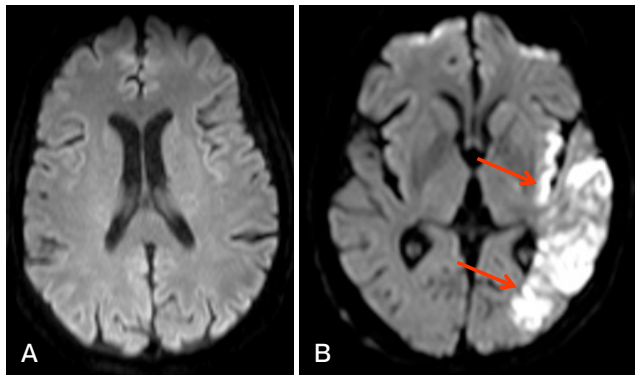
MPT може бути чутливою до дифузії

молекул води, яка залежить від середовища (внутрішньоклітинна, позаклітинна, внутрішньосудинна рідина). Отже, сигнал MPT може відображати цілісність клітинних мембран або щільність клітин.

При інсульті через гіперперфузію відбувається порушення роботи натрієво-калієвих насосів клітинних мембран в уражених ділянках. Як результат вода заходить в клітину, зменшуючи дифузійний рух (так звана "обмежена дифузія"). На MPT спостерігається підвищений сигнал на зображенні DWI.

<=> УВАГА

Одним із досягнень MPT є здатність виявляти внутрішньоклітинний набряк на дуже ранніх стадіях інсульту ще до того як будь-який інший тип візуалізації зможе показати інсульт.



Дифузійно зважені зображення (b1000) головного мозку в нормі (A) та у пацієнта з інсультном в басейні середньої мозкової артерії (B).

<=> УВАГА

Гіперцелюлярні пухлини також демонструють обмежену дифузію, оскільки щільно упаковані клітини заважають вільному переміщенню молекул води

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система MPT

Принцип MPT

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі MPT

/ Дифузійно зважене зображення

Контрастні речовини в MPT

Артефакти в MPT

Переваги та недоліки MPT

Основні тези

Література

Тестування

/ Дифузійно тензорне зображення

(Diffusion Tensor Imaging, DTI)

Біологічні тканини є високо анізотропними => тобто швидкість дифузії НЕ є однаковою в усіх напрямках.

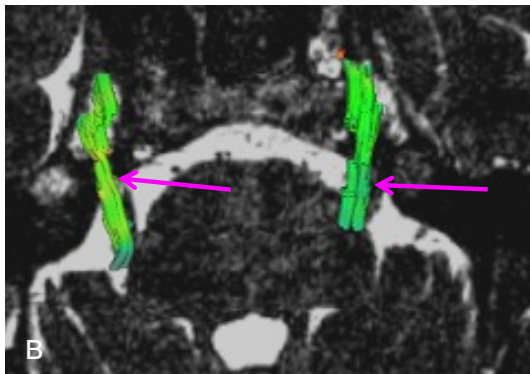
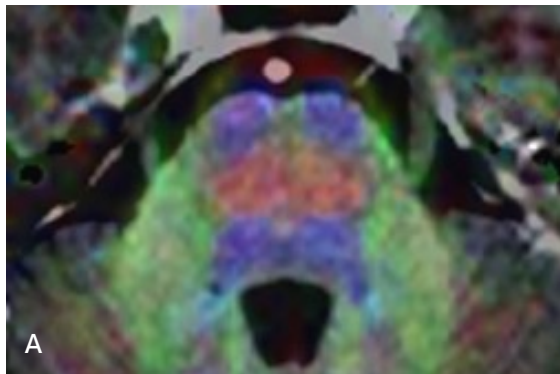
Дифузія води в мозку обмежена нервовими волокнами (аксонами), МРТ-сигнал чутливий до переважного напрямку руху молекул води. Це може бути використано для «відстеження» волокон і зображення шляхів білої речовини. Анатомічна орієнтація аксонів і волокон кодується кольорами на DTI-зображеннях, кожен колір відповідає певному напрямку волокон:

/ Червоний => поперечна орієнтація

/ Зелений => передньо-задня або задньо-передня

/ Блакитний => краніо-каудальна орієнтація

Потім шляхи волокон реконструюються в залежності від клінічного питання за допомогою спеціального програмного забезпечення. Можна отримати кількісні показники, наприклад, виміряти фракційну анізотропію (fractional anisotropy, FA), яка, як вважається, відображає щільність волокон, мієлінізацію та діаметр аксонів.



Приклад дослідження DTI при невралгії трійчастого нерва. Зображення DTI з накладеними волокнами за кольором, відповідно до орієнтації на рівні середини моста (A). Реконструйовані шляхи трійчастих нервів за кодовою орієнтацією (B).

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

/ Дифузійно тензорне зображення

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

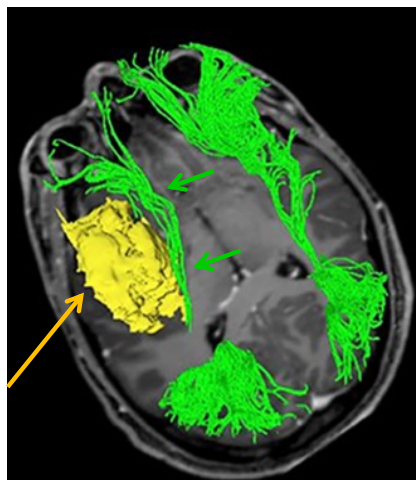
Література

Тестування

<!> УВАГА

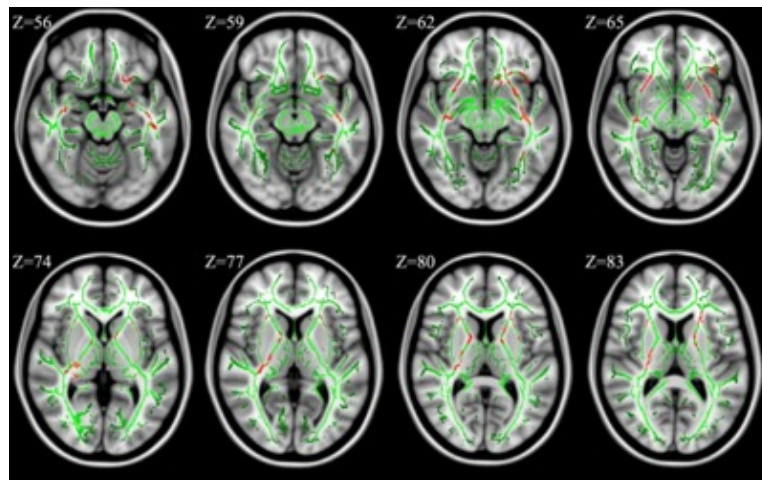
Окрім побудови 3D-візуалізації нервових шляхів, DTI може виявляти мікроструктурні зміни за відсутності морфологічних змін. Він може виявити змінену щільність білої речовини і дозволяє кількісно оцінити цілісність різних

мозкових ланцюгів при різних станах, включаючи пухлини, демієлінізуючі захворювання, травми, хворобу Паркінсона, больовий синдром, депресію і тривожні розлади та багато іншого.



Приклад низькодиференційованої гліоми скронево-острівцевої ділянки (Low-grade glioma, LGG) із залученням провідних шляхів. 3D реконструкція пухлини, яка охоплює лобно-потиличний поздовжній пучок

Відтворено з: Ius T et al. Risk Assessment by Pre-surgical Tractography in Left Hemisphere Low-Grade Gliomas. Front Neurol. 2021 Feb 15;12:648432. doi: 10.3389/fneur.2021.648432.



Зображення, що ілюструє аномалії білої речовини у підлітків із генералізованим тривожним розладом (Generalised anxiety disorder, GAD). Воксели накладені на скелет білої речовини (зелений). Області значного зниження FA порівняно з підлітками без розладу показані червоним кольором.

Відтворено з: Liao, M. et al. White matter abnormalities in adolescents with generalized anxiety disorder: a diffusion tensor imaging study. BMC Psychiatry 14, 41 (2014). <https://doi.org/10.1186/1471-244X-14-41>

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунгли МРТ

/ Дифузійно тензорне зображення

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Часопролітна (ToF) МР-ангіографія (MRA)

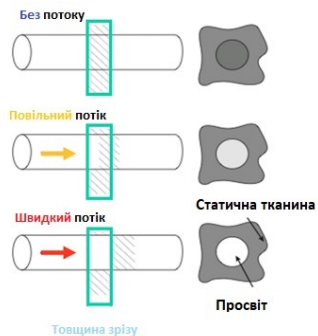
(Time of Flight MR Angiography, ToF MRA)

Часопролітна МР-ангіографія (Time of Flight (ToF) MR Angiography (MRA)) – послідовність, яка дозволяє візуалізувати потік крові в судинах, забезпечуючи отримання ангіографічних зображень без необхідності введення контрастних речовин. В основі послідовності ToF лежить принцип підсилення сигналу від потоку (тобто, свіжа кров має високу початкову

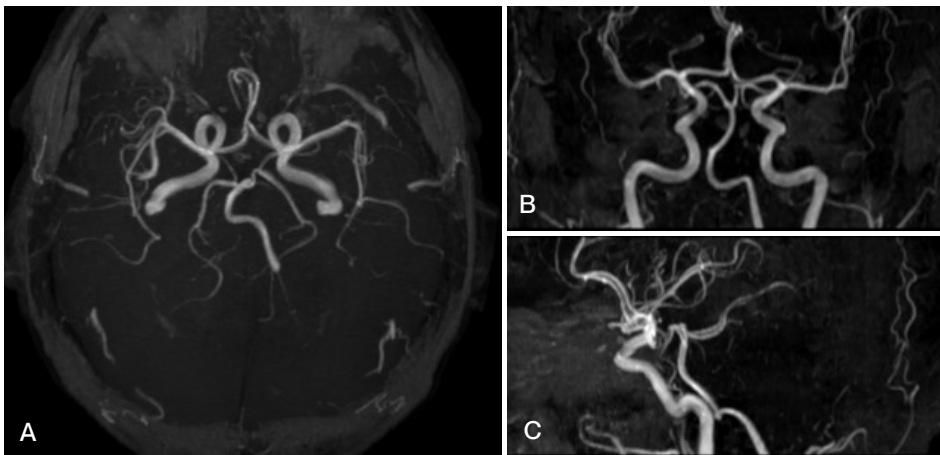
<!> УВАГА

TOF є одним із найкорисніших методів для безконтрастної нейроваскулярної та периферичної МРА => Див. розділ електронної книги про візуалізацію судин

намагніченість на відміну від стаціонарних тканин, які під дією багаторазових повторюваних РЧ імпульсів стають магнітно насиченими (мають значно знижену початкову магнетизацію). На ToF-послідовності сигнал притоку крові виглядає дуже яскравим (див. нижче). Максимальне підсилення потоку відбувається, коли судина перпендикулярна до площини візуалізації.



Зображення TOF: проекція максимальної інтенсивності (MIP) багатокутника Віллеса: аксіальний (А), корональний (В) і сагітальний (С) зрізи.



/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

/ Часопролітна МР-ангіографія

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

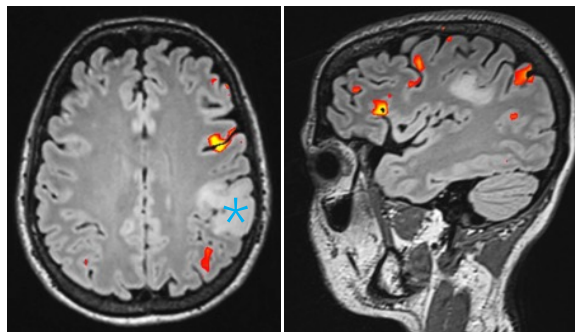
Тестування

/ Функціональне МРТ (fMRI)

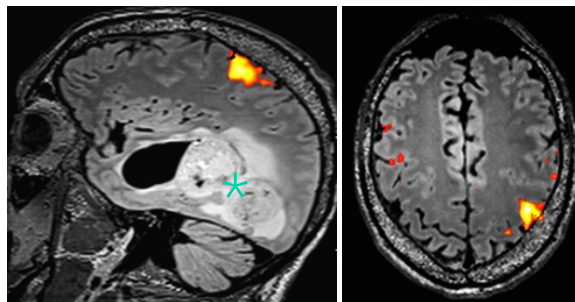
Візуалізація, залежна від оксигенації крові (Blood Oxygenation Dependent, BOLD) є стандартним функціональним методом МРТ, який надає інформацію про ділянки мозку, що активуються при виконанні певних завдань. Наприклад, можна ідентифікувати ділянки мозку, які відповідають за мову. Це дуже важливо при визначенні чи постраждала певна ділянка мозку після хірургічного втручання або для верифікації близькості розташування до ділянки, яку потрібно висікти.

BOLD-візуалізація базується на принципі, що якщо завдання призводить до підвищення активності певної ділянки мозку, відбувається початкове падіння рівня оксигенованого гемоглобіну і підвищення рівня CO₂ та деоксигенованого гемоглобіну. Після затримки в кілька секунд збільшений церебральний кровотік (cerebral blood flow, CBF) доставляє надлишок оксигенованого гемоглобіну, який "виводить" деоксигенований гемоглобін.

Оксигенований і деоксигенований гемоглобін суттєво відрізняються за своїми парамагнітними властивостями. Послідовності T2* використовуються для виявлення цих відмінностей, які знаходяться в діапазоні 1-5%.



Приклад BOLD fMRI-карт, отриманих у пацієнта з гліомою високого ступеня злоякісності та завданням мовчки проговорювати слова, що викликає активацію лівої префронтальної кори та зони Брока.



Приклад BOLD fMRI-карт, отриманих у пацієнта з гліомою високого ступеня злоякісності та правобічним постукуванням пальцем. Контралатеральна (ліва) сенсомоторна кора найбільш сильно активована. Зображення надані José Manuel Baiao Boto, Відділення нейрорадіології, Університетські лікарні Женеви.

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

/ Функціональне МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ МР-спектроскопія (MR Spectroscopy, MRS)

Магнітно-резонансна спектроскопія (MR Spectroscopy, MRS) - це метод вимірювання хімічного складу тканин. Він дозволяє вимірювати метаболіти **in vivo в певних ділянках мозку**, таких як N-ацетил-аспартат (NAA), холін (Cho), креатин (Cr) та інші. MRS використовує той факт, що резонансна частота протонів дещо відрізняється для кожного метаболіту порівняно з водою.

Магнітно-резонансна спектроскопія **найбільше використовується для дослідження головного мозку**, проте не обмежується ним. Згодом збільшилася просторова роздільна здатність і навіть створено карти метаболітів головного мозку. Найпоширенішими показами до проведення MPT є візуалізація гліом, пострадіаційних змін, ішемії, захворювань білої речовини та мітохондріальних хвороб. MRS підвищує специфічність і корелює з гістологічним класом пухлини.

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система MPT

Принцип MPT

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі MPT

/ Функціональне MPT

Контрастні речовини в MPT

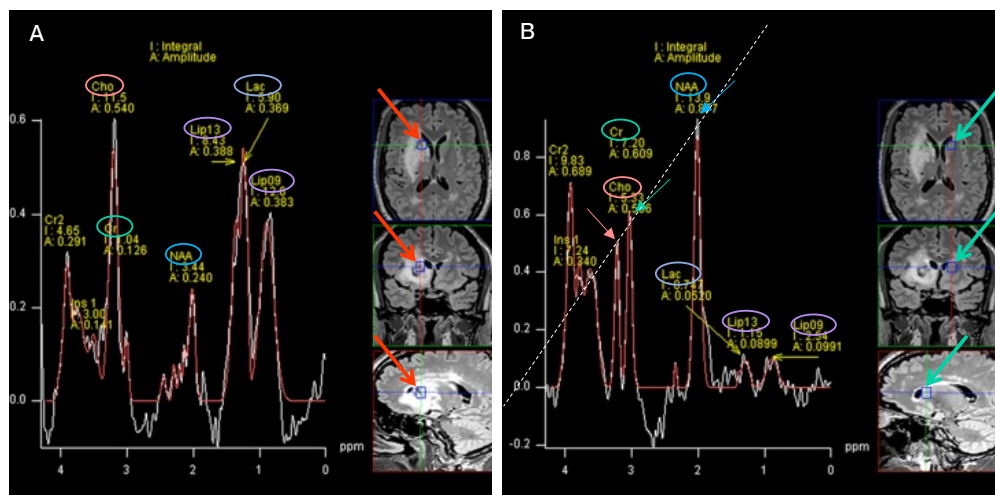
Артефакти в MPT

Переваги та недоліки MPT

Основні тези

Література

Тестування



MRS, отримана у пацієнта з високозлоякісною гліомою в правих базальних гангліях (А), що демонструє піки метаболітів. З підвищенням ступеня злоякісності пухлини зменшуються рівні NAA і Cho, тоді як збільшуються рівні ліпідів (Lip) і лактату (Lac). **Нормальні метаболіти MRS в лівих базальних гангліях.**(В). Вимірювання зліва використовуються як контроль. Зверніть увагу, що нормальні піки Cho, Cr і NAA знаходяться на лінії, яка має кут 45 градусів з віссю x (кут Хантера). Зображення надане José Manuel Baiao Boto.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

**Контрастні речовини
в МРТ**

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Контрастні речовини в МРТ

/ Контрастні речовини в МРТ

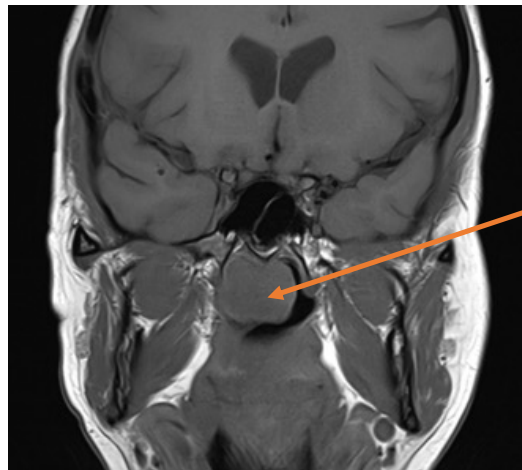
Контрастні речовини (Contrast agents, CA), що використовуються в МРТ, здебільшого базуються на хелатах гадолінію (Gd). Гадоліній є парамагнітним і має властивість зменшувати T1-релаксацію навколишніх тканин, таким чином роблячи їх гіперінтенсивними на T1-зважених зображеннях.

У високих концентраціях СА на основі гадолінію також скорочує час T2-релаксації. Зазвичай він залишається у позаклітинному просторі системи кровообігу та мікроциркуляції і виводиться нирками.

<=> УВАГА

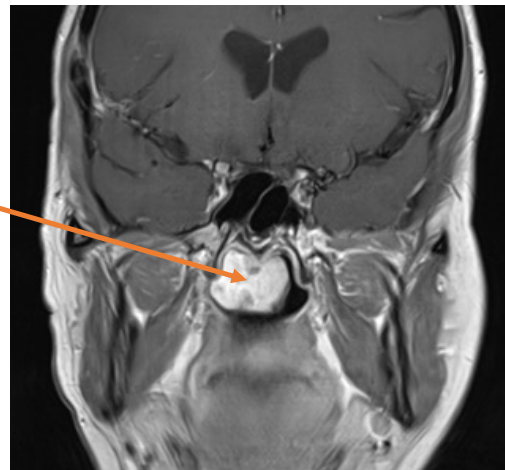
Безпека: Нефрогенний системний фіброз (Nephrogenic Systemic Fibrosis, NSF).

У 2006 р визнано, що контрастні засоби на основі гадолінію є потенційними тригерами пізнього запалення та фіброзу м'яких тканин у пацієнтів з важкими порушеннями функції нирок: нефрогенний системний фіброз. Незважаючи на те, що NSF зустрічається рідко, перед введенням Gd-хелату обов'язковим є скринінг пацієнтів на ниркову дисфункцію, а також оцінка ризиків та переваг перед введенням контрастної речовини. => Див. розділ про контрастні речовини в електронній книзі.



T1 SE

Посилення сигналу у
вогнищі ураження
після введення
контрасту



T1 SE з Gd

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

Накопичення Гадолінію (Gd) в центральній нервовій системі

Накопичення Gd в центральній нервовій системі (ЦНС), в основному в базальних гангліях, було повідомлено у пацієнтів з багаторазовим введенням Gd-хелатів (2014).

Реакція транс-металізації є можливим механізмом, за допомогою якого іон Gd витягується з хелату іншим катіоном. Було показано, що Gd-хелати з лінійною конфігурацією більш схильні до ризику накопичення в ЦНС, ніж макроциклічні хелати => див. розділ Контрастні речовини.

Саме тому Європейське агентство з лікарських засобів (European Medicines Agency) рекомендувало призупинити або обмежити використання комерційно доступних лінійних контрастних засобів на основі Gd.

Незважаючи на те, що накопичення Gd зараз добре описано, немає жодних доказів клінічних коротко-строкових або довгострокових ефектів. Необхідно дотримуватися принципу обережності, зменшуючи кількість і частоту ін'єкцій Gd, коли це можливо.

<∞> ЛІТЕРАТУРА

Kanda T, Ishii K, Kawaguchi H та ін. Висока інтенсивність сигналу в зубчатому ядрі та блідій кулі на невідсиленіх T1-зважених МР-зображеннях: зв'язок зі збільшенням кумулятивної дози контрастної речовини на основі гадолінію. Радіологія 2014; 270:834-841. (Знакове перше повідомлення про накопичення Gd в головному мозку).

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

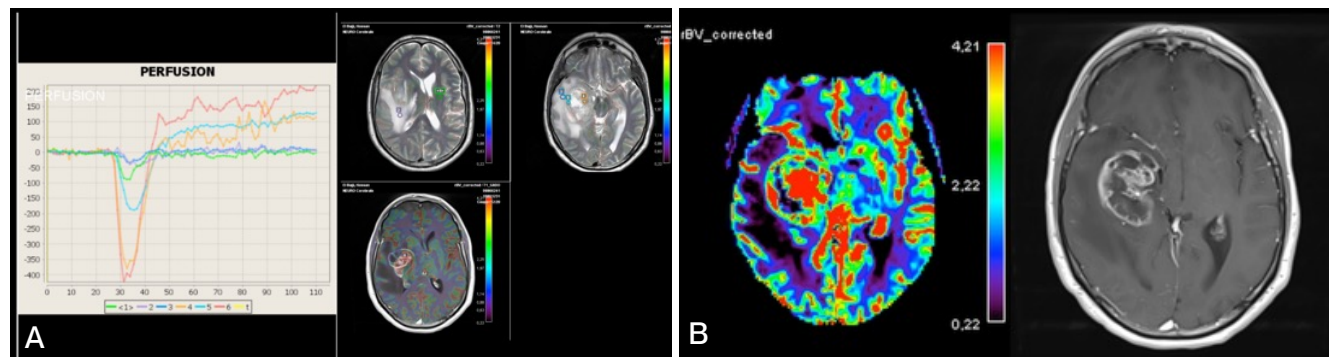
/ МРТ перфузійно-зважені зображення

МРТ перфузійно зважені зображення (MRI Perfusion Weighted Imaging, PWI) охоплюють різні методи МРТ, що використовуються для оцінки перфузії тканин кров'ю. Для оцінки перфузії можуть застосовуватися методики з контрастним підсиленням і без контрастного підсилення (наприклад, маркування спінів артеріальної крові (arterial spin labelling, ASL).

MRI PWI з динамічним контрастуванням на основі магнітної сприйнятливості (Dynamic Susceptibility Contrast, DSC) базується на втраті сигналу, викликаній болюсом контрастної речовини на основі Gd на T2*-зважених послідовностях. Розраховані параметри включають криву інтенсивності сигналу в часі (Time signal Intensity Curve, TIC), на основі якої розраховують об'єм мозкової крові (cerebral blood volume, CBV) (CBV = об'єм крові в даному об'ємі тканини мозку, мл крові/100г тканини мозку), мозковий кровотік (cerebral blood flow, CBF) (CBF = CBV за одиницю часу, мл

крові/100г тканини мозку/хвилину) та інші параметри. Ці параметри потім використовуються для створення кольорових карт необхідних ділянок. Через складність точного розрахунку CBV і CBF, найчастіше розраховують CBV / CBF контрольної ділянки, наприклад, контралатеральної білої речовини в нормі (rCBV і rCBF). rCBV і rCBF не мають одиниць виміру, оскільки вони відповідають співвідношенням.

T2*-зважена DSC МРТ перфузія у пацієнта з гліобластою. А. TIC, отримані в різних областях інтересу (regions of interest, ROI). Б. Кольорова карта rCBV і відповідне аксіальне T1-зважене зображення з контрастним підсиленням, що демонструє підвищену перфузію пухлини. Зображення надано José Manuel Baiao Boto,



ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

/ Перфузійно зважені зображення

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

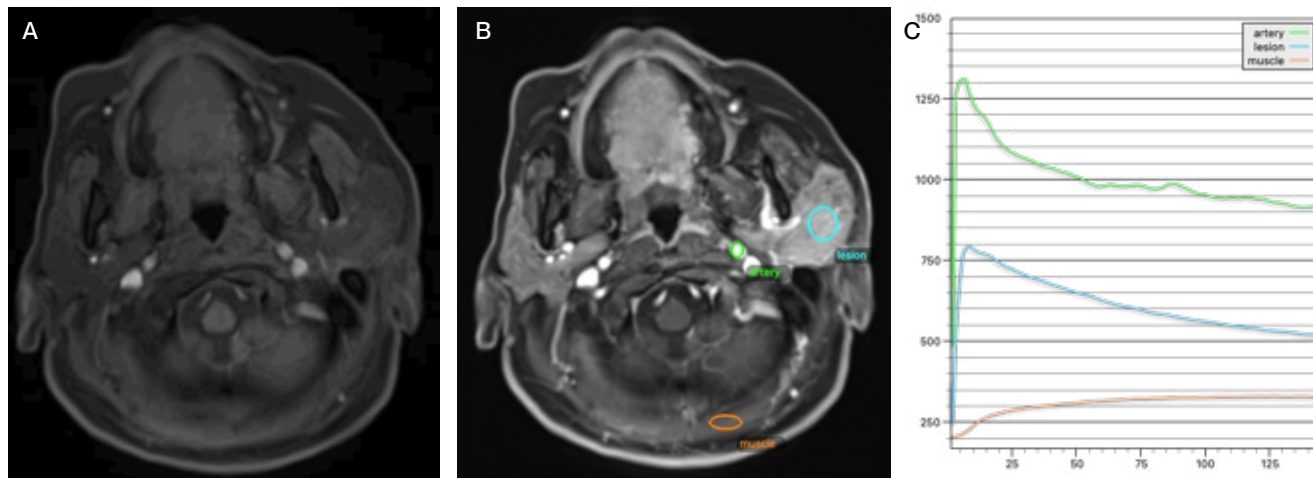
Основні тези

Література

Тестування

MRI PWI з динамічним контрастним підсиленням (Dynamic Contrast Enhanced, DCE) є однією з найважливіших технік МРТ перфузії. Параметри перфузії розраховуються на основі часу T1-релаксації, спричиненого болюсом контрастної речовини на основі гадолінію, що проходить через тканини. Розраховуються наступні параметри: TICs, константа об'єму переносу (k-trans) (= константа обміну між плазмою

крові та позасудинним екстраклітинним простором), фракційний об'єм позасудинного екстраклітинного простору та інші. TICs є дуже корисними для характеристики певних пухлин. Наприклад, певні типи TIC можна знайти лише в злоякісних пухлинах, тоді як інші типи TIC характерні лише для доброякісних утворень. DCE MRI PWI здебільшого використовується для онкологічної діагностики.



T1-зважена динамічна контрастна томограма (DCE) у пацієнта з дифузно інфільтрованою пухлиною лівої привушної залози. А. Динамічна послідовність з високою часовою роздільною здатністю. В. ROI, розміщені для вимірювання (сонна артерія, пухлина привушної залози, м'яз). С. Криві «час-інтенсивність» (TIC) в різних областях, важливих для оцінки на рисунку В. Кольори TIC відповідають ROI, зазначеним в В.

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

/ Перфузійно зважені зображення

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Артефакти в МРТ

/ Артефакти в МРТ

Процес отримання зображення може бути причиною різних артефактів на зображенні, деякі з них можна легко усунути, а інші - ні. Оптимізація МР послідовності вимагає розуміння великої кількості параметрів, що необхідно для отримання зображень з мінімальною кількістю та вираженістю артефактів.

Розпізнавання цих артефактів на зображеннях є важливою частиною роботи радіолога!

Походження артефактів можна розділити на три категорії:

/ Технічні :

- / За типом послідовності
- / Через параметри

МОЖУТЬ БУТИ ВИПРАВЛЕНІ

/ Пацієнт :

- / Рухові (неконтрольовані),
- / Дихання, рух крові,
- / Імпланти, татування, пірсинг, ...

МОЖУТЬ БУТИ ЗМЕНШЕНІ АБО ПОМ'ЯКШЕНІ ЗА
ДОПОМОГОЮ СПЕЦИФІЧНИХ МЕТОДИК

/ Апаратне забезпечення :

- / Приймальна котушка, радіочастотна котушка, градієнтні котушки,
- / Клітка Фарадея

ПОТРЕБУЄ РЕМОНТУ

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Артефакти в МРТ: Приклади

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

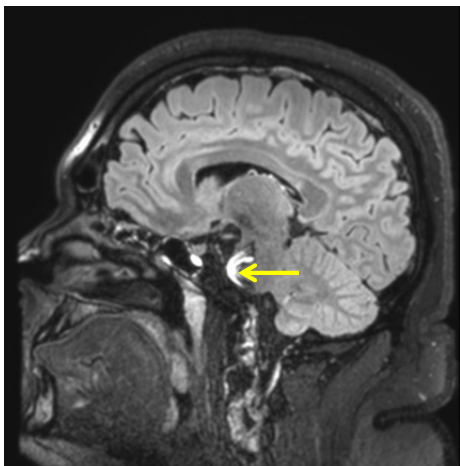
Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

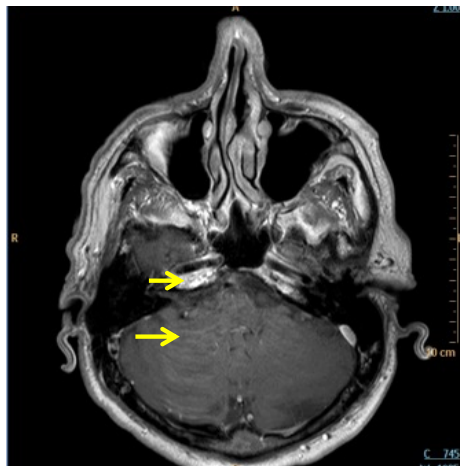
Тестування

Артефакт, пов'язаний з методикою сканування: неправильні параметри послідовності.



Артефакт завертання: ніс (поза полем огляду) проектується в центрі зображення!

Артефакт, пов'язаний з пацієнтом: рух крові в артеріях.



Артефакт потоку: сигнал від крові, що тече в артеріях, поширюється в напрямку фазового кодування.

Артефакт, пов'язаний з пацієнтом: наявність брекетів



Артефакт сприйнятливості (Susceptibility Artefact): Втрата сигналу через наявність металу в роті (брекети), порушення магнітного поля, що поширюється за межі ротової порожнини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

**Переваги та
недоліки МРТ**

Основні тези

Література

Тестування

/ Переваги та недоліки МРТ

/ Переваги та недоліки МРТ

>< ПОРІВНЯННЯ

ПЕРЕВАГИ:

- + Неіонізуюче дослідження, що підходить для повторних оглядів
- + Відмінний контраст м'яких тканин (зв'язки, сухожилля, м'язи, сіра та біла речовина головного мозку ...)
- + Доступні різні типи контрастних зображень (чутливі до рідини, з подавленням жиру, ...)
- + Добра роздільна здатність зображення, 2D зображення в будь-якій орієнтації та 3D-зображення
- + Можлива анатомічна, а також функціональна візуалізація (дифузія, перфузія, fMRI, MRS, ...)

НЕДОЛІКИ:

- Не всі імпланти дозволяється використовувати в магнітному полі
- Не підходить для пацієнтів з клаустрофобією (на сьогоднішній день існують гентрі зі збільшеним отвором)
- Шумні та, як правило, тривалі обстеження
- Дорожче, ніж КТ або рентген
- Потребує доброго знання методики (оптимізація послідовності та зменшення артефактів)

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Основні тези

- / МРТ - це неіонізуючий, неінвазивний метод візуалізації.
- / МРТ забезпечує відмінний контраст м'яких тканин з доброю анатомічною та функціональною інформацією.
- / Для пацієнтів з імплантами або пристроями існують певні обмеження або протипокази.
- / Основний магніт використовується для створення намагніченості тканин.
- / Радіочастотне випромінювання застосовується для виведення вектора магнетизації зі рівноважного стану.
- / Градієнти додаються для кодування просторового походження сигналу.
- / Отриманий сигнал потребує перетворення Фур'є для отримання остаточного зображення.
- / Зображення можуть бути чутливими до T1 і T2 релаксації тканин шляхом відповідного налаштування TE і TR послідовності.

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Література

/ Магнітно-резонансна томографія

Веб-сайти для вивчення МРТ:

- / <https://www.imaaios.com/en/e-mri>
- / <https://mriquestions.com/index.html>

Безпечність МРТ :

- / A Practical Guide to MR Imaging Safety: What Radiologists Need to Know
Leo L. Tsai, Aaron K. Grant, Koenraad J. Morteale, Justin W. Kung, and Martin P. Smith
RadioGraphics 2015 35:6, 1722-1737

Фізика МРТ:

- / Plewes, D.B. and Kucharczyk, W. (2012), Physics of MRI: A primer. J. Magn. Reson. Imaging, 35: 1038-1054. <https://doi.org/10.1002/jmri.23642>

Послідовності:

- / Jung, B.A. and Weigel, M. (2013), Spin echo magnetic resonance imaging. J. Magn. Reson. Imaging, 37: 805-817. <https://doi.org/10.1002/jmri.24068>
- / MR Pulse Sequences: What Every Radiologist Wants to Know but Is Afraid to Ask
Richard Bitar, General Leung, Richard Perng, Sameh Tadros, Alan R. Moody, Josee Sarrazin, Caitlin McGregor, Monique Christakis, Sean Symons, Andrew Nelson, and Timothy P. Roberts
RadioGraphics 2006 26:2, 513-537

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

/ Тестування

<?> ЗАПИТАННЯ

1

Деякі об'єкти будуть притягуватися неконтрольованою силою в гентрі МРТ-сканера через основне магнітне поле; це:

- ☐ Феромагнітні предмети (залізо, нікель, кобальт та їх сплави)
- ☐ Металеві предмети (якщо вони є електропровідними)
- ☐ Всі медичні імпланти без винятку

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

1

Деякі об'єкти будуть притягуватися неконтрольованою силою в гентрі МРТ-сканера через основне магнітне поле; це:

- ☒ Феромагнітні предмети (залізо, нікель, кобальт та їх сплави)
- ☐ Металеві предмети (якщо вони є електропровідними)
- ☐ Всі медичні імпланти без винятку

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ЗАПИТАННЯ

2

Який елемент системи МРТ дозволяє кодувати просторове походження випромінюваного сигналу:

- ☐ Основний магніт
- ☐ Радіочаснотне випромінювання
- ☐ Градієнти x, y, z

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

2

Який елемент системи МРТ дозволяє кодувати просторове походження випромінюваного сигналу:

- ☐ Основний магніт
- ☐ Радіочасотне випромінювання
- ☒ Градієнти x, y, z

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ЗАПИТАННЯ

3 Намагніченість тканин з'являється, коли:

- ☐ Починається послідовність МРТ
- ☐ Об'єкт поглинає радіочастотну хвилю
- ☐ Об'єкт лежить на столі в гентрі сканера

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

3

Намагніченість тканин з'являється, коли:

- ☐ Починається послідовність МРТ
- ☐ Об'єкт поглинає радіочастотну хвилю
- ☒ Об'єкт лежить на столі в гентрі сканера

**Магнітно-
резонансна
томографія**

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ЗАПИТАННЯ

4

Час ехо TE - це час між:

- ☐ збуджуючим та рефокусуючим РЧ-імпульсами в послідовності спіно-ехо
- ☐ збуджуючим РЧ-імпульсом та отриманням ехо в послідовності градієнт-ехо
- ☐ двома послідовними збуджуючими РЧ-імпульсами

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

4

Час ехо TE - це час між:

- ☐ збуджуючим та рефокусуючим РЧ-імпульсами в послідовності спіно-ехо
- ☒ збуджуючим РЧ-імпульсом та отриманням ехо в послідовності градієнт-ехо
- ☐ двома послідовними збуджуючими РЧ-імпульсами

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ЗАПИТАННЯ

5

Час повторення TR - це час між:

- ☐ збуджуючим та рефокусуючим РЧ-імпульсами в послідовності спіно-ехо
- ☐ збуджуючим РЧ-імпульсом та отриманням ехо в послідовності градієнт-ехо
- ☐ двома послідовними збуджуючими РЧ-імпульсами

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

5

Час повторення TR - це час між:

- ☐ збуджуючим та рефокусуючим РЧ-імпульсами в послідовності спіно-ехо
- ☐ збуджуючим РЧ-імпульсом та отриманням ехо в послідовності градієнт-ехо
- ☒ двома послідовними збуджуючими РЧ-імпульсами

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ЗАПИТАННЯ

6

**T1-зважений контраст
отримують за допомогою:**

- ☐ Короткого TE та короткого TR
- ☐ Довгого TE і короткого TR
- ☐ Довгого TE і довгого TR

/ Магнітно- резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

6

T1-зважений контраст
отримують за допомогою:

- Короткого TE та короткого TR
- ☐ Довгого TE і короткого TR
- ☐ Довгого TE і довгого TR

/ **Магнітно-
резонансна
томографія**

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове
ехо

Послідовність
градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ЗАПИТАННЯ

7

Для T2-зваженого зображення використовується довгий TR, щоб намагніченість відновлювалася до початкового значення в стані рівноваги між кожним наступним РЧ-імпульсом. Яким має бути TE?

- ☐ Коротким TE
- ☐ Довгим TE
- ☐ TE повинен бути рівним $TR/2$

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

7

Для T2-зваженого зображення використовується довгий TR, щоб намагніченість відновлювалася до початкового значення в стані рівноваги між кожним наступним РЧ-імпульсом. Яким має бути TE?

- ☐ Коротким TE
- ☒ Довгим TE
- ☐ TE повинен бути рівним $TR/2$

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ЗАПИТАННЯ

8

Яке речення є правильним:

- ☐ МРТ дослідження дешеве та швидке
- ☐ МРТ дослідження є тривалим і дорожчим, ніж КТ
- ☐ МРТ-дослідження дуже тихе

/ Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

8

Яке речення є правильним:

- ☐ МРТ дослідження дешеве та швидке
- ☒ МРТ дослідження є тривалим і дорожчим, ніж КТ
- ☐ МРТ-дослідження дуже тихе

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності:
Джунглі МРТ

Контрастні речовини
в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки
МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

Магнітно-резонансна томографія

<?> ЗАПИТАННЯ

9

Завдяки МРТ я можу отримати:

- ☐ Відмінний контраст м'яких тканин, але жодної іншої інформації
- ☐ Анатомічні зображення, інформацію про дифузію води, параметри, пов'язані з активацією мозку для виконання рухових завдань
- ☐ Відмінний кістковий контраст і погану диференціацію м'яких тканин

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

9

Завдяки МРТ я можу отримати:

- ☐ Відмінний контраст м'яких тканин, але жодної іншої інформації
- ☒ Анатомічні зображення, інформацію про ифузію води, параметри, пов'язані з активацією мозку для виконання рухових завдань
- ☐ Відмінний кістковий контраст і погану диференціацію м'яких тканин

Магнітно-резонансна томографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Система МРТ

Принцип МРТ

Послідовність спінове ехо

Послідовність градієнтне ехо

Інші послідовності: Джунгли МРТ

Контрастні речовини в МРТ

Артефакти в МРТ

Переваги та недоліки МРТ

Основні тези

Література

Тестування

