فهرست

پیشگفتار ۱۱

فصل ۱: درس‌نامه MRI ۱۳

مقدمه ۱۳

مغناطش (Magnetic) ۱۳

تشدید (Resonance) ۱۵

تصویربرداری (Imaging) ۱۷

کنتراست و وزن تصاویر ۲۲

تصاویر بر وزن T_1 ..... ۲۲

تصاویر بر وزن T_2 ..... ۲۴

تصاویر بر وزن چگالی پروتون ۲۵

کدگذاری و تشکیل تصویر ۲۷

گرادیان‌ها ۲۷

فضای K ۳۱

مدت زمان اسکن ۳۵

توالی پالس‌ها ۳۹

اسپین اکو معمولی (CSE) ۴۰

اسپین اکوی سریع ۴۱

توالی پالس بازیابی معکوس ۴۵

گرادیان اکوی فراخوانده شده (GRE) ۴۸

تصویربرداری اکوصفحه‌ای (Echo Plannar Imaging) ۴۹

آنژیوگرافی تشدید مغناطیسی (MRA) ۵۲

آنژیوگرافی زمان پرواز (TOF) ۵۲

آنژیوگرافی کنتراست فاز (PCA) ۵۴

تصویربرداری عملکردی ۵۵

تصویربرداری پرفیوژن (perfusion) ۵۵

تصویربرداری بر وزن انتشار (DWI) ۵۷

طیف‌نگاری تشدید مغناطیسی (MRS) ۵۹

مشخصات تصویر ۶۰

فهرست

پیشگفتار ۱۱

فصل ۱: درس‌نامه MRI ۱۳

مقدمه ۱۳

مغناطش (Magnetic) ۱۳

تشدید (Resonance) ۱۵

تصویربرداری (Imaging) ۱۷

کنتراست و وزن تصاویر ۲۲

تصاویر بر وزن T_1 ..... ۲۲

تصاویر بر وزن T_2 ..... ۲۴

تصاویر بر وزن چگالی پروتون ۲۵

کدگذاری و تشکیل تصویر ۲۷

گرادیان‌ها ۲۷

فضای K ۳۱

مدت زمان اسکن ۳۵

توالی پالس‌ها ۳۹

اسپین اکو معمولی (CSE) ۴۰

اسپین اکوی سریع ۴۱

توالی پالس بازیابی معکوس ۴۵

گرادیان اکوی فراخوانده شده (GRE) ۴۸

تصویربرداری اکوصفحه‌ای (Echo Plannar Imaging) ۴۹

آنژیوگرافی تشدید مغناطیسی (MRA) ۵۲

آنژیوگرافی زمان پرواز (TOF) ۵۲

آنژیوگرافی کنتراست فاز (PCA) ۵۴

تصویربرداری عملکردی ۵۵

تصویربرداری پرفیوژن (perfusion) ۵۵

تصویربرداری بر وزن انتشار (DWI) ۵۷

طیف‌نگاری تشدید مغناطیسی (MRS) ۵۹

مشخصات تصویر ۶۰

نسبت سیگنال به نویز (SNR) ۶۰
نسبت کنتراست به نویز (CNR) ۶۶
رزولوشن مکانی ۶۷
زمان اسکن ۶۹
مواد کنتراست‌زا ۷۱
آرتیفکت‌ها ۷۲
آرتیفکت‌های پردازش تصویر ۷۴
آرتیفکت‌های مربوط به بیمار ۷۹
آرتیفکت‌های مربوط به RF ۸۰
آرتیفکت ناشی از ناهمگنی میدان مغناطیسی خارجی B0 ۸۱
آرتیفکت‌های مربوط به پذیرفتاری مغناطیسی ۸۲
آرتیفکت‌های مربوط به گرادیان ۸۲
سوالات MRI ۸۳

فصل ۲: رادیوگرافی ۹۳

درس‌نامه رادیوگرافی ۹۳
لامپ‌های پرتو ایکس ۹۳
کاتد ۹۳
آند (هدف) ۹۴
فیلتراسیون ۹۷
تولید پرتو ایکس ۹۸
طیف پرتو ایکس ۹۸
فاکتورهای تاثیرگذار بر طیف اشعه ایکس ۱۰۰
برهمکنش تابش ایکس و گاما ۱۰۳
پدیده فوتوالکتریک ۱۰۳
پراکندگی کامپتون ۱۰۳
میزان عبور فوتون از مواد ۱۰۴
رادیوگرافی به روش فیلم-صفحه ۱۰۵
کاست فیلم-صفحه ۱۰۶
ویژگی صفحه‌ها ۱۰۶
عوامل موثر بر کیفیت تصاویر ۱۰۷
عوامل فیلم ۱۰۹
عوامل هندسی ۱۱۱
عوامل جسم ۱۱۵
پرتوهای پراکنده ۱۱۶
محدودکننده ۱۱۷
گرید ۱۱۷
تکنیک فضای خالی ۱۲۴

نسبت سیگنال به نویز (SNR) ۶۰
نسبت کنتراست به نویز (CNR) ۶۶
رزولوشن مکانی ۶۷
زمان اسکن ۶۹
مواد کنتراست‌زا ۷۱
آرتیفکت‌ها ۷۲
آرتیفکت‌های پردازش تصویر ۷۴
آرتیفکت‌های مربوط به بیمار ۷۹
آرتیفکت‌های مربوط به RF ۸۰
آرتیفکت ناشی از ناهمگنی میدان مغناطیسی خارجی B0 ۸۱
آرتیفکت‌های مربوط به پذیرفتاری مغناطیسی ۸۲
آرتیفکت‌های مربوط به گرادیان ۸۲
سوالات MRI ۸۳

فصل ۲: رادیوگرافی ۹۳

درس‌نامه رادیوگرافی ۹۳
لامپ‌های پرتو ایکس ۹۳
کاتد ۹۳
آند (هدف) ۹۴
فیلتراسیون ۹۷
تولید پرتو ایکس ۹۸
طیف پرتو ایکس ۹۸
فاکتورهای تاثیرگذار بر طیف اشعه ایکس ۱۰۰
برهمکنش تابش ایکس و گاما ۱۰۳
پدیده فوتوالکتریک ۱۰۳
پراکندگی کامپتون ۱۰۳
میزان عبور فوتون از مواد ۱۰۴
رادیوگرافی به روش فیلم-صفحه ۱۰۵
کاست فیلم-صفحه ۱۰۶
ویژگی صفحه‌ها ۱۰۶
عوامل موثر بر کیفیت تصاویر ۱۰۷
عوامل فیلم ۱۰۹
عوامل هندسی ۱۱۱
عوامل جسم ۱۱۵
پرتوهای پراکنده ۱۱۶
محدودکننده ۱۱۷
گرید ۱۱۷
تکنیک فضای خالی ۱۲۴

ماموگرافی ۱۲۴
جنس آند و فیلتراسیون در ماموگرافی ۱۲۵
ابعاد لکه کانونی ۱۲۸
فشرده‌سازی ۱۲۸
گرید ۱۲۹
قدرت‌تفکیک مکانی در ماموگرافی ۱۲۹
قدرت‌تفکیک کنتراست در ماموگرافی ۱۲۹
سوالات رادیوگرافی ۱۳۰

فصل ۳: توموگرافی کامپیوتری (CT) ۱۴۵

درس‌نامه CT ۱۴۵
نسل‌های سیستم تصویربرداری CT ۱۴۶
اجزا و مفاهیم سی‌تی ۱۴۷
اعداد CT ۱۵۱
نحوه گرفتن تصاویر ۱۵۲
تصویر Scout view ۱۵۲
تصویربرداری آگزیال Axial imaging ۱۵۳
تصویربرداری Helical imaging ۱۵۳
تصویربرداری مولتی اسلایس ۱۵۴
فیلتر پاپیونی ۱۵۵
کیفیت تصویر ۱۵۵
قدرت‌تفکیک کنتراست ۱۵۷
قدرت‌تفکیک فضایی ۱۵۷
عوامل موثر بر قدرت‌تفکیک مکانی عبارتند از: ۱۵۸
دوز در سی‌تی ۱۵۹
آرتیفکت‌ها ۱۶۲
سخت شدن پرتو (Beam Hardening) ۱۶۲
آرتیفکت‌های ناشی از حرکت ۱۶۲
میانگین گیری حجم جزئی ۱۶۳
آرتیفکت حلقه‌ای ۱۶۳
آرتیفکت Streak ۱۶۳
نویز کوانتومی ۱۶۳
آرتیفکت پرتو مخروطی (come beam) ۱۶۳
سوالات CT ۱۶۴

فصل ۴: فراصوت ۱۷۳

درس‌نامه فراصوت ۱۷۳
محدوده امواج فراصوت ۱۷۳

سرعت صوت ۱۷۳
شدت صوت ۱۷۵
برهمکنش فراصوت با ماده ۱۷۵
بازتاب (R) ۱۷۵
انکسار ۱۷۶
پراکندگی ۱۷۷
تضعیف ۱۷۸
مبدل (ترنسدیوسر) اولتراسوند ۱۸۰
مواد پیزوالکتریک ۱۸۰
تشدید در مبدل ۱۸۰
بلوک میرایی (Damping Block) ۱۸۱
لایه تطبیقی ۱۸۲
ویژگی‌های پرتو فراصوت ۱۸۳
میدان نزدیک (ناحیه فرنل) ۱۸۳
میدان دور (ناحیه فرانهوفر) ۱۸۳
کانونی شدن امواج ۱۸۴
انتقال فوکوس ۱۸۴
قدرت تفکیک مکانی ۱۸۶
قدرت تفکیک محوری ۱۸۷
قدرت تفکیک جانبی ۱۸۸
قدرت تفکیک ارتفاعی ۱۸۹
قدرت تفکیک کنتراست ۱۹۱
دریافت تصاویر ۱۹۱
پیش‌تقویت و تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC) ۱۹۱
مدهای نمایش اکو ۱۹۲
تصویربرداری پالسی ۱۹۳
تصویربرداری Real-Time ۱۹۵
تصویربرداری هارمونیک ۱۹۷
سونوگرافی داپلر ۱۹۸
آرتیفکت‌ها ۲۰۰
آرتیفکت Refraction ۲۰۰
آرتیفکت Shadowing and Enhancement ۲۰۱
آرتیفکت Reverberation ۲۰۲
آرتیفکت Speed Displacement ۲۰۲
آرتیفکت Mirror image ۲۰۳
آرتیفکت ابهام ۲۰۴
آرتیفکت‌های Beam width ۲۰۴
سوالات فراصوت ۲۰۶

فصل ۵: رادیوبیولوژی و حفاظت پرتوی ۲۱۷

درس‌نامه رادیوبیولوژی و حفاظت پرتوی ۲۱۷

دوزیمتری پرتوها ۲۱۷

ارتباط پرتویی دوز-پاسخ ۲۱۸

منحنی پاسخ-دوز خطی بدون آستانه ۲۱۹

منحنی پاسخ-دوز خطی-درجه ۲ ..... ۲۱۹

منحنی پاسخ-دوز درجه ۲ ..... ۲۱۹

عوامل موثر بر حساسیت پرتوی ۲۲۰

عوامل فیزیکی موثر بر حساسیت پرتویی ۲۲۰

عوامل بیولوژیکی موثر بر حساسیت پرتوی ۲۲۳

عوامل ذاتی موثر بر حساسیت پرتوی ۲۲۴

رادیوبیولوژی مولکولی ۲۲۵

تاثیرات مستقیم و غیرمستقیم ۲۲۶

رادیوبیولوژی سلولی ۲۲۶

مراحل چرخه سلولی ۲۲۶

ناهنجاری‌های مشاهده شده در متافاز ۲۲۷

آثار پرتوها ۲۲۸

آثار قطعی پرتوها ۲۲۸

تاثیرات تصادفی پرتوها ۲۲۸

پاسخ معین بافت‌های بدن به پرتو ۲۲۸

حفاظت پرتویی ۲۳۱

منابع تابش زمینه زمینه ۲۳۱

پرتوگیری مبتنی بر فناوری ۲۳۳

پرتوگیری شغلی ۲۳۳

راه‌های حفاظت در برابر پرتو ۲۳۴

سوالات رادیوبیولوژی و حفاظت پرتوی ۲۳۵

پیشگفتار

امروزه استفاده از تصویربرداری پزشکی یکی از الزامات فرآیند تشخیص و درمان بیماری‌ها می‌باشد. از این‌رو روش‌های مختلف تصویربرداری نظیر تصویربرداری فراصوت، رادیوگرافی، CT و MRI گسترش یافته‌است. با توجه به پتانسیل‌های هر یک از روش‌های تصویربرداری و خصوصیات بیماری، یکی از روش‌های تصویربرداری برای تشخیص و نیز اطمینان از فرآیند درمان انتخاب می‌شود. بکارگیری صحیح روش‌های تصویربرداری مستلزم داشتن اطلاعاتی در خصوص فیزیک پایه مربوط به هر روش تصویربرداری و نیز چگونگی تشکیل تصویر می‌باشد. علاوه براین، برای داشتن یک تصویر مناسب، تنظیم پارامترهای تصویربرداری بسیار حائز اهمیت است.

با توجه به نیاز به دانش مفاهیم پایه فیزیک تصویربرداری ویژه دستیاران رادیولوژی، دانشجویان کارشناسی‌ارشد و دکترای فیزیک پزشکی و تصویربرداری پزشکی، در این کتاب سعی شده‌است با نگاه جامع به تمامی روش‌های تصویربرداری، فیزیک روش‌ها و عوامل تاثیرگذار بر کیفیت تصویر بیان شود. از این‌رو در هر فصل ابتدا مفاهیم با بیان بسیار ساده اما علمی و با کمترین روابط ریاضی و استفاده از شکل‌ها و جداول مناسب بیان شده‌است. سپس سوالات طرح شده در آزمون‌های بورد و ارتقاء تخصص رادیولوژی بصورت تشریحی حل گردیده است. این کتاب شامل ۵ فصل تصویربرداری تشدید مغناطیسی، رادیوگرافی، توموگرافی کامپیوتری، فراصوت و رادیوبیولوژی و حفاظت پرتوی می‌باشد.

امید است مطالب این کتاب بتواند در انتخاب بهترین پروتکل تصویربرداری کمک ناچیزی در تشخیص مناسب برای بیماران باشد. بی‌شک این کتاب بدون اشکال نخواهد بود و از خوانندگان محترم درخواست شکیبایی در تحمل نواقص احتمالی که در این کتاب است نموده و از آنان درخواست می‌نماییم نظرات و پیشنهادات سازنده خود را جهت رفع نواقص به ایمیل نویسندگان ارسال نمایند.

montazerabadia@mums.ac.ir

ghorbanifme@gmail.com

درس‌نامه MRI

فصل ۱

مقدمه

MRI مخفف سه کلمه مغناطش (Magnetic)، تشدید (Resonance) و تصویربرداری (Imaging) می‌باشد. در ادامه مطالب، بطور خلاصه هر یک از این سه بخش را توضیح می‌دهیم.

مغناطش (Magnetic)

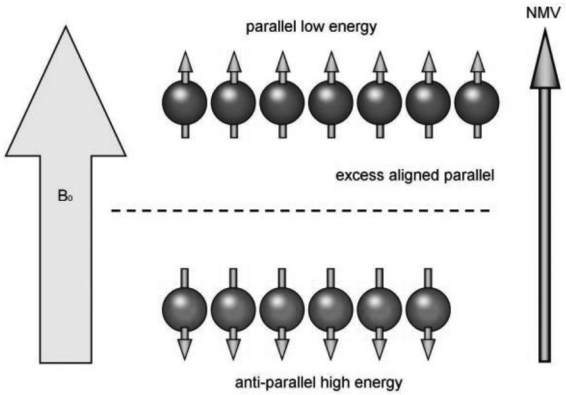
پروتون‌ها در هسته اتم دارای یک حرکت چرخشی به دور خود می‌باشند. از آنجا که بر طبق فیزیک مغناطیس، هر ذره باردار در حال چرخش یک میدان مغناطیسی در اطراف خود ایجاد می‌کند؛ بنابراین پروتون‌های موجود در هسته با چرخش خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کنند. در MRI، اغلب هسته اتم هیدروژن بدلیل داشتن یک تک پروتون با بار مثبت، دارای بزرگ‌ترین گشتاور مغناطیسی و از طرف دیگر بدلیل وفور زیاد در بافت بیولوژیکی (چربی و آب) مدنظر است.

در یک نمونه بافت، به دلیل تحریک گرمایی، اسپین‌ها به صورت تصادفی هستند در نتیجه بردار مغناطیسی برآیند همه پروتون‌ها صفر است. حال اگر یک میدان مغناطیسی خارجی اعمال شود، B_0، اسپین‌ها در دو سطح انرژی قرار خواهند گرفت، **شکل۱**.

۱- سطح پایین انرژی که با میدان خارجی هم‌سو است.

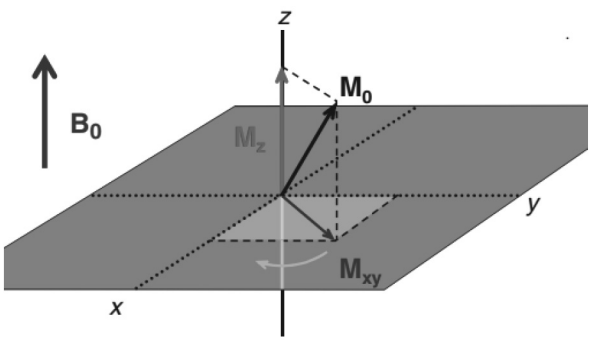
۲- سطح انرژی کمی بالاتر که با میدان خارجی هم‌راستا اما غیر هم‌سو است.

بدلیل اعمال B_0، تعداد اسپین‌های حالت اول کمی بیشتر از حالت دوم می‌شود. هر چه B_0 بیشتر باشد، تعداد اسپین‌های حالت اول (موازی میدان با سطح انرژی پایین‌تر) بیشتر خواهند بود به این دلیل استفاده از مگنت‌های با قدرت مغناطیسی بیشتر، حساسیت بیشتری را به‌همراه دارد. اما باز هم یک اختلاف بین تعداد آن‌ها وجود دارد. در حجم نمونه که مثلا در $1mm^3$ حدود 10^{18} پروتون وجود دارد. این اختلاف به اندازه‌ای است که یک گشتاور مغناطیسی قابل‌مشاهده در جهت میدان مغناطیسی خارجی ایجاد کند (چون تعداد پروتون‌ها در این جهت بیشتر است). به این گشتاور مغناطیسی M_z یا بردار مغناطیس اصلی می‌گوییم، **شکل۲**.



شکل ۱

• شکل ۱

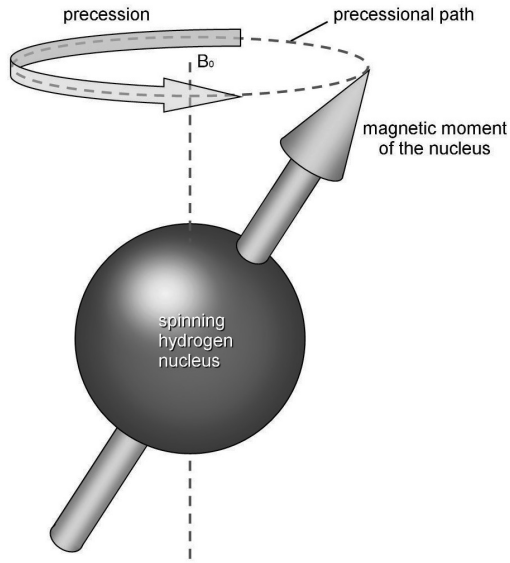


• شکل ۲

میدان مغناطیسی خارجی اثر دیگری هم روی پروتون دارد: در نبود B_0 پروتون تنها حول محور خود چرخش دارد (اسپین پروتون)، اما با اعمال B_0 پروتون‌ها مجبور به حرکت تقدیمی می‌شوند که مثل حرکت یک فرفره است و در **شکل۳** دیده می‌شود، فرکانس این حرکت تقدیمی(ω_0) که به فرکانس لارمور شناخته می‌شود به قدرت میدان مغناطیسی بر حسب تسلا ($B_0[T]$) نسبت ژیرومغناطیس ($\gamma[\frac{MHZ}{T}]$) وابسته است و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

هر عنصر نسبت ژیرومغناطیس مخصوص به خود را دارد، بنابراین سرعت زاویه‌ای پروتون‌های عناصر مختلف در یک میدان مغناطیسی معین، متفاوت خواهد بود. برای پروتون‌های هیدروژن $\gamma = 42.58\frac{MHz}{T}$ است.



• شکل ۳

براساس آنچه تا به الان ذکر شد، پروتون‌ها دارای اسپین و دارای حرکت تقدیمی حول محور هم راستا با میدان B_0 هستند و بدلیل اختلاف در تعداد، M_0 داریم. اما این پروتون‌ها ناهمفاز هستند بنابراین نمی‌توان از آن‌ها سیگنالی بدست آورد. به این علت پالس ۹۰ درجه RF اعمال می‌کنیم.

تشدید (Resonance)

برای منحرف کردن بردار مغناطش طولی از راستای میدان مغناطیسی، از پدیده تشدید استفاده می‌کنیم. از آنجا که می‌دانیم اسپین‌ها با فرکانس لارمور (به‌عنوان مثال در یک میدان 1.5T پروتون‌ها با فرکانس ۶۴ MHz به دور میدان B_0 نوسان می‌کنند) نوسان می‌کنند، برای منحرف کردن بردار مغناطش طولی (M_z) از راستای محور Z (راستای میدان مغناطیسی اصلی) از یک میدان مغناطیسی متغیر با فرکانس لارمور پروتون‌ها (۶۴MHz) استفاده می‌کنیم. با توجه به اینکه این فرکانس در محدوده امواج رادیویی است به آن پالس RF می‌گوییم.

پالس RF۹۰° چیست

یک موج الکترومغناطیس با یک ویژگی خاص که باعث می‌شود محور چرخش پروتون‌ها ۹۰ درجه تغییر کند. در حقیقت این پالس یک موج الکترومغناطیس رادیویی است که میدان مغناطیسی آن (B_1) خیلی کوچکتر از B_0 است، بعنوان مثال: $B_0 = 1.5 - 3T$ و $B_1 = 150mT$. **شکل ۴** تفاوت بین دو پالس RF با زاویه فیلیپ کوچک و بزرگ و مغناطش عرضی ناشی از آن‌ها را نشان می‌دهد. یک پالس $RF\alpha^\circ$، پالسی است که منجر به تغییر محور چرخش پروتون‌ها به اندازه α° می‌شود.