

تصویربرداری بر وزن انتشار یا تصویربرداری دیفیوژن (DWI)

- ذرات معلق در مایع یا گاز با یک حرکت تصادفی یا رندوم معروف به "حرکت براونی" جابجا می شوند که ناشی از برخورد این ذرات با اتمها یا مولکولهای موجود در گاز یا مایع است.
- اولین بار رابرت براون، گیاه شناس مشهور انگلیسی به کمک میکروسکوپ مشاهده کرد که دانه های گرده در آب راکد در حال حرکتند و به افتخار او حرکت براونی نامگذاری شد.
- دیفیوژن "حرکت براونی" است.
- تصویربرداری MRI با دید بسیار عالی که از بافت نرم به ما می دهد و با انواع توالی های تصویربرداری به یکی از مهمترین ابزارهای تشخیصی غیر تهاجمی برای تشخیص و ارزیابی پاسخ به درمان تومورهای مغزی تبدیل شده است. با این وجود، MRI کانونشنال محدودیت هایی در اینفیلتراسیون^۱ و گرید بندی تومورها دارد. بدیهی است که تشخیص دقیق تر می تواند کارایی تشخیص افتراقی را افزایش دهد. تصویربرداری DWI اطلاعات ساختاری قابل توجهی را در سطح سلولی ارائه می دهد و جنبه های پاتوفیزیولوژی را به خوبی نشان می دهد.
- دیفیوژن مولکولی در بافت ها به صورت آزادانه نیست و در نتیجه ی interactions با موانعی مثل ماکرومولکول ها ، فیبرها ، غشاها و غیره است.
- با درک دیفیوژن طبیعی مغز، می توانیم تغییراتی که در مغز متاثر از فرآیندهای مختلف بیماری را هست را تجزیه و تحلیل کنیم.
- دیفیوژن نتیجه حرکت تصادفی و میکروسکوپی مولکولهای آب در نتیجه برخورد حرارتی^۲ مولکولها در صفر مطلق حرکتی ندارند هر چه دما از صفر مطلق بالاتر رود حرکت براونی بیشتر می شود) می باشد.

^۱infiltration

^۲grading

^۳Diffusion-weighted imaging

^۴thermal collisions

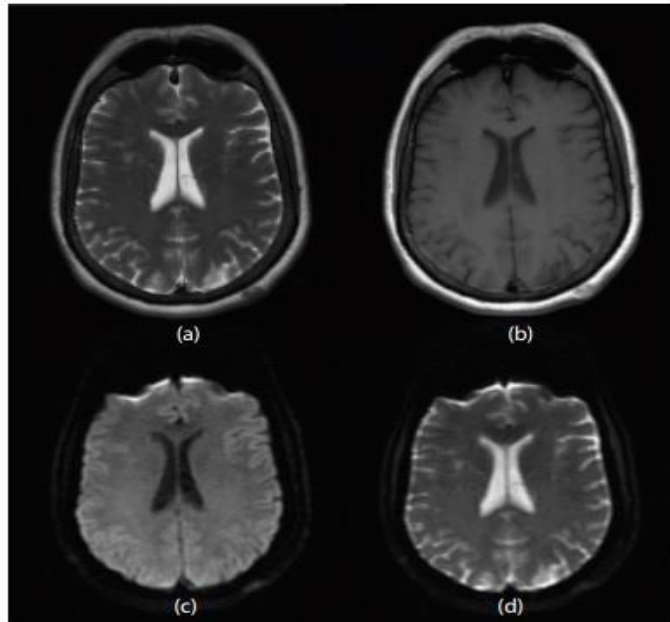


- DWI می تواند منعکس کننده خواص میکرو استراکچر یا ریز ساختار بافت باشد. اگرچه در ابتدا، DWI به عنوان یک روش مهم در ارزیابی سکته مغزی معرفی شد، تعدادی از مطالعات نشان می دهد که اطلاعات کمی بدست آمده توسط روش DWI می تواند به تشخیص افتراقی و گرید بندی تومور کمک کند، به خصوص در مورد نئوپلاسم مغزی.
- DWI همچنین نقش مهمی در پیگیری درمانی و ایجاد پیش آگهی در ضایعات مختلف مغزی دارد
- با توجه به نقش کلینیکی مهم آن، DWI باید جزئی از پروتکل های تشخیصی تصویربرداری از مغز باشد.
- میزان روشنایی هر وکسل یک تصویر دیفیوژن با شدت دیفیوژن متناسب است که شدت هم به نوبه ی خود با وزن دیفیوژن و گرادیان متناسب است، از این رو، بافت های نزدیک به آب از نظر ساختار، مثل CSF که پروتون های متحرک دارند، شدت دیفیوژن کمتری را نشان می دهند در حالی که بافت های استاتیک یا جامد به عنوان مثال، ماده سفید مغز سیگنال قوی تری می دهند. به معنی دیگر، کنتراست DW مانند وزن T1 یا معکوس وزن T2 رفتار می کند. (شکل پایین)

*microstructure

*follow-up





Axial T2 Image (a), T1 Image (b), DW image (c), and ADC image (d)

- سیگنال دفیوژن بستگی به درجه وزنی دفیوژن دارد که به آن پارامتر b گفته می شود. مقدار b عاملی است که منعکس کننده قدرت و مدت زمان اعمال پالس گرادیان است. بنابراین با نادیده گرفتن پروتون های ثابت و اندازه گیری سیگنال پروتون های متحرک، می توان میزان دفیوژن که در یک جهت خاص اتفاق افتاده است را تعیین کرد.
- یک پالس سکانس گرادیان اسپین اکو برای تصویربرداری دفیوژن بکار می رود. توالی اسپین اکو استاندارد با استفاده از یک جفت گرادیان (G_{diff}) به دفیوژن حساس می شود از یک جفت گرادیان برای (Diffusion-encoding) طی زمان TE استفاده می شود، به طوری که تغییر فاز بستگی به

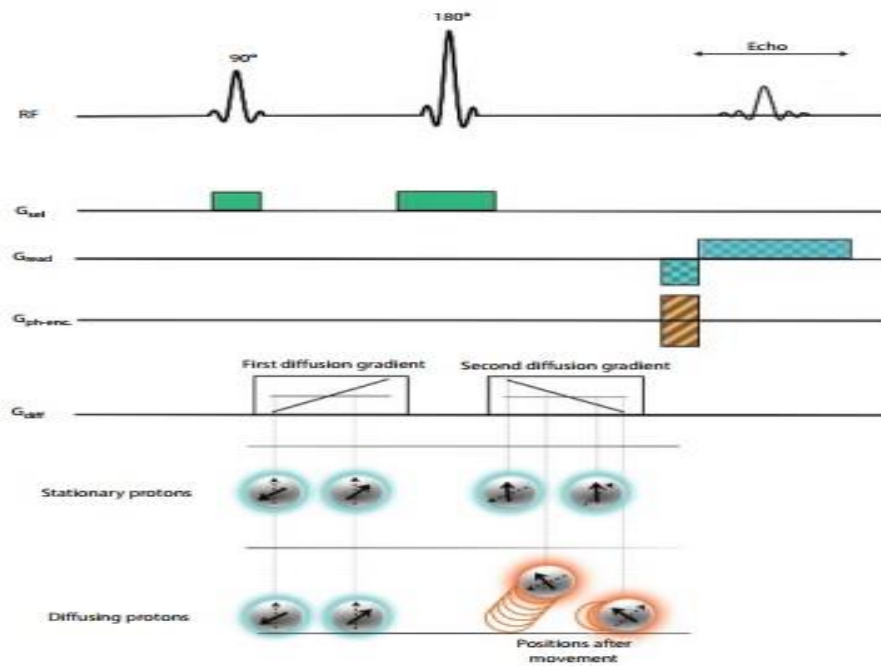
γ b-value

\wedge pulse-gradient spin-echo sequence



محل اولین پالس گرادیان دارد. پالس ۱۸۰ درجه RF اعمال می شود و دومین پالس گرادیان موجب دوباره هم فاز شدن اسپین های ثابت می شود در حالی که اسپین های دیفیوژن از فاز خارج می شوند.

می توان نشان داد که برای یک وزن دیفیوژن ثابت، سیگنال در آزمایش DW توسط معادله زیر نشان



داده می شود:

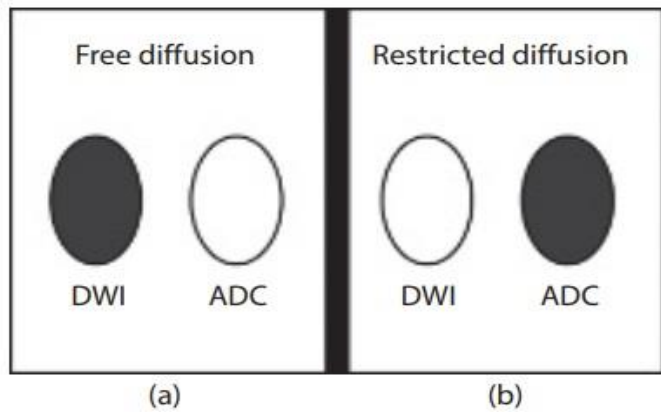
- S_0 شدت سیگنال در غیاب هر نوع وزن T_2 یا دیفیوژن است، TE زمان اکو و D میزان دیفیوژن ظاهری که معمولاً ضریب انتشار ظاهری یا (ADC) نامیده می شود.
- از آنجا که بافت ها دارای ساختار پیچیده ای هستند، معمولاً میانگین اندازه گیری چندین فرآیند در نظر گرفته می شود و لزوماً میزان $self-diffusivity$ ذاتی آب نشان داده نمی شود، به همین دلیل اصطلاح "apparent" $Apparent$ Diffusion Coefficient را بکار می بریم.
- توجه داشته باشید که ADC در تصایر دیفیوژن براساس حداقل دو مقدار متفاوت b و طبق معادله زیر محاسبه می شود:

^۱Apparent Diffusion Coefficient

$$\text{ADC image} = \left(-\frac{1}{b} \right) \ln \left(\frac{\text{DW image}}{\text{T2}_w \text{ image}} \right)$$

○ شدت سیگنال DWI و

ADC نسبت به خصوصیات دیفیوژن در شکل زیر نشان داده شده است. هنگامی که دیفیوژن محصور نیست، سیگنال DWI کم است و سیگنال ADC زیاد است (a). هنگامی که محدودیت انتشار وجود دارد، سیگنال DWI زیاد است و سیگنال ADC کم است (b).



○ از آنجا که کوچکترین حرکت بیمار در حین

تصویربرداری DW می تواند اثر حرکت میکروسکوپی آب به دلیل دیفیوژن را تحت تاثیر قرار دهد، برای DWI بالینی، توالی های تصویربرداری سریع ضروری است.

○ برای تصویربرداری DW، بیشتر از تکنیک تصویربرداری single-shot echo-planar imaging استفاده می شود.

○ الزامات خاصی برای مطالعات دیفیوژن اعمال می شود: اول، زمان تصویربرداری معقول (یعنی تصویربرداری سریع). دوم، برش های متعدد تعداد (۱۵-۲۰) برش برای پوشاندن بیشتر مغز، رزولوشن مکانی خوب (۳ تا ۵ میلی متر، ۱-۳ میلی متر در in-plane، TE ۱۲۰ میلی ثانیه برای کاهش استحاله T2 و حساسیت دیفیوژن (ADC ~ 0.2-1 × 10⁻³ mm²/s) برای بافت های مغز.

\restricted
\restriction



- سکانس EPI سریع و غیر حساس به حرکت کوچک است. همچنین در اکثر اسکنرهای MRI بالینی به راحتی قابل دسترسی است. از آنجا که تصاویر را می توان در کسری از ثانیه به دست آورد، آرتیفکت حاصل از حرکت بیمار به شدت کاهش می یابد.
 - محدودیت های EPI عبارتند از: رزولوشن مکانی محدود به دلیل ماتریس های تصویربرداری کوچکتر و همچنین اثر تار شدن کار نتیجه ی استحال $T2^*$ در هنگام **image readout**. محدودیت های دیگر: حساسیت به آرتیفکت به دلیل ناهمگن بودن میدان مغناطیسی، اثرات جابجای شیمیایی^{۱۲} **ghosting** و **susceptibility effects** است که از اهمیت ویژه ای برخوردار است، زیرا منجر به اعوجاج مشخص و از دست رفتن سیگنال در نزدیکی حفره های هوا، به ویژه در قاعده جمجمه و **posterior fossa** می شود و باعث کاهش حساسیت **DWI** با EPI در این مناطق می شود.
 - تکنیک های جایگزین **DWI** شامل: **multi-shot EPI** با تصحیح **navigator echo** یا روش **PROPELLER**^۴ و روش های تصویربرداری موازی^۵ مانند روش **sensitivity encoding** (**SENSE**) می باشد. استفاده از چنین تکنیک هایی باعث افزایش پهنای باند در هر وکسل در جهت کدگذاری فاز می شود، بنابراین آرتیفکت ناشی از ناهمگنی میدان کاهش می یابد، مانند مواردی که ناشی از **eddy currents** و **susceptibility** است.
- محدودیت های **DWI**:
- **DWI** نسبت به حرکت بیمار در اسکنر بسیار حساس است.
 - توالی **DWI** به **restricted diffusion** حساس است، اما برای تشخیص آن اختصاصی نیست.
 - سیگنال **DWI** مستعد تحت تاثیر قرار گرفتن از سیگنال **T2** است که از آن به عنوان اثر **"T2 shine through"** یاد می شود. یعنی افزایش سیگنالی که در تصاویر با وزن **T2** در مناطقی با ادم سایتوتوکسک^۶ دیده می شود، در تصاویر **DWI** نیز دیده می شود. برای تعیین اینکه آیا

^۱blurring effect

^۲chemical shift effects

^۳periodically rotated overlapping parallel lines with enhanced reconstruction

^۴parallel imaging

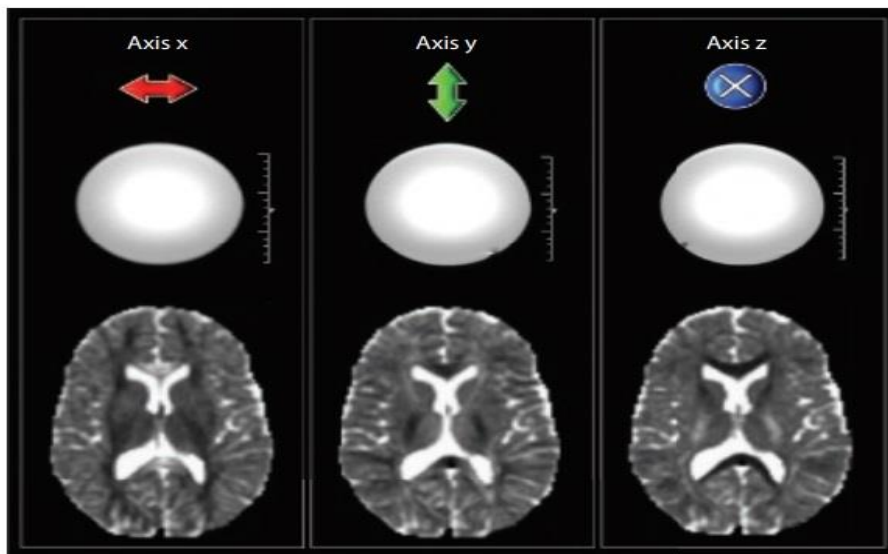
^۵cytotoxic edem



این سیگنال بیش از حد در تصاویر DWI نشان دهنده کاهش دفیوژن است، باید از نقشه ADC استفاده شود.

○ سکانس ADC به اندازه سکانس DWI برای restricted diffusion حساس نیست، اما اختصاصی تر است. تصاویر ADC مستعد اثر "T2 shine through" نیستند زیرا تصاویر "نسبی" هستند.

○ متأسفانه، ADC نیز محدودیت هایی دارد که به جهت اعمال گرادیان diffusion encoding بستگی دارد: همانطور که در شکل نشان داده شده است. این اثر، البته ما را قادر می سازد تا اطلاعات ارزشمندی را در مورد ساختار مغز استخراج کنیم، همچنین نشان می دهد که ADC به جهت وابسته است. از آنجا که ADC تحت تاثیر جهت گرادیان و همچنین پوزیشن بیمار و حرکت سر بیمار می باشد انجام ADC به تنهایی برای توصیف دفیوژن در بالین ناکافی است.



ADC map
"relative"