

## تصویربرداری تانسور دیفیوژن (DTI)

- تصویربرداری تانسور دیفیوژن **specificity** بالایی دارد و پاتولوژی را زودتر و به روش کمی شناسایی می کند.
- در این روش ساختار میکرو مغز می تواند به طور عمیق مورد بررسی قرار گیرد.
- با استفاده از DTI امکان بررسی اتصال عملکردی در مغز، با ارزیابی ترکتهای ماده سفید مغز وجود دارد.

### نکاتی در رابطه با DTI:

- ADC به جهت وابسته است.
- یک ADC منفرد برای توصیف دیفیوژن داخل بدن ناکافی است.
- تانسور دیفیوژن، یک بیضی گون را توصیف می کند که نشان دهنده ی جهت حرکت مولکول های آب در داخل وکسل است.

Functional connectivity

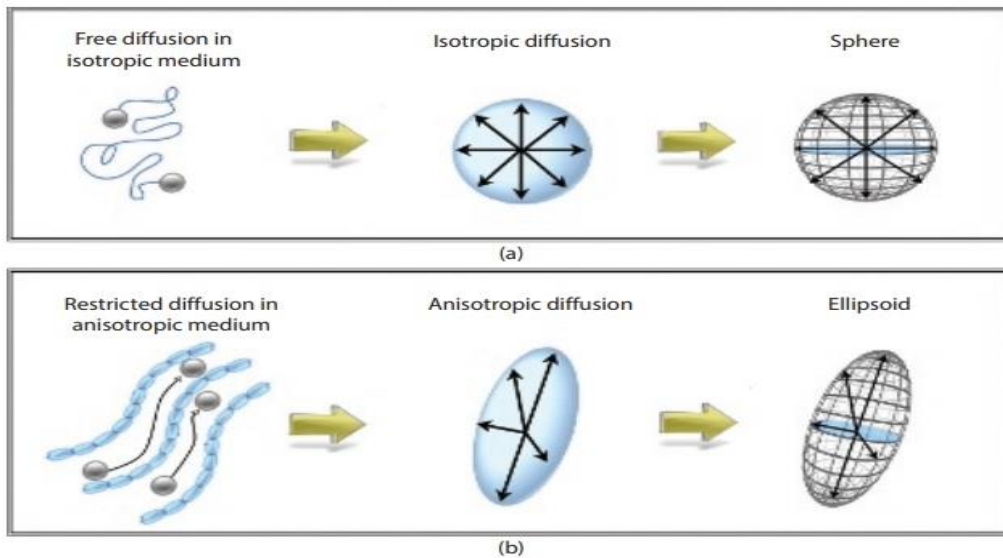
گروه آموزشی سیستم های تصویربرداری پزشکی کمی (QMISG)

تهران، بلوار کشاورز، مجتمع بیمارستانی امام خمینی، ساختمان پرویز کابلی، مرکز تحقیقات تصویربرداری سلولی و مولکولی

تلفن: ۰۲۱-۶۶۵۸۱۵۰۵ همراه: ۰۹۱۰۵۸۷۱۱۸۲ وبسایت: [www.qmisg.com](http://www.qmisg.com)



- Free diffusion در محیط ایزوتروپیک می تواند توسط یک کره نشان داده شود (a) ، در حالی که restricted diffusion در یک محیط ناهمسانگرد (به عنوان مثال ماده سفید مغز) می تواند توسط یک بیضی (b) نشان داده شود.



- DTI، پیشرفته ی روش DWI است و برای اصلاح محدودیت های DWI، با بهره گیری از روشی که آب برای دیفیوژن در بافت مغز دارد شکل گرفته است. انتشار آب در مغز به دلیل وجود موانع طبیعی داخل سلولی (نوروفیلانمنت و ارگانل) و موانع خارج سلولی (سلولهای گلیال و غلافهای میلین) که انتشار را به سمت جهتهای خاصی محدود می کند، یک فرآیند ایزوتروپیک نیست.
- ناهمسانگردی دیفیوژن لوکال را، با محاسبه پارامترهای "rotationally invariant" و با استفاده از داده های تانسور می توان بیان کرد. رایج ترین شاخص هایی که می توان محاسبه کرد:

anisotropic



میانگین دیفیوژن (MD) <sup>۳</sup> یا "Trace" و ناهمسانگردی کسری (FA) <sup>۴</sup> است. MD میانگین مقادیر ویژه است و میانگین دیفیوژن آب را نشان می دهد، در حالی که FA انحراف استاندارد سه مقادیر ویژه است.

○ از نظر تحلیلی، trace حاصل جمع سه عنصر قطری دیفیوژن تانسور یعنی (Dxx + Dyy + Dzz) است که می توان نشان داد که با جمع سه مقدار ویژه آن برابر است.

○ میانگین trace (trace/3) برابر با میانگین دیفیوزیتی متوسط است.

$$D = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} & D_{xz} \\ D_{yx} & D_{yy} & D_{yz} \\ D_{zx} & D_{zy} & D_{zz} \end{bmatrix}$$

تصویر MD (trace/3) در شکل زیر نشان داده شده است که از میانگین

شاخصهای ADC در طول سه محور ارتوگونال تولید می شود. این میانگین باعث از بین رفتن کنتراست در پارانشیم در نقشه MD می شود. با این وجود، پیرپولی و همکاران (۱۹۹۶)، نشان دادند که در محدوده b-value ای که معمولاً در مطالعات بالینی مورد استفاده قرار می گیرد یعنی (b < 1500 s / mm<sup>2</sup>)، MD نسبتاً در تمام پارانشیم یکنواخت است.

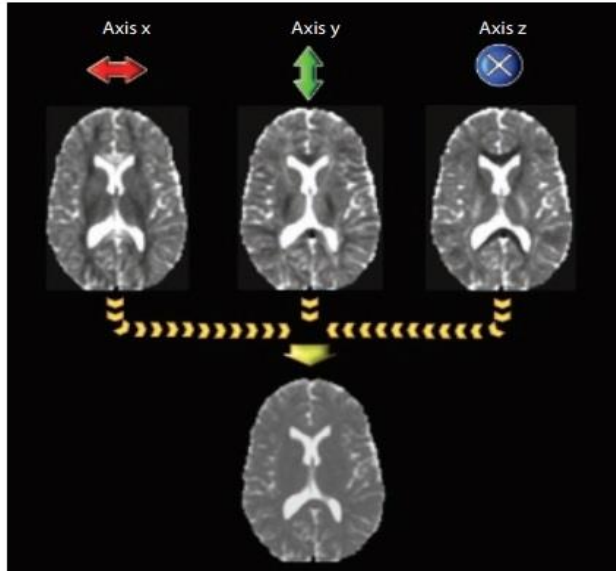
○ میانگین سه ADC maps برابر است با MD که از نظر ریاضی معادل با یک سوم trace دیفیوژن تانسور است

<sup>۲</sup>mean diffusivity

<sup>۴</sup>fractional anisotropy

<sup>۳</sup>MD map





FA و RA

شاخص های

توسط

$$FA = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{\sqrt{(\lambda_1 - \langle \lambda \rangle)^2 + (\lambda_2 - \langle \lambda \rangle)^2 + (\lambda_3 - \langle \lambda \rangle)^2}}{\sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2}}$$

معادلات زیر تعریف می

$$RA = \sqrt{\frac{1}{2}} \frac{\sqrt{(\lambda_1 - \langle \lambda \rangle)^2 + (\lambda_2 - \langle \lambda \rangle)^2 + (\lambda_3 - \langle \lambda \rangle)^2}}{\langle \lambda \rangle}$$

شوند:

- هر دو پارامتر نشان می دهد که بیضه گون دیفیوژن تا چه اندازه کشیدگی دارد. از این رو، اطلاعات ارائه شده توسط این دو شاخص اساساً یکسان هستند، اگرچه پارامتر FA بسیار مورد استفاده است. یک نقشه FA، میزان روشنایی سیگنال و کسل و میزان ناهمسانگردی<sup>۸</sup> در

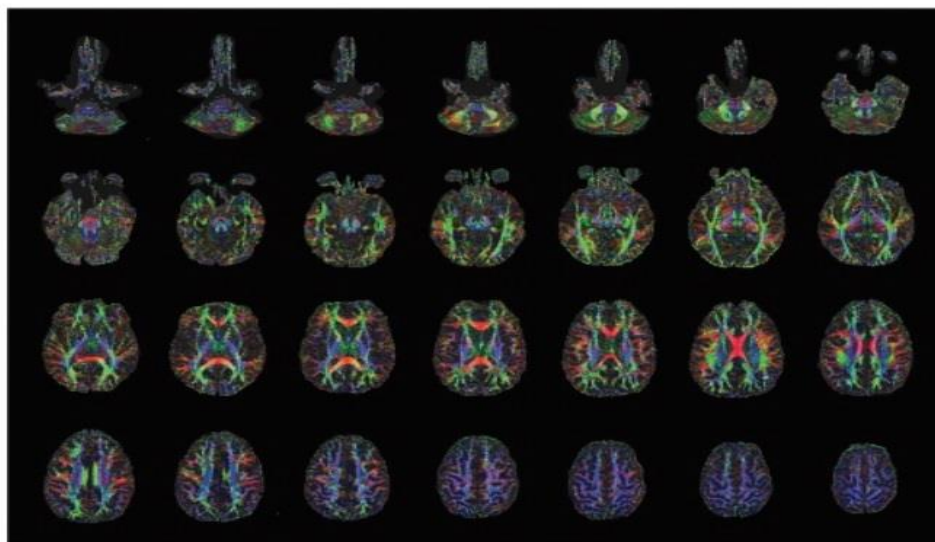
<sup>۸</sup>relative anisotropy

<sup>۷</sup>FA map

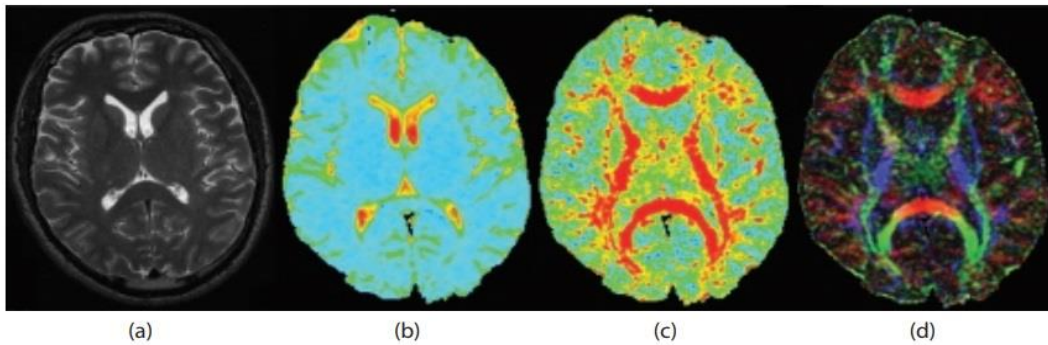
<sup>۶</sup>anisotropy



وکسل را شرح می دهد. بسته به ساختار بافت، FA از ۰ تا ۱ متغیر است. مقدار نزدیک به ۰ نشان می دهد که دیفیوژن در وکسل ایزوتروپیک است (unrestricted water movement) مانند مناطقی از CSF، در حالی که مقدار نزدیک به ۱، یک محیط بسیار ناهمسانگرد را توصیف می کند مانند corpus callosum که در آن مولکول های آب در امتداد یک محور واحد دیفیوژن می شوند. FA برای کل مغز در شکل زیر آورده شده است:



- جهت دیفیوژن در مناطق مورد نظر می تواند توسط نقشه رنگی کد شده جهت دار DEC نشان داده شود که در شکل زیر نشان داده شده است.
- به طور خاص، بردار ویژه با بزرگترین مقدار ویژه جهت گیری بیضی گون را در هر وکسل تعریف



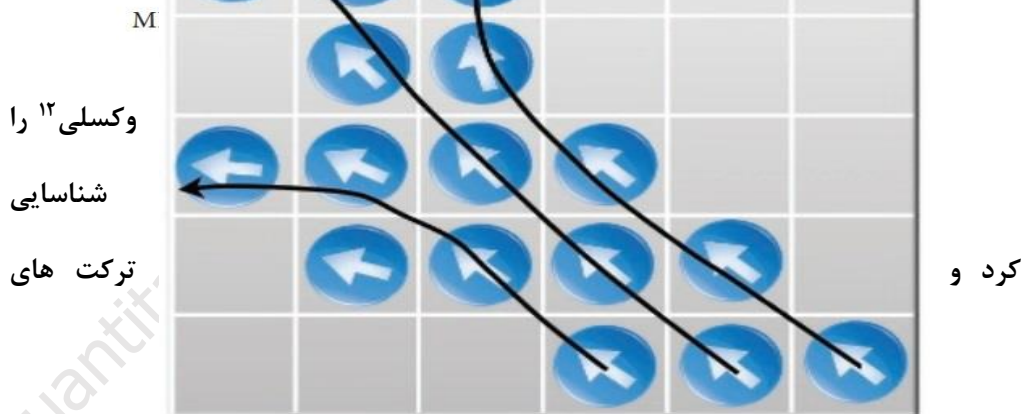
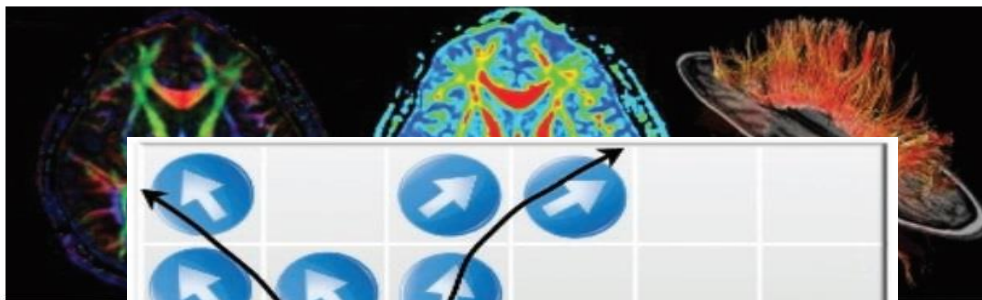
Comparison of T2-weighted (a), average diffusion coefficient (DC) (b), fractional anisotropy (FA) map (c), and color-coded orientation map (d). Images were acquired using a 3.0 T scanner. The colors represent the orientations of fibers; red: right-left, green: anterior-posterior, and blue: superior-inferior.

می کند که برای ارزیابی و نمایش اطلاعات در مورد جهت tract های ماده سفید، می تواند با کدهای رنگی نمایش داده شود. بنابراین بیضی توصیف کننده دیفیوژن از چپ به راست (محور X) قرمز، بیضی توصیف کننده دیفیوژن قدامی خلفی (محور Y) سبز رنگ و دیفیوژن در جهت کرانیوکودال به رنگ آبی (محور Z) است. این روش یک نقشه خلاصه کاربر پسند و راحت را فراهم می کند که به کمک آن می توان میزان ناهمسانگردی (از نظر میزان روشنایی سیگنال) و جهت گیری فیبر موجود در وکسل (از نظر رنگ) را تعیین کرد. به این ترتیب نورولوژیست ها می توانند این اطلاعات را با آناتومی مغز نرمال ارتباط دهند و ترک های ماده سفید را مشخص کنند و تأثیر ضایعات را بر روی الیاف ماده سفید همسایه ارزیابی کنند.

<sup>a</sup>directionally encoded color

## تراکتوگرافی فیبر<sup>۱۰</sup>

- ساختار بافت ماده سفید مغز می تواند ناهمسانگردی دیفوژن را نشان دهد از این رو، با در نظر گرفتن ترکیبی از مقادیر FA با جهت دهی! می توان تخمین هایی از جهت گیری فیبر را بدست آورد. این ایده منجر به توسعه تراکتوگرافی فیبر شده است که نقشه برداری از ترکتهای ماده سفید مغز را بطور غیرمستقیم امکان پذیر می سازد، همانطور که در شکل نشان داده شده است.
- الگوریتم های مختلفی برای fiber tractography ایجاد شده است، اما ایده اصلی این است که با دنبال کردن جهت گیری تانسور به صورت وکسل به وکسل، می توان اتصالات داخل



- \Fiber Tractography
- \directionality
- \intravoxel connections

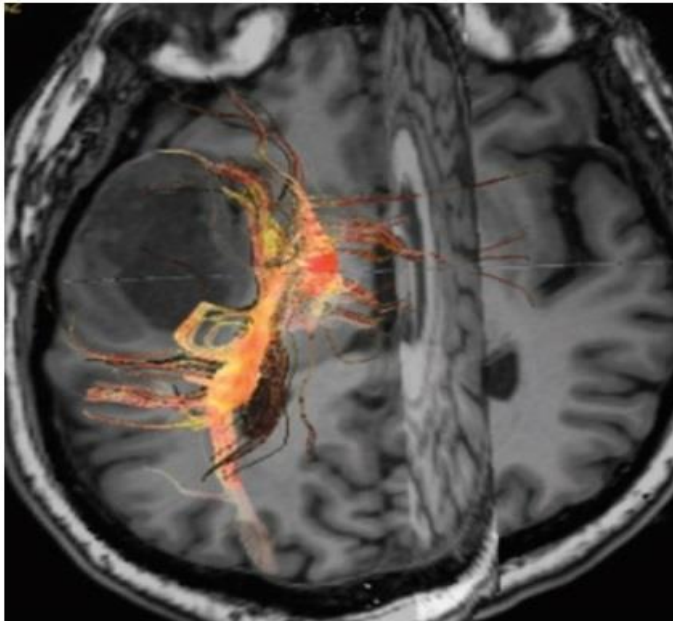


فیبر را با استفاده از تکنیک های گرافیکی رایانه نمایش داد.

- ارزیابی تشخیصی در مورد جابجایی یا اختلال در ترکت های فیبر در نتیجه ی پاتولوژی توسط 3D tractogram صورت می پذیرد همانطور که در شکل نشان داده شده است (جابجایی در ترکت ها در یک

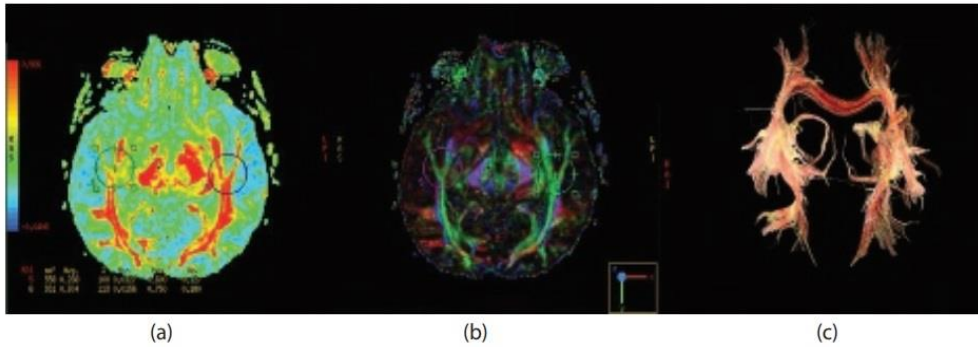
مغزی)

کیس تومور





- به منظور تولید ترکت، کاربر باید منطقه موردنظر "seed" یعنی ROI<sup>۱</sup> خود را بر روی نقشه جهت گیری رنگ<sup>۲</sup> تعریف کند که در تجسم<sup>۳</sup> جهت گیری ترکت های ماده سفید مغز بسیار مفید است و در اکثر برنامه های نرم افزاری به عنوان "Structural View"<sup>۴</sup> تعریف می شود. برای



FA map (a), ROI placement on colored orientation map (b), and fiber tracts (c).

نمایش ترکت های ماده سفید که از یک ROI به ROI دیگر جهت گیری شده است، باید ROI دوم را روی تصویر قرار دهید و یک ROI "هدف" تعریف کنید. این موضوع در شکل زیر نشان داده شده است.

- این تکنیک ها همچنین اطلاعات مفیدی را در رابطه با برنامه ریزی قبل از عمل جراحی ارائه می دهند. با این وجود، محدودیت هایی از قبیل ترکت های پیچیده یعنی ترکت های متقاطع و ترکت های منحرف شده به یک سمت (crossing or branching fibers) وجود دارد که ممکن

<sup>۱</sup>Region of interest

<sup>۲</sup>color orientation map

<sup>۳</sup>visualizing

<sup>۴</sup>"target"ROI

است منجر به برآورد غلط ترکت های ماده سفید مغز شود و همچنین در ارزیابی شاخصهای دیفیوژن مانند FA یا MD ممکن است مشکل ایجاد کند. در DTI، گرادیان دیفیوژن در جهات مختلفی اعمال می شود و تعداد گرادیان های non-collinear اعمال شده از (۶ تا ۵۵) عدد متفاوت است. نقطه ضعف اصلی افزایش تعداد گرادیان در DTI، زمان تصویربرداری است که به طور همزمان افزایش می یابد و ممکن است در بالین کاربرد نداشته باشد. بنابراین، مثل همیشه بین زمان تصویربرداری و تعداد گرادیان های بکار رفته در جهت بدست آوردن اطلاعات دیفیوژن، یک trade-off وجود دارد. DTI در نخاع، در ارزیابی آسیب های حاد و مزمن، تومور کانال نخاعی، میالوپاتی دژنراتیو، بیماری های دمیلینه کننده و عفونت دهنده و موارد دیگر مورد استفاده

قرار گرفته است و یک روش با حساسیت و اختصاصیت بالاست. شکل زیرموردی از تراکتوگرافی کانال نخاعی را نشان می دهد.



منبع: Advanced MR Neuroimaging

