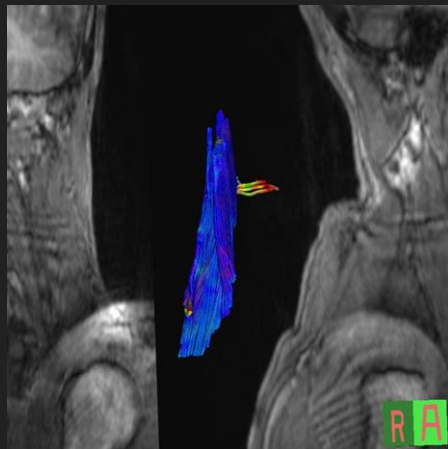


VAI TRÒ CỘNG HƯỞNG TỪ KHUẾCH TÁN THEO LỰC (DTI) VÀ CỘNG HƯỞNG TỪ BÓ SỢI THẦN KINH (DTT) TRONG BỆNH LÝ TỦY SỐNG



QUY NHƠN, 24-06-2023

BsCKI Đặng Văn Anh Kiệt

PGS. TS Lê Văn Phước

Khoa CHẨN ĐOÁN HÌNH ẢNH

Bệnh viện Chợ Rẫy

NỘI DUNG

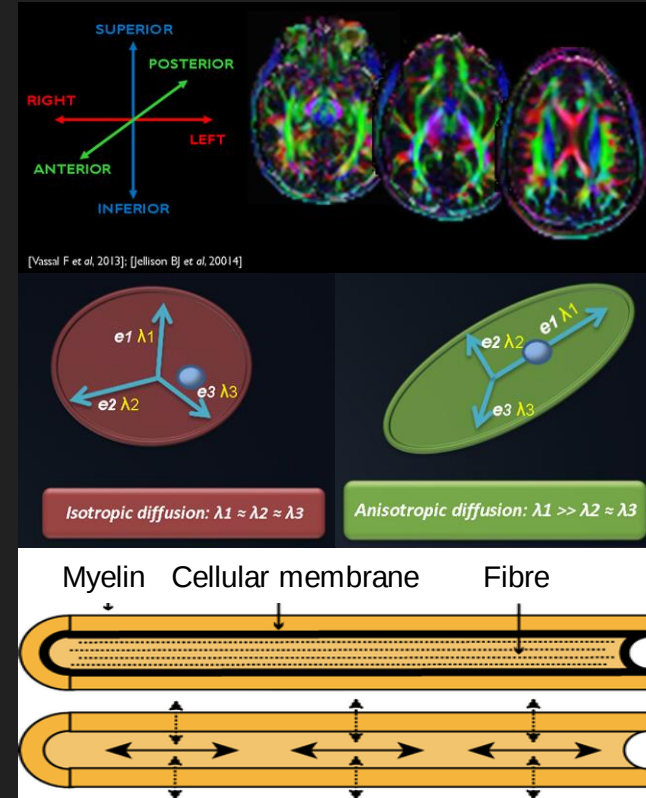
1. Giới thiệu
2. Nguyên lý DTI, DTT & các tham số DTI - ý nghĩa sinh học
3. Vai trò DTI, DTT trong bệnh lý tủy sống
4. Hạn chế
5. Ca minh họa
6. Tóm tắt
7. Kết luận

GIỚI THIỆU

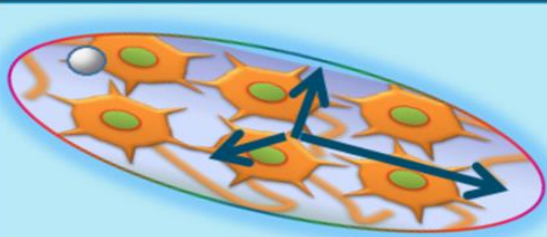
- ❖ Cộng hưởng từ khuếch tán theo lực (DTI) là một kỹ thuật tiên tiến không xâm lấn cho phép đánh giá định tính và định lượng về tính toàn vẹn của các cấu trúc chất trắng.
- ❖ Cộng hưởng từ bó sợi thần kinh (DTT) trình bày hình ảnh ba chiều về các bó sợi chất trắng theo hướng của các sợi trục.
- ❖ Kỹ thuật DTI và DTT phát triển trong những năm gần đây như một kỹ thuật bổ sung có giá trị trong chẩn đoán và phân biệt các bệnh lý khác nhau của tủy sống (chấn thương, u, thoái hóa, nhiễm trùng, hủy myelin,...)
- ❖ DTI có thể đánh giá tính toàn vẹn của sợi trục và hướng khuếch tán, cho phép đánh giá cả định tính và định lượng, bằng cách đo các tham số FA (phân suất bất đẳng hướng) và ADC (hệ số khuếch tán biểu kiến) của tủy sống.

NGUYÊN LÝ DTI & DTT

- ❖ DTI là tối ưu hóa của kỹ thuật cộng hưởng từ khuếch tán (DWI) thường quy (chỉ xác định và định lượng mức độ chuyển động của nước bên trong các mô sinh học)
- ❖ DTI cho phép xác định, mô tả đặc điểm và định lượng sự tồn tại hướng chuyển động chủ đạo của các phân tử nước bên trong các mô sinh học
 - Thông tin chuyển động của phân tử nước lấy từ nhiều hướng của không gian (6 đến 128 hướng) → thu được 3 vector riêng (λ_1 , λ_2 và λ_3) với giá trị phản ánh mức độ chuyển động của phân tử nước (mm^2/s - diện tích dịch chuyển trên một đơn vị thời gian)
 - Khuếch tán đẳng hướng (chuyển động không ưu tiên theo bất kỳ hướng nào)
 - Khuếch tán dị hướng (phân tử nước chuyển động theo một hướng chủ đạo)
 - Cấu trúc có tính dị hướng (chất trắng, dây thần kinh ngoại biên, cơ) → các rào cản sinh lý tại bao myelin, màng tế bào góp phần vào sự tồn tại hướng chuyển động chủ đạo của nước trong sợi thần kinh (cao dọc theo trục của bó chất trắng và thấp ở hướng vuông góc)



NGUYÊN LÝ DTI & DTT

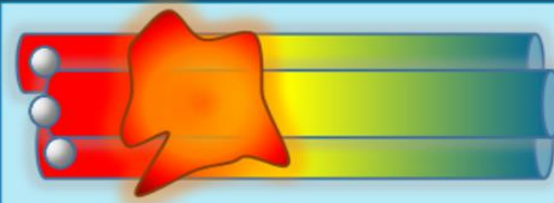


$$MD = \frac{Tr(D)}{3} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}{3}$$

Mean Diffusivity (MD)

Ý nghĩa: định lượng sự chuyển động của nước trong khoang ngoại bào (chính xác hơn ADC)

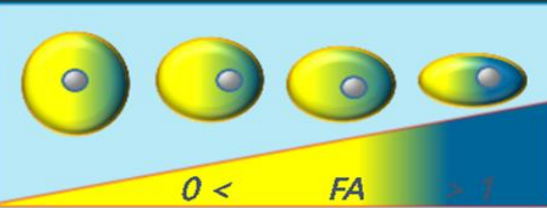
Đơn vị: $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$



$$\lambda_1 = \lambda_{\parallel}$$

Axial Diffusivity (AD)

Ý nghĩa: sự khuếch tán của phân tử nước theo trục chính/hướng // sợi trục
Đơn vị: $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$

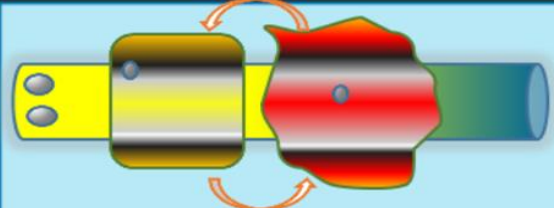


$$FA = \frac{\sqrt{\frac{1}{2}[(\lambda_1 - \lambda_2)^2 + (\lambda_2 - \lambda_3)^2 + (\lambda_3 - \lambda_1)^2]}}{\sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2}}$$

Fractional Anisotropy (FA)

Ý nghĩa: chỉ số phản ánh cách tổ chức trong sợi trục, tính toàn vẹn chất trắng

Đơn vị: giá trị từ 0 (đẳng hướng) - 1 (dị hướng)



$$\lambda_{\perp} = \frac{(\lambda_2 + \lambda_3)}{2}$$

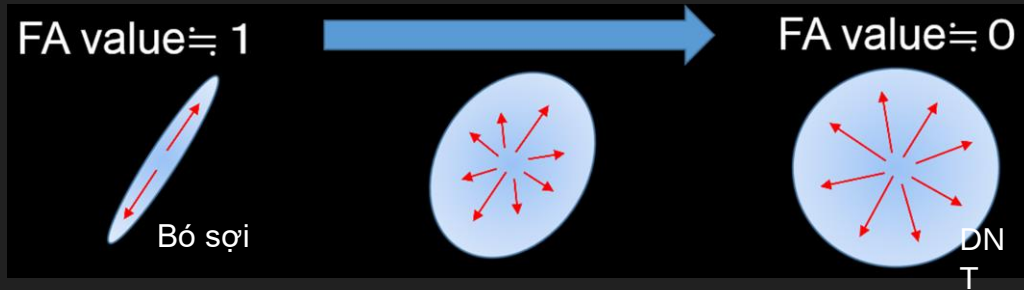
Radial Diffusivity (RD)

Ý nghĩa: sự khuếch tán của nước theo 2 trục ngắn ($\perp$ sợi trục)
Đơn vị: $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$

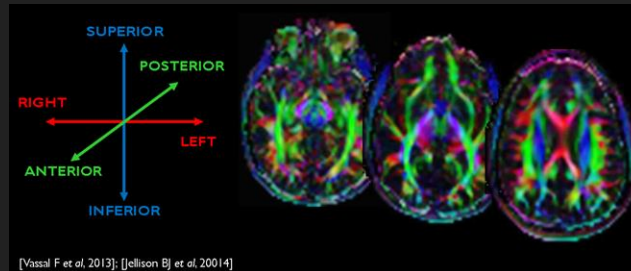
NGUYÊN LÝ DTI & DTT

❖ FA định lượng mức độ khuếch tán dị hướng (có hướng) từ 0 đến 1.

- $FA = 0 \rightarrow$ chuyển động đẳng hướng (mô không có tổ chức).
- $FA = 1 \rightarrow$ chuyển động rất dị hướng (hoặc có hướng) (chất trắng, dây thần kinh, cơ).

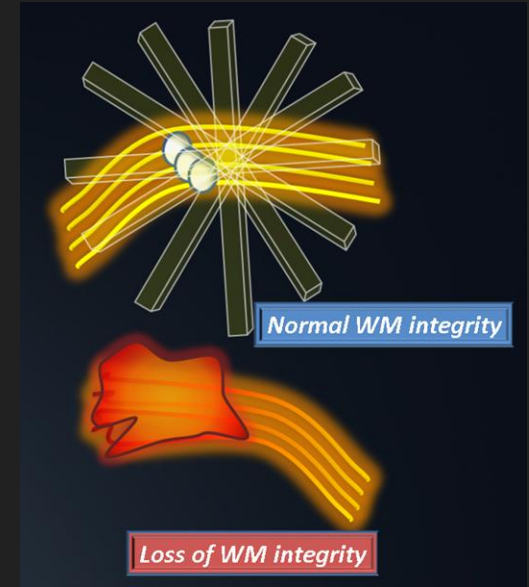


❖ Bản đồ mã hóa màu FA $\rightarrow$ màu đại diện cho hướng, độ sáng đại diện cho FA



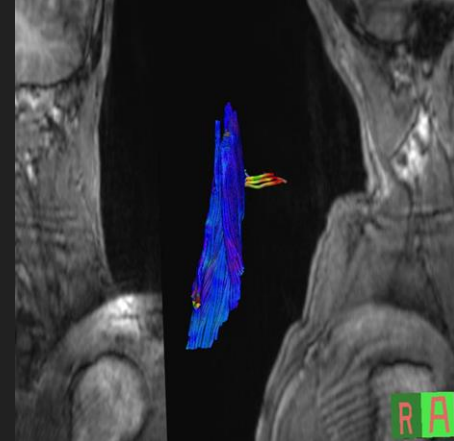
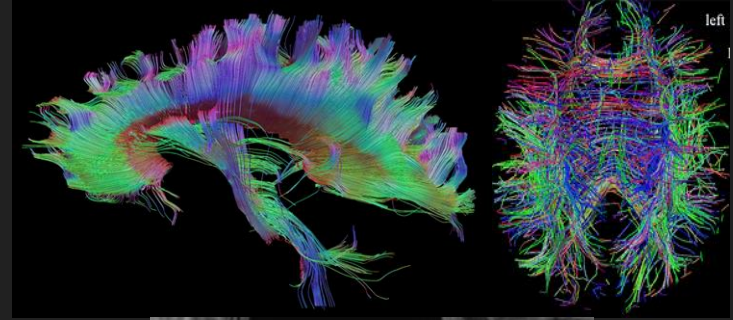
NGUYÊN LÝ DTI & DTT

- ❖ Thông thường, trong các tế bào thần kinh nguyên vẹn, giá trị FA là gần 1 vì mức độ bất đẳng hướng cao.
 - Khi có bất kỳ tổn thương nào đối với màng sợi trục, sự khuếch tán tại mức đó trở thành không bị giới hạn và đẳng hướng.
 - FA đo lường mức độ myelin hóa, với các giá trị FA cao hơn cho thấy sợi thần kinh trong tủy sống còn nguyên vẹn hơn.
- ❖ Trong tổn thương sợi trục
 - $FA \downarrow$ → mất tính tổ chức của cấu trúc sợi trục/myelin
 - $MD \uparrow$ → tăng kích thước khoang ngoại bào (phù, sung huyết), phá vỡ cấu trúc sợi trục (hoại tử,...)
- ❖ FA có độ nhạy cao nhưng độ đặc hiệu thấp đối với tổn thương sợi trục, phát hiện tổn thương khi hình ảnh MRI thường quy bình thường



NGUYÊN LÝ DTI & DTT

- ❖ Dữ liệu thu thập được sau đó được tái tạo lại để tạo thành hình ảnh ba chiều (tractography) với thuật toán chuyên dụng
- ❖ Tractography cho thấy định hướng kiến trúc của các mô. Chúng thường được mô tả là đại diện cho sợi trục hoặc sợi thần kinh riêng lẻ, nhưng về mặt vật lý, chúng chỉ là những đường đại diện cho hướng khuếch tán tối đa.
- ❖ Bó sợi luôn luôn thể hiện bằng màu xanh lam ở cột sống vì các sợi chủ yếu là hướng đầu - chân



NGUYÊN LÝ DTI & DTT

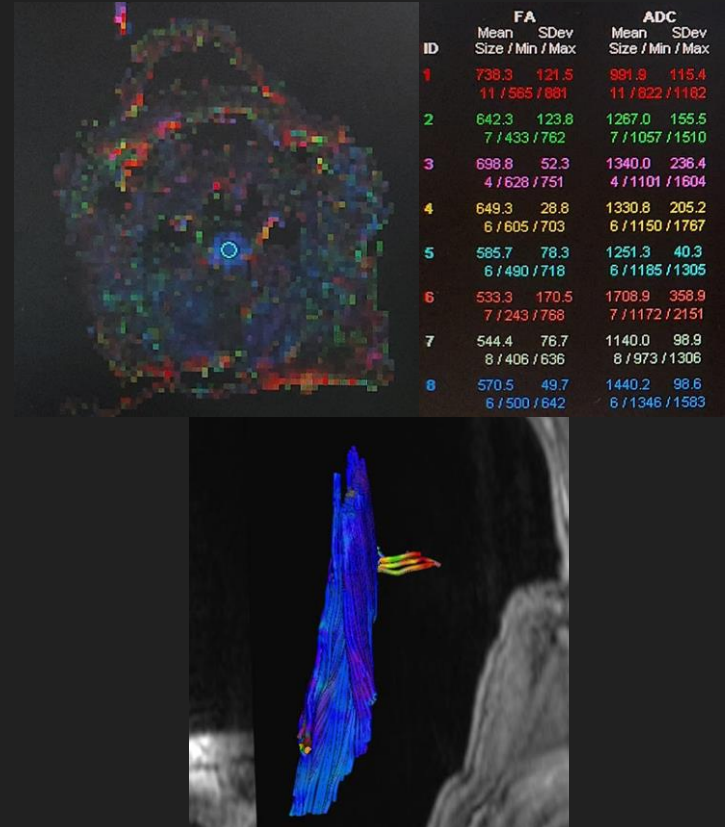
❖ Đánh giá hình ảnh DTI

- Đường đi bó sợi → dựa trên bản đồ mã hóa màu FA
- Thông tin định lượng → đặt ROI/ bản đồ tham số

❖ DTT (tractography) cung cấp thông tin trực quan về đường đi của các bó chất trắng

- Hiện thị hình ảnh đại thể của sự gián đoạn/đứt gãy sợi trục
- Hướng khuếch tán cũng được mã hóa màu
- Mức độ biến thiên rất cao, phụ thuộc vào
 - Giá trị FA tối thiểu, chiều dài sợi tối thiểu, góc tối đa giữa các điểm ảnh ba chiều (có thể sửa đổi và không được tiêu chuẩn hóa)
 - Tính chủ quan trong phương pháp đặt VOI

❖ Giá trị DTI thu được từ bản đồ tham số cung cấp thông tin chính xác về sinh lý bệnh của sợi trục. DTT có giá trị bổ sung cho DTI.



VAI TRÒ DTI, DTT TRONG BỆNH LÝ TỦY SỐNG

- ❖ DTI được sử dụng phổ biến trong bệnh lý thần kinh (đánh giá u não, bệnh lý chất trắng, bệnh lý tủy, dây thần kinh ngoại biên), bệnh lý cơ
- ❖ Các tham số tiêu chuẩn: FA, ADC, RD, AD và tractography
 - Giá trị FA và ADC được sử dụng phổ biến nhất
- ❖ DTI có thể phân biệt giữa các cấu trúc có tính dị hướng cao và thấp
 - Chất xám thiếu tính tổ chức → tính dị hướng thấp
 - ADC có giá trị thấp nếu các sợi thần kinh có tổ chức, trong khi các sợi bị tổn thương có giá trị ADC cao
 - Giảm giá trị FA và tăng giá trị ADC tại vị trí của tổn thương, gợi ý phù ngoại bào cục bộ hoặc giảm số lượng sợi với tăng không gian ngoại bào, hoặc cả hai.

VAI TRÒ DTI, DTT TRONG BỆNH LÝ TỦY SỐNG

- ❖ Bệnh xơ cứng cột bên teo cơ (ALS): ảnh hưởng đến các tế bào thần kinh trong não và cột sống, FA giảm là một dấu ấn sinh học đầy hứa hẹn cho ALS
- ❖ Xơ rải rác (MS): FA giảm, điều này cho thấy sự tan rã cấu trúc tế bào thần kinh, tăng giá trị AD liên quan với thoái hóa Wallerian.
- ❖ Bệnh lý tủy cổ do chèn ép (chấn thương và không chấn thương): FA↓ và MD↑
- ❖ Chấn thương tủy sống: xác định các tổn thương vi thể không nhìn thấy trên MRI thường quy. DTI giúp phân tích định lượng tính toàn vẹn của sợi trục, cung cấp thông tin cần thiết về sinh lý bệnh, dự đoán chức năng vận động. Giá trị FA giúp dự đoán dự hậu trong điều trị chấn thương cột sống, dự hậu tốt khi $FA > 0,6$ trong giai đoạn cấp.
- ❖ Lập kế hoạch trước phẫu thuật u tủy.

CHẤN THƯƠNG TỦY

- ❖ Chấn thương tủy sống gây tổn thương các sợi thần kinh của tủy và rễ
 - dẫn đến bệnh cơ
 - có thể dẫn đến thoái hóa Wallerian.
- ❖ MRI thường quy → phù, dập, xuất huyết, thiếu máu
 - Phù, xuất huyết tủy có thể không phải lúc nào cũng thành công trong dự đoán thâm hụt chức năng thần kinh
 - Ngoài ra, giúp đánh giá phù tủy xương, thoát vị đĩa đệm, tụ máu,...

CHẤN THƯƠNG TỦY

- ❖ BASIC score là thang điểm thứ tự được xếp loại từ 0 đến 4:
 - BASIC 0 (bình thường): không có bất thường tín hiệu tủy
 - BASIC 1 (chỉ chất xám): tăng tín hiệu T2 giới hạn ở chất xám
 - BASIC 2 (một số chất trắng): tăng tín hiệu T2 trong tủy vượt ra ngoài ranh giới chất xám, lan đến chất trắng tủy nhưng không liên quan đến toàn bộ mặt phẳng ngang của tủy sống
 - BASIC 3 (tất cả chất trắng trong mặt phẳng): tăng tín hiệu T2 liên quan đến toàn bộ mặt phẳng ngang của tủy sống
 - BASIC 4 (có xuất huyết): tổn thương độ 3 có thêm các ổ giảm tín hiệu T2 phù hợp với xuất huyết
- ❖ Điểm BASIC 0-2 nếu có xuất huyết được tăng lên một bậc
- ❖ Điểm BASIC tương quan với các triệu chứng thần kinh (ASIA Impairment Scale) cũng như tiên lượng cải thiện ngắn hạn và khả năng đi lại sau một năm (BASIC cao tương ứng lâm sàng kém và điểm ASIA cao)
- ❖ Một hạn chế của thang điểm này là sự biến thiên lớn của tín hiệu T2 trong hình ảnh thu được ở > 24 giờ sau chấn thương
- ❖ Tuy nhiên, hệ thống BASIC sẽ dễ dàng phát triển hơn vì hình ảnh T2W được chụp thường quy ở các bệnh nhân SCI.

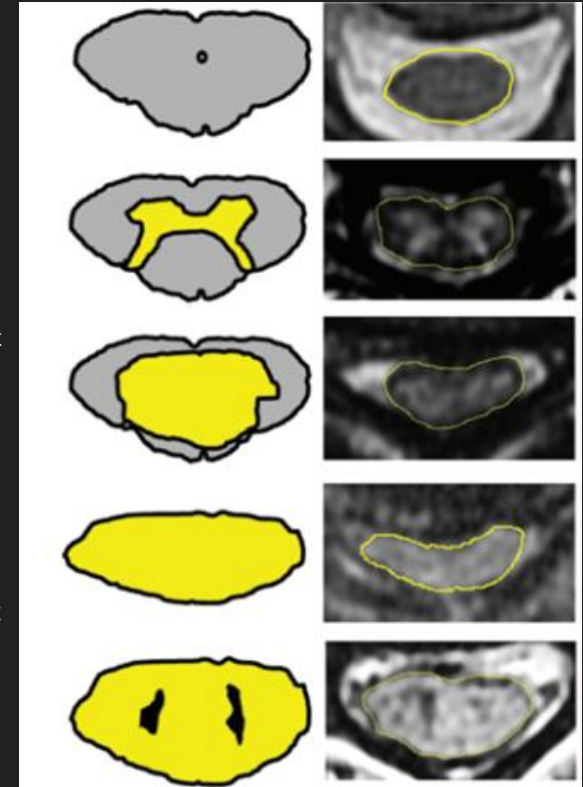


Table 1 The American Spinal Injury Association (ASIA) impairment scale (modified Frankel classification) ASIA grade description [10]

A	Complete no sensory or motor function persists in the sacral segments S4–S5
B	Incomplete sensory and not motor function remains below the neurological level, including the sacral segments S4–S5
C	Incomplete motor function is pertained below the neurological level. More than half of the key muscles below the neurological level possess a muscle grade less than 3
D	Incomplete motor function is restored below the neurological level, and at least half of the key muscles below the neurological level have muscle grade greater than or equal to 3
E	Normal sensory and motor functions remain normal

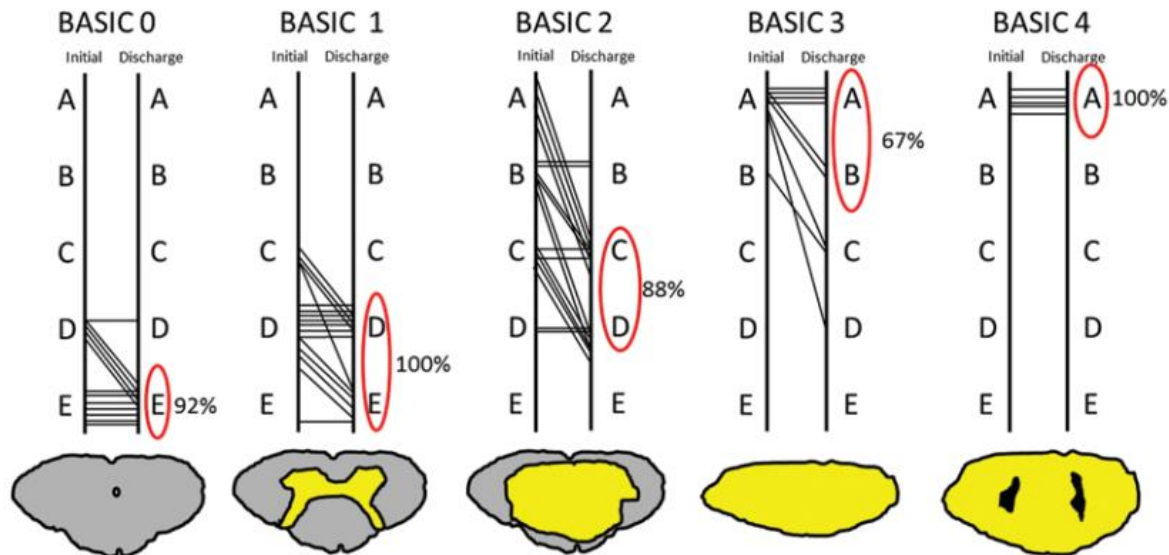
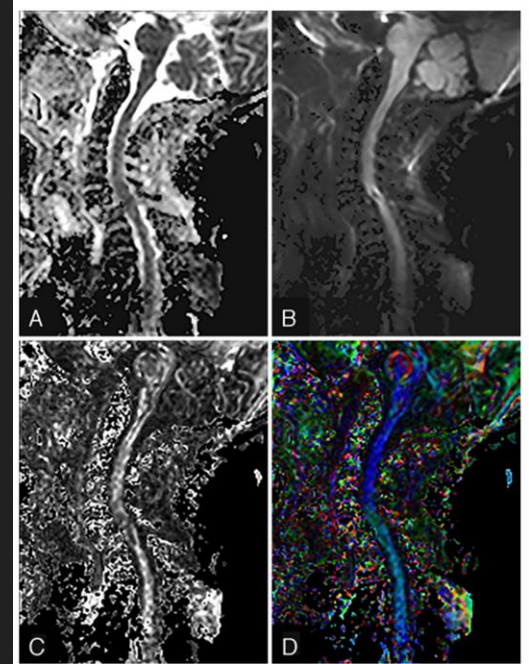


FIG. 5. Admission and discharge AIS grades for all patients in our cohort are plotted within each BASIC score group, with a cartoon schematic of the SCI below each plot. The percentages of patients within each BASIC group with a discharge AIS grade circled in red are listed to the right of the discharge AIS grades. Figure is available in color online only.

CHẤN THƯƠNG TỦY

- ❖ DTI có thể định vị khu vực chấn thương tủy và xác định độ nặng tổn thương
- ❖ Hầu hết các nghiên cứu cho thấy giảm FA và giảm giá trị ADC sau chấn thương tủy sống
- ❖ FA (Fractional Anisotropy)
 - FA thấp hơn so với mức trên hoặc dưới tổn thương.
 - FA càng giảm theo mức độ nghiêm trọng của chấn thương và mức độ hẹp ống sống tăng.
 - Giảm FA gợi ý số lượng sợi giảm hoặc phù ngoại bào
- ❖ ADC (Apparent diffusion coefficient)
 - Các nghiên cứu cho thấy những kết quả không nhất quán đối với ADC trên bệnh nhân chấn thương tủy
 - ADC thường giảm (một số nghiên cứu lại cho thấy ADC ở vùng tổn thương tăng, không thay đổi)
 - Giá trị ADC thường chỉ sử dụng trong chèn ép tủy mạn tính do độ nhạy và độ đặc hiệu thấp (ADC tăng → phù, hoại tử, nhuyển tủy)



Bosma R, 2012

CHẤN THƯƠNG TỦY

Bảng so sánh các giá trị DTI trong các nghiên cứu

Authors	FA values	ADC values	Indication
D'souza et al ²	0.43 ± 0.08	1.30 ± 0.24	SCI
Kamble et al ⁴	0.367 ± 0.14	–	SCI
Rao et al ³	0.220 ± 0.121	–	SCI
Alizadeh et al ⁵⁷	0.37 ± 0.09	1.01 ± 0.08	SCI
Alkadeem et al ¹	0.326 ± 0.135	1.319 ± 0.378	SCI
Mohamed et al ⁸	0.39	–	SCI
Koskinen et al ⁴⁹	0.51 ± 0.09 (whole cord)	1.14 ± 0.18 (whole cord)	SCI
Mulcahey et al ⁵⁸	0.28 ± 0.10	–	SCI
El Basset et al ¹⁰	0.238	1.466 (0.256)	Cord compression
Lee et al ⁵⁹	0.475	1.079×10^{-3}	Cord compression
Tsuchiya et al ⁶⁰	–	$3.30 \pm 0.38 \cdot 10$ (3 mm^2/s)	Myelomalacia
Cheran et al ³⁵	0.49 ± 0.13	0.83 ± 0.15	Nonhemorrhagic spinal injury

CHẨN THƯƠNG TỦY

❖ MD (Mean Diffusivity)

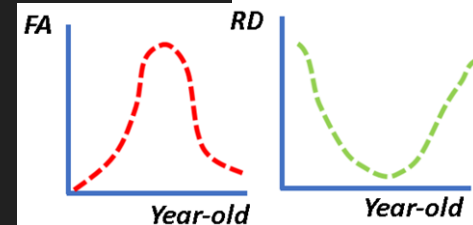
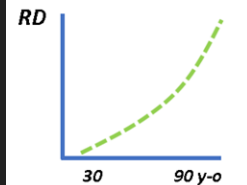
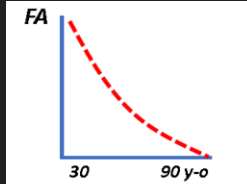
- MD tăng đáng kể ở tủy bị tổn thương so với mức trên hoặc dưới tổn thương
- Giá trị MD tại tổn thương tương quan nghịch với tình trạng lâm sàng; MD càng cao phản ánh tình trạng lâm sàng càng nặng.

❖ AD (Axial Diffusivity), RD (Radial Diffusivity)

- AD giảm, RD tăng trong tổn thương sợi trục, hủy myelin.
- AD, RD không được sử dụng đơn độc và vẫn còn chưa đáng tin cậy để sử dụng trong chẩn đoán SCI

CHẤN THƯƠNG TỦY

- ❖ FA có độ nhạy cao và tính đặc hiệu trong việc phát hiện các khu vực bất thường tủy so với hình T2W thường quy
- ❖ Thoái hóa Waller tủy sau chấn thương: giảm FA ở đoạn trên và dưới tổn thương
- ❖ Giá trị FA không đều giữa bó vỏ gai bên trái và bên phải
 - FA có tương quan với tính thuận tay, cũng như bên biểu hiện triệu chứng thần kinh và điểm ASIA nặng hơn.
 - Người thuận tay phải: FA của bó tháp bên trái cao hơn bên phải, MD không khác biệt giữa hai bên
- ❖ Các giá trị FA, MD đã được tìm thấy thay đổi theo độ tuổi



CHẤN THƯƠNG TỦY

❖ Tiên lượng

- Chức năng thần kinh sau chấn thương liên quan chặt chẽ với tổn thương sợi trục
- Vùng tủy bị chèn ép có giá trị FA thấp, ADC cao, MD cao, tăng mật độ bó sợi tương ứng với chức năng thần kinh kém hơn
- Tăng giá trị FA trong giai đoạn sớm gợi ý chèn ép cấp tính và có thể cho tiên lượng tốt nếu nhanh chóng thực hiện phẫu thuật giải áp
- Giai đoạn mạn, ADC tăng có thể là kết quả của phù nề, hoại tử, nhuyễn tủy
- Một số nghiên cứu cho thấy tương quan thuận giữa giá trị FA tại vùng chấn thương và điểm Frankel

HẠN CHẾ

❖ Ảnh giả

- Thở tích lũy sóng nhỏ dẫn đến tỷ lệ tín hiệu nhiễu (SNR) thấp và ảnh giả nhảy từ do xương liền kề
- Mỡ trong thân sống và các cấu trúc lân cận gây ảnh giả dịch chuyển hóa học
- DTI tùy sống dễ có ảnh giả bóng ma do chuyển động sinh lý phát sinh từ sự hiện diện của cử động tim, hô hấp, nhịp đập phát sinh từ dịch não tủy
- Nuốt và các chuyển động tinh tế khác của bệnh nhân trong khi chụp ảnh cũng có thể dẫn đến ảnh giả

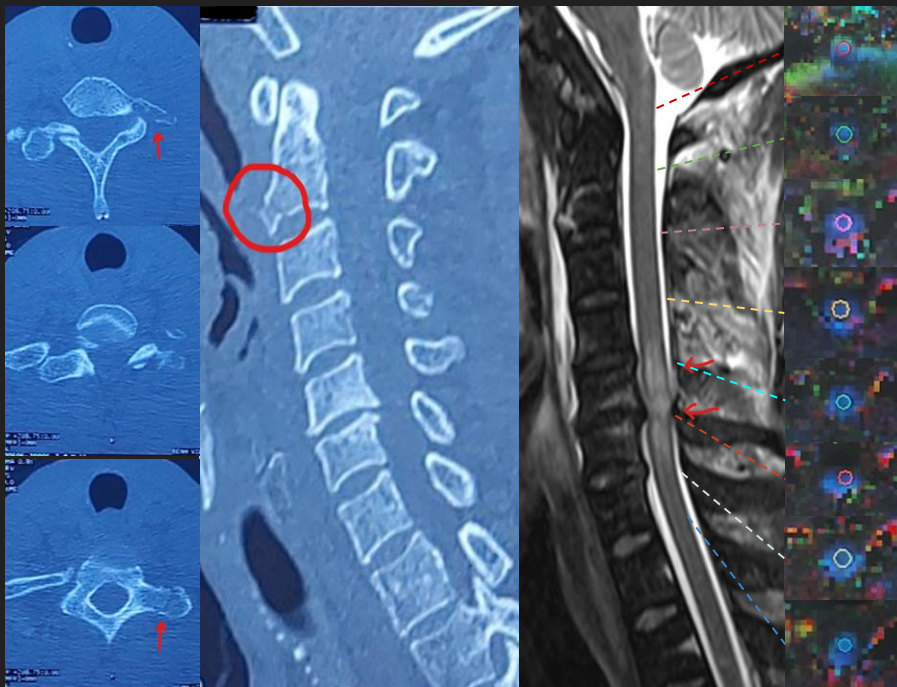
- ❖ Sự không nhất quán trong các thay đổi về chỉ số DTI giữa các nghiên cứu dẫn đến DTI chưa có độ tin cậy cao để sử dụng nhiều trong thực hành lâm sàng.
- ❖ Các giá trị DTI có độ đặc hiệu thấp, không giúp phân biệt các tình trạng bệnh lý tủy khác nhau (viêm, phù, hủy myelin, xuất huyết,...)
- ❖ Không có độ phân giải không gian đầy đủ. Trực quan hóa hình ảnh các bó sợi riêng lẻ vẫn là một thách thức, đặc biệt ở tủy ngực thấp
- ❖ Tính bất đẳng hướng có thể bị đánh giá quá mức, đặc biệt là trong chất xám trung tâm có tính dị hướng thấp
- ❖ Chất lượng hình ảnh được cải thiện đáng kể ở từ trường cao hơn. Bản đồ FA cho thấy chất lượng tốt hơn và các giá trị DTI đáng tin cậy hơn ở máy 3T so với 1.5T

Bn T.M.C., nam, 51t bị té giàn giáo, ngã từ trên cao xuống # 3m. MRI được thực hiện sau 3 ngày.

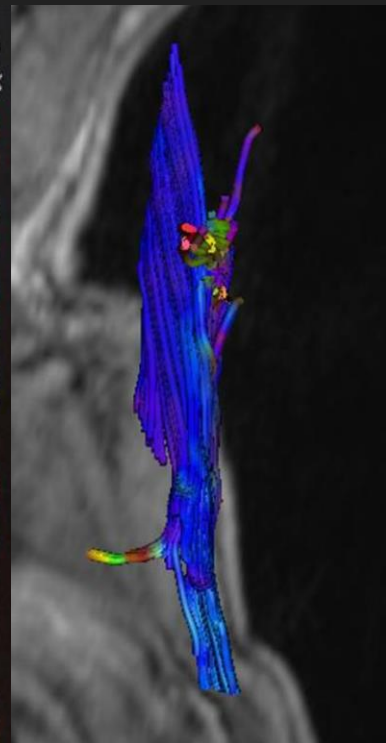
CA MINH HỌA

- Về lâm sàng, bn được xếp loại ASIA C.
- CT csc: vỡ C2 dạng teardrop, gãy mồm ngang C7 (T).
- cMRI: T2W Sagittal cho thấy tín hiệu tủy sống bất thường ở mức C5-6.
- Giá trị FA, ADC ở mức và dưới mức tổn thương thấp hơn ở phía trên tổn thương.
- Hình ảnh Tractography cho thấy một phần bó chất trắng bị gián đoạn ở phần thấp của tủy sống cổ, một số sợi bị đứt gãy với số lượng sợi giảm.

Nguồn: BV Chợ Rẫy



ID	FA		ADC	
	Mean	SDev	Mean	SDev
	Size / Min / Max		Size / Min / Max	
1	738.3	121.5	891.9	115.4
	11 / 585 / 681		11 / 822 / 1182	
2	642.3	123.8	1267.0	155.5
	7 / 433 / 762		7 / 1057 / 1510	
3	698.8	52.3	1340.0	236.4
	4 / 628 / 751		4 / 1101 / 1604	
4	649.3	28.8	1330.8	205.2
	6 / 605 / 703		6 / 1150 / 1767	
5	585.7	78.3	1251.3	40.3
	6 / 490 / 718		6 / 1185 / 1305	
6	533.3	170.5	1708.9	358.9
	7 / 243 / 768		7 / 1172 / 2151	
7	544.4	76.7	1140.0	98.9
	8 / 406 / 636		8 / 973 / 1306	
8	570.5	49.7	1440.2	98.6
	6 / 500 / 642		6 / 1346 / 1583	



TÓM TẮT

- ❖ Các tham số DTI giúp phát hiện các thay đổi trong tổn thương tủy sống, mà không thấy được trên MRI thường quy.
- ❖ Giá trị FA nhạy hơn so với các thông số khác cũng như hình ảnh T2W trong việc phát hiện các bất thường về tủy sống
- ❖ Thay đổi các tham số DTI trong tủy lớn nhất tại vị trí chấn thương.
- ❖ Trong tổn thương tủy: $FA \downarrow$ và $MD \uparrow$

KẾT LUẬN

- ❖ Cộng hưởng từ khuếch tán theo lực (DTI) và hình ảnh bó sợi thần kinh (DTT) của tủy sống là các kỹ thuật tiên tiến đầy hứa hẹn, bổ sung thông tin trong phân tích các thay đổi bệnh lý của tủy sống, giúp ích cho chẩn đoán, tiên lượng, lập kế hoạch điều trị, cũng như đánh giá sự phục hồi.
- ❖ Chúng tôi đề xuất nên sử dụng DTI một cách thường xuyên hơn trong các trường hợp chấn thương cột sống cổ nhẹ với hình ảnh MRI thường quy bình thường nhưng có khiếm khuyết thần kinh trên lâm sàng được xác định bởi thang điểm ASIA/Frankel.
- ❖ DTI giúp bổ sung cho cMRI để đánh giá tính toàn vẹn của chất trắng và dự đoán dự hậu về chức năng thần kinh để giảm tỷ lệ tử vong, bệnh tật và sử dụng nó trong theo dõi sau điều trị.
- ❖ Tuy nhiên, hiện tại những hạn chế của DTI ngăn cản việc sử dụng nó trong thực hành lâm sàng. Các nghiên cứu sâu hơn là cần thiết để cải thiện và giải quyết những hạn chế này cũng như xác định những thay đổi đặc hiệu của các chỉ số DTI để ứng dụng trong lâm sàng.

HỘI NGHỊ KHOA HỌC CHẨN ĐOÁN HÌNH ẢNH TP. HỒ CHÍ MINH MỞ RỘNG LẦN THỨ X
HÌNH ẢNH HỌC THẦN KINH I

2023

XIN CẢM ƠN

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Alkadeem, R.M.D.E.A.A., El-Shafey, M.H.R., Eldein, A.E.M.S. et al. Magnetic resonance diffusion tensor imaging of acute spinal cord injury in spinal trauma. Egypt J Radiol Nucl Med 52, 70 (2021).
2. Zaninovich OA, Avila MJ, Kay M, Becker JL, Hurlbert RJ, Martirosyan NL. The role of diffusion tensor imaging in the diagnosis, prognosis, and assessment of recovery and treatment of spinal cord injury: a systematic review. Neurosurg Focus. 2019 Mar 1;46(3):E7.
3. Akshada Atchut Kauthankar, M.M. Jaseemudheen. Diffusion Tensor Imaging in Spinal Cord Injury: A Review. Journal of Health and Allied Sciences NU 2023; 13(02): 161-167.
4. D'souza MM, Choudhary A, Poonia M, Kumar P, Khushu S. Diffusion tensor MR imaging in spinal cord injury. Injury 2017;48(04):880–884