

Ứng dụng cộng hưởng từ khuếch tán bó sợi chất trắng trong phẫu thuật u não

Hoàng Ngọc Thành^{1*}, Trà Tấn Hoàn², Nguyễn Thanh Thảo¹

¹Bộ môn Chẩn đoán hình ảnh, Trường Đại học Y - Dược, Đại học Huế

²Khoa Ngoại thần kinh, Bệnh viện Đà Nẵng

Tóm tắt

Bài viết này nhằm làm nổi bật tầm quan trọng và ứng dụng của kỹ thuật cộng hưởng từ khuếch tán bó sợi thần kinh (DTI) trong phẫu thuật các khối u não. Kỹ thuật DTI rất quan trọng để hiển thị chính xác bản đồ các vùng chất trắng, cho phép bác sĩ phẫu thuật thần kinh tránh được các cấu trúc não quan trọng trong quá trình phẫu thuật cắt bỏ khối u, do đó giảm thiểu các khiếm khuyết về thần kinh sau phẫu thuật và cải thiện kết quả của bệnh nhân. Chúng tôi đề cập đến nguyên lý cơ bản của kỹ thuật DTI, dựng hình bó sợi chất trắng (tractography) và ứng dụng những hình ảnh này trong bối cảnh phẫu thuật khối u não. Kỹ thuật DTI tăng cường đáng kể độ chính xác của phẫu thuật. Với hình ảnh chi tiết về đường đi chất trắng, bác sĩ phẫu thuật có thể lập kế hoạch và thực hiện cắt bỏ khối u hiệu quả hơn, giúp bảo tồn chức năng thần kinh tốt hơn. Các nghiên cứu lâm sàng và báo cáo ca bệnh được xem xét trong bài viết này cho thấy tỉ lệ biến chứng phẫu thuật giảm và khả năng phục hồi sau phẫu thuật được cải thiện khi sử dụng kết hợp với hình ảnh tái tạo bó sợi chất trắng. Ngoài ra những tiến bộ trong công nghệ thu nhận và thuật toán xử lý hình ảnh được kỳ vọng sẽ nâng cao hơn nữa tiện ích và hiệu quả của DTI.

Từ khóa: DTI, tensor, tractography, khối u não, kế hoạch phẫu thuật

Diffusion tensor imaging (DTI) tractography in surgical resection of brain tumors

Hoang Ngoc Thanh^{1*}, Tra Tan Hoanh², Nguyen Thanh Thao¹

¹Department of Radiology, Hue University of Medicine and Pharmacy, Vietnam

²Department of Neurosurgery, Da Nang Hospital, Vietnam

Summary

This article highlights the importance and application of diffusion tensor imaging (DTI) in brain tumor surgery. DTI techniques are important for accurately mapping white matter tracts, allowing neurosurgeons to avoid important brain structures during tumor resection, thereby minimizing postoperative neurological deficits and improving patient outcomes. We describe the basic principles of DTI techniques, tractography, and the application of these images in the context of brain tumor surgery. DTI technique significantly enhances surgical precision. With detailed images of white matter pathways, surgeons can plan and perform tumor resection more effectively, helping to preserve nerve function better. The case reports reviewed in this article demonstrate reduced rates of surgical complications and improved postoperative recovery when used in conjunction with tractography. Additionally, advances in acquisition technology and image processing algorithms are expected to further enhance the utility and effectiveness of DTI in the clinical setting.

Keywords: DTI, tensor, tractography, brain tumor, surgical planning.

1. GIỚI THIỆU

Phẫu thuật các khối u não luôn gặp những thách thức đáng kể do sự liên quan phức tạp của chúng với các cấu trúc mô não xung quanh và các chức năng thần kinh quan trọng mà chúng có thể gây ảnh hưởng. Sự cần thiết phải loại bỏ càng nhiều phần khối u càng tốt trong khi vẫn bảo tồn các chức năng

thần kinh quan trọng khiến việc lập kế hoạch phẫu thuật trở nên đặc biệt khó khăn [1]. Kỹ thuật cộng hưởng từ khuếch tán sợi (DTI) đã trở thành một công cụ quan trọng trong bối cảnh này, cung cấp bản đồ chi tiết về các vùng chất trắng của não bằng cách hình dung hướng khuếch tán nước dọc theo các con

* Tác giả liên hệ: Hoàng Ngọc Thành. Email: hnthanh@huemed-univ.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/03/2025; Ngày đồng ý đăng: 27/08/2025; Ngày xuất bản: 25/12/2025

đường thần kinh. Kỹ thuật DTI cho phép bác sĩ phẫu thuật xác định và tránh các khu vực quan trọng như đường vận động và ngôn ngữ trong quá trình cắt bỏ khối u, từ đó làm giảm nguy cơ ảnh hưởng sau phẫu thuật. Bằng cách tích hợp dữ liệu DTI vào kế hoạch trước phẫu thuật và điều hướng trong phẫu thuật, bác sĩ phẫu thuật có thể cắt bỏ khối u an toàn hiệu quả trong khi vẫn bảo tồn các chức năng thiết yếu của não, cuối cùng là cải thiện kết quả và chất lượng cuộc sống của bệnh nhân [2, 3]. Bài viết này nhằm giới thiệu sơ bộ về nguyên lý kỹ thuật DTI, tái tạo bó sợi tractography và một vài ứng dụng trong phẫu thuật các khối u não.

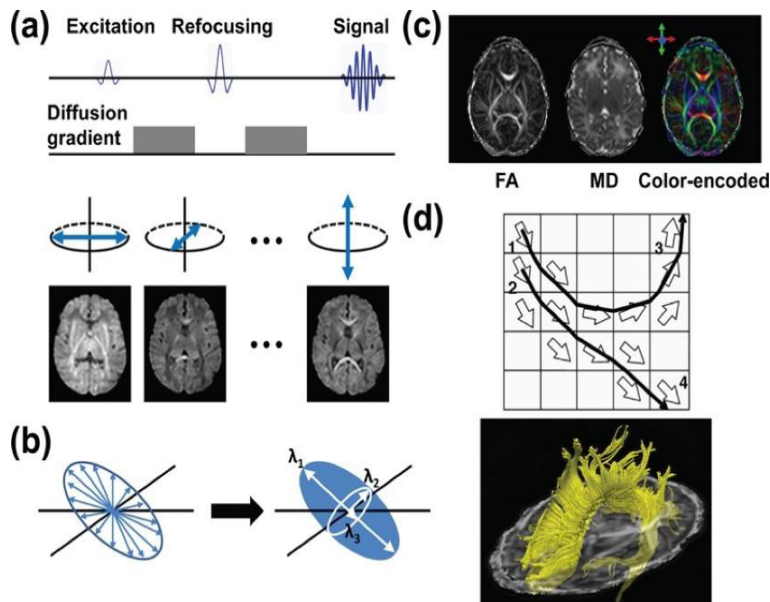
2. NGUYÊN LÝ KỸ THUẬT DTI – TRACTOGRAPHY

Kỹ thuật cộng hưởng từ khuếch tán bó sợi thần kinh (DTI)

Kỹ thuật DTI là một kỹ thuật cộng hưởng từ tiên tiến tận dụng các nguyên tắc khuếch tán nước trong mô não để tạo ra hình ảnh chi tiết về các vùng chất trắng. Nguyên lý cơ bản của DTI nằm ở sự chuyển động của các phân tử nước, có xu hướng khuếch tán khác nhau trong các loại mô khác nhau. Trong não bộ, sự khuếch tán của nước là dị hướng, nghĩa là nó thay đổi tùy theo hướng. Điều này là do các phân tử nước khuếch tán dễ dàng hơn dọc theo hướng của các sợi chất trắng, bao gồm các bó sợi trục được bao phủ bởi

vỏ myelin. Vỏ myelin và màng tế bào tạo ra các rào cản hạn chế chuyển động của các phân tử nước theo hướng vuông góc với các sợi thần kinh, đồng thời cho phép chuyển động tương đối tự do theo hướng song song với chúng. DTI thu nhận lại sự khuếch tán nước bằng cách sử dụng các thang từ khuếch tán (diffusion gradient) theo nhiều hướng. Từ độ khuếch tán của các phân tử nước theo các hướng khác nhau có thể hình thành một tensor khuếch tán. Hiểu một cách đơn giản tensor khuếch tán là một mô hình toán học mô tả hình dạng khuếch tán ba chiều tại mỗi điểm trong não bộ. Tensor được biểu diễn dưới dạng hình elip (như hình 1b), trong đó trục chính của hình elip biểu thị hướng khuếch tán chính của nước, tương ứng với hướng của các sợi chất trắng. Dữ liệu thu được từ DTI có thể được xử lý để tạo ra các bản đồ và hình ảnh bó sợi chất trắng sau đó được mã hóa màu để hình dung hướng và tính toàn vẹn của các vùng chất trắng, gọi là color-encoded map [4].

Ví dụ: Bản đồ fractional anisotropy (FA) thường được sử dụng để định lượng mức độ bất đẳng hướng, với giá trị FA càng cao (tiệm cận 1) biểu thị các dải sợi được căn chỉnh tốt và các giá trị thấp hơn (tiệm cận 0) cho thấy sự gián đoạn có thể xảy ra, chẳng hạn như những gián đoạn do khối u hoặc tổn thương gây ra.



Hình 1. (a) Trình tự khuếch tán điển hình dọc theo hướng trái-phải, trước-sau và trên-dưới, (b) Tensor phù hợp với hình ảnh có trọng số khuếch tán và đường chéo thành ba giá trị riêng và vector riêng, (c) Các bản đồ tương phản có nguồn gốc từ DTI: bản đồ FA, bản đồ MD và bản đồ mã hóa màu. Trong đó màu đỏ, xanh lá cây và xanh lam mã hóa hướng dọc theo trái-phải, trước-sau và dưới-trên tương ứng, (d) sơ đồ mô tả thuật toán FACT và hình ảnh bó thể chai [5].

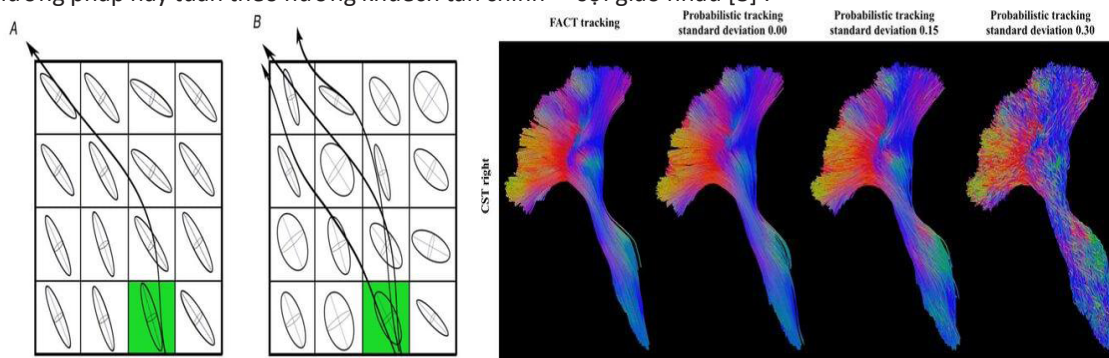
Tractography

Tractography là một kỹ thuật hiển thị hình ảnh phức tạp nhằm tái tạo lại các vùng chất trắng ở thần kinh trung ương bằng cách sử dụng dữ liệu thu được từ cộng hưởng từ khuếch tán đa hướng. Điểm quan trọng của kỹ thuật tractography là ở các thuật toán theo dõi sợi, sử dụng dữ liệu tensor khuếch tán để tái tạo lại đường đi của các bó sợi chất trắng. Hai loại thuật toán theo dõi sợi phổ biến là Deterministic và Probabilistic [6]:

- Deterministic Tractography: Hay còn biết tới là FACT – fiber assignment by continuous tracking [7]. Phương pháp này tuân theo hướng khuếch tán chính

(trục chính của tensor khuếch tán) từ voxel đến voxel để tạo ra các dải sợi liên tục. Thuật toán này giả định một hướng sợi chiếm ưu thế duy nhất trên mỗi điểm ảnh ba chiều và thường được hình dung dưới dạng các đường vẽ đơn giản (Hình 2A).

- Probabilistic Tractography: Kỹ thuật này tính đến sự không chắc chắn trong định hướng sợi, đặc biệt là ở những vùng nơi các sợi giao nhau hoặc phân kỳ. Kỹ thuật này tạo ra nhiều đường dẫn có thể có từ mỗi điểm ảnh ba chiều, tạo ra bản đồ xác suất của các dải sợi tiềm năng (Hình 2B). Phương pháp này hữu ích ở những vùng não phức tạp hơn, nơi các bó sợi giao nhau [8].



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý Deterministic Tractography (A), Probabilistic Tractography (B), và sự hiển thị khác nhau của bó vỏ não tuỷ gai bên phải [9, 10]

Các khía cạnh kỹ thuật

- **Các thông số kỹ thuật:** Kỹ thuật thu hình DTI cần đảm bảo các yêu cầu sau:

Từ trường cao: Máy cộng hưởng từ có từ lực cao (thường là 1.5 Tesla trở lên) cho phép thu hình có tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu cao hơn, giúp cải thiện chất lượng của các phép đo khuếch tán [6].

Chuỗi xung Echo Planar Imaging (EPI) thường được sử dụng, cho phép thu hình nhanh các hình ảnh có trọng số khuếch tán, giảm thiểu các ảnh giả chuyển động [11].

Áp dụng diffusion gradient đa hướng để lập mô hình chính xác các tensor khuếch tán. Cần tối thiểu là 6 hướng, nhưng hiện nay hầu hết các nghiên cứu đề nghị nên áp dụng 20 đến 30 hướng trở lên để cung cấp các tensor chính xác hơn và cân đối với thời gian thu hình [12, 13].

b value: là giá trị quan trọng trong cộng hưởng từ khuếch tán, cho biết cường độ và thời gian áp dụng của các diffusion gradients. Giá trị b cao (1000 - 3000 s/mm²) mang lại độ nhạy khuếch tán cao hơn nhưng cũng có thể làm tăng độ nhiễu hạt hình ảnh. Tối ưu hóa b value là rất quan trọng để cân bằng độ nhạy khuếch tán và chất lượng hình ảnh [12, 14]. Giá trị b value khoảng 1000 đến 1500 s/mm² thường được áp dụng ở DTI sọ não trên lâm sàng. Giá trị b value cao

hơn hay thu hình đa giá trị b (multishell) đã và đang được áp dụng với các mô hình khuếch tán cao cấp hiện nay.

- **Kỹ thuật hậu xử lý:** Trước khi tiến hành dựng hình bó sợi chất trắng, một số bước hậu xử lý đóng vai trò rất quan trọng để nâng cao chất lượng hiển thị và giảm thiểu các sợi giả hình thành không mong muốn.

Hiệu chỉnh chuyển động (motion correction): Chuyển động của đầu trong quá trình quét có thể gây ra ảnh giả. Các thuật toán hiệu chỉnh các hình ảnh có trọng số khuếch tán theo một thể tích tham chiếu để giảm các tạo tác chuyển động [15].

Hiệu chỉnh dòng điện xoáy (eddy current correction): Dòng điện xoáy gây ra bởi sự thay đổi gradient nhanh có thể làm biến dạng hình ảnh khuếch tán. Các kỹ thuật hiệu chỉnh điều chỉnh những biến dạng này cho phép cải thiện độ chính xác của dữ liệu [11].

Ước tính Tensor: Tensor khuếch tán thường được ước tính tại mỗi điểm ảnh ba chiều bằng mô hình toán học, thường bằng cách khớp các tín hiệu có trọng số khuếch tán với mô hình tensor bằng cách sử dụng thuật toán Least Square Fitting. Tuy nhiên hiện nay có các phương pháp nâng cao, chẳng hạn như hình ảnh High Angular Resolution Diffusion Imaging (HARDI), Q-ball và hình ảnh phổ khuếch

tán - Diffusion Spectrum Imaging (DSI), không dựa vào mô hình tensor và có thể thu được các mẫu khuếch tán phức tạp hơn như các bó sợi kissing hay crossing [16].

Bảng 1. Thông số kỹ thuật các kỹ thuật DTI

Thông số	DTI	HARDI	DSI	Q-ball
Từ trường	1,5 - 3 Tesla	3 Tesla	3 Tesla	3 Tesla
b-value	800 - 1000 s/mm ² (tới 3000 s/mm ²)	2000 - 3000 s/mm ²	Đa giá trị b value, giá trị b có thể 6000 s/mm ²	3000 s/mm ² hoặc hơn
Gradient Directions	Tối thiểu 6, Tối ưu 30 hoặc hơn	60 hoặc hơn	Trên 100	Trên 60
Độ phân giải không gian	2 x 2 x 2 mm ³	2 x 2 x 2 mm ³ hoặc nhỏ hơn	2 x 2 x 2 mm ³ hoặc cao hơn	2 x 2 x 2 mm ³ hoặc nhỏ hơn
Echo Time (TE)	70 - 100 ms	80 - 120 ms	100 - 150 ms	90 - 130 ms
Repetition Time (TR)	3000 - 10000 ms	4000 - 12000 ms	8000 - 15000 ms	5000 - 12000 ms
Thời gian ghi hình	5 - 15 phút	15 - 30 phút	30 phút tới hơn 1 tiếng	20 - 40 phút

Các thông số tái tạo bó sợi chất trắng cơ bản

Có rất nhiều thông số hậu xử lý tái tạo ảnh hưởng đến độ chính xác và độ tin cậy của sự hiện thị bó sợi chất trắng. Dưới đây là các thông số chính thường được sử dụng trên lâm sàng:

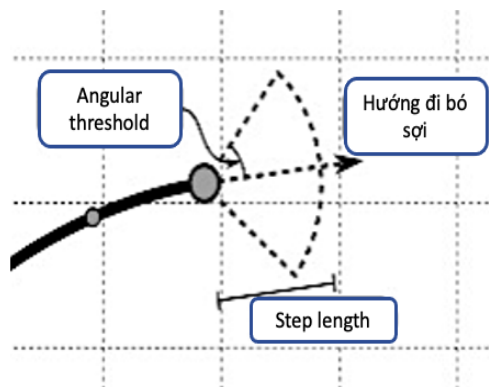
- **Seed:** là điểm khởi đầu của quá trình theo dõi đường đi của bó sợi chất trắng. Seed có thể được xác định thủ công dựa trên các mốc giải phẫu hoặc được tạo tự động trên toàn bộ não, hoặc các vùng cụ thể theo các atlas giải phẫu và hình ảnh tương quan giải phẫu.

- **Step length:** là khoảng cách di chuyển dọc theo hướng khuếch tán trong mỗi lần lặp của quá trình theo dõi sợi. Step length thường nằm trong khoảng từ 0,5 đến 2 mm, phụ thuộc vào kích thước voxel. Step length thấp hơn cho hình chi tiết hơn nhưng yêu cầu nhiều tài nguyên tính toán nhiều hơn và thời gian theo dõi bó sợi lâu hơn.

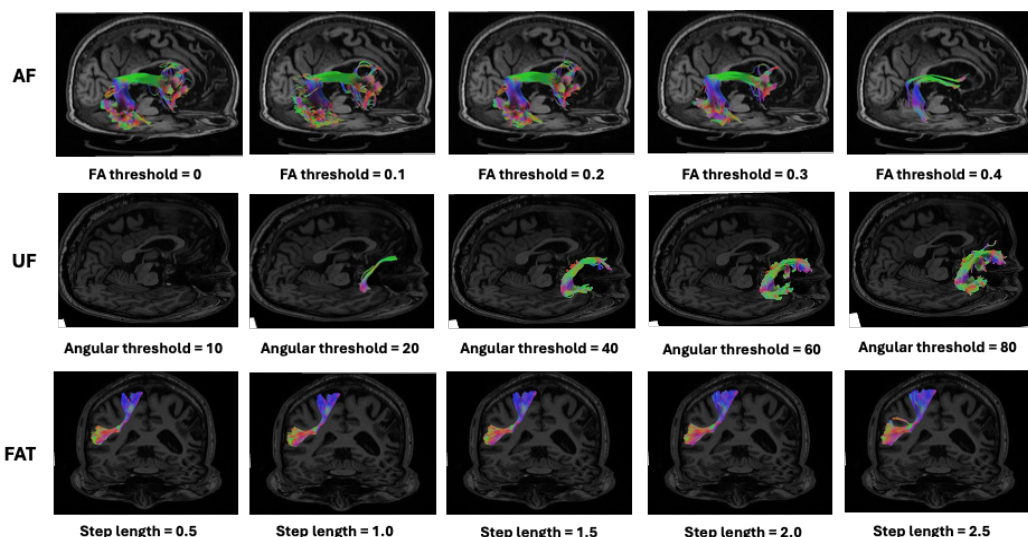
- **Angular threshold:** xác định sự thay đổi hướng tối đa được phép giữa các step liên tiếp trong quá trình theo dõi sợi. Ngưỡng góc thường nằm trong khoảng từ 30 đến 70 độ. Ngưỡng thấp hơn ngăn cản sự quay đột ngột trong các vùng, cải thiện độ chính xác nhưng có thể thiếu các biến thể giải phẫu thực sự; ngưỡng cao hơn có thể nắm bắt được các con đường phức tạp hơn nhưng có nguy cơ bao gồm cả kết quả dương tính giả [6].

- **FA threshold:** Ngưỡng FA thường được sử dụng lớn hơn hoặc bằng 0,2. Ngưỡng FA cao hơn đảm bảo việc theo dõi được giới hạn ở các vùng chất trắng được xác định rõ ràng nhưng có thể loại trừ những vùng có tính dị hướng thấp hơn [6].

- **Điều kiện dừng tracking:** Tiêu chí xác định khi nào sự theo dõi đường đi bó sợi sẽ dừng lại. Những điều này có thể bao gồm ROI được xác định trước, vượt quá angular threshold hoặc FA threshold hoặc đạt đến độ dài vùng được xác định trước [17].



Hình 3. Step length và angular threshold trong dựng hình bó sợi



Hình 4. Sự ảnh hưởng của các thông số tái tạo bó sợi chất trắng (FA threshold, Angular threshold, Step length) tới sự hiện thị hình ảnh tractography một số bó sợi chất trắng có dạng hình cung như AF, UF, và FAT. Hình ảnh sợi giả hoặc không hình thành đủ bó sợi nếu không lựa chọn giá trị tối ưu.

3. Ứng dụng lâm sàng của DTI trong phẫu thuật khối u não

Từ lâu cộng hưởng từ đã tỏ ra rất hiệu quả và ưu thế trong việc cung cấp các thông tin giải phẫu, đặc điểm khối u, tính chất khối u và mối tương quan của khối u não với các mô não kế cận cho việc lập kế hoạch phẫu thuật các khối u não. Tuy nhiên mối tương quan trực tiếp và trực quan với các bó sợi thần kinh kế cận liên quan đến các chức năng thần kinh cụ thể (bó vỏ não tuỷ gai, bó thị giác, bó thính giác,...) dường như hạn chế. Việc phân tích kết hợp và hiển thị đồng thời các bó sợi thần kinh liên quan không những đóng vai trò rất quan trọng cho việc lên kế hoạch phẫu thuật mà còn có thể sử dụng trong lúc phẫu thuật và theo dõi hậu phẫu nhằm đánh giá toàn diện sự thành công của cuộc phẫu thuật và tình trạng bệnh nhân [1-3].

- Lập kế hoạch trước phẫu thuật: DTI giúp thiết lập mối quan hệ về mặt giải phẫu định khu của khối u với các vùng chất trắng xung quanh, hỗ trợ lập kế hoạch và định vị trong phẫu thuật. Với hình ảnh tractography, bác sĩ phẫu thuật có thể đánh giá nguy cơ đụng chạm các bó sợi chất trắng kế cận trong quá trình phẫu thuật. Điều này rất quan trọng để bảo tồn các chức năng vận động, cảm giác và nhận thức. Từ đó có thể lên phương án tối ưu hóa phương pháp phẫu thuật. Kỹ thuật DTI giúp lựa chọn phương pháp phẫu thuật an toàn nhất để giảm thiểu sự ảnh hưởng đối với các bó sợi quan trọng.

- Sử dụng trong phẫu thuật: Dữ liệu DTI có thể được tích hợp vào hệ thống định vị thần kinh trong phẫu thuật (navigator), cung cấp hướng dẫn theo

thời gian thực. Bác sĩ phẫu thuật có thể nhìn thấy vị trí của các vùng quan trọng so với dụng cụ phẫu thuật, góp phần nâng cao độ chính xác. Ngoài ra, nếu xảy ra những thay đổi bất ngờ trong quá trình phẫu thuật, chẳng hạn như sự chuyển động, dữ liệu DTI sẽ giúp điều chỉnh lại kế hoạch phẫu thuật cho phù hợp để tránh các khu vực quan trọng.

- Đánh giá hậu phẫu: Sau phẫu thuật, DTI có thể được sử dụng để đánh giá tính toàn vẹn của các vùng chất trắng cạnh tổn thương, cạnh vị trí phẫu thuật, cung cấp cái nhìn sâu sắc về khả năng phục hồi của các chức năng thần kinh. Hiểu được trạng thái của các bó sợi thần kinh trung ương sẽ hỗ trợ cho việc lựa chọn phương pháp phục hồi chức năng cho bệnh nhân phù hợp.

Một nghiên cứu gộp của Manan cùng cộng sự năm 2022 trên 17 nghiên cứu ứng dụng sử dụng DTI như là công cụ hướng dẫn trong phẫu thuật cắt bỏ khối u. Hầu hết các nghiên cứu đều đồng thuận rằng việc lập kế hoạch trước phẫu thuật bằng DTI sẽ cải thiện sự suy giảm thần kinh sau phẫu thuật, mang lại hiệu quả cắt bỏ cao hơn và rút ngắn thời gian phẫu thuật. Hơn nữa, các nghiên cứu cũng cho thấy rằng việc đánh giá lại DTI ngay trước phẫu thuật sẽ hỗ trợ tốt hơn để hình dung sự thay đổi của đường đi chất trắng. Trong đó có 7/17 nghiên cứu được phân tích gộp cũng đã đưa ra gợi ý thay đổi phương pháp phẫu thuật, và tỉ lệ Gross total resection (GTR) khối u được cắt bỏ khi phẫu thuật. Từ đó gợi ý cách tiếp cận để có kết quả phẫu thuật tốt hơn, giảm nguy cơ khiếm khuyết thần kinh sau phẫu thuật [18].

Để chứng minh vai trò của DTI tractography trong

việc lập bản đồ trước phẫu thuật của các bó sợi liên quan đến khối u não và xác định xem DTI có hữu ích cho việc lập kế hoạch phẫu thuật và đánh giá sau phẫu thuật không. Tác giả Yu và cộng sự đã tiến hành phân tích DTI trước và sau phẫu thuật trên 16 bệnh nhân so với nhóm chứng, kết quả cho thấy nhóm sử dụng DTI cho kết quả GTR tốt hơn và ít thâm hụt khiếm khuyết thần kinh sau phẫu thuật hơn so với nhóm chứng [19].

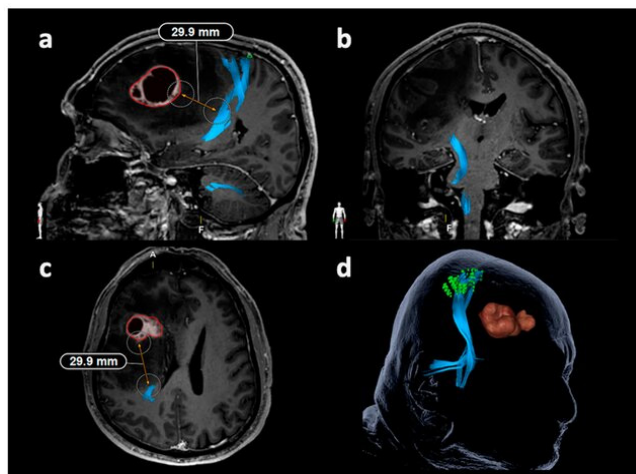
Một nghiên cứu khác của tác giả Wu và cộng sự năm 2007, nghiên cứu này đánh giá định vị thần kinh dựa trên kỹ thuật DTI trong phẫu thuật khối u thần kinh đệm. Nghiên cứu cho thấy định vị thần kinh dựa trên DTI cho kết quả GTR tốt hơn ở nhóm u thần kinh đệm high grade hơn là nhóm u thần kinh đệm low grade, có điểm Karnofsky (KPS) tốt hơn, và cho thấy giảm 43% nguy cơ tử vong so với nhóm chứng. Kết quả tương tự cũng được báo cáo bởi Zhang và cộng sự năm 2020, điểm KPS sau phẫu thuật ở nhóm sử dụng DTI tốt hơn đáng kể so với nhóm không sử dụng, mặc dù không có sự khác biệt đáng kể về GTR giữa hai nhóm [20, 21].

Nghiên cứu sử dụng DTI trong lúc phẫu thuật và lợi ích của tractography trong phẫu thuật thần kinh thức tỉnh. Rút ngắn thời gian phẫu thuật thần kinh thức tỉnh từ $119,8 \pm 31,1$ phút xuống còn $93,6 \pm 12,2$ phút khi sử dụng DTI trong định vị phẫu thuật và có thể giúp cắt bỏ khối u hoàn toàn. Cụ thể độ nhạy và độ đặc hiệu dự đoán cắt bỏ hoàn toàn khối u là 88% và 62,5% đối với nhóm không sử dụng DTI, và là 100% và 80% đối với nhóm sử dụng DTI. Như vậy có thể thấy tractography được sử dụng trong lập kế hoạch trước phẫu thuật là công cụ hữu ích để dự đoán tốt hơn về việc cắt bỏ hoàn toàn khối u [2].

Sự liên quan và ảnh hưởng của khối u và kế hoạch

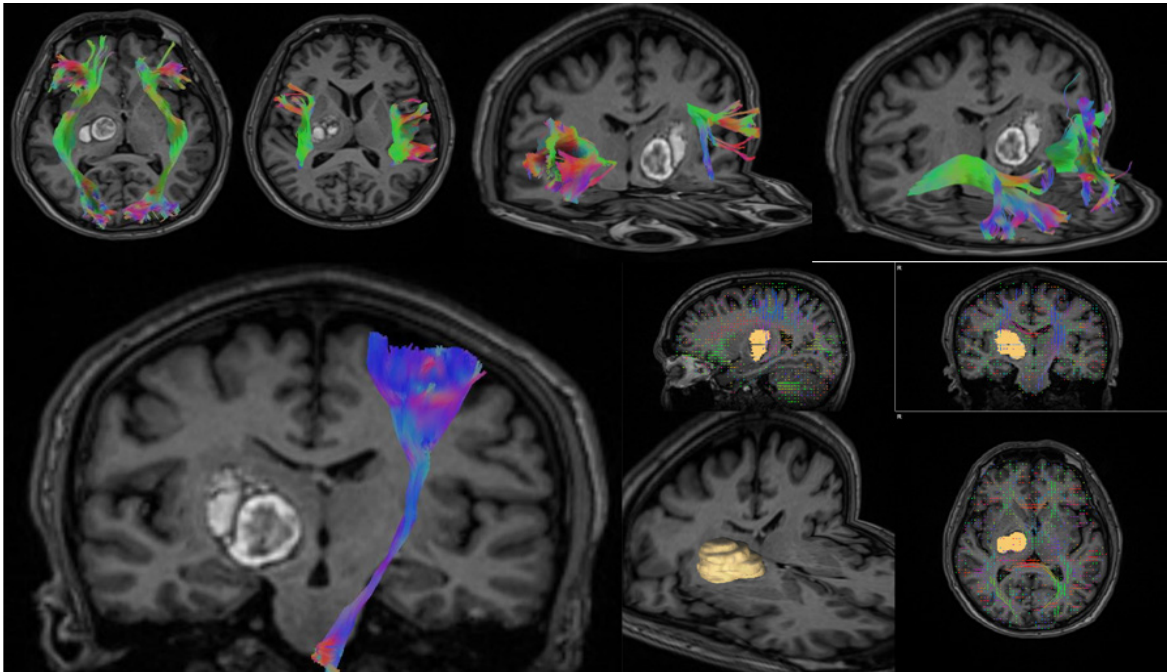
dự định phẫu thuật cần được cân nhắc kỹ khi liên quan đến các chức năng quan trọng như thị giác, thính giác, vận động,... Ví dụ như sự suy giảm thính lực là biểu hiện khách quan phổ biến nhất của các tổn thương trên yên. Nghiên cứu của Hajiabadi và cộng sự năm 2015 cho thấy sự suy giảm thị lực ở nhóm sử dụng DTI bị giảm do sự đè ép giao thoa thị giác, so sánh với nhóm chứng có cấu trúc giao thoa thị giác bình thường [22]. Hay trong nghiên cứu của Fang và cộng sự năm 2020 về đánh giá yếu tố nguy cơ suy giảm chức năng ngôn ngữ trong phẫu thuật cắt bỏ khối u thần kinh đệm, cho thấy chức năng ngôn ngữ trước mổ và khoảng cách giữa khối u thần kinh đệm và bó cung AF liên quan đến chức năng ngôn ngữ sau phẫu thuật. Nghiên cứu cũng chỉ ra giá trị ngưỡng cut-off của khoảng cách khối u thần kinh đệm tới bó cung AF có thể giảm khả năng ngôn ngữ là 3,2 mm [23].

Tương tự, một nghiên cứu đánh giá rủi ro liên quan đến khả năng vận động và ngôn ngữ. Khoảng cách giữa khối u với các bó sợi thần kinh (LTD: Lesion-to-Tract Distance) được đo đạc và đánh giá mối liên quan với chức năng vận động và ngôn ngữ. Kết quả cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa giữa các bệnh nhân không có khiếm khuyết thần kinh và các bệnh nhân có khiếm khuyết thần kinh vĩnh viễn liên quan đến phẫu thuật với bó vỏ não tủy gai, bó cung và các bó liên quan đến chức năng ngôn ngữ ($p < 0,05$). Giá trị ngưỡng cut-off đối với liệt hoặc rối loạn ngôn ngữ liên quan quan đến phẫu thuật là LTD < 12 mm đối với bó vỏ não tủy gai, LTD < 16 mm đối với bó cung, và LTD < 25 mm đối với các bó liên quan đến ngôn ngữ khác. Như vậy khoảng cách giữa khối u và bó sợi kế cận cần được cân nhắc khi lập kế hoạch phẫu thuật dưới sự định hướng của DTI tractography [24].

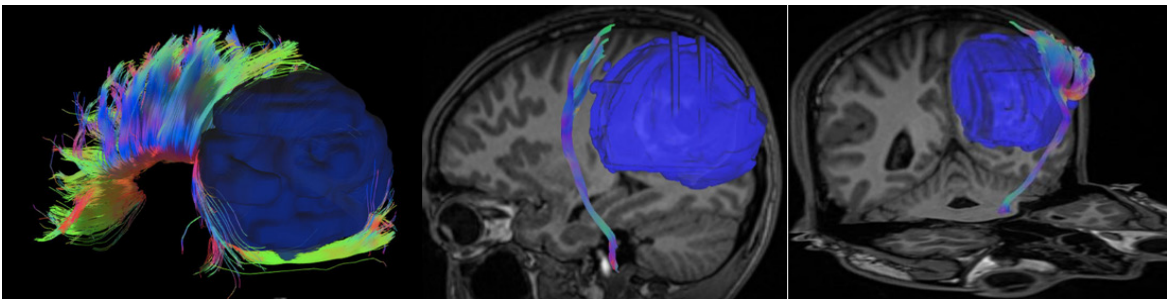


Hình 5. Hình minh họa việc đo khoảng cách LTD tương quan với bó vỏ não tủy gai (màu xanh dương). Màu đỏ hiển thị vị trí của khối u não, màu xanh lá cây hiển thị vỏ não có chức năng vận động [24].

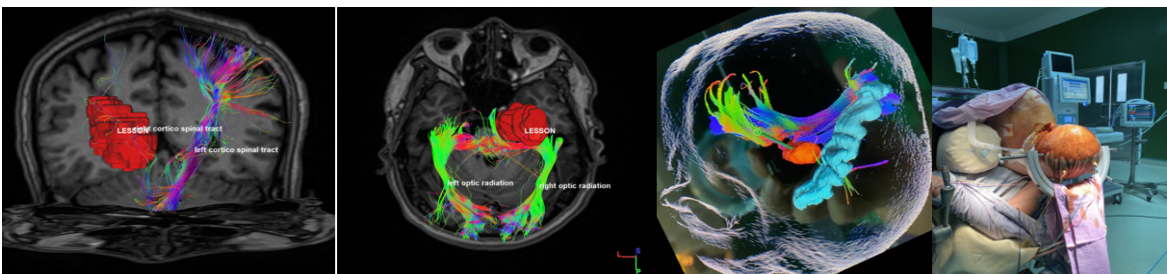
4. Một số trường hợp minh họa



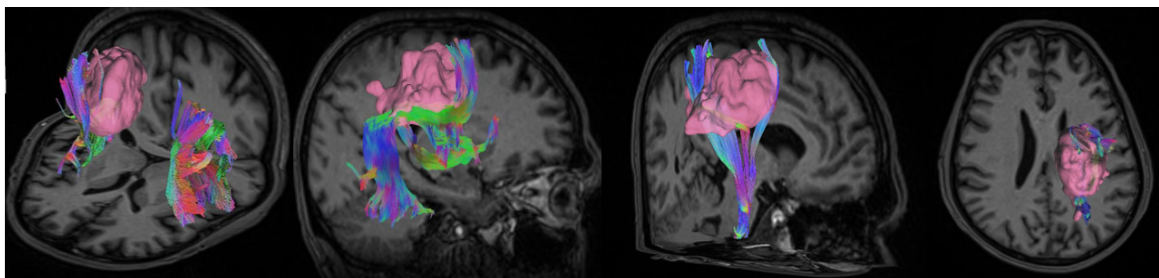
Bệnh nhân 1: Bệnh nhân có cavernoma ở vùng đồi thị phải. Tractography cho phép đánh giá mối tương quan giữa tổn thương và các bó sợi chất trắng quan trọng, đặc biệt bó trán chẩm (Inferior Fronto Occipital Fasciculus - IFOF) và bó vòng cung (Arcuate Fasciculus-AF) dưới chạy cạnh ngoài tổn thương, Bó vỏ não tủy gai (Corticol Spinal Tract - CST) khó có thể tái dựng do tổn thương đẩy ra bên ngoài và ra sau.



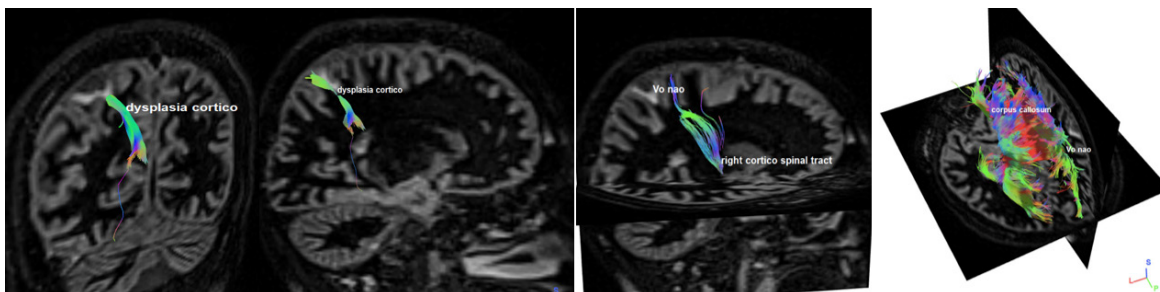
Bệnh nhân 2: Bệnh nhân nam, phát hiện khối u não kích thước lớn ở bán cầu não trái, được chuyển từ tuyến trước để thực hiện kỹ thuật chụp bó sợi chất trắng. Kết quả cho thấy khối u chèn đẩy các bó sợi, bao gồm bó vỏ não tủy gai trái.



Bệnh nhân 3: Bệnh nhân nam, 60 tuổi, chụp cộng hưởng từ ở bệnh viện tuyến trước và phát hiện có dị dạng mạch thể hang ở thủy thái dương bên phải. Để lập kế hoạch trước mổ, bệnh nhân được chỉ định chụp cộng hưởng từ DTI sọ não khảo sát mối tương quan với bó vỏ não – tủy gai và dải thị giác. Kết quả cho thấy tổn thương chèn đẩy/xâm lấn bó vỏ não tủy gai phải và dải thị phải. Hình hàng dưới là hình navigation trong mổ.



Bệnh nhân 4: Bệnh nhân nam, 55 tuổi, chụp cộng hưởng từ các chuỗi xung thường quy ở tuyến dưới phát hiện khối u não choán chỗ thùy thái dương phải. Để lập kế hoạch trước mổ và định hướng điều trị, bệnh nhân được chỉ định chụp cộng hưởng từ bó sợi thần kinh. Kết quả cho thấy tổn thương xô đẩy các thành phần của bó vỏ não tuỷ gai (CST) phải đoạn đi qua trung tâm bán cầu dục, và tiếp xúc xô đẩy phần dưới của bó vòng cung (AF).



Bệnh nhân 5: Bệnh nhân nam, 28 tuổi, tiền sử động kinh. Hình ảnh cộng hưởng từ với các chuỗi xung thường quy cho thấy hình ảnh loạn sản vỏ não khu trú vùng đỉnh chẩm phải. Tractography cho thấy tương quan vị trí giữa tổn thương và bó vỏ não tuỷ gai.

5. KẾT LUẬN

DTI tractography là kỹ thuật hiệu quả trong việc hiển thị mối tương quan của các bó sợi thần kinh với khối u não kề cận. Hình ảnh tương quan bó sợi cung cấp thông tin cần thiết cho việc lập kế hoạch phẫu thuật các khối u não, giảm thiểu xâm lấn, giảm thiểu các khiếm khuyết về thần kinh sau phẫu thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bulakbaşı N. Diffusion-tensor imaging in brain tumors. Imaging Med [Internet]. 2009 Dec;1(2):155–71.
2. Aibar-Durán JÁ, de Quintana-Schmidt C, Álvarez Holzapfel MJ, Hernández FM, Cortés CA, Martínez GV, et al. Intraoperative Use and Benefits of Tractography in Awake Surgery Patients. World Neurosurg. 2020;137:e347–53.
3. Costabile JD, Alaswad E, D'Souza S, Thompson JA, Ormond DR. Current applications of diffusion tensor imaging and tractography in intracranial tumor resection. Front Oncol. 2019;9(MAY):1–9.
4. Mori S, Zhang J. Principles of Diffusion Tensor Imaging and Its Applications to Basic Neuroscience Research. Neuron. 2006;51(5):527–39.
5. Austin Ouyang, Tina Jeon, Susan M. Sunkin, Mihovil Pletikos, Goran Sedmak, Nenad Sestan, Ed S. Lein and HH. Spatial Mapping of Structural and Connectional Imaging Data for the Developing Human Brain with Diffusion Tensor Imaging. Bone. 2008;23(1):1–7.
6. Caan MWA. DTI Analysis Methods: Fibre Tracking and Connectivity BT - Diffusion Tensor Imaging: A Practical Handbook. In: Van Hecke W, Emsell L, Sunaert S, editors. New York, NY: Springer New York; 2016. p. 205–28. Available from: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3118-7_11
7. Anastasopoulos C, Reiser M, Kiselev VG, Nguyen-Thanh T, Schulze-Bonhage A, Zentner J, et al. Local and global fiber tractography in patients with epilepsy. Am J Neuroradiol. 2014;35(2):291–6.
8. Campbell JSW, MomayyezSiahkal P, Savadjiev P, Siddqi K, Leppert IR, Pike GB. Beyond crossing fibers: Bootstrap probabilistic tractography using complex subvoxel fiber geometries. Front Neurol. 2014;5(OCT):1–11.
9. Rodrigues NB, Mithani K, Meng Y, Lipsman N, Hamani C. The emerging role of tractography in deep brain stimulation: Basic principles and current applications. Brain Sci. 2018;8(2).

10. Wasserthal J, Neher PF, Hirjak D, Maier-Hein KH. Combined tract segmentation and orientation mapping for bundle-specific tractography. *Med Image Anal* [Internet]. 2019;58:101559. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.media.2019.101559>
11. Xiong Y, Li G, Dai E, Wang Y, Zhang Z, Guo H. Distortion correction for high-resolution single-shot EPI DTI using a modified field-mapping method. *NMR Biomed*. 2019;32(9):1–15.
12. Schilling KG, Nath V, Blaber J, Harrigan RL, Ding Z, Anderson AW, et al. Effects of b-value and number of gradient directions on diffusion MRI measures obtained with Q-ball imaging. *Med Imaging 2017 Image Process*. 2017;10133:101330N.
13. Jeon T, Fung MM, Koch KM, Tan ET, Sneag DB. Peripheral nerve diffusion tensor imaging: Overview, pitfalls, and future directions. *J Magn Reson Imaging*. 2018;47(5):1171–89.
14. Yeh FC, Irimia A, Bastos DC de A, Golby AJ. Tractography methods and findings in brain tumors and traumatic brain injury. *Neuroimage*. 2021;245.
15. Oldham S, Arnatkevičiūtė A, Smith RE, Tiego J, Bellgrove MA, Fornito A. The efficacy of different preprocessing steps in reducing motion-related confounds in diffusion MRI connectomics. *Neuroimage*. 2020;222(August).
16. Descoteaux M, Deriche R, Knösche TR, Anwander A. Deterministic and probabilistic tractography based on complex fibre orientation distributions. *IEEE Trans Med Imaging*. 2009;28(2):269–86.
17. Chung HW, Chou MC, Chen CY. Principles and limitations of computational algorithms in clinical diffusion tensor MR tractography. *Am J Neuroradiol*. 2011;32(1):3–13.
18. Manan AA, Yahya N, Idris Z, Manan HA. The Utilization of Diffusion Tensor Imaging as an Image-Guided Tool in Brain Tumor Resection Surgery: A Systematic Review. *Cancers (Basel)*. 2022;14(10):1–19.
19. Chun SY, Li KC, Xuan Y, Xun MJ, Qin W. Diffusion tensor tractography in patients with cerebral tumors: A helpful technique for neurosurgical planning and postoperative assessment. *Eur J Radiol*. 2005;56(2):197–204.
20. Zhang H, Feng Y, Cheng L, Liu J, Li H, Jiang H. Application of diffusion tensor tractography in the surgical treatment of brain tumors located in functional areas. *Oncol Lett*. 2020;19(1):615–22.
21. Mao Y, Ph D. C Linical E Valuation and F Ollow - Up O Utcome of D Iffusion T Ensor I Maging - Based F Unctional. *Neurosurgery*. 2007;61(5):935–49.
22. Hajiabadi M, Samii M, Fahlbusch R. A preliminary study of the clinical application of optic pathway diffusion tensor tractography in suprasellar tumor surgery: Preoperative, intraoperative, and postoperative assessment. *J Neurosurg*. 2016;125(3):759–65.
23. Li FY, Liu HY, Zhang J, Sun ZH, Zhang JS, Sun GC, et al. Identification of risk factors for poor language outcome in surgical resection of glioma involving the arcuate fasciculus: An observational study. *Neural Regen Res*. 2021;16(2):333–7.
24. Sollmann N, Zhang H, Fratini A, Wildschuetz N, Ille S, Schröder A, et al. Risk assessment by presurgical tractography using navigated tms maps in patients with highly motor-or language-eloquent brain tumors. *Cancers (Basel)*. 2020;12(5).