

مطيافية التجاوب المغنطيسي الوظيفي في الدماغ

خالد محمد عبده سعيد و سهام الطرابيشي

و فخري كتوت و مازن الدغلي

قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة دمشق - سورية

تاريخ الإيداع 2008/07/01

قبل للنشر في 2009/01/18

الملخص

يمكن لتصوير التجاوب المغنطيسي التقليدي من خلال دوري الاسترخاء T_1 و T_2 والتعاقب FLAIR أن يكشف عن إصابات الدماغ دون التمييز فيما بينها. غير أنه باستخدام تقنية تصوير الانتشار DWI يمكن التمييز بين الخراجات (التي تتميز صورها بشدة ارتفاع إشارتها وتجانسيتها) والأورام (التي تتعلق صورها بشدة الخلوية وتنصف بلا تجانسيتها). يمكن لمطيافية التجاوب المغنطيسي البروتوني 1H MRS أيضاً، من خلال طيف النواتج الاستقلابية المرتبطة بالإصابة أن تؤكد نوعيتها.

الكلمات المفتاحية: مطيافية التجاوب المغنطيسي الوظيفي، المستقلبات، الانزياح الكيميائي CS، تحويل فورييه FT، إشارة التخماد التلقائي FID، التواتر المرجعي الصفري، الاقتران السبيني، حذف إشارة الماء، المطيافية البروتونية الأحادية العنصر الحجمي، التعاقب PRESS، التعاقب STEAM، زمن الصدى TE، زمن الاسترخاء T_1 و T_2 ، تصوير الانتشار، ورم، خراج.

Brain Functional Magnetic Resonance Spectroscopy

K. M. Abdo Said⁽¹⁾ ; S. Tarabishi⁽¹⁾ ;
F. Katot⁽¹⁾ and M. Al-Dogli⁽²⁾

⁽¹⁾Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria

⁽²⁾Dar Al-Chifa Hospital, Damascus, Syria.

Received 01/07/2008

Accepted 18/01/2009

ABSTRACT

Conventional magnetic resonance imaging cMRI, through T_1 , T_2 relaxation and FLAIR sequence reveals brain lesions. With diffusion weighted imaging DWI, one can differentiate between abscesses (characterized by homogeneous hyper intense signal images) and tumors (characterized by cellularity-dependent heterogeneous signal images). Proton Magnetic Resonance Spectroscopy ^1H MRS, through lesion related metabolite spectrum may improve, even ensure the specificity of diagnostic.

Key Words: Functional Magnetic Resonance Spectroscopy, Metabolites, Fourier transform, Chemical shift, FID signal, Zero reference frequency, J-coupling, Water suppression, Single-Voxel Proton Brain Spectroscopy, PRESS sequence, STEAM sequence, Time of echo, Relaxation T_1, T_2 , Diffusion Imaging, Tumor, Abscess.

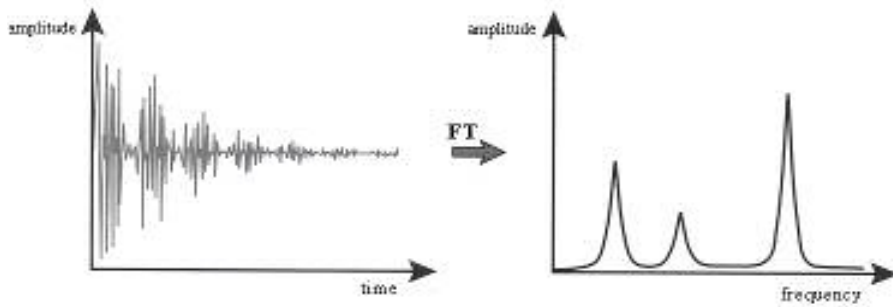
المقدمة

مطيافية التجاوب المغنطيسي الوظيفي في الدماغ

تهدف مطيافية التجاوب المغنطيسي Magnetic Resonance Spectroscopy MRS إلى إظهار مختلف الجزيئات الاستقلابية وتراكيزها في نسيج حيوي معين بفضل الانزياح الكيميائي لهذه المواد المختلفة.

يتحتم في مطيافية التجاوب المغنطيسي، كما هو الحال في التصوير بالتجاوب المغنطيسي، إثارة بعض النوى بشكل اصطفائي (كالهيدروجين أو الفوسفور مثلاً) وقياس الإشارات التي تصدرها النوى استجابة للإثارة. يتم تمثيل النتيجة على شكل أطيف تعطي معلومات عن محتوى البنية المدروسة من المستقلبات التي يمكن من خلال رصد تغير تراكيزها توصيف بعض الأمراض [1,7]. يتم الحصول على الأطيف بالاستعانة بتحويل فورييه الرياضي الذي يسمح باستخلاص المحتوى التواتري لإشارة معينة من خلال الانتقال من تمثيل سعة الإشارة بدلالة الزمن إلى تمثيل السعة بدلالة التواتر.

يتم استقبال إشارة التخماد التلقائي free induction decay FID الصادرة من عينة معينة. تضم هذه الإشارة عدة تواترات، غير مرئية في المجال الزمني ولكن يمكن التمييز فيما بينها في المجال التواتري بعد تطبيق تحويل فورييه Fourier transform FT [2,3,7,13,14] (الشكل 1).



الشكل (1) تحويل فورييه لإشارة معينة، لا يمكن التمييز بين مختلف تواترات إشارة معينة في المجال الزمني، ولكنها تصبح مرئية بعد تحويل فورييه إلى المجال التواتري على شكل نهايات تواترية.

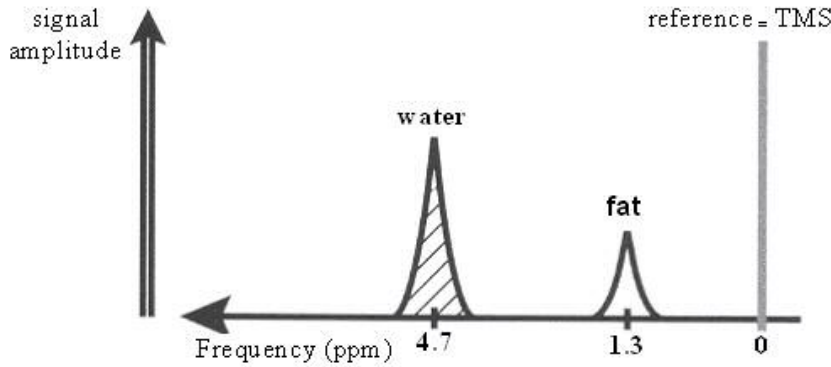
من شأن تدرج الترميز التواتري للمكان في التصوير أن يفصل بين التواترات التي تضمها الإشارة المستقبلية، الأمر الذي يسمح بتحديد المواقع المكانية لمختلف العناصر الحجمية في صورة معينة، التي ينشأ كل عنصر فيها من الإشارات الصادرة عن

بروتونات جميع المستقلبات الموجودة في العنصر الحجمي المقابل، من دون إمكانية التعرف عليها. أما مطيافية التجاوب المغناطيسي فتهدف إلى التمييز بين المستقلبات الموجودة في ذلك العنصر، كما سنرى لاحقاً، بالاعتماد على انزياح تواتراتها التجاوبية. من جهة معدات مطيافية التجاوب المغناطيسي MRS هي عملياً نفسها المستخدمة في التصوير. ولكنها تختلف عنها، بالحقل المغناطيسي B_0 ، الذي يجب أن يكون متجانساً [1,2,3,7,12,14] وأعلى من 1.5T، كما تستخدم في المطيافية تعاقبات افتناء نوعية وبرمجيات ملائمة لمعالجة للإشارة. يستخدم في المطيافية البروتونية (الهيدروجين H) سلسلة نبضات التواتر الراديوي RF والهوائيات نفسها المستخدمة في التصوير. أما في حالة المطيافية المتعددة النوى التي يتم فيها الكشف عن نوى متعددة كالفوسفور ^{31}P والكربون ^{13}C مثلاً فتستخدم هوائيات خاصة بها.

نعتمد في هذا البحث على المطيافية البروتونية الأكثر انتشاراً نظراً لوفرة الهيدروجين في العضوية، والتي تعتمد على الحقل المغناطيسي 1.5T [1,2,3,7,14].

مبدأ مطيافية التجاوب المغناطيسي

تعتمد مطيافية التجاوب المغناطيسي MRS على الانزياح الكيميائي لتواتر تجاوب نوى الهيدروجين التي يتم رصدها في مختلف المركبات الكيميائية (المستقلبات المختلفة). تؤدي إلكترونات الوسط الذي يحيط بالنواة عملياً إلى تعديل الحقل المغناطيسي الذي تخضع له أي زمرة كيميائية موضعياً في المركب (المستقلب)، ومن ثم تغيير تواتر تجاوب النوى الموافقة. يمكن ملاحظة الانزياح الكيميائي لتواتر تجاوب نوى الهيدروجين بين الماء والشحم (الشكل 2).



الشكل (2) الطيف الخطي للانزياح الكيميائي الذي يقابل كل خط فيه زمرة كيميائية معينة. تدرج فاصلة هذا الطيف بأجزاء من مليون (ppm) من تواتر مرجعي صفري، في حين يدل ترتيبه على شدة الإشارة.

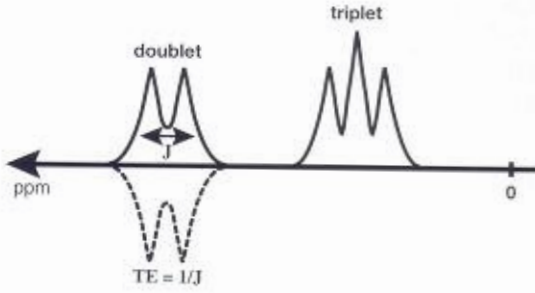
يجب في تصوير التجاوب المغنطيسي السعي إلى تقليص ظاهرة الانزياح الكيميائي - بقدر الإمكان - تجنباً للخادعات، تهدف مطيافية التجاوب المغنطيسي MRS عملياً إلى إظهار هذه الظاهرة كفيلاً وكماً. وبذلك يتميز كل جزيء يحوي نواة الذرة المراقبة بانزياح كيميائي دقيق يشكل بصمة التجاوب المغنطيسي النووي NMR الخاصة به [2,3,7,14]. يتم تمثيل الانزياح الكيميائي بيانياً بطيف خطي. يقابل كل خط (أو مجموعة من الخطوط) في هذا التمثيل زمرة كيميائية معينة. يدرج محور سينات هذا التمثيل البياني بوحدة الجزء من مليون ppm من تواتر تجاوب نوى هيدروجين رباعي ميثيل السلان (TMS) tetramethylsilane الذي يؤدي دور تواتر مرجعي صفري في المطيافية البروتونية [4,5]، بحيث يقع هذا التواتر اصطلاحاً إلى يمين محور السينات وتقع قيم ppm الأكثر ارتفاعاً إلى اليسار وتقابل تواترات تجاوب أكثر ارتفاعاً. أما محور العينات فيدرج بشدة الإشارة التي تتناسب بدورها طردياً مع المساحة التي تقع تحت خط التجاوب (والمقابل لسعة الإشارة المسجلة عند تواتر تجاوب معين) والتي تتناسب طردياً مع عدد النوى الموجودة في زمرة كيميائية معينة (الشكل 2).

كي تكون قيمة الانزياح الكيميائي Chemical shift (Cs) لجزيء معين، تواتر تجاوبه ω_n ، مستقلة عن الحقل المغنطيسي المطبق B_0 فإنه يتم التعبير عنه بوحدة ppm من تواتر تجاوب نوى الهيدروجين في المركب المرجعي الصفري ω_{ref} (وليس بتغير التواتر أي لا يقدر بالهرتز) من خلال العلاقة الآتية:

$$CS = \frac{\omega_n - \omega_{ref}}{\omega_{ref}} \times 10^6$$

وبذلك يساوي الانزياح الكيميائي بين الماء والشحوم 3.5ppm دائماً، في حين أن الانزياح التواتري يتضاعف مع تضاعف الحقل من 1.5T إلى 3T [4,5,7,13].

يمكن التمييز بين الجزيئات المختلفة أيضاً من خلال أشكال خطوط تجاوبها. ففي بعض الحالات تتكون نهاية التجاوب المقابلة لبعض الزمر الكيميائية عملياً من خطين الثنائي (doublets) أو من ثلاثة خطوط الثلاثي (triplets) (الشكل 3). ترتبط هذه الظاهرة باقتران السبين - سبين (الاقتران بين سبينات النوى المتجاورة).

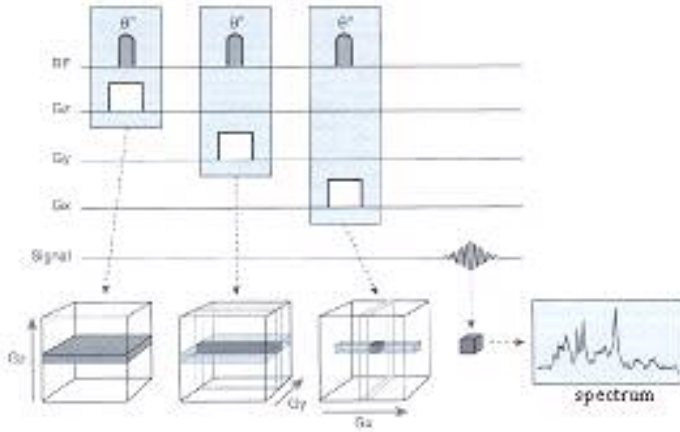


الشكل (3) الاقتران السبيني وظهور ظاهرة انعكاس الخط الطيفي لزمرة معينة لدى زيادة زمن الصدى.

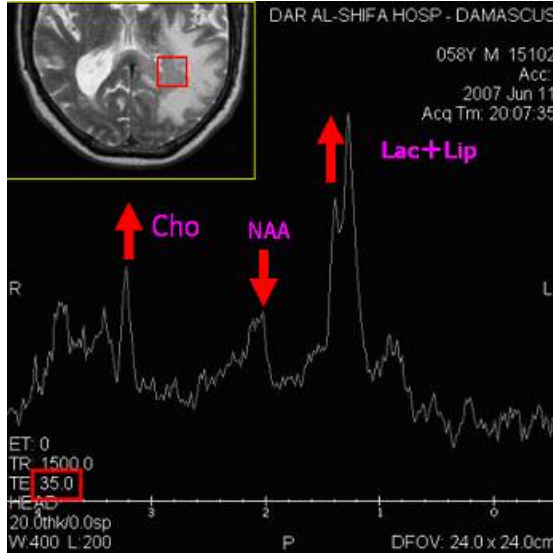
فبينما تؤدي الإلكترونات المحيطة بالنوى، في الانزياح الكيميائي، إلى تغيير الحقل المغناطيسي موضعياً ومن ثم تغيير توافات التجاوب، فإن التفاعل بين نوى الزمر الكيميائية المتجاورة، يتدخل في حالة الاقتران السبيني. حيث يتميز هذا التفاعل المستقل عن الحقل المغناطيسي الخارجي (خلافاً للانزياح الكيميائي الذي يتناسب طردياً مع B_0) بثابت الاقتران J الذي يعبر عن التباعد بين شطري الخط مقدراً بالهرتز [5,6,7,12,13,14] (الشكل 3). تبدي هذه الظاهرة خصوصية أخرى: حيث يمكن عملياً ملاحظة انعكاس الخط doublet عندما يكون زمن الصدى مساوياً مقلوب ثابت الاقتران $TE = 1/J$ (الشكل 3)، كما هو الحال في اللاكتات [1,3,7]، كما سنرى لاحقاً.

المطيافية البروتونية الأحادية العنصر الحجمي ومبدؤها

تعتمد تقنية المطيافية البروتونية الأحادية العنصر الحجمي في الدماغ (PROBE/SV)، single-voxel Proton Brain Exam، على اختيار الحجم موضع الدراسة (الشكل b4)، المربع الصغير على صورة الدماغ) بتقاطع ثلاثة مستويات متعامدة. ولهذا يجب تطبيق ثلاث نبضات انتقائية على التوالي: حيث يثار مقطع في كل من الاتجاهات x و y و z عن طريق تدرج يرافق نبضة التواتر الراديوي RF. فيكون منشأ الإشارة المستقبلية والتي يتم توظيفها في مطيافية التجاوب المغناطيسي MRS هو الحجم الناتج (العنصر الحجمي volume element) (أي الفوكسل voxel) عن تقاطع المستويات الثلاثة (الشكل a4)، يقدر حجم الفوكسل الحاصل بهذه الطريقة بنحو 1 إلى 8 cm^3 [1,2,7].



a

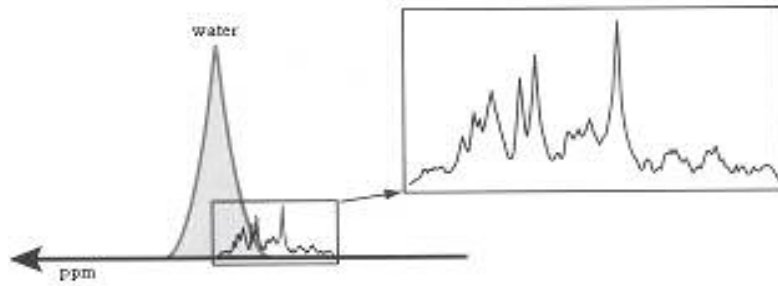


b

الشكل (4) مبدأ اختيار الحجم موضع الدراسة (الفوكسل) في المطيافية الأحادية العنصر الحجمي.

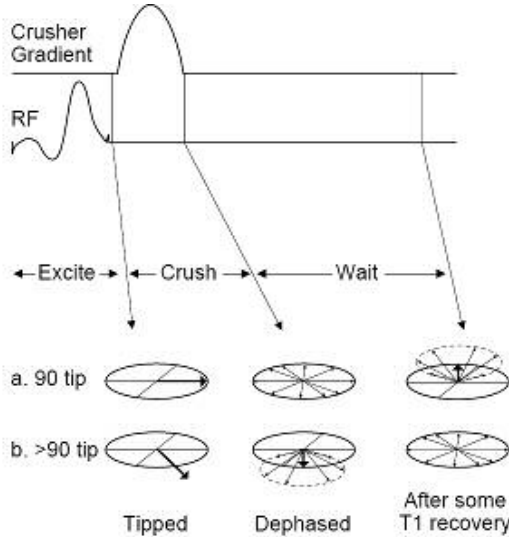
حذف الماء والشحوم

إن خط الماء في طيف التجاوب المغنطيسي يفتتح إشارات بروتون الهيدروجين (الشكل 5) في الجزيئات الأخرى (المستقلبات) والأضعف تركيزاً بكثير، وذلك نظراً لارتفاعه الشديد واقتراب تواتر تجاوبه منه في حالة الجزيئات الأخرى، ومن هنا نرى أنه لا بد من حذف إشارة الماء للحصول على أطياف عالية الجودة.



الشكل (5) أهمية حذف إشارة الماء في مطيافية التجاوب المغناطيسي البروتونية.

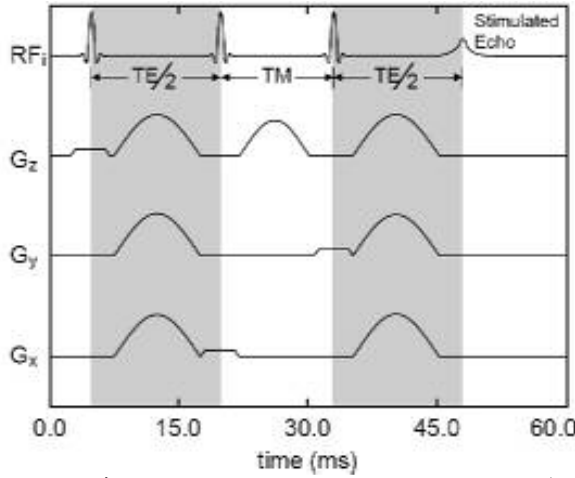
ولحذف الماء استخدمنا مبدأ التعاقب (CHESS) Chemical Shift Selective والذي يتلخص بتطبيق ثلاث نبضات تواتر راديوي 90° عرض عصابتها ضيق جداً حول تواتر تجاوب الماء، من شأنها أن تقلب المغنطة الطولانية للماء نحو المستوي العرضاني. يعقب هذه النبضات تطبيق تدرجات crusher gradients وفق المحاور الثلاثة x و y و z (الشكل 6)، من شأنها أن تفسد تطاور سبينات الماء، فينزع القناع عن إشارات المستقلبات التي يتم السعي للكشف عنها. من الجدير بالذكر أنه لا ضرورة لحذف إشارة الدهون ولو أنه يجب تحاشي المناطق القريبة من فروة الرأس كي لا تشوش إشارة الفوكسل موضع الدراسة [1,2,3,7].



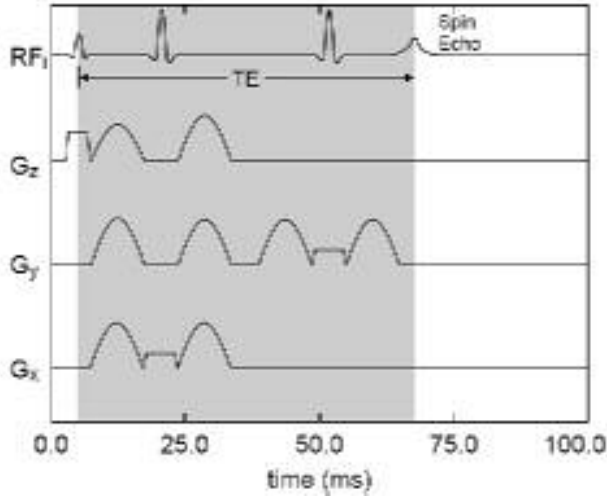
الشكل (6) مبدأ التعاقب CHESS (الانزياح الكيميائي الاصطفائي) المستخدم في حذف إشارة الماء، في b تطبيق نبضة أكبر من $90^\circ RF$ بقليل لإلغاء استرخاء إشارة الماء T_1 قبل التمكن من افتناء الإشارات الخاصة بالمستقلبات الأخرى.

التعاقبات المستخدمة في المطيافية البروتونية الأحادية الفوكسيل

يستخدم التعاقبان الرئيسيان (STEAM) Stimulated Echo Acquisition Mode و (PRESS) Point Resolved Spectroscopy في المطيافية البروتونية الأحادية الفوكسيل في تحديد موقع العنصر الحجمي المدروس [1,2,3,7,14]، (الشكل 7 a,b).

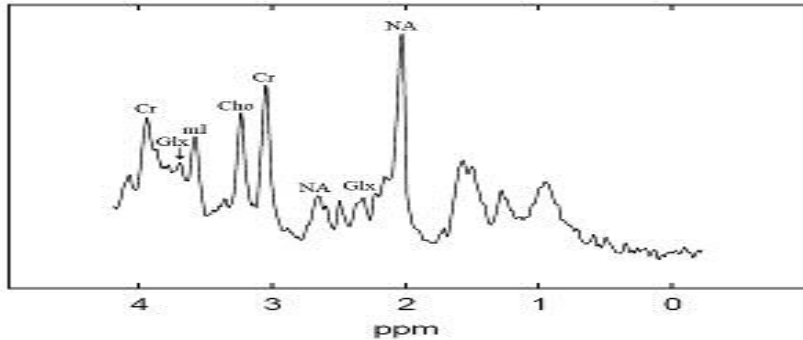


الشكل (a7) التعاقب STEAM يستخدم ثلاث نبضات $90^\circ RF$ في توليد الصدى المحثوث.



الشكل (b7) التعاقب PRESS يستخدم نبضة $90^\circ RF$ يعقبها نبضتان $180^\circ RF$ لتوليد صدى السبين.

يستخدم كلا التعاقبين ثلاث نبضات تواتر راديوي لاختيار العنصر الحجمي ونبضات التدرج المفسدة لمغنطة الماء نفسها. يختلف التعاقب الأول عن الثاني في أنه يستخدم ثلاث نبضات $90^\circ RF$ في توليد الصدى المحثوث في حين يستخدم الثاني نبضة $90^\circ RF$ يعقبها نبضتان $180^\circ RF$ لتوليد صدى السبين (الشكل 7 a,b). تؤدي الاختلافات بين مخططي الإثارة في الحالتين إلى اختلافات في حساسية التعاقب للاسترخاء T_2 على النحو الذي تدل عليه المناطق المظللة في الشكل (7 a,b). لأن التعاقب الأول كما يظهر في الشكل (7a)، أقل حساسية لآثار الاسترخاء T_2 نظراً لأن هذا الأخير يتم خلال زمن مزج mixing time (TM) نبضتي التواتر الراديوي الثانية والثالثة، في حين أن التعاقب الثاني حساس لهذا الاسترخاء في أثناء الإثارة (الشكل 7b). أي أن الفروق بين هذين التعاقبين تكمن عملياً في أزمنة الصدى TE المتوافرة وفي نسبة الإشارة إلى الضجيج الحاصلة. يسمح التعاقب STEAM بتطبيق أزمنة صدى أقصر (نحو 15 إلى 20ms). ولكن نسبة الإشارة إلى الضجيج فيها أضعف منها في حالة التعاقب PRESS نظراً لأنه لا يتم استقبال إلا الصدى المحثوث الذي تتصف شدة إشارته بأنها تساوي نصف إشارة صدى السبين. يستخدم التعاقب PRESS عموماً بزمن TE طويل (135 أو 270ms) ولكنه يسمح أيضاً بتطبيق TE قصير (نحو 30ms). تعتمد المستقلبات (أي الخطوط الطيفية المقابلة) التي يمكن إظهارها في النسيج الدماغي (الشكل 8) على زمن الصدى المستخدم TE. ففي حالة تعاقب يكون TE فيه طويلاً يمكن ملاحظة المستقلبات التي يكون T_2 فيها طويلاً، أما في حالة التعاقب الذي يكون TE قصيراً فتظهر المستقلبات التي يكون T_2 الخاص بها طويلاً أو قصيراً على السواء. غير أنه لا يمكن لنا الاعتماد على أزمنة الصدى القصيرة فحسب، لأن هناك بعض الحالات التي يحدث فيها تراكب لخطوط تنتمي لمستقلبات مختلفة كما يحدث لخطي اللاكتات والليبيدات مثلاً في زمن الصدى القصير. وللتمكن من التمييز فيما بينهما نضطر لاستخدام زمن صدى طويل من شأنه أن يعكس خط اللاكتات ويبقي على خط الليبيدات [1,2,7,14].



الشكل (8) الطيف النموذجي للمستقلبات الدماغية باستخدام زمن صدى TE قصير.

من المستقبلات التي تظهر في طيف الدماغ

<p>يعدّ هذا المستقبل شاهدة على تكامل الوظيفة العصبونية ويتميز بأطول خط طيفي يدل على زيادة تركيزه الذي ينخفض في العديد من الحالات المرضية، كما في الأورام.</p> <p>- يلاحظ انخفاض كل من NAA والنسبة NAA/Cr بشكل نموذجي في الأورام، مما يدل على نقصان حيوية الخلايا العصبية وعددها.</p> <p>- إذا كان مستوى NAA طبيعياً يستبعد أن تكون الإصابة ورماً ما عدا الحالات الآتية:</p> <p>1- في الأورام الدبقية منخفضة الدرجة، التي يمكن لطيفها أن يشبهه في حالة البرنشيم الطبيعي.</p> <p>2- إذا كانت الآفة أصغر بكثير من أبعاد الفوكسل. يمكن لجزء النسيج السليم الذي يحيط بالإصابة ضمن الفوكسل أن تعطي زيادة مغلوطة في إشارة NAA.</p> <p>3- في الأورام الراشحة (infiltrative)، حيث يمكن المحافظة فيها على مستويات NAA.</p> <p>- تتخفص في حالة ورم الخلايا النجمية</p> <p>- تنعدم تماماً في حالة الإصابة بالأورام السحائية والأورام الشفانية Schwannoma ولكن وجودها في حالة هذه الأورام يدل على التأثير بالنسيج البرنشيمي المجاور.</p> <p>لا توجد نهائياً في تجاويف الخراجات.</p>	<p>2.02ppm</p>	<p>1- استيل اسبارتات N-Acetyl Aspartate (NAA)</p>
<p>ويندخان في الاستقلابية الطاقية وتركيزهما ثابتان في الدماغ السليم، تقاس تراكيز المستقبلات الأخرى بالنسبة إلى الكرياتين Cr (Cho/Cr) أو (NAA/Cr). يمكن أن يعود انخفاض الكرياتين إلى الحاجة الاستقلابية للطاقة في الأورام.</p> <p>- ينعدم تماماً في حالة الإصابة بالأورام السحائية والأورام الشفانية Schwannoma.</p> <p>لا يوجد الكرياتين نهائياً في الخراجات.</p>	<p>3.02/3.94ppm</p>	<p>2- الكرياتين والفوسفوكرياتين Cr/PCr</p>
<p>- وهو دليل على الفاعلية الغشائية الخلوية (اصطناع أو انحلال)، وهو المستقبل الرئيسي الذي يجب تقييمه في الأورام، حيث يتوافق ارتفاع مستوياته بارتفاع النشاط الغشائي الخلوي وارتفاع الكثافة الخلوية، الناجم عن تكاثر الخلايا الورمية.</p> <p>- تتوفر المستويات العالية للكولين في هذه الحالة بشكل نموذجي في الأورام الدبقية من الدرجة الثانية والثالثة. إن زيادة نسبي الكولين إلى الكرياتين Cho/Cr والكولين إلى استيل اسبارتات Cho/NAA ترجح وجود ورم دماغي.</p> <p>- لا يوجد نهائياً في الخراجات.</p>	<p>3.22ppm</p>	<p>3- الكولين Cho</p>

<p>- الغلوتومات ناقل عصبي استثاري وينتج الغلوتامين عن تفاعل الغلوتامات مع جذر أميني، ويحتمل أن يكون له دور في التحكم بالغلوتامات وفي إزالة سمية الخلايا.</p> <p>- إذا كان خطه أطول من ثلث خط NAA، فهذا دليل على زيادة مستواه، والإصابة إما بورم سحائي أو بإحدى الإصابات غير الورمية التالية عندما يكون طول خطه أكبر بكثير من ثلث خط NAA.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Infection and encephalitis • Infarction • Hepatic encephalopathy • Ornithine transcarbamylase deficiency 	<p>نهاية متعددة تقع بين 2.1 و 2.55ppm</p>	<p>4-الغلوتامات Glu والغلوتامين Gln ويرمز لهما (GLx)</p>
<p>- وهو دليل على الفاعلية الدقيقة ويتوافر في الخلايا النجمية وارتفاع نسبهته إلى الكرياتين دليل على الإصابة بالورم حيث تكون هذه النسبة في الأورام المنخفضة الدرجة أعلى منها في الأورام العالية الدرجة وتفيد في التمييز بين الآفات داخل القحفية، وزيادتها العالية جدا تنفي كون الإصابة ورمية. يمكن إظهاره بشكل أفضل عند زمن الصدى 30ms.</p>	<p>3.56ppm</p>	<p>5-الميوإنوزيتول mI</p>
<p>- ويلاحظ لدى حديثي الولادة والخدج ويتولد نتيجة لتحلل الغلوكوز اللاهوائي. كما يلاحظ في معظم أورام الدماغ (الأورام للمفاوية والسحائية) لدى البالغين والأطفال، ويرتبط طول خطه مباشرة بدرجة الورم حيث يكون أطول بقدر ما تكون درجة الورم أعلى. كما يلاحظ في الخزجات الاحتشاءات والتصلب اللويحي والتخثر النسيجي وينقلب خطه عند TE=135msec.</p>	<p>خط ثنائي doublet عند 1.33ppm</p>	<p>6-اللاكتات Lac</p>
<p>- يلاحظ ارتفاع مستوياتها في الأورام (الأورام للمفاوية والسحائية) والكتل الانتهاجية كالخزجات. كما يعد وجودها مؤشرا قويا على الأنسجة المتخثرة. وهي توجد في آفات زوال المليون الحادة، دالة على تمزق غمد المليون [1,3,7,8,9,14].</p>	<p>خطان مميزان يقع أحدهما عند 0.8ppm والآخر عند 1.33ppm</p>	<p>7-الليبيدات Lipids</p>
<p>تعد دلائل نوعية على الخزجات المنقحة حيث توجد داخل تجاويها وقد دلت الدراسات الإحصائية (Grand et al) [10] على وجود هذه الحموض الأمينية في 95% من الخزجات المدروسة. تظهر هذه الحموض الأمينية في الأطياف ذات زمن الصدى الطويل ويكشف عنها أيضا باستخدام زمن صدى قصير (25-30msec)، ولكن في هذه الحالة يمكن أن تنتشوش بوجود الليبيدات. إن استخدام زمن صدى (135 أو 144msec) يمكننا من عكس نهاية الحموض الأمينية إلى أسفل الخط الأساسي اللطيف. الأمر الذي يميزها عن الليبيدات، التي يمكن أن توجد في الأورام وفي الخزجات.</p>	<p>0.9ppm</p>	<p>8-الحموض الأمينية cytosolic amino acids (AA)</p>
<p>يعدُّ الأسيئات والسكسينات من المستقبلات النوعية التي يمكن من خلالها التمييز بين الخزجات من جهة والأورام من جهة أخرى حيث تزداد في الخزجات [10].</p>	<p>1.92 ppm 2.4 ppm</p>	<p>9-الأسيتات Acetate 10-السكسينات succinate</p>
<p>يوجد في الخزجات وغالبا ما يكشف عنه في الأورام السحائية. تتعكس نهايته عند زمن الصدى الطويل. [1,3,8,10,11].</p>	<p>1.48ppm</p>	<p>11-الآلانين Alanine</p>

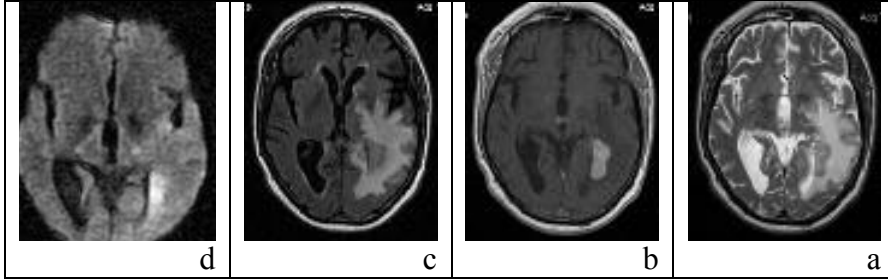
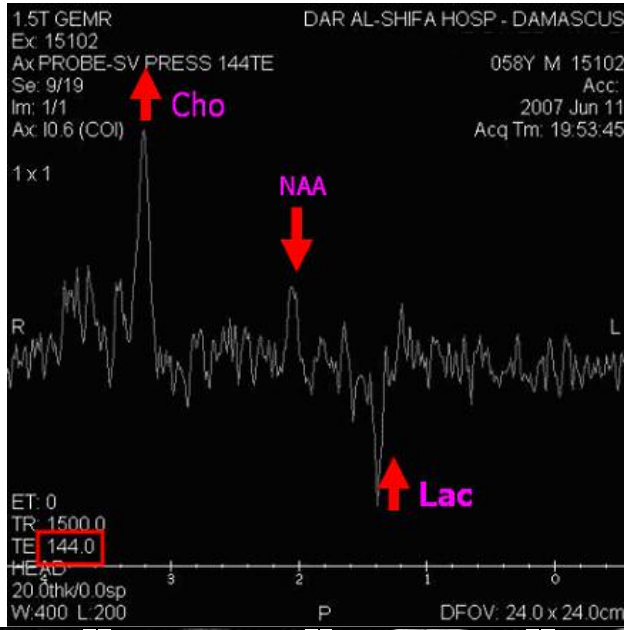
للحصول على أطياف عالية الجودة يجب تجنب الدم ومنتجات الدم والهواء والسائل الدماغي الشوكي والدهون والمناطق المتتخرة والمعادن والتكلسات والعظام. يؤدي اختلاف الطواعية المغناطيسية في مثل هذه المناطق إلى لاتجانسية الحقل المغناطيسي الأمر الذي يعيق الحصول على أطياف ذات جودة تشخيصية عالية [1,7].

النتائج التجريبية ومعالجتها

للمرنان أهمية كبيرة في التشخيص من خلال استخدامه في التصوير بالاعتماد على دور الاسترخاء T_2 (الصورة a الشكل 9) والاسترخاء T_1 (الصورة b الشكل 9) والتعاقب FLAIR (الذي يتضمن حذف السائل الدماغي الشوكي، الصورة c الشكل 9) أو الانتشار (الذي يميز الكثافة الخلوية عن حركة الجزيئات القابلة للحركة في الإصابات، نزف أو وذمة) (الصورة d الشكل 9) التي يمكن الاستدلال من خلالها على إصابات الدماغ، من دون تحديد أنواعها وهل تدل على إصابات ورمية أو كتل التهابية كالخراجات. غير أنه باللجوء إلى مطيافية التجاوب المغناطيسي البروتونية والاعتماد على تشرحية الدماغ يمكن الجزم بنوعها وتحديدها.

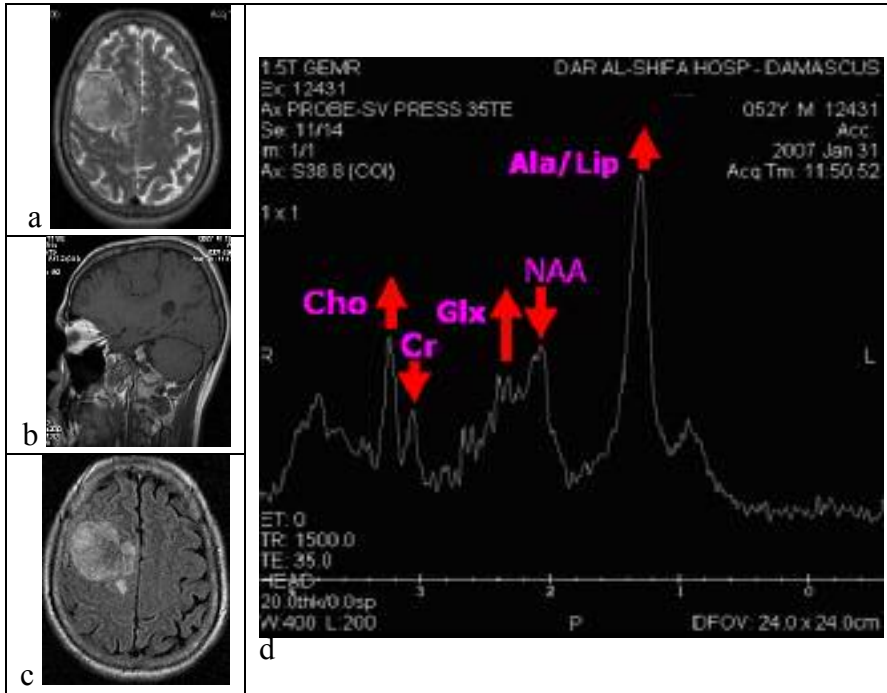
نورد فيما يأتي بعضاً من الحالات النموذجية التي حصلنا عليها:

ففي الطيف الذي أوردناه أعلاه في الشكل b4 مثلاً نلاحظ انخفاض إشارة كل من الأستيل أسبارتات (NAA)¹ والكرياتين (Cr)² وارتفاع إشارة الكولين (Cho) فضلاً عن ظهور إشارة اللاكتات (Lac)⁶ وربما الليبيدات (Lip)⁷ التي تقع في الموقع نفسه على الطيف عند زمن صدى قصير 35ms، حيث يمكن عكس نهاية اللاكتات عند زمن صدى طويل 144ms في الطيف الناتج للحالة نفسها (الشكل 9) والذي يؤكد الإصابة بورم وينفي الإصابة بالخراج ولاسيما في غياب المستقلبات النوعية للخراج كالحموض الأمينية والأسيتات والسكسينات. وبالاعتماد على الصور التقليدية ($T_2, T_1, FLAIR$) (الصور a, b, c) على الترتيب والانتشار d المرفقة بطيف الحالة (الشكل 9) وبالنظر إلى موقع الورم فهذا يرجح الإصابة باللمفوما.

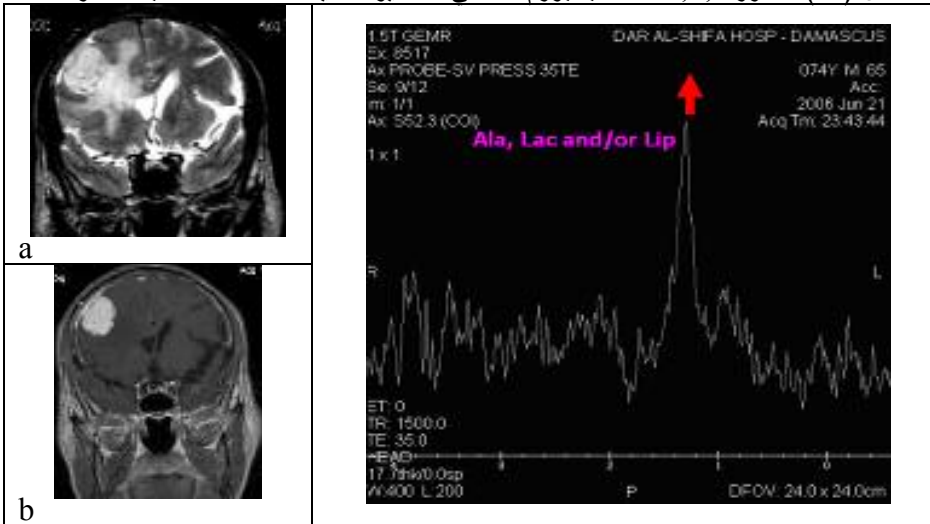


الشكل (9) الصور a و b و c و d صور لمصاب بالملقوما، والطيف في الأعلى يؤكد المستقلبات المرافقة.

في الشكل (10) أوردنا حالة أخرى تظهر الإصابة فيها من خلال تعاقبات التصوير التقليدية (T₂, T₁, FLAIR) (الصور a, b, c) على الترتيب. غير أن طيف الحالة الذي يظهر في الشكل 10 d يرجح نفي الخراج بالاعتماد على مناقشة الحالة السابقة وعلى البنية التشريحية للدماغ، ويؤكد الإصابة بالورم السحائي. أما الحالة في الشكل (11) فتدل أيضاً على الإصابة بالورم السحائي نظراً لغياب الأستيل أسبارتات (NAA)¹ والكرياتين (Cr)² الكولين (Cho)³ من جهة وظهور النهاية العالية عند الموقع الذي يمكن أن يوجد فيه الليبيدات (Lip)⁷ واللاكتات (Lac)⁶ فضلاً عن الألانين (Al)¹¹ من جهة أخرى.

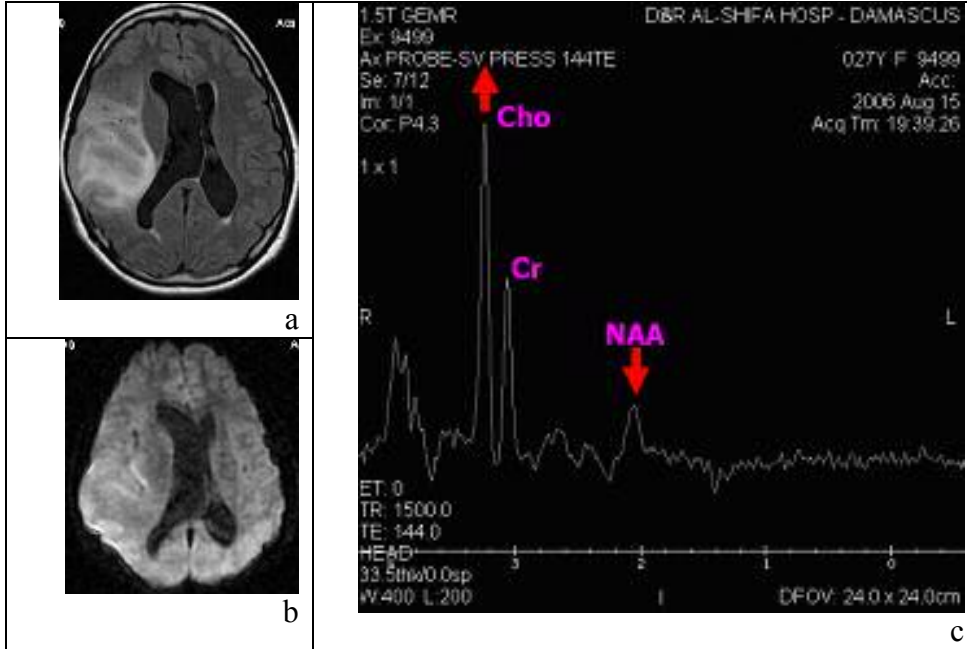


الشكل (10) الصور a,b,c لمصاب بورم سحائي، كما يؤكد طيف الحالة المستقلبات المرافقة.



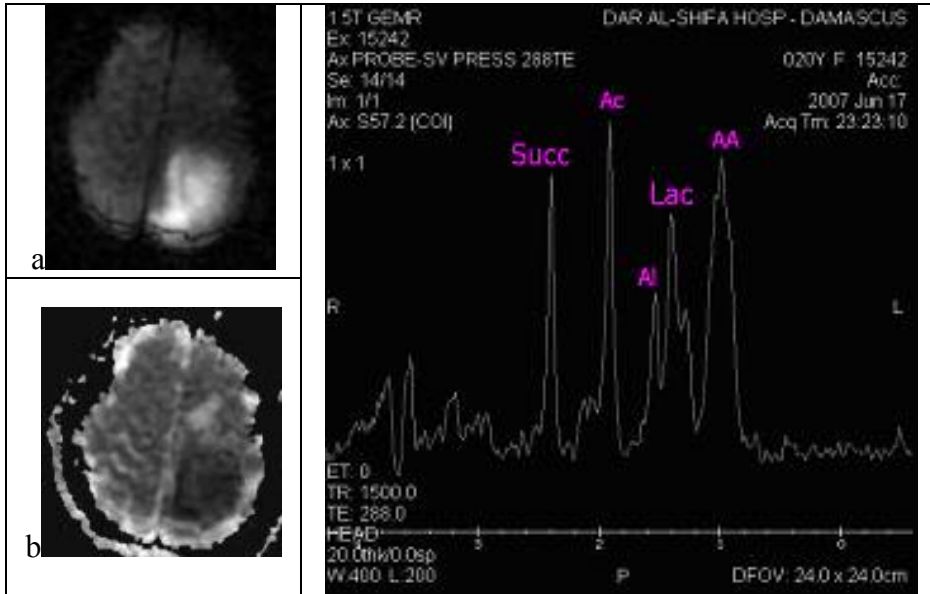
الشكل (11) الصور a,b بزمن الاسترخاء T2 والتعاقب FLAIR على الترتيب لمصاب بورم سحائي، كما يؤكد طيف الحالة المستقلبات المرافقة.

أما حالة الشكل 12 فتظهر الإصابة فيها من خلال الصور التقليدية والانتشار التي ذكرناها أعلاه. غير أن غياب المستقلبات التي تميز الخراج في طيف الحالة المرفق تنفي الإصابة به وترجح أن تكون الإصابة وربما. غير أن ارتفاع الإشارة بداخل المنطقة المصابة (في التعاقب FLAIR الصورة a) وانخفاض إشارة الانتشار في الإصابة b، وبالاعتماد على البنية التشريحية والطيف المرفق التي تظهر فيه نهاية الكولين (^3Cho) عالية، وانخفاض نهاية الاستيل اسبارتات (^1NAA)، يدل ذلك على ورم الخلايا النجمية (astrocytoma) من الدرجة الثانية.



الشكل (12) الصور a,b بالتعاقب FLAIR والانتشار على الترتيب لمصاب بورم الخلايا النجمية كما يؤكد ذلك طيف الحالة المرفق.

وأخيراً تظهر حالة الشكل 13 الإصابة بالخراج التي تتأكد من خلال الطيف الموافق الذي تظهر فيه جميع المستقلبات، كالحموض الأمينية (^8AA) والأسيتات (^9Ac) والسكسينات ($^{10}\text{succ}$) النوعية للخراج وكل من الألانين (^{11}Al) واللاكتات (^6Lac) التي تميزه أيضاً.

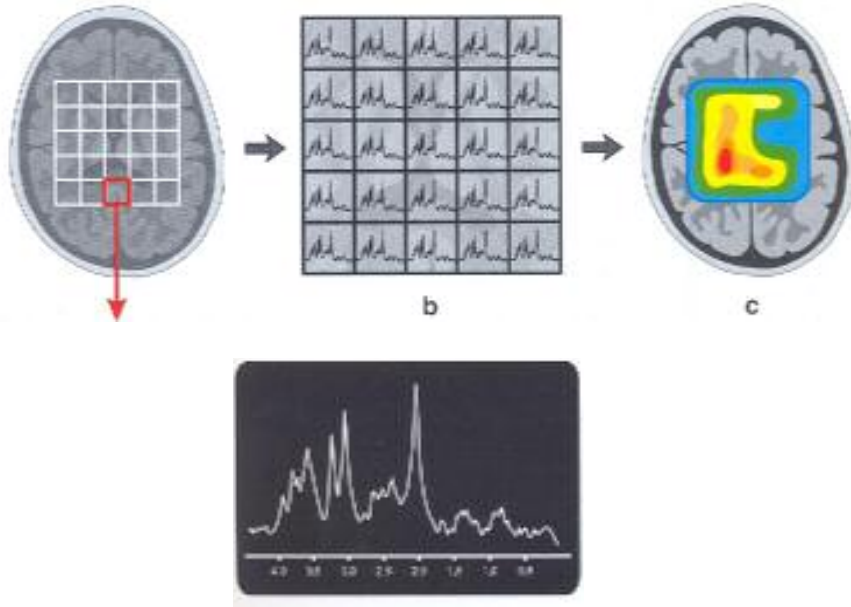


الشكل (13) صورة الانتشار a تظهر الإصابة بإشارة عالية وصورة ADC بإشارة منخفضة، حيث يؤكد الطيف المرفق المستقلبات النوعية للخراج.

الخلاصة والتوصيات

الاستكشاف الوظيفي للدماغ بتصوير التجاوب المغنطيسي أو بمطيافية التجاوب المغنطيسي هو مجال واسع جدا ويتطلب وخصوصاً في المشافي العامة تضافر جهود العديد من الباحثين من فيزيائيين وأطباء ومهندسين وفنيين، ولكنه في القطر العربي السوري ما يزال في بداياته الأولى نظراً لتأخر وصول هذه التقنيات. حيث تكون الفحوص التي يتم إجراؤها في أغلب الأحيان غير مكتملة وتنقصها الأرشفة حتى يتسنى للباحثين متابعة الحالات والوقوف على جدوى المعالجة أو التداخل الجراحي.

1- تمت دراستنا الطيفية بالاعتماد على المطيافية الأحادية الفوكسل وكنا نضطر إلى تنزيل الفوكسل من موضع إلى آخر في مكان الإصابة للاضطلاع على مدى تجانسية الإصابة ومن ثم تحديد نوعها، في حين أنه لو توافرت المطيافية المتعددة العناصر الحجمية (الشكل 14) لأمكن الحصول على أطيف كل من العناصر الحجمية لمقطع كامل من الإصابة أو حتى الحصول على صور استقلابية يمثل سلم للألوان فيها توزع مستقلب معين أو النسبة بين مستقلبين.



الشكل (14) تمثيل المعلومات في التصوير الطيفي. يمكن أن يحدث هذا التمثيل إما على شكل أطيف مرتبطة بعناصر حجمية فردية (a) أو على شكل بطاقة طيفية (b) أو على شكل صور استقلالية، يمثل فيه سلم للألوان توزع مستقلب أو النسبة بين مستقلبين (c)

2- لو توافرت تقنية مطيافية التجاوب المغناطيسي المتعددة المقاطع ولاسيما السريعة منها لأمكن اقتناء عدة مقاطع والحصول على معلومات عن حجم أكبر (لتغطية إصابة أكثر امتداداً)، في زمن أقصر.

3- تسمح تقنية BOLD (Blood Oxygen Level Dependent) (وهي عبارة تعني التعلق بمستوى أكسجة الدم) لو وجدت بتحديد موقع الورم بالنسبة إلى القشرة الوظيفية التي تحيط به قبيل التداخل الجراحي.

REFERENCES

- 1-Mr Spectroscopy Of The Brain. Lara A. Brandao, Romeu C. Domingues. Copyright 2004 by Lippincott Williams & Wilkins.
- 2-GE Medical Systems Technical Publications MR - Signa EXCITE™ 11.0 Operator Manual Revision 1 (10/03). Copyright by General Electric Company, Inc.2003.
- 3-Philips Application Guide. Volume 2. Scan Methods 4522 132 68051. Achieva Release 2.5 series. Copyright Royal Philips Electronics N.V. 2007.
- 4-A Complete Introduction To Modern Nmr Spectroscopy. Roger S. Macomber. Copyright 1998 by John Wiley & Sons, Inc.
- 5- Understanding NMR Spectroscopy. James Keeler. Copyright James Keeler 2002 by John Wiley & Sons, Inc.
- 6-Nmr Spectroscopy Explained. Simplified Theory, Applications and Examples for Organic Chemistry and Structural Biology. Edited by Neil E. Jacobsen. Copyright 2007 by John Wiley & Sons, Inc.
- 7-Signa® Advantage™ Applications Guide. Volume 5. PROBE/SV™ Single-Voxel Proton Brain Exam. Applications Guide. By Susan Kohler, Ph.D. 1st Edition. Copyright 1993 General Electric Company.
- 8-Encyclopedia of Diagnostic Imaging. Edited by ALBERT L. BAERT. Copyright: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2008.
- 9-Advanced MR Imaging Techniques in the Diagnosis of Intraaxial Brain Tumors in Adults. Riyadh N. Al-Okaili, MD. Jaroslaw Krejza, MD, PhD2. Sumei Wang, MD. John H. Woo, MD. Elias R. Melhem, MD, PhD. RadioGraphics 2006; 26:S173-S189.
- 10-Grand S, Passaro C, Ziegler A, et al. Necrotic tumor versus brain abscess: importance of aminoacids detected at H¹ MR spectroscopy-initial results. Radiology 1999;213:785-793.
- 11-Pyogenic Brain Abscess: Findings from In Vivo 1.5-T and 11.7-T In Vitro Proton MR Spectroscopy. Ping H. Lai, Kun T. Li, Shu S. Hsu, Chia C. Hsiao, Chi W. Yip, S. Ding, Lee R. Yeh, and Huay B. Pan. AJNR Am J Neuroradiol 26:279-288, February 2005.
- 12-BioNMR in Drug Research. Edited by Oliver Zerbe. Copyright 2002 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- 13-NMR-Spectroscopy: Data Acquisition. Christian Schorn. Copyright 2002 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- 14-Magnetic Resonance Imaging Methods and Biologic Applications. Edited by Pottumarthi V. Prasad. Copyright 2006 Humana Press Inc.

معجم بالمصطلحات الواردة في البحث

نبضة التواتر الراديوي RF: (التواتر الراديوي) التواتر المستخدم في أنظمة التجاوب المغناطيسي لإثارة النوى باستخدام ظاهرة التجاوب المغناطيسي النووي.

النبضة الراديوية 90° : نبضة راديوية تقلب شعاع المغنطة بزاوية 90 درجة .

النبضة الراديوية 180° : نبضة راديوية تقلب شعاع المغنطة بزاوية 180 درجة.

\vec{B}_0 : رمز يعبر عن المجال المغناطيسي السكوني المستخدم في التصوير بالتجاوب المغناطيسي .

ظاهرة الاسترخاء T_1 : هي العملية التي تترافق باستعادة النوى لمغنطتها الطولانية في التجاوب المغناطيسي النووي. ويطلق عليها أيضاً اسم استرخاء السبين – الشبكة، وتتميز بزمن الاسترخاء T_1 الذي يختلف من نسيج إلى آخر.

ظاهرة الاسترخاء T_2 : هي العملية التي تفقد بها النوى مغنطتها العرضانية في التجاوب المغناطيسي. ويطلق عليها أيضاً اسم الاسترخاء السبين – السبين، وهي تتميز بزمن يعرف بزمن الاسترخاء T_2 ويرتبط بحالة النسيج الصحية.

TE (echo time): هو الزمن الفاصل بين أول نبضة تواتر راديوي ومركز صدى السبين في اقتناء لصدى السبين.