الفصل الثاني

التراخي
Relaxation

ماذا يحدث لهذه الجسيمات الدوارة بعد إثارتها بالموجة الكهرومغناطيسية كما شرحنا سابقاً؟

فوراً وبعد الإثارة، تدور المغنطة في المستوى xy كما شرحنا وتسمى في هذه الحالة المغنطة المستعرضة transverse magnetization ورمزنا لها بالرمز Mxy. دوران المغنطة المستعرضة هي التي تعطى إشارة الرنين المغناطيسي MR في ملف الاستقبال. هذه الإشارة MR سرعان ما تضمحل (تتضعف) نتيجة عمليتين منفصلتين يتسبب عنهما تقليل لهذه المغنطة المستعرضة، ولذلك فإنها تسبب العودة بالنظام إلى حالة الاستقرار الموجودة قبل الإثارة، هذان السببان هما: التفاعل التداخلي للجزيئات الدوارة فيما بينها والتفاعل التداخلي للجزيئات والشبكية الكلية الموجود فيها lattice، حيث تسبب هاتين العمليتان تراخي الزمن الأول T1 وتراخي الزمن الثاني T2 على التوالي(*).

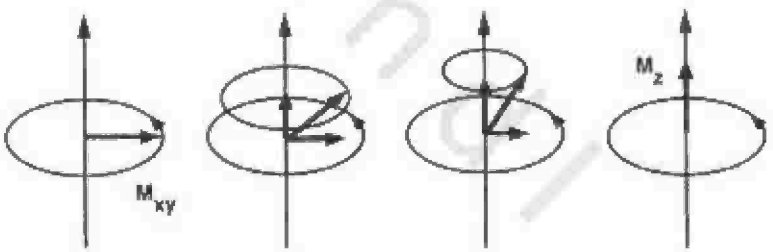
(١ , ٢) التراخي الطولي T1 T1: Longitudinal Relaxation

مع تداعي المغنطة المستعرضة، تنحاز الجزيئات الدوارة بالعزوم المغناطيسي مرة أخرى باتجاه المحور z للمجال المغناطيسي الأساسي B_0 كما ذكرنا سابقاً. إن المغنطة المستعرضة المتبقية ضمن المستوى xy وبالتحديد مسقط متجه المغنطة على المحور xy كما في الشكل رقم (٦) تتناقص بالتدريج وبذلك فإن إشارة الرنين المغنطيسي تقل

(*) هنا يرمز للزمن الأول 1 بالرمز T1 و يرمز للزمن الثاني Time 2 بالرمز T2

بالتناسب معها. مع تداعي المغنطة المستعرضة، فإن المغنطة الطولية، M_z، والتي هي مسقط متجه المغنطة على المحور z تبنى تدريجياً. هذه العملية تعرف بالتراخي الطولي أو استعادة الزمن الأول T1.

تعود النواة للحالة الأصلية عن طريق فقد الطاقة الزائدة للوسط المحيط بها وهي الشبكية lattice (وهذا هو سبب تسمية هذا النوع من التراخي بتراخي الشبكية أحياناً). الثابت الزمني لهذا النوع من التراخي هو الزمن الأول T1 ويعتمد على شدة المجال المغناطيسي الخارجي B_0 وعلى الحركة الداخلية للجزيئات molecules والتي تسمى حركة براونيان Brownian motion. تتراوح قيمة الزمن الأول T1 للأنسجة الحيوية من نصف ثانية إلى عدة ثوان عندما تكون B_0 =1.5 T.



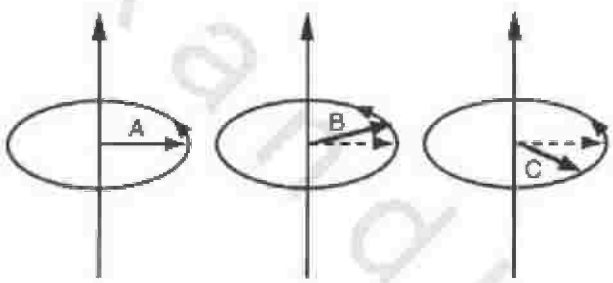
الشكل رقم (٦). التراخي الطولي للزمن الأول T1، تداعي المغنطة المستعرضة وإعادة بنائها في اتجاه المحور Z مما يتطلب تبادل للطاقة.

(٢,٢) التراخي المستعرض: T2/T2* T2/T2*: Transverse Relaxation

لكي نفهم التراخي المستعرض من الضروري أولا أن نعرف ما هو المقصود بالطور "phase". سنستخدم الطور هنا للدلالة على مكان العزم المغناطيسي في مساره الدائري المستعرض حيث يتم التعبير عن هذا المكان كزاوية. افترض أن الجسيمين A و B يدوران

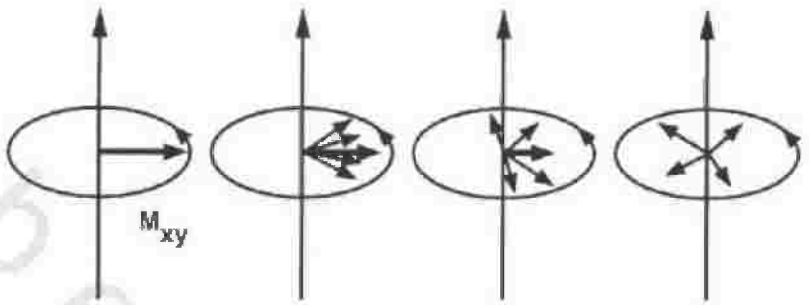
بنفس السرعة في المستوى xy. إذا كان الجسيم B يسبق A في حركته الزاوية بمقدار ١٠ درجات، ففي هذه الحالة يمكننا القول إن الجسيم B له الطور +١٠ درجات بالنسبة للجسيم A. والعكس فإن الجسيم C الذي يتأخر عن A بمقدار ٣٠ درجة يكون طوره -٣٠ درجة بالنسبة للجسيم A كما في الشكل رقم (٧).

بعد الإثارة مباشرة، تدور أغلب الجسيمات متوافقة مع بعضها. هذه الجسيمات يكون لها طور تعداده 0° ويقال بأنها كانت في الطور in phase. وهذه الحالة تدعى تماسك أو توافق الطور phase coherence.



الشكل رقم (٧). الطور، المتجه B له طور +١٠ درجات بالنسبة للمتجه A بينما C له طور -٣٠ درجة. لاحظ أن كل المتجهات تدور حول المحور Z بينما تختلف أطوارها بالزوايا النسبية.

لأسباب سيتم ذكرها فيما بعد فإن تماسك الطور هذا يتم فقده بالتدريج بحيث تسبق بعض الجسيمات ويتأخر البعض الآخر في المسار الدائري حول المحور z. وبذلك تبدأ متجهات المغنطة في إزالة بعضها بعضاً بدلاً من أن يقوى بعضها ببعض. وعلى ذلك فإن متجه المجموع والمغنطة المستعرضة تصبح أصغر وأصغر وفي النهاية تتلاشى ومعها الإشارة MR كما في الشكل رقم (٨).



الشكل رقم (٨). التراخي المستعرض T2 و *T2. فقد في طور المغازل (فقد تماسك الطور)، يؤدي إلى فقد المغنطة المستعرضة بدون تبديد للطاقة.

بمعنى آخر فإن التراخي المستعرض هو تداعي المغنطة المستعرضة بسبب أن الجزيئات أو الجسيمات الدوارة تفقد توافقها الزاوي. التراخي المستعرض يختلف عن التراخي الطولي في أن الجسيمات لا تفقد الطاقة في الوسط المحيط، ولكنها تتبادل الطاقة مع بعضها . يتم فقد التوافق الزاوي بطريقتين :

- انتقال الطاقة بين الجسيمات بسبب التغيرات الموضعية في المجال المغناطيسي. وهذه التغيرات تكون بسبب أن الجسيمات تكون مصحوبة بمجالات مغناطيسية تتعارض مع بعضها بطريقة عشوائية. تدور الجزيئات أسرع أو أبطأ على حسب تغيرات المجال المغناطيسي الذي تكتسبه. النتيجة النهائية هي تراكم في فقد الطور أو التوافق بين الجسيمات. هذه العملية تحدث نتيجة التفاعل الخالص بين جسيم وجسيم آخر، لذلك فإنها لا تتأثر بتطبيق نبضة ذات ١٨٠ درجة لإعادة تركيزها (الفصل السابع). يحدث هذا الفقد في التوافق بثابت زمني هو الزمن الثاني T2 ويكون تقريباً غير معتمد على شدة المجال المغناطيسي الخارجي B_0.
- عدم تجانس لا يعتمد على الزمن في المجال المغناطيسي الخارجي B_0. يعتبر عدم التجانس هذا خاصية ضمنية تحدث بسبب مصدر أو مولد المجال نفسه،

وبسبب الشخص الذي يتم تصويره. وتلعب هذه الأسباب في عدم التوافق الطوري مما ينتج عنه تداعي للإشارة الكلية بثابت زمني أسرع من الثابت الزمني T2، هذا النوع الثاني من التداعي يحدث بثابت زمني هو *T2 الذي يكون أقصر من الزمن الثاني T2. معظم عدم التجانس الذي يسبب *T2 يحدث عند حواف أو محيط الأنسجة، وبالذات عند تلامس وسط الهواء مع الأنسجة، أو تحدث بسبب مجالات مغناطيسية موضعية (مثل جزيئات الحديد مثلاً). تداعي الإشارة MR بسبب *T2 يسمى تداعي الحث الحر Free induction decay, FID. تأثيرات الثابت الزمني *T2 يمكن تجنبها باستخدام تتابعات الصدى.

الزمن الثاني T2 يرمز لعملية نقل الطاقة بين الجزيئات، بينما *T2 ترمز لتأثيرات عدم تجانس المجال التي تسبب عدم التوافق الزاوي.

كل من التراخي T1 و T2 لا يعتمد أيها على الآخر، ولكنها تحدث تقريبا في نفس الوقت حيث التداعي في الإشارة MR يحدث في أول ١٠٠ إلى ٣٠٠ ميلي ثانية، وهذا قبل أن تسترد المغنطة الطولية Mz نفسها بسبب التراخي T1 والذي يحدث في زمن مقداره ٥ , ٠ إلى ٥ ثوان.

المراجع References

1- Gore JC, Kennan RP (1999) Physical principles and physiological basis of magnetic relaxation. In: Stark DD, Bradley WG Jr (eds). Magnetic resonance imaging, 3rd ed. Mosby-Year Book no 33, Mosby, St. Louis

2- Elster AD, Burdette JH (2001) Questions and answers in magnetic resonance imaging, 2nd ed. Mosby, St. Louis

3- Elster AD (1986) Magnetic resonance imaging, a reference guide and atlas. Lippincott, Philadelphia