Excitation

Before the system starts to acquire the data must be perform a ***quick measurements*** (also, called ***pre-scan***) to determine the ***frequency of protons spinning*** (***Larmor frequency***). Selecting this frequency is important because it uses the system for the next step. قبل أن يبدأ النظام في الحصول على البيانات، يجب إجراء قياسات سريعة (وتسمى أيضًا المسح المسبق) لتحديد تردد دوران البروتونات (تردد لارمور). يعد اختيار هذا التردد أمرًا مهمًا لأنه يستخدم النظام للخطوة التالية.

Once the ***Larmor frequency*** is determined the system will ***start the acquisition***. For now we only send a ***radio frequency (RF) pulse*** (An RF pulse is a magnetic field, the direction of which is ***oscillating at the Larmor frequency***) into the patient and we look at what happens. بمجرد تحديد التردد، سيبدأ النظام في عملية الاستحواذ. في الوقت الحالي، نرسل فقط نبضة تردد راديوي (نبضة التردد اللاسلكي عبارة عن مجال مغناطيسي، يتأرجح اتجاهه عند تردد لارمور) إلى المريض وننظر إلى ما يحدث.

The oscillating magnetic field ***at the Larmor frequency*** is switched on for a very small amount of time (a ***few milliseconds***) to achieve such a rotation. This ***magnetic field is called an RF pulse***; it is short (a burst or pulse) and the Larmor frequency for MRI is in the radiofrequency range (***tens of MHz***). This process is sometimes called ***RF excitation of the spin system***. Different amounts of ***rotation can be achieved by applying the oscillating magnetic field for different durations***. يتم تشغيل المجال المغناطيسي المتذبذب عند تردد لارمور لفترة زمنية صغيرة جدًا (بضعة مللي ثانية) لتحقيق مثل هذا الدوران. ويسمى هذا المجال المغناطيسي نبض الترددات اللاسلكية. وهو قصير (دفقة أو نبضة) ويكون تردد التصوير بالرنين المغناطيسي في نطاق الترددات الراديوية (عشرات ميغاهيرتز). تسمى هذه العملية أحيانًا بإثارة الترددات اللاسلكية لنظام الدوران. يمكن تحقيق كميات مختلفة من الدوران من خلال تطبيق المجال المغناطيسي المتذبذب لفترات مختلفة.

For better understanding, let us assume we work with a 1.5 Tesla system. The centre or operating frequency of the system is 63.855 MHz (Calculated using the Larmor equation: ($\omega_o = \gamma B_o$). من أجل فهم أفضل، لنفترض أننا نعمل بنظام 1.5 تسلا. التردد المركزي أو تردد التشغيل للنظام هو 63.855 ميجاهرتز (محسوب باستخدام معادلة لارمور

In order to manipulate the net magnetization we will send a Radio Frequency ***(RF) pulse*** with a frequency that ***matches the centre frequency*** of the system: ***63.855 MHz***. This is where the ***Resonance comes from in the name Magnetic Resonance Imaging***. Resonance you know from the opera singer who sings a high note and the crystal glass shatters to pieces. MRI works with the same principle. ***Only protons that spin*** with the ***same frequency as the RF pulse will respond to that RF pulse***. من أجل معالجة المغنطة الصافية سوف نقوم بإرسال نبضة تردد راديوي بتردد يطابق التردد المركزي للنظام: 63.855 ميغاهيرتز. ومن هنا يأتي الرنين باسم التصوير بالرنين المغناطيسي. الرنين الذي تعرفه من مغني الأوبرا الذي يغني نغمة عالية ويتحطم الزجاج البلوري إلى قطع. يعمل التصوير بالرنين المغناطيسي بنفس المبدأ. فقط البروتونات التي تدور بنفس تردد نبضة التردد اللاسلكي هي التي ستستجيب لنبضة التردد اللاسلكي تلك.

If we would send an RF pulse with a different frequency, ***let's say 59.347 MHz, nothing would happen***. Therefore, by sending an RF pulse at the **Larmor Frequency**,
إذا أرسلنا نبضة تردد راديوي بتردد مختلف، دعنا نقول 59.347 ميجا هرتز، فلن يحدث شيء. لذلك، عن طريق إرسال نبضة على تردد لارمور،

with certain strength (amplitude) and for a certain period of time it is possible to ***rotate the net magnetization into a plane perpendicular to the Z-axis, in this case the X-Y plane*** (Figure 9.16). بقوة معينة (سعة) ولفترة زمنية معينة، من الممكن تدوير المغنطة الصافية إلى مستوى متعامد مع المحور -، في هذه الحالة المستوى

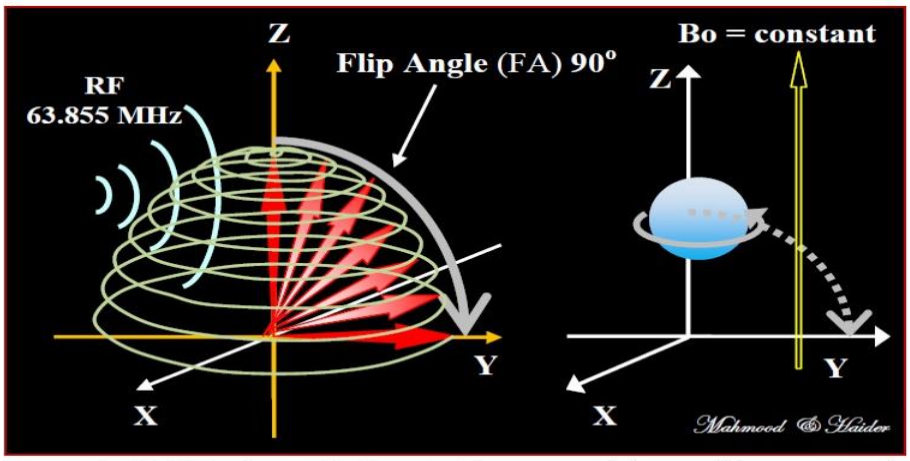

Figure 9.16: RF pulse at the Larmor Frequency, it is possible to rotate the net magnetization into a plane perpendicular to the Z-axis.

We just ***"flipped" the net magnetization 90°***. Later we will see that there is a parameter in our pulse sequence, called the ***Flip Angle (FA)***, which indicates the amount of degrees we rotate the net magnetization. It is possible to flip the net magnetization any degree in the range from 1° to 180°. For now we only use an ***FA of 90°***. This process is called ***excitation***. لقد "قلبنا" صافي المغنطة بمقدار 90 درجة. سنرى لاحقًا أن هناك معلمة في تسلسل النبض لدينا، تسمى والتي تشير إلى مقدار الدرجات التي ندير ها في صافي المغنطة. من الممكن قلب المغنطة الصافية بأي درجة في المدى من 1 إلى 180. أما الآن فإننا نستخدم فقط 90 وهذه العملية تسمى الإثارة.

Relaxation

If the ***net magnetization rotated 90 degrees*** in x-y plane and this means the same thing if we say that the protons raised to a ***higher energy state***. This occurs because the protons absorbed energy from the **RF pulse**. This is called the ***perturbation*** that protons do not "like or want" continue in high energy situation "**excitation**" they tend to return to the normal or low energy situation "**equilibrium**". A general principle of ***thermodynamics is that every system seeks its lowest energy level***. The same thing for the protons, and ***they prefer the lineup with the main magnetic field or***, in other words, they would be in a ***low power state***.

إذا كان صافي المغنطة يدور بمقدار 90 درجة في المستوى وهذا يعني نفس الشيء إذا قلنا أن البروتونات ارتفعت إلى حالة طاقة أعلى. يحدث هذا لأن البروتونات امتصت الطاقة من نبض التردد اللاسلكي. وهذا ما يسمى الاضطراب الذي لا "تحبه أو تريده" البروتونات يستمر في حالة "الإثارة" ذات الطاقة العالية، فهي تميل إلى العودة إلى حالة "التوازن" الطبيعية أو المنخفضة الطاقة. المبدأ العام للديناميكا الحرارية هو أن كل نظام يسعى إلى أدنى مستوى طاقة له. نفس الشيء بالنسبة للبروتونات، فهي تفضل الاصطفاف مع المجال المغناطيسي الرئيسي أو، بمعنى آخر، ستكون في حالة طاقة منخفضة.

The **relaxation** means the return of a ***perturbed system*** into the original situation ***"equilibrium"*** and each relaxation process can be characterized by ***a relaxation time***. The relaxation process can be divided into two parts: **T1** and **T2 relaxation**. الاسترخاء يعني عودة النظام المضطرب إلى الوضع الأصلي "التوازن" ويمكن أن تتميز كل عملية استرخاء بزمن استرخاء. يمكن تقسيم عملية الاسترخاء إلى قسمين: 1 و 2، الاسترخاء.

T1 Relaxation

T1 is ***spin-lattice relaxation*** time which relates to ***the recovery of the magnetization along z direction after RF pulse***. We can say that this ***as the time it takes tissue to recover from an RF pulse so you can give another pulse and still get signal***. T1 is called the **spin-lattice relaxation time** because it refers to ***the time it takes for the spins to give the energy they obtained from the RF pulse back to the surrounding tissue (lattice) in order to go back to their equilibrium state***. هو وقت استرخاء الشبكة الدورانية الذي يتعلق باستعادة المغنطة على طول اتجاه z بعد نبض التردد اللاسلكي. يمكننا أن نقول أن هذا هو الوقت الذي تستغرقه الأنسجة للتعافي من نبض التردد اللاسلكي حتى تتمكن من إعطاء نبضة أخرى مع الاستمرار في الحصول على الإشارة. يسمى وقت استرخاء شبكة السبين لأنه يشير إلى الوقت الذي تستغرقه السبينات لإعادة الطاقة التي حصلت عليها من نبض التردد الراديوي إلى الأنسجة المحيطة (الشبكة) من أجل العودة إلى حالة توازنها.

T1 relaxation describes what happens in the ***Z direction***. So, after a little while, the situation ***is exactly as before we sent an RF pulse*** into the patient. In other words, immediately after the 90° pulse, the magnetization **M**xy precesses within the x–y plane, oscillating around the z-axis with all protons rotating **in-phase**. After the magnetization has been flipped 90° into the x–y plane, the RF pulse is **turned off**. يصف الاسترخاء ما يحدث في الاتجاه. لذلك، بعد فترة قصيرة، أصبح الوضع تمامًا كما كان قبل إرسال نبض التردد اللاسلكي إلى المريض. بمعنى آخر، مباشرة بعد النبضة بزاوية 90 درجة، تبدأ المغنطة داخل المستوى، وتتأرجح حول المحور مع دوران جميع البروتونات في الطور. بعد أن يتم قلب المغنطة بمقدار 90 درجة إلى المستوى، يتم إيقاف نبض التردد اللاسلكي.

Therefore, after the RF pulse is turned off***, two things will occur:*** *لذلك، بعد إيقاف تشغيل نبض التردد اللاسلكي، سيحدث:*

1. The spins will go back to the ***lowest energy state***. 1. ستعود الدورات إلى أدنى حالة طاقة.
2. The spins will get ***out of phase*** with each other. ستخرج الدورات من الطور مع بعضها البعض.

The protons are returning to its original situation "equilibrium" by the releasing the absorbed energy in the form of "very little" warmth and RF waves. That means, in principle the net magnetization rotates back to align itself with the Z-axis. After the ***stops of the RF excitation pulse***, the net ***magnetization will re-grow along the Z-axis***, while ***emitting radio-frequency waves*** (Figure 9.17). تعود البروتونات إلى وضعها الأصلي "التوازن" من خلال إطلاق الطاقة الممتصة في شكل دفء "قليل جدًا" وموجات الترددات اللاسلكية. وهذا يعني، من حيث المبدأ، أن صافي المغنطة يدور مرة أخرى ليتوافق مع المحور -. بعد توقف نبض إثارة التردد الراديوي، سوف ينمو صافي المغنطة على طول المحور Z، بينما ينبعث منها موجات التردد الراديوي (الشكل 9.17). ***T1 relaxation*** describes what happens in ***the Z direction***. So, after a little while, the situation is exactly as before we sent an RF pulse into the patient. T1 relaxation is also known as ***Spin-Lattice relaxation***, because the energy is ***released to the surrounding tissue (lattice)***. يصف الاسترخاء ما يحدث في الاتجاه. لذلك، بعد فترة قصيرة، أصبح الوضع تمامًا كما كان قبل إرسال النبض إلى المريض. يُعرف الاسترخاء أيضًا بالاسترخاء، لأن الطاقة يتم إطلاقها إلى الأنسجة المحيطة (الشبكة).

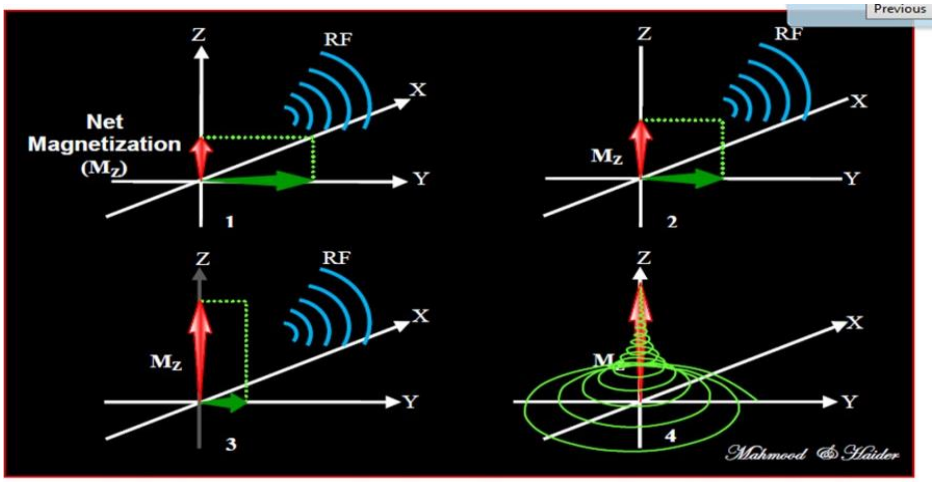

Figure 9.17: The net magnetization will re-grow along the Z-axis after the stops of the RF excitation pulse

T1 Relaxation Curves منحنيات الاسترخاء

T1 relaxation happens to the protons in the volume that experienced the ***90°- excitation pulse***. However, ***not all the protons are bound in their molecules in the same way***. This is ***different for each tissue***. يحدث الاسترخاء للبروتونات الموجودة في الحجم الذي شهد نبض الإثارة 90 درجة. ومع ذلك، ليست كل البروتونات مرتبطة بجزيئاتها بنفس الطريقة. وهذا يختلف لكل الأنسجة.

One 1H atom may be bound ***very tight***, such as in ***fat tissue***, while the other has a much ***looser bond, such as in water***. ***Tightly*** bound protons will ***release their energy much quicker*** to their surroundings ***than loosely bound protons***. The rate at which ***they release their energy is different***. The rate of T1 relaxation can be depicted as shown in Fig. 9.18 قد تكون إحدى الذرات مرتبطة بإحكام شديد، كما هو الحال في الأنسجة الدهنية، في حين أن الأخرى لديها رابطة أكثر مرونة، كما هو الحال في الماء. ستطلق البروتونات المرتبطة بإحكام طاقتها إلى محيطها بشكل أسرع بكثير من البروتونات المرتبطة بشكل فضفاض. ويختلف المعدل الذي يطلقون به طاقتهم. يمكن تصوير معدل الاسترخاء كما هو موضح في الشكل 9.18.

The curve shows ***at time = 0*** that there is ***no magnetization in the Z-direction*** right after the F-pulse. But immediately ***the MZ starts to recover along the Z-axis***. يظهر المنحنى في الوقت = عدم وجود مغنطة في الاتجاه مباشرة بعد النبضة. ولكن على الفور يبدأ في التعافي على طول المحور.

T1 relaxation is a time constant. [***T1 is defined as the time it takes for the longitudinal magnetization (MZ) to reach 63 % of the original magnetization***]. In other words, magnetization ***(MZ) be at the beginning and before sending a pulse on the Z-axis with the maximum value (100%)***, after ***sending a pulse, MZ go down to zero on the Z-axis and a full appear in the xy plane***, (i.e. ***90 degree turn*** spiral path as in fig. 9.17). This means that the ***protons are in an excited state***. Immediately ***after***

الاسترخاء هو وقت ثابت. [1 يعرف بأنه الوقت الذي تستغرقه المغنطة الطولية () لتصل إلى 63% من المغنطة الأصلية]. بمعنى آخر تكون المغنطة () في البداية وقبل إرسال نبضة على المحور بقيمة قصوى (100%)، وبعد إرسال النبضة تنزل إلى الصفر على المحور وتظهر كاملة في المستوى، (أي مسار حلزوني بزاوية 90 درجة كما في الشكل 9.17). هذا يعني أن البروتونات في حالة مثارة. مباشرة بعد

Cutting-off the pulse, begin declining in the ***xy plane and at the same time grow on the Z-axis to reach 63% of its original value with a time called T1***, (i.e. that the protons begin to return to ***equilibrium or primary status***) according to the following equation:عند قطع النبض، تبدأ في الانخفاض في المستوى وفي نفس الوقت تنمو على المحور – لتصل إلى 63% من قيمتها الأصلية مع وقت يسمى (أي أن تبدأ البروتونات في العودة إلى التوازن أو الحالة الأولية) وفقا ل المعادلة التالية

$$M_z = M_o\left(1 - e^{-t/T_1}\right)$$

For example; After $t = T_1$

$$M_z = M_o\left(1 - e^{-T_1/T_1}\right)$$
$$= M_o\left(1 - e^{-1}\right) \quad \text{where} \quad e \cong 2.72$$
$$= 0.63M_o \quad \text{or} \quad 63\%\ M_o$$

After $t = 5T_1$

$$M_z = M_o\left(1 - e^{-5T_1/T_1}\right)$$
$$= M_o\left(1 - e^{-5}\right)$$
$$= 0.99\ M_o \quad \text{or} \quad 99\%\ M_o$$

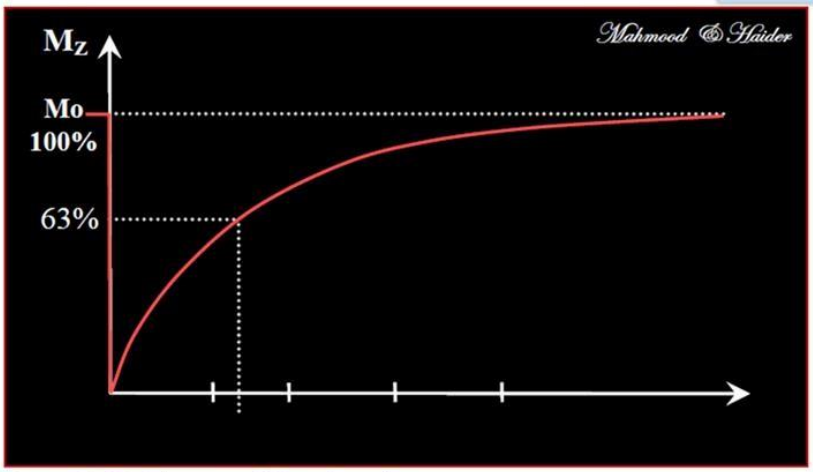

Figure 9.18: The rate of T_1 relaxation.

A similar curve can be drawn for each tissue as shown in figure 9.19 which illustrates four tissues found in the head. ***Each tissue will release energy (relax) at a different rate and that's why MRI has such good contrast resolution.*** ويمكن رسم منحنى مماثل لكل نسيج كما هو موضح في الشكل 9.19 الذي يوضح أربعة أنسجة موجودة في الرأس. سيطلق كل نسيج الطاقة (الاسترخاء) بمعدل مختلف، ولهذا السبب يتميز التصوير بالرنين المغناطيسي بدقة تباين .

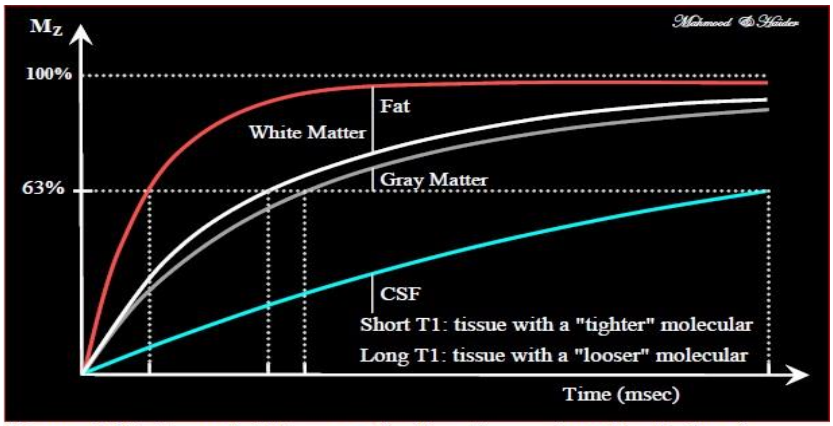

Figure 9.19: Example T1 curves for four tissues found in the head.

By:Muhammad Jabbar Hussai