بسم الله الرحمن الرحيم

كيف يعمل التصوير بالرنين المغناطيسي؟

مقدمة عن فيزياء وعمل التصوير بالرنين المغناطيسي

How Does MRI Work?

An Introduction to the Physics and Function of Magnetic Resonance Imaging

تأليف

دومينيك واشوبت
Dominik Weishaupt

فيكتور د. كوخلي
Victor D. Kochli

بوريت مارينسك
Borut Marincek

شارك في الطبعة الثانية

ج.م. فروهيلش، د. كانز، ك.ب. بروسمان
J.M. Froehlich, D.Nanz, K.P. Pruessmann

ترجمة

الدكتور/ حسن فؤاد محمد السيد
أستاذ الهندسة الحيوية الطبية المشارك –
قسم العلوم الطبية التطبيقية
كلية المجتمع في الرياض–جامعة الملك سعود

الدكتور/ ناصر محمد عبدالسلام عمر
قسم العلوم الطبيعية
كلية المجتمع في الرياض–جامعة الملك سعود

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود
ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

ⓒ جامعة الملك سعود، ١٤٣٢هـ (٢٠١١م)

هذه ترجمة عربية مصرح بها من مركز الترجمة للكتاب:

How Does MRI Work?

by: Dominik.Weishaupt, Victor D.Kochli, and Borut Marincek

© Spinger-Verlag Berlin Heidelberg 2003,2006

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

كيف يعمل التصوير بالرنين المغناطيسي؟مقدمة عن فيزياء وعمل التصوير بالرنين المغناطيسي./ دومينيك واشوبت ؛ فيكتور د. كوخلي؛ بوريت مارينسك؛ حسن فؤاد السيد؛ ناصر محمد عمر - الرياض، ١٤٣١هـ

٢٥٤ص ؛ ١٧×٢٤سم

ردمك: ٣-٧٢٤-٥٥-٩٩٦٠-٩٧٨.

١- التصوير بالأشعة ٢- الرنين النووي المغناطيسي- أجهزة ومعدات أ- كوخلي ؛ فيكتور (مؤلف مشارك) ب- مارينسك ؛ بوريت (مؤلف مشارك) ج- السيد، حسن فؤاد (مترجم) د- عمر، ناصر محمد (مترجم) هـ- العنوان

ديوي ٦١٦,٠٧٥٤٨ ١٤٣١/٩١٦٠

رقم الايداع: ١٤٣١/٩١٦٠

ردمك: ٣-٧٢٤-٥٥-٩٩٦٠-٩٧٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره، بعد اطلاعه على تقارير المحكمين في اجتماعه الخامس عشر للعام الدراسي ١٤٣٠/ ١٤٣١هـ المعقود بتاريخ ١٣/ ٤/ ١٤٣١هـ الموافق ٢٩/ ٣/ ٢٠١٠م.

النشر العلمي والمطابع ١٤٣٢هـ

مقدمة المترجمين

على الرغم من التطور الملموس في ترجمة العديد من الكتب العلمية إلى اللغة العربية إلا أن مكتبتنا العربية مازالت تفتقر إلى المراجع العلمية في كثير من الموضوعات ولا سيما المتخصص منها. ونظراً للتطور السريع في مجال التصوير بالرنين المغناطيسي، أصبح من الضروري أن يواكب ذلك مزيد من الترجمة والتأليف في هذا المجال.

أن حماسنا لترجمة كتابنا هذا، إنما يرجع في المقام الأول إلى أهميته البالغة ليس للمتخصصين في الرنين المغناطيسي أو فيزيائي الرنين المغناطيسي، ولكنه لطلابنا ولكل المهتمين بتقنية التصوير بالرنين المغناطيسي الذين يتطلعون لمقدمة سهلة لفهم أساسيات التقنية النمطية في بداية تدريبهم على التصوير بالرنين المغناطيسي. يتضمن هذا الكتاب مقدمة عن فيزياء ونظرية عمل التصوير بالرنين المغناطيسي والتي أصبحت من التقنيات الهامة في مجال التشخيص الإكلينيكي. هذا فضلاً عن تناوله- بسهولة وعمق- للمبادئ الأساسية اللازمة لفهم تقنية التصوير بالرنين المغناطيسي. كما تضمن الكتاب فصلاً عن تصوير الأوعية الدموية والقلب. بالإضافة لذلك، فصلين عن تقنية إخماد الدهون وتصوير الرنين المغناطيسي الإكلينيكي بالمجالات المغناطيسية العالية.

وعلى ذلك، فلا يسعنا إلا أن نتوجه بالدعاء إلى الله العلي القدير بأن نكون قد وفقنا في ترجمة هذا الكتاب على نحو يحقق فيه الإفادة العلمية المرجوة، وأن يكون

إضافة يعتد بها- في مجال التخصص- للمكتبة العربية. ونود في هذا السياق أن نشكر مركز الترجمة بجامعة الملك سعود على إتاحة الفرصة لإجراء هذا العمل وتوفير المناخ المناسب لذلك.

وإذ نقدم هذا العمل المتواضع فإننا في الوقت نفسه نرحب بأي اقتراح موضوعي من شأنه أن يقدم إضافة مفيدة إلى هذا العمل.

والله من وراء القصد وهو الهادي إلى سواء السبيل،

المترجمان

مقدمة المؤلفين

إنه لمن دواعي سعادتنا أن نقدم هذه الطبعة الإنجليزية الكاملة والمنقحة من كتابنا، "كيف يعمل التصوير بالرنين المغناطيسي؟ مقدمة عن فيزياء ووظيفة التصوير بالرنين المغناطيسي" بعد سنتين فقط من نشر الطبعة الإنجليزية الأولى. إننا سعداء خاصة أن الكتاب الدراسي التقديمي الذي عرضناه قد لاقى استحسان عظيم من قبل العالم المتحدث باللغة الإنجليزية وليس فقط في الأقطار المتحدثة بالألمانية. لقد كان هذا النجاح هو الحافز العظيم لنا لكي نحسن ونطور كتابنا. ولهذا السبب، فإننا نقدم الآن الطبعة الثانية. لقد تم مراجعة جميع فصول الكتاب وتطويرها بدقة لكي تحتوي على آخر التطورات في تقنية التصوير بالرنين المغناطيسي دائمة التغير والتطوير. فصل تصوير القلب والأوعية الدموية، بالذات، تم تطويره وزيادته. إننا نعبر عن شكرنا العظيم للدكتور دانيل دانز مؤلف هذا الفصل. بالإضافة لذلك، تم إضافة فصلين كاملين عن: "تقنية إخماد الدهون Fat Suppression Techniques" و "تصوير الرنين المغناطيسي الإكلينيكي بالمجالات العالية High Field Clinical MR Imaging".

على الرغم من هذه الإضافات، فإن القارئ المستهدف لكتابنا يظل كما هو: إنه ليس كتابا للمتخصصين في الرنين المغناطيسي أو فيزيائي الرنين المغناطيسي، ولكنه لطلابنا، ولمجموعتنا، وتقنيينا، إنه باختصار لكل المهتمين بالتصوير بالرنين المغناطيسي الذين يتطلعون لمقدمة سهلة الفهم للأساسيات التقنية في بداية تدريبهم على التصوير بالرنين المغناطيسي.

إن الطبعة الإنجليزية الثانية المقدمة هنا تظهر بالتوازي مع الطبعة الألمانية الخامسة الكاملة والمنقحة.

إن المؤلفين ليعبرون عن شكرهم العظيم للدعم المقدم من أشخاص عديدين والذين بدون مشاركتهم ما كانت الطبعات الألمانية والإنجليزية من كتابنا لتكون ممكنة. في البداية وقبل كل شيء، فإننا نشكر قراءنا، الذين اشتروا وقرءوا النسخ الأولى من الكتاب وقدموا لنا التعليقات الشفوية والمكتوبة مع المقترحات المهمة للتحسين .

والشكر واجب أيضاً مقدماً لكل من الدكتور كلاس بروسمان و الدكتور جوهانس م فريهلتش لمقدماتهم الممتازة للتصوير المتوازي وسائط التباين المستخدمة في الرنين المغناطيسي.

الشكر الخاص لمترجمتنا، بيتينا هيروينج التي بمعرفتها العالية وعنايتها العظيمة ترجمت كل النص وقدمت نصائحها الغالية في تجهيز الطبعة الجديدة .

في النهاية نود أن نتقدم بالشكر لسبرنجر فيرلاج، وبالذات الدكتور يو هيلمان، و ماكهوج دبليو، ودكتور ال روتنجر، لتعاونهم.

عن المؤلفين

الدكتور الطبيب دومينيك واشوبت

يناير ٢٠٠٦

المحتويات

مقدمة المترجمين ..... **هـ**

مقدمة المؤلفين ..... **ز**

المختصرات ..... **س**

الفصل الأول: الدوران وظاهرة الرنين المغناطيسي النووي **١**

المراجع ٧

الفصل الثاني: التراخي **٩**

(١ , ٢) التراخي الطولي T1 ..... ٩

(٢ , ٢) التراخي المستعرض: T2/T2* ١٠

المراجع ١٣

الفصل الثالث: تباين الصورة **١٥**

(١ , ٣) زمن التكرار TR والوزن T1 ..... ١٦

(٢ , ٣) زمن الصدى TE والوزن T2 ..... ١٨

(٣ , ٣) التشبع عند أزمنة التكرار القصيرة ٢٢

(٤ , ٣) زاوية الانقلاب (زاوية المقدمة) ٢٥

(٥ , ٣) التشبع المسبق ٢٦

(٦ , ٣) نقل المغنطة ٢٧

المراجع ٢٨

الفصل الرابع: اختيار الشريحة والتشفير المكاني **٢٩**
(١ , ٤) التشفير المكاني ثلاثي الأبعاد ٣٥
(٢ , ٤) الفضاء-K ٣٦
المراجع ٣٧
الفصل الخامس: العوامل المؤثرة في نسبة الإشارة للضوضاء **٣٩**
(١ , ٥) البكسل والفوكسل والمصفوفة ٤٠
(٢ , ٥) سمك الشريحة وعرض المجال للمستقبل ٤١
(٣ , ٥) مجال الرؤية والمصفوفة ٤٤
(٤ , ٥) عدد الإثارات..... ٤٩
(٥ , ٥) معاملات التصوير ٤٩
(٦ , ٥) شدة المجال المغناطيسي..... ٥٠
(٧ , ٥) الملفات ٥٠
(١ , ٧ , ٥) ملفات الحجم ٥٠
(٢ , ٧ , ٥) ملفات السطح..... ٥١
(٣ , ٧ , ٥) ملفات داخل التجويف ٥١
(٤ , ٧ , ٥) ملفات صف الطور ٥١
المراجع ٥٤
الفصل السادس: ماسح الرنين المغناطيسي..... **٥٥**
(١ , ٦) المغناطيس ٥٦
(٢ , ٦) نظام الانحدار ٥٩
(٣ , ٦) نظام الترددات الراديوية..... ٦٠
(٤ , ٦) نظام الحاسب ٦٠
المراجع ٦١

الفصل السابع: تتابعات النبضات الأساسية ٦٣
(٧,١) تتابعات الصدى المغزلي ٦٤
(٧,٢) تأثير الدم الأسود ٦٦
(٧,٣) التصوير متعدد الشرائح ٦٧
(٧,٤) تتابعات استرداد الانعكاس ٦٨
(٧,٥) تتابعات استرداد انعكاس T1 القصير STIR ٦٩
(٧,٦) تتابعات الاسترداد الانعكاسي للسوائل المضمحلة **FLAIR** ٧٠
(٧,٧) تتابعات انحدار الصدى ٧٠
(٧,٨) تتابعات الصدى المتعدد ٧٤
المراجع ٧٦
الفصل الثامن: تتابعات النبضات السريعة ٧٧
(٨,١) تتابعات الصدى المغزلي السريعة أو الدوامية ٧٨
(٨,٢) تتابعات الصدى المغزلي السريع ذو الطلقة الواحدة ٧٩
(٨,٣) تتابعات الاسترداد العكسي السريع أو الدوامي ٨٠
(٨,٤) تتابعات انحدار الصدى السريعة ٨١
(٨,٥) تتابع تصوير الصدى المستوي ٨١
(٨,٦) التتابعات المهجنة ٨٢
(٨,٧) تتابع الانحدار وصدى المغزل ٨٣
(٨,٨) التتابعات الحلزونية ٨٤
(٨,٩) زمن الصدى وتباين T2 في التتابعات السريعة ٨٤
المراجع ٨٥
الفصل التاسع: تقنيات التخلص من إشارة الدهون ٨٧
(٩,١) تصوير الإزاحة الكيميائية ٨٧
(٩,٢) الاختيار الترددي لتشبع الدهون ٩٠

(٣, ٩) الاسترداد العكسي لـ T1 القصير ٩١
(٤, ٩) التشبع المسبق الطيفي مع الاسترداد العكسي ٩٢
الفصل العاشر: التصوير المتوازي ٩٣
(١, ١٠) خلفية عن الموضوع ٩٣
(٢, ١٠) أساسيات التصوير المتوازي ٩٣
(٣, ١٠) متطلبات خاصة..... ٩٥
(٤, ١٠) تطبيقات..... ٩٦
المراجع ٩٧
الفصل الحادي عشر: تصوير القلب والأوعية الدموية ٩٩
(١, ١١) تصوير الأوعية ١٠٠
(١, ١, ١١) تصوير الدم المضيء ١٠٠
(٢, ١, ١١) التصوير الأسود للدم ١١٧
(٣, ١, ١١) تصوير الرنين المغناطيسي للأوعية بالتحليل الزمني ١٢٠
(٢, ١١) التصوير الموزون بالرش ١٢١
(٣, ١١) التصوير الموزون بالانتشار..... ١٢٤
(٤, ١١) تأثير التباين المعتمد على مستوى أوكسجين الدم BOLD
في التصوير الوظيفي للمخ..... ١٢٨
(٥, ١١) التصوير القلبي..... ١٣١
(٦, ١١) التصوير القلبي باستخدام تتابعات SSFP ١٣٤
(٧, ١١) تصوير ضخ عضلة القلب ١٣٥
(٨, ١١) تصوير التحسين المتأخر ١٣٧
(٩, ١١) تحديد الزيادة في تركيز الحديد في عضلة القلب..... ١٣٨

الفصل الثاني عشر: العوامل المساعدة للتباين في الرنين المغناطيسي ١٣٩
(١٢,١) التركيب الكيميائي ١٤٦
(١٢,٢) الاسترخائية..... ١٤٨
(١٢,٣) الخواص الدوائية..... ١٥٢
(١٢,٣,١) عوامل التباين خارج الخلية..... ١٥٣
(١٢,٣,٢) العوامل المساعدة داخل الأوعية أو بركة الدماء ١٥٧
(١٢,٣,٣) عوامل التباين الخاصة بالكبد ١٥٩
(١٢,٣,٤)عوامل النظام الغشائي الشبكي ١٦١
(١٢,٣,٥) العوامل الخاصة بالعقد الليمفاوية ١٦٢
(١٢,٣,٦) العوامل الموجهة للورم ١٦٣
(١٢,٣,٧) عوامل أخرى واعدة لتباين الأنسجة..... ١٦٤
(١٢,٣,٨) الغازات فائقة القطبية ١٦٥
(١٢,٣,٩) عوامل تباين الرنين المغناطيسي التي تؤخذ بالفم ١٦٦
(١٢,٤) التطلعات أو وجهة النظر..... ١٦٨
المراجع ١٧٣

الفصل الثالث عشر: تشويش أو زيغ الرنين المغناطيسي ١٧٥
(١٣,١) التشويش الناجم عن الحركة والجريان (أو التدفق)
(ظل أو شبح الصورة)..... ١٧٥
(١٣,٢) التفاف الطور ١٧٨
(١٣,٣) الإزاحة الكيميائية..... ١٨٠
(١٣,٤) القابلية المغناطيسية ١٨٣
(١٣,٥) مشاكل القطع ١٨٤
(١٣,٦) الزاوية السحرية..... ١٨٤
(١٣,٧) التيارات الدوامية ١٨٥

(١٣,٨) مشاكل الحجم الجزئي ١٨٥
(١٣,٩) إخماد الدهون غير المتجانس ١٨٥
(١٣,١٠) مشاكل المنزلق ١٨٦
(١٣,١١) مشاكل الخطوط المتشابكة أو عظمة السمكة ١٨٦
المراجع ١٨٧
الفصل الرابع عشر: تصوير الرنين المغناطيسي الإكلينيكي ذو المجال العالي ١٨٩
(١٤,١) تباين الأنسجة ١٩٠
(١٤,٢) القابلية المغناطيسية ١٩١
(١٤,٣) الإزاحة الكيميائية ١٩١
(١٤,٤) امتصاص ترددات الراديو ١٩١
الفصل الخامس عشر: التأثيرات البيولوجية والأمان ١٩٣
المراجع ١٩٧
مسرد المصطلحات ١٩٩
ثبت المصطلحات ٢٣٣
أولاً: (عربي-إنجليزي) ٢٣٣
ثانيا: (إنجليزي-عربي) ٢٤٣
كشاف الموضوعات ٢٥٣

Abbreviations المختصرات

2D-FT Two dimensional FT	تحويل فورير ثنائي الأبعاد
3D-FT Three dimensional FT	تحويل فورير ثلاثي الأبعاد
ADC Apparent diffusion coefficient	معامل الانتشار الظاهري
ASL Arterial spin labeling	تعليم (توسيم) مغازل الشريان
DWI Diffusion weighted imaging	التصوير الموزون بالانتشار
ECG Electrocardiogram	المخطط الكهربي للقلب
EPI Echo planar imaging	تصوير الصدى المستوي
ESVR European society of vrogenital radiology	الجمعية الأوروبية للأشعة البولية والتناسلية
ETL Echo train length	طول تتابعات الصدى
FFE Fast field echo	صدى المجال السريع
FID Free induction decay	الاضمحلال الذاتي الحر
FJSP Fast imaging with steady state free precision	التصوير السريع مع دقة حالة الاستقرار
FMRI Functional magnetic resonance imaging	تصوير الرنين المغناطيسي الوظيفي
FOV Field of view	مجال الرؤية

FSE Fast spin echo	الصدى المغزلي السريع
FT Fourier transform	تحويل فورير
GRASS Gradient recalled acquisition in the steady state	اكتساب الانحدار الاستدعائي في حالة الاستقرار
GRE Gradient echo	صدى الانحدار
IR Inversion recovery	استعادة العكس
MHz Megahertz	الميجاهرتز
MR Magnetic resonance	الرنين المغناطيسي
MRA Magnetic resonance angiography	تصوير الأوعية بالرنين المغناطيسي
MRI Magnetic resonance imaging	التصوير بالرنين المغناطيسي
msec Milliseconds	ملي ثانية
MTCI Magnetization transfer contrast imaging	التصوير بتباين نقل المغنطة
NEX Number of excitations	عدد الإثارات
NMR Net magnetization vector	متجه المغنطة الكامل
NSA Number of signal averages	عدد متوسطات الصورة
PC MRA Phase-contrast MR angiography	تصوير الأوعية بالرنين المغناطيسي المتباين الطور
PC Phase contrast	تباين الطور
PD Proton density	كثافة البروتون
Pixel Picture element	عنصر الصورة

ppm Parts per million	جزء في المليون
PWI Perfusion weight imaging	التصوير الموزون بالرش
RF Radiofrequency	تردد الراديو
ROI Region of interest	منطقة الاهتمام
SAR Specific absorption rate	معدل الامتصاص النوعي
SE Spin echo	الصدى المغزلي
SNR Signal-to-noise ratio	نسبة الإشارة للضوضاء
SPGR Spoiled gradient Echo	انحدار صدى متهالك
SPIR Spectral presaturation inversion recovery	طيف التشبع المسبق مع الاسترداد العكسي
SSFP Steady state free precision	طاقة الاستقرار ذات الدقة الحرة
SSFSE Single shot fast spin	الصدى المغزلي السريع ذو الطلقة الواحدة
ST1R Short T1 inversion recovery	تتابعات استرداد انعكاس الزمن T1 القصير
T Tesla	التسلا
TE Echo time	زمن الصدى
TOF Time of flight	زمن الطيران
TR Repetition time	زمن التكرار
TSE Turbo spin echo	تباينات الصدى الدوامية
VENC Velocity encoding	تشفير السرعة

ملاحظة: تستخدم التعبيرات "الاتجاه z" و "المستوى xy" كثيرا في هذا الكتاب. في جميع الأشكال، يعبر عن المجال المغناطيسي الأساسي B_0 من أسفل لأعلى واتجاهه يشير إلى الاتجاه **z**. البعدان الآخران للمجال المغناطيسي يرمز لهما ب x و y. المستوى xy يكون عموديا على المحور **z** ولذلك يمثل أفقياً في الأشكال.