Journal of Humanities and Social Sciences Researches (JHSSR)
ISSN: 2958-3160 (Online)

Review of the potential effects of the Magnetic Resonance Imaging (MRI) technology on human health

M. A. Khan[1,*], Dahy Kadhim Musa Shuaib[2] and Hussein Akhaa Al-Haideri[2]

[1] Galgotias College of Engineering, Greater Noida, India.

[2] Department of Medical Physics, Al-Mustaqbal University, Iraq

* Corresponding author, Email: mn13022020@gmail.com

Received: 06/12/2023 Accepted: 07/02/2024

Abstract

This study provides an overview of the potential effects of the Magnetic Resonance Imaging (MRI) technology on the human health, especially because of the electric and magnetic fields produced during the test. Although the signal-to-noise advantages of high-field MRI systems necessitate increases in the static magnetic field, this can subject the human body to significant magnetic and electric field fluctuations. This review study showed the effect level of the MRI machine of the human health depends on the strength of the magnetic and electric fields, and it endeavours to provide an up-to-date analysis of the biological effects of MRI, covering a broad range of properties from cellular and physiological to clinical aspects.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Human health; Magnetic field.

DOI: 10.33687/jhssr.003.01.000313

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

مراجعة التاثيرات المحتملة لتقنية التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) على صحة الانسان

م.ع. خان[1,*], ضي كاظم موسى شعيب[2], حسين اخاء الحيدري[3]

[1] كلية جالجوتياس للهندسة، نويدا، الهند.

[2]قسم الفيزياء الطبية، جامعة المستقبل، العراق.

***البريد الالكتروني للمؤلف المراسل:** mn13022020@gmail.com

الخلاصة

تقدم هذه الدراسة نظرة عامة على التأثيرات المحتملة لتقنية التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) على الصحة البشرية، خصوصًا بسبب الحقول الكهربائية والمغناطيسية التي تنتج أثناء الاختبار. على الرغم من ميزات نسبة الإشارة إلى الضوضاء في أنظمة MRI عالية المجال تستدعي زيادات في الحقل المغناطيسي الثابت، إلا أن هذا قد يتعرض الجسم البشري لتقلبات كبيرة في الحقل المغناطيسي والكهربائي. أظهرت هذه الدراسة الاستعراضية أن مستوى تأثير جهاز MRI على صحة الإنسان يعتمد على قوة الحقول المغناطيسية والكهربائية، وتسعى لتقديم تحليل حديث للتأثيرات البيولوجية لجهاز MRI، مغطية مجموعة واسعة من الخصائص الخلوية والفسلجية إلى الجوانب السريرية.

الكلمات المفتاحية : التصوير بالرنين المغناطيسي, صحة الإنسان, الحقل المغناطيسي.

DOI: 10.33687/jhssr.003.01.000313

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

1. مقدمة البحث

التجهيزات لدراسات MRI/MRS تتألف من أنظمة فرعية تولد حقولاً كهرومغناطيسية ذات خصائص متباينة بشكل كبير. الأنظمة الفرعية الرئيسية المعنية بسلامة MRI تشمل المغناطيس الفائق للجسم بالكامل وأنظمة التدرج المغلفة وألواح الإرسال والاستقبال بتردد راديو الفرقة. عند شدة حقول تصل إلى تسلا، فإن التحدي من الناحية الفيزيائية والهندسية هو دراسة تأثير إيداع الطاقة بواسطة حقول تتغير في التردد بمقدار عشرة أوامر من العظمة وفي القوة بمقدار خمسة أوامر من العظمة. هذا يشكل نطاقًا استثنائيًا يجب التغلب عليه، مع قلة ممارسات الإنسان الأخرى التي تشمل الظواهر الطبيعية لهذا النطاق الواسع[1,2]. على الرغم من أن هذه التأثيرات تشترك في الطبيعة المشتركة لمصدر الطاقة، وهي الحقول الكهربائية والمغناطيسية، فإن الموجات الكهرومغناطيسية المتغيرة بسرعة من ألواح الراديو يمكن أن تثير تأثيرات مختلفة بشكل كبير مقارنة بتأثير الحقل الثابت للمغناطيس الرئيسي. بالإضافة إلى ذلك، فإن قوى الحقول المغناطيسية المتغيرة بشكل متزايد التي تنتجها التدرجات لها إمكانية متزايدة للتفاعل مع الجسم البشري، مما يتطلب إعادة تقييم هذه الأجهزة. علاوة على ذلك، ستقوم أنظمة MRI عالية المجال المستقبلية بتلقي ومعالجة إشارات الرنين المغناطيسي النووي من الجسم البشري في نطاق مختلف من الطيف الكهرومغناطيسي[3,4]. لهذه المنطقة. لهذه الاكتشافات الجديدة في هذا المجال الإشراف على تطور تقنية MRI ولها آثار كبيرة على مستقبل التصوير الطبي والطيفية. ستساعد هذه الدراسات على تحسين الإرشادات الحالية لتشغيل ماسحات MRI ومن المأمول أن تساعد في تقليل المخاطر المرتبطة بهذه الفحوصات. فوائد زيادة قوة الحقول تتضمن تحسين نسبة الإشارة إلى الضوضاء وتشتت التحول الكيميائي. في الواقع، فإن المكاسب في هذه المجالات كبيرة لدرجة أنه على الرغم من التحديات التكنولوجية، فإن التصوير والطيفية عند المجالات الفائقة العالية قد تحقق تقدمًا استثنائيًا. إذ أن الطيفية التحليلية الآن على أعتاب أول نتائج بتردد 1 غيغاهرتز، والتصوير البشري يُجرى حاليًا عند 340 ميغاهرتز[5-8]. توضح الدراسات السابقة أن جميع العقبات التكنولوجية للتصوير بالمجالات المغناطيسية العالية يمكن التغلب عليها خلال العقد القادم، ومن المحتمل بشكل كبير أن يتم تحقيق التصوير البشري عند مجالات تزيد عن 10 تسلا، والمشاريع المتعلقة بذلك تُخطَط الآن لذلك. لذلك هناك حاجة ملحة إلى فهم أفضل لتداعيات تعرض الإنسان للمجالات المغناطسيسية العالية, وهذا هو هدف الدراسة الحالية[9-11].

DOI: 10.33687/jhssr.003.01.000313
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

2. تفاعل الحقل المغناطيسي مع تدفق الدم والتيارات الأيونية

من المعروف جيدًا أنه عندما يتم وضع الشرايين الرئيسية للجهاز الدوراني في حقول مغناطيسية، يتم إحداث جهد كهربائي على تدفق الدم. فهم آلية هذا التفاعل مهم لتحديد المستوى الآمن لشدة الحقل المطبق والتي تتضمن دراسة التفاعل الكهرديناميكي بين الحقل المغناطيسي وتدفق الدم. تتأثر تدفقات السوائل داخل حقل مغناطيسي بقوة مساوية ل $F = q(v \times B)$ والتي سينشئ حركة الدم الذي يحتوي على أيونات مشحونة بتيارًا كهربائيًا موازيًا بنفس السرعة بالإضافة إلى هذا التيار. اضافة الى ذلك فان القوة المغناطيسية تكون تيار جانبي $J = (v \times B)$ موازٍ لـ $v \times B$ (عمودي على الحقل المغناطيسي) وبالتالي سيتفاعل التيار J مع الحقل المغناطيسي لإنشاء قوة أخرى تتناسب معه تعتمد هذه القوة المنبثقة عن الحقل المغناطيسي على شحنة الأيونات وستكون في اتجاهyv ، مما يقاوم تدفق الدم[12-14]. وفقًا لبعض التقديرات، من الممكن أن يؤدي هذا التأثير المضاد إلى زيادة ضغط الدم بنسبة تصل إلى 28٪ عند 10 تسلا. تبين أن هذا التوقع غير صحيح حيث لم يُلاحَظ تباطؤ واضح في تدفق الدم عند 4.7 تسلا. علاوة على ذلك، أظهرت الدراسات الأخيرة لديناميات الدم في الكلاب عند 8 تسلا عدم وجود ارتفاع في ضغط الدم خلال 3 ساعات من التعرض[15-17]. ووفقًا لحسابات التدفق المغناطيسية الهيدروديناميكية، فإن التغيير من الضغط الوعائي الهيدروديناميكي الكلي إلى الضغط الوعائي المغناطيسي الهيدروديناميكي الكلي يقل عن 0.2٪. تتوقع هذه الحسابات عدم وجود أساس لأي تأثير ضغط ملحوظ على الجهاز الدوراني البشري للمجالات تصل إلى 10 تسلا. بالإضافة إلى هذا التأثير المغناطيسي الهيدروديناميكي، سيؤدي تدفق التيار الأيوني بسرعة v في حقل مغناطيسي ثابت داخل وعاء بقطر d إلى إحداث جهد كهربائي $V = Bd$. سيؤدي تراكب هذا الجهد إلى تعديل ذروة الموجة T في تخطيط ECG . تم ملاحظة هذه الظاهرة المثبتة تمامًا في تخطيط ECG للبشر عند مجالات تصل إلى 8 تسلا .بالمثل، ستتفاعل التيارات الأيونية مع الحقل المغناطيسي الثابت في سياق آلية قوة لورنز[18-21]. كذلك تتغير الإثارة على ألياف الأعصاب الطرفية بواسطة هذا التفاعل على طول الحلقات في الجهاز العصبي المركزي. وقد ذُكر أن المجال المغناطيسي بقوة 24 تسلا مطلوب لإحداث انخفاض بنسبة 10٪ في التوصيل لخلايا الأعصاب. أظهرت القياسات التجريبية في مجالات تصل إلى 2 تسلا عدم وجود تأثير كبير في وظيفة الأعصاب الطرفية في مثل هذه المجالات لكن تم ملاحظة بعض التشوشات في مجالات تصل إلى 9.1 تسلا[21-25].

3. التاثير على النمو والتأثير الجنيني

هناك اعتقاد عام بأن الكائنات النامية أكثر عرضة للاضطرابات الخارجية من البيئة سواء كانت طبيعية أو كيميائية الطبيعة. يرتبط هذا الاعتقاد بزيادة الحساسية المرتبطة بتأثيرات دقيقة توجه نمو الخلية

DOI: 10.33687/jhssr.003.01.000313
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

النامية. في الدراسات على الحيوانات، وجد عدد من الباحثين تطور غير الطبيعي لأجنة الدجاج بعمر يصل إلى يومين ردًا على التعرض لحقول مغناطيسية متذبذبة. بالتالي، قد يؤثر التعرض لحقول مغناطيسية في نطاق التردد الذي يعادل تيارات كهربائية بترددات تتراوح بين 50 و60 هرتز على الجنين في مرحلة التطور المبكرة[27-30]. ومع ذلك، وجد باحثين اخرين عدم وجود تأثيرات إحصائياً ملحوظة على أجنة الدجاج على نطاق تردد أكبر يصل إلى 20 كيلو هرتز. بالتالي، الأدلة متناقضة في الدراسات حول تأثير الحقول مغناطيسية المتغيرة مع الزمن على الثدييات، عمومًا أظهرت معظم النتائج عدم وجود تأثيرات ملحوظة. على سبيل المثال، تمت مقارنة الزيادة في معدلات التشوهات في بيض الدجاج المعرضة لحقول مغناطيسية متقطعة مع تقارير أخرى التي لم تلاحظ أي تأثيرات ملموسة على النمو أو البقاء أو الإنجاب للفئران. وبشكل عام، لم تجد أحدث البحوث تأثير للتيارات الكهربائية والمغناطيسية على التغيرات التطورية أو النموية أو التناسلية[31-32].

4. التأثيرات الخلوية

في الدراسات الخلوية، حيث يتعرض الخلايا لحقول مغناطيسية متغيرة التدرج لساعات، تظهر النتائج عدم وجود تأثيرات للحقول المغناطيسية المتغيرة مع الزمن. في الواقع، لم يتم رصد أي تأثيرات إحصائياً ملحوظة عندما تم دمج حقول مغناطيسية ثابتة بقوة 3 و 4.32 تسلا مع حقل تدرجي بقوة 25 ميلي تسلا في المتر خلال 300 مللي ثانية ومع معدل امتصاص الطاقة الناتجة عن التعرض للنبضات الكهرومغناطيسية بقيمة 4 واط/كغ لمدة 126 و 180 ميجاهرتز[1,3,33]. كما لم يتم العثور على أي تأثيرات ملحوظة على معدلات تبادل الكروماتيدات عند تعرض اللمفاويات البشرية لحقول مغناطيسية متغيرة مع الزمن بقيم تصل إلى 220 ميلي تسلا. مراجعة الدراسات المنشورة حول العواقب الجينية المحتملة للحقول الكهربائية المغناطيسية على مدى خمس سنوات، تضمنت 23 دراسة منشورة، وخلصت إلى أنه لا يمكن تكرار أي من التقارير الإيجابية بشكل مستقل. اظهرت النتائج التي حصلت عليها عدة مجموعات من الدراسات السلبية في عدة فئات من التعرض، مثل الحالة 1 التي تشمل حقول المغناطيسية الخفيفة فوق الصوتية بقيم تتراوح بين 150 ميكرو تسلا و 5 ميلي تسلا؛ الحالة 2 التي تشمل الحقول الكهربائية والمغناطيسية الخفيفة فوق الصوتية بقيم 0.2 ميلي تسلا و 240 ميكرو فولت في المتر؛ والحالة 3 التي تشمل حقول المغناطيسية الثابتة بقيم تتراوح بين 1 و 3.7 تسلا[33-34]. تشير النتائج إلى أن الحقول المغناطيسية المتغيرة مع الزمن على الأرجح لا تعمل كمسببات للسرطان. أظهرت دراسات على الجهاز الخلوي زيادة في تخليق الحمض النووي في الخلايا الليفية البشرية مع التعرض لقيم تتراوح بين 300 و 560 ميلي تسلا عند ترددات تتراوح بين 4 و 15 كيلو هرتز. وقد لوحظت مستويات مغايرة لتخليق البروتين وزيادة في نسخ الحمض النووي في غدد اللعاب لذبابة الفاكهة مع التعرض لقيم تتراوح بين 2.3 و 3.5

DOI: 10.33687/jhssr.003.01.000313
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

ميلي تسلا عند ترددات تتراوح بين 1 و 71 هرتز. ومع ذلك، فإن التغييرات في معدلات النسخ أو تخليق الحمض النووي لا تظهر بالضرورة أن الحقول المغناطيسية المتغيرة مع الزمن تشجع على ظهور السرطان. ومع ذلك، فمن الواضح أنه ينبغي توخي الحذر في هذا الصدد وأنه من الضروري إجراء دراسات إضافية. وجد ايضا ان التعرض المفاجئ لمدة 90 دقيقة لحقول مغناطيسية منخفضة التردد في الفئران يعزيز الاستجابة للمورفين. وتم في وقت لاحق إثبات أن هذا التأثير على الاستجابة للمورفين لدى الفأر كان في الغالب بسبب الحقول المغناطيسية ذات التدرج[35-36].

5. التأثيرات الحرارية

تم دراسة استجابة التحكم الحراري البشري للتعرض للترددات في التصوير بالرنين المغناطيسي بشكل وافٍ. وجد أن المريض، بقدرته الطبيعية على التحكم الحراري، مرتديًا ملابس خفيفة، في درجة حرارة ورطوبة داخلية مريحة وطبيعية، عند تعرضه لـ 4 واط/كغ من الطاقة الراديوية، فإن درجة حرارة جسده سترتفع بنسبة تصل إلى 0.68 درجة مئوية عند تردد 63 ميجاهرتز. تؤيد هذه النتائج إلى حد كبير دراسات استجابة التحكم الحراري لمتطوعين اصحاء ومرضى تعرضوا لمعدل امتصاص طاقة نوعي (SAR) بقيمة 4.0 واط/كغ. ومع ذلك، فإن مقدار الارتفاع في درجة الحرارة عمومًا أصغر من المتوقع 0.68 درجة مئوية[3,37].

عند دراسة استجابة التحكم الحراري، يصبح التعرق آلية تبريد مهمة, هذه الآلية تتطلب زيادة تدفق الدم إلى الجلد, ومع ذلك، فإن التوسع الوعائي السطحي غالبًا ما يتطلب زيادة في دقات القلب. وفقًا لهذه الملاحظة، تم تسجيل زيادة في معدل ضربات القلب بثلاث ضربات في الدقيقة للمتطوعين المعرضين لـ 0.8 واط/كغ لمدة 17 دقيقة مع تأثير ضئيل على ضغط الدم عند تردد 63 ميجاهرتز. دراسة اخرى اجريت على 50 متطوعًا معرضًا لـ 0.4–1.2 واط/كغ أظهرت زيادة متوسطة في درجة حرارة الجسم قدرها 0.28 درجة مئوية، مع استمرار متوسط معدل ضربات القلب وضغط الدم دون تأثير. وفي دراسات أخرى عند 63 ميجاهرتز، كانت الزيادة المتوسطة في درجة حرارة الجسم للمتطوعين المعرضين لـ 4.0 واط/كغ لمدة 20 دقيقة هي 0.38 درجة مئوية، مع تأثير ضئيل على معدل ضربات القلب. لم يسفر تطبيق معدل امتصاص الطاقة الكلي للجسم بقيمة 6.0 واط/كغ عن تأثيرات ضارة على الأفراد في تقييم الاستجابات الفيزيولوجية لستة متطوعين تعرضوا ل MRI لمدة 16 دقيقة وفقا للمسح الطبقي للعلامات الحيوية الرئيسية، مثل درجة حرارة غشاء الطبلة، ودرجة حرارة الجلد في سبعة مواقع، ومعدل ضربات القلب، وضغط الدم، وتشبع الأكسجين، وتدفق الدم الجلدي[37-40].

DOI: 10.33687/jhssr.003.01.000313
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

6. ألاستنتاج والتوصيات

ربما يكون أكثر مكونات فحص الرنين المغناطيسي الضارة هو قوة الحقل المغناطيسي حيث أظهرت الدراسات التي أجريت على الكثير من الافراد حول العالم عند مستوى 1.5 تيسلا عدم وجود تأثيرات لا يمكن تجنبها نتيجة لتعرضهم لحقل مغناطيسي ساكن على هذا المستوى. يمكن القول نفس الشيء أيضًا بالنسبة لآلاف الأشخاص الذين تمت دراستهم عند مستويات حقول تصل إلى 3 و 4 تيسلا. أظهرت الدراسات الأولية على الحيوانات والبشر عدم وجود تأثيرات قلبية أو فيزيولوجية أو عقلية واضحة ناتجة عن التعرض لقوة الحقل بمستوى 8 تيسلا. ومن المثير للاهتمام أن الإنسان لم يتعرض سوى لحقول مغناطيسية تتراوح بين 1 و 8 تيسلا في أنظمة الجسم الكاملة لمدة عشرين عامًا فقط. ومع ذلك، في ضوء هذه المناقشات، يبدو أن التأثيرات طويلة الأمد على الصحة البشرية نتيجة التعرض لحقول مغناطيسية قوية غير محتملة. بالإضافة إلى ذلك، الآن بعد أن أصبح الرنين المغناطيسي موجودًا لأكثر من جيل واحد، يُنظر إليه على أنه أسلوب تشخيص طبي قياسي. يجب أن يساعد هذا التوجه في تقليل القلق المرتبط بفحوصات الرنين المغناطيسي. والأهم من ذلك، أكمل الآن ما يقرب من نصف قرن من العمل مع المغناطيسات القوية. ومع ذلك، لم يتم تحديد أي دليل علمي يشير إلى وجود تأثيرات صحية طويلة الأمد. يتفق جميع العلماء والجهات التنظيمية على أن زيادة درجة حرارة الجسم الأساسية بمقدار 1.8 درجة مئوية في فرد سليم ذي قدرة على التحكم في درجة الحرارة تعتبر خالية تمامًا من المخاطر. يمكن تحقيق هذه الزيادة في درجة الحرارة باستخدام معدل امتصاص محدد SAR لطاقة الراديو التي يبلغ 4 واط لكل كيلوغرام من وزن الجسم ويتم حساب معدلها على الجسم. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام طاقة الراديو بمقدار 8 واط لكل كيلوغرام أو أكثر عند الضرورة في الحقول المغناطيسية العالية للغاية لتحصيل البيانات، ولكن لفترات قصيرة بما يكفي للحصول على زيادة في درجة حرارة الجسم الأساسية لا تتجاوز 1.8 درجة مئوية. من الناحية البسيطة في الإجراءات الأمنية، يكون من المفيد أن يكون لدى كل نظام رنين مغناطيسي سريري مستشعرات فشل آمنة يمكنها إيقاف تشغيل الطاقة إلى مصدر الراديو عند الضرورة. قد تصبح هذه الخطوة أكثر أهمية مع انتشار الأنظمة التي تعمل بأكثر من 1.5 تيسلا.

References

1. Robitaille PML, Abduljalil AM, Kangarlu A, Zhang X, Yu Y, Burgess R, Bair S, Noa P, Yang L, Zhu H, Palmer B, Jiang Z, Chakeres, DM, Spigos D. Human magnetic resonance imaging at eight Tesla. NMR Biomed 1998; 11:263–265.
2. Abduljalil, AM, Kangarlu A., Zhang X, Burgess RE, Robitaille PML. Acquisition of human multi- slice MR image at 8T. J Comp Assist Tomog 1999; 23:335–340.
3. Robitaille PML, Abduljalil AM, Kangarlu A. Ul- tra high resolution imaging of the human head at 8 Tesla:2K X 2K for Y2K. J Com Assist Tomog 2000; 24:2–8.
4. Robitaille PML, Warner R, Jagadeesh J, Abdul- jalil AM, Kangarlu A, Zhang X,

DOI: 10.33687/jhssr.003.01.000313

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

Burgess RE, Yu Y, Yang L, Zhu H, Jiang Z, Bailey RE, Chung W, Somawiharja Y, Feynan P, Rayner D. Design and assembly of an 8 Tesla whole body MRI scanner. J Com Assist Tomog 1999; 23:807–820.

5. Kangarlu A, Baertlein BA, Lee R, Ibrahim T, Abduljalil AM, Robitaille PML. Dielectric reso- nance phenomena in ultra high field magnetic resonance imaging, J Comp Assist Tomogr 1999; 23:820–831.
6. Robitaille PML, Kangarlu A, Abduljalil AM. RF penetration in ultra high field magnetic resonance imaging ŽUHF MRI.: Challenges in visualizing details within the center of the human brain. J Com Assist Tomog 1999; 23:845–849.
7. Abduljalil AM, Robitaille PML. Macroscopic sus- ceptibility in ultra high field MRI. J Com Assist Tomog 1999; 23:823–841.
8. Abduljalil AM, Kangarlu A, Robitaille PML. Macroscopic susceptibility in ultra high field MRI- II: Acquisition of spin echo images from the hu- man head. J Com Assist Tomog 1999; 23:842–844.
9. Robitaille PML. On RF power and dielectric reso- nances in UHF MRI. NMR Biomed 1999; 12:318–319.
10. Chiabrera A, Bianco B, Kaufman JJ, Pilla AA. Bioelectromagnetic interactions: Endogenous field and noise. In: Interaction mechanism of low-level electromagnetic fields. Oxford University Press; 1992. p 164–179.
11. Galt S, Sandblom J, Hamnerius Y. Theoretical study of the resonant behaviour of an ion con- fined to a potential well in a combination of AC and DC magnetic fields. Bioelectromagnetics 1993; 14:299–314.
12. Muehsam DJ, Pilla AA. Lorentz approach to static magnetic field effects on bound-ion dynamics and binding kinetics: Thermal noise considerations. Bioelectromagnetics 1996; 17:89–99.
13. World Health Organization ŽWHO.. Magnetic fields, environmental health criteria, 1987; 69. Geneva, Switzerland. p 20.
14. Kanal E, Shellock FG. Aneurysm clips: Effects of long-term and multiple exposures to a 1.5-T MR system. Radiology 1999; 210:563–565.
15. Shellock FG, Shellock V. Metallic stents: Evalua- tion of MR imaging safety. AJR Am J Roentgenol 1999; 173:543–547.
16. Shellock FG, O'Neil M, Ivans V, Kelly D, O'Con- nor M, Toay L, Crues JV. Cardiac pacemakers and implantable cardioverter defibrillators are un- affected by operation of an extremity MR imaging system. AJR Am J Roentgenol 1999; 172:165–170.
17. Weill G. Magnetic birefringence in polymers and polyelectrolytes. In: Maret G, Boccara N, Kiepen- heuer J, editors. Biophysical effects of steady magnetic fields. Berlin, New York: Springer- Verlag; 1986. p 2–6.
18. Certaines JD. Molecular and cellular responses to orientation effects in static and homogeneous ul- tra high magnetic fields. In: Magin RL, Liburdy RP, Persson B, editors. Biological effects and safety aspects of nuclear magnetic resonance imaging and spectroscopy, Annals of the New York Academy of Sciences. New York: New York Academy of Science; 1992. p 35–43.

DOI: 10.33687/jhssr.003.01.000313
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

19. Feitis E, Cotton, E, Faure-Fremiet E. CR Acad Sci Paris Series D 1942; 214:996–998.
20. Beaugnon E, Tournier R. Levitation of organic materials. Nature 1991; 349:7,470.
21. Ueno S, Iwasaka M. Magnetic nerve stimulation and effects of magnetic fields on biological, physi- cal, and chemical processes. In: Ueno S. editor. Biological effects of magnetic and electromag- netic fields. New York: Plenum Press; 1996. p 1–21.
22. Melville D, Paul F, Roath S. High gradient mag- netic separation of red cells from whole blood. IEEE Trans Magn 1975; MAG-11:1701–1704.
23. Maret G. Liquid crystals and virus solutions in strong magnetic fields. In: Maret G, Boccara, N, Kiepenheuer, J, editors. Biophysical effects of steady magnetic fields. Berlin, New York: Springer-Verlag; 1986. vol. 11, p 17.
24. Maret G, von Schickfus M, Mayer A, Dransfeld K. Orientation of nucleic acid in high magnetic fields. Phys Rev Lett 1975; 35:397–400.
25. de Gennes PG. The physics of liquid crystals. Oxford: Clarendon; 1974.
26. Seppens A, Maret G, Jansen AGM, Wyder P, Janssen JM, de Jeu WH. Magnetic damping of orientational fluctuations in nematics with nega- tive diamagnetic anisotropy. In: Maret G, Boccara N, Kiepenheuer J, editors. Biophysical effects of steady magnetic fields. Berlin, New York: Springer-Verlag; 1986. p 18–22.
27. Chabre M. Diamagnetic anisotropy of proteins and magnetic orientation of biological membranes and protein assemblies. In: Maret G, Kiepen- heuer J, Boccara N, editors. Biophysical effects of steady magnetic fields. Berlin, New York: Springer-Verlag; 1986. p 28–33.
28. Ueno S, Iwasaka M, Tsuda H. Effect of magnetic fields on fibrin polymerization and fibrinolysis. IEEE Trans Magn 1993; 29:3352–3354.
29. Iwasaka M, Ueno S, Tsuda H. Effect of magnetic fields on fibrinolysis. J Appl Phys 1994; 75:7162–7164.
30. Iwasaka M, Ueno S, Tsuda H. Enzymatic activity of plasmin in strong magnetic field. IEEE Trans Magn 1994; 30:4701–4706.
31. Hong FH, Mauzerral D, Mauro A. Magnetic anisotropy and the orientation of retinal rods in a homogeneous magnetic field. Proc Nat Acad Sci USA 1971; 68:1283–1285.
32. Costa Ribeiro PC, Davidovich MA, Wajnberg E, Bemski G, Kischinevski M. Rotation of sickle cells in homogeneous magnetic fields, Biophysics J 1981; 36:443–447.
33. Torbet J, Dickens MJ. Orientation of skeletal muscle actin in strong magnetic fields. FEBS Lett 1984; 173:403–406.
34. Vassilev PM, Dronzine RT, Vassileva MP, Georgiev GA. Parallel arrays of microtubules formed in electric and magnetic fields. Biosci Rep 1982; 2:1025–1029.
35. Torbet J, Ronziere MC. Magnetic alignment of collagen during self-assembly. Biochem J 1984; 219:1057–1059.
36. Shiga T, Okazaki M, Maeda N, Seiyama A. Ef- fects of static magnetic fields on erythrocyte rhe- ology. In: Ueno S, editor. Biological effects of magnetic and electromagnetic fields. New York: Plenum Press; 1996. p 185–193.
37. Heidelberger H, Meyer MM, Damarest CR. Stud- ies in human malaria. I. The preparation of vac- cines and suspensions containing plasmodia. J Im- munol

DOI: 10.33687/jhssr.003.01.000313
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

1946; 52:325–330.

38. Melville D. Direct magnetic separation of red cells from whole blood. Nature 1975; 255:706.
39. Chen IIH, Saha S. Analysis of intensive magnetic field on blood flow: Part 2. J Bioelectricity 1985; 4:55–61.
40. Fatahi, M. and Speck, O., 2015. Magnetic resonance imaging (MRI): A review of genetic damage investigations. Mutation Research/Reviews in Mutation Research, 764, pp.51-63.

DOI: 10.33687/jhssr.003.01.000313
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.