

SÉCURITÉ EN IRM RISQUES LIÉS À B1

Pr. Jacques Felblinger
U1254 INSERM & CiC-IT 1433 de Nancy
Nancy - France
j.felblinger@chru-nancy.fr
Avec la participation de
Pauline Ferry & Yannick Pomviane de la société Healtis

Champ radiofréquence (RF), B1 : rappels

Emission (Transmission) RF (B1+)

Réception RF (B1-)

$\nu = \text{fréquence de résonance (Hz)} \nu = 64 \text{ MHz (1,5T)}$

Émissions de radiofréquences

- Par antenne corps (émission/réception, presque toujours utilisée en émission)
- Certaines antennes locales (tête, genou)

Réception Radiofréquence

Toutes les antennes de surface (réseaux phasés)
Antennes volumiques

Angle de bascule... 90°

$\alpha = 90^\circ$
Energie suffisante pour le transfert dans plan transversal

Optimum B1 :

- 1) résonance fréquence / B0
- 2) angle 90°

L'ensemble des spins ne voient pas tous un angle de 90°

Enjeu sécurité : 1) Angle de bascule = énergie = échauffement
2) SAR $\propto B_0^2$

Champ radiofréquence (RF), B1 : rappels

N lignes de phase

Enjeu sécurité : 1) Energie transmise : Amplitude des impulsions RF (angle de bascule), le nombre d'impulsions RF, le TR...

Elément d'antenne B1

Boucle simple : Inductance (spire) + Condensateur = résonance
Accord en fréquence et en impédance

Enjeu sécurité : Adaptation de la charge de l'antenne

Risques de la radiofréquence

Élévation de température : dépend du conducteur & champ électrique
MAIS également de la perfusion des tissus, du refroidissement du patient, de la température initiale...

ATTENTION aux accessoires

Enjeu sécurité : Attention aux DM et accessoires

Radiofréquence, B1 : Physique

$f = \frac{\gamma}{2\pi} B_0$ $\gamma/2\pi = 42.576 \text{ MHz/T}$

Proton $\left\{ \begin{array}{l} 1.5 \text{ T} \rightarrow 64 \text{ MHz} \\ 3 \text{ T} \rightarrow 128 \text{ MHz} \end{array} \right.$

Electromagnetic Wave

Permittivity ϵ [F/m] = $\epsilon_r \epsilon_0$
 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

Medium (ϵ_r, σ, μ) $\lambda_{\text{medium}} = \frac{\lambda_{\text{air}}}{\sqrt{\epsilon_r}}$

$\lambda_{\text{air}} = 4.7 \text{ m at } 64 \text{ MHz}$ $\lambda_{\text{water}} = 52 \text{ cm}$
 $\lambda_{\text{air}} = 2.3 \text{ m at } 128 \text{ MHz}$ $\lambda_{\text{water}} = 28 \text{ cm}$

$\epsilon_r = 80$

Enjeu sécurité : 1) Longueur d'onde dans tissus << longueur d'onde dans l'air 2) Conducteur = antenne qui capte de l'énergie (dimension > $\lambda/20$)

Radiofréquence, B1 : Physique

1) La longueur d'onde est proche de la taille de l'objet

Fréquence de résonance

- 1.5T 64MHz $\lambda_{\text{air}} = 4.7\text{m}$
- 3T 128MHz $\lambda_{\text{air}} = 2.3\text{m}$

MAIS!

Longueur d'onde dans les tissus

- 1.5T 64MHz $\lambda_{\text{eau}} = 52\text{cm}$
- 3T 128MHz $\lambda_{\text{eau}} = 26\text{cm}$

2) Champ Magnétique (B_1) + Champ Electrique (E) combined

B1 = utile pour IRM

E = pertes & échauffement

Propriétés Magnétiques des tissus :

- μ : perméabilité relative
- $\mu_r = \chi_m + 1$
- χ_m : susceptibilité magnétique

Propriétés électriques:

- E_r : permittivité relative
- $\epsilon_r = \chi_e + 1$
- χ_e : susceptibilité électrique
- σ : conductivité

Enjeu sécurité : Toujours un champ électrique dont l'effet est l'échauffement

DAS, TAS, SAR....

La radiofréquence est absorbée par les tissus (eau) : dépend de la conductivité, du champ électrique et de la densité

DAS: Débit d'Absorption Spécifique ou TAS: Taux d'absorption spécifique (SAR : Specific Absorption Rate) en **W/kg** = puissance absorbée (sur une période de 6 min, moyennée sur le corps entier ou sur 1 g de tissu)

$SAR \propto \text{nb d'impulsions RF} \times \text{Energie déposé par impulsion}$
 TR x poids du patient

$SAR = \frac{\sigma \cdot E^2}{2\rho}$ $\rightarrow \rho c \frac{dT}{dt} = K\Delta^2 T + \rho SAR$ \rightarrow Elévation de température

E : Champ électrique [V/m] c : Capacité spécifique [J/°C/g]
 σ : Conductivité [S/m] K : Conductivité thermique [W/m/°C]
 ρ : Densité [kg/m³] T : Température

Enjeu sécurité : 1) DAS est calculé par l'IRM ! (indiquer le bon poids du patient) 2) Elévation de température en fonction de constantes thermiques 3) Perfusion (refroidissement) à prendre en compte

Débit d'absorption spécifique (DAS)

Normes : IEC 60601-2-33 (International Electrotechnical Commission)

Différents DAS: corps entier, extrémité, tête

3 modes: normal, premier niveau (first level) & deuxième niveau (second level (possible en mode « service » seulement).

Pas de lien direct entre DAS et augmentation de température

	DAS corps volumique	DAS extrémité volumique	DAS Tête volumique	Augmentation de Température
Normal mode	2 W/kg	2-10 W/kg	3.2 W/kg	<0.5°C
First level mode	4 W/kg	4-10 W/kg	3.2 W/kg	<1°C
Second level mode	> 4W/kg	> 4-10 W/kg	> 3.2 W/kg	>1°C
MR worker	0.4W/kg	20W/kg	10W/kg	

MR worker SAR Display

Average Peak SAR_{10g}

Enjeu sécurité : 1) DAS supérieur possible avec antennes émission/réception de surface 2) DAS très contrôlé par IRM 3) Attention en cas de DM

DAS Discussion

Normes : IEC 60601-2-33 (International Electrotechnical Commission)

Différents DAS : corps entier, extrémité, tête.....

- Complexe et pas totalement défini entre les normes IEC et la FDA.
- Température ambiante de 25°C (réduction de 0,25W/kg) si > 25°C
- 10W/kg tête/tronc, 20W/kg possible avec antenne de surface émission/réception (plus utilisée en clinique...)
- Point chaud, température très supérieure possible (pas de contrôle possible)

Enjeu sécurité : 1) DAS supérieur possible avec antennes Emission/réception de surface 2) DAS très contrôlé par IRM 3) Attention en cas de DM

DAS et implant

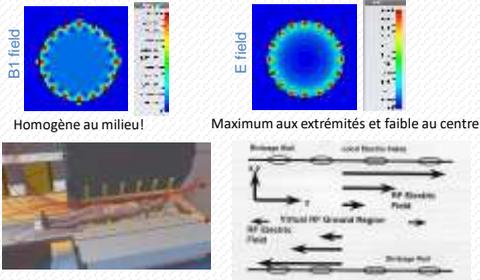
ASTM F2182 : Measurement of Radio Frequency Induced Heating On or Near Passive Implants

- Séquence: Echo de spin rapide
- Implant placé dans une zone de fort champ électrique
- Échauffement sans implant doit être significatif (typiquement > 1°C)
- DAS corps entier = 2W/kg
- 15 minutes
- sans implant < 0,5°C
- avec implant > 0,5°C

Fantôme: eau salé + gel
 $\sigma = 0.47 \text{ S/m}$ $\epsilon_r = 80$
 Diffusivité : $1.3 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
 Capacité thermique : 4150 J/kg°C

Enjeu sécurité : 1) DAS supérieur possible avec antennes Emission/réception de surface 2) DAS très contrôlé par IRM 3) Attention en cas de DM

Condition extrême: champ E



Chap E: maximum proche des parois de l'IRM
Antenne = conducteur absorbant l'énergie RF & de longueur suffisante $\lambda_{\text{eau}} = 26\text{cm}$

Enjeu sécurité : 1) conducteur implanté d'une dimension de l'ordre de 7-10cm = antenne 2) Proche de la paroi de l'antenne émettrice

13

DAS Discussion

Faits:

IRM dispose d'une puissance radiofréquence énorme (33KW-50KW...)
Une impulsion RF dure quelques ms. DAS moyenné sur 10g > 40W/kg mais d'une durée très courte.

La mesure de la température et l'effet de l'échauffement sur les tissus internes reste compliquée -> Simulation

Discussion dans les comités:

- Dose thermique qui prendrait mieux compte de la durée (CEM43). Destruction de cellule; CEM43 = 240min pour la peau, LCF 2 min. (64°C quelques ms, 50° quelques seconds/ minutes.....).
- Carte de température à la place du DAS....

Concernant les implants:

- Il existe des normes pour évaluer l'échauffement des implants. Elles ne considèrent pas (encore) la présence de plusieurs DM ou le refroidissement naturel (écoulement du sang)
- Il n'existe pas de norme pour évaluer l'échauffement des DM non implantés -> analyse par le constructeur

14

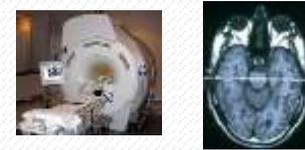
Artéfacts liés aux DM actifs

$$f = \frac{\gamma}{2\pi} B_0$$

Proton

$\gamma/2\pi = 42.576 \text{ MHz/T}$

1.5 T → 64 MHz
3 T → 128 MHz



Une fréquence ou bruit

Enjeu sécurité : 1) bruit « blanc » sur les images 2) trait (une fréquence)

15

Conclusions: sécurité B1



16