



CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES : DE LA DOSIMÉTRIE À LA SANTÉ HUMAINE

Effets sur les flux d'énergie impliqués dans l'homéostasie lors d'une exposition chronique à un champ radiofréquence chez le rat juvénile

Effects on energy flows involved in homeostasis during chronic exposure to radiofrequency field in juvenile rat

*Amandine Pelletier**, *René de Seze***, *Stéphane Delanaud**, *Gyorgy Thuroczy***, *Véronique Bach**, *Jean-Pierre Libert**, *Nathalie Loos**

* Laboratoire Péritox EA 4285-UMI 01 Unité mixte INERIS, UFR Médecine, Université de Picardie Jules Verne, Amiens, FRANCE {amandine.pelletier, stephane.delanaud, veronique.bach, jean-pierre.libert, nathalie.loos}@u-picardie.fr

** Laboratoire Péritox EA 4285-UMI 01 Unité mixte INERIS, Unité de Toxicologie Expérimentale, INERIS, Verneuil-en-Halatte, FRANCE {Rene.DE-SEZE, Gyorgy.THUROCZY}@ineris.fr

Mots-clefs: ondes radiofréquences, sommeil, comportement alimentaire, thermorégulation, rat
Keywords : radiofrequency fields, sleep, feeding behaviour, thermoregulation, rat

Résumé

La balance énergétique impliquant sommeil, prise alimentaire et thermorégulation, est importante pour les organismes en croissance. Nous avons étudié les effets d'une exposition chronique aux ondes radiofréquences (RF) type antenne relais sur ces 3 fonctions physiologiques chez des rats juvéniles dans 2 environnements thermiques (24°C et 31°C). 13 rats mâles Wistar âgés de 3 semaines ont été exposés continuellement pendant 5 semaines aux ondes RF (900 MHz, 1 V.m⁻¹) et comparé à 11 rats non exposés. Les résultats montrent une augmentation de la fréquence des épisodes de sommeil paradoxal à 24°C et 31°C. Les autres effets sur le sommeil dépendent de l'environnement thermique. A 31°C, la température caudale des animaux exposés est moindre que celle des contrôles suggérant une vasoconstriction exacerbée ; ce qui est confirmée avec la prazosine vasodilatatrice. De plus, la prise alimentaire est plus élevée chez les animaux exposés. La plupart des effets de l'exposition chronique aux ondes RF sur le sommeil dépendent de l'environnement thermique et les animaux exposés semblent mettre en place des processus d'économie d'énergie.

1. Introduction

Le maintien de l'homéostasie énergétique est assuré par les interactions entre les flux d'énergie entrants (prise alimentaire) et les flux d'énergie sortants (vasomotricité). L'homéostasie énergétique fait également intervenir l'état de vigilance qui selon les stades, participe à la restauration, la dépense ou l'économie énergétique. Cette balance énergétique est d'autant plus importante pour les organismes en pleine croissance. En effet, l'énergie assure par ordre de priorité le fonctionnement optimal des fonctions vitales puis la thermorégulation et enfin la croissance. La moindre perturbation de la balance énergétique peut avoir des répercussions plus ou moins graves sur ces fonctions primordiales chez les organismes juvéniles. Nous avons donc étudié les éventuels effets d'une exposition chronique aux ondes radiofréquences (RF) émises par les antennes relais de téléphonie mobile sur cette balance énergétique chez des rats juvéniles.

L'objectif de ce travail a été d'étudier les 3 principales fonctions physiologiques qui interviennent dans la balance énergétique (sommeil, thermorégulation et prise alimentaire) et leurs interactions, dans 2 environnements thermoneutres (température d'air, T_a=24°C et 31°C) où le maintien de l'homéothermie est principalement assuré par les processus vasomoteurs périphériques [1]. Les températures corticale (T_{cor}) et caudale (T_{que}) ont été enregistrées comme indicateur de la température centrale et de la température périphérique, respectivement. Le tonus vasoconstricteur périphérique a été étudié en utilisant un agent pharmacologique vasodilatateur, la prazosine, qui est un antagoniste post-synaptique des récepteurs α₁ adrénergiques.

2. Matériels et méthodes

2.1. Animaux et hébergement

Un total de 24 rats mâles Wistar ont été étudiés dans 2 chambres climatiques où l'environnement thermique était contrôlé ($T_a=24 \pm 1^\circ\text{C}$). Chaque chambre peut héberger 8 animaux installés dans des cages individuelles équipées d'un biberon et d'une mangeoire fixée sur une balance électronique. Les animaux âgés de 3 semaines arrivaient au laboratoire pour y être répartis en 2 groupes : 13 animaux exposés aux ondes RF dans une chambre climatique et 11 animaux non exposés dans l'autre. Les rats ont été habitués 3 semaines à ces conditions environnementales avant la chirurgie (**Figure 2**).

2.2. Système d'exposition aux ondes RF

La chambre climatique hébergeant les animaux exposés était équipée d'un générateur de radiofréquences associé à un amplificateur de puissance (type RFS 900-64, amplificateur de puissance de radiofréquence, RFPA) qui émettait un champ électromagnétique de 900 MHz en ondes continues reproduisant un signal de type GSM grâce à un modulateur de signal. L'ensemble était situé à l'extérieur de la chambre climatique. Ce générateur était connecté à un diviseur à quatre sorties alimentant simultanément quatre antennes (Kathrein 800-10465) qui avaient une polarisation verticale, large bande (900-1800), conçue pour des installations intérieures de communications sans fil. Les bandes de fréquences d'exploitation de l'antenne étaient 806 MHz - 960 MHz et 1710 MHz - 2700 MHz. Les antennes ont été installées horizontalement dans la chambre climatique, 80 cm au-dessus des cages du groupe d'animaux exposés. La distance entre 2 antennes (48 cm) a été calculée de manière à obtenir un champ électromagnétique aussi homogène que possible avec une intensité moyenne de $1 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ pour chaque rat. Le débit d'absorption spécifique (DAS) a été calculé selon l'intensité du champ et le poids moyen des rats utilisés dans notre étude [2]. Le DAS était de $0,3 \text{ mW}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour les rats âgés de 3 semaines et $0,1 \text{ mW}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour les rats âgés de 8 semaines correspondant au début de la période d'enregistrements. Les niveaux et intensités de l'exposition ont été vérifiés par un dosimètre qui effectuait des mesures sélectives en fréquence (EME-SPY 121, Satimo) et un moniteur large bande (EMR-200, Narda-STS) pour chaque cage située dans les chambres climatiques des animaux du groupe exposé et ceux du groupe contrôle (**Figure 2**). Les champs de fréquence spécifique ont été mesurés dans chaque chambre avec une antenne large bande logpériodique (HE 200, 20 MHz - 3 GHz, Rohde & Schwarz) et un analyseur de spectre (FSH3, 9 kHz - 3 GHz, Rohde & Schwarz).

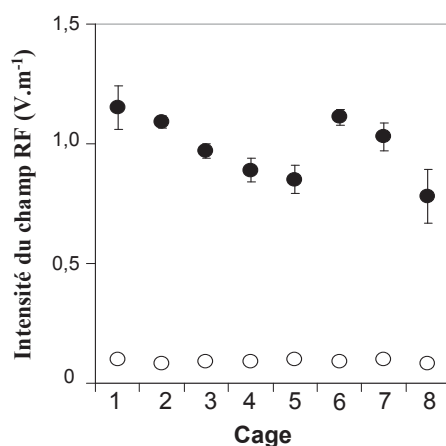


Figure 1 : Mesures de la dosimétrie dans les cages de chaque rat pendant 6 heures (cages de 1 à 8, moyennes \pm SEM) pour les rats du groupe contrôle (cercles blancs) et ceux du groupe exposé (cercles noirs)

2.3. Chirurgie

Après la période de 3 semaines d'acclimatation, les animaux ont été opérés afin d'implanter les différentes sondes et électrodes nécessaires pour enregistrer les données thermiques et polysomnographiques. Quatre électrodes électroencéphaliques ont été implantées sur le crâne de chaque animal et 2 électrodes électromyographiques ont été implantées dans les muscles de la nuque afin de discerner les différents stades de vigilance : éveil, sommeil lent (SL) et sommeil paradoxal (SP). Deux sondes thermiques ont été implantées : une sonde caudale sous-cutanée et une sonde corticale placée sous l'os crânien. Après la période de chirurgie (1 semaine), les animaux étaient en période de récupération post-chirurgicale pendant 10 jours (**Figure 2**).

2.4. Enregistrements et analyse des données

Au début de la 6^{ème} semaine d'exposition aux ondes RF (**Figure 2**), les paramètres des 3 fonctions physiologiques ont été enregistrés pendant 2 jours successifs à 2 températures d'air différentes : $24 \pm 1^\circ\text{C}$ et $31 \pm 1^\circ\text{C}$. Les paramètres physiologiques ont été enregistrés entre 12h00 et 18h00.

Pour analyser l'impact de la prazosine sur la température caudale et le tonus vasomoteur, une étude complémentaire a été réalisée sur 5 autres rats exposés aux ondes RF et 5 autres rats contrôles à 24°C puis 31°C de température d'air. La prazosine a été administrée par injection intrapéritonéale à une dose de $1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ à 12h00. La température caudale a ensuite été enregistrée entre 12h00 et 18h00.

Les durées totales de l'éveil, du SL et du SP ont été calculées ainsi que les fréquences et durées moyennes des épisodes de chaque stade de vigilance. La quantité totale de nourriture ingérée a été calculée. Le sommeil et la prise alimentaire ont été analysés chez 13 rats exposés aux ondes RF et 11 rats contrôles. A cause d'un incident technique, les moyennes des températures corporelles ont été analysées chez 11 rats exposés et 9 rats contrôles.

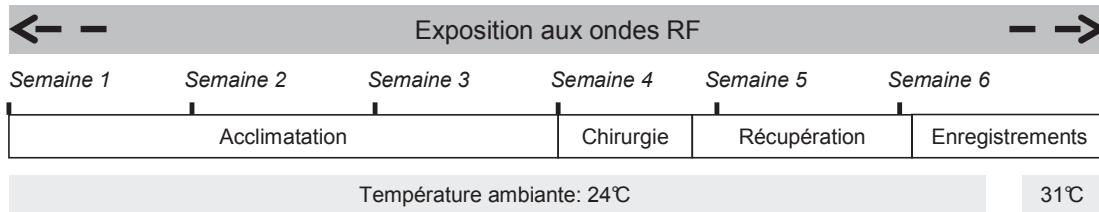


Figure 2 : Protocole général

3. Résultats

Le seul effet spécifique de l'exposition aux ondes RF est l'augmentation de la fréquence des épisodes de SP quelle que soit T_a (+42,1% à 24°C et 31,6% à 31°C, $p < 0,001$). Les autres effets de l'exposition RF sur les paramètres caractérisant l'état de vigilance dépendent de T_a . A $T_a = 31^\circ\text{C}$, les fréquences des épisodes d'éveil et de SL sont inférieures chez les animaux exposés aux ondes RF comparé aux contrôles (éveil : -50,0%, $p < 0,001$; SL : -14,8%, $p < 0,01$). A $T_a = 24^\circ\text{C}$, le seul effet observé est la diminution de la durée des épisodes d'éveil des animaux exposés aux ondes RF (-27,8%, $p < 0,001$).

A 31°C comparé à 24°C, les températures corporelles augmentent pour les 2 groupes d'animaux (Figure 3, T_{cor} : +0,15°C en moyenne et T_{que} : +1,92°C en moyenne, $p < 0,001$). Cette augmentation est moindre chez les animaux exposés aux ondes RF puisque T_{que} est inférieure à celle des contrôles (-1,21°C, $p < 0,001$) suggérant un état vasoconstricteur (Figure 3). T_{cor} ne diffère pas entre les 2 groupes. Après l'injection de la prazosine à 31°C, T_{que} des animaux exposés aux ondes RF augmente pour rejoindre la valeur de celle des contrôles qui n'est pas modifiée par la prazosine ce qui confirme un état vasoconstricteur exacerbé chez les animaux exposés aux ondes RF.

A 31°C comparé à 24°C, la prise alimentaire diurne diminue chez les animaux des 2 groupes (-0,3 g.h⁻¹ en moyenne, $p < 0,001$). Cette diminution est moindre chez les animaux exposés aux ondes RF puisque la prise alimentaire est supérieure à celle des contrôles (+0,2 g.h⁻¹, $p < 0,001$).

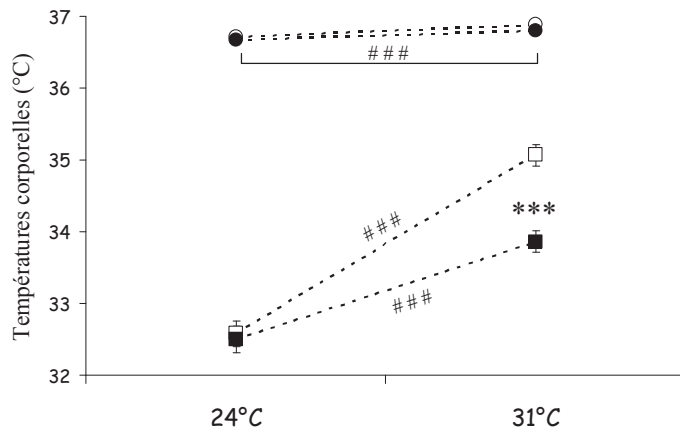


Figure 3 : Températures corticales (cercles) et caudales (carrés) chez les animaux du groupe contrôle (symboles blancs, n=9) et ceux du groupe exposé (symboles noirs, n=11) à 24°C et 31°C. Les différences significatives sont indiquées par ### pour les comparaisons entre les 2 conditions thermiques et par *** pour les comparaisons intergroupes.

4. Conclusion

Une exposition chronique aux ondes RF de faible intensité (900 MHz, 1V.m⁻¹) ne perturbe pas la structure générale du sommeil mais augmente la fragmentation du SP. La plupart des effets de l'exposition aux ondes RF sur le sommeil dépendent de la température d'air d'où l'importance de préciser cette dernière dans les futures études menées sur le sommeil.

Les effets les plus significatifs sont observés à $T_a = 31^\circ\text{C}$, où le tonus vasoconstricteur est exacerbé et la prise alimentaire est augmentée. L'ensemble de ces résultats montrent que les animaux mettent en place des processus d'économie d'énergie afin de conserver leur chaleur : la vasoconstriction diminue les pertes caloriques et la prise alimentaire plus élevée augmente les entrées énergétiques. Ces processus se mettent normalement en place pour des températures ambiantes inférieures à 31°C [1,3].

Références bibliographiques

- 1- Romanovsky A.A., Ivanov A.I. and Shimansky Y.P. Selected contribution: ambient temperature for experiments in rats: a new method for determining the zone of thermal neutrality. *J. Appl. Physiol.*, 2002, 92:2667-79.
- 2- Durney C.H., Massoudi H. and Iskander M.F. Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook. Texas, USAFSAM-TR-85-73, Brooks Air Force Base.
- 3- Strubbe J.H. and van Dijk G. The temporal organization of ingestive behaviour and its interaction with regulation of energy balance. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 2002, 26: 485-498.