

Transition vers une activité cohérente dans un milieu désordonné : vers une explication de l'apparition de contractions rythmiques dans le tissu utérin ?

Pumir Alain¹, Garnier Nicolas¹, Xu Jinshan^{1,2}, Singh Rajeev³, & Sinha Sitabhra³

¹ Laboratoire de Physique, Ecole Normale Supérieure de Lyon, F-69007, Lyon, France

² Physics Department, East China Normal University, Shanghai, 20062, China

³ Institute for Mathematical Sciences, CIT Campus, Taramani, Chennai 600113, India

alain.pumir@ens-lyon.fr

L'activité synchronisée d'un grand nombre de cellules est nécessaire au bon fonctionnement d'organes complexes, tels ceux effectuant une activité mécanique. Ainsi, un manque de synchronisation dans le tissu cardiaque conduit-il très souvent à des arythmies mortelles. De manière similaire, l'utérus génère pour l'accouchement une force très importante, permettant l'expulsion du nouveau né. Comment expliquer une telle activité cohérente à l'échelle de l'organe à un moment très précis ?

Comme dans tous les tissus musculaires, l'activité mécanique est associée à une activité électrique (dépolariation de cellules musculaires). De manière surprenante, aucune des cellules constituant le tissu utérin ne semble donner lieu à des oscillations spontanées : ni les cellules excitables (capables d'activité mécanique *et* électrique), ni les cellules du tissu conjonctif (électriquement passives) ne développent spontanément la moindre activité électrique périodique lorsqu'elles sont prises séparément. Par contre, il a été remarqué par de nombreuses études que le couplage électrique entre les cellules augmente de manière spectaculaire peu de temps avant l'accouchement. Cette observation suggère un rôle crucial joué par le couplage entre cellules.

Afin d'étudier ce rôle, nous avons construit un modèle simplifié de tissu utérin constitué de cellules excitables couplées entre elles sur un réseau simple (carré) et elles mêmes couplées à un nombre restreint de cellules passives. De fait, la population de cellules électriquement passives est plus faible que la population de cellules excitables, et nous postulons simplement une répartition aléatoire de cellules passives couplées à une cellule excitable.

Nous étudions les mécanismes conduisant à l'apparition d'activité dans un tel système, où les cellules excitables sont décrites par le modèle simplifié de FitzHugh-Nagumo. Une analyse de l'activité de chaque cellule du système montre l'apparition d'une fréquence dominante. Les cellules partageant la même fréquence forment des amas, dont la taille croît lorsque l'intensité du couplage entre cellules augmente. Aux valeurs suffisamment élevées du couplage, toutes les cellules du système partagent la même fréquence dominante, et l'activité électrique finit par se synchroniser à l'échelle du tissu entier. Une étude systématique de la transition permet d'établir un diagramme de phase complet pour ce modèle [1], que je discuterai.

Le rôle du désordre dans l'apparition des différents régimes peut être compris en analysant le nombre effectif de cellules passives couplées aux cellules excitables sur l'échelle caractéristique de couplage. Effectivement, les régions où la densité de cellules passives est la plus élevée se comportent comme des "pacemakers locaux" [2].

Les conclusions principales de cette étude, basée sur des modèles simplifiés, restent valides en utilisant des modèles plus réalistes de cellules musculaires. Ce type d'étude du tissu utérin devrait fournir des indications précieuses pour la compréhension des phénomènes conduisant à des contractions prématurées, ainsi qu'au traitement de ce genre de problème par voie médicamenteuse.

Références

1. Singh, R., Xu, J., Garnier, N., Pumir, A. et Sinha, S., Self-organized transition to coherent activity in disordered media, *Phys. Rev. Lett.*, 068102, 2012.
2. Xu, J., Singh, R., Garnier, N., Sinha, S. and Pumir, A., Large variability in dynamical transitions in biological systems with quenched disorder, *submitted*, arXiv :1212.3466.