

MODELLI DI DOSIMETRIA NUMERICA PER IPERTERMIA ED ESPOSIZIONE DEL CORPO UMANO AI CAMPI ELETTROMAGNETICI

C. Buccella^(*) V. De Santis^(*) M. Feliziani^(*) F. Maradei⁽⁺⁾

^(*)Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione - Università dell'Aquila, L'Aquila

⁽⁺⁾Dipartimento di Ingegneria Elettrica - Università di Roma La Sapienza, Roma

A causa dell'enorme sviluppo dei sistemi di comunicazione wireless, l'esposizione umana ai campi elettromagnetici è destinata a crescere nel tempo rendendo indispensabile lo studio sui possibili effetti biologici dei campi elettromagnetici mediante tecniche di dosimetria numerica. Allo stesso tempo, gli stessi campi elettromagnetici possono essere utilizzati a scopo benefico per la cura o diagnosi di malattie degenerative (es. tumori) o per il monitoraggio a distanza di parametri vitali mediante la nuova tecnologia WBAN.

L'obiettivo di ricerca in questo filone è stato quindi quello di sviluppare modelli numerici del corpo umano sofisticati al fine di ottenere una migliore rappresentazione della complessa realtà coinvolta. Tali modelli sono stati poi utilizzati sia per applicazioni di dosimetria numerica che per applicazioni biomediche. Per la dosimetria numerica si è cercato di sviluppare un accurato modello numerico termico introducendo la vascolarizzazione e considerando sia la termoregolazione centrale che i meccanismi di protezione locali. Modelli numerici innovativi sono stati proposti per studiare la distribuzione del SAR e l'incremento di temperatura in tessuti biologici. Il modello continuo della trasmissione del calore in tessuti biologici si basa sul modello di Pennes sviluppato negli anni '50 e noto come Pennes bioheat equation (BHE). Essenzialmente, alla classica trasmissione di calore mediante conduzione sono inseriti dei termini aggiuntivi responsabili della produzione di calore a seguito del *rate* metabolico, della dissipazione di potenza generata da sorgenti elettromagnetiche (specific absorption rate - *SAR*) e del riscaldamento (o raffreddamento) prodotto dalla circolazione del sangue. Quest'ultima, infatti, forza la temperatura locale del tessuto perfuso alla temperatura del sangue, supposta costante e pari a 37 °C, mediante un coefficiente diverso da tessuto a tessuto. Il modello Pennes BHE è stato applicato per studiare l'occhio umano mediante il metodo delle differenze finite utilizzando un nuovo modello CAD che ha permesso di analizzare l'occhio con un altissima definizione. Sono poi stati proposti modelli innovativi per superare il limite più grande della BHE che consiste nell'incapacità di poter modellare forti disomogeneità locali di temperatura dovute a scambi di calore tra i vasi sanguigni (arterie o vene) ed il tessuto circostante. A tal fine sono stati recentemente proposti alcuni modelli numerici in grado di considerare lo scambio di calore tra i tessuti ed i vasi sanguigni più significativi in maniera discreta. Per semplificare lo studio di un sistema complesso come quello di un essere vivente, la soluzione della trasmissione del calore per conduzione e per convezione è stata modellata mediante due distinti sistemi di equazioni rappresentanti rispettivamente il problema della convezione all'interno di un vaso sanguigno ed il problema della conduzione nei tessuti. I due sistemi sono poi risolti sia separatamente, anche se in maniera combinata rispetto alla variabile tempo, sia congiuntamente con metodi numerici basati sul metodo degli elementi finiti e delle differenze finite.

I modelli sviluppati sono stati utilizzati per simulare il trattamento di tumori mediante ipertermia e il monitoraggio di parametri fisiologici mediante sensori di Wireless Body Area Network (WBAN).

Infine, sono stati investigati anche i possibili effetti dei campi elettromagnetici alle basse

frequenze. In particolare, un nuovo set-up di misura atto a modellare l'impedenza del corpo umano da 40 Hz a 110 MHz è stato proposto al fine di poter valutare in piena sicurezza le correnti indotte e correnti di contatto.

Bibliografia

- [1] V. De Santis and M. Feliziani, "EMF exposure: a numerical model to predict the temperature increase in biological vascularized tissues," Microwave and Radioelectronics Week 2008, 23-25 April 2008, Praha, Czech Republic.
- [2] V. De Santis, M. Feliziani and F. Maradei, "Finite element analysis of temperature increase in vascularized biological tissues exposed to RF sources," IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation CEFC, May 11-15, 2008, Athens, Greece.
- [3] V. De Santis, G. Bit-Babik and M. Feliziani, "3-D thermal model of vascularized tissues for hyperthermia treatment," 29th URSI General Assembly, 7-16 August 2008, Chicago, USA. (invited paper)
- [4] V. De Santis and M. Feliziani, "Effects of thermoregulatory mechanisms on the eye thermal elevation produced by intense RF exposures," 2008 IEEE International Symposium on EMC, 18-21 August 2008, Detroit, USA.
- [5] V. De Santis, M. Feliziani and F. Maradei, "Hybrid finite element/finite difference (FE/FD) model to analyze thermal transients in biological vascularized tissues," COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, vol. 27, no. 6, pp. 1307-1318, 2008.
- [6] V. De Santis, M. Feliziani, F. Maradei and C. Buccella, "Finite element analysis of temperature increase in vascularized biological tissues exposed to RF sources," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 45, no. 3, pp. 1682-1685, Mar. 2009.
- [7] V. De Santis, M. Feliziani and F. Maradei, "Safety assessment of UWB radio systems for body area network by the FD²TD method," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 46, no. 8, pp. 1682-1685, Aug. 2010.
- [8] V. De Santis and M. Feliziani, "Performance analysis of UWB antennas for Body Area Network (BAN) applications using a highly accurate CAD model of the human body," EMC Europe Workshop 2010, 13-17 September 2010, Wroclaw, Poland.
- [9] V. De Santis, P. A. Beeckman, D. A. Lampasi and M. Feliziani, "Assessment of human body impedance for safety requirements against contact currents for frequencies up to 110 MHz," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 58, no. 2, pp. 390-396, Feb. 2011.
- [10] V. De Santis, M. Feliziani and F. Maradei, "Numerical Simulation of Blood Vascularization Influence in Microwave Ablation, IEEE Int. Symp on EMC, 2011, Long Beach (CA), USA, Aug. 14-19, 2011.
- [11] V. De Santis and M. Feliziani, "Magnetic Field Analysis and Lumped Inductance Extraction for Wireless Power Transfer in Implanted Medical Devices", Asia-Pacific EMC Symposium (APEMC 2011), Jeju, Korea, 16-21 May, 2011.
- [12] V. De Santis and M. Feliziani, "Intra-Body Channel Characterization of Medical Implant Devices", EMCEUROPE 2011, York, UK, Sept. 26-30, 2011.