大気圧プラズマ照射によるがん細胞への電気的作用の数値解析

Numerical analysis of the electrical effects of cold plasma irradiation on cancer cell

都立大院 システムデザイン ○山内 翔太, 岩田 優太, 八木 一平, 内田 諭
Tokyo Metropolitan Univ. ○Shota Yamauchi, Yuta Iwata, Ippei Yagi, Satoshi Uchida
E-mail: yamauchi-shouta@ed.tmu.ac.jp

1. はじめに

近年、低温大気圧プラズマ(Cold Atmospheric Plasma: CAP)の医療応用が急速に発展してきている。プラズマ医療には化学的作用と電気的作用の相乗効果が関与していると考えられており、CAPの化学的効果については、多数の研究報告がある[1]。一方で、電気的効果に関しては十分理解されていない。これは、活性種の細胞刺激性がCAPの生成においてより支配的なためである。しかし、CAPの電荷・電界の作用には、細胞に対して構造的・化学的な性質を変化させる可能性がある[2]。従って、CAPの生体への作用を理解するためには、電荷・電界による作用を検証することが必要不可欠である。これらを明らかにすることで、CAPの人体へのより低侵襲な治療応用が期待される。

本研究では、CAP中の荷電粒子の挙動から、細胞内部構造に対する電気的刺激までを統合した解析モデルを提案し、プラズマ医療の電気的作用メカニズムを解明することを目的とした。本報ではプラズマと細胞の等価回路を構築し、細胞に対しプラズマ照射した際の、細胞膜にかかる電界や電荷を、回路シミュレータを用いて解析した。

2. 解析手法

単一の細胞に対し、プラズマが直接照射されている状況を想定した等価回路を作成した。プラズマ領域は、1 次元流体解析で算出したプラズマ空間の数密度と移動度から、プラズマインピーダンスを算出することで、抵抗R_pとキャパシタC_pの並列回路とした。

細胞については、がん細胞の一つであるJurkat細胞をプラズマ照射の対象とした。細胞の内部構造について、文献から引用した抵抗と容量成分を使用した。

Figure 1に示す電極間に、振幅1.5 kV、周波数10 kHzの正弦波を印加した。背景ガスにはHeを用いた。回路シミュレータLTspice XVIIを用いて解析を行った。

3. 解析結果および考察

細胞に印加される電界は細胞膜に集中するため、細胞膜にかかる電圧(Figure 2)に注目した。一般に、細胞膜の膜電位は元々数十 mVとされ、膜破壊の閾値は約1 Vである[3]。一方、今回の解析では、細胞膜への印加電圧は最大1.5 mVであり、膜電位の1%程度と小さいことが分かった。これには、放電時のプラズマインピーダンスが細胞膜のインピーダンスより非常に大きいため、プラズマ領域に電圧の大部分が印加されるという理由が考えられる。

4. 今後の展望

実際の細胞周辺には細胞からの蒸散に伴う気液混合層が存在する。そのため、気液混合層を考慮すると、放電形態に大きく影響する可能性がある。従って、今後、気液混合層を考慮したモデルを構築していくことで、より現実的な解析が可能になると考えられる。

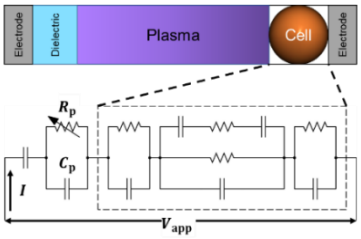

Figure 1. Image of the simulation area and equivalent.

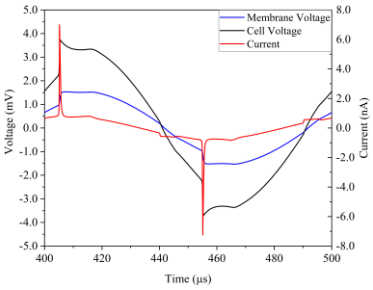

Figure 2. Cell membrane Voltage-Current waveform

参考文献

[1] M. G. Kong *et al.*, *New J. Phys.*, Vol. 11, No. 11, p. 115012 (35pp), (2009).
[2] C. H. Chang, K. I. Yano, and T. Sato, *Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol.*, Vol. 14, No. 2, pp. 1–10, (2020).
[3] T. Kotnik, L. Rems, M. Tarek, and D. Miklavcic, *Annu. Rev. Biophys.*, Vol. 48, pp. 63–91, (2019).

© 2022年 応用物理学会