



روش های مدل سازی ریاضی درمان حرارتی سرطان

کد: mcm2.20144

۱ محمد باقر آبیانی - \*۲ جواد ابولفضللی اصفهانی - ۳ مهدی بلالی - ۴ مائده سادات مهاجر

چکیده:

در این مقاله به بررسی روش های ریاضی مدل سازی درمان حرارتی سرطان و عوامل موثر بر آن پرداخته خواهد شد. برای این منظور از دو مدل استفاده شده است. به وسیله مدل اول درمان حرارتی یک تومور عمقی به کمک امواج فراصوت شبیه سازی شده و اثر عوامل مختلف مثل نوع بستر بافت تومور و خواص ترموفیزیکی آن و نوع شبکه خون رسانی بافت تومور و بافت های اطراف آن بررسی شده اند. تحلیل های انجام شده بر مدل اول به صورت کمی می باشند. به وسیله مدل دوم اثر نوع منبع حرارتی به صورت کیفی بررسی شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از هر دو مدل برای مدل سازی ریاضی فرآیند درمان حرارتی سرطان، باید اطلاعات دقیقی از بافت سرطانی، بافت بستر آن، خواص ترموفیزیکی بافت ها، شبکه خون رسانی بافت سرطانی و بافت های اطراف و نوع منبع حرارت مورد استفاده در دسترس باشد. به این ترتیب در شرایط مختلف ممکن است برخی فرض های متداول در مدل سازی ریاضی درمان حرارتی سرطان، مثل اعمال خواص ثابت یا میانگین برای بافت های تحت حرارت، استفاده از مدل های انتقال حرارت زیستی یک معادله ای (مثل مدل پنس) و فرض به تعادل حرارتی رسیدن جریان خون ورودی به شبکه مویرگی با بافت اطراف.

:

)

(

:

:

---

<sup>1</sup> استادیار، دانشگاه فردوسی، دانشکده مهندسی، [mbayani@um.ac.ir](mailto:mbayani@um.ac.ir)

<sup>2</sup> دانشیار، دانشگاه فردوسی، دانشکده مهندسی، [abolfazl@um.ac.ir](mailto:abolfazl@um.ac.ir)

<sup>3</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی، دانشکده مهندسی، [msbalali@gmail.com](mailto:msbalali@gmail.com)

<sup>4</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی، دانشکده مهندسی

---

<sup>Δ</sup> Perfusion  
<sup>⊗</sup> Countercurrent  
<sup>Υ</sup> Porous media

:  
:



- <sup>^</sup> Porosity
- <sup>^</sup> Darcy
- <sup>10</sup> arteries
- <sup>11</sup> arterioles
- <sup>12</sup> capillaries
- <sup>13</sup> venule
- <sup>14</sup> vein
- <sup>15</sup> Wulff
- <sup>16</sup> Klinger
- <sup>17</sup> Chen

[ ]

°c

:

:

.( )

.( )

---

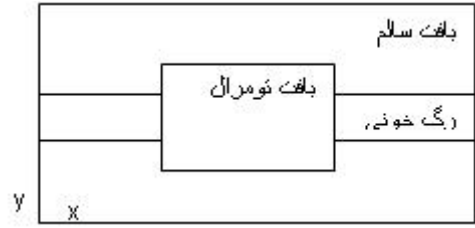
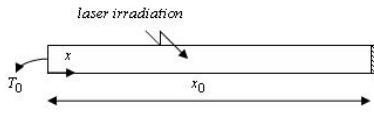
<sup>18</sup> Holmes

<sup>19</sup> Perfused tissue

<sup>20</sup> Thermal Dose

<sup>21</sup> Dewey

<sup>22</sup> Sapaeto



$$\rho_t c_t \frac{\partial T}{\partial t} = k_t \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right] - \rho_b c_b \omega_b (T - T_a) + Q_t \quad (1)$$

$$\rho_b c_b \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} \right) = k_b \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right] + Q_b \quad (2)$$

$$\omega \quad k \quad c \quad \rho \quad (3)$$

$$u \quad T_a \quad y \quad x \quad T \quad Q$$

$$(y=0)$$

$$[ ] \quad (4)$$

$$Q = \frac{\alpha \cdot P^2}{2 \cdot \rho \cdot c_0} \quad (5)$$

$$P = P_{\max} e^{-\alpha \cdot h} \cdot \cos(\omega_{u.s.} \cdot t - \Omega \cdot h) \quad (6)$$

$$P_{\max} \quad c_0 \quad \rho \quad \alpha \quad h \quad t \quad \Omega \quad \omega_{u.s.} \quad [ ]$$

$$\omega_{u.s.} = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (7)$$

$$\Omega = 2 \pi / \lambda \quad (8)$$

$$\lambda \quad f$$

$$[ ]$$

$$Em_{43}(\min) = \int R^{(T-43)} dt \quad (9)$$

$$R=2 \quad t \quad T$$

$$[ ]$$

$$R=4$$

( )

[ ]

$$\rho_t c_t \frac{\partial T_t}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x} - \rho_b c_b \omega_b (T_t - T_b) + Q_t \quad ( )$$

$$\rho_b c_b \frac{\partial T_b}{\partial t} = \rho_b c_b \omega_b (T_t - T_b) + Q_b \quad ( )$$

$$\bar{\tau} \frac{\partial q}{\partial x} + \bar{q} + k_t \frac{\partial T_t}{\partial x} = 0 \quad ( )$$

: ( )  $T_b$   $T_t$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x} + Q \quad ( )$$

$$\bar{\tau} \frac{\partial q}{\partial t} + \bar{q} + \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad ( )$$

q  $\bar{\tau}$

$$\frac{\partial \theta_t}{\partial \eta} = -\frac{\partial q}{\partial \xi} - (\theta_t - \theta_b) + S_t \quad ( )$$

$$\frac{\partial \theta_b}{\partial \eta} = C_R (\theta_t - \theta_b) + S_b \quad ( )$$

$$\tau \frac{\partial q}{\partial \eta} + q + \frac{\partial \theta_t}{\partial \xi} = 0 \quad ( )$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \eta} = -\frac{\partial q}{\partial \xi} + S \quad ( )$$

$$\tau \frac{\partial q}{\partial \eta} + q + \frac{\partial \theta}{\partial \xi} = 0 \quad ( )$$

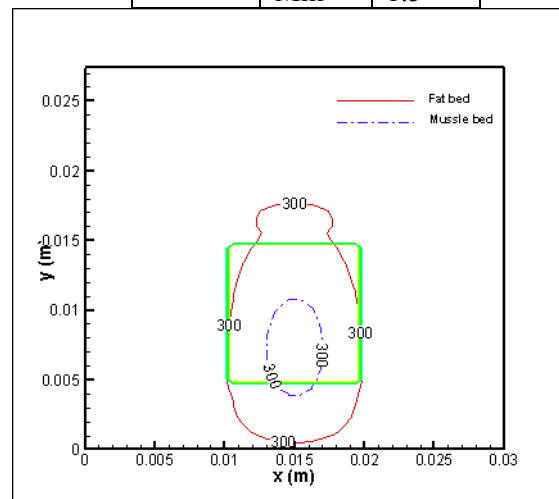
$$\tau = \bar{\tau} \rho_b c_b \omega_b / \rho_t c_t \quad \xi = x / \sqrt{k_t / \rho_b c_b \omega_b} \quad \eta = t \rho_b c_b \omega_b / \rho_t c_t \quad \theta = (T - T_0) / T_0$$

$$C_R = \rho_t c_t / \rho_b c_b \quad f = \rho_t c_t / \rho_b c_b \omega_b a \quad q = \bar{q} \sqrt{k_t / \rho_b c_b \omega_b} / k_t T_0 \quad S = Q / T_0 \rho_b c_b \omega_b$$

[ ]

$\rho$	kg/m <sup>3</sup>				
C	J/kgK				
K	W/mK				
$\omega_b$	s <sup>-1</sup>	0.833	0.72		-
T <sub>a</sub>	C°	37	37		-

$\alpha$	m <sup>-1</sup>	13
c <sub>0</sub>	m/s	1500.
P <sub>max</sub>	Wm <sup>-3</sup>	1e+6
f	Hz	1e+6
$\lambda$	Mm	1.5

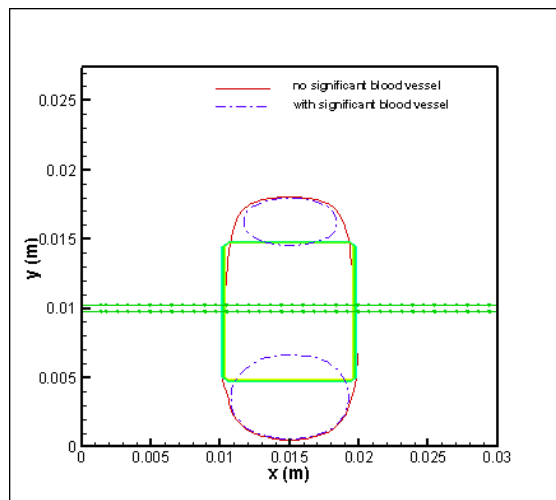




( )

[ ]

[ ]



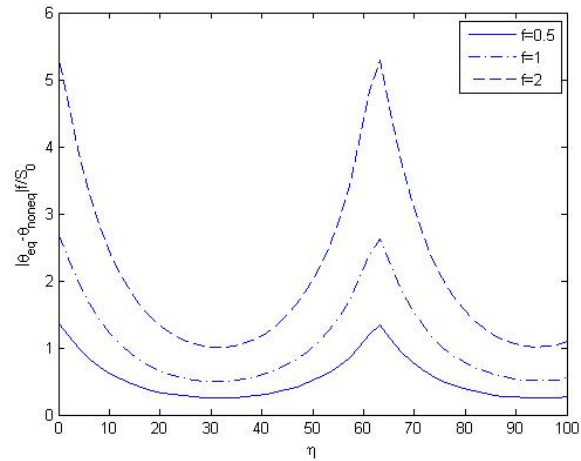
(1mm )

( )

( )

[ ]

S<sub>t</sub>/f



- [ ]: A.Nakayama, F.Kuwahara, "A general bioheat transfer model based on the theory of porous media", International Journal of Heat and mass transfer, Vol. 51, p.p. 3190-3199, 2008
- [ ]: V.A.Shutilov,1988,*Fundamental physics of ultrasound*. Gordon and Vreach Science Publishers
- [ ]:T.C.Shih, H.S.Kou, W.L.Lin, 2003, "The impact of thermally significant blood vessels in perfused tumor tissue on thermal dose distribution during thermal therapies". International Communications in Heat and Mass Transfer, 30(7), pp. 975–985.
- [ ] M.Jaunich, S.Raje, K.Ki, K.Mitra, Z.Guo, "Bioheat transfer analysis during short pulse laser irradiation of tissue", International journal of heat and mass transfer, Vol. 51, pp. 5511-5521, 2008

[ ]- R.Dua, S.Chakraborty, "A novel modeling and simulation technique of photo-thermal interactions between lasers and living biological tissues undergoing multiple changes in phase" computers in biology and medicine, Vol. 35, pp. 447-462, 2005

[ ]: Bodo Erdmann, Jens Lang, Martin Seebaß 1997, "Adaptive solutions of nonlinear parabolic equations with application to hyperthermia treatments", Int. Symp. on Advances in Comp. Heat Transfer, *Cesme*

[ ]: Harry.H Pennes, "Analysis of tissue and arterial blood temperatures in resting human forearm", Journal of Applied physiology, vol. 1, 1948

ISME2009 ( ) " :[ ]