

基于DTI纤维追踪和有限元力学模型的脑损伤轴突纤维损伤研究

李娜¹, 李江红²

1. 中南大学, 湘雅三医院, 长沙, 410012

2. 中车集团, 南车研究所, 株洲

引言: 在前人的研究基础上, 研究轴索方向各向异性与轻度脑损伤的关系, 建立更具生物仿真度的数学模型并进行轻度脑损伤预测分析。建立一种基于脑白质组织材料各向异性特性的材料本构方程, 对兔子的轻度脑外伤损伤的轴索阈值进行验证。



图 1. 量化加载的新西兰大白兔实验

计算方法: 将结合传统 Ogden 非线性弹性材料理论和 Christensen 粘弹性力学理论, 并将脑白质轴索各向异性参数 FA 值作为特征方程参数输入, 采用最优化方法进行反求, 以动物轻度脑外伤实验结果为目标函数求出最符合脑白质材料力学响应的各向异性参数。

$$V_{in} = \kappa_1 e_1 + \kappa_2 e_2 + \kappa_3 e_3$$

$$\sigma_{total} = \mu * \lambda_x^{\alpha-1} + \int_0^t G * e^{-\beta(t-\tau)} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} d\tau$$

$$[e_1, e_2, e_3] = D\{\kappa[\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3]\}$$

设置如表 1 所示的初始加载条件, 冲击力为 22 毫米汞柱, 受力时长为 20 毫秒。

结果: 受力呈各向异性, 如图 2 所示, 颞叶部分, 胼胝体部分等受伤部位有高的应力分布。

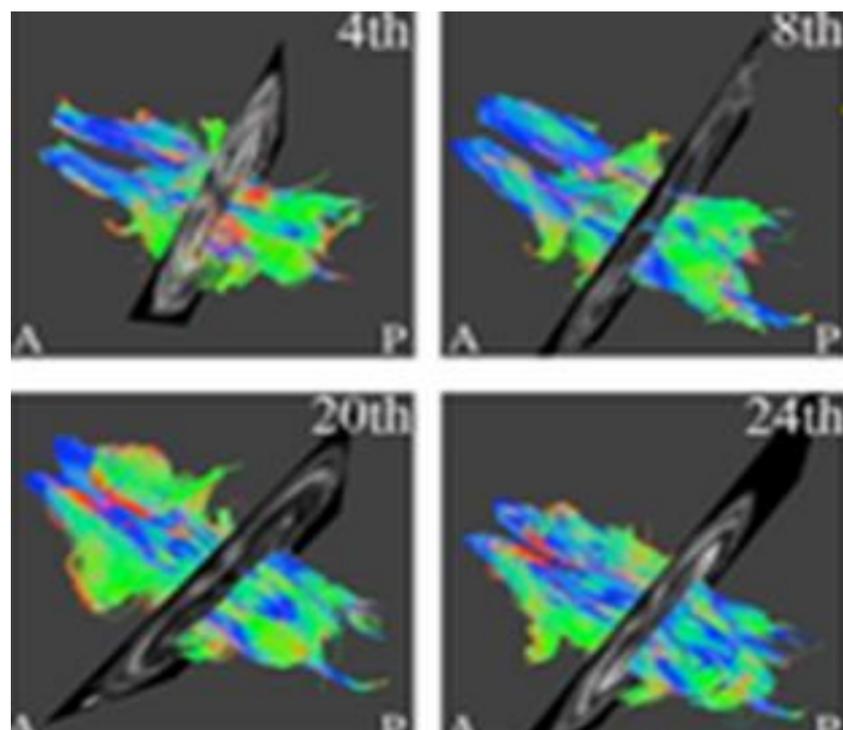


图 2. 兔子的力学分布情况

变量	值	单位
Alpha	5.83	兆帕
各向异性参数	0.2	-
力学加载	22	毫米汞柱
加载时间	20	毫秒

表 1. 初始加载条件

结论: 脑白质轴突各向异性特质在模拟中得到了很好的表达, 该材料模型在轻度脑外伤的脑轴索模拟上, 能够更具生物仿真度, 将来能够在轻度脑外伤的事故中进行预测, 并为轻度脑外伤防护提供参考。

参考文献:

1. Na Li, Jianxin Liu. Computer Optimization in Biomechanics in Large Strain Level Compression Test, 2010 WRI International Conference on Communication and Mobile Computing, CMC2010, Volume II, p34-37
2. Li Na; Liu Jian-xin, A New Computer Simulation of Neck Injury Biomechanics, Source: Key engineering Materials, v 467-469, p 339-344, 2011
3. Cui, Y.-H., Huang, J.-F., Cheng, S.-Y., Wei, W., Shang, L., Li, N., Xiong, K., 2015. Study on establishment and mechanics application of finite element model of bovine eye. BMC ophthalmology 15, 101.
4. Li N, Wu S, Wang W, Ye B: Anisometry Anterior Cruciate Ligament Sport Injury Mechanism Study: A Finite Element Model with Optimization Method. *Applied Mechanics and Materials* 2014, 543:173-180.