

·论著·

# BP 神经网络模型预测肝肿瘤运动趋势可行性研究

姚晔 戈伟强 周云 张立波

200040 上海, 复旦大学附属华东医院放疗科

通信作者: 戈伟强, Email: gortonge@sina.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2016.01.005

**【摘要】目的** 利用 BP(back propagation)神经网络模型对 1 例肝癌碘油介入术后患者的肝肿瘤运动趋势进行预测。**方法** 使用 X 射线容积成像系统对某肝癌患者进行扫描, 采集各时相呼吸运动图像。利用碘油标记方法, 对肝癌病灶进行定位, 并通过图像检测技术, 获取病灶标记点的运动轨迹。对标记点的运动轨迹数据进行分析, 建立 BP 神经网络模型, 并用其预测下一时间段的运动曲线, 将预测结果与肿瘤标记点实际的运动轨迹进行比较分析。**结果** 利用 BP 神经网络可以有效预测肝肿瘤的运动趋势, 在一定时间段内可保持良好的精准度, 误差在 1 个像素距离内, 但在呼吸运动峰值处预测精准度尚不理想, 误差接近 2 个像素距离。**结论** BP 神经网络模型是预测肝肿瘤运动的一种新方法, 可能对肝癌的体部立体定向放疗以及实时跟踪放疗精准度的提升有一定帮助, 且具有一定的临床价值。

**【关键词】** 肝肿瘤; BP 神经网络; 呼吸预测; 图像跟踪

**Feasibility study on liver tumor motion prediction based on back propagation neural network** Yao

Ye, Ge Weiqiang, Zhou Yun, Zhang Libo

Department of Radiation Oncology, Huadong Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai 200040, China

Corresponding author: Ge Weiqiang, Email: gortonge@sina.com

**【Abstract】Objective** This study was performed to determine the feasibility of liver tumor motion prediction based on back propagation(BP) neural network. **Methods** A liver cancer patient was scanned using X-ray volume imaging, and all breath motion figures were recorded. The tumor was located using an iodized oil mark. The mark motion track was gathered through image processing. A BP model was established based on the marked track. This model was used for tumor prediction. The results were compared with the true mark track. **Results** Accurate prediction of liver tumor was achieved via BP neural network, with a deviation of less than 1 pixel. However, the predicted value was less accurate at the peak of the breath motion curve, with a deviation of less than 2 pixels. **Conclusions** BP neural network is proposed as a new approach for liver tumor motion prediction. This network is beneficial to enhance the accuracy of liver stereotactic body radiation therapy and real-time adaptive radiation therapy. The proposed approach could be applied clinically.

**【Key words】** Liver neoplasms; BP neural network; Breath prediction; Image track

随着肿瘤放射治疗(简称:放疗)进入“精确定位、精确计划、精确治疗”时代,对肿瘤的实时跟踪定位提出了更高要求。放疗过程中,胸腹部肿瘤的位移主要是受呼吸运动的影响。肿瘤病灶在呼吸周期内随着时间表现出与呼吸运动相关性的运动,这使得定位扫描、靶区勾画、计划设计、实际照射之间存在着偏差,影响了放疗的精度。为了减少呼

吸运动带来的影响,放疗工作者采取了各种方法,比如:呼吸训练、门控技术等。利用电子射野影像装置或者锥形束计算机断层成像装置的图像引导技术为肿瘤病灶的实时跟踪提供了可能,但图像获取及分析速度、系统延迟、患者额外照射的剂量等,仍然是有待解决的问题。本研究针对动态实时跟踪肿瘤的前沿问题,提出一种呼吸信号预测模型,利

用已获取的呼吸信号数据对患者的呼吸运动状态进行预测,并对预测数据进行验证和评价。

## 1 资料与方法

选取 1 例肝癌碘油介入术后患者,在透视模式下,使用 Elekta 公司 Synergy-S 直线加速器机载的 X 射线容积成像系统进行锥形束 CT 扫描,记录其自由呼吸状态下碘油显影的运动时序。

考虑到呼吸运动在头脚方向的幅度最为明显,而且与胸腹部肿瘤运动具有良好的相关性,本研究仅计算肿瘤在头脚方向上的运动轨迹。采用小波变换方法对图像进行增强,对增强后的图像进行边缘检测,使用 Canny 算子实现膈肌边缘提取,通过 Matlab 编程跟踪碘油标记点的运动轨迹。

利用 Matlab 软件建立一套 BP (back propagation) 网络,反馈步进为 26,将前 160 个呼吸运动的数据作为输入数据。由于 BP 神经网络的隐含层节点数对 BP 神经网络预测精准度有较大的影响,所以经过调试,创建 BP 网络。

使用训练好的 BP 模型进行预测,并将预测数据与实测的后 40 个呼吸运动的采样数据进行分析 and 比较。



图 1 肝癌碘油介入术后患者在透视模式下 X 射线容积成像系统锥形束 CT 扫描图

Fig.1 A liver cancer patient with iodised oil interventional operation in 2 dimensional mode of Cone Beam CT

## 2 结果

根据扫描的肝癌患者自由呼吸状态下碘油显影的运动时序图,采得 30 个呼吸周期,共 243 幅图像(图 1)。

建立患者肿瘤运动的碘油运动曲线,去除首尾

若干杂散点,本次研究共采用 226 个有效采样点。将碘油运动曲线映射为患者的呼吸运动曲线(图 2)。

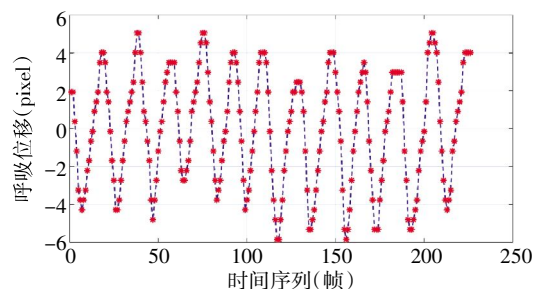


图 2 肝癌患者的呼吸运动曲线

Fig.2 Breath motion curve of the liver cancer patient

网络创建成功后,对该 BP 网络模型进行训练(图 3),待系统达到收敛条件时,系统自动停止迭代(图 4~5)。

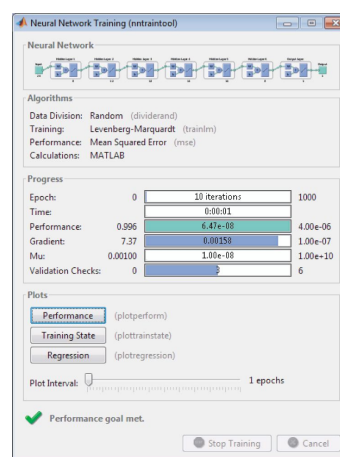


图 3 BP 网络训练

Fig.3 BP network training

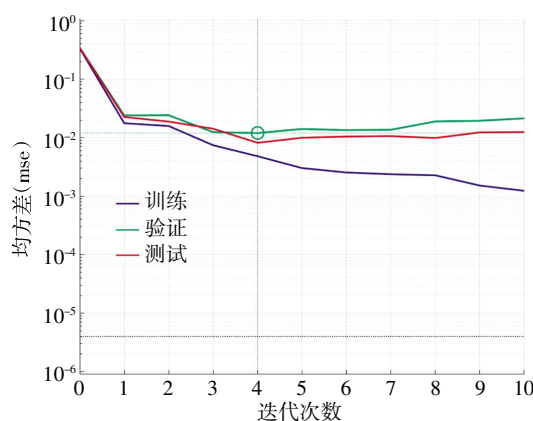


图 4 系统训练收敛图

Fig.4 Convergence of network training

该 BP 网络模型较好地预测了呼吸运动的状态,在 40 个测试点中,除了个别几点外,90%的预测数据偏差在 2%以内,精准度良好,在呼吸运

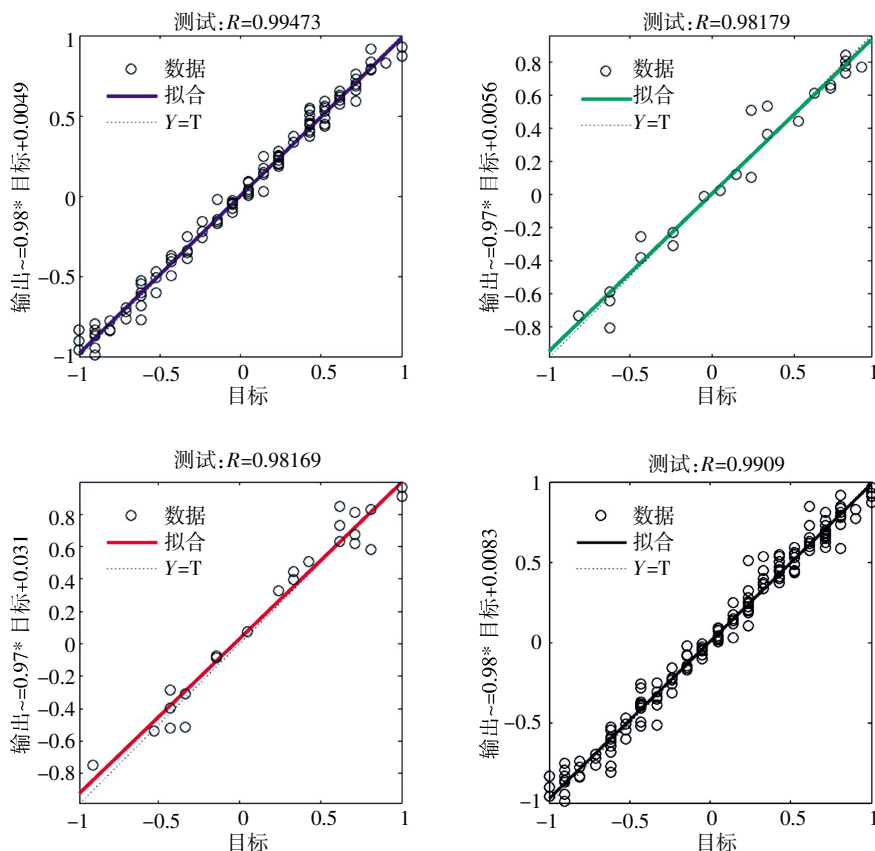


图5 系统训练回归分析

Fig.5 Regression of network training

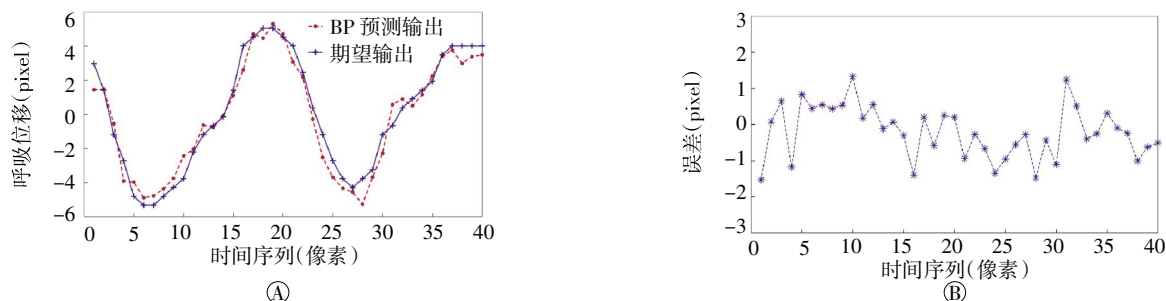


图6 BP网络模型预测结果及分析 图中, A: BP网络预测输出; B: BP网络预测误差。

Fig.6 Prediction and analysis of the BP network model

动的峰值处偏差较为明显(图6)。总体来说达到了临床的需要。

### 3 讨论

作为训练使用的历史数据量过少无疑会影响预测精度,尤其对于一个处理非线性数据的网络,如果缺乏足够多的网络训练数据,网络预测值可能存在较大的误差。另外,过多训练数据也会增加计算量,增加了训练时间,对减少系统延迟无益。因此,历史数据量选择要合理。

合适的参数、权重有利于预测精准度及提高效

率。同时BP神经网络构建时应注意隐含层节点数的选择,如果隐含层节点数太少,BP网络不能很好地学习,即不能建立复杂的映射关系,需要增加训练次数,训练的精准度也受影响;节点数太多,训练时间增加,网络容易过拟合,即仅训练样本预测准确,但其他样本预测误差较大。究竟如何选择还需针对不同病例数据进行大量实验后总结规律。

本研究发现,对于本例肝肿瘤运动曲线峰值处的预测误差较大,可能是由于呼吸运动没有严格的周期性所导致。在今后进一步研究中,将本研究病例中的神经网络预测与呼吸门控技术相结合,或许

能够达到比较理想的效果。

与目前大多数研究方法一样,本研究所做工作仅为对历史数据做回顾性分析,并验证其准确率,如若投入临床,真正实现实时跟踪放疗,还需与测量装置相连接(例如包括与X射线容积成像系统系统的软硬件接口等),其有效性和实时性还有待检验。

**利益冲突** 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,不涉及任何利益冲突。

**作者贡献声明** 戈伟强、周云负责方法建立和命题设计;姚晔、张立波负责试验、数据获取与分析;姚晔负责论文起草;戈伟强负责审阅。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Ruan D, Fessler JA, Balter JM. Real-time prediction of respiratory motion based on local regression methods[J]. *Phys Med Biol*, 2007, 52(23): 7137-7152. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/52/23/024>.
- [ 2 ] Keall PJ, Mageras GS, Balter JM, et al. The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM Task Group 76 [J]. *Med Phys*, 2006, 33(10): 3874-3900. DOI: <http://dx.doi.org/10.1118/1.2349696>.
- [ 3 ] Zhao B, Yang Y, Li T, et al. Statistical analysis of target motion in gated lung stereotactic body radiation therapy[J]. *Phys Med Biol*, 2011, 56(5): 1385-1395. DOI: 10.1088/0031-9155/56/5/011.
- [ 4 ] Murphy MJ. Tracking moving organs in real time[J]. *Semin Radiat Oncol*, 2004, 14(1): 91-100. DOI: 10.1053/j.semradonc.2003.10.005.
- [ 5 ] 欧阳斌, 卢文婷, 窦建洪, 等. 基于非参数回归的呼吸运动预测方法在实时跟踪放疗中的应用[J]. *南方医科大学学报*, 2011, 31(10): 1682-1686. DOI: CNKI: 44-1627/R. 20111004. 1152. 009.
- Ouyang B, Lu WT, Dou JH. Prediction of respiratory motion based on nonparametric regression for real-time tumor-tracking radiotherapy[J]. *J South Med Univ*, 2011, 31(10): 1682-1686.
- [ 6 ] Hoisak JD, Sixel KE, Tirona R, et al. Correlation of lung tumor motion with external surrogate indicators of respiration[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2004, 60(4): 1298-1306. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2004.07.68.1.
- [ 7 ] Ahn S, Yi B, Suh Y, et al. A feasibility study on the prediction of tumour location in the lung from skin motion[J]. *Br J Radiol*, 2004, 77(919): 588-596. DOI: <http://dx.doi.org/10.1259/bjr/64800801>.
- [ 8 ] Ozhasoglu C, Murphy MJ. Issues in respiratory motion compensation during external-beam radiotherapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2002, 52(5): 1389-1399. DOI: 10.1016/S0360-3016(01)02789-4.
- [ 9 ] Ruan D. Kernel density estimation-based real-time prediction for respiratory motion[J]. *Phys Med Biol*, 2010, 55(5): 1311-1326. DOI: 10.1088/0031-9155/55/5/004.
- [ 10 ] Krauss A, Nill S, Oelfke U. The comparative performance of four respiratory motion predictors for real-time tumour tracking[J]. *Phys Med Biol*, 2011, 56(16): 5303-5317. DOI: 10.1088/0031-9155/56/16/015.
- [ 11 ] Murphy MJ, Pokhrel D. Optimization of an adaptive neural network to predict breathing[J]. *Med Phys*, 2009, 36(1): 40-47. DOI: 10.1118/1.3026608.
- [ 12 ] Ramrath L, Schlaefer F, Ernst A, et al. Prediction of respiratory motion with a multi-frequency based Extended Kalman Filter[J]. *Int J CARS*, 2007, 2(Suppl 1): S56-60. DOI: 10.1007/s11548-007-0083-7.
- [ 13 ] Kakar M, Nyström H, Aarup LR, et al. Respiratory motion prediction by using the adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) [J]. *Phys Med Biol*, 2005, 50(19): 4721-4728. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/50/19/020>.

(收稿日期: 2015-07-19)