

腰椎间盘突出症肢体红外多尺度熵变规律研究

吴思^{1,2} 王平^{1,2△} 谢海波^{1,2} 刘爱峰^{1,2} 张超^{1,2} 王为民^{1,2} 苏瑾^{1,2}

[摘要] **目的:**观察腰椎间盘突出症患者病变肢体红外熵变规律及与疼痛、功能评分间的相关性。**方法:**选取符合诊断及纳入标准的腰椎间盘突出症患者与健康受试者,采集受试者肢体红外热像图,对图像进行增强、降噪与多尺度熵分析,与患者肢体疼痛、功能评分进行相关性分析。**结果:**腰椎间盘突出症患者患侧肢体小腿后外侧区、足底区、足背区、大腿后侧区多尺度熵值较患者健侧肢体及健康受试者相关区域多尺度熵值升高,差异有统计学意义($P < 0.05$)。患侧肢体小腿前外侧区多尺度熵值较患者健侧肢体及健康受试者相关区域多尺度熵值,差异无统计学意义($P > 0.05$)。患者健侧肢体相关感性兴趣区较健康受试者多尺度熵值间差异无统计学意义($P > 0.05$)。腰椎间盘突出症患者患侧肢体大腿后侧、小腿后外侧、足底区多尺度熵值与 ODI、VAS 评分正相关,与 JOA 评分负相关。**结论:**红外热像多尺度熵分析法可深度提取病变肢体的信息,对腰椎间盘突出症患者病情的诊断与评估具有指导价值,为进一步认识与研究疾病提供了新思路。

[关键词] 腰椎间盘突出症;红外热像;多尺度熵

[中图分类号] R681.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2021)11-0028-04

Regularity Research of Infrared Multi-Scale Entropy Change of Limb in Lumbar Disc Herniation

WU Si^{1,2} WANG Ping^{1,2△} XIE Haibo^{1,2} LIU Aifeng^{1,2}
ZHANG Chao^{1,2} WANG Weimin^{1,2} SU Jin^{1,2}

¹ Department of Orthopedics, First Affiliated Hospital of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300381, China;

² National Clinical Research Center for Chinese Medicine Acupuncture and Moxibustion, Tianjin 300381, China.

Abstract Objective: To explore the change of infrared entropy of limbs in patients with lumbar disc herniation and its correlation with pain and function scores. **Methods:** Patients with lumbar disc herniation and healthy subjects who met the criteria for diagnosis, inclusion and exclusion were selected. Infrared thermography of the limbs of the subjects was collected, and the images were analyzed for enhancement, noise reduction and multi-scale entropy, then the correlation analysis was conducted with the patients' limb pain and functional scores. **Results:** The multi-scale entropy values of the posterolateral calf, plantar, dorsal foot and posterior thigh of the affected limbs of patients with lumbar disc herniation were higher than those of the healthy limbs and related regions of healthy subjects, with statistical difference ($P < 0.05$). There was no significant difference in the multi-scale entropy of the anterolateral calf of the affected limb compared with the healthy limb of the patient and the related regions of the healthy subjects ($P > 0.05$). There was no statistical difference between the multi-scale entropy values of the healthy limbs area of patients and those of the healthy subjects ($P >$

0.05). The multi-scale entropy values of the posterior thigh, posterolateral calf and plantar of the limbs affected by lumbar disc herniation was positively correlated with ODI and VAS scores, and negatively correlated with JOA score. **Conclusion:** Infrared thermography multi-scale entropy analysis method can extract the information of diseased limbs in depth, which has a guiding value for the diagnosis and evaluation of lumbar disc herniation, and provides a new idea for further understanding and research of the disease.

基金项目:天津中医药大学第一附属医院“拓新工程”基金科研课题(院 201711)

王平劳模创新工作室-天津市教委资助项目(津教工[2016]3 号)

¹ 天津中医药大学第一附属医院骨伤科(天津,300381)

² 国家中医针灸临床医学研究中心

△通信作者 E-mail: yfywangping@sina.com

Keywords: lumbar disc herniation;infrared thermal imaging;multi-scale entropy

腰椎间盘突出症是临床常见病,受累肢体热像图表现出的低温现象被称为红外热像下肢神经刺激征,是该病典型的热图表现^[1]。目前临床红外图像分析更多偏于感兴趣区温差变化的测量,由于红外热像在检测及分析时干扰因素较多,导致图像分析精度与数据处理深度尚待提升^[2-3]。因此本研究基于前人的研究成果,将肢体受累区的热像图转化为像素序列,运用多尺度熵法对像素序列进行分析^[4],观察腰椎间盘突出症患者病变肢体红外感兴趣区多尺度熵数据表达特征,并对相关功能评分进行观察,为病变热像图的分析及评估提供研究基础。

1 研究对象与方法

1.1 健康受试者入组标准

108 例患者年龄为 20~40 岁;无腰部疼痛及下肢放射痛的病史,无下肢肌肉萎缩及皮肤感觉异常;临床查体无明显腰部压痛、下肢放射痛、直腿抬高试验阳性等典型腰椎间盘突出症的症状、体征。

1.2 诊断标准

依据《腰椎间盘突出症》^[5]中腰椎间盘突出症的诊断标准:1)腰痛、下肢痛呈典型的腰骶神经根分布区域的疼痛,常表现为下肢痛重于腰痛。2)存在按神经支配区域表现的肌肉萎缩、肌力减弱、感觉异常和反射改变四种神经障碍体征中的两种征象。3)神经根张力试验,无论直腿抬高试验还是股神经牵拉试验都为阳性。4)影像学检查,包括 X 线片、CT、MRI 或特殊造影等,异常征象与临床表现一致。

1.3 纳入标准

符合腰椎间盘突出症的诊断标准;能够配合完成红外热像检查;年龄为 20~40 岁;同意参与本研究,签署知情同意书。

1.4 排除标准

不符合诊断标准的患者;下肢动脉硬化闭塞症,明显的下肢静脉曲张者;足跟痛,跖外翻等足部病变者;局部皮肤不佳,如有溃破或局部感染的;合并有心、脑、肝和造血系统等严重疾病,不能配合检查者;无法合作者(如精神病患者)。

1.5 疼痛、功能评估

所有患者均采用 Oswestry 腰椎功能障碍指数(ODI,总分 50 分,分值越高肢体功能越差)、视觉模拟疼痛评分(VAS,总分 10 分,分值越高疼痛越重)及日本矫形外科协会评分(JOA,总分 29 分,分值越高功能越佳)对肢体功能及疼痛进行评估^[6-8]。

1.6 红外热像采集、处理、分析

1.6.1 图像采集

研究使用 DH-2010 型红外热像仪(重庆宝通华医疗器械公司),预热完成后开始校正仪器,校正到图像均匀进行拍图操作。受试者进行图像采集前禁止饮酒、服用刺激性食物;避免下肢及足部进行理疗、针灸、按摩、拔罐、膏药敷贴等治疗;检查前除去衣物,休息 15~20 min 后进行检查^[9]。

对患者及健康受试者下肢红外图像的感兴趣区进行分割,共划分为小腿前外侧区、小腿后外侧区、足背区、足底区、大腿后侧区。以红外热像图左上角为坐标原点,向右为 Y 轴正方向,向下为 X 轴正方向,建立直角坐标系,利用 MATLAB 中的 Crop 函数得到所要研究小腿感兴趣区局部红外图像。

1.6.2 降噪 本研究使用中值滤波进行降噪,是非线性处理方法,运行简单,滤除大颗粒噪声,较好地保护边界。中值滤波的原理是把数字图像或数字序列中的一点的值,用该点的一个邻域中各点值的中值代替,让周围的像素值接近真实值,从而消除孤立的噪声点^[10]。

1.6.3 增强 对受试者下肢感兴趣区红外图像处理采用效果最佳的中值滤波和加权直方图均衡算法,判断原始图像大小是否为 $m \times n \times 3$,之后转化为 $m \times n$ 灰度图,进行中值滤波,计算各像素点的频率信息,得到频率因子 $F(x, y)$,利用频率因子对各像素进行加权,统计各个灰度级,形成加权直方图,之后计算得出加权直方图的平台阈值,继而得到平台加权直方图,最后进行均衡化处理^[11]。

1.6.4 多尺度熵分析 多尺度熵(Multi-Scale Entropy, MSE)是将样本熵扩展到多个时间尺度,便于在时间尺度不确定时提供额外的观察视角,为计算不同时间尺度下信号的复杂性,Costa 等提出了多尺度熵^[12]。多尺度熵法用于量化一个给定时间序列的无规则程度,其算法有 3 个参数因子:嵌入维数 m 即序列的窗口长度,尺度因子 τ ,相似系数 r ^[13]。多尺度熵的计算公式如下:

$$MSE = \{ \tau \mid \text{sampEn}(\tau, m, r) = -\ln[C^{\tau, m+1}(r) / C^{\tau, m}(r)] \}.$$

在对不同肢体观察区域红外图像滤波、增强后,提取图像的像素序列信息,利用多尺度熵算法对像素序列进行计算,分析受试者肢体不同观察区域的熵值。

1.7 统计学方法

计量数据正态分布用 $\bar{x} \pm s$ 表示,非正态分布数据用 $M(Q25 \sim Q75)$ 表示;正态分布数据采用独立样本 t 检验或配对 t 检验,非正态分布使用秩和 Wilcoxon 与 Mann-Whitney Test 检验。肢体熵变系数与功能疼痛评分相关性分析采用 Pearson 相关性分析。 $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

根据诊断标准、纳入标准、排除标准,并结合样本量估算,研究共纳入患者 108 例;女 50 例,男 58 例;年龄 20~40 岁,平均 32.64 岁;病程 3 d~10 年不等。患者均为单侧下肢疼痛及麻木为主。全部患者均行腰椎 MRI 或 CT 检查,突出节段均为腰 5/骶 1 节段。根据健康受试者的招募条件及排除标准,共招募健康受试者 92 例,其中男 31 例,女 61 位,平均年龄为 25.05 岁。

表 1 肢体区域多尺度熵值对比 ($\bar{x} \pm s$)

观察区域	小腿前外侧	小腿后外侧	足底	足背	大腿后侧
患者患侧肢体	0.097±0.041	0.271±0.033	0.209±0.054	0.414±0.135	0.278±0.042
患者健侧肢体	0.081±0.038 ¹⁾	0.137±0.053 ²⁾	0.167±0.034 ²⁾	0.292±0.081 ²⁾	0.161±0.065 ²⁾
健康受试者	0.078±0.040 ¹³⁾	0.120±0.048 ²³⁾	0.149±0.067 ²³⁾	0.285±0.074 ²³⁾	0.154±0.047 ²³⁾

注:1)与患者患侧肢体相比, $P>0.05$;2)与患者患侧肢体相比, $P<0.05$;3)与患者健侧肢体相比, $P>0.05$ 。

2.3 肢体区域红外多尺度熵值与肢体疼痛功能评分相关性分析

将患者患侧肢体观察区域多尺度熵值与 ODI、VAS、JOA 评分做散点图,进行相关性分析,可发现在患侧肢体小腿后外侧区、足底区、大腿后侧区多尺度熵

2.2 腰椎间盘突出症患者肢体多尺度熵变特征

腰椎间盘突出症患者患侧肢体小腿后外侧区、足底区、足背区、大腿后侧区多尺度熵值与患者健侧肢体及健康受试者相关区域多尺度熵值升高,差异有统计学意义($P<0.05$)。患侧肢体小腿前外侧区多尺度熵值与患者健侧肢体及健康受试者相关区域多尺度熵值,差异无统计学意义($P>0.05$)。患者健侧肢体相关感性兴趣区与健康受试者多尺度熵值间,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

值与 ODI、VAS 评分间明显正相关,与 JOA 评分负相关,即红外多尺度熵值越大,肢体疼痛程度越重,功能障碍越重(见图 1-图 3)。足背区多尺度熵值与 ODI、VAS、JOA 评分间无明显相关性。

2.4 典型病例

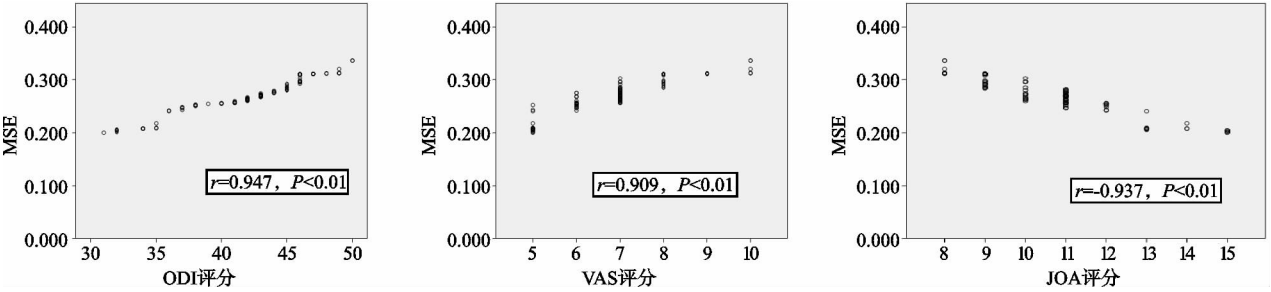


图 1 小腿后外侧区与 ODI、VAS、JOA 评分相关性分析

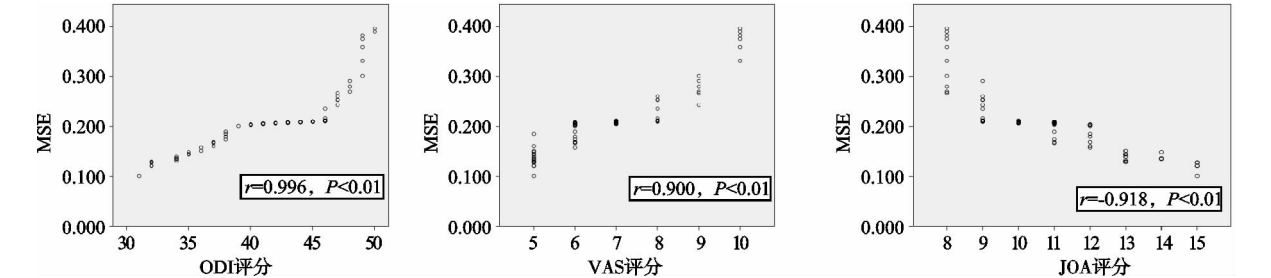


图 2 足底区与 ODI、VAS、JOA 评分相关性分析

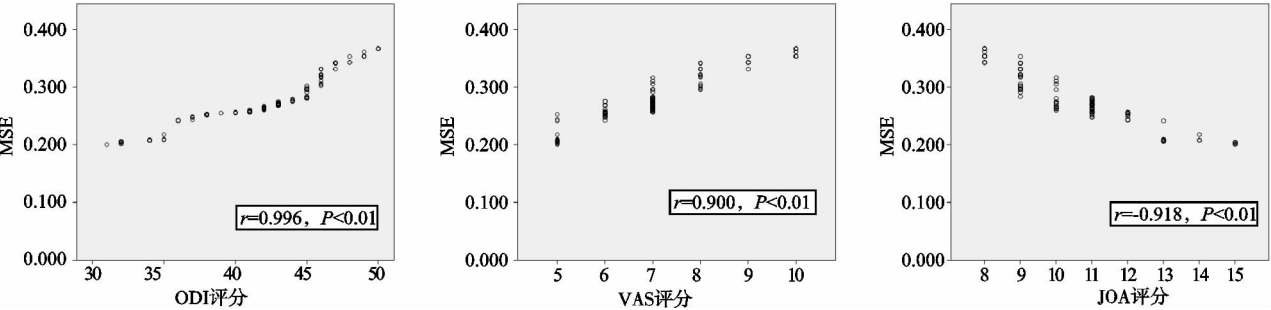


图 3 大腿后侧区与 ODI、VAS、JOA 评分相关性分析

患者,男,26 岁,主因“腰臀部疼痛,右大腿、右小腿后外侧疼痛 1 个月”就诊,腰椎 MR 示腰 5/骶 1 椎间盘退变,右后突出,继发相应水平椎管狭窄。诊断为腰椎间盘突出症。VAS 评分为 7 分,ODI 评分为 36 分,JOA 评分为 12 分。完善红外热像检查,可见右下肢相关感兴趣区较左侧温度降低,温差升高,患侧足底多尺度熵值升高(见图 4 及表 2)。

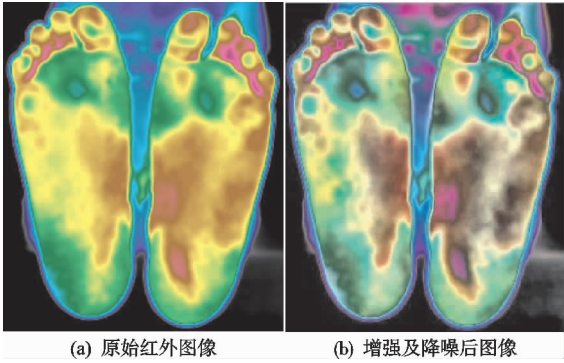


图 4 典型病例红外图像

表 2 典型病例红外数据

部位	绝对温度/℃	温差/℃(左-右)	多尺度熵
左足底	29.4	1.1	0.375 7
右足底	28.3		0.517 2

3 讨论

随着红外热成像技术的发展,其在医学领域内应用越来越广,国内较早将红外热像引入到多种疼痛的诊断及疗效评价中,取得了良好的效果。但是红外热像在采集过程中易受到外界因素的干扰,在数据分析时受到测量精度与误差的影响,使其在临床进行更深入的研究受到了阻碍^[14]。信息熵及其算法的出现弥补了红外图像分析及处理方面的不足,可最大化提取所包含的疾病信息,对图像中病变区域熵值与疾病所导致的疼痛、功能障碍间的关系进行探讨,有助于对疾病的理解,同时为后期进行疗效的观察与评价奠定了基础。

腰椎间盘突出所导致的肢体疼痛麻木,影响下肢神经支配区的温度变化,造成温差增大,已被业内广泛认可^[15]。本研究将患侧肢体大腿后侧、小腿后外侧、足背、足底等常见的低温区域进行红外热像图单独截取,进行图像增强、降噪及多尺度熵计算。通过数据分析发现,健康受试者相关感兴趣区域多尺度熵值低于患者健侧与患侧熵值,患侧除小腿前外侧区域外均较健侧与健康受试者相关区域的熵值升高,差异有统计学意义。

ODI、VAS、JOA 评分是针对腰椎间盘突出症最常用的疼痛功能评分,对病情评估具有指导意义,本研究将相关区域的多尺度熵值与疼痛功能评分进行相关性分析,发现大腿后侧、小腿后外侧、足底区多尺度熵值与 ODI、VAS 评分正相关,即熵值越高疼痛越重,

肢体功能越受限;与 JOA 评分负相关,即熵值越低疼痛越轻,肢体功能受限越轻。本研究选取的受试者突出节段均为腰 5/骶 1 节段,多影响骶 1 神经支配区域,而表现为大腿后侧、小腿后外侧及足部的疼痛麻木,从患者症状体征上也与多尺度熵值变化的区域存在关联性。

薛定谔将“熵”研究成果引入到生命现象的研究中,对生命现象的普遍物理解释提出了几个关键问题:1)生命体是由原子构成的,其产生、发展、成熟要求热运动的有序与规律。2)生物体通过不断向环境中摄取“负熵”,或者说将机体内的“熵”全部流出机体,来维持自身的“非平衡态”^[16]。因此要保证生命个体的生存和进化,必须使“负熵”增加,否则意味着生物体与外界环境失去联系,结果是熵的产生越来越多,体系越来越混乱,进而产生“疾病”,当“熵增”累积到最大时,最终导致死亡的发生^[17]。本研究结果可验证薛定谔的部分论断,腰椎间盘突出发生时,导致肢体疼痛麻木及功能受限,从红外热像角度表现为多尺度熵增加,熵增越大,疼痛及肢体功能障碍越重。通过相关治疗,肢体疼痛及功能受限得到缓解,红外热像相关区域温差降低,甚至温差相等,患者身体得到恢复,这在临床上已经得到广泛的证实^[18]。

综上所述,腰椎间盘突出症患者病变肢体红外热成像熵变规律的研究,有助于进一步认识疾病本身,笔者后续将进一步增加患者样本量、扩大肢体的分析区域,同时将该方法应用于临床疗效观察与分析中^[19]。

参考文献

[1] 贾和平,张大伟,周文生,等. 腰椎间盘突出症的红外热像“下肢神经刺激征象”机制探讨[J]. 中国疼痛医学杂志, 2013,19(3):152-155.

[2] 春晓,潘丽艳,林艳. 基于万方与 CNKI 数据库的红外热成像技术医学应用的文献计量学研究[J]. 中国医疗设备, 2019,34(7):165-168.

[3] ASTASIO-PICADO A, MARTÍNEZ E E, GÓMEZ-MARTÍN B. Comparison of thermal foot maps between diabetic patients with neuropathic, vascular, neurovascular, and no complications[J]. Curr Diabetes Rev, 2019,15(6):503-509.

[4] 覃国萍,徐桂芝,李双燕. 多尺度熵算法研究进展及其在神经信号分析中的应用[J]. 生物医学工程学杂志, 2020, 37(3):541-548.

[5] 胡有谷. 腰椎间盘突出症[M]. 3 版. 北京:人民卫生出版社, 2004:365.

[6] 高景华,王宝剑,孟州令,等. 基于“阳化气”理论探讨转腰汤治疗腰椎管狭窄症 48 例[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2019,27(11):55-57.