

# 角膜波前像差引导的准分子激光原位磨镶术和准分子激光角膜上皮瓣下磨镶术对高阶像差的影响

殷岩, 吴庆建

济宁市第一人民医院眼科, 山东 济宁 272011

**【摘要】目的:** 研究分析波阵面像差引导的准分子激光原位角膜磨镶术(W-G-LASIK)和准分子激光角膜上皮瓣下磨镶术(W-G-LASEK)针对近视眼高阶像差产生的影响, 并作对比观察分析。**方法:** 角膜波前像差引导治疗近视61例(122眼), 其中W-G-LASIK手术(A组)共27例(54眼)和W-G-LASEK手术(B组)共34例(68眼), 分别于术前和术后7 d, 1个月, 3个月测量高阶像差(HOAs), 并分析手术前后HOAs的变化和两种手术方式对HOAs产生的影响。**结果:** 两组术后总体HOAs均方根值均较术前有所增加( $P<0.05$ ), 以三、四阶像差增加为主, 五、六阶像差则较术前变化不明显, 术后B组的总HOAs、三阶、四阶像差均小于A组( $P<0.05$ )。两组患者的慧差和球差均比术前有所增加( $P<0.05$ ), 其中A组的垂直慧差较B组增高明显, 两组间差异有统计学意义( $P<0.05$ )。**结论:** W-G-LASIK和W-G-LASEK术后都会使术眼HOAs有不同程度的增加, 总体来讲, W-G-LASEK的增加幅度小于W-G-LASIK。

**【关键词】** 准分子激光原位角膜磨镶术; 准分子激光角膜上皮瓣下磨镶术; 角膜波前像差

**【中图分类号】** R772.2

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1005-202X(2017)05-0536-05

## Higher order aberrations in patients with myopia after conical wavefront aberration-guided laser in situ keratomileusis and conical wavefront aberration-guided laser epithelial keratomileusis

YIN Yan, WU Qingjian

Department of Ophthalmology, Ji'ning First People's Hospital, Jining 272011, China

**Abstract: Objective** To analyze the effects of conical wavefront aberration-guided laser in situ keratomileusis (W-G-LASIK) and conical wavefront aberration-guided laser epithelial keratomileusis (W-G-LASEK) on higher order aberrations (HOAs) in patients with myopia. **Methods** W-G-LASIK or W-G-LASEK for myopia was performed for 61 patients (122 eyes), including W-G-LASIK (group A) for 27 patients (54 eyes) and W-G-LASEK (group B) for 34 patients (68 eyes). HOAs of each eye were measured preoperatively and 7 days, 1 month and 3 months postoperatively. The changes in HOAs before and after operation were analyzed to discuss the effects of W-G-LASIK and W-G-LASEK on HOAs. **Results** The root mean square (RMS) of the total HOAs in both groups showed an increase compared with that before operation ( $P<0.05$ ), with dominant increases in the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> order aberrations and not obvious increases in the 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> order aberrations. Postoperatively, the total HOAs, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> order aberrations in group B were lower than those in group A ( $P<0.05$ ). The vertical coma, horizontal coma and spherical aberrations in both groups after operation were increased compared with those before operation ( $P<0.05$ ), and the increase of vertical coma in group A was more significant than that in B group ( $P<0.05$ ). **Conclusion** Both W-G-LASEK and W-G-LASIK increase the HOAs, but the HOAs increase of W-G-LASEK is less than that of W-G-LASIK.

**Keywords:** laser in situ keratomileusis; laser epithelial keratomileusis; conical wavefront aberration

### 前言

准分子激光原位角膜磨镶术(Laser in Situ Keratomileusis, LASIK)是当前利用激光治疗近视患者

的一类主流术式。其在角膜瓣下的基质层切削, 保持了角膜上皮及前弹力层的完整, 可避免激光光学角膜切削术(Photo Refractive Keratectomy, PRK)的大多数并发症, 因而在临床上应用广泛。但LASIK也可能出现一系列的并发症<sup>[1-2]</sup>。近些年, 准分子激光角膜上皮瓣下磨镶术(Laser Epithelial Keratomileusis, LASEK)技术的发展在一定程度上对LASIK产生

**【收稿日期】** 2016-12-10

**【作者简介】** 殷岩, 硕士, 主治医师, E-mail: 3546643@qq.com

了较大的冲击与挑战,原因可能在于LASEK为医生及患者二者均提供了相对更好的治疗方案选择,解决了LASIK视为禁忌症的部分问题,适应范围更广,因而受到广大近视患者的青睐。有研究显示:与LASIK相比,LASEK术后视觉成像效果更加稳定,最佳视力恢复更好<sup>[3-4]</sup>。本文通过研究角膜波前像差所引导的LASIK(Coneal Wavefront Aberration-Guided-LASIK, W-G-LASIK)及角膜波前像差所引导的LASEK(Coneal Wavefront Aberration-Guided-LASEK, W-G-LASEK)术式对近视的矫治效果,并观察对患者高阶像差(Higher Order Aberrations, HOAs)产生的影响,明确两种术式的效果,现报道如下。

## 1 对象和方法

### 1.1 一般资料

选取2009年5月~2012年2月于济宁市第一人民医院眼科接受角膜波前像差所引导治疗的近视手术患者61例(122眼)。其中W-G-LASIK术(A组)27例54眼,W-G-LASEK术(B组)34例68眼。其中男性33例,女性28例,患者年龄20~41岁,平均 $(29.36 \pm 6.48)$ 岁。术前两组患者的基础数据差异均无显著性意义( $P > 0.05$ )。

### 1.2 术前检查

两组患者在术前均实施常规检查,具体包含以下几个项目:(1)裸眼视力;(2)裂隙灯诊断;(3)眼底镜测试;(4)非接触式眼压测定;(5)主觉验光;(6)睫状肌麻痹验光;(7)超声角膜测厚;(8)泪膜功能检测;(9)角膜地形图及波阵面像差测定。所有检查均由同一医生完成。

### 1.3 手术方法

手术由同一主刀医生完成,手术使用美国博士伦217—Z100准分子激光仪,用美国博士伦Orbscan II眼前节分析仪对患者进行测量,得到手术所需的精确数据,采用美国Zywave波前像差技术引导系统,为所有患者测量像差,将Final-Fit型个体化切削软件所得到的数据引导进行进一步的个体化激光切削。

A组:将患者术眼表面麻醉后,使用Zyoptix XP 120-130型角膜板层刀对角膜瓣实施制作,确保蒂部处于上方位置,切削区直径为6.0~6.5 mm,而过渡区为7.5~8.0 mm,待切削完毕之后通过BSS(Balanced Salt Solution)液冲洗,使角膜瓣复位。术后佩戴软性角膜保护镜。

B组:将患者术眼表面麻醉之后,经环钻行角膜上皮的划痕,并放置好乙醇杯,注入20%乙醇,在20 s后将乙醇吸除,通过BSS液进行彻底冲洗。剥离上

皮产生上皮瓣,使瓣蒂部位处在正上方位置,再擦干角膜床,使用美国博士伦公司生产的217-Z100型准分子激光仪按近视治疗程序进行激光角膜切削,切削完毕之后通过BSS液对切削平面实施冲洗,而后复位上皮瓣。患者术毕需佩戴软性的角膜接触镜。

### 1.4 术后处理

2组均在术后1~3 d为患者换药,并于5~7 d时取出其角膜接触镜,且术后滴用可乐必妥滴眼液(成分为左氧氟沙星,日本参天株式会社生产,规格:5 mL:24.4 mg,批准文号:J20070066)4次/d共1周,滴用0.1%氟美龙滴眼液(主要成分为氟米龙,日本参天株式会社生产,产品规格:5 mL:5 mg,批准文号H20020542),4次/d共4周。术后1~3周对患者使用爱丽滴眼液(成分为玻璃酸钠,日本参天株式会社生产,规格:5 mL:5 mg,批准文号H20030682),点眼,4次/d,治疗2~3个月。分别在以下时间复查:术后1 d,3 d,1周,2周,1个月,3个月,6个月。主要包含以下项目:(1)角膜刺激症状;(2)角膜上皮愈合情况;(3)视力;(4)眼压;(5)裂隙灯;(6)散瞳验光;(7)角膜地形图;(8)Haze;(9)波阵面像差。

### 1.5 统计学分析

统计学资料均以平均值 $\pm$ 标准差表示,采用SPSS14.0分析软件,两组间进行比较,对所有计数资料实施重复测量的方差分析,其中 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义, $P < 0.01$ 为差异有显著性统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组的一般情况

两组手术均顺利,且全部患者均未发生明显的影响视力的相关并发症,两组中共有14名患者有流泪、异物感等轻度的刺激症状,刺激症状在3 d后均基本消失。

A组患者54只眼中有49只眼(90.74%)术后视力达到术前最佳矫正视力,B组患者68只中有64只眼(94.12%)术后视力达到术前最佳矫正视力,两组相比无统计学意义上的差异( $\chi^2 = 0.891, P > 0.05$ ),所有患者均未出现 $> 0.4$  mm的偏中心切削。

### 2.2 两组患者总体HOAs的改变

术前A、B两组的总体HOAs均方根(RMS)值无显著性意义差异( $\chi^2 = 0.968, P > 0.05$ ),两组患者术后7 d,1个月,3个月时的总体HOAs和术前相比有所增加,有统计学意义上的差异(A组, $\chi^2 = 4.327, 3.691, 2.842$ ;B组, $\chi^2 = 3.415, 3.147, 2.893, P < 0.05$ ),同时,术后B组的总体HOAs RMS值较A组小,但差异没有统计学意义( $\chi^2 = 0.683, P > 0.05$ )(表1)。

表1 手术前后各高阶像差RMS值的变化( $\bar{x}+s$ )Tab.1 RMS of HOAs in the two groups before and after operation ( $Mean\pm SD$ )

Group	Before operation	One week after operation	$P_1$	One month after operation	$P_2$	Three months after operation	$P_3$
A	0.32±0.04	0.53±0.07	0.027	0.48±0.05	0.038	0.42±0.04	0.048
B	0.31±0.03	0.49±0.05	0.035	0.42±0.05	0.045	0.41±0.03	0.049

HOAs: Higher order aberrations; RMS: Root mean square; Group A: Conical wavefront aberration-guided laser in situ keratomileusis (W-G-LASIK); Group B: Conical wavefront aberration guided laser epithelial keratomileusis (W-G-LASEK);  $P_1$ :  $P$  value between before operation and one week after operation;  $P_2$ :  $P$  value between before operation and one month after operation;  $P_3$ :  $P$  value between before operation and three months after operation

### 2.3 两组患者第三、四阶像差的改变

术前两组间第三、四阶的像差无显著性意义差异( $\chi^2=0.914, 0.872, P>0.05$ ), A组术后7 d, 1个月, 3个月时的三阶、四阶RMS值和术前相比均有明显增加( $\chi^2=5.474, 4.063, 3.761, P<0.05$ ); B组术后7 d的

三阶、四阶RMS值较术前明显增加, 有统计学意义上的差异( $\chi^2=3.167, P<0.05$ ), 而术后1, 3个月的三阶、四阶RMS值较术前的差异不明显。术后两组间有统计学意义上的差异( $\chi^2=4.792, 6.394, P<0.05$ ), B组的RMS值较A组小(表2)。

表2 手术前后第三、四阶像差RMS值的变化( $\bar{x}+s$ )Tab.2 RMS of the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> order aberrations in the two groups before and after operation ( $Mean\pm SD$ )

Item	Group	Before operation	One week after operation	$P_1$	One month after operation	$P_2$	Three months after operation	$P_3$
The 3 <sup>rd</sup> order aberrations	Group A	0.22±0.06	0.41±0.06	0.019	0.35±0.05	0.029	0.34±0.04	0.031
	Group B	0.21±0.05	0.37±0.05	0.026	0.25±0.04	0.057	0.23±0.04	0.482
The 4 <sup>th</sup> order aberrations	Group A	0.10±0.06	0.28±0.05	0.008	0.24±0.04	0.016	0.22±0.05	0.023
	Group B	0.11±0.04	0.26±0.06	0.010	0.13±0.05	0.213	0.12±0.04	0.682

### 2.4 两组患者第五、六阶像差的改变

术前两组间的差异无显著性意义( $\chi^2=0.892, 0.861, P>0.05$ ), 术后3个月, 两组的第五、六阶像差

RMS值均较术前有少量增加, 但无统计学意义上的差异(A组,  $\chi^2=4.327, 3.691, 2.842$ ; B组,  $\chi^2=3.415, 3.147, 2.893, P>0.05$ )(表3)。

表3 手术前后第五、六阶像差RMS值的变化( $\bar{x}+s$ )Tab.3 RMS of the 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> order aberrations in the two groups before and after operation ( $Mean\pm SD$ )

Item	Group	Before operation	One week after operation	$P_1$	One month after operation	$P_2$	Three months after operation	$P_3$
The 5 <sup>th</sup> order aberrations	Group A	0.06±0.03	0.08±0.03	0.274	0.07±0.04	0.481	0.08±0.03	0.159
	Group B	0.07±0.02	0.08±0.03	0.543	0.08±0.05	0.494	0.09±0.03	0.284
The 6 <sup>th</sup> order aberrations	Group A	0.05±0.03	0.07±0.04	0.196	0.06±0.04	0.479	0.06±0.04	0.479
	Group B	0.06±0.03	0.07±0.05	0.481	0.06±0.04	1.000	0.06±0.03	1.000

### 2.5 垂直彗差(C7)、水平彗差(C8)和四阶球差(C12)的改变

术前两组间的差异无显著性( $\chi^2=0.742, 0.859,$

$0.813, P>0.05$ ), 两组患者C8, 术后7 d, 1, 3个月时的RMS值和术前相比都明显增加( $\chi^2=5.049, 3.351, 2.845, P<0.05$ ), 两组间相比无明显差异变化( $\chi^2=$



0.548, 0.492,  $P>0.05$ ), A组术后C7的RMS值亦较术前有所增加( $\chi^2=7.593, 4.491, 3.583, P<0.05$ ), 且两组之间B组的RMS值较A组小( $\chi^2=2.576, 2.853, P<0.05$ )(表4)。

表4 两组患者手术前后球差、慧差的变化( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.4 RMS of spherical aberrations and coma aberrations in the two groups before and after operation ( $Mean \pm SD$ )

Item	Group	Before operation	One week after operation	$P_1$	One month after operation	$P_2$	Three months after operation	$P_3$
C7	Group A	0.08±0.04	0.21±0.07	0.003	0.19±0.05	0.014	0.18±0.04	0.017
	Group B	0.09±0.04	0.15±0.07	0.028	0.13±0.04	0.039	0.11±0.05	0.049
C8	Group A	0.13±0.06	0.26±0.10	0.011	0.24±0.06	0.018	0.21±0.04	0.023
	Group B	0.14±0.05	0.25±0.09	0.017	0.22±0.07	0.029	0.20±0.05	0.031
C12	Group A	0.10±0.05	0.18±0.05	0.014	0.17±0.04	0.016	0.16±0.04	0.020
	Group B	0.11±0.04	0.16±0.05	0.028	0.16±0.05	0.028	0.15±0.06	0.031

C7: Vertical coma aberration; C8: Horizontal coma aberration; C12: The forth order spherical aberration

### 3 讨论

自从1983年准分子激光问世以来,人们安全有效的摘除近视眼镜成为可能。近十年来,角膜屈光手术发展速度之快,从PRK、LASIK、LASEK再到波前像差引导的个体化切削,令人叹为观止。角膜屈光手术以其有效性、安全性、稳定性及可预测性,成为当今眼科最热门的学科之一<sup>[2-3]</sup>。

LASEK是意大利Rovigo医院眼科中心Massino lamellion于1997年在屈光手术临床过程中发明的一种针对中、高度数,角膜相对较薄的新准分子激光手术<sup>[2]</sup>,为中、高度数近视患者争取了保持角膜厚度的同时也带来了更好的视觉效果。LASEK结合了PRK和LASIK的优点,其治疗近视较LASIK更安全、更有效。随着LASEK的推广和普及,以往有研究发现,LASEK术后的高阶像差比LASIK要小<sup>[5]</sup>。

我们将分别接受W-G-LASIK和W-G-LASEK的患者设为A、B两组,在术后对所有患者行角膜地形图联合角膜波前像差检查,结果显示:总体HOAs及第三、四阶像差受到手术的影响相对较大,而第五、六阶像差则基本未受影响,而且,术后两组之间的像差也存在着差异,B组术后的总体HOAs和第三、四阶像差RMS值明显小于A组,这说明,角膜波前像差引导准分子激光手术有其明显的优越性,并且W-G-LASEK术后效果优于W-G-LASIK。

以往有研究表明,伤口愈合后角膜是否光滑是影响角膜地形图或者波阵面像差所引导的激光手术是否获得最佳视力的一个关键因素<sup>[6-7]</sup>。接受W-G-LASIK的患者角膜瓣和角膜基质床表面较W-G-LASEK更

凹凸不平,术后角膜瓣的水肿较W-G-LASEK亦更加明显,这些原因都可以引起W-G-LASIK术后HOAs增加<sup>[8-10]</sup>。

除此之外,我们还分别观察了C7、C8和C12的变化,我们研究发现:两组患者术后C8、C12均明显增加,这种情况一直持续到术后3个月以后。我们分析,角膜非球面性变化是手术后球差变大的一个重要原因,且其变化幅度同矫治屈光度及切削区直径均具有直接关系。

经过研究显示:A组术后的C7高于B组( $P<0.05$ )。分析原因,偏中心切削属于术后彗差增大的一个重要因素。在术中使用200 Hz型高速主动眼球追踪系统,可使偏中心的切削控制 $<0.4$  mm,避免了彗差增大<sup>[11-13]</sup>。当前研究表明,C7及C8均可对视觉产生一定影响,还可能均会出现复视<sup>[14-15]</sup>。我们的研究证明在术后慧差方面,W-G-LASEK术后视觉成像的效果优于W-G-LASIK。

本研究通过分析接受W-G-LASEK和W-G-LASIK患者手术前后HOAs的变化和两种手术方式对HOAs的影响,证明W-G-LASEK可能视觉成像的效果会略优于W-G-LASIK,但由于本研究中患者例数较少,得出的结论尚不够客观,结果存在局限性,今后可增加患者例数,并延长术后的观察时间,从而进一步地观察术后的波前像差及HOAs,以及慧差和球差等参数的变化。

### 【参考文献】

- [1] 褚仁远. 我国近年屈光矫正手术的进展[J]. 中华眼科杂志, 2005, 41(8): 724-728.

- CHU R Y. Recent progress in the refractive surgery in our country[J]. Chinese Journal of Ophthalmology, 2005, 41(8): 724-728.
- [2] 顾丽琼, 廉井财. LASEK 和 Epi-LASIK 研究进展[J]. 国际眼科纵览, 2006, 30(2): 81-84.
- GU L Q, LIAN J C. LASEK and Epi-LASIK review progress[J]. International Review of Ophthalmology, 2006, 30(2): 81-84.
- [3] 杨丽萍, 徐仁凤, 黄振萍, 等. 激光上皮下角膜磨镶术和激光原位角膜磨镶术治疗高度近视远期疗效的比较[J]. 国际眼科杂志, 2008, 8(1): 207-208.
- YANG L P, XU R F, HUANG Z P. The cornea epithelial mill set and laser in situ long curative effect in the treatment of corneal grinding with high myopia[J]. International Journal of Ophthalmology, 2008, 8(1): 207-208.
- [4] 郝更生, 胡卜丹, 刘宗顺, 等. LASEK 手术角膜厚度和后表面高度的变化[J]. 临床眼科杂志, 2015, 23(6): 524-527.
- HAO G S, HU B D, LIU Z S, et al. Changes of corneal thickness and posterior surface height in LASEK surgery[J]. Journal of Clinical Ophthalmology, 2015, 23(6): 524-527.
- [5] 王大庆, 邓应平, 罗清礼, 等. 视区切削直径大小对 LASIK 手术患者波前像差的影响[J]. 国际眼科杂志, 2005, 5(6): 1190-1193.
- WANG D Q, DENG Y P, LUO Q L, et al. Visual field cutting diameter size on the influence of the wavefront aberration LASIK surgery patients[J]. International Journal of Ophthalmology, 2005, 5(6): 1190-1193.
- [6] SPADEA L, VERBOSCHI F, DE ROSA V, et al. Long term results of no- alcohol laser epithelial keratomileusis and photorefractive keratectomy for myopia[J]. Int J Ophthalmol, 2015, 8(3): 574-579.
- [7] 陈世豪, 李斌, 王勤美, 等. Q 值调整的个体化准分子激光原位角膜磨镶术治疗近视临床疗效[J]. 眼视光学杂志, 2007, 9(3): 158-162.
- CHEN S H, LI B, WANG Q M, et al. Q value adjustment of individualized excimer laser *in situ* for the treatment of corneal grinding with myopia clinical curative effect[J]. Chinese Journal of Optometry & Ophthalmology, 2007, 9(3): 158-162.
- [8] 霍豫星, 王志玉. LASEK 与 LASIK 术后角膜后表面形态临床观察[J]. 医学研究杂志, 2006, 35(8): 103-104.
- HUO Y X, WANG Z Y. LASEK and LASIK postoperative corneal surface morphology after clinical observation[J]. Journal of Medical Research, 2006, 35(8): 103-104.
- [9] MELAMUD A, CHALITA M R, KRUEGER R R, et al. Comatic aberration as a cause of monocular diplopia[J]. J Cataract Refract Surg, 2006, 32(3): 529-532.
- [10] 张文防, 陈胜利, 杨海燕, 等. 准分子激光原位角膜磨镶术和准分子激光角膜上皮瓣下磨镶术对近视患者高阶像差的影响[J]. 国际眼科杂志, 2009, 9(11): 2126-2128.
- ZHANG W F, CHEN S L, YANG H Y, et al. Excimer laser cornea *in situ* mill set and excimer laser corneal flap under the ground with the influence of higher-order aberrations in myopia patients[J]. International Journal of Ophthalmology, 2009, 9(11): 2126-2128.
- [11] BURKHOLDER B M, KUO I C. Peripheral ulcerative keratitis following laser *in situ* keratomileusis[J]. Case Rep Ophthalmol, 2016, 7(1): 9-15.
- [12] RAMSOOK S S, HERSH P S. Use of a hydrogel sealant in epithelial ingrowth removal after laser *in situ* keratomileusis[J]. J Cataract Refract Surg, 2015, 41(12): 2768-2771.
- [13] KUCUKEVCILIOGLU M, HURMERIC V. Localized flap melt after Nd-YAG laser treatment in recurrent post-LASIK epithelial ingrowth[J]. Arq Bras Oftalmol, 2015, 78(4): 250-251.
- [14] KAU H C, TSAI C C. Erlotinib-related keratopathy in a patient underwent laser *in situ* keratomileusis[J]. Cutan Ocul Toxicol, 2016, 35(3): 257-259.
- [15] WU W, WANG Y, XU L, et al. Epipolis-laser *in situ* keratomileusis versus photorefractive keratectomy for the correction of myopia: a meta-analysis[J]. Int Ophthalmol, 2015, 35(5): 757-763.

(编辑:薛泽玲)

(上接 530 页)

- [10] GILAB E, VERGARACB J M, LAGUNAAB P. Pulse transit time variability *versus* heart rate variability during decreases in the amplitude fluctuations of photoplethysmography signal[J]. Int J Bioelectromagn, 2010, 12(3): 95-101.
- [11] ALARHABI A Y, MOHAMED M S, SUHAIRI IBRAHIM M D, et al. Pulse wave velocity as a marker of severity of coronary artery disease[J]. J Clin Hypertens, 2009, 11(1): 17-21.
- [12] 赵羿欧, 刘扬. 一种改进的差分阈值心电图检测算法[J]. 计算机工程, 2011, 12(37): 347-348.
- ZHAO Y O, LIU Y. Improved differential threshold ECG detection algorithm[J]. Computer Engineering, 2011, 12(37): 347-348.
- [13] 丑永新, 张爱华, 杨晓华. 基于改进滑窗迭代 DFT 的动态心率变异性提取[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(4): 812-821.
- CHOU Y X, ZHANG A H, YANG X H. Dynamic pulse rate variability extraction method based on improved sliding window iterative DFT[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(4): 812-821.
- [14] 霍铖宇, 庄建军, 黄晓林, 等. 基于 Poincaré 差值散点图的心率变异性分析方法研究[J]. 物理学报, 2012, 61(19): 190506.
- HUO C Y, ZHUANG J J, HUANG X L, et al. Heart rate variability analysis based on modified Poincaré plot[J]. Acta Physica Sinica, 2012, 61(19): 19056.
- [15] 卞春华, 马千里, 司峻峰, 等. 短时心率变异符号序列的熵分析方法[J]. 科学通报, 2009, 54(3): 340-344.
- BIAN C H, MA Q L, SI J F, et al. An entropy analysis method for symbol sequence of short-term heart rate variability[J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(3): 340-344.
- [16] GIRI D, ACHARYA U R, MARTIS R J, et al. Automated diagnosis of coronary artery disease affected patients using LDA, PCA, ICA and discrete wavelet transform[J]. Knowl Based Syst, 2013, 37(2): 274-282.
- [17] 王小川, 史峰, 郁磊, 等. MATLAB 神经网络 43 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.
- WANG X C, SHI F, YU L, et al. MATLAB neural network 43 case studies[M]. Beijing: Beihang University Press, 2013.

(编辑:黄开颜)