

引文格式:焦亚,付碧波,叶波,黄银花,章晖,贺文山,等. 视网膜脱离复位术后黄斑区血流密度:基于光学相干断层扫描血管成像(OCTA)的观察[J]. 眼科新进展,2018,38(4):373-377. doi:10.13389/j.cnki.rao.2018.0087

【应用研究】

# 视网膜脱离复位术后黄斑区血流密度:基于光学相干断层扫描血管成像(OCTA)的观察

焦亚 付碧波 叶波 黄银花 章晖 贺文山 陈小玲

**作者简介:**焦亚,女,1990年6月出生,湖南人,在读硕士研究生。研究方向:白内障与眼底病学。联系电话:18711190163; E-mail: jiaoya19900620@163.com; ORCID: 0000-0002-3640-5099

**About JIAO Ya:** Female, born in June, 1990. Postgraduate student. Tel: 18711190163; E-mail: jiaoya19910620@163.com; ORCID: 0000-0002-3640-5099

**收稿日期:**2017-11-26  
**修回日期:**2018-01-22  
**本文编辑:**盛丽娜

**作者单位:**410000 湖南省长沙市,中南大学爱尔眼科学院(焦亚,付碧波,贺文山,陈小玲);330000 江西省南昌市,南昌爱尔眼科医院(叶波,黄银花,章晖)

**通讯作者:**叶波, E-mail: yebo814@126.com; ORCID: 0000-0002-1512-2356

**Received date:** Nov 26, 2017  
**Accepted date:** Jan 22, 2018

From the Aier School of Ophthalmology, Central South University (JIAO Ya, FU Bi-Bo, HE Wen-Shan, CHEN Xiao-Ling), Changsha 410000, Hunan Province, China; Nanchang Aier Eye Hospital (YE Bo, HUANG Yin-Hua, ZHANG Hui), Nanchang 330000, Jiangxi Province, China

**Responsible author:** YE Bo, E-mail: yebo814@126.com; ORCID: 0000-0002-1512-2356

## Clinical observation of optical coherence tomography angiography in the macular vascular density after repair of retinal detachment

JIAO Ya, FU Bi-Bo, YE Bo, HUANG Yin-Hua, ZHANG Hui, HE Wen-Shan, CHEN Xiao-Ling

**【Abstract】 Objective** To investigate the macular vascular density after successful repair of rhegmatogenous retinal detachment (RRD) for one year using optical coherence tomography angiography (OCTA), and discuss the correlation between the macular vascular density and visual acuity. **Methods** Totally 42 patients of the RRD (42 eyes), their contralateral eyes (A group) and 42 patients of the normal eyes (B group) were recruited into this study. All participants underwent examination with best corrected visual acuity (BCVA) and OCTA. The difference in macular vascular density was compared and the correlation between BCVA and the vascular density was analyzed. **Results** The macular vascular density of superficial layer, deep layer and choroidal capillary layer was  $0.4224 \pm 0.0893$ ,  $0.4836 \pm 0.0748$ ,  $0.5271 \pm 0.0390$  in RRD group, respectively,  $0.4693 \pm 0.1125$ ,  $0.5500 \pm 0.0740$ ,  $0.5462 \pm 0.0343$  in A group, respectively,  $0.5619 \pm 0.0537$ ,  $0.6112 \pm 0.0352$ ,  $0.5626 \pm 0.0304$  in B group, respectively. The macular vascular density was significantly decreased in RRD group when compared with A and B groups (all  $P < 0.05$ ). There was a positive correlation between BCVA and the macular vascular density in the deep layer and choroidal capillaries layer ( $r = 0.629, 0.654$ , both  $P = 0.000$ ). However, there's no correlation between the macular vascular density of superficial layer and BCVA ( $P = 0.103$ ). **Conclusion** All the macular vascular densities are decreased in patients of RRD after successful repair of retinal detachment one year later, which indicated that the blood flow does not completely recover. And there is a positive correlation between BCVA and macular vascular densities in deep layer and choroidal capillaries layer. And meanwhile, OCTA can objectively and effectively quantify the status of macular region blood flow.

**【Key words】** rhegmatogenous retinal detachment; optical coherence tomography angiography; macular vascular density; best corrected visual acuity

**【摘要】 目的** 应用光学相干断层扫描血管成像(optical coherence tomography angiography, OCTA)检测孔源性视网膜脱离(rhegmatogenous retinal detachment, RRD)解剖复位稳定1a黄斑区血流密度,并探讨其与最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA)的关系。**方法** 将我院首诊为RRD并且通过玻璃体切割复位术,术后视网膜复位稳定1a的患者42例(42眼)的患眼纳入RRD组,患眼的对侧眼纳入对照组A,同时选择健康眼42例(42眼)为对照组B。对所有入选者均行BCVA和OCTA检查。比较RRD组与各对照组各层黄斑区血流密度是否存在差异,并分析患眼BCVA与血流密度的相关性。**结果** 三组黄斑区浅层视网膜血管丛、深层视网膜血管丛、脉络膜毛细血管层血流密度依次为:RRD组: $0.4224 \pm 0.0893$ 、 $0.4836 \pm 0.0748$ 、 $0.5271 \pm 0.0390$ ;对照组A: $0.4693 \pm 0.1125$ 、 $0.5500 \pm 0.0740$ 、 $0.5462 \pm 0.0343$ ;对照组B: $0.5619 \pm 0.0537$ 、 $0.6112 \pm 0.0352$ 、 $0.5626 \pm 0.0304$ 。RRD组与对照组A、对照组B相比血流密度均较低,差异均有统计学意义(均为 $P < 0.05$ )。RRD组深层视网膜血管丛、脉络膜毛细血管层黄斑区血流密度与BCVA存在一定的正相关( $r = 0.629, 0.654$ , 均为 $P = 0.000$ ),浅层视网膜血管丛黄斑区血流密度与BCVA没有表现出相关性( $P = 0.103$ )。**结论** RRD复位术后1a患眼各层黄斑区血流密度均较低,血流量没有完全恢复,且BCVA与深层视网膜血管丛、脉络膜毛细血管层血流密度存在相关性;OCTA能客观有效地分层量化黄斑区血流状态。

**【关键词】** 孔源性视网膜脱离;光学相干断层扫描血管成像;黄斑区血流密度;最佳矫正视力

**【中图分类号】** R774.1

孔源性视网膜脱离 (rhegmatogenous retinal detachment, RRD) 是一类严重的致盲性眼病<sup>[1]</sup>。目前最有效的治疗方法是视网膜复位术, 虽然其解剖复位率达 90% 以上<sup>[2]</sup>, 但部分患者的视力仍恢复不理想<sup>[3]</sup>。近年来, 多数文献主要从形态学上报道了黄斑区微结构改变是影响视功能最重要的因素, 尤其是椭圆体区和外界膜的连续性断裂与最佳矫正视力 (best corrected visual acuity, BCVA) 显著相关<sup>[3-7]</sup>。然而, 目前关于活体组织视网膜脱离复位术后眼血流状态的研究却较少。血液流变学是医学基础研究的重要方面。当视网膜神经上皮层与色素上皮层分离后, 视网膜失去脉络膜血管系统的营养供应, 视网膜神经元发生凋亡, 从而视力预后不佳, 这也在实验性视网膜脱离的研究中得到了证实<sup>[8-9]</sup>。因此, 研究视网膜复位术后黄斑区血流状态具有重要意义。本研究主要通过光学相干断层扫描血管成像 (optical coherence tomography angiography, OCTA) 检测 RRD 复位术后黄斑区血流密度, 并探讨其与 BCVA 的相关性。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选取 2010 年 8 月至 2016 年 10 月我院首诊为 RRD 并且通过玻璃体切割复位术, 术后视网膜复位稳定 1 a 的患者为研究对象, 共 42 例 (42 眼)。纳入标准: (1) 首诊为原发性 RRD, 且累及黄斑区; (2) 固视好, OCTA 检查信号指数高于 55; (3) 患眼的对侧眼 BCVA  $\geq 0.8$ ; (4) 双眼眼压均为 10 ~ 21 mmHg (1 kPa = 7.5 mmHg); (5) 双眼眼轴长度均小于 27 mm; (6) 年龄 36 ~ 72 岁; (7) 玻璃体内无硅油等填充物。排除标准: (1) 既往有任何视网膜、脉络膜疾病史; (2) 既往有任何眼外伤史、手术史; (3) 合并其他眼部疾病; (4) 患眼术后发生严重并发症, 如: 视网膜皱襞、继发性青光眼、复发性视网膜脱离、黄斑水肿、黄斑前膜、视网膜下液等; (5) 合并糖尿病及高血压等全身疾病引起眼底病变者; (6) 屈光介质混浊影响成像者。其中, 患眼作为 RRD 组, 患眼的对侧眼作为对照组 A。再选取健康眼 42 例 (42 眼) 作为对照组 B。对照组 B (即正常眼) 纳入标准: (1) 为正视、低度近视眼, 且 BCVA  $\geq 0.8$ ; (2) 除屈光不正外, 无任何眼部疾病、外伤史、手术史; (3) 眼压为

10 ~ 21 mmHg; (4) 眼轴长度小于 27 mm; (5) 年龄 36 ~ 72 岁。本研究遵守赫尔辛基宣言, 并经本院伦理委员会审核批准。

**1.2 方法** 所有入选者均行全面眼科检查: 裸眼视力 (标准对数视力表)、BCVA (日本 NIDEK, 换算为 logMAR 视力)、眼压 (日本 Topcon)、裂隙灯检查和散瞳后 90 D 前置镜下眼底检查、眼部 B 超 (法国光太 A/B 超)、眼轴长度 (德国 Carl Zeiss) 和 OCTA (美国 RTVue-XR Avanti, Optovue, Inc, Fremont, CA) 检查, 记录并收集所有相关结果。OCTA 检查是由同一操作精准的特检技师完成, 选择 Enhanced HD Line 和 Angio-Retina 3 mm  $\times$  3 mm 两种模式。在 Enhanced HD Line 模式下, 可生成高清视网膜结构图 (图 1)。在 Angio-Retina 3 mm  $\times$  3 mm 模式下, 图像分辨率为 304 像素  $\times$  304 像素, 扫描过程中, AngioVue 系统自动通过运动矫正原理矫正眼球扫视和细小固视丢失引起的运动伪迹, 最终可自动生成 4 个层面的血流成像图 (图 2-图 4)。这 4 层的定义为: 浅层视网膜血管丛为内界膜下方 3  $\mu$ m 至内丛状层下方 15  $\mu$ m, 深层视网膜血管丛为内丛状层下方 > 15  $\mu$ m 至外丛状层下方 70  $\mu$ m, 外层视网膜为外丛状层下方 > 70  $\mu$ m 至视网膜色素上皮层下方 30  $\mu$ m, 脉络膜毛细血管丛为视网膜色素上皮层下方 > 30 ~ 60  $\mu$ m。从眼血管分布情况分析, 外层视网膜不存在血流, 外层视网膜层面显示的是由内层视网膜血管血流投射到视网膜色素上皮上的伪影<sup>[10]</sup>, 故本研究仅将浅层视网膜血管丛、深层视网膜血管丛和脉络膜毛细血管层纳入研究。“血流密度”指在选定区域内血管和微血管系统所占面积的比例, 采用医学影像处理软件 Image J2X 测量所得。

图 1 RRD 复位术后患眼 Enhanced HD Line 模式下 OCTA 检查未发现明显黄斑区微结构异常

图 2 RRD 复位术后患眼黄斑区 Angio-Retinal 3 mm  $\times$  3 mm 模式 OCTA 血流成像图。A: 浅层视网膜血管丛; B: 深层视网膜血管丛; C: 外层视网膜; D: 脉络膜毛细血管层

图3 RRD复位术后患眼的对侧眼黄斑区Angio-Retinal 3 mm×3 mm模式OCTA血流成像图。A:浅层视网膜血管丛;B:深层视网膜血管丛;C:外层视网膜;D:脉络膜毛细血管层

图4 正常眼黄斑区Angio-Retinal 3 mm×3 mm模式OCTA血流成像图。A:浅层视网膜血管丛;B:深层视网膜血管丛;C:外层视网膜;D:脉络膜毛细血管层

1.3 统计学分析 采用SPSS 22.0统计软件进行数据处理分析。计数资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。RRD组与对照组A、对照组B年龄、性别、眼压、眼轴长度和黄斑区血流密度两两比较采用t检验,运用Pearson积差相关系数分析患眼BCVA与各层血流密度的相关性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料比较 RRD组与对照组A的年龄、

性别均相同。RRD组与对照组B的年龄、性别,以及RRD组与对照组A、对照组B的眼压和眼轴长度差异均无统计学意义(均为 $P > 0.05$ ),但BCVA比较差异均有统计学意义(均为 $P < 0.05$ )。详见表1。RRD组与对照组A、对照组B之间眼压差均没有超过3 mmHg。对照组A中有周边部视网膜变性区和(或)干性裂孔行预防性视网膜激光光凝治疗者33眼(78.6%),检查时在Enhanced HD Line模式下OCTA检查均未发现明显的视网膜微结构异常。

表1 三组基本信息及眼球参数比较

组别	年龄/岁	性别(男/女)	眼压/mmHg	眼轴长度/mm	BCVA/logMAR
RRD组	48.4±12.3	18/24	14.31±2.21	24.12±0.89	0.55±0.35
对照组A	48.4±12.3	18/24	14.28±1.84	24.10±1.22	0.05±0.05
对照组B	48.1±10.4	20/22	13.53±2.01	24.11±1.39	0.02±0.04
P1	-	-	>0.05	>0.05	<0.05
P2	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	<0.05

注:P1为RRD组和对照组A相比t检验的P值;P2为RRD组和对照组B相比t检验的P值

2.2 三组各层黄斑区血流密度观察及与BCVA的相关性分析 三组各层黄斑区血流密度情况见表2。由表2知,RRD组与对照组A、对照组B相比血流密度均较低,差异均有统计学意义(均为 $P < 0.05$ )。RRD组深层视网膜血管丛、脉络膜毛细血管层黄斑区血流密度与BCVA均存在一定的正相关( $r = 0.629、0.654$ ,均为 $P = 0.000$ ),浅层视网膜血管丛黄斑区血流密度与BCVA没有表现出相关性( $P =$

0.103)。

表2 三组各层黄斑区血流密度量化值 ( $\bar{x} \pm s$ )

分层	RRD组	对照组A	对照组B
浅层视网膜血管丛	0.422 4±0.089 3	0.469 3±0.112 5	0.561 9±0.053 7
深层视网膜血管丛	0.483 6±0.074 8	0.550 0±0.074 0	0.611 2±0.035 2
脉络膜毛细血管层	0.527 1±0.039 0	0.546 2±0.034 3	0.562 6±0.030 4

### 3 讨论

视网膜从两个不连续的血管系统接受营养:视网膜中央动脉血管系统和脉络膜血管系统,正常的血液循环对于视网膜功能维持至关重要,因此,研究眼部的血流状况对了解 RRD 的发病机制具有重要意义,也可能有助于我们改善目前的治疗方法。

目前有关活体组织视网膜血流信息的检测技术有多种,如传统的荧光素眼底血管造影和吲哚青绿血管造影,其应用于观察视网膜微循环的价值毋庸置疑,但也存在有创、可能导致严重并发症、重复性差及不易量化分析等缺陷。另外,无创眼血流测量技术主要包括激光多普勒、彩色多普勒超声波等。然而,这些技术均有其局限性。激光多普勒技术容易受固视、屈光间质及聚焦等的影响,并且不能分层量化血流;而彩色多普勒超声波仅能应用于眼动脉等大血管的观察,无法检测视网膜小血管及毛细血管情况。近年来,OCTA 作为一种新型的无创、三维、能分层量化血流信息的血管成像技术快速发展,为研究 RRD 提供了更多客观依据,使在活体组织中量化眼血流的广泛应用成为可能<sup>[11-13]</sup>。

2015 年,有研究通过 OCTA 检查发现黄斑区血流密度随年龄发生变化<sup>[14]</sup>,为避免年龄因素影响结果,本研究将 RRD 组患者和对照组 B 的年龄均选为 36~72 岁,RRD 组为(48.4±12.3)岁,对照组 B 为(48.1±10.4)岁,差异无统计学意义;考虑眼轴长度可能影响视网膜和脉络膜血流量,故入选眼的眼轴长度均小于 27 mm,且差异无统计学意义;本研究 RRD 患眼是在视网膜复位稳定 1 a 无硅油等玻璃体填充物状态下,并且最终资料显示 RRD 患眼与两个对照眼之间眼压差均没有超过 3 mmHg(统计学分析结果也证实了组间眼压差异均无统计学意义),因此可排除玻璃体内填充物和眼压差异对眼血流状态可能造成的影响。本研究也排除了其他眼底疾病和视网膜结构异常对 BCVA 的影响。虽然,对照组 A 中有 33 眼(78.6%)行周边部视网膜激光光凝治疗,但是其在 Enhanced HD Line 模式下 OCTA 检查均未发现明显的视网膜微结构异常,且 BCVA≥0.8,因此可考虑其对黄斑区血流无明显影响。再者,设立了正常眼为对照组 B,也排除了异质性可能造成的结果偏倚,更加充分地说明了形态学上显示视网膜解剖结构复位良好的患者,其血流量却没有完全恢复。本研究结果发现,RRD 患眼浅层视网膜血管丛、深层视网膜血管丛及脉络膜毛细血管层黄斑区血流密度均降低,但其确切机制目前尚不清楚。由于视网膜血管调节受神经递质、代谢产物、血氧浓度、眼压、眼内填充物等多种因素影响,因此,我们推测 RRD 机械性分离过程、视网膜复位手术过程、术后硅油填充状态及眼球构象的改变等多种或复合因素均可能引起视网膜和脉络膜血管的损伤、变形、闭塞和循环障

碍,导致血流量降低<sup>[15]</sup>。其中,脉络膜毛细血管层血流量明显减少也与既往文献报道的 RRD 患眼较对侧眼和正常眼平均脉络膜厚度降低的结论一致<sup>[16]</sup>,进一步证实了主要由血管构成的脉络膜的厚度可以反映脉络膜的供血状态,即脉络膜越薄,视网膜供血供氧的状态越差。2016 年,IWASE 等<sup>[17]</sup>通过激光散斑图像发现视网膜脱离术前视盘血流量降低,术后随时间延长血流量逐渐增加,但无法完全恢复,这与本研究结果类似,但是,该文献研究的是一个整体,即仅针对视盘的全层血流量研究,缺乏进一步分层量化分析。从眼血管系统分析,不同层面视网膜血流供应来源不同。本研究分层分析,按照软件自定义范围,发现 RRD 患眼浅层视网膜血管丛、深层视网膜血管丛和脉络膜毛细血管丛血流密度均低于对照组 A 和对照组 B,提示 RRD 复位术后,视网膜和脉络膜血液循环均无法完全恢复,处于缺血缺氧状态,不能满足光感受器细胞活跃的代谢活动需求,从而影响了视力恢复。本研究中黄斑区微结构形态学未见明显异常,但 BCVA 仍不能恢复至视网膜脱离前,这也与 AZARMINA 等<sup>[18]</sup>通过全视野视网膜电图发现视网膜电生理功能仍低于正常眼的结果相一致。2014 年,刘刚等<sup>[19]</sup>应用多焦视网膜电图也发现视网膜脱离复位术后 6 个月黄斑区反应波 N1、P1 的振幅密度仍低于正常对照组,潜伏期仍较正常对照组延长,黄斑区视功能的恢复时间长,甚至部分视功能损伤可能是不可逆的。

另外,本研究发现 RRD 复位术后脉络膜毛细血管层血流密度与 BCVA 存在正相关性,血流密度越高,BCVA 相对越好,这与黄银花等<sup>[16]</sup>发现 RRD 复位术后脉络膜越厚视力提高程度越高相一致。分析其机制可能是视锥、视杆细胞周围无血管区所需的液体、盐及代谢物质等主要是从脉络膜毛细血管经视网膜色素上皮细胞向光感受器运送,脉络膜厚度较薄,其血流密度则较低,光感受器获得的各营养物质减少,影响了视觉形成过程中细胞内触发的一系列化学变化,导致视网膜神经元发生凋亡,以致影响视功能。因此,外层视网膜功能的重建及中心视力的恢复主要与脉络膜状态有关。本研究结果还显示,深层视网膜血管丛血流密度与 BCVA 存在相关性,提示视网膜血流状态对视功能恢复也至关重要,这可能与位于深层视网膜的第二神经元受血流量影响有关。综上,我们也可推测术后尽早及较长时间采用改善视网膜和脉络膜血液循环的药物,可能有利于患者视功能的恢复<sup>[20]</sup>。本研究中浅层视网膜血管丛血流密度与术后 BCVA 没有表现出相关性,可能是因为光感受器细胞主要位于外层视网膜,相比于其他视网膜神经元,其更容易受环境改变的影响,具体机制尚待进一步研究。当然,本研究样本量少,并且目前因缺乏商用软件对血流密度统一算法,导致结果差异较大,因此,本研究结论有待 OCTA 设

备处理软件进一步完善后再验证。OCTA 作为新兴血管成像技术,为研究 RRD 复位术后眼底血流状态提供了更多客观依据,有助于指导术后治疗方法。

## 参考文献

- [1] D'AMICO DJ. Primary retinal detachment[J]. *N Engl J Med*, 2008, 359(22):2346-2354.
- [2] AZARMINA M, MORADIAN SAZARMINA H. Electoretinographic changes following retinal reattachment surgery[J]. *Ophthalmic Vis Res*, 2013, 8(4):321-329.
- [3] SMITH AJ, TELANDER DG, ZAWADZKI RJ, CHOI SS, MORSE LS, WERNER JS, et al. High-resolution fourier-domain optical coherence tomography and microperimetric findings after macula-off retinal detachment repair[J]. *Ophthalmology*, 2008, 115(11):1923-1929.
- [4] WAKABAYASHI T, OSHIMA Y, FUJIMOTO H, MURAKAMI Y, SAKAGUCHI H, KUS-AKA S, et al. Foveal microstructure and visual acuity after retinal detachment repair:imaging analysis by fourier-domain optical coherence tomography[J]. *Ophthalmology*, 2009, 116(3):519-528.
- [5] SHIMODA Y, SANO M, HASHIMOTO H, YOKOTA Y, KISHI S. Restoration of photoreceptor outer segment after vitrectomy for retinal detachment[J]. *Am J Ophthalmol*, 2010, 149(2):284-290.
- [6] ITOH Y, INOUE M, RII T, HIRAOKA T, HIRAKATA A. Significant correlation between visual acuity and recovery of foveal cone microstructures after macular hole surgery[J]. *Am J Ophthalmol*, 2012, 153(1):111-119.
- [7] SRINIVASAN VJ, MONSON BK, WOJTKOWSKI M, BILONICK RA, GORCZYNSKA I, CHEN R, et al. Characterization of outer retinal morphology with high-speed, ultrahigh-resolution optical coherence tomography[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008, 49(4):1571-1579.
- [8] LEWIS GP, LINBERG KA, FISHER SK. Neurite outgrowth from bipolar and horizontal cells after experimental retinal detachment[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1998, 39(2):424-434.
- [9] MERVIN K, VALTER K, MASLIM J, LEWIS G, FISHER S, STONE J. Limiting photoreceptor death and deconstruction during experimental retinal detachment:the value of oxygen supplementation[J]. *Am J Ophthalmol*, 1999, 128(2):155-164.
- [10] WEI WB, WANG Q. The general knowledge and essentials of optical coherence tomographic angiography[J]. *Chin J Ophthalmol*, 2017, 53(5):396-400.  
魏文斌,王倩. 光学相干层析血流成像的读片常识及要点[J]. 中华眼科杂志, 2017, 53(5):396-400.
- [11] LIU L, JIA Y, TAKUSAGAWA HL, PECHAUER AD, EDMUNDS B, LOMBARDI L, et al. Optical coherence tomography angiography of the peripapillary retina in glaucoma[J]. *JAMA Ophthalmol*, 2015, 133(9):1045-1052.
- [12] YU J, JIANG C, WANG X, ZHU L, GU R, XU H, et al. Macular perfusion in healthy Chinese: an optical coherence tomography angiogram study[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015, 56(5):3212-3217.
- [13] JIA Y, BAILEY ST, HWANG TS, MCCLINTIC SM, GAO SS, PENNESI ME, et al. Quantitative optical coherence tomography angiography of vascular abnormalities in the living human eye[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2015, 112(18):E2395-2402.
- [14] AGEMY SA, SCRIPSEMA NK, SHAH CM, CHUI T, GARCIA PM, LEE JG, et al. Retinal vascular perfusion density mapping using optical coherence tomography angiography in normals and diabetic retinopathy patients[J]. *Retina*, 2015, 35(11):2353-2363.
- [15] CHEN S, HAN M, ZHANG LL, ZHANG SL, WANG LH, WEI JH. Application of confocal scanning laser Doppler retinal flow metry in the measurement of fundus blood flow parameters after retinal detachment surgery[J]. *Chin J Ophthalmol*, 2002, 38(3):140-143.  
陈松,韩梅,张珑俐,张树立,王兰惠,魏景文. 应用共焦扫描激光多普勒视网膜血流分析仪检测视网膜脱离术后患者眼底血流参数[J]. 中华眼科杂志, 2002, 38(3):140-143.
- [16] HUANG YH, ZHANG H, YE B, QIU XW, LIU Q, GAN Q. Correlation between subfoveal choroidal thickness and low vision one year after successful repair of retinal detachment[J]. *Rec Adv Ophthalmol*, 2016, 36(11):1054-1057.  
黄银花,章晖,叶波,邱新文,刘琼,淦强. 黄斑区脉络膜厚度与孔源性视网膜脱离成功手术复位后视力的相关性[J]. 眼科新进展, 2016, 36(11):1054-1057.
- [17] IWASE T, KOBAYASHI M, YAMAMOTO K, YANAGIDA K, RA E, TERASAKI H. Changes in blood flow on optic nerve head after vitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(14):6223-6233.
- [18] AZARMINA M, MORADIAN S, AZARMINA H. Electoretinographic changes following retinal reattachment surgery[J]. *J Ophthalmic Vis Res*, 2013, 8(4):321-329.
- [19] LIU G, JIA WC, WANG J, ZHANG CD. Comparisons of multifocal electroretinogram and central visual field before and after surgery in patients with rhegmatogenous retinal detachment involving the macular area[J]. *Chin J Ocul Fundus Dis*, 2014, 30(6):566-570.  
刘刚,贾万程,王静,张春娣. 累及黄斑的孔源性视网膜脱离患眼手术前后黄斑区多焦视网膜电图及中心视野比较[J]. 中华眼底病杂志, 2014, 30(6):566-570.
- [20] STONE J, MASLIM J, VALTER-KOCSI K, MERVIN K, BOWERS F, CHU Y, et al. Mechanisms of photoreceptor death and survival in mammalian retina[J]. *Prog Retin Eye Res*, 1999, 18(6):689-735.