

• 临床检验研究论著 •

# 原发性青光眼患者血清中维生素 C、维生素 E 和尿酸水平的研究

赵 雅<sup>1</sup>, 王 睿<sup>2</sup>, 田 英<sup>1</sup>, 田 莹<sup>2</sup>

(1. 西安市第一医院检验科, 陕西西安 710002; 2. 西安市第一医院眼科医院, 陕西西安 710002)

**摘 要:**目的 探讨原发性青光眼(PG)患者及健康人血清中维生素 C(VC)、维生素 E(VE)及尿酸(UA)水平的差异。方法 根据实验设计的纳入标准及剔除标准,选择 42 例 PG 患者作为研究对象,44 例健康体检者作为对照组。应用高效液相色谱法(HPLC)检测血清中 VC 的浓度,应用可见分光光度法检测 VE 的浓度,应用比色法检测血清 UA 的浓度,应用 SPSS 17.0 统计软件进行分析。结果 PG 组血清中 VC 浓度( $3.63 \pm 1.45$ ) $\mu\text{g/mL}$ ,对照组为( $5.54 \pm 1.64$ ) $\mu\text{g/mL}$ ,两组间差异有统计学意义( $P < 0.05$ );PG 组血清 VE 浓度( $4.97 \pm 0.88$ ) $\mu\text{g/mL}$ ,对照组为( $6.48 \pm 1.17$ ) $\mu\text{g/mL}$ ,两组间差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),PG 组血清中 VE 的浓度明显低于对照组;PG 组血清中 UA 浓度为( $238.45 \pm 74.72$ ) $\mu\text{mol/mL}$ ,对照组为( $266.50 \pm 81.50$ ) $\mu\text{mol/mL}$ ,两组间差异无统计学意义( $P > 0.05$ );PG 组男女之间血清 VC 浓度差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),血清 VE 浓度差异无统计学意义( $P > 0.05$ );PG 组不同年龄组之间血清 VC 浓度差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),血清 VE 浓度差异无统计学意义( $P > 0.05$ );PG 组不同眼压组之间血清 VC 浓度差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),血清 VE 浓度差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。结论 PG 患者血清中 VC、VE 的浓度明显降低。

**关键词:**青光眼; 维生素类; 尿酸; 血清

DOI:10.3969/j.issn.1673-4130.2014.01.008

文献标识码:A

文章编号:1673-4130(2014)01-0019-04

## Serum vitamin C, vitamin E and uric acid levels in patients with primary glaucoma

Zhao Ya<sup>1</sup>, Wang Rui<sup>2</sup>, Tian Ying<sup>1</sup>, Tian Ying<sup>2</sup>

(1. Department of Clinical Laboratory, First Hospital of Xi'an, Xi'an, Shaanxi 710002, China;

2. Ophthalmologic Hospital, First Hospital of Xi'an, Xi'an, Shaanxi 710002, China)

**Abstract:** **Objective** The purpose of this paper was to evaluate the levels of vitamin C, vitamin E and Uric Acid (UA) in the serum of patients with primary glaucoma (PG). **Methods** According to the inclusion and exclusion criteria, forty two patients who suffered from PG were selected as studying group and 44 healthy men as control. Serum levels of vitamin C, vitamin E and UA were measured using high performance liquid chromatography (HPLC), visible spectrophotometry and colorimetry, respectively. The results were analyzed statistically by SPSS 17.0 software. **Results** The mean serum vitamin C concentration in PG group [ $(3.63 \pm 1.45) \mu\text{g/mL}$ ] was significantly lower than that in control group [ $(5.54 \pm 1.64) \mu\text{g/mL}$ ] ( $P < 0.05$ ). The mean serum vitamin E concentration in PG group ( $4.97 \pm 0.88 \mu\text{g/mL}$ ) was significantly lower than that in control group [ $(6.48 \pm 1.17) \mu\text{g/mL}$ ] ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference between the serum UA concentration of PG group [ $(238.45 \pm 74.72) \mu\text{mol/mL}$ ] and the control group [ $(266.50 \pm 81.50) \mu\text{mol/mL}$ ] ( $P > 0.05$ ). The effects of gender on serum vitamin C ( $t = -1.002, P > 0.05$ ) and vitamin E ( $t = -0.718, P > 0.05$ ) concentrations of PG group had no statistically significance. The effects of age on serum vitamin C ( $P > 0.05$ ) and vitamin E ( $P > 0.05$ ) concentrations of PG group had no statistically significance. The effects of intraocular pressure on serum vitamin C concentration of PG group had statistically significance ( $P < 0.05$ ) while that on vitamin E concentration of PG group had no statistically significance ( $P > 0.05$ ). **Conclusion** The mean serum vitamin C and vitamin E concentrations decreased significantly in PG patients.

**Key words:** glaucoma; vitamins; uric acid; serum

青光眼(Glaucoma)是一种以特征性的视神经乳头病变和视野缺损为特征的眼病,是眼科常见的致盲性疾病之一。根据世界卫生组织于 2006 年公布的一份报告显示,全球范围内因各种原因导致的原发性青光眼已经超过了 6 600 万。青光眼的组织病理改变主要为视网膜神经节细胞(retina ganglion cells, RGCs)凋亡和轴突丧失,对于这一凋亡机制的产生还没有充分阐明。在探讨青光眼发病机制的同时,寻找新的有效的视神经保护性治疗措施,成为全世界眼科专家及众多学者的研究课题。

近年来,氧化应激(oxidative stress, OS)与原发性青光眼

发病机制的关系备受关注。青光眼患者局部及全身的抗氧化水平也有所下降。维生素 C 和维生素 E 作为体内清除氧化应激产生的自由基的重要的成分,与青光眼发病机制之间的关系还是存在一些争议。国外学者研究发现在原发性开角型青光眼(primary open-angle glaucoma, POAG)患者房水的整体抗氧化状态明显下降<sup>[1]</sup>,循环中具有抗氧化作用的还原型谷胱甘肽水平也明显下降<sup>[2]</sup>。国内有学者发现原发性闭角型青光眼(primary angle-closure glaucoma, PACG)患者房水中维生素 C 水平下降的同时氧自由基水平明显升高<sup>[3-4]</sup>。Kenya 等<sup>[5]</sup>已经证明正常眼压性青光眼(normal tension glaucoma, NTC)患者

作者简介:赵雅,女,主任检验师,主要从事实验室管理和微生物及免疫技术研究。

血清维生素 C 水平显著低于健康者。与此相反, Lee 等<sup>[6]</sup>研究发现, 与健康对照组相比, POAG 患者房水中维生素 C 水平无明显差异。Kang 等<sup>[7]</sup>报道维生素 C 的消耗与 POAG 的发病没有显著相关性。

由于房水中维生素 C 含量与血清含量呈正相关, 因此, 本研究通过检测血清维生素 C 及 E 含量变化, 探寻其在青光眼发病及病程进展中的关系。

### 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 从 2010 年 8~12 月就诊于西安市第一医院眼科医院和西安市古城眼科医院的青光眼患者中筛选符合纳入标准者作为实验组, 共 42 例; 选择自 2010 年 9~12 月于西安市第一医院体检的健康人群, 共 44 例作对照组, 不伴眼部疾患, 无眼部手术史, 无全身系统性疾病, 剔除标准同前, 并且同样接受眼压、视野、眼底等眼部检查, 结果在正常范围, 其中女 26 例, 男 18 例。

**1.2 仪器与试剂** 维生素 E 测定试剂盒: 南京建成生物工程研究所; 分光光度计: 上海分析仪器厂 VIS-723; 液相色谱仪: 岛津 LC-20AT; 奥林巴斯 AU640 全自动生化分析仪。

### 1.3 实验方法与步骤

**1.3.1 样本的采集与保存** 血液的采集: 于清晨空腹时抽取前臂静脉血 2 mL (不加抗凝剂), 室温血液自然凝固 10~20 min 后, 离心 20 min 左右 (2 000~3 000 r/min), 仔细收集上清, 置于-80 ℃冰箱保存。

### 1.3.2 检测方法

**1.3.2.1 维生素 C** 应用高效液相色谱法, 检测全部标本的维生素 C 浓度值。利用物质在两相中吸附或分配系数的微小差异而达到分离的目的。检测步骤: (1) 色谱条件: 色谱柱: Shim-pack VP-ODS 150×4.6, 流动相: 100 mmol/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, pH 3.00 紫外检测, 波长: 254 nm, 流速: 1 mL/min, 进样: 20 μL。 (2) 样品预处理: 取 0.1 mL 血清, 加入 100 g/L 偏磷酸溶液 0.034 mL, 漩涡混匀 30 s 后离心 10 min (4 000 r/min, 4 ℃), 取上清液 20 μL 进样测定。 (3) 标准工作曲线的绘制: 用电子天平准确称取维生素 C 10 mg, 溶于 50 mL 25% (v/v) 偏磷酸中, 制成维生素 C 标准储备液。用储备液配制维生素 C 系列标准溶液 0.5 μg/mL、1 μg/mL、2 μg/mL、5 μg/mL、10 μg/mL、15 μg/mL、20 μg/mL 和 25 μg/mL, 其余操作步骤同样品。

**1.3.2.2 维生素 E** 应用可见分光光度分析法, 检测全部标本的维生素 E 浓度值。检测步骤: (1) 血清正庚烷维生素 E 抽提: 用血清、应加无水乙醇 0.6 mL 后漩涡混匀 20 s (蛋白沉淀), 再分别加正庚烷 1.2 mL 漩涡混匀 1 min (充分抽提); (2) 3 000~4 000 r/min, 离心 10 min; (3) 观察试管内液分为 3 层, 将最上层正庚烷维生素 E 提取液小心抽取 0.8 mL 至新管内; (4) 显色反应: 在 3 管中分别加试剂一 0.1 mL、试剂二 0.05 mL, 混匀, 静置 5 min, 再加入试剂三 0.05 mL, 混匀 10 s, 最后加入无水乙醇各 1 mL, 混匀, 静置 2 min 后, 测定各管吸光度值; (5) 蒸馏水、标准品分别作为空白对照和标准对照; (6) 利用公式计算维生素 E 含量: 维生素 E 含量 (μg/mL) =  $\frac{OD_U - OD_B}{OD_S - OD_B} \times C_s \times N$ 。OD<sub>U</sub>: 测定管吸光度; OD<sub>S</sub>: 标准管吸光度; OD<sub>B</sub>: 空白管吸光度; C<sub>s</sub>: 标准浓度 (12 μg/mL); N: 样本测试前稀释倍数。

**1.3.2.3 尿酸** 应用比色法, 通过全自动生化分析仪检测全部标本的尿酸浓度值。

**1.4 统计学处理** 全部数据采用 SPSS 17.0 统计软件进行处理, 计量资料以  $\bar{x} \pm s$  进行描述, 结果以  $P < 0.05$  为差别有统计学意义, 对每组样本结果做正态性检验及方差分析。实验组与对照组年龄、眼压通过独立样本  $t$  检验进行比较, 性别通过卡方检验进行比较, 维生素 C、维生素 E 及尿酸浓度通过独立样本  $t$  检验进行比较, 并对实验组内年龄、性别、眼压对维生素 C、维生素 E 血清浓度可能存在的影响进行单因素方差分析。

## 2 结果

**2.1 实验组与对照组临床特征的统计分析** 实验组和对照组的年龄、眼压 (双眼中取高值) 通过独立样本  $t$  检验进行均数比较, 结果见表 1。实验组与对照组中的男女性别构成比是否有差别通过四格表卡方检验进行比较, 结果见表 2。

表 1 实验组与对照组年龄、眼压比较

项目	实验组	对照组	$t$	$P$
年龄 (岁)	61.5 ± 10.1	61.7 ± 9.2	-0.087	0.931
眼压 (mm Hg)	44.7 ± 13.0	16.7 ± 2.4	14.022	0.000

$P < 0.05$  表示差异有统计学意义, 此结果表明两组之间年龄无显著差异, 眼压差异有统计学意义。

表 2 实验组和对照组性别构成比

性别	实验组	对照组	$\chi^2$	$P$
男	18	18	0.034	0.855
女	24	26		

$P < 0.05$  表示差异有统计学意义, 此结果表明两组之间性别构成差异无统计学意义。

**2.2 3 种检测指标的统计分析** 全部测量结果经检验均符合正态分布且方差齐。通过独立样本  $t$  检验对实验组与对照组的 3 种检测指标进行均数比较, 统计分析的结果表明实验组与对照组之间血清维生素 C、维生素 E 的浓度值差异显著, 具有统计学意义, 而两组之间血清尿酸浓度值差异无统计学意义, 结果见表 3。

表 3 实验组与对照组维生素 C、维生素 E 及尿酸浓度的比较

项目	实验组	对照组	$t$	$P$
维生素 C (μg/mL)	3.63 ± 1.45	5.54 ± 1.64	-5.732	0.000
维生素 E (μg/mL)	4.97 ± 0.88	6.48 ± 1.17	-6.768	0.000
尿酸 (μmol/L)	238.45 ± 74.72	266.50 ± 81.50	-1.661	0.010

$P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

**2.3 性别、年龄及眼压对实验组内血清维生素 C、维生素 E 浓度影响的统计分析**

**2.3.1 性别对组内维生素 C、维生素 E 浓度影响** 通过独立样本  $t$  检验考察实验组内性别不同对血清维生素 C、维生素 E 浓度水平的影响。将实验组分为男、女两组, 经检验这两组的维生素 C、维生素 E 浓度值服从正态分布且方差齐。 $t$  检验结果见表 4。

**2.3.2 年龄对组内维生素 C、维生素 E 浓度影响** 通过方差分析考察实验组内年龄的不同对血清维生素 C、维生素 E 浓度

水平的影响。将实验组分为小于 50 岁、50~70 岁、大于 70 岁 3 组,经检验,这 3 组的血清维生素 C、维生素 E 浓度值服从正态分布且方差齐。进行方差分析,结果见表 5。

表 4 实验组内性别对维生素 C、维生素 E 浓度影响的 *t* 检验

维生素	实验组		<i>t</i>	<i>P</i>
	男性	女性		
维生素 C(μg/mL)	3.37±1.24	3.82±1.58	-1.002	0.322
维生素 E(μg/mL)	4.85±0.98	5.05±0.81	-0.718	0.477

*P*<0.05 表示差异有统计学意义,表明在实验组内,性别不同,血清维生素 C、维生素 E 浓度值差异无统计学意义。

表 5 实验组内年龄对维生素 C、维生素 E 浓度影响的方差分析

组别 (岁)	<i>n</i>	维生素 C (μg/mL)	<i>F</i>	<i>P</i>	维生素 E (μg/mL)	<i>F</i>	<i>P</i>
<50	6	3.83±1.14	1.661	0.203	4.94±1.06	0.774	0.468
50~70	29	3.80±1.38			5.06±0.92		
≥70	7	2.73±1.78			4.60±0.51		

*P*<0.05 表示差异有统计学意义,表明在实验组内,年龄不同,血清维生素 C、维生素 E 浓度值差异无统计学意义。

**2.3.3 眼压对组内维生素 C、维生素 E 浓度影响** 通过方差分析考察实验组内眼压的不同对血清维生素 C、维生素 E 浓度水平的影响。将实验组分为小于 40 mm Hg、40~50 mm Hg 和大于 50 mm Hg 3 组,经检验这 3 组的血清维生素 C、维生素 E 浓度值服从正态分布且方差齐。进行方差分析,结果见表 6。

表 6 实验组内眼压对维生素 C、维生素 E 浓度影响的方差分析

组别 (mm Hg)	<i>n</i>	维生素 C	<i>F</i>	<i>P</i>	维生素 E	<i>F</i>	<i>P</i>
<40	19	4.25±1.43	5.350	0.009	4.84±0.85	0.346	0.710
40~<50	12	3.56±0.66			5.04±0.63		
≥50	11	2.63±1.61			5.11±1.18		

*P*<0.05 表示差异有统计学意义,表明在实验组内,眼压不同,血清维生素 C 浓度值差异有统计学意义,维生素 E 浓度值差异无统计学意义。

上述结果表明,根据眼压不同所分的 3 组样本中,血清维生素 C 浓度值有所差异,为明确哪些组之间有差异,我们进一步通过 LSD 法对这 3 组样本进行两两比较,结果见表 7。

表 7 实验组不同眼压分组之间维生素 C 浓度值的两两比较

因变量	眼压(mmHg)	组别	组别	均值差	<i>P</i>
维生素 C	<40	1	2	0.69	0.162
			3	1.63*	0.002
	40~<50	2	1	-0.69	0.162
			3	0.94	0.096
	≥50	3	1	-1.63*	0.002
			2	-0.94	0.096

上述结果表明眼压<40 mm Hg 组和眼压>50 mm Hg 组之间血清维生素 C 浓度值差异具有统计学意义。

3 讨论

近年来,OS 在原发性青光眼发病机制中的作用被越来越多的学者提出并且验证。OS 的产生与病理性高血压及眼部循环灌注不良之间也有明显的相关性<sup>[8-10]</sup>。OS 可以对 PG 患者的 RGCs 造成直接的氧化损伤,还可通过导致 RGCs 线粒体损伤<sup>[11]</sup>及视网膜胶质细胞活化<sup>[12]</sup>进而促进 RGCs 的凋亡<sup>[13]</sup>。OS 还可通过多种途径导致小梁网细胞损伤,引起小梁组织细胞外基质堆积,细胞骨架结构紊乱和炎性标志物释放等,最终引起房水外流受阻,这一机制在原发性开角型青光眼的发生、发展中起着重要的作用<sup>[7,14-17]</sup>。

维生素 C、维生素 E 是机体内清除氧化应激产生的自由基的重要物质,保护机体免受自由基损伤。原发性青光眼患者房水中维生素 C 含量与房水流畅系数呈正相关,即房水维生素 C 含量越高 C 值也越大。本研究发现,PG 组内,眼压高低的不同,血清维生素 C 水平差异有统计学意义。血清维生素 C 水平的降低与房水流出通路的受损程度呈正相关。而且,已有研究证明对一些青光眼患者使用维生素 C 治疗后可观察到一定程度的眼压下降<sup>[18-21]</sup>。这也佐证了维生素 C 在病理性眼压升高中的作用。

此外,本实验发现,原发性青光眼患者血清维生素 E 水平低于健康对照组,差异有统计学意义。日本学者 Yuki 等<sup>[5]</sup>却发现正常眼压性青光眼患者血清中维生素 E 水平较健康人无明显下降。此种差异,除地域、生活习惯等之外,检测标本的处理及不同病程阶段均可能影响检测结果。

Elisaf 等<sup>[22]</sup>学者指出 POAG 患者血清尿酸水平较健康对照者显著升高。Jampel 等<sup>[23]</sup>学者考察了接受小梁切除术的各种青光眼患者发现,手术不成功的患者的房水中尿酸水平较手术成功的患者有所升高。但是,本实验结果发现,原发性青光眼患者血清尿酸水平较健康人无显著差异。

青光眼的发病机制非常复杂,有众多的细胞因子参与。本实验发现原发性青光眼患者血清维生素 C、维生素 E 明显下降。眼压高低的不同,血清维生素 C 水平差异有统计学意义。其机制可能因为血清维生素 C、维生素 E 水平下降导致患者局部及全身的抗氧化能力降低,氧化刺激导致病理性眼压升高及视神经损害。对于其分子机制及临床补充维生素 C 治疗青光眼等措施仍需要进一步研究观察。

参考文献

[1] Zanon-Moreno V,Marco-Ventura P,Lleo-Perez A,et al. Oxidative stress in primary open-angle glaucoma[J]. J Glaucoma,2008,17(4):263-268.

[2] Gherghel D,Griffiths HR,Hilton EJ,et al. Systemic reduction in glutathione levels occurs in patients with primary open-angle glaucoma[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci.2005,46(7):877-883.

[3] 杨新光,方宝康,崔宁信. 青光眼房水维生素 C 含量分析[J]. 第四军医大学学报,2007,16(2):230-234.

[4] 杨新光,方宝康,崔宁信. 青光眼患者房水氧自由基的水平[J]. 第四军医大学学报,2008,29(5):521-524.

[5] Yuki K,Murat D,Kimura I,et al. Reduced-serum vitamin C and increased uric acid levels in normal-tension glaucoma[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.2010,248(2):243-248.

[6] Lee P,Lam KW,Lai M Aqueous humor ascorbate(下转第 24 页)

\*:两组之间比较差异具有统计学意义(*P*<0.05)。

黏附能力、患儿血液中溶胞素含量<sup>[7]</sup>,以及新生儿肝脏功能等諸多因素也影响着 HDN 患儿的临床症状。

ABO 系统 HDN 的发病多以母婴血型为 O-A、O-B 或 O-AB 为主。本文中母婴 O-A 血型 HDN 检出率明显高于母婴 O-B 血型,与文献报道一致<sup>[8]</sup>。因为胎儿红细胞上的 A 位点(抗原决定簇)较 B 位点多,结合抗体也相应多,故发生 HDN 的概率也相对较高。

患儿出生后标本尽早采集有利于 HDN 的检出,随着发病时间的延长,大部分致敏红细胞被溶解破坏,大部分 IgG 血型抗体被中和后以游离抗原抗体复合物形式存在而失去了反应原性,HDN 的检出率也随之降低,出生 7 d 后采集的标本 HDN 检出率会大幅降低。此外,游离抗体试验有助于观察疾病的发展趋势和治疗。因此临床标本应尽早送检,以提高检出率,减少核黄疸的发生。本研究未发现患儿性别与 HDN 发生率相关。

综上所述,HDN 对胎儿及新生儿健康和生命有极大的危害性,其发生率与母体孕期血型抗体的效价、母婴血型等有明显相关性,且另有文献报道母亲孕期血型抗体效价愈高,新生儿胆红素浓度在 24 h 内升高愈明显,对婴儿的危害愈大<sup>[9]</sup>。因此,母体孕期的产前 HDN 筛查(检测夫妇血型、孕妇不规则抗体筛查、孕期定期检测相应血型抗体效价)对 HDN 的预防至关重要,应作为优生优育检测项目来开展。同时,HDN 的检出率与标本的采集时间密切相关。因此,疑为母婴血型不合的新生儿在出生后,应及早采集其标本送检,以提高检出率,达到

早发现、早治疗的目的,尽量减低 HDN 的危害。

## 参考文献

- [1] 黄瑞英. 新生儿溶血病实验室检测研究进展[J]. 医学理论与实践, 2011, 11(12): 1410-1414.
- [2] Maisels MJ, Mcdonagh AF. Phototherapy for neonatal jaundice [J]. N Engl J Med, 2008, 357(9): 921-928.
- [3] 沈晓明, 王卫平. 儿科学[M]. 7 版. 北京: 人民卫生出版社, 2009: 114-120.
- [4] 孙悦玲, 孙红格. 孕期夫妇血型血清学检测与新生儿溶血病关系的探讨[J]. 中国优生与遗传杂志, 2006, 14(1): 59-60.
- [5] 陆莉, 赵丽, 李娟, 等. 485 例 O 型血孕妇 ABO 血型抗体效价的检测结果分析与新生儿溶血病的防治[J]. 中国妇幼保健, 2006, 23(19): 2703-2707.
- [6] Urbaniak SJ, Greiss MA. RhD hemolytic disease of the fetus and the newborn[J]. Blood Rev, 2008, 14(1): 44.
- [7] Jatil JS, Gupta SC. Role of antibody dependent cell mediated cytotoxicity in ABO hemolytic disease of the new born[J]. India J Pediatr, 2009, 62(5): 586.
- [8] 韦秋芬. 新生儿 ABO 溶血病发病相关因素分析[J]. 医学文选, 2004, 22(6): 833-835.
- [9] 韩桂珍, 王秀芳. 新生儿高胆红素血症 320 例临床分析[J]. 中国医药科学, 2013, 2(3): 151-153.

(收稿日期: 2013-08-08)

(上接第 21 页)

- concentration and open-angle glaucoma[J]. Arch Ophthalmol, 2008, 95(2): 308-310.
- [7] Kang JH, Pasquale LR, Willett W, et al. Antioxidant intake and primary open-angle glaucoma: a prospective study[J]. Am J Epidemiol, 2006, 158(2): 337-346.
  - [8] Liu Q, Ju WK, Crowston JG, et al. Oxidative stress is an early event in hydrostatic pressure induced retinal ganglion cell damage [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2007, 48(10): 4580-4589.
  - [9] Ko ML, Peng PH, Ma MC, et al. Dynamic changes in reactive oxygen species and antioxidant levels in retinas in experimental glaucoma[J]. Free Radic Biol Med, 2005, 39(3): 365-373.
  - [10] Banasiak KJ, Xia Y, Haddad GG. Mechanisms underlying hypoxia-induced neuronal apoptosis[J]. Prog Neurobiol, 2008, 70(2): 215-249.
  - [11] Zanno-Moreno V, Marco-Ventura P, Lleo-Perez A, et al. Oxidative stress in primary open-angle glaucoma[J]. J Glaucoma, 2008, 17(4): 263-268.
  - [12] Feilchenfeld Z, Yücel YH, Gupta N. Oxidative injury to blood vessels and glia of the pre-laminar optic nerve head in human glaucoma[J]. Exp Eye Res, 2008, 87(5): 409-414.
  - [13] Lehtinen MK, Yuan Z, Boag PR, et al. A conserved MST-FOXO signaling pathway mediates oxidative-stress responses and extends life span[J]. Cell, 2006, 125(7): 987-991.
  - [14] Welge-Lüssen U, Birke K. Oxidative stress in the trabecular meshwork of POAG[J]. Klin Monbl Augenheilkd, 2010, 227(2): 99-107.
  - [15] Li G, Luna C, Liton PB, et al. Sustained stress response after oxi-

native stress in trabecular meshwork cells[J]. Mol Vis, 2007, 13(20): 2282-2288.

- [16] Kinsey V. Transfer of ascorbic acid and related compounds across the blood-aqueous barrier[J]. Am J Ophthalmol, 2008, 30(10): 1262-1266.
- [17] Purcell EF, Lerner LH, Kinsey VE. Ascorbic acid in aqueous humor and serum of patients with and without cataract: physiologic significance of relative concentrations[J]. AMA Arch Ophthalmol, 2008, 51(1): 1-6.
- [18] Welge-Lüssen U, Birke K. Oxidative stress in the trabecular meshwork of POAG[J]. Klin Monbl Augenheilkd, 2010, 227(2): 99-107.
- [19] Virno M, Bucci MG, Pecori-Giraldi J, et al. Intravenous glycerol-vitamin C (sodium salt) as osmotic agents to reduce intraocular pressure[J]. Am J Ophthalmol, 2007, 62(5): 824-833.
- [20] Fishbein SL, Goodstein S. The pressure lowering effect of ascorbic acid[J]. Ann Ophthalmol, 2007, 30(6): 487-491.
- [21] Linner E. The pressure lowering effect of ascorbic acid in ocular hypertension[J]. Acta Ophthalmol (Copenh), 2008, 60(3): 685-689.
- [22] Elisaf M, Kitsos G, Bairaktari E, et al. Metabolic abnormalities in patients with primary open-angle glaucoma[J]. Acta Ophthalmol Scand, 2008, 79(1): 129-132.
- [23] Jampel HD, Moon JI, Quigley HA, et al. Aqueous humor uric acid and ascorbic acid concentrations and outcome of trabeculectomy [J]. Arch Ophthalmol, 2008, 116(2): 281-228.

(收稿日期: 2013-07-08)