

# 角膜塑形镜对周边屈光度的影响及其作用机制

陈志 瞿小妹 周行涛

**【摘要】** **目的** 研究角膜塑形镜对周边屈光度的影响及其作用机制。**方法** 自身对照研究。11名被试儿童先后在配戴角膜塑形镜前和配戴角膜塑形镜后的1个月,分别进行主观验光、角膜地形图和眼周边屈光度的测量。在进行周边屈光度测量时,被试儿童依次注视从鼻侧30°到颞侧30°的7个5 m距离远视标,用开放式红外自动验光仪分别获取6个周边屈光度和1个中心屈光度。周边屈光度减去中心屈光度即得到相对周边屈光度(RPR),然后计算配戴角膜塑形镜前后各个角度上的RPR差值。同时模拟高斯光学系统,用三角函数计算出各个测量角度相应的角膜前表面位置,读取7个位点的角膜前表面矢向屈光力,计算它们在配戴角膜塑形镜前后的差值。配戴角膜塑形镜前后的RPR值比较均采用配对 $t$ 检验,RPR差值与相应角膜前表面矢向屈光力变化值的关系采用Pearson相关分析。**结果** 配戴角膜塑形镜前,各个角度的相对周边屈光度均呈远视(鼻侧10°除外),幅度随周边角度增加而增大,表现为鼻、颞侧不对称,以颞侧屈光度更偏远视。配戴角膜塑形镜1个月后,所有角度的RPR值发生近视性漂移(鼻侧10°除外),越到周边RPR值变化越大,以颞侧更偏近视。与配戴角膜塑形镜前的RPR值相比,在鼻侧30°和颞侧10°、20°、30°,差异有统计学意义( $t=2.32, P=0.043; t=3.01, P=0.013; t=5.92, P<0.01; t=7.08, P<0.01$ )。配戴角膜塑形镜前后各个角度的RPR差值,与相应角膜前表面矢向屈光力的变化值呈显著正相关( $r=0.842, P=0.018$ )。**结论** 配戴角膜塑形镜能重塑角膜前表面形态,使中央角膜变平、中周部角膜变陡,从而使周边屈光度发生近视性漂移。

**【关键词】** 角膜塑形术; 近视; 屈光,眼,周边; 屈光,眼,角膜

**Effects of orthokeratology on peripheral refraction and its mechanism**

CHEN Zhi,

QU Xiao-mei, ZHOU Xing-tao. Department of Ophthalmology and Vision Science, Eye & ENT Hospital of Fudan University, Shanghai 200031, China

Corresponding author: ZHOU Xing-tao, Email: xingtaozhou@163.com

**【Abstract】** **Objective** To investigate the effects of orthokeratology (OK) on peripheral refraction and its working mechanism. **Methods** This was a self-controlled study. Eleven enrolled children underwent subjective refraction, corneal topography and peripheral refraction measurements before and one month after OK lens wear. Only right eyes were tested. During peripheral refraction measurements, children were required to view seven consecutive targets at a distance of 5 m from 30° nasal to 30° temporal. An infrared open-field autorefractor was used to obtain six peripheral refractions and one central refraction. The difference between peripheral refraction and central refraction was identified as the relative peripheral refraction (RPR). RPR changes at each peripheral angle were recorded. The seven corneal positions corresponding to each peripheral angle were identified by simulating the Gauss Optical System and the changes in their sagittal refractive power were recorded and calculated. RPR values before and after lens wear were compared using a paired  $t$  test. RPR changes and corresponding sagittal corneal refractive power changes were analyzed with a Pearson correlation test. **Results** RPR values were hyperopic at all peripheral angles before OK lens wear (except 10° nasal), showing asymmetry between nasal and temporal visual fields, with more hyperopia in the periphery and temporal visual field. RPR values shifted to myopia at all peripheral angles (except 10° nasal) after 1 month of OK lens wear, with higher myopia in the periphery and temporal visual field. When compared with pre-OK values, differences were statistically significant at 30° nasal and 10°,

DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2012.02.003

基金项目:国家自然科学基金资助项目(11074052)

作者单位:200031 上海,复旦大学附属耳鼻喉科医院眼科

通信作者:周行涛,Email:xingtaozhou@163.com

20°, 30° temporal ( $t=2.32$ ,  $P=0.043$ ;  $t=3.01$ ,  $P=0.013$ ;  $t=5.92$ ,  $P<0.01$ ;  $t=7.08$ ,  $P<0.01$ ). Peripheral refractive changes were significantly correlated to sagittal corneal refractive power changes ( $r=0.842$ ,  $P=0.018$ ). **Conclusion** The OK lens reshapes the anterior corneal surface, making the cornea flatter in the center and steeper in the mid-periphery, thus bringing a myopic shift to peripheral refraction.

**【Key words】** Orthokeratology; Myopia; Refraction, ocular, peripheral; Refraction, ocular, corneal

角膜塑形镜是一种逆几何多弧设计的硬性角膜接触镜,使用率以亚洲人最高<sup>[1]</sup>,不仅仅是因为它具有独特的屈光效应,而且还被证明能控制青少年近视进展。Cho 等<sup>[2]</sup>的研究结果显示,角膜塑形镜能有效延缓眼轴延长。Kakita 等<sup>[3]</sup>的研究也得到了类似的结果。

这种显著的效果是什么原因造成的,至今仍然未知。一些学者猜测,周边屈光形态可能在其中扮演了重要的角色。Smith 等<sup>[4]</sup>在猴子身上的实验,和 Rempt 等<sup>[5]</sup>对人类的前瞻性观察,提示周边屈光状态在屈光发育,尤其是在近视发生发展中起了非常重要的作用。配戴角膜塑形镜是否人为改变了周边屈光状态? Charman 等<sup>[6]</sup>通过对比配戴角膜塑形镜前后的周边屈光状态,发现角膜塑形镜不仅矫正了中心屈光度,而且使周边屈光度发生明显的近视性漂移,而这种相对近视的周边屈光状态,目前被认为有利于控制近视的进展。Mathur 和 Atchison<sup>[7]</sup>进一步肯定了 Charman 等的发现。

然而,上述的研究虽然证实了配戴角膜塑形镜确实能改变周边屈光度,那么角膜塑形镜导致的角膜前表面屈光力的改变,是否足以解释它给周边屈光度带来的变化? 本研究的目的在于探索配戴角膜塑形镜对角膜形态的影响,和角膜塑形镜对周边屈光度的作用,以及它们之间存在的相关性。

## 1 对象和方法

### 1.1 研究对象

本研究共纳入 11 例(11 眼)患者进行自身对照研究,其中男 4 例,女 7 例。入选标准为:①年龄 9~14 岁;②近视-1.00~-4.50 D,散光<-1.50 D;③角膜前表面较平子午线的屈光力为 41.50~44.50 D;④无严重眼部疾病史,2 周内未行任何眼部接触式检查(如 B 超、压平眼压检查),或配戴任何类型的角膜接触镜;⑤本研究遵守赫尔辛基宣言,筛选入组的儿童及家长在听取充分解释后签署知情同意书。

### 1.2 主要实验设备

Humphrey 角膜地形图仪(德国 Carl Zeiss 公司);WAM5500 红外自动验光仪(日本 Grand Seiko 公司);IOL-Master 光学相干测量仪(德国 Carl Zeiss

公司);RT-5100 综合验光仪(日本 Nidek 公司)。

### 1.3 角膜地形图

在配戴角膜塑形镜前和配戴角膜塑形镜 1 个月分别用 Humphrey 角膜地形图仪测量被试眼(右眼)。分析角膜前表面屈光力,从鼻侧 5 mm 到颞侧 5 mm,以 1 mm 为单位,对水平向 11 个位点的切向角膜屈光力进行记录,得到 10 个角膜周边屈光力和 1 个角膜顶点屈光力。模拟高斯光学系统,根据眼球光学节点,以 10°为单位,从鼻侧 30°到颞侧 30°,估算出各个测量角度相应的角膜前表面位置,读取 7 个位点的角膜前表面矢向屈光力。在配戴角膜塑形镜前和配戴后的 1 个月,分别测量这 7 个位点的矢向屈光力,计算它们在配戴角膜塑形镜前后的差值。

### 1.4 周边屈光度

WAM5500 是视野开放式的红外自动验光仪,允许被试者观看前方不同距离和不同角度的视标,并同时屈光度测量。测试房间内 0.75 m 台面上的水平照度为 490~510 lx,照明均匀度在 0.70 以上。测量时,被试儿童以 10°为单位,依次观看从鼻侧 30°到颞侧 30°的 7 个视标,视标为 23 cm×17 cm 大小、对比度 80%以上的 Maltese Cross,与被试眼距离恒定为 5 m。叮嘱被试儿童转头视物,并询问其是否看清视标(或看见视标轮廓),每个视标注视 6~7 s,间隔 10 s。每次测量时均用 WAM5500 红外自动验光仪对准瞳孔中心(不管瞳孔呈圆形或椭圆形)。然后用该仪器自带软件 WCS-1 的高速模式(5 Hz),连续读取 30 个数据并取平均值,计算出 6 个周边屈光度和 1 个中心屈光度,周边屈光度减去中心屈光度即为相对周边屈光度(relative peripheral refraction, RPR)。在配戴角膜塑形镜前和配戴角膜塑形镜 1 个月后,分别测量各个角度 RPR 值,然后计算配戴角膜塑形镜前后各个角度上的 RPR 差值。

### 1.5 角膜位点计算

模拟高斯光学系统<sup>[8]</sup>,以实际测得的中央前房深度(包括角膜中央厚度),和文献报道的该年龄段儿童的平均晶状体厚度<sup>[9]</sup>,计算出眼球光学前节点的平均位置。然后用三角函数分别计算出 7 个角度相应的角膜前表面位点,并记录配戴角膜塑形镜前后这些位点上的矢向屈光力差值,将其与相应角度的

RPR 差值做相关分析。

### 1.6 镜片配适

被试儿童均配戴台湾亨泰公司生产的四弧逆几何设计的角膜塑形镜(Boston XO 材料)。镜片后表面分基弧、反转弧、定位弧和周边弧四个弧度,弧度大小和宽度根据被试儿童的角膜地形图参数(角膜屈光力和形态因子)定制,镜片直径为 10.6~10.8 mm 不等,基弧区直径均为 6.0 mm。在被试儿童配戴镜片后的 1 h 和 2 h, 分别做角膜荧光染色和裂隙灯生物显微镜检查,确认角膜塑形镜呈中心定位(角膜塑形镜边缘不超出角膜缘 0.5 mm)。如镜片过松或过紧, 则按照配适建议对反转弧或定位弧进行车床微加工, 直至镜片呈良好的中心定位。被试儿童在配戴角膜塑形镜后的 1 d、1 周和 1 个月时随访, 确认镜片定位和矫正视力, 并行角膜地形图检查观察塑形效果。

### 1.7 统计学方法

采用 SPSS 13.0 统计学软件进行数据分析。配戴角膜塑形镜前后的 RPR 值比较均采用配对 *t* 检验, RPR 差值与相应角膜前表面矢向屈光力变化的关系采用 Pearson 相关分析。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

配戴角膜塑形镜前,被试儿童平均年龄(10.54±0.99)岁,被试眼平均等效屈光度(-3.06±0.79)D,平均角膜前表面切向屈光力(43.26±0.75)D,平均前房深度(3.60±0.30)mm(包括角膜中央厚度)。在配戴角膜塑形镜 1 个月后,被试眼平均等效屈光度下降至(-0.11±0.22)D,平均下降(-2.95±0.75)D。角膜顶点切向屈光力下降至(40.08±0.92)D,平均降低(3.18±0.78)D。角膜形态因子从配戴前的(0.39±0.08),重塑为配戴后的(-0.31±0.43)。角膜塑形镜的光学区平均位于鼻侧 2 mm 到颞侧 3 mm, 这区域之外角膜屈光力无显著变化(图 1)。

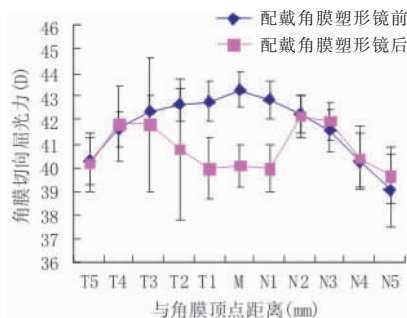


图 1 配戴角膜塑形镜前后角膜前表面切向屈光力的对比 T 为颞侧, N 为鼻侧, 其后的数字代表与角膜顶点的距离(mm)

配戴角膜塑形镜前,各个角度的 RPR 值均呈远视(鼻侧 10°除外),幅度随周边角度增加而增大,表现为鼻、颞侧不对称,以颞侧屈光度更偏远视。配戴角膜塑形镜 1 个月后,所有角度的 RPR 值发生近视性漂移(鼻侧 10°除外),越到周边 RPR 值变化越大,以颞侧更偏近视(图 2)。配戴角膜塑形镜 1 个月与配戴角膜塑形镜前的 RPR 值相比,在鼻侧 30°和颞侧 10°、20°、30°,差异均有统计学意义( $t=2.32, P=0.043; t=3.01, P=0.013; t=5.92, P<0.01; t=7.08, P<0.01$ )。配戴角膜塑形镜前后各个角度 RPR 的差值,与相应角膜前表面矢向屈光力的变化值呈显著相关( $r=0.842, P=0.018$ )。见图 3 和图 4。

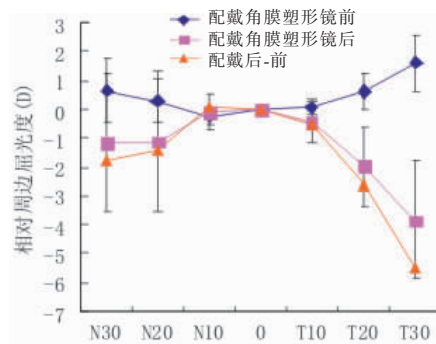


图 2 配戴角膜塑形镜前后的相对周边屈光度(RPR)及其差值 T 为颞侧, N 为鼻侧, 其后的数字代表角度大小

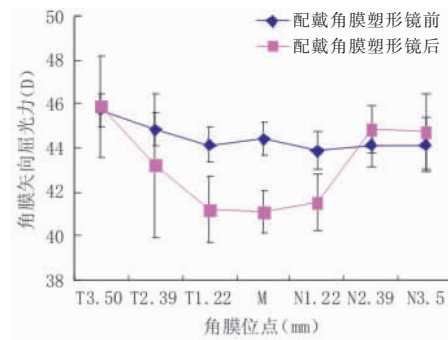


图 3 配戴角膜塑形镜前后,与鼻颞侧 7 个角度相应的角膜位点矢向屈光力的变化 T 为颞侧, N 为鼻侧, 其后的数字代表离角膜顶点距离

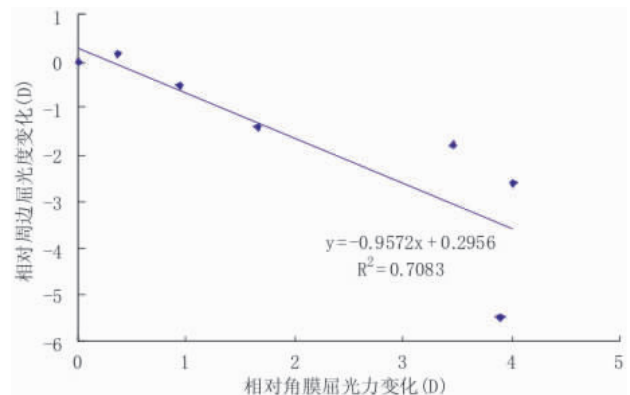


图 4 配戴角膜塑形镜前后,从鼻侧 30°到颞侧 30° 7 个角度的相对周边屈光度(RPR)变化,和相应位点的角膜矢向屈光力变化的关系

### 3 讨论

迄今为止,近视进展与周边屈光形态的因果关系尚未完全阐明。是周边屈光形态的特征决定了近视进展与否,还是近视进展导致眼球形状改变,从而影响周边屈光状态呢?有学者认为,首先是个体之间的差异,比如眼球形状和周边屈光状态的差异,导致一部分人发生近视。那些发生近视的人因为后极部眼球增长过长,而赤道部相对较短,就形成了远视化的周边屈光状态,这种周边屈光状态反过来又加速了近视进展,周而复始<sup>[10]</sup>。Rempt等<sup>[9]</sup>对一组正视的飞行员进行周边屈光状态的测量,并记录用于前瞻性研究。结果数年之后,原先周边屈光度都偏远视的人有77%最终发展成近视眼,而周边屈光度都偏近视的人只有6%发展为近视眼。那么人为干预周边屈光状态使其产生近视性离焦是否有利于控制近视进展?到目前为止,其中被认为此作用最明显、最直接的就是角膜塑形镜。本研究的目的是阐述这种现象,并试图分析其发生的机制。

Charman等<sup>[6]</sup>、Mathur和Atchison<sup>[7]</sup>先后阐述了角膜塑形镜对周边屈光状态变化的影响。从周边屈光度的变化来看,配戴角膜塑形镜1个月后,近视儿童的中央屈光度发生正视化,而周边屈光度则发生近视化,这与前述两个研究的发现非常相似。由于这两篇文献报道配戴角膜塑形镜不会对周边散光造成显著影响,因此我们采用等效屈光度计算周边屈光度。从角膜屈光力的变化分析,在配戴角膜塑形镜1个月后,角膜顶点切向屈光力平均降低 $(3.18 \pm 0.78)D$ ;角膜形态因子从配戴前的 $0.39 \pm 0.08$ ,重塑为配戴后的 $-0.31 \pm 0.43$ ,表明角膜从中央陡、周边平的形态变为中央平、周边陡的形态。虽然本研究未对角膜后表面直接进行测量,但有文献显示,配戴角膜塑形镜28 d后,角膜前表面矢向高度的变化足以解释全眼的屈光度变化<sup>[11]</sup>。为了进一步证明配戴角膜塑形镜后周边屈光度的变化是由角膜前表面形态变化造成的,就要找到角膜前表面和视网膜的相应位点做相关分析。为了匹配两者的关系,我们引入高斯光学系统<sup>[8]</sup>。

简单来说,如果把眼球比作一个高斯厚透镜系统,那么它将有二个节点,二个主平面。折射发生在透镜主平面,光线在二个主平面之间传播时方向没有任何变化。中心光线经过物体的顶点到达前节点,并由后节点穿出,沿原方向经过像的顶点。利用此原理,我们可以在任意入射角度,找到与视网膜共轭的角膜位点。眼球光学系统的前节点位于晶状体后囊

中央稍后方,具体位置因角膜屈光力、晶状体屈光力、前房深度、玻璃体腔长度和各个光学介质的折射率而异。该组儿童的角膜前表面屈光力限定在 $41.5 \sim 44.5 D$ (曲率半径 $7.58 \sim 8.13 mm$ ),前房深度标准差仅为 $0.3 mm$ 。结合文献报道的该年龄段儿童的平均晶状体厚度约 $3.40 mm$ <sup>[9]</sup>,可以推测,在被试儿童中,眼球的光学前节点位于角膜顶点后约 $7.0 mm$ 的位置。光线经过该节点后,以不变的角度从后节点出射,到达视网膜(图5)。

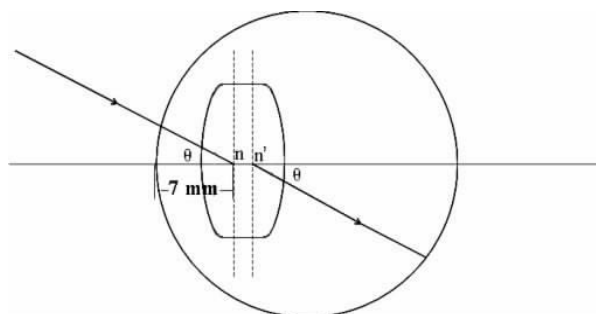


图5 高斯光学系统示意图 假设眼球存在前后两个光学节点,经过前节点的光线,以不变的角度从后节点出射。前节点位于晶状体后囊中央稍后方,离角膜顶点距离约 $7 mm$

由于前节点位置靠近角膜曲率的圆心(曲率半径 $7.58 \sim 8.13 mm$ ),在角膜中央 $8 mm$ 区域内切向屈光力变化值最大仅为 $3.0 D$ (鼻侧 $4 mm$ 与顶点差),且配戴角膜塑形镜前后,角膜中央切向屈光力仅变化 $(3.18 \pm 0.78)D$ ,与眼球总屈光力相比不到10%。因此可以近似地认为,该区域内角膜前表面上的各个位点和前节点的距离相同,为 $7 mm$ 。经计算得出,除了角膜顶点,其余6个位点分布于鼻、颞两侧,离光轴的距离约为 $1.22 mm$ ( $\sin 10^\circ$ ), $2.39 mm$ ( $\sin 20^\circ$ )和 $3.50 mm$ ( $\sin 30^\circ$ ),然后在地形图上找出相应位点的矢向屈光力值进行分析。结果发现,这7个位点的矢向屈光力变化,与相应角度的周边屈光度变化呈显著相关( $r=0.842$ ),从而证明角膜前表面的变化与周边屈光度的变化有紧密的联系。

在离鼻、颞侧反转弧最近的四个位点上(颞侧 $3 mm$ 、 $4 mm$ 和鼻侧 $2 mm$ 、 $3 mm$ ),角膜屈光力显著高于其他区域(图2)。这说明反转弧对角膜屈光力的影响,不仅限于其定位的 $0.6 \sim 0.8 mm$ 范围内,还包括其周边小范围内的角膜区域。由于每个人的角膜形态、眼睑力量、夜间睡姿等因素都存在差异,反转弧在角膜上的定位也略有不同。但是对于基弧区为 $6 mm$ 、中心定位良好的角膜塑形镜而言,水平方向的反转弧平均出现在颞侧 $3 \sim 4 mm$ 和鼻侧 $2 \sim 3 mm$ 两处,本实验证实,它们对周边屈光度造成了非常显著

的影响。

综上,配戴角膜塑形镜能重塑角膜前表面形态,使中央角膜变平、中周部角膜变陡,从而使周边屈光度发生近视性漂移。

参考文献:

[1] Swarbrick HA. Orthokeratology review and update. Clin Exp Optom,2006,89:124-143.

[2] Cho P, Cheung SW, Edwards M. The longitudinal orthokeratology research in children (LORIC) in Hong Kong: a pilot study on refractive changes and myopic control. Curr Eye Res,2005,30:71-80.

[3] Kakita T, Hiraoka T, Oshika T. Influence of overnight orthokeratology on axial elongation in childhood myopia. Invest Ophthalmol Vis Sci,2011,52:2170-2174.

[4] Smith EL 3rd, Kee CS, Ramamirtham R, et al. Peripheral vision can influence eye growth and refractive development in infant monkeys. Invest Ophthalmol Vis Sci,2005,46:3965 -

3972.

[5] Rempt F, Hoogerheide J, Hoogenboom WP. Peripheral retinoscopy and the skiagram. Ophthalmologica,1971,162:1-10.

[6] Charman WN, Mountford J, Atchison DA, et al. Peripheral refraction in orthokeratology patients. Optom Vis Sci,2006,83:641-648.

[7] Mathur A, Atchison DA. Effect of orthokeratology on peripheral aberrations of the eye. Optom Vis Sci,2009,86:E476-484.

[8] Paul R-E, John PW. Vaughan & Asbury's general ophthalmology. 16th ed. Asia: McGraw-Hill Education Co.,2006:711.

[9] Shih YF, Chiang TH, Lin LL. Lens thickness changes among schoolchildren in Taiwan. Invest Ophthalmol Vis Sci,2009,50:2637-2644.

[10] Mutti DO, Sholtz RI, Friedman NE, et al. Peripheral refraction and ocular shape in children. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2000,41:1022-1030.

[11] Swarbrick HA, Wong G, O'Leary DJ. Corneal response to orthokeratology. Optom Vis Sci,1998,75:791-799.

(收稿日期:2011-05-18)  
(本文编辑:季魏红)

中华眼视光学与视觉科学杂志第一届编辑委员会成员名单

顾问: 杨雄里 陈霖 谢立信 黎晓新 赵家良 赵堪兴 葛坚 姚克

总编辑: 瞿佳

副总编辑 (以姓氏汉语拼音为序):

范先群 刘祖国 吕帆 孙兴怀 王宁利 许迅 杨培增 阴正勤

编委委员 (以姓氏汉语拼音为序):

白继 毕宏生 陈晓明 陈有信 陈跃国 程凌云 崔浩 戴虹 董方田 董晓光 樊映川 范先群  
 高前应 顾扬顺 管怀进 郭海科 郝燕生 何伟 何明光 何守志 黄丽娜 黄翊彬 黄振平 惠延年  
 贾亚丁 亢晓丽 雷博 李莹 李建军 李筱荣 李毓敏 廖荣丰 刘晓玲 刘奕志 刘祖国 卢奕  
 吕帆 马景学 马志中 瞿佳 瞿小妹 沈晔 沈丽君 施明光 史伟云 宋鄂 孙乃学 孙兴怀  
 孙旭光 汤欣 唐罗生 唐仕波 汪辉 王薇 王雁 王丽娅 王宁利 王勤美 王雨生 韦企平  
 魏锐利 魏世辉 魏文斌 夏晓波 肖利华 谢培英 邢怡桥 徐亮 徐格致 徐国兴 许迅 颜华  
 晏晓明 杨培增 杨亚波 杨智宽 叶剑 叶娟 阴正勤 余敏斌 原慧萍 袁援生 袁志兰 曾骏文  
 张凤 张丰菊 张劲松 张军军 张卯年 张铭志 张清炯 张作明 赵东卿 赵明威 赵培泉 赵云娥  
 周翔天 周行涛 朱豫 朱思泉

香港地区及海外编委 (以姓氏英文字母为序):

Jack Holladay(美国) John Marshall(英国) Frank Schaeffel(德国) Frank Thorn(美国) Mark Tso(美国)  
 George O. Waring(美国) George Woo(香港) Maurice Yap(香港) Terri L. Young(美国) 何世坤(美国)  
 胡诞宁(美国) 蒋百川(美国) 王光霖(美国)

荣誉编委 (以姓氏汉语拼音为序):

陈祖基 褚仁远 方春庭 郭静秋 郭希让 何秀仁 胡聪 蒋幼芹 李镜海 李美玉 李子良 宋慧琴  
 孙葆忱 王竞 王思慧 王文吉 吴中耀 徐艳春 张士元 赵红梅