

- 9 Bassi C, Marchegiani G, Dervenis C, *et al.* The 2016 update of the International Study Group (ISGPS) definition and grading of postoperative pancreatic fistula: 11 years after[J]. *Surgery*, 2017, 161(3): 584 – 591
- 10 Clancy TE, Ashley SW. Pancreaticoduodenectomy (Whipple operation)[J]. *Surg Oncol Clin N Am*, 2005, 14(3): 533 – 552
- 11 Bardol T, Delicque J, Hermida M, *et al.* Neck transection level and postoperative pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy: a retrospective cohort study of 195 patients[J]. *Int J Surg*, 2020, 82: 43 – 50
- 12 Gatta A, Verardo A, Bolognesi M. Hypoalbuminemia[J]. *Intern Emerg Med*, 2012, 7 Suppl 3: S193 – S199
- 13 Fujiwara Y, Shiba H, Shirai Y, *et al.* Perioperative serum albumin correlates with postoperative pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *Anticancer Res*, 2015, 35(1): 499 – 503
- 14 张博林, 徐新建. C 反应蛋白与白蛋白比值预测胰腺癌患者预后价值的 meta 分析[J]. *中国普外基础与临床杂志*, 2022, 29(3): 345 – 352
- 15 Bhatti I, Peacock O, Lloyd G, *et al.* Preoperative hematologic markers as independent predictors of prognosis in resected pancreatic ductal adenocarcinoma; neutrophil – lymphocyte versus platelet – lymphocyte ratio[J]. *Am J Surg*, 2010, 200(2): 197 – 203
- 16 Sakamoto T, Yagyu Y, Uchinaka EI, *et al.* Predictive significance of C – reactive protein – to – albumin ratio for postoperative pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *Anticancer Res*, 2019, 39(11): 6283 – 6290
- 17 Cui N, Tong H, Li Y, *et al.* Role of prealbumin in predicting the prognosis of severely and critically ill COVID – 19 patients[J]. *Am J Trop Med Hyg*, 2021, 105(3): 718 – 726
- 18 Zhou J, Hiki N, Mine S, *et al.* Role of prealbumin as a powerful and simple index for predicting postoperative complications after gastric cancer surgery[J]. *Ann Surg Oncol*, 2017, 24(2): 510 – 517
- 19 王盼兴, 王海江, 刘家煌, 等. 术前纤维蛋白原与前白蛋白比率与胃癌患者长期预后的相关性分析[J]. *西安交通大学学报: 医学版*, 2021, 42(4): 569 – 573
- 20 Lee JL, Oh ES, Lee RW, *et al.* Serum albumin and prealbumin in calorically restricted, nondiseased individuals: a systematic review [J]. *Am J Med*, 2015, 128(9): 1023. e1 – 22
- 21 Gruppo M, Angriman I, Martella B, *et al.* Perioperative albumin ratio is associated with post – operative pancreatic fistula[J]. *ANZ J Surg*, 2018, 88(7 – 8): E602 – E605

(收稿日期: 2022 – 03 – 30)

(修回日期: 2022 – 04 – 16)

微滴式数字 PCR 与荧光定量 PCR 对真皮间充质干细胞增殖及凋亡相关基因检测的比较研究

赵子葳 李俊琴 李新华

摘要 目的 比较微滴式数字 PCR(droplet digital PCR, dd – PCR)和实时荧光定量 PCR(real – time fluorescence quantitative PCR, RT – qPCR)对真皮间充质干细胞(dermal mesenchymal stem cell, DMSC)增殖及凋亡相关指标检测的敏感度。方法 利用 dd – PCR 和 RT – qPCR 分别对寻常型银屑病患者和健康对照者真皮间充质干细胞(dermal mesenchymal stem cell, DMSC)的增殖及凋亡活性相关指标进行检测。**结果** dd – PCR 和 RT – qPCR 检测结果显示,银屑病 DMSC 的增殖(PCNA 及 CDK4)和凋亡活性相关指标(caspase – 3)表达水平均较对照组降低,两种方法结果具有高度一致性;但 dd – PCR 使用的 cDNA 模板浓度为 RT – qPCR 的 0.01 倍。**结论** 对于 DMSC 分子活性检测而言,dd – PCR 和 RT – qPCR 具有相似的准确性,但 dd – PCR 敏感度较高,故在模板量受限的情况下,可以优先选择 dd – PCR。

关键词 微滴式数字 PCR 荧光定量 PCR 间充质干细胞 银屑病

中图分类号 R319 **文献标识码** A **DOI** 10.11969/j.issn.1673-548X.2023.03.013

Comparative Study of Droplet Digital PCR and Real – time Fluorescence Quantitative PCR for the Detection of Proliferation and Apoptosis – related Genes in Dermal Mesenchymal Stem Cell. ZHAO Ziwei, LI Junqin, LI Xinhua. *School of Public Health, Shanxi Medical University, Shanxi 030001, China*

基金项目:中央引导地方科技发展专项资金项目(YDZX20191400004470);山西省医学重点科研项目(2020XM20)

作者单位:030001 太原,山西医科大学公共卫生学院(赵子葳、李新华);030009 山西医科大学附属太原中心医院皮肤科、免疫性皮肤病干细胞重点实验室(李俊琴、李新华)

通信作者:李新华,电子邮箱:tylixinhua@sina.com

Abstract Objective To compare the sensitivity between droplet digital PCR (dd-PCR) and real-time fluorescence quantitative PCR (RT-qPCR) on the proliferation and apoptosis-related indexes of dermal mesenchymal stem cell (DMSC). **Methods** The proliferation and apoptosis-related indexes of dermal mesenchymal stem cell (DMSC) from patients with psoriasis vulgaris and controls were examined using dd-PCR and RT-qPCR, respectively. **Results** The results of both dd-PCR and RT-qPCR showed the expression levels of proliferation (PCNA and CDK4) and apoptosis-related indicators (caspase-3) of psoriasis DMSC were reduced compared with the control group, and the results of both methods were consistent; however, the concentration of cDNA template used in the dd-PCR method was RT-qPCR 0.01-fold. **Conclusion** For the detection of molecular activity of DMSC, dd-PCR and RT-qPCR have similar accuracy, but dd-PCR is more sensitive, so dd-PCR can be preferred when the amount of template is limited.

Key words Droplet digital PCR; Real-time fluorescence quantitative PCR; Dermal mesenchymal stem cells; Psoriasis

银屑病全球累计患病率为 0.09% ~ 5.10%，而我国银屑病患病率为 0.12% ~ 1.49%^[1,2]。银屑病是一种慢性复发性、毁容性、免疫紊乱性疾病，且目前国际上没有可以治愈的方法，因此严重影响患者的身心健康。对银屑病发病机制与转归的研究对提高患者的生活质量具有重要的意义。间充质干细胞(mesenchymal stem cell, MSC)是一种具有自我更新及多谱系分化潜能的成体干细胞，可调节自身免疫，目前已广泛应用于自身免疫性疾病的治疗^[3,4]。真皮来源的间充质干细胞(dermal mesenchymal stem cell, DMSC)是皮肤局部微环境中的 MSC，对皮肤局部免疫具有重要的调节作用。本课题组对银屑病 DMSC 进行了 10 余年研究，表明银屑病患者 DMSC 在生物学活性、细胞因子分泌水平、免疫调节等方面都具有疾病特征^[5-7]。因此，对银屑病 DMSC 进行深入研究将为银屑病发病机制与治疗的研究提供重要的理论依据。

笔者在研究中发现对于一些表达量很低的基因(如开关基因、转录因子)，由于 DMSC 的干细胞特性，在 DMSC 中表达量会更低，因此使用目前常用的实时荧光定量 PCR(real-time fluorescence quantitative PCR, RT-qPCR)往往无法检测。微滴式数字 PCR(droplet digital PCR, dd-PCR)是一种新兴的核酸分子绝对定量技术，该技术可以直接获得 DNA 分子的拷贝数^[8]。因此，为了给间充质干细胞分子活性检测的方法选择提供理论指导，本研究以增殖和凋亡活性相关指标检测为例，比较了 dd-PCR 与 RT-qPCR 的准确性与敏感度。

材料与方法

1. 研究对象:收集临床和病理确诊为寻常型银屑病患者皮损 5 例,对照组选自 5 例同期在泌尿外科及整形外科进行手术的健康志愿者皮肤,所有志愿者均除外银屑病等免疫相关性疾病。本研究已取得山西医科大学附属太原中心医院医学伦理学委员会批准

(伦理学审批号:2021003),且所有患者均知情同意。

2. 主要试剂与仪器:DMEM-F12 培养基购自美国 Thermo Fisher 公司;胎牛血清、Dispase 酶 II、胰蛋白酶、碱性成纤维细胞生长因子(basic fibroblast growth factor, bFGF)购自美国 Sigma 公司;实时荧光定量 PCR 仪购自美国 ABI 公司;PCR RT Master Mix 反转录试剂盒、SYBR premix EX Taq II 荧光定量 PCR 试剂盒购自日本 TaKaRa 公司;数字 PCR 系统 DropX-2044HT[PCR 扩增仪(SG-2000)和生物芯片阅读仪(Dscanner4-1000)]、数字 PCR 芯片购自苏州锐讯生物科技有限公司;油相包裹试剂(染料法)购自苏州锐讯生物科技有限公司等。

3. DMSC 的分离与培养:按照本实验室以前描述的方法分离和培养 DMSC^[9]。无菌条件下切取皮肤标本,制成大小为 1mm³ 的组织块,25% Dispase 酶 4℃ 消化 14~16h,分离真、表皮,收集真皮部分,加入 DMEM/F12 培养基,进一步将真皮组织剪碎,吸管反复吹打,筛网过滤,滤过液 1000r/min 离心 8min 弃上清,沉淀中加入含 10% 胎牛血清、B27 添加剂(10μg/ml)的 DMEM/F12 培养基 5ml,以 1.0 × 10⁵/cm² 密度接种于 T25 培养瓶内,置于 37℃、5% CO₂ 饱和温度培养箱中孵育,72h 后全量换液弃去悬浮细胞,继续培养贴壁细胞,后每 3~4 天全量换液 1 次。倒置显微镜观察细胞生长情况,待细胞融合 90% 以上时,用 0.25% 胰酶消化传代。细胞传至第 3 代后,收获细胞。细胞经形态学观察和分子表面标志鉴定为 MSC。

4. 总 RNA 提取及 cDNA 合成:采用 Trizol 法手工提取 DMSC 的总 RNA,检测 RNA 纯度及浓度,将 RNA 反转录合成 cDNA^[10]。

5. RT-qPCR 检测:RT-qPCR 反应体系为 10μl,包括 SYBR premix EX Taq II 5μl,ROX Reference Dye 0.2μl,10μmol/L 上下游引物各 0.2μl,cDNA 模板 1μl,ddH₂O 3.4μl。扩增条件为 95℃ 预变性

2min,95℃变性 30s,60℃退火 30s,70℃延伸 30s,共 40 个循环。以 β -actin 为内参进行扩增,每个样品设 3 个复孔,得到每个样品的 CT 值,采用相对定量方法($2^{-\Delta\Delta Ct}$)进行结果分析。荧光定量引物及序列见表 1。

6. dd-PCR(染料法)检测:dd-PCR(染料法)反应体系为 95 μ l,包括 SYBR premix EX Taq II 10 μ l,

10 μ mol/L 上下游引物各 1 μ l,cDNA 模板 2 μ l,ddH₂O 6 μ l,油相包裹试剂 75 μ l。PCR 扩增条件为 95℃预变性 10min,95℃变性 30s,58℃退火 30s,72℃延伸 30s,共 40 个循环;98℃酶灭活 10min,20℃冷却 5min。该方法为绝对定量,不需要内参,不进行重复实验。采用生物芯片阅读仪分析结果,设置 FAM 通道,选择和编辑扫描样品,加载和扫描芯片。引物及序列见表 1。

表 1 各目标基因引物序列

引物名称	引物序列(5'→3')	温度(℃)	产物长度(bp)
β -actin	上游引物:CTACAATGAGCTGCGTGTGGC	60	271
	下游引物:CAGGTCCAGACGCAGGATGGC		
Bcl-2	上游引物:CCGCTACCGCCGCGACTTC	60	313
	下游引物:AAACAGAGGCCGATGCTG		
caspase-3	上游引物:AAATACCAGTGGAGGCCGAC	60	109
	下游引物:ATGGCACAAAGCGACTGGAT		
ki-67	上游引物:GGGCAATCCTGTCGCTTAAT	60	77
	下游引物:GTTATGGCCTTGGGAACCT		
PCNA	上游引物:CCTGCTGGGATATTAGCTCCA	60	109
	下游引物:CAGCGGTAGGTGTCGAAGC		
CDK4	上游引物:TTGCATCGTTCACCGAGATC	60	103
	下游引物:CTGCTAGCTGTAGATTCTGGCCA		

7. RT-qPCR 数据的获取与计算:从荧光定量 PCR 仪上直接读取每个样品的 CT 值(包括检测指标与 β -actin),以相应样本 β -actin 的 CT 值为内参计算该样本的 ΔCt 值(计算公式: $\Delta Ct = Ct_{A_{指标}} - Ct_{\beta-actin}$),随后以对照组为对照计算该指标的 $\Delta\Delta Ct$ (计算公式: $\Delta\Delta Ct = \Delta Ct_{银屑病} - \Delta Ct_{对照}$),最后采用相对定量方法($2^{-\Delta\Delta Ct}$)进行检测指标的表达结果分析。

8. dd-PCR 数据的获取与计算:使用生物芯片阅读仪对 dd-PCR 芯片进行扫描,可得到液滴总数(channel#FAM)、阳性液滴数(positives)以及拷贝数(copies/ μ l)。本研究中所有涉及的 dd-PCR 反应液滴生成数均在 10000~20000,符合 dd-PCR 泊松分布的统计学原理,保证了后续分析结果的准确性。

9. 统计学方法:应用 SPSS 22.0 统计学软件对数据进行统计分析。符合正态分布的计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用两独立样本 *t* 检验;不符合正态分布的计量资料以中位数(四分位数间距)[*M*(*Q*₁,*Q*₃)]表示,组间比较采用两独立样本 *Wilcoxon* 秩和检验,以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. dd-PCR 检测范围的确定:本研究用 dd-PCR 检测 DMSC 的增殖及凋亡活性相关指标,将 5 个

基因的 cDNA 模板浓度进行 10 倍浓度梯度稀释,对不同浓度的 cDNA 模板进行 dd-PCR 检测。结果显示,当 dd-PCR 和 RT-qPCR 的 cDNA 模板处于同一检测浓度(100ng/ μ l)时,dd-PCR 处于曝光状态,进行 PCR 扩增产生的液滴全部为阳性液滴,超出了检测上限;将 dd-PCR 的 cDNA 模板浓度降低为 RT-qPCR 的 0.01 倍,可得出所需结果。随基因组模板浓度降低,检测结果的变异系数提高,故 dd-PCR 的最高检测浓度为 RT-qPCR 的 10^{-2} ,模板浓度降低时需提高模板量来提高结果的准确性。

2. dd-PCR 检测结果:dd-PCR 液滴总数 \geq 10000 即可进行后续分析,数据可用。与对照组比较,银屑病患者 DMSC 增殖相关基因 ki-67mRNA 的表达水平略增高,但差异无统计学意义(*P* > 0.05);PCNAmRNA 和 CDK4mRNA 表达水平降低,但差异无统计学意义;抑凋亡基因 Bcl-2mRNA 表达水平增加,促凋亡基因 caspase-3mRNA 表达水平下降,但差异无统计学意义(*P* > 0.05),详见表 2、图 1、图 2。

3. RT-qPCR 检测结果:与对照组比较,银屑病组 DMSC 增殖相关基因 ki-67、PCNA 及 CDK4mRNA 表达水平分别为对照组的 0.79 倍、0.76 倍、0.34 倍;抑凋亡基因 Bcl-2 和促凋亡基因 caspase-3 的 mRNA 表达水平分别为对照组的 0.56 倍和 0.50 倍,银

表 2 dd-PCR 与 RT-qPCR 检测银屑病组及对照组 DMSC 的 mRNA 表达 [$\bar{x} \pm s, M(Q1, Q3)$]

项目	dd-PCR (copies/ μ l)				RT-qPCR			
	对照组	银屑病组	<i>t/z</i>	<i>P</i>	Δ Ct		$2^{-\Delta\Delta$ Ct}	<i>P</i>
					对照组	银屑病组		
增殖基因								
ki-67	866.2 \pm 629.9	946.6 \pm 758.5	-0.182	0.860	4.56 \pm 1.04	6.18 \pm 3.27	0.79	0.682
PCNA	930.8 \pm 786.4	675.2 \pm 705.5	0.541	0.603	7.63 \pm 0.95	7.97 \pm 0.88	0.76	0.917
CDK4	636.5 \pm 806.5	270.5 \pm 229.3	0.976	0.377	8.96 \pm 2.17	9.41 \pm 0.84	0.34	0.530
凋亡基因								
Bcl-2	1.9 \pm 0.9	3.6 \pm 1.7	-1.923	0.091	14.10 \pm 2.42	13.59 \pm 0.58	0.56	0.339
caspase-3	488.0(19.5,512.5)	54.6(23.5,161.5)	-0.731	0.465	9.33 \pm 1.57	9.75 \pm 0.55	0.50	0.465

屑病组 DMSC 增殖及凋亡相关基因表达水平较对照组低,但差异无统计学意义 ($P > 0.05$),详见表 2、图 1、图 2。

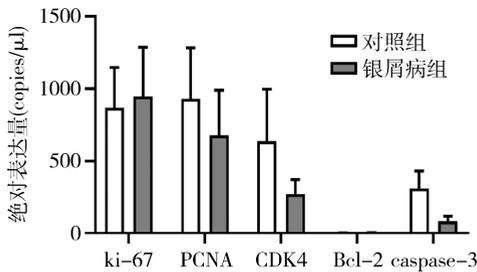


图 1 dd-PCR 检测银屑病组及对照组 DMSC 的 mRNA 表达

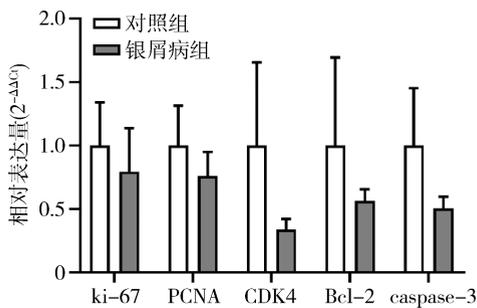


图 2 RT-qPCR 检测银屑病组及对照组 DMSC 的 mRNA 表达

讨 论

dd-PCR 是继普通 PCR 和 RT-qPCR 之后的第 3 代 PCR 技术。该技术将含有核酸模板的 PCR 反应体系分配到成千上万个反应器中进行扩增,根据泊松分布原理可以直接得出核酸的拷贝数,实现了绝对定量。相比于 RT-qPCR,dd-PCR 的结果不依赖于 CT 值,具有敏感度高、准确性高、重现性好等优点,在国外已被用于临床检测^[11]。

本实验采用 RT-qPCR 和 dd-PCR 比较了银屑病病者和健康对照者 DMSC 的增殖和凋亡相关指标。

RT-qPCR 与 dd-PCR 检测结果均显示,银屑病病患者增殖(PCNA、CDK4)及凋亡(caspase-3)活性相关指标均较对照组降低,两种检测方法显示很高的一致性。Wang 等^[12]研究显示,银屑病患者 DMSC 低表达 miR-31,导致 EMP1 和 RBMS1 表达水平增加,从而抑制 DMSC 的增殖活性,使其处于低增殖状态。Castro-Manrreza 等^[5]和 Zhao 等^[13]的研究结果也表明,银屑病患者 DMSC 处于低增殖状态。本课题组既往基于细胞层面的研究结果同样显示银屑病患者 DMSC 的凋亡活性降低^[14]。与该实验的分子层面研究结果一致。但是,也有研究表明,与健康对照者比较,银屑病患者 DMSC 凋亡率增加^[6]。

本研究中银屑病组 DMSC 增殖(PCNA、CDK4)及凋亡(caspase-3)活性相关指标均较对照组降低,与既往对银屑病患者 DMSC 增殖及凋亡活性的研究结果一致,表明 RT-qPCR 与 dd-PCR 对 DMSC 的分子活性检测均具有较高的准确性。本实验中 dd-PCR 使用的样品 cDNA 浓度仅为 RT-qPCR 中样品浓度的 0.01 倍,证实 dd-PCR 敏感度高于 RT-qPCR,而且 dd-PCR 对样品中的核酸进行绝对定量检测,结果分析不依赖于内参,操作简单,数据可靠。

本研究中 dd-PCR 与 RT-qPCR 的检测结果一致性较高,只有抑凋亡基因 Bcl-2 和增殖相关基因 ki-67mRNA 的检测结果不一致。分析原因可能为 RT-qPCR 依赖于与内参的比较分析,借助荧光曲线的 CT 值来相对定量分析靶基因的 mRNA 表达水平,在模板浓度较低、样品背景复杂、引物浓度较低及退火温度设置不合理等情况下,其检测的敏感度、准确性等受到限制。

综上所述,对于 MSC 分子活性检测而言,dd-PCR 和 RT-qPCR 具有相似的准确性,但 dd-PCR 敏感度较高,故在模板量受限的情况下,可以优先选择 dd-PCR。

参考文献

1 Boehncke WH, Schön MP. Psoriasis [J]. Lancet, 2015, 386 (9997): 983-994

2 Michalek IM, Loring B, John SM. A systematic review of worldwide epidemiology of psoriasis[J]. J Eur Acad Dermatol Venereol, 2017, 31(2): 205-212

3 Fu X, Liu G, Halim A, et al. Mesenchymal stem cell migration and tissue repair[J]. Cells, 2019, 8(8): 784

4 Xu J. Therapeutic applications of mesenchymal stem cells for systemic lupus erythematosus[J]. Adv Exp Med Biol, 2018, 1089: 73-85

5 Castro-Manrreza ME, Bonifaz L, Castro-Escamilla O, et al. Mesenchymal stromal cells from the epidermis and dermis of psoriasis patients: morphology, immunophenotype, differentiation patterns, and regulation of T cell proliferation[J]. Stem Cells Int, 2019, 2019: 4541797

6 Hou R, Liu R, Niu X, et al. Biological characteristics and gene expression pattern of bone marrow mesenchymal stem cells in patients with psoriasis[J]. Exp Dermatol, 2014, 23(7): 521-523

7 Liu R, Yang Y, Yan X, et al. Abnormalities in cytokine secretion from mesenchymal stem cells in psoriatic skin lesions[J]. Eur J Dermatol, 2013, 23(5): 600-607

8 Kojabad AA, Farzanehpour M, Galeh HEG, et al. Droplet digital PCR of viral DNA/RNA, current progress, challenges, and future perspectives[J]. J Med Virol, 2021, 93(7): 4182-4197

9 李娟, 梁见楠, 焦娟娟, 等. 银屑病患者皮损间充质干细胞生长缓慢的原因探讨[J]. 山西医药杂志, 2018, 47(5): 502-505

10 田胜男, 苏静芬, 向志光, 等. 两种核酸提取方法对小鼠诺如病毒 RNA 提取效能的比较[J]. 中国比较医学杂志, 2013, 23(9): 57-60

11 赵治国, 崔强, 赵林立, 等. 微滴数字 PCR 技术应用进展[J]. 中国生物工程杂志, 2017, 37(6): 93-96

12 Wang Q, Chang W, Yang X, et al. Levels of miR-31 and its target genes in dermal mesenchymal cells of patients with psoriasis[J]. Int J Dermatol, 2019, 58(2): 198-204

13 Zhao X, Xing J, Li J, et al. Dysregulated dermal mesenchymal stem cell proliferation and differentiation interfered by glucose metabolism in psoriasis[J]. Int J Stem Cells, 2021, 14(1): 85-93

14 常文娟, 赵新程, 李娇, 等. 银屑病皮损间充质干细胞 IGFBP3 和 TNFSF15 mRNA 的表达[J]. 中国皮肤性病学杂志, 2018, 32(3): 258-262

(收稿日期: 2022-04-12)

(修回日期: 2022-04-24)

学龄期儿童不同直径范围内角膜非球面性特征的研究

郭燕 琺霄慧 夏哲人 郑穗联

摘要 **目的** 应用 Pentacam 眼前节分析仪测量学龄期儿童角膜形态, 分析我国学龄期儿童在不同直径范围内角膜前表面 Q 值的分布特点。**方法** 采用横断面研究方法, 选取 2018 年 10 月~2019 年 12 月于温州医科大学附属第二医院育英儿童医院眼科门诊就诊的 6~13 岁的学龄期儿童 242 例, 按右眼等效球镜不同将其分成中度近视组 ($n=41$)、低度近视组 ($n=93$)、正视组 ($n=64$)、低度远视组 ($n=26$)、中度远视组 ($n=18$); 应用 Pentacam 眼前节分析仪获得 6~10mm 直径范围内的角膜前表面 Q 值, 分析不同屈光组不同范围内角膜前表面 Q 值的差异和相关性。**结果** 学龄期儿童 6、7、8、9、10mm 直径范围的角膜前表面平均 Q 值分别为 -0.30 ± 0.14 、 -0.34 ± 0.13 、 -0.37 ± 0.14 、 -0.41 ± 0.14 、 -0.44 ± 0.12 , 差异有统计学意义 ($F=42.263, P<0.001$), 角膜直径距离与角膜前表面 Q 值呈负相关 ($r=-0.350, P<0.001$)。中度近视组、低度近视组、正视组学龄期儿童在 6~10mm 直径范围内的角膜前表面 Q 值比较, 差异均有统计学意义 (P 均 <0.001), 中度远视组、低度远视组学龄期儿童在 6~10mm 直径范围内的角膜前表面 Q 值比较, 差异均无统计学意义 (P 均 >0.05)。各屈光组在 6~9mm 直径范围内的角膜前表面 Q 值比较, 差异均有统计学意义 (P 均 <0.001), 均与等效球镜呈负相关 (6mm: $r=-0.300, P<0.001$; 7mm: $r=-0.271, P<0.001$; 8mm: $r=-0.249, P<0.001$; 9mm: $r=-0.206, P<0.001$), 各屈光组在 10mm 直径时的角膜前表面 Q 值趋于一致 ($P>0.05$)。**结论** 学龄期儿童角膜前表面非球面性随着距角膜中心距离的增大而增大; 在 6~9mm 直径范围内的角膜前表面非球面性随着等效球镜的增大而增大, 10mm 直径时各屈光组非球面性趋于一致。

关键词 角膜非球面性 直径 学龄期儿童 屈光不正

中图分类号 R779.7

文献标识码 A

DOI 10.11969/j.issn.1673-548X.2023.03.014

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目 (LGF21H120006); 浙江省台州市科技计划项目 (1901ky74)

作者单位: 325000 温州医科大学附属第二医院育英儿童医院 (郭燕、夏哲人、郑穗联); 324000 温州医科大学附属衢州医院 (琺霄慧)

通信作者: 郑穗联, 电子邮箱: doctorlily@foxmail.com