DOI: 10.14188/j.1671-8852.2025.1298

角膜塑形镜对儿童青少年低中度近视患者脉络膜结构和微循环的影响

龚　奇　余露润　张灿灿　鲁　翼　段欧文　周炼红
武汉大学人民医院眼科中心　湖北　武汉　430060

摘要　目的：探讨角膜塑形（OK）镜对低中度近视青少年脉络膜结构和微循环的影响，分析不同近视程度患者的响应差异。方法：前瞻性纳入54例8～15岁低中度近视患者（低度近视组：－0.50 D≤SE＜－3.00 D，n＝31；中度近视组：－3.00 D≤SE＜－6.00 D，n＝23），监测戴镜1周、1月、3月、6月及1年后的眼轴长度（AL）及黄斑区9扇区（直径分别为1、3、6 mm的同心圆）的脉络膜厚度（ChT）与三维脉络膜血管指数（3D-CVI）变化，对比组间差异。结果：两组患者各时间点AL增长量无显著差异（P＞0.05）。两组患者各时间点各区域ChT均增厚（P＜0.001），中度近视组ChT增厚量更高，两组患者均在外环颞侧（OT）的ChT变化量最大，外环鼻侧（ON）的脉络膜厚度变化量最小。两组患者各时间点各区域3D-CVI均提升（P＜0.001），但组间无差异，两组患者均在外环下方（OI）的3D-CVI变化量最大，中央凹（C）处的3D-CVI变化量最小。结论：OK镜对低度近视和中度近视患者在AL和3D-CVI的变化量方面无显著差异，但在ChT变化量方面中度近视患者增厚量较低度近视患者多。

关键词　近视；OK镜；脉络膜；SS-OCTA
中图分类号　R778.11　　**文献标志码**　A

The influence of orthokeratology lenses on the choroidal structure and microcirculation of adolescent patients with low to moderate myopia

GONG Qi, YU Lurun, ZHANG Cancan, LU Yi, DUAN Ouwen, ZHOU Lianghong
Eye Center, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, Hubei, China

Abstract

Objective: To investigate the effects of orthokeratology (Ortho-K) on choroidal structure and microcirculation in adolescents with low to moderate myopia and to analyze response differences based on myopia severity. **Methods:** This prospective study enrolled 54 adolescents (aged 8-15 years) with low to moderate myopia. Participants were divided into a low myopia group (spherical equivalent [SE]: －0.50 D to －3.00 D, n＝31) and a moderate myopia group (SE: －3.00 D to －6.00 D, n＝23). Axial length (AL) and macular choroidal parameters, including choroidal thickness (ChT) and the three-dimensional choroidal vascularity index (3D-CVI), were measured at baseline and after 1 week, 1 month, 3 months, 6 months, and 1 year of Ortho-K lens wear. ChT and 3D-CVI were assessed within nine macular sectors defined by concentric circles of 1 mm, 3 mm, and 6 mm diameter centered on the fovea. Intergroup differences were analyzed. **Results:** The increase in AL over time showed no significant difference between the two groups at any follow-up point (P＞0.05). Both

课题来源：湖北省卫生健康委员会科研项目（编号：WJ2023Z006）；湖北省重点研发计划项目（编号：2022BCA044）；武汉大学人民医院交叉创新人才项目（编号：JCRCGW-2022-007）。
作者简介：龚奇，男，2000—，医学硕士生，主要从事近视防控、儿童眼病的研究，E-mail:1181569613@qq.com。
通信作者：周炼红，E-mail:2935292648@qq.com。

groups exhibited a significant increase in ChT across all macular sectors and time points compared to baseline ($P<0.001$). The magnitude of ChT increase was significantly greater in the moderate myopia group than in the low myopia group. The greatest increase in ChT occurred in the outer temporal (OT) sector for both groups, while the smallest increase occurred in the outer nasal (ON) sector. 3D-CVI significantly increased from baseline in all sectors and at all time points for both groups ($P<0.001$). However, there was no significant difference in the magnitude of 3D-CVI increase between the two groups. The greatest increase in 3D-CVI occurred in the outer inferior (OI) sector for both groups, while the smallest increase occurred in the central foveal (C) sector. **Conclusion:** Orthokeratology demonstrated comparable efficacy in controlling axial elongation and increasing 3D-CVI in adolescents with both low and moderate myopia. However, adolescents with moderate myopia exhibited a more pronounced increase in choroidal thickness compared to those with low myopia.

Key Words Myopia; Orthokeratology; Choroid; Swept-Source Optical Coherence Tomography Angiography (SS-OCTA)

近视是全球重大公共卫生问题,流行病学研究显示,东亚青壮年人群患病率高达80%～90%,其中10%～20%发展为高度近视,显著增加视网膜脱离、脉络膜新生血管等不可逆性致盲风险[1-3]。我国青少年近视形势尤为严峻,患病率已达53.6%,且呈现低龄化、进展快的特点[4]。角膜塑形(orthokeratology,OK)镜作为目前公认有效的近视干预手段,通过重塑角膜产生周边离焦,可有效延缓眼轴长度(axial length,AL)增长[5],但其作用机制尚未明确。近年研究[6]发现,脉络膜作为连接视网膜与巩膜的血管层,其厚度与血流变化可能是近视调控的关键环节。目前研究[7]表明,OK镜可短期内增厚脉络膜,但脉络膜的长期动态变化以及在不同近视程度患者中这种变化是否存在差异尚存在争议,本研究采用扫频光学相干断层扫描血管成像(swept-source optical coherence tomography angiography,SS-OCTA)技术,纵向观察OK镜对低中度近视青少年脉络膜结构及微循环的影响,旨在为临床近视防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 一般资料

1.1.1 纳入对象 收集2024年1月至2024年5月在武汉大学人民医院就诊并使用OK镜治疗的青少年低中度近视患者54例。根据等效球镜度(Spherical Equivalent,SE)的值(SE=球镜度数+1/2散光度数),将患者分为低度近视组(−0.50 D≤SE<−3.00 D)和中度近视组(−3.00 D≤SE<−6.00 D)两组。其中男性患者33例(61.11%),女性患者21例(38.89%),年龄为8～15岁,平均(11.19±1.97)岁,SE为−0.75～−6.00 D,平均(−2.57±1.15) D,最佳矫正视力(Best corrected visual acuity, BCVA)均大于或等于1.0。纳入标准:年龄为8～15岁;SE为−0.75～−5.75 D,散光≤1.50 D;双眼BCVA>1.0,受试者眼部健康,无其他眼部疾病或者风险性高的全身疾病。

1.2 方法

1.2.1 OK镜的验配 OK镜的验配前检查:由同一眼科医生评估患者是否符合OK镜的验配标准并采用标准片验配法进行OK镜的验配。纳入的患者每晚戴镜6～8 h,均能够定期随访复查且在戴镜期间未出现角膜炎症等眼表疾病。

1.2.2 眼科检查 研究中的所有受试者都接受了以下的眼部检查,这些检查由同一特检医师和验光师负责完成。(1)视力检查:采用国际标准对数视力表评估受试者在站立在5 m远处时的裸眼视力和最佳矫正视力。(2)屈光度检查:通过使用复方托吡卡胺滴眼液进行散瞳,每隔5 min滴眼1次,共滴5～6次。在休息15 min后,再次进行电脑验光,通过多次测量取平均值。(3)眼压检查:采用非接触式眼压计进行眼压测量。(4)AL检查:使用眼生物测量仪(IOL-Master500,Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany)非接触方式测量受检者的AL。(5)角膜地形图检查:采用角膜地形图仪测定受试者在配戴OK镜前后的角膜形态特征。(6)SS-OCTA检查:系统自动采集黄斑区脉络膜图像,记录黄斑区脉络膜参数,包括脉络膜厚度(Choroidal Thickness,ChT)和三维脉络膜血管指数(Three-dimensional Choroidal Vascular Index,3D-CVI)。系统内置算法将黄斑区

ChT、3D-CVI分割成直径分别为1 mm（中心凹）、3 mm（内环）和6 mm（外环）的同心圆。记录中心凹区域（centre，C）、内环颞侧（inner temporal，IT）、内环上方（inner superior，IS）、内环鼻侧（inner nasal，IN）、内环下方（inner inferior，II）、外环颞侧（outer temporal，OT）、外环上方（outer superior，OS）、外环鼻侧（outer nasal，ON）和外环下方（outer inferior，OI）9个扇区内的ChT和3D-CVI。

1.3　统计学方法　所有数据均采用SPSS 27.0进行统计描述和分析。计量资料均经Shapiro-Wilk检验证实符合正态分布，以均值±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示。分类资料采用卡方检验进行分析。对于两组间的计量资料比较，若方差齐，则使用独立样本t检验进行分析；若方差不齐，则使用Mann-Whitney U非参数检验进行分析；对于同组内前后多次测量的计量资料比较采用重复测量方差分析。所有数据以$P<0.05$为差异具有统计学意义。

2　结果

2.1　一般资料分析　本研究共纳入54例（54眼）青少年低中度近视患者，其中低度近视组31例；中度近视组23例。其中男性患者33例（61.11%），女性患者21例（38.89%）；年龄为8～15岁，平均（11.19±1.97）岁。两组间性别无明显差异（$P>0.05$）。中度近视组年龄、等效球镜度绝对值和AL较低度近视组更大，差异有统计学意义（$P<0.05$），见表1。

表1　近视患者基线资料

项目	总数（n=54）	低度近视组（n=31）	中度近视组（n=23）	P
年龄/岁	11.19±1.97	10.45±1.65	12.17±1.97	0.001
男/女	33/21	20/11	13/10	0.551
等效球镜度/D	−2.57±1.15	−1.73±0.62	−3.71±0.59	<0.001
AL/mm	24.73±0.97	24.28±0.75	25.35±0.90	<0.001

2.2　AL分析　将低度近视组和中度近视组在戴镜后1周、1月、3月、6月和1年的AL进行比较。任何一次测量中，中度近视组内受试者的AL均较低度近视组内受试者长，差异均有统计学意义（均为$P<0.001$），见表2。在任何一次测量中，两组的AL变化量均无明显差异（$P>0.05$），以最后一次随访（1年）来看，中度近视组最终的AL变化量较低度近视组小，见表3。

2.3　黄斑区脉络膜参数变化分析

2.3.1　组内戴镜前后ChT的差异　在低度近视组中，接受OK镜治疗前，基线ChT在IT处最厚[（284.86±62.31）μm]，在ON处最薄[（186.80±42.83）μm]。对戴镜前后各时间点ChT进行重复测量方差分析，结果显示，与戴镜前相比，戴镜后各个方位ChT均增加，差异均有统计学意义（$P<0.05$），见表4。在中度近视组中，接受OK镜治疗前，基线ChT在IT处最厚[（277.00±54.29）μm]，在ON处最薄[（196.18±43.04）μm]。对戴镜前后各时间点ChT进行重复测量方差分析，结果显示，与戴镜前相比，戴镜后各个方位不同时间点的ChT均增加，差异均有统计学意义（$P<0.05$），见表5。

表2　AL测量结果

测量时间	AL/mm 低度近视组（n=31）	AL/mm 中度近视组（n=23）	t	P
基线	24.280±0.750	25.350±0.900	−4.763	<0.001
1周	24.300±0.790	25.320±0.910	−4.389	<0.001
1月	24.290±0.750	25.370±0.910	−4.775	<0.001
3月	24.310±0.750	25.390±0.910	−4.794	<0.001
6月	24.310±0.750	25.400±0.910	−4.784	<0.001
1年	24.320±0.770	25.390±0.920	−4.618	<0.001
F	12.048	17.401		
P	<0.001	<0.001		

表3　AL变化量结果

测量时间	AL变化量/mm（相比基线） 低度近视组（n=31）	AL变化量/mm（相比基线） 中度近视组（n=23）	t	P
1周	0.027±0.016	−0.029±0.027	0.186	0.853
1月	0.018±0.030	0.022±0.027	−0.518	0.607
3月	0.031±0.032	0.040±0.031	−1.016	0.314
6月	0.038±0.040	0.049±0.034	−1.002	0.321
1年	0.049±0.051	0.042±0.045	0.568	0.573

2.3.2　组内戴镜前后3D-CVI的差异　在低度近视组中，接受OK镜治疗前，基线3D-CVI在C处最大（0.360±0.095），在ON处最小（0.235±0.098）。对戴镜前后各时间点3D-CVI进行重复测量方差分析，结果显示，与戴镜前相比，戴镜后各个方位3D-CVI均增加，差异均有统计学意义（$P<0.05$），见表6。

在中度近视组中，接受OK镜治疗前，基线3D-CVI同样在C处最大（0.350±0.098），在ON处最小（0.224±0.102）。对戴镜前后各时间点3D-CVI进行重复测量方差分析，结果显示，与戴镜前相比，戴镜后各个方位不同时间点的3D-CVI均较戴镜前增加，差异均有统计学意义（$P<0.05$），见表7。

表4 低度近视组ChT变化情况

区域	低度近视组ChT/μm						*F*	*P*
	基线	1周	1月	3月	6月	1年		
C	260.66±37.55	270.00±40.64	279.05±37.25	274.35±41.13	274.16±39.39	262.71±38.33	39.965	<0.001
IT	284.86±62.31	290.30±62.55	299.08±66.03	300.96±64.68	294.84±64.79	294.56±62.70	26.441	<0.001
IS	264.41±42.31	273.33±43.64	279.86±47.36	276.29±46.50	277.68±40.48	271.66±42.75	25.718	<0.001
IN	225.62±37.26	232.25±36.83	239.29±36.71	239.59±38.94	235.05±35.42	231.76±37.52	89.661	<0.001
II	261.41±41.02	271.49±45.84	278.12±42.23	277.64±41.35	275.04±41.61	271.88±40.85	116.812	<0.001
OT	268.41±41.32	279.36±43.10	289.51±40.83	288.45±40.78	286.29±41.93	281.69±41.39	344.084	<0.001
OS	263.20±38.83	272.61±40.39	280.11±39.64	282.11±39.86	277.09±37.98	273.74±38.73	129.925	<0.001
ON	186.80±42.83	194.92±43.70	196.38±43.04	194.68±43.52	192.82±43.24	188.27±44.67	55.654	<0.001
OI	242.94±38.54	255.44±39.03	262.81±40.31	256.30±37.84	256.57±37.17	251.44±40.74	83.682	<0.001

表5 中度近视组ChT变化情况

区域	中度近视组ChT/μm						*F*	*P*
	基线	1周	1月	3月	6月	1年		
C	264.77±41.91	278.70±43.51	288.40±44.69	280.49±45.59	284.29±45.27	279.63±47.71	64.497	<0.001
IT	277.00±54.29	289.40±55.96	301.05±57.63	297.15±58.31	297.69±56.28	297.12±55.84	61.069	<0.001
IS	266.58±44.50	285.25±43.04	284.95±43.20	280.73±48.31	283.02±49.27	277.10±43.63	28.865	<0.001
IN	228.91±41.54	240.40±42.47	243.23±39.55	245.63±41.76	244.56±42.20	240.08±42.90	121.498	<0.001
II	264.81±41.00	284.34±39.92	287.44±44.78	290.27±41.37	285.85±43.90	281.63±42.39	197.965	<0.001
OT	275.64±46.81	293.04±46.34	300.22±49.22	298.40±48.40	297.56±47.02	296.46±48.12	406.796	<0.001
OS	262.85±40.55	279.44±41.74	286.05±43.30	283.93±43.76	279.25±39.67	279.07±41.63	172.320	<0.001
ON	196.18±43.04	205.23±43.24	211.63±44.68	211.02±44.65	206.74±46.61	205.34±44.43	125.499	<0.001
OI	245.39±41.94	263.27±42.54	264.36±42.74	265.80±40.79	259.96±43.42	260.12±41.54	90.782	<0.001

表6 低度近视组3D-CVI变化情况

区域	低度近视组3D-CVI						*F*	*P*
	基线	1周	1月	3月	6月	1年		
C	0.360±0.095	0.364±0.097	0.369±0.097	0.375±0.102	0.378±0.103	0.375±0.098	12.944	<0.001
IT	0.348±0.101	0.352±0.100	0.367±0.097	0.377±0.104	0.370±0.101	0.369±0.102	22.828	<0.001
IS	0.316±0.097	0.324±0.103	0.333±0.107	0.342±0.089	0.344±0.097	0.343±0.095	18.636	<0.001
IN	0.300±0.099	0.314±0.100	0.321±0.098	0.329±0.101	0.328±0.109	0.332±0.105	34.456	<0.001
II	0.329±0.095	0.344±0.097	0.350±0.094	0.355±0.093	0.355±0.099	0.357±0.096	29.359	<0.001
OT	0.288±0.104	0.297±0.103	0.305±0.109	0.309±0.106	0.316±0.101	0.324±0.100	21.491	<0.001
OS	0.271±0.105	0.281±0.106	0.294±0.109	0.296±0.105	0.304±0.102	0.301±0.108	42.831	<0.001
ON	0.235±0.098	0.244±0.097	0.248±0.099	0.260±0.110	0.271±0.096	0.254±0.096	15.659	<0.001
OI	0.283±0.099	0.299±0.097	0.303±0.100	0.310±0.098	0.318±0.106	0.320±0.097	41.144	<0.001

表7 中度近视组3D-CVI变化情况

区域	中度近视组3D-CVI						*F*	*P*
	基线	1周	1月	3月	6月	1年		
C	0.350±0.098	0.357±0.107	0.360±0.105	0.367±0.104	0.372±0.098	0.369±0.099	15.444	<0.001
IT	0.337±0.098	0.343±0.101	0.359±0.098	0.359±0.101	0.367±0.096	0.354±0.100	16.776	<0.001
IS	0.305±0.110	0.320±0.113	0.325±0.117	0.333±0.107	0.331±0.118	0.332±0.116	14.262	<0.001
IN	0.285±0.097	0.297±0.099	0.306±0.100	0.316±0.095	0.323±0.103	0.319±0.100	29.244	<0.001
II	0.317±0.111	0.323±0.113	0.332±0.106	0.335±0.118	0.338±0.105	0.336±0.109	11.481	<0.001
OT	0.281±0.111	0.287±0.113	0.307±0.114	0.309±0.119	0.314±0.109	0.303±0.123	20.311	<0.001
OS	0.260±0.110	0.264±0.108	0.284±0.112	0.285±0.105	0.290±0.110	0.290±0.118	29.175	<0.001
ON	0.224±0.102	0.245±0.102	0.238±0.105	0.253±0.096	0.262±0.101	0.252±0.106	16.228	<0.001
OI	0.274±0.102	0.288±0.102	0.294±0.104	0.294±0.102	0.320±0.093	0.310±0.107	35.250	<0.001

2.3.3　组间戴镜前后ChT、3D-CVI变化量的差异　对两组受试者在戴镜后1周、1月、3月、6月、1年的各方位ChT与戴镜前ChT做差值d，并对所有数据进行独立样本t检验。结果显示，戴镜1年后两组受试者在OT处的ChT变化量最大，ON处的ChT变化量最小。在戴镜1年C处，戴镜1月、6月、1年IT处，戴镜6月、1年IN处，戴镜1月、3月、6月、1年II处，戴镜1月、3月、6月、1年OT处，戴镜1月、1年OS处，戴镜1月、3月、6月、1年ON处，戴镜3月、1年OI处，两组ChT变化量不同，且均为中度近视组较低度近视组ChT增加值更大，差异具有统计学意义（$P<0.05$），见表8。

表8　两组患者戴镜不同时间后ChT变化量的差异比较

/μm

指标	时长	低度近视	中度近视	t	P
dC	1年	2.05±3.28	14.86±11.85	−5.042	<0.001
dIT	1月	14.23±11.50	24.06±13.27	−2.910	0.005
dIT	6月	9.98±9.48	20.70±9.95	−4.020	<0.001
dIT	1年	9.70±7.61	20.12±9.60	−4.452	<0.001
dIN	6月	9.43±5.31	15.65±4.54	−4.521	<0.001
dIN	1年	6.15±3.78	11.17±5.30	−4.061	<0.001
dII	1月	16.71±4.66	22.63±9.40	−2.775	0.009
dII	3月	16.23±4.01	25.46±10.50	−4.003	<0.001
dII	5月	13.63±2.91	21.04±9.30	−3.686	0.001
dII	1年	10.47±0.79	16.82±7.58	−4.001	0.001
dOT	1月	21.10±5.59	24.58±6.63	−2.091	0.041
dOT	3月	20.04±3.64	22.76±5.43	−2.082	0.045
dOT	5月	17.88±3.24	21.91±5.95	−2.937	0.006
dOT	1年	13.28±1.55	20.82±5.96	−5.921	<0.001
dOS	1月	16.90±7.38	23.67±8.25	−3.165	0.003
dOS	1年	10.54±3.83	16.69±4.43	−5.456	<0.001
dON	1月	9.58±3.86	15.45±5.09	−4.628	<0.001
dON	3月	7.88±3.54	14.85±4.93	−6.049	<0.001
dON	6月	6.01±1.90	10.56±6.17	−3.421	0.002
dON	1年	1.47±4.83	9.17±5.35	−5.526	<0.001
dOI	3月	13.36±8.83	20.41±6.38	−3.403	0.001
dOI	1年	8.50±7.64	14.57±6.75	−3.758	<0.001

注：dC表示相应随访时间C区ChT较基线的变化量，其余项目依此类推，均表示相应随访时间点各分区ChT较基线的变化量。

对两组受试者在戴镜后1周、1月、3月、6月、1年的各方位3D-CVI与戴镜前3D-CVI做差值d，并对所有数据进行独立样本t检验。结果显示，戴镜1年后两组受试者在OI处的3D-CVI变化量最大，C处的3D-CVI变化量最小。在戴镜各时间点的任何方位处，两组3D-CVI变化量的差异不具有统计学意义（$P>0.05$），见表9。

表9　两组患者戴镜1年3D-CVI变化量的差异比较

指标	低度近视	中度近视	t	P
dC	0.015±0.015	0.020±0.019	−1.023	0.311
dIT	0.021±0.020	0.017±0.021	−1.290	0.203
dIS	0.027±0.022	0.027±0.028	−0.027	0.979
dIN	0.033±0.022	0.034±0.023	−0.289	0.774
dII	0.029±0.026	0.020±0.025	1.305	0.198
dOT	0.035±0.024	0.022±0.031	1.663	0.104
dOS	0.031±0.025	0.030±0.019	0.176	0.861
dON	0.019±0.027	0.028±0.029	−1.232	0.224
dOI	0.037±0.024	0.037±0.024	0.087	0.931

注：dC表示随访1年C区SD-CVI较基线的变化量，其余项目依此类推，均表示随访1年各分区SD-CVI较基线的变化量。

3　讨论

在本前瞻性队列研究中，我们对佩戴OK镜的低中度近视儿童青少年患者进行了为期1年的随访。通过连续测量AL、SE以及9个扇区的ChT和3D-CVI，我们主要发现经过OK镜治疗后，无论低度还是中度近视儿童青少年，AL均得到有效控制且两组无显著性差异；两组患者9个分区的ChT和3D-CVI均出现显著增加；与低度近视组相比，中度近视组的脉络膜增厚幅度更大，而3D-CVI的增加幅度在两组之间无显著差异。整体而言，OK镜能有效改善脉络膜的结构和微循环并抑制AL增长，其对中度近视青少年脉络膜结构的影响更为明显。

关于ChT的变化，我们观察到佩戴OK镜后1个月即出现明显增厚。中度近视组增厚幅度普遍大于低度近视组，尤其在中央凹区最为显著，且鼻侧总体比颞侧差异更显著，下方总体比上方差异更显著。这一现象与既往报道相符，ZHU等[8]研究显示，在42例佩戴OK镜的儿童中，中央凹区ChT在1周内增加约（12.61±5.90）μm，2D-CVI增加约3%；另一项回顾性研究[9]发现佩戴OK镜6个月后，中央凹区ChT增加18 μm、脉络膜毛细血管灌注面积增加0.39 mm^2，且脉络膜增厚与灌注改善呈强正相关，与AL增长呈显著负相关。本研究中，中度近视组脉络膜的增厚幅度大于低度近视组，这可能是因为中度近视患者通常需要更大的角膜塑形量，治疗区、反转弧区及周边角膜形态改变可能更明显，产生的周边近视性离焦信号更强，造成的脉络膜反应也越强。另一方面，中度近视眼相比低度近视眼的眼轴更长，后极部组织受到持续牵拉，脉络膜血管腔隙、局部灌注状态及巩膜代谢微环境可能发生适应性改变，使其对外界光学信号的变化更加敏感[10-11]。在既往一项前瞻性队列研究[12]中发现中度

近视组相比低度近视组脉络膜增厚及AL控制效果均更明显;而我们的结果进一步表明,即便AL控制效果相似,中度近视组仍可能表现出更强的脉络膜结构适应性,提示周边离焦强度可能是驱动脉络膜重塑更重要的因素。

与ChT在研究早期和中期持续增加后趋于稳定不同,本研究观察到3D-CVI在1周即出现上升,之后各时点变化幅度较小,且两组间3D-CVI的变化量差异均无统计学意义。一项短期研究[8]显示,佩戴OK镜1周时2D-CVI增加2.99%~3.01%,且血流空隙显著减少;WANG等[9]研究发现在佩戴OK镜6个月内2D-CVI出现持续升高并与脉络膜毛细血管灌注成正相关。然而,另一项前瞻性队列研究发现佩戴OK镜1个月时脉络膜的2D-CVI反而下降[13]。我们的结果更接近前两者,可能是因为研究人群为青少年且采用SS-OCTA分析整体血管腔隙体积,不易受基质浮动影响[14-15]。

与传统的2D-CVI相比,3D-CVI具有明显的方法学优势。首先,3D-CVI在体素层面整合全层体积信息,能有效稀释单一层分割误差与阈值漂移对结果的影响,因而能保持更好的稳定性与可重复性[16-17]。其次,3D-CVI基于总体腔隙体积分数而非单帧面积比例,天然具备对“基质体积轻微波动”的抵抗性,这也解释了我们观察到“3D-CVI早期上调后跨时点波动更小、组间差异不显著”的表现[18-19]。当然,3D-CVI的计算难度与对分割准确性依赖也更高,需要严格的标准化采集并保证算法的一致性。

从临床意义上来看,脉络膜是连接视网膜光学信号与巩膜重塑反应的重要环节,也是参与视网膜代谢、巩膜重塑及眼轴增长调控的重要组织。OK镜通过改变角膜形态形成周边近视性离焦,可能首先引起视网膜和脉络膜的快速反应,表现为ChT增厚及脉络膜血流灌注提高。既往研究[20-21]也提示,儿童配戴OK镜后短期内即可出现ChT增厚及2D-CVI增加,且这些改变与较慢的AL增长有关。从机制上看,脉络膜增厚可能反映了血管腔隙扩张、灌注改善及组织液体调节等综合变化,这些变化有助于改善外层视网膜和巩膜前部的代谢微环境,并可能通过影响巩膜缺氧程度、细胞外基质重塑及眼球壁生物力学状态参与眼轴增长调控[8]。从疗效评估角度来看,AL是评价近视控制效果的重要指标[22],但AL的改变通常需要较长随访才能体现,相比之下,ChT和3D-CVI等脉络膜参数在OK镜配戴早期即可发生变化,因此具有作为早期影像学预测指标的潜力。近年来也有研究[13]尝试将2D-CVI、ChT等参数变化纳入预测模型,结果提示脉络膜参数可能可以为近视控制效果的早期评估提供重要补充信息。

本研究仍存在局限,首先,样本量相对有限,且涉及多个随访时间点及黄斑九分区参数分析,可能在一定程度上影响组间比较的统计效能。尤其对于两组间未观察到显著差异的指标,如AL变化量及3D-CVI变化量,仍需谨慎解释。其次,没有分层分析脉络膜大、中、小血管及毛细血管层。同时,本研究未设置配戴普通框架眼镜的近视儿童作为对照,不能完全排除儿童生长发育、近视自然进展等因素的潜在影响。展望未来,接下来的研究可进一步扩大样本量并设置普通框架眼镜或未干预对照组,同时结合脉络膜分层血管分析、多模态影像及人工智能预测模型,探索ChT、3D-CVI等脉络膜参数在OK镜疗效早期评估和长期近视控制预测中的应用价值[23]。另外,探索周边离焦强度、压缩区宽度和瞳孔直径匹配等镜片设计对脉络膜反应的影响,有助于探索OK镜改变脉络膜结构和微循环的深入机制。我们相信,随着多模态影像和人工智能分析的发展,ChT与血流指标将成为精准预测OK镜疗效的重要生物标记,为儿童近视防控提供更科学的依据。

综上,本研究基于SS-OCTA对低、中度近视青少年开展为期一年的纵向随访,证实OK镜能够促使ChT于早期及中期显著增厚并随后趋于稳定,同时,3D-CVI在早期即出现上升,之后跨时点波动较小且两组间差异不显著。与低度近视组相比,中度近视组表现出更强的ChT可塑性,而AL延长抑制在两组之间相近。脉络膜的分区化结构和灌注表型有望作为OK镜疗效的评价指标,以阐明光学信号经脉络膜重塑而影响AL控制的因果链条。

参考文献

[1] HOLDEN B A, FRICKE T R, WILSON D A, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050 [J]. Ophthalmology, 2016, 123(5): 1036-1042.

[2] WU P C, HUANG H M, YU H J, et al. Epidemiology of myopia [J]. Asia Pac J Ophthalmol (Phila), 2016, 5(6): 386-393.

[3] MORGAN I G, FRENCH A N, ASHBY R S, et al. The epidemics of myopia: Aetiology and prevention [J]. Prog Retin Eye Res, 2018, 62: 134-149.

[4] 王会会, 张晓红, 霍俊锋, 等. 山西省四至六年级小学生近视现状及影响因素分析[J]. 中国健康教育, 2022, 38(6): 483-486,490.
WANG H H, ZHANG X H, HUO J F, et al. Prevalence and influencing factors of myopia among primary school students in grades four to six in Shanxi Province [J]. Chinese Journal of Health Education, 2022, 38(6): 483-486, 490.

[5] 唐仁香, 程宇, 郑小璐, 等. 角膜塑形镜控制青少年近视的机制研究进展[J]. 眼科新进展, 2025, 45(5): 415-420.
TANG R X, CHENG Y, ZHENG X L, et al. Research advance in the mechanisms of myopia control with orthokeratology in adolescent[J]. Rec Adv Ophthalmol, 2025, 45(5): 415-420.

[6] 隋金沅, 李昊儒, 林芳, 等. 近视防控措施干预下的脉络膜厚度与血流变化的研究进展[J]. 眼科新进展, 2024, 44(11): 903-907.
SUI J Y, LI H R, LIN F, et al. Research progress on changes in choroidal thickness and blood flow under myopia prevention and control interventions[J]. Rec Adv Ophthalmol, 2024, 44(11): 903-907.

[7] 童宇婷, 马晓琪, 周跃华. 儿童青少年佩戴角膜塑形镜后不同时间点脉络膜厚度变化的Meta分析[J]. 中医眼耳鼻喉杂志, 2023, 13(4): 185-189.
TONG Y T, MA X Q, ZHOU Y H. Meta-analysis of choroidal thickness changes at different time points in children and adolescents after wearing orthokeratology lenses [J]. J Chin Ophthalmol & Otorhinolaryngol, 2023, 13(4): 185-189.

[8] ZHU Q, ZHAO Q. Short-term effect of orthokeratology lens wear on choroidal blood flow in children with low and moderate myopia [J]. Sci Rep, 2022, 12: 17653.

[9] WANG L, LIU Y, MA M, et al. Effects of orthokeratology lenses on choroidal thickness and choriocapillaris perfusion in myopic children[J]. Front Med (Lausanne), 2025, 12: 1620042.

[10] AI X, ZHANG X, WANG R, et al. Baseline ocular biometrics in children with orthokeratology-induced axial length reduction or elongation[J]. BMC Ophthalmol, 2025, 25: 498.

[11] OSTRIN L A, SAH R P, QUEENER H M, et al. Short-term myopic defocus and choroidal thickness in children and adults[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2024, 65(4): 22.

[12] WANG Z, CHEN J, KANG J, et al. Axial length control is associated with a choroidal thickness increase in myopic adolescents after orthokeratology [J]. Eye Contact Lens, 2023, 49(12): 512-520.

[13] LI J, RONG B, ZHU L, et al. One-month changes in choroidal vascularity index of medium vessel layer in children with myopia wearing orthokeratology lenses: A predictor for one-year changes in axial length [J]. Ophthalmol Ther, 2025, 14(10): 2395-2413.

[14] TAN B, CHUA J, WONG D. Techniques for imaging the choroid and choroidal blood flow *in vivo* [J]. Exp Eye Res, 2024, 247: 110045.

[15] SPAIDE R F. Choroidal blood flow-venous anatomy and vortex system [J]. Retina, 2020, 40: 1851-1864.

[16] DI PIPPO M, SANTIA C, RULLO D. The choroidal vascularity index versus optical coherence tomography angiography in the evaluation of the choroid with a focus on age-related macular degeneration [J]. Tomography, 2023, 9: 1456-1470.

[17] MA F, BAI Y, DUAN J, et al. Validation of reliability, repeatability and consistency of three-dimensional choroidal vascular index [J]. Sci Rep, 2024, 14: 1576.

[18] CHEONGK X, TEOK Y C, THAMY C. Three-dimensional modelling of the choroidal angioarchitecture in a multi-ethnic Asian population [J]. Sci Rep, 2022, 12: 3831.

[19] ZENG Q, LUO L, YAO Y, et al. Three-dimensional choroidal vascularity index in central serous chorioretinopathy using ultra-widefield swept-source optical coherence tomography angiography [J]. Front Med (Lausanne), 2022, 9: 967369.

[20] CHEN Z, XUE F, ZHOU J, et al. Effects of orthokeratology on choroidal thickness and axial length [J]. Optom Vis Sci, 2016, 93(9): 1064-1071.

[21] YANG Y, WEI L, WANG B, et al. Effects of atropine on choroidal thickness in myopic children: A meta-analysis [J]. Front Pharmacol, 2024, 15: 1440180.

[22] WU H, PENG T, ZHOU W, et al. Choroidal vasculature act as predictive biomarkers of long-term ocular elongation in myopic children treated with orthokeratology: A prospective cohort study [J]. Eye Vis (Lond), 2023, 10(1): 27.

[23] 魏宏宇 . 重复低能量红光治疗对近视儿童黄斑区脉络膜厚度及脉络膜毛细血管血流密度的影响研究[D]. 昆明:昆明医科大学,2023.
WEI H Y. Low-level red-light therapy in myopic children improves choroid [D]. Kunming: Kunming Medical University, 2023.

(2025-11-03 收稿)
编辑　孙孝云