

高度近视眼穹顶样黄斑形成机制及其与近视性并发症的关系研究进展

李昊儒 综述 魏瑞华 审校

天津医科大学眼科医院 天津医科大学眼视光学院 天津医科大学眼科研究所 国家眼耳鼻喉疾病临床医学研究中心天津市分中心 天津市视网膜功能与疾病重点实验室,天津 300384
通信作者:魏瑞华,Email:rwei@tmu.edu.cn

【摘要】 穹顶样黄斑(DSM)多表现为高度近视眼后巩膜葡萄肿区域内黄斑区向内隆起。依据光学相干断层扫描成像检查结果,DSM 被分为垂直型、水平型和圆型,但其形成机制仍存在争议。DSM 最初被认为与低眼压及玻璃体黄斑牵拉等有关。越来越多的研究支持 DSM 是为抵抗近视进展而形成的一种适应性保护机制。但最新研究表明,黄斑隆起可能是其周围区域进行性不对称的脉络膜及巩膜变薄所致,而不是黄斑中心区主动向内隆起的结果。高度近视眼 DSM 中常伴随多种近视性并发症,导致 DSM 患眼视力下降及视功能损伤,如浆液性视网膜脱离、视网膜劈裂、脉络膜新生血管、黄斑裂孔及 Bruch 膜缺损等。DSM 与近视性并发症的因果关系尚不明确,且针对相关并发症仍无有效预防及治疗方法。本文对高度近视眼 DSM 形成机制及其与近视性并发症的关系进行总结,为探索高度近视的视觉预后及 DSM 的发病机制提供理论依据。

【关键词】 高度近视; 并发症; 光学相干断层扫描成像; 穹顶样黄斑; 形成机制

基金项目: 国家自然科学基金(82070929); 天津市医学重点学科(专科)建设项目(TJYXZDXK-037A)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20221008-00472

Advances in the formation mechanism of dome-shaped macula in highly myopic eyes and its association with myopic complications

Li Haoru, Wei Ruihua

Tianjin Key Laboratory of Retinal Functions and Diseases, Tianjin Branch of National Clinical Research Center for Ocular Disease, Eye Institute and School of Optometry, Tianjin Medical University Eye Hospital, Tianjin 300384, China
Corresponding author: Wei Ruihua, Email: rwei@tmu.edu.cn

【Abstract】 Dome-shaped macula (DSM) mostly presents as an inward bulging of the macular area within the area of posterior staphyloma in highly myopic eyes. According to the optical coherence tomography results, DSM has been classified as vertical, horizontal and round type, but its formation mechanism is still controversial. The appearance of DSM was initially thought to be associated with low intraocular pressure and vitreous macular traction. There is growing support that DSM is an adaptive protective mechanism developed to resist the progression of myopia. However, recent studies suggest that the macular bulge may be the result of progressive asymmetric choroidal and scleral thinning in the surrounding area, rather than active inward bulging of the central macula. In addition, DSM in highly myopic eyes is often accompanied by a variety of myopic complications that lead to decreased visual acuity and visual impairment in the eye with DSM, such as serous retinal detachment, retinoschisis, choroidal neovascularization, macular hole and Bruch membrane defects. However, the causal relationship between DSM and myopic complications is unclear, and there are still no effective preventive measures or treatments for related complications. This article summarizes the mechanism of DSM formation in highly myopic eyes and its association with myopic complications to provide a theoretical basis for exploring the visual prognosis of patients with high myopia and the pathogenesis of DSM.

【Key words】 High myopia; Complications; Tomography, optical coherence; Dome-shaped macula; Mechanism of formation

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82070929); Tianjin Key Medical Discipline (Specialty) Construction Project (TJYXZDXK-037A)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20221008-00472

穹顶样黄斑 (dome-shaped macula, DSM) 在光学相干断层扫描成像 (optical coherence tomography, OCT) 技术中被定义为视网膜色素上皮 (retinal pigment epithelium, RPE) 和 Bruch 膜的向内凸起, 高度高于 RPE 水平线 $50 \mu\text{m}^{[1-2]}$ 。DSM 在近视眼中比正视眼和远视眼更为常见^[3], 多表现为高度近视眼后巩膜葡萄肿区域内黄斑区的向内隆起。高度近视眼中 DSM 的患病率为 $9.3\% \sim 20.1\%^{[2,4-5]}$, 这种病理性改变在眼底生物显微镜下很难辨识。眼底照相中, 连接视盘和中心凹的水平隆起的出现及黄斑区色素沉着的存在可能是 DSM 的重要线索^[5]。随着 OCT 技术的进步, DSM 可以被清晰地辨识并描述。根据 Caillaux 等^[6]提出的分类方法将 DSM 类型分为水平型、垂直型和圆型。另有研究发现了存在于年轻患者中的脊形黄斑^[7-8]。此外, 一些无后巩膜葡萄肿的非高度近视患者也发现了 DSM 的存在^[9-11]。目前, DSM 的形成机制仍存在较大争议, 与 DSM 相关的各类近视性并发症也逐渐被发现。随着眼科医师们对 OCT 在常规视网膜检查中所起作用认识的不断提升, 以及增强深度 OCT 技术的发展, 越来越多的研究试图阐明这种复杂病理改变的发病机制及与近视性并发症, 如浆液性视网膜脱离 (serous retinal detachment, SRD) 和视网膜劈裂等的关系。本文旨在讨论及总结现有的相关文献, 对高度近视眼 DSM 的形成机制及其与近视性并发症之间关系的研究进展进行综述。

1 DSM 的形成机制

目前, 关于 DSM 的形态学描述及分类已相对完善, 但其形成机制仍不统一。早期脉络膜增厚及低眼压等被认为与 DSM 的形成有关。随着研究的进一步深入, 认为 DSM 的形成可能是对视力的一种主动代偿保护机制。近期, 有研究推论, 黄斑周围区域的脉络膜及巩膜的进行性不对称变薄是黄斑区穹顶结构形成的始动因素。

1.1 DSM 的形成与脉络膜增厚、低眼压及玻璃体黄斑牵拉有关

Caillaux 等^[6]研究显示, DSM 眼黄斑隆起高度与中心区脉络膜厚度之间呈正相关, 即中心区脉络膜越厚, DSM 的高度越高。Gaucher 等^[4]同样认为黄斑凸起是由于局限性脉络膜增厚所致, 然而该研究中吲哚菁绿血管造影并未显示出脉络膜过度灌注, 高度近视 DSM 眼中脉络膜的增厚与血流灌注可能并不同步, 这可能提示 DSM 的发展过程中存在某一中间阶段, 表现为脉络膜增厚黄斑区向内隆起而血流灌注无明显变化。另有研究发现, 脉络膜厚度与 DSM 的存在与否无明显相关性^[5], 甚至部分 DSM 患者的脉络膜厚度并无增厚反而变薄^[1], 脉络膜增厚在 DSM 形成过程中可能并不起决定性作用。Mehdizadeh 等^[12]研究认为, DSM 可能是低眼压或玻璃体黄斑牵拉的结果, 该研究提出是低眼压导致巩膜壁凹陷并向内隆起, 且高度近视眼中常见的玻璃体牵拉可导致视网膜劈裂等并发症, DSM 可能是由于眼轴增长所致的内向牵引力牵拉黄斑区向内凸起而形成的。然而随着 OCT 技术的出现, 有研究者提出他们所观察到的 DSM 患者眼压均正常, 且并未见巩膜壁的凹陷, 在 OCT 中也未见玻璃体脱离及牵引的现象^[4,9]。因此, 低眼压和玻璃体

黄斑牵拉可能并不是 DSM 的病因。

1.2 DSM 是眼球为抵抗近视进展而主动形成的保护机制

近年来, 越来越多的研究者认为 DSM 的出现是为了抵抗眼轴增长而形成的一种代偿性保护机制。Viola 等^[13]对伴和不伴有 SRD 的 DSM 患者进行了长达 4 年的随访研究, 记录了 DSM 患者在随访期间黄斑形态的改变及最佳矫正视力的变化, 发现伴有 SRD 的 DSM 患者有视网膜复位贴合的自愈倾向, 且患者的最佳矫正视力在 4 年内保持相对稳定。甚至伴有 SRD 的 DSM 患眼可呈现出 SRD 自发消退的现象^[14]。不同类型的 DSM 对合并 SRD 患眼视功能影响的研究尚不多见, 但垂直型 DSM 合并 SRD 患眼的视功能随着时间的推移同样保持相对稳定^[15]。或许可以推测任何类型 DSM 中黄斑的隆起结构均起到了一定支撑作用, 以抵抗近视进展所造成的眼球扩张, 为维持视力稳定起到了保护作用。此外, 已有多项研究报道了 DSM 眼黄斑中心凹下巩膜厚度显著增加^[5,9,16], 黄斑隆起的高度平均每年可增加 $7.39 \mu\text{m}^{[17]}$ 。Soudier 等^[14]研究表明, 随访 2 年, DSM 高度平均增加了 $25.40 \mu\text{m}$ 。巩膜厚度的增加可能是对近视进展眼轴增长的一种抵抗和代偿, 是一种试图将高度近视眼的屈光度降至最低的自身演变^[9-10,18-19]。有动物实验证明, 雏鸡在形觉剥夺后, 后极部会出现巩膜增厚的现象^[20]。一项基于高度近视伴白内障人群的研究显示, 有 DSM 眼与无 DSM 眼相比, 黄斑病变的发生率更高, 然而这些黄斑病变大多发生在黄斑中心凹以外的区域, 严重威胁视力的并发症并不多见, 且该研究表示 DSM 是高度近视患者白内障术后视力的保护因素之一^[19]。推测这样的解剖特征可以最大限度地减少高度近视眼的屈光不正, 保持相对正视性。高度近视患者眼轴增长对眼底结构的机械张力增加, 黄斑部的隆起及黄斑中心区巩膜显著增厚或许正是为了抵抗和减弱轴向的牵引力、降低近视进展对黄斑的损害而代偿性形成的保护结构。

1.3 DSM 是穹顶周围区域脉络膜及巩膜进行性不对称变薄所致的继发结果

穹顶周围区域结构的演变可能是 DSM 形成的始动因素。Dormegny 等^[17]提出, DSM 的演化是以穹顶周围区域为主的眼球不断延长所致。在平均 51.76 个月的随访时间内, 随着穹顶周围区域脉络膜的变薄, 眼轴增长与穹顶凸起高度间呈正相关, 且眼球的伸长在黄斑凸起周围比在凸起顶部更明显^[17]。黄斑凸起高度的增加可能是黄斑中心凹周围区域进行性不对称的脉络膜及巩膜变薄所致, 而不是黄斑中心区主动向内推进的结果。一项超过 2 年的纵向研究表示, 黄斑中心凹周围区域的巩膜变薄比中心区更显著, 且黄斑膨出高度增加^[16]。多项研究均观察到在 DSM 眼中, 与穹顶中心区相比, 穹顶周围区域脉络膜厚度明显较薄^[6,21-22]。DSM 眼中的脉络膜显著变薄主要发生在黄斑中心区之外, 从而导致中心区巩膜局部相对增厚, 且黄斑中心凹周围区域的脉络膜呈现出病理性改变^[23]。目前尚不清楚 DSM 眼中巩膜进行性不对称变薄是否与眼轴增长过程中胶原纤维层和细胞外基质的被动重新分布或主动重塑有关^[24-28], 这一过程背后的超微结构机制仍需更深入的实验研究进行验证。

2 DSM 与常见高度近视眼底并发症关系的探讨

高度近视眼中 DSM 的出现常伴随着多种近视相关性并发症,可导致 DSM 患眼视力下降及视功能损伤。常见的近视相关性并发症主要包括后巩膜葡萄肿、SRD 及视网膜劈裂,此外脉络膜新生血管(choroidal neovascularization, CNV)、黄斑裂孔、RPE 脱离及 Bruch 膜缺损也可发生于有 DSM 的高度近视眼中。

2.1 DSM 与后巩膜葡萄肿

即使 DSM 多见于伴有后巩膜葡萄肿的高度近视眼中,但 Imamura 等^[9]表示,后巩膜葡萄肿的存在不是诊断 DSM 的必然条件。一些无后巩膜葡萄肿的患者中也有 DSM 结构的存在^[9-11]。近期一项基于广域 OCT 的研究发现,在有 DSM 的患眼中有 45% 未出现后巩膜葡萄肿^[29]。同样,Errera 等^[10]也发现在 DSM 眼中有 28% 未检出后巩膜葡萄肿。有研究者认为,DSM 不特属于任何一种后巩膜葡萄肿,而是一种新的巩膜曲率异常及眼底后极部结构的形态学改变^[1,9,29]。在宽黄斑型葡萄肿眼中,DSM 与后巩膜葡萄肿常同时存在^[29],因此 DSM 的形成可能与眼球后极部大面积相对均匀的扩张有关。3D 磁共振成像(3D magnetic resonance imaging, 3D-MRI)显示,高度近视眼中 DSM 在 3D-MRI 上主要表现为黄斑区向内凸起,它可以在后巩膜葡萄肿的边界,也可以在后巩膜葡萄肿中心部出现^[18],DSM 的形成可能与眼球后极部的形态学变化有关。

2.2 DSM 与 SRD

据文献报道,高度近视患者中,DSM 眼伴 SRD 的发生率为 5.1%~66.6%^[2,5-6,14,23,30]。Caillaux 等^[6]研究发现,当穹顶的高度大于 350 μm 时,SRD 更常见,伴有 SRD 的 DSM 眼平均穹顶高度为 489.7 μm ,而没有 SRD 的 DSM 眼平均高度为 318.6 μm 。但随访研究发现,尽管穹顶的高度保持不变或增加,47% 的病例中 SRD 有自发消退的倾向^[14]。高度近视伴 DSM 眼中 SRD 的形成机制仍不明确,不同类型的 DSM 可能与 SRD 的发生有关。垂直型 DSM 的穹顶高度高于圆型 DSM 和水平型 DSM,且 SRD 的并发率更高^[6]。García-Ben 等^[31]也在垂直型 DSM 中观察到了 SRD 的出现,穹顶高度增加及黄斑区脉络膜厚度变薄可能是垂直型 DSM 患眼发生 SRD 的重要因素。然而, Negrier 等^[32]得出了与其相反的结论,该研究发现垂直型和水平型 DSM 眼中 SRD 的发生率无明显差异,虽然脉络膜大血管穿过垂直型 DSM 的比率较高,但 SRD 的存在可能与 DSM 轴向和脉络膜厚度无关,DSM 眼中 SRD 的病理生理学机制尚不明确。伴有 SRD 的 DSM 眼中可出现更严重的 RPE 萎缩改变^[14]。此外,发生 SRD 的高度近视 DSM 眼中,表现出黄斑区脉络膜血流量增大的现象^[33],我们推测黄斑区向内凸起的过程中脉络膜变薄,血流代偿性增大,同时对 RPE 造成了一定的机械性损伤,干扰了正常脉络膜中的液体流出,导致 SRD 的出现。DSM 眼中 SRD 的形态与中心性浆液性脉络膜视网膜病变有相似之处,但 DSM 眼在吲哚菁绿血管造影成像中的点状荧光与脉络膜血管的高渗透性并不相关,而大多数中心性浆液性脉络膜视网膜病变的脉络膜血管具有较高的渗透性^[34-35],这提示两者的发病机制可能并不相同。

2.3 DSM 与视网膜劈裂

高度近视伴 DSM 患眼中近视性视网膜劈裂的发生率较高,但 DSM 患眼的黄斑中心凹处视网膜劈裂却较为少见^[19,36]。DSM 眼中常见的视网膜劈裂往往发生于黄斑中心凹以外的周边视网膜^[19]。在 DSM 眼中,中心凹外的视网膜劈裂发生率为 35.9%,而中心凹视网膜劈裂的发生率为 10.9%^[37]。Zhao 等^[23]观察了中国人群中高度近视伴 DSM 1 384 眼的并发症,发现有 DSM 的眼其黄斑中心凹处视网膜劈裂的发生率显著低于无 DSM 的高度近视眼。DSM 的存在虽然没有阻止视网膜劈裂的进展,但可以在一定程度上保护伴中心凹外视网膜劈裂眼的视觉功能^[38]。此外,有 DSM 的高度近视眼与无 DSM 相比,前者视力更好^[5]。较高的 DSM 可能对黄斑中心凹处视网膜劈裂的发生有一定预防作用^[39]。DSM 眼中黄斑区显著增厚的巩膜组织,可能起到了黄斑扣带的作用,从而减轻了玻璃体对黄斑中心凹的轴向牵引力,进而防止黄斑中心凹视网膜劈裂,并保护视觉功能。正如 Dormegny 等^[17]提出的观点,眼球的伸长使黄斑凸起周围比在凸起顶部更明显,这意味着中心凹周边玻璃体对周边视网膜的内向牵引力较为显著,同时又伴随着眼轴增长对视网膜的外向牵引力增加,使得高度近视合并 DSM 眼更容易出现中心凹外的视网膜劈裂。

2.4 DSM 与 CNV

由于人群及地域的差异,CNV 在 DSM 眼中的发生率为 12.2%~47.8%^[1-2,5,9,35,40]。高度近视伴 DSM 眼中 CNV 的发展可能不是由于 DSM 的存在,而是由于近视本身^[39]。Lee 等^[40]研究表明,在近视眼中,无论 DSM 伴或不伴 CNV,两者玻璃体腔内注射抗血管内皮生长因子之后,均获得了相同的视功能改善。Ceklic 等^[41]同样也发现,DSM 伴或不伴 CNV 的眼在接受雷珠单抗治疗时,两者间视力变化并没有显著差异,相反,在比较光动力学疗法对 CNV 的疗效时,有 DSM 的眼比无 DSM 眼的治疗效果更好。DSM 不伴 CNV 者的穹顶高度显著高于 DSM 伴 CNV 者^[16],穹顶高度的增加或许可以降低 CNV 的发生率。一项基于高度近视的大型研究显示,CNV 的发生率在统计学上虽与 DSM 的存在并无明显相关性,但伴有 DSM 的高度近视眼中 CNV 的发生率低于不伴有 DSM 的高度近视眼^[5],这一结果在一定程度上可以反映穹顶结构的存在或对 CNV 的出现起到了预防作用。然而 DSM 的存在是否及如何对脉络膜的结构和微循环造成影响尚未可知,其与 CNV 发生的相互关系仍需进一步探讨。Pozzo Giuffrida 等^[42]对接受抗血管内皮生长因子治疗的高度近视并发 CNV 患者进行了 2 年的随访研究,发现 DSM 的存在并不影响其病程,然而,在 DSM 存在的情况下,CNV 更倾向于在中心凹外发展,从而确保疾病在较早的阶段就具有良好的视力预后。因此需要进行更大范围的前瞻性研究,以更好地阐明 DSM 眼中 CNV 的发病机制。然而,高度近视眼伴 DSM 与不伴 DSM 的眼相比,CNV 出现的面积更大,且视力更差,但在排除所有存在 CNV 的眼后,有 DSM 眼的视力却比无 DSM 眼的视力更好^[43]。这一发现可能证明了 DSM 是对视力的一种保护机制,但其保护能力可能有限,如果存在超过其代偿能力之外的更严重病变,则可能出现更差的视觉预后。

2.5 DSM 与黄斑裂孔

DSM 眼中黄斑裂孔的发生并不多见。Coco 等^[44]观察了 DSM 患者 45 例 68 眼,其中 3 例 3 眼 DSM 合并黄斑裂孔,发生率为 4.4%(3/68)。Zhao 等^[23]研究发现了与 DSM 有关的板层及全层黄斑裂孔,并观察到伴有全层黄斑裂孔的患者,即使在超高度近视,在 3~5 年的随访中并未进展为视网膜脱离。据我们所知,目前尚未见有关于 DSM 合并黄斑裂孔相关性视网膜脱离的研究。或许这也是由于 DSM 中黄斑隆起的结构,延缓甚至阻止了黄斑裂孔的病理性进展。有研究证实,高度近视眼中合并黄斑裂孔的病例,可通过黄斑扣带术使裂孔闭合且效果显著^[45]。然而,到目前为止,尚未见到有关治疗 DSM 合并黄斑裂孔的研究报道。尽管如此,在有黄斑裂孔的高度近视患者中,无论是否存在 DSM,黄斑扣带术可能都是最佳的治疗选择。

2.6 DSM 与 RPE 脱离及 Bruch 膜缺损

Soudier 等^[14]研究表明,黄斑区 RPE 萎缩的范围随着 DSM 凸起的增高而增大。DSM 伴 RPE 脱离的眼中,巩膜厚度显著增厚^[2]。DSM 中增厚隆起的巩膜组织,或对脉络膜及 RPE 造成一定程度的机械性损伤,导致了 RPE 萎缩。在高度近视眼中,Bruch 膜的缺损并不少见。Fang 等^[46]报道了 DSM 与 Bruch 膜的缺损有很强的相关性,认为与 Bruch 膜缺损相关的 DSM 的出现可能与后极部巩膜组织的局部生物力学下降有关。近期,Jonas 等^[47]也发现 DSM 高度与 Bruch 膜的缺损呈正相关。由于 Bruch 膜的缺损,该处的巩膜组织不再被扩张的 Bruch 膜向外挤压,而是允许部分组织向内隆起,进而导致 DSM 的形成。然而,这并不能说明 Bruch 膜的缺损在 DSM 形成之前出现,两者间的因果关系仍需进一步探索。

3 小结与展望

综上所述,DSM 可能是对高度近视眼轴不断增长的一种适应性反应,并且具有相对稳定的自然病程。基于 OCT 技术的飞速发展,我们可以将 DSM 与其他近视性并发症区分开来,这对于明确诊断及发现相关并发症极为重要。高度近视眼 DSM 与近视性并发症的因果关系仍不清楚。尽管对于 DSM 的描述已有多年的研究,但针对高度近视眼 DSM 的具体发病机制及临床意义仍有待探讨。大多数伴有 DSM 患眼的视力可能在一定时间内可以保持相对稳定,其他近视性并发症的出现是否需要干预及何时给予治疗,还有待进一步研究。

在未来,可以利用 OCT 对高度近视眼中 DSM 的形态及眼球后极部的改变进行长期大样本量的纵向随访研究,以期阐明高度近视眼延长过程中,眼球形态学改变及黄斑区病理改变的机制。除了更好地应用 OCT 技术外,还可以联合 3D-MRI 观察整个眼球形态的变化,为高度近视眼 DSM 的病理机制及其与近视性并发症的关系提供新的理解,从而为预测高度近视患者的视觉预后提供更多理论依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] Ellabban AA, Tsujikawa A, Matsumoto A, et al. Three-dimensional

tomographic features of dome-shaped macula by swept-source optical coherence tomography [J]. *Am J Ophthalmol*, 2013, 155 (2) : 320-328. DOI:10.1016/j.ajo.2012.08.007.

- [2] Ohnogi H, Ikuno Y, Oshima K, et al. Morphologic characteristics of macular complications of a dome-shaped macula determined by swept-source optical coherence tomography [J]. *Am J Ophthalmol*, 2014, 158(1) : 162-170. DOI:10.1016/j.ajo.2014.02.054.
- [3] Müller PL, Kihara Y, Olvera-Barrios A, et al. Quantification and predictors of OCT-based macular curvature and dome-shaped configuration: results from the UK Biobank [J/OL]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2022, 63(9) : 28 [2024-06-10]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36006653/>. DOI:10.1167/iovs.63.9.28.
- [4] Gaucher D, Erginay A, Lecleire-Collet A, et al. Dome-shaped macula in eyes with myopic posterior staphyloma [J]. *Am J Ophthalmol*, 2008, 145(5) : 909-914. DOI:10.1016/j.ajo.2008.01.012.
- [5] Liang IC, Shimada N, Tanaka Y, et al. Comparison of clinical features in highly myopic eyes with and without a dome-shaped macula [J]. *Ophthalmology*, 2015, 122(8) : 1591-1600. DOI:10.1016/j.ophtha.2015.04.012.
- [6] Caillaux V, Gaucher D, Gualino V, et al. Morphologic characterization of dome-shaped macula in myopic eyes with serous macular detachment [J]. *Am J Ophthalmol*, 2013, 156(5) : 958-967. DOI:10.1016/j.ajo.2013.06.032.
- [7] Xu X, Fang Y, Jonas JB, et al. Ridge-shaped macula in young myopic patients and its differentiation from typical dome-shaped macula in elderly myopic patients [J]. *Retina*, 2020, 40(2) : 225-232. DOI:10.1097/IAE.0000000000002395.
- [8] García-Zamora M, Flores-Moreno I, Ruiz-Medrano J, et al. Dome-shaped macula versus ridge-shaped macula eyes in high myopia based on the 12-line radial optical coherence tomography scan pattern. differences in clinical features [J/OL]. *Diagnostics (Basel)*, 2021, 11(10) : 1864 [2024-06-10]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34679562/>. DOI:10.3390/diagnostics11101864.
- [9] Imamura Y, Iida T, Maruko I, et al. Enhanced depth imaging optical coherence tomography of the sclera in dome-shaped macula [J]. *Am J Ophthalmol*, 2011, 151(2) : 297-302. DOI:10.1016/j.ajo.2010.08.014.
- [10] Errera MH, Michaelides M, Keane PA, et al. The extended clinical phenotype of dome-shaped macula [J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2014, 252(3) : 499-508. DOI:10.1007/s00417-013-2561-7.
- [11] Shin E, Park KA, Oh SY. Dome-shaped macula in children and adolescents [J/OL]. *PLoS One*, 2020, 15(1) : e0227292 [2024-06-11]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31910232/>. DOI:10.1371/journal.pone.0227292.
- [12] Mehdizadeh M, Nowroozzadeh MH. Dome-shaped macula in eyes with myopic posterior staphyloma [J/OL]. *Am J Ophthalmol*, 2008, 146(3) : 478 [2024-06-11]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18724981/>. DOI:10.1016/j.ajo.2008.05.045.
- [13] Viola F, Leone G, Garoli E, et al. Long-term natural history of highly myopic eyes with a dome-shaped macula with or without untreated serous retinal detachment: a 4-year follow-up study [J]. *Br J Ophthalmol*, 2021, 105(10) : 1405-1409. DOI:10.1136/bjophthalmol-2020-316629.
- [14] Soudier G, Gaudric A, Gualino V, et al. Long-term evolution of dome-shaped macula: increased macular bulge is associated with extended macular atrophy [J]. *Retina*, 2016, 36(5) : 944-952. DOI:10.1097/IAE.0000000000000806.
- [15] García-Ben A, García-Basterra I, González-Gómez A, et al. Comparison of long-term clinical evolution in highly myopic eyes with vertical oval-shaped dome with or without untreated serous retinal detachment [J]. *Br J Ophthalmol*, 2019, 103(3) : 385-389. DOI:10.1136/bjophthalmol-2018-311895.
- [16] Ellabban AA, Tsujikawa A, Muraoka Y, et al. Dome-shaped macular configuration: longitudinal changes in the sclera and choroid by swept-source optical coherence tomography over two years [J]. *Am J*



- Ophthalmol, 2014, 158 (5) : 1062–1070. DOI: 10. 1016/j. ajo. 2014. 08. 006.
- [17] Dormegny L, Liu X, Philippakis E, et al. Erratum to evolution of dome-shaped macula is due to differential elongation of the eye predominant in the peri-dome region [J]. Am J Ophthalmol 2021, 224 : 18–29. DOI: 10. 1016/j. ajo. 2021. 07. 019.
- [18] Dai F, Li S, Wang Y, et al. Correlation between posterior staphyloma and dome-shaped macula in high myopic eyes [J]. Retina, 2020, 40 (11) : 2119–2126. DOI: 10. 1097/IAE. 0000000000002722.
- [19] Zhu X, He W, Zhang S, et al. Dome-shaped macula: a potential protective factor for visual acuity after cataract surgery in patients with high myopia [J]. Br J Ophthalmol, 2019, 103 (11) : 1566–1570. DOI: 10. 1136/bjophthalmol-2018-313279.
- [20] Gottlieb MD, Joshi HB, Nickla DL. Scleral changes in chicks with form-deprivation myopia [J]. Curr Eye Res, 1990, 9 (12) : 1157–1165. DOI: 10. 3109/02713689009003472.
- [21] Chebil A, Ben Achour B, Chaker N, et al. Choroidal thickness assessment with SD-OCT in high myopia with dome-shaped macula [J]. J Fr Ophthalmol, 2014, 37 (3) : 237–241. DOI: 10. 1016/j. jfo. 2013. 10. 002.
- [22] Tan A, Yzer S, Freund KB, et al. Choroidal changes associated with serous macular detachment in eyes with staphyloma, dome-shaped macula or tilted disk syndrome [J]. Retina, 2017, 37 (8) : 1544–1554. DOI: 10. 1097/IAE. 0000000000001402.
- [23] Zhao X, Ding X, Lyu C, et al. Observational study of clinical characteristics of dome-shaped macula in Chinese Han with high myopia at Zhongshan Ophthalmic Centre [J/OL]. BMJ Open, 2018, 8 (12) : e021887 [2024 - 06 - 12]. https://pubmed. ncbi. nlm. nih. gov/30580257/. DOI: 10. 1136/bmjopen-2018-021887.
- [24] Bell GR. Biomechanical considerations of high myopia: part II—biomechanical forces affecting high myopia [J]. J Am Optom Assoc, 1993, 64 (5) : 339–345.
- [25] Ku DN, Greene PR. Scleral creep *in vitro* resulting from cyclic pressure pulses: applications to myopia [J]. Am J Optom Physiol Opt, 1981, 58 (7) : 528–535. DOI: 10. 1097/00006324-198107000-00003.
- [26] Wu H, Chen W, Zhao F, et al. Scleral hypoxia is a target for myopia control [J/OL]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2018, 115 (30) : E7091–E7100 [2024 - 06 - 12]. https://pubmed. ncbi. nlm. nih. gov/29987045/. DOI: 10. 1073/pnas. 1721443115.
- [27] Liu S, Li S, Wang B, et al. Scleral cross-linking using riboflavin UVA irradiation for the prevention of myopia progression in a guinea pig model: blocked axial extension and altered scleral microstructure [J/OL]. PLoS One, 2016, 11 (11) : e0165792 [2024 - 06 - 12]. https://pubmed. ncbi. nlm. nih. gov/27829051/. DOI: 10. 1371/journal. pone. 0165792.
- [28] Jonas JB, Ohno-Matsui K, Holbach L, et al. Histology of myopic posterior scleral staphylomas [J/OL]. Acta Ophthalmol, 2020, 98 (7) : e856–e863 [2024 - 06 - 13]. https://pubmed. ncbi. nlm. nih. gov/32190987/. DOI: 10. 1111/aos. 14405.
- [29] Saito R, Shinohara K, Tanaka N, et al. Association between dome-shaped macula and posterior staphyloma in highly myopic eyes investigated by ultra-widefield optical coherence tomography [J]. Retina, 2021, 41 (3) : 646–652. DOI: 10. 1097/IAE. 0000000000002889.
- [30] Lorenzo D, Arias L, Choudhry N, et al. Dome-shaped macula in myopic eyes: twelve-month follow-up [J]. Retina, 2017, 37 (4) : 680–686. DOI: 10. 1097/IAE. 0000000000001222.
- [31] García-Ben A, Sanchez M, Gómez AG, et al. Factors associated with serous retinal detachment in highly myopic eyes with vertical oval-shaped dome [J]. Retina, 2019, 39 (3) : 587–593. DOI: 10. 1097/IAE. 0000000000001970.
- [32] Negrier P, Couturier A, Gaucher D, et al. Choroidal thickness and vessel pattern in myopic eyes with dome-shaped macula [J]. Br J Ophthalmol, 2022, 106 (12) : 1730–1735. DOI: 10. 1136/bjophthalmol-2021-319066.
- [33] Soudier G, Gaudric A, Gualino V, et al. Serous retinal detachment in dome-shaped macula is associated with greater central choroidal blood flow measured by optical coherence tomography angiography [J]. Ophthalmologica, 2020, 243 (2) : 129–135. DOI: 10. 1159/000504051.
- [34] Daruich A, Matet A, Dirani A, et al. Central serous chorioretinopathy: recent findings and new physiopathology hypothesis [J]. Prog Retin Eye Res, 2015, 48 : 82–118. DOI: 10. 1016/j. preteyeres. 2015. 05. 003.
- [35] Viola F, Dell’Arti L, Benatti E, et al. Choroidal findings in dome-shaped macula in highly myopic eyes: a longitudinal study [J]. Am J Ophthalmol, 2015, 159 (1) : 44–52. DOI: 10. 1016/j. ajo. 2014. 09. 026.
- [36] Hocaoglu M, Ersoz MG, Sayman Muslubas I, et al. Factors associated with macular complications in highly myopic eyes with dome-shaped macular configuration [J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2019, 257 (11) : 2357–2365. DOI: 10. 1007/s00417-019-04449-1.
- [37] Fang D, Zhang Z, Wei Y, et al. The morphological relationship between dome-shaped macula and myopic retinoschisis: a cross-sectional study of 409 highly myopic eyes [J/OL]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2020, 61 (3) : 19 [2024 - 06 - 13]. https://pubmed. ncbi. nlm. nih. gov/32176269/. DOI: 10. 1167/iovs. 61. 3. 19.
- [38] Li S, Li T, Long D, et al. Long-term evolution of myopic retinoschisis with a dome-shaped macula and predictors of progression and visual prognosis [J]. Retina, 2023, 43 (6) : 972–983. DOI: 10. 1097/IAE. 0000000000003744.
- [39] Lee GW, Kim JH, Kang SW, et al. Structural profile of dome-shaped macula in degenerative myopia and its association with macular disorders [J/OL]. BMC Ophthalmol, 2020, 20 (1) : 202 [2024 - 06 - 14]. https://pubmed. ncbi. nlm. nih. gov/32448138/. DOI: 10. 1186/s12886-020-01473-2.
- [40] Lee JH, Lee SC, Choi S, et al. Two-year outcomes of intravitreal bevacizumab for choroidal neovascularization associated with a dome-shaped macula in pathologic myopia [J]. Eye (Lond), 2017, 31 (3) : 507–508. DOI: 10. 1038/eye. 2016. 249.
- [41] Ceklic L, Wolf-Schnurrbusch U, Gekkieva M, et al. Visual acuity outcome in RADIANCE study patients with dome-shaped macular features [J]. Ophthalmology, 2014, 121 (11) : 2288–2289. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2014. 06. 012.
- [42] Pozzo Giuffrida F, Leone G, Mainetti C, et al. Response to treatment of choroidal neovascularization in highly myopic eyes with dome-shaped macula: two years of follow-up [J]. Retina, 2022, 42 (6) : 1057–1064. DOI: 10. 1097/IAE. 0000000000003431.
- [43] Wang L, Lin BW, Yin XF, et al. Visual acuity and size of choroidal neovascularization in highly myopic eyes with a dome-shaped macula [J/OL]. J Ophthalmol, 2020, 2020 : 8852156 [2024 - 06 - 14]. https://pubmed. ncbi. nlm. nih. gov/33489346/. DOI: 10. 1155/2020/8852156.
- [44] Coco RM, Sanabria MR, Alegría J. Pathology associated with optical coherence tomography macular bending due to either dome-shaped macula or inferior staphyloma in myopic patients [J]. Ophthalmologica, 2012, 228 (1) : 7–12. DOI: 10. 1159/000336910.
- [45] Zhao X, Ma W, Lian P, et al. Three-year outcomes of macular buckling for macular holes and foveoschisis in highly myopic eyes [J/OL]. Acta Ophthalmol, 2020, 98 (4) : e470–e478 [2024 - 06 - 14]. https://pubmed. ncbi. nlm. nih. gov/31742899/. DOI: 10. 1111/aos. 14305.
- [46] Fang Y, Jonas JB, Yokoi T, et al. Macular Bruch’s membrane defect and dome-shaped macula in high myopia [J/OL]. PLoS One, 2017, 12 (6) : e0178998 [2024 - 06 - 15]. https://pubmed. ncbi. nlm. nih. gov/28570624/. DOI: 10. 1371/journal. pone. 0178998.
- [47] Jonas JB, Panda-Jonas S, Wei WB, et al. Prevalence and associations of dome-shaped maculas. The Beijing Eye Study [J/OL]. Acta Ophthalmol, 2024 [2025 - 01 - 06]. https://pubmed. ncbi. nlm. nih. gov/39340175/. DOI: 10. 1111/aos. 16764. [Published online ahead of print].

(收稿日期:2024-07-10 修回日期:2025-01-07)

(本文编辑:刘艳 施晓萌)

