

维生素 D 与儿童青少年心理健康相关性的研究进展

王吕珽¹, 徐保玉², 汤婷³, 王君³, 苏普玉³, 汪耿夫³

1. 安徽医科大学公共卫生学院妇幼保健医学系, 合肥 230032; 2. 安徽医科大学预防医学专业;
3. 安徽医科大学公共卫生学院儿少卫生与妇幼保健学系/出生人口健康教育重点实验室/人口健康与优生安徽省重点实验室

【摘要】 维生素 D (Vit D) 作为一种重要的营养素, 在儿童青少年生长发育过程中的重要作用已被广泛认可, 但其与心理健康之间的关联仍处于探索阶段。通过回顾与总结国内外 Vit D 对儿童青少年常见心理健康问题影响的相关研究, 包括抑郁症状、焦虑症状、自杀相关心理行为, 以及 Vit D 影响心理健康的生物学机制等, 旨在为改善中国儿童青少年心理健康和开展未来研究提供科学依据与思路。

【关键词】 维生素 D; 精神卫生; 儿童; 青少年

【中图分类号】 R 179 B 844.2 Q 565 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2024)07-1055-05

Research progress on the association between vitamin D and mental health among children and adolescents/WANG Lüyao*, XU Baoyu, TANG Ting, WANG Jun, SU Puyu, WANG Gengfu. *Department of Maternal, Child and Adolescent Health, School of Public Health, Anhui Medical University, Hefei (230032), Anhui Province, China

【Abstract】 Vitamin D, as an important nutrient, has been widely recognized for its significant role in the growth and development of children and adolescents, but its association with mental health is still under exploration. The article reviews and summarizes the related researches on vitamin D and common mental health problems of children and adolescents, including depression symptoms, anxiety symptoms, and suicidal ideation and behaviors, and possible biological mechanisms of vitamin D influencing mental health, to provide scientific evidence and ideas for improving the mental health of children and adolescents in China, as well as insights for future studies.

【Keywords】 Vitamin D; Mental health; Child; Adolescent

维生素 D (vitamin D, Vit D) 是人体必需维生素之一, 除了可以从日常饮食和 Vit D 补充剂中摄取外, 还可以经紫外线 B 照射皮肤后合成, 个体的 Vit D 状态具有良好的可改变性。近年来, Vit D 缺乏在儿童青少年心理健康中的影响逐渐受到关注。多项研究指出, Vit D 水平与儿童青少年的抑郁、焦虑、自杀等心理问题相关^[1-3]。Vit D 能够影响神经递质合成和分泌, 并且具有抗神经炎症作用, 可能是其能够改善抑郁症等心理健康问题的生物学机制^[4]。本文旨在对 Vit D 与儿童青少年常见心理健康问题的关联及其影响的潜在机制进行综述, 为改善我国儿童青少年心理健康和开展未来研究提供科学依据与思路。

1 儿童青少年 Vit D 缺乏的来源、定义及流行率

人体内大部分 Vit D 是由阳光中的紫外线 B 照射在皮肤上合成的。首先, 紫外线 B 将 7-脱氢胆固醇转化为胆钙化醇前体, 再转化为胆钙化醇 (Vit D₃) 进入血液循环并在肝脏代谢, 形成 25-羟基维生素 D [25(OH)D], 之后在肾脏中进一步代谢为其活性形式

1,25-二羟基维生素 D [1,25(OH)₂D]^[5]。血清 25(OH)D 是 Vit D 储存的良好指标, 半衰期为 2~3 周, 而 1,25(OH)₂D 的半衰期仅为 4 h^[6], 25(OH)D 比 1,25(OH)₂D 更为稳定, 被认为是评估人体 Vit D 营养状态的最佳指标^[7]。

目前, 全球对于儿童青少年 Vit D 缺乏的定义尚缺乏共识。欧洲儿科胃肠病学、肝病学和营养学会^[8]均认为, 血清 25(OH)D 水平低于 25~30 nmol/L 是 Vit D 严重缺乏的标志。而欧洲儿科肾病学会^[9]提出, 血清 25(OH)D 水平低于 12.5 nmol/L 代表 Vit D 严重缺乏。美国内分泌学会 Vit D 工作组建议将个体血清 25(OH)D 水平低于 50 nmol/L 定义为 Vit D 缺乏症^[10]。《人群维生素 D 缺乏筛查方法》(WS/T 677—2020) 中建议将个体血清 (或血浆) 25(OH)D 含量低于 12 ng/mL 或低于 30 nmol/L 判定为 Vit D 缺乏^[11]。

儿童青少年 Vit D 缺乏的流行率在世界范围内存在显著波动, 介于 4%~91%^[12]。一项 Meta 分析显示, 亚洲儿童的 Vit D 缺乏率 (<50 nmol/L) 为 52.44%^[13]。

【基金项目】 国家自然科学基金项目 (82204071, 82173539); 省级大学生创新训练项目 (S202310366106)

【作者简介】 王吕珽 (2004-), 女, 安徽铜陵人, 在读本科。

【通信作者】 汪耿夫, E-mail: wanggenfu@ahmu.edu.cn

另一篇系统综述显示,我国 18 岁以下儿童青少年 Vit D 缺乏($<30 \text{ nmol/L}$)的流行率为 23.0%(95% $CI=8.9\% \sim 44.3\%$)^[14]。一篇 Meta 分析结果显示,中国 6~18 岁儿童青少年 Vit D 缺乏率($<12.5 \text{ nmol/L}$)为 27.9%^[15]。差异可能源于不同研究采用的诊断标准、样本选择和研究方法不同,但儿童青少年 Vit D 缺乏的高流行率应引起广泛关注。

2 儿童青少年 Vit D 水平的影响因素

Vit D 缺乏在世界范围内儿童青少年中均较普遍,其流行率与肤色、地区、季节、年龄、性别、社会经济情况、肥胖和户外活动等有关。

2.1 肤色、地区和季节 人体内 Vit D 主要由紫外线 B 照射皮肤合成,该过程受到个体肤色、地区和纬度的影响。肤色较深的人群,如非洲人、非洲-加勒比人或南亚人,是 Vit D 缺乏的高风险群体^[16],主要是由于皮肤色素沉着增加,特别是黑色素增多时,会抑制皮肤合成胆骨化醇,进而阻碍 Vit D 的合成^[17]。相较于日照充足的南方地区和夏季,北方地区、春季和冬季我国儿童青少年 Vit D 缺乏相对更为普遍^[18-19]。

2.2 年龄、性别和家庭经济状况 年龄、性别、家庭经济状况均是 Vit D 水平的影响因素。2010—2012 年和 2016—2017 年中国国民营养与健康调查中,均发现年龄大于 12 岁、女生 Vit D 缺乏的风险更高^[18-19]。最近一项针对我国 20 个城市 2~7 岁儿童的调查发现,3~<5 和 5~<7 岁组儿童 Vit D 不足率均高于 2~<3 岁组儿童;家庭年收入 <6 万元的儿童中 Vit D 缺乏率高于家庭年收入 ≥ 6 万元的儿童^[20]。推测因为家庭经济条件好的儿童在户外进行体育活动的机会可能会更多,紫外线暴露增加, Vit D 水平也随之升高。

2.3 其他因素 肥胖可能与 25(OH)D 缺乏有关^[21-22],肥胖会影响皮肤中产生的循环 Vit D 的量,皮下脂肪会将合成的 Vit D 隔离在脂肪组织的细胞中,降低脂溶性 Vit D 的生物利用度。肥胖个体也可能由于缺少户外活动,在室内待的时间长,从而减少皮肤合成 Vit D。有研究证明,户外活动时间减少也可能增加儿童青少年 Vit D 缺乏的风险,一项对 9 595 名蒙古族 6~13 岁儿童的研究发现,更短的户外活动时间与 Vit D 缺乏风险增加有关^[23]。

3 Vit D 与儿童青少年常见心理健康问题之间的关联

3.1 Vit D 与儿童青少年抑郁症状的关联 多项横断面研究表明, Vit D 缺乏与儿童青少年的抑郁症状之间存在关联^[24-27]。也有研究指出, Vit D 与青春期发育青少年抑郁症状之间缺乏横断面关联^[28]。结果不一致可能源于不同研究在 Vit D 水平测定方法、判定标准以及抑郁测量工具上存在差异。有研究在青春发育早期青少年队列中发现,血清 25(OH)D 水平与抑郁症状之间的负相关性仅在男性中出现^[29],可能与性

激素有关, Vit D 可以增加睾酮水平,而睾酮通过作用于血清素受体改善男性的抑郁症状。一项在德国开展的随机对照试验指出^[1],为 Vit D 缺乏且伴有抑郁症状的儿童青少年补充 Vit D 后,自我报告的抑郁症状没有变化,而父母报告的抑郁症状显著减少,提示补充 Vit D 可以作为抑郁症状的一种辅助治疗。

3.2 Vit D 与儿童青少年焦虑症状的关联 在伊朗青少年中开展的一项流行病学研究指出,相较于 Vit D 水平正常的儿童和青少年, Vit D 不足者报告出现焦虑症状、睡眠质量下降以及担忧的频率显著增加^[30-31]。此外,研究发现,患有染色体 22q11.2 缺失综合征的儿童与正常儿童相比,不仅面临着更高的焦虑症状风险,血清 Vit D 水平也普遍偏低,进一步证实了 Vit D 水平与焦虑症状之间的负相关关系^[32]。一项来自中国的临床研究表明,血清 Vit D 水平较低的儿童和青少年表现出更明显的焦虑症状,结果强调了 Vit D 在维持心理健康方面的重要性^[33]。动物实验研究结果显示, Vit D 治疗对长期雌激素缺乏的雌性大鼠具有显著的抗焦虑作用,为 Vit D 在焦虑障碍治疗中的潜在应用提供了有力证据^[34]。Zhang 等^[35]基于英国生物样本库的大数据分析发现,血清 Vit D 水平与焦虑症状之间存在显著的负相关;同时,通过全基因组关联分析发现,与 Vit D 相关的候选基因 *GNB5* 基因的 rs14970611 多态性与焦虑症状的发生具有相关性,从而为深入研究 Vit D 与焦虑症状之间的潜在机制提供了新的见解。

3.3 Vit D 与儿童青少年自杀相关心理行为的关联 在青春发育早期青少年队列中发现, 25(OH)D 缺乏组的基线自杀风险高于 25(OH)D 正常组,且在女性中尤为显著,但在男性中未观察到显著差异,这一发现可能揭示了性别在 Vit D 与自杀风险关联间的潜在差异^[2]。然而,采用孟德尔随机研究分析 Vit D 和自杀心理行为之间的关系时,未发现其关联有统计学意义,先前观察到的结果可能受到了潜在的混杂因素或反向因果关系的影响^[2]。此外,一项在澳大利亚 16~25 岁女性中进行的研究也未能发现 Vit D 与自杀意念之间存在明显的联系^[36]。研究结论的不同可能与不同人群、地域和研究方法之间的差异有关。综上, Vit D 与自杀相关心理行为之间的关系仍需进一步深入研究和验证,特别是在儿童青少年群体中。

4 Vit D 对儿童青少年心理健康影响的可能途径

Vit D 受体和 Vit D 代谢酶存在于人体内的大多数组织和细胞中,如边缘系统、小脑和皮层,能够参与神经免疫调节、调节神经营养因子水平,进而影响神经发育和大脑发育^[37]。以下将从神经递质、神经炎症 2 个角度阐述 Vit D 影响儿童青少年心理健康的可能作用途径。

4.1 神经递质 Vit D 受体和 1- α -羟化酶在大脑中

广泛分布,使 Vit D 可以在局部合成并发挥其作用,进而调节神经生长因子和胶质细胞衍生的神经营养因子,影响神经系统发育^[38]。研究表明,Vit D 与脑源性神经营养因子(brain derived neurotrophic factor, BDNF)和胶质细胞源性神经营养因子(glia-cell-line-derived neurotrophic factor, GDNF)等的合成和分泌密切相关^[39-40],血清中的 1,25(OH)₂D 可以穿过血脑屏障与大脑中的 Vit D 受体结合,增加 BDNF 的表达^[41]。以上神经营养因子不仅影响神经元的增殖和分化,还与 γ -氨基丁酸(GABA)、5-羟色胺(5-HT)等关键神经递质在大脑中的分泌和功能紧密相关^[42-43],对大脑神经发育和功能具有重要意义。动物实验表明,1,25(OH)₂D 能增强大脑中胶质细胞源性神经营养因子的表达^[44],进而促进多巴胺能神经元的存活,Vit D 缺乏则可能会干扰这一过程,使多巴胺能系统发生改变,从而对个体行为产生长期影响^[26]。除了上述作用外,Vit D 还可以通过调控色氨酸羟化酶 2 基因的表达,在血清素合成中扮演重要角色,该基因能够促进色氨酸转化为血清素^[45]。血清素作为一种单胺类神经递质,可以调节压力、愤怒、抑郁、攻击性、食欲和行为,在抑郁症和情绪障碍的病理生理机制中起着关键作用^[34,46]。综上所述,Vit D 在大脑中发挥着广泛的生物学作用,通过调节神经营养因子、多巴胺能神经元以及血清素合成等途径,影响大脑的发育和功能。

4.2 神经炎症 神经炎症与心理健康问题之间存在密切联系^[46]。一项病例对照研究发现,患有抑郁症的青少年可能会出现异常的免疫反应^[47]。既往研究表明,Vit D 可以在中枢神经系统中发挥其抗氧化作用,增强神经生长因子和抗氧化剂基因的表达,下调细胞因子和炎症介质水平^[48];Vit D 受体与 1- α 羟化酶作为参与 25(OH)D 羟基化为活性形式 1,25(OH)₂D 的关键分子,在大脑的前额叶皮质、黑质、扣带回皮质、海马以及下丘脑等区域的神经元和神经胶质细胞上均有表达^[49]。此外,Vit D 能够通过调节糖皮质激素及其受体敏感性的调节,影响下丘脑-垂体-肾上腺(hypothalamic-pituitary-adrenal, HPA)轴的平衡,进一步影响免疫系统的功能,发挥广泛的抗炎效果^[50-51]。氧化应激和神经炎症的改变会导致外周巨噬细胞和中枢小胶质细胞的活化,引起 HPA 轴功能障碍和高皮质醇血症,进一步导致树突生长、突触可塑性和突触通讯的恶化,而 Vit D 通过调节神经递质合成,如多巴胺等来抑制突触之间通讯的恶化,并表现出神经调节和神经保护作用^[52]。一项研究指出,Vit D 的缺乏程度与疲劳、疼痛、虚弱和失眠等症状的变化密切相关,这些症状与炎症状态下的不适感相似,表明炎症可能是 Vit D 缺乏和抑郁症状之间的联系之一^[53]。随机对照试验结果表明,Vit D 补充可以改善抑郁症状^[48],这些发现进一步强调了 Vit D 在维持神经免疫稳态和调节心理健康方面的重要性。

5 小结和展望

儿童青少年 Vit D 水平对心理健康的影响研究需要更多的循证医学证据,目前证据尚不能阐明两者之间的因果关系。许多研究既没有考虑明显的 Vit D 缺乏,也没有明确定义疾病状态,而且没有控制关键影响因素,可能会导致结论不可靠。尽管 Vit D 与儿童青少年心理健康的相关研究存在不同的测量方法、判定标准和结果,但观察性研究的结果提示较高的 Vit D 水平或补充 Vit D 对儿童青少年的心理健康有益。当前迫切需要随机对照试验来验证观察性研究的结果,在精神障碍儿童和青少年群体中进行 Vit D 补充的高质量随机对照试验对于阐明 Vit D 在心理健康中的作用具有重要意义^[54]。鉴于当前儿童青少年中 Vit D 缺乏率较高,亟需加强儿童青少年 Vit D 的营养状况评估和干预工作的开展,以提升我国儿童青少年身心健康水平。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突。

参考文献

- [1] LIBUDA L, TIMMESFELD N, ANTEL J, et al. Effect of vitamin D deficiency on depressive symptoms in child and adolescent psychiatric patients: results of a randomized controlled trial [J]. *Eur J Nutr*, 2020, 59(8): 3415-3424.
- [2] YUAN M, LI Y, CHANG J, et al. Vitamin D and suicidality: a Chinese early adolescent cohort and Mendelian randomization study [J]. *Epidemiol Psychiatr Sci*, 2023, 32: e52.
- [3] 赵梦雅, 许韶君, 李晓恒, 等. 深圳市中学生维生素 D 缺乏与焦虑抑郁症状的关联 [J]. *中国学校卫生*, 2023, 44(7): 1030-1033. ZHAO M Y, XU S J, LI X H, et al. Association of vitamin D deficiency with anxiety and depressive symptoms among middle school students in Shenzhen [J]. *Chin J Sch Health*, 2023, 44(7): 1030-1033. (in Chinese)
- [4] BAKUNINA N, PARIANTE C M, ZUNSZAIN P A. Immune mechanisms linked to depression via oxidative stress and neuroprogression [J]. *Immunology*, 2015, 144(3): 365-373.
- [5] PARKER G B, BROTCHE H, GRAHAM R K. Vitamin D and depression [J]. *J Affect Disord*, 2017, 208: 56-61.
- [6] MISRA M, PACAUD D, PETRYK A, et al. Vitamin D deficiency in children and its management: review of current knowledge and recommendations [J]. *Pediatrics*, 2008, 122(2): 398-417.
- [7] PATSEADOU M, HALLER D M. Vitamin D in adolescents: a systematic review and narrative synthesis of available recommendations [J]. *J Adolesc Health*, 2020, 66(4): 388-407.
- [8] BRAEGGER C, CAMPOY C, COLOMB V, et al. Vitamin D in the healthy European paediatric population [J]. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 2013, 56(6): 692-701.
- [9] SHROFF R, WAN M, NAGLER E V, et al. Clinical practice recommendations for native vitamin D therapy in children with chronic kidney disease Stages 2-5 and on dialysis [J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2017, 32(7): 1098-1113.
- [10] HOLICK M F, BINKLEY N C, BISCHOFF-FERRARI H A, et al. Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an endocrine society clinical practice guideline [J]. *J Clin Endocrinol*

- Metab, 2011, 96(7):1911-1930.
- [11] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 人群维生素 D 缺乏筛查方法:WS/T 677—2020 [S]. 北京:中国标准出版社, 2020.
National Health Commission of the PRC. Screening method for population vitamin D deficiency:WS/T 677—2020[S]. Beijing:Standards Press of China, 2020. (in Chinese)
- [12] SMITH T J, LANHAM-NEW S A, HART K H. Vitamin D in adolescents:are current recommendations enough? [J]. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 2017, 173:265-272.
- [13] JIANG Z, PU R, LI N, et al. High prevalence of vitamin D deficiency in Asia;a systematic review and Meta-analysis[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2023, 63(19):3602-3611.
- [14] LIU W, HU J, FANG Y, et al. Vitamin D status in mainland of China;a systematic review and Meta-analysis[J]. *E Clin Med*, 2021, 38:101017.
- [15] 张浩, 董洋洋, 马萍, 等. 中国儿童青少年维生素 D 营养状况的 Meta 分析[J]. *中国循证医学杂志*, 2021, 21(3):284-289.
ZHANG H, DONG Y Y, MA P, et al. Vitamin D nutritional status in Chinese children and adolescents;a Meta-analysis[J]. *Chin J Evid Based Med*, 2021, 21(3):284-289. (in Chinese)
- [16] National Institute for Health and Clinical Excellence. Vitamin D;supplement use in specific population groups[EB/OL]. (2014-11-26) [2024-04-13]. <https://www.nice.org.uk/guidance/ph56>.
- [17] CLEMENS T L, ADAMS J S, HENDERSON S L, et al. Increased skin pigment reduces the capacity of skin to synthesise vitamin D₃ [J]. *Lancet*, 1982, 1(8263):74-76.
- [18] HU Y, CHEN J, WANG R, et al. Vitamin D nutritional status and its related factors for Chinese children and adolescents in 2010-2012 [J]. *Nutrients*, 2017, 9(9):1024.
- [19] HU Y, JIANG S, LU J, et al. Vitamin D status for Chinese children and adolescents in CNNHS 2016-2017 [J]. *Nutrients*, 2022, 14(22):4928.
- [20] 吴琼辉, 陈倩, 杨亭, 等. 中国 20 个城市 2~<7 岁儿童血清维生素 A 和维生素 D 水平现况调查[J]. *中华儿科杂志*, 2024, 62(3):231-238.
WU Q H, CHEN Q, YANG T, et al. A survey on the current situation of serum vitamin A and vitamin D levels among children aged 2-<7 years of 20 cities in China[J]. *Chin J Pediatr*, 2024, 62(3):231-238. (in Chinese)
- [21] COLAPINTO C K, ROSSITER M, KHAN M K, et al. Obesity, lifestyle and socio-economic determinants of vitamin D intake;a population-based study of Canadian children [J]. *Can J Public Health*, 2014, 105(6):e418-e424.
- [22] KARAMPELA I, SAKELLIU A, VALLIANOU N, et al. Vitamin D and obesity;current evidence and controversies[J]. *Curr Obes Rep*, 2021, 10(2):162-180.
- [23] BATER J, BROMAGE S, JAMBAL T, et al. Prevalence and determinants of vitamin D deficiency in 9 595 Mongolian schoolchildren;a cross-sectional study[J]. *Nutrients*, 2021, 13(11):4175.
- [24] ESNAFOGLU E, OZTURAN D D. The relationship of severity of depression with homocysteine, folate, vitamin B₁₂, and vitamin D levels in children and adolescents[J]. *Child Adolesc Ment Health*, 2020, 25(4):249-255.
- [25] HUSMANN C, FRANK M, SCHMIDT B, et al. Low 25(OH)-vitamin D concentrations are associated with emotional and behavioral problems in German children and adolescents[J]. *PLoS One*, 2017, 12(8):e0183091.
- [26] ROBINSON S L, MARÍN C, OLIVEROS H, et al. Vitamin D deficiency in middle childhood is related to behavior problems in adolescence[J]. *J Nutr*, 2020, 150(1):140-148.
- [27] TARIKERE S P, SURYANARAYANA R, THEOPHILUS Y S, et al. Is sunshine vitamin related to adolescent depression? A cross-sectional study of vitamin D status and depression among rural adolescents[J]. *Cureus*, 2023, 15(2):e34639.
- [28] AL-SABAH R, AL-TAIAR A, SHABAN L, et al. Vitamin D level in relation to depression symptoms during adolescence[J]. *Child Adolesc Psychiatry Ment Health*, 2022, 16(1):53.
- [29] WANG G, YUAN M, CHANG J, et al. Vitamin D and depressive symptoms in an early adolescent cohort[J]. *Psychol Med*, 2023, 53(12):5852-5860.
- [30] ATAIE-JAFARI A, QORBANI M, HESHMAT R, et al. The association of vitamin D deficiency with psychiatric distress and violence behaviors in Iranian adolescents;the CASPIAN-III study[J]. *J Diabetes Metab Disord*, 2015, 14:62.
- [31] NAMAZI N, QORBANI M, SHAFIEE G, et al. Association of vitamin D concentrations with subjective health complaints in children and adolescents;the CASPIAN-V study [J]. *BMC Public Health*, 2021, 21(1):3.
- [32] KELLEY L, SANDERS A F, BEATON E A. Vitamin D deficiency, behavioral atypicality, anxiety and depression in children with chromosome 22q11.2 deletion syndrome [J]. *J Dev Orig Health Dis*, 2016, 7(6):616-625.
- [33] HAN B, ZHU F X, YU H F, et al. Low serum levels of vitamin D are associated with anxiety in children and adolescents with dialysis [J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1):5956.
- [34] FEDOTOVA J, PIVINA S, SUSHKO A. Effects of chronic vitamin D₃-hormone administration on anxiety-like behavior in adult female rats after long-term ovariectomy[J]. *Nutrients*, 2017, 9(1):28.
- [35] ZHANG Z, YANG X, JIA Y, et al. Vitamin D and the risks of depression and anxiety;an observational analysis and genome-wide environment interaction study[J]. *Nutrients*, 2021, 13(10):3343.
- [36] CALLEGARI E T, REAVLEY N, GORELIK A, et al. Serum 25-hydroxy vitamin D and mental health in young Australian women;results from the Safe-D study[J]. *J Affect Disord*, 2017, 224:48-55.
- [37] EYLES D W, SMITH S, KINOBE R, et al. Distribution of the vitamin D receptor and 1 alpha-hydroxylase in human brain[J]. *J Chem Neuroanat*, 2005, 29(1):21-30.
- [38] GRUDET C, LINDQVIST D, MALM J, et al. 25(OH)D levels are decreased in patients with difficult-to-treat depression [J]. *Compr Psychoneuroendocrinol*, 2022, 10:100126.
- [39] KHAIRY E Y, ATTIA M M. Protective effects of vitamin D on neurophysiologic alterations in brain aging;role of brain-derived neurotrophic factor (BDNF) [J]. *Nutr Neurosci*, 2021, 24(8):650-659.
- [40] SHIRAZI H A, RASOULI J, CIRIC B, et al. 1,25-dihydroxy vitamin D₃ enhances neural stem cell proliferation and oligodendrocyte differentiation[J]. *Exp Mol Pathol*, 2015, 98(2):240-245.
- [41] CHEN J, LI C R, YANG H, et al. proBDNF attenuates hippocampal neurogenesis and induces learning and memory deficits in aged mice [J]. *Neurotox Res*, 2016, 29(1):47-53.
- [42] POPOVA N K, ILCHIBAEVA T V, NAUMENKO V S. Neurotrophic factors (BDNF and GDNF) and the serotonergic system of the brain [J]. *Biochemistry (Mosc)*, 2017, 82(3):308-317.

gov.cn/jyb_xxgk/gk_gbgg/moe_0/moe_8/moe_25/tnull_285.html.
Ministry of Education of the PRC. Work plan of national students' physical fitness and health monitoring network [EB/OL]. (2003-11-11) [2024-05-22]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xxgk/gk_gbgg/moe_0/moe_8/moe_25/tnull_285.html. (in Chinese)

- [39] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会关于印发《国家基本公共卫生服务规范(第三版)》的通知[EB/OL]. (2017-03-28) [2024-05-22]. <http://www.nhc.gov.cn/cms-search/xxgk/getManuscriptXxgk.htm? id=d20c37e23e1f4c7db7b8e25f34473e1b>.

Circular of the National Health and Family Planning Commission of the PRC on the issuance of the National Norms for Basic Public Health Services (Third Edition) [EB/OL]. (2017-03-28) [2024-05-22]. <http://www.nhc.gov.cn/cms-search/xxgk/getManuscriptXxgk.htm? id=d20c37e23e1f4c7db7b8e25f34473e1b>. (in Chinese)

- [40] 中华人民共和国卫生部, 中华人民共和国教育部. 关于印发《中小学生健康体检管理办法》的通知[EB/OL]. (2008-06-27) [2024-05-22]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2008/content_1175830.htm.

Ministry of Health of the PRC, Ministry of Education of the PRC. Notice on the issuance of Measures for the Administration of Health Check-ups for Primary and Secondary School Students [EB/OL]. (2008-06-27) [2024-05-22]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2008/content_1175830.htm. (in Chinese)

- [41] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 关于印发 2019 年全国学生常见病和健康影响因素监测与干预工作方案的通知[EB/OL]. (2019-03-29) [2024-04-01]. <http://www.nhc.gov.cn/jkj/s5898bm/201903/1bcbac21e1864377ad24984fac014c7d.shtml>.

National Health Commission of the PRC. Notice on the issuance of the work program on monitoring and intervention of common diseases and health influencing factors of national students in 2019 [EB/OL]. (2019-03-29) [2024-04-01]. <http://www.nhc.gov.cn/jkj/s5898bm/201903/1bcbac21e1864377ad24984fac014c7d.shtml>. (in Chinese)

- [42] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中华人民共和国教育部.

中小学生健康体检管理办法[EB/OL]. (2021-09-30) [2024-05-22]. http://www.moe.gov.cn/s78/A17/twys_left/moe_943/moe_793/tnull_52366.html.

National Health Commission of the PRC, Ministry of Education of the PRC. Measures for physical examination of primary and secondary school students [EB/OL]. (2021-09-30) [2024-05-22]. http://www.moe.gov.cn/s78/A17/twys_left/moe_943/moe_793/tnull_52366.html. (in Chinese)

- [43] 中华人民共和国教育部等五部门关于全面加强和改进新时代学校卫生与健康教育工作的意见[EB/OL]. (2021-08-10) [2024-05-22]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A17/moe_943/moe_946/202108/t20210824_553917.html.

Opinions of the Ministry of Education and other four departments of the PRC on comprehensively strengthening and improving school health and health education in the new era [EB/OL]. (2021-08-10) [2024-05-22]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A17/moe_943/moe_946/202108/t20210824_553917.html. (in Chinese)

- [44] 中华医学会骨科学分会脊柱外科学组. 中国青少年脊柱侧凸筛查临床实践指南及路径指引[J]. 中华骨科杂志, 2020, 40(23): 1574-1582.

Spinal Surgery Branch of the Chinese Orthopaedic Association. Adolescent scoliosis screening in China: clinical practice guideline and pathway [J]. Chin J Orthoped, 2020, 40(23): 1574-1582. (in Chinese)

- [45] 中华预防医学会脊柱疾病预防与控制专业委员会. 儿童青少年特发性脊柱侧弯非手术治疗专家共识[EB/OL]. (2022-07-27) [2024-04-01]. http://www.guidelines-registry.cn/guid/1796? lang=zh_CN.

Chinese Preventive Medical Association Spinal Disease Prevention and Control Professional Committee. Expert consensus on nonsurgical treatment of idiopathic scoliosis in children and adolescents [EB/OL]. (2022-07-27) [2024-04-01]. http://www.guidelines-registry.cn/guid/1796? lang=zh_CN. (in Chinese)

收稿日期:2024-04-16 修回日期:2024-05-24 本文编辑:孙曼莉

(上接第 1058 页)

- [43] YEH M L, SELVAM R, LEVINE E S. BDNF-induced endocannabinoid release modulates neocortical glutamatergic neurotransmission [J]. Synapse, 2017, 71(5): e21962.

- [44] SANCHEZ B, LOPEZ-MARTIN E, SEGURA C, et al. 1,25-Dihydroxy vitamin D(3) increases striatal GDNF mRNA and protein expression in adult rats [J]. Brain Res Mol Brain Res, 2002, 108(1/2): 143-146.

- [45] RUHÉ H G, MASON N S, SCHEINE A H. Mood is indirectly related to serotonin, norepinephrine and dopamine levels in humans: a Meta-analysis of monoamine depletion studies [J]. Mol Psychiatry, 2007, 12(4): 331-359.

- [46] CALCIA M A, BONSALL D R, BLOOMFIELD P S, et al. Stress and neuroinflammation: a systematic review of the effects of stress on microglia and the implications for mental illness [J]. Psychopharmacology (Berl), 2016, 233(9): 1637-1650.

- [47] GABBAY V, KLEIN R G, ALONSO C M, et al. Immune system dysregulation in adolescent major depressive disorder [J]. J Affect Disord, 2009, 115(1/2): 177-182.

- [48] MUSAZADEH V, KERAMATI M, GHALICHI F, et al. Vitamin D protects against depression: evidence from an umbrella Meta-analysis on interventional and observational Meta-analyses [J]. Pharmacol Res, 2023, 187: 106605.

- [49] MIRARCHI A, ALBI E, BECCARI T, et al. Microglia and brain disorders: the role of vitamin D and its receptor [J]. Int J Mol Sci, 2023, 24(15): 11892.

- [50] ZHANG Y, LEUNG D Y M, GOLEVA E. Vitamin D enhances glucocorticoid action in human monocytes: involvement of granulocyte-macrophage colony-stimulating factor and mediator complex subunit 14 [J]. J Biol Chem, 2013, 288(20): 14544-14553.

- [51] GOWDA U, MUTOWO M P, SMITH B J, et al. Vitamin D supplementation to reduce depression in adults: Meta-analysis of randomized controlled trials [J]. Nutrition, 2015, 31(3): 421-429.

- [52] OBRADOVIC D, GRONEMEYER H, LUTZ B, et al. Cross-talk of vitamin D and glucocorticoids in hippocampal cells [J]. J Neurochem, 2006, 96(2): 500-509.

- [53] HÖGBERG G, GUSTAFSSON S A, HÄLLSTRÖM T, et al. Depressed adolescents in a case-series were low in vitamin D and depression was ameliorated by vitamin D supplementation [J]. Acta Paediatr, 2012, 101(7): 779-783.

- [54] FÖCKER M, ANTEL J, GRASEMANN C, et al. Effect of an vitamin D deficiency on depressive symptoms in child and adolescent psychiatric patients: a randomized controlled trial; study protocol [J]. BMC Psychiatry, 2018, 18(1): 57.

收稿日期:2024-03-14 修回日期:2024-04-22 本文编辑:汤建军