下尿路神经性排尿功能障碍及盆底功能修复专题 DOI:10.13406/j.cnki.cyxb.003819

胚胎发育学视角下盆腹腔神经丛形成机制与解剖特性研究进展

宋昊伟,庞 磊

（山西医科大学第五医院/山西省人民医院泌尿外科,山西 030012）

【摘 要】盆腹腔神经丛作为人体神经系统的重要组成部分,不仅调节并协调盆腹腔内各器官的功能活动,还参与盆腔疼痛感知与传导,以及自主神经系统调节等过程。因此,深入研究盆腹腔神经丛的生理功能及作用机制,对于揭示盆腹腔神经丛的奥秘、防治相关疾病具有重要意义。近年来,随着胚胎发育学的深入研究,盆腹腔神经丛的发育过程及其相关机制逐渐被揭示,为相关疾病的预防、诊断和治疗提供了新的思路和方法。该文将从胚胎发育学的角度出发,对盆腹腔神经丛的发育过程、解剖结构、功能特性以及相关临床应用进行综述。

【关键词】盆腹腔神经丛;胚胎发育学;解剖学

【中图分类号】R4 【文献标志码】A 【收稿日期】2025-01-27

Research advances in the formation mechanism and anatomical characteristics of pelvic and abdominal nerve plexuses from the perspective of embryonic development

Song Haowei, Pang Lei

(*Department of Urology, The Fifth Hospital of Shanxi Medical University & Shanxi People's Hospital*)

【Abstract】As an important part of the human nervous system, the pelvic and abdominal nerve plexuses not only regulate and coordinate functional activities of various organs within the pelvic and abdominal cavities, but also participate in the processes such as pelvic pain conduction and autonomic nervous system modulation. Therefore, in-depth studies on the physiological function and mechanism of action of the pelvic and abdominal nerve plexuses are important for revealing the mysteries of the pelvic and abdominal nerve plexuses and developing prevention and treatment strategies for related diseases. Recent studies on embryonic development have gradually clarified the developmental processes and related mechanisms of the pelvic and abdominal nerve plexuses, which provides new ideas and methods for disease prevention, diagnosis, and treatment. This article reviews the developmental process, anatomical structure, functional characteristics, and clinical applications of the pelvic and abdominal nerve plexuses from the perspective of embryonic development.

【Key words】pelvic and abdominal nerve plexuses; embryonic development; anatomy

盆腹腔神经发育是人体生理构建的关键环节。胚胎发育学通过解析神经嵴细胞迁移、神经纤维生长连接等过程,系统揭示其从胚胎早期至成熟阶段的发育规律,为疾病机制的研究和临床诊疗提供独特视角。当前研究通过解剖学进展已较为全面地揭示了神经与生殖/泌尿器官的毗邻关系[1],而成像与电生理技术更突破了神经微细结构观测及功能传导特性研究[2],但在多学科融合研究领域与先天性疾病预防方面仍显不足。因此,通过从胚胎发育学角度对盆腹腔神经进行重新审视,有助于明确病因,预防盆腹腔神经所致的相关疾病。

然而,盆腹腔神经丛发育研究领域依然面临诸多挑战:首先神经丛结构涉及多种细胞类型、递质及信号通路的复杂

作者介绍:宋昊伟,Email:song202211@126.com,研究方向:泌尿外科。

通信作者:庞 磊,Email:panglei_3511@sina.com。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:82470809);山西省自然科学基金资助项目(编号:202103021224391);山西省教育厅山西省高等学校一般性教学改革创新立项资助项目(编号:J20230474)。

优先出版:https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20250402.1427.002(2025-04-02)

作用；其次，在技术层面，目前仍难以实现对神经嵴细胞迁移分化过程的精准追踪，且基因调控网络的关键节点也仍待进一步解析。展望未来，该领域研究需重点突破以下 3 个方向：①神经形成的分子机制；②盆腹腔神经相关疾病的胚胎起源机制；③发育规律与临床应用的有效转化衔接。

1 盆腹腔神经丛胚胎发育概述

胚胎发育学是研究生物体从受精卵到成熟个体发育过程及其规律的科学。在胚胎发育过程中，神经系统作为最早形成的系统之一，其发育过程受到精准调控。盆腹腔神经丛发育过程同样遵循着胚胎发育的基本规律。

1.1 神经嵴的形成与迁移

神经嵴是脊椎动物特有的 1 个结构，仅在胚胎发育过程中短暂存在，属外胚层起源。在由神经沟愈合为神经管的过程中，神经沟边缘与表面外胚层相延续的一部分神经外胚层细胞游离出来，形成左右 2 条与神经管平行的细胞索，位于表面外胚层的下方，神经管的背外侧，称神经嵴。神经嵴细胞具有高度的迁移性和多向分化潜能，能够分化为多种类型的细胞，包括神经细胞、胶质细胞和平滑肌细胞等[3]。在盆腹腔神经丛的发育过程中，神经嵴细胞的迁移和分化起着至关重要的作用[4]。在经历了从上皮细胞到间充质细胞的转换后，神经嵴细胞变成 1 种具有高机动性的细胞群，其最开始呈波状移动，离开神经管向胚胎前侧下方迁移，但很快分裂成许多沿不同方向稳定前行的细胞流[5]。随着发育的进行，这些细胞借助自身的趋化性以及趋电性进一步迁移到盆腹腔区域，并分化为神经节细胞、神经元和胶质细胞等[6]。这些细胞共同构成了盆腹腔神经丛的基本结构[7]。

1.2 盆腹腔神经丛的分化与发育

盆腹腔神经丛起源于外胚层，由神经嵴和神经管分化而成。神经管是胚胎发育过程中形成的另一个重要结构，其最终将发育成为中枢神经系统。在盆腹腔神经丛的发育过程中，神经管的形成和分化也起着关键作用。神经管是神经系统的主要胚胎原基。人胚第 3 周初，在脊索的诱导下，出现了由神经外胚层构成的神经板。随着脊索的延长，神经板也逐渐长大并形成神经沟。在相当于枕部体节的平面上，神经沟首先愈合成管，愈合过程向头、尾两端进展，最后在头尾两端各有一开口，分别称前神经孔和后神经孔。胚胎第 25 天左右，前神经孔闭合，第 27 天左右，后神经孔闭合，完整的神经管形成。神经管前端发育为脑，后部发育为脊髓[8]。神经管基板内的神经细胞分化为运动神经元，先形成脊髓灰质的前角，而后构成脊神经的前根[8-9]。神经管翼板内的神经细胞分化出中间神经元，先形成脊髓灰质的后角，而后构成脊神经的后根。前根和后根在椎间孔处合为 1 条脊神经，脊神经再度分支，从而形成了盆腹腔中的神经。盆腹腔神经丛的形成和发育是通过脊神经前支相邻神经干相互交织而成的，涉及多种细胞类型的分化和迁移。在神经嵴细胞和神经管细胞的分化和迁移过程中，盆腹腔神经丛逐渐形成并发育成熟。在发育过程中，盆腹腔神经丛的神经元和胶质细胞逐渐分化为不同的亚型，并形成了复杂的神经网络[9]。这些神经元和胶质细胞通过突触连接相互联系，共同维持盆腹腔脏器的正常生理功能。

2 盆腹腔神经丛相关疾病的胚胎发育学机制

2.1 神经嵴细胞异常

神经嵴细胞在盆腹腔神经丛的发育过程中起着关键作用，参与分化成盆腹腔神经丛的神经元和神经胶质细胞。神经嵴细胞的迁移、分化和发育异常均可能导致盆腹腔神经丛的结构和功能异常，从而引发相关疾病。例如，神经嵴细胞的迁移异常可能导致肠道神经系统前体细胞不能定植胎儿远端肠道，导致肠道神经元缺失，引发先天性巨结肠[10]。

2.2 神经管分化异常

神经管的分化和发育过程涉及多种基因和信号通路的调控。神经管在胚胎发育时期的闭合不全，可能导致脊髓和盆腹腔神经丛的发育异常，从而引发相关疾病[11]。例如，脊髓栓系综合征患者常伴有脊髓和盆腹腔神经丛的发育异常，导致盆腹部皮肤感觉麻木或感觉减退。膀胱和直肠功能障碍常同时出现[12]。前者包括遗尿、尿频、尿急、尿失禁和尿潴留，后者包括便秘或大便失禁。儿童以遗尿或尿失禁最多见[13]。

2.3 环境因素影响

胚胎发育过程中的环境因素也可能影响盆腹腔神经丛的发育。例如，孕期感染、药物暴露和吸烟等因素可能干扰神经嵴细胞、神经管细胞的正常分化和迁移过程，从而引发盆腹腔神经丛的发育异常。

3 胚胎学角度下的盆腹腔神经丛解剖特性

胚胎期盆腹腔神经丛是由多种神经纤维和神经元组成的复杂网络结构，其解剖结构具有以下特征。盆腹腔神经丛主要分布盆腔和腹腔内，其分布范围广泛，涉及多个脏器和组织，对于消化系统来讲，盆腹腔神经丛支配直肠、横结肠左半、降结肠等；对于泌尿系统来讲，盆腹腔神经丛支配双侧输尿管的中下段、膀胱、尿道等；对于生殖系统来讲，盆腹腔神经丛在男性中支配输精管、精囊腺、前列腺、阴茎海绵体等。在女性中则支配输卵管和卵巢等。具体来说，盆腹腔神经丛包括盆腔内脏神经丛、腹下神经丛、肠系膜下神经丛等。这些神经丛分别位于盆腔、腹腔和腹膜后等部位，共同构成了盆腹腔神经系统的基本框架。盆腹腔神经丛主要由神经元、神经纤维和胶质细胞组成。神经元是神经丛的基本单位，负责传递和处理信息。而盆腹腔神经丛中的神经元分为感觉

神经元和运动神经元两大类。神经纤维则是神经元之间的连接部分，负责传递神经冲动。而盆腹腔神经纤维由躯体感觉纤维、躯体运动纤维、内脏感觉纤维、内脏运动纤维。胶质细胞则起到支持、保护、营养和修复神经元的作用[14]。其中盆腹腔神经丛的胶质细胞分为施万细胞和卫星细胞两大类。在结构上，盆腹腔神经丛呈现出复杂的网状结构。神经元和神经纤维交织在一起，形成了一个个神经节和神经束。这些神经节和神经束相互连接，共同构成了一个庞大的神经网络。见图1。

盆腹腔神经丛在功能上可以分为感觉神经丛和运动神经丛两部分。感觉神经丛主要负责接收来自盆腹腔脏器和肌肉的感觉信息，如疼痛、温度、压力等。运动神经丛则主要负责调控盆腹腔脏器和肌肉的运动功能，如肠道蠕动、膀胱收缩和肌肉舒张等。

4 胚胎学角度下的盆腹腔神经丛功能分子机制

在神经丛的发育过程中，多种分子包括神经生长因子（nerve growth factor，NGF）、脑源性神经营养因子（brain-derived neurotrophic factor，BDNF）等起着关键作用。这些因子对于神经细胞的存活、分化和神经连接的形成至关重要。其中NGF在神经丛发育中的分子机制主要包括：NGF的合成与释放：NGF最初以无活性的前体形式合成，随后从内质网释放到细胞质中，并被特定的蛋白酶切割成分子量约为25 kDa的NGF前体。二聚化后，这种50 kDa的NGF前体二聚体（proNGF）可以在细胞内裂解，释放出26 kDa的成熟NGF二聚体。NGF的受体结合与信号转导：成熟的NGF二聚体可以启动受体二聚化并与酪氨酸激酶受体A（tyrosine kinase receptor A，TrkA）和神经营养因子受体（P75 neurotrophin receptor，P75NTR）结合。在神经元细胞中，NGF-TrkA结合诱导多种酪氨酸的磷酸化，并通过磷脂酰肌醇-3-激酶（phosphatidylin-ositol-3-kinase，PI3K）、大鼠肉瘤（rat sarcoma，Ras）和磷脂酶Cγ（phospholipase Cγ，PLCγ）途径触发下游信号传导。这会导致神经突起生长和其他药效作用。信号干预机制：NGF-TrkA介导的信号传导可以通过多种机制进行干预，包括NGF二聚体的螯合、TrkA受体的拮抗作用、P75受体的拮抗作用以及抑制细胞内TrkA激酶。另外，BDNF在神经丛发育中起着至关重要的作用。BDNF是1种小分子蛋白质，属于神经营养因子家族，最初在大脑中发现，但在中枢和外周神经系统中广泛表达。BDNF通过与神经元上的酪氨酸激酶受体B（tyrosine kinase receptor B，TrkB）受体结合，激活下游信号通路，从而调控神经元的分化、成熟和突触形成。至少有2种受体，1个是亲和力较低的神经生长因子受体（nerve growth factor receptors，NGFR），另一个是亲和力较高的TrkB。BDNF在盆腹神经丛发育中的扮演着十分重要的作用，包括：神经元的分化、成熟和突触形成；此外，BDNF和TrkB的结合会引发包括丝裂原活化蛋白激酶（mitogen-activated protein kinase，MAPK）/细胞外调节蛋白激酶（extracelluar regulated protein kinases，ERK）、PLCγ和PI3K等多种细胞内信号通路激活；同时，研究表明，BDNF在外周

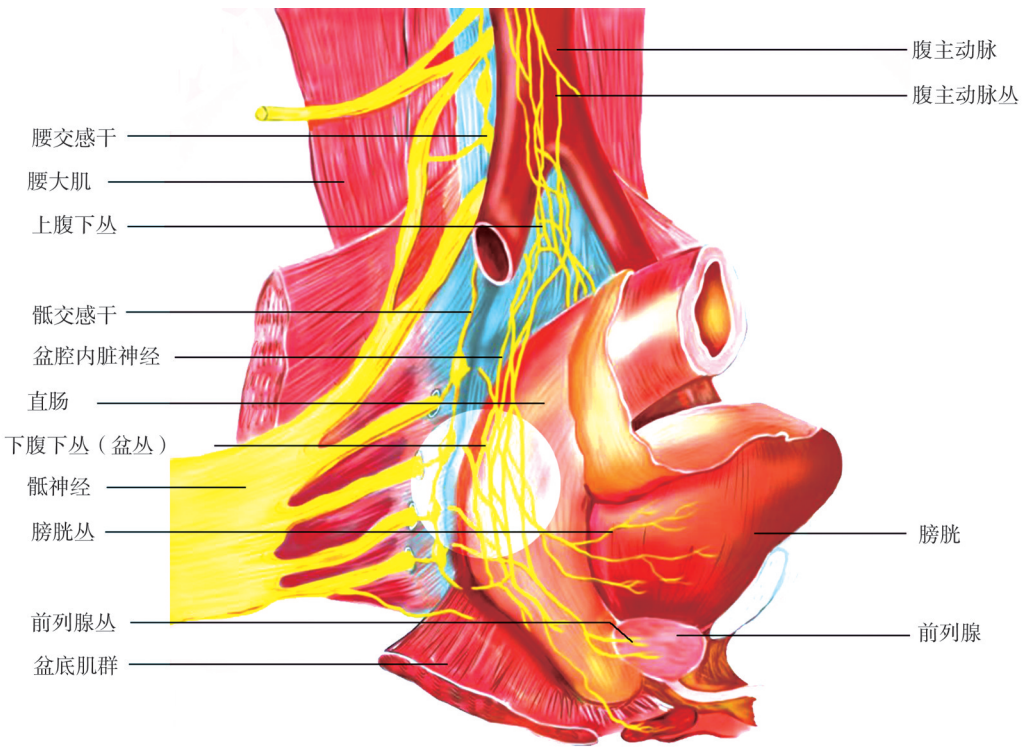


图1 盆腹腔神经丛

水平参与调控顽固性盆腔痛中的体感-交感耦合作用，可能作为潜在治疗顽固性盆腔痛引起的神经病理性疼痛的靶点。BDNF在神经丛发育中通过与其受体TrkB结合，激活下游信号通路，调控神经元的分化、成熟和突触形成[15]。这一过程对于神经系统的正常发育和功能维持至关重要[16]。此外，Wnt/β连环蛋白（β-catenin）、音猬因子（sonic hedgehog homology，Shh）/Gli等信号通路也在神经丛的发育中扮演着重要角色，其调控着神经嵴细胞的分化和神经通路的形成。

5 胚胎学角度下的盆腹腔神经丛细胞间相互作用

神经节细胞与神经纤维的相互作用：盆丛由神经节细胞和神经纤维组成，这些神经纤维的走行方向主要是纵向，但也伴有少量的横向纤维。在胎儿盆神经丛中，散在分布着大小不等的神经节，前部和上部的神经节较密集。副交感与交感神经纤维的相互作用：盆丛中副交感神经纤维起源于脊髓骶部第2到第4节段的副交感核，节后纤维加入盆丛，支配盆腔脏器。交感神经纤维则起源于胸腰段脊髓，节后纤维在盆神经丛或器官壁内更换神经元，支配盆底器官。躯体神经与自主神经的相互作用：研究发现，起自S2和S3的一些躯体神经纤维与盆内脏神经走行靠近，从盆脏内部下降，支配肛提肌和尿道膜部的横纹肌。这表明躯体神经和自主神经在盆底器官的支配上存在密切的相互作用。在胚胎发育的第8周末，盆丛具有与成年人相当的排列，在胚胎发育的后期盆神经丛未发生明显的位移与变形。胎儿盆神经丛呈不规则多孔的扁平三角形，具有2个面、3个边和3个角，这种结构不同于成人盆神经丛的经典四边形形状。盆腹神经丛的功能主要包括调节盆腔器官的平滑肌、腺体和血管活动。在临床实践中，了解和保护盆腹神经丛对于减少术后并发症（如排尿和性功能障碍）至关重要。

6 盆腹腔神经丛胚胎发育异常与临床疾病的相关性

盆腹腔神经丛胚胎发育异常可能导致多种泌尿外科疾病和肠道疾病，这些疾病通常与自主神经系统的功能失调有关。盆腹腔神经丛胚胎发育异常是指在胚胎发育过程中，盆腹腔内的神经丛（如腹下神经丛和上腹下神经丛等）由于基因突变、染色体异常或环境因素等原因，导致的神经结构或功能的异常[17]。常见类型包括神经节、神经纤维的融合、紧密相连、缺失或发育不全等。

盆腹腔神经丛胚胎发育异常的临床表现。盆腹腔神经丛胚胎发育异常改变与多种疾病的发生密切相关。例如，慢性盆腔疼痛综合征、肠易激综合征等疾病常伴有盆腹腔神经丛的功能异常。通过影像学检查、神经电生理检查等方法，可以检测盆腹腔神经丛的结构和功能状态，为疾病的诊断提供依据[18]。盆腹腔神经丛在疼痛传导和调控中起着重要作用。针对盆腹腔神经丛的疼痛治疗手段包括药物治疗、神经阻滞、射频消融和手术治疗等[19]。这些方法能够有效地缓解盆腹腔疼痛，提高患者的生活质量。盆腹腔神经丛的功能异常可能导致盆腹腔脏器的运动功能障碍。通过康复训练、神经调控等方法，可以促进盆腹腔神经丛的功能恢复，改善患者的运动功能。例如，在脊髓损伤患者中，通过康复训练和神经调控手段，可以促进盆腹腔神经丛的再生和修复，从而改善患者的排便、排尿等功能[20]。盆腹腔神经丛的功能异常还可能与心理因素有关。例如，焦虑和抑郁等心理问题可能导致盆腹腔神经丛的紧张性增加，从而引发腹痛、腹泻等症状。通过心理治疗手段，如认知行为疗法、放松训练等，可以缓解患者的心理压力，改善盆腹腔神经丛的功能状态。

7 盆腹腔神经丛胚胎发育学发展前景

随着胚胎发育学的不断深入研究，盆腹腔神经丛的发育过程及其相关机制将逐渐被揭示。未来研究方向包括：①基因调控网络的研究：众多转录因子和信号分子协同调控了盆腹腔神经丛的复杂形成过程。通过高通量测序、基因敲除等技术手段，深入研究盆腹腔神经丛发育过程中的基因调控网络，揭示关键基因和信号通路的作用机制。通过整合高通量测序、基因敲除、基因编辑等多种技术手段，深入研究盆腹腔神经丛发育过程中的基因调控网络，揭示关键基因和信号通路的作用机制及其相互作用关系。②环境因素与盆腹腔神经丛发育的相关性研究：探讨孕期感染、药物暴露等环境因素对盆腹腔神经丛发育的影响及其机制，为预防相关疾病提供科学依据。③临床应用的拓展：基于盆腹腔神经丛发育及其相关机制的研究成果，拓展临床应用范围，如开发新的诊断方法、治疗手段和预防策略等。例如，利用基因检测技术预测盆腹腔神经丛相关疾病的风险；利用神经调控技术治疗慢性盆腔疼痛综合征等疾病；利用生物材料技术修复受损的盆腹腔神经丛等。④建立完善的盆腹腔神经丛发育研究体系：通过建立完善的实验平台、数据共享机制和人才培养体系等措施，推动盆腹腔神经丛发育研究的深入发展。同时，加强与国际同行的交流与合作，共同推动该领域的研究进展。⑤跨学科合作：盆腹腔神经丛的发育过程涉及生物学、医学、心理学等多个学科领域。通过跨学科合作，可以整合不同领域的知识和资源，共同推动盆腹腔神经丛发育研究的发展。⑥新技术应用：随着科技的不断进步，越来越多的新技术被应用于胚胎发育学研究领域。例如，单细胞测序技术可以揭示细胞异质性和基因表达谱；光遗传学技术能够通过光敏感蛋白实现对特定类型神经元的精准时空操控；计算机模拟技术可以模拟神经系统的发育和功能等。这些新技术的应用将为盆腹腔神经丛发育研究提供有力支持。⑦临床需求驱动：盆腹腔神经丛相关疾病在临床上较为常见，目前

诊治手段有限。通过深入研究盆腹腔神经丛的发育过程及其相关机制，可以为相关疾病的预防、诊断和治疗提供新的思路和方法。

8 结 语

盆腹腔神经丛作为人体神经系统的重要组成部分，其发育过程受到多种因素的精确调控。从胚胎发育学的角度出发，深入研究盆腹腔神经丛的发育过程及其相关机制，对于理解盆腹腔神经丛的正常生理功能以及相关疾病的发病机理具有重要意义。未来，随着科学技术的不断进步和跨学科合作的深入发展，盆腹腔神经丛发育研究将迎来更加广阔的前景。

参 考 文 献

[1] Mastronardi M, Raimondo D, Mabrouk M, et al. The anatomy of the pelvic plexus in female cadavers: implications for retroperitoneal nerve-sparing surgery[J]. Facts Views Vis Obgyn, 2024, 16(2): 203-211.

[2] Schuler R, Marquardt C, Kalev G, et al. Technical aspects of a new approach to intraoperative pelvic neuromonitoring during robotic rectal surgery[J]. Sci Rep, 2023, 13(1): 17156.

[3] Tan J, Duron A, Sucov HM, et al. Placode and neural crest origins of congenital deafness in mouse models of Waardenburg-Shah syndrome [J]. iScience, 2025, 28(1): 111680.

[4] Thombare K, Vaid R, Pucci P, et al. METTL3/MYCN cooperation drives neural crest differentiation and provides therapeutic vulnerability in neuroblastoma[J]. EMBO J, 2024, 43(24): 6310-6335.

[5] Magel V, Blum J, Dolde X, et al. Inhibition of neural crest cell migration by strobilurin fungicides and other mitochondrial toxicants[J]. Cells, 2024, 13(24): 2057.

[6] William JB, Shelby J, Rabia A, et al. Twist1 interacts with beta/delta-Catenins during neural tube development and regulates fate transition in cranial neural crest cells[J]. Development (Cambridge, England), 2022, 149(15): 132-138.

[7] Basil B, Mba IN, Myke-Mbata BK, et al. A first trimester prediction model and nomogram for gestational diabetes mellitus based on maternal clinical risk factors in a resource-poor setting[J]. BMC Pregnancy Childbirth, 2024, 24(1): 346-351.

[8] Verbakel JY, Steyerberg EW, Uno H, et al. ROC curves for clinical prediction models part 1. ROC plots showed no added value above the AUC when evaluating the performance of clinical prediction models[J]. J Clin Epidemiol, 2020, 126: 207-216.

[9] Walker LJ, Guevara C, Kawakami K, et al. Target-selective vertebrate motor axon regeneration depends on interaction with glial cells at a peripheral nerve plexus[J]. PLoS Biol, 2023, 21(8): e3002223.

[10] Soma D, Stephen S, Trainor Paul A. Novel roles for rRNA and ribosome biogenesis associated factors in neural crest cell colonization of the gut and in the pathogenesis of Hirschsprung disease[J]. FASEB J, 2022, 36(S1): 231-238.

[11] Gebremariam BM, Hailu D, Stoecker BJ, et al. Birth prevalence and determinants of neural tube defects among newborns in Ethiopia: a systematic review and meta-analysis[J]. PLoS One, 2025, 20(1): e0315122.

[12] 王小花，惠 慧，俞 岩，等. Fibrillin-1，Fibulin-5及LOXL-1在盆底器官脱垂患者阴道前壁组织中的表达及意义[J]. 重庆医科大学学报，2021，46(4)：417-422

Wang XH, Hui H, Yu Y, et al. Expression and significance of Fibrillin-1, Fibulin-5 and lysyl-oxidase-1 on the anterior vaginal wall in patients with pelvic floor organ prolapse[J]. Journal of Chongqing Medical University, 2021, 46(4): 417-422.

[13] Watanabe Y, Ikeda H, Ono T, et al. Prevalence of urinary incontinence and its association with neurodevelopmental disorders among children in Japan[J]. Neurourol Urodyn, 2024, 44(2): 458-463.

[14] Tang Z, Lu HY, Yang X, et al. Single-cell RNA sequencing provides new insights into the interaction between astrocytes and neurons after spinal cord injury in mice[J]. Biochem Biophys Rep, 2025, 41: 101917.

[15] Çelebi Z, Yazıcı E, Güzel Erdoğan D, et al. Relationship between klotho, neurotrophic factors (BDNF, NGF, GDNF) and cognitive functions in patients with bipolar disorder[J]. BMC Psychiatry, 2025, 25(1): 53.

[16] Dewi MM, Imron A, Risan NA, et al. The association of vitamin D, nerve growth factor (NGF), brain-derived neurotrophic factor (BDNF), and glial cell-derived neurotrophic factor (GDNF) with development in children[J]. Children (Basel), 2025, 12(1): 60.

[17] 李传鸿，俞 兴，杨永栋，等. 脊髓损伤中的小胶质细胞：M1/M2表型极化发挥神经毒性/神经保护作用[J]. 中国组织工程研究，2022，26(14)：2265-2272.

Li CH, Yu X, Yang YD, et al. Microglia in spinal cord injury: M1/M2 phenotypic polarization and neurotoxic/neuroprotective effects[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2022, 26(14): 2265-2272.

[18] Delval A, Touitou T, Gondry-Jouet C, et al. A non-inferiority study of MRI versus CT for staging and image-defined risk factor assessment in the preoperative work-up of abdominopelvic neuroblastoma[J]. Eur J Radiol, 2024, 177: 111580.

[19] Hentzen C, Cabrilo I, Malladi P, et al. Sacral Tarlov cysts: Neurophysiology abnormalities and correlation with pelvic sensory and visceral symptoms[J]. Eur J Neurol, 2023, 30(9): 2838-2848.

[20] Yang S, Zhou ZK, Liu XC, et al. The effect of detethering surgery on the bladder function and psychology of children with primary tethered cord syndrome[J]. Int Braz J Urol, 2025, 51(1): e20240311.

（责任编辑：周一青）

本文引用格式：

宋昊伟，庞 磊. 胚胎发育学视角下盆腹腔神经丛形成机制与解剖特性研究进展[J]. 重庆医科大学学报，2025，50(4)：421-425.