

## 鸡 INR 的神经束与血-神经屏障的超微结构

柳金雄, 王江, 杨平, 冯亚玫, 徐春生, 包慧君, 陈秋生

(南京农业大学动物医学院, 南京 210095)

**摘要:** 【目的】研究鸡肠 Remak 神经 (INR) 神经束的超微构造与血-神经屏障的微细形态, 为进一步阐明 INR 的生理功能提供理论基础。【方法】应用透射电镜技术研究鸡肠 Remak 神经 (INR) 神经束的超微构造与血-神经屏障的微细形态。【结果】鸡 INR 被神经束膜分隔成许多神经束, 束内既有无髓纤维又有有髓纤维, 但无髓神经纤维的数量占绝对优势。雪旺氏细胞与两种神经纤维的形成与结构密切相关。神经束膜细胞突起长而薄, 包绕神经束, 其丰富的粗面内质网、线粒体和发达高尔基复合体, 以及以常染色质为主的细胞核和明显的核仁结构, 提示束膜细胞具有活跃的蛋白合成和分泌功能。不同于肠壁内 ENS 缺乏神经屏障的现象, 鸡 INR 的神经束膜中分布有血-神经屏障, 是由结构紧密的毛细血管及其周围多层排列的束膜细胞形成的, 且束膜细胞表面可见吞饮泡的形成, 但未见不同束膜细胞之间有特殊的细胞连接。这种组成特点表明, 鸡 INR 的血-神经屏障没有哺乳动物外周神经的严密。【结论】上述试验结果显示, 鸡 INR 的细胞学结构既不同于肠壁内 ENS, 也与外周神经有差异, 具有一定的特殊性。

**关键词:** 鸡; INR; 神经束; 血-神经屏障; 超微结构

## Ultrastructural Investigation on Nerve Tract and Blood-Nerve Barrier of Intestinal Nerve of Remak in Chicken

LIU Jin-xiong, WANG Jiang, YANG Ping, FENG Ya-mei, XU Chun-sheng, BAO Hui-jun, CHEN Qiu-sheng

(Veterinary Department, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

**Abstract:** 【Objective】The objective of the experiment is to detect the morphological feature, fine structure of nerve tract and blood-nerve barrier of the intestinal nerve of Remak (INR). 【Method】INR of chicken was examined by the transmission electron microscopy. 【Result】Results showed that INR was divided by the perineurium into many nerve tracts. Unmyelinated nerve fibers dominated in number in each nerve tract although there were both myelinated and unmyelinated nerve fibers there. Schwann's cells were related to the development and structure of the two fiber types. Each nerve tract was surrounded by the perineural cell with long and thin processus. The rough endoplasmic reticulum, mitochondrion and Golgi complex were developed and the euchromatin was dominated in the nucleus with a conspicuous nucleolus in the perineural cell, which indicated that the perineural cell engaged in active protein synthesis and secretion. Although the ENS in intestinal wall lacks blood-nerve barrier, there were the barriers in the INR, which consisted of tight capillary and surrounding layers of the perineural cells. Pinocytotic vesicles developed on surface of the perineural cell, whereas special cell junctions between the cells were not seen, which suggested that the blood-nerve barrier of the INR in chickens was not closer than that of peripheral nerve system in mammals. 【Conclusion】All the results above revealed that the cytological natures of the INR in the chicken were special, which is different from either the ENS in the intestinal wall or the peripheral nerve.

**Key words:** chicken; intestinal nerve of Remak (INR); nerve tract; blood-nerve barrier; ultrastructure

收稿日期: 2009-04-20; 接受日期: 2009-11-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30671513; 30270961)

作者简介: 柳金雄, 副研究员, 博士。E-mail: hero7983@yahoo.com.cn。通信作者陈秋生, 教授, 博士。Tel: 025-84395817; E-mail: Chenqsh305@yahoo.com.cn

## 0 引言

【研究意义】生理试验显示,一段离体的消化道在生理盐水溶液中可以自动收缩 10—20 h,并能对各种化学刺激进行正常反应,从而完成胃肠蠕动局部神经反射。可见,胃肠壁内存在一个完整的神经反射装置,包括感觉神经元、中间神经元以及支配胃肠效应器的运动神经元,它们独立于大脑之外,被称为肠神经系统(enteric nervous system, ENS),也称肠脑(gut brain),为植物性神经系统的第三大支系<sup>[1]</sup>。【前人研究进展】与其它脊椎动物(包括哺乳动物)不同,鸟类 ENS 的组成除了分布于消化道壁内的神经丛网络结构之外,还包括位于壁外的肠 Remak 神经(INR)<sup>[2]</sup>,形态组成更为复杂。近年来的研究表明,鸟类特有的 INR 除了支配消化管功能活动外,还分布到生殖、免疫和排泄等器官<sup>[3-5]</sup>,可能具有多方面的调节机能。进一步利用免疫细胞化学和原位杂交反应,探究了鸡 INR 神经递质种类、神经肽基因表达规律<sup>[6-7]</sup>,发现鸡 INR 内含多种神经递质,而且它们在神经元中具有共表达现象。这些资料有效地丰富了 INR 的神经生物学内容。新近的实验显示,ENS 与动物消化道许多疾病发生和功能紊乱密切相关<sup>[8-9]</sup>。所以,INR 在禽类生理活动和病理变化过程中具有特殊的作用。形态是机能的基础,但关于 INR 的超微形态的研究资料鲜有报道,在一定程度上限制了 INR 和 ENS 的功能研究<sup>[10]</sup>。另一方面,在脊椎动物的神经系统,除了中枢神经系统的血—脑屏障外,在外周神经系统中还分布着特殊的血—神经屏障,把外周神经与周围组织和细胞外液间隔开来,从而保护神经免受来自于血液的有害物质的干扰和损伤<sup>[11]</sup>。如果改变或降低这一屏障的严密性和通透性,则可发生外周神经阻滞现象<sup>[12]</sup>。【本研究切入点】鸡 INR 的性质既不同于壁内 ENS,又有别于一般的外周神经<sup>[10]</sup>,其结构内环境具有一定特殊性。内环境的维持依赖于神经内血管微细形态和通透性,以及神经束膜的细胞学特性。【拟解决的关键问题】本文应用透射电镜技术观测鸡 INR 的超微构造,分析 INR 的神经束膜细胞和血—神经屏障的形态特征,并对这些特点的结构意义进行讨论,以期从形态学上阐明禽类特殊消化生理的细胞学机制。

## 1 材料与方法

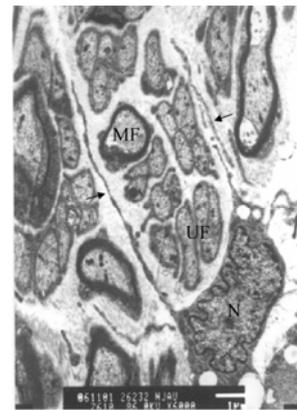
10 只健康成年三黄鸡购自南京卫岗农贸市场,雌雄不拘,每只体重 2.0—2.5 kg。颈动脉放血处死,迅

速剖腹,沿鸡肠系膜底缘游离并采取肠 INR,分别剪取神经节和节间束并固定于 2.5%戊二醛溶液(0.1 mol·L<sup>-1</sup>)的 PBS 液(pH 7.2—7.4),24 h 后,PBS 洗 3 次,1%锇酸后固定 1 h。PBS 洗后,上行梯度乙醇脱水,丙酮置换,Epon812 包埋。半薄切片用甲苯胺蓝染色并定位,然后超薄切片,醋酸铀和柠檬酸铅双重染色。JEOL-1200EX 透射电镜观测并照像。

## 2 结果

### 2.1 神经纤维束

神经束膜将 INR 分隔成许多神经纤维束,每束内包含 15—25 条神经纤维(图 1)。大部分的纤维束内既有无髓神经纤维,又有有髓神经纤维,两者的数量比约为 20:1。少数纤维束内只有无髓神经纤维(图 2)。神经纤维之间有纵行排列的胶原纤维。纵切面上可见神经纤维沿途形成一些膨大的过路节(图 3),内含一些致密颗粒。

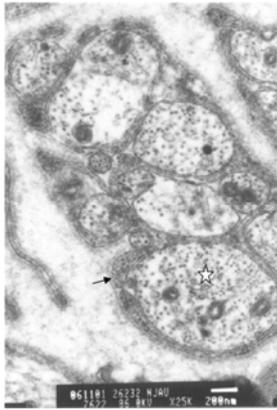


束膜细胞核(N),有髓神经纤维(MF),无髓神经纤维(UF)  
Nucleus of the perineurial cell(N), Myelinated nerve fiber(MF),  
Unmyelinated nerve fibers(UF)

图 1 神经束膜细胞及其突起(↑)包裹神经纤维束

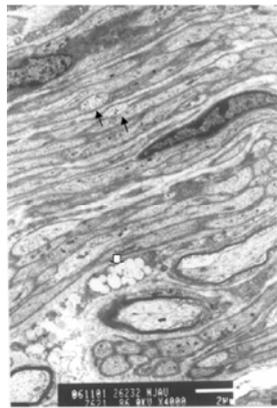
Fig. 1 The nerve tract is wrapped by perineurial cells and their long processus (↑)

神经束膜主要由 1—2 层束膜细胞组成,该细胞伸出很长的胞质突起将神经束包裹(图 1)。束膜细胞只在胞核处较厚,其余部分较薄。细胞核表面常有許多凹陷,有时甚至形成锯齿状。核两侧胞质中常有成群的空泡样结构分布(图 1, 4, 5),空泡中心有低电子密度的均质物。核内主要为常染色质,只有核膜下方有少量异染色质分布。核仁明显,主要由颗粒组



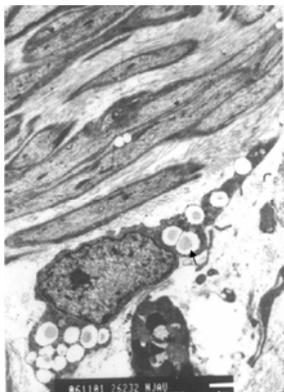
无髓神经纤维 (☆), 束膜细胞质 (↑)  
Unmyelinated nerve fibers (UF, ☆), Cytoplasm of the perineural cell (↑)

图 2 远离束膜细胞核的神经束横切面  
Fig. 2 Transverse section of a nerve tract far away from the nucleus of perineural cell



过路节 (↑), 束膜细胞突起 (⇔)  
Varicosity (↑), Process of the perineural cell (⇔)

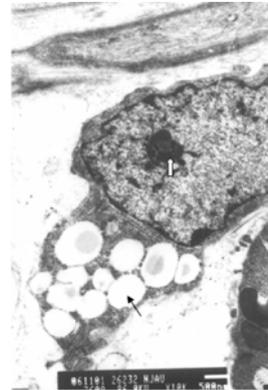
图 3 INR 纵切面  
Fig. 3 Vertical section of the INR



束膜细胞内含空泡 (↑) Vacuoles (↑) in the perineural cell

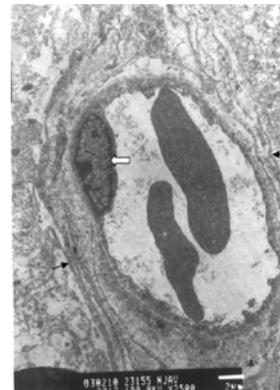
图 4 神经束纵切面  
Fig. 4 Vertical section of nerve tract

分和致密纤维组分相间排列构成 (图 5)。胞质空泡之间和核周围可见扁囊状粗面内质网和线粒体分布 (图 5)。细长的胞质突起内也分布有一定数量的粗面内质网、线粒体和空泡 (图 4)。在毛细血管周围常有多层束膜细胞及其突起包绕 (图 6)。



束膜细胞的核仁 (⇔), 胞质中空泡 (↑)  
Nucleolus (⇔) in the perineural cell, Vacuoles (↑) in the perineural cell

图 5 图 4 之放大  
Fig. 5 Magnification of Fig.4



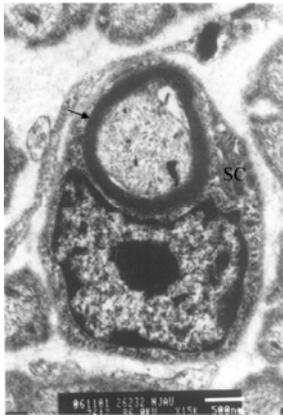
内皮细胞核 (⇔), 多层束膜细胞突起 (↑)  
Nucleus (⇔) of the endothelium, several layers of perineural cell process (↑)

图 6 INR 神经节内微血管与血-神经屏障  
Fig. 6 Microcapillary and blood-nerve barrier in the ganglion of INR

神经束内, 有髓神经纤维的髓鞘厚度 250 nm, 是由 12—18 层脂膜排列而成 (图 7, 8)。轴索的胞质内神经原纤维和微管很丰富, 构成发达的细胞骨架, 其间有线粒体分布于轴索周围或髓鞘下, 常见大小不

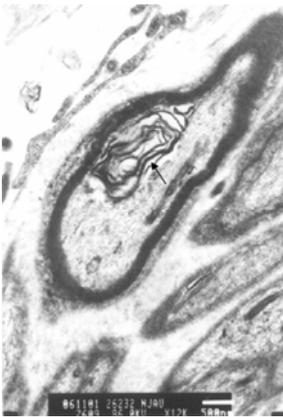
一的膜下空泡或髓样体结构（图 8）。有些神经纤维由于轴索胞质含量少而使髓鞘呈折曲状（图 9）。髓鞘是由雪旺氏细胞形成的（图 7）。雪旺氏细胞有核处胞质较多，胞质内含短棒状粗面内质网和少量线粒体，细胞核异染色质较多，且主要位于核内膜下方，核仁明显，几乎为电子致密的均质状结构。细胞表面基膜明显。

无髓神经纤维位于雪旺氏细胞的凹窝内（图 9，10），一个雪旺氏细胞周围可同时包裹 3—10 条无髓神经纤维的轴索，细胞表面有一层基膜分布。细胞核位于中央，由于周围有胞质凹陷，细胞核表面也形成相应的凹陷，异染色质呈大块状分布于细胞核周围，



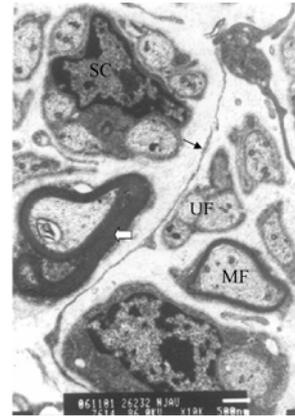
髓鞘板层 (↑)  
Layers of the myelin sheath (↑)

图 7 雪旺氏细胞 (SC) 与有髓神经纤维  
Fig. 7 Schwann's cell (SC) and myelinated nerve fiber



髓样体 (↑) Myelin body (↑)

图 8 有髓神经纤维横断面  
Fig. 8 Transverse of the myelinated nerve fiber



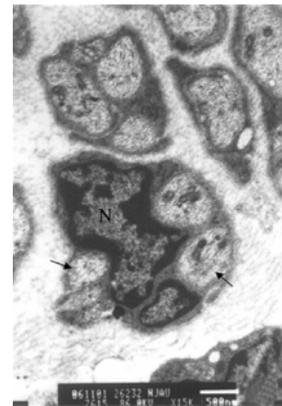
髓鞘折叠 (⇔)，雪旺氏细胞 (SC)，束膜细胞突起 (↑)  
Collapse of the myelin sheath (⇔), Schwann's cell (SC), Process (↑) of the perineurial cell

图 9 有髓神经纤维 (MF) 与无髓神经纤维 (UF)  
Fig. 9 Myelinated nerve fiber (MF) and unmyelinated nerve fibers (UF)

核仁较小。在远离雪旺氏细胞核的地方，由同一雪旺氏细胞包裹的无髓纤维聚在一起，横切面上可见纤维粗细不一（图 2）。轴索内可见丰富微管横断面和线粒体，神经纤维之间有一定数量成纤维细胞分布，此类细胞核清亮，主要为常染色质分布，胞质中明显含有成束的胶原纤维和紊乱排列的丝状物（图 11），线粒体和粗面内质网散布于胞质内，空泡样内含物成群分布于细胞质中。

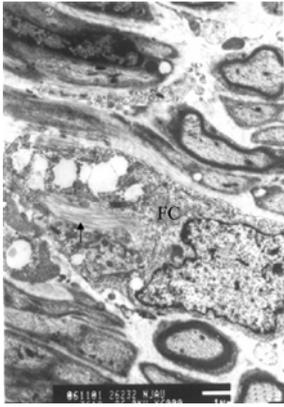
2.2 血—神经屏障

鸡 INR 的神经束膜内分布着微血管和血—神经屏



雪旺氏细胞核 (N) Nucleus (N) of Schwann's cell

图 10 雪旺氏细胞与无髓神经纤维 (↑)  
Fig. 10 Schwann's cell and unmyelinated nerve fibers (↑)



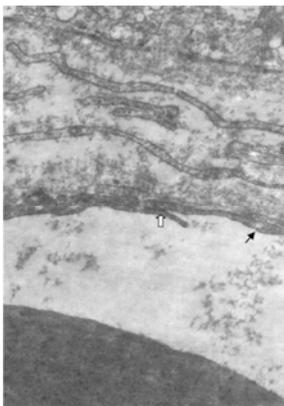
胶原纤维 (↑) Collagenous fibrils (↑)

图 11 成纤维细胞 (FB)

Fig. 11 Fibroblasts (FB)

障, 后者是由神经内微血管及其周围的成分组成的特殊结构。

**2.2.1 神经节内血—神经屏障** 节内血—神经屏障的毛细血管内皮细胞较薄, 但连续无孔 (图 6)。相邻内皮细胞连接处重叠, 且见细胞连接。内皮外基膜较薄。内皮细胞游离面有少量不发达的微绒毛。细胞质内分布着较多的吞饮泡。毛细血管周围有 4—7 层神经束膜上皮细胞层包绕, 相邻细胞层之间夹有纤维样物质而未见细胞连接, 胞质中有吞饮小泡和较多的线粒体分布。细胞突起表面可见质膜内陷形成的小凹窝 (图 12)。束膜细胞表面基膜不明显。



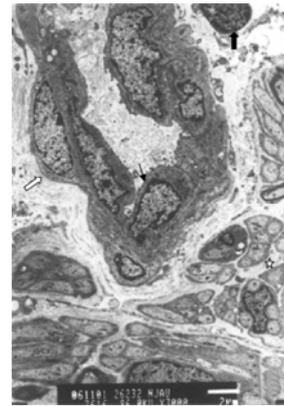
束膜细胞突起表面凹陷 (↑), 将形成吞饮泡。内皮连接处 (⇔)  
Concavity (↑) on surface of the perineural cell process, junctions (⇔) between endothelial cells

图 12 图 6 之放大

Fig. 12 Magnification of Fig.6

**2.2.2 节间束血—神经屏障** 内皮细胞较厚, 排列较紧密, 相邻细胞侧面之间具有紧密连接 (图 13), 有时游离面的微绒毛很发达 (图 14)。基底面形成质膜内褶, 基膜明显。周围紧贴有周细胞分布, 周细胞外也围以基膜。毛细血管周围分布着丰富的胶原纤维。束膜上皮 3—6 层, 而且排列松散。束膜之间可见少量淋巴细胞 (图 13, 14) 和浆细胞 (图 15) 分布。

### 3 讨论



内皮细胞 (↑), 周细胞 (⇔), 淋巴细胞 (◆), 神经束 (☆)  
Endothelial cell (↑), Perivascular cell (⇔), Lymphocyte (◆), Nerve tract (☆)

图 13 节间束微血管

Fig. 13 Microcapillary in interganglia



内皮游离面 (☆), 束膜细胞突起 (↑), 周细胞 (⇔), 淋巴细胞 (◆)  
Free surface (☆) of the endothelium, Processes (↑) of perineural cells, Perivascular cell (⇔), Lymphocyte (◆)

图 14 节间束微血管

Fig. 14 Microcapillary in interganglia

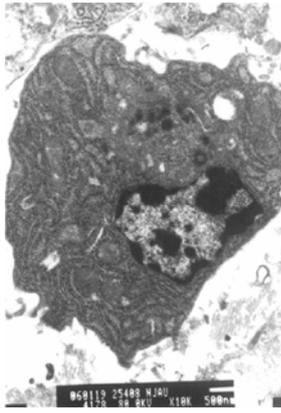


图 15 浆细胞电镜像

Fig. 15 Electrograph of the plasma cell

### 3.1 禽类 INR 神经束膜的结构组成与其它动物外周神经系统的神经束膜存在差别。

大鼠、兔和猫外周神经系统不同部位神经束膜的结构基本相似,均由不同数量的束膜细胞层围成,细胞之间分布着成束的胶原纤维,每层束膜细胞表面都有基膜分布,细胞之间有紧密连接,而且这些束膜细胞与血管内皮相似<sup>[13]</sup>。进一步应用冷冻蚀刻技术研究发现,蛙、小鼠等动物的各种神经的束膜细胞之间常见数个闭锁带和粘着斑,更加强了不同束膜细胞层次之间连接<sup>[14]</sup>。透射电镜观察到,坐骨神经的束膜由 8—15 层束膜细胞同心圆状连续排列而成,形成一个圆筒状结构,中央包裹着神经纤维束,可以防止外来因素对神经的干扰<sup>[12]</sup>。本试验在超薄切片上观察到,鸡 INR 的神经束膜是由 1—2 层极薄的束膜细胞及其突起围成,每束内包绕 15—25 条神经纤维。而且,鸡 INR 的神经束膜细胞具有明显的与蛋白合成相关的超微结构特点和空泡样内含物。这些形态特征表明,鸡 INR 的束膜细胞的屏障层次没有其它动物外周神经的多,但它们同时具备合成和分泌功能。

3.2 INR 虽然属于鸟类 ENS 的壁外部分,但鸡 INR 的血—神经屏障的超微结构既不同于壁内 ENS,也有别于其它外周神经。ENS 无神经束膜,系统内也无血管分布,所以,在消化道壁内的 ENS 是缺乏血—神经屏障的<sup>[11]</sup>,其神经元与胶质细胞易受血浆的外源性毒物的损害<sup>[15]</sup>。鸡 INR 虽然也属于 ENS 结构的一部分<sup>[2]</sup>,但本试验观察到其神经束膜中存在微血管和血—神经屏障,明显不同于壁内的 ENS。

超微电镜试验表明,哺乳动物外周神经系统的血—神经屏障,是由神经束膜和内膜的微血管和多层束

膜细胞构成的,它们是不同于血—脑屏障的一种特殊屏障结构<sup>[16]</sup>。以坐骨神经为例,神经束膜由 8—15 层扁平的束膜细胞围绕神经束排列而成,使神经束内形成了一个相对封闭的内环境,束膜细胞之间的特殊细胞连接又加强了屏障的封闭效果<sup>[14]</sup>。而在神经束内,毛细血管构造比较紧密,为连续无孔的内皮细胞及其周围完整的基膜,内皮细胞之间还有特殊的细胞连接。这样,既隔离了神经束外围因素的直接影响,又防止神经束内毛细血管中有害物质的流出<sup>[12]</sup>。另一方面,通过观察研究束膜细胞表面出现的质膜凹陷和吞饮泡的形成,发现这种屏障又具有较高水平的物质选择性转运功能<sup>[14]</sup>。所以,血—神经屏障是一个相对封闭又具有选择通透性的特殊结构。关于禽类外周神经的束膜细胞的研究,仅有坐骨神经束膜发育的试验报道<sup>[17]</sup>。禽类坐骨神经束膜的发育过程包括 3 个时期:发育早期,可见胚胎的神经束膜由周围的间充质分化而来;到了中期,这些细胞在雪旺氏细胞—轴突复合体周围形成多层的同心圆状束膜鞘;后期为成熟阶段,束膜鞘表现出功能屏障样结构,构成血—神经屏障。可见禽类神经束膜细胞也是以多层排列参与血—神经屏障的。在鸡 INR 中,虽然神经束膜的毛细血管结构紧密,内皮细胞之间具有细胞连接,但血管周围的束膜细胞没有其它外周神经的血—神经屏障的层次多,而且束膜细胞之间未见细胞连接。这种结构特点表明,鸡 INR 血—神经屏障的构造没有其它外周神经的严密,这可能也是禽类 INR 的结构特征之一。

3.3 INR 中既有无髓纤维,又有有髓纤维,但以无髓神经纤维的数量占优势。应用生理学方法和免疫细胞化学技术显示,鸡 INR 是一根既有副交感神经又有交感神经的混合神经<sup>[18-19]</sup>。一般认为,在支配到内脏的自主神经系统中,节前纤维为有髓神经纤维,而节后纤维为无髓神经纤维。也就是说,自主神经的有髓神经纤维中有一部分属于副交感节前纤维,也有一部分是交感节前纤维;同样,无髓神经纤维是由副交感和交感的节后神经纤维组成。本试验结果显示,鸡 INR 中,大部分为无髓纤维,属于副交感和交感的节后神经纤维,只有少部分是有髓纤维,属于副交感和交感的节前神经纤维。表明,具有髓鞘的外来的支配到 INR 的节前神经比较少,大部分 INR 中的神经纤维是来源于 INR 内部的神经元。Hodgkiss 也观察到了类似的现象,并统计出 INR 主干中无髓神经纤维的数量是有髓神经纤维的 78 倍<sup>[20]</sup>,但本试验的结果中,无髓与有髓神经纤维的比例没有这么高,约为 20 : 1。

## 4 结论

鸡 INR 神经束内既有无髓纤维又有有髓纤维, 但以无髓神经纤维的数量占绝对优势。雪旺氏细胞与两种神经纤维的形成与结构密切相关。神经束膜细胞的超微结构特征显示出其具有活跃的蛋白合成和分泌功能。不同于肠壁内 ENS 缺乏神经屏障的现象, 鸡 INR 的神经束膜中分布有血-神经屏障, 但鸡 INR 的血-神经屏障没有哺乳动物外周神经的严密。由此可见, 鸡 INR 的细胞学结构既不同于肠壁内 ENS, 也与外周神经有差异, 具有一定的特殊性。

## References

- [1] 万选才, 杨天祝, 徐承焘 主编. 现代神经生物学. 北京: 北京医科大学中国协和医科大学联合出版社, 1999: 491-495.  
Wan X C, Yang T Z, Xu C T. *Contemporary Neurobiology*. Beijing: Beijing Medicine University and China Xiehe Medicine University Press, 1999: 491-495. (in Chinese)
- [2] Doyle A M, Roberts D J, Goldstein A M. Enteric nervous system patterning in the avian hindgut. *Developmental Dynamics*, 2003, 229(3): 708-712.
- [3] Liu J X, Wang W J, Feng Y M, Li M Y, Bao H J, Chen Q S. The sympathetic postganglionic and sensory innervation of oviducal magnum in hen: a cholera toxin subunit B-conjugated horseradish peroxidase study. *Journal of Anatomy*, 2007, 210: 439-448.
- [4] 崔 燕. 鸡腔上囊的交感、副交感和初级传入神经元的分布-HRP 法研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 1989: 29-32.  
Cui Y. A study of sympathetic, parasympathetic and afferent neuronal innervation of the bursa of Fabricius[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 1989: 29-32. (in Chinese)
- [5] 陈建新, 郭和以, 刘为民, 马仲华. 鸡泄殖腔传入神经元的定位及其传出纤维在荐髓内的分布. 内蒙古农牧学院学报, 1990, 11: 27-35.  
Chen J X, Guo H Y, Liu W M, Ma Z H. The location of afferent neurons of cloaca and its distribution of afferent fibers in the spinal cord of chicken. *Journal of Inner Mongolia Agricultural and Animal Husbandry*, 1990, 11(1): 27-35. (in Chinese)
- [6] Liu J X, Qin J H, Feng Y M, Chen Q S. Distribution of vasoactive intestinal peptide and substance P messenger ribonucleic acid in intestinal nerve of Remak of chicken. *Poultry Science*, 2009, 88: 1421-1426.
- [7] 冯亚玫, 柳金雄, 刘 仪, 陈秋生. 鸡 SP-mRNA 探针制备及其在 INR 的杂交反应. 畜牧兽医学报, 2008, 39(1): 117-122.  
Feng Y M, Liu J X, Liu Y, Chen Q S. Preparation of chicken SP-mRNA probe and its detection in INR by in situ hybridization histochemistry. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2008, 39(1): 117-122. (in Chinese)
- [8] Choi K M, Gibbons S J, Roeder J L, Lurken M S, Farrugia G. Regulation of interstitial cells of Cajal in the mouse gastric body by neuronal nitric oxide. *Neurogastroenterol Motility*, 2007, 19(7): 585-595.
- [9] Rolle U, Piaseczna-Piotrowska A, Puri P. Interstitial cells of Cajal in the normal gut and in intestinal motility disorders of childhood. *Pediatric Surgery International*, 2007, 23(12): 1139-1152.
- [10] 冯亚玫, 柳金雄, 陈秋生. 鸡肠 Remak 神经显微形态学研究. 畜牧与兽医, 2008, 40(1): 36-40.  
Feng Y M, Liu J X, Chen Q S. Micromorphological research on the intestinal nerve of Remak in chicken. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2008, 40(1): 36-40. (in Chinese)
- [11] 成令忠, 钟翠平, 蔡文琴. 现代组织学. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2003: 470-472.  
Cheng L Z, Zhong C P, Cai W Q. *Contemporary Histology*. Shanghai: Shanghai Science and Technological Literature Press, 2003: 470-472. (in Chinese)
- [12] Reia M A, Lopez A, Villanueva M C, De Andres J A, Maches F. The blood-nerve barrier in peripheral nerves. *Revista Española de Anestesiología y Reanimación*, 2003, 50(2): 80-86. (in Spanish)
- [13] Chumasov E I. Structure of the perineurium of the peripheral nervous system. *Arkhiv Anatomii, Gistologii i Embriologii*, 1975, 68(4): 29-34. (in Russian)
- [14] Akert K, Sandri C, Weibel E R, Peper K, Moor H. The fine structure of the perineural endothelium. *Cell Tissue Research*, 1976, 165(3): 281-295.
- [15] Kiernan J A. Vascular permeability in the peripheral autonomic and somatic nervous systems: Controversial aspects and comparison with the blood-brain barrier. *Microscopy Research Technique*, 1996, 35(2): 122-136.
- [16] Mackenzie M L, Ghabriel M N, Allt G. The blood-nerve barrier: an *in vivo* lanthanum tracer study. *Journal of Anatomy*, 1987 (10), 154: 27-37.
- [17] Du Plessis D G, Mouton Y M, Muller C J, Geiger D H. An ultrastructural study of the development of the chicken perineurial sheath. *Journal of Anatomy*, 1996, 189(Pt3): 631-641.
- [18] Komori S, Matsuo K, Ohashi H. Development before and after

- hatching of no-cholinergic excitatory innervation to the rectum via Remak's nerve in the fowl. *British Journal of Pharmacology*, 1988, 95: 844-850.
- [19] 柳金雄, 冯亚玫, 张莉, 陈秋生. 鸡肠神经胆碱乙酰转换酶和多巴胺羟化酶细胞的免疫组织化学. *中国兽医学报*, 2007, 27(5): 707-709.
- Liu J X, Feng Y M, Zhang L, Chen Q S. Immunohistochemistry of ChAc and D $\beta$ H cells in Remak nerve of chicken. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2007, 27(5): 707-709. (in Chinese)
- [20] Hodgkiss J P. A study of excitory efferent fibres in the intestinal nerve of the fowl (*Gallus domesticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1986, 79A: 93-97.

(责任编辑 高雨, 林鉴非)