

文章编号: 1674 - 5566(2011)01 - 0076 - 09

点纹斑竹鲨晚期胚胎侧线系统的研究

张倩¹, 宋佳坤^{1,2}, 郭弘艺¹, 范纯新¹, 程生福³

(1. 上海海洋大学海洋生物系统与神经科学研究所, 上海 201306; 2. 美国马里兰大学, 马里兰 20742; 3. 长风海洋世界, 上海 200062)

摘要: 通过阿利新蓝染色、石蜡切片和扫描电镜, 对点纹斑竹鲨晚期胚胎侧线系统的分布、形态和表面结构进行了观察。结果表明, 点纹斑竹鲨的侧线系统与多数软骨鱼板鳃类相一致, 包括有机感受功能的侧线管和陷器, 以及有电感受功能的罗伦氏壶腹器。侧线管分布呈典型的“七管模式”, 其内的管道神经丘位于侧线管内远离体表的一侧, 由覆盖细胞、支持细胞和感觉细胞组成。陷器分布于背部两体侧线管之间, 单个陷器位于两盾鳞间, 深陷在真皮中, 由1短管通向表面, 管壁不规则, 上段由表皮细胞组成, 管深40~60 μm。罗伦氏壶腹器由管孔、罗伦管和罗伦瓮3部分组成, 呈长颈瓶状, 很多罗伦管都较长, 从1 mm~50 mm不等, 管壁规则; 罗伦瓮由7个罗伦小囊组成, 每个小囊直径约50 μm。通过与其他软骨鱼类进行比较, 点纹斑竹鲨的侧线系统分布和感受器结构不但印证了软骨鱼类的系统发育关系, 同时也与其生活习性相适应。

研究亮点: 首次以点纹斑竹鲨 (*Chiloscyllium punctatum*) 晚期胚胎为材料, 从组织和形态着手, 用扫描电镜等, 阐明其侧线的机械 (管道和表面陷器) 和电 (罗伦氏壶腹) 感受器种类、分布和结构, 为进一步研究鱼类侧线系统的进化和功能提供依据。

关键词: 点纹斑竹鲨; 侧线系统; 管道神经丘; 陷器; 罗伦氏壶腹器

中图分类号: Q 954

文献标识码: A

侧线系统是鱼类和水生两栖类特有的感觉器官, 包括机械感受器和电感受器, 与捕食、避敌、群游、生殖等行为密切相关^[1]。侧线感受器的分布和结构不仅适应各自水流生境^[2], 同时也反映出鱼类的系统发育关系。著名鱼类学家朱元鼎和孟庆闻曾对中国73种软骨鱼侧线管和罗伦氏壶腹器 (简称罗伦氏器) 的分布进行了比较研究, 并由此而阐述了软骨鱼的系统进化^[3]。近来, 随着神经科学等的发展, 侧线系统的研究也有了进展。为了对软骨鱼类侧线系统进行更深入的研究, 我们选择在室内能成功孵化, 且胚胎发育较为明确的点纹斑竹鲨^[4]作为材料, 从组织学和形态学角度, 用扫描电镜等技术, 研究其感受器的分布和结构, 为进一步阐明鱼类侧线系统的进化提供依据。点纹斑竹鲨 (*Chiloscyllium punctatum* Muller & Henle, 1838) 隶属板鳃亚纲、

须鲨目、须鲨科、斑竹鲨属, 英文俗名: Brown-banded Bamboo Shark, 是一种小型的底栖鲨鱼, 从澳大利亚北部到日本、太平洋和西印度洋的珊瑚礁或潮水坑均有记录^[5], 并已作为临近濒危物种上了国际自然资源保护联合会 (IUCN) 的红色名录^[6]。但目前, 对其侧线感受器的分布和形态结构尚不明确, 本研究因此而选择予以关注。

1 材料与方法

1.1 材料

2007年9月-2009年9月从上海长风海洋世界获得共26枚点纹斑竹鲨受精卵, 在水温 (26±2) °C, 密度 (1.022±2) g/mL, pH 8.2±0.2条件下进行孵化取样。据 HARA HUSH 等^[4]对点纹斑竹鲨人工繁殖与胚胎发育分期的研究, 剥壳取出16条受精后82~101 d, 陷器尚未被鳞

收稿日期: 2010-06-01 修回日期: 2010-08-20

基金项目: 上海市科学技术委员会2008年科研计划资助项目 (073205109); 上海市重点学科建设项目 (S30701)

作者简介: 张倩 (1985-), 女, 硕士研究生, 专业方向为鱼类神经生物学。E-mail: zhangqianky1215@126.com

通讯作者: 宋佳坤, Tel: 021-61900455, E-mail: jksong@shou.edu.cn

片遮盖的点纹斑竹鲨晚期胚胎,用 MS-222 麻醉后,其中 10 条用 4% 多聚甲醛固定并保存,用于染色;4 条 Bouin's 液固定 24 h 后,保存于 70% 的酒精,用于组织切片;2 条用 3% 戊二醛固定后,用于扫描电镜观察。

1.2 方法

1.2.1 染色后光镜观察

本实验据 SONG 和 PARENTI^[7] 的三重染色法,用阿利新蓝(Alcian Blue)染色软骨的同时,可将侧线管和罗伦管内的粘液均染为蓝色。用酒精洗脱表面的颜色后,管内的蓝色不退。随后,将样品转入加有 0.2 g 胰蛋白酶的 30% 硼砂溶液中,37 °C 恒温消化 5 ~ 10 h,直至体色接近透明。最后,换入滴有 3 ~ 6 滴 3% H₂O₂ 的 0.5% KOH 溶液中,在白炽灯下照射去除鱼体表面色素。在 Carl Zeiss SteREO Discovery V12 体视显微镜下,可以清晰地观察到点纹斑竹鲨的侧线管、罗伦瓮群和管群,拍照并绘制管道分布图。在 Olympus SZ-61 体视显微镜下,可直接观察到陷器,拍照并绘制其分布图。

1.2.2 组织学观察

Bouin's 液固定 24 h 后,在保存于 70% 酒精中的点纹斑竹鲨胚胎上,取含侧线管、罗伦氏器及陷器的组织,常规石蜡包埋,切片,切片厚度 5 μm, H. E. 染色,用 Olympus B-41 型显微镜观察拍照。

1.2.3 扫描电镜观察

在 Olympus SZ-61 体视显微镜下,切取胚胎的背部和眶上的有侧线器官的皮肤。在中国科学院上海生科院植物生理生态研究所和上海有机化学研究所分别进行临界点干燥和扫描电子显微镜(JSM-6390LV)观察各种器官的表面结构并拍照。

2 结果

点纹斑竹鲨的侧线系统与其他软骨鱼板鳃类相似,包括侧线管、陷器、罗伦氏器。对侧线系统的分布和结构进行描述,各管道及瓮群的命名依据朱元鼎和孟庆闻^[3]。

2.1 侧线系统的分布

2.1.1 侧线管分布

在体视显微镜下观察,胚胎发育晚期,点纹斑竹鲨的侧线管已基本形成。点纹斑竹鲨体侧

线管外侧具有短分支;横枕管中央向后弯呈浅弧形,具有 13 个短分支(图版 I-1,2);眶后管位于头后方,一般较短;眶上管前部有 2 处向外弧形突出,前端、中部和后部向内弧形凹入;颅圈由头背面左右眶上管、眶后管及横枕管共同形成,前部呈葫芦形,后部呈钟形;眶下管在眼前腹侧呈“~”形波曲,前接眶上管,后接舌颌管(图版 I-1);鼻管位于口前方,向内中央弧形弯曲,与对侧支分离;正中管位于口前中央的短管,左右两支分离;鼻前管位于鼻孔内前方,双波曲状;舌颌管由眶下管向后分出,由眶下管在口角处稍后分出,向后直行,至第一鳃孔前;下颌管在下颌后方,外侧与眶下管、舌颌管连接,中央左右支虽相连成 1 横管,但呈节状,似断开;腹吻圈由左右鼻前管构成,呈葫芦形(图版 I-1,3)。

2.1.2 陷器分布

在体视显微镜下观察,胚胎发育晚期,点纹斑竹鲨的鳞片刚开始发育,可清楚地观察到陷器,其主要分布在体背面两侧线管之间以及尾部,腹侧和下颌区域没有发现。(图版 I-1,4,5)

2.1.3 罗伦氏器分布

在体视显微镜下观察,胚胎发育晚期,点纹斑竹鲨罗伦管群尚未发育完全。点纹斑竹鲨眶上瓮前群和眶上瓮后群位于背侧吻端;眶下瓮群位于眼至吻端 1/2 处,左右对称。眼上管群包括 8 支罗伦管,其中离眼最近的一支进入颅圈内;眶上管后群包括 9 支以上,与眼上管群相交,其中 1 支开始向横枕管延伸(图版 II-1,2);眶上管侧群包括 10 支以上,眶上管侧群由眶下瓮群发出,向前延伸至眶上瓮前群。口外管群背群包括 15 支,由眶下瓮群向尾端延伸,其中最长的 1 支已沿侧线至第五鳃孔之后,并且开始弯曲(图版 II-1,2)。口内管群由眶下瓮群开始向下颌管横管的方向延伸(图版 II-3);口外管群腹群包括 10 支,分为 2 束,每束 5 支,由眶下瓮群开始向尾端延伸;腹眶上瓮群位于腹侧吻端;腹眶上管群开始向鼻管延伸;下颌管群和下颌瓮群在实验中均未发现(图版 II-1)。

2.2 侧线系统的结构

2.2.1 管道神经丘的结构

侧线管内充满透明粘液,位于管内的感受器-管道神经丘浸润在粘液中,通过侧线管在皮肤处的对外开孔感受外界刺激。管道神经丘位于

侧线管内远离皮肤的一侧,由覆盖细胞,支持细胞和感觉细胞组成(图版Ⅲ-1,2)。从器官的纵切面观察,覆盖细胞形成神经丘的外侧缘,通常细长,有细胞质突起伸向神经丘顶部,细胞核长条形。支持细胞细长,组成器官的大部分,细胞核椭圆形,位于细胞的基部,并向神经丘的顶端发出长的细胞质的延伸。感觉细胞散布在支持细胞的延伸之中,有成束纤毛突向器官表面,细胞核球形,比其它细胞的核大(图版Ⅲ-2)。

在扫描电镜下,侧线孔为圆形,直径为 $48\ \mu\text{m}$ 左右(图版Ⅲ-9)。

2.2.2 陷器的结构

陷器的结构特点是深陷在真皮中,由1短管通向表面,管壁不规则,上段由表皮细胞组成,管深 $40\sim 60\ \mu\text{m}$ 。陷器是由表皮细胞、支持细胞和感觉细胞组成,细胞排列规则(图版Ⅲ-3)。从切片上观察,陷器也有类似于罗伦氏器的特点,都由管道与体表相通,但管道比罗伦氏器短很多,管腔比罗伦氏器的小,并且下部不膨大(图版Ⅲ-4)。

在扫描电镜下,我们可以观察到陷器从表面上看是一些椭圆形的小孔[长轴 $(29\pm 2)\ \mu\text{m}$,短轴 $(16\pm 2)\ \mu\text{m}$](图版Ⅲ-11),所有的陷器表面长轴与体轴垂直。

2.2.3 罗伦氏器的结构

罗伦氏器的每一单元各不相通,罗伦瓮常集成瓮群,罗伦管常集成管群。依据朱元鼎和孟庆闻的研究^[3],点纹斑竹鲨属于单列多囊型(图版Ⅲ-5),其中每个罗伦瓮由7个罗伦小囊组成,每个小囊直径约 $50\ \mu\text{m}$ (图版Ⅱ-3,图版Ⅲ-7)。点纹斑竹鲨的每个罗伦氏器呈长颈瓶状,很多罗伦管都较长,从 $1\sim 50\ \text{mm}$ 不等(眶上瓮前群附近的罗伦管较短,该发育时期仅 $1\ \text{mm}$ 左右;其他管群较长,其中口外管群背群最长的1支可达胸鳍外交水平线处),管壁规则;瓶结构内部充满了胶质物质,瓶口开口于鱼的体表表皮层,与外环境相接触,瓶的底部埋在真皮层内,瓶底的内壁具有少数几个感觉细胞。感觉细胞为卵圆形,数目较少。支持细胞位于小囊底部基膜之上,纵向轴方向稍长。支持细胞和感觉细胞都有细胞质的延伸通向腔内(图版Ⅲ-6)。

在扫描电镜下,罗伦氏器管孔是一些圆形的小孔,开口较不规则,管口直径约 $38\ \mu\text{m}$ (图版Ⅲ-

10)。侧线孔和罗伦氏器管孔都为圆形(图版Ⅲ-9,10)。陷器比侧线孔和罗伦氏器管孔都要小,其中侧线孔最大(图版Ⅲ-8)。

3 讨论

侧线系统是鱼类和水生两栖类特有的水流感觉器官,其中包括机械感受器和电感受器两大类,与捕食、避敌、群游、生殖和种内通讯等行为密切相关^[1]。侧线感受器的分布和结构不仅适应水流和生存环境^[2],同时也反映出鱼类的系统发育关系。其中机械感受器可以感受水体波动,其结构单元是神经丘,由中心的感觉毛细胞和外周的支持细胞构成^[8]。机械感受器普遍存在于从低等到高等的所有种类的鱼中,包括管道神经丘和表面神经丘两类^[9-10]。多数管道神经丘完全装入真骨或软骨槽中,通过小孔与体表相连;有些管道神经丘虽位于皮肤表面,或仅陷入软骨凹槽未埋入管道,但其分布仍遵循大多数侧线管的“七管模式”。而真正的表面神经丘是陷器,较管道神经丘小,分布于体表,发育起源和神经支配与管道神经丘不同^[11-12]。管道神经丘对水流加速度格外敏感,而表面神经丘负责感受水流的速度^[13]。电感受器也分为两种,包括罗伦氏壶腹器和结节状电感受器。罗伦氏器是一类原始的电感受器,存在于所有板鳃类,多鳍鱼,软骨硬鳞鱼(鲟鱼),有尾和无足类两栖动物中^[14]。这些感受器与体表通过充满粘液的管道相通,这些感受器能够持续感受低频率的阴极电刺激^[15-16]。与之相对的结节状电感受器仅存在于弱电鱼中(包括象鼻鱼和裸背鳗),属于一类次生的电感受器,管道内部没有粘液而是充满“塞状”上皮细胞,对阳极电刺激敏感^[15]。

3.1 点纹斑竹鲨的侧线系统组成

点纹斑竹鲨的侧线系统由具有机械感受功能的侧线管和陷器,以及有电感受功能的罗伦氏壶腹器构成。侧线管由体侧线管、横枕管、眶上管、眶下管、眶后管、鼻前管、正中管、鼻管、下颌管和舌颌管组成(图版Ⅰ-1)。虽然在命名上有所差别,但点纹斑竹鲨的侧线管模式仍符合普遍接受的“七管模式”^[11]。其中横枕管即颞上管,眶后管即耳管,鼻前管和正中管为眶下管的一部分,舌颌管即颞管。点纹斑竹鲨陷器仅存在于背部两体侧线管之间,呈不规则排布,单个陷器位

于两盾鳞间,深陷在真皮中,由1短管通向表面,管壁不规则,上段由表皮细胞组成,管深40~50 μm (图版 III-4),而其腹部的陷器可能在进化过程中退化消失。由此可以看出点纹斑竹鲨具有管道神经丘和表面神经丘2种类型的机械感受器,这样更利于感受不同方向和不同频率的刺激。而在朱元鼎和孟庆闻的研究中,发现仅少数几种鲨鱼存在陷器,推测这可能与取材有关,成体鱼的陷器被鳞片所覆盖,无法通过解剖和表面形态观察到^[3]。点纹斑竹鲨具有典型的罗伦氏电感受器。罗伦氏器集中于头部,呈长颈瓶状,很多罗伦管都较长,内部充满了胶质物质,开口于鱼体表的表皮层,瓶底的内壁具有少数几个感觉细胞(图版 III-6)。由这些研究结果可以看出,点纹斑竹鲨与多数软骨鱼类类似,其侧线系统具有简单的侧线管系统和原始的电感受器,体现侧线系统的原始特征,并且与它们的系统进化地位密切相关。

3.2 与条纹斑竹鲨侧线系统的比较

点纹斑竹鲨属于须鲨目,现存种类不多,该目的历史很久远,始见于中生代侏罗纪,它们的侧线系统的变化较复杂。点纹斑竹鲨和条纹斑竹鲨是该目两个重要代表种,两种鲨的侧线系统具有须鲨科的许多共同特点:颅圈前部呈葫芦形;腹吻圈盘曲2次多呈葫芦形;下颌管由舌颌管处分出,与对侧支联合成1横行管。眶上管后群的管道不越过眼后缘水平线处;口内管群位于口的后方^[3]。但两者仍存在一些差异:条纹斑竹鲨正中管在口前中央与对侧支会合成1短管,而点纹斑竹鲨的正中管位于口前中央,左右两支分离;两者在构成罗伦氏器的小囊个数上也不一样,条纹斑竹鲨为6个,点纹斑竹鲨则为7个。另外,点纹斑竹鲨的眶上管侧群是由眶下管群发出,向前延伸至眶上管前群,而条纹斑竹鲨中发现由眶上管前群发出延伸至眶下管群。这种差异可能是由于所用条纹斑竹鲨为成体,眶上管侧群和眶上管前群的开口叠加在一起,未能观察到眶上管侧群的发育方向。本研究采用罗伦氏器正在发育中的点纹斑竹鲨胚胎为实验材料,清晰地观察到了眶上管侧群是向吻端延伸的。

3.3 点纹斑竹鲨侧线系统的形态功能学

点纹斑竹鲨游泳缓慢,属不活泼类型,其侧

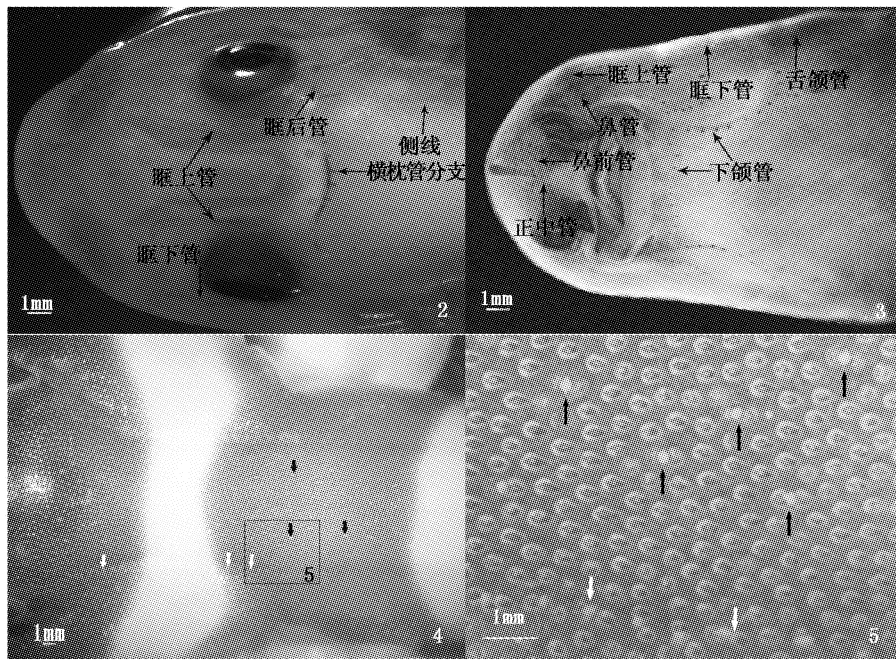
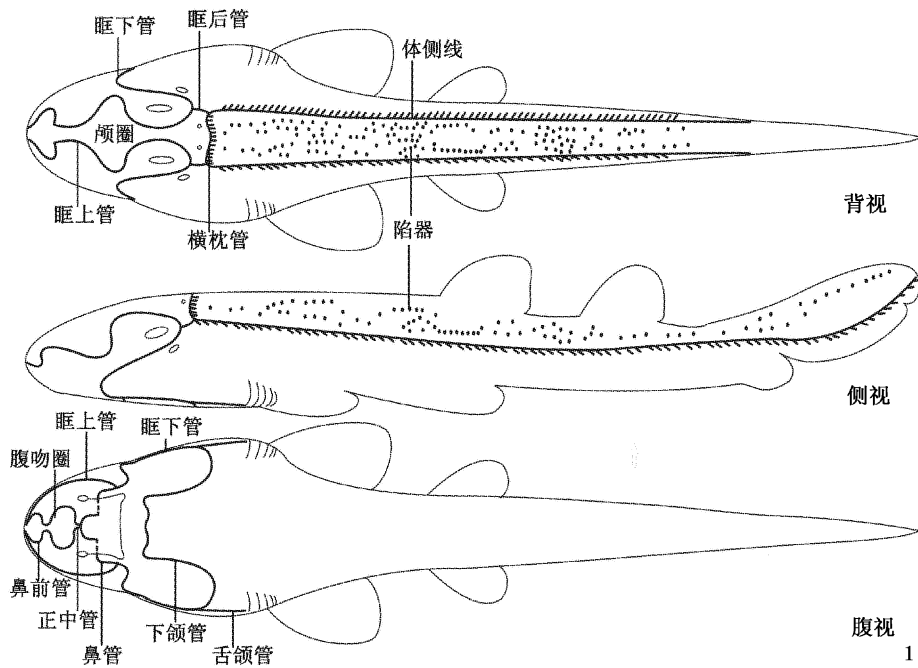
线系统相对简单不发达。点纹斑竹鲨体侧线外侧具有短分支,横枕管中央稍向后弯呈浅弧形,具有短分支(图版 I-1,2),这种短分支可以扩大机械感受范围。它的眶下管在眼前未盘曲成眼前圈,颅管相对简单。眶上管后群的管道数目相对少且短,向后延长不越过眶后管(图版 I-1,2),这种特点在猫鲨科、大部分须鲨科、橙黄鲨科和皱唇鲨科中较为普遍^[3]。

一些行动迟缓,大部分情况下底栖的鲨鱼(如扁鲨、光鳞乌鲨、扁头哈那鲨、锯鲨等)已被发现具有槽状的陷器,类似于一些鳐鱼^[17]。点纹斑竹鲨也是底栖类的鲨鱼且行动迟缓,但其陷器并非槽状,而是被盾鳞所覆盖。因此,说明陷器的形态同底栖生活方式不一定直接相关,与生活方式相比,陷器的形态可能更多地与发生发育有关。在扫描电镜下,可以观察到陷器从表面上看是一些椭圆形的小孔(图版 III-11),所有的陷器表面长轴与体轴垂直。这可能与陷器有分析方向刺激的能力有关。有学者发现金钱鲨和魮的喷水孔处陷器的方向极易改变^[18-19]。

另外,多数软骨鱼类的眼在背部,而口在腹部,视力不能提供捕食所需的足够信息,因此侧线系统,尤其是罗伦氏器对其捕食十分重要,壶腹器开口的分布特点与它的捕食行为密切相关^[20]。点纹斑竹鲨背部和腹部的壶腹器开口分布密度较为接近,这种分布模式跟条纹斑竹鲨相似^[3],这与它们同时具有捕食底栖软体动物和小型鱼类的特点相适应。而在营捕食底栖软体动物的鳐鱼中,腹面的壶腹孔是背部的4~6倍,且集中于口的周围^[21]。点纹斑竹鲨罗伦管的长度在该发育时期就已经达到1 mm~50 mm不等,这与多数具罗伦氏器的海水鱼类罗伦管偏长的结论相一致^[3]。而淡水中具罗伦氏器鱼类的罗伦管管道相对短很多,密西西比铲吻鲟连接感觉上皮和管口的壶腹管道只有100 μm ^[22],大鲵的带鳃孔幼体罗伦氏器的管腔也只有140~220 μm ^[23]。罗伦管管道的长度与鱼类所处水环境的盐度密切相关,用以适应不同水体的电导率,使罗伦氏器达到最佳感觉状态^[24]。点纹斑竹鲨长期生活在珊瑚礁或者离岸海湾的底层,所处水体盐度较高,因此其较长的罗伦管管道更有利于提高罗伦氏器的敏感度。

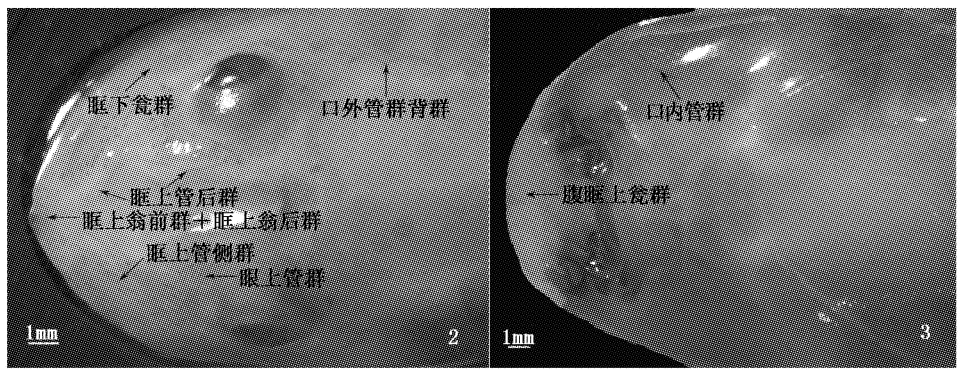
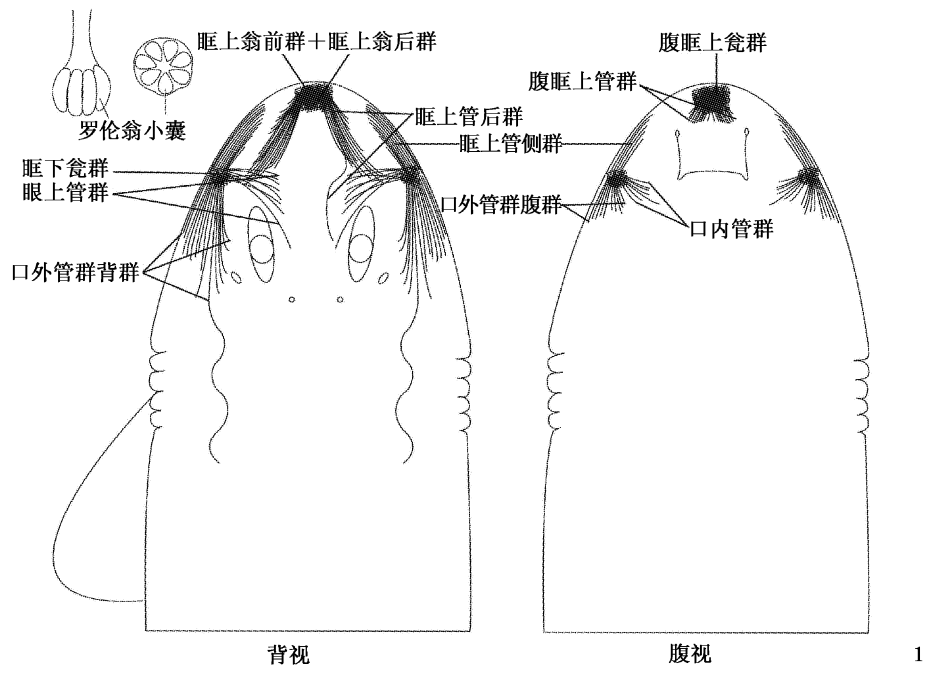
参考文献:

- [1] WEBB J F. Gross morphology and evolution of the mechanoreceptive lateral-line system in teleost fishes[J]. *Brain Behav Evol*, 1989(33): 34-53.
- [2] SMITH S C. Pattern formation in the urodele mechanoreceptive lateral line; what features can be exploited for the study of development and evolution? [J]. *Int J Dev Biol*, 1996, (40): 727-733.
- [3] 朱元鼎, 孟庆闻. 中国软骨鱼类的侧线管系统及罗伦瓮和罗伦管系统的研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979: 5-25.
- [4] HARAHUSH B K, FISCHER A B P, COLLIN S P. Captive breeding and embryonic development of *Chiloscyllium punctatum* Muller and Henle, 1838 (Elasmobranchii: Hemiscyllidae) [J]. *Journal of Fish Biology*, 2007(71): 1007-1022.
- [5] LAST P R, STEVENS J D. Longtail carpet sharks [M]//VERONI M. *Sharks and Rays of Australia*. Australia: CSIRO, 1994: 135.
- [6] CAVANAGH R D, KYNE P K, FOWLER S L, *et al.* Report of the IUCN Shark specialist group Australia and Oceania regional red list workshop [R]. Brisbane: The University of Queensland, School of Biomedical Sciences, 2003.
- [7] SONG J, PARENTI L R. Clearing and staining whole fish specimens for simultaneous demonstration of bone, cartilage and nerves[J]. *Copeia*, 1995(1): 114-118.
- [8] KROESE A B A, NETTEN van S M. Sensory transduction in lateral line hair cells [M]//COOMBS S, GÖRNER P, MÜNZ H. *The mechanosensory lateral line*. New York: Springer-Verlag, 1989: 265-284.
- [9] FRITZSCH B. Diversity and regression in the amphibian lateral line and electrosensory system [M]//COOMBS S, GÖRNER P, MÜNZ H. *The mechanosensory lateral line*. New York: Springer, 1989: 99-114.
- [10] NORTH CUTT R G. The phylogenetic distribution and innervation of craniate mechanoreceptive lateral lines [M]//COOMBS S, GÖRNER P, MÜNZ H. *The mechanosensory lateral line: neurobiology and evolution*. New York: Springer, 1989: 17-78.
- [11] SONG J, NORTH CUTT R G. Morphology, distribution and innervation of the lateral-line receptors of the Florida Gar, *Lepisosteus platyrhincus* [J]. *Brain Behav Evol*, 1991(37): 10-37.
- [12] WHITFIELD T T. Lateral Line: Precocious phenotypes and planar polarity [J]. *Current Biology*, 2004, 15(2): 67-70.
- [13] CHAGNAUD B P, BLECKMANN H, ENGELMANN J. Neural responses of goldfish lateral line afferents to vortex motions [J]. *J Exp Biol*, 2006, 209(2): 327-342.
- [14] ZAKON H. The electroreceptors: Diversity in structure and function [M]//ATEMA J, FAY R R, POPPER A N. *Sensory Biology of Aquatic Animals*. New York: Springer-Verlag, 1988: 813-850.
- [15] BLAXTER J H S. Structure and development of the lateral line [J]. *Biol Rev*, 1987, 62(4): 471-514.
- [16] HOPKINS C D. Function and mechanisms in electroreception [M]//NORTH CUTT R G, DAVIS R E. *Fish Neurobiology*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1983: 215-260.
- [17] REIF W E. Squamation and ecology of sharks [J]. *Cour Forsch Inst Senck*, 1985, 78: 1-255.
- [18] BLECKMANN H, BULLOCK T H. Central nervous physiology of the lateral line, with special reference to cartilaginous fishes [M]//COOMBS S, GÖRNER P, MÜNZ H. *The Mechanosensory Lateral Line*. New York: Springer, 1989: 387-408.
- [19] MONTGOMERY J, CARTON G, VOIGT R, *et al.* Sensory processing of water currents by fishes [J]. *Philos Trans R Soc Lond B*, 2000, 355(1401): 1325-1327.
- [20] RASCHI W G. A morphological analysis of the ampullae of Lorenzini in selected skates (Pisces, Rajoidei) [J]. *J Morphol*, 1986, 189(3): 225-247.
- [21] WUERINGER B E, TIBBETTS I R. Comparison of the lateral line and ampullary systems of two species of shovelnose ray [J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2008(18): 47-64.
- [22] TEETER J H, SZAMIER R B, BENNETT M V L. Ampullary electroreceptors in the sturgeon *Scaphirhynchus platyrhynchus* (Rafinesque) [J]. *J Comp Physiol*, 1980, 138(3): 213-223.
- [23] 程红, 黄世强. 中国大鲵侧线器官的研究 [J]. *动物学报*, 1995, 41(3): 235-242.
- [24] SZAMIER R B, BENNETT M V L. Ampullary electroreceptors in the fresh water ray, *Potamotrygon* [J]. *J Comp Physiol*, 1980, 138(3): 225-230.



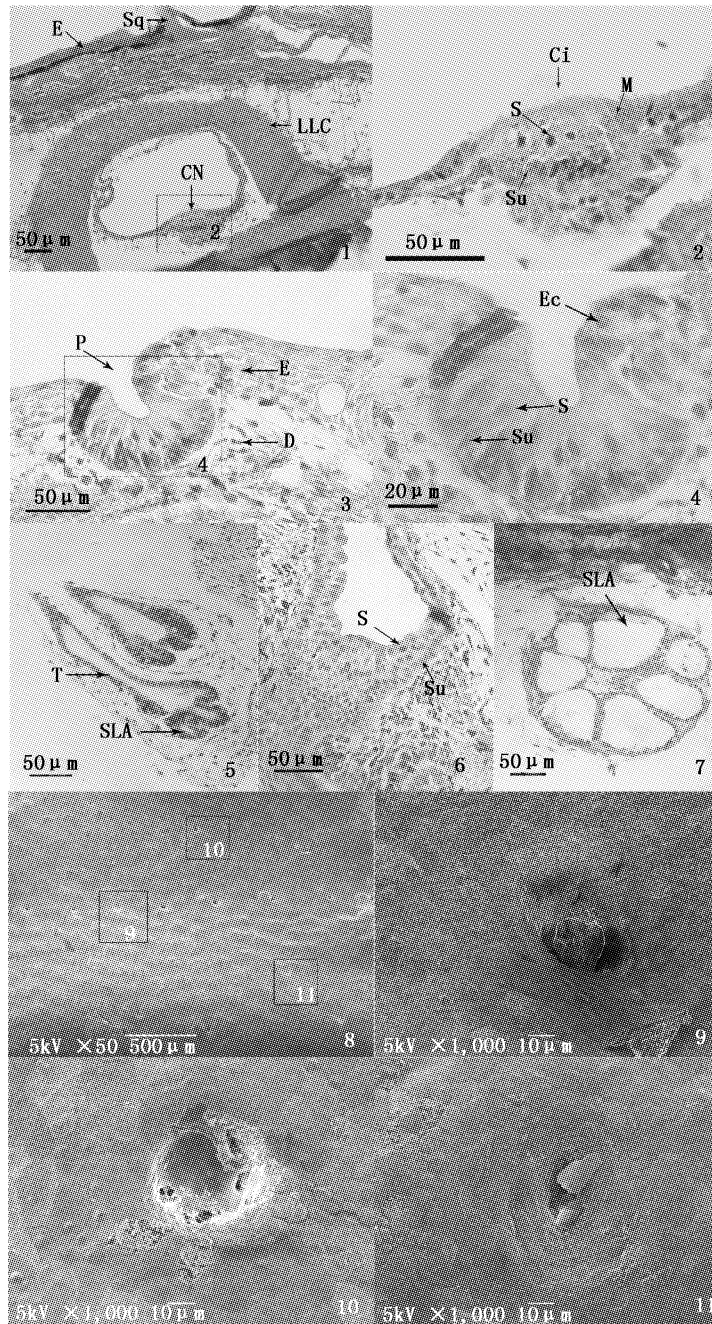
图版 I Plate I

1. 侧线管和陷器分布示意图(背视、侧视和腹视)×1.5; 2. 侧线分布(背视); 3. 侧线分布(腹视); 4. 陷器分布(背视;黑箭头:陷器;白箭头:侧线孔); 5. 陷器(黑箭头:陷器;白箭头:侧线孔)。



图版 II Plate II

1. 罗伦氏器分布示意图(背视和腹视)×1.5; 2. 罗伦氏器分布(背视); 3. 罗伦氏器分布(腹视)。



图版III Plate III

1. 侧线管纵切面, E: 表皮, Sp: 鳞片, LLC: 侧线管, CN: 管道神经丘; 2. 管道神经丘纵切面, Ci: 纤毛, M: 覆盖细胞, S: 感觉细胞, Su: 支持细胞; 3. 陷器纵切面, P: 陷器, E: 表皮, D: 真皮; 4. 陷器纵切面, Ec: 表皮细胞, S: 感觉细胞, Su: 支持细胞; 5. 罗伦氏器纵切面, T: 罗伦管, SLA: 罗伦小囊; 6. 罗伦瓮纵切面, S: 感觉细胞, Su: 支持细胞; 7. 罗伦瓮横切面, SLA: 罗伦小囊; 8. 扫描电镜下侧线孔、罗伦氏器管孔和陷器; 9. 扫描电镜下侧线孔; 10. 扫描电镜下罗伦氏器管孔; 11. 扫描电镜下陷器。

The lateral line system of *Chiloscyllium punctatum* at the late embryonic stage

ZHANG Qian¹, SONG Jia-kun^{1,2}, GUO Hong-yi¹, FAN Chun-xin¹, CHENG Sheng-fu³

(1. Institute for Marine Biosystem and Neurosciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. University of Maryland College Park, Maryland MD 20742, USA; 3. Changfeng Ocean World, Shanghai 200062, China)

Abstract: The distribution pattern and the surface structure of the lateral line system at the late embryonic stage in *Chiloscyllium punctatum* are examined by using Alcian blue stain, parafin section and SEM. The result reveals that morphological pattern of the lateral line system of *Chiloscyllium punctatum* is the same as most of the elasmobranch (Hemiscyllidae). The system consists of the mechanoreceptive canal neuromasts and pit organs, and the electroreceptive, Ampullae of Lorenzini organs. The lateral line canals are arranged in a basic seven-canal pattern. The canal neuromasts consist of mantle cells, support cells and sensory hair cells. They are surrounded by light cartilage canal wall and buried under the skin. The Pit organs are similar in compositions as, but smaller in size than, the canal neuromasts. They are standing in line on dorsal of the trunk and between the two sides of the trunk lateral line canals, each organ opens to the skin surface between two scales and through a short tube (about 40 ~ 60 μm long) with wall of irregularly arranged epidermal cells. The Ampullae of Lorenzini consists of the pore on the surface of the skin, tubules and ampulla (with sensory cells) in the derm. Most of Lorenzini tubules range from 1 – 50 μm with wall of regularly arranged epidermal cells; each Lorenzini ampulla is about 50 μm in diameter and consists of 7 sacs. The patterns of the lateral line distribution and the structure of the receptors in *Chiloscyllium punctatum* are congruent with its phylogenetic relationships with others in the Chondrostei. It is also adapted to their habitat preferences.

Key words: *Chiloscyllium punctatum*; lateral line system; canal neuromast; pit organ ; Ampullae of Lorenzini