

杨氏鱼 (*Youngolepis*) 吻部网状 骨质管的研究

程 红

(北京大学生物学系)

关键词 杨氏鱼 骨质管 鼻囊 鼻腔 软骨膜化骨 眼深神经 眼浅神经支

内 容 提 要

本文描述了我国云南曲靖早泥盆世总鳍鱼——杨氏鱼 (*Youngolepis* sp.) 吻部网状骨质小管管壁电镜结构、元素成分、整个系统的分支状况以及它与膜质骨、侧线系统的关系, 推测其功能是为吻部神经和血管提供通道。文中认为杨氏鱼与肺鱼共同具有 *rostral tubuli* 这一特征; 将杨氏鱼吻部神经分支与骨鳞鱼、孔鳞鱼、肺鱼及两栖类进行了比较, 指出杨氏鱼的眼浅支分支进入鼻囊这一特点。

杨氏鱼是张弥曼、于小波 (1981) 描述的云南曲靖早期泥盆世总鳍鱼的一个新种。1982年张把这一动物头骨化石做成连续磨片并绘图保存。从磨片图中可看到其吻部充满大小小彼此相通的骨质管道, 它们从后向前、从腹面向背面逐渐变细。张 (Chang 1982, p36) 描述它为 “canal forming a network in endoskeleton of snout region”, 这些管道 “recalls the canals, anastomoses and rostral tubuli in the endoskeleton of the snout region of certain lungfishes”。

通过对杨氏鱼磨片图、蜡模型及吻部横切面电镜扫描、X-射线能谱分析等方法对这一器官组织学结构以及管道分支进行了研究, 对于这一器官是不是 *rostral tubuli* 的问题进行了探讨。

一、材料与方 法

从杨氏鱼 V6179 眼眶前部到吻尖约有 82 张磨片, 相邻磨片间隔 50μ 或 100μ , 横切面与纵轴不完全垂直, 右侧稍向后斜。从磨片图及吻部蜡模型中, 对这一器官的分支、走向进行追踪研究; 同时对杨氏鱼 (V9528) 吻部化石包埋、切片并进行电镜扫描观察, 对其管壁的各层次作了 X-射线能谱分析来测知其元素组成。

二、描述部分

(一) 组织学结构

1. 光镜下的观察(图版 I, 图 1) 杨氏鱼标本 (V9528) 头部表面已部分腐蚀。横切部位在吻部中部, 距吻尖 0.5cm。横切面上大小形状各异的骨质小管充满了膜质骨下方内骨骼中鼻囊背面及两侧。

膜质骨分为三层: 整列层 (cosmine), 海绵层 (vascular bone), 板层骨 (clamate bone)。在整列层中有孔管系统 (pore-canal system) 存在。

光镜下骨质小管管壁似有三层。向着管腔的腔面为内层, 此层极薄, 为深褐色; 由腔面向外, 中间层色淡, 厚而质均, 似为半透明; 最外层也为深褐色, 厚薄不均, 有的部位似有泡状起伏。管腔横切面形状各异, 或圆、或扁圆、椭圆、或分枝状, 深褐色构成了各个腔面。

2. 电镜下的观察(图版 I, 图 2) 小管管壁在电镜下显示出四层结构: 内层 (d) 即腔面, 薄而均匀, 色亮, 厚度约 3—5 μ (即光镜下的深褐色内层); 稍外的次内层 (c) 色较淡, 厚度均匀, 约为 60—90 μ , 内有许多凹陷、孔洞及沟状结构 (即光镜下的中间层); 再向外是一层不大完整的、厚薄不均的暗色层 (b), 与次内层区别明显; 最外层 (a) 是一层厚度变化较大的白色松散物质, 高倍下呈结晶状, 这一结构也常存在于管腔内。最外两层即光镜下的深褐色外层。

X-射线能谱分析 (图版 I, 图 5) 显示内层 (图 5d) 和次内层 (图 5c) 的主要元素均为 Ca、P。作为腔面的内层还含有较高的 Si、Fe、Al 等元素。最外两层 (图 5b、5a) 主要成分为 Si、Fe、Al, 只含有少量的 Ca、P。

由此分析来看, 管壁内层和次内层为骨质的, 它们共同构成一层管壁, 叫软骨膜化骨 (perichondral bone) (译名见陈兼善“动物学辞曲”1988年版)。这与 Sæve-Söderbergh (1952, p6)、Miles (1977, p141) 对古肺吻部骨质管管壁的描述相近。这一层上的凹陷和孔洞 (见上文次内层) 似是骨细胞所在的骨陷窝结构; 而此层的腔面 (即上文的内层) 中的 Si、Fe、Al 成分可能是在形成化石的长期过程中, 外围物质渗透并沉淀而成。上文的暗层可能是粘土质薄膜; 外层松散结晶物质可能是填充软骨部分的方解石, 均在化石形成过程中产生。

3. 骨质小管与膜质骨的关系(图版 I, 图 3) 在吻部横切面电镜照片上, 在膜质骨与内骨骼相接的地方, 多处见到小管管壁与膜质骨下层之间无空隙存在, 管腔与膜质骨内海绵层中孔隙相通的现象。

(二) 骨质小管的分支和分布

沿杨氏鱼鼻后壁上的孔 (Chang, 1982, Fig. 12) 向前观察, 吻部骨质管道主要是为脑神经 V、VII 在吻部的分支提供管道, 并不断分支形成网状系统。插图 1 是根据磨片图按比例作出的吻部骨质小管分布草图。从管道分布区域和延伸路线分析, 并参照

Bertmar (1966), Jarvik (1942), Miles (1977) 文中所用名词, 将它们描述如下。

1. 眼深支管 (c. n. pr) 在鼻后壁, 眼浅支内侧有一孔, 追踪由这一孔延伸的管道的分布, 推测其为眼深支背支 (c. r. prd) (Chang 1982, Fig. 12, cc)。

(1) 背支是眼深支管在眼眶前部发出的, 一直延伸在鼻囊背内侧及眼浅支内侧, 并多少与后者平行 (Chang, 1982, p36), 直至吻尖, 不进入鼻囊。追踪此管, 其途中与眼深支后来的分支额孔支 (c. r. perf) 管及其它小分支管汇合。在鼻囊前部, 有分支向鼻间壁, 鼻前正中部分延伸, 并在吻尖形成许多小分支。

眼深支管从眼眶前部的背内侧向上、向前延伸, 穿过鼻后壁到达鼻囊背方, 在其间向背壁分别发出二支管道, 前额支管 (c. r. fra) 和额孔支管 (c. r. perf) 向前背内侧延伸。右侧的这二支管发出后很快与背支管汇合, 左侧前额支管则一直向前延伸, 与背支管有多处吻合, 分布区域与背支管同, 额孔支发出后不久与前额支汇合。

穿过鼻后壁, 眼深支分裂成二支主要分支管: 侧鼻支管 (c. r. ln) 和中鼻支管 (c. r. mn) (Chang 1982, p35, 及图版 II, 图 6b)。

(2) 侧鼻支管是这二支中的外侧支, 其所在管道又纵裂为二: 外侧管道带着侧鼻支向外侧延伸, 内侧管道前伸不久穿过鼻腔顶壁进入鼻囊(后述)。眼深支的一小分支 (c. r. pr) 行走眼眶鼻管内, 穿过鼻后壁后离开眼眶鼻管向上向前延伸, 在侧鼻支发出后很快与

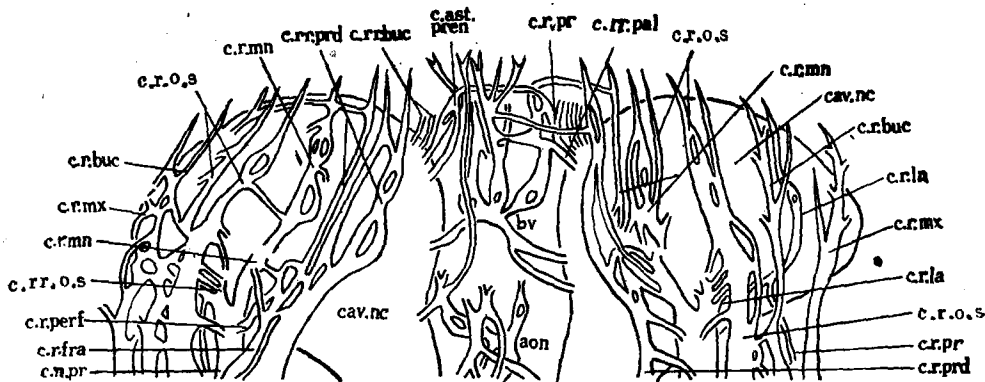


图 1 杨氏鱼 (V6179) 吻部骨质小管分布线条图

(Sketch of the distribution of the bony tubules in the snout region in *Youngolepis* (V6179))

其汇合(图版 II, 图 6a, 6b)。右侧的侧鼻支一直分布在鼻囊背外侧, 与口部支 (c. r. buc) 伴行, 在鼻囊前部有小分支发出参与形成吻部网管系统; 左侧的侧鼻支管道与外侧的口部支管道汇合。

(3) 中鼻支自发出后在鼻囊背方前行, 大约在后外鼻孔中部位置穿过鼻腔顶壁进入鼻囊, 在鼻腔顶壁下方前行(图版 II, 图 6d)。不久有 1—3 支分支穿透鼻腔顶壁上行, 离开鼻囊, 分布在鼻囊背侧, 头部膜质骨下方, 延伸在眼深支背支外侧, 稍稍与之平行, 并多次分支, 直至吻尖(图版 II, 图 6e—6f)。

(4) 在前颌骨齿后缘位置, 眼深支腹支 (c. r. v. pr) 从鼻囊内侧出现(图版 II, 图 6e,

6f), 与稍前方从前颌骨背方出现的一分支, 推测是腭支分支 (c. rr. pal) 形成鼻前吻合支 (c. ast. pren) (Jarvik 1942, p479) (图版 II, 图 6g)。

2. 眼浅支管 (c. r. o. s.) (Chang 1982, c. r. o. la) 这一神经主支所在管道一直在眼深支背面和眶上感觉管下方向前延伸, 不进入鼻囊腔。眼浅支与眼深支所在管道有较密切的联系(图 6 中的 M)。

根据观察, 眼浅支有分支(c. rr. o. s.)与眼深支并行并延伸在共同管道中。一分支随侧鼻支与眼深支的中鼻支分开, 但很快又与侧鼻支分开, 以内侧管道(见上述侧鼻支一段)穿过鼻腔顶壁进入鼻囊腔(见图 6b 中的 MR), 这一分支又分成一些小分支, 很快穿出鼻腔顶壁上行, 与背部的眼浅支主支汇合; 另一分支随中鼻支在鼻囊背部的分支离开鼻囊, 大约在后外鼻孔前沿, 右侧的这一支单独行使支配大约从后外鼻孔前缘到吻尖部分的眶上管的功能, 有间隔地发出 4—5 支分支去眶上管底部, 左侧的这一支随中鼻支分支管向前延伸一段后与之分开, 其所在管道与眼浅支主支管道汇合, 然后这支主支管有规律地分支出 4—5 支管延伸到眶上管底部(见图 6e、6g 中的 MR)。后外鼻孔前缘后方的眶上管由眼浅支主支发出的分支支配, 右侧观察到 3 次, 左侧 4 次。

眼浅支所在管在吻前端不断分支参与形成网管系统。

3. 上颌支管 (c. r. mx) 延伸在鼻囊后外侧、外侧与前方, 在鼻外侧与膜质骨之间较窄的空间里延伸, 与口部支几乎平行并一直在其上方, 在左侧可看到它与口部支的多处吻合(图版 II, 图 6 中 K)。

4. 口部支管 (c. r. buc) 通过眶鼻管背壁而进入吻部, 在上颌支管下方延伸, 不大发达, 管径较细, 与上颌支平行向前延伸在筛区的外侧面及鼻囊背外侧。左侧口部支管与眼浅支管有多处连通(图版 II, 图 6 中 F)。

在鼻囊外腹角, 口部支一分支进入鼻腔。在前外鼻孔后缘水平上的鼻囊腹内侧壁上, 此分支离开鼻腔并分成二支, 支配眶下管(图版 II, 图 6f、6g 中 FR)。

5. 腭支管 (c. rr. pal) 没有追踪到其主支管道, 只在前外鼻孔后缘水平上, 有一分支管从前颌骨背部出现, 向上向前延伸, 很可能进入鼻基管向前行走一段, 后与眼深支的腹支管汇合并稍后与对侧的这一汇合支管汇合, 形成鼻前吻合支, 从这一路线来推测这是腭支分支(图版 II, 图 6f、6g 中 Q、D)。

6. 血管 在眶前部的正中腹部, 追踪到一些管道在后外鼻孔后缘水平即消失; 在后外鼻孔正中部位从鼻囊内侧壁发出一些管道, 它们向鼻间部位集中, 汇合后又分支, 直至吻尖。与现生鱼类相对照, 前者可能是为眶鼻动脉在鼻囊后部的血管提供的通道, 后者为中鼻静脉和中鼻动脉分支的管道(图版 II, 图 6 中 B) (Bertmar 1966, Thomson 1965)。

所有在筛区分布的管道很有可能为与神经伴行的动、静脉血管提供通道 (Miles 1977, p132; Jarvik 1942, p372—481)。

总结起来, 杨氏鱼吻部内骨骼内骨质小管结构和分布有以下几个特点:

1. 骨质管壁是由 perichondral bone 组成, 主要含有元素钙、磷, 但管腔面含有少量铁、铝和硅。

2. 有的部位, 骨质管壁与膜质骨之间几乎无空隙存在, 有时管腔与膜质骨内松骨中孔隙相通。

3. 骨质管主要为第五、七脑神经以及这一区域血管提供通道,神经分布有如下特点:

- (1) 眼浅支有分支伴随眼深支进入鼻囊腔,然后离开鼻囊支配一段眶上侧线。
- (2) 眼深支配鼻囊背侧面,在吻尖,其腹支分支和腭支分支可能形成鼻前吻合支。
- (3) 口部支和上颌支支配鼻囊外侧面。
- (4) 口部支有分支从鼻囊腹侧出现支配眶下侧线。

三、比 较

将以上所研究的杨氏鱼吻部神经走向与下述动物: 孔鳞鱼、骨鳞鱼、化石及现生肺鱼及两栖类作比较,看出它们相同与不同的特点。

1. 与孔鳞鱼 (Jarvik 1942, p372) 比较 ①眼深支(杨氏鱼)在眶前部分支与 Jarvik 的描述有相似之处,但不如孔鳞鱼那样发达,鼻囊外侧面由上颌支和口部支支配而不是象孔鳞鱼中由眼深支支配。②眼浅支有分支随眼深支管道进入鼻囊,孔鳞鱼中未见描述。③口部支、上颌支管道在杨氏鱼中较为清楚。

2. 与骨鳞鱼 (Jarvik 1942, p476) 比较 ①杨氏鱼眼深支在进入鼻后壁的分支与骨鳞鱼中描述相近。杨氏鱼眼深支腹支与腭支分支形成鼻前吻合支,在骨鳞鱼中也有描述。杨氏鱼眼深支腹支未通过鼻基管,这与骨鳞鱼中不同。② Jarvik 未提及骨鳞鱼眼浅支分支进入鼻囊。③口部支和上颌支在杨氏鱼中不如骨鳞鱼中发达。

3. 与化石肺鱼比较 据 Miles (1977) 和 Säve-söderbergh (1952) 的有关描述,眼深支在进入鼻后壁后分为侧支和主支;在 *Holodipterus* 中侧鼻支与口部支有吻合, *Griphognathus* 中中鼻支有腹支分支,且眼深支与眼浅支有密切关系。这些特点在杨氏鱼中均存在,但眼浅支分支是否进入鼻囊在化石肺鱼中未见明确提及。

4. 与现生肺鱼比较: 在 Bertmar(1966)、Thomson (1965) 对现生肺鱼的描述中均提到眼浅支分支进入鼻囊,并与眼深支密切联系,这一特点与杨氏鱼吻合。

5. 与两栖类比较: 在 Fox (1965) 对有尾类和无尾类的描述中,眼浅支是单独行动的,不进入鼻囊。

四、讨 论

杨氏鱼吻部骨质管道是 rostral tubuli 吗?

Rostral tubuli 这个结构是于 1971 年由 Thomson 和 Campbell 首先发现于肺鱼化石中。Campbell 和 Barwick (1986) 总结了前人的工作 (Thomson, Campbell, Barwick, Miles, Säve-söderbergh) 后定义它为 "They are most diverse and abundant in the rostral and symphysial region, where they consist of long tubes that ramify to form a roughly bilateral interconnected pattern beneath the dermal bones. We refer to these as rostralsymphysial tubules. Miles (1977) 多次指出,吻部的 tubuli 是由神经管道分支形成的,即眼浅支、眼深支、口部支等。Campbell 和 Barwick (1982、1984、1986)、Cheng (1989) 等人也强调 tubuli 与脑神经 V、VII 的密切关系,并指出它与侧

线、皮肤表面电接受器官的形态和功能上的密切联系;在组织学结构上,Säve-söderbergh、Miles 指出肺鱼中此结构的壁是由 perichondral bone 组成。

通过对杨氏鱼吻部骨质小管的组织学结构以及分支走向情况的研究,这一结构与肺鱼的 tubuli 组织结构相似(图版 I, 图 4),并主要是为神经和血管提供通道,与侧线系统有着不可分割的联系;它不仅与侧线系统、同时与皮肤表面感觉器官联系密切,这可以从骨质小管与膜质骨的关系看出。可以看出,杨氏鱼这一结构与肺鱼吻部的 tubuli 是相似的 (Cheng 1989), 作者认为它可以被称为 rostral tubuli。但这里存在一个量的问题,即化石肺鱼中吻部骨质管数量超过了杨氏鱼 (Cheng 1989)、由于标本的限制,我们不能肯定在 *Youngolepis-Powichthys* 动物群中这是一个普遍的现象,而且前人的研究中未对这一系统量的问题有一个明确的概念。对于这一差别是否可以认为它代表了这一动物群在具有这一结构上的特点? 由于材料有限,我们未能看到支配皮肤感觉器官的神经通过的孔群 (grp. so) (Chang 1981, p70) 与下方的 tubuli 有无直接的或间接的结构上的联系,这些问题有待进一步研究。

迄今为止,所发现的能在吻部形成这种网状骨质管系统的特征的动物只是泥盆纪肺鱼(包括我国云南出土的肺鱼 *Diabolepis*) 及总鳍鱼中的 *Youngolepis-Powichthys* 群 (Chang, 1991)。这种特征是否可以看作是这一姐妹群的形态特征之一,由此可作为推测它们的亲缘关系远近的诸多依据之一。

衷心感谢中国科学院古脊椎动物与古人类研究所张弥曼先生毫无保留地提供珍贵的化石连续磨片、图片和资料,阅读论文初稿并提出宝贵的意见。本文中化石切片由段雨霞同志制作,电镜照片由张文定同志拍摄,在此一并致谢。

(1991年9月20日收稿)

简 字 说 明

(abbreviations)

A(aon)	canal of orbito-nasal artery 眶鼻动脉管道
B(bv)	canal of blood vessels 血管管道
C(cav. nc)	cavity of nasal capsule 鼻囊腔
D(c. ast. pren)	canal of prenasal nerve anastomosis 鼻前神经吻合支管
E(c. n. pr)	canal of nerve ophthalmicus profundus 眼深神经管
F, FR(c. r. buc, c. rr. buc)	canals of r. buccalis and its branches 口部支管和它的分支管
G(c. r. pra)	canal of r. frontalis anterior of n. pr 眼深支的分支-额前支管
H(c. r. ln)	canal of r. lateral narium of n. pr 眼深支分支-侧鼻支管
J(c. r. mn)	canal of r. medialis narium of n. pr 眼深支分支-中鼻支管
K(c. r. mx)	canal of r. maxillaris 上颌支管
M, MR(c. r. o. s, c. rr. o. s.)	canals of r. ophthalmicus superficialis and its branches 眼浅支和它的分支管
N(c. r. perf)	canal of r. frontalis perforans of n. pr 眼深支分支-额孔支管
O(c. r. pr)	canal of orbitonasal terminal profundus branch passing through the orbitonasal canal 通过眶鼻管的眼深神经分支管

P, PR(c. r. prd, c. rr. prd)	canals of dorsal branch and its terminal branches of n. pr 眼深神经的背支和它的末端分支管
Q(c. rr. pal)	canal of terminal branch of r. palatinus 腭支的末端分支管
R(c. r, pr)	canal of ventral terminal branch of r. mn 中鼻支的腹支管
S	dermal bone 膜质骨
T	endoskeleton 内骨骼
U(ioc)	infraorbital lateral canal 眶下侧线管
V(c. n-b)	nasobasal canal 鼻基管
W1	orbit 眼眶
W2(c. on)	orbito-nasal canal 眶鼻管
X(pmx)	premaxillary teeth 前上颌骨齿
Y(soc)	supraorbital lateral canal 眶上侧线管
Z	tubuli (meshwork of bony tubules in rostrum 骨质小管网

参 考 文 献

- 张弥曼,于小波,1981: 云南东部早泥盆世总鳍鱼类的原始代表。中国科学1,67—72。
- Bertmar, G., 1966: The development of skeleton, blood-vessels and nerves in the Dipnoan snout, with a discussion on the homology of the Devonian posterior nostrils. *Acta Zoologica* Stockholm, 47, 81—180.
- Campbell, K. S. W. and R. E. Barwick., 1982: A new species of the lungfish *Dipnorhynchus* from New South Wales. *Paleontology* 25, 509—527.
- Campbell, K. S. W. and R. E. Barwick., 1984: *Speonesydrium*, an early Devonian dipnoan with primitive tooth plates. *Palaeo-Ichthyologica* 2, 1—48.
- Campbell, K. S. W. and R. E. Barwick., 1986: Paleozoic lungfishes—A review. *Journal of Morphology Supplement* 1, 93—131.
- Chang Mee-mann., 1982: The braincase of *Youngolepis*, a lower Devonian crossopterygian from Yunnan, South-Western China, *Stockholm: GOTAB*. 113pp.
- Chang Mee-mann., 1991: Head exoskeleton and shoulder girdle of *Youngolepis*. In Chang, M. M, Y. H. Liu, and G. R. Zhang (eds.) 1991. *Early vertebrates and related problems of evolutionary biology*. Science Press, Beijing.
- Cheng, H., 1989: On the tubuli in Devonian lungfishes. *Alcheringa* 13, 153—166.
- Fox, H., 1965: Early development of the head and pharynx of *Neoceratodus* with a consideration of its phylogeny. *J. Zool.* 146, 470—554.
- Jarwik, E., 1942: On the structure of the snout of crossopterygians and lower gnathostomes in general. *Zool. (Cognisca) Bidrag.*, Uppsala, 21, 235—675.
- Miles, R. S., 1977: Dipnoan (lungfish) skulls and the relationship of the group: a study based on new species from the Devonian of Australia. *Zoological Journal of the Linnean Society* 61, 1—328.
- Säve-Söderbergh, G., 1952: On the skull of *Chirodipterus wildungensis* Gross, an upper Devonian dipnoan from Wildungen. *K. Svensk. Vetensk. Hand.* 3(4), 1—29.
- Thomson, K. S., 1965: The nasal apparatus in Dipnoi, with special reference to *Protopterus*. *Proceedings of the Zoological Society of London.* 145, 207—238.

ON THE MESHWORK OF THE BONY TUBULES IN THE ROSTRUM OF *YOUNGOLEPIS*

Cheng Hong

(Dept. of Biology, Peking University)

Key words *Youngolepis*; Tubuli (tubules); perichondral bone; nasal capsule; ramus ophthalmicus superficialis; nerve ophthalmicus profundus

Summary

1. The walls of the tubules are composed of perichondral bone mainly contained the elements: P and Ca. But the internal surfaces of the walls contain Fe, Al, Si besides P and Ca permeating through the walls during the period of the fossil formation, the outside walls are surrounded by quartziferous materials.

There are almost no rooms between the walls of the tubules and the dermal bone sometimes, also the cavities of the tubules communicate with the spaces of the sponge bone in the dermal bone in some places.

2. The meshwork of the tubules mainly supply the passages for the nerves: r. ophthalmicus superficialis, n. ophthalmicus profundus, r. buccalis and r. maxillaris; also for the vessels in the rostrum.

The features of the branching and courses of the nerves (bony tubules too) are as follows:

(1) R. s. o. (c. r. s. o.) (r. o. lat in Chang 1982) has branches accompanying n. pr. and entering into the cavity of nasal capsule. They leave the capsule afterwards and innervate the supraorbital lateral-line canals.

(2) N. pr (c. pr in Chang, 1982) supply the dorsal-lateral part of the snout. There may be a prenasal anastomosis between the ventral branch of n. pr and medial terminal branch of the r. palatinus.

(3) Branches of r. buccalis (c. r. buc) merge from the ventral side of the snout to innervate the infraorbital lateral-line canals.

(4) The r. maxillaris and the r. buccalis supply the lateral part of the snout.

All the tubules undergo repeated further division to form the meshwork in the rostrum.

3. In comparison with osteolepiform, porolepiform, lungfishes and amphibians, the entering of branches of r. s. o. into the nasal capsule is the same as those in lungfishes in which living this feature is definitely mentioned.

4. Is the meshwork something like rostral tubuli in lungfishes? Based on the analysis of the structures of the walls, the courses, the function and the close relations to the lateral-line canals, and the dermal bone, referring to the definition of this organ given by previous authors (Campbell and Barwick 1986), the answer would be in the affirmative. Chang (1991) has mentioned this character as a feature shared by *Youngolepis*, dipnoans and porolepiforms. But the amount of the tubules in *Youngolepis* is less than those in lungfishes. We may take this difference as the character of this group *Youngolepis-Powichthys*. the further study is needed.

The other problem left is the relationship between the tubuli and the group of pores for nerves to cutaneous organ.

图 版 说 明

图 版 I (Plate I)

1. 杨氏鱼 (V9528) 头骨吻部横切面 (S1) 光镜照片, 横切面距吻尖 0.5 cm (1, Optic microscope photo of the transverse section through the rostrum in *Youngolepis* V9528) $\times 5$ 2. 杨氏鱼 (V9528) 头骨吻部横切面 (S1) 中骨质小管扫描电镜照片 (即图 1 中箭头所指的管): a: 外层, b: 暗色层, c: 次内层, d: 内层。图内箭头示分支管腔 (2, SEM photo of the bony tubule in transverse section mentioned above) to show the wall structure of the tubule, a. outside, b. dark layer, c. second layer from the inner, d. inner layer)。 $\times 75$ 3. 骨质小管与膜质骨的关系的扫描电镜照片。箭头 1 示管壁与膜质骨之间无空隙现象, 箭头 2 示骨质管腔与膜质骨内腔隙相通现象 (3, SEM photo to show the relation between the bony tubules and the dermal bone)。 $\times 770$ 4. 肺鱼 *Chirodipterus australis* 吻部横切面骨质管壁放大, 箭头示分支管腔 (4, The wall of the tubuli in Lungfish, *Chirodipterus australis*)。 $\times 190$ 5. 对图 2 中各层进行 X-射线能谱分析图, 示各层元素成分和含量, (a. b. c. d 含义见图 2) (5, Atlas of the X-ray energy dispersive to show the element composition of the tubule wall mentioned in Fig. 2)。

图 版 II (Plate II)

6. 杨氏鱼 (V6179) 头骨磨片图 a—h, 示骨质小管的分支和分布。字母顺序代表从眼眶前部到吻尖的磨片图的排列顺序: a—111, b—94, c—85, d—79, e—55, f—36, g—33, h—13 (6, Grinding drawings of *Youngolepis* V6179 to show the branching and distribution of the bony tubules)。

