

江豚呼吸系统形态解剖和组织学 的初步研究*

宋光泽 王广洁 董金海
(中国科学院海洋研究所, 青岛)

提要 江豚 *Neophocaena phocaenoides* 呼吸系统由颅上鼻道、骨质鼻道、喉、气管和肺 5 部分组成。颅上鼻道与表呼吸囊、深呼吸囊、前辅助囊、后辅助囊和前颌囊 5 对气囊相连, 同时还有一对鼻栓。在江豚深潜水时, 这些气囊可贮存大量的空气供呼吸用。喉室内无声带, 仅有室皱壁(假声带), 因而失去发声的能力。气管短而粗, 由不规则的软骨环组成。在呼吸性细支气管内仍然存在完整的软骨环, 在肺泡管壁内也有软骨片。在呼吸性细支气管和肺泡管之间有括约肌。肺分左、右两叶, 不分小叶。

早在 1926 年, 我国动物学家秉志^[1]曾对江豚喉、气管、肺做过简单的解剖学介绍。Howell^[2] 描述过中国江豚的外形, 并做了骨骼及肌肉的解剖, 对气囊也做了简略的、不完整的叙述。Belanger^[3], Wislocki and Belanger^[3,4] 曾对几种大鲸类和一些小鲸类的肺组织学上的特征做了比较。Green 等^[6] 详细地描述了胆鼻海豚 (*Tursiops truncatus*) 喉的结构及对发声有关的肌肉的电刺激试验。John and Murray^[9] 用大西洋胆鼻海豚等的呼吸系统做了大量的组织学研究。国内陈佩薰等^[2]做了白暨豚上呼吸道的解剖和组织学研究。刘仁俊等^[3]做了白暨豚气管和肺的解剖和组织学的研究。廖承义^[4]做了江豚鼻道解剖的初步观察。我们详细地解剖了江豚的呼吸系统, 并对各部分做了组织切片。

一、材料和方法

研究的 12 头标本(标本号: 8201—8206; 8301—8306)均采自上海市崇明岛附近。对新鲜标本进行外形测量后即解剖。气囊的测量数据均取自 8203 号标本。组织材料用波恩氏 (Bouin) 液固定, 用德氏 (Delafield) 苏木精与伊红染色, 切片厚度为 8—10 μm 。

二、观察结果

(一) 颅上鼻道

江豚颅上鼻道是不对称的, 自喷水孔起稍向后斜, 然后直向下通入骨质鼻道。内壁呈黑色, 是江豚呼吸系统中最复杂的部分, 包括喷水孔、前庭、气囊、鼻栓。

1. 喷水孔 位于颅顶前、额隆后, 横向在头顶正中线上。闭合时呈“C”字形, 张开

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1281 号。

收稿日期: 1983 年 8 月 8 日。

时几乎呈圆形,两顶角之间距离约 2cm,后唇硬而不活动,唇边稍有皱纹。前唇柔软,唇突光滑,能活动自如。潜水时,闭合严密,水不能进入鼻道。

2. 前庭 在喷水孔下,颅上鼻道上端有一膨大部分,背面观呈“元宝”形的空腔称前庭。潜水时,可储存空气以备呼吸和发声用。

3. 气囊 江豚有 5 对气囊,即表呼吸囊 (Superficial respiratory sacs)、深呼吸囊 (Deeper respiratory sacs)、前辅助囊 (Anterior accessory sacs)、后辅助囊 (Posterior accessory sacs)、前颌囊 (Premaxillary sacs)。每对气囊左右对称,直接或间接与鼻道相通 (图 1)。

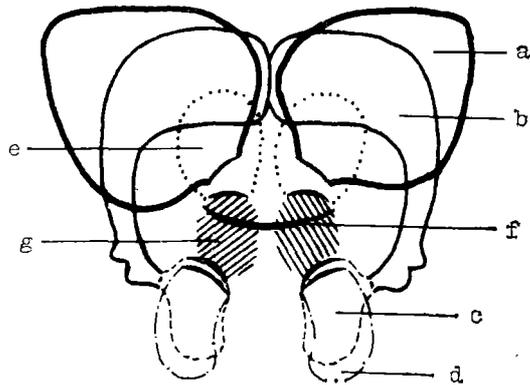


图 1 江豚鼻孔和气囊(背面观)

a. 表呼吸囊; b. 深呼吸囊; c. 前辅助囊; d. 后辅助囊;
e. 前颌囊; f. 喷水孔; g. 骨质鼻孔。

(1) 表呼吸囊: 为一对最大的气囊,位于额隆后上方、鼻道前方,长轴约 5.5cm,短轴约 5cm,开口处有括约肌,在喷水孔下 2cm 鼻道的前壁上。背面观类似一对“心脏”,左右两囊各自游离,互不相连。自鼻道前壁起水平向前两侧伸展 (图 1:a)。囊壁黑色多皱褶,周围披一层伸缩性强的肌肉。

(2) 深呼吸囊: 囊体由前向后逐渐变细,成为一对弯曲的喇叭状 (图 1:b),位于表呼吸囊下方,前颌骨上方,开口于前辅助囊外侧壁下 1/3 处,然后向上与水平约成 30° 角向前伸展,前端膨大向中间弯,两囊顶部在中线上相遇。与前辅助囊相通的口径很小,直径约 2mm。内壁前端为肉红色,越向后颜色越深,近前辅助囊处为黑色。囊体外披一层厚而坚韧的肌肉。

(3) 前辅助囊: 囊体小,高约 20mm (图 1:c)位于鼻道和后辅助囊之间,与水平方向垂直,开口于鼻道下端后外侧壁上,唇瓣呈弧形,前端向外略低,后端近中线略高。其外侧壁与深呼吸囊相通,囊壁薄而呈黑色。

(4) 后辅助囊: 囊体高约 22mm,位于前辅助囊和鼻骨之间,与前辅助囊平行,开口较前辅助囊略低稍后,唇瓣形状与前辅助囊相似 (图 1:d)。囊壁薄、光滑呈黑色。

(5) 前颌囊: 为一对最小的气囊,位于前颌骨上方、深呼吸囊下方,开口于鼻道下方前壁,沿前颌骨走向,腹壁紧贴在前颌骨上 (图 1:e)。囊壁光滑无皱褶呈黑色,无唇瓣。

江豚 5 对气囊壁在组织结构上是相似的,上皮均为复层扁平上皮,细胞层数很多。近游离面的细胞更为扁平,未角质化;中层的细胞大而呈多角形,再往里细胞较密集;深层结缔组织中有大量的血管、淋巴和神经组织(图版 III: 16,17)。上皮基底面与下层结缔组织固有膜形成乳突状嵌合,以便增加囊壁的力度和伸缩性。

(6) 鼻栓: 在表呼吸囊下,由颅上鼻道前壁水平伸出一对舌状鼻栓。其前端边缘薄,后部较厚,富伸缩性,紧密地盖在骨质鼻孔上,为防止水进入鼻道的第二道关口。鼻栓活动灵活,可以控制气流入出。

(二) 骨质鼻道

骨质鼻道被一薄的骨片分隔为左右两部,开始垂直向下,然后约 45° 角向后下斜,直通咽喉。整个骨质鼻道披有一薄层肌肉膜。在鼻中隔下端骨质鼻道两外侧壁肌肉膜上各有一个直径约 2mm 的开口,为耳咽管在咽部的开口。

(三) 喉

江豚的喉由甲状软骨、环状软骨、会厌软骨、一对杓状软骨及三对小角状软骨组成。这些软骨由肌肉韧带连结成一个整体。喉室底面有室皱壁(假声带),并有一对杓状软骨和会厌软骨组成会厌管(图 2)。

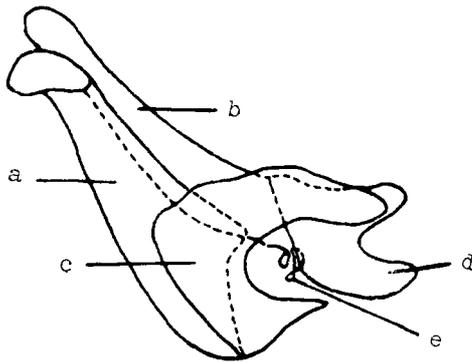


图 2 江豚的喉(侧面观)

a. 会厌软骨; b. 杓状软骨; c. 甲状软骨; d. 环状软骨; e. 小角状软骨。

1. 甲状软骨 在喉腹面,构成喉室底部,前端中央凹与会厌软骨末端相连接,后端中央尖,稍上翘,两侧角成弓形向上后伸展,角的末端与环状软骨后背角相连接(图 2:c)。

2. 环状软骨 在喉室背面,前端弧形后凹,两侧向下斜面(约 10mm)与杓状软骨相连接,背部平滑无突起,中间略凹,后端翘起向两侧扩展形成两个后背角。环状软骨两侧向下后形成两个后腹角,包围着喉室的后部,一直延伸到喉的腹面,但不闭合,相距约 5mm(图 2:d)。

3. 会厌软骨 为一比较大、前端窄、后端宽,腹面形成一纵的隆起,背面凹陷形成长槽,前端浅,越向后越深,后下端与甲状软骨相连接,形成喉室底部(图 2:a)。

4. 杓状软骨 侧面观前端窄向后渐宽, 而末端变尖。两块杓状软骨在前端约 1.2cm 处愈合, 后端背面与环状软骨相连接, 其外侧边嵌在会厌软骨槽内, 由韧带相连形成会厌管(图 2:b)。

5. 小角状软骨 在每块杓状软骨后下端, 并排着三块小角状软骨。前面一块呈三角形, 中间为棒状, 长约 2—3mm; 后面一块最小, 椭圆形, 长约 1—2mm(图 2:c)。

会厌软骨和杓状软骨前端向外翻卷形成喇叭状开口, 可以插入内鼻孔。

对江豚喉室底部室皱壁的横断面进行组织学观察, 发现室皱壁上皮为假复层纤毛柱状上皮, 无杯状细胞。主质由大量的纵平滑肌和稠密的结缔组织构成, 间有许多动静脉血管和神经纤维(图版 II: 6,8)。

(四) 气管和支气管树

1. 气管 江豚气管同其他鲸类一样短而粗, 长略大于宽。以 8302 号标本为例, 气管全长 35mm, 最大宽 32mm, 由 6 个不规则、不完整的软骨环构成, 共有 16 块极不规则的软骨片(图 3)。自气管分出左、右主支气管和尖叶支气管。支气管软骨是完整的环状, 但形状不规则, 尖叶支气管的软骨环略宽些。

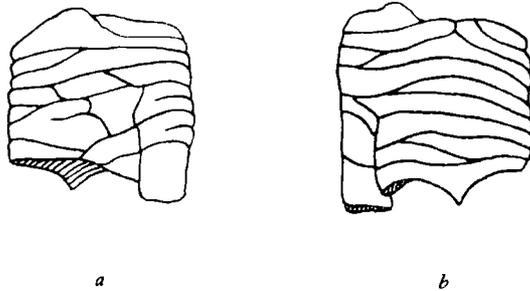


图 3 江豚气管软骨环结构示意图

a. 背面观; b. 腹面观。

2. 支气管树 支气管在肺实质中经多级分支后, 形成支气管树(图版 III:12)。

尖叶支气管自气管背右侧第三个环分出, 然后下行不分支, 在右肺前 1/5 处入肺, 经几级分支后, 形成支气管树, 占据右肺前 2/5 的区域(图版 III:12)。

右主支气管入肺前不分支, 自右肺前 1/3 处入肺, 沿右肺内偏下向后直达肺末端, 形成右主支气管树主干。自主干又分出 10—12 个侧支, 再经几级分支到右肺中后各部。

左主支气管经一级分支成为前后两支, 约在左肺前 1/4 处入肺。前支入肺后向左肺前端伸展, 经多级分支后占据左肺前 1/3 区域。后支入肺后, 沿左肺内下方向后形成左主支气管树主干, 由主干分出 10—12 个侧支, 经多级分支占据左肺 2/3 区域(图版 III:12)。

支气管在肺内随着各级分支, 管壁越来越薄, 管径越来越细, 直到呼吸性细支气管和肺泡管内仍有软骨存在。

3. 组织学结构 从气管到呼吸性细支气管的组织结构上看, 大体是相同的。分三层: 粘膜层、粘膜下层、软骨纤维层。

粘膜层: 上皮均为假复层纤毛柱状上皮。气管上皮中间夹有杯状细胞(图版 III:

15),但在支气管以下部分无杯状细胞,具有清晰的基底膜。固有膜内有动静脉血管、神经纤维、淋巴组织和丰富的弹性纤维。

粘膜下层: 粘膜下有大量的疏松的结缔组织,并间有平滑肌,没有发现腺体存在,布有动脉和静脉血管、淋巴细胞和神经纤维。

软骨纤维层: 主要由软骨细胞和结缔组织纤维构成,大量的弹性纤维形成韧带将软骨片紧密地连结在一起。气管的最外层是疏松的结缔组织,含有大量的平滑肌、血管和神经纤维。

(五) 肺

肺同其他豚类一样,呈梭形(图版 I: 1,2),分左右两叶,不分小叶,前端钝圆,超过第一肋骨 8—10cm,后端扁平,末端可达第 12 胸椎,背面近内侧鼓起,腹面微凹,内侧厚外侧薄。左右肺外侧边缘后 2/3 区域覆盖一层脂肪组织。整个肺表面披一层浆膜,使肺表面光滑湿润,运动时可减少肺与胸腔壁的摩擦。肺动脉在左右主支气管前外侧入肺,沿主支气管背面向后伸展,直达肺末端,同时分出许多侧支,伸向肺的各部。肺静脉与肺动脉并行,在肺门周围出肺,然后汇成一条肺静脉。

江豚肺组织学结构的呼吸部分,主要由呼吸性细支气管、肺泡管、肺泡囊和肺泡组成。

呼吸性细支气管: 上皮由假复层纤毛柱状上皮过度到单层方形上皮(图版 II:7,9)。基底膜清晰明显。固有膜和粘膜下层较薄,主要由疏松的结缔组织组成,间有血管、神经和淋巴组织。

肺泡管: 呼吸性细支气管再分支为肺泡管。管壁不是完整的管状,管壁内有软骨片,并有大量的平滑肌和弹性纤维(图版 II:7)。

肺泡囊: 由肺泡管分出,为许多肺泡的开口处。在囊口附近有大量的弹性纤维和平滑肌。

肺泡隔: 由肺泡囊末端分出许多圆形或扁圆形的泡状体。肺泡之间的隔膜称肺泡隔,肺泡隔由大量的胶元纤维组成,在肺泡隔的两个表面上布满毛细血管网(图版 III:14)。肺泡隔厚约 10—20 μm 。很多游离状态的肺泡隔,其末端形成弹性组织结(图版 III:14)。

在呼吸性细支气管和肺泡管之间有括约肌(图版 II:7)。因此,在江豚深潜水时,对抗外界水压力起着重要的作用。

三、讨 论

1. 江豚颅上鼻道比较复杂,具有 5 对呼吸囊和一对鼻栓。我们所解剖的 12 头标本与廖承义观察的差异很大^[4]。兹提出以下几点看法:(1) 廖承义认为: 江豚表呼吸囊和深呼吸囊与胆鼻海豚的前庭囊和前颌囊在位置以及外形结构上是基本一致的,从背面看左右表呼吸囊完全分离;而从腹面看时,两个囊是互相连接在一起的。但据我们观察,二者的前庭囊和前颌囊在位置和结构上很不一致,江豚表呼吸囊开口于鼻道前壁,并向前两侧伸展,背面观呈“心形”,而腹面并不互相连接在一起。胆鼻海豚的前庭囊开口于鼻道后壁,并向后两侧伸展。(2) 廖认为: 江豚深呼吸囊与前辅助囊的交界处形成了两个扁管状分

枝,其中一个分枝直接与前辅助囊相通,而另一枝则形成倒“U”字形的弯曲,其“U”字形的一端与深呼吸囊相通,另一端则弯曲向下与鼻道相通。但我们认为:江豚深呼吸囊仅与前辅助囊相通,开口于前辅助囊外侧壁下1/3处,无第二个开口(图1:b)。(3)江豚前颌囊明显存在,然而在廖的文章里却未曾提到。

2. 江豚呼吸性细支气管仍有完整的软骨环,在肺泡管内有软骨片存在,这种结构明显地加固了支气管壁,以利于在深潜时对抗外界水压力和免受潜水病起着重要作用。

3. 江豚左、右肺不分叶,但从支气管树的分布情况,可人为地分叶。尖叶支气管树占据右肺前1/3区域,可看成是其他哺乳动物右肺上叶。右主支气管树在肺内明显分两大区域,占据中部区域可认为是其他哺乳动物右肺中叶,分布在右肺后部区域,相当于其他哺乳动物右肺下叶。左主支气管树前支分布于左肺前部区域,可认为是其他哺乳动物左肺上叶,左主支气管树后支分布于左肺后部区域,可认为是其他哺乳动物左肺下叶。

参 考 文 献

- [1] 刘仁俊、林克杰, 1980. 白暨豚气管和肺的解剖和组织学的研究。水生生物学集刊7(2): 141—152.
- [2] 陈佩薰、林克杰、刘仁俊, 1980. 白暨豚上呼吸道的解剖和组织学的研究。水生生物学集刊7(2): 131—140.
- [3] 张思照、宋政修, 1984. 江豚声学行为的观察与水下声信号的初步研究。海洋科学集刊23: 27—41.
- [4] 廖承义, 1978. 江豚鼻道解剖的初步观察。山东海洋学院学报1: 120—127.
- [5] Belanger, L. F., 1940. A study of the histological structure of the respiratory portion of the lungs of aquatic mammals. *Amer. J. Anat.* 67: 437—461.
- [6] Green, R. F., S. H. Ridgway and W. E. Evans, 1980. Function and descriptive anatomy of the bottlenosed dolphin nasolaryngeal system with special reference to the musculature associated with sound production. *In: Animal Sonar System*. Plenum Press. pp. 199—239.
- [7] Green, R. F. 1972. Observations on the anatomy of some cetaceans and pinnipeds. *In: Mammals of the Sea*. C. C. Thomas, Publisher, Springfield, Illinois, U. S. A. pp. 247—264.
- [8] Howell A. B., 1927. Contribution to the anatomy of Chinese finless porpoise *Neomeris phocaenoides*. *proc. U. S. Nat. Mus.*, vol. 70, Art 13, pp. 1—43.
- [9] John, G. S. and B. G. Murray, 1972. Comparative microscopic anatomy of selected marine mammals. *In: Mammals of the Sea*. C. C. Thomas, Publisher, Springfield, Illinois, U. S. A. pp. 298—384.
- [10] Low, F. N., 1953. The pulmonary alveolar epithelium of laboratory mammals and man. *Anat. Rec.* 117: 241—264.
- [11] Ping Chi, 1926. On some parts of the visceral anatomy of the porpoise *Neomeris phocaenoides*. *Anat. Rec.* 33(2): 13—17.
- [12] Simpson, J. G. and M. B. Gardner, 1972. Comparative microscopic anatomy of selected marine mammals. *In: Mammals of the Sea*. C. C. Thomas, Publisher, Springfield, Illinois, U. S. A. pp. 298—324.
- [13] Wislocki, G. B., 1942. the lung the cetacea, with special reference to the harbor porpoise *Phocoena phocoena*, Linnaeus. *Anat. Rec.* 2: 117—123.
- [14] Wislocki, G. B. and L. F. Belanger, 1940. The lungs of larger cetacea compared to those of smaller species. *Biol. Bull.* 78: 289—297.

A PRELIMINARY STUDY ON MORPHOLOGICAL ANATOMY AND HISTOLOGY OF RESPIRATORY SYSTEM OF *NEOPHOCOENA PHOCAENOIDES**

Song Guangze, Wang Guangjie and Dong Jinhai

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)

ABSTRACT

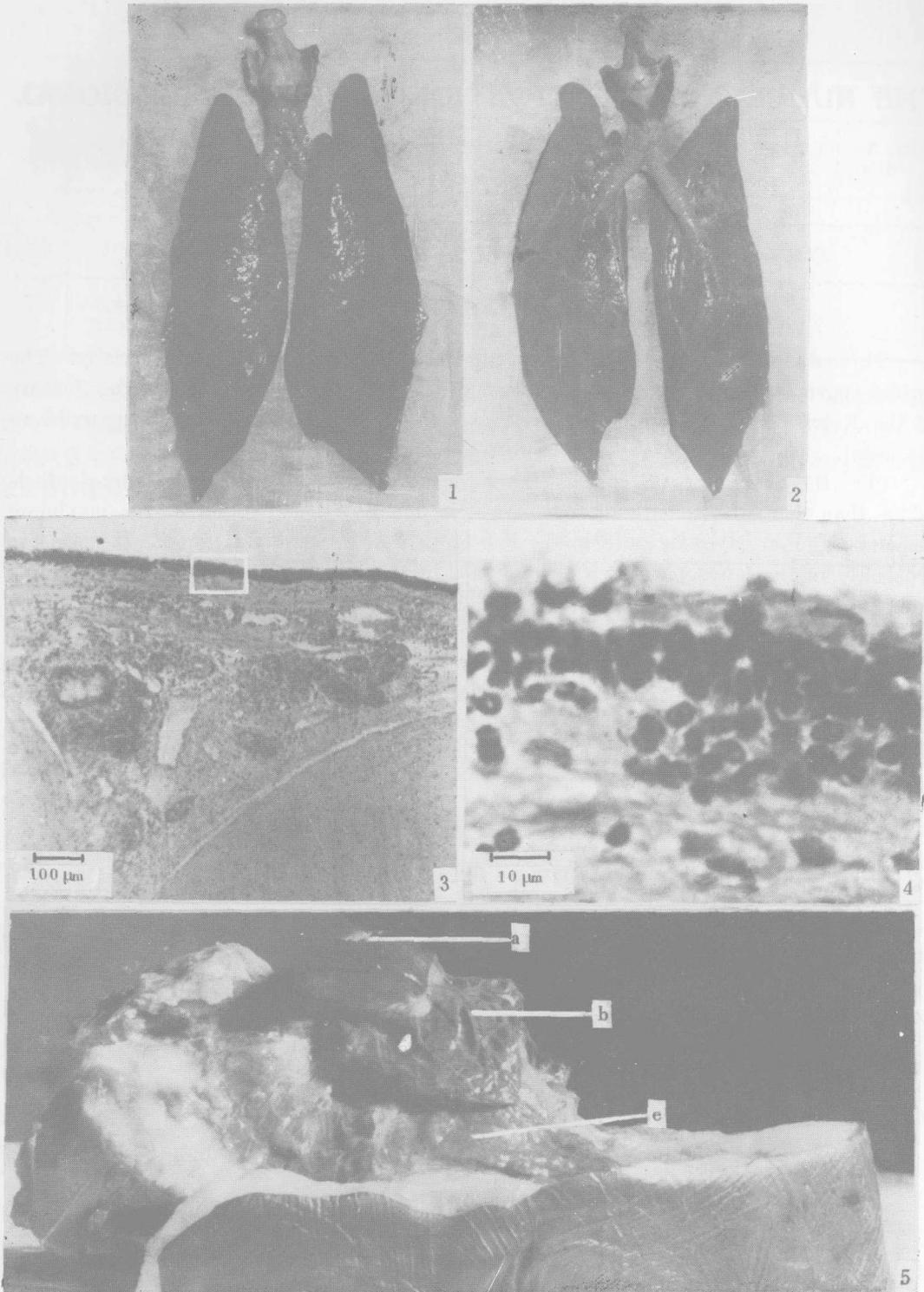
The present paper deals with the morphological anatomy and histology of respiratory system of *Neophocoena phocaenoides*. The anatomical result shows that *Neophocoena phocaenoides* possesses five pairs of respiratory sacs, which are superficial respiratory sacs, deeper respiratory sacs, anterior accessory sacs, posterior accessory sacs and premaxillary sacs. Those double air sacs are symmetrical on the right and left.

The larynx of *Neophocoena phocaenoides* consists of thyroid, epiglottis, cricoid cartilages, a pair of arytenoid cartilages and three pairs of corniculate cartilages. There are no vocal cords in the larynx. False vocal cords, however, exist at the bottom of the laryngeal room, but have lost the function to sound.

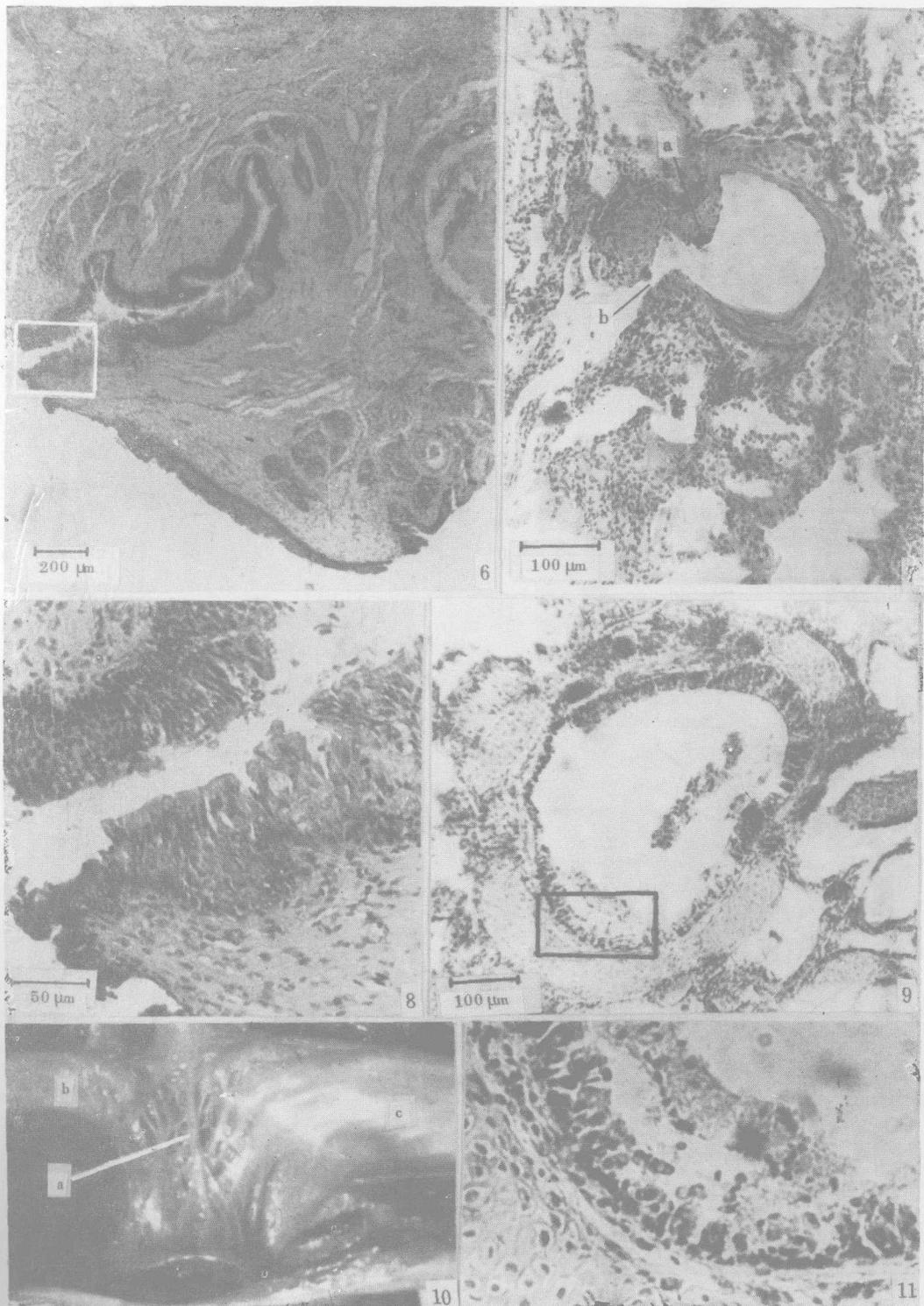
The trachea of *Neophocoena phocaenoides* is divided into the right and left truncus bronchial magistralis and bronchi apex. Therefore, there are three trunks of arbor bronchialis within the lung. The epithelia of trachea and bronchi are pseudostratified columnar ciliate spithelia. Except the epithelia of the trachea, no other bronchi possess the goblet cells.

The lung of *Neophocoena phocaenoides* is divided into two lobes, but lobule of the lung does not exist, There is sphincter between the respiratory bronchiole and the alveolar duct. Dense capillaries are distributed on the two sides of alveolar septum.

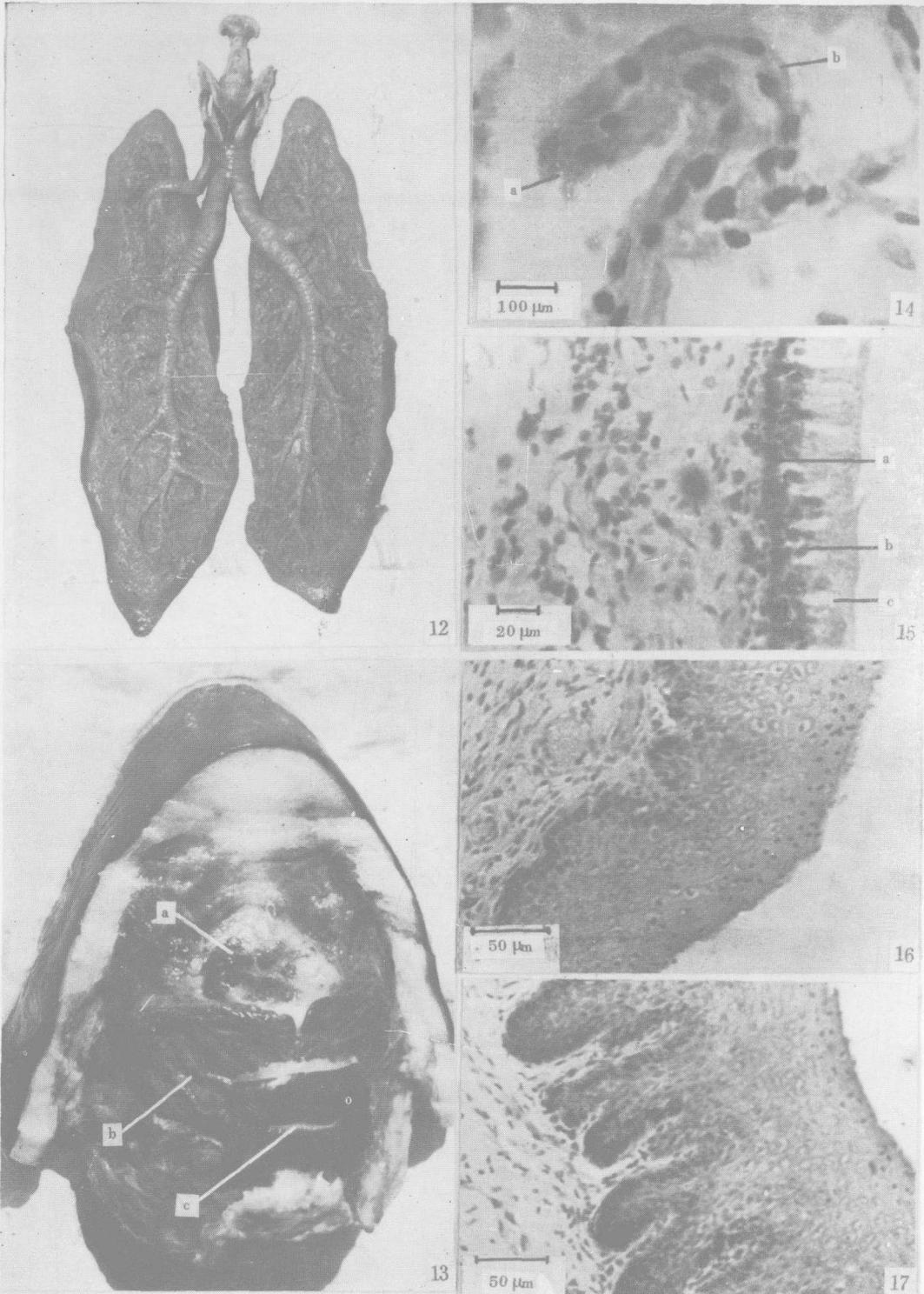
* Contribution No. 1281 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.



1. 江豚肺背面观; 2. 江豚肺腹面观; 3. 左主支气管的管壁结构; 4. 图 3 标出部分的放大; 5. 鼻道深层右侧观 (a. 喷水孔; b. 表呼吸囊; c. 深呼吸囊);



6. 示江豚喉部的室皱壁; 7. 呼吸性细支气管 (a, 括约肌, b, 肺泡管); 8. 图 6 标出部分的放大; 9. 细支气管管壁结构; 10; 江豚喉室底部 (a, 室皱壁, b, c, 杓状软骨); 11. 示图 9 标出放大部分;



12. 江豚肺内支气管树; 13. 江豚鼻道背面观 (a. 深呼吸囊, b. 表呼吸囊, c. 喷水孔); 14. 江豚的肺泡隔 (a. 示肺泡隔游离端的弹性组织结构, b. 示侧面的毛细血管); 15. 江豚气管的上皮细胞 (a. 基底膜, b. 假复层纤毛柱状上皮, c. 杯状细胞); 16. 江豚深呼吸囊壁的结构; 17. 江豚后辅助囊壁的结构。