

# 牦牛和柴达木黄牛的颈动脉体 I 型细胞线粒体和电子致密核心囊泡的体视学比较

常 兰<sup>1</sup>, 张 寿<sup>1\*</sup>, 雷乃虎<sup>1,2</sup>, 尚果玛<sup>1</sup>

(1. 青海大学农牧学院, 西宁 810016; 2. 青海省天峻县畜牧兽医工作站, 天峻 817200)

**摘要:** 作者旨在比较牦牛和柴达木黄牛颈动脉体(CB) I 型细胞线粒体和电子致密核心囊泡(EDCV)的体视学特征。选择海拔 3 200 m 地区健康成年牦牛和柴达木黄牛各 5 头, 采用透射电镜技术观察 CB 的超微结构, 并运用立体定量方法比较牦牛和柴达木黄牛颈动脉体 I 型细胞线粒体和 EDCV 的体密度( $V_V$ )、面密度( $S_V$ )、面数密度( $N_A$ )、比表面( $\delta$ )。结果表明, 牦牛和柴达木黄牛的颈动脉体实质细胞主要由 I 型细胞和 II 型细胞组成, 颈动脉体 I 型细胞细胞质中含有大量的线粒体和特征性的电子致密核心囊泡。牦牛 I 型细胞线粒体的  $V_V$  值大于柴达木黄牛, 但差异不显著( $P > 0.05$ ); 牦牛  $S_V$ 、 $N_A$ 、 $\delta$  值均小于柴达木黄牛, 其中  $S_V$ 、 $\delta$  值在两组间差异均不显著( $P > 0.05$ ),  $N_A$  在两组间差异显著( $P < 0.05$ ); 牦牛 I 型细胞质内 EDCV 的  $V_V$  值小于柴达木黄牛( $P > 0.05$ ); 牦牛  $S_V$ 、 $N_A$  和  $\delta$  值均大于柴达木黄牛( $P > 0.05$ )。结果提示这种结构特征可能使牦牛对环境低氧的感知比生活在相同海拔高度的柴达木黄牛迟钝。

**关键词:** 线粒体; 电子致密核心囊泡; 颈动脉体; 牦牛; 柴达木黄牛; 体视学

中图分类号: S852.16

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2016)07-1474-06

## Stereologic Study on Mitochondria and Electron Dense-cored Vesicles of Carotid Body Type I Cells between Yak and Qaidam Yellow Cattle

CHANG Lan<sup>1</sup>, ZHANG Shou<sup>1\*</sup>, LEI Nai-hu<sup>1,2</sup>, SHANG Guo-ma<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture and Animal Husbandary, Qinghai University, Xining 810016, China;  
2. Tianjun County Animal Husbandry and Veterinary Station of Qinghai, Tianjun 817200, China)

**Abstract:** The aim of the present study was to compare the stereology characteristics of mitochondria and electron dense-cored vesicles (EDCVs) of carotid body(CB) type I cells between yaks and Qaidam yellow cattle. In this study, the ultrastructures of CB in health adult yaks ( $n=5$ ) and Qaidam yellow cattle ( $n=5$ ) at altitude of 3 200 m were observed by electron transmission microscopy technique, and the volume density ( $V_V$ ), surface density ( $S_V$ ), numerical density on area ( $N_A$ ) and specific surface ( $\delta$ ) of mitochondria and EDCV of CB type I cells between yaks and Qaidam yellow cattle were compared by stereology. The results showed that the CB parenchyma cells were composed of type I cells with many mitochondria and EDCVs in the cytoplasm and type II cells in yaks and Qaidam yellow cattle, The  $V_V$  of mitochondria of CB type I cells in yaks were greater than that of in Qaidam yellow cattle ( $P > 0.05$ ), the  $S_V$ ,  $N_A$ ,  $\delta$  were less than that of in Qaidam yellow cattles, with no significant difference in  $S_V$  and  $\delta$  between yaks and Qaidam yellow cattle ( $P > 0.05$ ) and significant difference in  $N_A$  between 2 gropes ( $P < 0.05$ ); The  $V_V$  of EDCV of CB type I cells in yaks were less than that of in Qaidam yellow cattle ( $P > 0.05$ ), and

收稿日期: 2016-01-06

基金项目: 国家自然科学基金(31360590); 青海省科技应用基础项目(2014-ZJ-711); 青海省科技支撑项目(2012-N-537)

作者简介: 常 兰(1965-), 女, 青海互助人, 教授, 硕士, 硕士生导师, 主要从事高原动物低氧适应研究, E-mail: changlan0123@163.com

\* 通信作者: 张 寿, E-mail: qzhangshou@163.com

the  $S_V, N_A, \delta$  were slightly greater than that of in Qaidam yellow cattle ( $P > 0.05$ ), respectively. The results suggest that the structure characteristics may make the yak was more insensive to perceive hypoxia environment than the Qaidam yellow cattle.

**Key words:** mitochondria; electron dense-cored vesicle; carotid body; yak; Qaidam yellow cattle; stereology

颈动脉体(carotid body, CB)是主要的外周化学感受器,位于颈总动脉分叉处、血管壁外周的结缔组织中,其功能主要是感受动脉血氧分压( $\text{PaO}_2$ )、二氧化碳分压( $\text{PaCO}_2$ )和 pH 的变化,从而调节呼吸和循环反射。颈动脉体实质细胞包括两种特殊类型的细胞:I型细胞(或称主细胞、球细胞)和II型细胞(或称支持细胞、卫星细胞)。I型细胞细胞质中除线粒体、溶酶体、内质网等细胞器外还具有许多特有的电子致密核心囊泡(electron dense-cored vesicles, EDCV),已知这些囊泡内含儿茶酚胺、乙酰胆碱、脑啡肽、P 物质等多种神经化学物质。有关 CB 方面的研究主要集中在人<sup>[1]</sup>、大鼠<sup>[2]</sup>、小鼠<sup>[3,4]</sup>、兔<sup>[5]</sup>和绵羊<sup>[6]</sup>上,而对生活在青藏高原高寒低氧生态环境下牦牛和柴达木黄牛 CB 的比较研究未见有报道。为此,作者对生活在相同海拔(海拔 3 200 m)下的牦牛和柴达木黄牛的 CB 电镜结构进行了比较研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

选取生活在青海省海西州(海拔 3 200 m)成年健康牦牛和柴达木黄牛各 5 头,经颈动脉放血处死后立即取两侧颈动脉体,一侧颈动脉体取  $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$  大小组织投入冷 2.5%戊二醛固定液中用于透射电镜制样(另一侧颈动脉体置入 4%多聚甲醛磷酸缓冲液中固定 48 h,用于光镜制样)。

### 1.2 透射电镜制样

取 2.5%戊二醛固定液中的颈动脉体组织,  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  PB 漂洗后, 1%锇酸固定 2 h, 丙酮梯度脱水, 环氧树脂 618 包埋, 每头做 2 个包埋块, 超薄切片, 进行醋酸铀和枸橼酸铅双重染色, 用日本产 H-7650 型透射电镜在放大 3 000 倍、20 000 倍、30 000 倍和 50 000 倍下数码照相观察超微结构, 在放大 20 000 倍下每头牛颈动脉体组织拍摄 7~10 个视野, 每组 40 张数码照片用于体视学分析。

### 1.3 立体定量分析方法

参照 E. R. Weibel<sup>[7]</sup>和郑富盛<sup>[8]</sup>正方测试格点计数法, 绘制用于电镜照片的电子方格测量系统, 用

点计数法在电镜照片上计数落入参照系的测试点数( $P_r$ ), 参照系内待测结构(线粒体、电子致密核心囊泡)的数目( $N_x$ )、待测结构内的测试点数( $P_x$ )、待测结构的边界与测试线的交点数( $I_x$ ), 按立体学公式计算出待测结构的体密度(volume density,  $V_V$ ; 单位体积 I 型细胞质中线粒体、EDCV 的体积百分比)、面密度(surface density,  $S_V$ ; 单位体积 I 型细胞质中线粒体、EDCV 外膜的表面积)、面数密度(numerical density on area,  $N_A$ ; 单位面积中线粒体、EDCV 数目)、比表面(specific surface,  $\delta$ ; 线粒体、EDCV 表面积与其自身体积之比)各结构参数。

### 1.4 统计学处理

数据处理采用 SPSS 17.0 软件进行独立样本  $t$  检验和统计, 试验数据均为“平均值±标准差( $\bar{x} \pm s$ )”。

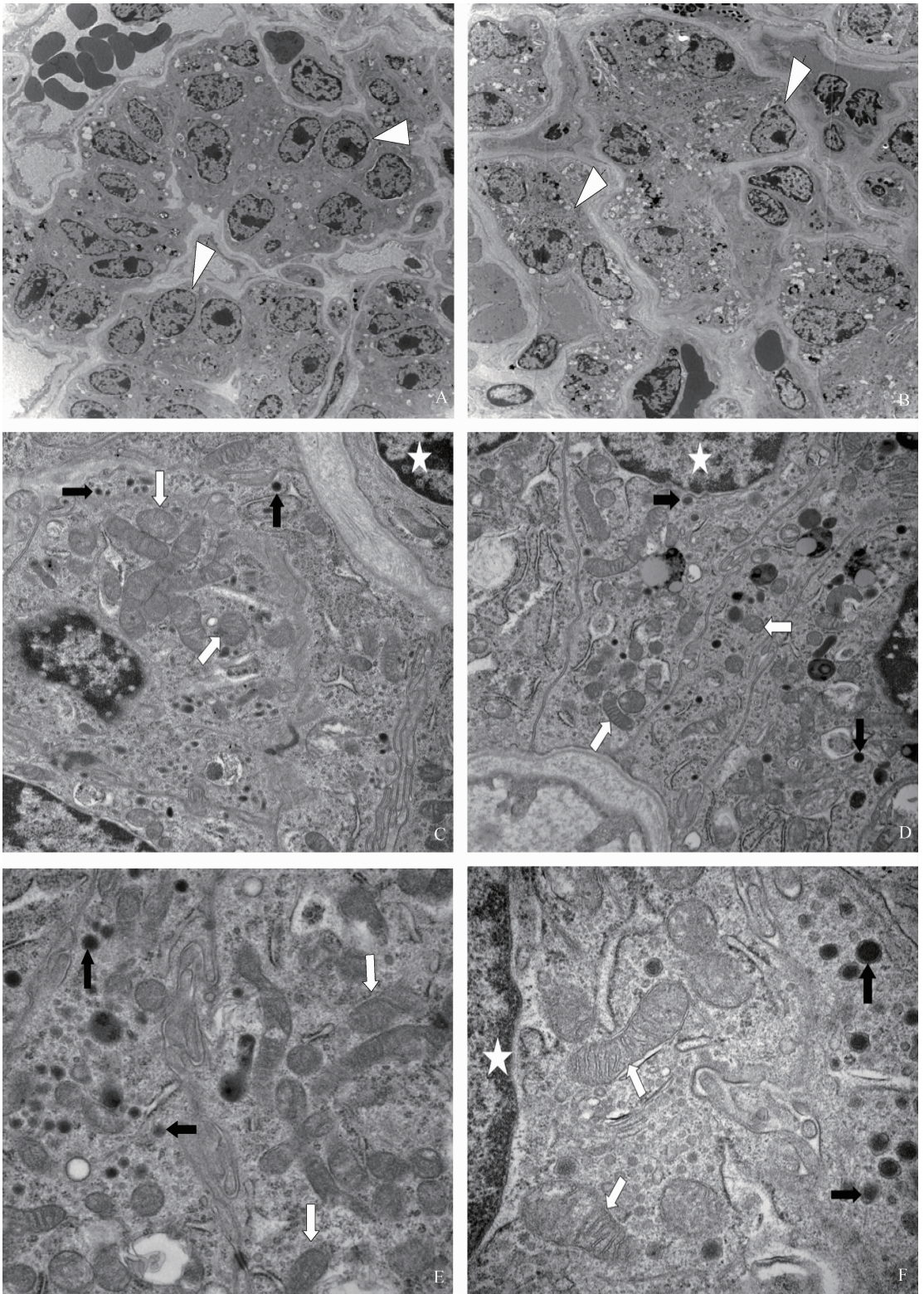
## 2 结果

### 2.1 牦牛和柴达木黄牛颈动脉体 I 型细胞线粒体和 EDCV 电镜观察

牦牛和柴达木黄牛的颈动脉体实质细胞主要由 I 型细胞和 II 型细胞组成。I 型细胞数量多, 较大, 呈圆形, 细胞核也呈圆形(图 1A、B), II 型细胞分布于 I 型细胞的周围, 细胞小而少, 胞体较扁, 细胞核呈三角形、卵圆形或梭形的, 并略向 I 型细胞弯曲。I 型细胞的细胞质中含有大量的线粒体和特征性的电子致密核心囊泡(图 1C、D)。颈动脉体 I 型细胞的线粒体形态有圆形、椭圆形、棒状等, 线粒体结构完整, 牦牛颈动脉体 I 型细胞中的线粒体数量比柴达木黄牛的相对少、体积相对大; EDCV 绝大部分呈圆形, 少数呈卵圆形或短棒状, 有深、浅两种致密颗粒, 大小不一。它们包含有一个中心致密的嗜银核, 呈圆形, 周围有电子密度低的空晕, 其周围有一层限界膜(图 1E、F), 牦牛颈动脉体 I 型细胞中 EDCV 数量比柴达木黄牛的相对多、体积相对小(图 1C、D)。

### 2.2 牦牛和柴达木黄牛颈动脉体 I 型细胞线粒体体视学参数比较

表 1 可知, 牦牛颈动脉体 I 型细胞线粒体的  $V_V$



A,C,E,F. 牦牛;B,D. 柴达木黄牛;A,B. 3 000×;C,D. 20 000×;E. 30 000×;F. 50 000×;△. I 型细胞;☆. I 型细胞核;⬆. 电子致密核心囊泡;⬇. 线粒体

A,C,E,F. Yak;B,D. Qaidam yellow cattle;A,B. 3 000×;C,D. 20 000×;E. 30 000×;F. 50 000×;△. Type I cell;☆. Nucleus of type I cell;⬆. EDCV;⬇. Mitochondria

图 1 牦牛和柴达木黄牛颈动脉体 I 型细胞线粒体和电子致密核心囊泡透射电镜图

Fig. 1 Type I cells mitochondria and EDCV in carotid body of yak and Qaidam yellow cattle



值大于柴达木黄牛,但差异不显著( $P>0.05$ ); $S_V$ 、 $N_A$ 、 $\delta$  值均小于柴达木黄牛,其中  $S_V$ 、 $\delta$  值在两组间

差异均不显著( $P>0.05$ ), $N_A$  在两组间差异显著( $P<0.05$ )。

表 1 牦牛和柴达木黄牛颈动脉体 I 型细胞线粒体参数的比较( $\bar{x} \pm s$ )

Table 1 Comparison of the parameters of type I cells mitochondria in carotid body of yak and Qaidam yellow cattle ( $\bar{x} \pm s$ )

组别 Group	体密度/% $V_V$	面密度/ $(\mu\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}^{-3})$ $S_V$	面数密度/ $\mu\text{m}^{-2}$ $N_A$	比表面/ $(\mu\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}^{-3})$ $\delta$
牦牛 Yak	5.98±2.68	1.33±0.46	2.16±0.73*	25.11±9.14
柴达木黄牛 Qaidam yellow cattle	5.62±3.75	1.59±0.41	2.69±0.55	29.16±10.12

同一列中,标有 \* 表示差异显著( $P<0.05$ ),下同

Values with \* mean significant difference ( $P<0.05$ ) in the same column, the same as below

### 2.3 牦牛和柴达木黄牛颈动脉体 I 型细胞 EDCV 体视学参数比较

由表 2 可以看出,牦牛颈动脉体 I 型细胞质内 EDCV 的  $V_V$  值小于柴达木黄牛( $P>0.05$ ); $S_V$ 、 $N_A$

和  $\delta$  值均略大于柴达木黄牛( $P>0.05$ ),表明牦牛颈动脉体中 I 型细胞质内 EDCV 的数量多于柴达木黄牛、体积小于柴达木黄牛,但差异均不明显( $P>0.05$ )。

表 2 牦牛和柴达木黄牛颈动脉体 I 型细胞内 EDCV 体视学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 Comparison of the parameters of type I cells EDCV in carotid body of yak and Qaidam yellow cattle ( $\bar{x} \pm s$ )

组别 Group	体密度/% $V_V$	面密度/ $(\mu\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}^{-3})$ $S_V$	面数密度/ $\mu\text{m}^{-2}$ $N_A$	比表面/ $(\mu\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}^{-3})$ $\delta$
牦牛 Yak	1.36±0.68	0.57±0.15	4.66±1.30	44.48±20.51
柴达木黄牛 Qaidam yellow cattle	1.44±0.18	0.50±0.11	3.58±1.23	41.01±12.10

## 3 讨论

### 3.1 牦牛和柴达木黄牛颈动脉体 I 型细胞线粒体的比较及其意义

颈动脉体是机体重要的外周化学感受器,能够瞬间感知体内  $\text{PaO}_2$  的变化,释放神经递质,产生神经冲动,通过颈动脉体窦神经传入至中枢神经系统,引起机体对低氧的应答<sup>[9]</sup>,同时在慢性低氧中能自发的适应和调节,包括形态方面的改变<sup>[10]</sup>。颈动脉体 I 型细胞被认为是氧感知细胞,但目前对于 CB 在慢性低氧中的调节机制并未得到系统性的阐明。“线粒体假说”认为氧分压的直接感受器是 I 型细胞中线粒体呼吸链末期的细胞色素氧化酶,线粒体通过氧化磷酸化的呼吸作用,介导颈动脉体对低氧分压的反应<sup>[11]</sup>;而“能量代谢假说”认为颈动脉体 I 型细胞通过线粒体能量代谢的变化感受氧,低氧抑制线粒体电子传递,导致细胞质 Mg-ATP 下降,使细胞膜氧敏感 TASK 样钾离子通道抑制<sup>[12-13]</sup>;另一种能量代谢假说“AMP 酶假说”提出腺苷酸活化蛋白

激酶(AMP-activated protein kinase, AMPK) 调节不同的钾离子通道(包括 TASK 通道),AMPK 是细胞内能量感受器,缺氧导致细胞内 ATP 不足时,AMP/ATP 值增高,AMP 激活位于细胞膜上的 AMPK,进而抑制细胞膜钾离子通道,引起细胞去极化和钙离子内流以及窦神经的兴奋<sup>[14]</sup>。

大鼠在出生前后慢性富氧引起 CB 永久性的萎缩和细胞功能的改变<sup>[15]</sup>,而慢性低氧可严重损害出生后 CB 细胞水平的氧敏感性。生活在海拔 3 300 m 的喜马拉雅旱獭和高原鼠兔颈动脉体线粒体未见有缺氧损害<sup>[16]</sup>。高原人颈动脉体与平原人相比,部分线粒体增大、线粒体嵴并不减少<sup>[17]</sup>。本试验结果表明牦牛和柴达木黄牛颈动脉体 I 型细胞含有大量线粒体,结构完整,这与高原世居动物——喜马拉雅旱獭和高原鼠兔<sup>[16]</sup>、高原人<sup>[17]</sup>的研究结果基本一致。本研究发现牦牛 CB 的 I 型细胞线粒体比生活在同一海拔的柴达木黄牛数量明显少,有文献报道在光镜水平暗细胞显著增加反映 CB 对低氧反应表现为较高的功能活动<sup>[18]</sup>,作者先前的研究也发现生

活在同一海拔的牦牛 CB 暗细胞与柴达木黄牛的数量差异不显著(另文发表)。分析其原因这可能与牦牛和柴达木黄牛的适宜的生活环境有关,根据牦牛的生活习性,海拔 3 000~5 000 m 是它的最为适宜范围,而本试验海拔为 3 200 m,此海拔高度对牦牛而言是处于相对较低范围,氧的供给相对充足,因而牦牛 CB 处在相对较低的功能状态,这就表现为与氧感受、调节有关的 I 型细胞线粒体数量明显少;而对于适宜当地气候条件的地方培育品种——柴达木黄牛而言,适宜生活海拔在 2 800~3 200 m,试验海拔 3 200 m 是相对较高的海拔范围,使它处于低氧刺激高度,CB 相对处在较高的功能状态,表现出 I 型细胞线粒体数量显著多于牦牛的现象。另外,牦牛和柴达木黄牛 I 型细胞线粒体数量的差别是否与低氧通气反应钝化有关将有待于进一步研究。

### 3.2 牦牛和柴达木黄牛颈动脉体 I 型细胞 EDCV 的比较及其意义

颈动脉体 I 型细胞为神经分泌细胞,其细胞质内电子致密核心囊泡是具有调节心血管及呼吸功能的神经分泌颗粒,嗜银核是生物胺(如儿茶酚胺类的去甲肾上腺素、肾上腺素、多巴胺、多巴、5-羟色胺等)的主要分泌源。E. M. Abdel-Magied 等<sup>[19]</sup>对山羊的超微结构观察发现,山羊 CB 的 I 型细胞中含有数量、大小不一的 EDCV;陈钦铭等<sup>[16]</sup>对喜马拉雅旱獭与高原鼠兔的颈动脉体超微结构进行观察,发现旱獭颈动脉体 I 型细胞中的 EDCV 呈多形性,细胞核较不规则,多呈分叶状,而高原鼠兔则多为圆形,细胞核比较规则,多呈球形。本研究结果显示牦牛和柴达木黄牛颈动脉体 I 型细胞质内 EDCV 绝大部分呈圆形,少数呈卵圆形或短棒状,数量大小不一,每个 EDCV 具有一个中心致密的嗜银核。这一结果与高原鼠兔<sup>[16]</sup>和山羊<sup>[19]</sup>上的报道相似。本研究还发现牦牛和柴达木黄牛 EDCV 均有深、浅两种,这是否与内含的神经活性物质不同有关,有待进一步研究。

当血液中氧分压降低时可以引起颈动脉体球细胞去极化及神经递质的释放<sup>[20]</sup>,通过颈动脉体窦神经传入至呼吸中枢,引起呼吸加深加快。高原成人颈动脉体内 EDCV 的体密度和面数密度明显多于平原组<sup>[21]</sup>。本研究中牦牛 CB 的 I 型细胞 EDCV 虽然比生活在同一海拔的柴达木黄牛小而多,但差异不明显。这可能也与前述的牦牛和柴达木黄牛生存的适宜海拔高度有关。在海拔 3 200 m 时,牦牛

呼吸相对平缓,导致颈动脉体 I 型细胞中神经活性物质的合成缓慢、分泌、释放减少,CB 处在相对较低的功能状态,EDCV 也表现为相对小而多;对于柴达木黄牛而言在海拔 3 200 m 时,机体处于相对低氧状态,呼吸功能相对增强,持续低氧的刺激下使颈动脉体 I 型细胞中神经活性物质的合成增强,同时其分泌、释放也加快,CB 处在相对较高的功能状态,EDCV 也表现为较大而少。

### 参考文献(References):

- [1] 卜凤珍,屠道同,程仲谋,等.高原成人颈动脉体的光镜观察和体视学研究[J].中国病理生理杂志,1999,15(3):278-280.  
BU F Z, TU D T, CHENG Z M, et al. Light microscopic observation and stereologic study of carotid bodies at high altitude[J]. *Chinese Journal of Pathophysiology*, 1999, 15(3):278-280. (in Chinese)
- [2] KANG D W, WANG J J, HOGAN J O, et al. Increase in cytosolic  $Ca^{2+}$  produced by hypoxia and other depolarizing stimuli activates a non-selective cation channel in chemoreceptor cells of rat carotid body[J]. *J Physiol*, 2014, 592(9):1975-1992.
- [3] SHIRAHATA M, KOSTUK E W, PICHARD L E. Carotid chemoreceptor development in mice[J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2013, 185(1):20-29.
- [4] BALBIR A, LEE H, OKUMURA M, et al. A search for genes that may confer divergent morphology and function in the carotid body between two strains of mice[J]. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*, 2007, 292(3):L704-L715.
- [5] DING Y F, LI Y L, SCHULTZ H D. Role of blood flow in carotid body chemoreflex function in heart failure[J]. *J Physiol*, 2011, 589(Pt 1):245-258.
- [6] NAJAFI G, SOLTANALINEJAD F, HASANZADEH H. A preliminary anatomical study on carotid body of Makouei sheep[J]. *Vet Res Forum*, 2013, 4(2):129-131.
- [7] WEIBEL E R. Stereological principles for morphometry in electron microscopic cytology[J]. *Int Rev Cytol*, 1969, 26:235-302.
- [8] 郑富盛.细胞形态立体计量学[M].北京:北京医科大学中国协和医科大学联合出版社,1990:19-86.  
ZHENG F S. Solid metrology of cell morphous[M]. Beijing: Beijing Medical University, Peking Union Medical College United Publishing House, 1990:19-86. (in Chinese)

- [9] WEIR K E, LÓPEZ-BARNEP J, BUCKLER K J, et al. Acute oxygen-sensing mechanisms[J]. *N Engl J Med*, 2005, 353(19):2042-2055.
- [10] PARDAL R, ORTEGA-SÁENZ P, DURÁN R, et al. Glia-like setm cells sustain physiologic neurogenesis in the adult mammalian carotid body[J]. *Cell*, 2007, 131(2):364-377.
- [11] WILSON D F, MOKASHI A, CHUGH D, et al. The primary oxygen sensor of the cat carotid body is cytochrome a3 of the mitochondrial respiratory chain [J]. *FEBS Lett*, 1994, 351(3):370-374.
- [12] BUCKLER K J, TURNER P J. Oxygen sensitivity of mitochondrial function in rat arterial chemoreceptor cells[J]. *J Physiol*, 2013, 591(14):3549-3563.
- [13] VARAS R, WYATT C N, BUCKLER K J. Modulation of TASK-like background potassium channels in rat arterial chemoreceptor cells by intracellular ATP and other nucleotides[J]. *J Physiol*, 2007, 583 (Pt 2):521-536.
- [14] HARDIE D G. AMP-activated protein kinase: an energy sensor that regulates all aspects of cell function [J]. *Genes Dev*, 2011, 25(18):1895-1908.
- [15] PRIETO-LLORET J, RAMIREZ M, OLEA E, et al. Hypoxic pulmonary vasoconstriction, carotid body function and erythropoietin production in adult rats perinatally exposed to hyperoxia[J]. *J Physiol*, 2015, 593(11):2459-2477.
- [16] 陈钦铭, 叶于聪, 温佳林. 高原低氧对喜马拉雅旱獭、高原鼠兔、缺氧敏感大鼠颈动脉体超微结构的影响 [J]. *兽类学报*, 1989, 9(3):221-225.
- CHEN Q M, YE Y C, WEN J L. Effect of altitude hypoxia on carotid body ultrastructure in *Marmota himalayana*, *Ochotona curzoniae* and Hilltop Sprague Dawley rat [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 1989, 9 (3):221-225. (in Chinese)
- [17] 屠道同, 卜凤珍, 程仲谋. 高原人的颈动脉体形态学研究 [J]. *高原医学杂志*, 1992, 2(2):20-23.
- TU D T, BU F Z, CHENG Z M. A morphologic study on human carotid bodies at high altitue [J]. *Journal of High Altitude Medicine*, 1992, 2(2):20-23. (in Chinese)
- [18] VINHAES E N, DOLHNIKOFF M, SALDIVA P H. Morphological changes of carotid bodies in acute respiratory distress syndrome: a morphometric study in humans [J]. *Braz J Med Biol Res*, 2002, 35 (10):1119-1125.
- [19] ABDEL-MAGIED E M, TAHA A A. Ultrastructure of the carotid body of the goat [J]. *Anat Histol Embryol*, 1995, 24(3):159-164.
- [20] PRABHAKAR N R. Oxygen sensing by the carotid body chemoreceptors [J]. *J Appl Physiol*, 2000, 88 (6):2287-2295.
- [21] 卜凤珍. 高原成人颈动脉体内电子致密核心囊泡的体视学研究 [J]. *中国病理生理杂志*, 1999, 15(4):379-380.
- BU F Z. Stereologic study on electron dense-cord vesicles in carotid bodies in adults on altitudes [J]. *Chinese Journal of Pathophysiology*, 1999, 15(4):379-380. (in Chinese)

(编辑 白永平)