

中华鲟心脏的超声成像研究

邱实^{1,2}, 危起伟^{1,2,3}, 陈细华^{2,3}, 张艳珍^{1,2}, 杨璐^{1,2}

(1. 华中农业大学 水产学院, 湖北 武汉 430070; 2. 农业部淡水生物多样性保护与利用重点开放实验室, 中国水产科学研究院 长江水产研究所, 湖北 荆州 434000; 3. 中国水产科学研究院 淡水渔业研究中心, 江苏 无锡, 214081)

摘要: 采用Weld-2018便携式B超机(CI-9/60R凸阵探头)测量正常中华鲟(*Acipenser sinensis*)的鳃动频率和心动频率以及心脏大小,以查明中华鲟心脏变化特点,为超声成像技术进行中华鲟心脏疾病诊断奠定基础。实验鱼为人工养殖的年龄为0.5龄、1~5龄、7龄、9龄、11龄的中华鲟和野生成熟的中华鲟,结果表明,中华鲟心脏的周长和鱼体体长呈显著正相关($P<0.01$),横切周长(y)和体长(x)的关系为 $y=1.689x+10.118$ ($R^2=0.825$, $n=42$)。不同年龄中华鲟的鳃动频率随年龄的增长而下降,1龄为 (104.6 ± 8.9) 次/min ($n=5$),野生亲鱼的为 (50.5 ± 3.6) 次/min ($n=8$)。鳃动频率(y)和体长(x)成负线性关系 $y=-0.5078x+130.59$ ($R^2=0.816$, $n=35$, $P<0.01$)。温度对中华鲟的影响随着温度的升高,鳃动频率和心率上升。13℃下1龄中华鲟的鳃动频率为 (74.5 ± 6.2) 次/min ($n=5$),心率为 (26.9 ± 3.2) 次/min ($n=5$); 28℃的鳃动频率为 (106.1 ± 6.4) 次/min ($n=5$),心率为 (43.4 ± 8.44) 次/min ($n=5$)。结论认为,中华鲟发育到一定年龄鳃动和心动频率趋于稳定。[中国水产科学, 2009, 16(4): 605-611]

关键词: 中华鲟; 超声波; 呼吸频率; 心脏; 水温

中图分类号: Q955; S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2009)04-0605-07

心脏结构及功能随年龄变化的趋势,对临床上判断患者心脏结构与功能是否异常非常重要^[1]。超声图像的纹理能反映组织和器官的结构并可据此做出疾病诊断,因此超声检查因其无创伤性、使用方便等优点长期以来在人类疾病的影像诊断中占有重要地位。超声诊断始于1949年,首先由奥地利Dussik^[2]应用A型超声获得回声,1954年瑞典Edler与Hertz^[2]应用M型超声显示运动的心壁称为超声心动图。20世纪50年代已研究、使用超声使器官构成超声层面图像,70年代初又发展了实时超声技术,可用来观察心脏及胎儿活动^[2]。超声诊断可获得器官的任意断面图像,还可观察运动器官的活动情况,成像快,诊断及时,对机体没有伤害,属于非损伤性检查,在临床上应用已普及,是医学影像学中的重要组成部分。

应用超声成像技术通过对胎儿的胎外结构和胎内结构的变化观察判断胚胎发育变化,在猪、狗、牛、马、兔等动物均有报道^[3]。关于鱼类的超声检查,多数见于性腺发育的鉴别方面^[4],应用于心脏方面的报道仅有大西洋鲑^[5],而对鲟鱼尚未见报道。

本研究选择国家一级重点保护动物中华鲟(*Acipenser sinensis*)为研究对象。利用B超的无损伤特点对不同年龄中华鲟心脏做基本的生物学测量,旨在为确定中华鲟心脏结构正常值以及心功能指标正常范围奠定基础,并为大型鱼类心脏的疾病诊断提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

实验鱼来源于长江水产研究所荆州太湖中华鲟

收稿日期: 2009-02-05; 修订日期: 2009-04-01.

基金项目: 国家社会公益研究专项(2004DIB3J099); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目.

作者简介: 邱实(1983-),女,硕士研究生,专业方向为鱼类生理和生物医学. E-mail: fcz_1015@163.com

通讯作者: 危起伟,研究员,博士生导师. E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

驯养繁殖基地和三峡网箱基地的中华鲟,年龄为0.5龄、1~5龄、7龄、9龄、11龄,以及2008年在宜昌葛洲

坝下游江段捕获的野生成熟亲鱼(表1)。实验动物均获得国家有关驯养或捕捞批准。

表1 实验中华鲟样本生物学指标
Tab. 1 Biological indicators of Chinese sturgeon samples

年龄/a Years of age	<i>n</i>	全长/cm Total length	体长/cm Body length	体质量/kg Body weight
0.5	7	50.0±4.3	39.3±3.5	0.4±0.1
1	5	75.1±2.7	61.8±1.5	2.1±0.3
2	5	114.6±13.6	93.2±11.3	13.4±2.8
3	5	117.2±13.7	95.8±9.0	14.5±3.1
4	5	132.2±12.5	107.8±10.9	19.3±2.0
5	5	138.6±10.4	113.2±5.6	19.9±2.6
7	5	174.6±8.6	145.8±7.4	37.0±2.5
9	5	185.4±7.0	153.2±8.8	41.4±7.1
11	5	201.2±14.8	173.2±15.6	49.7±7.1
野生 Wild	8	301.8±37.6	257.9±29.0	176.2±48.6

1.2 方法

1.2.1 仪器 深圳威尔德公司生产的便携式B超机Weld-2018。保持仪器的亮度、对比度不变,探头选择C1-9/60R凸阵探头,频率为3.5 Mhz,深度选择为15~24 cm。

1.2.2 实验鱼饲养环境 水温恒定的直径3 m、深0.8 m的室内水泥池以及三峡网箱内,网箱规格为长4~6 m,宽3~5 m,深2.5~3.0 m。实验水温为21℃。

1.2.3 操作方法 将担架放入水中并在合适的位置布置好,将鱼引导挪入担架中,腹面朝上,控制好担架的宽度,需1名操作人员稳定住鱼体。待鱼安静不挣扎、鳃动频率、口动频率和心率没有明显变化,5~10 min后开始测量。探头紧贴皮肤在鱼的肩带两锁骨之间的围心腔做心率和心脏大小的测量,探头悬于口上和腮上做鳃动和口动频率的测量。鱼体和探头都位于水下。

温度影响的测量:加冰和热水调节水温,设置13℃、16℃、19℃、22℃、25℃、28℃ 6个温度梯度。之后将1年龄的中华鲟幼鱼放入90 L的水族箱内,箱内装入约40 L水,鱼腹朝上,需用人托住鱼体,待鱼安静不挣扎、鳃动频率没有明显变化,以使应激影响降到最小。

心脏结构:在心脏扩张的时候,保存多张图片,用自由臂测量法测量心脏横切和纵切图的周长和面积(图1)。每条鱼测量3次,取平均值。

鳃动频率、口动频率和心率的测量:切换B/M型测量。测量3个心动周期波峰之间的距离。均测量3次,取平均值(图2)。

1.3 数据统计

用SPSS13.0统计软件和Excel对测定结果进行分析,结果用平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示。

2 结果与分析

2.1 中华鲟心脏结构的测量

通过二维心动图检测不同年龄中华鲟的心脏横切和纵切周长和面积(图1),结果如表2所示。鱼体越大,心脏越大,体长(x)和心脏横切周长(y)成线性关系 $y=1.689x+10.118$ ($R^2=0.825$, $n=42$), $F=188.329$, $P<0.01$,相关性是显著的。与横切面积(y)的关系为 $y=24.719x-859.86$ ($R^2=0.774$, $n=42$), $F=136.947$, $P<0.01$,相关性显著。体长(x)与纵切周长(y)的关系为 $y=1.8026x+18.968$ ($R^2=0.9047$, $n=42$), $F=379.945$, $P<0.01$,相关性显著。体长(x)与纵切面积(y)的关系为 $y=24.654x-783.87$ ($R^2=0.8631$, $n=42$), $F=256.096$,

$P<0.01$,相关性显著。体质量(x)与横切周长(y)的关系为 $y=4.336\ 4x+99.669$ ($R^2=0.756\ 3$, $n=42$), $P<0.01$,相关性显著。体质量(x)与横切面积(y)的关系为 $y=67.313\ x+382.95$ ($R^2=0.798\ 2$, $n=42$), $P<0.01$,相关性显著。体质量(x)与纵切周长(y)的关系

为 $y=4.558\ 3x+115.78$ ($R^2=0.804\ 7$, $n=42$), $P<0.01$,相关性显著。体质量(x)与纵切面积(y)的关系为 $y=64.887\ x+495.32$ ($R^2=0.831\ 5$, $n=42$), $P<0.01$,相关性显著。

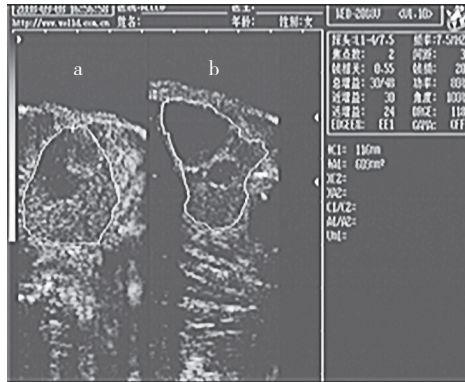


图1 中华鲟心脏横切与纵切图

a: 心脏横切图 b: 心脏纵切图

Fig. 1 Longitudinal and cross-section images of heart of Chinese sturgeon

a: Longitudinal-section images of heart b: Cross-section images of heart

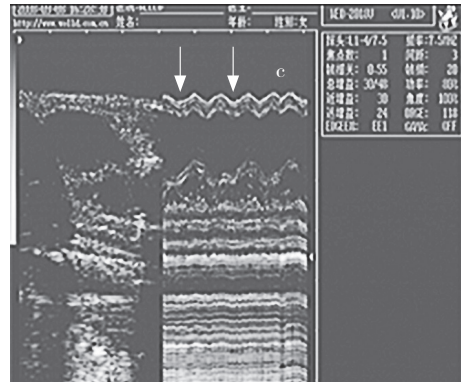


图2 中华鲟心脏心率的测量图

c: 两个箭头之间的距离为一次频率的测量

Fig. 2 Measurements of heart rate of Chinese sturgeon

c: Distance between two arrows means one time measurement of the frequency

表2 不同年龄中华鲟心脏的测量结果

Tab. 2 Measurement results of Chinese sturgeon heart at different ages

$\bar{x} \pm SD$

年龄/a Years of age	n	横切周长/cm Cross-section circumference	横切面积/cm ² Cross-section area	纵切周长/cm Longitudinal-section circumference	纵切面积/cm ² Longitudinal-section area
0.5	7	62.3±9.3	178.9±71.6	74.9±12.0	191.4±44.1
1	5	111.8±9.3	529.5±129.9	128.3±12.8	660.3±159.1
2	5	168.3±28.6	1374.9±445.5	189.7±12.9	1355.3±179.9
3	5	197.1±26.0	1757.3±471.3	199.8±11.4	1535.3±282.4
4	5	197.5±26.3	1585.8±451.2	233.7±22.9	2112.9±252.7
5	5	201.5±39.3	1682.9±433.6	240.8±18.1	2084.3±242.7
7	5	251.5±39.6	2723.6±767.7	257.1±30.5	2323.9±511.8
9	5	264.8±23.6	3215.7±859.5	293.7±9.1	3434.7±343.5

2.2 中华鲟鳃动频率、口动频率和心率的比较

用SPSS13.0对所测样本的鳃动和口动频率进行t检验($n=35$), $t=-0.127$, $P>0.05$,鳃动频率和口动频率之间无显著性差异。鳃动频率(x)和心动频率(y)的差异明显,且呈线性关系 $y=0.400\ 9x+0.588\ 9$ ($R^2=0.589$, $n=43$), $F=58.744$, $P<0.01$,相关性显著。

2.3 不同年龄中华鲟鳃动频率和心率的比较

1~11年龄同水温(21℃)中华鲟鳃动频率和心率测量结果见图3。1年龄中华鲟的鳃动频率为(104.6±8.9)次/min、心率为(52.2±3.3)次/min($n=5$);2龄的鳃动频率为(82.8±4.4)次/min、心率为(31.7±2.7)次/min($n=5$);3龄的鳃动频率为(75.1±7.4)次/min、

心率为 (42.0 ± 3.1) 次/min($n=5$);4年龄的鳃动频率为 (76.1 ± 7.4) 次/min,心率为 (34.0 ± 3.9) 次/min($n=5$);5年龄的鳃动频率为 74.3 ± 5.6 次/min、心率为 (26.4 ± 4.1) 次/min($n=5$);7龄的鳃动频率为 (58.7 ± 4.3) 次/min、心率为 (32.0 ± 4.1) 次/min($n=5$);9年龄的鳃动频率为 (51.0 ± 5.5) 次/min、心率为 (29.8 ± 1.8) 次/min

($n=5$);野生中华鲟的鳃动频率为 (50.5 ± 3.6) 次/min、心率为 (22.3 ± 2.6) 次/min($n=8$)。在同温度下,鳃动频率和心率随年龄的增长而下降;鳃动频率(y)和体长(x)成线性关系, $y = -0.5078x + 130.59$ ($R^2 = 0.8161$, $n=35$), $F=146.4$, $P<0.01$,相关性显著。

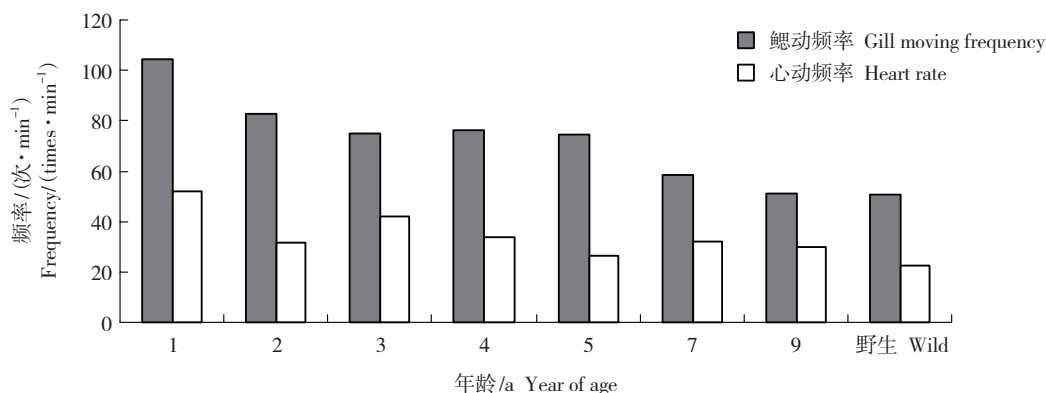


图3 不同年龄中华鲟鳃动频率和心率的变化(21 °C)

Fig. 3 Gills moving frequency and heart rate changes of Chinese sturgeon at different ages (21 °C)

2.4 不同温度中华鲟心率的比较

对6个温度梯度的1龄中华鲟的鳃动频率和心率进行测量,结果如图4所示,13 °C下1龄中华鲟的鳃动频率为 (74.5 ± 6.2) 次/min、心率为 (26.9 ± 3.2) 次/min;16 °C的鳃动频率为 (86.7 ± 4.9) 次/min、心率为 (30.3 ± 4.8) 次/min;19 °C的鳃动频率为 (95.1 ± 3.4) 次/min、心率 (37.3 ± 4.6) 次/min;22 °C的鳃动频率为 (98.8 ± 1.9) 次/min、心率为 (41.3 ± 8.2) 次/min;25 °C的鳃动频率为 (102.6 ± 10.6) 次/min、心率 (39.1 ± 8.4) 次/min;28 °C的鳃动频率为 (106.1 ± 6.4) 次/min、心率 (43.4 ± 8.44) 次/min,鳃动频率随外界温度的增加而增加。鳃动频率(y)随温度变化成线性回归 $y = 5.9721x + 72.918$ ($R^2 = 0.9271$, $n=5$), $P<0.01$),相关性明显。心率(y)变化随温度的增加呈线性增加 $y = 3.2248x + 25.08$ ($R^2 = 0.874$, $n=5$, $P<0.01$),相关性明显。

用SPSS13.0对6个温度的鳃动频率进行单因素方差分析, $F=17.777$, $P<0.05$,6个温度下的鳃动频率

之间有显著的差异。 $F=4.719$, $P<0.05$,6个温度下的心率之间有显著性差异。

3 讨论

3.1 鱼类心脏的结构功能

鲟鱼的心脏最先发育在神经胚晚期^[6]。中华鲟心脏位于肩带两锁骨之间的围心腔,略呈三棱锥型,由前至后可分为4部分,即腹面的动脉圆锥和心室,背侧的心耳和静脉窦^[7]。动脉圆锥靠前端内壁上有3~4个半月瓣,心室呈三棱柱状,是心脏中体积最大的,壁厚;心耳外壁光滑,在心室背侧,呈三角锥状,比心室略小,心耳和心室之间有一耳室孔,孔的边缘有耳室瓣,膜质部分的游离边缘朝向心室,心脏跳动的时候使瓣膜开闭,超声成像技术就是靠耳室膜的开闭测量心脏的心率。本实验利用B超观测到心室和心耳的运动方式,心耳先动,把血挤压到心室,心室随之而动,这是超声成像技术中最容易观测到的,但同时,心脏的收缩也给心脏横切和纵切面积的测量带来误差。Ronald等^[5]用超声成像技术检查了大西

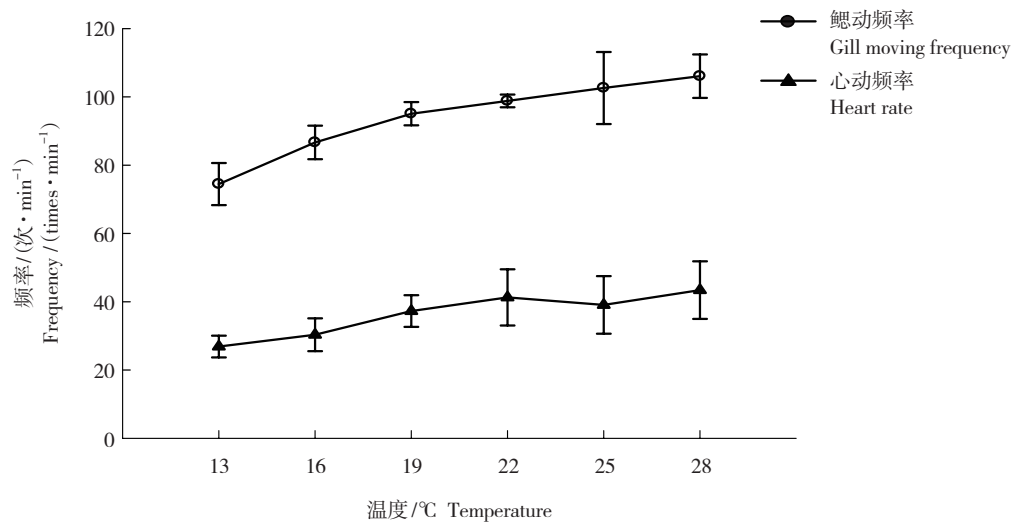


图4 不同温度下1龄中华鲟鳃动频率和心动频率变化图($n=5$)

Fig. 4 Variation of one year-old Chinese sturgeon gills moving frequency and heart rate at different temperatures ($n=5$)

洋鲑的心脏,通过测量横截面的心室和心耳来比较大小,实现鱼类心脏疾病的诊断。所以通过测量心室和心耳的大小,尤其对于大鱼,是有可能通过B超检测到并应用到生产中的。

3.2 鱼类呼吸和心动的关系

中华鲟的口动频率和鳃动频率没有显著性差异,而鳃动频率和心动频率有显著性差异,它们之间的关系有待进一步研究。关于心脏的调节机制,McKenzie等^[8]对牙鱼(*Hoplerythrinus unitaeniatus*)这种双呼吸模式的硬骨鱼的心率和空气呼吸的调节机制进行了研究,发现牙鱼每次空气呼吸之前简短的心动过缓,接着是短暂性心动过速,但是空气呼吸机制并没有得到解释。Sureau等^[9]用超声波遥测技术发现在2种不同的鱼中,鳎的心率可以作为计算代谢率的比较稳定的评价手段,但在鲈中则不能作为评估手段。Thorarensen等^[10]提出了心率作为预测代谢率手段的局限性。本实验的研究结果也显示,心率和鳃动频率并没有明显的线性关系,心率不能作为中华鲟的代谢率的测量手段。

3.3 不同因素对鳃动频率和心率的影响

本实验通过超声波检测不同年龄不同体长中华鲟心率,发现年龄越大,心率越低(图3),实验中的水温环境是一致的,都在21℃,野生亲鱼的个体差异不

明显,心率是最低的,1龄鱼最高。但是2龄鱼心率比3龄的低,可能跟这个年龄的体长和3龄没有显著差异有关,也可能跟鱼的健康程度有关。9龄鱼和野生鱼的鳃动频率差异不明显,推断鱼发育到一定年龄鳃动和心动趋于稳定。Barrionuevo等^[11]对斑马鱼早期发育中心率的研究中,发现心率在出苗高峰时达到125次/min;10~30 d时达到175次/min;100 d的时降到130次/min。中华鲟早期发育的时候,心率是否有变化,还有待进一步研究。

外界因素也影响呼吸频率和心率的大小,本实验的温度研究结果表明,在不同温度下,温度越高,心率越快。可能跟外界温度越高,血流加速,从而改变心率有关。在25℃时测量的心动频率比22℃的低,原因可能跟测量时水温不稳定有关。Donstevens等^[12]对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)游泳和静止时血压、呼吸频率和心率的变化做了研究,发现游泳时候,心率增加,静止时减少。测量方式也对心率的测量有影响,Altamiras等^[13]研究了虹鳟因在静止和游泳时的心率和换气频率的不同,制作了一组6个覆盖有琼脂凝胶的氯化银的电极装置,通过测量,发现此方式可以减少鱼的应激性,测量值相对准确,但并不能应用所有鱼类。氧气是影响心率最大的因素,Agisola等^[14]研究表明,氧气的缺乏抑制心脏的收缩。McKenzie等^[15]

发现缺氧状态,心率下降,跟鱼类的迷走神经有关。野生和养殖的鱼类心率也有不同,Jörgen等^[16]对野生和养殖的大西洋鲑的心率做比较,研究表明野生2龄大西洋鲑鱼比养殖的心率低。

本实验的不足之处在于取材的饲养环境和实验操作情况对鱼的应激会对结果有一定影响,因此如何降低应激性的影响有待进一步改进。

致谢:本实验过程中得益于李罗新、刘志刚、杜浩等老师和太湖养殖基地、网箱基地员工的帮助,在此一并感谢。

参考文献:

- [1] 刘延玲,李靖,王剑鹏,等.超声心动图评价正常心脏结构与功能[J].中华超声影像学杂志,2006,15(1): 13-16.
- [2] 钱蕴秋.超声诊断学:第1版[M].西安:第四军医大学出版社,2002: 1-2.
- [3] 农华杰.应用B超监测雷琼黄牛卵泡发育的动态变化的研究[D].南宁:广西大学,2007: 5-6.
- [4] Martin Robichaud D J, Rommens M. Assessment of sex and evaluation of ovarian maturation of fish using ultrasonography [J]. Aquacult Res, 2001,32: 13-120.
- [5] Ronald D Sande, Trygve T Poppe. Diagnostic ultrasound examination and echocardiography in atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Vet Radiol Ultrasound, 1995,36: 551-558.
- [6] Icardo J M, Alejandro Guerrero, Ana C Duran, et al. The development of the sturgeon heart [J]. Anat Embryol, 2004,208: 439-449.
- [7] 四川省长江水产资源调查组.长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究[M].成都:四川科学技术出版社,1988: 43-44.
- [8] Mckenzie D, Taylor E, Wang T, et al. Does autonomic regulation of heart rate optimise oxygen uptake in teleost fishes [C]. Comp Biochem Physiol, 2008, A 150: S115-S123.
- [9] Sureau D, Lagarde J P. Coupling of heart rate and locomotor activity in sole, *Solea solea* (L.), and bass, *Dicentrarchus labrax*, in their natural environment by using ultrasonic telemetry [J]. J Fish Biol, 1991,38: 399-405.
- [10] Thorarensen H, Gallagher P E, Farrell A P, et al. The limitations of heart rate as a predictor of metabolic rate in fish [J]. J Fish Biol, 1996, 49: 226-236.
- [11] Barrionuevo W R, Burggren W W. O₂ consumption and heart rate in developing zebrafish (*Danio rerio*): influence of temperature and ambient O₂ [J]. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 1999,276: R505-R513.
- [12] Donstevens E, Randall D J. Changes in blood pressure, heart rate and breathing rate during moderate swimming activity in rainbow trout [J]. J Exp Biol, 1967,46: 307-315.
- [13] Altimiras J, Larsen E. Non-invasive recording of heart rate and ventilation rate in rainbow trout during rest and swimming [J]. J Fish Biol, 2000 (57): 197-209.
- [14] Agnisola C. Cardiovascular responses to hypoxia in the Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*) [J]. J Appl Ichthyol, 2007,15 (4-5): 67-72.
- [15] Mckenzie D J, Campbel H A, Taylor E W, et al. The autonomic control and functional significance of the changes in heart rate associated with air breathing in the jeju (*Hoplerythrinus unitaeniatus*) [J]. J Exp Biol, 2007 (210),4 224-4 232.
- [16] Jörgen I J, Johan H, Ian A F. Behavioural and heart rate responses to predation risk in wild and domesticated Atlantic salmon [J]. Can J Fish Aquat Sci, 2001,58 (4): 788-794.

Ultrasonography of heart of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*)

QIU Shi^{1,2}, WEI Qi-wei^{1,2,3}, CHEN Xi-hua^{2,3}, ZHAN Yan-zhen^{1,2}, YANG Lu^{1,2}

(1.College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2.Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation and Utilization, Ministry of Agriculture of China; Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China; 3. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: We measured respiratory frequency, heart rate and heart size of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) by Ultrasonography (Weld-2018 with a 3.5 Mhz array probe). The Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) is one of the largest anadromous fish that involve riverine spawning migration. It is a first class protected animal in China. The tested fish were cultured individuals at ages of 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9 and 11 year(s) and wild bloodfish (≥ 15) respectively. Results show that it was a positive linear relationship ($P < 0.01$) between body length (x) and the cross-section circumference (y), $y = 1.689x + 10.118$ ($R^2 = 0.825$, $n = 42$). Gills moving frequency rate and heart rate had a negative linear relationship with age. One year-old sturgeon had the highest gills moving frequency at (104.6 ± 8.9) times/min, While the matured wild bloodfish had the lowest gills moving frequency at (50.5 ± 3.6) times / min ($n = 8$). It was a negative linear relationship ($P < 0.01$) between body length (x) and gills moving frequency (y) with $y = -0.5078x + 130.59$ ($R^2 = 0.8161$, $n = 35$). Gills moving frequency and heart rate had a positive linear relationship with water temperature. At water temperature 13°C , gills moving frequency was (74.5 ± 6.2) times/min ($n = 5$), heart rate was (26.9 ± 3.2) times/min ($n = 5$); at water temperature 28°C , gills moving frequency was (106.1 ± 6.4) times/min ($n = 5$), heart rate was (43.4 ± 8.44) times/min ($n = 5$). Results show that gills moving and heart rate of Chinese sturgeon was stable with developing to a certain age. [Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16 (4): 605–611]

Key words: *Acipenser sinensis*; ultrasound; respiratory rate; heart rate; water temperature

Corresponding author: WEI Qi-wei. E-mail: weiqw@yfi.ac.cn