

コイ科魚類テンチの鰓換水量に関する予備的実験

板沢 靖男・G. M. Hughes
(1973年10月18日受領)

A Preliminary Experiment on the Ventilation Volume of a Cyprinid Fish, the Tench, *Tinca tinca*

Yasuo Itazawa and George M. Hughes

Estimation of gill ventilation volume was based on the Fick principle using P_{O_2} difference between inspired and expired waters and the rate of oxygen consumption (Figs. 1 and 2). The minute volume and stroke volume of resting unanaesthetised tench inspiring well-oxygenated water was 243~530 ml/kg·min and 9.1~13.9 ml/kg, respectively (Table 1). Both minute volume and stroke volume increased and O_2 utilization decreased greatly during hypoxia. The increased ventilation is considered to contribute to respiratory homeostasis during the early stages of hypoxia (Fig. 3).

(Y.I. Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812, Japan; G. M. H. Research Unit for Comparative Animal Respiration, The University, Woodland Road, Bristol BS8 1UG, England, U.K.)

鰓の換水量すなわち単位時間内に鰓を通過する水量は、魚の呼吸生理を研究するに当って基礎的なパラメーターの1つであるとともに、呼吸の能率を計算したり環境変化に対する魚の生理的反応をしらべたりするための要素ともなり、応用性の広い重要な項目である。しかし尾崎(1970)が“最終的に重要なこと”でありながら“測定値は非常に少なく、ほとんどないといつてもよいくらいである”と述べているように、日本ではあまり知られていない。

鰓換水量の測定法は、Hughes(1970)が分類しているように、(A)直接法と(B)間接法に大別される。前者は鰓を通過する水量を直接に実測する方法(例えばHughes and Umezawa, 1968)であり、後者はさらに、(B-1)口腔水と鰓蓋腔水の酸素分圧または酸素濃度の差および酸素消費量からFickの原理に基づいて推定する方法(例えばSaunders, 1962)と、(B-2)口腔に注入された色素の稀釈率から推定する方法(例えばMillen et al., 1966)に別けられる。

著者らは上記(B-1)の方法によってテンチの鰓換水

量測定を試みたので、僅かなデータであるが測定法の紹介も兼ねて報告する。

材料と方法

材料としては、英國およびヨーロッパにおいて最も普通な淡水魚の1つであるコイ科のtench, *Tinca tinca* (Linnaeus) を用い、Essex (England) の養魚場から購入後数日ないし十数日間室内で予備飼育したものを実験に供した。予備飼育中はmaggotを餌として与え、実験中は給餌しなかった。

実験に当っては、50 ppmのMS 222 (tricaine methane-sulfonate) 液中で供試魚を麻酔し、Smith and Bell(1967)式の手術台上で口腔あるいは鰓蓋腔から上記の麻酔液を流して鰓を灌流しながら、Holeton and Randall(1967)にならって口腔および鰓蓋腔にポリエチレンのカニューラ(PP 60, 内径0.76 mm, 長さ約60 cm)をつけ、またSmith and Bell(1964)に準じて背大動脈にもポリエチレンのカニューラ(内径

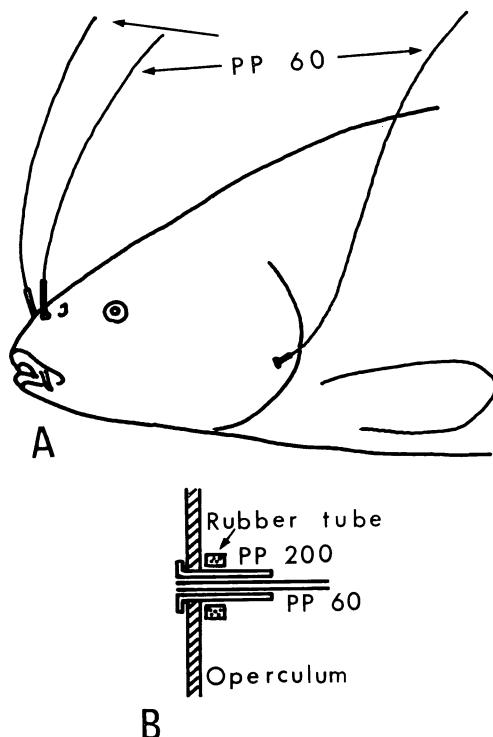


Fig. 1. A: Cannulations to the buccal (left) and opercular (right) cavities and the dorsal aorta (middle) of the tench, B: Detail showing the basal part of the opercular cannulation.

0.76 mm, 長さ約 30 cm) をつけた. (Fig. 1). カニューラをつけた魚は、直ちに直方体状呼吸室 (35 cm × 8 cm, 深さ 10 cm) に収容し、流水中で麻酔から回復させ、10時間以上経過後に測定を行なった。口腔あるいは鰓蓋腔へのカニューラは、呼吸室上部の蓋につけられたゴム栓を通して Eschweiler ガス分析装置の酸素電極に導き、鰓を通過する前後の呼吸水の酸素分圧を測定した。また背大動脈へのカニューラは、同様に呼吸室上部のゴム栓を通して呼吸室外に導き、それより適時採血 (1 回の採血量は約 0.05 ml) して、Lex-O₂-Con 血中全酸素測定装置により酸素含量を測定した。いずれのカニューラも魚体から 20~30 cm の点で前記のゴム栓に固定されるので、魚にかかるカニューラの重さは軽減された。

呼吸室に流入する水は、冷却装置および加温装置によって水温を調節し、空気および窒素ガスによって酸素分圧を調節した。呼吸室の直前および直後からポリエチレン・チューブによって水を上記酸素電極に導き、呼吸室に流入する水およびそれから流出する水の酸素分圧を測定した (Fig. 2)。

毎分換水量、毎回換水量、酸素利用率、および酸素消費量は下記の式によって求めた。

$$\dot{V}_G = \frac{(P_{I,O_2} - P_{E,O_2})f}{(P_{I,O_2} - P_{E,O_2})Wt} \quad \dots (1)$$

$$V_{sv} = \frac{\dot{V}_G}{VF} \quad \dots (2)$$

$$U = \frac{100(P_{I,O_2} - P_{E,O_2})}{P_{I,O_2}} \quad \dots (3)$$

$$\dot{V}_{O_2} = \frac{\alpha_{w,O_2}(P_{I,O_2} - P_{E,O_2})f}{Wt} \quad \dots (4)$$

ここで \dot{V}_G は毎分換水量 (ml/kg·min), P_{O_2} は酸素分圧 (mmHg), i は呼吸室に流入する水, o は呼吸室から流出する水, I は鰓を通過する前の口腔水, E は鰓を通過した後の鰓蓋腔水, f は呼吸室を通過する水の流量 (ml/min), Wt は魚の体重 (kg), V_{sv} は毎回換水量 (ml/kg), VF は呼吸頻度 (cycle/min), U は鰓における酸素利用率 (%), \dot{V}_{O_2} は酸素消費量 (ml/kg·min), α_{w,O_2} は水の酸素吸収係数である。

結果と考察

測定結果は Table 1 および Fig. 3 に示す通りであった。

テンチの鰓換水量については従来データが乏しく、Hughes and Shelton (1958, 1962) の中に散見されるほか、Schumann and Piiper (1966) が麻酔下での測定結果を報告しているに過ぎない。両者とも直接法によっており、前者は未発表資料も含めて検討するとおよそ 100~500 ml/kg·min (体重 85~140 g, 水温 20

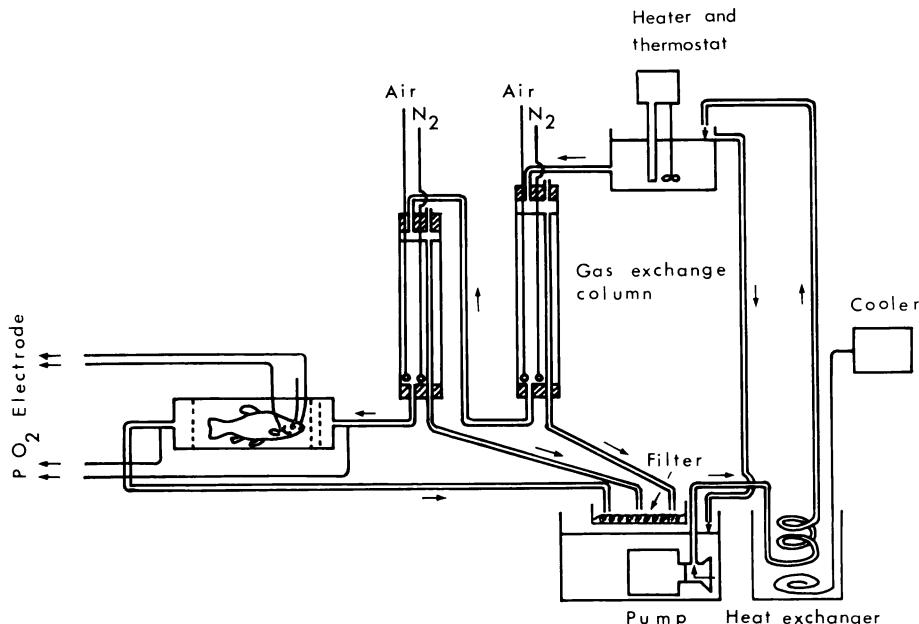


Fig. 2. Diagram of the continuous water circulation through the respiration chamber, including temperature regulation and gas-exchange columns.

Table 1. Ventilation volume, oxygen utilization and oxygen consumption of the tench.

Wt (g)	T (°C)	P_{I,O_2} (mm Hg)	f (ml/min)	P_{I,O_2} (mm Hg)	P_{E,O_2} (mm Hg)	\dot{V}_G (ml/kg·min)	VF (cycle/min)	V_{sv} (ml/kg)	U (%)	\dot{V}_{O_2} (ml/kg·min)
466	15.2	158	405	147	112	530	38	13.9	23.8	0.85
"	15.0	160	480	156	105	414	38	10.9	32.7	0.96
466	15.1	157	1585	153	140	528	38	13.9	8.5	0.32
"	15.1	169	1542	161	123	346	38	9.1	23.6	0.62
315	14.9	157	250	153	94	412	32	12.9	38.6	1.11
"	14.9	158	237	157	104	376	31	12.1	33.8	0.91
267	14.8	152	175	143	82	243	21	11.6	42.7	0.68
"	14.9	60	187	44	28	897	34	26.4	36.4	0.66
"	15.5	41	198	31	25	3192	38	84.0	19.4	0.83

Wt: weight of fish, T: temperature of water, P_{I,O_2} : O_2 of inflow water, f: flow rate of water through the respiration chamber, P_{I,O_2} : O_2 of inspired water, P_{E,O_2} : O_2 of expired water, \dot{V}_G : minute volume of gill ventilation, VF: ventilatory frequency, V_{sv} : stroke volume of gill ventilation, U: percentage of oxygen utilized from inspired water, \dot{V}_{O_2} : rate of oxygen consumption.

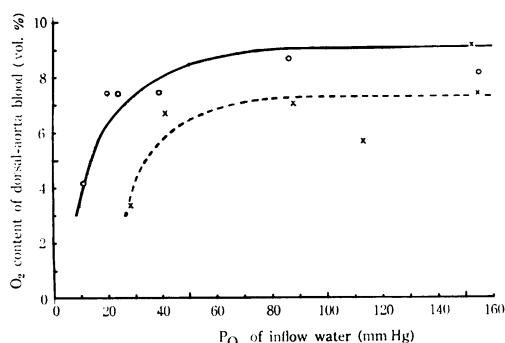


Fig. 3. Relationship between O_2 content of dorsal-aorta blood and decreasing P_{O_2} of inflow water at 15°C in tench (406 g body weight, solid line with open circles; 267 g, broken line with crosses).

~22°C) であり、後者は 0.15~0.2% urethane 麻酔下で 200~500 ml/kg·min (体重 65~129 g, 水温 18.5~19.5°C) であり、著者らの得た結果 (243~530 ml/kg·min) と概ね一致する。しかし著者らは、本実験の結果が若干過大ではないかと考える。それは鰓蓋を貫通してつけたカニューラから得られる水は、鰓蓋腔内におけるカニューラ先端の位置によっては、鰓を通過した水全部が混合したものより酸素分圧が若干高い可能性があり、前記(1)式の分母が若干過少になるかも知れないからである。その点 Saunders (1962) が行なったように、鰓蓋腔へのカニューラは鎖骨を貫いて後

方から挿入するのがより望ましいと考える。

鰓における酸素利用率は、本実験では極端に低い 1 例を除いても 24~43% と低い値であった。Hughes and Shelton (unpublished data) の 26~60%，あるいは Schumann and Piiper (1966) の約 60% と比較するとかなり低く、テンチ以外の硬骨魚に見られる値 (およそ 10~85%) から考えても低い。これも上に述べた鰓蓋腔水の採取法にその原因があるかと考えられる。

酸素消費量は、本実験では極端な 1 例を除くと 0.62~1.11 ml/kg·min (37~67 ml/kg·hr) であった。これは Schumann and Piiper (1966) の 0.94~1.63 ml/kg·min と概ね一致し、他の硬骨魚の例 (およそ 0.3~1.7 ml/kg·min) から考えても、テンチの安静時酸素消費量として妥当な値と思われる。

流入水の酸素分圧が低下すると、毎分換水量は急激に増大し、60 mmHg で 3.7 倍、41 mmHg では 13 倍となった。これには呼吸の頻度と振幅の両方、特に後者の増大が大きく関与しており、呼吸頻度が 1.6 倍あるいは 1.8 倍に増加するとともに、毎回換水量は 2.3 倍あるいは 7.2 倍に増大した (Table 1)。このような呼吸運動の調整により、50 mmHg 前後までの酸素分圧低下に対してはホメオスタシスの現象が見られるが、それ以下の酸素分圧低下は内部環境に影響する可能性の大きいことが、動脈血酸素含量あるいは動脈血酸素飽和度から推定される (Fig. 3)。

謝　　辞

この実験は、板沢が文部省在外研究員として英國に派遣されている間に、ヒューズの研究室において両名が行なった研究の一部である。実験器具は The Natural Environment Research Council より提供の研究費によつた。ここに感謝する。

引　用　文　獻

- Holeton, G. F. and D. J. Randall. 1967. Changes in blood pressure in the rainbow trout during hypoxia. *J. Exp. Biol.*, 46: 297~305, 7 figs.
Hughes, G. M. 1970. A comparative approach to fish respiration. *Experientia*, 26: 113~122, 13 figs.
Hughes, G. M. and G. Shelton. 1958. The mechanism of gill ventilation in three freshwater teleosts. *J. Exp. Biol.*, 35: 807~823, 8 figs, 1 pl.
Hughes, G. M. and G. Shelton. 1962. Respiratory mechanisms and their nervous control in fish. in "Advances in Comparative Physiology and Biochemistry" (O. Lowenstein, ed.), Vol. 1, Academic Press, New York and London, 275~364, 27 figs.
Hughes, G. M. and S. Umezawa. 1968. On respiration in the dragonet *Callionymus lyra* L. *J. Exp. Biol.*, 49: 565~582, 14 figs.

Millen, J. E., H. V. Murdaugh, Jr., D. C. Hearn, and E. D. Robin. 1966. Measurement of gill water flow in *Squalus acanthias* using the dye-dilution technique. *Am. J. Physiol.*, 211: 11~14, 5 figs.

尾崎久雄. 1970. 呼吸の生理. 魚類生理学講座 2, 緑書房, 東京, vi+354 pp., 110 figs.

Saunders, R. L. 1962. The irrigation of the gills in fishes. II. Efficiency of oxygen uptake in relation to respiratory flow, activity and concentrations of oxygen and carbon dioxide. *Canad. J. Zool.*, 40: 817~862, 14 figs.

Schumann, D. und J. Piiper. 1966. Der Sauerstoffbedarf der Atmung bei Fischen nach Messungen an der narkotisierten Schleie (*Tinca tinca*). *Pflügers Arch. Ges. Physiol.*, 288: 15~26, 3 Abb.

Smith, L. S. and G. R. Bell. 1964. A technique for prolonged blood sampling in free-swimming salmon. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 21: 711~717, 3 figs.

Smith, L. S. and G. R. Bell. 1967. Anesthetic and surgical techniques for Pacific salmon. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 24: 1579~1588, 4 figs.

(板沢: 812, 福岡市東区箱崎 九州大学農学部水産学科, Hughes: Research Unit for Comparative Animal Respiration, The University, Bristol BS8 1UG, England.)