

コイ循環機能におよぼす背大動脈カニューレーションの影響

半田 岳志・難波 憲二
植松 一眞・吉田 将之

広島大学生物生産学部, 東広島市 739
1996年10月31日 受付

要旨 コイに MS222 (メタアミノ安息香酸エチル・スルホン酸塩) 麻酔を施し, 口腔および背大動脈カニューレーション後の循環機能について検討した。コイ動脈血中の乳酸濃度は手術1時間後に約 80 mg/dl を示し, 24時間後に約 5 mg/dl にまで低下した。ヘモグロビン濃度と循環カテコールアミン濃度は, それぞれ手術1時間後に 11~12 g/dl, 4~9 nM/l を示したが, 手術後18~24時間かけてヘモグロビン濃度は約 8 g/dl, 循環カテコールアミン濃度は約 3 nM/l にまで低下した。さらに, 手術1時間後に確認されたアシドーシスは6時間後に解消されたものの, 動脈血 pH が安定するのに18時間を要した。これらのことから麻酔, 手術からの回復過程では, 血液の酸素容量の増大と赤血球の酸素親和力の増強による酸素償への補償作用が重要であり, 循環機能が安定するまでに要する時間は手術後18~24時間である事が明らかになった。
キーワード: MS222, カニューレーション, 血液性状, コイ, 循環機能

緒 言

魚類の循環機能に関する実験では, 血管ヘカテーテルを装着する手術を施し, 採血や血圧測定を行う場合が多い。魚類へのカニューレーションの際には, 麻酔薬として MS222 (メタアミノ安息香酸エチル・スルホン酸塩) が広く用いられている。

MS222 麻酔は, 魚類の血液の化学性状に大きな影響を及ぼす事が明らかにされている。すなわち, MS222 麻酔下でニジマス *Oncorhynchus mykiss* の血中乳酸濃度は上昇し (BLACK and CONNOR, 1964; SOIVIO *et al.*, 1977), ニジマス, テラピア *Oreochromis niloticus*, コイ *Cyprinus carpio*, カワマス *Salvelinus fontinalis* の血漿中のグルコース濃度が上昇する (HOUSTON *et al.*, 1971; SOIVIO *et al.*, 1977; SMIT *et al.*, 1979; NIEMINEN *et al.*, 1982) 事が知られている。さらに, MS222 麻酔下および麻酔後のニジマス血漿中の電解質において, 特にカリウム, マグネシウムイオン濃度は上昇し, クロライドイオン濃度は低下すると報告されている (WEDEMEYER, 1970; HOUSTON *et al.*, 1971; SOIVIO *et al.*, 1977)。ニジマス血漿中の循環カテコールアミン濃度は, MS222 麻酔時に顕著に上昇する事も報告されている (IWAMA *et al.*, 1989)。一方, 心拍数, 血圧, 血液ガスに及ぼす MS222 麻酔の影響に関する報告もいくつか見られる。MS222 麻酔初期に, テンチ *Tinca tinca* およびカワマスは頻脈を示すが, 麻酔がすすむと徐脈となり (RANDALL, 1962; HOUSTON *et al.*, 1971), 時間経過にしたがって徐々に背大動脈血圧は低下する (HOUSTON *et al.*, 1971)。MS222 麻酔下のニジマスにおいて, 麻酔期の鰓換水量の低下により, 動脈血酸素分圧と pH は低下するが, 動脈血二酸化炭素分圧は上昇する (SOIVIO *et al.*, 1977; IWAMA *et al.*, 1987; 1989)。

しかし, カニューレーションの際に施す麻酔やカニューレーション手術そのものが供試魚の循環機能や血液性状にどのような影響を及ぼすのか, またその影響からどのように回復するのかという過程を詳細に検討した報告は少ない。MS222 麻酔・カニューレーション後の, 血液のガス性状, 化学性状, ホルモンレベルの変動や, それらの相互の関連を明らかにすることは, 供試魚の麻酔, 手術時からの回復の程度を把握するために非常に有用である。

そこで本研究では, コイ *Cyprinus carpio* 成魚に MS222 麻酔を施し, 背大動脈および口腔にカニューレーションを行った後の背大動脈血圧, 心拍数, 呼吸数, 血液ガス, 血液の化学性状, 循環カテコールアミン濃度を測定し, 術後の血液性状および心血管系の状態について検討した。

材料と方法

供試魚 実験にはコイ *Cyprinus carpio* を31個体供試した。実験に供試したコイの体長 (BL) は 310 ± 22.8 mm, 体重 (BW) は 552 ± 109.6 g であった。肥満度 (C) は, $C = BW \text{ (kg)} / BL^3 \text{ (m)}$ から算出し, 19 ± 4.1 であった。コイは広島県庄原市内の養鯉場より購入し, 広島大学生物生産学部内の屋外水槽で自然の日照および温度条件で2週間~1ヵ月間飼育した。実験に先立ち, コイを500Lの屋内循環濾過水槽に移し, 水温 25°C で2週間以上飼育し実験温度に順化させた。飼育中は配合飼料 (No. 7P, 日本配合飼料) を毎日一回飽食量与え, カニューレーション手術の24時間前から全測定が終了するまで絶食させた。

カニューレーション 麻酔液には, 温度を 25°C に保ち, 炭酸水素ナトリウム (Nacalai Tesque. Inc.) を添加して中和した 200 mg/l の MS222 (ethyl *m*-aminobenzoate methanesulfonate, Crescent Research Chemicals) を用いた。麻酔により鰓蓋運動を停止したコイを手術台に乗せ, 背大動脈に外径 1 mm のポリエチレン細管 (No. 3, Hibiki), および口腔に外径 1.4 mm のポリエチレン細管 (No. 4, Hibiki) を装着する手術を施した。手術後のコイを恒暗条件の流水式呼吸室に移した。実験水温は $25.1 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 呼吸室への流入水量は $600\text{--}700 \text{ ml/min}$, 流入水の酸素分圧は $147 \pm 3.2 \text{ mmHg}$ であった。実験中の飼育水の pH は, 実験開始時, 終了時ともに pH $7.6\text{--}7.7$ であった。

実験条件および採血法

実験1: カニューレーション後の循環機能の経時変化

手術後のコイを呼吸室に収容した時点をも0時間とした。採血はカニューレーション後1, 6, 12, 18, 24, 36, 48時間に心拍数, 背大動脈血圧, 呼吸数を測定した後, 0.5 ml ずつ行い血液性状を測定した ($n=21$)。心拍数, 背大動脈血圧, 呼吸数の測定は0時間にも行った。

実験2: カニューレーション24時間後の循環機能

カニューレーション後24時間を経過させたコイの背大動脈血圧, 心拍数, 呼吸数を測定後, 0.7 ml 採血し血液性状を分析した ($n=10$)。

採血は, ヘパリンリチウム生理食塩水 (Heparin Lithium Salt, Sigma Chemical Co.) で死腔の部分 (約 0.01 ml) を満たした注射筒を用い, 背大動脈カニューラより行った。

心拍数および呼吸数 背大動脈と口腔に装着したカニューラをひずみ圧測定用トランスデューサー (MPU-0.5-290, 日本光電) に接続しこれからの信号を, ひずみ圧力アンプ (AP-601G, 日本光電) と熱書記録計 (WT-625G, 日本光電) を用いて記録した。心拍数と呼吸数は, 記録した背大動脈血圧と口腔内圧波形から算出した。

血液ガスおよび血液性状 全血 pH (pHa), 実験水および動脈血酸素分圧 (PwO_2 , PaO_2 , mmHg), 酸素含量 (CaO_2 , ml/dl), 全炭酸含量 ($TaCO_2$, mM/l) は, 毛细管 pH 電極 (G299A, Radiometer), 酸素電極 (E5047-0, Radiometer), 二酸化炭素電極 (E5037-0, Radiometer), Blood gas monitor (PHM73, Radiometer) および実験水温 (25.0°C) に保った Blood micro system (BMS3 Mk2, Radiometer) を用いて測定した。 CaO_2 と $TaCO_2$ の測定は, それぞれ TUCKER (1967) と CAMERON (1971) の方法に従った。動脈血の酸素飽和度 (So_2 , %) は動脈血の酸素容量と酸素溶解量から, 二酸化炭素分圧 ($Paco_2$, mmHg) は, Henderson-Hasselbalch の式より算出した。ヘモグロビン濃度 (Hba, g/dl), カルシウムイオン濃度 (Ca^{2+} , mEq/l) は, それぞれオキシヘモグロビン法, o-クレゾールフタレインコンプレクソン法 (DRI-CHEM SYSTEM 5500, 富士メディカルシステム) で測定した。ナトリウムイオン, カリウムイオン, クロライドイオン濃度 (Na^+ , K^+ , Cl^- , mEq/l) は, イオン選択電極法 (DRI-CHEM SYSTEM 800, 富士メディカルシステム) で測定した。マグネシウムイオン濃度 (Mg^{2+} , mEq/l) はマグネシウム B-テスト (和光純薬工業) を, 乳酸濃度 (LA, mg/dl) は, デタミンナー LA (協和メディクス) を用い, 分光光度計 (Spectronic 20A, Shimadzu) で測定した。アドレナリン, ノルアドレナリン濃度 (NOR, ADR, nM/l) は, WOODWARD (1982) と FUJITA *et al.* (1992) の方法一部を改変し HPLC-ECD 法で分析した。内部標準液として 3,4-Dihydroxybenzylamine hydrobromide (DHBA, Sigma Chemical Co.) を用いた。アドレナリン, ノルアドレナリン, DHBA の分離には, サーモコントローラー (TSK-CO-8020, Tosoh. Co.) により 40°C に保った逆相カラム (TSK-Gel ODS 80TS, Tosoh. Co.) を用い, 電気化学検出器 (TSK-EC-8020, Tosoh. Co.) の印加電圧は 700 mV に

設定した。

有意差の検定 全データは、平均値±標準偏差で示した。各測定項目の経時変動の検定には一元配置分散分析法を、実験1と実験2の各測定値の比較には対応の無い二組の t 検定を用いた。

結 果

本実験に用いたコイは、麻酔液に浸漬してから約5分で速やかに鰓蓋運動を停止した。供試魚へのカニューレージョン開始から呼吸室に収容するまでに要した時間は約20分、コイが体平衡を回復して維持し始めるまでに要した時間は約10分間であった。カニューレージョン直後の血圧、心拍数、呼吸数および1時間後の血液性状を Table 1. に示した。

LA は1時間後に約 80 mg/dl を示したが、6時間後には1時間後の約1/2まで急激に低下し、24時間以降では 5 mg/dl 付近で安定した (Fig. 1A.)。

PaO₂, CaO₂ は12時間後まで徐々に低下したが、SaO₂ は、18時間後に約70%にまで低下した (Fig. 1A, B.)。

Table 1. Cardiovascular respiratory parameters (0 h) and blood properties (1 h) of carp after operation.

	Mean	SD
HR (beats/min)	67 ±	15.3
BPS (mmHg)	26.7 ±	2.3
BPD (mmHg)	22.0 ±	1.7
VF (frequency/min)	48 ±	24.2
Hba (g/dl)	10.9 ±	1.4
PaO ₂ (mmHg)	40.4 ±	10.9
CaO ₂ (ml/dl)	12.0 ±	1.4
SaO ₂ (%)	78.4 ±	7.7
pHa	7.565 ±	0.090
TaCO ₂ (mM/l)	9.1 ±	0.6
PaCO ₂ (mmHg)	5.9 ±	1.5
NOR (nM/l)	4.8 ±	3.6
ADR (nM/l)	4.3 ±	2.9
Na ⁺ (mEq/l)	134 ±	2.6
K ⁺ (mEq/l)	4.3 ±	0.7
Cl ⁻ (mEq/l)	106 ±	3.5
Ca ²⁺ (mEq/l)	5.0 ±	0.5
Mg ²⁺ (mEq/l)	5.9 ±	1.0
LA (mg/dl)	77.4 ±	15.1

Table 2. Comparison of cardiovascular respiratory parameters in carp at 24 h after operation with the first and repeated samplings of the arterial blood in carp.

	Exp. 1 ^{a)}		Exp. 2 ^{b)}	
	Mean	SD	Mean	SD
Hba (g/dl)	7.7 ±	0.3	8.0 ±	0.9
PaO ₂ (mmHg)	32.7 ±	2.2	30.1 ±	4.8
CaO ₂ (ml/dl)	7.3 ±	0.7	7.1 ±	0.7
SaO ₂ (%)	67.3 ±	6.2	63.3 ±	8.7
pHa	7.770 ±	0.020	7.770 ±	0.042
TaCO ₂ (mM/l)	11.9 ±	0.8	9.9 ±	2.17
PaCO ₂ (mmHg)	4.7 ±	0.4	3.9 ±	0.8
NOR (nM/l)	2.2 ±	1.2	1.5 ±	0.8
ADR (nM/l)	1.2 ±	0.4	1.3 ±	0.4
Na ⁺ (mEq/l)	131 ±	2.6	130 ±	8.7
K ⁺ (mEq/l)	3.0 ±	0.2	3.3 ±	0.6
Cl ⁻ (mEq/l)	112 ±	4.1	107 ±	9.3
Ca ²⁺ (mEq/l)	4.4 ±	0.2	4.9 ±	1.2
Mg ²⁺ (mEq/l)	2.3 ±	0.4	1.8 ±	0.2 ^{*c)}
LA (mg/dl)	4.9 ±	1.4	10.1 ±	4.6 ^{*c)}
HR (beats/min)	28 ±	5.0	30 ±	6.5
BPS (mmHg)	29 ±	2.6	26 ±	3.0
BPD (mmHg)	21 ±	2.8	15 ±	1.8 ^{*c)}
VF (frequency/min)	14 ±	8	12 ±	3.4
TL (mm)	383 ±	57	360 ±	13
BL (mm)	310 ±	23	300 ±	11
BW (g)	552 ±	110	562 ±	52
C	19 ±	4	21 ±	2

a) Exp. 1: the parameters at 24 h after operation with repeated sampling.

b) Exp. 2: the parameters at 24 h after operation with the first sampling.

c) Statistically significant at asterisks p<0.01 from Exp. 1.

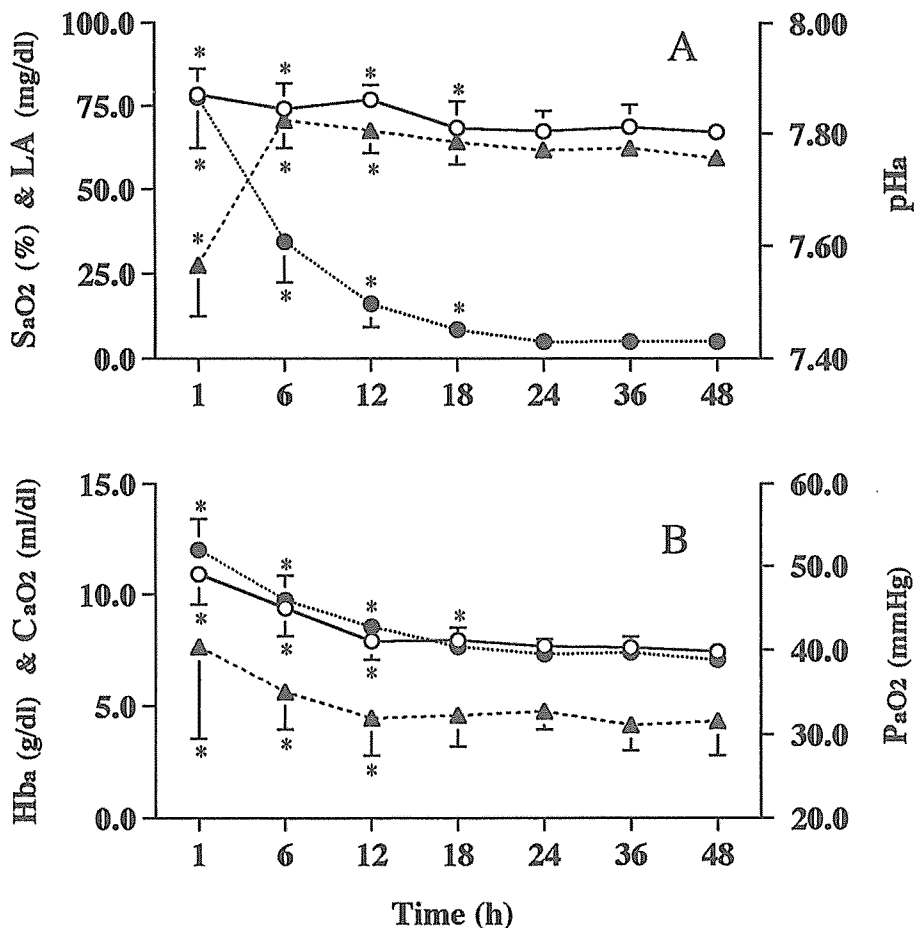


Fig. 1. The effects of anaesthesia and cannulation on aortic blood properties (A) oxygen saturation (SaO₂, open circles), lactic acid concentration (LA, solid circles) and pH (pHa, solid triangles), and (B) haemoglobin concentration (Hba, open circles), oxygen contents (CaO₂, solid circles) and oxygen partial pressure (PaO₂, solid triangles). Values shown are means ± SD. Asterisks indicate a statically significant variation (p < 0.05).

pHa は1時間後に7.57を示したが6時間後には7.82へ上昇し、ついで約 pH 7.77 で安定した (Fig. 1A.)。Hba は 11 g/dl を示し、その後 Hba は18時間後まで有意に低下した (Fig. 1B)。 NOR , ADR は、18時間後に約 2~3 nM/l となるまで徐々に低下した (Fig. 2)。 Taco_2 は1時間後に約 9 mM/l を示した後、徐々に上昇して12時間後には約 12 mM/l となり、以後 12 mM/l 程度で推移した (Fig. 3)。 Paco_2 は1時間後の 6 mmHg から6時間後の 3.6 mmHg まで一時的に低下し、18時間後には 4 mmHg まで上昇後、24時間以降安定した (Fig. 3)。 VF は0時間目の48回/分から6時間後には19回/分、さらに12時間後には12回/分程度で推移した (Fig. 3)。 K^+ は術後12時間で 3.5 mEq/l に低下し、 Cl^- は術後6時間で 110 mEq/l にまで有意に上昇した (Fig. 4A.)。 Ca^{2+} は24時間後まで、 Mg^{2+} は12時間後まで徐々に低下し続けた (Fig. 4B.)。 HR は1時間後まで、 BPD は24時間後まで安定しなかった (Fig. 5.)。

実験1のコイの LA, BPD は、実験2のコイよりも有意に低く、 Mg^{2+} は実験2のコイよりも有意に高い値を示した (Table 2)。 PaO_2 は、連続採血は、カニューレ挿入24時間後の LA, BPD, Mg^{2+} 以外の各パラメーターへ、有意な影響をおよぼさなかった。

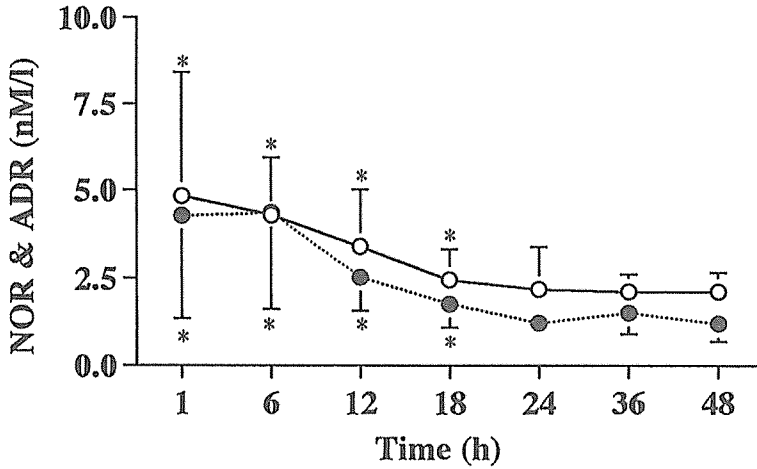


Fig. 2. The effects of anaesthesia and cannulation on plasma noradrenaline (NOR, open circles) and adrenaline (ADR, solid circles). Values shown are means±SD. Asterisks indicate a statistically significant variation ($p < 0.05$).

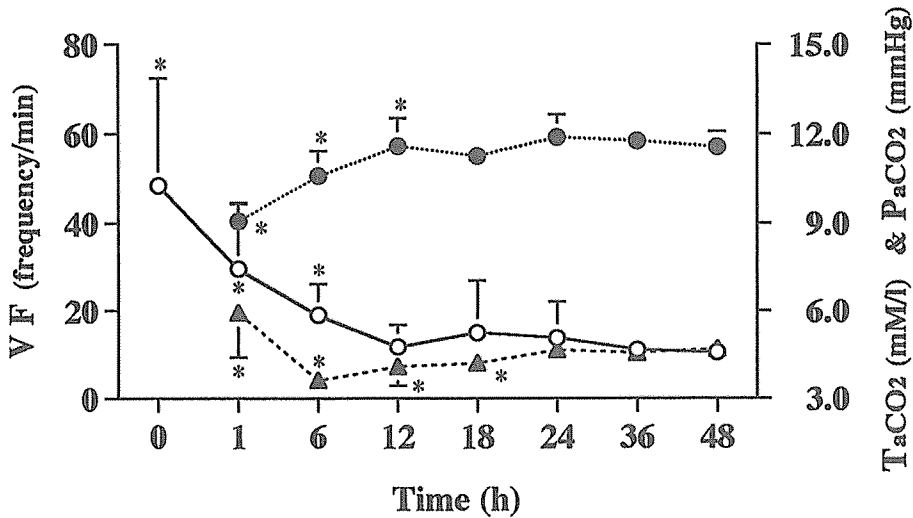


Fig. 3. The effects of anaesthesia and cannulation on ventilation frequency (VF, open circles), total carbon dioxide (Taco₂, solid circles) and carbon dioxide partial pressure (Paco₂, solid triangles). Values shown are means±SD. Asterisks indicate a statistically significant variation ($p < 0.05$).

考 察

本実験に用いたコイが麻酔導入約5分で速やかに鰓蓋運動を停止したのは、pK 値の低い MS222 麻酔液 (WEDEMEYER, 1970) を、炭酸水素ナトリウムで中和したため麻酔導入に要する時間が短縮されたためであろう (OHR, 1976; SMIT and HATTINGH, 1979; SMIT *et al.*, 1979)。MS222 麻酔下のニジマスの鰓換水量は低下するため (IWAMA *et al.*, 1987)、動脈血酸素分圧と動脈血 pH は低下、動脈血二酸化炭素分圧は上昇し (SOIVIO *et al.*, 1977, IWAMA *et al.*, 1989)、血中乳酸濃度は増加する (BLACK and CONNOR, 1964; SOIVIO *et*

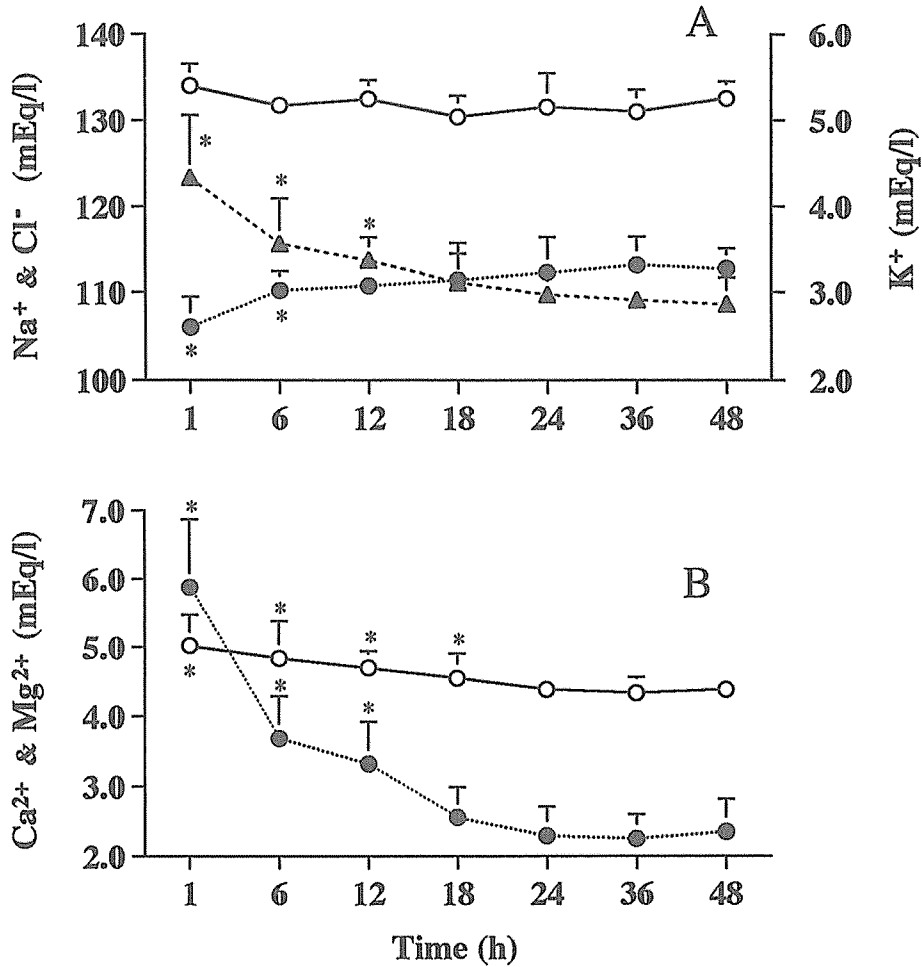


Fig. 4. The effects of anaesthesia and cannulation on plasma electrolytes (A) Na⁺ (open circles), Cl⁻ (solid circles) and K⁺ (solid triangles), (B) Ca²⁺ (open circles) and Mg²⁺ (solid circles). Values shown are means \pm SD. Asterisks indicate a statistically significant variation ($p < 0.05$).

al., 1977) ことが知られている。本実験に用いたコイは、麻酔による鰓蓋運動停止から手術終了まで鰓換水をしておらず、また18時間後までの血中乳酸濃度は有意に高いので、ニジマス同様、麻酔・手術時に窒息状態となっており嫌氣的代謝が行われていたと考えられる。したがって、手術時のコイ動脈血は、呼吸性と代謝性による複合性アシドーシスの状態にあったと考えられる。

カニューレシオン12時間後あるいは18時間後までの PaO₂, CaO₂ および SaO₂ は、24時間以降の値よりも高い値を示していた。動脈血の酸素容量は18時間後までの Hba により増大し、赤血球の酸素親和力は6~12時間後の pH の上昇(逆 Bohr 効果)により増強されていたと考えられる。また、血液中の循環カテコールアミン濃度が上昇すると、赤血球の酸素親和力が増大する事が報告されているので(NIKINMAA, 1983; NIKINMAA and JENSEN, 1986; BAROIN *et al.*, 1984; BORGESE *et al.*, 1986; NIKINMAA and TUFTS, 1989; PERRY and REID, 1992; THOMAS and PERRY, 1992), 本実験に供試したコイの麻酔手術後の赤血球の酸素親和力は、18時間後までの高濃度の NOR と ADR により増大していたと考えられる。これらのことから、麻酔手術後のコイ動脈血は、ヘモグロビン濃度、カテコールアミン濃度、動脈血 pH の上昇により、血液の

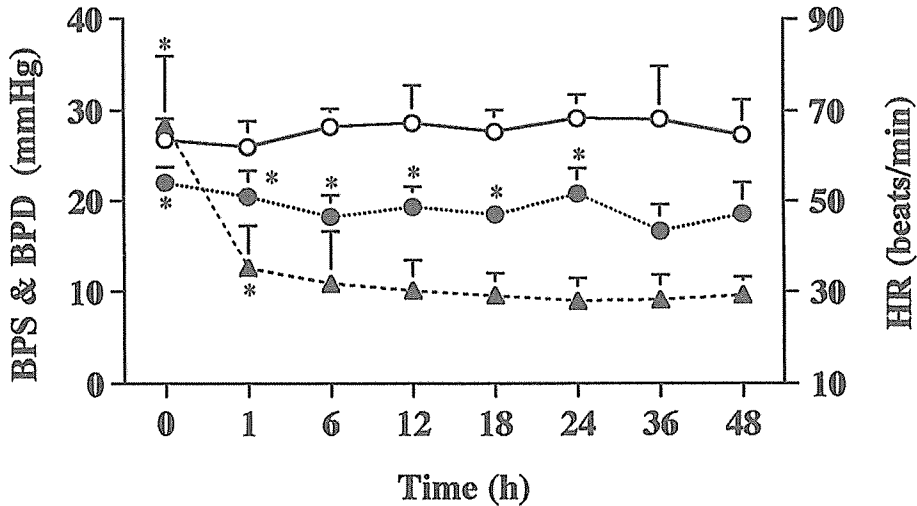


Fig. 5. The effects of anaesthesia and cannulation on dorsal aortic systolic blood pressure (BPS, open circles), diastolic blood pressure (BPD, solid circles) and heart rate (HR, solid triangles). Values shown are means \pm SD. Asterisks indicate a statistically significant variation ($p < 0.05$).

酸素運搬能を向上させ、酸素債の補償を行っていた事が判明した。

ITAZAWA and TAKEDA (1978) は、窒息時のコイは呼吸数を増加させ過呼吸を行うと報告している。本実験に供試したコイにおいて、麻酔・手術1時間後の PaCO_2 が有意に高いのは、麻酔手術時に蓄積した二酸化炭素と乳酸分解によって生じる二酸化炭素が非常に多く、コイが過呼吸を行っていても、手術後1時間では二酸化炭素が十分に排出されていなかったことを示している。6時間後の PaCO_2 が一時的に有意に低下したのは、過呼吸により二酸化炭素の排出が過剰に行われていた事に起因する。これらのことから、麻酔手術後の二酸化炭素分圧の回復には過呼吸が大きな役割を担っている事が確認された。

Na^+ は術後48時間まで安定していたことから、細胞外液の電解質として最も多量に存在するナトリウムイオンの濃度は、カニューレーションによっても有意に変動するほどの影響を受けない事が明らかとなった。 K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} は術後有意に変動し、特に K^+ , Mg^{2+} および Cl^- の変動は、MS222 麻酔後のニジマスの K^+ , Mg^{2+} , Cl^- の変動傾向 (WEDEMEYER, 1970; HOUSTON *et al.*, 1971; SOIVIO *et al.*, 1977) と一致した。代謝性のストレス時に見られる血漿中の K^+ の上昇は、ATP 依存性のカリウムチャンネルを介して引き起こされており (WEISS *et al.*, 1989)、哺乳類では、心筋中の ATP が不足すると、ATP 依存性のカリウムチャンネルが開き、細胞内の K^+ が細胞外へ放出されると考えられている (FINDLAY *et al.*, 1989; STREEBY and MCKEAN, 1994)。これらのことから、本実験において K^+ が術後12時間目まで徐々に低下し12時間後に安定したのは、カリウムチャンネルが本来の働きを回復し、細胞内にカリウムイオンが取り込まれた為であろう。 Cl^- は、赤血球内外の陰イオンバランスを保つため、赤血球と血漿の間を移動する事 (クロライドシフト) が知られている (CAMERON, 1978; CLAIBORNE and HEISLER, 1984; HEISLER, 1984; RANDALL and DAXBOECK, 1984; FUCHS and ALBERS, 1988; TUFTS *et al.*, 1988)。12時間以降に Cl^- が安定したのは、麻酔・手術時により生ずる血漿中の Cl^- の赤血球内への過剰な流入が解消され、赤血球内外の正常な陰イオンバランスを維持したためであると推察される。血液中の Mg^{2+} と Ca^{2+} が術後に徐々に低下した。 Mg^{2+} は再び細胞内に取り込まれた為と推測されるが、 Ca^{2+} の調節機構については不明である。

麻酔手術後に確認された頻脈と弛緩期血圧から、手術直後の心拍出量は増大していたと考えられた。循環カテコールアミン濃度や血漿中の Ca^{2+} の上昇は、心臓へ正の変力性や変時性の影響を及ぼす事が報告されている (FARRELL, 1984; FARRELL *et al.*, 1986; AXELSSON, 1988)。よって、麻酔手術後に高濃度が確認された循環カテコールアミンと Ca^{2+} が、心拍出量を増大させた主な要因であり、これによって血液による物

質運搬を盛んにし、酸素債の解消を促進していたものと推定された。

実験1のコイのLA, BPDは、実験2のコイよりも有意に低く、 Mg^{2+} は実験2のコイよりも有意に高い値を示したことから、麻酔手術後のコイから実験1のような条件で連続採血を行うと、 Mg^{2+} , LA, BPDへ有意な影響を与えることが判明した。連続採血の影響下にあっても、24時間以降の各測定値は有意には変動しなかったため、少なくとも麻酔手術後24時間が経過すれば、コイの循環機能は安定すると言える。よって今回確認された各測定項目の有意な変動は、コイが受けた麻酔、手術によるものであり、麻酔と手術の影響が消失するのは、呼吸循環機能および血液性状の各測定項目が有意に変動しなくなった時点であるとすれば、本実験に用いたコイの場合、カニューレーション後18から24時間経過すると安静状態に達すると結論される。

引用文献

- AXELSSON, M. 1988, The importance of nervous and humoral mechanisms in the control of cardiac performance in the Atlantic cod *Gadus morhua* at rest and during non-exhaustive exercise. *J. Exp. Biol.* 137: 287-303.
- BAROIN, A., GARCIA-ROMEY, F., LAMARRE, T. and MOTAIS, R. 1984, A transient sodium-hydrogen exchange system induced by catecholamines in erythrocytes of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Physiol.* 356: 21-31.
- BLACK, E. C. and CONNOR, A. R. 1964, Effects of MS222 on glycogen and lactate levels in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Bd. Canada.* 21(6): 1539-1542.
- BORGESE, F., GARCIA-ROMEY, F. and MOTAIS, R. 1986, Catecholamine-induced transport systems in erythrocytes. *J. gen. Physiol.* 87, 551-566.
- CAMERON, J. N. 1971, Rapid method for determination of total carbon dioxide in small blood samples. *J. Appl. Physiol.* 31(4): 632-634.
- CAMERON, J. N. 1978, Chloride shift in fish blood. *J. Exp. Zool.* 206: 289-295.
- CLAIBORNE, J. B. and HEISLER, N. 1984, Acid-base regulation and ion transfers in the carp (*Cyprinus carpio*) during and after exposure to environmental hypercapnia. *J. Exp. Biol.* 108: 25-43.
- FARRELL, A. P. 1984, A review of cardiac performance in teleost heart: intrinsic and humoral regulation. *Can. J. Zool.* 62: 523-536.
- FARRELL, A. P., MACLEOD, K. R. and CHANCEY, B. 1986, Intrinsic mechanical properties of the perfused rainbow trout heart and the effects of catecholamines and extracellular calcium under control and acidotic conditions. *J. Exp. Biol.* 125: 319-345.
- FINDLAY, I., DEROUBAIX, E., GUIRAUDOU, P. and CORABOEUF, E. 1989, Effects of activation of ATP-sensitive K^+ channels in mammalian ventricular myocytes. *Am. J. Physiol.* 257: H1551-H1559.
- FUCHS, D. A. and ALBERS, C. 1988, Effects of adrenaline and blood gas conditions on red cell volume and intra-erythrocytic electrolytes in the carp, *Cyprinus carpio*. *J. Exp. Biol.* 137: 457-477.
- FUJITA, M., NISHIBORI, M. and YAMAMOTO, S. 1992, Changes in plasma catecholamine, free fatty acid, and glucose concentrations, and plasma monoamine oxidase activity before and after feeding in laying hens. *Poultry Science.* 71: 1067-1072.
- HEISLER, N. 1984, Acid-base regulation in fishes. *Fish Physiology*. vol. X A (ed. HOAR, W. S. and RANDALL, D. J.) pp. 315-410. New York: Academic Press.
- HOUSTON, A. H., MADDEN, J. A., WOODS, R. J. and MILES, H. M. 1971, Some physiological effects of handling and tricaine methanesulphonate anesthetization upon the brook trout, *Salvelinus fontinalis*. *J. Fish. Res. Bd. Canada.* 28: 625-533.
- ITAZAWA, Y. and TAKEDA, T. 1978, Gas exchange in the carp gills in normoxic and hypoxic conditions. *Respiration Physiology.* 35: 263-269.
- IWAMA, G. K., BOUTILIER, R. G., HEMING, T. A., RANDALL, D. J. and MAZEAUD, M. 1987, The effects of altering gill water flow on gas transfer in rainbow trout. *Can. J. Zool.* 65: 2466-2470.

- IWAMA, G. K., MCGEER, J. C. and PAWLUK, M. P. 1989, The effects of five fish anaesthetics on acid-base balance, hematocrit, blood gases, cortisol, and adrenaline in rainbow trout. *Can. J. Zool.* 67: 2065-2073.
- NIKINMAA, M. 1983, Adrenergic regulation of haemoglobin oxygen affinity in rainbow trout red cells. *J. Comp. Physiol. B.* 152: 67-72.
- NIKINMAA, M. and JENSEN, F. B. 1986, Blood oxygen transport and acid-base status of stressed trout (*Salmo gairdneri*): pre- and postbranchial values in winter fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 84A: 391-396.
- NIKINMAA, M. and TUFTS, B. L. 1989, Regulation of acid and ion transfer across the membrane of nucleated erythrocytes. *Can. J. Zool.* 67: 3039-3045.
- NIEMINEN, M., LAITINEN, M. and PASANEN, P. 1982, Effects of anaesthesia with tricaine (MS222) on the blood composition of the splake (*Salvelinus fontinalis* x *Salvelinus namaycush*). *Comp. Biochem. Physiol.* 73C: 271-276.
- OHR, E. A. 1976, Tricaine methanesulfonate - I. pH and its effects on anaesthetic potency. *Comp. Biochem. Physiol.* 54C: 13-17.
- PERRY, S. F. and REID, S. 1992, Relationship between blood O₂ content and catecholamine levels during hypoxia in rainbow trout and American eel. *Am. J. Physiol.* 263: R240-R249.
- RANDALL, D. J. 1962, Effect of an anaesthetic on the heart and respiration of teleost fish. *Nature.* 195: 506.
- RANDALL, D. J. and DAXBOECK, C. 1984, Oxygen and carbon dioxide transfer across fish gills. *Fish Physiology.* vol. X A (ed. HOAR, W. S. and RANDALL, D. J.) , pp. 263-314. New York: Academic Press.
- SMIT, G. L., and HATTINGH, J. 1979, Anaesthetic potency of MS222 and neutralized MS222 as studied in three freshwater fish species. *Comp. Biochem. Physiol.* 62C: 237-241.
- SMIT, G. L., HATTINGH, J. and BURGER, A. P. 1979, Haematological assessment of the anaesthetic MS222 in natural and neutralized form in three freshwater fish species: interspecies differences. *J. Fish. Biol.* 15: 633-643.
- SOIVIO, A., NYHOLM, K. and HUHTI, M. 1977, Effects of anaesthesia with MS222, neutralized MS222 and benzocaine on the blood constituents of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Fish. Biol.* 10: 91-101
- STREEBY, R. D. and MCKEAN, T. A. 1994, The effect of ATP-sensitive potassium channel modulation on heart rate in isolated muskrat and guinea pig heart. *J. Exp. Biol.* 197: 101-118.
- THOMAS, S. and PERRY, S. F. 1992, Control and consequence of adrenergic activation of red blood cell Na⁺/H⁺ exchange on blood oxygen and carbon dioxide transport in fish. *J. Exp. Zool.* 263: 160-175.
- TUCKER, V. A. 1967, Method for oxygen content and dissociation curves on microliter blood samples. *J. Appl. Physiol.* 23(3): 410-414.
- TUFTS, B. L., FERGUSON, R. A. and BOUTILIER, R. G. 1988, *In vivo* and *in vitro* effects of adrenergic stimulation on chloride/bicarbonate exchange in rainbow trout erythrocytes. *J. Exp. Biol.* 140: 301-312.
- WEDEMEYER, G. 1970, Stress of anaesthesia with MS222 and benzocaine in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Bd. Canada.* 27: 909-914.
- WEISS, J. N., SCOTT, T. L. and KENNETH, I. S. 1989, Cellular K⁺ loss and anion efflux during myocardial ischemia and metabolic inhibition. *Am. J. Physiol.* 256: H1165-1175.
- WOODWARD, J. J. 1982, Plasma catecholamines in resting rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, by high pressure liquid chromatography. *J. Fish. Biol.* 21: 429-432.

**Blood Properties and Cardiovascular Function after the
Cannulation into the Dorsal Aorta in Carp,
*Cyprinus carpio***

Takeshi HANDA, Kenji NAMBA
Kazumasa UEMATSU and Masayuki YOSHIDA

*Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University,
Higashi-Hiroshima 739, Japan*

After anesthetization with MS222 (ethyl *m*-aminobenzoate methanesulfonate) and cannulation into the dorsal aorta of carp, blood lactate levels decreased from 80 mg/dl to 5 mg/dl in 24 hours. Circulating catecholamines concentrations and haemoglobin concentration showed the highest values (4–9 nM/l catecholamines and 11–12 g/dl haemoglobin) at one hour after cannulation and then decreased gradually to the constant values (about 3 nM/l catecholamines and 8 g/dl haemoglobin) until 24 hours after cannulation. Acidosis occurred from one hour after cannulation and subsided at 6 hour after cannulation. Blood pH, however, was significantly higher from 6 to 12 hours after cannulation and was unstable until 18 hours after cannulation. The above changes in the circulating catecholamines concentration, the haemoglobin concentration, and the blood pH contributed to clear the oxygen debt due to MS222 anesthesia and cannulation into the dorsal aorta. The cardiovascular parameters and the blood properties of carp appear to recover to normal from sequels of the operation in 18 to 24 hours after cannulation.

Key words: blood properties, cannulation, cardiovascular function, *Cyprinus carpio*, MS222