

\*漁獲物の鮮度保持に関する研究 (第1報)

“洗い”の現象と筋肉内ATP態磷酸量, Glycogen量との関係

野口 榮三郎・山本 常治

Studies on the Freshness of Fish - (1)

Effects of ATP and Glycogen in fish muscle upon “Arai” phenomenon  
(Muscle contraction caused by perfusing water)

Eizaburo NOGUCHI and Joji YAMAMOTO

The relationship between the muscle contraction of carp (*Cyprinus carpio*) in “Arai” phenomenon (muscle contraction caused by perfusing water) and the amounts of ATP and glycogen in muscle, and pH value of it was investigated with the following results obtained:

1) The contraction of muscle in “Arai” shows high value when the amount of ATP is high and pH value approaches to neutral.

2) After death, as the amount of ATP in muscle decreases, the contraction of muscle slacks accordingly. When the ATP amount and the contraction of muscle in “Arai” reaches zero, the muscle seems to enter full-rigor state.

3) The contraction of muscle in “Arai” is promoted by  $\text{CaCl}_2$  and inhibited by  $\text{MgCl}_2$  sol., and since the amount of ATP consumed is proportional to the contraction, the latter is supposed to be caused by the energy issued through the decomposition of ATP.

We should like here to express our hearty acknowledgements to Messrs G. Katoh, J. Yamanaka and S. Nishimura for the translation into English in our following papers inserted in the present publication.

緒 言

鮮度保持の研究に於ては死後硬直時の鮮度判定方法の確立が必要であるが、現在死後硬直時の鮮度判定法としては適当な方法が無く、多くの場合は肉眼的観察に依つて硬直状態を観察し、記録<sup>1)</sup>している状態である。

我々は種々の死殺方法や、死後の取扱いが鮮度保持に及ぼす影響を研究する前提として、簡易な死

\* 日本水産学会 昭和29年度年会で発表 (東京 昭29.4)

後硬直時の鮮度判定法の確立を必要としたが、極めて新鮮な魚肉に於てのみ見られる、いわゆる“洗い”の現象に着目し、灌流に依る魚肉片の収縮度の測定に依つて死後硬直時の鮮度判定が可能であるか否かを試みることにした。そこで取敢えずこの“洗い”の現象の機構を解明する為、この“洗い”の現象と筋肉内のATP態磷酸量、glycogen量等との関係を研究したのでその結果を報告する。

### 実験方法

- (1) 筋肉収縮度の測定は槓杆に依つて収縮度を5倍に拡大し、 $\frac{\text{縮み}}{\text{原長}} \times 100\%$  で収縮度の大きさを示した。この場合の灌流液は蒸留水で温度は常に一定(20°C)となるようにした。
- (2) ATP態磷酸量の測定は島津製光電管比色計を使用し、Bate-Smith<sup>2)</sup>、天野<sup>3)</sup>等と同様に7分加熱磷酸と酸可溶性無機磷酸量との差をATP態磷酸量とした。
- (3) pHの測定にはベツクマンの硝子電極pHメーターを使用した。
- (4) glycogen量はFolin-Wu<sup>4)</sup>の方法に依つて比色定量した。

### 結果

#### I 筋肉部位に於ける収縮度とATP態磷酸量

材料としては断頭死を行つたコイ (*Cyprinus carpio*) を使用し、試料の採取は死後10分間以内で完了し、直ちに0°C~2°Cの冷蔵庫に入れ、実験に供した。実験の完了は2時間以内であつたが最終の試料も刺戟に依つて収縮し、未だ筋肉は生きておることを示した。試料の採取部位は第1図に、実験結果は第2図及び第1表に示す。

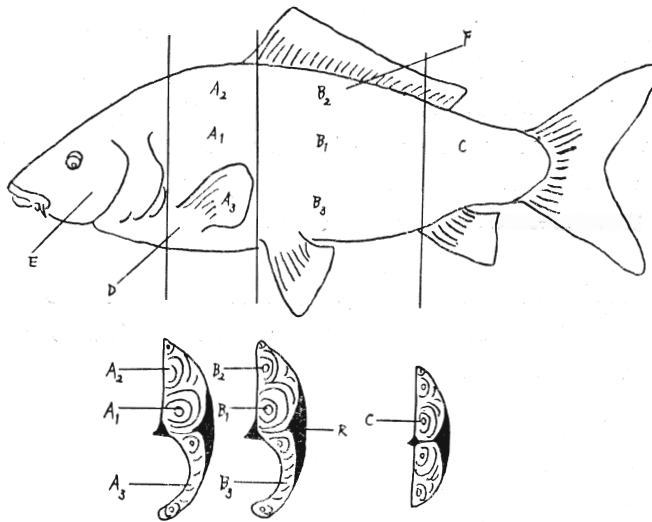


Fig. 1 Positions from which muscles were taken.

A <sub>1</sub> , B <sub>1</sub> , C	Muscles latero-dorsalis	背側筋
A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub>	M. cartinatus-dorsalis	背側竜骨筋
A <sub>3</sub> , B <sub>3</sub>	M. cartinatus-ventralis	腹側竜骨筋
D	M. levator pinnae pectoralis	胸鰭拳筋
E	M. masseter	咬筋
F	M. flexor veldepressor	背鰭条屈筋
	radiorum pinnae dorsalis	
R	M. rubber	赤筋(血合)

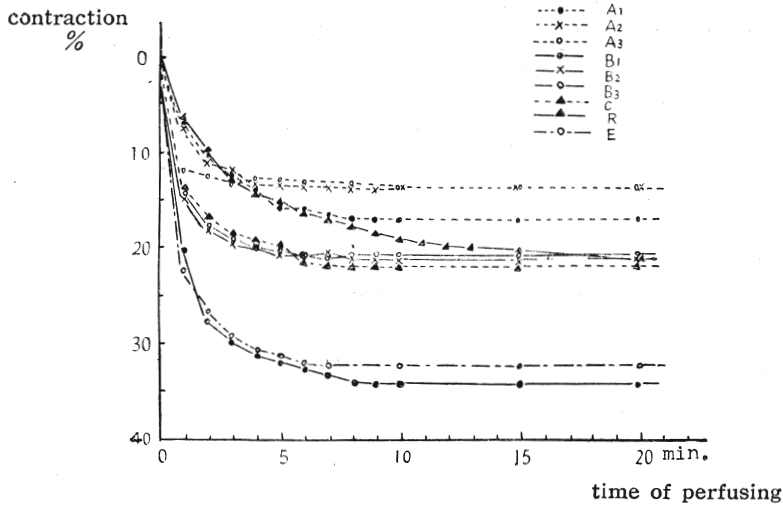


Fig. 2 Curves of muscle contraction in "Arai" phenomenon in various parts of body of carp at 20°C.

Part of body	Contraction %	pH	Total-P mg. %	Inorganic-P mg. %	7 min.-P mg. %	△7-P mg. %	Glucose mg. %
A <sub>1</sub>	17.24	6.70	203.3	123.3	143.3	20.0	440
A <sub>2</sub>	13.73	6.30	193.3	105.0	121.6	16.6	265
A <sub>3</sub>	13.75	6.55	203.0	106.6	129.9	23.3	310
B <sub>1</sub>	33.90	6.80	249.9	166.6	200.1	33.5	—
B <sub>2</sub>	21.32	6.65	208.3	117.3	143.3	26.0	290
B <sub>3</sub>	21.08	6.25	208.3	125.0	148.3	23.3	—
C	22.13	6.85	238.2	131.6	161.6	30.0	380
D	21.34	6.50	123.3	81.6	93.3	11.7	700

Table 1. Showing the values of the muscle contraction in "Arai" phenomenon, the amount of ATP, glycogen and pH values of various parts of body of carp.

即ち筋肉のpH値は魚体の各部位で異り、6.25~6.85の範囲を示した。そして「洗い」に依る収縮度の大きなB<sub>1</sub>、A<sub>1</sub>及びC部のpH値は高く、収縮度の小さいA<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>3</sub>部等は低い結果を示している。筋肉の収縮度はB<sub>1</sub>部が最も大きく、ついでC部及びB<sub>2</sub>、A<sub>1</sub>部等でA<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>部は最も小さく、収縮度の最も大きいB<sub>1</sub>部は33.9%も縮み、収縮度の最も小さいA<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>部の2倍以上に達している。筋肉内のATP態磷酸の量もB<sub>1</sub>部が最も多量で、ついでC部、B<sub>2</sub>、B<sub>3</sub>部と縮みの小さい部位となる程少量となつている、血合肉であるD部はATP量は少ないが収縮度は可成り高く、且つその収縮の仕方も他の白色筋肉とは異つて長時間にわたつて収縮が継続している。これは表に示すように血合肉部のglycogen量が他の骨格筋に比較し、著るしく多量に含有されていることと関係があるように思われる。

### I 死後経過時間と収縮度及びATP量の変化

断頭死させたコイを20°Cで貯蔵し、B<sub>2</sub>及びB<sub>3</sub>部の肉を使用して、死後経過中に於ける「洗い」に依る収縮度及びATP量の変化を調査した。実験結果は第2表の通りであつた。即ち死後時間の経過と共に収縮度は減少し、24時間後には却つて伸長の結果を示している。ATP量は30mg%から24時間後には零となつた。この場合の「洗い」に依る収縮度の減少と筋肉内のATP量の減少とは同様な傾向を示している。

Time elapsed, min.	Contraction %	Total-P mg. %	Inorganic-P mg. %	7 min.-P mg. %	△7-P mg. %	
0	24.7	181.6	93.3	123.3	30.0	
120	21.5	183.3	113.3	136.6	23.2	
240	12.3	—	—	—	—	rigor beginning
360	10.8	191.9	121.6	141.6	20.0	
600	8.5	178.3	125.0	131.6	6.3	rigor softish
1440	-0.2	178.3	131.6	131.6	0	

Table 2 Changes in muscle contraction in "Arai" and amount of ATP in the muscle during storage at 20°C.

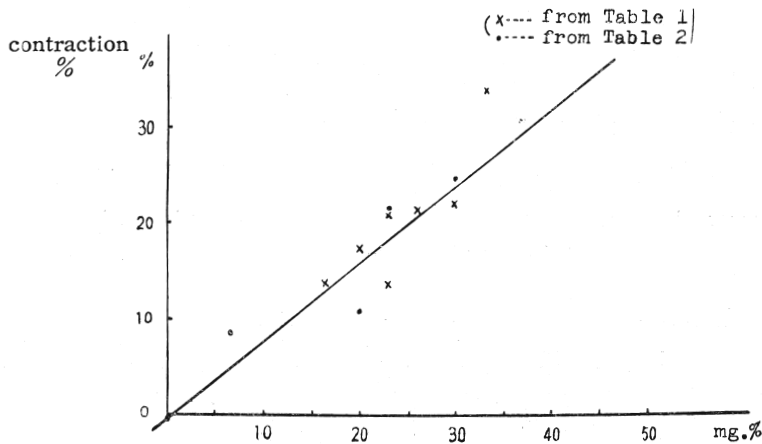


Fig. 3 A relation between the muscle contraction by "Arai" and the amount of A.T.P. in muscle.

III "洗い" による筋肉収縮と ATP の消費

断頭死を行つたコイ肉を種々の濃度の塩類溶液で灌流した場合の "洗い" に依る筋肉の収縮度及び 0.1mol の MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub> 溶液中に 6 分間浸漬した場合に消費された ATP 量を第 3 表及び第 4 表に示す。

Concentration mol.	Distilled water	MgCl <sub>2</sub> sol.					NaCl sol.				
		10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>
Time of perfusing, min.											
1	6.0%	—%	0%	0%	4.7%	2.5%	6.8%	2.3%	0%	4.9%	8.8%
2	11.0	—	0	0	4.7	3.8	10.2	3.4	1.0	7.3	11.8
3	14.0	—	0	0	4.7	3.8	13.6	4.4	1.0	9.8	13.7
4	16.0	—	0	0	4.7	5.0	14.8	4.4	3.0	12.2	14.7
6	20.0	—	0	0	4.7	5.0	15.9	5.7	3.0	12.2	15.7
8	22.0	—									

KCl sol.					CaCl <sub>2</sub> sol.				
10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>
6.5%	1.2%	3.3%	3.2%	7.4%	6.5%	22.2%	16.7%	—%	10.0%
7.7	2.3	7.7	10.5	11.1	9.1	28.4	20.9	—	14.4
11.0	4.6	11.0	12.6	13.6	10.4	30.9	24.2	—	16.7
13.2	7.0	12.1	14.7	15.4	13.0	32.1	25.8	—	17.8
15.4	10.3	14.3	16.8	19.8	15.6	34.6	27.3	—	20.0
17.6	10.6	14.3	17.9	21.8				—	

Table 3. Effect of some kinds of salts on "Arai" phenomenon (muscle contraction caused by perfusing water)

			Sample	CaCl <sub>2</sub> sol.	Distilled water	MgCl <sub>2</sub> sol.
Contraction %			—	34.6%	20.0%	0%
Muscle	Total-P.	mg. %	206.6	178.3	173.3	178.3
	Inorganic-P	mg. %	105.0	120.0	90.0	81.6
	7 min.-P	mg. %	136.0	120.0	111.6	113.3
	△7-P	mg. %	31.0	0.0	21.6	31.7
Solution	Total-P.	mg. %	—	40.0	33.4	38.4
	Inorganic-P	mg. %	—	11.7	20.7	11.7
	7 min.-P	mg. %	—	11.7	22.0	11.7
	△7-P	mg. %	—	0.0	1.3	0.0
Total	Total-P	mg. %	206.6	218.3	206.7	216.7
	Inorganic-P	mg. %	105.0	131.7	110.7	93.3
	7 min.-P	mg. %	136.0	131.7	133.6	125.0
	△7-P	mg. %	31.0	0.0	22.9	31.7
	Decreased <sup>△</sup> 7-P	mg. %	—	31.0	8.1	-0.7

Table. 4 Muscle contraction in "Arai" and amount of decreased ATP of the muscles in 0.1 mol. solutions of MgCl<sub>2</sub> and CaCl<sub>2</sub> at 6 min.

即ちMgCl<sub>2</sub>は筋肉の収縮を阻害するがCaCl<sub>2</sub>溶液は之を促進する。KCl, NaCl溶液もまた阻害する。そしてこの場合0.1mol 附近の等張液附近が最も強い促進又は阻害を示し、より稀薄となる程蒸溜水に依る“洗い”の場合の収縮度に接近する。また収縮の場合に残存するATPの量は収縮の激しい場合程残存するATPの量が少なく、殆んど収縮しない0.1molのMgCl<sub>2</sub>液の場合にはATP量が消費されないが、最も強く収縮するCaCl<sub>2</sub>液の場合には殆んど完全にATPが消費されている。

### 考 察

即ち新鮮な筋肉を水又は塩溶液で灌流する場合筋肉は収縮するが、その場合の収縮度と筋肉内のATP量を第1表及び第2表からplotすると第2図に示すようになり、明らかに直線的の関係を示して、筋肉の“洗い”に依る縮みは筋肉中に存在するATP量と比例するようと思われる。また筋肉のmyosinのATPase作用<sup>2)</sup>に対して阻害作用を示すと云われるMgCl<sub>2</sub>液では収縮を阻害し、促進作用を示すと云われるCaCl<sub>2</sub>液の場合には急激に強く収縮を示すこと、或いは灌流後の筋肉中に残存するATP量が、収縮を示さないMgCl<sub>2</sub>液の場合には殆んど消費されておらず強く収縮するCaCl<sub>2</sub>液の場合には殆んど完全に消費されておること等から、“洗い”の現象で見られる魚肉片の収縮は、筋肉内のATPの消費に依つて行われることは確であるように思われる。亦筋肉内のATPは漸次消費され、死後硬直完了時にはATPが完全に消滅することは既にErdös<sup>6)</sup>, Bate-smith<sup>2)</sup>, 藤巻<sup>7)</sup>等に依つて報告されているが、この研究に於ても確認され死後ATPの減少と共に“洗い”に依る収縮度も減少して、死後硬直完了時には共に零となる結果を示し、“洗い”に依る筋肉の短縮度から死後硬直時の鮮度判定が可能であることが期待されるようである。

更に死直後に於ける筋肉の各部位に於ける“洗い”に依る収縮度は筋肉の各部位に依つて差異があり、コイ肉に於ては背側筋の縮みが大きく、且つATP量もこの部位に多量に存在している。この部位の筋肉は加福<sup>8)</sup>も述べているように魚体の運動に於いて最も活躍する部分であることから当然であると思われるが他の魚類についても比較してみる必要がある。

尙血合肉部はATP量は少ないがglycogen量が多く、灌流時の短縮も持続的に長く継続する。このことは白筋が短時間の或いは早く繰返えず筋であるのに対して赤色筋は持続的運動に優れておる

と<sup>8)</sup>云うようなことから筋生理学上極めて興味のある事と思われる。

## 摘 要

(1) コイ肉を使用し, "洗い" の現象に依る筋肉の収縮度と筋肉内の ATP 量, glycogen 量, pH 値等の関係を調査した。

(2) 筋肉 pE 値は中性に近い程, また ATP 量が多い程 "洗い" に依る筋肉の収縮度が高い。

(3) 死後時間の経過と共に ATP は減少するが "洗い" に依る筋肉の収縮度も減少し, 死後硬直完了時には共に零となり, "洗い" に依る筋肉収縮度の測定から死後硬直時の鮮度判定の可能性が見られる。

(4) "洗い" に依る筋収縮は  $MgCl_2$  液で阻害され,  $CaCl_2$  液で促進される。この場合に消費される ATP 量は筋肉の縮みと一致すること等から "洗い" に依る筋肉の縮みは ATP 等の消費を伴って行われるものであろう。

## 文 献

- 1) Cutting: Ann. Rept. Food Invest. 39~40, 1939.
- 2) Bate-Smith: J. Physiol. 106, 117~185, 1947.
- 3) 天野慶之: 冷凍鯨肉の解凍硬直現象に関する研究 プリント, 1952.
- 4) 斎藤正行: "光電比色計に依る臨床化学" 1954.
- 5) K. Bayley: "Advance in protein chemistry" 1, 209, 1944.
- 6) T. Erdos: Stud. Inst. Med. Chem. Univ. Szeged. 3, 51, 1943.
- 7) 藤巻正生: 日本水産学会誌 19, 4, 499~504, 1953.
- 8) 加福竹一郎: 魚類学雑誌 1, 2, 89~100, 1950.
- 9) D. M. Needham: Phys. Rev, 1928.