The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	種々の環境下におけるメダカに及ぼすX線の影響について 6. 酸素の効果（その2）
Author(s)	菱田, 豊彦
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1959, 19(7), p. 1355-1359
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15949
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

種々の環境下におけるメダカに及ぼすX線の影響について

6. 酸素の効果（その2）

京都府立医科大学放射線医学教室（主任　金田弘教授）
京都府立医科大学生物学教室（主任　仲尾善雄教授）
菱　田　豊　彦

（昭和34年7月3日受付）

1. 緒　言

酸素の存在によつて放射線の生体に及ぼす作用が大きく影響されることは旧くから一般に“酸素効果 oxygen effect”として認められている．

1909年に Schwarz[1] が皮膚を無酸素状態にすることにより，放射線の障害が少いことを発見してより酸素効果については臨床的にも実験的にも数多くの報告がある[2)3)]．

酸素効果は動物の致死，腫瘍細胞や細菌の死滅，染色体切断あるいは突然変異誘発などの現象において広く一般に認められている．

Gray 等の報告[3)~6)]ではこの効果は環境の酸素含有量に関係し，酸素濃度が 0%から20%まで増加するにしたがつて，放射線感受性は急峻に上昇する傾向が見られているが，酸素濃度20%（大気中の酸素分圧と平衡にある状態）より 100%までは感受性の増大する傾向はきわめてゆるやかである．

周知のごとく大気中では1 l 中約 210ccの酸素が含まれているが，水中ではそれに比べるとひじように少く，1 l 中には約5～10cc含まれているにすぎない．したがつて水棲動物においては呼吸生理学的に陸棲動物と本質的な差があり，水棲動物は陸棲動物と比較して，その生活に酸素がより重要な役割を演じているにちがいない．

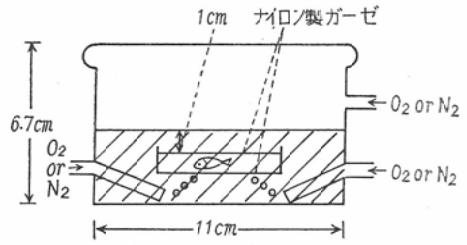
先に著者が行つたメダカの酸素効果に関する実験[7)]では，水中の酸素量を減少せしめると放射線感受性は低下するが，酸素の量を増加させると感受性が高まる傾向が認められた．

今回の実験は酸素効果について更に詳細に検討するため，同じくメダカを用いて水中の酸素含有量を種々に変えた場合の放射線感受性について比較検討を加えた．

2. 実験材料及び実験方法

淡水魚メダカ *Oryzias latipes* を採集し，一定期間実験室飼育に充分馴らした後，その中からほゞ一定の体長（2.5～3.5cm）を有するもの20個体（雄10，雌10）を選び実験に用いた．

第　1　図



第1図のような直径11cm，高さ 6.7cmのプラスチック製密閉装置を用い，その底面から 2.3cmまで水を入れ，その水表面から1cmの位置に2枚のナイロン製ガーゼを設け，その間にメダカを挿入するようにした．またその水中に側下方から2本の細管を通じて，酸素，窒素或は両者混合気体を送り込むようにした．同時に上部の気体部にも同一気体を送り込み，水中酸素含有量を一定にせしめた．

実験は次の5種の気体について行つた．

a）　窒素のみ

b)　窒素90%，酸素10%

c)　窒素80%，酸素20%

d)　窒素50%，酸素50%

e)　酸素のみ

以上の気体を水中及びその上部に照射約5分前より送り込み，水中の気体濃度を一定ならしめた後，メダカを2枚のナイロン製ガーゼの間にはさみ入れ，直ちに照射した．照射中通気を続け，照射終了と同時に通気も止めるようにした．

照射中における水の溶解酸素含有量は Winkler 氏の方法[8]により測定した．（第1表）．

レ線照射条件は 160kVp，1.5mA，濾過板なし，距離は水表面まで24cmであり，半価層 0.1mm Cu，線強度は57.7r/分であつて，5,000 r 及び 2,500r 照射した．5,000 r 照射に要する時間は 86.6分である．

第1表

実験群	通気ガス		水中酸素量	水中酸素分圧	
	O_2%	N_2%	O_2 cc/l	%	mmHg
a	0	100	1.5	4.4	33
b	10	90	3.6	10.5	80
c	20	80	6.4	18.8	143
d	50	50	15.3	44.8	340
e	100	0	30.2	88.6	654

照射時間が相当長いので，実験 (a) の窒素100%の場合及び実験 (b) の窒素90%の水中では照射全時間中通気を行うとメダカは全部死亡するため，15分間連続照射してのち5分間は照射を中止し，その休止期間中は酸素を補給して死亡することを避けた．すなわち5,000 r 照射の場合，照射完了までに5回の休止期間をとつた．他の場合は休止期間をもうけずに照射した．

以上各群について照射後30日間の生存率を観察した．

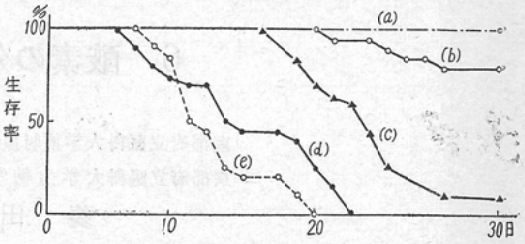
照射時水温は15℃であつた．

3.　実験結果

第2図は5,000 r 照射後30日間の生存曲線である．

(a)　窒素のみ通気した場合であり，30日までに1個体の死亡もなく，生存率は 100% である．

第2図　種々の水中酸素下における 5,000r 照射後30日間の生存率



照射後日数（5,000r）

a)	酸素 0%通気	水中酸素	1.5cc/l	(	4.4%)
b)	10% 〃	〃	3.6	〃	(10.5%)
c)	20% 〃	〃	6.4	〃	(18.8%)
d)	50% 〃	〃	15.3	〃	(44.8%)
e)	100% 〃	〃	30.2	〃	(88.6%)

(b)　窒素90%，酸素10%の混合気体を通気した場合で，30日までに20%の死亡率すなわち80%の生存率を示している．

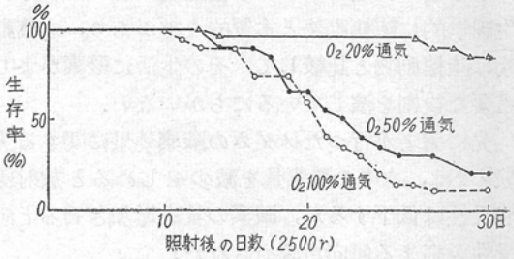
(c)　窒素80%，酸素20%の混合気体を通気した場合で，30日までに10%の生存率を示す．

(d)　窒素50%，酸素50%の混合気体を通気した場合で，照射後9日から死亡し始め22日で全個体が死亡する．

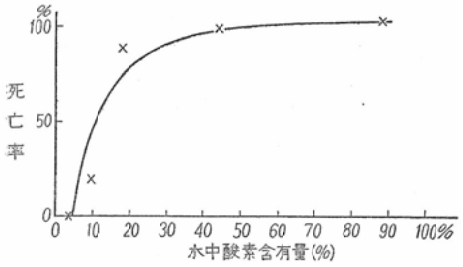
(e)　酸素のみを通気した場合で，照射後10日から死亡し始め，20日で全個体が死亡する．

以上水中酸素の含有量の増加につれて生存率の低下あるいは生存期間の短縮が認められる．けれども酸素50%通気の (d) 群の場合と酸素 100% 通気の (e) 群の場合とでは著明な差を見出し得ない．

第3図　種々の水中酸素下における 2,500r 照射後30日間の生存率



第4図　5000r 照射後30日の死亡率と，水中酸素含有量（%）との関係



第3図はこの関係をさらに詳細に知るために照射線量を 2,500r として，30日後の生存率を比較した場合の結果であるが，酸素50%通気群では20%の，酸素 100%通気群では10% の生存率を示し，この間に著明な差が認められなかつた．対照として酸素20%通気した場合の生存率は85%であつた．すなわち 2,500r 照射群においても5,000r を照射した場合と同様に，酸素50%通気群と酸素 100%通気群との間には著しい差が認められなかつた．

第4図は以上の結果より，5,000 r 照射後30日間の死亡率と水中酸素含有量（%）との関係を見たものであつて，水中酸素5%より30%に至る間には曲線の急峻な上昇が認められるが，40%以上になるとほとんど変化が見られない．

4．考　察

以上の曲線を比較すると水中酸素含有量の増加につれて，生存率の低下及び生存期間の短縮が認められるが，水中酸素44.8%の群（酸素50%通気の (d)群）と88.6%の群（酸素 100%通気の (e)群）の間では致死率に大きな差が認められない．これは水中の酸素含有量がある程度以上になればより以上上昇しても，レ線の効果に特に著しい影響のないことを示すものである．このような現象はレ線の生物学的作用に及ぼす酸素の効果として一般にみられるものである．*Vicia faba* の根端細胞，腫瘍細胞，*Tradescantia* の小胞子等のごとき微視的なものにおいても酸素含有量が20%以上になれば酸素効果に著しい差がみられない[3)~6)]．

しかし哺乳動物のリンパ節を使用しての Trowell の実験[9)10)]では，レ線の効果は媒液中の酸素量が 0ml/l から20ml/l（760mmHg の純粋酸素と平衡状態にある媒液）までは直線的に上昇するが，Gray も述べているように[2)11)]これは個々の細胞ではなく，細胞集団である組織であり，したがつて個々の分離細胞の場合と異り，その表面と内部とでは酸素圧が異ることが推測され，リンパ節の全細胞が同一の酸素圧を有するように処理されるならば，あるいは異つた結果が得られるかも知れない．何となれば，組織においては血管の近くにある組織酸素圧は高いが，血管より遠ざかるにしたがつて酸素圧が減少することが実験的に証明されているからである[12)]．

さらに著者の行つた実験の如く1個の組織ではなく生体全体を対象とした場合は機構がさらに複雑である．

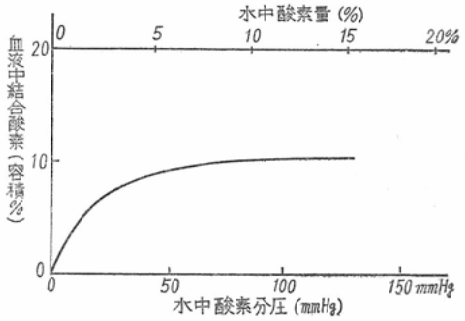
水棲動物では水中の酸素含有量の変化にともない血液の酸素量も異つてくる．魚類においては血中の酸素量はほとんどヘモグロビンの酸素結合状態によつて決定される．これについては Hill の理論式があり，

$$y = 100 \times \frac{kX^n}{1 + kX^n}$$

（y は酸素分圧 X の場合の Hb%，k は恒数）

淡水魚では $n=1$ とされているから双曲線を示すことになる[13)]．したがつて水中酸素分圧が50mmHg以上の場合はほとんど血中酸素量に変化がない．

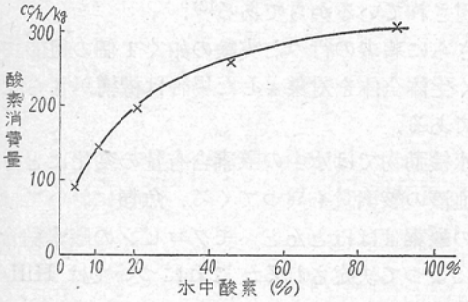
第5図　コイの血液の酸素吸収曲線[15)]



第5図はコイ *Cyprinus carpio* についてその関係を示したものである[14)~15)]．図のごとく水中酸素

分圧50mmHg 以上では血中酸素量に大きな変化がない．メダカの場合もこれと同様と考えられる．著者の本実験では水中酸素分圧50mmHg 以下のものは窒素 100%を与えた (a) 群 (33mmHg) のみで，他の場合は50mmHg 以上になる．もし放射線による致死効果が血中酸素量のみに依存するとすれば，(a) 群のみにその反応があらわれるわけであるが，著者の実験では (a) 群のみならず (b)及び(c) 群にも変化が認められた．このようなことより考えて血中酸素量と放射線による致死との間には直接関係がないと思われる．

第6図　水中酸素量とメダカの酸素消費量との関係



第2表

水中O_2量 cc/l	酸素分圧 %	酸素消費量 cc/h/kg
1.5	4.5	82
3.6	10.5	145
7.0	20.5	192
15.7	46.2	263
30.5	89.6	302

水中酸素量変化直後1時間の酸素消費量 cc/h/kg を示す．(水温16°C, Winkler 氏法により測定)

次に水中酸素量が増大すれば魚は水中酸素の過量を緩慢に呼吸することにより，また呼吸量を減少させることにより調節する．また血液の循環を緩かにすることによつて調節する場合も推定される．同様に酸素が欠乏したときには呼吸の促進，呼吸量の増加などによつて調節すると考えてよい．従つて水中酸素量に大きな変化が突然に起つた場合には漸次環境に順応するであろうが，水中酸素量の急激に増加した直後においては完全に環境に順応していないため酸素消費量は増大する．メダカを種々の酸素含有量の水中に移した直後においては酸素消費量は増大する．これを第2表及び第6図に示す．

すなわち水中酸素の増加につれて酸素消費量もまた増加するが，その関係は指数曲線を示すようである．しかも水中酸素が40%以上になつた場合には，これに伴つて酸素消費量が著しく増加する傾向がみられない．この関係は本実験におけるメダカに及ぼす酸素効果の傾向と似ており，レ線の効果は血中酸素量よりも酸素消費量と関係があるのではないかと推定される．

以上を総括してみると，水中酸素量の変化によつて，メダカは直ちにそれに対応すべく呼吸の調節と同時に血中酸素量の変化や血流速度なども変化するので，水中酸素量が変化した直後には酸素消費量にも変動を来す．このような時期にレ線を照射すると，水中酸素量が増すに従つてレ線感受性が大になるが，水中酸素量にはある一定の限界があり，その濃度が40%以上になつた場合にはレ線感受性にほとんど変化が認められない．この効果は血中酸素量よりむしろ酸素消費量に依存していると考えられる．

5. 要　約

1) 淡水魚メダカを用いて水中酸素含有量とレ線感受性の関係を検討した．

2) 水中酸素含有量が大なるほど生存率の低下あるいは生存期間の短縮が認められ，淡水魚メダカにおいても酸素効果があることを知り得た．しかし水中酸素が40%以上になると酸素効果には著しい上昇がみられない．

3) 淡水魚メダカにおける酸素効果は血中の酸素含有量よりもむしろ酸素消費量と関連性があるのではないかと推測される．

文　献

1)Schwarz, G., Münch. Med. Wochschr., 56, 1217～1218. (1909) — 2) Gray. L.H. & Churchill-Davidson, I. et al.: Brit. J. Radiol. 30(365), 402～422. (1957) — 3) Bacq, Z.B. & Alexander, P.: Fundamentals of Radiobiology, (1955), Butterworths, London. — 4) Gray, L.H. et al.: Brit J. Radiol., 26, 638. (1953) — 5) Gray, L.H.: Acta, Radiol., 41, 63～83. (1954) — 6) Giles, N.H., &Beatty, A.V.: Science, 112, 643～645,

(1950). — 7) 菱田豊彦： 日本医放会誌，19 (1). 105～108, (1958)— 8) 山本時男：動物生理の実験, 1949, 河出書房, 東京. — 9) Trowell, O.A.: Brit. J. Radiol., 26, 302, (1953) — 10) Trowell, O.A.: J. Path. Bact., 64, 687, (1952) — 11) Gray, L. H.: Radiation Res., 1, 180, (1954)— 12) Scott. O.C.A.: Brit. J. Cancer. 11 (1), 130～136, (1957) — 13) Baldwin, E.: An Introduction to Comparative Biochemistry, 1949, Cambridge University Press, London. — 14) 川本信之：魚類生理学，1956，岩崎書店，東京. —15) 本城市次郎：生物学ハンドブック，1953，岩波書

Effect of X-ray Irradiation on *Oryzias latipes* under Different Conditions
6. Effect of oxygen (2nd Report)

By

Toyohiko Hishida
Department of Radiology, Kyoto Prefectural Medical College
(Director: Prof. H. Kaneda)
Department of Biology, Kyoto prefectural Medical College
(Director: Prof. Y. Nakao)

The effect of X-ray irradiation on the survival of *Oryzias latipes* in water of different following oxygen contents were obserbed.

Group	Oxygen contents (m*l*/*l* water)	Concentration (%)
a)	1.5	4.4
b)	3.6	10.5
c)	6.4	18.8
d)	15.3	44.8
e)	30.2	88.6

The radiosensitivity of fish was proportional with the oxygen contents in water, but no remarkable difference was noticed between group (d) and group (e).

It is assumed that the radiosensitivity of fish is not influenced by the oxygen contents in blood, but by the oxygen consumptions of fish.