

ウナギ心電図の水中電極による導出

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	山森, 邦夫 羽生, 功 日比谷, 京
巻/号	37巻2号
掲載ページ	p. 94-97
発行年月	1971年2月

ウナギ心電図の水中電極による導出*

山森邦夫・羽生 功・日比谷 京

(1970年8月13日受理)

Electrocardiography of the Eel by Means
of Underwater ElectrodesKunio YAMAMORI, Isao HANYU, and
Takashi HIBIYA**

In the eel, *Anguilla japonica*, which has a heart with a strong electromotive force, the ECGs were found to be recordable by electrodes placed in the water apart from fish's body. An apparatus so devised that an "underwater electrode" was attached to either end of a plastic cylinder was submerged on the bottom of an aquarium. When the fish slipped into the cylinder, ECGs were easily recorded, being superimposed upon slow undulation of the base line caused by the respiratory movement of the fish. QRS complex of the ECG was marked, while P and T waves were identified with difficulty. The amplitude of QRS complex was about 0.5 mV.

This method enabled us to observe the heart rate of the eel under least disturbed state. Ordinary heart rate was not quite regular. Very slight stimulation was enough to bring about cardiac inhibition, which was also accompanied by a considerable reduction in the amplitude of the QRS. After rough treatment, such as deep anaesthesia or exposure to air, the heart rate showed remarkable compensatory increase, reaching a value a few times higher than the normal level. In the American eel, *A. rostrata*, QRS was about 0.02 mV. This indicates that the electromotive force of the heart in this species is much smaller than in *A. japonica*.

従来、魚類の心臓に関する生理学的研究においては、主として摘出あるいは露出した心臓が用いられており、魚体内における intact の心臓の活動が研究対象となることは少なかった。GAREY¹⁾ は心臓近傍に電極を差し込んで心電図を導出することによつて、海産魚数種につき、魚が水中にあるときおよび水から外に出されたときの心臓拍動の変化を比較した。RANDALL²⁾ も同様な導出法で心電図を観察し、麻酔薬 MS-222 は tench の心臓拍動を早める効果のあることを見いだした。これらの報告は心電図が魚体内における心臓活動を研究するための有力な方法であることを示しているが、電極を魚の体壁に差し込んだり、装着したりすること自体は、何らかの影響を与えるであろうことが懸念される。著者らは、ウナギ *Anguilla japonica* で、魚体から離れた環境水中にある電極によつても心電図を導出しうることを見だし、効果的な導出法を案出したのでここに報告する。

水中電極による導出法

既報³⁾のごとく、ウナギの心臓は起電力が大きいので、これによつて起こる電位変化は体内のみならず環境水中にも及ぶ。したがつて、ウナギの場合は電極を魚体に装着することなく、単に水中に置くだけで心電

* 昭和 43 年 4 月日本水産学会年会にて口頭発表した。

** 東京大学農学部水産学科 (Dept. of Fisheries, Faculty of Agriculture, the University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo)

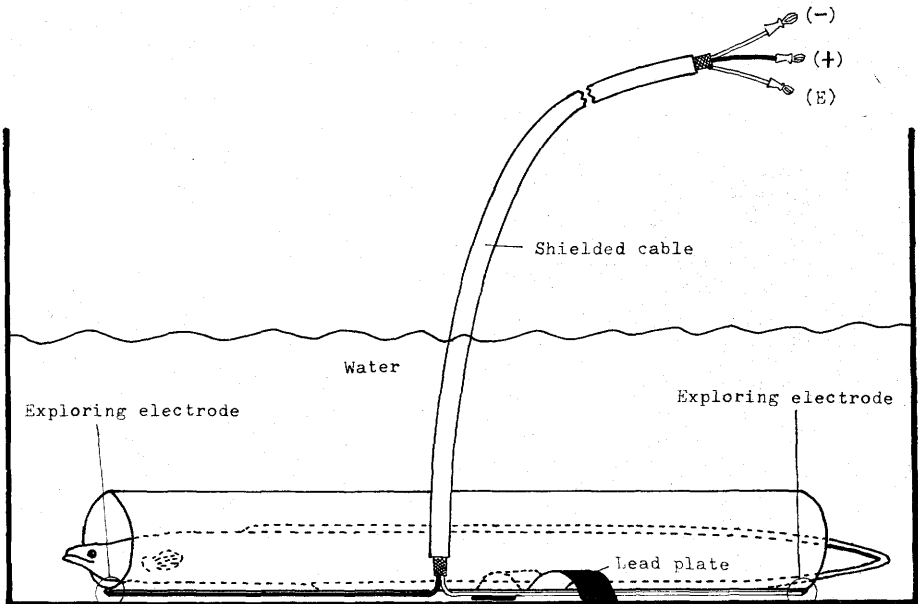


Fig. 1. Underwater electrodes for recording ECGs from an intact eel. Shielding meshes of a two conductor shielded cable were peeled for some length and tips of the vinyl covered copper wires were exposed. The exposed tips were attached to both ends of a plastic cylinder and served as the electrodes for recording potentials produced in the water by electrical activity of the eel's heart.

図を導出することができる。かくして導出される心電図の大きさ、波形は魚体と電極との位置関係によって異なるが、2つの電極が心臓の前後に置かれ、かつ心臓に近接するとき最大の電位変化が得られることが確かめられた。

これらの事実とウナギが円筒内を好む性質とを併せ考慮して、魚体と電極との位置関係が大きく変わらず、また電極の一方がなるべく心臓近くに位置するような装置を作製した (Fig. 1)。2芯のシールド線の一端、約 20 cm のシールド部を除去して内側のビニール被覆銅線 2 本を取り出す。次にこれを左右に開いて直径 5 cm、長さ 35 cm の塩化ビニール製円筒の外壁に取り付け、その先端部を円筒の両端から内部に折り曲げ、かつ 2 mm 程度露出して 2 つの導出電極とした。さらに電極が底部に来るように円筒の中央部外側に鉛板を固定した後、これを水槽内に沈めた。なお、シールド線のシールド部をアース電極として使用し、前報⁸⁾におけると同じ方法で心電図の観察・記録を行なった。

ウナギを水槽中に放つと、ブラウン管上には水の動揺によって生ずるゆるやかな基線の上下動に重なって、心電図の中の著明な成分である QRS 群が観察される (Fig. 2a)。ふつう、数分以内にウナギは円筒内に潜入し、ここにとどまるが、このとき魚の心臓と一方の電極との距離が近くなるので QRS 群の振幅は増大して観察が容易になる (Fig. 2b)。心電図は呼吸運動由来の水の動揺によって起こる基線の周期的上下動に重なるため、小さな成分である P および T 波の同定は困難であった。ウナギの頭部側の電極が尾部側の電極より高電位るとき上向きの偏位を示すように両電極を増幅器に接続すると、QRS 群は初め陰性、次に陽性の 2 相性の波形となり、その振幅は、個体によりまた電極と魚体との位置関係により多少変化するが、約 0.5 mV であった。

ウレタンを濃度 2% になるように水槽内に加えると、ウナギは一時呼吸運動を止め、この間、基線の上

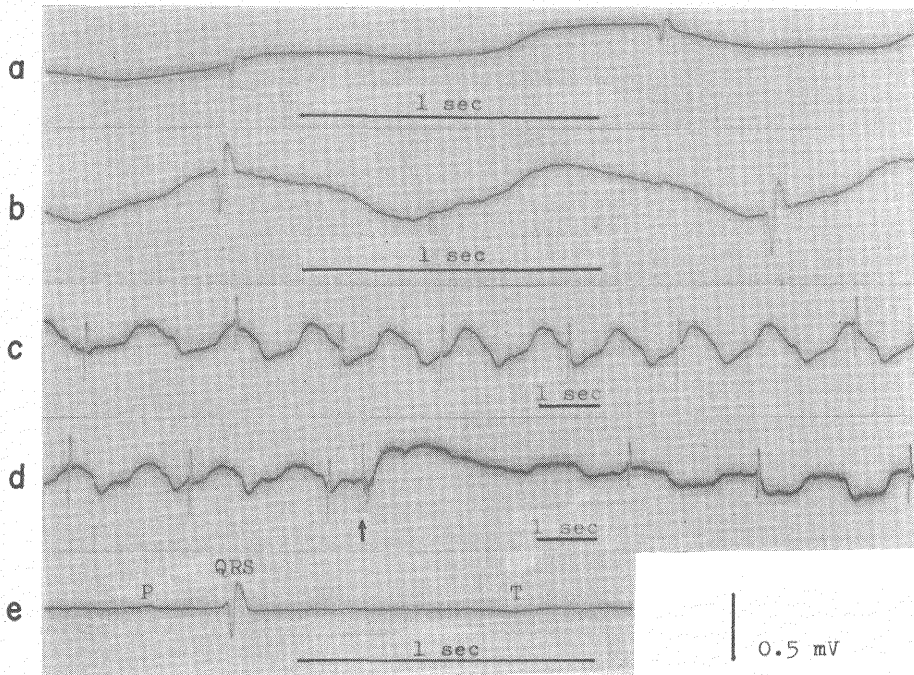


Fig. 2. ECGs of an intact *Anguilla japonica* recorded by the underwater electrodes.

- a) The eel was outside a cylinder placed on the bottom of an aquarium. Small QRS complex appeared on the undulating base line caused by the water movement.
- b) The eel lay in the cylinder. QRS complex became larger. Regular undulation of the base line was caused by the respiratory movement of the fish.
- c) Ordinary heart rate was not quite regular.
- d) Cardiac inhibition was easily caused by a slight stimulation, such as tapping the wall of the aquarium with a stick. After the inhibition the amplitude of QRS complex became smaller. Respiratory movement was also stopped. The arrow indicates the application of the stimulus.
- e) The eel was anesthetized and respiration was stopped. While the undulation of the base line ceased, P and T waves could be recognized.

下動は消滅するので電位変化の小さい P 波および T 波の存在も認められた (Fig. 2 e)。

水中電極による二・三の観察

この水中電極を使用することによつて、きわめて自然に近い条件下にあるウナギから心電図を導出することが可能となつたわけであるが、この方法を用いて予察的に行なつた二・三の観察結果を以下に述べたい。

魚類の心臓は迷走神経のみによる抑制的支配を受け、いわゆる迷走神経緊張の状態にあるので、平常時でも心拍の頻度は固有の値より低下したレベルに保たれるといわれる。このことは本法により測定されたウナギの平常時心拍数 (体重 67 g, 水温 21.5°C で 16/分) が摘出されて神経支配を脱した心臓の拍動数 (気温 23.5°C で 37/分) よりかなり低いことからもうかがわれよう。また感覚刺激に起因し、同じく迷走神経を介する心臓反射もきわめて鋭敏に起こることが知られた。たとえば実験室に入室する人の足音とか、水槽壁を棒で軽打するときの振動とかの微小な刺激によつて心拍動の一時的停止が見られた (Fig. 2 d)。さらにこのような反射的停止の後に出現する QRS 群の振幅は、以前に比してかなり減少しており、心拍数と共に次

第に回復することが観察された。この現象は迷走神経の抑制作用が増強すれば、心臓自動中枢の興奮周期のみならず、心臓内の興奮伝導も著しい影響を被ることを示すものと解される。

一方、GITTER⁴⁾ がヨーロッパ産ウナギ *A. vulgaris* の体表から心電図を導出する際に見いだした心拍間隔の不規則性は、水中電極による導出の際にも明らかに認められた (Fig. 2c)。摘出心臓においては心拍間隔はきわめて一様であるから、intact の心臓に見られるこの恒常的不規則性は、魚体では軽度の心臓反射が不断に起こっていることを示すものであろう。

以上はいずれも心拍数が低下する場合であるが、反対に増加する場合もあることが知られた。たとえばウナギを深く麻酔したり、水から外に出したりすると心拍動は当然抑制されるのであるが、次いで清水中に戻すと急激な心拍数の増加が見られた。1例では、水温 21°C のとき平常時心拍数が 17/分のウナギを 3 分間空中に出し、その後水中に戻したところ、心拍数は 5 分後に 51/分、30 分後 39/分、1 時間後 37/分、2 時間後 41/分、3 時間後 30/分、4 時間後 23/分となり、元のレベルに戻るまでにさらに数時間を要した。この場合、心臓の自動中枢に影響する要因として、迷走神経による支配の外に、血中の酸素圧、pH などが考えられるが詳細については目下検討中である。

考 察

従来、魚体を水から出したり¹⁾、あるいは魚体に触れたり⁵⁾ することにより容易に心臓反射を生ずることが知られているが、魚体内に電極を差し入れて心電図を導出する既往の方法では、麻酔、電極の装着に伴う傷害、リード線による自由遊泳の妨害などの影響により魚の反応がにぶることが考えられる。しかし、ウナギの場合には、これらの人為的障害は水中電極を用いることよつて除去することができ、微弱な感覚刺激によつても心臓反射を解発しうることは上述したとおりである。この鋭敏な心臓反射を利用して、逆に各種感覚刺激に対するウナギの閾値を測定することも可能と思われる。

本法による導出では呼吸運動に起因する電位変動が同時に現われ、これを呼吸運動の観察に利用することもできる。ただし心電図のみを観察するためには邪魔となるので、その際は増幅器の時定数を小にして、これらの遅い電位変動を抑えることが必要となる。

海水中のウナギに本法を応用することは困難であることがわかつた。導出される QRS の振幅は 10% 希釈海水 (1.72 Cl‰) 中で淡水中の値の約 1/20、海水中では約 1/100 にそれぞれ減少する。電気伝導度の大きい海水中では、心臓起電力によつて生ずる電位分布に導出できるほど大きい差異を生じないためであると思われる。

アメリカ産ウナギ *A. rostrata* (体重 42 g) に本法を適用したところ、導出される電位変化は小さく、QRS 群の振幅は 20 μ V 程度で、日本産ウナギの約 20 分の 1 となり、兩種間に心臓起電力の大きな差異があることが知られた。

他の魚種、コイ *Cyprinus carpio*、キンギョ *Carassius auratus* についても水中電極法の応用を試みたが、呼吸運動および魚体の動きに起因する電位変動に比較して心臓起電力により生ずる電位変化が小さく、麻酔時以外は心電図の導出は困難であつた。一方、ニジマス *Salmo gairdneri irideus* の心臓起電力はウナギほどではないがかなり強く、板沢・平田⁶⁾ は鰓蓋と背鰭直前部に電極を装着し、心電図を導出している。これは、ウナギのように円筒内に入り込む性質を持たない魚に対しては効果的な方法である。

文 献

- 1) W. F. GAREY: *Biol. Bull.*, **122**, 362~368 (1962).
- 2) D. J. RANDALL: *Nature*, **195**, 506 (1962).
- 3) 山森邦夫・羽生 功・日比谷 京: 本誌, **37**, 90~93 (1971).
- 4) A. GITTER: *Z. vergl. Physiol.*, **18**, 654~666 (1933).
- 5) B. KISCH: *Am. J. Physiol.*, **160**, 552~555 (1950).
- 6) 板沢靖男・平田敬郎: 日本水産学会九州支部昭和 43 年度第 2 回例会講演 (1968).