

FESによる魚の波状運動生成のための刺激位置考察

○瀬合 功(公立はこだて未来大学), 鈴木 恵二(公立はこだて未来大学)

要 旨

魚の行動を制御するにあたり, 始めとして一般的な魚の遊泳行動である波状運動の生成を FES による電気刺激によって行う. そこで, 波状運動生成にあたり, 効果的な刺激位置を探るための実験, 波状運動の生成に成功した.

1. 概 要

1匹の魚をコントロールすることにより, 魚群の行動をコントロール出来ないか. 魚が有する水中での高い運動性や適応能力を生かして水中の調査などが行えないか. サイバーフィッシュ構想では魚の行動の制御を行う. まずはじめに, 魚の行動制御に必要な要素として遊泳行動の生成が必要と考える. 本研究では, FES(機能的電気刺激)に基づいた電気刺激を用いた魚の行動制御を提案する. FESは生体機能の補助あるいは制御を行う電気刺激で, 麻痺患者のリハビリや治療に使用されている¹⁾. そのFESのシステムをベースにして, 魚の遊泳運動を生成することで, 魚の行動の制御を目指す. 本研究では, 魚の一般的な遊泳運動である波状運動の生成を目標とし, 魚の筋肉に対してFESを用いた電気刺激を加えることによって波状運動の生成を目指すと共に, 効果的に波状運動が生成可能な刺激位置について考察を行う.

2. 波状運動の生成

2.1 波状運動

魚の体側筋による波状運動が成立するための前提条件は魚体の体節構造である. 体側筋において, 体節構造は, Fig.1のような筋節として表れる. 筋繊維の走行方向は螺旋状で, 全ての筋繊維がほぼ同じ長さだけ収縮する. これは, 効率の良い等尺性収縮に近い. また, 筋節は脊髄内ニューロンの配列にも反映し, Fig.2のように脊髄には1つの筋節に対応する単位である脊髄セグメントが存在している. 各脊髄セグメントからは左右1本ずつ脊髄神経が出ている. 筋電図から得られたCPGの活動の様子が図4である同じレベルの左右の筋は左右のCPGの相互作用で交互に活動し, 前後の筋は進行方向から順に活動する. 本研究では, 図4のCPGのパターンのように体側筋を刺激することで, 波状運動の生成を試みる.

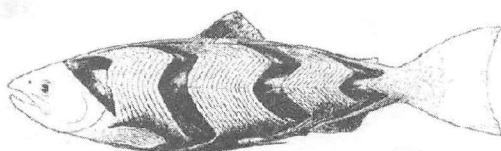


Fig. 1 Structure of myotome²⁾

波状運動を行っている筋から筋電の導出をされものが Fig.3 である²⁾. この波状運動時に導出される刺激パター

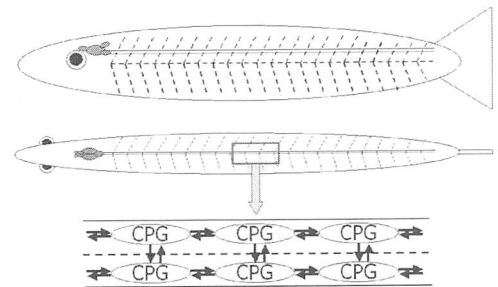


Fig. 2 pattern diagram show spinal cord segment²⁾

ンを参考にし, 魚の筋肉に電気刺激を与えることで, 波状運動の生成を行う.

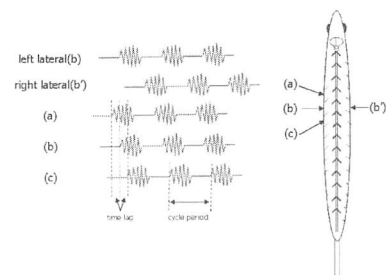


Fig. 3 activity of spinal motor neuron²⁾

2.2 FES(機能的電気刺激)

FES(機能的電気刺激)とは生体機能の補助あるいは制御を行う電気刺激である. 神経や筋系に加える電気刺激には持続時間の短いパルス電流が用いられる. 筋の収縮量を制御させるための刺激パルス列の変調方法にはAM, PWM, FMの3種類の方式がある. 筋を直接刺激する場合, AM方式とPWM方式のいずれの方式でも刺激強度-筋収縮特性には大きな差は無い. FESの臨床応用において, PWM方式の方が, 同じ収縮力を得る場合に少ない電力ですむことが実証されている¹⁾. 本研究では, PWM方式を用いる. 次に, 電極の設置方式にも表面電極, 埋め込み電極, 経皮電極の3種類に大きく分けることができる. 刺激を行うに当たり, 魚の体表の性質, 水中の魚に対して刺激を加える, などということを検討し, 本研究では経皮電極において電気刺激を行う方法をとる.

3. 実験

3.1 実験設定

実験には、波状運動で泳ぐニジマスを用い、刺激を与える際には麻酔を施した。刺激する波形やパターンはマイコンを用いて生成を行なった。刺激電極に針の電極を用い、また経皮電極として使用した。効率的な刺激位置を調べるに当り、下図のような刺激位置や刺激パターンの設定を用いた。電極の設置位置として,Setting1~4 と Setting6 においては側線付近,Setting5 では側線より上部の位置とした。

	Setting1	Setting2	Setting3	Setting4	Setting5	Setting6
Number of electrodes	2	2	4	4	4	4
Stimulation interval	1 sec	1 sec	1 sec	0.5 sec	0.5 sec	0.5 sec
Stimulation position						
Side						

Fig. 4 Experiment Settings

3.2 実験結果

各設定において刺激を与えた結果が Fig.5 である。

	Setting1	Setting2	Setting3	Setting4	Setting5	Setting6
Number of electrodes	2	2	4	4	4	4
Stimulation interval	1 sec	1 sec	1 sec	0.5 sec	0.5 sec	0.5 sec
Stimulation point						
Side						
Reaction	Contracting muscle	UltraWeak undulation	Weak undulation	Weak undulation	Contractile response to various directions of caudal fin	Undulation

Fig. 5 Experiment result

Setting1 において、電極を両側面に設置し刺激を行ったが、筋肉の収縮反応が見受けられただけであった。Setting2 においては、電極をすらすすることで、刺激を頭部から尾部に順番に流すことによって波状運動の生成を試みた。結果、わずかながら波状運動は観察できた。Setting3 および Setting4 において電極を増やすことで Setting2 の改良を試みた。Setting2 の結果よりは少しの波状運動の反応の拡大が見られた。Setting5 においては、側線から数センチ上部に電極を設置し刺激を与えたが、このときは尾鰭が垂直方向に収縮する反応が見られ、波状運動は観察できなかった。Setting6 において、電極の本数を増やし筋肉の刺激域を拡大し、刺激実験を行った。その刺激を与えた結果、得られた波状運動の様子が Fig.6 である。Fig.7 はその時の波形パターンなどの詳細な設定内容である。

4. 考察

Fig.3 のような魚の波状運動時に観測されるような筋の反応パターンを参考に、魚の筋に刺激を与える実験を行った。まず,Setting2,3,4 の結果から電気刺激を頭部か

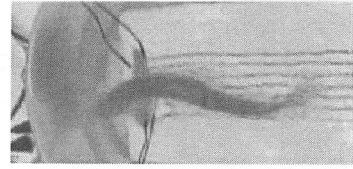


Fig. 6 Generated undulation

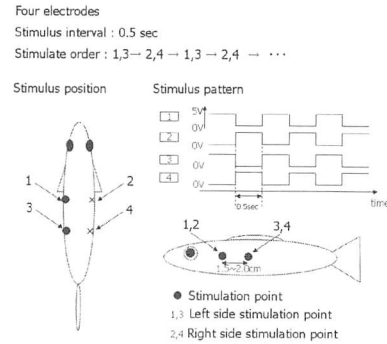


Fig. 7 setting 6

ら尾部の方向に順番に刺激を加えることで、弱いながらも波状運動が観測されたことより、このような電極の設置方法もある程度は有効な方法である。また,Setting1 は Setting6 において筋の刺激範囲が異なるだけであるが、波状運動の反応においては大きく違いが出た。魚の筋の性質を考慮し、筋肉の刺激する範囲の拡大を行い刺激を行った Setting6 において、よりはっきりとした波状運動が見られた。刺激範囲を広くすることで、波状運動における筋肉の反応の強さについて改善することが可能である。

また、電極の設置位置としても、筋肉の量、ニジマスの遊泳時の筋の運動の様子の観察した結果などを考慮し、波状運動時における筋肉の収縮反応が開始される位置の側線付近を始点とした。波状運動時の筋肉の収縮反応が開始される付近を始点とし、電極を設置することは,Setting6 において頭部側で起こった筋肉の反応が尾部方向へ伝播する様子が観察されたことにより、十分な筋肉の収縮が得られるなら有効な方法であると考えられる。側線より背鰭に近い位置に電極を設置した Setting5 において、波状運動が見られなかった。また、逆に下方に電極を設置した場合は魚の腹部にあたり、筋肉はあまり無く、電極の設置が困難であることより、側線付近に電極を設置することが容易で有効だと考えられる。

5. 結言

魚を制御するに当り、魚の移動手段の遊泳行動である筋肉の波状運動を生成するために、筋肉に対して電気刺激を加えて波状運動の生成を行う実験を行い、波状運動の生成に成功し、電極の設置位置等について考察を行った。

参考文献

- 1) 星宮望: 生体工学, 昭見堂, (1990).
- 2) 植松一真, 岡良隆, 伊藤博信 編: 魚類のニューロサイエンス, 恒星社厚生閣, (2002).
- 3) 有元 貴文, 難波憲二: 魚類の行動生理学と漁法, 恒星社厚生閣, (1996).
- 4) 会田勝美 編: 魚類生理学の基礎, 恒星社厚生閣, (2002).