

# 家兔半規管神經刺戟에 依한 反射性眼球運動機轉에 關하여\*

全南大學校 醫科大學 生理學教室

<指導 吉 洵 植 教授>

金 基 浩

=Abstract=

## Reflex Eye Movements Induced by Stimulation of the Semicircular Canal Nerve in Rabbits

Ki Ho Kim, M.D.

*Department of Physiology, Chonnam University Medical School*

(Directed by Prof. Won Sik Gill, M.D.)

According to recent observations of Cohen et al. the patterns of vestibular eye movements of rabbits are different from those of cats. However, the causes of such difference of the reflex eye movements in these species are not wholly explained. While the accumulated data obtained from cats appear to be established, experimental evidences in rabbits are rather meager. The author had re-examined the reflex eye movements of rabbits and attempted to find a mechanism which causes such difference in the reflex eye movements between two species.

In anesthetized rabbit, unilateral individual semicircular canal nerve was stimulated selectively with a fine insulated electrode which was inserted through a hole made on the corresponding osseous canal, under a dissecting microscope.

When an individual canal nerve was stimulated, the reflex movements of both eyes were observed, photographed, and recorded kymographically. Extraocular muscles were also studied to find their morphological characteristics and to correlate them with the function of the muscles.

1. At the beginning of the stimulation, both eyes moved to a specific direction depending upon the canal stimulated, and such directional eye movements were sustained during the whole course of stimulation. Amplitude of the eye movement showed graded responses to the increasing frequency of the stimulus, reaching to the maximal response at 200-300 cps.

2. Stimulation of the unilateral horizontal canal nerve caused conjugate eye movements, which was also observed in cats and other species by other investigators.

3. Stimulation of the unilateral vertical canal nerve caused a pattern of non-conjugate eye movements, which are different from those observed in cats. Such different patterns of vestibular eye movements in two different species are ascribable to the functional difference of the inferior and superior oblique muscles.

\* 本 論文의 要旨는 第 20 回 大韓生理學會에서 發表하였음.

## 緒 論

Flourens(1824)에 의하여 家兔 및 鳩의 內耳三半規管이 眼球의 運動과 姿勢의 調節에 對하여 重要な 役割을 營爲함이 證明된 以來 下等動物에 있어서는 三半規管의 眼球運動에 미치는 影響에 關해서 많은 研究報告가 있었으나, 高等動物에 있어서는 內耳三半規管의 直接刺戟이 實驗的으로 困難하기 때문에 몇몇 研究者들의 研究報告가 있을 뿐이다(Gernandt 1959, Cohen 1964).

Bender 및 Shanzer (1964), Gernandt 및 Thulin(1952) Brodal等(1962)에 의하면 迷路反射性眼球運動을 爲한 求心性反射路는 三半規管에서 起始하여 同側 및 反對側延髓의 迷路核을 지나 上行內側縱束을 이루어 眼運動神經核에 到達하며, 그 遠心性反射路는 動眼神經, 外旋神經 및 滑車神經等이다.

Fermin 및 Jonkees(1954)는 內耳半規管을 生理的으로 刺戟하여 反射性眼球運動을 觀察코저 實驗動物이나 被檢人을 回轉시켰으며 Bány(1907, 1911)는 熱刺戟(caloric stimulation)法을 使用하여 一側 單一半規管刺戟을 試圖한 바 있으나 이는 單一半規管을 選擇的으로 刺戟하는 優秀한 方法은 아니었다.

最近 Suzuki 및 Cohen(1964), Cohen等(1964, 1965a, 1967), Suzuki等(1964)은 猿, 家猫 및 家兔에서 三半規管膨大部에 接近토록 電極을 插入固定하고 單一半規管神經을 刺戟하였으며 이에 惹起되는 反射性眼球運動은 猿 및 家猫에서는 同一한 類型이었으나 家兔에서는 猿 및 家猫에서 觀察된 바와는 相異한 類型의 眼球運動이 惹起됨을 報告하였다.

著者는 從前에 三半規管의 電氣刺戟에 使用된 電極의 固定法을 改善하여 家兔에 있어서 單一半規管을 選擇的으로 刺戟하였으며 迷路反射性眼球運動을 觀察하고 從前에 使用된 實驗動物(猿, 家猫 및 家兔)中 家兔에서만 特異한 類型의 反射性眼球運動이 惹起되는 機轉에 對하여 究明하고자 하였으며 興味있는 知見을 얻었음으로 이에 報告하는 바이다.

## 實驗 方法

### 實驗動物의 手術處置 및 準備

成熟한 家兔(1.5~2.5kg)를 雌雄의 區別없이 urethane (1g/kg 體重)으로 麻醉하여 使用하였다. 迷路三半規管의 露出을 爲한, 手術 및 處置는 Andersson 및 Gernandt (1954), Szentágothai(1950), Cohen 및 Suzuki(1963)等이 記述한 方法을 使用하였으며, 動物을 側位로 固定하고 右側內耳를 解剖顯微鏡下에서 手術하여 鼓膜 耳小石 鼓膜張筋, 顏面神經等을 除去한 後 3個의 骨性半規管

(上半規管, 水平半規管, 下半規管)을 露出시키고 各半規管膨大部로부터 3~5 mm 位置에 直徑이 0.2 mm 內외의 小孔을 만든 後 이 小孔을 通하여 微細한 銅線을 그 末端단 남기고 enamel로 被覆한 後 膨大部를 向하여 插入하였으며 그 末端이 神經起始部에 接近토록 하고 固體 paraffin으로 固定하여 刺戟用電極(stimulating electrode)으로 하였다. Indifferent electrode는 頸部筋肉이나 咬筋內에 插入固定하였다.

刺戟은 square wave stimulator(American Electric Lab. Inc.)를 使用하였으며 刺戟強度와 矩形波持續時間은 任意로 固定하고 刺戟頻度를 變化시키어 刺戟하였다.

### 眼球運動의 觀察 및 記錄

半規管神經을 刺戟하여 惹起되는 眼球의 運動은 刺戟하는 半規管과 同側의 眼球뿐만 아니라 反對側眼球의 運動도 同時에 觀察하였으며 세가지의 方法 即 1)肉眼의 觀察, 2)寫眞攝影, 3)回轉圓筒上記錄(kymographic recording)等을 하였다.

肉眼의 觀察은 動物을 伏臥位로 固定하고 上眼瞼과 下眼瞼을 除去한 後 外眼筋을 露出케 하고 兩眼의 內直筋과 外直筋을 連結하는 線이 水平이 되도록 頭位를 維持하여 施行하였으며 眼球의 運動方向을 記錄 圖示하였다.

寫眞攝影은 眼球의 角膜中心部에 X字 形紙片을 附着한 後, 刺戟前 및 刺戟後에 眼球를 撮影하여 X字의 位置로서 眼球運動의 方向을 判斷하였다.

回轉圓筒上記錄(kymographic recording)은 家兔를 伏臥位로 固定하고 兩眼球의 角膜中心部를 絹絲로서 懸垂하여 書槓(recording lever)에 連結하여 記錄하였으며 兩眼球의 運動이 相互反對 方向일 때는 書槓의 上下 移動 方向도 反對方向이 되도록 하였다. 即 右側眼球가 上方으로 左側眼球가 下方으로 運動할 때는 右側眼球의 書槓은 내려가고 左側眼球의 書槓은 올라가도록 하였다.

## 實驗 結果

### 1) 半規管神經刺戟에 對한 眼球反應의 一般의 樣態

三半規管神經中 一個半規管神經을 選擇的으로 刺戟하던 刺戟하는 半規管에 따라 同側眼球뿐만 아니라 反對側 眼球도 一定한 方向으로 움직임을 보였다.

刺戟의 強度를 2 volt 內외로, 矩形波持續時間을 0.5 msec 로 任意로 固定하고 刺戟頻度를 變化시켜 刺戟한 結果, 低頻度 1~20 cps에서는 거의 反應이 없거나 極히 微弱한 反應을 보이고 刺戟頻度를 增加함에 따라 漸次 反應의 振幅도 增加되며 一般的으로 200~300 cps의 高頻度刺戟으로서 最大反應을 惹起하였다.

半規管神經의 刺戟을 始作하면 眼球는 急速히 움직이기 始作하고 刺戟을 繼續하는 期間은 움직인 狀態에서

머무르며 刺戟을 中止하면 徐徐히 原位置로 回復함을 보았다. 이와같은 事實은 全例에 있어서 例外없이 證明되었다.

II) 上半規管神經刺戟에 依한 眼球運動

右側上半規管神經을 刺戟하면 同側眼球는 垂直上方으로 움직였으며, 反對側眼球는 下前方으로 움직이고, 眼球前後軸(sagittal axis)을 中心으로 若干의 內回轉을 同伴하였다. 이 兩眼球의 運動은 刺戟을 始作하면 急速히 惹起되며 刺戟을 繼續하는 期間中에는 그대로 維持되나 刺戟을 中止하면 徐徐히 原位置로 回復하였다.

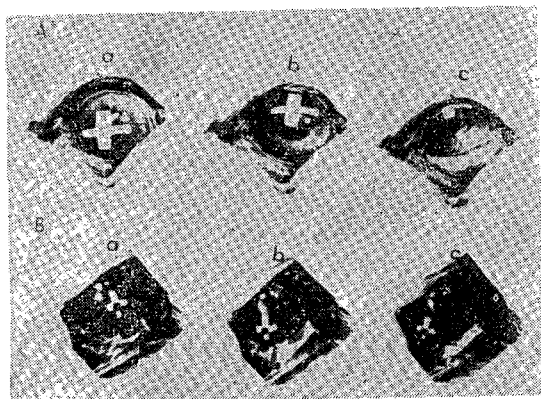


Fig. 1. Photographs of eye movements induced by electric stimulation of right superior semicircular canal nerve. White crosses were placed on the cornea and photographed at the beginning(a), during(b), and at the end of the stimulation (c). A, ipsilateral(right) eye movements; B, contralateral (left) eye movements.

이와같은 兩眼球의 運動은 肉眼의 觀察(Fig. 5) 寫眞撮影結果(Fig. 1) 및 回轉圓筒上 記錄(Fig. 2)에 있어서 모두 同一 하였으며 本項의 實驗에 使用된 16例의 動物에서 모두 反復證明되었다. 家猫에서 上半規管神經刺戟時 報告된 眼球運動과 比較하면 同側眼球의 運動方向은 同一하며 反對側眼球의 運動은 相異하였다.

III) 水平半規管神經刺戟에 依한 眼球運動

右側水平半規管神經을 刺戟하면 同側眼球는 水平前方으로, 反對側眼球는 水平後方으로 움직였다. 이와 같은 類型의 兩眼球運動은 家猫에서 水平半規管神經刺戟時에 報告된 共軛運動과 同一하며 本項의 實驗에 使用한 18例의 動物에서 모두 同一하게 觀察되었다(Fig. 3, Fig. 5 參照).

IV) 下半規管神經刺戟에 依한 眼球運動.

右側下半規管神經을 刺戟하면 同側眼球는 前方으로 움직이며 眼球前後軸(sagittal axis)을 中心으로 若干의 內回轉을 同伴하였으며 反對側眼球는 垂直下方으로 움직였다.

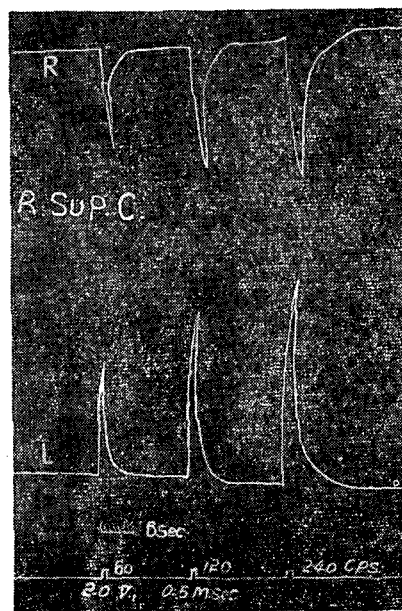


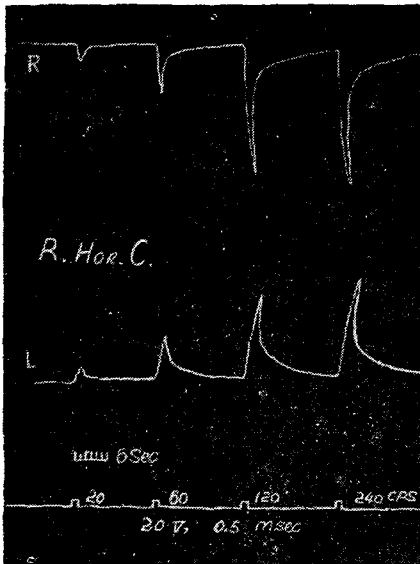
Fig. 2. Kymographic recording of the eye movements evoked by stimulation of right superior semicircular canal nerve. Central area of the cornea was threaded and the eye was suspended to a recording lever, and so set the lever to record downward movements of the eye as upward deflections of the curves, and upward movements of the eye as downward deflections of the curves. Stimulus intensity and pulse duration were fixed at 2 volts and 0.5 msec, respectively. Different frequencies of 60, 120, and 240 cps were used. L, left; R, right; R. Sup. C., right superior semicircular canal.

이와 같은 兩眼球의 運動은 家猫에서 下半規管神經刺戟時의 研究報告와 比較하면 同側眼球運動은 相異한 方向이며 反對側眼球運動은 同一한 方向 이었다. 이와같은 事實은 全例(16例)에 있어서 例外없이 記明되었다. (Fig. 4, Fig. 5 參照).

V) 家兔外眼筋의 形態의 觀察

上記한 바와같이 家兔에서는 家猫에서 이미 報告된 바 反射性眼球運動과는 相異한 類型의 眼球運動을 나타냈음으로 家兔의 外眼筋을 觀察하고 이미 報告된 家猫의 그것과 比較하여 보았다.

家兔의 上眼瞼과 下眼瞼을 除去한 後 外眼筋을 露出시키고 外眼筋의 走行方向, 起始部 및 附着部等을 詳細히 觀察하여본 結果 內直筋, 外直筋, 上直筋 및 下直筋等은 그 走行方向, 起始部 및 附着部等이 大體로 家猫의 그것과 同一함을 보았으나 上斜筋 및 下斜筋은 兩種動物에 있어서 相異한 形態의 特徵을 나타내고 機能의 差

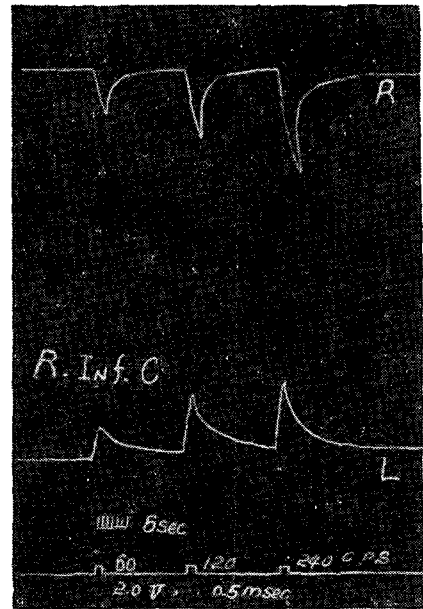


**Fig. 3.** Kymographic recording of the eye movements evoked by stimulation of right horizontal semicircular canal nerve. Central area of the cornea was threaded and the eye was suspended to a recording lever, and so set the lever to record medial(anterior) movements of the eye as downward deflections of the curves, and lateral (posterior) movements of the eye as upward deflections of the curves. Stimulus intensity and pulse duration were fixed at 2 volts and 0.5 msec. respectively. Different frequencies of 20, 60, 120, and 240 cps were used. R.Hor. C., right horizontal semicircular canal nerve stimulation; L, left; R, right.

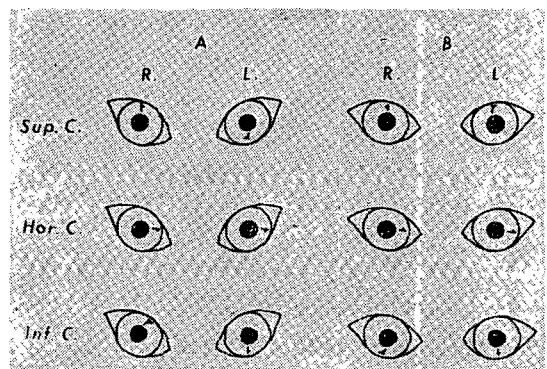
異를 認定할 수 있었다.

**上斜筋의 差異 :** 家猫나 家兔에서 上斜筋은 그 起始部는 同一하여 眼球後部の 楔狀骨小翼에서 起始하며 滑車를 通過하나 附着部는 相異하다. 家猫에서는 眼球의 外後四分儀(dorsolateral quadrant)에, 家兔에서는 眼球의 前方 即 上直筋의 附着部와 重疊하여 附着함을 보았다. 따라서 上斜筋의 收縮에 依하여 家猫에서는 眼球의 下方運動(depression)이 일어나며 알려져 있으나, 家兔에서는 眼球의 前上方運動이 惹起될 것으로 觀察되었다.

**下斜筋의 差異 :** 下斜筋은 兩種動物에서 그 起始部는 다같이 眼窩底內緣에 있으며 附着部는 相異하다. 家猫에서는 眼球의 外後四分儀(dorsolateral quadrant)에 附着하며, 家兔에서는 眼球의 前方, 下直筋의 附着部와 重疊하여 附着한다. 따라서 下斜筋의 收縮에 依하여 家猫에서는 眼球의 上方運動(elevation)이 일어나며 알려져 있으나 家兔에서는 眼球의 前下方運動이 惹起될 것으로



**Fig. 4.** Kymographic recording of the eye movements evoked by stimulation of right inferior semicircular canal nerve. Central area of the cornea was threaded and the eyeball was suspended to a recording lever, and so set the lever to record downward movements of the eye as upward deflections of the curves, and upward movements as downward deflections. Stimulus intensity and pulse duration were fixed at 2 volts and 0.5 msec. respectively. Different frequencies of 60, 120, and 240 cps were used. R. Post. C., right posterior semicircular canal nerve stimulation; L, left; R, right.



**Fig. 5.** Diagrammatic representation of the eyeball movements induced by electric stimulation of the unilateral(right)semicircular canal nerve. The arrows indicate the direction of the eyeball movement. A= The rabbit eye movements observed in the present experiments. B=The cat eye movements reported by Cohen et al. (1964) R, right; L, left; Sup. C., superior semicircular canal; Hor. C., horizontal semicircular canal; Inf. C., inferior semicircular canal.

觀察되었다(Fig. 6 參照). 이와같은 家兔外眼筋의 形態의 觀察은 全 12 例의 動物을 對像으로 하였다.

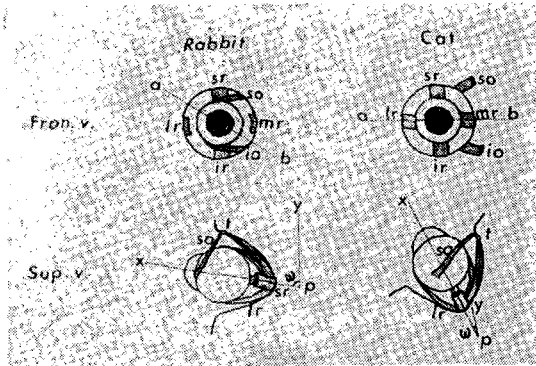


Fig. 6. Schematic representation of the extraocular muscles of rabbit and cat. Informations of the rabbit extraocular muscles obtained in the present experiments and those on the cat described elsewhere are presented for comparison.

Fron. v., frontal view; Sup. v., superior view; a-b, line between the internal and external palpebral raphe; x-p, optical axis; y-p, midsagittal line; sr, superior rectus; ir, inferior rectus; lr, lateral rectus; mr, medial rectus; so, superior oblique; io, inferior oblique, t, trochlea; ω, angle between optical axis and midsagittal line.

### 總括 및 考按

脊椎動物에 있어서 內耳三半規管을 刺戟하면 眼球은 反射的으로 運動하는데 이는 生理的으로 個體의 回轉運動 또는 角加速運動時에 顯著히 나타나며 迷路反射性眼球運動 또는 迷路性眼球震盪으로 불리운다. 이 迷路性眼球運動은 個體의 回轉方向에 따라 刺戟되는 半規管에 依하여 一定한 方向으로 나타나며 一定한 目標物에 對하여 視線을 固定하기 위한 一種의 反射性補償作用이다 (Gernandt 1959).

Fermin 및 Jonkees(1954)는 內耳三半規管을 生理的으로 刺戟하여 反射性眼球運動을 觀察하고자 實驗動物이나 被檢人을 單純히 回轉시키거나, 加速回轉시켰으나, 이는 兩側半規管을 同時에 刺戟하는 것임으로 一側單一半規管을 選擇的으로 刺戟할 수는 없었다.

Barány(1907), Dohlman(1925), Gernandt(1949) 등은 사람 및 猿에서 外聽道를 溫水 또는 冷水로서 灌流하여 一側單一半規管의 刺戟을 試圖하였으나 溫熱의 半規管神經에 對한 直接的作用을 排除할 수 없었다. Cohen 및 Suzuki(1963), Suzuki 등(1964) 및 Cohen 등(1964, 1965, 1967)은 猿, 家猫 및 家兔에서 三半規管膨大部에 接近하도록 雙電極을 插入固定하여 單一半規管을 刺戟하고

反射性眼球運動을 觀察한바 있으나, 內耳半規管은 微細한 構造로서 側頭骨內에 埋沒되어 있음으로 上記와 같은 電極의 固定法에는 여러가지 難點이 隨伴된다.

本實驗에서는 從前에 記述된 電氣刺戟에 있어서 電極固定上의 諸難點을 考慮하여 微細한 被覆單電極을 骨性半規管으로부터 半規管膨大部를 向하여 插入하고 半規管神經 起始部에 接近固定하여 刺戟함으로써 이 分野에 있어서 從前에 試圖된바 없는 電極의 固定方法이 考案使用되었다.

半規管神經刺戟에 依한 眼球運動은 大體로 高頻度(200~300 cps)의 刺戟에서 最大反應을 보였다. Cohen(1965 b)은 小腦의 電氣刺戟實驗에서 高頻度(250 cps 以上)의 刺戟으로서만 眼球運動을 觀察할 수 있었고, 金(1967)도 迷路橢圓囊神經을 比較的 高頻度(150~250 cps)로서 刺戟하여 伸長反射가 充進됨을 報告하였다. 迷路에서 始作하는 固有受容系(proprioceptive system)는 모두 高頻度의 刺戟에 對하여 容易하게 反應하는 것으로 보인다.

右側 上半規管神經을 刺戟하면 同側眼球은 垂直上方으로 움직이고 이는 Cohen 및 Suzuki(1963)가 家猫에서 觀察한 바와 같다. 이 同側眼球運動의 方向은 上直筋의 走行方向과 一致함으로 上直筋의 收縮에 依하여 일어나며, 一側上半規管이 刺戟받아 興奮하면 同側眼의 上直筋이 收縮하는 것으로 思料된다(Fig. 6 參照).

右側 上半規管神經을 刺戟하면 反對側眼球은 下前方으로 움직이고 眼球前後軸(sagittal axis)을 中心으로 若干의 內轉을 同伴하였는데 이는 Cohen 및 Suzuki(1963)가 家猫에서 報告한 바와는 相反된다. 이 反對側眼球의 運動은 下斜筋의 形態의 特徵이 나타내는 同筋의 作用方向과 一致함으로 下斜筋의 收縮에 依하여 일어나고, 一側 下半規管이 刺戟되면 反對側眼의 下斜筋이 收縮하는 것으로 思料된다.

右側 水平半規管神經을 刺戟하면 同側眼球은 水平前方으로 움직였고 이는 內直筋의 走行方向과 一致됨으로 內直筋의 收縮에 依하며, 一側 水平半規管이 興奮하면 同側眼에서는 內直筋이 收縮하는 것으로 思料된다.

右側 水平半規管神經을 刺戟하였을때, 反對側眼球은 水平後方으로 움직였고 이는 外直筋의 走行方向과 一致되므로 外直筋의 收縮에 依하며 一側 水平半規管이 興奮하면 反對側眼에서는 外直筋이 收縮하는 것으로 思料된다.

家猫에서는 兩眼이 頭部前方에 位置하며 兩眼의 optical axis(光軸)가 이루는 角度는 約 30 度에 不過하나 家兔는 兩眼이 頭部의 兩側方에 位置하여 있으며, 兩眼의 optical axis가 이루는 角度는 約 170 度나 된다(Cohen 1964). 家兔의 一側 水平半規管神經 刺戟時 同側眼의 水平前方運動 및 反對側眼의 水平後方運動은 家猫에서 一

側 水平半規管刺戟時 觀察된 兩眼球的 側方運動 即 共軛運動(conjugate movement)에 該當하며 家兎와 같이 兩眼球가 頭部의 側方에 位置한 動物에서 一種의 共軛運動(conjugate movement)이 그와 같은 類型으로 나타남은 興味있는 事實이다.

右側 下半規管神經을 刺戟하면 同側眼球的 前上方으로 움직였고 Cohen 및 Suzuki(1963)의 家猫에서의 觀察과는 相異하다. 이 同側眼球的 運動은 그 方向이 家兎 上斜筋의 形態의 特徵(起始部 및 附着部等)이 示唆하는 同筋의 作用方向과 一致되므로 上斜筋의 收縮에 依한 것으로 보이며 一側 下半規管의 興奮時에는 同側眼의 上斜筋이 收縮하는 것으로 思料된다.

右側 下半規管神經刺戟時, 反對側 眼球的 垂直下方으로 움직였고 이는 Cohen 및 Suzuki(1963)의 家猫에서의 報告와 同一하다. 이 反對側 眼球運動의 方向은 下直筋의 走行方向과 一致되므로 下直筋의 收縮에 依하며 一側 下半規管이 刺戟된 때에는 反對側眼의 下直筋이 收縮하는 것으로 思料된다.

前記한 바와 같이 著者の 家兎에서의 實驗結果와 Cohen 및 Suzuki(1963)의 家猫에서의 觀察을 比較하면 兩種動物間의 差異는 上半規管神經刺戟時의 反對側眼運動 方向과 下半規管神經刺戟時의 同側眼運動方向에 局限된다.

家猫와 家兎에 있어서 個個의 半規管과 各外眼筋을 機能的으로 連結하는 反射路는 同一한 것으로 推理되며 外眼筋中에서 上斜筋과 下斜筋이 兩種動物에 있어서 그 形態의 特徵(起始 및 附着部의 差異)으로 보아 機能을 달리하고 迷路反射性眼球運動에 있어 差異를 나타내는 것으로 思料된다.

## 結 論

麻醉家兎에서 選擇의 單一半規管神經을 刺戟하여 兩眼球的 反射性運動機轉을 究明함과 同時에 外眼筋의 形態의 特徵을 觀察하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 一側 迷路의 單一半規管神經을 刺戟하면 刺戟하는 半規管神經에 따라서 同側 및 反對側眼球的 一定方向으로 急速히 움직이고 眼球運動의 振幅은 刺戟頻度の 增加에 따라 增加되고 200~300 cps에서 最大反應을 보였다.

2) 一側垂直半規管(上半規管 및 下半規管) 神經을 刺戟하면 兩側眼球的 非共軛運動(non-conjugate movement)을 惹起하였다.

3) 一側水平半規管神經을 刺戟하면 同側眼은 水平前方, 反對側眼은 水平後方으로 움직이며 一種의 共軛運動을 惹起하였다.

4) 家猫에 있어서 上半規管神經 및 下半規管神經刺戟

時에 家猫에서 觀察된 바와 相異한 眼球運動을 나타낸 兩種動物間에 上斜筋 및 下斜筋의 形態의 및 機能的 差異에 基因하는 것으로 思料된다.

<終稿함에 있어서 懇篤한 指導 및 校閱을 하여주신 吉洵植教授 및 金在浹助教授님께 衷心으로 謝意를 表합니다>

## REFERENCES

- Andersson, S. and B. E. Gernandt: *Cortical projection of vestibular nerve in cat. Acta Oto-laryngol. Suppl. Stockh. 116: 10, 1954.*
- Bárány, R.: *Physiologie und Pathologie des Bogengangapparates beim Menschen. 1st Ed. p. 68, Vienna, Deuticke, 1907.*
- Bárány, R.: *Zur Theorie des Bogengangapparates. Zeitschrift f. Sinnes Physiologie. 55:63, 1911.*
- Bender, M.B. and S. Shanzer: *Oculomotor pathways defined by electric stimulation and lesions in the brain stem of monkeys. In the Oculomotor System. 1st Ed. p. 81. M.B. Bender, Harper, New York. 1964.*
- Brodal, A., O. Pompeiano, and F. Walberg: *The Vestibular Nuclei and Their Connections, Anatomy and Functional Correlations. 1st Ed. p. 126, Thomas, Springfield, Illinois. 1962.*
- Cohen, B., K. Goto, and K. Tokumasu: *Return Eye Movements on Ocular Compensatory Reflex in the Alert Cat and Monkey. Exp. Neurol. 17: 172, 1967.*
- Cohen, B., J. Suzuki, and M.B. Bender: *Eye movements from semicircular canal nerve stimulation in the cat. Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. 73: 153, 1964.*
- Cohen, B., J. Suzuki, and M.B. Bender: *Nystagmus induced by electric stimulation of ampullary nerves. Acta Oto-laryngol. 60: 422, 1965 a.*
- Cohen, B. and J. Suzuki: *Eye movements induced by ampullary nerve stimulation. Am. J. Physiol. 204: 347, 1963.*
- Cohen, B., K. Goto, S. Shanzer, and A. H. Weiss: *Eye Movements induced by Electrical Stimulation of the Cerebellum in the Alert Cat. Expt. Neurol. 13: 145, 1965 b.*
- Cohen, B.: *The vestibular system and its diseases, 1st Ed. p. 131, The University of Pennsylvania Press., Philadelphia, 1964.*
- Dohlman, G.: *Physikalische und Physiologische Stud-*

- ien zur Theorie des Kalorischen Nystagmus. *Acta Oto-laryngol. Suppl.* 5, 1925.
- Fermin, H. and L.B. Jongkees: *The action of the various eye muscles during rotation. Practica Otorhinolaryngol.* 16:125, 1954.
- Flourens, M.: *Recherches experimentales sur les proprietes et les fonctions du systeme nerveux dans les animaux vertébrés. Crévet, Paris.* 1824.
- Gernandt, B.E.: *Response of mammalian vestibular neurons to horizontal rotation and caloric stimulation. J. Neurophysiol.* 12:173, 1949.
- Gernandt, B.E.: *Vestibular Mechanisms in Handbook of Physiology, 1st Ed. Sec. I. Vol. 1. p. 549, American Physiological Society, William and Wilkins, Baltimore, 1959.*
- Gernandt, B.E. and C.A. Thulin: *Vestibular connections of the brain stem. Am. J. Physiol.* 171:121, 1952.
- 金在浹: 除腦 고양이에 있어서 前庭橢圓囊神經刺戟이 伸長反射에 미치는 影響. *現代醫學* 7:197, 1967.
- Kohji Tokumasu, Kazuyoshi Goto, and Bernard Cohen: *Eye Movements produced by the Superior Oblique Muscle. Ach. Ophthal.* 73: 851, 1965.
- Suzuki, J. and B. Cohen: *Head, eye, body and limb movements from semicircular canal nerves. Exper. Neurol.* 10: 393, 1964.
- Suzuki, J., B. Cohen, and M.B. Bender: *Compensatory Eye Movements induced by Vertical Semicircular Canal Stimulation. Exper. Neurol.* 9: 137, 1964.
- Szentágothai, J.: *The elementary vestibular reflex arc. J. Neurophysiol.* 13:395, 1950.