

# 瞳孔括約筋と瞳孔散大筋の反応速度の差について (図5)

芳野 秀晃・鈴木 亮・花田 美穂 (山口大学医学部眼科学教室)

## 要 約

瞳孔括約筋と瞳孔散大筋の反応速度の違いをウシ摘出虹彩標本を用いて調べた。そのために同じ部位の瞳孔括約筋と瞳孔散大筋を摘出し同一の筋浴槽、同一の灌流液、同一の時刻に同一の神経刺激をおこなった。1. 瞳孔括約筋は瞳孔散大筋より神経刺激に速く応答した。即ち反応が最大になるまでの立ち上り時間、反応をおこしてから元の位置にもどるまでの時間は有意に瞳孔括約筋において速かった。2. Toneが上昇し瞳孔括約筋に神経起因性収縮(第1反応)と抑制反応(第2反応)が生じたときでも瞳孔括約筋は瞳孔散大筋と反応の時間経過を異にしていた。3. 瞳孔括約筋と瞳孔散大筋は種々の神経因子、ブドウ膜の内因性生理活性物質、前房水中のイオンにより、あるいは2つの筋の反応を少し互いにずらすことにより虹彩の運動を円滑なものにしていくと考えた。(日眼会誌 93:524-528, 1989)

キーワード: 内眼筋, 瞳孔括約筋, 瞳孔散大筋, 収縮速度, 瞳孔

## Responses between Iris Sphincter and Dilator evoked by Cholinergic Nerve Stimulation

Hideaki Yoshino, Ryo Suzuki and Miho Hanada

Department of Ophthalmology, Yamaguchi University School of Medicine

### Abstract

Responses of bovine iris sphincter and dilator evoked by single electrical stimulation were recorded in vitro. In order to examine the time course of the iris sphincter and the dilator, the two muscle strips were investigated under the same conditions; i.e., the iris sphincter and the dilator were immersed in parallel in a 0.5ml organ bath, thus perfused with the same fluid and stimulated by the same electrical pulses.

Remarkable difference was found in the time courses between the iris sphincter and the dilator, and this difference was discussed in relation to pupil movement. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 93: 524-528, 1989)

Key words: Intraocular muscles, Iris sphincter, Iris dilator, Contractile speed, Pupil

## I 緒 言

内眼筋には幾種類もの神経が存在している。虹彩の平滑筋には副交感神経が分布しており<sup>1)-3)</sup>、瞳孔括約

筋では収縮を瞳孔散大筋では弛緩をひきおこす<sup>4)</sup>。したがって瞳孔散大筋は瞳孔括約筋の収縮を助けることになり、更に瞳孔が縮瞳するので2つの平滑筋の運動は合理的に営まれていることが示唆される<sup>4)</sup>。

別刷請求先: 755 宇部市西区小串1144 山口大学医学部眼科学教室 鈴木 亮  
(昭和60年4月19日受付, 平成元年1月28日改訂受理)

Reprint requests to: Ryo Suzuki, M.D. Dept. of Ophthalmol., Yamaguchi Univ. School of Med.  
1144 Kogushi, Nishi-ku, Ube 755, Japan

(Received April 19, 1985 and accepted in revised form January 28, 1989)

同一の神経が作働したときに瞳孔括約筋と瞳孔散大筋が共に同じ速度または同じ時間経過で運動していれば、瞳孔の反応は効果のよいものになるはずである。

しかしながら、私達は瞳孔括約筋と瞳孔散大筋の反応の時間経過が大きく異なっていることに気づいた。このことを客観的に検討するため同一の眼球の同一の場所（虹彩の12時または6時）からとり出した瞳孔括約筋と瞳孔散大筋を同一の筋浴槽の中に懸垂し、同じ液で灌流しながら同じ時刻に神経刺激をおこなって2つの筋の反応を同時に記録することにした。このようにすれば2つの筋を同じ条件で調べたことになる。その結果、瞳孔散大筋は瞳孔括約筋に比し有意に反応が遅いことを認めたのでその現象を記載し、理由を考察した。

## II 実験方法

実験動物はウシを用いた。眼球摘出後、直ちに瞳孔括約筋（ $1 \times 4\text{mm}$ ）と瞳孔散大筋（ $2 \times 3\text{mm}$ ）を同一の眼球の同一の部位より摘出した。絹糸を用いて0.5 mlの筋浴槽内にこれら2つの筋肉を一緒に懸垂し一端を固定、他端を記録系に接続した。

筋張力の記録はFD-pick up (TB-612T, 日本光電), carrier amplifier 前置増幅器 (AP-620G, 日本光電), 記録系 (UP-6522A, ナショナル) による。電気刺激は銀-塩化銀電極を介して刺激装置 (MSE-3R, 日本光電) により1回経壁刺激をおこなった。1回電気刺激には0.02~500msec持続のパルスを用いた。刺激電圧は60V (Supramaximal) である。Krebs液に95%O<sub>2</sub>-5%CO<sub>2</sub>混合ガスを通気してpH 7.4, 温度36°Cを保った。Krebs液の組成はNa<sup>+</sup> 137.4, K<sup>+</sup> 5.9, Mg<sup>2+</sup> 1.2, Ca<sup>2+</sup> 2.5, Cl<sup>-</sup> 134.0, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> 1.2, Hco<sub>3</sub><sup>-</sup> 15.5, glucose 11.5mMである。

実験方法の詳細は既に記した<sup>4)5)</sup>。

## III 結果

まず瞳孔括約筋と瞳孔散大筋を同じ条件で約40分間incubateし、反応が一定になるのを待って実験を開始した。標本によっては0.1msecパルス幅の電気刺激でも筋の反応を惹起させることが可能であった。この反応はtetrodotoxinではほぼ完全に遮断された<sup>5)6)</sup>ので、神経原性であるということが出来る。

同じ条件で1回電気刺激した瞳孔括約筋と瞳孔散大筋の反応を図1に示す。各々別の眼球からとった標本a, bを1回刺激すると瞳孔括約筋が収縮し、それが最

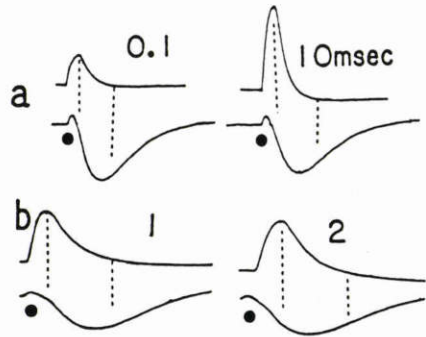


Fig. 1 Typical responses of the bovine iris sphincter (upper trace) and dilator (lower trace). Electrical stimulation was applied at dots (1msec pulse width). The sphincter reacted faster than the dilator. Two examples (a-c) were obtained from different strips. Vertical bar 100mg, horizontal bar 1sec.

大に達した時(最初の破線), 瞳孔散大筋はまだ弛緩しきっていない。また瞳孔括約筋が収縮を終えて baseline に達した時(2回目の破線)瞳孔散大筋はまだ弛緩を終えていないことがわかった。a, bは同じ眼球の同じ部位からとった標本で、全く同じ条件で調べていることを考えると、(序, 方法参照), 虹彩の2つの平滑筋の反応速度あるいはその時間経過が著しく異なっていると考えるよかろう。

瞳孔括約筋の最大収縮までの時間は刺激のパルス幅が0.05~0.3msecまではパルス幅に比較して大きくなった。しかしながら0.3~500msec (0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100msec)ではパルス幅と最大収縮までの時間は大略0.5~0.75secで一定であった。

瞳孔散大筋にみられる副交感神経起因性の抑制反応<sup>4)</sup>は2msecで最大に達し、0.1~1msecでは刺激のパルス幅に応じて時間を要することがわかった。2msec刺激で最大弛緩までの時間は標本により異なるが1.8~2.4secであった。これらの反応はatropineで遮断されたので共に副交感神経を介している<sup>4)</sup>。パルス幅にも依存するが、反応が最大に達する時間は明らかに両方で差があった。

以上瞳孔括約筋では最大収縮, 瞳孔散大筋では最大弛緩に到るまでの時間を標本毎に調べ刺激パルス幅との関係を図2, 図3にまとめた。

瞳孔括約筋と異なり瞳孔散大筋は1msec以下のパルス幅の電気刺激に対し、反応の良好な標本が13例中

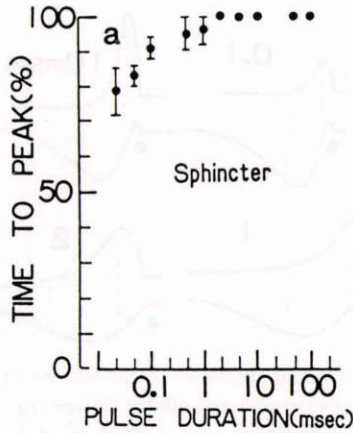


Fig. 2 Time from electrical stimulation to maximal response of the bovine iris sphincter (a; ●). Vertical bars show S.E.M.

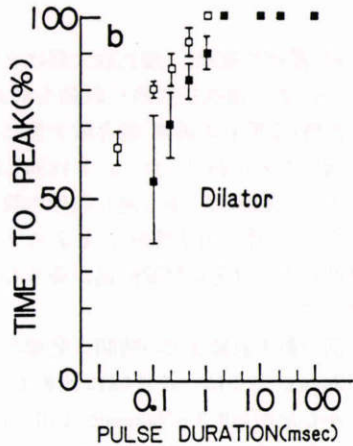


Fig. 3 Time from electrical stimulation to maximal response of the bovine dilator (b; ■, □). Strips exhibiting good response in relation to short pulse duration (<1msec) were shown by open squares (□) in three out of 13 cases. The other cases (10/13 experiments) shown by closed squares (■). Vertical bars show S.E.M.

3例にみられた。

瞳孔括約筋と瞳孔散大筋の電気刺激に対する反応高を図4、図5に示した。瞳孔括約筋、瞳孔散大筋の反応は共に2~3msecのパルス幅で最大に達し、また、より長いパルス幅に対する反応性は2つの筋で類似していた。瞳孔散大筋の弛緩の大きさとパルス幅の関係は別報に既に示されている<sup>4)</sup>。

毛様体筋でも収縮は1~2msecの電気刺激で最大

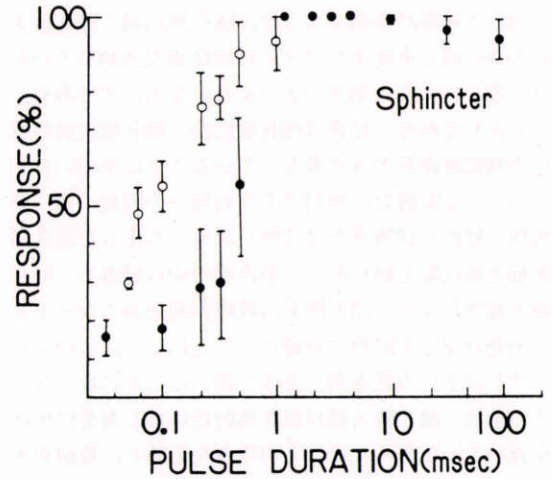


Fig. 4 Effect of electrical stimulation on the bovine iris sphincter. Maximal response was obtained by electrical stimulation with 1~2msec pulse width. Strips exhibiting good response in relation to short pulse duration (<1msec) were shown by open circles (○) in five out of 13 cases, the other cases (8/13 experiments) by closed circles (●). Vertical bars show S.E.M.

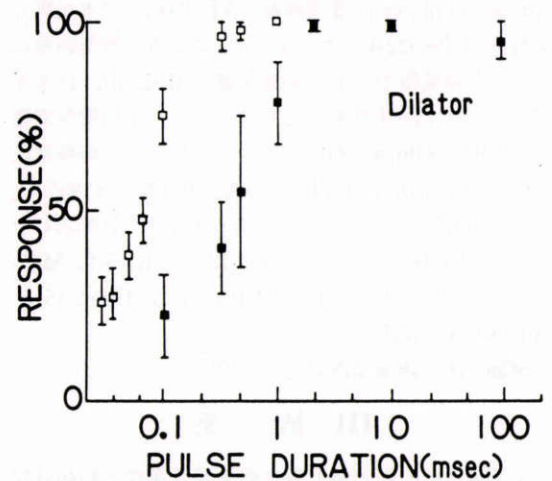


Fig. 5 Effect of electrical stimulation on the bovine iris dilator. Maximal relaxation was obtained by electrical stimulation with 1~2msec pulse width. In two out of nine cases, the dilator reacted well to electrical nerve stimulation under 1 msec pulse width (□). The other cases (7/9 experiments) were shown by closed squares (■). Vertical bars show S.E.M.

に達することが知られており<sup>5)</sup>、一般の平滑筋のクロナキシーが数10msecであることを考慮する<sup>7)</sup>と単発の電気刺激に反応することに加えこのように短いパルス幅で最大反応をきたすのは内眼筋の特徴の1つと考えることができる。

瞳孔括約筋の反応はこのように瞬敏な副交感神経起因の収縮が主であるが、標本を incubate している間には瞳孔散大筋と異なり次の2種類の反応もみられる<sup>4)</sup>。すなわち瞳孔括約筋の tone の高いときには神経刺激により収縮の後に抑制神経に起因する著明な弛緩があらわれた。いま1つはこの収縮—弛緩に続く第3の収縮成分であるが、これは特別な条件下に発生するので、私共は頻繁にみられる第2の抑制反応の時間経過も瞳孔散大筋と比較することにした。

瞳孔括約筋がこの抑制神経により弛緩するまでの時間は刺激のパルス幅5msecではほぼ一定(5.2~5.8sec)しており長いパルス幅(100, 300, 500msec)では6.5~7secを要した。0.1~10msecまでは刺激のパルス幅に応じて増大した(5~6.5sec)。したがって、第2の抑制神経の反応まで考慮に入れても瞳孔散大筋の反応の時間経過と瞳孔括約筋のそれとは一致しない。

第3の収縮成分が発生したときその時間経過は極めて遅く、この場合も瞳孔散大筋の反応とは時間的にずれがみられた(未発表)。

瞳孔括約筋と瞳孔散大筋の典型的な反応は他所で既に示した<sup>4)</sup>。

#### IV 考 按

ウシ瞳孔散大筋は神経刺激に対して小さな収縮と弛緩反応、または弛緩反応のみを示したのに対し、ウシ瞳孔括約筋は収縮のみの1相性、収縮と後弛緩の2相性、収縮、弛緩とそれに続く緩やかな収縮の3相性の反応を incubation の時間により示すことが知られている<sup>5)</sup>。1相性の副交感神経興奮性収縮と2相性の最大弛緩に致るまでの時間経過はいずれも瞳孔散大筋が最大に弛緩するまでの時間と一致しなかった。

瞳孔が迅速に反応するためには神経が作動したときに瞳孔括約筋と瞳孔散大筋が共に同じ速度で反応するのが合理的と考えられる。しかしながら瞳孔散大筋の反応は瞳孔括約筋の反応に比べはるかに長い時間経過を必要としていたのである。

私達の実験は序に記した如く同じ眼球の同じ部位からこれら2つの筋肉を摘出し同じ筋浴槽につけ、同時

に神経刺激をおこなっている。したがってこの時間経過の差を個体差として考えることは妥当でない。

瞳孔散大筋に分布している抑制性の副交感神経が瞳孔括約筋の収縮を助け縮瞳が合理的におこなわれていることが報告されている<sup>4)</sup>。電気刺激条件<sup>8)</sup>、種々の神経因子<sup>9)</sup>、ブドウ膜の内因性生理活性物質、前房水中の2価カチオン<sup>10)</sup>によって虹彩の運動は大きく支配されている。したがってこれらの因子を考慮することで協同的であるべき瞳孔括約筋と瞳孔散大筋の反応時間の差を矛盾なく説明できるのか否か、今後更に検討したい。

今1つの考えは、瞳孔括約筋と瞳孔散大筋は生体でも反応速度がもともと違っているのではないかということである。2つの筋の反応が一致した場合、縮瞳から散瞳、散瞳から縮瞳への転化があまりにも急激に生じる恐れもある。すなわち瞳孔括約筋と瞳孔散大筋は反応の時間経過を違えることにより1つの筋のみによる瞳孔運動に軽くブレーキをかけ、ひいては瞳孔運動を滑らかにおこなわせることができるのではないか。更にこのことはかりに一方の神経—筋系に何らかの異常が生じても他の筋が遅れてその反応を補うことができるので生体にとっては好都合といえるのではないだろうか。

結論として神経機構や内因性物質による調節機構を複雑にする<sup>10)</sup>ことにより、あるいは2つの筋の反応速度を少しずらすことにより、瞳孔の2つの平滑筋は非常な安全率をかけて虹彩の運動を保持していると解釈したい。

稿を終るにあたり、当時の小林俊策山口大名誉教授に深謝します。本研究は文部省科研(昭和58, 59年度)の援助を受けた。感謝します。

#### 文 献

- 1) Davson H: Section 3, In Physiology of the Eye (4th ed) 468—500, Churchill Livingstone, Edinburgh, London, New York, 1980.
- 2) 大野新治: 瞳孔とその異常. 212—261, 神経眼科学, 1974, 石川 哲編, 医学書院.
- 3) Thompson HS: The pupil and the autonomic nervous system. 226—240 in Neurophthalmology, Vol 1, Ed. by S Lessell, JTW van Dalen, 1980.
- 4) Suzuki R, Osa T, Kobayashi S: Cholinergic inhibitory response in the bovine iris dilator muscle. Invest Ophthalmol Vis Sci 24: 760—767, 1983.
- 5) Suzuki R: Neuronal influence on the mechani-

- cal activity of the ciliary muscle. *Br J Pharmacol* 78: 591-597, 1983.
- 6) **Kuriyama H, Osa T, Toida N**: Membrane properties of the smooth muscle of the guinea-pig ureter. *J Physiol (Lond)* 191: 225-238, 1967.
  - 7) **Holman ME**: Junction potentials in smooth muscle. In *Smooth Muscle* (eds. Bülbbring E, Brading AF, Jones AW 244-288, Edward Arnold Ltd london, 1970.
  - 8) **Tomita T**: Electrophysiology of mammalian smooth muscle. *Prog Biophys Molec Biol* 30: 185-203, 1975.
  - 9) **Burnstock G, Holman ME**: Smooth muscle: Autonomic nerve transmission. *Ann Rev Physiol* 25: 61-90, 1963.
  - 10) **Suzuki R, Kobayashi S**: Effects of divalent cations on the spontaneous synchronization in mammalian iris sphincter. *Exp Eye Res* 42: 407-445, 1986.
-