

Title	モルモット盲腸紐平滑筋に対する紫外線照射の影響
Sub Title	Effect of ultraviolet light irradiation on the electrical and mechanical responses of the guinea pig taenia coli
Author	中山, 雪麿(Nakayama, Yukimaro) 桜井, 淑子(Sakurai, Toshiko)
Publisher	共立薬科大学
Publication year	1978
Jtitle	共立薬科大学研究年報 (The annual report of the Kyoritsu College of Pharmacy). No.23 (1978.) ,p.70- 80
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	原報
Genre	Technical Report
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00062898-00000023-0070

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

モルモット盲腸紐平滑筋に対する紫外線照射の影響

中山雪麿, 桜井淑子

Effect of Ultraviolet Light Irradiation on the Electrical and Mechanical Responses of the Guinea Pig Taenia Coli.

YUKIMARO NAKAYAMA and TOSHIKO SAKURAI

(Received September 30, 1978)

The effect of ultraviolet (UV) light irradiation to the guinea pig taenia coli was investigated by the use of the UV source of the 15W low pressure Hg lamp (short wave UV=SUV), or 250W medium pressure Hg lamp (long wave UV=LUV). Exposing to SUV at low temperature (4°C) for long time, taenia coli de-coupled at the E-C coupling system, but the deterioration occurred rather quickly at high temperature (35°C). Immediate changes of the membrane properties were mainly observed at LUV irradiation to the preparation stored at 4°C, and the spike activity was enhanced. The frequency of the spontaneous spike discharge was also increased and the active tension was potentiated with rising time and total size to the LUV irradiated preparation. However, the sustained relaxation, gradual reduction of tension, was obtained in the fresh or longlasting stored preparation. After substituting of Ba for Ca, readmitted to the normal Krebs solution, the spike discharge was almost inhibited, but the previous UV treatment maintained the spike after replacing for each solution. After exposing taenia coli for ten min in the Ba solution, LUV irradiation triggered the grouping spikes of Ba influx. The suggestion obtained in the present experiment is that the UV irradiation affects at the metabolic sites of the membrane, and so the ionic transport through the surface membrane of the taenia coli may be resulted as the secondary effect of the UV actions.

緒 言

Spealman & Blum (1933)¹⁾ は低圧紫外線を筋に照射すると, 単収縮ではなくて拘縮の起こることを観察し, その拘縮が筋膜の興奮によるものではなくて紫外線が直接収縮系に作用したものであろうと推論した。また Harvey & Sichel (1942)²⁾, Harvey (1942)³⁾ も高圧紫外線の瞬間的照射実験で, 表面にある少数の筋線維は収縮するが, それも測定可能な収縮ではなく, spi-

- 1) Spealman, C. R. & H. F. Blum (1933) Studies of photodynamic action. Photostimulation of skeletal muscle. J. Cell, and Comp. Physiol., 3 397-404
- 2) Harvey, E. N., & P. J. M. Sichel (1942) Response of single striated muscle fibres to intense flashes. J. Cell. and Comp. Physiol., 19 29-35
- 3) Harvey, E. N., (1942) Stimulation of cells by intense flashes of ultraviolet light. J. Gen Physiol., 25 431-443

keによって誘発された収縮とは言えないと結論している。さらに Endo (1965)⁴⁾は単一骨格筋線維に紫外線を照射し、350nm 以上の比較的長波長紫外線で拘縮が得られたことを報告し、恐らく紫外線が筋小胞体に直接作用したのだろうと推論している。このように骨格筋に対する紫外線照射の効果は、いずれも収縮につながっており、これを現在の観点から洞察すれば、当然 Ca の遊離から ATP の分解に至る一連の機械化学的反応を紫外線が誘発していることは間違いない。

一方において、最近 Lännergren (1977)⁵⁾は ATP が260nmの紫外線に吸収のピークを有することを利用し、骨格筋内の ATP の局在性を追究する報告や、Zucker & Nolte (1978)⁶⁾の光受容器官の一部である虹彩平滑筋の組織化学的研究から、光を照射する前に筋膜の近くに散在していた Ca 貯蔵顆粒が、照射によって散逸消滅することを明らかにした報告からも、光エネルギーが筋内の構造体または特定の分子や顆粒に直接作用する可能性が暗示された。

本実験では、全く光感受性のないモルモットの盲腸紐平滑筋に紫外線照射を行い、その作用について検討したところ、光受容平滑筋細胞と Ca の動態に関しては、本質的な差が無いという結果が得られたので、筋肉生理学的な立場から、二三の実験について報告する。

方 法

実験は体重 300~400g の雄性モルモットの盲腸紐平滑筋 (taenia coli) を用いた。動物を断頭瀉血後直ちに所定の長さ (張力のみを記録する時には 7~10mm, 膜電位を同時に記録する時には 20~25mm) の条片を 4~6 片摘出し、95%O₂ + 5%CO₂ の混合ガスを飽和した 35°C Krebs 液に入れて 3 時間 incubate し、この内、数片を摘出直後の筋として実験に用い、他の筋は 4°C の低温室に保存しこれを低温保存筋とした。保存期間は 24 時間を周期とし、10 日間を限度として規定の日数が経過した標本については、低温室から出して直ちに 35°C Krebs 液中で 3 時間 incubate し、摘出直後の筋と同様に扱った。

Krebs 液の組成は、NaCl 120mM, KCl 5.9mM, CaCl₂ 2.5mM, MgCl₂ 1.2mM, NaHCO₂ 15.5mM, NaH₂PO₄ 1.2mM, glucose 11.5mM である。Ba 液というのは正常 Krebs 液中の Ca (2.5mM) の代りに、これと等濃度の Ba を加えた Krebs 液で、また Ca 液というのは正常 Krebs 液のことで、両液を適当な時点で交換することによって、Ba または Ca の影響を観察することができる。また Aropine については 2×10^{-6} g/ml を、Acetylcholine については 1×10^{-5} g/ml が最終濃度になるように換流液に加えた。

紫外線の照射実験については、光源として水銀灯の輝線スペクトルを用い、254nm の短波長紫外線 (SUV) と 365nm 以上可視光線も含む長波長紫外線 (LUV) のどちらか一方を至近距離から照射し、その影響について検討した。SUV は殺菌灯から発する輝線の大部分を占め、その使用目的からも明らかなように、短時間で微生物を殺傷せしめるエネルギーを有する。従ってこれを筋に照射することにより、筋膜または筋小胞体等の細胞内小器官の機能を変化させ、膜電位また

- 4) Endo, M. (1965) The effect of ultraviolet light on single muscle fibres of the frog. Abstr. XX-III Int. Congr. Physiol. Sci., p. 810
- 5) Lännergren, J. (1977) Location of UV-absorbing substance in isolated skeletal muscle fibres. The effect of stimulation. J. Physiol., 270 785-800
- 6) Zucker, R., & J. Nolte (1978) Light induced calcium release in a photosensitive vertebrate smooth muscle. Nature, 274 78-80

は張力に何らかの影響が現われるものと推測した。また LUV についても水銀灯の輝線スペクトルとして発生しているが、この波長は殺菌効果は少なく単に近紫外線として分類されているに過ぎない。そのため LUV の作用を検討する場合には、出力の大きな水銀灯を用いなければならない。そこで本実験では SUV は 15W 殺菌灯を、LUV は 250W の水銀灯を用いた。SUV を筋に照射する場合には低温室内では 24 時間を単位とし、35°C では 30 分間を単位として照射した。また LUV の照射については照射線量が大きいため、速効性効果を観察することができた。この UV 照射で用いたセルは二種類で、収縮のみを記録するものと、膜電位も同時に記録できるものとなる。前者は長さ 30mm、内径 13mm の石英管で内部に筋を垂直に吊りし、Krebs 液で換流しながらセルの外から LUV を照射し、その速効性効果を観察した。後者は単一のしょ糖隔絶法のセルを用い、照射実験の際にはセルの一部を加工した石英のセルに代え筋に UV を効率よく照射した。

結 果

SUV の照射効果と温度の影響

1) 低温室内における照射

SUV は電磁波としての波長エネルギーが大きいため、生体に対しては短時間でその効果の現われることが予想された。しかし温度が 4°C に保たれた低温室内で石英のサンプル瓶を介して UV を照射した場合には、10 時間以上照射しないと効果が認められなかった。そこで Fig. 1 に示すように 24 時間および 48 時間後の照射効果について観察した。その結果、低温室内で UV を照射した筋は、spike の減少は顕著でないが、張力の減弱が著しいということが分かった。

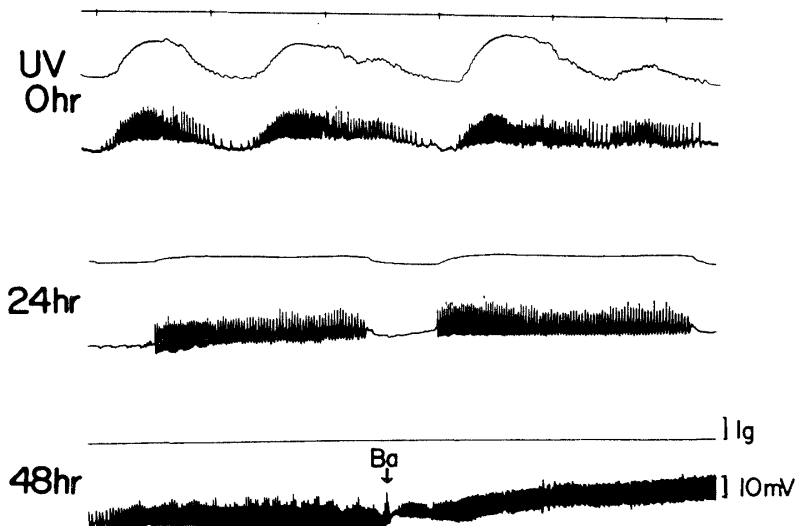


Fig. 1) Simultaneous recordings of the spike and tension by the sucrose gap method. Effect of SUV irradiation for 24hr, and 48hr in the cold box (4°C). After UV irradiation for 24hr, tension reduced to 1/5 of the normal muscle. Note disappearance of tension after SUV irradiation for 48hr.

特に 48 時間 SUV の照射を受けると、膜は spike を発生しているにも拘らず張力は全く得られないという、明らかな興奮-収縮連関機構の脱連関が観察された。さらに脱連関した筋に Ba (2.5

mM) を作用させたところ、Fig. 1 の下段に示すように、持続的脱分極が起こり、その上に高頻度の spike だけが観察され、Ba 拘縮は全く得られなかった。一方、同じ低温保存した非照射筋についても同様の実験を試みたが、48時間後に de-coupling する筋は得られなかった。すなわち、Ba を作用すると必ず高頻度の spike と大きな持続的拘縮が得られた。

2) 高温度下における照射

35°C の Krebs 液中で筋を incubate している間、SUV を照射したところ、Fig. 2 に示すように、照射する前には約 2 分間持続していた自発性 spike が、SUV を 30 分間照射することにより、約 5 分間持続するようになり、60 分間照射では spike 持続は 15 分間に延長し、さらに 90 分間照射では 50~60 分間も持続するようになった。

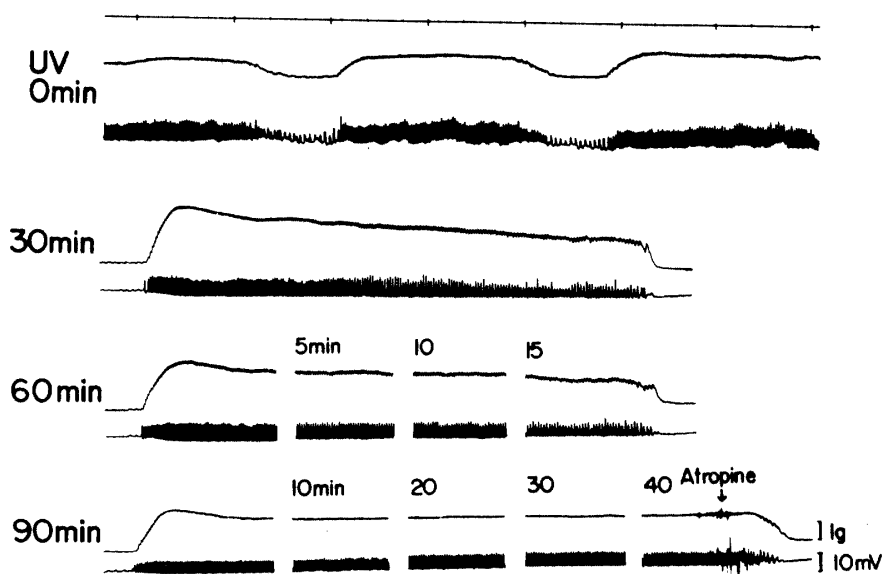


Fig. 2) Effect of SUV irradiation for 30~90min in 35°C. Spontaneous spike duration is prolonged for each tracing. Note disappearance of the spike and tension after atropine added, depicted in the bottom record.

しかしこのように自発活動が延長するに伴い、spike の高さおよび張力の大きさも徐々に減少した。また、この持続的 spike が発生している時点で Atropine を作用すると、spike は直ちに停止し張力も完全に静止レベルに下降した。一方、照射する前の膜は休止期にも低頻度の spike を発生しているため、張力が完全に静止レベルに下降することは無かったが、照射によって spike が完全に消失する時期が生じ、その結果張力が静止レベルまで下降するため、相対的に張力が増加しているように見えるが、静止レベルからの実効値は明らかに照射筋において減少している。

また、高温度下における非照射筋についても同様の実験を試みたが、自発的 spike の持続時間が延長したり、spike や張力が減少することは観察されなかった。

LUV 照射による速効的影響

1) Spike 発生機構に対する効果

紫外線の波長が長いと波長エネルギーが減少するが、照射線量を増すことによって照射による速効的効果が期待された。そこで高圧の LUV を石英のセルを介して筋に照射したところ、Fig.

3 a に示すように、照射中に効果が現われ、特に自発性 spike 発生に著しい変化が認められた。

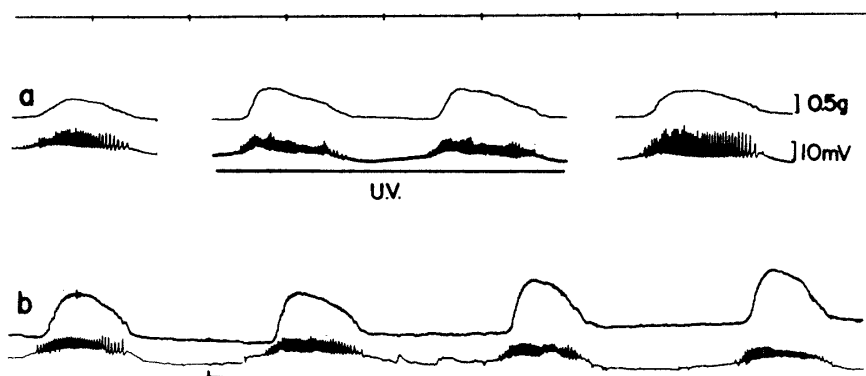


Fig. 3) Sudden effect of LUV irradiation through the quartz cell of sucrose gap method. a) Spike frequency and tension increased whereas the spike size was suppressed. Complete recovery was observed after UV off. b) Progressive change of the responses occurred at the beginning of the LUV irradiation. Note enhancement of spike frequency and tension, suppression of the spike size.

まず spike に対しては非同期化に伴う spike 頻度の上昇が起こり、その大きさは 1/2 に減少した。しかし SUV 照射でみられたような、自発活動の持続時間が延長したり、de-coupling が生じるなどの変化は認められなかった。それどころか張力に関しては膜活動の変化とは逆に、照射によって立ち上りの勾配およびその大きさが共に増加した。恐らく spike 頻度の上昇により強縮高が増したものと考えられる。これらの LUV 照射による膜および張力の変化は可逆的で、照射を停止すると元の状態に回復した。また LUV の照射時間を 5 分以上にすると spike の非同期化がさらに進行し、spike の大きさも 1/3 にまで減少した。しかしそれに伴う張力が増加し、照射を停止することにより約 10 分間の休止期の後再び元の値に回復した (Fig. 3. b)。

このように LUV 照射により、自発性 spike の非同期化による spike 高の減少と張力の増強が速効的効果として認められたが、筋の低温保存日数が 3～5 日目の標本を用いると、UV 照射により脱分極が起こり spike 発生を促進する効果が観察された。すなわち、Fig. 4 a は Ach 拘縮が発生している時点で LUV を 30 秒間照射したものであるが、図から明らかなように照射直後に小さな膜電位の振動が現われ始め、照射を切ることによってその振動がさらに大きくなっている。

同様に Ach 拘縮後の膜の無活動期に LUV を短時間照射すると、照射後 10 秒経ってから自発的 spike が発生し始めそれが 5～10 分間持続した。また、Fig. 4, b は 3 日間低温保存した筋の無活動期に a) と同様に 1 分間 LUV を照射したものである。その結果、膜電位は 3～4 mV 過分極し、照射を切った後に高頻度の spike が発生し、それに伴った張力が得られた例である。また、未熟な spike が得られている時点で照射すると、より大きな spike に発達する場合もあった。さらに Fig. 4, c では、LUV 照射開始 30 秒後に自発性 spike が現われ始め、それらは照射を切っても消失せず 2 分間も持続したことを示している。

このように低温保存した筋に UV を照射した場合には、自発活動が賦活され、UV が膜の機能を回復する因子として作用しているように思われる。

類似の結果は張力のみ記録した実験からも明らかに認められた。Fig. 5 は摘出後 2 日間低温保存した筋に LUV を照射した際に得られた収縮増強効果を示したものである。

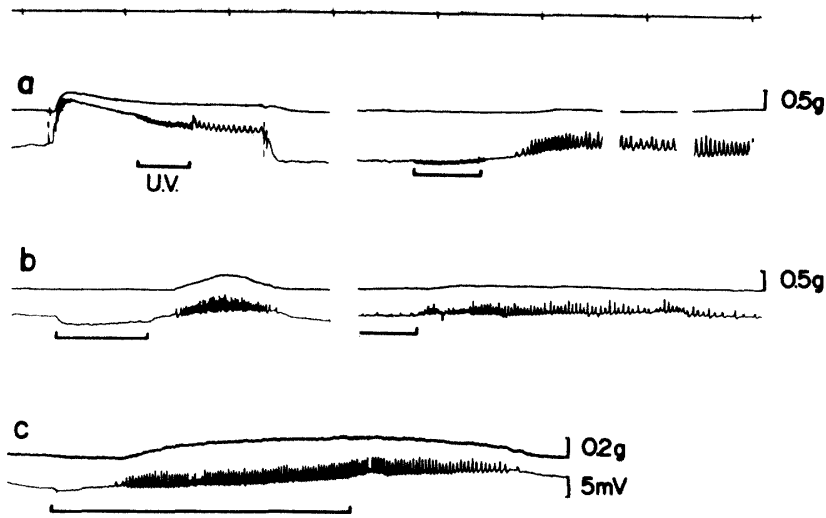


Fig. 4) Sudden effect of LUV irradiation to the preparation stored at 4°C for 5 days. a) UV irradiation during Ach contracture induced the oscillatory potential. b) Hyperpolarization was observed after LUV exposure, and depolarization or spike was appeared as the after effect of UV. c) Spontaneous spike discharges were evoked after 30 sec from the beginning of LUV irradiation and they continued for a few min after UV off.

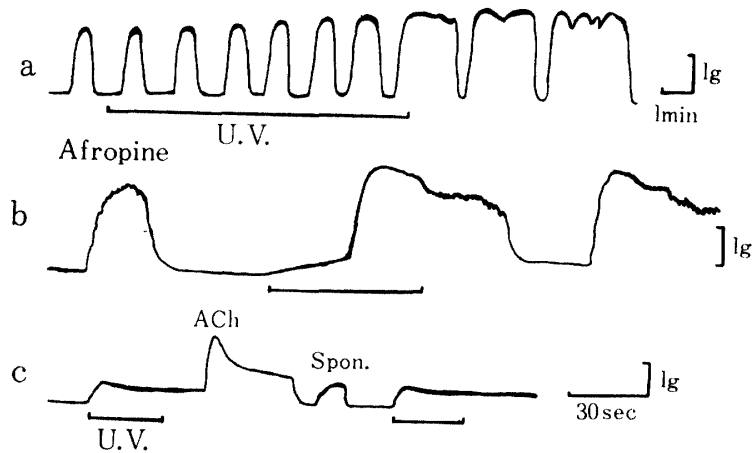


Fig. 5) Effect of LUV irradiation to the spontaneous tension response of fresh preparation. a) Note prolongation of tension duration. b) Minimum tension was promoted to the maximum tension during UV irradiation. c) After UV irradiation, minimum contracture was promoted to the maximum contracture by Ach.

まず、a) は2分毎に自発性収縮が得られている時点でUVを約10分間照射したものである。前半の5分間には自発性張力発生頻度が高くなると同時に、後半では張力の大きさも増している。さらにUVを切った後、自発性収縮の持続時間が当初の3~5倍に延長し、明らかに収縮を持続させる効果の存在することが分る。次にb)ではUV照射が一つの刺激となって未熟な自発性収縮を惹き起こし、それが引き金となって照射中に最大収縮発現へと移行している。その影響はa)と同様UVを切った後も引き続き維持されており、自発性収縮の延長という形で現われている。さらに低温保存3日間のc)についても同様、UV照射が収縮発現のきっかけとなっており、照

射後も張力が維持されていることが分る。しかしそこに Ach を作用することによって、より大きな拘縮が得られていることから、UV 照射は初めの小さな張力発現の引き金として働らいてはいるが、最大張力発現には直接寄与していないことが分る。このことは、筋内に異なった張力発現機構の存在することを暗示している。

LUV 照射に見られる弛緩

UV 照射の効果が全て収縮増強作用ではなく、摘出直後の筋や長期間低温保存した筋では、UV 照射で弛緩が起こり収縮が見られない。Fig. 6 は摘出直後の筋に LUV を照射した時の速効的効果を示したものである。



Fig. 6) Effect of LUV irradiation to the fresh muscle preparation. a) Sudden relaxation appeared just after UV exposure and it decreased gradually. b) Some types of the sudden relaxation. Note the latent periods from the beginning of LUV irradiation.

a) は照射を反復することによって弛緩の大きさが減少し、弛緩の時間経過も異なっていることを示している。b) は三つの別々の標本での UV 照射と弛緩の関係を示している。左端のように照射開始数秒後に弛緩が現われ、切った後も数秒後に元の値に回復する場合と、潜伏時間がなく「on」, 「off」に対して敏感に反応する場合と、右端のように照射中にも拘らず弛緩から回復へ移行し始める場合とがあった。此等はいずれも UV が収縮を抑え、筋を弛緩させたことを示している。その機序については明らかでないが、恐らく UV が筋内の抑制性伝達物質の遊離を特異的に促進したのではないかと想像される。さらに Fig. 7 では低温保存 7 日間の筋で、50Hz, 5v/cm, 5sec の交流電場刺激を 3 分毎に与えた際の活動張力と UV の作用を示している。

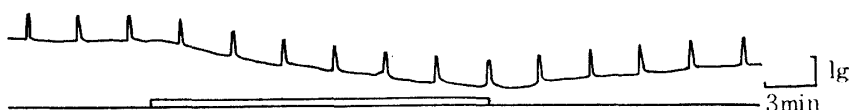


Fig. 7) Sustained relaxation of the denervated muscle (stored for 7 days) appeared just after UV irradiation. Note unchange of tension against the AC field stimulation.

図から明らかなように、UV 照射直後に一方的な静止張力の下降（弛緩）が始まり、20分間照射中に約1.5gの張力減少が起こっている。そして照射を停止すると直後に静止張力は回復に移行し始めるが、その経過は緩徐で約30分後に元の値にまで回復した。その間交流刺激に対する収縮高はほとんど変化せず、UV の作用点と交流刺激の作用点が異なっていることが示唆された。

UV 照射と Ba の作用

1) SUV 照射筋に対する作用

Ba は膜の活動を増強し spike の下降相を延長する。一般に筋では Ba 作用直後に持続的脱分極と高頻度の spike が発生し、それに伴う Ba 拘縮が得られる。さらに作用を続けると spike の持

続時間が延長する (Bülbring & Tomita 1968)⁷⁾。そこで24時間 SUV を照射した筋に Ba を作用させた場合と、非照射筋に対する Ba の作用について比較した。Fig. 8 はその実験例であるが、24時間低温室内で照射した筋に Ba を作用すると直後に脱分極と高頻度の spike が観察されている。

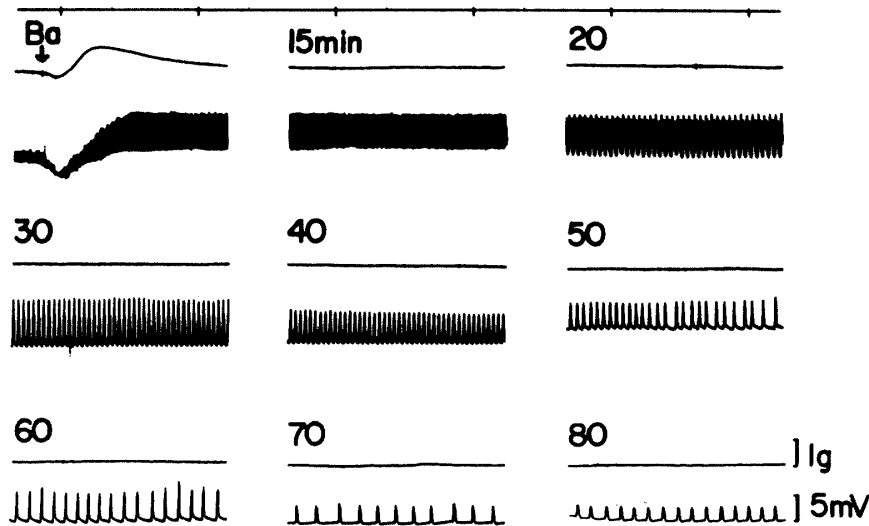


Fig. 8) Effect of Ba to the preparation of SUV exposure for 24hr, in the cold box (4°C). Active tension development is transient just after Ba replacement. Note the de-coupling of the spike and tension, and prolongation of spike continuity.

しかし Ba 拘縮は一過性で持続せず、その拘縮高も非照射筋の 1/3~1/4 である。また照射筋における Ba spike は 80 分以上も持続し、初めの 20 分までは 2~5 Hz の高頻度で発生するが、30 分後には頻度の低下と一過性の spike 高の増加が見られた。さらに 40 分後には、0.5~0.1 Hz とさらに頻度が低下し、spike の高さも著しく減少した。そして 80 分後に頻度と高さがさらに減弱した。一方、非照射筋では Ba で spike が 80 分以上も持続するという事は無かった。

張力に関しては、Ba 作用初期の spike 頻度上昇期に、張力も平行して上昇または維持されるのが非照射筋の特徴であるが、UV 照射により、初めの 10 秒間は張力は上昇するが、その値は維持されず、一方的に下降し 15 分以降では spike が得られているにも拘らず活動張力は全く現われていない。これも脱連関の一種と考えられる。

2) LUV 照射筋に対する作用

Ba を作用している間に LUV を照射すると、Fig. 9, a, b に示すように、Ba 液から正常の Krebs 液 (Ca 液) に置き換えた後の反応が、非照射筋の場合と異なっていることが分った。すなわち、Ba 液で処理している間筋は Ca-free の条件下にあり、高頻度の spike も恐らく大部分が Ba イオンの膜内への流入に起因するものと推測される。

a) はそのような Ba の作用が持続している時に LUV を 5 分間照射したのである。図から明らかかなように、Ba 液から Ca 液に置き換えた直後に、残存する Ba、または置換後の Ca によるものと思われる spike が、高さは半減するが引き続き発生した。しかし非照射筋では b) に見られる

7) Bülbring, E. & T. Tomita (1969) Effect of calcium, barium and manganese on the action of adrenaline in the smooth muscle of the guinea-pig taenia coli. Proc. Roy. Soc. B. 172 121-136

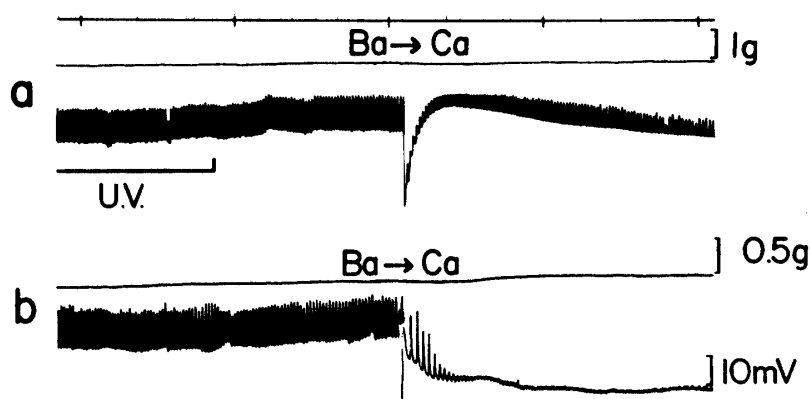


Fig. 9) Effect of substitution of Ba for Ca in the Krebs solution. a) Spike maintained for 20 min after UV irradiation. b) Spike continued only for 30 sec, then the membrane activity was completely blocked.

ように漸次減少する spike が30秒間出現しただけで消失し膜電位は過分極した。この場合、両者とも張力は全く得られず収縮系に対しては Baが Caの代りをするというのではないものと推察された。

さらに低温保存5日間の筋を用いてBaの作用に対するLUVの影響を検討した。Fig. 10, aはBa作用5分後にUVを3分間照射した場合で、照射直後に過分極が起こり、1分後には周期的な群化 spikeが出現し始め、同時にその群化の周期と同期した活動張力が観察された。このような spikeの群化傾向は、UVを切った後も残存したが、過分極は直ちに回復し張力も減少した。また群化 spikeについては、低温保存3日以上筋にBaを作用させた際に出現し易く、必ずしもUV照射が群化 spike発現の十分条件ではない。

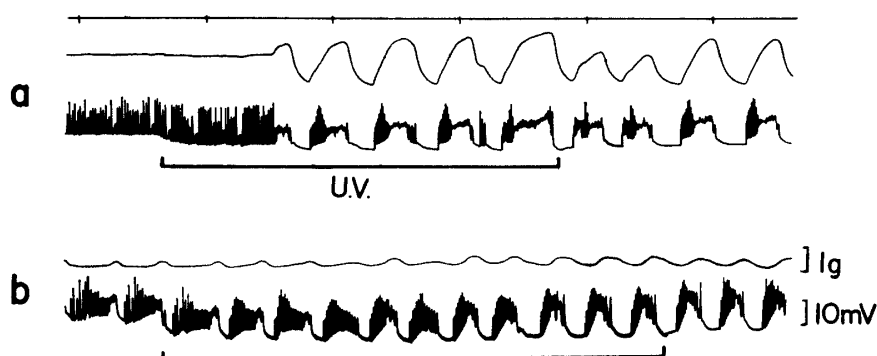


Fig. 10) Grouping spikes appeared during LUV exposure in Ba Krebs solution. a) Periodical grouping spikes developed about a few minutes later of LUV irradiation. b) Irregular spikes became to regular spikes during LUV irradiation.

したがって同図b)のように予め群化 spikeの発生している筋にLUVを照射すると、やはりa)と同様膜は過分極し、それまで不規則だった群化 spikeが規則的になり、その周期も2/3に短縮した。しかし張力の大きさはやや増強した程度で著しい変化は認められなかった。UVを切った後も群化 spikeの規則性は維持された。

討 論

UVの光生物学的作用によって、照射を受けた細胞が、膜をはじめ細胞内小器官または特定の分子に吸収され、種々の障害を惹き起こすことは古くから知られている。しかし筋線維に対するUVの影響については報告が少なく、その作用機序については不明な点が多い。しかし最近、Zucker & Nolte (1978)⁸⁾が光受容器官にある虹彩平滑筋で、照射可視光と筋内結合Ca量との間に密接な関連性のあることを発表し、Endo(1965)⁴⁾が報告の中で推測した事柄を裏付ける有力な事実として注目される。

本実験では、光を受容する特有の場もなく、しかも骨格筋のように筋小胞体も未発達で、その上盲腸平滑筋という性質上、その筋線維は複雑な神経支配下にあるという、一般の内臓平滑筋にUVを照射し、その影響について検討したのであるが、UVの波長、光(または線)量、光源からの距離、照射時間、温度等物理的な環境によって効果および作用点が異なるらしい。例えば低温(4°C)内で長時間低圧SUVを照射すると、Fig. 1に見られたように膜の活動はあまり影響を受けないが、興奮-収縮連関機構、すなわち細胞内に貯蔵された収縮のためのCa遊離機構、が障害を受け、脱連関(de-coupling)する。しかしこれが高温(35°C)だと、同じ低圧SUVでも比較的短時間で作用が現われ、spikeも張力も共に障害を受けるのである(Fig. 2)。また、高温環境下にあっても波長が違えばspikeに対する効果が異なってくる。それはFig. 3で見られるようにLUVを照射すると、spikeの非同期化が起こり頻度が高くなるのである。したがって強縮が増し全体として増強効果が現われる。しかしこのspikeの非同期化が何故起こったのかは不明であるが一つだけ考えられるのは、多くの筋束に点在していると思われる、自発性リズムの調節機構にUVが作用したのではないかということである。つまり一斉に同期して発生していたspikeのリズムが乱れ、接次的な関係に変わってしまったのである。さらにFig. 4では、UVが過分極を惹き起こすにも拘らず、照射を切るとspikeが発生したり(同図a, b)、照射が長引くと照射中にspikeが発生し始める(同図c)などイオンの動きだけでは説明困難な現象が観察された。さらに低温保存の日数如何では、UV照射によって明らかな張力発生または自発性張力の持続時間の延長などが認められた(Fig. 5)。これに反してFig. 6, 7ではUV照射中に筋は弛緩し、切ると回復するという新しい結果が得られたのである。この現象は摘出直後の筋および低温保存日数が7日以上筋がよく観察されたのである。摘出直後の筋では抑制性伝達物質がUVによって特異的な作用を受け、その遊離が促進したのではないかと考えられる。また保存日数の長い筋では除神経されている可能性が高く(Shibata 1970)⁸⁾、弛緩反応を筋内遊離Caの減少と関連づけて考えれば、UV照射によって筋内Caが汲み出されたのであろうという考え方と、Taylor *et al.* (1970)⁹⁾が示唆しているような、膜の電気源性Na-K pumpがUVによって活性化され、脱分極していた膜を過分極させたために弛緩が起こったものと考えられるかのどちらかである。

また、Baについては本来膜の活動を増強する因子として作用することがよく知られている。

8) Shibata, S. (1969) Effect of prolonged cold storage on the contractile response of strips of rabbit aorta to various agents. *Circulation Res.*, 24 179-187

9) Taylor, G. S., D. M. Paton & E. E. Daniel (1970) Characteristics of electrogenic sodium pumping in rat myometrium. *J. Gen. Physiol.* 56 360-375

(Bülbring & Tomita 1968,⁷⁾ Hotta & Tsukui 1968,¹⁰⁾ Suzuki *et al.* 1964¹¹⁾) しかし Fig. 8 (Fig. 1 も同様)に見られるように低温内で SUV を照射すると必ず脱連関が起り張力は消失するが spike は依然として維持されている。このように Ba は膜の段階では Ca の代行をすることができるのであるから, Fig. 9 に見られるように Ba を Ca に代えた際, それまで膜を占領していた Ba を追い出して Ca が流入可能になるには時間がかかるわけであるが (Fig. 9, b), 予め UV を照射しておくとなれば短時間で交代できる (Fig. 9a)。この点についても UV が膜の代謝系に作用し, 特に Ca の動きに対して特異性を有するということが示唆された。さらに, Fig. 10 によると UV が周期的な群化 spike の発現因子の一つとなっているが, これは Fig. 3 でも指摘した通り, UV が膜の自発性興奮のリズムに影響をおよぼしていることが群化 spike 発現の原因となっているように思われる。

此等の結果から, UV はその光エネルギー効果により膜をはじめ様々な細胞内成分に対して光化学的作用をおよぼすことが知られており, 本実験に見られたような膜のイオン透過性に対する効果も, 恐らく一部は代謝系を介した二次的作用であると思われる。したがって, 平滑筋に対する UV の研究は, 代謝系との連関で問題になっている E-C coupling を研究する上に非常に好都合な手段であると考えられる。

10) Hotta, Y. & R. Tsukui (1968) Effect on the guinea pig taenia coli of the substitution of strontium or barium ions for calcium ions. *Nature.*, 217 867-869

11) Suzuki, T., A. Nishiyama, & K. Okamura (1964) The effect of barium ions on the resting and action potential of intestinal smooth muscle cell. *Tohoku J. exp. Med.* 82 87-92