興 奮 伝 播 性 と 圧 効 果

第 四 編

蛙口蓋粘膜の線毛運動並びに粘液分泌に及ぼす高圧の影響

岡山大学医学部第一生理学教室（主任：林香苗教授）

助 手 長 尾 曉 一

〔昭和30年2月1日受稿〕

〔I〕 緒 言

著者は伝播性と圧効果の問題について前報以来論じて来た¹⁾。今回は蛙口蓋粘膜の線毛運動の伝播性が圧により如何に変化するかを検討した。高圧の線毛運動並びに粘液分泌に及ぼす影響については全く文献がない。只 Ebbecke²⁾ が *Paramecium* に圧を作用させて線毛運動に基く此の原虫の運動性の変化を精細に調べているに過ぎない。著者は線毛運動の伝播性について検討中偶々線毛運動のみならず粘液の分泌能も高圧により影響される事を知り甚だ興味ある知見を得たので此処に報告する。

〔II〕 実験装置、方法及び材料

本実験には2000気圧迄の圧を得る既述教室備付けの高圧ポンプを使用した。

1) 線毛運動の観察

とのさま蛙の新鮮口蓋粘膜の左右の小片を酸素を飽和せしめた Ringer 液にとり、加圧群と対照群に分ち、該粘膜上皮の線毛運動の強さを顕微鏡下に観察した。加圧中の線毛運動の変化は実験装置の関係で出来なかつたので除圧5分後、及び10分後の二回に渡り対照群と比較観察した。更に筋肉の場合に圧に対し反応し易く且非伝播性となる液の代表的なものとしての0.15% KCl-Ringer 液を Ringer 液と置換して同様観察した。線毛運動の強さは次の判定に従った。即ち(Ⅲ)は運動の最も強きもの、(Ⅱ)は運動少々強きもの、(Ⅰ)は運動強きもの、(±)は運動

を認める時もあり又認めない時もあるもの、(ー)は運動全く無きもの。尚実験期間中の温度は(室温)23.4°C~28.6°Cであつた。

2) 口蓋粘膜の粘液分泌能並びに

O₂-消費量

とのさま蛙の新鮮口蓋粘膜2~5匹分を左右に正中線にて切半し5ccの Ringer 液にとり、一群を加圧群他を対照群となし、加圧群は線毛運動停止時前後の加圧並びに時間を作作用させ、之と対照群(平圧、同時間)とのO₂-消費量を Winkler 氏法に依り測定比較検討した。此の際加圧時間に依り粘液分泌能に差異のある事を知り、粘液分泌著明なものには Ringer 5ccに Atropine 10⁻³を1~2滴滴下しその際のO₂-消費量をも測定比較した。

〔III〕 実験成績

A) 線毛運動

蛙口蓋粘膜小片に高圧を作用させて除圧後の線毛運動の変化及び10分後の運動変化を

第 1 図

第1表 麁毛運動に及

加 圧	1600			1500			1400		
	1 分	3 分	5 分	3 分	5 分	10 分	5 分	10 分	20 分
作用時間	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分
除 圧 後	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分	5 分 10分
1)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)
2)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (+)
3)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (+)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (+)
4)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (+)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (-)
5)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (+)
6)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)
7)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)
8)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)
9)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(-) (+)	
10)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (+)	(+) (+)	(+) (+)	
11)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (+)	(+) (+)	(+) (+)	
12)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	
13)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(+) (+)	

(+)……運動最も強きもの (+)……運動少々強きもの (+)……運動弱きもの

顕微鏡下に観察するに第1表並びに第1図の如く、圧力1000気圧以上で運動は停止する。

又加圧強度大なれば短時間で運動は停止する。

即ち1500気圧では5分、1400気圧では10分、1300気圧では20分、1200気圧では30分、1100気圧では40分、1000気圧では60分で線毛が動かなくなる。そして除圧10分後の観察に於て

殆んどが再び運動している。就中加圧時間の少いものは長時間加圧せしものに比し運動の恢復は早い。尚30分以上（圧力1200気圧）の長時間作用させた場合は粘液の分泌能が高まつており、肉眼的に粘膜の表面に粘稠性の分泌物を認めた。然し乍ら加圧に依る線毛運動の質的な変化は後述する如く認められなかつ

第2表 a) 平圧下

0.15% KCl-Ringer 液		
10分	30分	40分
(+)	(+)	(+)
(+)	(+)	(+)
(+)	(+)	(+)
(+)	(+)	(+)
(+)	(+)	(+)
(+)	(+)	(+)
(+)	(+)	(+)
(+)	(+)	(+)
(+)	(+)	(+)
(+)	(+)	(+)

第2表 b) 加圧後

0.15% KCl-Ringer 液							
加 圧	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100
作用時間	2 分	3 分	5 分	10 分	20 分	30 分	40 分
除 圧 後	5 分 10分 後 後	5 分 10分 後 後	5 分 10分 後 後	5 分 10分 後 後	5 分 10分 後 後	5 分 10分 後 後	5 分 10分 後 後
	(-) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(-) (-)	(-) (+)
	(-) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(-) (-)	(-) (-)	(-) (-)	(-) (-)
	(-) (-)	(-) (+)	(-) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(-) (-)	(+) (+)
	(+) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(+) (+)	(+) (-)
	(+) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(-) (+)	(+) (-)
	(-) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(-) (+)
	(+) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(-) (+)	(+) (+)
	(-) (+)	(-) (+)	(+) (+)	(+) (+)	(-) (-)	(+) (+)	(-) (+)
	(-) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(+) (+)
	(-) (+)	(-) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(-) (+)	(-) (-)	(+) (+)
	(+) (+)	(+) (+)	(-) (+)	(-) (-)	(-) (-)	(-) (-)	(-) (-)

分)の場合と殆んど同じく O_2 -消費量は平圧値に比し減少している。

〔IV〕 考 按

U. Ebbecke²⁾に依ると *Paramecium* に高圧を作用させポンペに装着せる窓より観察すると游泳運動の緩慢、趨触性及び向地性の増強を認め、注意深く観察すると游泳運動は先づ50気圧位より緩慢となり、増圧と共に増々緩徐になり、200~400気圧では非常に緩慢となる。600気圧になると大部分が麻痺状態になり800気圧になると趨触性、向地性の為に窓の視野より *Paramecium* は見えなくなる。然し運動は徐圧と共に活潑に元の様に動き出す。又短時間の作用では高圧の後作用は全く認められない。

而して圧は游泳運動には何等促進的な作用は呈しなかつたと述べている。*Paramecium* の運動は体表面の線毛の整然たる運動によるものであるから *Paramecium* の運動変化は大体整然とした線毛運動の消長と見做されるであろう。著者は蛙から剔出した口蓋粘膜の線毛運動を加圧中には観察出来なかつたので、除圧直後の後作用を観察した所、加圧1000気圧以下では全く影響を認めなかつた。此は被圧中作用があつたのに除圧で既に早く恢復していたのかも知れない。又同一標本を繰返し1000気圧迄加圧しても除圧後には活潑に運動していた。1000気圧以上1600気圧迄加圧するとその後作用として第1図の如き線毛運動停止限界に関する圧力時間曲線を得る。即ち加圧小なれば長時間作用させた時に運動は停止し、加圧大なれば短時間で運動は停止する。但し此の停止は整然たる換言せば伝播性線毛運動であつて、単独線毛或は線毛群の非伝播性線毛運動は時に残存していた。運動の恢復は(10分後の観察)全般的に加圧時間小なる程恢復も早い。又限界線近くの場合線毛運動は何れも可逆的である。即ち運動は加圧で停止しても除圧後運動が一時停つているが、後再び現われる。而して此等被圧粘膜の線毛運動は其の性質に於ては平圧下のものと

認むべき差異はなかつた。即ち伝播性線毛運動が現われている。又振子状運動が鉤状運動に変わるとか、或は線毛の屈伸両相間に特記すべき変化は認められない。

線毛運動が高圧下どうして停まるか。言う迄もなく粘膜面に見られる整然たる線毛運動は線毛細胞から細胞への興奮伝播によつて行われるものである。而して既述の如く、著者は横紋筋に於ては高圧下収縮は現われるが、その収縮が伝播しなくなる事を証明した。或は同じ様な作用機制で例えば同時に全組織の分極が解け或は減退して線毛運動が非伝播性になり、我々に観察されないのかも知れぬ。然しそうだと推論される事実が確認された訳でない。そこで第二編に於て、横紋筋の伝播性収縮を減弱さすが非伝播性収縮を高めた濃厚 KCl-Ringer 液を口蓋粘膜に作用させて見る。Kalium は少量では Mg と拮抗して線毛運動には促進的に作用すると云われている。然し関³⁾によると0.4% KCl-Ringer 液に浸した蛙口蓋粘膜の線毛運動は40分後も尚且つ運動の減弱は認められないと報告している。著者が0.15% KCl-Ringer 液に浸した観察では第2表 a) の如く40分迄には著変はない。然るにそれに高圧を作用させた場合は Ringer 液中のものに高圧を作用させたものに比し運動の著明な減弱を認めた。此は恐らく高濃度 K イオンによる線毛細胞の興奮伝播性の障害と、高圧による影響が相乗的に作用した為ではないかと思われる。尚単独類似の線毛運動の増強は認め得なかつた。それは此の種運動は極めて定量的に観察され難い事による。

次に粘膜の O_2 -消費量に及ぼす高圧の影響を吟味してみよう。高圧が諸組織の O_2 -消費に対する作用については大和⁴⁾、川岡⁵⁾の報告がある。中でも川岡のそれは蛙の横紋筋、心筋、大脳、腎、末梢神経に関するもので夫々一定高圧値に極大を持つ O_2 -消費亢進作用のある事を報告している。著者が蛙の剔出口蓋粘膜に圧力を加えている時の O_2 -消費量を測定した本実験成績に依ると1000気圧前後の

被圧下粘膜組織の O_2 -消費に減退が証明されるのである(第3表)。もし川岡の多くの成績が示す様に高圧下粘膜組織の細胞の O_2 -消費が大なり小なり亢進性のものであると仮定せば、即ち平圧値以下にならないとすれば本実験に於ける低下事実は丁度此の程度の高圧で運動停止の現われる線毛の活動減退に基くと解すべきであろうか。それとも粘膜組織細胞全体の活動が1000気圧近い高圧に達すると1000気圧以下の亢進相より減弱相に移り、その頭れとして O_2 -消費も減つたものと見るべきだろうか。

それはそれとして次ぎに括目されたことは丁度線毛運動の止る程度の圧力を超えると(或は被圧時間が長くなると)、 O_2 -消費が愈々減少するかとの期待に反し増加して平圧時の1.5倍にも及ぶ様になる事である(第3表)。然し斯様な際よく標本を観察すると粘膜上皮面に粘液が多量に分泌されているのが認められる。そして標本を、もし前以て Atropine で処置しておく、被圧時 O_2 -消費の増加が証明されず同時に粘液の分泌が現われないのである(第3表)。

腺細胞の分泌機構を考える場合には一般に

- 1) 腺細胞自身の活動の促進及び抑制機構、
- 2) 導管の収縮性要素に作用して放出を促進或は抑制する機構、
- 3) 腺細胞を栄養する血管に作用してその血管拡張及び収縮に関する機構について考えねばならない。

本実験については(1)の腺細胞自身の活動の促進及び抑制について考えればよい。何故なら血行がないから(3)は考慮外であり、導管を欠くから(2)も除外されると考えるからである。一般に腺分泌機序には浸透、濾過、拡散の物理的機序によつて説明される場合が多い。而して此の物理的機序は膜透過性の変化でもつて説明されると誠に好都合である。所が教室の業績⁶⁾によると一般に圧作用の一要素として組織細胞膜の透過性を増加さす事が屢々報告されているから腺細胞の透過性に変化が起り分泌に影響するであろう。一方其の際の組織の O_2 -消費量を測定するに平圧時に比し

O_2 -消費量の著しい増加を示しているのである。此の事実は一般腺細胞の活動時に O_2 -消費の増加する事実に全く一致するのである。即ち高圧の影響により腺細胞膜の透過性がたかまり腺細胞が活潑に活動して分泌亢進が現われたと考えたい。尚高圧下 O_2 -消費の増進が分泌と関連する腺細胞の活動増加に基くものであることは Atropine の前処置で高圧下も早や分泌亢進が起らなくなつたら O_2 -消費の増加も現われなくなるので判る。又被圧により腺の細胞膜が破壊されて粘液が粘膜の表面に出て来る事も考えられるが Atropine 処置に依り粘液分泌の停止する事よりして腺細胞膜の破壊と云う事は考えられず少くともその機能は保持しているものと考えられる。

〔V〕 結 語

蛙口蓋粘膜に高圧を作用させ、その際の線毛運動並びに粘液分泌能及び酸素消費量を測定した。

A) 線毛運動

1) 蛙口蓋粘膜の線毛運動は、一定度以上の高圧が作用すると可逆的に停止する。而して圧力が高いと短時間で、圧力低き時は長時間で運動が停止する。

2) 高圧による線毛運動の性質の変化はみられなかつた。

3) 筋肉の場合は0.15% KCl-Ringer 液により圧に反応し易くなるが線毛運動は同液により運動停止が促進される。

B) 粘液分泌能並びに O_2 -消費量

1) 粘膜の O_2 -消費量は1000気圧上下の被圧で減少す。

2) 被圧1500(10分)、1400(20分)、1300(30分)、1200(30分)により口蓋粘膜面に著しく粘液が出てくる。此の際の酸素消費量を測定すると粘液が著しく出ない場合即ち被圧1500(5分)、1400(10分)、1300(20分)の場合に比し著明な増加を示す。もし粘膜を Atropine で処置すると被圧下粘液分泌が現われず、酸素消費の増加も認められない。故に此程度の高圧は口蓋粘膜の粘液分泌機能を

允進せしめる。

賜つた恩師林教授に謹みて感謝の意を表す。

拙筆するに当り終始御懇篤なる御指導と御校閲を

文 献

1) 長尾曉一：本誌 I, II, III 編.	4) 大和人士；岡医誌. 64 卷, 5 号, 859, 1952.
2) Ebbecke . Pflüger's Arch. Bd. 236, 658, 1935.	5) 川岡曉美；岡医誌. 64 卷, 5 号, 965, 1952.
3) 岡太郞；日生理誌. 12 卷, 86, 1950.	6) 岡田勝喜；岡医誌. 66 卷, 10 号, 2071, 1955.

Department of Physiology, Okayama University Medical School.
(Director : Prof. Dr. K. Hayasi)

Effect of high hydrostatic pressure on ciliary movement and secretion of frog's palatine mucous membrane.

By

G. Nagao

Excised palatine mucous membrane of frog suffers from following effects of hydrostatic pressure in Ringer's solution.

- 1) Pressure up to about 1000 atmospheric pressure inhibits ciliary movement of the mucous membrane. The higher the pressure is further, the earlier the ciliary movement stops.
- 2) At 1300 (30 minutes)-1500 (10 minutes) atmospheric pressure the secretion of mucous membrane is augmented, and its O₂-consumption increases at the same time.