

IV 結 論

1. 圧閾値を求める場合1分以内に閾値圧を高めるならば、速かに高めても、階段状に高めても、徐々に高めても、その値に差異が現はれない。即ち圧閾値は加圧速度及び方法に殆ど影響されない。但し本装置を用ふる場合には温度が低くなる程閾値圧近くからは特に緩やかに上昇させる必要がある。

2. 速かに1秒以内に、又徐々に12~15秒を要して一定圧に達した後、筋が短縮する迄の時間を測定すると、同一圧では $\frac{di}{dt}$ の大なる方が時間が長く、同一 $\frac{di}{dt}$ では加へる圧が高い程時間は短かく、同一時間後に短縮を起させるには $\frac{di}{dt}$ が小なる程圧は低くてよ

い。

3. 圧の高さ一時間曲線を描くと、 $\frac{di}{dt}$ の大小にかゝらず $p = a + \frac{b}{t+c}$ 式に当嵌まる。

此の実験式から、 $\frac{di}{dt}$ の大小は基圧には殆ど全く影響しないが、圧閾値は $\frac{di}{dt}$ の大なる方が僅かに高い値に出る。然し之も実際に閾値を求める場合には誤差の程度でしかない。

4. 閾値圧より20~30気圧低い圧に暫時筋肉を保つて後急速に圧を下げるならば、その圧では遙かに長い経過後でなければ短縮は起らないのに、筋は短縮する即ち急速に圧を下げる事も亦有効な刺激となる。

拙筆するに当り終始御懇篤な御指導と御校閲を賜つた恩師林教授に衷心から謝意を表す。

文 献

- 1) Ebbecke, U., Pflügers Arch., 157, 79, 1914.
- 2) Ibid., 236, 662, 1935.
- 3) Ibid., 237, 429, 1938.

- 4) 田崎一二：神経繊維の生理学。
- 5) 丹原英昌：本誌，第1編。

高 圧 の 骨 格 筋 に 及 ぼ す 影 響

第 3 編

剔出筋カリユームの遊離に及ぼす高圧の影響に就て

岡山大学医学部生理学教室 (主任 林 香苗教授)

助 手 丹 原 英 昌

(昭和27年3月15日受稿)

I 緒 言

蛙腓腹筋に200~400気圧の圧を加へると筋は短縮し、圧を旧に復すると弛緩する。又閾下圧の下ですら電気刺激に対する興奮性の亢進が現はれた。¹⁸⁾¹⁹⁾

斯様に圧迫されると筋に興奮の現るのは、

圧によつて筋形質膜のイオン透過性が亢進するのに基づくものではなからうか。此のイオン透過性の変化を検するイオンの代表としてKを選び、加圧筋からのKの遊離状況を調べることにした。それは他方1911年 Macallum¹⁸⁾の記載以来、筋の短縮過程にKは重要な役目を司ると見られるので、加圧による筋からの

Kの遊離状態の観察は筋に対する圧の刺戟作用を検討する上に興味ある事と考へる。そこで骨筋を圧迫した時のKの遊離状況を電気刺戟の場合の夫れと比較して、圧刺戟の本質を窺おうとした。

I 実験材料

本実験は11月から翌年2月迄の室温 $6^{\circ}\sim 18^{\circ}$ に於て冬眠中のトノサマ蛙 (*Rana nigromaculata*) の腓腹筋及び縫工筋に就て行つた。使用した Ringer 氏液 (以下 R 氏液と略す) の組成は、食塩 0.65, 塩化カリウム 0.01, 塩化カルシウム 0.02, 重曹 0.01, 蒸溜水 100 であるが、塩化カリウムの濃度は特に正確を期した。

II 実験方法

筋標本作成に当り腓腹筋に於てはアヒレス腱は中程で切断し膝関節附着部を切り離し、縫工筋は損傷しない様に注意して分離し中樞端は鋭利な小刀で骨附着部から切り離した。標本を剔出後附着している血液・淋巴液其他を洗い去る為に多量の R 氏液に浸しておき、剔出して 30~50 分後重量を測定して実験に供した。概ね腓腹筋は 1 対を、縫工筋は 2 対を用ひ、同じ動物の 1 側を刺戟、反対側を対照実験とし、各 3c.c. の R 氏液中に入れ実験終了後その 2c.c. を取つて K の定量を行つた。尚ボンベから取り出した筋は夫々重量を測定し、筋の長さを測り且つ短縮の認められた場合には電気刺戟を行つて反応するか否かを確かめた。

Kalium の定量には Ciamei の方法⁸⁾¹¹⁾を用ひ筋を入れた R 氏液 3c.c. 中から 2c.c. を沈澱管に取つて定量に用ひそれから 3c.c. 中に遊離した K 量を求めた。

筋の重量の測定は化学天秤を用ひて出来る丈正確に行つた。初めは蒸発による筋重量の減少を恐れて、小型の秤量瓶に少量の R 氏液を入れて重量を測定しておき濾紙で附着した液を吸ひ取つた筋を入れて増加した重量を以つて筋の重量としていたが、R 氏液を用ひな

いで水分を拭つた筋を直接測つた場合にも測定中の重量の減少は共に 1mg 以下であつたので、R 氏液は用ひないで可及的速かに測定を終了する様にした。

筋の長さを測定するにはガラス板上に延ばして両脚コンパスを用ひた。同じ蛙の左右には認むべき差がなかつたので、実験終了後対照のそれと被刺戟筋のそれとを測定して記した。

IV 実験成績

A 予備実験

静止筋肉の K 遊離の時間的経過

試験管に 2c.c. R 氏液を取り左右の脚から取つた筋を別々に入れ所定時間後に取出し、次の試験管に入れ之を繰返して行つた。筋を取出した試験管はそのまゝ定量に供した。その成績は第 1 表に示した。表中の遊離 K 量はその時間内に遊離した量で 100g の筋に換算したものである。20~21 時間後迄調べた 4 例の平均は腓腹筋では 59.4mg 縫工筋では 144.7 mg であり、筋 K 量を 100g につき 340mg²⁾¹³⁾ とすると約 20 時間に全 K 量の腓腹筋は 18% 縫工筋は 43% を失ふ事となる。次に第 3 例以下の 5 例に就て見ると、最初の 60 分間に失ふ K 量の平均は腓腹筋では 8.5mg であり縫工筋では 25.9mg である。而して之等は筋の全 K 量に対しては夫々 2.5% 及び 7.6% の喪失となる。之等の個々の例に就て見ると遊離 K 量には非常に差があり、少ないものは多いものゝ半分にも及ばないものが有るが (同名の筋に於て)、然しながら同一蛙の同名の筋の左右を比べるとそれ程の違ひはない。次に行つた実験では実験方法の項に述べた様に切出して 30~50 分間 R 氏液に浸して後の 60 分間に於ける遊離 K 量を比較したのであるから第 1 表の 2 行目の 60 分である第 1~5 例の 4 例に於ける左右の差の最も大なるものに就て、大なる方の少なるものに対する比を求めると腓腹筋では第 2 例の 7.3 : 5.3 で約 1.4、縫工筋では同じく第 2 例の 21.3 : 15.6 で同じく約 1.4 倍である。そこで以下の実験に於ても 40% 程度の動搖では遊離 K 量の増減が有るとは云へない事となる。

第1表 Ringer 氏液中で蛙より剔出した静止骨路筋から
遊離する Kalium 量 (筋 100g につき)

例	筋の種類 及重量 (mg)	経過	遊離 K 量 (mg)	経過	遊離 K 量 (mg)	経過	遊離 K 量 (mg)	経過	遊離 K 量 (mg)	
1	G	570	30'	10.5	60'	7.0	120'	7.1	17 時間	27.4
		550	//	11.2	//	7.1	//	6.5		23.7
	S	320	//	16.3	//	14.1	//	29.6		65.4
		320	//	10.0	//	12.9	//	22.6		81.0
2	G	471	//	10.2	//	5.3	//	7.4	"	34.4
		460	//	13.4	//	7.3	//	9.8		33.6
	S	150	//	14.7	//	21.3	//	20.2		74.3
		146	//	16.9	//	15.6	//	22.8		61.0
3	G	359	60'	12.2	//	10.5	//	16.2	"	24.4
		365	//	14.4	//	10.5	//	17.0		27.0
	S	210	//	38.5	//	27.0	//	27.2		84.8
		248	//	28.7	//	24.3	//	25.9		75.3
4	G	450	//	9.5			180'	12.7	"	41.0
		480	//	7.7			//	11.5		38.8
	S	140	//	33.6			//	38.6		81.6
		180	//	36.2			//	41.5		88.0
5	G	439	//	4.7	60'	3.2	60'	3.3		
		448	//	3.5	//	3.8	//	4.0		
	S	194	//	17.2	//	6.5	//	10.3		
		182	//	13.7	//	5.5	//	7.7		
6	G	399	//	8.6	120'	8.3	120'	4.8		
		388	//	6.6	//	8.0	//	5.0		
	S	107	//	23.9	//	18.7	//	9.2		
		114	//	29.8	//	21.2	//	11.4		
7	G	284	//	8.3	//	7.2	//	7.2		
		277	//	9.6	//	8.6	//	8.1		
	S	114	//	16.4	//	15.4	//	14.4		
		102	//	21.4	//	18.0	//	13.0		

同一蛙の左右の脚の筋を夫々 2cc Ringer 氏液に浸し一定時間後に次の 2cc に入れ換へ之を繰返す
G……腓腹筋, S……縫工筋

B 加圧刺戟による実験

加圧及び対照に用いた筋は各 3cc の R 氏液を入れた小試験管中に没して実験を行ひ、加圧する迄及び復圧後筋を取出す操作は可及的速かに行つたが前後 7 分を要した。以下に示した時間は刺戟時間であつて R 氏液中に筋を浸して居た時間はそれに約 7 分を加へたも

のである。

1. 100 気圧加圧の場合

100 気圧加圧の筋肉には肉眼的な変化は全く認められなかつたので筋の長さは省畧して第 2 表に成績を示した。腓腹筋に就て見ると遊離 K 量は 1 例のみ少しく増加したのではないかと思はれる外対照と変りがあるとは云へ

第2表 100気圧, 60分の作用

	筋の重量 (mg)		遊離 K 量 (mg/筋 100g)		加圧 / 対照	
	加圧 (増減)	対照	加圧	対照		
腓腹筋	431	+4	436	5.1	6.8	0.8
	643	+10	625	1.5	1.0	1.5
	961	+10	959	2.3	2.2	1.0
	633	+7	672	3.6	5.5	0.7
	355	+6	354	7.6	11.2	0.7
縫工場	112	-1	111	21.6	23.4	0.9
	133	0	122	15.0	12.0	1.3
	206	-1	210	12.8	9.9	1.3
	161	-1	172	21.6	16.8	1.3
	114	0	111	29.4	37.0	0.8
場	109	-1	109	35.6	27.4	1.3
	119	0	115	10.8	8.7	1.3

ない。筋の重量は 10mg 以内の増加が見られた。縫工筋に於ても同様で遊離 K 量には変化が認められない。然も重量測定で 1mg 程度は測定誤差であるので筋の重量は不変と認めるべきである。共に筋短縮はなく、復圧後電気刺激に応じた事は勿論である。

2. 200 気圧加圧の場合

腓腹筋の 1 例では 200 気圧に於て既に持続短縮を来したものが有り、復圧後筋の短縮の度を調べると対照筋の長さが 2.4cm であるのに圧を加へた筋は 1.7cm となつて居た。而し

て電気刺激には全く応じなくなつて居り、重量は 20mg に及ぶ増加を示し、遊離 K 量は対照筋の 3.1 倍と非常に増加して居た。其の他の例は第 2 表に見られる如く、腓腹筋の重量が 10mg 以上の増加を来した外は概して 100 気圧加圧の場合と似た成績で、縫工筋の重量には何等変化が認められず両者共遊離 K 量の増加は証明されなかつた。

第3表 200気圧, 60分の作用

	筋の重量 (mg)		遊離 K 量 (mg/筋 100g)		加圧 / 対照	
	加圧 (増加)	対照筋	加圧	対照		
腓腹筋	626	12	638	4.0	4.0	1.0
	418	13	392	4.7	5.7	0.8
	378	14	387	4.6	3.4	1.4
	×336	18	392	17.9	5.7	3.1
縫	132		129	18.1	17.6	1.0
	121		109	16.9	20.9	0.8
	191		189	15.4	16.6	0.9
工	148		167	20.6	18.7	1.1
	111		112	18.3	12.1	1.5
	93		91	20.6	21.3	1.0
筋	99		103	17.5	18.7	0.9

× 非常な短縮が見られた。

3. 300 気圧加圧の場合

圧の刺激作用が殆ど全例に於て明瞭に観察出来る。第 4 表を見ると 2 例は重量増加が

第4表 300気圧, 60分の作用

	筋の重量 (mg)		加圧後の変化		遊離 K 量 (mg/筋 100g)		加圧 / 対照
	加圧	対照	重量増加 (mg)	筋長 (cm) 電気刺激に初長さ 反応の有無	加圧	対照	
筋	236	262	11	1.9 / 2.0 (+)	10.9	7.7	1.4
	369	374	14	1.7 / 2.0 (+)	3.6	3.0	1.2
	362	358	18	1.6 / 2.1 (-)	11.7	3.7	3.1
	594	592	31	1.9 / 2.1 (+) 1.5 / 2.0 (-)	8.5	3.5	2.5
縫	73	76	3	1.8 / 2.3 (+) 1.6 / 2.1 (+)	37.1	24.6	1.5
	58	57	5	2.0 / 2.2 (+)	22.1	13.9	1.6
	108	112	5	1.5 / 2.4 (+) 1.2 / 1.7 (+) 1.2 / 1.9 (-)	23.6	15.8	1.5
	110	111	6	1.6 / 2.3 (-) 1.6 / 2.1 (+) 2.1 / 3.4 (-)	46.1	14.9	3.1

15mg 以下であつたが電気刺戟にはよく反応し筋の長さにも余り変りがなく遊離K量の増加も明瞭でなく200気圧以下の場合と大した変りがない。然し他の2例では18~30mg重量が増加し電気刺戟には反応しないものもあり筋の短縮も起つて居り遊離K量は2倍から3倍となつている。又縫工筋では300気圧60分で重量が5mg程度増加し筋は総て短縮して居たが電気刺戟には大部分反応が見られた。

遊離K量は1例のみ3倍と非常に増加しているが他の3例では聊か増えて居るのではないかと思はれる。300気圧では筋には刺戟作用のみならず筋によつては既に障害作用を呈して居る事を知る事が出来る。

4. 400気圧加圧の場合

400気圧と云ふ高い圧は筋にとり閾値を相当越えた圧であるので60分も作用せしめると非常な影響を受けるのは当然と考へられる。

第5表 400気圧の作用

	筋の重量 (mg)		時 間	加 圧 後 の 変 化			遊離K量 (mg/筋100g)		加圧/ 対照	
	加 圧	対 照		重量増 加 (mg)	筋長(cm) 初の長さ	電 気 刺 戟 に 反 応 の 有 無	加 圧	対 照		
腓	705	683	60'	30	$\frac{2.1}{2.7}(-)$		11.7	2.7	4.3	
	774	771		36	$\frac{1.9}{2.7}(-)$		17.8	3.7	4.8	
	423	413	25'	19	$\frac{1.7}{2.3}(-)$		6.3	1.5	4.2	
	412	431		22	$\frac{1.7}{2.4}(-)$		9.1	4.4	2.7	
腹	314	321	20'	17	$\frac{1.3}{2.0}(-)$		14.3	5.4	2.7	
	801	805		48	$\frac{2.2}{2.9}(-)$		16.8	4.4	3.8	
筋	466	434	15'	25	$\frac{2.0}{2.8}(\pm)$		9.3	5.6	1.6	
	388	411		26	$\frac{1.8}{2.3}(-)$		7.3	3.8	1.9	
	960	960	10'	46	$\frac{1.8}{2.8}(-)$		4.5	1.7	2.6	
328	334	17		$\frac{1.6}{2.2}(-)$		11.1	4.9	2.3		
縫	119	118	60'	11	$\frac{1.9}{3.1}(-)$	$\frac{1.4}{2.5}(-)$	48.0	15.2	3.2	
	152	155		14	$\frac{1.2}{1.7}(-)$	$\frac{1.5}{2.7}(-)$	52.0	17.7	2.9	
	182	181	25'	8	$\frac{1.3}{2.5}(-)$	$\frac{1.4}{2.2}(-)$	$\frac{1.1}{2.1}(-)$	26.3	5.6	4.7
	164	154		14	$\frac{1.9}{2.7}(-)$	$\frac{1.6}{2.4}(\pm)$	$\frac{1.6}{2.3}(\pm)$	29.8	11.2	2.7
工	79	77	20'	8	$\frac{1.2}{2.0}(-)$	$\frac{1.0}{1.7}(-)$	24.6	10.4	2.4	
	179	182		12	$\frac{2.0}{3.0}(-)$	$\frac{1.7}{2.5}(-)$	30.0	11.4	2.6	
筋	155	162	15'	6	$\frac{1.3}{2.2}(-)$	$\frac{1.6}{2.6}(-)$	12.4	5.2	2.4	
	132	134		9	$\frac{1.8}{2.2}(+)$	$\frac{2.3}{3.0}(+)$	10.5	8.7	1.2	
	132	126	10'	11	$\frac{2.4}{3.1}(+)$	$\frac{1.1}{2.4}(-)$	13.9	10.8	1.3	
207	198	8		$\frac{1.3}{2.2}(+)$	$\frac{1.6}{2.6}(+)$	6.3	6.4	1.0		

そこで短い時間の作用をも調べて第5表に示した。腓腹筋では作用時間の長短にかゝらず筋の重量は25~35mg増加し筋の短縮の度も著しく電気刺戟には殆んど全例反応しなくなつて居た。遊離K量は2~5倍となり時間の長いものでは静止筋の5倍と大増加を来した。唯1例電気に未だ少し反応がわづかに起つた様に見える筋では遊離K量が殆んど増して居なかつた。概して重量の増加は時間の長短には無関係に早くから増加し遊離K量は時間が長くなる程対照に比して増加の度が大となる様な傾向が見える。次に縫工筋に就て見ると筋の重量は加圧時間の短いものも長いもの同様に15mg迄と非常に増加を来した。筋の短縮は加圧時間の短いものが比較的その度も少なく電気刺戟にも反応するが長時間の作用では短縮の度も大となり電気刺戟にも応じなくなつて居る。遊離K量は10分迄では対照と変らないが時間が長くなると3~5倍迄と大増加が起つている。

C. 電気刺戟による実験

1. 間接刺戟による場合

用ひた装置はシャーレにパラフィンを満たし約5c.c.入る長方形の池を平行に2個作り両池間の高所の中央に刺戟電極を装置し、感応コイルによるFaraday電流を刺戟電極に導いた。パラフィン池には3c.c.のR氏液を入れその中に各々坐骨神経を附した腓腹筋及び縫工筋を入れて神経は中央の刺戟電極上に置き、乾燥を防ぐ為に湿綿で神経上を覆つて電気刺戟を行つた。この場合感応コイルの縦軸距離を漸次短くしてゆくと先づ腓腹筋が短縮を起しそれより尙電流を強めてゆくと始めて縫工筋が短縮する。そこで縫工筋が充分短縮を起す強い電流を用ひ、10~20秒電気刺戟を行ひ同じ時間休み之を数回繰返して此の様な操作を1時間に5~7回行つた。実験終了後は勿論中途からも間接刺戟には応じなくなつたが直接刺戟には全例尙よく反応した。筋の重量は神経其の他が附着しているので実験前には測定せず終了後切断して測定した。

縫工筋は比較的大なる蛙から取つた1対を

使用し第6表にその成績を示した。筋は相当著しい短縮を起して居るが上に述べた様に未だ直接刺戟には明瞭に短縮を認める事が出来る。遊離K量は弱い圧刺戟に見られたと同様に増加は見られず例へ増へているとしても高い圧刺戟による場合の様な増加は証明されなかつた。

第6表 間接刺戟の作用

	筋の重量 (mg)		筋短縮度	遊離K量 (mg/筋100g)		刺戟/対照
	刺戟	対照		刺戟	対照	
腓	717	710	$\frac{2.3}{2.8}$	6.8	8.0	0.9
	611	564	$\frac{2.0}{2.6}$	3.6	3.1	1.2
	325	332	$\frac{2.4}{3.0}$	2.4	1.7	1.4
腹	371	355	$\frac{1.4}{1.9}$	6.6	7.9	0.8
	688	662	$\frac{1.9}{2.6}$	5.7	4.3	1.3
筋	638	621	$\frac{2.1}{2.5}$	7.5	8.3	0.9
	74	68	$\frac{1.7}{2.6}$	31.4	27.4	1.1
縫	101	103	$\frac{1.9}{3.3}$	18.6	12.6	1.4
	62	63	$\frac{1.8}{2.2}$	31.2	27.0	1.2
工	96	87	$\frac{2.0}{3.0}$	42.6	32.2	1.3
	119	121	$\frac{2.2}{3.2}$	22.6	27.4	0.8
筋						

2. 直接刺戟による場合

実験装置は間接刺戟に用ひた装置と同様にシャーレにパラフィンを満たして中央に中隔のある2個の池を作り、中隔には夫々腓腹筋及び2つの縫工筋を横たへる事の出来る様なくびれを作り、筋の中央を此のくびれに入れて両房を遮断する為にワセリンを以て隙間なく塗つた。電気刺戟にはFaraday電流を以つてし電極には銀線を両房の液中に露出して、間接刺戟を行つたと同様の方法で電気刺戟を行つた。3c.c.のR氏液は両房に半量ずつを入れ実験終了後よく両房の液を混和して定量に供した。

A. 閾値より弱い電流による刺戟

腓腹筋に短縮が現はれぬ程度の弱い電流で

刺戟したので縫工筋に於ても勿論であるが肉眼的には何等の変化も認められない。そこで筋の長さの測定は省略して第7表に示した。遊離K量に就て見ると稀に対照に比し高々1.4倍程度になつて居るものがある位で一般に増加は認められなかつたが筋の重量は唯単に筋に電流が流れていたに過ぎないのに既に

腓腹筋では5~10mg, 縫工筋では5mg以下の増加が証明された。

B. 最大刺戟を越えた電流による刺戟
縫工筋が強い短縮を起す電流で刺戟を標ふと腓腹筋も勿論短縮し実験終了後には勿論中途からも殆んど総ての例では電気刺戟に反応しなくなつて居た。60分では対照筋に比して著明な変化が認められたので比較的短い時間に就ても行つたが電気刺戟の回数は勿論時間に比例して少ない訳である。その成績は第8表に記した。腓腹筋では時間の長短にかゝらず筋重量は25~45mgの増加が認められ、長さの減少も相当著しいものがある。遊離K量は2.5~5倍と非常な増加が証明されたが時間の短いものに於て比較的少なく長い方が大となつて居る。縫工筋に於ても同様に20分の刺戟のものも、60分のもの同様重量が10乃至30mg増加して居り筋の短縮の度も著しい。遊離K量は刺戟40分の1例で未だ電気刺戟に反応が見られたものでは増加が認めら

第7表 直接刺戟(闕下)の作用, 経過60分

	筋の重量 (mg)			遊離 K 量 (mg/筋100g)		刺戟 / 対照
	刺戟	重量増加	対照	刺戟	対照	
腓腹筋	323	7	328	10.7	9.5	1.1
	245	5	240	10.1	12.3	0.8
	482	13	464	8.8	8.1	1.0
	333	10	335	8.5	7.6	1.1
縫工筋	83	4	89	29.4	24.9	1.2
	83	2	80	25.2	27.3	0.9
	81	2	77	39.1	27.2	1.4
	115	4	118	30.6	25.2	1.2

第8表 直接刺戟(最大刺戟より強い電流)の作用

	筋の重量 (mg)		時 間	刺戟後の変化		遊離K量 (mg/筋100g)		刺戟 / 対照
	刺戟	対照		重量増加 (mg)	筋長(cm) 電気刺戟に 初の長さ 反応の有無	刺戟	対照	
腓腹筋	355	312	60'	33	$\frac{1.6}{2.2}(-)$	16.8	3.5	4.8
	356	351		38	$\frac{1.7}{2.2}(-)$	19.2	6.0	3.2
	537	538		43	$\frac{1.9}{2.7}(-)$	14.1	4.3	3.2
	375	379	40'	26	$\frac{1.8}{2.2}(±)$	12.4	4.9	2.5
	263	309	20'	34	$\frac{1.6}{2.0}(-)$	9.8	3.9	2.5
縫工筋	70	79	60'	12	$\frac{1.6}{2.0}(-)$ $\frac{1.3}{2.2}(-)$	53.5	15.7	3.4
	73	74		10	$\frac{1.2}{2.1}(-)$ $\frac{1.7}{2.4}(-)$	63.4	17.2	3.6
	151	134		30	$\frac{1.4}{1.8}(-)$ $\frac{1.7}{2.6}(-)$	49.1	17.0	2.8
	72	87	40'	17	$\frac{1.7}{2.4}(+)$ $\frac{1.2}{1.8}(+)$	38.8	25.2	1.5
	138	130		24	$\frac{1.8}{3.2}(-)$	31.0	12.5	2.4
	92	89		20'	12	$\frac{1.3}{2.2}(-)$ $\frac{1.1}{2.0}(-)$	25.3	10.0

れなかつた外は総て実験終了後は電気刺戟に反応せず2.5~3.5倍と大増加が認められるが、やはり時間の長いもの程概して遊離K量の増加の度も大であつた。

V 考 察

上記予備実験と似た実験を Horton⁹⁾ が行つて居る。縫工筋に就て32分, 3時間, 18時間の各々を定量して筋100gにつき320mgのKを含んで居るとして計算して、最初の半時間に約10%, 24時間を計算して見ると20~40%, 72時間に6回取換へたものでは70%迄を失ふと述べている。上記実験成績は筋100gのK含量を340mgとして計算した。縫工筋に就て比べると最初の30分では5%, 60分で10%と低い値を得たが、20時間では37%~52%平均43%で少し高くなつて居る。腓腹筋では最初の60分迄に約3%, 20時間では14~20%平均18%であり縫工筋に比して甚だ少ないが、腓腹筋は重量の割に表面積が少ないので内部の筋繊維及び繊維間隙に存するKが外部に遊離するのが困難な為当然少ないと考へられる。

偕て加圧刺戟の成績を見ると300気圧に於て遊離K量は腓腹筋の4例中2例には増加が見られるが、縫工筋の4例中3例は余り増加して居ない。電気刺戟の場合に腓腹筋の閾値の方が縫工筋よりも低い事実は既に述べた。而して又腓腹筋の圧閾値は300気圧前後のものが多い。従つて縫工筋では測定装置の関係から圧閾値を調べる事が出来なかつたが、恐らく圧刺戟に於ても閾値は腓腹筋よりも高いものと思はれる。次に200気圧の作用で既に著しい影響が現はれて居るものが有る反面300気圧でも甚だしい変化の現はれて居ないものが見られる。此の様な差異は明らかに筋の圧閾値即ち興奮性の差異に帰する事が出来る。従つて或る筋にとつての200気圧の作用は他の筋に対する300気圧の作用と等しい事が有る訳である。此の様な観点に立つて圧作用をその成績から3段階に分けて述べると、

1. 第1度の弱い圧作用の場合：一唯筋

の重量増加のみが見られる外肉眼的な変化も遊離K量の増加も起らない場合であつて、表から計算すると重量増加は腓腹筋では3%程度以下であり圧が高い程増加の度も大である(第2・3表)。縫工筋では重量の増加が認められなかつたが、測定誤差程度の為証明されなかつたのかも知れない。

2. 第2度の圧作用の場合：一筋の重量増加の度は非常に増し、圧を去つた後筋は少し短縮して居るが未だ充分電気刺戟に反応する能力を有して居り、遊離K量は殆ど増加して居ない場合である。重量増加の度は腓腹筋では約5%(第4表の2例)、縫工筋では5~10%である(第4表及び第5表の3例)。

3. 第3度の強い圧作用の場合：一筋重量増加も著しく、復圧後の短縮の度も甚だしい。而して最早電気刺戟に対して反応する機能を失つて居り、甫めて遊離K量の著明な増加が証明される場合である。重量増加の度は腓腹筋では4~6%であり、縫工筋では5~10%で第2度の圧作用の場合と略々同程度である。又筋短縮の度を計算して見ると腓腹筋では26%、縫工筋では31%程度であつた。

次に電気刺戟作用の場合に就て見ると、

間接刺戟の場合：一最大刺戟を起えた強い電流の為相当程度の短縮が起つたが勿論直接刺戟には反応する。而して遊離K量の増加も認められない。筋重量の増加は測定しなかつたが後述の理由で当然増加して居ると思はれる。

閾下直接刺戟の場合：一腓腹筋で3%、縫工筋で5%以下の重量増加が見られる外、外観上にも遊離K量にも変化が見られない。

最大刺戟を越えた直接刺戟の場合：一筋短縮の度は腓腹筋で26%、縫工筋では31%で、遊離K量の増加も甚だしく、之等は大体第3度の圧作用の場合と等しいが、筋重量の増加の度は腓腹筋では10%、縫工筋では20%程度と非常に多く、第3度圧作用の場合の2倍位となつて居る。

筋重量の増加が若し圧に由つて半透膜の透過性が変りイオンの交換又は侵入が起るか水

分が入つたとすると、圧を去つた場合半透膜が障害されぬ限り比較的速かにもとの状態に返り重量増加は証明されぬ筈である。200 気圧迄で未だ短縮の起らない腓膜筋でも圧を加へると興奮性が高まり、圧を去ると旧に復する事を明らかにしたが¹⁶⁾、後に述べる K の場合同様興奮性亢進の際代謝が盛となり低分子量の物質に分解した為滲透圧が高まり、水分が入つた為重量増加が起つたものであらう。又重量増加の度は第 2 度の圧作用の場合（より強い圧でも短時間の作用の場合をも含めて）既に最高の値を示し第 3 度の圧作用の場合にも之以上の増加は認められぬので、増大する代謝の過程は第 2 度の圧作用に於て終了するものと考へられる。尙電気刺戟の場合と比べると最大刺戟を越えた直接刺戟の場合には圧作用の場合の最大増加度の 2 倍にもなつて居る。之は何に由来するか明らかでないが、或ひは電流に由つて筋は初短縮弛緩を繰返すに反し圧の場合には同じ短縮状態を続けると云ふ違ひに由るのかもしれない。

電気刺戟に由つて筋から K が遊離するか否かに就ては多くの報告が有る。Neuschloss¹⁵⁾ Netter¹⁶⁾ 其の他は筋の中には結合 K と拡散性 K とが同時に存在する事を予想し、Ernst と Fricker⁴⁾ 及び Reginster¹⁷⁾ は静止筋では K の大部分は非拡散性の結合 K であり、直接及び間接刺戟によつて短縮し、若しくは熱強直を起した筋では非拡散性の K がイオン分解されて拡散性 K に移行する事を示した。又 Mitchell と Wilson¹⁸⁾、Ernst と Scheffer²⁾ Ernst と Csúcs³⁾、Mond と Netter¹⁴⁾、Fenn と Cobb⁷⁾ 等は蛙筋を間接刺戟したのでは認むべき K の損失はないが、疲労する迄直接刺戟すると K を失ふ事を証明した。殊に Ernst と Csúcs³⁾ は直接刺戟に於けると同程度に間接刺戟によつても又興奮に依つてもその第一の生理的な結果として K と PO_4 とがイオン化するが、直接刺戟による電流の障害作用に依つて甬めて灌流液中に出ると述べて居る。此の観点から Ernst と Fricker⁵⁾ は直接刺戟に依る障害作用のかはりに Ca を含まず且 KCl

を 0.3~0.5% に高めた Ringer 液で灌流した処、間接刺戟の場合にも K の損失を認め、K 損失を起させるには何等かの障害作用の必要な事を証明した。上述実験成績も亦間接刺戟では遊離 K が増加しなかつたが直接刺戟で完全に疲労した筋に於てのみ K 増加が見られた事は之等先人の成績とよく一致して居る。加圧実験に就て見ると前記第 2 度の圧作用に由り第 3 度の強い圧作用の場合と同程度の重量増加が認められるから、筋肉内で K、 PO_4 其他の拡散性移行過程が終るに拘らず遊離 K 量の増加が証明されぬので、第 2 度の圧作用程度では間接刺戟及び完全に疲労する迄に至らない直接刺戟同様何等障害作用はないと云ふ事が出来る。而して第 3 度の圧作用の場合は直接刺戟に依つて障害作用の現はれた場合と同様に遊離 K 量の増加も著しいから、強い圧作用では筋に障害を及ぼすものであらう。

尙間接刺戟によつても筋から K が出るか否かに就てであるが、Schenk²¹⁾、Ewig²²⁾ は激しく動いて疲労した人間の血中 K が増加し Verzar と Somogyi²⁰⁾ は猫で、東島¹⁰⁾ は家兎に就て坐骨神経刺戟後 Plasma K の増加を報告して居るが、剔出蛙筋での上記実験成績では間接刺戟では勿論、直接刺戟及び圧刺戟の場合にも筋が全く疲労してしまふ迄遊離 K の増加は証明し得なかつた。

結局 (B) の 1, 2 の成績により、筋が未だ短縮しないが興奮性の亢進する 100~200 気圧加圧で筋形質膜の透過性の変化は証明されない。のみならず加圧下筋が既に短縮している際でも同様であるから、此の成績の示す処では筋形質膜は K に関する限り、圧による透過性が変らないし、圧による筋の興奮性の亢進乃至短縮過程に K の移動が与らないと云ふ事になる。そして間接電気刺戟に於ける筋の短縮の場合でも〔(C) の 1〕K の移動が証明されない。或は著者の用ひた様な K 移動証明法で発見出来ない移動が存し、それが有意義なのかも知れない。

VI 結 論

1. 腓腹筋及び縫工筋は100~400気圧の作用で次の現象が見られた。

a) 弱い圧作用の場合：一筋は短縮せず唯腓腹筋の重量が約3%増加する。

b) 中等度の圧作用の場合：一腓腹筋では5%，縫工筋では5~10%重量が増加し、筋は或程度短縮するが未だ電気刺戟にはよく反応し、筋からの遊離K量は増加していない。

c) 強い圧作用の場合：一筋の重量増加はb)と同程度であるが、短縮の度は著しく電気刺戟には全く反応せず、遊離K量は静止筋の5倍にも及ぶ増加を示す。

2. 電流に由る間接刺戟では遊離K量の増加は起らず、闕下の直接刺戟では腓腹筋は3

%, 縫工筋は5%その重量増加が見られた。最大刺戟を越えた直接刺戟では腓腹筋は10%, 縫工筋は20%重量が増加した外c)項同様な結果を得た。

3. 圧刺戟を直接電気刺戟と比較すると、両者共強い刺戟の場合は重量増加の度が電気刺戟の場合の $\frac{1}{2}$ 程度でしかないと云ふ差違があるが、筋短縮の程度及び筋を障害して大量のKを遊離せしめる点で両者は似た作用を筋に及ぼす。

4. 圧に因る筋の興奮過程に、筋形質状のKイオンに関する透過性変化が与るとは証明されなかつた。又圧に由る筋の興奮性亢進乃至短縮過程にKの移動が関与することも確認出来なかつた。

摺筆するに当り終始御懇篤な御指導と御校閲を賜った恩師林教授に衷心から謝意を表す。

文 献

- 1) Ebbecke, U., Pflügers Arch., **157**, 79, 1914.
- 2) Ernst, E. und L. Scheffer, Ibid., **220**, 655, 1928.
- 3) Ernst, E. und L. Csúcs, Ibid, **223**, 663, 1929.
- 4) Ernst, E. und J. Fricker, Ibid., **234**, 360, 1934.
- 5) Ibid., **234**, 399, 1934.
- 6) Fahr, G., Zeitschr. f. Biol., **52**, 72, 1909.
- 7) Fenn, W.O. and D.M. Cobb, Am. J. Physiol., **115**, 345, 1934.
- 8) 藤井暢三：生化学実験法 定量編。
- 9) Horton, H.V., J. Physiol., **70**, 389, 1930.
- 10) 東島辰雄：岡医誌, **55**年, 9号, 1943.
- 11) Cramer, B. and F. F. Tisdall, J. Biol. Chem., **46**, 339, 1921.
- 12) Macallum, A. B., Erg. Physiol., **11**, 631, 1911.
- 13) Mitchell, P. H. and J.W. Wilson, J. gen. Physiol., **4**, 45, 1922.
- 14) Mond, R. und H. Netter, Pflügers Arch., **223**, 663, 1929.
- 15) Neuschloss, S.M., Ibid, **204**, 379, 1924.
- 16) Netter, H., Ibid., **234**, 680, 1934.
- 17) Reginster, A., Arch. internat. Physiol., **45**, 69, 1937.
- 18) 丹原英昌：本誌, 第1編。
- 19) Ibid., 第2編。
- 20) Vezár, F. and J.C. Somogyi, Nature, **145**, 781, 1940.