

# 日本生理學雜誌

第 12 卷 第 5, 6 號

昭和 25 年 6 月 25 日 發行

編 集 幹 事

浦本政三郎・久保盛徳・坂本嶋嶺・鈴木正夫

戸塚武彦・林 謙・福田邦三

故橋田教授略歴 橋田邦彦教授の長逝を悼む

## 原 著

福 田 篤 郎：生理的クレアチン尿の出現條件……………	87
木 村 一 雄：通電による筋繊維の持続及回復並に短縮の大きさの変化に関する研究……………	91
唐 川 正 典：神経、筋動作流の發現機構に関する研究（主として其等に於ける「層對電説」（前川）の驗證）（第 1 報）容積導体内に於ける神経動作流……………	103
唐 川 正 典：神経、筋動作流の發現機構に関する研究（主として其等に於ける「層對電説」（前川）の驗證）（第 2 報）容積導体内に於ける神経動作流と空氣中に於けるそれとの關連性……………	107
唐 川 正 典：神経、筋動作流の發現機構に関する實驗的研究（主として其等に於ける「層對電説」（前川）の驗證）（第 3 報）容積導体内に於ける墓縫工筋動作流……………	111
唐 川 正 典：神経、筋動作流の發現機構に関する實驗的研究（主として其等に於ける「層對電説」（前川）の驗證）（第 4 報）容積導体内に於ける墓腓腹筋の動作流……………	116
新 島 旭：いきこらえの研究（6）再呼吸との比較……………	121
新 島 旭：いきこらえの研究（7）加壓空氣吸入の人体に及ぼす影響……………	123

## 會 報

計 報……………	132
第 27 回日本生理學會評議員會記事……………	132
日本生理學會昭和 24 年度決算報告……………	133
附：日本生理學雜誌第 11 卷總目次……………	

# 日 本 生 理 學 會

略名・日本生理誌 Nihon Seiri. Z. J. Physiol. Soc. Jap.
--

# 生理學講座

日本生理學會編

全12卷

過般、東西に互つて催された日米醫學交換の會を通じ、全面的にもつとも強く感じ得られた特徴の一つは、從來のわれわれの想像を絶して、生理学が臨床面に顯著な影響をもち、その相互の不可分性が確立されるに至つているということである。

そうしてこのことは恰もまた、當學會が「生理学講座」の立案編集の上に、當初より意圖したところと全く方向を同じくするものであつて、この機會に改めて認識せられた本講座の先驅的な合目的性を、われわれは敢えて誇負し得るであらう。

この講座のかかる本來の價値に對し、今や急速に理解が擴められ、「生命科学の全体系」・「數千冊の醫書にも勝る醫學百科事典」の役割を果すわが國の醫學出版史上驚異すべきエポックメイキングな刊行書であるとして、第1回配本の發賣以來、空前の反響を呼び起し、早くも8月5日には初版を賣切り、續いて再版を發行するの好成績を収めるに至つた。しかしながら本講座の如き企ては、今までいかなる大出版社も採算上よりして決して着手しなかつた程に、經濟的には極めて困難多きものである。

われわれは、生理学が現代の中に占める地位の重要性を洞察して、わが國においては最初の週期的な生理学の体系書である本講座を、われわれの明日への一道程標として、美事な成果を擧げさせしめることに、最大の考慮を拂わなければならぬであらう。

わが全日本生理學會員の美わしき熱情と積極的な支援とが、本講座の普及の上に結集されることを、われわれは切に期待してやまないものである。

## 〔内容部門〕

生物の物質的基礎

生体電氣現象および生体反應

生物生理

心理と生理

体育生理

血液および循環

呼吸、消化、榮養、代謝

感覺、運動（神經、筋）

淋巴、排泄、内分泌、生殖、体温等

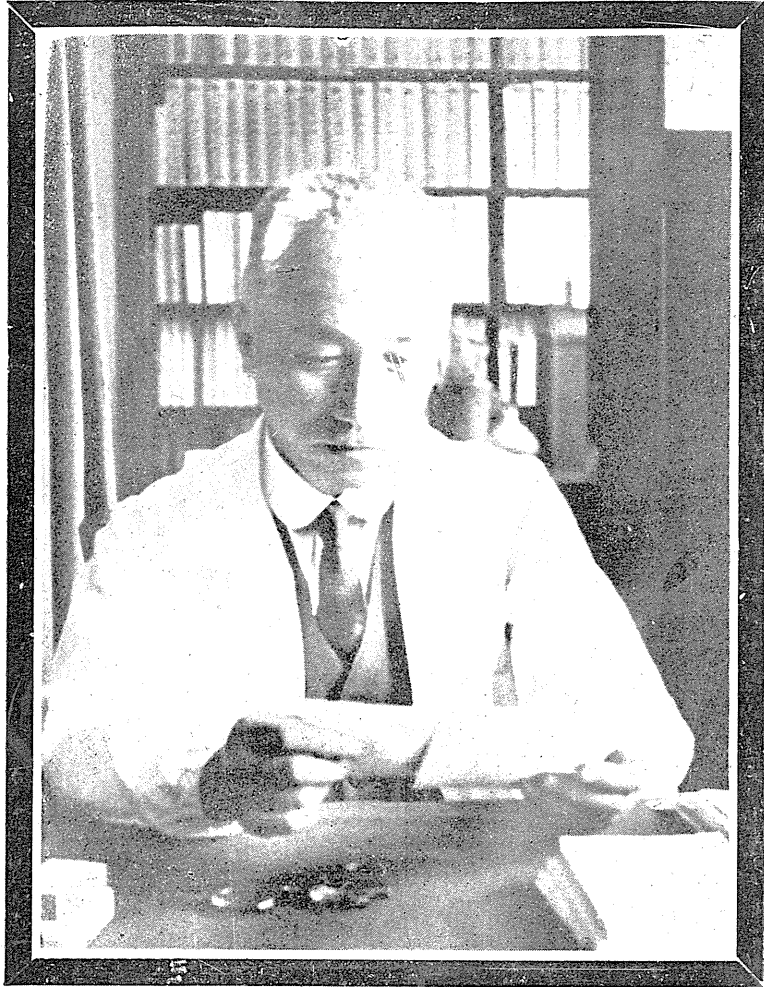
實驗法、歴史その他

總索引・用語集

（内容見本進呈）

分冊箱入上製  
各卷六〇円 千六五円  
會員特別割引 五四〇円  
發行 東京都千代田區神保町二ノ四  
中山書店内  
生理學講座刊行會

お申込は至急—日本生理學會—（東京都文京區本富士町 東京大学醫學部生理学教室内）



故 橋 田 邦 彦 教 授

### 略 歴

藤田謙造二男。1882年3月15日鳥取縣倉吉町に生る。1899年1月同縣橋田見流の養子になる。翌々年3月同縣第一中学校卒業。1904年7月第一高等学校卒業。1908年12月東京帝國大学醫科大学醫學科卒業。翌年1月同学助手に任ぜられ生理学教室(大澤謙二教授)勤務。1914年3月~1918年9月独逸(Strassburg i. E. 大学生理学教室, M. Gildemeister 助教授)及び瑞西(Zürich 大学法醫學教室, H. Zangger 教授)に留学。1918年11月助教授に昇進。1921年5月醫學博士を授けらる。翌年1月教授に昇進。1922年7月~1940年7月大日本生理學會常任幹事。1937年4月第一高等学校長に任ぜられ東京帝國大学教授を兼ねる。1940年7月文部大臣に任ぜらる。同年9月敍勳二等。翌々年8月敍正三位。1943年4月文部大臣兎官。東京帝國大学名譽教授の名稱を授けらる。翌年3月任教學鍊成所長。1945年9月14日東京都荻窪の私邸に於て薨去す。

## 橋田邦彦教授の長逝を悼む

東京大学名誉教授橋田邦彦氏は、1945年9月14日、太平洋戦争の戦争犯罪容疑者として米國進駐軍へ召喚されることになったとき、東京都荻窪の私邸に於て従容として自決された。寔に哀悼に堪えない。

氏は鳥取縣藤田家に生れ、幼にして俊秀、同縣橋田家の養子になられた。東京帝國大学卒業後、大澤謙二教授の下に生理学を研究、後独逸及び瑞西に留学、Zürich 大学法醫學教室に於て Zangger 教授の下で種々の塩類及び麻醉剤を用いて蛙皮の電動力を測定し、吸着電位及び形質膜の透過性を基として静止電位及び活動電位を説明された重要な研究を遂げられ、1918年歸朝後助教授となり生理学第二講座を擔當、1922年教授に昇進、大日本生理學會常任幹事に推挙され、1937年第一高等学校校長に任ぜられ東大教授を兼ね、助教授、教授として約21年半勤続、又18年間常任幹事として大日本生理學會の事務を執られた。

氏は東大生理学教室に於て孜孜として研究を続け多くの確実な結果を挙げ又之に関連した2, 3の論述を發表された。基本的な実験條件乃至方法に関係した、電極とコイルによつて起る振動、神経内に於ける神経纖維叢等の研究もされたが、主として電氣乃至筋神経生理学を研究され、蛙皮の二相性活動電流の起る條件を決定、更に蛙皮の電導性の灌流による影響から蛙皮の外面に電解質が集積することを推定された。その後氏は陰極線オツシログラフを用いて蛙皮の電氣容量及び挿入した自己感應による電氣振動及び筋及び神経に於ける分極を確かめられた。次に直接刺激によつて分極せる蛙皮に電氣的變動を起させ之を形質膜の透過性の増加によつて説明され、又核電導体模型を用いて示唆する所多き幾多の実験的事実を見出された。氏は刺激及び興奮の概念に就いて明細に論述せられ、被刺激性及び興奮性を分離された。又生体の全機性を説かれ、全体への連関を考へて刺激乃至興奮の根本過程を考察された。更に電流の刺激作用に関する理論を適切に批判され、又蛙及び蟄の

一般骨筋纖維に於ける傳播しない小收縮を発見された。尙晩年に正確な方法で日本語母音スペクトルを定められた。

1923年 The Journal of Biophysics を発行され、歐米に於て好評を博した。後にこの雑誌は Jap. J. of Med. Sci. III. Biophysics に合併されたが、その編集は氏が擔當された。

氏の専門の著書としては「生物の電氣発生」があり、我が國の電氣生理学の發達に貢献して居る。尙学習書としては「生理学要綱」、岩波全書中の「生理学」、[生理学小実験] (共著)、[物理化学大綱] があり、我が國の生理学並に醫學の教育乃至学習に裨益する所甚大である。多くの門弟が氏に師事し、大学教授になつた者が20名以上である。従つて氏の指導の下に廣範圍に亙つて數多の研究が行われ、殊に電氣生理学に於て歐米生理學者の注目を惹いたものが多い。

氏の門弟の指導は徹底して居た。即ち実験、講義、談話等あらゆる行爲によつて学道を訓えられたのである。その談話及び講義を門弟が纏めた書として「碧潭集」、「空月集」、「自然と人」、「行としての科学」、「正法眼藏釋意」第1卷乃至第3卷等がある。

氏は教授の時代に學術研究會議會員及び教育審議會臨時委員として研究乃至教育行政に干與されたが、1940乃至43年大臣として文部行政に専念され、その後東大名譽教授として毎日生理学教室に通うようになられ、1944年教学鍊成所長に任ぜられた後も隔日生理学教室に來られ教室員を指導された。又名誉教授の際に技術院參與を仰付けられた。

氏の科学的功績は實に偉大であるが、更に氏は莊嚴なる学道を後輩に示して居られる。

いくそ度生れ生れて日の本の

学の道を護り立てなむ

ここに氏の辞世の歌一首を掲げ、御冥福の悠久に榮えんことを祈り奉る。

坂本嶋嶺誌

(生理学雑誌の記事であるから恩師に對する敬語を略した。諸賢の御寛恕を乞う。)

## 生理的クレアチン尿の出現条件 612.458

Physiological Creatinuria as the Result of Adrenal Cortical Insufficiency

福田篤郎 (Fukuda-Toku-Ro)\*

### I. 緒 論

筋力発生の化学過程に於けるクレアチン体の意義が Eggelton 夫妻 (1927) によつて明らかにされて以來、内因性蛋白代謝に属するクレアチン体代謝は各方面から重視され之れに関する研究は枚挙に暇がない。クレアチン体の排泄に関しては体内クレアチンが自然脱水過程によつて所謂老廃型のクレアチニンに轉じ血中にあるがまゝに尿中に排泄され、クレアチンとしては健康成人の尿中に出現せぬことに異論がない。しかしながら小兒期に於ては生理的に常にクレアチンの排泄を見るものであり、この有用物質の損失が如何なる条件で起るかに關しては今日に至るまで何等決定的の説明なく全く未解のまゝにとゞまつている。生理的クレアチン尿の出現頻度が年齢の増加と共に減少することから成熟現象の標示ともみなされ (安田等12), 或は女性に於ては成熟期を過ぎても屢々認められることから性ホルモン、特に男性ホルモンとの關係が推定はされて居たが、未だ実證をみない。Duckworth (2) は未成熟少年に前葉の性腺刺戟ホルモン或は男性ホルモンの投與を試みたが、クレアチン尿を抑制することが出来なかつた。動物実験に於ける去勢の影響も不定であり、性機能とクレアチン尿の關係は不明にとゞまつている。その他内分泌機能とクレアチン尿に關しては甲状腺の關與が着目され、或はアヂソン氏病に於ては多くの場合クレアチン尿をみる等多岐にわたつて断片的の報告をみるも、所謂生理的クレアチン尿の出現条件に關しては何等説明するところがない。

以上の如く生理的クレアチン尿出現に關する見解の未だ何等確證をみない時にあたり、著者

\* 千葉医科大学・生理学教室・労働生理研究室

はそれが副腎皮質機能の不全によることを確認し得たのでこゝに報告する次第である。

尙本研究は第1回体力醫學會 (昭和24年11月4日) 並びに第25回千葉醫學會總會 (昭和24年11月22日) に発表した。

### II. 證明方法

副腎皮質の機能不全の證明は現在のところ副腎皮質ホルモンの投與による機能改善を目標とする以外に確実な方法がない。たゞしこゝに副腎皮質ホルモンとは、副腎が含有する各種ステロイド中何を指すかが問題である。本研究に用うる皮質ホルモンは著者 (3) の提唱する利尿因子 (diuretic factor) であり、その有機溶媒に対する溶解性は Kendall (8) の抽出した Compound E に近いものであり、恐らくそれをも含有する水溶性分劃である。近時副腎皮質の各種ステロイドの生理作用が漸次解明されるに従つて、従來皮質ホルモンの主有効成分と考えられて來た Corticosterone 或は desoxycorticosterone の生理的意義は次第に失墜するに至つたのであり之等に関する詳細は上記事者論文を参照されたい。利尿因子の投與量は著者 (3) の提案する生物学單位 (蛙單位) で表わす。尿中クレアチンの定量は Folin & Wu 變法 (安田法) に依つた。

### III. 實驗事實

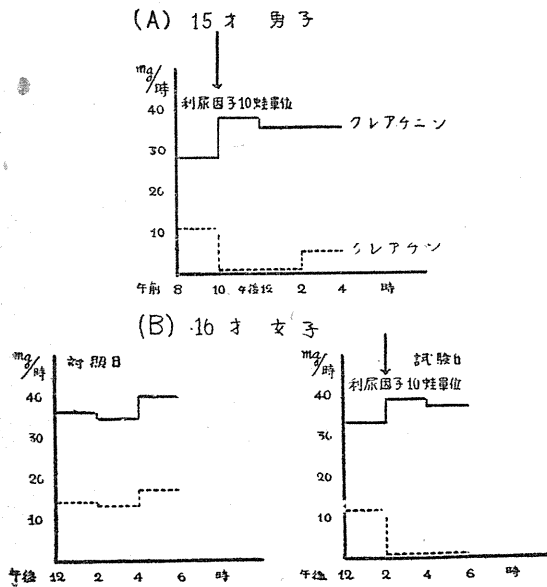
#### (1) 生理的クレアチン尿に對する副腎皮質利尿因子の影響

こゝに生理的クレアチン尿とは、比較的若年者で何等特記すべき臨牀症狀をみず常に尿中にクレアチンを排泄する場合を云う。安田等 (12) によれば男子では年齢満9年までは殆んど全部にこれをみるが満13年を過ぎると甚だ稀になり女子では成年者でも約1/3にみると云う。

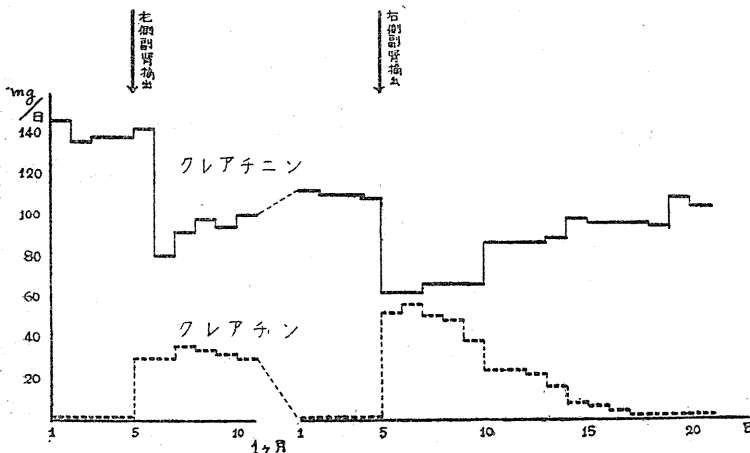
著者研究室に於ける昨今の調査成績では、満18才に於て男子でも27% (44名中) 女子では44% (50名) に見出される。これ等に関する詳細は古山 (4) によつて報告される。

さて著者は之等常時クレアチン尿をみる比較的若年の男女に副腎皮質利尿因子10~20蛙單位を皮下に投與するに、何れの場合も尿中クレアチンの排泄は短時間内に完全に消失し、數時間後に至つて再び現れることを觀察した (第1図参照)。

第1圖 生理的クレアチン尿に対する副腎皮質ホルモンの影響



第2圖 家兎副腎摘出のクレアチン体排泄に及ぼす影響



この様に利尿因子が生理的クレアチン尿の出現を適格に抑制し得ることは、之等クレアチン尿が副腎の利尿因子分泌不足即ち皮質機能不全に起因することを如実に證明するものと思われる。

(2) 副腎機能とクレアチン尿

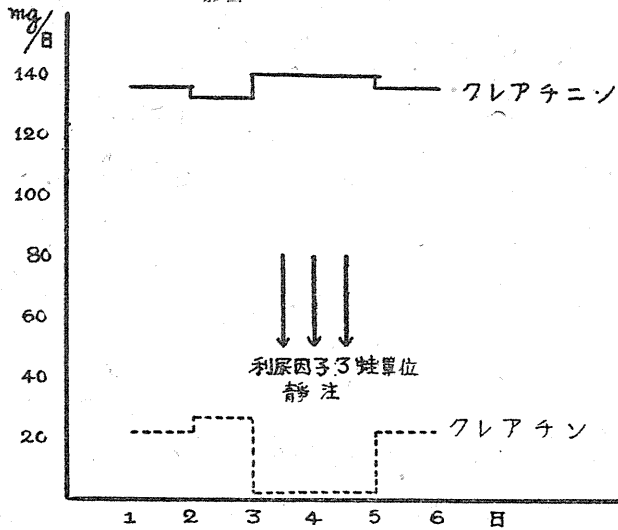
副腎皮質がクレアチン体代謝、特に筋磷原質の形成に重要な役割をなすことは既に知られた事実であるが(9)、クレアチン尿との関係を直接追求した報告が見当たらない。のみならずアゾン氏病患者の代謝を詳細に觀察した Greene 等 (6) の報告をみるも、クレアチン尿は13例中7例にしか見られない。こゝに於て著者は動物実験に於て副腎摘出を行いクレアチン尿の消長を檢討した。

実験には成熟家兎を用い、副腎摘出を背側より腹膜外で行い、尿中クレアチン体の排泄を觀察するに第2図に示す如くである。即ち全くクレアチン尿を示さぬ家兎は一側副腎摘出後クレアチンの排泄をみ、クレアチニン排泄量は逆に減じ總クレアチニン排泄量はほぼ一定にとどまることを知つた。このクレアチン尿は2~3週の後消失するが、この時残存の他側副腎を摘出すれば再びクレアチン尿の出現をみる。本例に於ては兩側副腎摘出後もクレアチン尿はやがて消失したのであるが、時には長く持続し消失をみない。おそらく家兎の約90%に見出される副腎の代償

性如何によるものと思われる。何れにしても副腎摘出後は必ずクレアチン尿をみるのであり、実験対照としての試験的開腹ではみられない。

上記の如き人工的副腎機能不全と考えられる場合のクレアチン尿は副腎皮質利尿因子の靜注によつて完全に一時消失することは勿論であるが、健康家兎に於て時にみられる突発性クレア

第3圖 家兎突發性クレアチン尿に對する副腎皮質ホルモンの影響



チン尿も同様利尿因子投與によつて消失すること第3圖に示す如くである。即ち健康家兎に於ける突發性クレアチン尿も副腎皮質機能不全によると考える事が出来、こゝに副腎皮質機能とクレアチン尿の關係が動物実験に於ても確證され得たのである。

#### IV. 考 察

##### (1) 文獻的考察

副腎皮質製劑投與のクレアチン体代謝に及ぼす内外の文献を求めると、Schittenhelm 及び Bühler (11) はアヂソン氏病に際するクレアチン尿が極めて大量の皮質製劑 (Cortigen—1日 20cc=1000g 副腎皮質相當) の分割投與によつてかなり抑制された例を報告している。著者の生理的クレアチン尿に用いた利尿因子は副腎重量にして約 10g 相當に過ぎぬ事を思えばその使用量は想像し難いのであり、おそらく従來の皮質製劑が Corticosterone 等所謂ベンゾール易溶性部分を有初成分と考へて抽出されているためではないかと思われる。何れにしても所謂生理的クレアチン尿が副腎皮質製劑で抑制されたと云う報告は見付からない。尙吉川 (13) は家兎のクレアチン体代謝に對する副腎皮質製劑 (インテレン、0.2cc per kg) の影響をみ、クレアチ

ニン/總クレアチニン 比が 0.8 前後から 0.5 前後までに低下すると言つて居り、クレアチン尿がむしろ増加を示すと云う成績を出している。この実験には 2.5kg 内外の健常雄性家兎を用いたとのことであるが、何れも著明なクレアチン尿を豫め出していることが理解し難い。おそらくクレアチニン及び總クレアチニン定量を Folin 法及び Hahn & Barker 法を以て行つたことに歸因するのではないかと思われる。何れにしても今日迄の副腎皮質製劑を以てしては本研究の如き成績は得られないのであり、Kendall の抽出した Compound E の如き純粹結晶が果して著者の用いた利尿因子と同様な成績を示すか否か

が將來の問題として残つて居る。

##### (2) 利尿因子による生理的クレアチン尿抑制機序の考察

クレアチンの大部分 (98%) が骨筋中に磷原質として含まれ、且つ筋萎縮症に於てはクレアチン尿をみることに等からして生理的クレアチン尿の直接の源泉としての筋糸の發育不全が従來から想像されていた。然しながら之れを以て生理的クレアチン尿の全般を解釋することは必ずしも妥當でない。けだし Brentano (1) の如きはクレアチン尿出現は骨筋グリコーゲンの消失によることを強調しているが、クレアチン尿 (病的) が葡萄糖投與で消失しないことの説明にきうし、この様な場合同時にグリコーゲン形成能の減少があると想像して居る。著者も亦生理的クレアチン尿を呈する 17 才の女子數名に夕刻空腹時に 20% 葡萄糖 20cc の靜注を試みるにクレアチン排泄に何等影響のないことを知つた。亦糖負荷試験に於ける過血糖は若年者程程度且つ短期に終了することは多くの研究者の認めるところであり (5)、生理的クレアチン尿を糖代謝の異常或は比較的糖饑餓状態によるとの見解には輕々しく賛成出来ない。一方 Hodgson 及び Lewis (7) は体格の通常以上に發達した女性並びに体育専門学校の筋糸の發育した女性の

クレアチン係数は男子と同程度に増加しているがクレアチン尿の出現頻度は通常婦人と異なることがないことを観察し、女性に於けるクレアチン尿を筋糸の男女両性間の相違に求め難いことを指摘している。

以上の如き状況にあつて著者研究室に於ける肝臓障害とクレアチン尿との関係についての最近の研究は、總輸膽管結紮、四塩化炭素投與、アウトヘパトトキシン作用或は墨汁充填実験による軽度の肝臓障害時には尿ウロビリノーゲンの出現等所謂従來の肝臓機能障害所見の出現するに先きだつて先づ尿中にクレアチン現れ、且つこのクレアチン尿は、利尿因子投與によつて完全に抑制され得るとの新知見を得たのである(これに関する詳細は松村(10)によつて発表する)。之等肝障害の方法のなかにはそれ自体が直接副腎をも障害してその機能不全を來す可能性の考えられるものもあるが、肝臓機能自体が犯されることも確實であり、こゝに肝臓機能の比較的不全に基因するクレアチン尿の出現並びに生理的クレアチン尿の肝臓機能不全説が新たに考えられねばならないと思われる。これが実證は今後の研究に待つのであるが、この際注意せねばならぬことは骨格筋と肝臓は糖代謝・クレアチン代謝等に於て常に不可分の関係にあり一方の器官の障害は他方の器官に必づ影響を來す可能性があることである。

## V. 結 論

1. 人体の生理的クレアチン尿は副腎皮質の

利尿因子投與によつて完全に抑制され得る。従つて生理的クレアチン尿は副腎皮質機能の不全に起因することが分る。

2. 生理的クレアチン尿出現の直接動機として肝臓機能不全も考えねばならない。

本研究は昭和24年度文部省科学研究費による。

## 文 献

- 1) Brentano, G (1936) Die Glykogenbildung aus Traubenzucker während der Kreatinurie. *Z. f. ges. exp. Med.* 98, 677
- 2) Duckworth, D. A. (1942) Creatine retention capacity of boys in relation to androgen function. *J. Clin. Endocrinol.* 2, 13
- 3) 福田篤郎 (1950) (Endocrinol に掲載豫定)
- 4) 古山 誠 (1950) (本誌に掲載豫定)
- 5) Fries, M. E. & J. L. Kohn (1925) Glucose tolerance tests in children. *Am. J. Med. Sci.* 170, 547
- 6) Greene, C. H., L. G. Rowntree & W. W. Swingle (1932) Metabolic studies in Addison's disease. *Am. J. Med. Sci.* 183, 1
- 7) Hodgson, P. & H. B. Lewis (1928) Physical development and the excretion of creatine and creatinine by women. *Am. J. P.* 87, 288
- 8) Mason, H. L., C. S. Meyers. & E. C. Kendall The chemistry of crystalline substances isolated from the suprarenal gland. *J. biol. chem.* 114, 613
- 9) Lang, K. (1931) Nebennierenrinde und Muskelchemismus. *Pflügers Arch.* 229, 60
- 10) 松村起男 (1950) (本誌に掲載豫定)
- 11) Schittenhelm, A. & F. Bühler (1935) Die Beeinflussbarkeit der Spontankreatinurie innersekretorischer Störung durch Hormone. *Z. Ges. exp. Med.* 95, 206
- 12) 安田守雄・吉川春壽・福山富太郎 (1943) クレアチン体に関する生理化学的研究 厚生科学 4, 237
- 13) 吉川 茂 (1942) 尿中クレアチン体の排泄に影響する諸因子に就て 中央醫學 11, 560

## Summary

Physiological creatinuria of young male and female disappeared completely when sufficient amount of adrenal cortical extract was given subcutaneously. The physiological creatinuria therefore is the indication of the adrenal cortical insufficiency.

The effective component of the cortical extract is in the water soluble fraction, i.e. the "diuretic factor" which may contain the Compound E, but not corticosterone. Concerning the "diuretic factor" full description will soon appear on "Endocrinology".

(Department of physiology, Chiba Medical College)

## 通電による筋線維の短縮性の持続及び回復並に短縮の大きさの 変化に関する研究 612.014.424.2

Studies on the Maintainance and the Recovery of  
the Contractility of the Striated Muscle Fibres.

木 村 一 雄 (Kimura-Kazuo) \*

### I. 緒 言

骨格筋を電氣的に刺激して短縮を起させる場合には、通電の方向、開放、閉鎖等に依て短縮の状態が種々異つて現われることに就ては多くの報告がある。

これらの中比較的近時行われたものを挙げれば、杉 (4) は隔絶法を用いて、繰り返して通電する際に現われる短縮に就て轉換効果に関する明確な結果を示して居り、巨田 (3) は筋線維を用いて之に反復通電を行うとき、陽電流の開放に際して起る短縮の大きさは小さくなる事はなく、いつまでも続き筋線維には所謂疲勞は見られない等と報告している。

又松本及び佐竹 (1) は単一筋線維に隔絶法を用いて通電し、短縮の方向並に開放、閉鎖等に際して起る短縮、伸展等に就て種々の事柄を観察して居り、更に松本 (2) は筋線維に就て陽通電開放に際して起る短縮は數時間、數万回に達することを観察した。

併しながら上述の杉の轉換効果、巨田の筋の無疲勞性と云い、又松本の驚くべき短縮回数の実験に於ても短縮性そのものに就ては何等探究されていない。

依て余は上述諸家の報告に見られる短縮性の變化又は持続が如何なる要因に基くかを明らかにしたいと考えて、本研究を行つたのである。

### II. 実験方法

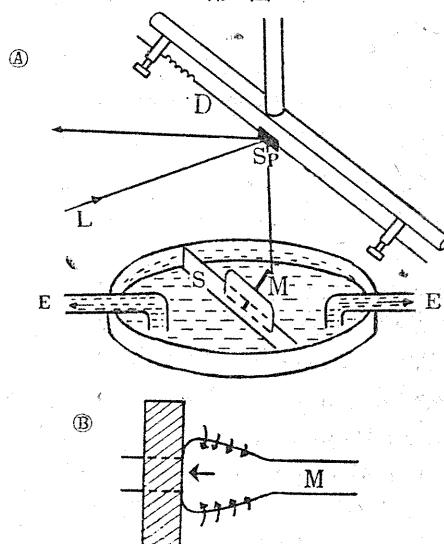
#### 1) 実験材料

実験に用いた筋線維は墓の M. sartorius, m. adductor longus, M. dductor magnus 等から數

本の筋線維を一束として分離し、両端は別として、中間部分は全長に互つて無傷である事を確かめた後、之を光槓桿に連結した。

筋線維分離方法は松本及び佐竹 (1) が単一筋線維を分離した方法と同様であつた。

第1圖



A. 筋線維と光槓桿との連結 (模型圖)  
D: 鋼鐵線, Sp: 鏡, L: 光線, S: 隔壁,  
M: 筋線維, E: 電極  
B. 筋線維擴大模型圖  
矢の方向は電流の及ぶ範囲を示す

又 Ringer 液は NaCl 0.6, KCl 0.02, CaCl<sub>2</sub> 0.02, H<sub>2</sub>O 100' のものを用いた。

尚筋線維の数は 5~10 本であつたが、実験毎にその終りに顯微鏡下にその數をかぞえた。

#### 2) 通電方法

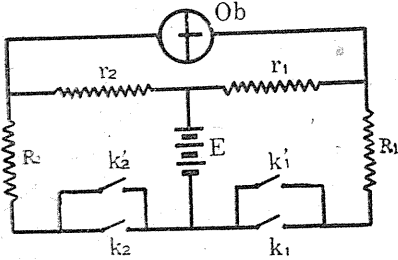
筋に電流を導く方法は第1圖の如く大体杉の隔絶法に類似のもので松本及び佐竹 (1) が使用したものと同様である (第1圖)。即ちシャアーレを硝子板の壁 (S) に依て2つの室に分け、更

\* 前橋醫科大学生理学教室

に兩室をパラヒンワックスを以て隔絶する。此の兩室に Ringer 液を満し、硝子板の中央部は恰も水門の様な形を成し、その下部に筋線維 (M) を横たえ、小硝子板及びワゼリンに依て筋線維の部分を除き 2 室を電氣的に良く絶縁する。此の 2 室の Ringer 液を不分極電極に連結して電流を導けば電流密度は筋線維の硝子板隔壁中にある部分に於て、最も大きくなるから、その兩側に陽極及び陰極に対する効果が明瞭に現われる。尙不分極性電極としては銀板 (約 36 cm<sup>2</sup>) を Ringer 液中に浸したものをを用いた。

電氣的連結法は第 2 図に示すが如くであつて R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> を調節し K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> を適當に使用すこ

第 2 圖 電氣的連結法

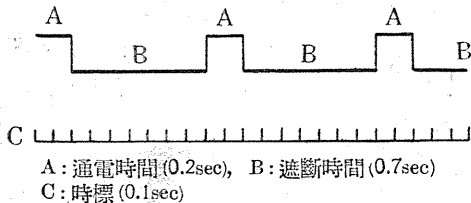


Ob: 標本, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>: メトロノーム, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>: 電鍵  
R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>: 抵抗, E: 蓄電池

とに依て筋線維の光槓桿に連結した側が陽極又は陰極になる様にし、又其の電圧を適宜調節することが出来る様にした。尙 K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> の代りに夫々 K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> にメトロノームに依る開閉器を用いて、毎分 70 回の頻度で通電と開放を繰り返すことが出来る様にした。

此の際の通電及び開放の時間、電流の形は第 3 図の如くであつた。尙筋線維の光槓桿に連結した側が陰極及び陽極になる様に電流を流すこ

第 3 圖 反復通電の電流の形、其の時間的關係を示すオツシログラフ



とを夫々陰通電及び陽通電、それ等の電圧を陰電圧及び陽電圧と稱することとした。

又隔壁に固定した筋線維の他端は光槓桿の下方に出ている針金の先端にある溝に挟んで之に連結したのであるが、此の際隔壁と光槓桿に連結した部分の筋線維の長さは大体 2~3cm とし適當の張度に保つ様にした。

3) 描記装置

光槓桿の構造は大体次の如きものである (第 1 図 A)。即ち約 10cm の細い鋼線 (D) が適當な張度に水平に張られ、その中央から筋線維の一端を固定する爲の約 4cm の針金が T 字形に下方に出て居つて兩者の結合部に小さな鏡 (Sp) が取り付けてある。従つて筋線維が短縮すれば下方に出た針金を介して、此の小鏡が筋線維の短縮の程度に従つて回轉する。尙、槓桿の固有振動数は毎秒 30 回であつた。此の際筋線維が 1mm 短縮すれば描記面、即ち long recording camera (横河製電磁オツシログラフ 附属) を用い、極めてゆるやかに移動する Bromide 紙面には 38mm の大きさに描記された。

III. 實驗成績

實驗成績を述べるに先立つて、本研究に於ける短縮及び短縮性の意味に就て明確にして置きたいと思う。

一般に筋線維に現われる短縮は

- (1) 通常の攣縮、即ち筋線維の全長に互つて傳播性を有する一過性の短縮
  - (2) 電流が作用する間、その陰極側の電流が直接作用する筋線維の部分に起る持続的短縮
  - (3) 電流を開放する際、其の陽極側の電流が直接作用して居つた部分に起る短縮
- の 3 つに區別することが出来る。

(1) の傳播性を有する短縮、即ち攣縮は筋線維が新鮮な間にのみ現われ、小時間の後、殊に少數の筋線維に分離した後は數回或は數十回の攣縮の後には全く現われなくなるので、本研究に於ては、此の短縮は短縮の目標から自然除外され、専ら (2) 及び (3) を問題としたのである。しかしながら物理学的に考えれば、電流の開放と云う事柄は同強の逆電流を通ずることと全く同じ事柄であるので、電流開放に際して陽極側に起

る短縮は電流閉鎖時に陰極側に起る短縮と同様のものであると見做すことが出来る。従つて(2)と(3)は之を分けて考える事を必要としない。

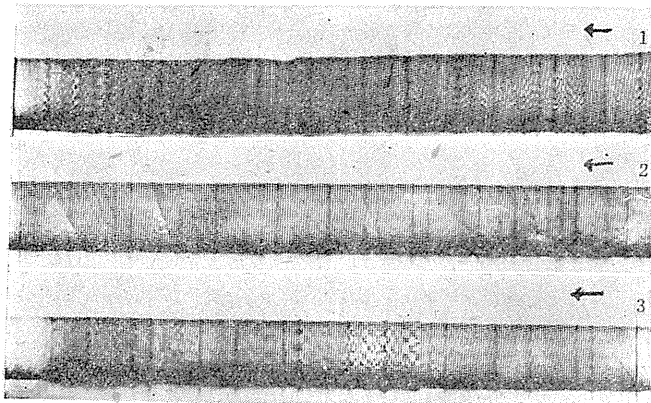
さて持続的短縮を撰ぶ場合には、攣縮の場合と異り短縮の回数と云う事は本来考えられないのであるが、電流を断続すればその回数に従つて短縮の伸展が繰り返して起るので、この繰り返して行われる回数を以て便宜上短縮の回数とする事に定めた。

又前述の(2)及び(3)の何れの短縮にかゝらず筋線維が電流の開放、又は閉鎖に伴つて短縮すれば、短縮性を有するものと考えたのである。

#### A. 短縮性の持続に関する実験

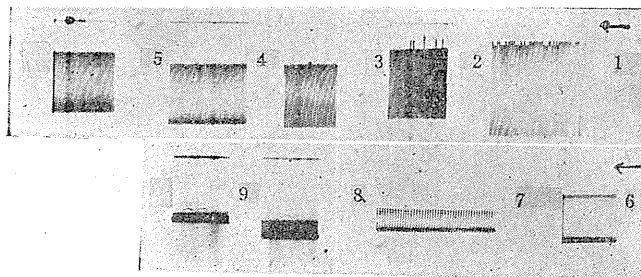
##### 1. 陽通電開放を繰り返す場合

第4圖 陽通電開放に依る短縮性の持続



1948. 11月3日, Z.T.; 17°C, R.T.; 15°C  
筋線維; 切り出して4時間後の M. sartorius から分離  
陽電圧; 1.0~7.0V, 頻度70/分, 短縮持続 350分, 24500回  
(1) 實驗開始後 60分 (2) 120分後 (3) 180分後

第5圖 陽通電開放に依る短縮性の持続



1949. 3月18日, Z.T.; 15°C, R.T.; 12°C  
筋線維; 切り出して1時間後の M. sartorius からの分離  
陽電圧; 1.0~15.0V, 頻度; 70/分, 短縮持続 500分, 35000回  
(1) 實驗の始め, (2) 60分後, (3) 120分後, (4) 180分後, (5) 240分後, (6) 300分後, (7) 360分後, (8) 430分後, (9) 500分後

新鮮な筋より分離した數本の筋線維を隔壁に固定して光楨桿に連結し此の側が+になる様に陽通電及び開放をメトロノームを用いて連続すれば、其の開放に際して短縮が現われる。此の際短縮は始めから相當に大きい場合と、始めは小で次第に大になり、十數回、又は數十回繰り返す間に最大となる場合とあり何れの場合にも、其の後は殆んど一定の大きさを保つて數千回、又はそれ以上も続くが、其の後は又次第に小となる (第4, 5圖)。

短縮が最大に達したときの大きさは電圧が大であると大きい、余り大にすると再び小さくなる。此の際電流の強さを一定にして長い間に非常に多くの回数短縮を行わせると、短縮は除々に小となるが、電圧を増せば短縮は再び大となる。かくして電流の強さを増すも短縮の大きさが最初の1/5以下になるまでの時間は通常4~5時間、最長8時間20分、短縮回数にして13000~25000回、最大35000回に及んだ (第4, 5圖)。

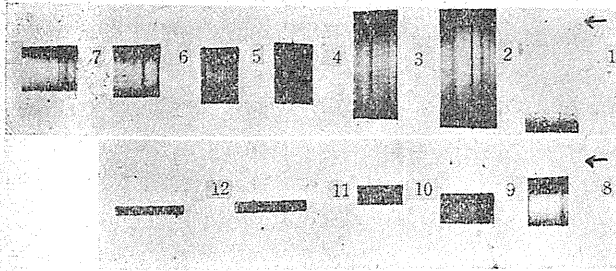
尙相當の大きさの短縮を繰り返しつつあるとき、電圧を急に低下させると短縮は一時大きくなるが數回の後除々に小さくなる。

##### 2. 陽通電を持続しつつ陰通電を反復する場合

上述1の場合は陽通電を開放して起る短縮であるが、陽通電を開放せずそのままとして別に陰通電を行えば、通電に際して筋線維は短縮する。之をメトロノームを用いて反復すれば、大体1の場合と同様に短縮が長く続く。之を長時間連続して行つた結果は大体1の場合と同様で、陽電圧及び陰電圧を適當に調節すれば、3~5時間、回数にして17000~21000回短縮の後、その大きさが始めの大きさの1/5位になつた (第6圖)。

これより小なる短縮は更に多くの

第6圖 陽通電-陰刺激に依る短縮性の持続



1949. 3月21日, Z.T.; 10°C, R.T.; 9°C  
筋線維; 切り出して24時間後の M. adductor longus から分離  
陽電壓=陰電壓; 1.5~20.0V, 頻度; 70/分  
短縮持続; 330分, 23100回  
(1) 実験の始め (2) 30分後 (3) 50分後 (4) 80分後 (5) 100分後 (6) 120分後 (7) 140分後 (8) 160分後 (9) 190分後 (10) 240分後 (11) 300分後 (12) 330分後

回数行わすことが可能である。

尙此の際注意すべき事柄は1及び2に於てその大きさが始めの1/5以下になるまで短縮を反復させた筋線維標本を取り出して顕微鏡下に之を見ると、隔壁で遮断した部分に接近した最も活動をしたと思われる部分が相當に損傷されて居るのが見られた。

### B. 短縮性の回復に関する実験

#### 1. 全く疲労せしめた筋に就て

新鮮な筋は勿論、切り出して大体24時間前後経過した筋も感應電撃の直接刺激に應じて尙幾分短縮する。

これ等の筋から分離した數本の線維を感應電撃に依る直接刺激を以て刺激すれば、新鮮な筋から分離した筋線維では大体300~1300回短縮の後、切り出して24~48時間経過したものから分離した筋線維に於ては100~500回で、全く疲労し短縮し得なくなる。併し Ringer 液の温度が高い (18°C以上) 場合には更に早く疲労する。

切り出した直後の筋、又は切り出して數時間以内の筋から分離した筋線維に於ては、感應電撃に依る直接刺激で全く短縮し得ない状態になつても、隔壁に固定して陰通電をすれ

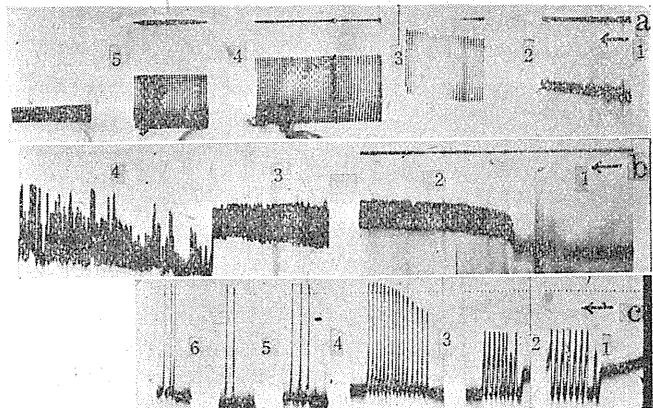
ば尙多少短縮する場合がある。かゝる場合に陰通電を持続するか又は陰通電及び開放をメトロノームにて反復すれば、陰通電の持続では大体5分程度、陰通電の反復では大体15分位で全く短縮し得ない状態となる。

上述の如くして、通常の刺激方法では刺激に全く反應しなくなるまで筋線維を疲労せしめてから、隔壁に固定して、陽電圧4~15Vを通じつゝ陰通電をメトロノームにて反復すると、筋線維は始めは小さく、次第に大きく短縮する様になる。此の際陰電圧が陽電圧

よりわづかに大 (0.2~0.5V) である場合に早く大きい短縮が起る様になつた (第7図)。

全く疲労せしめた筋線維を隔壁に固定して陽通電 (4~15V) を行い、其の直後及び1分、5

第7圖 感應電撃で疲労せしめた筋線維の短縮性の回復



#### a. 陽通電開放

1949. 3月16日, Z.T.; 8°C, R.T.; 7°C  
筋線維; 切り出して7時間後の M. add. magnus より分離  
陽電壓; 8.0V, 頻度; 70/分

(1) 実験開始時の状態 (2) 15分後 (3) 90分後 (4) 150分後 (5) 270分後

#### b. 陽通電-陰刺激

1949. 4月7日, Z.T.; 12°C, R.T.; 10°C  
筋線維; 切り出して24時間後の M. sortorius から分離  
陽電壓; 5.7V, 陰電壓; 6.0V, 頻度70/分

(1) 始めの状態 (2) 5分後 (3) 10分後 (4) 15分後

#### c. 陽通電-陰刺激

1949. 4月22日, Z.T.; 18°C, R.T.; 16°C  
筋線維; 切り出して1時間後の M. sortorius から分離  
陽電壓; 3.81V, 陰電壓; 4.0V

(1) 通電開始後1分 (刺激8回) (2) 2分後 (刺激8回) (3) 5分後 (刺激15回) (4) 10分後 (刺激3回) (5) 15分後 (刺激2回) (6) 20分後 (刺激3回)

分, 10分, 15分後に短時間 (約1sec) 陰通電を行い, それに依て起る短縮の大きさを観察したのであるが, 5分, 又10分後には短縮は非常に大きくなり, 其の後5分間隔で検査するに, 殆んど一定の大きさの短縮が現れ, この状態で2~4時間続いた. 斯様にして陽通電を行つて短縮性が充分回復した場合に陽通電を断つて其の後上記と同様な検査をして見ると, 速に短縮性が消失して行くことが知られた.

上述の場合と同様に疲労せしめた筋線維に対してメトロノームを用いて, 陽通電 (4~15V) 及び開放を反復すれば, 始めは全く短縮が起らないが, 次第に短縮が起る様になり, 5~15分後には相當の大きさの短縮が現れ, 遂には新鮮な筋から分離した線維に於けると同様な大きさで短縮を続ける様になる (第7図a).

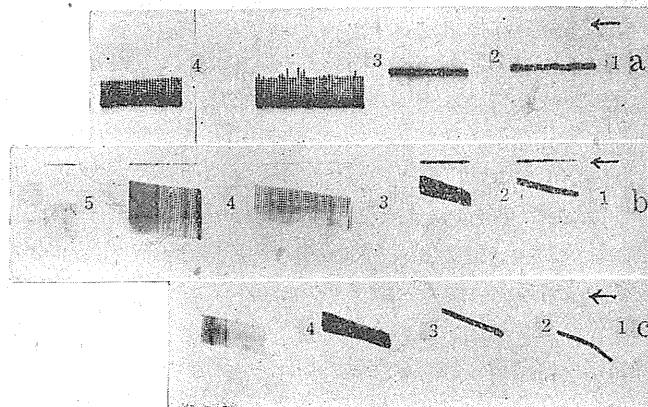
其の後の状態は新鮮なものと同様の経過をとるが, 其の際の短縮の回数 (最大の大きさの1/5になるまで) は新鮮なものに於けるより幾分少い.

2. 切り出して長時間経た筋線維に就て

臺を殺して皮膚及び内臓を除去して, 大量の Ringer (9.0~15.0°C) に保存し, 48~100時間後に筋を取り出し, 之より分離した筋線維に就て, 短縮性を回復させる実験を行つた.

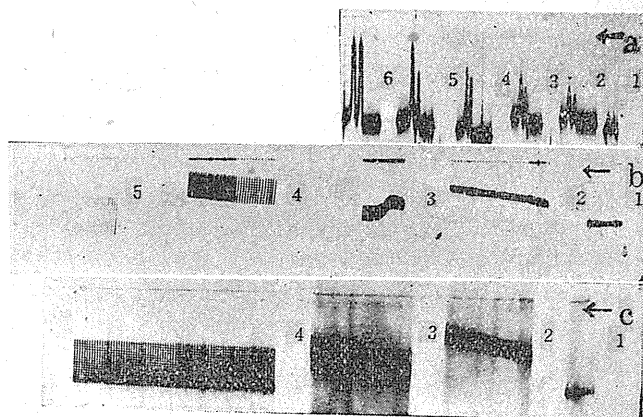
此の際 Ringer 液は1日毎にとりかえたのであるが, 約70時間に至るまでは, 切り出した全筋は感應電撃の直接刺激に対して極めてわづかではあるが反應するが, これより尙時間を経過すると, 筋線維に分離したものは勿論, 全筋のまゝでも刺激に

第8圖 古い筋線維の短縮性の回復



- a. 陽通電—陰刺激 1949. 4月19日, Z.T.; 19°C, R.T.; 17°C 筋線維; 切り出して24時間後の M. sartorius から分離, 陽電壓; 5.71V, 陰電壓; 6.0V, 頻度; 70/分, (1) 始めの状態 (2) 5分後 (3) 10分後 (4) 20分後
- b. 陽通電開放 1949. 3月18日, Z.T.; 15°C, R.T.; 12°C, 筋線維; 切り出して48時間後の M. sartorius から分離, 陽電壓; 15.0V 頻度; 70/分, (1) 始めの状態 (2) 5分後 (3) 10分後 (4) 15分後 (5) 30分後
- c. 陽通電開放 1949. 3月15日, Z.T.; 8°C, R.T.; 7°C, 筋線維; 切り出して48時間後の M. rectus, internus, minor から分離, 陽電壓; 12.0V, 頻度; 70/分, (1) 始めの状態 (2) 5分後 (3) 10分後 (4) 20分後

第9圖 古い筋線維の短縮性の回復



- a. 陽通電—陰刺激 1949. 2月13日, Z.T.; 14°C, R.T.; 13°C 筋線維; 切り出して24時間後の M. sartorius から分離, 陽電壓; 4.75V, 陰電壓; 5.0V, (1) 実験の始め (刺激2回) (2) 1分後 (刺激2回) (3) 5分後 (刺激2回) (4) 10分後 (刺激2回) (5) 15分後 (刺激2回) (6) 20分後 (刺激2回)
- b. 陽通電開放 1949. 3月18日, Z.T.; 15°C, R.T.; 12°C, 筋線維; 切り出して72時間後の M. sartorius から分離, 陽電壓; 15.0V (1) 実験の始め (2) 10分後 (3) 20分後 (4) 30分後 (5) 40分後
- c. 陽通電—陰刺激 1949. 3月30日, Z.T.; 13°C, R.T.; 12°C 筋線維. 切り出して72時間後の M. add. mag. から分離, 陽電壓; 9.8V, 陰電壓; 10.0V, (1) 実験の始め (2) 5分後 (3) 15分後 (4) 20分後

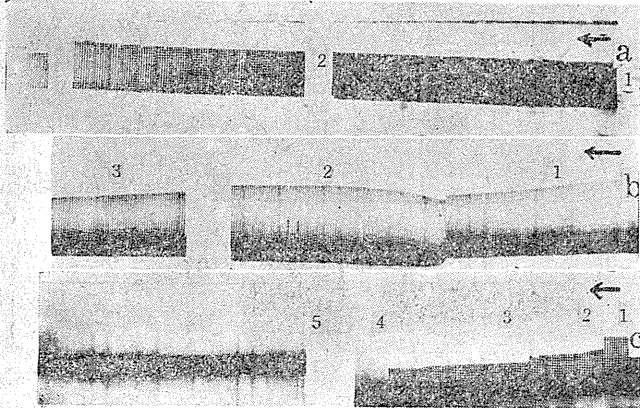
対して全く反應しない。

先づ 48~72 時間経過した筋線維に於ては、陽通電 (10~15V) を始めてから 5~15 分にして陰通電に依て新鮮な筋から分離した筋線維と大体同様に短縮する様になる (第 8 図)。

陽通電の代りに陽通電及び開放をメトロノームにて反復すれば、此の場合には始めは全く短縮しないが、次第に短縮する様になり、數分乃至數十分後には大体新鮮なる筋から分離した筋線維と同様に短縮する様になり (第 9 図), 更に陽通電及び開放の反復を続ければ、その後は新鮮な筋から分離した筋線維と同様な短縮状態を続ける (第 9 図 C)。併し此の場合短縮し得る回数は新鮮な筋から分離した筋線維に於けるよりも幾分少なかつた。

72~100 時間を経過した場合にも、陽通電又は陽通電及び開放を反復すれば、10~30 分後相當大きな短縮が現われる様になつたが、その後更に陽通電及び開放を反復して短縮を行わず場合には余り多くの回数短縮しなかつた。併し陽通電に依て相當大きな短縮が起る様になつてから頻數刺激を反復しないで 1~5 分毎に陰通電

第10圖 陽電壓( $V_p$ )=陰電壓( $V_n$ )=V



- a. 1949. 4月14日, Z.T.; 15°.0C, R.T.; 13°.0C, 筋線維; 切り出して72時間後の *M. addak. mag.* から分離  
(1)  $V=4.0\sim6.0V$  (2)  $V=6.0\sim8.0V$
- b. 1949. 4月26日, Z.T.; 20°.0C, R.T.; 19°.0C, 筋線維; 切り出して8時間後の *M. sartorius* から分離  
(1)  $V=3.0V$  (2)  $V=7.0V$  (3)  $V=3.0V$
- c. 1949. 4月26日, Z.T.; 20°.0C, R.T.; 19°.0C, 筋線維; 切り出して8時間後の *M. sartorius* から分離  
(1)  $V=7.0V$  (2)  $V=6.0V$  (3)  $V=5.0V$  (4)  $V=3.0V$   
(5)  $V=3.0\sim7.0V$

閉鎖を 1 回又は 2 回與えて短縮の状態を檢查した場合には、數時間乃至十數時間短縮し得る状態に保つことが出來た。

尙 120 時間以上を経過した筋から分離した筋線維は陽通電30分に及ぶも短縮し得る状態にすることは出來なかつた。

以上の実験に於て短縮性が回復しつゝある場合には、短縮の経過は極めて緩慢であるが、回復した後は新鮮な筋から分離したものと同様に短縮の経過は速かであつた。

### C. 陽電壓及び陰電壓の強さと短縮性の変化に関する実験

新鮮な筋又は24時間以内の筋から分離した筋線維を用いて、陽通電を行いつゝ、陰通電開放をメトロノームで反復すれば、陽電壓及び陰電壓 (以下陽電壓を  $V_p$ , 陰電壓を  $V_n$  とする) の大きさを變えると、共に伴つて短縮の大きさが變化する。

$V_p$  及び  $V_n$  の種々の組合せについて短縮の状態を観察し次の如き結果を得た (此の項で述べることは既に実験成績 A の 1 及び 2 で述べた事項と重複するものもあるが、実験成績を系統的に示すために再び挙げたものもある)。

#### (A) $V_p=V_n (=V)$ の場合

##### (1) $V$ を一定に保つ場合

$V$  の大きさが適當であれば、始めより大きく短縮し、その後極めて徐々に短縮が小さくなる場合と始め少し小さく次第に大きくなり、其の後殆んど一定の大きさの短縮を続ける場合とがあつた (第 10 図)。後者の場合には、始め短縮性が幾分失われておつて通電に依て回復したものと見られる。

陽通電及び開放を反復する場合も全く同様である。

長時間経過した筋線維に於ては、始めは全く短縮せぬも、時間と共に短縮性をあらわし、筋線維の古き程度に應じて短縮性をあらわし、回復

せる後は可なり長時間(90~240分)その短縮性を保持し得た。

(2) Vを変化させる場合

小なるV(2~4V)に於て、殆んど同じ大きさの短縮が反復して起つて居る時に、Vを急に大にすれば、短縮の大きさも急に大になつて、そのまま長く続くが、Vを余り大きくすれば短縮の大きさは大となるが余り長く続かないで、速に小になる。

大きなVから小にすれば短縮は小になつて、そのままの大きさで長く続く(第10図c)。

陽通電及び開放を反復する場合も全く同様である。

(B)  $V_p$ が $V_n$ より大なる場合

(1)  $V_p$ 及び $V_n$ を一定に保つ場合

$V_p$ と $V_n$ の差が小であれば、殆んど同じ大きさの短縮が長く続き(第11図),  $V_p$ が $V_n$ より非常に大であると、短縮は小であるが大の短縮は長く続く(第11図b, 1)。

併し $V_p$ が $V_n$ より更に大であると、短縮は起らない。

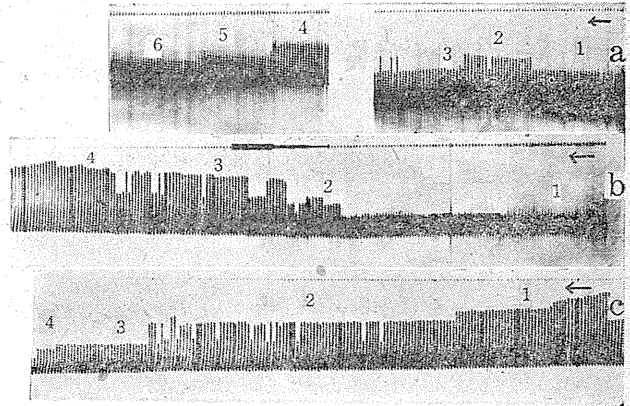
(2)  $V_p$ を一定に保ち、 $V_n$ を変化させる場合、 $V_n$ が余り大でなく殆んど一定の大きさの短縮が反復して起つて居るとき、 $V_n$ を大にすると短縮も大となるが、これを続けると次第に短縮は小となる(第11図c, 1)。

次に $V_n$ を小にすると、短縮は小となるが、除々にその大きさを増して行く(第11図a, 1)。

(3)  $V_p$ を変化させ $V_n$ を一定に保つ場合

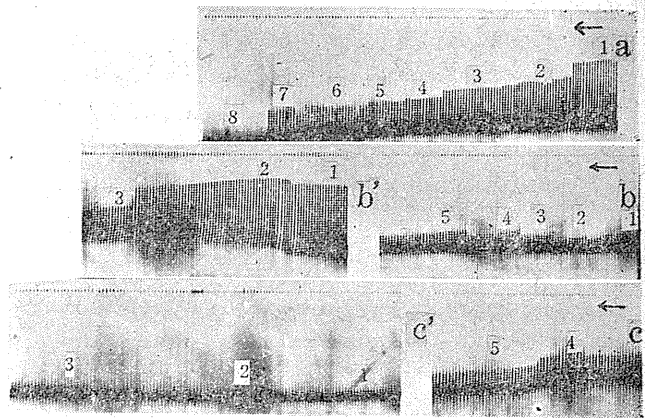
相當大きな $V_p$ で殆んど一定の大きさの短縮が続いて居るとき、 $V_p$ を大きくすると、短縮の大きさは小になり、逆に $V_p$ を小にすると、短縮の大きさは大きくなる。 $V_p$ を余り大き

第11圖 陽電壓( $V_p$ )>陰電壓( $V_n$ ),  $V_p$ =一定

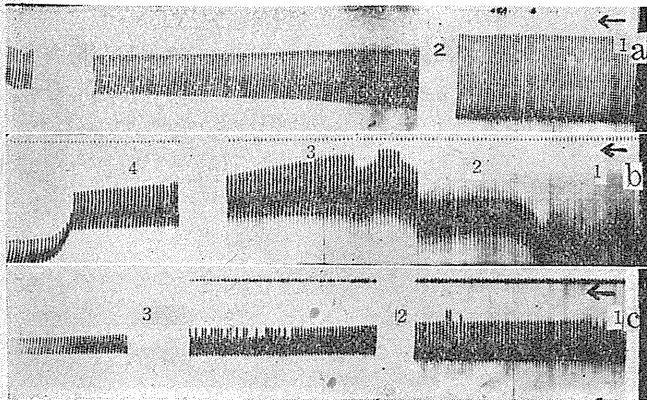


- a. 1949.4月26日, Z.T.; 20°C, R.T.; 19°C  
筋線維; 切り出して8時間後の *M. sartorius* から分離  
(1)  $V_p=5.0V$   $V_n=2.0V$  (2)  $V_p=5.0V$   $V_n=4.0V$   
(3)  $V_p=5.0V$   $V_n=4.5V$  (4)  $V_p=5.0V$   $V_n=4.5V$   
(5)  $V_p=5.0V$   $V_n=3.0V$  (6)  $V_p=5.0V$   $V_n=2.0V$
- b. 1949.3月28日, Z.T.; 13°C, R.T.; 12°C  
筋線維; 切り出して24時間後の *M. sartorius* から分離  
(1)  $V_p=10.0V$   $V_n=6.0V$  (2)  $V_p=10.0V$   $V_n=7.0V$   
(3)  $V_p=10.0V$   $V_n=8.5V$  (4)  $V_p=10.0V$   $V_n=9.5V$
- c. 1949.3月28日, Z.T.; 13°C, R.T.; 12°C  
筋線維; 切り出して24時間後の *M. sartorius* から分離  
(1)  $V_p=10.0V$   $V_n=9.5V$  (2)  $V_p=10.0V$   $V_n=8.5V$   
(3)  $V_p=10.0V$   $V_n=7.0V$  (4)  $V_p=10.0V$   $V_n=6.0V$

第12圖 陽電壓( $V_p$ )>陰電壓( $V_n$ ),  $V_n$ =一定(a, b)



- 1949.4月26日, Z.T.; 20°C, R.T.; 19°C  
筋線維; 切り出して9時間後の *M. adductor, longus* から分離
- a. (1)  $V_p=2.5V$   $V_n=2.0V$  (2)  $V_p=3.0V$   $V_n=2.0V$   
(3)  $V_p=3.5V$   $V_n=2.0V$  (4)  $V_p=4.0V$   $V_n=2.0V$   
(5)  $V_p=4.5V$   $V_n=2.0V$  (6)  $V_p=5.0V$   $V_n=2.0V$   
(7)  $V_p=5.5V$   $V_n=2.0V$  (8)  $V_p=6.0V$   $V_n=2.0V$
- b. (1)  $V_p=6.0V$   $V_n=2.0V$  (2)  $V_p=5.5V$   $V_n=2.0V$   
(3)  $V_p=5.0V$   $V_n=2.0V$  (4)  $V_p=4.5V$   $V_n=2.0V$   
(5)  $V_p=4.0V$   $V_n=2.0V$
- b'. (1)  $V_p=7.0V$   $V_n=6.5V$  (2)  $V_p=6.0V$   $V_n=5.5V$   
(3)  $V_p=5.0V$   $V_n=4.5V$
- c. (4)  $V_p=4.0V$   $V_n=3.5V$  (5)  $V_p=3.0V$   $V_n=2.5V$
- c'. (1)  $V_p=2.5V$   $V_n=2.0V$  (2)  $V_p=3.5V$   $V_n=3.0V$   
(3)  $V_p=5.5V$   $V_n=5.0V$



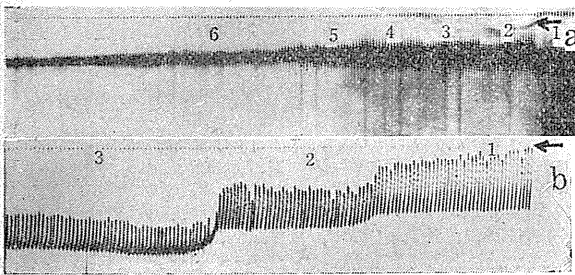
第13圖

陽電壓( $V_p$ ) < 陰電壓( $V_n$ )  $V_p$  = 一定

1949. 4月28日, Z.T.; 21°.0C, R.T.; 20°.0C  
筋線維; 切り出して5時間後の M. sartorius から分離

- a. (1)  $V_p=3.0V$   $V_n=3.3V$   
(2)  $V_p=3.0$   $V_n=7.0$  //
- b. (1)  $V_p=3.0$   $V_n=3.5$  //
- (2)  $V_p=3.0$   $V_n=5.0$  //
- (3)  $V_p=3.0$   $V_n=7.0$  //
- (4)  $V_p=3.0$   $V_n=8.0$  //
- c. (1)  $V_p=3.0$   $V_n=7.0$  //
- (2)  $V_p=3.0$   $V_n=5.0$  //
- (3)  $V_p=3.0$   $V_n=3.5$  //

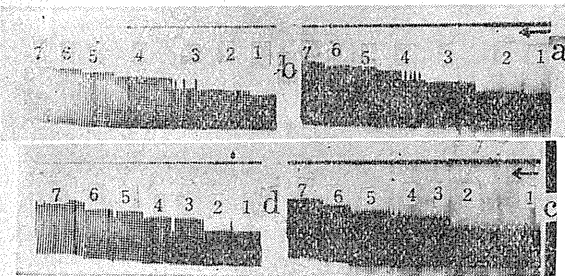
第14圖 陽電壓( $V_p$ ) < 陰電壓( $V_n$ )  $V_n$  = 一定



a. 1949. 4月19日, Z.T.; 19°.0C, R.T.; 18°.0C  
筋線維; 切り出して24時間後の M. add. longus. から分離

- (1)  $V_p=6.5V$   $V_n=7.0V$  (2)  $V_p=6.0V$   $V_n=7.0V$
- (3)  $V_p=5.5$   $V_n=7.0$  //
- (4)  $V_p=5.0$   $V_n=7.0$  //
- (5)  $V_p=4.0$   $V_n=7.0$  //
- (6)  $V_p=3.0$   $V_n=7.0$  //
- b. 1949. 4月20日, Z.T.; 20°.0C, R.T.; 18°.0C  
筋線維; 切り出して5時間後の M. sartorius より分離
- (1)  $V_p=3.0V$   $V_n=7.0V$  (2)  $V_p=5.0V$   $V_n=7.0V$
- (3)  $V_p=6.8$   $V_n=7.0$  //

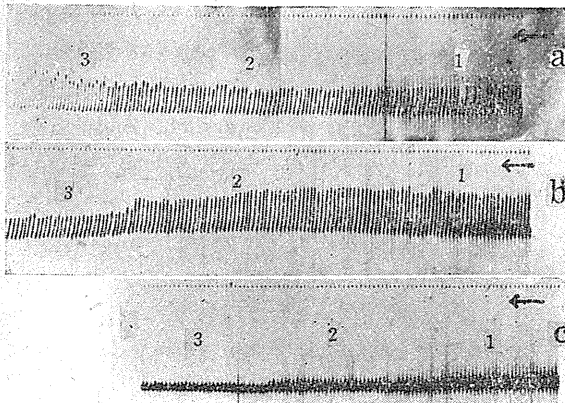
第15圖 陽電壓( $V_p$ ) < 陰電壓( $V_n$ )  $V_n - V_p$  = 一定



1949. 4月14日, Z.T.; 15°.0C, R.T.; 13°.0C, 筋線維; 切り出して72時間後の M. add. mag. より分離

- a.  $V_n - V_p = 0.2V$  (1)  $V_p=3.0V$   $V_n=3.2V$   
(2)  $V_p=4.0V$   $V_n=4.2V$  (3)  $V_p=5.0$   $V_n=5.2$  //
- (4)  $V_p=6.0$   $V_n=6.2$  //
- (5)  $V_p=7.0$   $V_n=7.2$  //
- (6)  $V_p=8.0$   $V_n=8.2$  //
- (7)  $V_p=9.0$   $V_n=9.2$  //
- b.  $V_n - V_p = 0.5V$  (1)  $V_p=3.0V$   $V_n=3.5V$   
(2)  $V_p=4.0V$   $V_n=4.5V$  (3)  $V_p=5.0$   $V_n=5.5$  //
- (4)  $V_p=6.0$   $V_n=6.5$  //
- (5)  $V_p=7.0$   $V_n=7.5$  //
- (6)  $V_p=8.0$   $V_n=8.5$  //
- (7)  $V_p=9.0$   $V_n=9.5$  //
- c.  $V_n - V_p = 0.7V$  (1)  $V_p=3.0V$   $V_n=3.7V$   
(2)  $V_p=4.0V$   $V_n=4.7V$  (3)  $V_p=5.0$   $V_n=5.7$  //
- (4)  $V_p=6.0$   $V_n=6.7$  //
- (5)  $V_p=7.0$   $V_n=7.7$  //
- (6)  $V_p=8.0$   $V_n=8.7$  //
- (7)  $V_p=9.0$   $V_n=9.7$  //
- d.  $V_n - V_p = 1.0V$  (1)  $V_p=3.0V$   $V_n=4.0V$   
(2)  $V_p=4.0V$   $V_n=5.0V$  (3)  $V_p=5.0$   $V_n=6.0$  //
- (4)  $V_p=6.0$   $V_n=7.0$  //
- (5)  $V_p=7.0$   $V_n=8.0$  //
- (6)  $V_p=8.0$   $V_n=9.0$  //
- (7)  $V_p=9.0$   $V_n=10.0$  //

第16圖 陽電壓( $V_p$ ) < 陰電壓( $V_n$ )  $V_n - V_p$  = 一定



1949. 4月20日, Z.T.; 20°.0C, R.T.; 19°.0C, 筋線維; 切り出して5時間後の M. sartorius から分離

- a.  $V_n - V_p = 0.5V$  (1)  $V_p=2.5V$   $V_n=3.0V$  (2)  $V_p=4.5V$   $V_n=5.0V$   
(3)  $V_p=6.5$   $V_n=7.0$  //
- b.  $V_n - V_p = 0.5V$  (1)  $V_p=6.5V$   $V_n=7.0V$  (2)  $V_p=4.5V$   $V_n=5.0V$   
(3)  $V_p=2.5$   $V_n=3.0V$  //
- c.  $V_n - V_p = 2.0V$  (1)  $V_p=2.0V$   $V_n=4.0V$  (2)  $V_p=5.0V$   $V_n=7.0V$   
(3)  $V_p=7.0$   $V_n=9.0$  //

くすると短縮しなくなる (第12図 a)。

(4)  $V_p$  と  $V_n$  を共に変化させる場合

$V_p$  と  $V_n$  の差を大体一定に保ちながら,  $V_p$ ,  $V_n$  を小さくすると, 短縮の大きさが小さくなり逆に大きくすると, 短縮の大きさは幾分大きくなる (第12図 b, c)。

(C)  $V_p$  が  $V_n$  より小なる場合

(1)  $V_p$ ,  $V_n$  を一定に保つ場合

$V_p$ ,  $V_n$  が相當に大きく, 兩電圧の差が少い場合は, 短縮の大きさが大きく長時間持続するが, その差が大なる時は, 始め短縮の大きさは大であるが, 急速に小さくなる (第13図 a, 1, 2, b, 3)。

(2)  $V_p$  を一定に保ち,  $V_n$  を変化させる場合

$V_n$  が  $V_p$  よりあまり大でなく, 殆んど同大の短縮が続いて居るとき,  $V_n$  を大にすると, 短縮の大きさは大になるが, 急速に小さくなる (第13図 b, 3)。

逆に  $V_n$  を小さくして,  $V_p$  に接近せしめると, 短縮は小さくなるが, 殆んど一定の大きさで長く続く (第13図 c, 3)。

(3)  $V_n$  を一定に保ち,  $V_p$  を変化させる場合

$V_p$  が  $V_n$  に接近して, 殆んど同大の短縮が反復しているとき,  $V_p$  を小さくすると, 短縮の大きさは大きくなるが, 間もなく小となり, 遂には全く短縮し得なくなる (第14図 a)。

$V_p$  の或る大きさから更に  $V_p$  を大にすると, 短縮の大きさは小さくなるが, 同大の短縮が長く続く (第14図 b)。

(4)  $V_p$ ,  $V_n$  を共に変化させる場合

$V_p$  と  $V_n$  との差が余り大でない場合, 之を大体一定に保ちつゝ,  $V_p$ ,  $V_n$  を大きくすると短縮の大きさは大きくなり (第15図), 逆に小さくなる。

$V_p$ ,  $V_n$  の差が大なる場合は, 短縮の大きさは急速に小さくなる (第16図)。

#### IV. 考 察

1. 膜説に従えば, 通常筋線維の外側は+内側は-の電気二重層が形成せられて居るわけであつて, 之に電流を流す場合には, 陽極側に於

ては-の状態が一層強められ, 陰極側に於て逆になる。

実験成績に述べた如く, 筋線維に隔絶法を用いて, 電流を通すとき陽極側に於ては, 短縮性が保持され, 又一度短縮性が消失した場合にも回復させることが出来, 其の後は長く保持される。

即ち筋線維の外側が+の状態が保持され, 又は斯る状態が一度失われても再び電流に依て, 斯様な状態を形成する事が出来れば, 筋は常に刺激に應じて短縮を営むことが出来る状態に置かれると見做すことが出来る。

逆に陰通電を持続するか, 陰通電閉鎖及び開放を反復して短縮を繰り返して起させるときは速かに短縮の大きさが小となり, 遂に全く短縮しなくなるのであるから, 筋線維の外側が-になるか, 外側+, 内側-の状態が非常に弱められると, 短縮性が消失すると推定される。

筋を切り出して長時間を経た場合, 又は感應電撃等の刺激に依て, 通常の意味に於て全く疲勞せしめた場合には, 筋線維はかゝる状態に近くなるものと思われるが, 之等は陽通電を適當に行えば, 再び短縮性が回復されることは実験成績の示す通りである。

陽通電開放及び閉鎖を反復するか, 陽通電を持続しつゝ, 陰通電閉鎖に依る刺激を或る頻度で繰り返して行ふ際に短縮の大きさが同じ大きさで相當長く続き短縮が或る程度小さくなるまでには, 驚くべき回数短縮を繰り返して行わせることが出来るのは, 陰通電に依る刺激 (陽通電開放に依る刺激も陽電圧と等しい電圧の陰通電と考える事が出来る) に依て失われた短縮性を次の短縮が起るまでに陽通電に依て回復させることが出来ることに依ると考えられ, 陽電圧が小であるか又は陰通電の刺激が強すぎて1回の短縮に依る短縮性の消失を次の短縮が起るまで回復させる事が出来ない場合には, 短縮性は或は速に或は徐々に短縮性の回復の不充分の程度に従つて, 消失すると推定される。

2. 次に切り出して長時間を経た筋線維又は感應電撃刺激等に依て, 通常の意味に於ては全

く疲労せしめられ最早通常の刺激方法を以ては何等の反応を示さない筋線維も陽通電に依て短縮する様になり、一度短縮性が回復すれば、其の後は新鮮な線維の場合と大体同様に多くの短縮を繰り返すことが出来るのである。この事柄は従来の疲労に就ての考え方を相當改める必要がある様に思われる。

筋又は筋線維が疲労したと云う状態は直接的には筋線維の限界面に於ける電気二重層の変化であつて、之を電氣的に舊に復すれば、所謂疲労は回復させることが出来るものゝ様である。

従来疲労は筋線維内にある勢力源となる物質の消耗其他が主なる原因であると記載されて居るが、切り出した筋線維に於ては物質の補給は行われることは不可能で、又電流が短縮に依て失われた物質を再合成すると考える事も困難の様である。

従つて短縮性の回復は直接電氣的要因に依て行われるものと見做すことが出来る。

更に生体内に於ける筋線維又は新鮮な筋線維に於ける疲労回復の機構に就て考えて見るに、之等の場合筋線維に引き続いて短縮を起させるときは、短縮性は次第に失われて行くのであるが、一度短縮させることを休止するか、短縮を繰り返す頻度を少くする場合には、その期間に筋内に於ける化学過程其の他に依て、上述の短縮を営むために必要な電気二重層の形成が行われて短縮性が回復する。

此の事柄から考えるに、筋短縮に伴う化学過程は復舊過程が主であると見做すことが出来る様である。更にこの事を演譯するならば、短縮は復舊過程を終つて舊状態にもどされた筋線維内に貯藏された Potential Energie の放出の結果で、短縮そのものには物質代謝は必要としないと考える事が出来る。

勿論之等は未だ單なる推定の域を出ないもので、之等の事柄を直接證明する資料は得られて居ないので、將來の研究に待たねばならぬ問題である。

さて切り出した筋線維の短縮性が、陽通電に依て保持され、または回復される事は、上述の

如くであるが、陽通電を持続するも短縮を行わしむる回数には限度があつて、數万回の後にはほとんど短縮しなくなる。

此の理由に就ては單純でない様に考えられるが、數万回の短縮を行かせた筋線維に於ては、其の主として活動したと思われる部分の構造が、殆んど破壊されて居つて、最早電流に依て此の部分に規則的な電気二重層を形成することが不可能になるであろうことも重要な要因の如く思われ、何等かの方法で斯様なことの起らぬ様にする事が出来れば、更に多くの短縮を繰り返させる事が可能であるかも知れない。

3. 陽通電を持続しつゝ陰通電閉鎖に依て短縮を起させる際、陽電圧及び陰電圧の大きさに依て現われる短縮の大きさ変るのであるが、これ等の実験結果から筋線維に於ける刺激閾と短縮性を目標とした筋の興奮性と云う事柄に就て考えて見たい。

即ち陽通電を持続しつゝ陰通電に依て、その際起る短縮の大きさを觀察するに、

1) 陽電圧が小なるときは、小なる陰電圧に依て大きな短縮が現われる。更に陰電圧を大にするも短縮は余り大にならない。

2) 之に反して陽電圧が充分大きいときは小なる陰電圧に依ては 1) の場合に於けるより短縮の大きさは小さいが、陰電圧を大にすれば之に従つて、短縮の大きさは益々大きくなり 1) の場合に於けるより、はるかに大きい短縮を起させることが出来る。

さて吾々は刺激閾の大、小は一定の反應目標を定めて、それと同様な反應を起させるに必要な刺激の大、小に依て定めるのであるが、之に従えば、1) の場合には刺激閾が 2) の場合よりも小さいことゝなる。

さて生体に於ける被刺激性、或は興奮性を考える場合に單に刺激閾が小さい場合に被刺激性、或は興奮性が大であるとし、その逆の場合にはそれが小であると考えてよいのであろうか。興奮性と云う事を以て生体の興奮の可能の大きさに主として関連するものとするならば、前述 1) 及び 2) の場合に刺激閾及び興奮性は平

行するものではないことを示している。

即ち 2) の場合には大きな刺激に対しては、大きな興奮 (短縮) が起るが、刺激が小であれば興奮も小さい。之に反して 1) の場合には、小さい刺激に対して始めから相當の興奮 (短縮) が起るが、その極大は大きくない。

余は被刺激性及び興奮性に就て同一内容のものとして、上述の 1) 及び 2) の例に於て之等を比較する場合に反應目標は出來得るだけ小さなものを選び、刺激閾の小さい 1) の場合に被刺激性が大であるが興奮性は小とし、2) に於ては此の逆であると考えたい。併し刺激閾に対して標準とする大きさを変えれば此の関係は又異なるものとなる。

尙實驗成績の示す如く、刺激閾が高い場合に 2 つの場合があり、その 1 つは興奮性は充分大であるが、刺激閾が高い場合と、興奮性が小で目標とする大きさの反應を現わさしむるには非常に強い刺激を必要とするか、乃至は刺激が非常に強くとも、その大きさの反應を起すに足る興奮性を欠く場合である。

此等の事柄は神経の動作電位が陽極電氣緊張及び陰極電氣緊張に依て変化する状態と類似して居つて刺激と興奮に関する根本問題に関連して極めて重要な暗示を提供するものであると解する事が出来る。

以上實驗成績に対する余の見解を述べたのであるが、此處に取り扱つた短縮に就ては筋線維の内で電流が直接作用する部分にのみ起ると考えられる松本及び佐竹 (1) が云う持続的短縮に限定した事柄であつて、通常筋に見られる攣縮に就ていない事を明確にして置きたい。併しながら余等は攣縮或は攣縮性に就ても同様な事を推定して居るのであるが、これに就ては將來の研究を待つて改めて論ずることにした。

## V. 總 括

A. 松本及び佐竹が用いた刺激方法を用い、臺の後脚筋から分離した數本の筋線維を光楨桿に連絡し、その側が陽極になる様に電流を流し (陽通電)、該電流の開放又は開放及び閉鎖を反復

し、或は又其の側が陰極になる様電流を流し (刺激電流の頻度は 70 per min)、短縮を起させてその大きさを光楨桿に依て描記し、其の短縮を目標として、陽通電に依て短縮性が保持され、又は一度び失われた短縮性が回復されることを觀察した。即ち

1) 陽通電を持続しつゝ一定の時間毎に陰通電を行い、其の際短縮の大きさを検査するに、陽電圧が適當であれば長く短縮性が保持される。

陽通電開放に依て検査しても同様である。

2) 新鮮な筋線維に於ては適當な強さの陽通電及び開放を反復すれば、電流の開放に際して起る短縮は長く持続し (大体 300~500 分)、其の回数は 35000 回に及んだ。

陽通電を持続し陰通電に依る反復刺激を用いて短縮を起させる場合にも大体同様で (大体 240~420 分)、回数 30000 回の短縮を行わず事が出來た。

3) 新鮮な筋又は臺を殺してあまり時間を経過しない (24時間前後) 筋から分離した筋線維を用い、感應電擊刺激を用いて全く短縮し得なくなるまで疲労せしめた場合にも、陽通電に依て徐々に短縮性を回復させる事が出來た。一度短縮性が回復すれば、その後は大体新鮮な筋線維に於けると同様な状態になる。

4) 臺を殺して 72~100 時間を経た筋から分離した筋線維を用い、感應電擊刺激に依る通常の刺激方法では全く反應しない場合に於ても陽通電に依て短縮性が回復し、一度回復すれば、その後は新鮮な筋と大体同様になる。

5) 陽通電を持続し、陰通電を反復して短縮を起させるに當つて、陽電圧及び陰電圧を種々変化させ短縮の大きさ、並に其の経過を觀察したのであるが、一般に陽電圧が大で陰電圧が小であれば短縮の大きさは小さいが、同じ大きさで反復され、逆の場合には短縮は始め大きいが速かに小さくなる。

B. 上述の如き實驗成績を詳細に論義考按し、余は次の事柄を推定した。

1) 筋線維の短縮性は膜説に従い筋線維の外側 +、内側 - の電氣二重層に直接関連し、二重

層の電位が高まれば短縮性が増し、之が減弱、消失又は逆になれば、短縮性は減弱又は消失する。

2) 一度失われた短縮性も外側+, 内側-の電気二重層を適當に作れば回復される。

3) 筋線維に短縮を起させると、かゝる二重層電位が弱められるから、短縮を反復すれば次第に短縮の大きさは小となるが、始めに短縮を起させ、次の短縮が起るまでに之を自然的又は人工的に回復させれば同じ大きさの短縮を反復して起させることが出来る。

4) 筋の疲労に対する直接的要因は電氣的なもので、筋が生体内にあるとき、自然的に、または切り出した筋に於ても幾分疲労回復が見られるのは、筋内に於ける化学過程等に依て、この電氣的状態が復舊されるに依るのであろう。

終りに臨み、終始御懇篤なる御指導を賜つた恩師松本教授に謹んで謝意を捧げます。

#### 文 献

- 1) 松本政雄・佐竹結實 (1945) Über die Längenänderung ausgeschnittenen quergestreiften Muskelfaser, infolge der Einwirkung des elektrischen Stromes. Jap. J. med. Sci. III Biophysics 10, 307
- 2) 松本政雄 (1948) 筋生理学に関する3つの実験 日本生理誌 10, 276
- 3) 臣田泰信 (1940) 筋線維内に於ける興奮の傳導と所謂疲勞に就て (單一筋線維及全筋による實驗) 日本生理誌 10, 14, 極性興奮に就て (單一筋線維及全筋による實驗) 日本生理誌 10, 260
- 4) 杉 靖三郎 (1937) 筋の分極性と電気緊張 日本生理誌 1, 学32
- 5) 佐竹結實 (1943) 單一骨格筋線維に於ける變縮の加重並に持続性短縮に関する研究 日本生理誌 8, 103

#### Summary

Previously Matumoto (2) reported that the striated muscle fibres repeat their contraction by the anodic off stimulation more than 30,000 times without any remarkable fatigue. The object of the present work is to confirm and investigate this phenomena.

(1) with fresh muscle fibres prepared from the sartorius muscle of a bull-frog was stimulated repeatedly at 70 times a minute by break of anodic current, contraction could be repeated more than several thousands times without any remarkable fatigue. By employing continuously anodic current and stimulating by cothodic current almost of the same intensity the same result was obtained.

(2) With fibres separated from a muscle of a frog which had been killed and stripped off the skin and kept in Ringer's solution for 70 to 100 hours, or with fresh muscle entirely fatigued by the stimulation of induction shocks, their contractility was recovered within 5 to 15 minutes of employing the anodic current and thereafter the contraction remained as long as the fresh muscle fibres.

(3) By these results of the experiments the author assumed that by employing the anodic current the positive charge at the surface of the muscle cells is recovered or strengthened, and this fact acts effectively for the maintainance or the recovery of the contractility. On the contrary by diminution or exhaustion of the charge of the double-layer the contractility disappears.

(Physiological Institute, Med. Fac., Gumma Univ)

神経、筋動作流の發現機構に関する實驗的研究 612.014.423

(主として其等に於ける「層對電説」(前川)の驗證)

〔第1報〕 容積導体内に於ける神経動作流

Some Experimental Studies on the Subject of Mechanism of the Tissue Electricity.

(1st Report) Action Currents of Nerves in the Volume Conductor.

唐川正典 (Karakawa-Masanori) \*

I. 緒言及び「層對電説」の概要

生物電気発生機構の關しては勿論尙人類の智識は憶測の範圍を出でない。興奮部位が安靜部位に對して電氣的負であると言う所謂「負性則」は生物電気學創設時代既に Du Bois Reymond, Hermann, Bernstein 等により打ち立てられたものである。然し複雑な心動作流を骨格筋、神経より得られた此の法則を以て説明する事には早くより困難が認められた。電心図學の開拓者 Einthoven (1) の正三角形法則は巨大双極子、發電の方向性等の概念の萌芽を示すものである。Jolly (2) は Q波の成因として興奮波の直前に正波の存在を暗示した。Lewis (3, 4, 5) は此を驗證して「限局電位差説」を提唱した。Craib (6, 7, 8) は數學的取扱を加えて「双極子説」を完成した。更に Wilson (9, 10) は Bernstein の「膜説」を伸介として、新説と負性側との融合を試み「新膜説」とも言うべき一種の「對電説」を展開している。前川は心筋發電に對し「層對電説」なる一新假説を提唱した。純正生理學者の多くによつて支持されて來た「差異説」が心電図に負性則を其の儘の形で導入せんとするに對し Craib, Wilson 等は容積導体内に於ける電流分布を論じて媒質に依る動作流の変形と言う物理的事実を取上げたものと見るならば、「層對電説」は更に組織自身に依る動作流の物理的変形にまで立入つたものである。即ち前川 (11, 12, 13, 14, 15) の「層對電説」は發電の起源を細胞膜の荷電に求める事なく、興奮時組織實質内

\* 京都大学醫學部内科第三講座 (前川教授)

に縦向 (興奮傳導方向) の起電力の發生を想定し、實質を圍む細胞膜、組織膜の高抵抗と容量、興奮時に於ける其の変化等による電流の変形を以て各動作流形を一元的に理解せんとするものである。自然現象の内在的因果機構を解明するには先づ現象の發現形式を正確に把握記述する事より出發しなくてはならない。有髓神経並びに骨格筋に對する新假説の妥當性を驗證するに當り、筆者も亦此の科學の常道に従つて種々の條件下に於ける動作流の「現れ方」の吟味より初めようと思う。此の報の目的も其の意味に他ならない。

II. 實驗裝置並びに方法

エポナイト製小函の中央に巾 1.5cm, 長さ 4cm 深さ 0.4cm の池を設ける。池の外部に一對の刺戟電極を、池の表面數ヶ所に白金の「検査電極」を、池の底に同じく白金の「不関電極」を裝置する。摘出した莖坐骨神経を前半は空氣中に出して刺戟電極に、後半は池に満した Ringer 液の表面に浸しつゝ検査電極の上に置く。蓄電器單一放電刺戟を與えて「検査電極」と「不関極」との間に生ずる電位差を記録するならば、「検査電極」の電位変化のみを示す單極誘導法が達成される。但し不関極は神経より充分に離し、且つ其の位置の移動は曲線に影響のない事が確められた。描画は直流三段増幅器及び横河電磁オツシログラフを用いた。實驗の難点は媒質に依る損耗の爲め充分な起電力の得難い事にある。従つて、検査電極を神経下面に接する小部分以外は白臘被膜で絶縁したり神経下面に狭いガラ

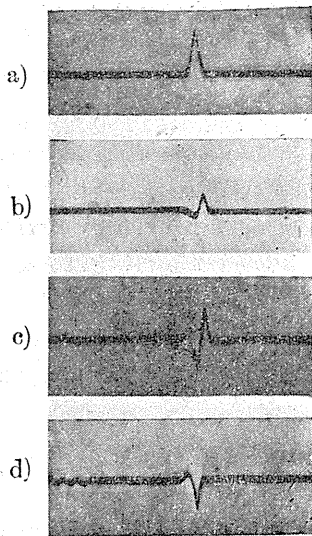
ス板の支を作つて液中深く浸さぬ等の注意が必要であつた。

### Ⅲ. 實驗成績

上記の方法で得られる單極誘導曲線は検査電極の位置により次の 1~4 の 4つの型に分けられる (第1圖)。

1. 中流曲線 (第1圖 b) : 神經が液面を離れる兩端の近傍數 mmを除けば、中間部任意点

第1圖 容積導体内に於ける神經働作流



a) 上流端 (非傷害) b) 中流 c) 下流端 (非傷害)  
d) 末梢切断端

に於ける單極誘導働作流は正、負略同大の2相形である。換言すれば液中に浸つた神經の中流部分に於ては、興奮の來襲に際し先づ正となり次で負となつて興奮は立去つて行く。

2. 上流曲線 (第1圖 a) : 神經が刺戟電極の存する側から池に入つた所、(空氣と Ringer 氏液の境界部分) の働作流は、大きな負波の後に小さな正波を有する非対稱性の負正2相形である。

3. 下流曲線 (第1圖 c) : 神經の後端をも空氣中に露出して、まさに Ringer 氏液を去ろうとする部分の働作流を求めると、2とは逆に大きな正波と小さな負波を有する非対稱の正負2相形である。

4. 傷害部曲線 (第1圖 d) : 液中に神經後端を置き其の切断面に或は此の近傍を焼灼して傷害部分に電極を接する時は完全なる正の單相曲線を得る。

以上4つが基本形であるが

5. 上流より池に入つて數 mmの点に於ては正常の中流曲線の如き正負2相形の後に小さな正波の痕跡を残した3相化曲線を得る事がある。

6. 上流及下流曲線は電極の位置が池の近くにある爲に媒質内電流分布の不齊に基くものではないかとの疑いにより、神經を池の中央に釣下げ又は釣り上げて其の点に上流或は下流を作つて見たが依然同一の結果を得た。

7. 不調極の位置が此等の結果に影響を與えない事は實驗方法の項に述べた如くである。

8. 双極誘導曲線 : 中流2点に存する電極間の電位差變動を記録すると、上手極は下手極に對し相對的に正負正の3相曲線を描く。此れは中流單極誘導曲線より當然豫期せられる所で、3相の内、負の相が最も大きい。又此の大きさは或る距離内では極間隔に略比例する。

### Ⅳ. 考 察

前述の諸成績は在來の負性則より説明し得ぬ事は明かである。元來負性則の弱点は其れが觀念的な電位の規準としている「靜止部位」なる概念の曖昧さにある。此れは在來の誘導法の如く絶縁体たる空氣中で兩電極を一連の組織上に置く時は氣付かれずに済んでいるが、單極誘導法の如く「發電性組織を圍む容積導体内電流分布」(Craib)を論ずる際は必然的に現われて來る。而もかゝる分布を論ずる必要は心電圖、腦波等の実用的要求のみならず、異型の状態に於ける働作流の変形を介して組織發電機構の様式を吟味すると言う理論的要求よりも生じて來るのである。負性説を容積導体内にも適合する如く修正擴張する時は必然的に Wilson の新膜説に合一する。何故ならば外界を絶縁された状態に於て、導體たる組織の安靜部全体と興奮部全体との間に電位差が存在すると言う事は、かゝ

る電位差を生ずる起電が、現実に Craib 或は現象的に Wilson 兩者の境界に存在する事ではなくてはならない。かゝる起電力の存在は容積導体内では當然1ヶの双極子として現われて来る。従つて此の様な双極子は兩者の界面の全て即ち興奮波の前端にも後端にも現われなくてはならない。負性説を遵奉する餘り Craib の説を實驗技術の誤りに歸せんとした生理學者 Bishop と Glison (16) , Schaefer (17) が自己矛盾、自己否定である事を、凡そ論理を解するものなれば認めざるを得まい。然し勿論筆者は双極子説、新膜説に左袒せんとするものではなく寧ろ此等を一括、舊説となし、其のいずれにても説明し得ざる事実を指摘せんとするものである。第1図bの中流曲線は層対電説以外のいずれの舊説でも説明出来ない。舊來の諸種對電説に於ては、かゝる時は正負正の3相曲線を示す筈である。層對電説の假定する所に依れば、活動状態に入つた組織には興奮の進行方向に正極を向けた無数の微小な双極子が発生する。此等の双極子は興奮の持続する間特有の起電力を保持し導体内に於ては電流の持続的な流出及び流入点となる。興奮波の前端では其の進行に伴い次々に新たな双極子が発生し恰も「双極子の層」が成長して行くが如くである。心筋に於ては此の對電層が收縮の極期には其の全長をおゝうと考えられている。然し骨格筋神經の如く狹長にして興奮持続の短い組織に於ては其の前端が尙進行の途上にある時、既に後端は興奮より醒め初め、興奮は1つの帯をなして進行すると見られる。かゝる對電層は棒磁石に於けると同様の計算により、前端に正極、後端に負極を有する1箇の双極子と、外界に興える効果に於て同價である事が證明される。即ち興奮波は進行する1箇の双極子に依つて代換される。而も前記の實驗に於ては、興奮波が空氣中に存する間は其の起電力は Ringer 氏液の池内の電位分布に何等影響を興えないから、興奮が液内の神經部分を進行する期間のみ双極子が出現すると考えてよい。依つて液の上流端に於ては双極子の進行を見送つて常に後面より眺める事となるので、負の單相と

なり、中流に於ては、前方正なる双極子通過を側面より眺める事になつて其の電位変化は

$$V = \frac{\tau}{\sqrt{(x-a)^2 + b^2}} - \frac{\tau}{\sqrt{(x+a)^2 + b^2}}$$

の如き正負の2相曲線となる。又下流端にては双極子を迎えて常に前面正の側から眺める事になるので正の單相となる可きである。第1図bはそれぞれ完全に此の期待に一致する。次に同図a及びcに於ける後波に付いて考察しなくてはならぬ。層對電説が電心曲線の解明に際して指摘した如く、全ての組織は高抵抗と分極容量とを持つた細胞膜或は組織膜を以て圍繞せられている。従つて内部に発生する起電力と其れに依て外界に流出する電流、或は又其の電流に依て引起される外界の電位変化は一般に單純な比例關係にない。此れが「層對電説」が言う所の「分極膜に依る働作流の変形」である。分極変形の概観を得るには、抵抗  $r_m$  容量  $c_m$  を並列した分極膜型と外路抵抗  $R$ 、發電機  $E$  を直結した回路を考えればよい。より正確には膜の立体的擴りを考えねばならない。此等の數學的取扱いは後に一括して行う事にする。神經に於ける分極膜の所在は発電した纖維自身の髓鞘であるかも知れない、又神經束を包む結締組織膜も含まれよう。又1つの纖維より出た電流に対しては其れを圍む他の神經纖維は全て此の様な抵抗と容量を持つた單なる物理的導体に過ぎない。起電力によつて流出する電流の一部はかゝる膜のオーム抵抗を通したものであり、他の一部は其の容量を通したものである。後者はそれぞれの界面に荷電の集積を残している。従つて内在の起電力が消失した後に此等の荷電に依る逆電流が流れる。其の結果は内在起電力が單相の時は外部電位変化は2相性なる時、後者は3相性となる。上流下流の後波は此の様なものと解される。更に後に指摘する様に容積導体内に於て分極変形は少く、空氣中に於てはより著明である。同様な意味で中流に於ては此の現象は不明瞭であり、空氣中露出部の界面に近く一方向け電流の集積する点に於てより明確となると思われる。

## V. 總 括

蟾の坐骨神經の一部を蛙 Ringer 氏液中に浸し單極誘導法により各所の働作流を求めた。其の結果中流に於ては正負對稱の2相形, 上流空氣中より池に入る部では負の單相の後に小なる正波, 下流池より再び空氣中に出る部分では正の單相形の後に小なる負波, 又池の中に断端を作る時, 此の部では完全な正の單相波を得た。又上流近傍では正負2相形の後に更に正の痕跡を有する3相形も得られた。中流2点の双極誘導は上手極の相對的に正負正となる3相曲線で其の大きさは極間距離に對應する。此等はいずれも前川の層對電説のみより理解せられる所である。

擲筆に臨み, 御懇篤な御指導を辱うせる恩師前川教授に深甚なる謝意を表し, 併せて終始御援助を賜りたる早瀬助手に深謝す。

本論文要旨は第25回日本生理學會に於て發表せり。

## 文 献

- 1) Einthoven, G. Fahr u. A. de Waart, (1913) Über die Richtung und die manifeste Größe der Potentialschwankungen in menschlichen Herzen und über den Einfluß der Herzlage auf die Form des Elektrokardiogramms. Pflügers Arch. 150, 275
- 2) Jolly, (1914) On the Electrocardiogram. Quart. J. exp. Phys. 9, 9
- 3) Lewis, T., J. Meakins and P. D. White, (1914) The Excitatory Process in the Dog's Heart. Part I The Auricles. Phil. Trans. Roy. soc. B. 205,

375

- 4) Lewis, T. and M. A. Rothschild, (1915) The Excitatory Process in the Dog's Heart. Part II The Ventricles. Phil. Trans. Roy. soc. B. 206, 181
- 5) Lewis, T. (1922) Interpretation of the initial phases of the E. C. G. with special reference to the theory of "Limited potential differences." Arch. int. Med. 30, 3, 269
- 6) Craib, W. H. (1927) A Study of the electrical field surrounding active heart muscle with appendix by R. Canfield. Heart 14, 17
- 7) Craib, W. H. (1928) A Study of electrical field surrounding skeletal muscle. J. Physiol. 66, 49
- 8) Craib, W. H. (1930) The Electrocardiogram Gr. Br. Med. Res. con. Sp. Sep. Ser. 147
- 9) Wilson, F. N., A. G. Macleod and P. S. Barker (1933) The distribution of the action currents produced by heart muscle and other excitable tissues immersed in extensive conducting media. J. gen. Phys. 16, 423
- 10) Wilson, F. N. et al (1935) The interpretation of the galvanometric curves obtained when the electrode is distant from the heart and the other near or in contact with the ventricular surface. Am. Heart. J. 10, 162, 176
- 11) 前川孫二郎 (昭和19年) 電心圖に於ける「電極誘導法」と「單相誘導法」と及び差異説の根本誤謬とに就いて 日循 10, 43
- 12) 前川孫二郎 (昭和19年) 電心圖より見たる生物電氣の一新理論 (層對電説) 日循 10, 44
- 13) 前川孫二郎 (昭和22年) 生物電氣の理論 醫學 2, 7, 38
- 14) 早瀬正二 (昭和22年) 電氣心臟曲線の實驗的分析研究 日循 11, 33
- 15) 早瀬正二 (昭和22年) 電氣心臟曲線の實驗的分析研究第2報 日循 11, 104
- 16) Bishop, G. H. and A. S. Gilson (1929) Action potentials from skeletal muscle. Am. J. Phys. 89, 135
- 17) Schaefer, H. (1940) Electrophysiologie. Wien.

## Summary

Soaking a part of n. ischiadicus of *Bufo vulgaris* into the Ringer's solution. I made an experiment on the action current of various parts by means of unipolar lead. I was successful in getting the following results: in the middle stream, a diphasic curve composed of both positive and negative of the almost equal size was get, in the upper stream—that part which comes in the pond from out the air—a negative monophasic curve followed by a small positive wave was done, in the lower stream—that part which comes out from the pond into the air—a positive monophasic curve followed by a small negative wave, at the cut end in the interior of the pond a complete positive monophasic curve. These can only be explained through prof. Maekawa's "Chaindoublets Theory".

(From the third medical clinic, Med. Faculty, Univ. of Kyoto)

神経、筋動作流の發現機構に関する實驗的研究 612.014.423

(主として其等に於ける「層對電説」(前川)の驗證)

〔第2報〕容積導体内に於ける神経動作流と空氣中に於ける其れとの關連性

Some Experimental Studies on the Subject of Mechanism of the Tissue Electricity  
(2nd Report) Relationship between Action Currents of Nerves in the Volume  
Conductor with That in the Air

唐川正典 (Karakawa-Masanori)\*

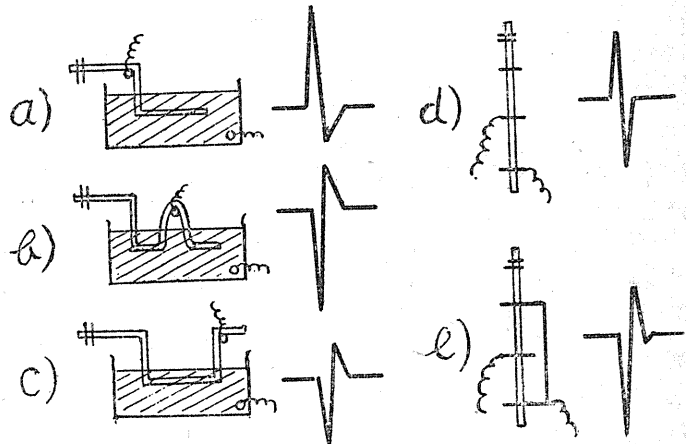
I. 緒言並びに文献

前報に於て筆者は容積導体内に於ける神経動作流曲線を示し、其の形に対する理論的解釋を試みた。然し其等の曲線は從來の空氣中に於ける2相或は單相曲線と甚しい相違を示す爲に、恰も Craib (1)の所説の如く非難乃至疑惑を引き起すかも知れない。勿論從來から知られていたAと言う事実と、異なる条件下のBと言う事実とを、直に理論的に結合出来ぬからと言つて、決してBの事実としての價値を減ずるものではない。然し Craibの所説は Wilson (2)を待つてより常識的に納得されるものとなつた如く此等異なる2つのものを密接に連関せしめ得るならば眞に望ましい。又今の所、電心図に於ける諸現象を一義的に説明し得る唯一の學説である「層對電説」に対しても骨格筋、神経の空氣中に於ける動作流曲線の説明は最も難点であり、それだけに、此の理論の完成の爲に重要な所でもある。其の意味で尙不完全乍ら此の問題に示唆を興えんと考えられる2, 3の事実を挙げたい。本報と直接同主旨の文献は勿論ない。然し誘導條件による曲線の変形に關しては Davis and Brunswick (3), Bishop, Erlanger and Gasser (4), Marmont (5)等の業績がある。

II. 實驗方法並びに實驗成績

上述の理由で此の章は數箇の實驗を取りまとめている。動作流の擴大並びに描画装置、Ringer氏液の池、電極等は全て前實驗と同じである。

第1圖 單極誘導曲線の空氣中に於ける模倣



a)上流 b)中流 c)下流の模倣 e)は液体電極を用ひざる中流模倣

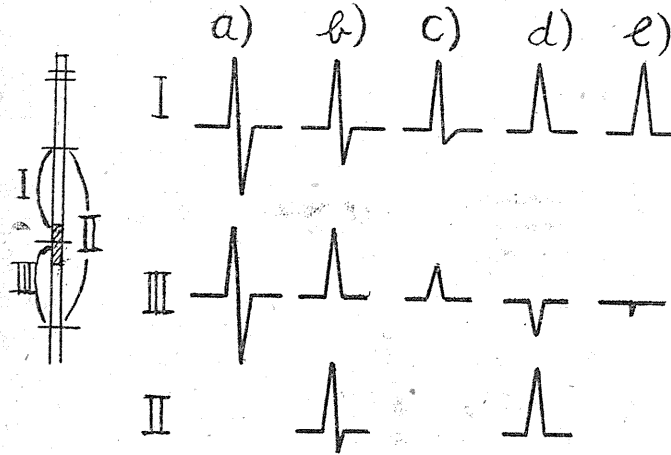
但し電圧擴大度は約 1/10 に加減した。

實驗1. 單極誘導曲線の空氣中に於ける模倣  
前報の實驗配置に於て、検査電極を池より離し、其の近傍の神経部分を空氣中に露出する。此の検査電極と池内の不調電極との間に現れる動作電位は、大さの倍加する他は大体それぞれ従前の單極誘導曲線に類似する。即ち検査電極より下手の神経部分のみが池に浸る時は、上流曲線に對應する負正2相形(第1圖a)、検査電極の前及び後が共に浸る時は中流曲線に對應する正負2相形(第1圖b)、検査電極より上手のみが浸る時は下流曲線に對應する正負2相形(第

\* 京都大学醫學部内科第三講座(前川教授)

1 図 c) を得る. a) 及び c) は池自身を不閉電極の延長と考へれば負性則よりも期待される形である. 唯此等 2 相曲線は對稱的な「2 相形」をなさず, 第 1 相は鋭く大にして第 2 相は緩かで小なる事は注目に値する. b) は特に考察の價値がある. 神經は 2 ヶ所で池に浸つてゐるから負性説より期待される所は正負正の 3 相形である. 此處に得られた如き舊説では一見不可解な 2 相曲線は白金電極のみで近似する事も出来る. 空氣中で神經の 3 点 A, B, C に電極を置き先づ B-C 誘導で完全な 2 相形の得られる事を確めた後 (第 1 図 d), A-C を短絡し, これと B との電位差變動を記録すると第 3 相即ち c) の負となる時期は痕跡と化する (第 1 図 e) [b, e

第 2 圖 中流傷害時の双極透導曲線の変化

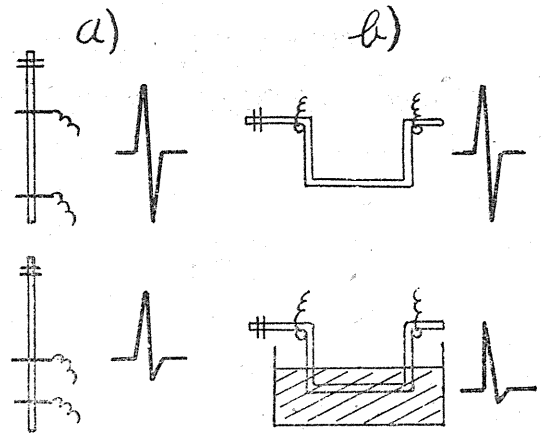


共に B の負となる時を上向きで示す].

實驗 2. 中流傷害曲線

空氣中に於て神經束の 3 点に誘導電極を置き刺戟電極に近い側より A, B, C と名付ける. 又 A-B, A-C, B-C 誘導をそれぞれ I, II, 及び III と呼ぶ事にす. 今健康な神經で働作流を求むれば, I 及び III は共に完全な 2 相形である (第 2 図 a). 次で電極 B の直下を軽く焼灼する時は先づ III が上向き單相化 (即ち B が C に対し負) する (第 2 図 b). 更に強く傷害する時は, 傷害の程度により同図 c, d, e の如き 3 種の場合を生ずる. 即ち何れも I 誘導は上向き單相となり, III 誘導は小なる上向き單相 (c) 或は小なる下向

第 3 圖 相曲線の第 2 相の変形



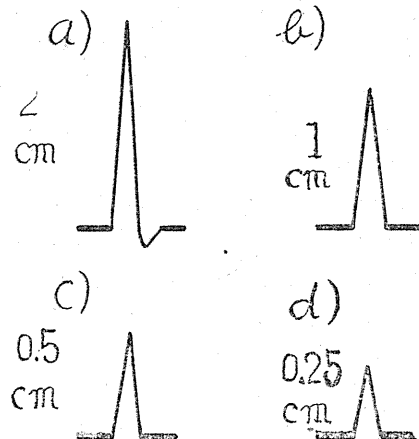
a) 電極間距離の短縮 b) 電極間部分を Ringer 液に浸す

き單相 (d) 又は全々消失する (e).  
實驗 3. 2 相曲線の第 2 相を縮小せしめる實驗

通常の縦々断誘導に於ても, 極間隔を充分近づけると第 2 相が特に小さくなる (第 3 図 a). 此れと類似の現象は縦断横切断誘導の場合にも屢々經驗される. 即ち縦断部電極が充分遠くなる時は, 横切断部に餘程特別な單相化の所置を施しても小さな第 2 相を持つた曲線が現われ易い (第 4 図 a).

然るに横切断部電極を近寄せ

第 4 圖 極間隔と單相曲線の大きさの関係



ると完全な單相曲線が得られる(第4図b, c, d). 又縦々断誘導で電極の位置及び電極近傍の神經部分に何等変化を興える事なく、唯極間に存する神經の一部を Ringer 氏液中に浸す事により著明に第2相を縮小さす事が出来る(第3図b).

#### 実験第4. 單相曲線の大きさと電極間隔

通常の縦断誘導に於て或る程度以上に極間隔を近付けると、働作流は漸次縮小する。第4図

第1表

極間距離 (cm)	起電力 (mV)
2	15.0
1	10.1
$\frac{1}{2}$	7.0
$\frac{1}{4}$	5.5

及び表1に其の1例を示す。空氣中のみならず容積導体内で縦断部の双極誘導をなす時も、同様の傾向を見る。

#### IV. 考察並びに結論

上述の數箇の實驗は或は如何なる理論に対しても、決定的な要素を興えるものではないかも知れぬ。然し此等は次の事を示すには充分であらう。即ち、田崎(6)氏も指摘せる如く神經表面に於ける働作電位と言うものは、「常に絶對的に興奮部が安静部に対して負である」と言う様な古典的概念を固守すべきではない。其れは唯外部抵抗を流れる電流に依つて結果的に特定な外面電位配置が生ずるものであり、此の電流の根元である興奮部位の起電力は1ヶの固定した意義を有するけれども、電流其のものは外部抵抗其他の外界條件の如何によつて任意に変化し得るものである事を。さて「層対電説」の立場から何故空氣中に於ては從來知られて居る如き「興奮部即負」の電位分布が生じ得るかに付ては、前川教授も何等提議をして居られない。従つて筆者の責任に於て此所に1箇の私見を提出して見る。「層対電説」(8)に於ては、興奮部には其の進行方向に向つて前方に正極を向けた双極子群が恰も直連結した電池の如く層狀に配列している。従つて周圍に何等の障害がないならば、電流は外部抵抗を通つて前方から後方に定常的に流れ興奮の前端は電流の湧出口、後端は流入口の觀を呈しつ

ゝ進行して行くであらう。此の状態は略前報、容積導体内に於ける働作流に見られたものであり、又田崎(6)が單一神經働作流に依る電流分布に關して記載した所にも似ている。然し発電体の周圍には高抵抗と分極容量を持つた被膜が覆つている事を考へに入ると、状態は變つて来る。被膜の、高いオーム抵抗を通して流出する電流部分は、内部の定常な起電力に依つて起され、前述の様に外部抵抗内を前方から後方に向つて流れる。他方膜の分極容量を通して流れる電流は、起電力に時間的變化の存在する部分に發生する。興奮の先端近傍即ち新たな双極子の發生しつゝある部分では、容量を通つた電流が外部抵抗内を前方より後方に向つて流れ、抵抗を通した電流に加算される。此等の電流の爲に興奮の前半部では神經の外表の電位は前方より後方に向い漸次降下する。そして此の容量を流れた電流は荷電の形で膜の内外面に集積され、起電力の定常な間其の位置に固定される。興奮の後端が近ずき起電力が減少し初めると、此の集積荷電は自由放電を開始し、前とは逆向きの電流を生ずる。此れは抵抗を通つた電流と差引かれる爲に弱い。従つて興奮の後半に於ては、外表の電位は前方より後方に向つて漸次上昇して行くけれども、其の勾配は前半の下り坂よりは緩かである。此の様に「層対電説」の立場より考える時は、興奮部に負の電位分布を生ずる爲には膜の分極性が重大な意味を持つ。或る起電力に対して、電流分布が如何なる状態になるかの數學的取扱いは後に一括して今少し立入つて述べる積りであるが、大略は外部より人工通電せる場合に対する從來の「ケーブル定理」(7)電氣緊張電流滑走等の問題を類推してよからう。従つて内部比抵抗  $r_1$  外部比抵抗  $r_2$ 、單位巾の膜の抵抗  $r_m$  とする時は、電源双極子を原点として神經の縦軸に沿つて測つた座標  $x$  なる点の膜電流の密度は  $I_m = I_0 e^{-\sqrt{\frac{r_1+r_2}{r_m}} x}$  なる形を取るであらうから、外部抵抗  $r_2$  の大なる時、例えば空氣中に露出されている時は、膜電流は主に起電力近傍の膜面に集中する。それだけ分極による荷電の集積も大であるが、溶

液内に浸された時は電流は強く発散し, 膜電流の密度勾配は緩かに, 又電流出入に利用される膜面は廣範になり, 分極の影響は薄くなると考えられる。

実験1. の d) に付いては, AB 間の興奮により A の近傍に集積した荷電は BC 間の興奮の時期に於て AC の短絡を通して放電される事になり, 神経表面に沿つて逆電流を生ずる事がないため最後の正の相が消失すると考えられる。

e) は此の短絡を Ringer 液が代行している。

実験2. 負性則の成立する爲には膜の分極が重大な役目をなす。焼灼により少くも結締織膜の分極性は剝脱される。下手極近傍の分極性除去により完全な單相曲線が得られるならば, 上手極近傍の分極性除去に依つても或る程度の單相化が行われてもよからう。

実験3. 本来の起電力は常に下手極を正, 上手極を負ならしめる單相性である可きで, 第2相は第1相のものと對等のものでなく, 或る理由例えは, 上述の如き膜の分極性に依つて出現していると考えられ, それだけに條件次第で変化し易い不安な部分と考えられる。

実験4. 層對電説では膜の分極がなければ單相誘導働作流は層對電の厚さ, 従つて電極間の長さ按比例する。依つて此の實驗の結果も該説の1根據とならう。嚴密に比例しないのは, 上手極近傍の分極に依るものと考えられる。尤も此の結果は膜説からも説明される。即ち Cole (7) の算出せる如く傷害端近傍では, 内外導体の短絡のために膜内外の分極電位差が低下して居り, 其の程度は断端よりの距離の指數で示される。従つて膜説に依れば, 此等の部分に發生し得る働作電位も低下する筈である。然し此の様な説明は神経が空氣中に露出された状態に於てのみ成立するもので, 神経を容積導体内に浸した場合は Craib の實驗の示す如く, 或は又 Wilson の理論より歸結される如く, 切断端は外向け負の双極子となり, 逆に切断端に近い程神経表面の電位は高くなり極大点が出現する筈である。従つて働作流の起源が膜電位差にある

ならば, 上手極が断端に近づく程, 逆に働作流は増大しなくてはならない。事實は此れに反するから前述の説明は成立しない。

## V. 總 括

1) 前報の單極誘導曲線は空氣中でも模倣出来る。

2) 通常の2相誘導曲線は上手極近傍の傷害でも單相化する。

3) 2相曲線の第2相は不安定で電極間隔に依り消長し, 又極間の一部を Ringer 液に浸す事に依り減少する。

4) 單相曲線の大きさは或程度極間隔に依存する。此は容積導体内でも成立するから傷害部近傍の膜電位差の低下に起因するものではない。

以上の諸事實を手掛りに空氣中に於ける神経働作流を「層對電説」より説明せんと企てた。

其の場合, 膜の分極容量の存在を重大視した。

擱筆に臨み, 御懇篤なる御指導を辱うせる恩師前川教授に深甚な謝意を表し, 併せて終始御援助を賜りたる早瀬助手に深謝す。

本論文要旨は第25回日本生理學會に於て發表せり。

## 文 献

- 1) Craib, W. H. (1927) A Study of the electrical field surrounding active heart muscle with appendix by R. Canfield. *Heart* 14, 17.
- 2) Wilson, F. N., A. G. Macleod and P. S. Barker, (1933) The distribution of the action currents produced by heart muscle and other excitable tissues immersed in extensive conducting media. *J. gen. Phys.* 16, 4, 23.
- 3) Davis, H. and D. Branswick (1926) Studies on the nerve impulse. *Am. J. Physiol.* 75, 497.
- 4) Bishop G. H., J. Franger and Gasser, (1926) Distortion of action potentials as recorded from the nerve surface. *Am. J. Physiol.* 78, 592.
- 5) Marmont, G. (1940) Action potential artifacts from single nerve fibres. *Am. J. Phys.* 130, 392.
- 6) 田崎一三 (昭和19年) 神経纖維の生理学 (東京)
- 7) Cole, K. S. and H. J. Curtis (1939) Electric impedance of Nitella during activity. *J. gen. Physiol.* 2, 237.
- 8) 前川孫二郎 (昭和19年) 電心圖より見たる生物電氣の一新理論 (層對電説) 日循 10, 44.
- 9) 前川孫二郎 (昭和22年) 生物電氣の理論 醫學 2, 7, 38.

## Summary

1. Curves of unipolar lead in the first report can be imitated as well as in the air.
2. Curves of diphasic lead ordinarily used are able to become monophasic by doing an injury to a part of the nerve near the upper electrode.
3. The second phase of the diphasic curve being unstable, becomes smaller under a certain condition.
4. The shorter the distance between two electrodes becomes, the smaller the size of monophasic curves becomes.

When we have the way of thinking that curves obtained is influenced on the interior electromotive force by the polarisation of the membrane, the above mentioned will be easily understood.

(From the third medical clinic, Med. Faculty, Univ. of Kyoto)

# 神経、筋働作流の發現機構に関する實驗的研究 612.014.423

(主として其等に於ける「層對電説」(前川)の驗證)

〔第3報〕容積導体内に於ける蓋縫工筋働作流

Some Experimental Studies on the Subject of Mechanism of the Tissue Electricity.

(3rd Report) Action Currents of M. Sartorius in the Volume Conductor.

唐川正典 (Karakawa-Masanori) \*

## I. 緒言

神経働作流に関する第1報と同じ意味で、骨格筋働作流に対して「層對電説」の成否を検討する爲にも先づ容積導体内に於ける其の働作流形を吟味する必要がある。

## II. 實驗方法

実験1. 蓋の縫工筋を末端附着部より、下部組織と漸次剝離し、起始部は傷害面を作らぬ爲に骨に附着させて置く。次で此の筋以外の上腿軟部組織を全て除去し、附着部の腱を結紮絲にて再び元の膝関節或は他の器物に固定する。此の標本を直徑 20cm の円形ガラス容器の中央に水平に置き、其の表面の隠れる迄蛙 Ringer 氏液を浸す。刺戟には筋の一端を僅かに液面に露出せしめ、一對の白金電極を用いて蓄電器單一放電を與える。検査電極としては細い螺線狀の針金の先に蠟着した塩化銀銀線を用いた。此れを上方より釣るして先端を軽く筋表面に接触させた。筋は前記の固定によりほゞ等尺攣縮をなすも尙軽い上下動が残る爲に此の注意が必要であつた。其他必要に應じ 塩化銀-銀板電極、白金線等も用いた。單極誘導には同種極を液中可及的遠方に置いて不関極とした。描画には第1報と同一の器具を使用した。此の方法では主に筋の中流に於ける働作流の検索を行つた。

実験2. 上記の方法は固定の都合で傷害断端の働作流を描画するのに不便である。次の方法は其の補足として行われた。蓋縫工筋を完全に

遊離摘出し、直接ガラス器の底面に横えた。Ringer 氏液は僅かに筋表面を越す程度とし筋の一端はガラス板方を枕にして水面に露出し刺戟部に供する。検査電極は主として、任意点に固定出来る白金電極を用い、筋の側面及び末稍端等、筋周囲の働作電位分布を検査した。用に應じ前実験の可動電極も使用した。不関極、描画装置は前と同じである。

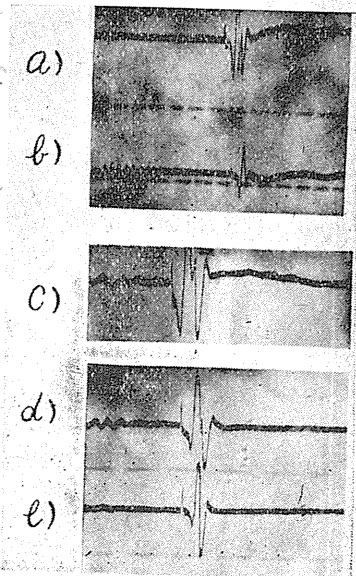
## III. 實驗成績

実験1よりの成績

i) かゝる容積導体に浸された筋紐の中流2点の双極誘導曲線は第1図 a の如き多相曲線である (図中最初の小さな振れは刺戟曲線)。

ii) 次で其の内の一極、例えば下手極を検査電極として單極誘導をなせば第1図 b の如き正負正の3相曲線を得る。上手極に於ても同様である。従つて

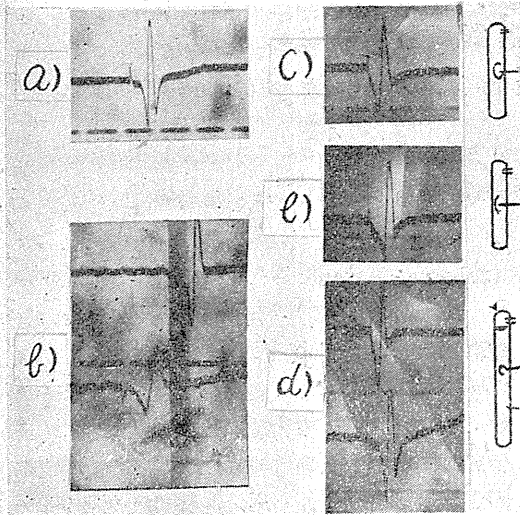
第1圖 容積導体内の縫工筋働作流



a) 双極誘導 b) 單極誘導 c), d), e) 双極誘導(漸次極間隔を近づけた)

\* 京都大学醫學部内科第三講座 (前川教授)

第2圖 縫工筋中流に於ける單極誘導曲線



a) 健康部3相曲線 b), c), d) 及び e) 上段2相化曲線

a) の多相曲線は上手極の正負正3相と下手極の負正負 (bの逆向け) 3相との組合せである事がわかる。

iii) 双極誘導曲線は極の間隔に依り外見的变化を示す。2極の充分遠い時は第1図a, 第1図c等の如く完全な6相である。極間隔が近づく時は第1図dの如く中間の2つの山が融合して單なる結節となる。更に近づく時に遂に完全な4相となる (第1図e)。

以上の結果は一應完全に Craib (1) の成績を追證する。然し此れは單なる外見上の事に過ぎない。

vi) 單極誘導法に依る第2図aの如き典型的3相曲線は、簡単な操作により同図bの如き完全な正負2相曲線に変化する。b図上段下段は次に述べる(1)及び(3)の方法で2相化したものである。此の様な2相化の方法は大體3種ある。

(1) 電極の接触せる局所筋膜に焼灼等の傷害を與えた場合 (第2図c)。

(2) 不分極性の電極を筋肉内に穿刺した場合 (第2図d)。

(3) 電極先端を環状に曲げる如き方法で、電極と筋膜の接触面を充分大にした場合 (第2図eの上段)。

v) 此等の「曲線2相化」は決して其の点で興奮が中絶した爲ではない。e図下段の示す如く此等の点より下流に於ても、通常の銀線電極先端接触を行えば典型的3相曲線が得られる。尙上記各種の曲線に於て前述の急速な変化の後に極めて緩やかな電位變動があつて零線に復歸する迄に若干の時間を要するのが認められるが、其れは所謂「後電位」に属するものか筋及び電極の運動に基く電位の乱れであるか、此處では明確にする事が出来なかつた。

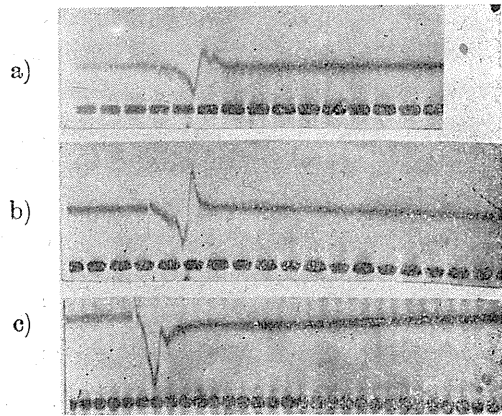
#### 實驗2よりの成績

i) 2の方法で筋の中流側面に於て撮つた働作流は實驗1に於て筋の中流背面で撮つたそれと全く一致して正負正の3相形である (写真略)。

ii) 2の方法で筋の末端外側に電極を置いて撮つた働作流は其の末端が腿の附着した比較的傷害の少い側である時は正負の2相形を示す (第3図a)。

iii) 其の場合末端に近い筋膜の一部を軽く焼灼して見たが、依然正負2相形で却つて波形は

第3圖 縫工筋下流端に於ける單極誘導曲線



a) 非傷害 b) 輕燒灼 c) 切斷

幾分鋭くなつた (第3図b)。

以上の曲線で尙注目すべき点は、此等の初期變動は刺戟曲線より約40~50msecの間に終了し其の後は殆んど元の零線に復歸する事である。收縮によつて筋端がかなり電極を離れる時もiv)に見る如き強い「後電位」は現れない。

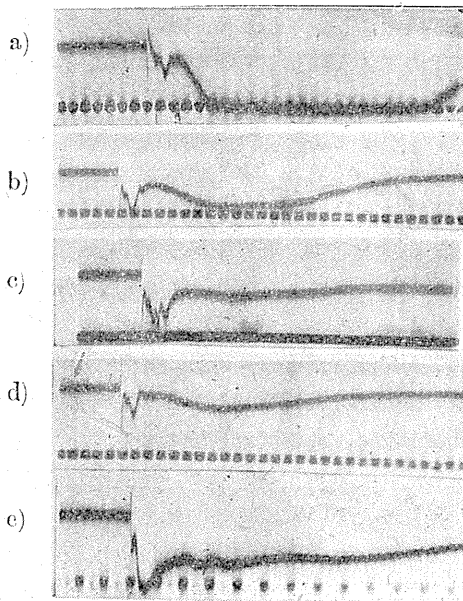
iv) 次で此の末端に近い部分を切除して完全

な筋肉断端を作る時は、断端外側に於ける電位変化は上記初期変動の時期に一致して完全な正の单相形動作流を示す。然し更に此の急速な初期変動に続いて約 0.5 秒繼續する緩かな後変動が見られる。(第3図 c)。

其處で此の傷害面後電位に付いて若干の吟味を行つた。其の成績はやゝ複雑であるが形體的に大体次の3型に分けられる。

v) 正の後電位

第4圖 縫工筋切断端動作流 (I)



正の後電位を伴ふ

上の例に示した様に傷害面後電位は多くの場合正の单相型を示すのであるが、此れが眞の生物発電であるか、或は筋断端と電極相互運動に基くものであるか、重要な問題である。(1)に於ては極端な移動を行わせ(2)~(5)に於ては極力此の影響を除去して曲線を比較した。

(1) 筋が自由収縮をなし断端の著明に電極を離れる場合、初期変動を凌ぐ程の甚だ強い正の後電位が認められた(第4図 a)。

(2) 筋力が弱く、自由収縮でも肉眼的に殆んど筋端が電極を離れぬ場合(第4図 e)。

(3) 筋を最初より皺の寄る位押し縮めて置き興奮時にも筋端は殆んど電極を離れず寧ろ此れに押し迫る場合(第4図 c)。

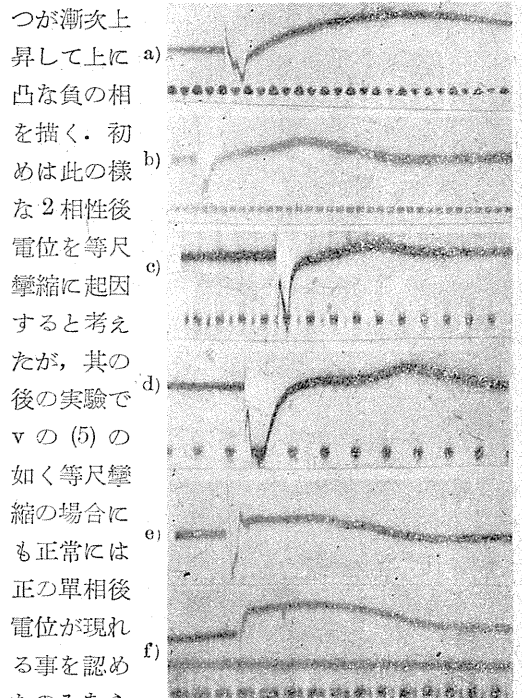
(4) 筋断端近くを絹絲で結紮し、絲の他端を器具に結合固定した場合(第4図 b)。

(5) 更に筋の中樞端も絹絲で結紮し、筋を伸展させた状態で固定した場合(第4図 e)。

vi) 正負2相性後電位

(1) 筋端を電極先端で上より圧迫固定した場合第5図 a の如く正の单相初期変動の後暫く正の偏位を保

第5圖 縫工筋切断端動作流 (II)



a), b), c), d) 2相形 e), f) 負の後電位を伴ふ

つが漸次上昇して上に凸な負の相を描く。初めは此の様な2相性後電位を等尺攣縮に起因すると考えたが、其の後の実験で

v) の(5)の如く等尺攣縮の場合にも正常には正の单相後電位が現れる事を認め

たのみならず v) で正の後電位を示した各種の収縮条件に於ても時に次の如く2相性後変動の現れる事が見られた。

(2) 自由収縮の際現れた2相性動作流(第5図 b)。

(3) 断端を絲で固定した際のそれ(第5図 c)。

(4) 筋を押し縮めた際のそれ(第5図 d)。

vii) 負の後電位

更に稀な場合として、負の单相後電位を示す2, 3の例がある。

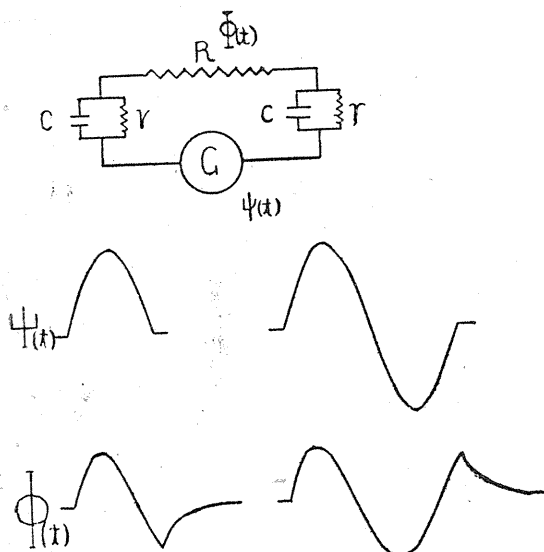
(1) 自由収縮の際現れた(第5図 e)。

(2) 強く伸展した等尺収縮の際現れた(第5図 f)。

IV. 考 察

中流に於ける3相及び多相曲線は既に Craib に見出されたものであり、舊双極子説や廣義の負性則にても説明出来る。併し此の3相形が焼灼穿刺等の傷害で2相化する理由は過去の諸説からは解明出来ない。層対電説(前川)(2)では見掛上興奮波の先端に正、後端に負極を有するから中流の動作流は正負2相曲線こそ本來の形である。実験(1)の(iv)に述べた3相曲線を2相化させる3ヶの方法は、いづれも筋膜の受動的な分極性を奪う方法である。従つて健康筋の3相動作流は、膜の分極に依ると考えなくてはならぬ。此の關係は近似的に第6図の模型で現わ

第6圖 組織膜内起電力と膜外動作流との關係を示す模型圖



$\Psi(t)$ : 膜内起電力  $\Phi(t)$ : 膜外動作電位

される。容量(C) 抵抗(r)の並列は分極膜を、(R)は外路抵抗を、発電機(G)は組織発電を現わすとみなすならば、Gの両端の起電力とRの両端の電位差との關係は膜内電位変化 $\Psi(t)$ と膜外電位変化 $\Phi(t)$ との關係に對應せしめ得る。従つて簡単な微分方程式を解く事により

$$\Phi(t) = \Psi(t) - \frac{1}{RC} e^{-\frac{1}{C}(\frac{1}{R} + \frac{1}{r})t} \int_0^t \Psi(t) e^{\frac{1}{C}(\frac{1}{R} + \frac{1}{r})t} dt$$

$\Psi(t) = A \sin Nt$  と置いて、 $0 \leq Nt \leq \tau$  (單相形) 又は  $0 \leq Nt \leq 2\tau$  (2相形) なる場合を考えれば第6図に示す如く $\Phi(t)$ はそれぞれ2相形及び3相形となる。「層対電説」に依れば中流本來の動作流は正負2相形であり、末端のそれは正の單相であるから、実験(1)に於ける傷害前後の中流曲線の変化及び実験(2)に於ける切断前後の末端曲線の変化は共に完全に上記の考察に符合する。最後に実験(2)に現われた後変動に付き一言する。傷害面には Craib (1)の證明せる如く外面負なる双極子面が形成されている。筋収縮に依つて傷害面が電極より遠ざかるならば電極電位は當然其の期に相應した一過性の正の変動を示すべきである。(v)の(1)に現れた強い正の後変動には恐らく此の様な要素も含まれているであろう。此れは全く物理的現象で生物学的には興味が薄い。然しvの(2)~(5)に見る如く此の要素を極力除去しても尙収縮期に一致した正の後変動を見る。元來後電位は棘電位(spike)に比し甚だ微弱なものとされ、其の成因も後者は細胞膜の脱分極に歸せられるが前者に付いては定説がない。心電図に於ける心室群とT波の關係もこれに對比せられたが、傷害部單相動作流の発見により Wilson (3)は兩者を一元的に脱分極に歸した。「層対電説」に依れば収縮力の起因は電氣的分極であるから、発電は一元的で収縮の全期を通じて存続しなければならぬ。初期に於ける電位の急変成分が分極容量を通じて現れたものが棘電位であり、電位の定常は膜の高抵抗に抑えられて外界に現れないと理解される。勿論 Dubuison (4)により示された興奮初期の透過性増大も棘波の出現に便宜すると思われる。かくて傷害端に於ける正の後電位は筋の結晶性と考え合せてピエゾ効果を類推させ収縮と発電機構(2)の本質につながるものである。更に(vi)の2相性後電位は心電図に於けるT波の逆轉と對應さす事は出来まいか。(vii)の負の後電位は今の所完全な説明は出来ない。筋の極特殊な状態に於ては、双極子の逆轉、興奮進行方向に負を向けた層対電成立の可能性も全く否定は出来ない。

## V. 總 括

容積導体内の綫縫工筋働作流を檢査した。

(1) 健康筋中流に於ては單極誘導で正負正3相を雙極誘導にては4相乃至6相形を示す。此れは Craib の結果と同一である。

(2) 中流で筋膜に燒灼、穿刺等の傷害を興え又は電極接觸面を擴大する時は正負2相曲線となる。此の變化は興奮中斷に依るものではない。

(3) 健康筋末端の働作流は正負2相形である。

(4) 切斷端働作流の初期變動は正の單相である。

以上の變化は「層對電説」特に電流の分極變形の立場より完全に理解される。

(5) 切斷端働作流には約0.5秒続く後電位が見られる。此の内の一部は斷端の移動に基くものであるが、其れを除去しても多くは正の後電位を見る。此れは層對電説に依れば收縮と關連

して理解される。稀に2相性、更に稀に負の後電位を認める。此等の説明は今の所完全には行われ得ない。

擲筆に臨み、御懇篤な御指導を辱うせる恩師前川教授に深甚なる謝意を表し、併せて終始御援助を賜りたる早瀬助手に深謝す。

本論文要旨は第26回日本生理學會に於て發表せり。

## 文 献

- 1) Craib, W. H. (1928) A study of electrical field surrounding skeletal muscle. *J. Physiol.* 66, 49
- 2) 前川孫二郎 (昭和19年) 電心圖より見たる生物電氣の一新理論 (「層對電説」) 日循 10, 44
- 3) Wilson, F. N., A. G. Macleod and P. S. Barker (1933) The distribution of the action currents produced by heart muscle and other excitable tissues immersed in extensive conducting media *J. gen. Physiol.* 16, 4, 23
- 4) Dubuisson (1937) Impedance changes in muscle during contraction and their possible relation to chemical processes. *J. Physiol.* 89, 132

## Summary

In the middle stream of the healthy muscle, action currents by means of the unipolar lead are triphasic arranging in positive, negative and again positive.

They come into diphasic of positive and negative making an injury to the muscular membrane near the electrode. At the end of the healthy muscle, action currents are diphasic of positive and negative.

When cut, they become positive monophasic. In many cases we can see at the cut end positive after discharges lasting about 0.5 second long, continuing after them. We can rarely get view of diphasic or negative after-discharges. When we assume that potentials in the interior of the muscular membrane make growth by chain-doubles and that those at the outside of the muscular membrane are phenomenon made by their polarities, the above mentioned are easily caught in mind.

(From the third Medical Clinic, Med. Faculty, Univ. of Kyoto)

神経，筋働作流の發現機構に関する實驗的研究 612.014.423

(主として其等に於ける「層對電説」(前川)の驗證)

〔第4報〕容積導体内に於ける蓋腓腹筋の働作流

Some Experimental Studies on the Subject of Mechanism of the Tissue Electricity.  
(4th Report) Action Currents of M. Gastrocnemius in the Volume Conductor.

唐川正典 (Karakawa-Masanori)

I. 緒言

第3報の方法は刺戟曲線の混入が強く又、傷害部働作流の撮影に不便な点がある。依つて坐骨神経腓腹筋標本を用い間接刺戟により筋周囲の働作流撮影を企てた。勿論此の場合は纖維が縫工筋程平行でなく、又興奮起点が末端でない爲、其の走向も複雑であるが今迄「対電説」が建設した電心図に於ける走向分析の智識を應用すれば其の解明は難事ではない。寧ろ其れ自身にも幾許かの興味がある。

II. 實驗方法

蓋坐骨神経腓腹筋標本を作製し、筋を平坦面を底にして直径20cmの円形ガラス容器の略中央に置く。神経は空氣中にある一對の刺戟電極に懸ける。容器に蛙 Ringer 氏液を満し蓄電器單一放電刺戟を與え筋周囲の種々の点に於ける働作電位を單極誘導法にて記録する。記録装置は第3報と同じである。

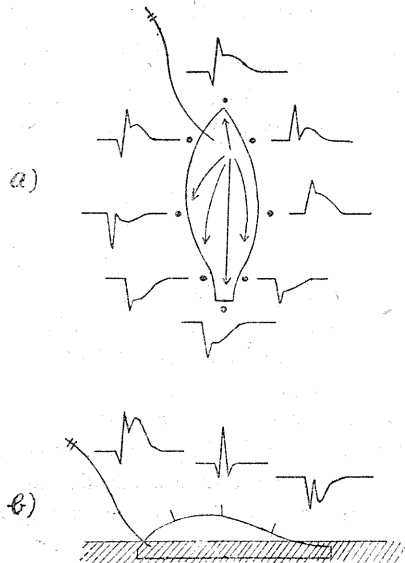
III. 實驗成績

i) 健康筋働作流

勿論健康筋と言うも上端骨附着部及び下端アキレス腱に傷害面を有する。此の健康筋に極く接近せる周圍導体内の働作電位分布を模型的に示せば第1図の如くである。尙写真例の一部を第2図 a, b に掲げる。便宜上、生体内の位置に準じて筋の四周を上端、下端、内方、外方等の言葉で呼ぶ事にする。例えば神経の肉眼的附

着部は内上方である。各点の働作電位は縫工筋の場合と異りそれぞれの点に特有である。概して言えば、曲線は約10σ以内に終る急速な初期

第1圖 非傷害腓腹筋を圍む導体内の種々の点に於ける働作流 (單極誘導法に依る)



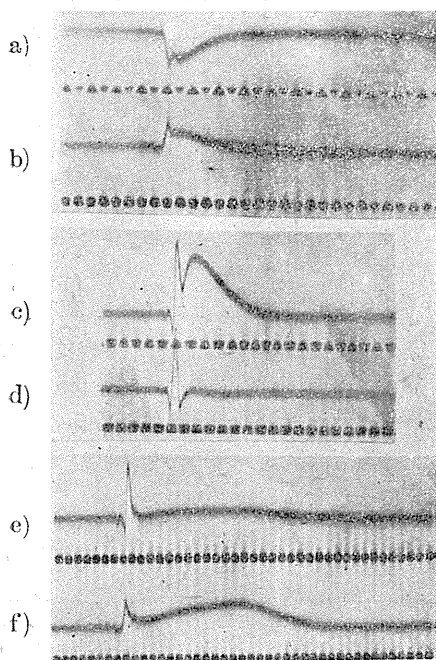
a) (平面圖)の黒点及び b) (側面圖)の短線は、働作流を撮影せる位置を示す

振動と 50~100σ の稍緩かな後變動とよりなる。初期振動は多くの点では正負2相性である。即ち上端では負の相が稍大きく、内側或は外側に沿うて下方に下るにつれ一時正の相は消失して負の單相となり、更に進めば再び正負2相性となり以後漸次正の相は増大し負の相は縮少し下端近傍に於ては正の單相となる。他方後變動は筋の上半に於ては負の單相、下半に於ては正の單相で其の中間に於ては後變動が著明でな

\* 京都大学醫學部内科第三講座 (前川教授)

い。尙外側に於ては負の範圍が稍廣くかなり下方迄及び、内側では比較的上部迄正の相である。又液面に露出した背面の動作流は第1圖下段の如くである。写真例を第2圖 c, d に示す。

第2圖 a), b), c), d) 容積点内に於ける非傷害腓腹筋動作流の寫眞例。(第1圖に模型的に示せるもの一部)。e), f) 中腹切斷腓腹筋の動作流寫眞例(第4圖の一部)



## ii) 傷害筋動作流

傷害に依る動作流の変化を二大別する。

(1) 上端に近い膜面を小さく傷害した場合は該点近傍の電位は次の如く変化する。

〔傷害前〕初期変動：正負2相，後変動：約50σの負單相(第3圖 a)

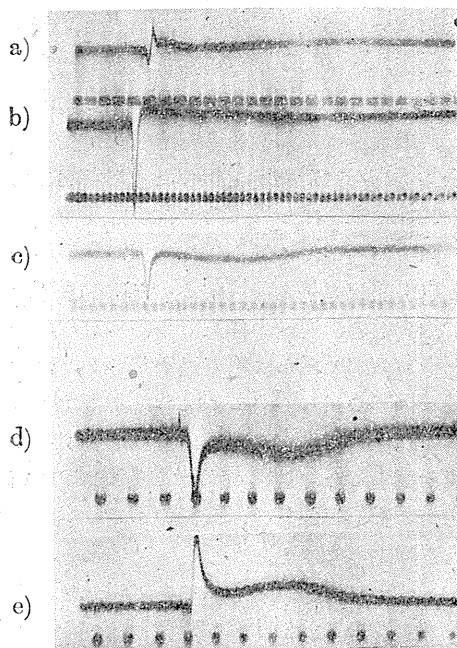
〔傷害後〕初期変動：大なる正の單相，後変動：約500σも続く甚だ緩かな負單相(第3圖 b)

(今後此の種の後変動を「長期後変動」と呼ぶ事にする。)

傷害の強い時は正の長期後変動を見る事もある(第3圖 c)。

(2) 下端近くで筋を軸に直角に切断し大きな傷害面を作る場合は全周にわたり動作流が強く変形される。即ち傷害側に於ては初期変動は鋭

## 第3圖 傷害腓腹筋の動作流



a) 中極端非傷害時動作流 b) 該部輕傷害 c) 同強度傷害 d) 中傷切斷後の傷害面動作流 e) 同反對側動作流 d), e) は第4圖参照

い正の單相形を示し、其の上向脚の途中より約30~50%の大きさを持つた正の長期後変動が初まる。多くの場合此れは今一度下に凸な膨みを見せつゝ約0.5秒続く。此の形は心傷害動作流に酷似し、本質的には初、後変動を融合して大なる正の單相とも見られる(第3圖 d)。傷害の反対側、即ち上端に於ける動作流は略上記の鏡像で、負の初期変動及び負の長期後変の融合せる單相形である(第3圖 e)。

## iii) 傷害面の移動に伴う電位変化の分布

前述の結果は極めて興味のあるものであるが、此の様な大なる後変動が組織内に実在する動作流電力に起因するものであると断定するには尙検討が必要である。第一に溶液と比傳導度を異にする筋体が攣縮運動をなす場合、兩電極間の抵抗変化が電位の攪亂を來す事が考えられる。然し健康筋では電極近傍で攣縮運動が起つてもかゝる電位変化は現れない事、又傷害面よりかなり電極を離しても此の後変動が見られる事より、此の考えは否定される。第2に考えら

れる事は、傷害面近傍には負傷流に依つて定常な電位分布が発生している。従つて、断端が移動すれば當然固定点には特定の電位変化が現われる筈である。傷害面の移動に依つて、周圍導体内に如何なる電位変化が生じるかも知る爲、次の實驗を行つた。切断端を有する筋体を水平にして、略全体が溶液中に浸り、而も裏面が僅に底を離れる様に絶縁性の糸を以て前記ガラス円盤皿の中央に釣り下げた。検査電極を液内の任意の点に固定し、筋体を軸の方向に緩かに揺り動かして、直流三段増幅器の出口回路に入れられた電流計の針の振れを読む事により電極に現われる電位変化を観察した。敘述の都合で筋体が傷害面の方向に動く事を前進、反対の方向に動く事を後退と呼ぶ事にする。

(1) 電極が傷害面の方向にある場合は、筋の近付く時、即ち前進する時は電位は漸次負となり、筋の遠ざかる時、即ち後退する時電位は正となる。

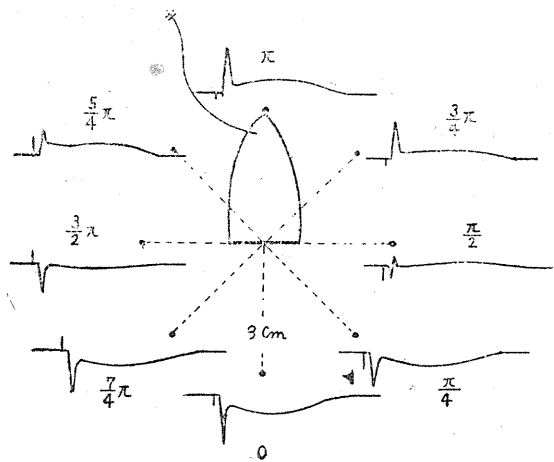
(2) 電極が傷害面と反対の側にある場合は、筋の遠ざかる時即ち前進する時電位変化は負で、近付く時即ち後退する時正である。即ち(1)及び(2)に於ける電位変化は同一の筋運動に対して同時に正又は負となる。換言すれば同位相である。

(3) 電極が筋体の側方、傷害面に直角の位置にある時は、筋の前進により正の、又後退により負の変化を示す。即ち(1)(2)に対して逆位相である。

iv) 傷害働作流の導体内分布

傷害働作流に現れる長期後変動が実在の働作起電力を示すものか、或は傷害面の移動に起因する單なる物理的のものなるかを決定するには實際の傷害働作流が導体内各点に於て如何に異なるかを観察し、iii)の結果と比較する事により達せられる。先づ円盤内に數ヶの同心円及び半徑を描いて中心を原点とする極座標系を設ける。筋体を原線に重ね、傷害面を正の方向に向けて原点に置く。今距離  $r$  方向角  $\theta$  で表わされる円盤内各点の働作流を記録すると次の様であ

第4圖 中腹切断せる腓腹筋周圍の働作流分布



る。

(1)  $r = \text{Const}$  として  $\theta$  に対する曲線の変化の1例を揚げると第4図及び第1表の如くである。即ち  $0^\circ$  と  $180^\circ$  の方向は逆位相で  $90^\circ$  及び  $270^\circ$  の方向は極小である。

(2)  $0^\circ$  の方向及び  $180^\circ$  の方向に於て  $r$  に対する変化は第2表の如くである。

第1表

方向角	例 1		例 2		例 3	
	初突起	後電位	初突起	後電位	初突起	後電位
0	1.4	0.44	0.75	0.2	2.4	0.85
$\pi/4$	1.0	0.2	0.51	0.1	1.6	0.55
$\pi/2$	-0.4	-0.1	0.6	-0.19	$\pm 0.45$	-0.1
	(二相性)					
$3\pi/4$	-1.51	-0.4	-0.3	-0.1	-1.8	-0.15
$\pi$	-1.9	-0.4	-1.0	-0.38	-2.25	-0.7
$5\pi/4$	-1.2	-0.38	-0.95	-0.37	-1.25	-0.4
$3\pi/2$	0.75	0.05	-0.05	-0.12	1.35	0.1
$7\pi/4$	1.3	0.22	0.4	0.2	2.2	0.75

第2表

$r$ (cm)	例 1		例 2	
	初突起	後電位	初突起	後電位
1	0.51	0.3	2.5	1.9
3	0.31	0.07	5	1.4
4	0.23	0.05	-2.5	-2.2
-4	-0.5	-0.05	-5	-1.3

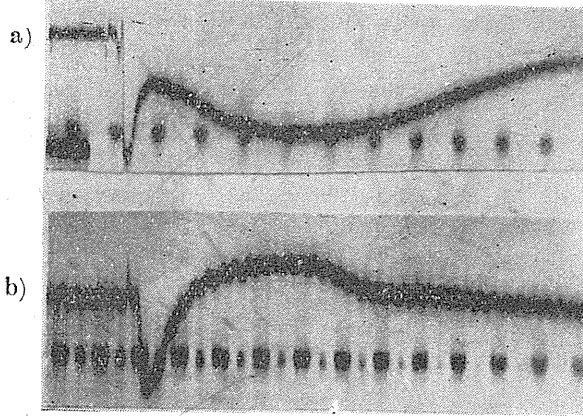
$r > 0$  は  $0^\circ$  の方向を  $r < 0$  は  $180^\circ$  の方向を示す

v) 筋軸に対し斜に断面を作り、前記の如く周圍の電位分布を検する時、負傷働作流の極大となる方向は断面の法線方向ではなく、寧ろ筋軸の方向である。

vi) 後電位の成因を吟味する他の一方法とし

て, 収縮時筋断端に伴い移動する電極を用いた時も, 正の傷害面後電位を得た (第5図 a).

第5圖 腓腹筋の切斷面動作流



a) 正の单相 b) 正負2相形を示す場合

vii) 第3報の縫工筋と同じく, 2相性後電位を見る事がある (第5図 b).

#### IV. 考 察

1) 健康筋をめぐる動作流は前報に於ける縫工筋の其れとはかなり趣きを異にする. 従つて各点に於ける其の形態の意味付けをなすには負性説はもとより Craib (1) の双極子説も困難を感じる. 然し我々の立場 (2) よりすれば, 膜の分極性が少く内部の電位変化が比較的忠実に現れたにすぎない. 此等の曲線は心動作流に近似する所が多いので, 其れに関する我々の智識を参考にして次の様に理解される. 第一に初期変動に於ける急速な正の振れは, 興奮波の前端が電極近傍で此れに向つて来る事を意味し, 同様の負の振れは其れが電極近傍でこれより遠ざかつて行く事を意味する. 第二に緩かな正の振れは電極の方に向う層対電が持続する事, 即ち筋全体の大勢として興奮が電極方向に向つて来た状態で継続する事, 緩かな負の振れは興奮が電極より遠ざかる方向に傳搬して, 其の状態を継続する事を意味する. かゝる立場から第1図の曲線分布を眺める時は腓腹筋内の自然興奮傳搬の大勢は同図矢印の如く考えられる. 尙背面露出部に於ける曲線は電力消耗の少い爲, 起電力

の大きい事, 又第1報神経に関して述べたと同じ理由で, 水中の其れに比し膜による分極変形の強い事を除いては水中の其れと類同である.

2) 傷害に依り長期後変動の現れる事は電心曲線に於ける心室群から T波の終り迄を包含する单相形に類同の現象と見られる. 特に上端附近の輕傷時に於ける曲線は早瀬 (3) が靜脈竇の輕傷害に依つて記録し得た負の单相曲線に一致する. 強度の傷害により正の单相化の見られる事も其の場合に似ている. (2) の下端切断による正の单相化曲線も亦, 心室傷害面に於ける正单相動作流に酷似する. さて此等の傷害動作流に見られる長期後変動が果して實在の生物學的動作起電力に基くものか, 或は單なる筋

体の移動に基く物理的なものであるかは前報にも述べた如く重要な点であるが此所では第3報と異なる観点より吟味を加えて見た. 即ち傷害電位を有する断端が移動する事が如何なる電位変化を生ずるかを先づ検討する. Craib (4) の實驗で明かな如く容積傳導体内では傷害面は外方に負の極を向けた双極面と見られる. 無限平面内で, 原点に存する双極子により作られる電場分布は, 双極子の強さに比例する常數  $E_0$  を用いて  $V = E_0 \frac{\cos \theta}{r}$  で示される. 今双極子が原点より原線上を正の方向に  $\Delta x$  だけ移動したとすれば点  $p (r, \theta)$  の電位は

$$V' = E_0 \frac{\cos \theta}{r} + E_0 \frac{\Delta x \cdot \cos 2\theta}{r^2}$$

となる. 従つて双極子の移動による点  $p$  の電位変化は

$$\Delta V = V' - V = E_0 \frac{\Delta x \cdot \cos 2\theta}{r^2} \dots \dots \dots (1)$$

此れは  $\theta = \pi$  を周期とする. 例えば双極子が正の方向に前進すれば前方  $0^\circ$  の方向, 後方  $180^\circ$  の方向では共に電位が上昇し  $90^\circ$  及び  $270^\circ$  の方向では共に減少する. iii) の實驗成績は此の考察とよく一致し, 大傷害面を有する筋の受動的な移動は1ヶの双極子の移動と見做してよい事を裏書する. 次にもし興奮に際し実際に起電力が発生すると考えれば, 此の起電力は近似的に興奮末端に正負を向けた双極子と考えられ

る。其の所在が原点であるとすれば  $p(r, \theta)$  の電位は

$$V = E(t) \frac{\cos \theta}{r} \dots\dots\dots(2)$$

(此所に  $E(t)$  は双極子の強さに比例して消長する時間の函数である) 此の式と (1) 式との本質的差に  $\theta = 2\pi$  を週期とする事、 $r$  の指數が 1 なる事の 2 点である。円盤が有限である爲の補正を加えれば

$$V = E(t) \cos \theta \left( \frac{1}{r} + \frac{r}{R^2} \right) \dots\dots\dots(3)$$

( $R$  は円盤の半径) 実験 iv) に於て實際の長期後電位の分布を検査すると  $0^\circ$  と  $180^\circ$  の方向で逆位相となつて  $\theta$  に関して上の式によく符号するのみならず  $r$  に関して (1) 式より (2) 式に近い。然しより嚴密には双極子の中心が原点即ち傷害面よりは僅かに筋内方に位置すると考えた方がよりよく一致する。此の事も層対電説の期待する事である。斜な切断面を作つた際の成績は心電図に關する筆者 (5) の実験成績と相應するものと考えられる。即ち別に報告せる如く心室側面の傷害時には、單相動作流の極大方向は、傷害面法線よりも心尖方向に偏位する。2 相性後電位については第 3 報の考察と同様の事が考えられる。

## V. 總 括

蓋坐骨神經、腓腹筋標本を作り、腓腹筋を Ringer 液内に浸し、液外に引出した神経より間接刺戟を興えて動作流の單極誘導をなした。

(1) 健康筋の周圍の電位変化は縫工筋の 3 相曲線と稍異り多くは正負 2 相の急速な変化に続いて  $50 \sim 100\sigma$  の緩かな後電位を見た。後電位は一般に中樞側半分では負で、末梢側半分では正であつた。

(2) 中樞端に近い部分を傷害すると局所の動作流は、急速部分は大きな正の單相となり後電位は正又は負で非常に延長し、0.5 秒にも及んだ。正の場合も末梢側に大きな切断面を作ると負に轉換する。

(3) 末梢側に筋全体を横断する大なる傷害面を作ると局所の動作流は正の急速変化に引き続き、比較的大きい正の後電位が約 0.5 秒続き全体として、心傷害流に酷似せる正の單相形となる。此の場合、中樞側の動作流は同形の負の單相となる。

(4) 傷害面を有する筋を、他動的に動かす時は、傷害面方向と其の反対方向の電位変化は同位相となる。従つて (3) の如く逆位相なる電位分布は傷害面の移動に基く物理的なものでなく現実の長期動作起電力が存在すると考えなくてはならぬ。

(5) 起電力の存在部は傷害面近傍、恐らくは筋内方にある。

擧筆に臨み、御懇篤な御指導を辱うせる恩師前川教授に深甚なる謝意を表し、併せて終始御援助を賜りたる早瀬助手に深謝す。

本論文要旨は第 26 回日本生理學會に於て發表した。

## 文 献

- 1) Craib, W. H. (1927) A study of the electrical field surrounding active heart muscle with appendix by R. Canfield. Heart 14, 17
- 2) 前川孫二郎 (昭和 19 年) 電心圖より見たる生物電氣の一新理論 (層對電説). 日循 10, 44
- 3) 早瀬正二 (昭和 22 年) 電氣心臟曲線の實驗的分析研究. 日循 11, 33
- 4) Craib, W. H. (1928) A study of electrical field surrounding skeletal muscle. J. Physiol. 66, 49
- 5) 唐川正典 (未發表: 日循發表豫定)

## Summary

I gave stimulus indirectly upon the preparation of n. ischiadicus and m. gastrocnemius and examined what action currents found in the conductor around the muscle were. Action currents of the healthy muscle are composed of rapid initial deflections, which mean diphases of both positive and negative and after-discharges lasting 0.05 second long. The latter become negative the proximal half of the muscle and positive in its distal half. When the muscle is cut transversely, we can get view of large after-discharges lasting 0.5 second long. It is ascertained that at the injured side these are positive while on the opposite side negative. In addition to this. I can confident that these are not physical phenomenon introduced by the movement of the cut end.

(From the third Medical Clinic, Med. Faculty, Univ. of Kyoto)

# いきこらえの研究 (6) 612.233

## 再呼吸との比較

(昭和24年度文部省科学研究費による)

Studies on the Breath-holding. (6)

On the Comparison of the Breath-holding with the Rebreathing.

新 島 旭 (Niizima-Akira)\*

### I. 緒 言

従来炭酸ガス混合空気吸入時の呼吸変化については Loewy (1), Speck (2), 佐々木 (3), 高杉及び小林 (4), 早坂及び板倉 (5), de Almeida (6), Douglas and Haldane (7), Lindhard (8), Scott (9), Paget (10), 藤本 (11), Risi (12), Barcroft (13), 等, また脈搏, 血圧の変化については, Schneider, Truesdell (14), 早坂, 板倉, 山田及び小田 (15), Bolton (16), 佐々木 (17), 等, また血液の変化については Hochrein (18), 等多数によつて観察されている。また低圧時に酸素吸入を行つた場合の  $\text{CO}_2$  附加の意義については, 井上 (19), 前田及び伊賀 (20), 生沼 (21), Dill, Norman Zamcheck (22), 等の報告がある。

また再呼吸法による低酸素炭酸ガス過剰空気吸入時の呼吸変化については Haldane, Priestley (23), Hough (24), 小田及び山田 (25), 等の報告があるが, 再呼吸法による低酸素空気吸入時の  $\text{CO}_2$  附加の意義については未だその報告を見ない。

そこで私は再呼吸法により連続的に増強する  $\text{O}_2$  缺乏空気或いは  $\text{CO}_2$  過剰空気兩者を合併せる空気を吸入したときの呼吸, 循環の変化を観察し, 合せて低酸素空気吸入時における  $\text{CO}_2$  吸入の意義を考察した。これまで私達の教室に於て行われつゝある, いきこらえの場合は血中の  $\text{CO}_2$  は増加し,  $\text{O}_2$  は減少し, 呼吸は停止しているが, 再呼吸の場合には呼吸をしつゝ同じ関係が現われることが豫想出来るから, 逆にこの実験から, いきこらえの研究をも検討したいと考

\* 新潟大学医学部生理学教室 (高木健太郎教授)

えたものである。

### II. 実験装置及び実験方法 (第1図)

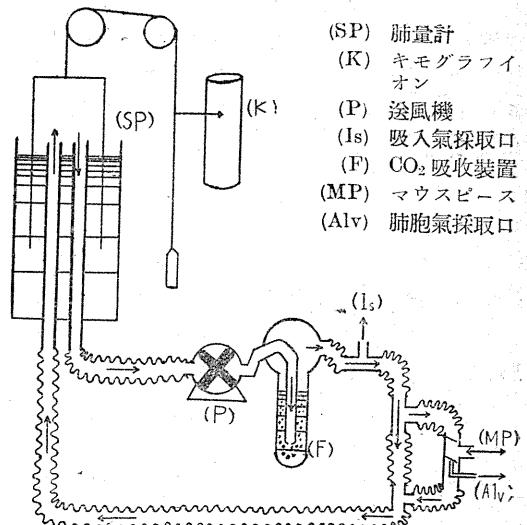
本実験は安静状態の被験者をして一定量 (7l 容量の肺量計-第1図 (SP)) の空気を (MP) より再呼吸せしめた。吸入気の組成によつてこの実験 A, B, C の3種に分けてのべる。

A. 実験 呼気中の炭酸ガス (以下  $\text{CO}_2$  とかく) を第1図の吸气管 F によつて吸収しつゝ再呼吸を行うもので, 酸素 (以下  $\text{O}_2$  とかく) 減少空気の効果を見ることになる。

B. 実験 純  $\text{O}_2$  を再呼吸させて, 排出される  $\text{CO}_2$  を吸収することなく再呼吸を行うもので  $\text{CO}_2$  増加の効果を見たことになる。

C. 実験 通常空気を  $\text{CO}_2$  を吸収することなく再呼吸を行つたもので  $\text{O}_2$  減少と  $\text{CO}_2$  増加との重疊効果を見たことになる。

第1図



本実験の吸入装置には Knipping の代謝測定装置 (第1図) を改良して用い、これにより同時に呼吸曲線を描記し以て換気量、呼吸の深さ呼吸数を計測した。

また本実験の経過中數回にわたり第1図 (Is) より吸入氣, (Alv) より肺胞氣を採取し Haldane のガス分析器にて分析し  $\text{CO}_2\%$ ,  $\text{O}_2\%$  を測定した。更に実験中毎分 Tykos 型血圧計を使用し聽診法により最大血圧及び最小血圧を測定した。尙この場合血圧計の圧を下げて行つて雑音の生ずる所を最大血圧, 消える所を最小血圧とした。

脈搏数は桡骨動脈の部位にて10秒間計りこれを6倍して1分間の數を出した。

実験は25才の男子3名を被験者として凡そ20回にわたり行つた。

### Ⅲ. 実験成績

A, B, C, 3種の実験を夫々次の項目について比較しつゝのべる。

1. たえ得られる限界時間
2. 限界時に於ける吸入氣, 及肺胞氣の組成
3. 吸入氣及び肺胞氣の組成の変化
4. 換気量
5. 呼吸の深さ及び呼吸數
6. 血圧及び脈搏數

#### 1. たえ得られる限界時間

第1表は各種の実験の代表的1例で中横線に於ける時間はたえ得られる限界時間を提示したものである。これで見るとA実験に於て最も長く、Bはこれにに次ぎ、Cに於てはもつとも短かい。Aは大體9分位であり、B、Cは約7~8分である。しかしこの限界時に於ける被験者の状態はAとB、Cとの間には大きな違いがある。Aに於ては被験者自身呼吸困難の感じはないにもかかわらずチアノーゼ強く、手足がびくつき、視野は暗くなり、目まいがおこる。これ以上この実験をつゞけることは危険を感ずるので通常は験者がこれを中止させた。

BとCは同様なる経過を示す。即ち意識は明瞭で手足のピクツキやチアノーゼはないが、共

に強い呼吸困難が起り、被験者自身実験を中止せざるを得なかつた。しかし1例に於て被験者の異常なる努力があつた場合、遂に意識不明となつたことがあつたが、以上いずれの場合でも通常の空氣に切替えるときは直ちに以上の障病は消失した。

#### 2. 限界時に於ける吸入氣及び肺胞氣の組成

A. 実験 限界時に於ける肺胞氣の  $\text{O}_2\%$  は4~5%で、 $\text{CO}_2\%$  は約4.5%であり、これは実験開始前と大して変らない。限界時に於ける吸入氣の  $\text{O}_2$  は約5~6%、 $\text{CO}_2$  は約0.3~1.4%であつた。

B. 実験 限界時に於ける肺胞  $\text{CO}_2$  量は9~10%、吸入氣の  $\text{CO}_2$  は9.5%で兩者はほとんど等しい。次のC実験に比べると限界時に於ける  $\text{CO}_2$  は約0.5%多い。

C. 実験 限界時に於ける肺胞  $\text{CO}_2\%$  が約9%、 $\text{O}_2$  が約6%で、このとき吸入氣の  $\text{O}_2$  (限界吸入  $\text{O}_2$ ) は約6%、 $\text{CO}_2$  は約9%で肺胞氣と吸入氣の  $\text{O}_2$  及び  $\text{CO}_2\%$  はほとんど等しい。

#### 3. 吸入氣及び肺胞氣の組成の変化 (第5図最上段, 第1表A, B, Cの1及び2行)

第5図に於てaは循環空氣の  $\text{O}_2$  量を示し、bは肺胞の  $\text{O}_2$  量、cは肺胞の  $\text{CO}_2$  量、dは循環空氣の  $\text{CO}_2$  量を示す。

a 曲線を見ると、始めは20%以上あつた  $\text{O}_2$  は再呼吸を始めると、A、C 兩実験共に大體直線的に減少しはじめるが、Aに較べてCの方が速かに減少するのがわかる。言いかえるとCの方が  $\text{O}_2$  攝取量がAよりも大きい。Bに於ては循環空氣は純  $\text{O}_2$  であつたため Haldane 分析器にては測定困難であつたので中止した。

但し、こゝで注意しなければならぬのは全体の循環空氣量はAの場合には排出  $\text{CO}_2$  の量だけ、Cに於ては吸収された  $\text{O}_2$  量から排出された  $\text{CO}_2$  量を引いたゞけ全体の空氣量が減るから、%を示すa曲線が直線に近くても、それは  $\text{O}_2$  攝取量が一樣であることを意味しないで、却つて  $\text{O}_2$  攝取量は減少して行きつゝあることを示している。即ちA、C共に、特にAに於て

は  $O_2$  攝取量は次第に減少して行くと思なければならぬ。

b 曲線は A, C 共に大体同じ速度を以て減少するから A におけるより C における方が急激に a 曲線に近づくことになる。換言すれば A の場合より C の場合の方が肺胞氣は遙かに吸入空氣の組成に近づく、即ち C の方が利用率がよいことを示す。実験中止時に於ける肺胞  $O_2$  の量は兩者とも約 6% であるにもかかわらず、A の方ではいづれか意識が混濁するに反し、C に於ては明瞭であるのは、 $O_2$  が缺乏している時間が A の方が長いからか、或いはまた A の方では C に較べて  $CO_2$  濃度が低いからであるかもしれない。故にもしも後者が眞の原因であるとするならば  $CO_2$  は意識混濁を防止する作用があるとしなければならない。次に C 曲線をながめて見よう。A に於ては排出  $CO_2$  は苛性ソーダで絶えず吸収せられるから、吸収が完全である場合には循環空氣の  $CO_2$  量を表わす d 曲線は零線に殆んど重なり、肺胞  $CO_2$  は実験の最後まで殆んど一定で約 4.5% を示す。B, C における c, d 曲線はほとんど同一経過を示してその間に著しい差を認め難い。即ち肺胞  $CO_2$  の増加は始めは速く、(指數曲線的に) 後にはほとんど直線的に緩やかに上昇する。丁度いきこらえ時に於ける肺胞  $CO_2$  の増加状態を思わせる (小林) (26)。いづれの場合にも最後には吸入空氣と肺胞  $CO_2\%$  は殆んど等しくなる。

以上の吸入氣及び肺胞氣の組成変化の違いは、何によつておこるのであろうか。

次に換氣量を觀察して見よう。

4. 換氣量 (第2図)

A 実験に於ては肺胞  $O_2$  量の著しい減少にもかかわらず換氣量はごく僅かに増加するのみであつて実験の最後に於ても最初の約 2 倍に増加したに過ぎない。

B 実験に於ては始めは緩やかに増加し、肺胞  $CO_2$  が約 6% に達すると急に増加して限界時に於ては約 6 倍の換氣量に達する。

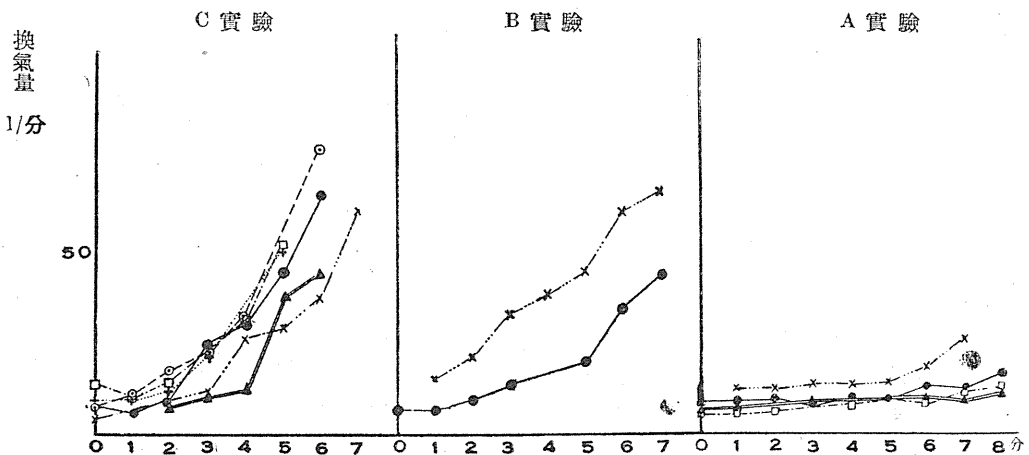
C 実験に於ては B と大体似た経過をもつて換氣量は増大するが、B に於けるよりその増大の仕方は大きい。B の例数が充分でないためはつきりしたことは言えぬが大体 C に於ける方がその上昇度は急であり、また最後に於ける換氣量も大きいといえる。

5. 呼吸の深さ (第3図) 及び呼吸數 (第4図)

A に於ては呼吸數及び呼吸の深さの増大は僅かである。C に於ける呼吸數の増大は B に較べてはるかに強い。C に於ける増大の仕方は深さの増大に較べて始めはほとんど増大せず、後半に至つて急激に増加する。これは  $CO_2$  の効果としてまず深さの増大が起り、後に呼吸數の増大が起るという Haldane の説にほぼ一致している。

B に於ける換氣量の増大の仕方が C に於ける

第2圖

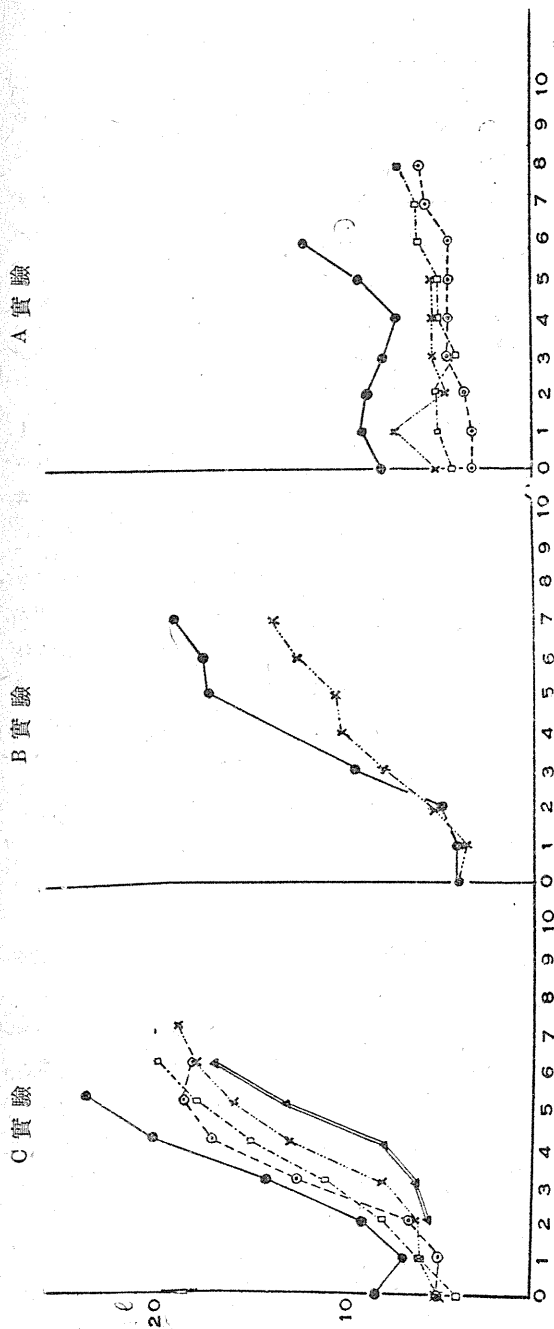


よりも小さいのは B に於ける呼吸数の増大が C に比べてはるかに小さいことによるのである。

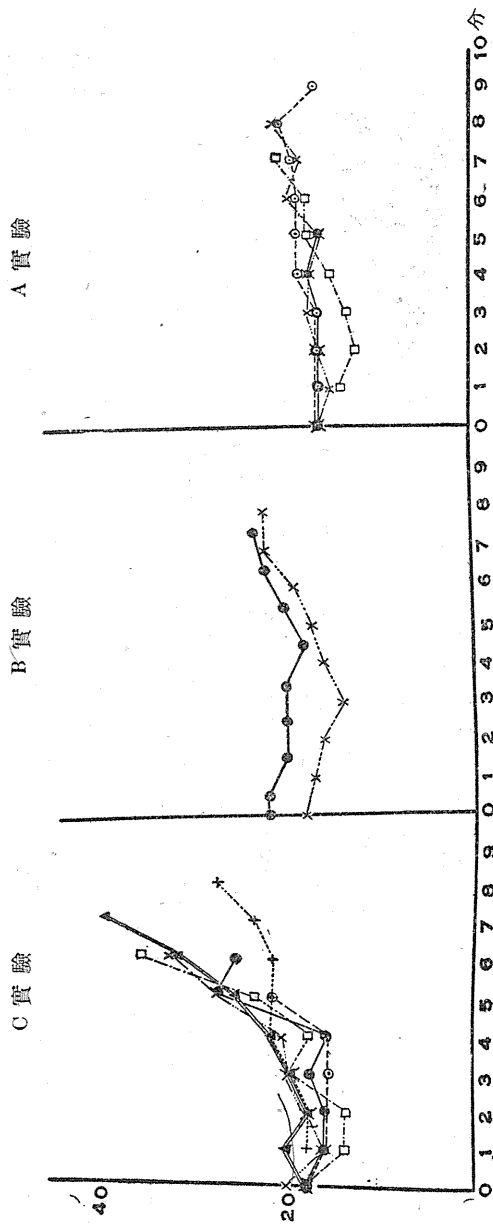
6. 血圧及び脈搏 (第 5 図)

A の場合は最初は最大最小血圧とも極めて僅かに上昇するが、後半に於ては却つて兩者とも

第 3 圖



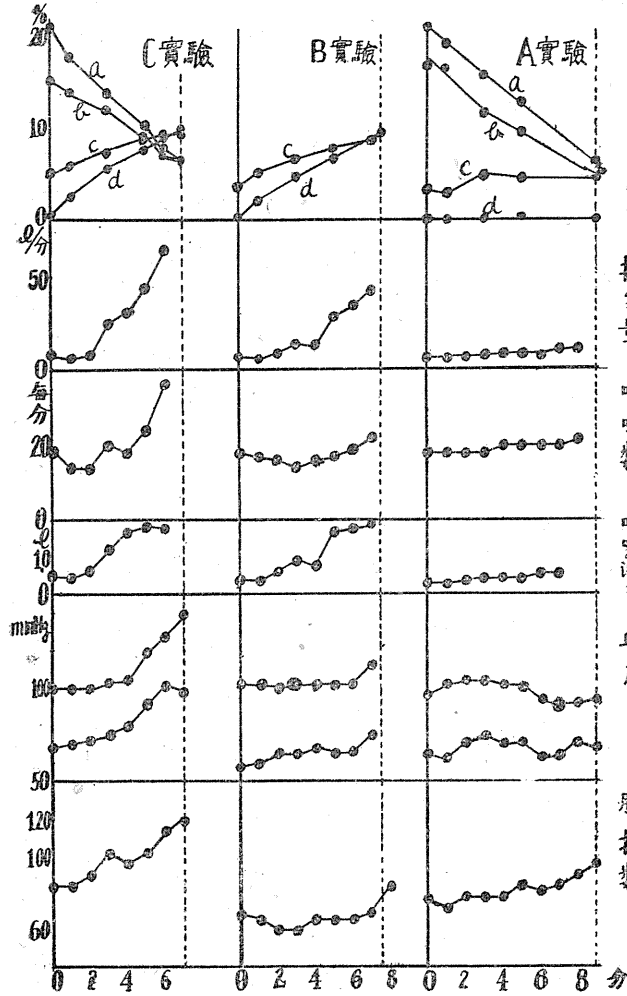
第 4 圖



下降する傾向さえ見える。即ち  $O_2$  減少のみでは血圧の上昇は殆んど見られないといつてよい。後半に於ける血圧の下降にもかかわらず脈搏数の明かな増大が見られるのは注目し値する。

B に於ては殆んど血圧にも脈搏にも変化は見られず最後に近く血圧、脈搏ともに稍上昇を示す。

第5圖



氣の  $O_2$  分圧が兩者に於て同程度に低い場合に於て、肺胞氣の  $O_2$  分圧は  $CO_2$  附加の場合の方がより高い。また今1つの理由としては、 $CO_2$  自身の神経系統への刺激作用があるためであろう。このことはすでに Risi (12) によつても観察されている。

肺胞  $O_2$  分圧の減少し方が少ないのは1つには  $CO_2$  の蓄積によつて呼吸中樞の興奮性が増加して、その結果換氣量が増大するためと、もう1つには血液中の  $CO_2$  増加の爲に Bohr の効果による組織の  $O_2$  の攝取能力が増大するためであろう。前田及び伊賀 (20) は低圧下に於て  $CO_2$  附加空気を吸入したとき、呼氣肺胞氣中の  $O_2$ 、 $CO_2$  分圧は増大し、諸症状の輕快することを報告している。また Dill 等 (22) も同様のことを観察しているが、これらはいずれも私の結果と一致している。

呼吸數の変化や、血圧、脈搏の変化の違いから考えて見ると、 $CO_2$  増加と  $O_2$  減少の重疊効果は夫々が單獨に作用した場合の効果の代數和よりも大きい。 $O_2$  減少がどのように作用しているかについては未だに決定出來ないが、恐らく中樞の  $CO_2$  に対する興奮性を変化せしめているのではあるまいか。

C に於てはこれに反して脈搏は最初より急激な上昇を始め、血圧もこれに伴つて著明な上昇を示し A、B とは全く異なる様態を示す。

### Ⅲ. 考察並びに結論

以上を總括して考えると次のように言うことが出来る。

先ず自覺的に  $O_2$  缺乏のみの場合には呼吸困難を訴えないため意識喪失に至るまで被験者は危険を豫知出來ない、この点に於て  $CO_2$  を或程度加えることは危険を防止する意味に於て有益である。その理由の1つは  $CO_2$  附加の場合と  $CO_2$  缺除の場合とを比較して見ると、吸入

次に 1, 2, 3, 4, 5, 6, の結果を總括して考えると  $O_2$  減少のみの場合 (A 実験) には換氣量の増大は非常に大きくはない。この原因は主として呼吸數の増大が深さの増大に伴わぬためであろう。これに比して  $O_2$  減少と  $CO_2$  増加が同時に作用する場合 (C 実験) では換氣量の増大が著しい。しかしながら呼吸數の増大は單に  $O_2$  減少の A の場合にもあまり著しくないからこれは  $O_2$  減少と、 $CO_2$  増加との重疊するときのみ起るとしなければなるまい。

尙、いきこらえ時に於ける肺胞  $CO_2$  増大の経過と、C に於けるそれを比較すると、この間に認め得べき差を見出し得ないことは極めて興



- Man at Rest and the Effect of Abnormal Air breathed on the Respiration. *J. of Biophys.* 2, 215
- 4) 高杉・小林 (昭和6年) 北海道醫誌 10, 17 (藤本の論文より引用)
  - 5) Enaji Havasaka (早坂得奈治), Shun Itakura (倉板 駿) (昭和6年) On the Influence of Carbon Dioxide Inhalation upon the Gaseous Metabolism and the Circulation. *Tohoku. J. Exp. Med.* 18, 166
  - 6) de Almeida, M. O. (1923) Recherches sur la Régulation de la ventilation pulmonaire. *Journ. de Physiol. et Pathol. gen.* 21, 304, 445
  - 7) Douglas, C. G. and J. S. Haldane (1909) The Regulation of normal Breathing. *of Physiol.* 38, 429
  - 8) Lindhard, J. (1920) On the Excitability of the Respiratory Centre. *Journ. of Physiol.* 42, 337
  - 9) Scott, R. W. (1920) Observations on the Pathologic Physiology of Chronic Pulmonary Emphysema. *Arch. int. Med.* 26, 544
  - 10) Paget, P. (1928) The Respiratory Response to Carbon Dioxide. *Am. Journ. of Physiol.* 83, 384
  - 11) 藤本富太郎 (昭和13年) 炭酸瓦斯含有空気吸入時に起る人体の呼吸の変化に就て. *京都醫誌* 35, 267
  - 12) Risi, A. (1934) Die Bedeutung der Kohlensäure auf dler Atmungstätigkeit, *Zs. f. Biologie.* 96, 615
  - 13) Barcroft, J. and R. Margaria (1931) Some Effects of Carbonic Acid on the Character of Human Respiration. *J. of Physiol.* 72, 175
  - 14) Schneider E. C. and D. Truesdell (1922) The Effects on The Circulation and Respiration of an Increase in the Carbon Dioxide Content of the Blood in Man. *Am. J. of Physiol.* 63, 155
  - 15) 小田俊郎・山田豊治 (昭和5年) 炭酸瓦斯吸入による呼吸機能試験. *日本内科誌* 18, 255
  - 16) Bolton, B., E. Anord Carmi cael, and D. J. Williams (1937) Mechanism of the Peripheral Vascular Responses to Changes in Blood Gas Tension in Man. *J. of Physiol.* 88, 113
  - 17) 佐々木西雄 (昭和13年) CO<sub>2</sub> 混合空気吸入時に起る人体の脈搏及び血圧の変化に就て. *京都醫誌* 35, 377
  - 18) Hochrein, M., D. B. Dill u. L. J. Henderson (1929) Das Physikalisch-chemische System des Blutes in seiner Beziehung zu Atmung u. Kreislauf. IV. Mitt. Kohlensäure-atmung M. Hypertonie. *Arch. exp. Prerm. Pahn.* 143, 170
  - 19) 井上秋雄 (昭和19年) 高度 10,000~12,000m 氣壓 210~150mmHg 以下に於ける酸素加空気吸入時の肺胞並びに動脈血酸素含有量と炭酸瓦斯加の吸入影響に就て. *岡山醫誌* 56, 645
  - 20) 前田哲夫・伊賀安男 (1939) 炭酸瓦斯加空気吸入の低壓に於ける 人体瓦斯代謝竝に諸症状に及ぼす影響の實驗的再吟味. (岡山醫誌) 49, 1869
  - 21) 生沼曹六 (昭和13年) 岡山醫學會總會にて講演
  - 22) Dill, D. B. and Nasman Zamcheck (1940) Respiratory Adjustments to Oxygen-Lack in the Presence of Carbon Dioxide. *Am. J. Pofhyiol.* 129, 47
  - 23) Haldane, J. S., J. C. Priestley and J. G., Meakins (1905) The Regulation of the Lung-Ventilation. *J. of Physiol.* 32, 225 (1918-19) The Respiratory Response to Anoxaemia. *J. of Physiol.* 52, 420
  - 24) Hough, T. (1911) Variation in the Response of Healthy Men to the Dyspneic Conditions produced by Breathing a Confined Volume of Air. *Am. J. of Physiol.* 28, 369
  - 25) 小田俊郎・山田豊治 (昭和7年) 炭酸瓦斯呼吸困難に關する臨床研究. *日本内科誌* 20, 560
  - 26) 小林庄一 (昭和22年) いきこらえの研究 (3) その理論的展開. *新潟醫誌* 61, 421
  - 27) 長谷川友也 (昭和25年) いきこらえの研究 (5) いきこらえによる血圧, 心搏週期及び E. K. G. の変化について. *新潟醫誌* 64, 77
  - 28) 新島 旭 (日本生理誌に發表の豫定)

### Summary

Using a Knipping's respiratory apparatus I made a subject rebreathe and observed the effects of accumulation of CO<sub>2</sub> and the lack of O<sub>2</sub> on the respiratory and cardio-vascular systems comparing these effects with that of the breath-holding.

Then I found that the rebreathing makes CO<sub>2</sub>-contents of alveolar air increase and O<sub>2</sub>-contents decrease with similar manner as the breath-holding does.

But the breath-holding breaks at the point of higher O<sub>2</sub>-contents and lower CO<sub>2</sub>-contents of alveolar air than that on which the rebreathing breaks.

The reason consists in the increase of blood pressure followed by the increase of intrathoracic pressure and painfulness caused by "holding" itself.

Now I can also find out that at the time of O<sub>2</sub>-lack the addition of CO<sub>2</sub> promotes breathing and increases O<sub>2</sub>-contents of alveolar air.

It makes one be aware of danger caused by anoxemia.

(Department of Physiology, Med. Faculty, Univ. of Niigata)

## いきこらえの研究 (7) 612.233

### 加圧空気吸入の人体に及ぼす影響

(昭和24年度文部省科学研究費による)

Studies on the Breath-holding. (7)

Influence of the Inhalation of Pressed Air on the Human Body.

新 島 旭 (Niizima-Akira)\*

#### I. 緒 言

著者はいきこらえの研究の6報(酸素缺乏時に於ける炭酸ガス附加の意義について)に於て通常空気の再呼吸実験と、いきこらえ時の呼吸及び循環系に於ける変化とを比較検討し、呼吸ガス関係に於ては兩者とも同一経過をとるが、だめの点に於ける肺胞  $O_2$  及び  $CO_2$  の組成は再呼吸に於ける方が、はるかに悪いことから、いきこらえのだめの点を決定するものは、これ等の要因のみではなくて、恐らく、呼吸をとめるという、大脳抑制力が大きな影響をもつであろうことを推論した。然しながら、いきこらえ時の脈圧は再呼吸の時に比して、著明に小さくなるから、或はこれがこらえ時間を短くしているのではないかと考えられる。

今回はこの点と、一般に加圧空気呼吸の人体に及ぼす影響を検する目的を以て高木の考案になる特殊の加圧空気呼吸装置を用いて、10~40 mmHg に加圧された空気を呼吸するとき人体に生ずる色々の変化特に循環及呼吸に及ぼす影響を観察し、いきこらえ時のそれと比較した。

#### II. 装置及び実験方法 (第1図)

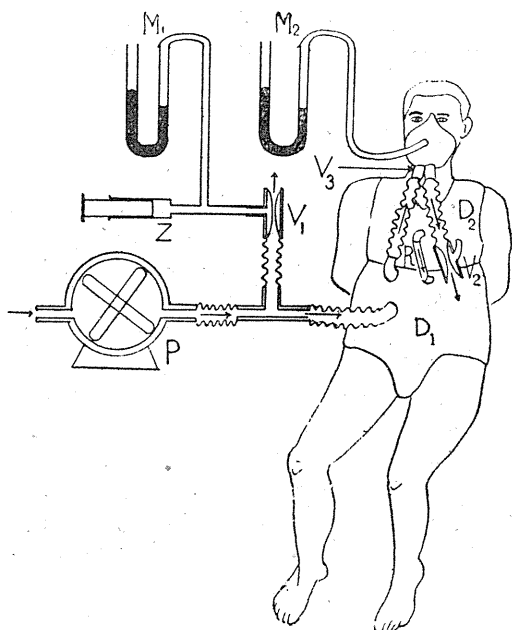
加圧送風機 P の送風口は T 字管によつて一方は胴着腹部  $D_1$  へ、他方は加圧弁  $V_1$  に連つている(こゝに胴着とは、ゴムのチョッキ様の着物で袷のように外縁が気密に接着されていてこの間に空気を満すことが出来る)。

胴着は隔壁により上下の2部即ち腹部  $D_1$ 、胸部  $D_2$  の袋に分たれ、その間は外部につけた小

漏洩管 R により連絡している。全体の胴着はバンドによつて身体に密に装着出来るから胸腹部の運動によつて、胴着内部の空気圧力が変動するようになつている。

胴着部  $D_1$  を出たゴム蛇管は通常の吸気弁  $V_3$  を経てマスクに連つている。また、マスクの一方の口から出たゴム蛇管は呼気弁  $V_2$  に連り、更に呼気弁  $V_2$  の調圧室と胴着胸部  $D_2$  とは細いゴム管で連絡してある。この呼気弁は小側枝を T 字型に出した硝子管とこの内腔に気密にはめ込まれた薄いゴム管よりなり、このゴム管の外側から、この調圧室に空気を出し入れすることによつて氣流の抵抗を加減することが出来る。Starling の心肺標本に於ける動脈抵抗用

第1圖



\* 新潟大学医学部生理学教室 (高木健太郎教授)

用いたT字管と同様のものである。またマスクの鼻部から出たゴム管は水銀マンノメーター  $M_1$  に連なり、これによつてマスクの内圧を読むことが出来る。

加圧弁  $V_1$  の調圧室は細いゴム管で注射器  $Z$  及び水銀マンノメーター  $M_1$  に連つており、注射器内筒をおすことにより  $V_1$  の調圧室に任意の圧を加えることが出来、これは水銀マンノメーター  $M_1$  で読むことが出来る。

今人体に加えようと思う圧を水銀マンノメーター  $M_1$  で読みながら注射器  $Z$  をおして、加圧弁  $V_1$  の調圧室に加え、加圧送風機  $P$  を回轉する。 $P$  により圧出された空気は先ず胴着腹部  $D_1$  に入り、更に小漏洩管  $R$  を経て胸部に入り、所定の圧に達する。それ以上に圧が上つた場合には空気は加圧弁  $V_1$  をおしあけて外に逃げる。

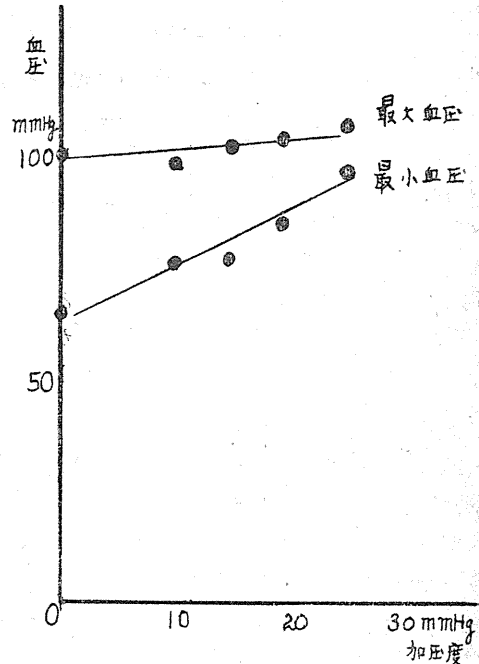
被験者が吸息を行つた場合には胸圍の擴大により胴着胸部  $D_2$  の圧が上り呼氣弁  $V_2$  の調圧室の圧もこれにつれて上り  $V_2$  は閉ぢる。同時に胴着腹部  $D_1$  の空気は腹着膨隆と  $P$  によつて加えられた圧力により吸氣弁  $V_3$  を通りマスクを経て肺臓内に流入する。呼息時には胸圍及び腹圍の縮小により胴着胸部  $D_2$  の圧が下り、同時にこれと連絡された呼氣弁  $V_2$  の調圧室の圧が下り、呼氣は弁  $V_2$  を経て外に排出される。

小漏洩管  $R$  は胸腹部の圧に適當な位相差を持たせるために存在するものである。

実験は25才前後の健康な男子2名について行つた。先ず 10mmHg, 15mmHg, 20mmHg, 25mmHg の加圧呼吸を10分間ずつ行い、次いで數分間にわたつて圧をいろいろ変化させて見た。

循環系では血圧、脈搏數を測定し、呼吸系では呼吸數を測定した。その他、自覺的、他覺的変化をその時に記載した。尙、血圧は聽診法で測定し、雜音の生ずる点を最大血圧、消失する点を最小血圧とし、これを毎分測定した。脈搏數は10秒間の數を計りこれを6倍して1分間の數を出した。呼吸數は30秒間の數を計り、これを2倍して1分間の數を出した。呼氣量を數回測定して見た。

第2圖



### III. 實驗成績

A. 一般經過 加圧すると、平常時とは逆に吸息は自動的に行われ、呼息のはじめには加圧に抗して、はき出すため抵抗を感じる。

15mmHg までの加圧ではこれを10分以上つゞけても自覺的にも、他覺的にも、大した障碍は表われないが、25mmHg 以上に加圧すると脈搏は弱くなり、顔面は少しくチアノーゼを呈し手足に冷感があり、しびれを感じるようになる。また氣管に緊張感がつよく、発聲出来難くなる。40mmHg 以上に加圧したときには以上の障碍が強くあらわれ、また、いきのつまるような苦しさを覚えて、5分以上継続することが出来なかつた。

加圧をしばらく続けて急に平圧に戻すと、今までの關係が急に逆となつて呼吸は暫くの間複雑に混亂する。

また加圧時に見られた障碍は速かに消失する。

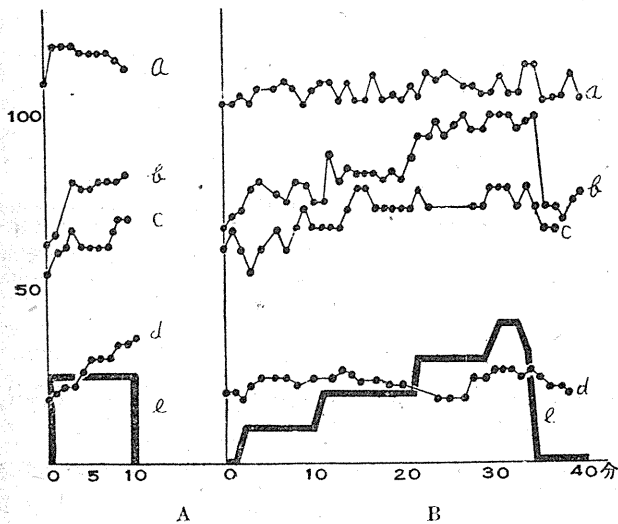
B. 血圧 加圧空気を10分間呼吸させてからその最大血圧を測定し、加圧度と血圧との關係をみると第2図に示すように加圧度が大きいと

きでも最大血圧はいくらか高まつているか、または殆んど変わらない。しかしこれに相當する最小血圧は加圧度の大きいとき程高く、従つて脈圧は加圧度の大きいとき程小さい。

次に一定の加圧を継続したときの最大血圧の時間的変化の状態を見ると、ほとんど変化しないか、または僅かに上昇している(第3図A, B)。しかるに最小血圧はかなり急に上昇するために脈圧は時間と共にある程度まで小さくなる。

C. 脈搏數 脈搏數も加圧に対してかなり鋭

第3圖



敏に反應し、加圧度がますますつれて増加する(第3図B)。また同じ加圧度でも時間と共に増加する。

D. 呼吸 加圧時には、吸息は樂に行われ、呼息には努力を要する。また吸息期が短く、呼息が長くなり、胸式呼吸にかたむく。

呼吸數については、ある例では10~30mmHgまでは大した変化はなく、30mmHg以上となるとやゝ増加した(第3図B)。

また他の例では加圧の大きい程、また加圧の時間が長い程、呼吸數は著しく増加した(第3図A)。

#### IV. 考 察

加圧空氣吸入時に起る血圧、殊に最小血圧の上昇の原因については明確なる説明は未だ得ら

れないが、胸内圧の上昇により主として肺血管、胸腔内靜脈、或いは心臟が圧迫されるというような機械的原因によるものではなからうか。長谷川(1)の觀察したいきこらえの場合の血圧の上昇は單に血中のCO<sub>2</sub>量の關係ばかりでなく、このような物理的原因のみでも起ることがわかる。但し最大血圧はいきこらえ時に比してその上昇は小さいから、いきこらえ中のCO<sub>2</sub>蓄積も亦、血圧に大きく影響を與えることは否めない。但し長谷川の血圧曲線に於ても Bürger 努責実

験の時のように胸内圧が高いときには最大血圧の上昇が著明でないことは、この加圧実験と相似して興味深い。

更に脈圧の減少により肺循環及び体循環は障碍されて鬱血をおこし、脈搏數の増加もこれを代償出來ず、そのため手足の冷却、チアノーゼを來し、呼吸困難を起すものと思われる。最近 Otis等(2)も加圧空氣吸入時に脈搏數は増加し、心臟の搏出量は減少すると、これに似た成績を報告している。

長時間(1時間以上)吸入実験を行つて、これを突然中止したときに見られる呼吸の乱れは呼吸中樞が加圧状態から平常の状態に戻る経過を示すもので興味深い。

さて、いきこらえ時の脈搏減少がこらえ時間に、どの程度の影響を與えるかを考察して見よう。加圧空氣吸入時にはその加圧程度の大なるときには、呼吸困難を覚え、胸内圧上昇のために、肺循環は障碍せられ、従つて還流血液は減少し、その結果脈圧は小となり、顔面及び四肢のチアノーゼ、しびれ感、等を起す。勿論脈圧減少が或程度以下ならば、この状態を長くつゞけても大した障碍はあらわれない。

これらの結果から見て、胸内圧上昇による血循環障碍は、呼吸困難、いき苦しさ、を覚えしめると考えられる。

いきこらえ時の脈圧減少はこれと比較すると

著しく小さいが、こらえ時の末期における胸内圧上昇に伴う脈圧減少は、たしかにこらえ時間に若干の影響を興えているに相違ない。

Bürger 努責実験に於ては脈圧減少が著しく、これと平行する如くこらえ時間が短いことも以上の推定の正しさをうらすけるものであろう。

加圧装置を装着する関係上、呼吸運動、及び肺胞ガスの採取は不可能であり、これ等の関係が不明であるため、確かな結論を抽出することは不可能であるが、將來機會を見てこれ等との関係を追試検討したいものと思つている。

## V. 結 論

加圧空気を呼吸すると次の変化が起ることがわかつた。

- 1) 最大血圧は僅かに上昇する傾向がある。最小血圧は著明に上昇する。脈圧は急に減少する。
- 2) 脈搏数は増加する。
- 3) 呼吸の形は正常と著しく異つたものとな

り平圧に復しても、平常呼吸にもどるのにある時間を要する。

4) 呼吸数はある例では著しく増加するが、他の例ではあまり変化しなかつた。

5) この他加圧が長時間に亘つたとき、またはその程度の強いときは顔面のチアノーゼ、手足の冷感、しびれ感等がおこつた。

6) 以上の成績を基礎として、いきこらえを検討した。

終りにのぞみいろいろ御指導下さつた高木教授、ならびに被験者の方々に心から感謝いたします。

## 文 献

- 1) 長谷川友也 (昭和25年) いきこらえの研究 (5) いきこらえによる血圧、心搏週期、及び E. K. G. の変化について。新潟醫誌 64, 77
- 2) Otis A. B., H. Rahn, M. Brontman, L. J. Mullins, W. O. Fenn. (1946) Ballistocardiographic study of change in cardiac out-put to respiration. J. cl. Invest. 25, 413

## Summary

Using a special apparatus I made a subject breathe pressed air and observed its influence on respiratory and cardio-vascular systems.

Thus, I obtained the following results that maximal blood pressure, minimal blood pressure, and pulse rate increase, pulse pressure decreases, while respiratory rate increases as a whole.

These consequences make me understand that, at the time of breath-holding, the increase of blood pressure are influenced by the physical factors, eg. by the increase of intrathoracic pressure.

(Department of Physiology, Med. Faculty, Univ. of Niigata)

## 會 報

多年本會の爲に御盡力下さつた評議員石川知福君は昭和25年5月24日午前10時40分逝去せられた。謹んで哀悼の意を表す。

## 第27回日本生理學會評議員會記事

昭和25年5月3, 4日の兩日廣島醫科大學に於て西丸當番幹事の司會にて評議員會を開き下記の各種報告の承認及び協議事項を決定した。

## 報 告

- |                     |         |
|---------------------|---------|
| 1. 庶務, 會計報告         | 福 田 幹 事 |
| 2. 日本生理学雑誌編集報告      | 戸 塚 幹 事 |
| 3. 生理学大學教授推薦委員會報告   | 坂 本 委 員 |
| 4. 生理学歐文雑誌協議委員會經過報告 | 久 野 委 員 |

## 協 議 事 項

1. 次の諸氏を新たに評議員に委嘱した。(五十音順 敬稱略)

阿 部 正 和	(慈恵醫科大學)	田 谷 豊	(日本大學醫學部)
猪 飼 道 夫	(お茶の水大學)	中 村 治 雄	(北海道大學醫學部)
石 川 康	(東京醫科大學)	長 谷 川 渙	(新潟醫科大學)
伊 藤 秀 三 郎	(東京醫科大學)	花 岡 利 昌	(奈良女子大學)
江 藤 喬	(日本齒科大學)	舟 木 廣	(京都府立醫科大學)
大 井 成 之	(金澤大學醫學部)	本 間 慶 藏	(北海道大學農學部)
小 川 義 雄	(横濱醫科大學)	宮 崎 英 策	(札幌大學醫學部)
大 原 孝 吉	(信州大學醫學部)	築 詰 勝 彦	(札幌大學醫學部)
後 藤 昌 義	(九州大學醫學部)	渡 邊 俊 男	(廣島醫科大學)

2. 學士院會員候補者推薦の件

佐武安太郎君, 加藤元一君を選挙の結果推薦することゝなつた。

3. 學士院受賞論文著者推薦の件

10名の小委員會に委嘱處理することゝなり委員選挙の結果 (五十音順 敬稱略)

浦本政三郎, 加藤 元一, 久野 寧, 久保 秀雄, 坂本 嶋嶺, 西丸 和義, 林 謙  
福田 邦三, 簗島 高, 本川 弘一

4. 昭和26年度文部省科学研究費配分審議委員候補推薦の件

選挙の結果, 久野 寧君にお願いすることゝなつた。

5. 生理学大學教授推薦委員の半数改選の件

新に當選された推薦委員

久野 寧君, 笹川 久吾君, 鈴木 正夫君, 本川 弘一君, 簗島 高君, 山極 一三君  
任期の残つている推薦委員

浦本政三郎君, 加藤 元一君, 久保 秀雄君, 戸塚 武彦君, 林 謙君, 福田 邦三君

6. 國際生理學會からの招聘によりコペンハーゲンへ派遣者推薦の件  
久野 寧君 (國際生理學會委員), 本川 弘一君を選挙により派遣者に推薦した.
7. 第13回日本醫學會 (開催地東京) 分科會長及日本醫學會25年度評議員の件  
分科會長に坂本 嶋嶺君, 評議員に福田 邦三君と決定した.
8. 第29回日本生理學會の開催地及當番幹事の件  
開催地は北海道大学醫學部生理学教室.  
當番幹事を箕島 高君が引受けて下さることゝなつた.

以 上

第13回日本醫學會生理學分科會 (第28回日本生理學會) は昭和26年4月東京に於て開催致します.  
學士院受賞論文著者推薦委員の委員長は委員の互選の結果久野 寧君を煩すことゝなつた.  
生理學大學教授推薦 (25年度) 詮衡委員3名は推薦委員の互選の結果  
鈴木 正夫君, 加藤 元一君, 山極 一三君と決定した. なお委員長は加藤 元一君にお願い  
致すことゝなつた.

日本生理學會昭和24年度決算報告 (自昭和24年1月1日  
至 同年 12月31日)

收 入		支 出	
昭和23年度より繰越高	29,188.40	昭和24年度支出	320,015.70
昭和24年度收入	322,734.20	(内譯) 會誌発送料及通信費	35,787.70
(内譯) 會 費 領 收	165,100.00	事務用諸雜費	5,780.00
講 讀 料	16,248.00	手 當 及 謝 礼	73,830.00
會 誌 分 冊 賣	2,450.00	編 集 費	2,700.00
廣 告 掲 載 料	7,670.00	集 會 費	4,800.00
論 文 掲 載 料	95,550.00	交 通 費	10,032.00
預 金 利 子	716.20	印 刷 費	170,206.00
助 成 金	35,000.00	各種委員會費	11,350.00
		米國より寄贈の文献整理費	5,530.00
		昭和25年度へ繰越高	31,906.90
合 計	351,922.60	合 計	351,922.60

正 誤 表

第11卷8號

頁	行	誤	正
240	右下 2)	a	a
	下11)		
	下16)		
	下17)		
240	右下13)	∨	∧
241	左上 4)		

第12卷

34	左6	(5)	(2)
35	右3	なたつ	なつた
39	第1表AB <sub>2</sub> 列3	0.15	1.15
//	第1表B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> 列下10	3.97	3.95
//	第1表AB <sub>2</sub> 列下2	0.53	0.93
41	左10	第一型第1圖	第1型は第1圖
//	左19	處置したの	處置した筋の
43	英文表題	By the Second Report	The Second Report
//	英文3.	ascending current の次に	and, that produced by descending current (を挿入)
//	下6	reserveb	reserved

第12卷2.3號

第12卷2.3號	表紙	昭和25年5月3~5日	昭和25年5月2~4日
目次11	下1	1196	119b
学15	1	講演	口演
学49	右下10	エネルギー代謝率の基礎的研究	エネルギー代謝率の基礎的研究 (抄録は82頁にあり)
学73	左15, 16の間に	Cが1.0の範囲内	15行と16行の間に (追加組み) を入れる
学78	左 9	式が成立する、	Cが0.25~3.0mg/ccの範囲内
//	//10	$C = Et \times (6.78 - 0.00955 \times t)$	式が成立する、温度15~25°Cの範囲内で
//	//11	實驗例 □=○	實驗例 □=○
学122	右圖表	(1937年7月現在) ■=○	(1937年7月現在) ■=○
学125	右下6	1196	119 b