

〔原 著〕

(東京女医大誌 第27巻第11号)
(頁638—646 昭和32年11月)実験的感電死における心電図並びに血液
O₂量の変動について

東京女子医科大学法医学教室

吉 ヨシ	成 ナリ	京 キョウ	子 コ
阿 ア	部 ベ	和 カズ	枝 エ

(受 付 昭 和 32 年 7 月 13 日)

緒 言

精神科の領域で電気ショック療法として頭部に適当な電流を通じ精神病の治療に役立たせており、一方私共は文化の向上と共に益々電気と接する機会が多くなりそれに伴つて電気による事故も年々増加しているのが現状である。電気作用の影響は常に電圧と電流の強弱(生体の電気抵抗の大小)、通電時間並びに電流の通過経路、個体差及び精神作用で支配されることが甚だしいと云われている。而して電圧には薬物的な効果量とか致死量というような一定した電圧に常に危険を生ずるというようなものではなく、時には極めて低圧の電流でも死を招くこともある。

感電死の死因に関しては感電死体の剖検による臓器変化の所見に立脚し、他方動物実験による成績を基礎にして病理解剖学的、病理生理学的方面から幾多の説が主張されて来た。即ち Kratter⁹⁾の呼吸中枢麻痺乃至窒息説、Prévost u. Batteliの心臓麻痺殊に心室細動説、Conradの中枢神経麻痺説等がある。Jellinek⁶⁾はショック、呼吸麻痺、心室細動乃至心臓麻痺、中枢神経麻痺等があり感電死の死因は単一なものではないと云う。藤田³⁾は家兎に低圧電流を通じ呼吸血圧の変化を描画しつつ電撃状態を観察し、電極の位置変換によりその電撃状況に著明な差異があることを指摘し、脳

死、心臓死、窒息死をあげている。八十島は感電死体の病理、組織学的検査並びに動物実験から呼吸筋の攣縮による窒息死と火傷に伴う二次性ショック死とに分けている。島田¹⁸⁾は広汎な実験的研究から死因は電流が重要臓器を通過した場合には臓器自体の損傷が死因と考えられ重要臓器を通過しない場合は全身のショックによるものであるという。鶴田²⁰⁾は感電死体各臓器の病理組織学的検査から低圧例及び直流例においては二次性ショック死であり高圧例においては呼吸筋攣縮による窒息死であるという。この様に死因については多数の説があり必ずしも一致をみないし又単一のものではない。一方窒息時の血液ガスの研究は既に多くの報告があり窒息末期には血中 O₂ 量が著明に減少していることは周知のことである。今回私共は交流通電による感電死の死因を血液ガスの方面から研究し尙同時に心臓機能を心電図により観察したのでここにその成績を報告する。

実験方法

実験動物：体重 2kg 前後のウサギを雌雄を問わず用いた。

通電方法：ウサギを固定合に背位に固定し前腕部及び下腿部の毛を皮膚を傷けないようによく刈り飽和食塩水で濡したガーゼを巻きその上に電極を固定した。電極は市販の金属性紙挟みを用いた。尙電極間の抵抗

Kyoko YOSHINARI & Kazue ABE (Dept. of Legal Med. Tokyo Women's Medical College) : The quantitative variation of blood oxygen content and the electrocardiogram change of experimental electric shock death.

は $1000\Omega \sim 1500\Omega$ であった。

通電は左前肢—右後肢，左前肢—右前肢，右前肢—右後肢の三種の他に頭部通電も行つた。頭部通電は両耳の根部の毛を刈り該部の皮膚を飽和食塩水で濡しここに直径 1 cm の円形電極を縫いつけた。

電源としては電燈線 (50cps, 100V) よりスライダックを経て (高圧の場合は更にトランスを通して) 任意の電圧 (高圧及び低圧) としてアースより絶縁させた被験動物に一定時間与えられる様にした。以下高圧と称するのは通電時約 700V，低圧と称するのは通電時約 100V である。

採血方法：通電に先だち前頸部の毛を刈り皮膚を紡錘状に切除し，右側頸動脈及び頸静脈を露出し頸動脈には動脈カニューレを入れ術前の採血を行い，頸静脈からは注射器で採血した。採血量は何れも 2 cc 程度であった。血液は流動パラフィン下に採り直接空気に触れないように注意した。

次に上記の如く通電し即死の場合は電流を断つと同時に術後の採血を行つた。即死しない場合は一定時間通電後電流を断り強直性痙攣終了後直ちに採血し，次で角膜反射消失，筋弛緩，末期呼吸の出現した死戦期に採血した。

血液ガス分析方法：EKDS 微量血液中ガス分析装置を用い所定の方法で量 O_2 及び CO_2 量を測定した。今回は動脈血中 O_2 量の変動につき報告する。

心電図の誘導及び記録法：心電図の誘導は不関電極を右前肢におき，関電極は第 2 図の例以外は左下肢に，第 2 図の例では胸部においた。誘導電極は注射針を用い之を皮下に挿入，縫合糸によつて皮膚に固定した。増巾及び記録はサンボーン社製熱ペン式心電計によつた。

実験成績

1) 左前肢—右後肢通電 (100V, 85mA, 10~30sec.) 通電と殆んど同時に全身の強直性痙攣を起し呼吸も停止した。強直性痙攣は 20 秒ぐらい持続しそのあとは頸部，顔面に微細な痙攣が起る。10~20 秒通電では死亡しないのもあつたが 30 秒通電では 5 例とも死亡した。末期呼吸は明瞭に認められたものも認められないものもあり全経過は通電開始後は 1 分乃至 1 分 30 秒であつた。

動脈血中 O_2 量は術前値平均 23.61 Vol. %，通電後死戦期に 21.12 Vol. % でありこれは術前値を 100 とすると術後は 89.45 に当り減少率は 10.55 % であつた。(第 1 表)

心電図では (10 秒通電の例であるが) 第 1 図に示す様に，通電を中止後 17 秒で心電図をとつたと

第 1 表 左前肢，右後肢通電による動脈血中 O_2 量の変化 (100V, 85mA, 30sec.)

No.	術 前 (Vol.%)	痙攣直後 (Vol.%)	死戦期 (Vol.%)
1	20.58		20.20
2	23.89		22.10
3	22.51		20.25
4	25.58	21.85	20.79
5	25.52	22.26	22.26
平均	23.61	22.06	21.12

ころ既に心室細動が起り約 6 分で心臓運動は停止した。

尚図中の C は通電前的心電図を示し他のものは通電開始時からの各時間における心電図を示す。又時標及び矯正電圧は各々 1 秒及び 1 mV である。(以下各図共同様)

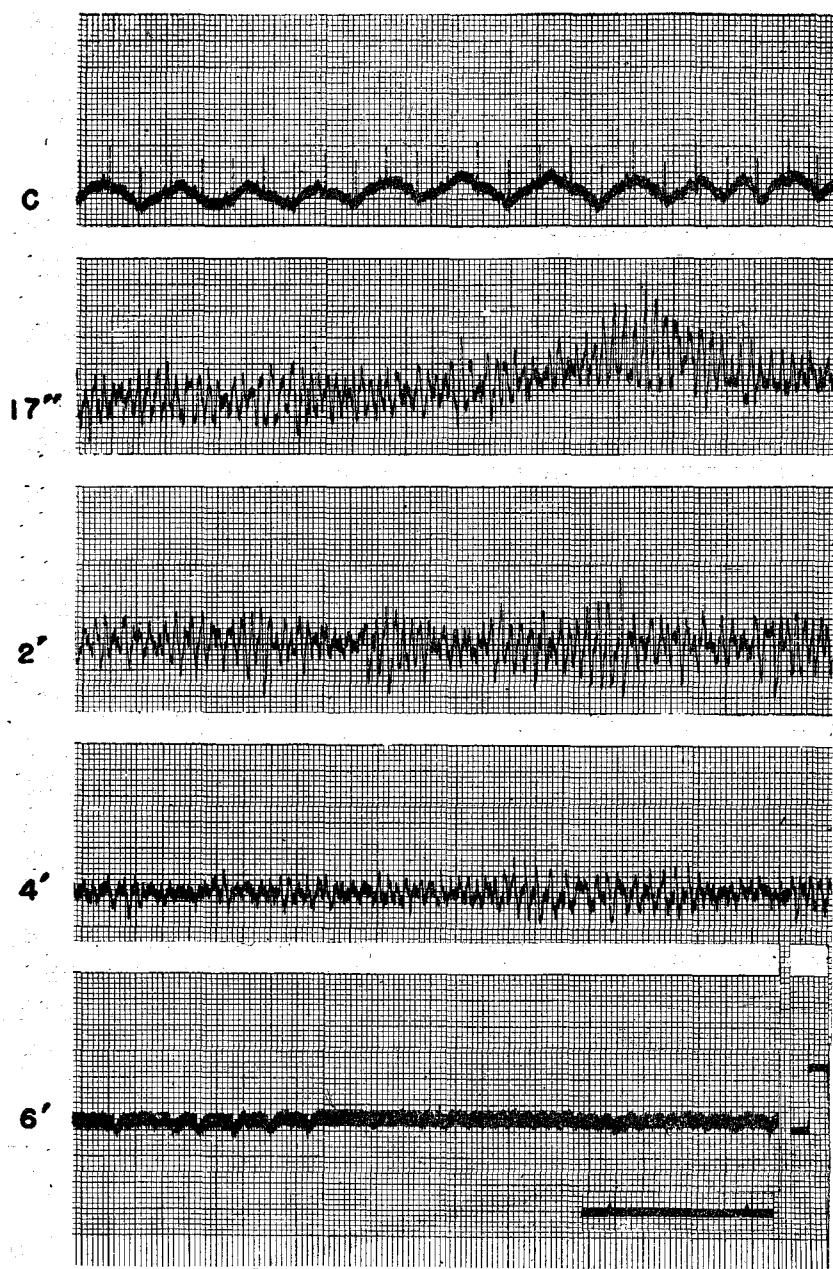
2) 左前肢—右前肢通電 (100V, 85~105mA, 30~60sec.) 通電と殆んど同時に全身の強直性痙攣が起り呼吸も停止した。15 秒ぐらいから痙攣の緊張度は弱まり 1 分ぐらいで死亡した。その間呼吸運動なし。死戦期に既に採血し得ず開胸し心臓穿刺により左心血を採取した。血液は肉眼的にも赤色であつた。

動脈血中 O_2 量は術前値 3 例平均 23.31 Vol. %，術後 22.84 Vol. % で，術前値を 100 とすると術後は 97.98 となり減少率は 2.02 % であつた。(第 2 表)

第 2 表 左右前肢間通電による動脈血中 O_2 量の変化 (100V, 85~105mA, 30~60sec.)

No.	術 前 (Vol.%)	死戦期 (Vol.%)
1	21.29	20.63
2	24.20	24.02
3	24.44	23.89
平均	23.31	22.84

3) 右前肢—右後肢通電 (100V, 85mA, 60~65sec.) 通電と同時に全身の強直性痙攣が起り呼吸運動は停止した。強直性痙攣は 30 秒間持続し以後漸次緊張度が弱まった。1 分 30 秒頃末期呼吸出現し弱く 4~5 回繰返し死亡した。死亡迄の時間は 2 分~2 分 30 秒であつた。直ちに採血したが頸動脈から採血し得たものもあつたが採血し得ず開胸し心臓穿刺により採血したのもあつた。血液は



第1図 左前肢—右後肢100mA (10sec.)

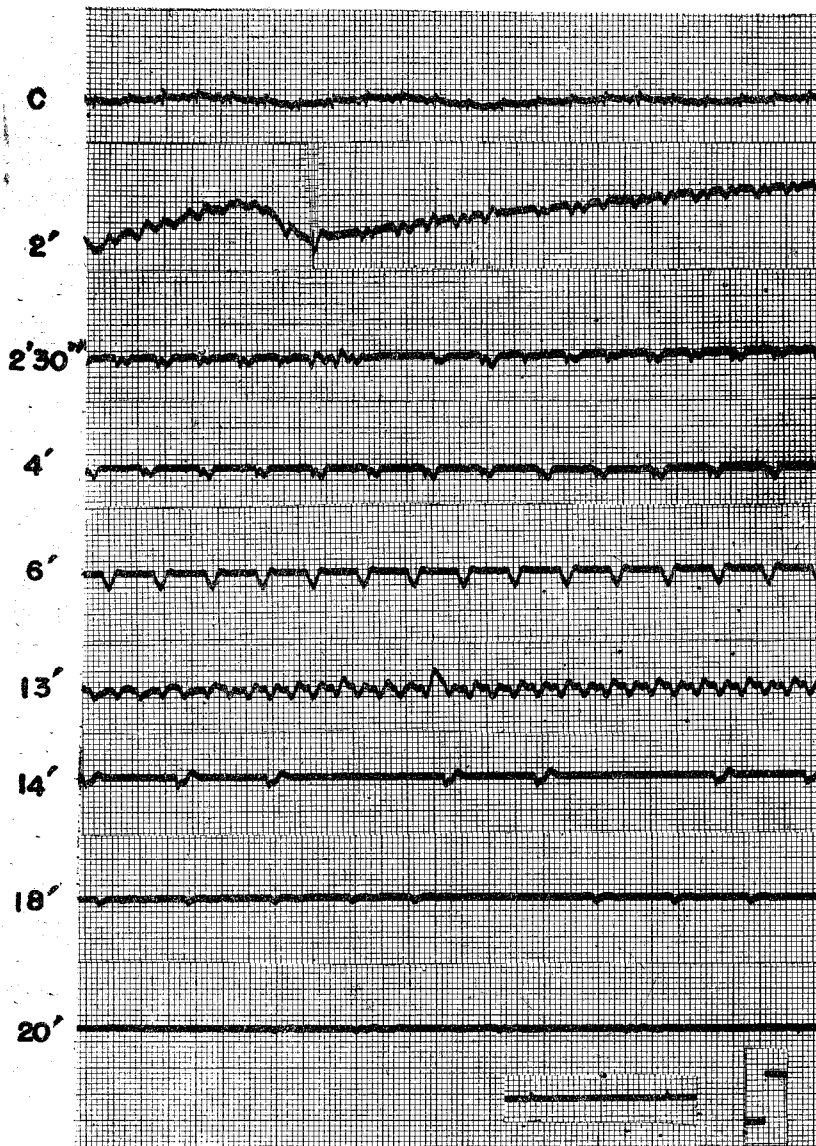
肉眼的に暗赤色であつた。

動脈血中 O_2 量は術前値4例平均23.98Vol.%, 術後死戦期に8.03Vol.%で術前値を100とすると術後は33.48となり減少率は66.52%であつた。(第3表)

心電図では第2図に示すように2分で期外収縮が頻発, その後2分30秒より期外収縮は漸時減少して, 4分では殆んど回復した。しかし6分で心室自動の状態(期外収縮のみが連発)となり, 13

第3表 右前肢, 右後肢通電による動脈血中 O_2 量の変化 (100V, 85mA, 60sec.)

No.	術 前 (Vol.%)	死戦期 (Vol.%)
1	24.75	6.05
2	23.48	7.10
3	22.93	11.47
4	24.79	7.50
平 均	23.98	8.03



第2図 右前肢-右後肢 130mA (2 sec.)

分で週期が一時短縮したが14~18分で漸次のび20分で殆んど停止した。

4) 頭部通電 (120V, 100mA, 10~35sec.)

実験例は血液ガス測定1例, 心電図観察1例であつた。通電と殆んど同時に全身の強直性痙攣と呼吸停止が起る。強直性痙攣は漸次弱まり35秒頃頸部, 軀幹筋にやや粗大な痙攣が起つた。10秒及び20秒通電では通電を中止した後回復したが35秒通電の場合は死亡した。

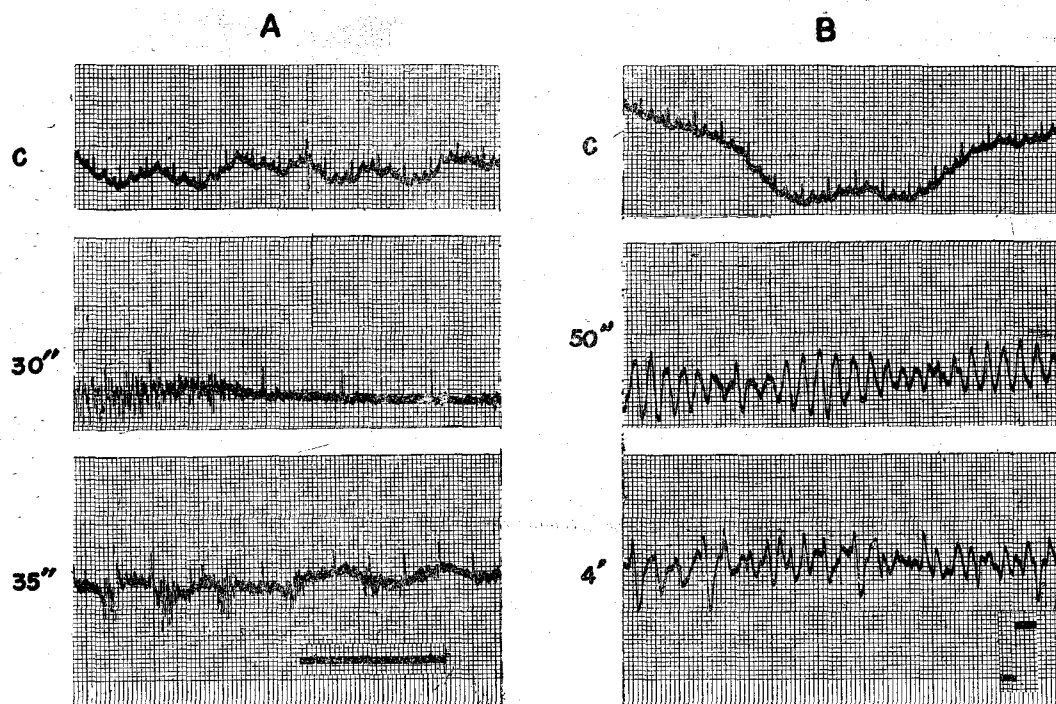
動脈血中 O_2 量は術前値22.50Vol.%, 死戦期には19.19Vol.%となり減少率は14.72%であつた。

心電図所見(第3図), Aは20秒通電回復例であ

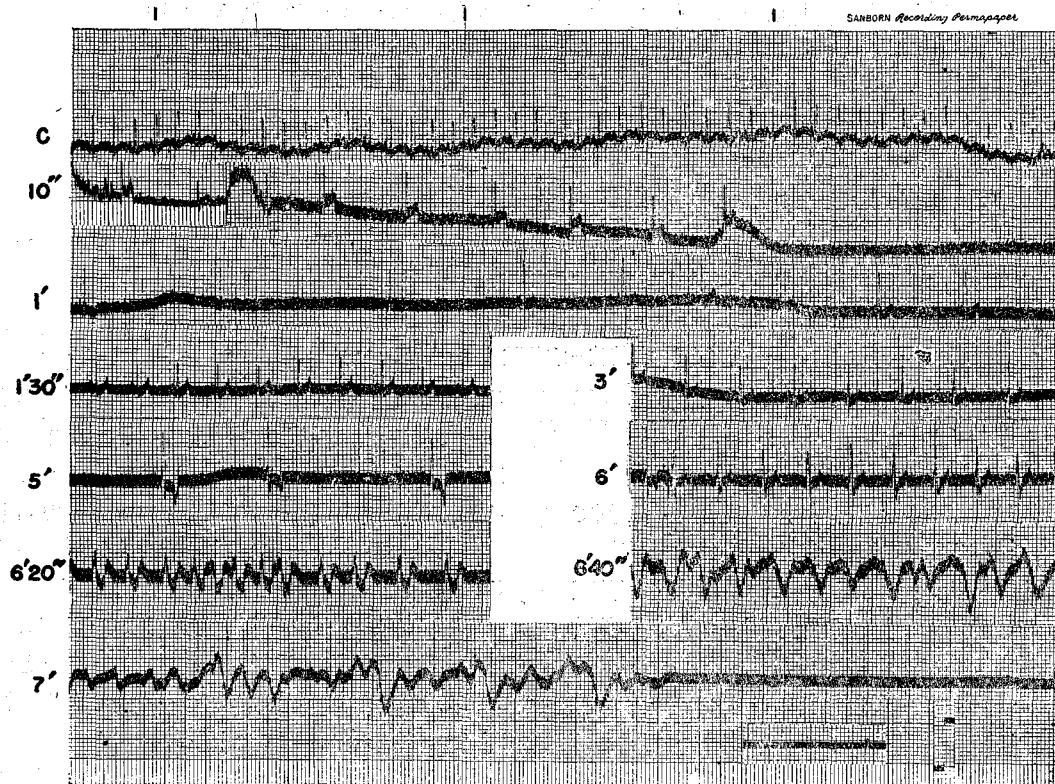
る。即ち通電後30秒ではまだ強直性痙攣がみられ35秒で間代性痙攣が起つた。ここで興味あることは痙攣のあと心週期(RR)がのびることでありそれは30秒(強直性痙攣のあと)で著明であり, 35秒目位から漸次短縮し正常に近くなっている。この間異所性刺激生成は認められない。

BはAが殆んど回復した後, 更に120V, 100mA, 35秒通電を行つた。50秒で心電図をとつた時は心室細動が起つていた。4分で尙心室細動が続き, その後心動は停止した。

5) 高圧通電 (600~700V, 460~600mA, 2~10sec.) 左前肢-右後肢通電では600V, 460mA,



第3図 頭部通電Aは120V, 100mA (20sec)。Bは120V, 100mA (35sec)



第4図 高压通電第1例左前肢-右後肢700V, 600mA (4sec.)

10秒通電で死亡しなかったが左前肢—右前肢通電では2秒通電で死亡した。700V, 600mA では左前肢—右後肢4秒通電で死亡した。

高圧通電例でも通電と同時に強直性痙攣と呼吸停止が起る。強直性痙攣のあと頸部、軀幹の筋肉に微細な痙攣が起り間もなく死亡した。死戦期に採血したが頸動脈から採血可能なものでも血流速度は著明に遅延していた。頸動脈から採血出来ず開胸心臓穿刺によつた例もあつた。血液は肉眼的に赤色を呈していた。

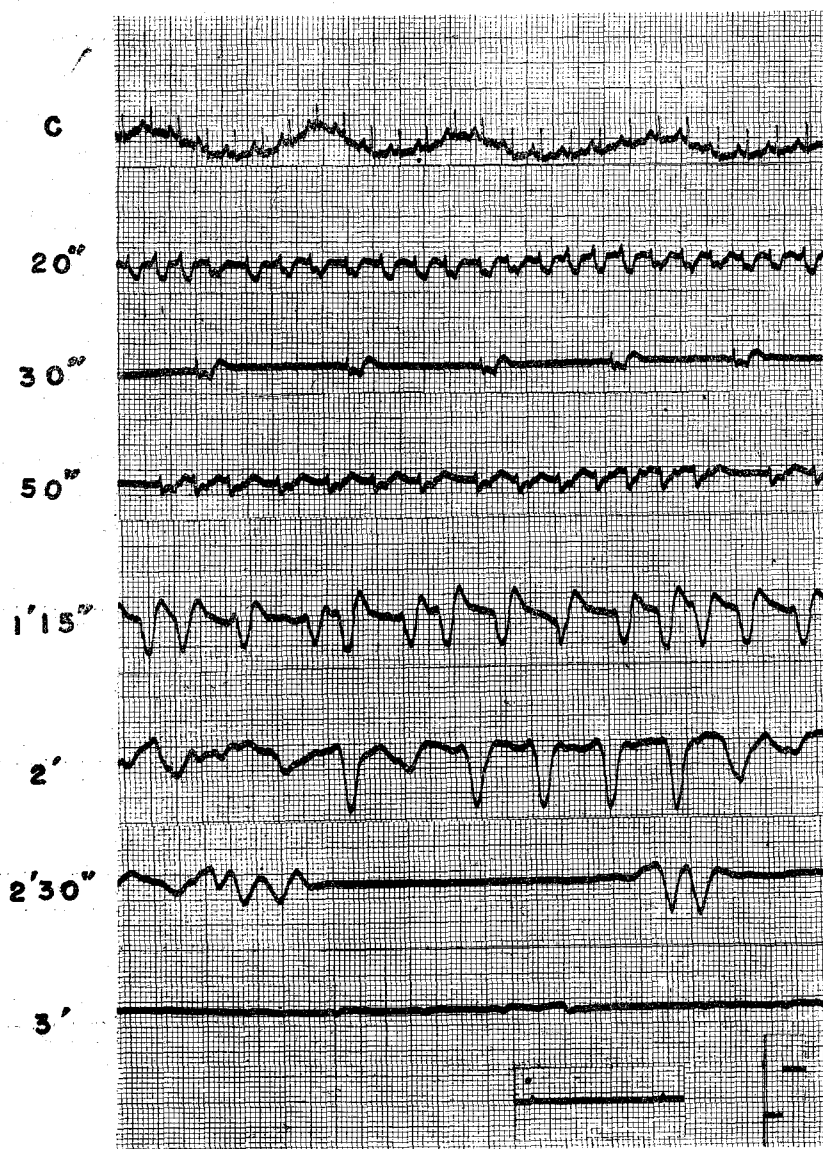
動脈血中 O_2 量は術前値24.13Vol.%, 術後24.05 Vol.%, 術前値を100とすると術後は99.66となり

減少率0.34%で術前も死戦期も殆んど同じぐらいであつた。(第4表)

第4表 左前肢—右後肢高圧通電による動脈血中 O_2 量の変化 (700V, 500~600mA, 2~4sec.)

No.	術 前 (Vol.%)	死戦期 (Vol.%)
1	23.81	23.60
2	23.48	23.44
3	25.12	25.12
平 均	24.13	24.05

心電図所見：第4図第1例は左前肢—右後肢



第5図 高圧通電第2例左右前肢間600V, 460mA (2sec.)

700V, 600mA, 4秒通電例である。10秒では痙攣があり呼吸運動なし。痙攣後心週期は漸次延長し約5秒間心臓停止。1分漸次心週期短縮。1分30秒心週期は上記の状態よりも更に回復。3分から再び心週期延長しST降下が起る。5分心週期が更に長くなりST降下が著明になりT陰性となる。6分心週期が急に短縮し心室粗動に移行。7分心室細粗動になり停止した。

第5図高压通電第2例は左前肢一右前肢600V, 460mA, 2秒通電であるが20秒で心室自動, 30秒で心週期著しく延長, 50秒で心週期短縮し, 1分15秒心室粗動が現われ, 2分心室細粗動間歇的となり停止した。

考 案

電気と生体に関する報告は現今極めて盛んに論じられているが低圧電流に関する研究では生理学方面で, 呼吸及び血圧³⁾, 声帯運動⁴⁾, 血液カタラーゼ能¹¹⁾, 赤血球数及びHb量, 溶血速度⁴⁾, 血中アドレナリン¹²⁾の消長其他の実験があり, 生化学的検索では, 血液凝固⁷⁾¹⁵⁾, 血液グルタチオン量, 血液解糖作用¹⁶⁾ 其他の報告がある。北原⁸⁾は電気ショックに伴う血液乳酸, ナトリウム, カリウム, カルシウム, 塩素, 血清蛋白並に各分割, 非蛋白窒素等につき検索した。泉⁵⁾は頭部通電による電撃傷について血液O₂量の変化も検しているが詳細には述べていない。私共が各種の電撃条件による血液O₂量の変化を測定した成績を心電図を参考に考察すると次の様である。

即ち5種類の実験成績をまとめて表示すると第5表のようであつた。

第5表 各種電撃条件による動脈血中O₂量減少率比較

	通電方向	強直性痙攣 持続時間	全経過 時間	死戦期血 中O ₂ 量減 少率(%)
低 圧	左前肢一右後肢	20"	1'30"	10.55
	左右前肢	15"	1'	2.02
	右前肢一右後肢	30"	2'~2'30"	66.52
	頭部通電	30"	2'	14.72
高 圧	左前肢一右後肢	20"~30"	1'30"	0.34

之によると術後血液O₂量の減少の最も少いのは高压通電, 次が低圧左右前肢通電, 左前肢一右後肢通電, 頭部通電, 右前肢一右後肢通電の順であつた。

通電から死亡迄の時間は低圧左右前肢通電が最も短く, 低圧左前肢一右後肢通電及び高压通電, 低圧頭部通電, 低圧右前肢一右後肢通電の順に長かつたが何れも1分~2分30秒のもので, 之を気管圧閉塞の経過に比べると凡そ $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ の時間である。

左前肢一右後肢低圧通電では動脈血中O₂量は術前に比べ死戦期に10.55%の減少率であつた。之を大塚¹⁷⁾の急性窒息死戦期の動脈血中O₂量の減少率88.91%に比較すると急性窒息の $\frac{1}{8}$ の減少率であつた。

動脈血中O₂量と密接な関係にある因子は肺における呼吸作用, 血液循環及び体内における燃焼である。急性窒息の場合は気道閉鎖により肺の呼吸作用が障碍され従つて静脈性血液の肺での動脈化は行われず一方体組織細胞での燃焼のため, 又必発する窒息痙攣のため循環血液は刻々に酸素量を減じ窒息3~4分後の死戦期には動脈血中O₂量は正常値の88.91%を失うにいたる。

左前肢一右後肢通電の場合も通電と同時に呼吸停止, 強直性痙攣が起るが心電図によると心臓は通電後17秒という早期に正常の搏出力を失い従つて死亡迄の全経過時間も短く体組織細胞での燃焼による酸素消費の影響も少く血液O₂量の減少は気管圧閉塞の $\frac{1}{8}$ にとどまつた。尚O₂量減少が痙攣期に起り, 以後死戦期には余りへらないことが第1表実験例No. 4, No. 5によつてわかる。このことから痙攣期以後は血液循環が非常に弱まっていることが想像される。感電時の心臓運動については古くから Batteli, Jellinek 等も心室細動の起ることを認め, 高木²¹⁾は人体に及ぼす電撃の影響について電流が大きい時は電流が胸筋を通過する間に呼吸停止が起り同時に心臓運動が停止すると心室細動が起るという。藤田は左前肢一右後肢通電で血圧は始め僅かに上昇し20~30秒以後下降し始め0に至るといふ。島田¹⁹⁾は500V以上の通電で心室筋の細粗動が起り通電切断後数分乃至十数分で心動が全く停止することを認めている。菊地¹⁰⁾等は四肢交流通電で心室細動と思われる場合や不整脈の出現を報告している。私共の実験の結果でも通電後17秒では既に心室細動¹⁴⁾が起り非常に早く正常の心臓機能を失い従つて死戦期に採血したのであるがこの通電条件では動脈血中O₂量は比較的高い値を保持していたことが首肯

できる。

左前肢—右前肢通電では痙攣持続時間も短く、全経過時間も最も短かった。特異な点は死戦期に既に頸動脈から採血不能なことで、動脈血中 O_2 量の減少率は僅かに2.02%であった。即ちこの電撃状態は低圧実験例中最も急激に且つ重篤で心臓機能は通電後直ちに停止することが想像される。藤田の実験でも呼吸は直ちに停止し血圧は数秒で0線に達している。實際上感電の場合左右上肢間又は前後両肢の感電が最も危険でありこれは呼吸筋の強直による窒息と共に心動までも直ちに停止するからである。

右前肢—右後肢通電については、今迄の実験で感電の際心臓を通る電流密度が大きい場合には早期に心臓機能の失われることを知つたので、比較的心臓をはなれた部位を電流が通過すると思われる右前肢—右後肢通電を行つた。この場合100V, 85mA, 30秒通電では死亡せず1分以上通電の場合に死亡した。通電と同時に呼吸停止及び痙攣は同様に起つたが痙攣持続時間も長く死亡迄の時間も他の通電条件例に比し最も長かった。

動脈血中 O_2 量の減少も著明で減少率66.52%であった。このことは無呼吸期が1分以上あつたこと、その間痙攣のあつたこと、又死戦期にも頸動脈から採血し得た例のあつたこと、心電図では2分以後に変化を示していたこと等から心臓機能が比較的長い間保たれ窒息死に近い状態であつたためと思われる。

頭部通電では Alexander, L.²⁾ の実験がある。電圧並びに通電時間を加減することにより強直性痙攣に次いで起る間代性痙攣をなくし強直性痙攣のみを起し得ることを実験した。泉⁵⁾は頭部通電による血液諸成分の変化として血液アミノ窒素, pH, O_2 量, CO_2 量, ヘマトクリット値を測定しそれらの結果から頭部通電による死因は電撃ショックと名づけられた外傷性ショックとは考えられず電流通過によつて生じた脳実質自体の損傷によると云う。藤田は家兎の脳に通電し呼吸は直ちに停止するが痙攣の起るのもあり起らぬのもあり、血圧は直ちに下降し始めるが0に達する迄に50秒以上を要したと云う。私共の頭部通電例では血液 O_2 量の減少率は死戦期に14.72%でこれは左前肢—右前肢通電, 左前肢—右後肢通電及び高圧通電例よりは減少率が大きであつた。尙心電図(第

3図B)をみると50秒で心室粗動, 4分で心室細動が起つている。即ち通電と同時に痙攣, 呼吸停止が起るがその間しばらくは心臓機能は保持されており従つて血中 O_2 量の減少が比較的多く窒息死に近いと考えられる。

高圧通電例について、電撃死を起す電流の条件として電流の強さに関してはボルトの高い程危険である。高圧感電による死因は鶴田によれば病理組織学的研究から呼吸筋攣縮による窒息死であるという。又高圧電流をうけても稀に死を免れる事もあり、横井²²⁾等は3300Vの交流を頭部にうけたが助かつた例を報告している。私共の実験では左前肢—右後肢700V, 600mA, 1秒通電では死亡しなかつたが2~4秒通電では死亡した。末期呼吸終了, 筋弛緩を以て死亡と見做すと全経過は1分30秒程度であつた。死戦期に採血した血液 O_2 量の減少率は低圧例に比べ非常に少く0.34%であつた。之は第4図の心電図を参考にすると700V, 600mA 4秒通電の場合10秒~1分で心週期は漸次延長し次で一時停止が起る。その後1分30秒で図の如く一旦心週期は回復したのもあるが血液ガス測定例ではおそらく早期の心臓停止のまま死亡し、従つて血液 O_2 量の減少が0.34%という僅少にとどまつたのであろう。又高圧例で鶴田の云う如く死因は窒息死と思われる例もあつた。即ち第4図を詳細に追求すると1分30秒で心週期は一旦回復したが呼吸運動は回復せず心筋酸素不足のため再び心週期は延長しST降下が起り、心室細粗動, 次いで心臓停止を起し窒息死とみられる例もあつた。

結 論

1. 健康ウサギに種々の電撃条件を与え死戦期における動脈血中 O_2 量を測定し同時に心電図を観察した結果、通電に際し通電電極の位置、通電電流の強さ及び通電時間により電撃状況を異にした。

2. 死戦期における動脈血中 O_2 量減少率は、低圧(約100V)による通電では左右前肢間通電例2.02%, 左前肢—右後肢通電例10.55%, 頭部通電例14.72%, 右前肢—右後肢通電例66.52%であり、高圧(約700V)による左前肢—右後肢通電例では0.34%であつた。

即ち心臓を通る電流密度が小なる場合は血中 O_2 減少率が小さく電流密度が大なる場合は減少率

は小さい傾向にあつた。

3. 強直性痙攣は通電と同時に毎常出現し、典型的な間代性痙攣は頭部通電の時に出現した。

4. 呼吸運動は強直性痙攣と同時に消失し其後痙攣が減弱すれば多くは再び出現したが中にはそのまま回復しない場合もあつた。

5. 心電図所見から心臓を流れる電流密度が比較的大きいと考えられる場合（例えば左右前肢間通電、又は左前肢—右後肢通電例）は通電により直ちに心室細動又は粗動を発生しそのまま停止に至る例が多かつた。

6. 通電直後は細動（又は粗動）は生じないが心室期外収縮を生ずる例も多く、これ等は正常の pattern に回復することもあるが多くの心室速拍の状態から心室細粗動に移行し停止した。

7. 通電後直ちに心室細動粗動、又は期外収縮が生じない際に一時（多くは通電約30"後）心週期の延長をみる事が多いがこれは漸次通常の週期に恢復した。若しその後も呼吸運動が絶えていれば漸次（約数分後）S T, Tに変化を来し遂には細動状態になり停止した。

稿を終るに臨み御援助いただいた本学生理学教室田中一郎講師並びに同教室員諸氏に深謝致します。

参考文献

- 1) 荒木 啓・渡辺三郎・西 亮平：東医大誌，12，174（昭29）
- 2) Alexander, L. : J. Neuropathol. & Exper. Neurology. 11, 169 (1952)
- 3) 藤田 潔：第30回九州医学会会誌
- 4) 伊藤秀三郎・赫 国雄：東医大誌，7，261（昭24）
- 5) 泉 周雄：日本外科学会雑誌，55，288（昭29）
- 6) Jellinek, S. : Der Elektrische Unfall, 1931, Leipzig.
- 7) 小林 正：東医大誌，11，21（昭28）
- 8) 北原加一：慶応医学，30，32（昭28）
- 9) Kratter, J. : Lehrbuch d. gerichtl. Medizin. 1921.
- 10) 菊地鐸二・田中一郎・田沢美福・山中妙子：東京女医大誌，27，68（昭32）
- 11) 森下敬一・寒河江宏・宮下 勉・加藤岩穂：東医大誌，12，47（昭29）
- 12) 森下敬一・加藤岩穂：東医大誌，11，315（昭28）
- 13) 中井 良：東医大誌，12，85（昭29）
- 14) Nahum, L.H. : A Textbook of Physiology ed. by J. F., Fulton W.B. Saunders C., (1955)
- 15) 小川幸男・二渡久良：鹿児島大学医学部紀要，6，30（昭29）
- 16) 岡崎宏：東医大誌，10，27（昭27）
- 17) 大塚 阜：東京医会誌，53，314（昭14）
- 18) 島田信勝：日本外科学会雑誌，52，345（昭26）
- 19) 島田信勝：日本胸部外科学会雑誌，1，13（昭28）
- 20) 鶴田宣璋：日法医誌，7，332（昭28）
- 21) 高木末夫：電気通信学会プリント（昭32）
- 22) 横井正幸・津田文男・品川正之：慈医誌，66，61（昭27）