Osaka University Knowledge Archive

Title	人体 Impedance の臨床的研究(VII) 生体電流が電極接着部皮膚の電気特性に及ぼす影響
Author(s)	西田, 正修
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1959, 19(1), p. 54-64
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19701
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

人体 Impedance の臨床的研究（VII）
生体通流が電極接着部皮膚の電気的特性に及ぼす影響

大阪大学医学部放射線医学教室（主任　立入弘教授）
西　田　　正　修

（昭和34年1月7日受付）

目　　次

Ⅰ　緒　言
Ⅱ　実　験
（Ⅰ）材　料
（Ⅱ）装　置
（Ⅲ）方　法
1）電極の問題
2）電極面の化学分極の問題
3）電気分解の問題
4）測定法
（Ⅳ）実験結果
1）直流による変化
2）極性による相違
3）Impedance 増加現象
4）電流による皮膚損傷
5）印加電圧による相違及び部位差
6）脈流による変化
7）交流による変化
8）モルモット腹壁皮膚の場合
Ⅲ　考　按
1）直流による影響
2）極性による相違
3）Impedance 増加現象
4）電流による皮膚損傷
5）脈流並びに交流による影響
6）モルモット腹壁皮膚の場合
Ⅳ　総括並びに結言
Ⅴ　文　献

Ⅰ　緒　　言

電流は古くから医学方面にも応用され現在も盛んに用いられているが，それを生体に供給したり，生体から取出したりするためには，電極を生体面に接着することが必要であり，従つて生体が電気回路の一部を構成することになる．生体が示す特殊な回路現象に関しては，所謂初期のとがりを追求した Gildemeister[1)2)], Hozawa[3)]等の功績があり，又 Cole[4)5)] 等による生体の電気回路単位としての細胞模型及び膜面の電気現象の分析及び総括的研究があり，現今，吾々の日常臨床面に於ても生体の電気的等価回路として実用化されている．特に低周波領域に於ては，電極は多くの場合皮膚面に接着され Motokawa[6)] 等は皮膚交流 Impedance の由来として電気回路特性を究明し，生体皮膚を介して通流する場合は，皮膚容量と抵抗の組合わされた回路を通して行われるものと解されている．この皮膚 Impedance は微弱電圧によつて測定され，極力外部因子を排して行われているが[7)8)9)10)]，実際臨床面で電気診断あるいは電気治療の際，数10V程度の電圧が皮膚にかかる場合もあるので，その影響が知悉されねばならない．鈴木[11)]は数10分にわたる相当長時間の通流で，電気緊張電流が極性及び通流時間によつて，特異の変動を示すことを認めているし，本間[12)]は2乃至3Vの電圧で数10分間通流した場合の皮膚分極性の変化を追求し，また奥田[13)]は表皮を除去した皮膚抵抗を通流電流自体の変化で測定して，陰極部で減少し陽極部で増大することを認めている．私は実験状態を出来るだけ臨床的にするために，正常の皮膚を使用し治療に用いられる程度，あるいはそれ以上の電流を用いて，通流による陰陽両極部の皮膚 Impedance の変化を追究してみた．

II 実　験

（Ⅰ）　材料

健康人体皮膚及びモルモット腹壁皮膚

健康男子及び女子数名の体各部皮膚を用い，同一傾向を示すものの代表例の測定値を記載し総括的に考察した．なお皮膚損傷を来たす過程の追求には，モルモットの腹壁皮膚を使用し人体皮膚の場合を推測した．

（Ⅱ）　装置

実験に使用した主な装置を列挙する．

音声周波発振器（0V－CR－201）

音1号直読インピーダンス測定器（BV－Z－1）

直流電流計（MPS）

以上横河電機製作所製

鉛蓄電池（AW7－12）湯浅製作所製

P型真空管電圧計（PV－100B型）

菊水電波製作所製

当研究室製電子管増幅器（二極管整流部を含む）

（Ⅲ）　方法

1）　電極の問題

関電極として直径10㎜の銀円板を用い，食塩糊[14]を介して皮膚に接着した．

無関電極として市販のトタン製10 l バケツを用い，生理的食塩水を満たして片側の下腿及び足部を浸した．この場合両電極接着部皮膚の電流密度比は約 500：1となり，電流密度に比例した変化を期待しているので，通流による無関電極接着部皮膚の変化は，関電部のそれの約 0.2%と見なし得る．

2）　電極面の化学分極の問題

小電極を通して相当量の電流が流れるので，皮膚の変化と直接関係の無い電極面の化学分極による影響が考慮されねばならぬので，図1のような装置で生体が電極間に介在しない時の状態を模造し，通流の状態を観察測定して，表1，表2の結果を得た．印加電圧及び電流量は生体通流の場合に近似させ，回路閉鎖直後の過渡現象的変化は本装置で追求困難のため論外とした．即ち極性により約 0.2mA の差があるが，通流により極性の如何に拘らず一方的な電流の減少があり，約1分後ほぼ定常状態となつて通流停止後1/2秒以内に Impedance は元の値にもどる．この電流減少の程度は生体通流の際の変化に比し，ほとんど問題にならないことを認めた．なお極性による 0.2 mA の相違は電源電圧を変化させて比較検討した．又電気分解に伴うガス発生が烈しく，電極面が乾燥状態となつた際は食塩糊を塗り換えたが，測定値に有意の差は認められなかつた．又電極電位差あるいは濃度分極による影響は隨時電極糊及

図　1

A：生理的食塩水　　F：食塩糊
B：ゴム管　　G：脱脂綿
C：ガラス管　　H：電池
D：無関電極容器　　M：電流計
E：関電極

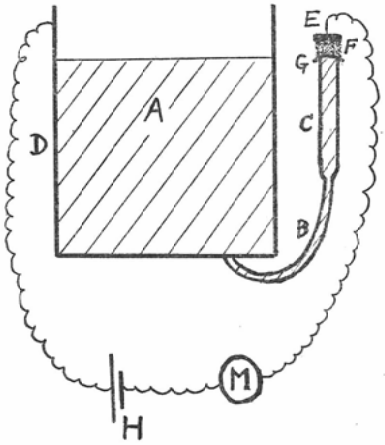


表1　通流前 Impedance（0.2 Vp 正弦波）

周波数	関電極（－）		関電極（＋）	
C/S	絶対値（Ω）	位相角	絶対値（Ω）	位相角
10000	4210	0	4210	0
1000	4210	0	4210	0
500	4210	0	4210	0

表2　電流値の時間的変化（電極間電圧12V）

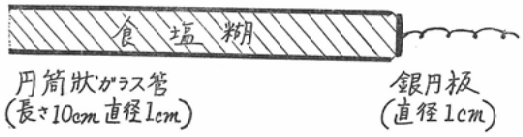
時間／関電極	5秒	15秒	30秒	1分	2分	3分	4分
（－）	2.5 (mA)	2.48	2.46	2.45	2.45	2.45	2.45
（＋）	2.3 (mA)	2.28	2.26	2.25	2.25	2.25	2.25

び食塩水を更新して，絶えず一定となるよう留意した．

3)　電気分解の問題

電極部の電解生成物が直接皮膚に作用する場合があるので図2のような電極を使用し，フエノールフタレイン或はヨードカリ澱粉を混じた食塩糊

図2　関電極



を，皮膚と電極間に厚さ約10cmにわたつて介在せしめ，電解の影響の有無を検討した．

4)　測定法

所謂直流抵抗Rは皮膚の真の抵抗R′と電圧Eの下で，従来考えられているように[15] $R=R'\frac{E}{E-Ep}$ (Epは生体組織の分極電圧を表わす) なる関係にあり，分極電圧 Ep と別個に求め得ないと考えられ，本実験の測定値も一定電圧EにおけるRを表わすものである．しかも治療電流通流中の変化であるので，電流による変化も含まれていることは当然である．すなわち電極間電圧 e と瞬時電流値 i より，$r=\frac{e}{i}$ として直流抵抗値を算出した．なお真の抵抗の変化を推測するために，隨時直読インピーダンス測定器に切換えて，断続的に 0.2Vp正弦波各周波数による Impedance の変化を追求した．また 0.2Vp 正弦波を重畳した直流により，連続的に測定した通流中の Impedance の変化も参考にした．

交流及び脈流の代表例として，正弦波及びその半波を使用したが，これらの通流による影響を検するのに，微弱電圧による Impedance の変動を測定し，またP型真空管電圧計によつて測定した実効値 Eeff と，直流電流計によつて測定した電流値 Ieff より $|Z|=\frac{Eeff}{Ieff}$ の計算で求められた生体通流中の Impedance 絶対値の変動を追求した．

(Ⅳ)　実験結果

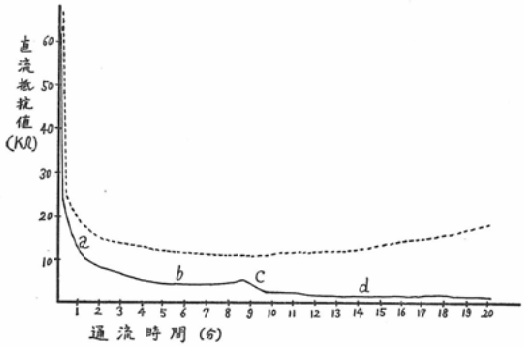
1)　直流による変化

関電極を大腿内側皮膚に厚さ約1mmの電極糊で接着し，表3の Impedance 値を得，臨床上平流療法に用いられるものよりやや大きい電流密度の直流を通流し，図3，図4のような直流抵抗ならびに Impedance の変化を認めた．直流電源に蓄電池を使用したが，内部抵抗による影響はほん

表3　健康男子30才大腿内側皮膚 Impedance
(気温20°C)

周波数	通流前		通流後	
(C/S)	絶対値 (Ω)	位相角	絶対値 (Ω)	位相角
10000	1960	64	800	6.5
5000	3410	72.5	825	5.2
1000	14300	81	890	5
800	16800	81	910	5
500	26800	81	930	6
300	38000	80	950	7

図3　直流抵抗値の時間的推移
(其の1)(電極間電圧12V)
関電極陰極(—)　　関電極陽極(…)



とど無視し得るし，回路内に挿入した電流計の内部抵抗も数Ω程度であるので，電極間電圧は一定と見なし得る．なお Impedance の変動は三田の方法[16]により，1,000 C/S 正弦波が直列等価抵抗と画くブラウン管オツシロスコープ上の楕円の長軸が，水平線となす角度及び歪曲の程度の変動により連続的に観察して参考にしたが，可及的正確な測定値を得るため隨時直読インピーダンス測定器に切換えて，変動を静止せしめた状態で断続的に測定した．この方法で復旧の状態も追求した．図5はブラウン管上の楕円の変化を追つて撮影し

図4　陰極部1,000 C/S（0.2Vp）
Impedance の時間的推移

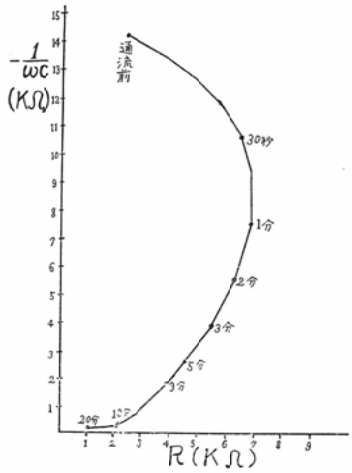
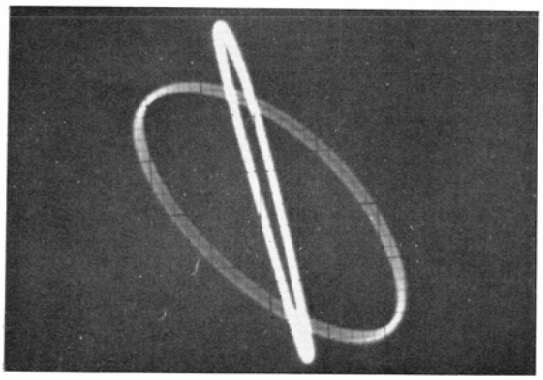


図5　ブラウン管上の楕円図形の変動を重複撮影したもの．通流開始時と通流後Impedance減少時．(長軸の傾きは垂直に，図形は直線に近づく)



たものである．

2）　極性による相違

図3の示すとおり，陽極部の直流抵抗の減少経過は，陰極部のそれより明らかに緩慢であるが，この場合は極性により人体皮膚にかかる電圧の相違が考慮されねばならないので，電極間電圧に明らかな差をつけて両極部の変化を比較し図6を得た．すなわちその絶対値測定は困難ではあるが，相対的に陽極部は陰極部に比し，その抵抗値の減少度が小さい．図7は陽極部が陰極部と同程度の抵抗減少状態に至るまでの経過を示す．

3）　Impedance 増加現象

図6　関電極陰極（電極間電圧10V）—
〃　陽極（　〃　12V）…

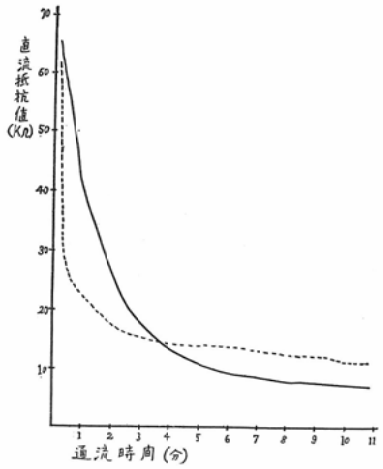


図7　直流抵抗値の時間的推移，関電極陽極，電極間電圧12V

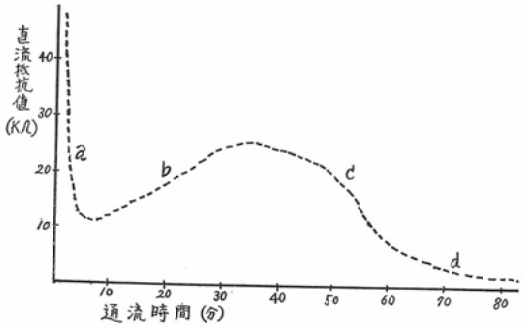
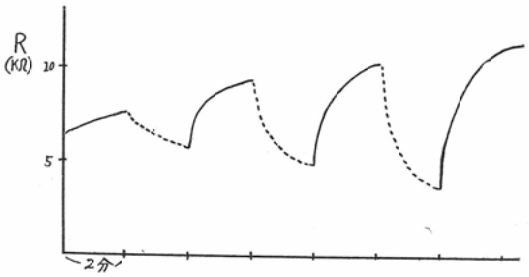
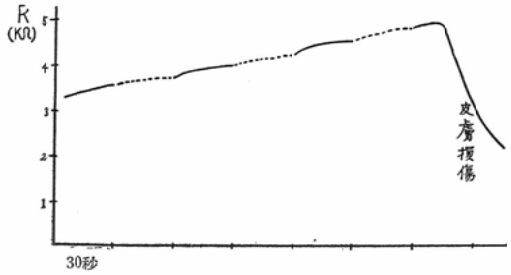


図8　陽極部 Impedance の変動



1,000C/S（0.2 Vp）Impedance 絶対値の変動（Impedance 増加部で2分置きに通流を断続せしめた場合，通流時変動を—，通流停止時変動を…で示す）．

図9　陰極部 Impedance の変動



1,000 C/S(0.2 Vp) Impedance 絶対値の変動 Impedance 増加部で30秒置きに通流を断続せしめた場合，通流時変動を—，通流停止時変動を…で示す).

図　10

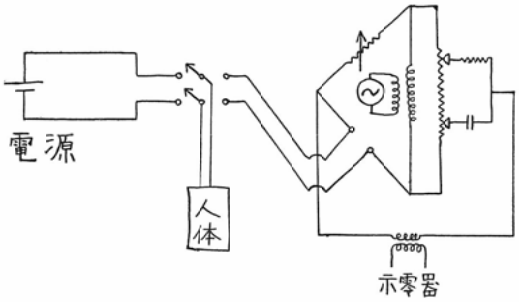
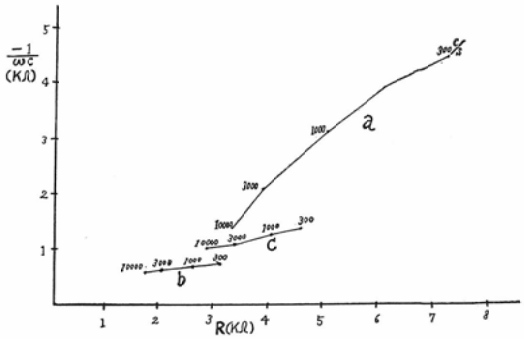


図3の示すように，長時間の通流に際しては Impedance 増加状態が現われる．この現象は両極部共に現われるが，陰極部では一過性であるのに反して，陽極部では著明で持続性が大きく，しかもその復旧状態が異なる．通流を断続せしめ，切替式に Impedance の変化を観察し図8，図9を得た．この際の回路構成を図10に示す．

4)　電流による皮膚損傷

電極糊の厚みが薄く，電解生成物が皮膚に接する機会が多いと皮膚が損傷しやすい．モルモット腹壁皮膚で電極糊を厚く約10cmとした場合は，相当の電流量（20乃至30mA/1 cm²×10分）で高度の充血状態から皮下溢血状態を呈するが，表皮の損傷には至らない．図11はモルモット腹壁皮膚に図2の関電極，背部を10×15cm²の銅板電極浴槽に浸し，10乃至20Vの電極間電圧で通流した際の Impedance 軌跡の変動と，該部に表皮損傷を来たした際の変動とを比較図示したものである．

図11　モルモット腹壁皮膚 Impedance 軌跡の変動（0.2 Vp）



a: 通流前　　b: 電流火傷時
c: Impedance 減少時

表4　関電極は陰極　通流電流は直流

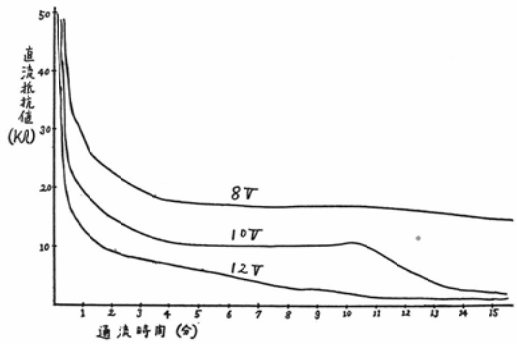
電極糊の厚さ	電流の強さ	皮膚損傷に至る時間
0.5mm	4 mA	5分
2 mm	4 mA	20分
2 mm	8 mA	10分
10 cm	8 mA	(20分で皮膚損傷に至らない)

また，表4は人体皮膚で，電極接着部の皮膚面積を一定（直径10mmの円形）とし，電圧を変化させて電流の強さを一定に保つたまま通流した場合の，電極糊の厚さと皮膚損傷に至る時間との関係を示す．

5)　印加電圧による相違及び部位差

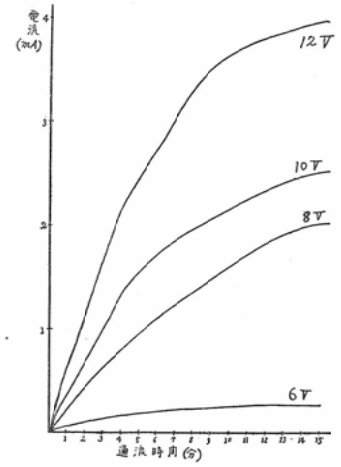
皮膚構造がほぼ同じで，同 Impedance 値を示す部位を選んで印加電圧の差による影響について検討した．電極糊の厚みが薄く（約1mm）皮膚損

図12　前膊内側皮膚直流抵抗の変動，電極間電圧（8, 10, 12V）関電極は陰極



傷の可能性が考えられる場合の変化を図12に示すが，低電圧に於ては皮膚損傷に至る過程が長く，電圧が高くなるにつれて抵抗減少過程は急峻となり，増加部分は不明瞭で更に高めると全く認められなくて，直ちに皮膚損傷に移行する．この変化は陰陽両極共同じ傾向を示す．次に電極糊を厚くして（約10cm）電解生成物の影響を無くした場合（電極面より約2mmにわたり，指示薬による化学変化の存在が認められた）は，図13の示すように印加電圧を高めると，一定電圧印加中に於ての電流増加度は大となつてゆく．そして各電圧での電流増加割合は，時間の経過と共に緩慢となり，定常状態に漸近する．その仮設漸近線の位置は印加電圧の差に従う．両極共に同傾向を示す．

図13　大腿内側皮膚通流
電流値の変動（関電極は陰極）
電極間電圧（6，8，10，12V）



又定電圧で体各部に通流すると（図14），Impedance の小さい部位[17]ほど電流増加過程が急峻で，定常状態の Impedance は小さい．もし皮膚損傷を考慮に入れて電極糊の厚みを薄く一定にすれば，損傷に至る時間は低 Impedance 部位程短かく，同一条件の部位で同電圧の下ではその時間はほぼ一定である．

6）脈流による変化

正弦波を二極管で整流し，一定の電極間電圧の下に関電極を陰極として，同一 Impedance を示

図14　体各部皮膚通流電流値の変動（関電極は陰極）
①前腕内側　②大腿前側　③足蹠内側
（電極間電圧10V）

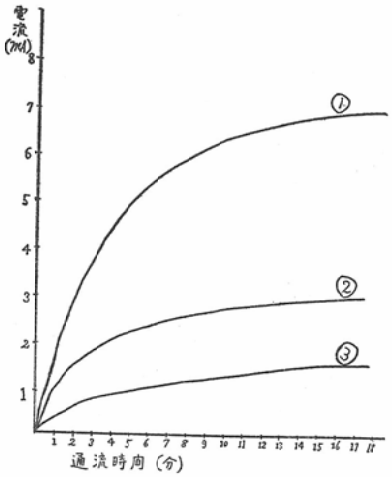


図15　正弦波半波大腿内側皮膚通流，電極間電圧5V（実効値），関電極陰極

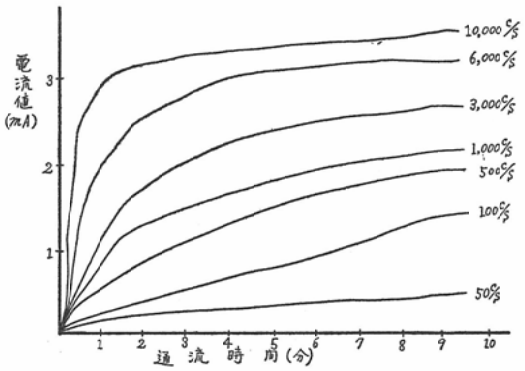
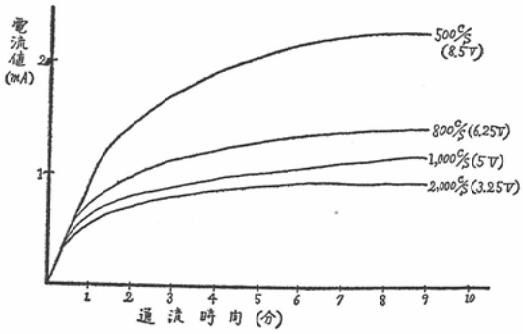


図16　正弦波半波大腿内側皮膚通流，関電極陰極，
（　）内は電極間電圧（実効，値）



す体各部に通流して得た各周波数による相違を図15に示した．すなわち周波数の高いほど初期変化が急峻で早く定常状態となる．この場合電流量の相違による影響を除くためには，各周波数による Impedance の相違が考慮されねばならないので，初期の電流を同一とするため 0.2Vp Impedance 絶対値に比例した電圧を与えて図16を得た．この場合，時間を経ると共に各周波数による相違が現われ，周波数の低い程すなわち電圧の高い程電流増加度が大きい．

7）交流による変化

1,000 C/S 及び 500C/S の正弦波を電極間電圧 1 V及び 8 V（実効値）の定電圧状態で通流し，Impedance 絶対値の変動を直読インピーダンス測定器で追求して図17を得た．通流時間の経過につれてかなりの Impedance 絶対値の減少が認められ，その減少度は電源電圧の高い程，周波数の低い程，大きくなる．表5はほぼ同一 Impedance値を示す部位に，定電圧状態で正弦波の全波及び半波を一定時間通流し，通流前後の皮膚 Impedance（半波の場合は陰極部）を1,000 C/S 0.2Vp正弦波で測定し，その減少度を比較したものである．

図17　正弦波通流による Impedance 絶対値の変動

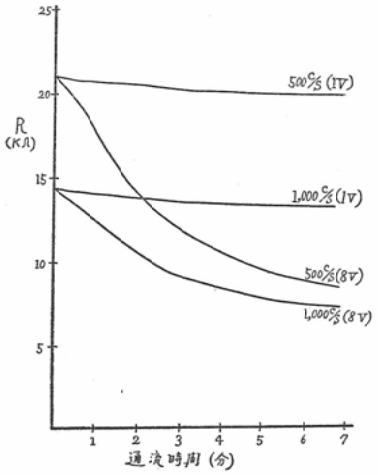


表5　正弦波交流及び脈流通流による皮膚 Impedanceの変化
（通流時間は1分間）

正弦波周波数	通流波形	実効電圧	通流前 Impedance 絶対値	通流前 位相角	通流後 Impedance 絶対値	通流後 位相角
2,000 C/S	全波	10 V	12,000Ω	80	10,000Ω	72
	半波	10 V	12,000Ω	77	8,000Ω	47
	半波	5 V	12,000Ω	78	9,200Ω	60
1,000 C/S	全波	10 V	12,000Ω	78	9,500Ω	65
	半波	5 V	12,000Ω	77	8,000Ω	50
500 C/S	全波	10 V	12,000Ω	80	8,500Ω	55
	半波	5 V	12,000Ω	74	6,700Ω	38

8）モルモット腹壁皮膚の場合

モルモット腹壁皮膚に関電極（直径1cm銀円板を電極糊1mmの厚さで接着）を接着し，無関電極（10×15）cm² 銅板浴槽に背部を浸して通流し，人体皮膚との比較，及び生体皮膚と死体皮膚の相違を追求した．なお電極固定を容易ならしめるため，ラボナールを腹腔内に注射し，全身麻酔の状態で検査した．また死体の検査は心搏が停止し，5 V直流電圧印加による腹筋攣縮反応消失後5時間で実施した．

図18　モルモット腹壁皮膚直流抵抗の変動，電極間電圧 4 V

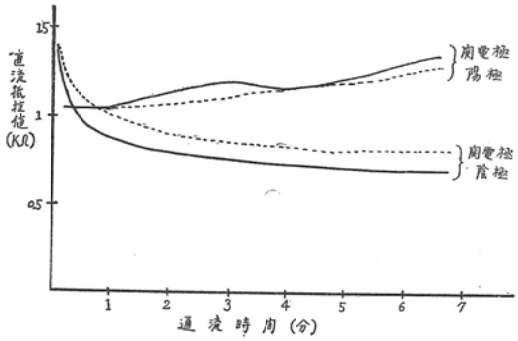


図18は電極間電圧 4 Vの下に直流通流して陰極部，陽極部の直流抵抗値の変動を追求して得たものである．なお点線は死体の場合を示す．

III 考　　按

1）直流による影響

図3に示した曲線の各部分は，それぞれ特徴的であるからこれに次のような名称を附して區分した．

a：Impedance 減少部

Impedance は直線的に急激に減少する．この

変化は可逆的であるが，通流時間が長くなると共にその復旧にも時間を要し，通流1分後の変化が復旧するには数10分間を要する．この間ほとんど通流による特別の感覚はなく，時として軽い掻痒感を覚えるに過ぎない．

b：定常部

Impedance の減少は次第に緩慢となり，殆ど定常状態あるいは波状を呈する．この間場合により明らかな増加が認められるが，電極糊の厚さを増せば起らないので，電極部の化学分極乃至は濃度分極，あるいは電解生成物が皮膚に作用した結果と考えられる．増加の後，次の皮膚損傷部に移行する場合が多いのは，電解生成物の濃度が局所的に増大したことか，または皮膚損傷の前過程として Impedance を増加させるような，組織上の変化が皮膚に起つたことを意味するものであろう．この間殆ど痛覚を伴わない．

c：皮膚損傷部

再び急激な減少を認める．時に定常状態と減少が反復して現われる．この間減少と共に激痛を伴い，皮膚面に膨隆または小水泡を認める．この部の変化は不可逆的で復旧現象は殆ど認められない．

d：電流火傷部

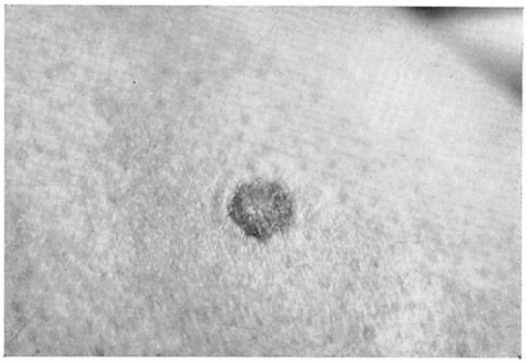
緩慢な減少及び増加，急激な減少が混在し全体として次第に減少する．この間殆ど特別な感覚を伴わないか，または軽い疼痛を覚えるに過ぎない．水泡は数を増し壊死部は大きくなる．なお火傷という用語は，この変化が温度と直接関係がないので厳密には誤りかも知れないが，従来慣用されているのでここに用いた．

以上から，長時間通流による平流療法では，b部の持続に留意すべきであり，その間における抵抗の増加は皮膚損傷に至る警報として意義があると考える．また一旦皮膚損傷を受けた後の定常状態では殆ど痛覚を伴わないで，電気治療上の副作用と見なされる皮膚傷害過程が進行するので注意を要する．

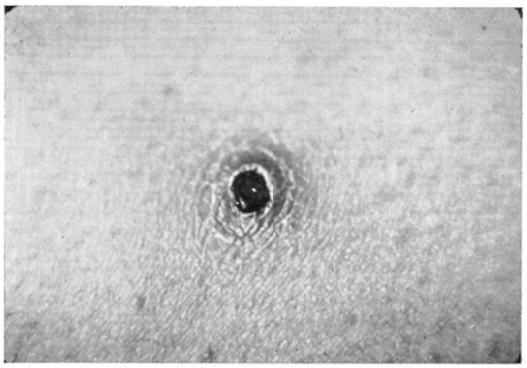
2) 極性による相違

図3，図6及び図7の示すとおり，陽極部は陰極部に比し抵抗減少度が小さく，増加現象は陽極部において著明であり，皮膚損傷に至る経過が長い．また皮膚損傷部と見なされるCのImpedance減少部においても，その減少状態は緩慢であり，疼痛も陰極部ほど激しくはない．しかも水泡形成は稀れにしか認められず，多くの場合 Quaddel（扁平疹）状の皮膚隆起と Erosion 状の表皮損傷が認められる．従つて陰陽両極部の皮膚組織の通流による変化には，明らかに相違があると考えられ，これは両電極部の電解生成物の相違及び Tobias[18] が単一神経線維に通流して認め，また野口[19]が述べたように，陰陽両極部の皮膚組織に対する態度は根本的に相違があり，陰極部の膨潤鬆粗化状態に対する陽極部の縮化萎縮状態が，陰陽両極部の Impedance の変動の相違となつて現われたものと考えられる．図19は陰極部の皮膚損傷状態の肉眼的様相を撮影したものである．

図19 1) 陰極部の電流火傷



2) 火傷後2日目の結痂状態



3）Impedance 増加現象

直流抵抗変動図の中，Impedance 増加部を取出してその復旧状態を見ると，図8，図9の示すように，陰極部では同方向の復旧過程すなわち増加が起り，一過性で容易に皮膚損傷に移行するが，陽極部では電源電圧を除き，回路を Impedance 測定器に切換えると，Impedance は緩慢に減少し，切換えて電源電圧を加えると再び増加，しかもその過程は蓄電器充電時の過渡現象に似ている．また関電極を図2に示すように，電極と皮膚の間に電極糊を相当厚く介在せしめ，電解生成物の影響を遠去けてもこの可逆的な Impedance 増加現象は認められる．従つてこの現象は電解作用とは直接関係なく，陽極部の皮内あるいは皮下組織に集積したイオンの作用によると考えられ，通流及び通流停止がイオンの集積及び離散を起させ，その結果可逆的な Impedance 増加現象が生ずるのであろう．

4）電流による皮膚損傷

電流による皮膚損傷には種々の因子が含まれているであろうが，平流療法時の，所謂電流火傷が電解作用にもとずくことは，先にも述べたように電極を皮膚から遠去けると起らないことより明らかであるが，電解作用が及ばなくても，皮膚透過性が極度に増大するような電流ならば，著明な溢血斑を皮膚に認め，おそらくは表皮下，真皮部を主とする損傷が起るわけである．図11はモルモット腹壁皮膚を用いて通流前，皮膚透過性極大状態及び皮膚損傷状態の Impedaece 軌跡を比較図示してあるが，これで見ると皮膚損傷状態では，低周波部で明らかに Impedance 絶対値と位相角の減少が認められ，これは皮膚電気的等価回路の側路抵抗の増大を意味し，軌跡が形作る円弧の一部から推察して，損失角[20]の減少がうかがわれる．これは皮膚容量成分の漏洩電流が，通流時に増加することを意味し，山崎[21]の仮称する皮膚蓄電器の短絡状態と推定される．人体皮膚においても表3の Impedance 値の変動より同様なことが言える．なお通流前と電流火傷時の Impedance 軌跡の変動に関しては，陰陽両極部に殆ど相違が認められなかつた．

5）脈流ならびに交流による影響

通流により共に Impedance の減少が認められるが，脈流は交流の場合に比し，その減少度が極めて大きい．これは表皮組織への一方的なイオンの流入が Impedance 減少の因子として大きく作用し，また脈流では同電流量，交流では同電圧でも，周波数の低い程 Impedance 減少度が大きいのは，皮膚容量成分通過電流は Impedance 減少にあずかることの少いのを意味すると考える．

6）モルモット腹壁皮膚の場合

図18に示す変動曲線において，陰極部では人体皮膚の抵抗変動曲線の中，皮膚損傷部で認められた急激な抵抗値の減少は認められず，緩慢な減少を経て漸次電流火傷部に移行する．

また陽極部では抵抗値の増加が著明で，通流後5秒以内で既に増加を始め，以後一方的に増加の過程をたどる．これらはモルモット腹壁皮膚が，透過度増大の主要部と思われる角質層が薄く，従つて皮膚損傷部の急激な抵抗減少状態が認められず，また陽極部では濃度分極，皮膚と電解生成物間の反応，抵抗増加の組織変化が，一方的に現われるためであろう．

死体の場合もほぼ同一傾向の過程をたどるが，生体に比し抵抗の減少，及び増加状態は共に緩慢でその程度が小さい．これには生体の有している興奮性の欠如，皮膚温度，及び体液循環の有無等の影響が考えられる．

IV　総括並びに結言

生体通流により，電極接着部皮膚は次のような影響を受ける．

1.　直流，低周波交流及び低周波脈流は，皮膚 Impedance を減少させる．その減少度は陰極部が陽極部より大きく，直流並びに脈流は交流より大きい．

交流及び脈流において，周波数の低い程 Impedance 減少度が大きい．

2.　通流電流量が大きい場合，及び電極部の電解生成物が皮膚に作用する機会が多い場合，皮膚は損傷を受け所謂電流火傷を生ずるが，その前過

程として皮膚 Impedance の増加を認める.

3. 陽極部では，通流開始後暫時を経て，電流火傷と無関係に Impedance 増加が認められ，通流停止により再び減少する.

4. 電流火傷が起ると，極性の如何に関せず Impedance は非常に小さくなり，皮膚抵抗成分及び損出角は共に減少する.

以上のように，通流は皮膚の電気的特性にかなりの影響を与えるので，電流を生体の測定または治療等に利用する場合，これらの影響を充分に考慮に入れて行わねばならないと考える.

終りに臨み，種々御指導を賜つた恩師立入弘教授をはじめ，教室の諸先輩，装置の整備に助力を戴いた宮田和雄助手，並びに終始手近かに指導して下さつた山崎武助手に深甚の謝意を表する.

本論文の要旨は第62回日本医学放射線学会関西部会（昭和33年12月）にいおて発表した.

文　献

1) Gildemeister M. (1919) : Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 176, 28. — 2) Gildemeister M. (1928) : Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 219, 89. — 3) Hozawa S. (1928) : Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. 219, 111. — 4) Cole K.S. (1932) J. gen. Physiol. 15, 641. — 5) Cole K.S. (1942): J. gen. Physiol. 25, 765. — 6) Motokawa K. u. K. Iwama (1947) : Tohoku J. d. exp Med. 49, 89. — 7) Fricke H. (1924) : J. gen. Physiol. 6, 735. — 8) Fricke H. (1932) : Phil. Mag. 14, 310. — 9) 長田泰公 (1952) : 公衆衛生院研究報告，第2巻，1, 5. — 10) 重松康，山崎武 (1957) : 日本医放誌，第16巻，1119. — 11) 鈴木正夫 (1955) : 日本生理誌，17, 223. — 12) 本間三郎 (1950) : 日本生理誌，12, 261. — 13) 奥田八雄 (1955) : 日本生理誌，17. — 14), 15), 16) 本川弘一 (昭30) : 電気的実験法. — 17) 山崎武 (昭33) : 日本医放誌，18. — 18) J.M. Tobias J. (1951) : cell comp. Physiol. 37, 91. — 19) 野口忠之 (1956) : Modern Glectrotherapy — 20) 重松康 (1957) : 日本医放誌，16. — 21) 山崎武 (1958) : 日本医放誌，18. — 22) 鈴木正夫 (昭24) : 生体と電気. — 23) Cole K.S. & H.J. Curtis (1947) : Med. Physics by O. Glasser. — 24) 朴沢進 (1952) : 生理学講座，第2巻，1. — 25) 鈴木正夫 (1956) : 電気治療. — 26) 駒形作次 (昭22): 界面電気化学概要. — 27) 鈴木良蔵 (昭18) : 蓄電器.

Experimental Studies of Human Impedance for Clinical Application (VII) The Effect of the Electric Current on the Electrical Properties of the Human Skin.

By

Seishu Nishida

From the Department of Radiology, Medical School, Osaka University.

(Director: Prof. H. Tachiiri)

The present report deals with some experimental studies on the effect of the electric current upon the impedance at the part of the human skin in contact with the electrode. The voltage, current and electrodes were selected to be clinically applicable to the low frequency therapy. The polar effect was also examined by using different current density between the negative and positive electrodes. Summary is as follows.

Given the continued flow of the direct current for about 80 minutes with the constant voltage of 12 V through the roundly shaped electrode of 1 cm in diameter, the skin impedance changed taking characteristic course. The writer divided this course into 4 stages as follows;

1. impedance decreasing stage
2. retarding stage (in case of negative) or impedance increasing stage (in case of

positive)

3. skin injuring stage (with the sudden decrease in impedance)
4. ulcerating stage (with the gradual decrease in impedance)

In decreasing impedance, the direct current was far more effective than the alternating current. As for the alternating current, the lower in frequency showed the higher decrease in the impedance. The increase of impedance appeared as a previous phenomenon leading to the skin injury, which was irreversible and transitory in the negative, on the contrary, reversible and continuous in the positive. The injured skin showed the marked decrease both in impedance value and in the phase-angle of the impedance locus. It may be assumed that the capacity of the condenser in the electrically equivalent circuit of the skin decreased.