



Title	人體インピーダンスの臨床的研究(I) 研究經過とその 總活
Author(s)	重松, 康; 山崎, 武; 岩佐, 壽彌
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1957, 16(12), p. 1119-1124
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/14721
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

人體インピーダンスの臨床的研究 (I)

研究經過とその總括

大阪大學醫學部放射線醫學教室(主任 西岡時雄教授)

重松 康 山崎 武 岩佐 壽彌

(昭和31年10月5日受付)

〔I〕 研究の端緒

以下數編に報告される一連の研究は、過去5年間に於ける業績の中間報告である。

この研究に着手したのは昭和26年末であつて、當時吾々の所屬する研究室に於いては、五百住を中心として電子管装置を用いた新しい物理療法が創始され、低周波療法として種々の基礎乃至臨床実験が行われていた。一體電流に限らず物理エネルギーを生體に送り込む場合、組織内消費の實態を正確に知ることは極めて重要であつて、當時吾々の最大關心事は人體の電氣的特性を如何にして正しく把えるかにあつた。かくて吾々は Cole の業績に基づいて人體の電氣的特性を検討する事から始めたのであるが、基礎實験を重ねるにつれて、この電氣的方法を更に廣く臨床面に導入することの可能性に確信をもつに至つたのである。

こゝに最初に具體化されたのが放射線療法に際して現われる皮膚障礙、或は放射線從業員の慢性皮膚障礙に關し、之を他覺的に定量しようとする實用的意圖についてである。

〔II〕 放射線障碍皮膚の電氣的特性について

吾々が研究の初期から放射線障碍皮膚と取り組んだのは、低周波領域に關する限り、“人體 Impedance”は“皮膚 Impedance”と同一視出来るこことを、基礎實験に於いて再認識したからである。

實験は先づ Cole K.S. によって集大成された等價回路を生理的乃至病態的皮膚について再検討する事から始められた。低周波領域での測定では、測定電圧による變動、電流性皮膚反射、通流作用、更に電極皮膚面の介在物質の變化など、障礙

となる因子が少くなかった。又、人體皮膚が多くの有毛性實驗動物と異つて Impedance が非常に高いために、數百サイクル以下の領域は直列等價プリツジ回路では極めて不確かにしか捉へられず軌跡は圓弧のきわめて一部しか捉へられない。従つて、Cole の與える等價回路を Impedance 軌跡によつて解析せんとする企てにはかなりの困難が感ぜられたのである。然し測定に干渉となる種々の因子は、装置、電極、測定條件などに於ける種々の工夫によつて、實用の程度まで取除く事が出来た。又、數百サイクル以下の測定は、放射線障碍皮膚に關する問題の検討からは一應除外されたが、その測定の困難性が一は損失角決定への新しい方法を生み、一は Admittance 回路への發展への一つの経口となつたのである。

レ線被照射皮膚の検討はすべて治療患者を用いて行われ、紅斑期、色素脱落期など、経過による種々の變化が捉へられた。その大略は次に示される。

- 1) 被照射皮膚の Impedance は照射後次第に低下の傾向をとり、紅斑極期を最低として、以後波状の経過をとつて回復する。
- 2) 紅斑期に於ける Impedance 低下の傾向は一時大量照射皮膚に於て著しく、レ線潰瘍周邊皮膚に於ても同様な傾向がみられる。
- 3) 分割照射に於いては紅斑期に於ける變化は前者ほど著明でないが、一定期間を経た後に容量の減少が著しくなつて、著明な Impedance 上昇を見る。
- 4) 損失角決定に際しては、プリツジに工夫し

て側路の影響を無くする新しい方法が試みられた。而して紅斑期に於ける被照射皮膚では損失角の増大が見られ、一定期間後の色素脱落期に於ては損失角の減少がみられた。

〔III〕 低周波に於ける人體の周波數

Admittance 軌跡に就いて

上述の放射線障礙皮膚に關する研究の進展と共に、他方では低周波療法に關する基礎實驗として、種々の狀態に於ける人體 Impedance の検討が進められていた。こゝに吾々は 1 K.C. 以下の低周波領域では Cole の周波數 Impedance 軌跡表示に代えて Admittance 軌跡表示を用いることの合理性に考及するに至つたのである。

即ち、1 K.C. 以下の周波數帶域は電解傳導を主體とする人體にとって、非常に重要な領域であるにも拘わらず、前章にも述べた如く Cole の Impedance 軌跡表示はこの領域の電氣的諸特性を検討するに不適當である。そこで之に代るものとして、電氣化學に於ける “Conductivity” の概念を復素化せる Admittance 表示が試みられた。恰も之は電氣工學に於ける “Resistance” の概念を Impedance として複素化すると同様である。之は Impedance を裏面から表示するものとして互に相補的な關係を有し、又人體が主に電解傳導であるために適當な表示法と考えられたからである。

この様にして低周波に於ける人體の周波數 Admittance 軌跡が詳しく述べられ、かつ人體の等價表示としての種々な回路網が検討された結果次の様な結論が得られた。

1) Wien 型の交流プリツジを用いて人體 Impedance を測定する場合、等價と置かれる可變邊の容量、抵抗は直列とするよりも並列とする方が種々の點で優れている。

2) Cole の法則は 1 K.C/S 以下 20 C/S 迄、人體表面各部について成立する。

3) 分極容量、即ち Ag-NaCl 分極池のみを用いた場合にも、種々の點で人體と同様な性質を示す Admittance 模型を作る事が出来る。

4) 人體の周波數 Impedance 又は Admitta-

nce 軌跡を満足する等價回路は Cole のそれのみでない。人體の最も一般的な等價表示は、所謂 “Reactance 終端抵抗 4 端子回路” であり、人體の電氣的諸特性の變化はこの抵抗 4 端子回路と終端 Reactance、即ち 4 端子常數及び容量値の 4 數値の變化として與えられる。

5) この人體回路理論から推定して、人體内部組織に對する等價表示として Y 又は△接續の抵抗 3 端子回路を適用する事が試みられた。

〔IV〕 低周波交流プリツジを臨床血液

検査に應用する試みについて

人體皮膚の Impedance 測定實驗に引續いて、實驗對象は更に血液にまで擴張され、人血液の低周波に於て示す電氣的性質を臨床血液検査に利用する試みが種々行われた。實驗材料は健康人及び患者の血液を枸櫞酸血及び二重藤酸鹽として使用したが、先づ次の二種の検査法に適用出来る事が明らかになつた。即ち Fricke, Cole 等の細胞浮遊派の Impedance に關する諸知見を擴張して、正常及び病的人血液の主として 10 K.C/S に於ける Conductance を測定すれば赤血球總容量測定及び赤血球沈降反應を電氣的に行ひ得る。

1) 赤血球總容量測定

正常及び或る種の貧血患者について血液及び血漿の Conductance の比から Fricke 或は Cole の式を用いてその赤血球容積濃度が算出出来る事を認めた。充分に遠心沈澱を行う事によつて得られた Ht 値は上記の式の赤血球容積濃度と略々一致する。又この電氣的測定法は遠心沈澱に殆んど無關係であり、且つ操作も簡単で、概略値を得るために血液 Conductance のみの測定で足る。

2) 赤血球沈降反應

この反應の正常、促進及び遲延せる種々の人血液について、その血液柱の底部に於ける Conductance を測定し、之が時間の經過と共に一定した變動を示すことが明らかとなつた。即ち初期に於ける一過性の増大、次で極大期が現われ、その後永く持続する減少が認められた。この變動の經過は赤沈現象と直接關係することが實驗的に確かめられた。又この現象は赤血球の凝塊形成とその

沈降を電氣的に観測したものと判断され、血液 Conductance の時間的變化を測定する事によつて赤血球沈降反応に代え得ることを認めた。

この方法は Westergren 氏法に比し遙かに鋭

敏であり、且つ時間的にも數分間で測定することが可能である。又、上述した初期に於ける Conductance 値増大現象についても検討が加えられた。

Some Experimental Studies of Human Impedance for Clinical Application
Outline and Summary

By

Yasushi Shigematsu, Takeshi Yamazaki, Toshiya Iwasa

From the Department of Radiology, Faculty of Medicine, Osaka University
(Director Prof. T. Nishioka)

(A) Introduction

The following studies divided into several chapters are interim reports of last five year's works of the authors.

These studies were entered upon in 1951, when in this laboratory a new method of physical therapy using electronic instruments had been found by A. Ihozumi and several fundamental or clinical experiments were made.

In order to send a physical energy as well as an electric current into living bodies, it is very important to have an exact knowledge how the energy is to be consumed within their tissues: and so the authors were most interested how to catch the electrical properties of a human body.

Based upon Cole's works, the authors tried to examine these electrical properties and after several fundamental experiments, the authors were convinced that this electrical method should be used further in clinical fields.

So the first practical intention was pointed to the quantitative measurement of dermal radiation injuries of irradiated patients as well of operating radiologists.

(B) Electrical properties of the irradiated skin.

Present experiments were started from reexamining the electrical equivalent circuit accomplished by Cole about normal or diseased skins.

There were many obstacles to measure the skin impedance for low frequency zones, namely the variations of impedance due to supplied voltages, the galvanic skin reflex, the 3rd effect of polarizing electrodes and the change of substance lying between the electrode and the skin surface.

Moreover, the human skin is so high in impedance for the low frequency zone under 1 kc/s, differing from many other animals used in experiments, that the measurement results considerable uncertainty by Cole's method using alternating current bridge of Wien's type, in which the variable C and R are arranged in series, and yet the caught locus may be only a part of circular arc.

But various factors to disturb the precise measurement could be taken away to the practical extent with various devices in apparatus, electrodes and measuring conditions.

Inspite of giving up the idea, because of the reason as mentioned above, to apply the measurement in low frequency zones under 1 kc/s to the investigation of dermal radiation injuries, the difficulties in measurement not only produced a new method to decide the loss-angle, but also developed the analysis of the electrical equivalent circuit with the admittance locus.

After some fundamental studies the electrical properties of the irradiated skin were examined about the patients treated in this clinic, and various processes were electrically found out corresponding the progress of the skin reaction.

The conclusions are as follows:

- 1) The impedance of an irradiated skin decreases gradually until the appearance of erythema, then recovers in wavelike progress.
- 2) The downward tendency of impedance is remarkable in the skin irradiated with one single massive dose, and it is similar in the surrounding skin of a radiation ulcer.
- 3) When the maximal safe dose is fractionally given, in the stadium of erythema the decrease of impedance is not so remarkable as the former, but after several months there occurs a marked increase of impedance mainly following a decrease of capacity.
- 4) In order to examine dielectric loss of a skin, a special impedance bridge was designed to keep off the leakage resistance of a test body.

Thus an increase of loss-angle was found in the stadium of erythema, and its decrease in the dry and depigmented skin after a certain period.

(C) The frequency admittance loci of human body in the low frequency zone.

Besides the progress of the above mentioned study as to dermal radiation injuries, on the other hand, some results were carried out about the impedance of normal human bodies under various conditions, as the fundamental studies of the low frequency therapy. In these works it was proved that in the frequency zone under 1 kc/s, Cole's method using the frequency impedance locus was not adequate to express the various electrical properties of the human body, so the next step was performed to trace the frequency admittance locus instead of this, complexing the concept of "conductivity" in electrochemistry.

This corresponds to complex the concept of "resistance" to "impedance" in electrical engineering.

The reason why this method was adopted are as follows; the frequency admittance locus is a reciprocal expression for that of impedance, and in the human body electrical conditions are mainly of electrolytic nature.

Thus the frequency admittance loci of human bodies in the low frequency zone were minutely traced, and some networks were examined as the equivalent circuit for human body.

The conclusions obtained are as follows;

1) In the measurement of the impedance of human body with the alternating current bridge of Wien's type, parallel arrangement of capacity and resistance in the variable arm is superior to the series one as the equivalent circuit for human body, especially in the low frequency zone under 1 kc/s.

2) Cole's law may be extended from 1 kc/s to 20 c/s for various parts of the normal human body surface.

3) Using only the polarisation capacity as Ag-NaCl, an admittance model may be constituted to show almost the same properties as those of human body in the low frequency measurements.

4) The equivalent circuit for human body, corresponding to its impedance or admittance loci, is not only that of Cole.

The most general equivalent expression for human body is the, so called, "four terminal resistance network terminated by reactance", and the changes of the electrical properties of human body may be measured as the changes of this four terminal network and its terminated reactance, namely the changes of four values, consisting of capacity and four terminal constants.

5) From above mentioned theoretical study, the final step was performed to adopt the three terminal resistance network of Y or Δ junction as the equivalent expression for human internal tissues.

(D) Some clinical blood examinations using electrical method.

Following to the experiment on measurement of human skin impedance, an object was extended to human blood.

Deducing from the results on impedance of cell suspensions by Fricke and Cole, the experiments were made about healthy and invalid human blood treated with citrate and Kato's oxalate.

After some studies the electrical properties of blood in low frequency zone were applied to following two clinical blood examinations, that is, the measurement of erythrocyte volume concentration and red cell sedimentation test may be done through the measurement of electrical conductance value, mainly at 10 kc/s.

1) Volume concentration measurement of red cells. It was found that the volume concentration of red cells can be calculated through the rate of conductance value of plasma to whole blood, applying the formula of Fricke and Cole.

Ht-value, measured after sufficient centrifugal treatment, is well concurrent to the red cell volume concentration, measured through above mentioned formula. This electrical method is little influenced by the intensity of centrifugal action, and may be simple in procedure. The calculation of the crude value is performed only through the measurement of blood conductance value.

2) Red cell sedimentation test.

Through the measurement of conductance value at the bottom of human blood column, in cases of normal and accelerated red cell sedimentation test, it was found

that there should be certain variation related to time, that is, temporary increase in initial stage, then to the maximum and long continued decrease afterwards. It was experimentally verified that this trend of variation is positively co-related to the red cell sedimentation test. These phenomena are considered as the results of electrical observation on agglomeration and sedimentation of red cells, and so it may be possible to replace red cell sedimentation test with successive measurements of the variation of whole blood conductance for time.

This method is far more sensitive than Westergren's method, and it is enough to judge only after several minutes.

The increasing trend of conductance value in initial stage was also investigated in this experiment.