

Sesión del 30 de diciembre 1922

Presidencia del DOCTOR MARTÍNEZ VARGAS

## La conductibilidad del cuerpo humano a las corrientes de alta frecuencia en su modalidad de termopenetración o diatermia no puede asimilarse a la de la corriente continua.

Por el DOCTOR DON LUIS CIRERA SALSE

El cuerpo humano ha sido explorado ya de antiguo como conductor eléctrico, si bien es difícil de precisar su significación hablando así, en conjunto. Si cogemos con el pulpejo de los dedos un conductor en cada mano podrá encontrarse una resistencia de 20,000 a 40,000 ohms; mientras que si nos atenemos a las condiciones que suelen usarse en electroterapia, es decir, con placas metálicas más o menos extensas aplicadas sobre la piel con una almohadilla interpuesta empapada con agua corriente, o con agua salada, la resistencia del cuerpo podrá variar entre 300 ó 400 a 2500 ohms poco más o menos, según el tamaño y sitio de colocación de las placas polares, considerándose hasta aquí como la más importante para estas diferencias su penetración por la piel.

Hay que considerar en el cuerpo humano que se trata de un conductor electrolítico heterogéneo, a tal punto que no sólo lo son los diversos tejidos de que está compuesto, si que también lo son en sí los mismos tejidos, ya que, por ejemplo, el tejido muscular al parecer uniforme, visto en un corte microscópico se ven la serie de elementos de que está compuesto, dotados de propiedades físico-químicas diversas; una de ellas, que es mejor conductor eléctrico y calorífico en el sentido longitudinal de sus fibras que en el transversal.

Mas en conjunto debemos considerarle como un conjunto compuesto de un sinnúmero de electrolitos y coloides limitados por la piel, que en su capa más exterior o córnea, si está seca, equivale casi a un aislante y aun humedecida presenta una resistencia considerable, de modo que ordinariamente el factor más importante como resistencia es la entrada en el cuerpo al atravesar la piel. Tal es al menos la doctrina corriente admitida hasta hoy. Ya veremos como la diatermia modifica este concepto.

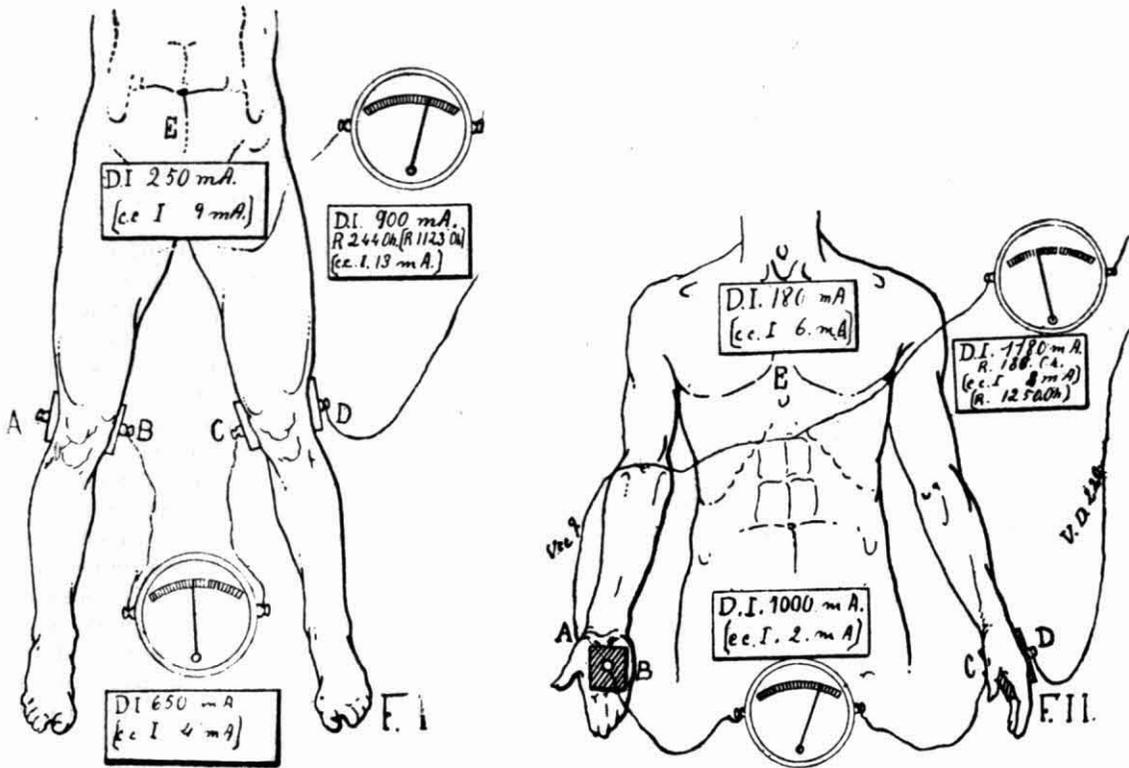
La conductibilidad específica de los distintos tejidos humanos ha sido investigada por muchos autores, entre ellos Doumer, Eckard, Rancke, Ziemssen, Schmit, Chapman, Boubacker y otros, y sus cifras están en bastante desacuerdo. Aun suponiendo que se hubiesen obtenido cifras que apenas discreparan, de poco nos servirían en este trabajo, ya que por un lado, agrupados los diferentes tejidos en diversas cantidades y disposiciones, y por otro bañados por la linfa y sangre en circulación que según su cantidad varían sus condiciones, no nos sería posible reducir a números los distintos factores del problema.

No me ocuparé de la conducción que podríamos llamar quirúrgica, cuando se trata de la electrocoagulación, ya que con motivo de mis procedimientos de electrocoagulación bipolar presentados aquí, nos referimos a este asunto. Solamente quiero hacer notar que aquel cilindro de carne cocida en un bloque de carne cruda tan reproducido y la afirmación errónea de algún autor de que la diatermia se propaga en línea recta, han inducido a errores de consideración en la práctica de la diatermia.

Así es que, como no son posibles ciertas medidas en el cuerpo vivo, me limitaré a presentar el trabajo experimental que tengo hecho, más incompleto de lo que yo quisiera, de cómo se comportan las corrientes de alta frecuencia en su modalidad de *diatermia*, o *termopenetración*, comparado con la conducción de la corriente continua.

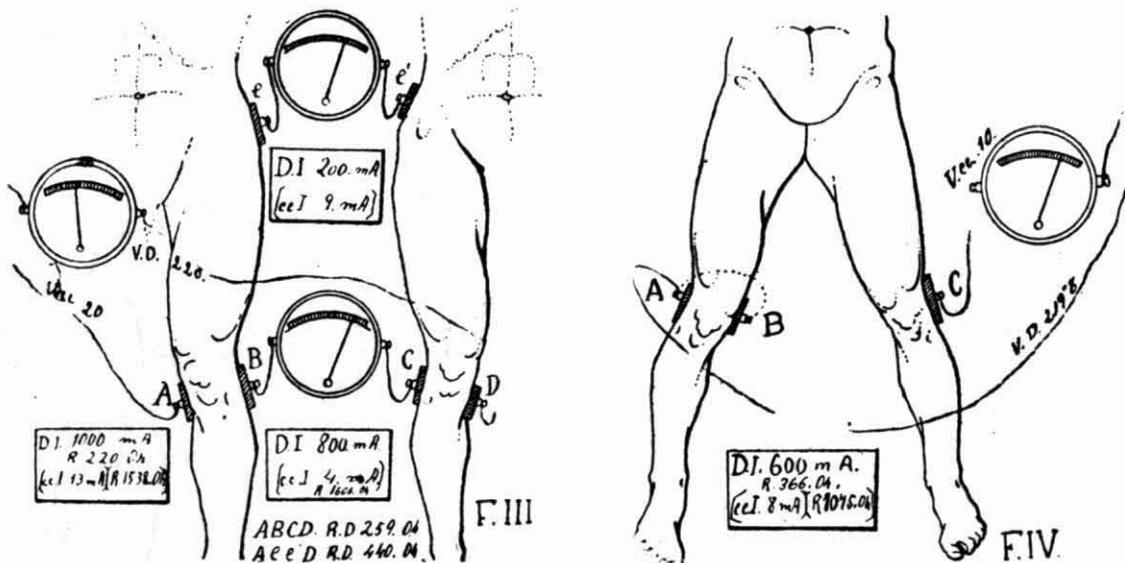
Pará desechar el factor de resistencia inicial variable de la piel, sobre todo a la corriente continua, habíamos empezado nuestros experimentos haciendo las observaciones cinco minutos después de establecer la corriente galvánica. Mas al ver que las aplicaciones de diatermia reducían todavía más que las galvánicas la resistencia de la piel, procedimos en adelante buscando primero las características de la diatermia.

*Observación I.ª*—Fig. I. Situadas cuatro placas metálicas recubiertas de compresas empapadas en agua salada en la región interna y externa de ambas rodillas A B C D, comunicando las internas

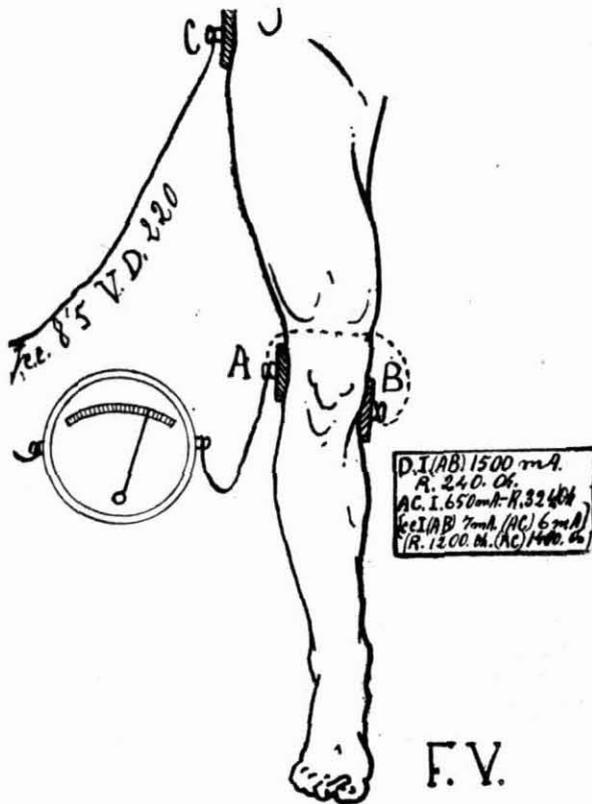


e interponiéndolas un amperómetro, y conectadas las dos placas externas A D a los dos bornes de un aparato de alta frecuencia especial para *diatermia*, tenemos, tan pronto la corriente ha pasado la piel, dos circuitos en derivación, el primero A B C D que atraviesa las dos rodillas y el segundo A E D que después de penetrar por la placa externa de una rodilla sigue el circuito humano para salir por la placa externa de la otra rodilla.

Graduado entonces el generador en forma que alcance una intensidad de 900 m A, observamos: 1.º que el amperómetro en el primer circuito de entrambas rodillas A B C D marca 650 m A; quedando



la diferencia de 250 m A que pasa por el segundo circuito A E D. 2.º Cortando la comunicación de las dos placas internas de las rodillas y quedándonos en las mismas condiciones de voltaje del aparato, observamos una intensidad de 800 m A que recorre el circuito humano, A E D.



F.V.

Dejando las cosas en las mismas condiciones, substituímos el generador eléctrico y el amperómetro intercalado entre las rodillas; desconectamos los cordones del aparato de alta frecuencia y los comunicamos a un aparato de corriente continua de los llamados galvánicos en electroterapia, y mediante un reductor de potencial obtenemos 13 m A en el aparato, notando 4 m A en el primer circuito A B C D, y 9 m A en el segundo circuito A E D que penetra por la placa A para salir por la placa D. Al suprimir la comunicación entre las placas internas de las dos rodillas obtenemos 10 m A. La potencial empleada en este caso ha sido de 14'6 volts. La resistencia comprendiendo los dos circuitos, es decir desde los bornes del aparato, 1122 ohms, medida por substitución, calculada 1123.

Observación 2.<sup>a</sup>—Fig. II. Tomemos otros circuitos similares en el cuerpo humano: dos placas en cada mano, en la palma y en el dorso A B C D. Comunicadas las placas de las palmas a un amperómetro, tenemos también dos circuitos: el primero A B C D y el segundo A E D. Comunicado el sujeto al generador de diatermia, obtenemos 1180 m A. Y notamos entonces en primer circuito A B C D que el amperómetro marca 1000 m A, pasando por consiguiente 180 m A por el segundo circuito A E D. Comunicamos entre A y B y obtenemos 1100 m A,

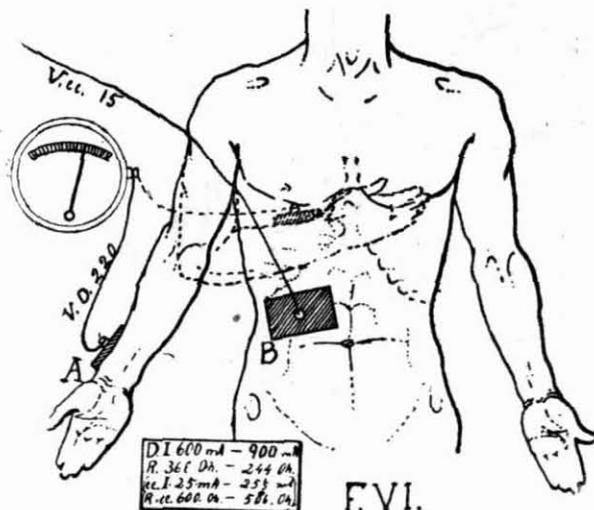
igual que entre B y C. Potencial empleada, 220 volts.

Conectemos ahora los cordones polares al generador de corriente continua, y manejando el reductor de potencial obtenemos 8 m A y entonces veremos en el miliamperómetro del primer circuito A B C D que marca 2 m A, pasando por consiguiente por el segundo circuito A E D 6 m A. Entre A y B tenemos 10 m A, lo mismo que entre B y C. Potencial empleada, 9 volts.

Mas en este doble circuito estudiado no se podían tomar medidas directas de ambos circuitos derivados, por lo que recurrimos al artificio de combinarlo con dos sujetos.

Observación 3.<sup>a</sup>—Fig. III. Sentados dos sujetos en dos sillas contiguas, se colocaron cuatro placas, dos en cada rodilla, de las dos contiguas A B C D y dos más en cada cadera E E'. Entre las rodillas y conectado a sus placas contiguas B C se interpuso un amperómetro térmico, y otro conectado a las dos placas de las caderas E E'. Comunicando entonces las dos placas (A y D) exteriores de este sujeto eléctrico formado por dos mitades, a un generador de diatermia, obtenemos en el aparato 1000 m A, observando entonces que pasan 800 m A en el primer circuito A B C D y 200 m A en el circuito A E E' D. Lo cual nos da la seguridad que la suma de las intensidades de los circuitos derivados es igual a la intensidad del generador y que por consiguiente resultan legítimas las deducciones que hemos hecho en los experimentos anteriores cuyos circuitos los formaba un mismo individuo, cuyo segundo circuito era imposible medir directamente; obediendo en este caso de corriente alterna a la ley de Kirchof, o sea que la suma de las intensidades de los circuitos derivados es igual a la corriente general.

En las mismas condiciones interrumpimos la comunicación entre las dos rodillas, quedando sólo el circuito A E E' D, que en las mismas condiciones de voltaje dió una intensidad de 500 m A en ambos aparatos.



F.VI.

Interrumpimos después el circuito entre las placas de las caderas, y comunicando las dos rodillas obtuvimos en el circuito A B C D 850 m A. Tomamos después cada rodilla aparte y obtuvimos con A B 1050 m A y en la B C 1100 m A. La potencial durante estas experiencias ha sido de 220 volts.

A continuación pusimos los mismos conductores a un generador de corriente continua y obtuvimos 13 m A en el circuito general y en el primer circuito derivado A B C D 4 m A y 9 en el segundo A E E' D. Interrumpido el circuito de las dos rodillas, quedó el A E E' D, que marcó 10 m A.

Interrumpiendo la comunicación de las caderas y comunicando las dos rodillas, obtuvimos en el circuito A B C D 8 m A. Puesta aisladamente cada rodilla en A B, 25 m A y en C D, 25 m A. La potencial durante estas experiencias ha sido de 20 Volts.

Vistas estas experiencias de contraste, y para mayor simplicidad, tomemos un circuito único sin derivación alguna, para comparar mejor las diferencias que puede haber entre la conducción de la diatermia y de la corriente continua.

*Observación 4.<sup>a</sup>*—Fig. IV. Situadas dos placas A y B en cada lado de la rodilla derecha y otra C en la parte externa de la rodilla izquierda, hacemos pasar entre A y C una corriente de diatermia de 600 m A. En las mismas condiciones pasa la misma intensidad entre B y C, y si unimos A y B con C, obtenemos 650 m A. Entre A y B pasan 1150 m A. Potencial, 219'6 volts.

A continuación, con un generador galvánico en las mismas condiciones, obtenemos entre A y C 8 m A, entre B y C la misma intensidad, y si unimos A y B con C obtenemos 10 m A, pasando 12 m A entre A y B. La potencial empleada ha sido de 10 volts.

Veamos lo que pasa en un circuito más simple.

*Observación 5.<sup>a</sup>*—Fig. V. Puestas dos placas una en cada lado de la rodilla A B y otra en la cadera C:

1.° Comunicamos el circuito A B al aparato de diatermia hasta obtener la intensidad de 1500 m A. Resistencia, 240 ohms.

2.° En estas mismas condiciones cerramos el circuito sobre las placas A C y obtenemos 650 m A. Resistencia, 324 ohms. Potencial empleada, 210 volts.

Inmediatamente cambiando de aparato hacemos pasar una corriente continua de 7 m A entre A B. Resistencia, 1200 ohms. Dejamos el mismo voltaje al aparato y cerramos la corriente entre B C y nos da 6 m A. Resistencia, 1410 ohms. Voltaje, 8'5.

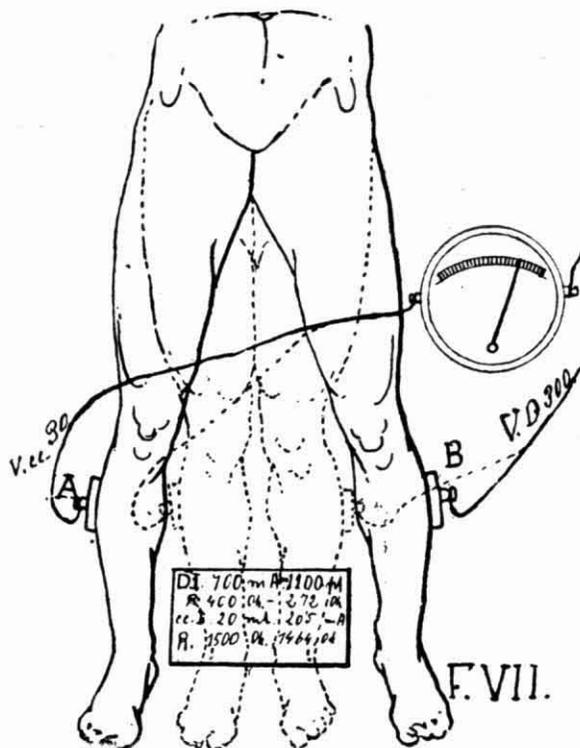
*Observación 6.<sup>a</sup>*—Fig. VI. Otro circuito digno de interés hemos tomado en el cuerpo humano.

Dos placas electrodos A B, una en el tercio inferior del antebrazo derecho, A, y otra por debajo del reborde costal del mismo lado, B. Desnudo el sujeto de medio cuerpo arriba, con un generador de diatermia hemos obtenido la intensidad de 600 m A, con el brazo separado del cuerpo. Resistencia, 366 ohms. Juntando el brazo al cuerpo disminuye la resistencia del circuito al punto de que obtenemos 900 m A. Resistencia, 244 ohms. Voltaje empleado, 220 volts.

Trasladamos los conductores a un aparato galvánico, y obtenemos 25 m A con el brazo separado del cuerpo. Resistencia, 600 ohms, y juntándole en las mismas condiciones que en el caso anterior, obtenemos 25'5 m A. Resistencia, 586 ohms. Potencial empleada, 15 volts. De lo cual resulta un notable contraste en la conductibilidad de estas dos corrientes, ya que la intensidad ha aumentado notablemente en el primer caso, y de modo insignificante en el segundo.

*Observación 7.<sup>a</sup>*—Fig. VII. Otro circuito de singular interés a este estudio, es de una a otra: pierna: dos placas en su parte media A B y sometidas al generador de diatermia con las piernas separadas; obtenemos 700 m A. Resistencia, 400 ohms. Juntando las extremidades y produciendo como es consiguiente un contacto extenso de la piel de ambas, marca el amperómetro 1100 m A. Resistencia, 272 ohms, lo cual indica una baja bien notable de resistencia en el circuito.

Conectamos a continuación un generador de corriente continua, y en el primer caso obtenemos



20 m A. Resistencia, 1500 ohms, y en el segundo 20'5 m A, resistencia 1464 ohms, lo cual indica un cambio insignificante de resistencia del circuito.

En el cuadro adjunto reunimos las características de las observaciones apuntadas, de cuyo estudio resulta:

Que las resistencias de los distintos circuitos que hemos visto son mucho mayores a la corriente continua que a la diatermia, salta a la vista. Si tomamos el término medio de las resistencias de los veinte circuitos anotados, veremos que es de 1154 ohms a la corriente continua y de 285 a la diatermia. Las resistencias menores a la corriente continua han sido las ofrecidas por el circuito A B de la fig. VI: 506 ohms, y la de 191 ohms a la diatermia del circuito A B de la fig. IV.

Las mayores resistencias han sido: a la corriente continua la del circuito A E E' D, de la fig. III, 2000 ohms, y la de 440 ohms de la diatermia del mismo circuito.

Y adviértase que este contraste está un tanto atenuado, ya que las anotaciones de la corriente continua se han hecho después de las de la diatermia, como antes hemos indicado; pues éstas disminuyen también la resistencia a la corriente continua.

Veamos la interpretación que puede darse a estas diferencias:

	CIRCUITOS	R. Oh. G.	I. mA. G.	PoT. V. G.	R. Oh. D.	I. mA. D.	PoT. V. D.		
Obs. I..... F. I.....	A B C D } A E D } A E D }	1123 1600	4 } 3 } 13	14'6 » »	244 350	650 } 250 } 800 }	220 » »		
	Obs. II..... Fig. II.....	A B C D } A E D } A B } A C }	1250 900 900	2 } 6 } 10 10	9 » » »	186 200 200	1000 } 180 } 1100 1100	220 » » »	
		Obs. III..... Fig. III.....	A B-C D } A E-E' D } A E-E' D } A B C D } A B } B C }	1538 2000 1600 800 800	4 } 9 } 10 12 25 25	13 » » » » »	20 440 259 205 200	800 } 200 } 500 850 1050 1100	220 » » » » »
Obs. IV..... Fig. IV.....			A C } B C } A B C } A - B }	1075 1075 1000 750	8 8 10 12	10 » » »	366 366 338 191	600 600 650 1150	219,6 » » »
	Obs. V..... Fig. V.....		A-B } A-C }	1200 1410	7 6	8'5 »	240 324	1500 650	210 »
			Obs. VI..... Fig. VI.....	A-B: caso 1.º } A-B: caso 2.º }	600 586	25 25'5	15 »	366 244	600 900
	Obs. VII..... Fig. VII.....			A-B: caso 1.º } A-B: caso 2.º }	1500 1464	20 20'5	30 »	400 272	700 1100

Empezadas estas observaciones en mi práctica de electroterapia, e influido por la creencia general de que los voltajes empleados en diatermia eran mucho mayores de lo que realmente son, creí en un principio que las grandes diferencias observadas en las intensidades en contraste entre las corrientes

continua y la diatermia en los distintos circuitos, según fueran largos o cortos se debían al efecto Kelvin; si bien, aquí había de venir grandemente modificada en el sentido de aumentar la resistencia por la gran diferencia en resistividad entre el interior del conductor y la superficie, o sea la piel.

No he encontrado estudio alguno sobre resistencia a las corrientes de alta frecuencia en conductores heterogéneos, ni metálicos ni electrolíticos; con la capa superficial de mayor resistencia que la interior. Así por ejemplo se podría ensayar un conductor de cobre recubierto de plomo, al objeto de ver si aumentaría la resistencia a las corrientes de diatermia, o la disminuiría, ya que aumentaría la sección.

Mas, prosiguiendo mis trabajos, por un lado me pude convencer de que los voltajes usados en diatermia son mucho más bajos de lo que parecen, y por otro, el siguiente experimento hecho en un electrolito de mayor resistencia en la capa exterior que en el centro, no aumenta la resistencia a la diatermia, sino que la disminuye: se coge una compresa de treinta centímetros de largo arrollada en forma cilíndrica y empapada en agua salada, se conecta a dos electrodos y se hace pasar una corriente de diatermia de 700 m A por unos segundos, al objeto que el calentamiento del electrolito no disminuya su resistencia. Rápidamente se arrolla otra compresa mojada en agua común, y sin variar las condiciones del aparato de diatermia se hace pasar la corriente, obteniendo entonces la intensidad de 900 m A. Quitada la compresa exterior y arrollada sola, nos da 400 m A, lo cual demuestra que las dos capas de electrolitos no se han mezclado grandemente, ya que su resistencia se conserva mucho mayor que la que le servía de núcleo. Habiendo obrado por consiguiente esta cubierta como circuito en derivación, ha disminuido la resistencia total del circuito, mientras que si hubiera sido muy notable el efecto Kelvin y hubiese pasado buena parte de la corriente por la superficie, parece que debía haberla aumentado.

Por consiguiente, respecto a este punto nos atendremos al excelente trabajo de Chanoz presentado al V Congreso Internacional de Electrología y Radiología Médicas de Barcelona (1), que considera como insignificante el coeficiente de selfinducción que posee el cuerpo humano, como todo conductor electrolítico.

La capacidad del cuerpo humano siendo débil, sólo ligeramente podrá disminuir su resistencia como afirma el doctor Chanoz; mas la tercera conclusión del trabajo aludido, o sea «que el cuerpo humano opone a las corrientes de alta frecuencia una resistencia eficaz que puede, a falta de determinación directa, considerarse como vecina de la que opone a la corriente continua», debe modificarse, puesto que hemos hecho esta determinación directa y sus resultados difieren notablemente, como hemos visto.

La causa de esta disminución de resistencia depende, en cuanto se refiere a la piel, a su calentamiento y al mayor aflujo de sangre que produce por vasodilatación. Esta vasodilatación debe ser también la causa principal de la disminución de resistencia que se observa en los tejidos todos, hecho de consecuencias fisiológicas de importancia.

Si examinamos las intensidades de estas modalidades de la energía eléctrica, observamos gran contraste sobre todo en las observaciones 1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup>, debidas a que en sus circuitos entran mayor número de entradas y salidas por la piel, que es en donde la diatermia modifica más fuertemente su conductibilidad.

No obstante, modifica mucho también la resistencia de los demás tejidos, ya que como puede observarse en el circuito A C de la fig. V marca para la galvanización 1410 ohms, mientras que para diatermia marca sólo 324 ohms, o sea una diferencia de 1086 ohms; y suponiendo que fueran 600 ohms la resistencia de la piel, quedaría como resistencia del circuito interno 486, cifra muy superior a la de 324 ohms, de la resistencia a la diatermia, que si le restamos 100 ohms por la resistencia de la piel, quedan 224 ohms para el circuito interno, formando gran contraste las diferencias de resistencia a la corriente continua 486 ohms; y resistencia a la diatermia 224 ohms.

Del estudio de los resultados obtenidos en los diversos experimentos expuestos y cuyas características detalla el cuadro citado, resulta:

- 1.° Que la diatermia disminuye grandemente la resistencia de la piel subyacente a las placas de entrada de la corriente, al punto que reduciéndose para la diatermia a unos 50 ohms, se conserva para la corriente galvánica en 500 ohms poco más o menos para una entrada de corriente.
- 2.° Que también disminuye notablemente la resistencia longitudinal de la piel, considerada prácticamente, casi como aislante a la corriente continua. De ahí las dificultades con que todos hemos tropezado, cuando en la práctica electroterápica conviene aplicar placas cercanas una a otra de polaridad distinta, en diatermia.
- 3.° Esta notable disminución alcanza también, aunque en menor grado, a los demás tejidos en conjunto que componen nuestro cuerpo.

(1) *Considérations sur l'action thermique de l'électricité traversant les tissus vivants*. M. Chanoz, p. 231; *compt. rend. V. Congrès International d'Electrologie et Radiologie Médicales*. Barcelona, 1911.

\* \*

No hemos pretendido en este trabajo, resultado de numerosas observaciones concordantes con las citadas, dar medidas de precisión, muy difíciles tratándose de un elemento tan variable; sin embargo, creo poder afirmar que es errónea la creencia tan generalmente admitida de que la conducción de nuestro cuerpo a las corrientes de alta frecuencia pueda asimilarse a la de la corriente continua, ya que, como hemos visto, presenta grandes diferencias.

Además, creo haber dado base más científica a las aplicaciones de diatermia que hoy con tanto éxito se extienden al tratamiento de muchas enfermedades.

\* \*

Para estos experimentos nos hemos valido principalmente de un aparato de diatermia Reiniger, modelo grande, cuyas características principales son:

Corriente continua 220 volts. Un transformador de alterna de 4000 volts, que un rectificador convierte en corriente continua que pasa a ser oscilante mediante dos tubos-válvulas Audion, de tres electrodos y su circuito adecuado. Y éste por inducción da en un segundo circuito la corriente llamada de diatermia, con un voltaje de 200 a 400 volts, de 430.000 periodos no amortiguados por segundo. Rendimiento, 9 amperes. Dispone además de un selector que puede distribuir la corriente en cinco circuitos distintos.

También nos hemos servido de un segundo aparato modelo corriente con detonador. Rendimiento, 3 amperes.

Y asimismo hemos usado un aparato de alta frecuencia Gueffe, al cual añadimos un dispositivo de diatermia hace unos catorce años: pequeño solenoide, detonador de doble chispa aislado en aceite, condensadores de los usados en telegrafía sin hilos, etc. Rendimiento, 3 amperes.

Estos dos últimos son de periodos amortiguados, y los resultados no se han diferenciado sensiblemente.

Para la galvanización o corriente continua hemos empleado un aparato de galvanización usual, con reductor de potencial, miliamperómetro, etc.

Las placas empleadas han sido de siete y medio por trece centímetros, acolchadas con una compresa doblada de algodón empapada con agua salada, siendo su resistencia de 33 ohms, a 20 grados centígrados.

Debo hacer constar el buen servicio que me ha prestado en la preparación de los aparatos, experimentos y dibujos, el joven doctor don Luis Cirera Terré; como también al doctor Egozcue, que me ha facilitado algunas observaciones, le he de dar desde aquí las más expresivas gracias.